日本造船技術百年史

日本造船学会

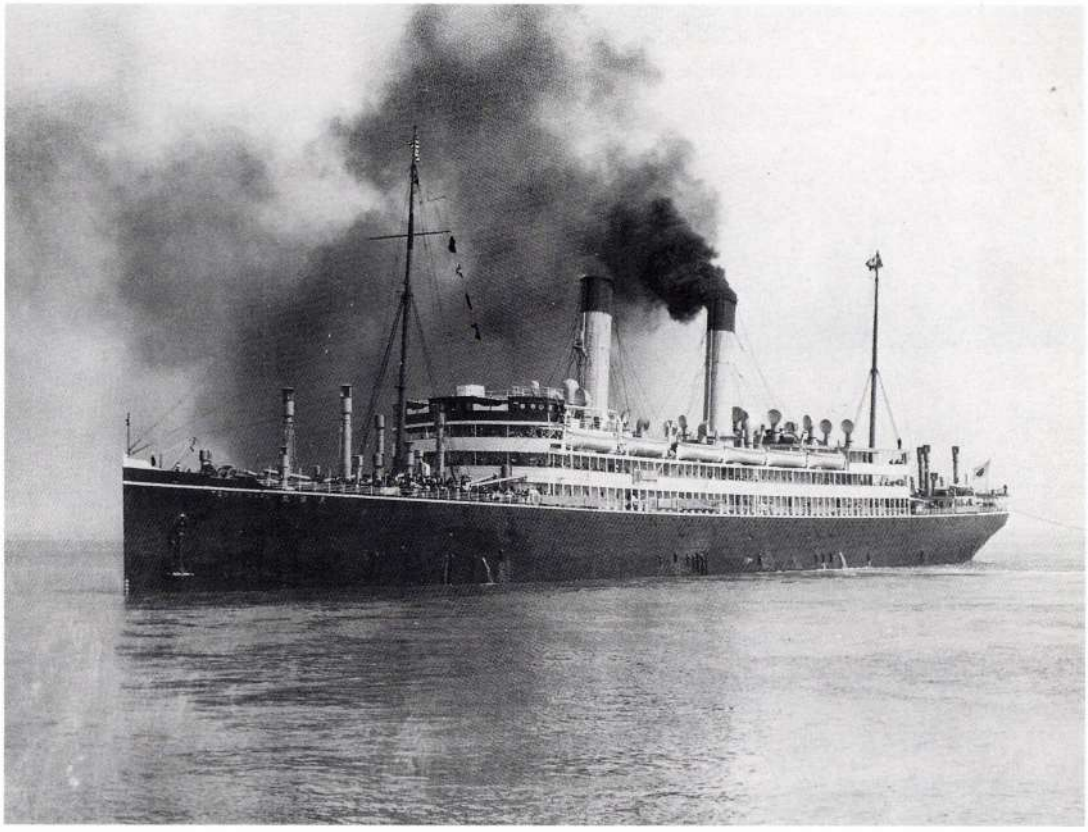


日本造船技術百年史

社団法人 日本造船学会

謝　　辞

本書の刊行に対し、日本財団より多額の補助金を下附されたことを記し、ここに深く感謝の意を表します。



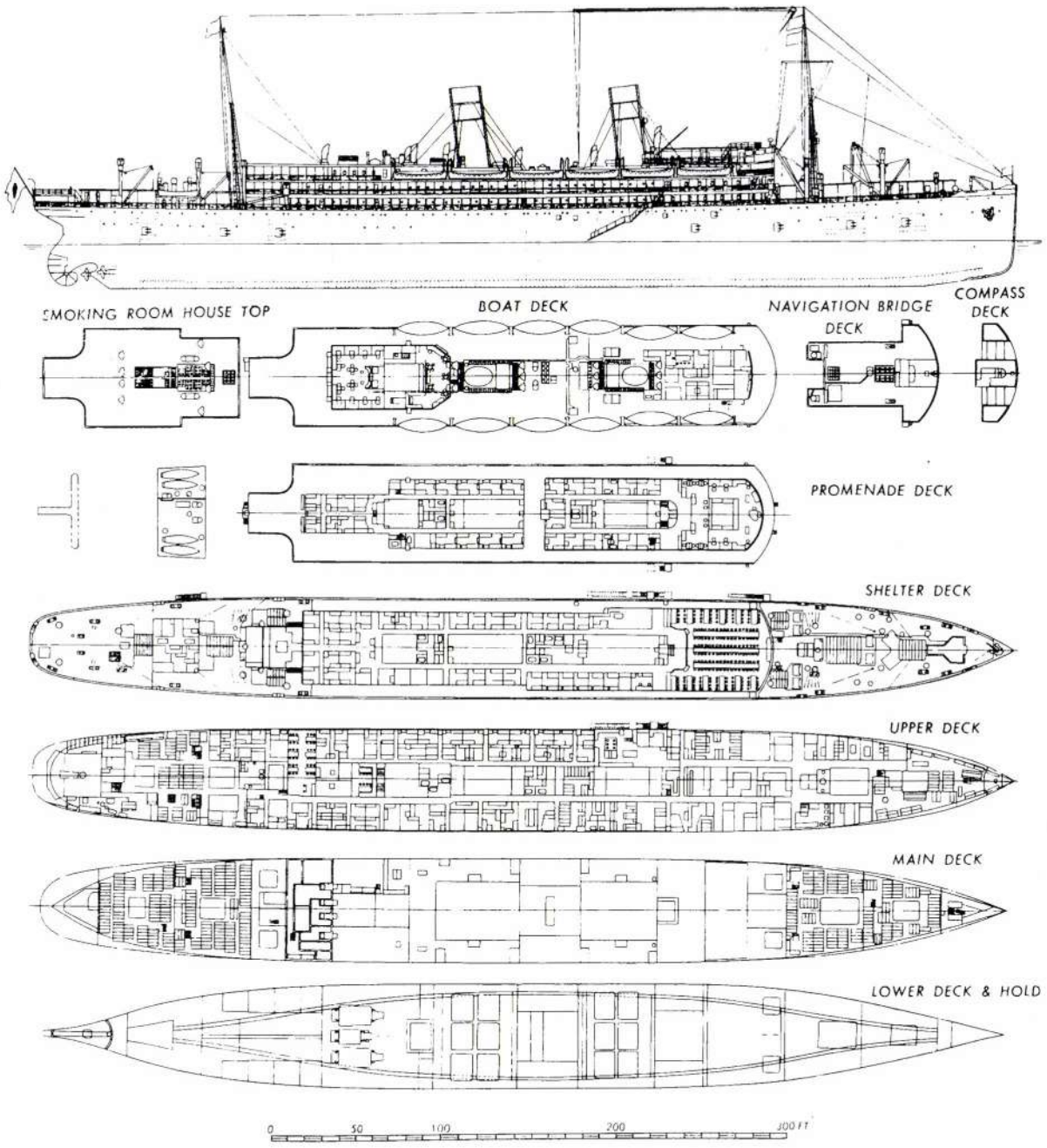
天洋丸（TENYO MARU）

1908年（明治41年）4月、当時の日本造船界の常識を破る13,000総トン級という未曽有の大型客船が三菱長崎造船所で誕生した。それが東洋汽船の「天洋丸」である。姉妹船「地洋丸」（1908年11月竣工）、「春洋丸」（1911年8月竣工）とともに北米サンフランシスコ航路に就航した。わが国の外航客船としては初めて蒸気タービンを採用し、またボイラーも最初から重油焚きにし、プロペラも3軸スクリューを装備するなど、各所に新機軸を盛りこんだほか、船内装飾にも新様式を採り入れた。1926年、日本郵船の傘下に入ってからも終始サンフランシスコ航路に就航した。1933年解体された。

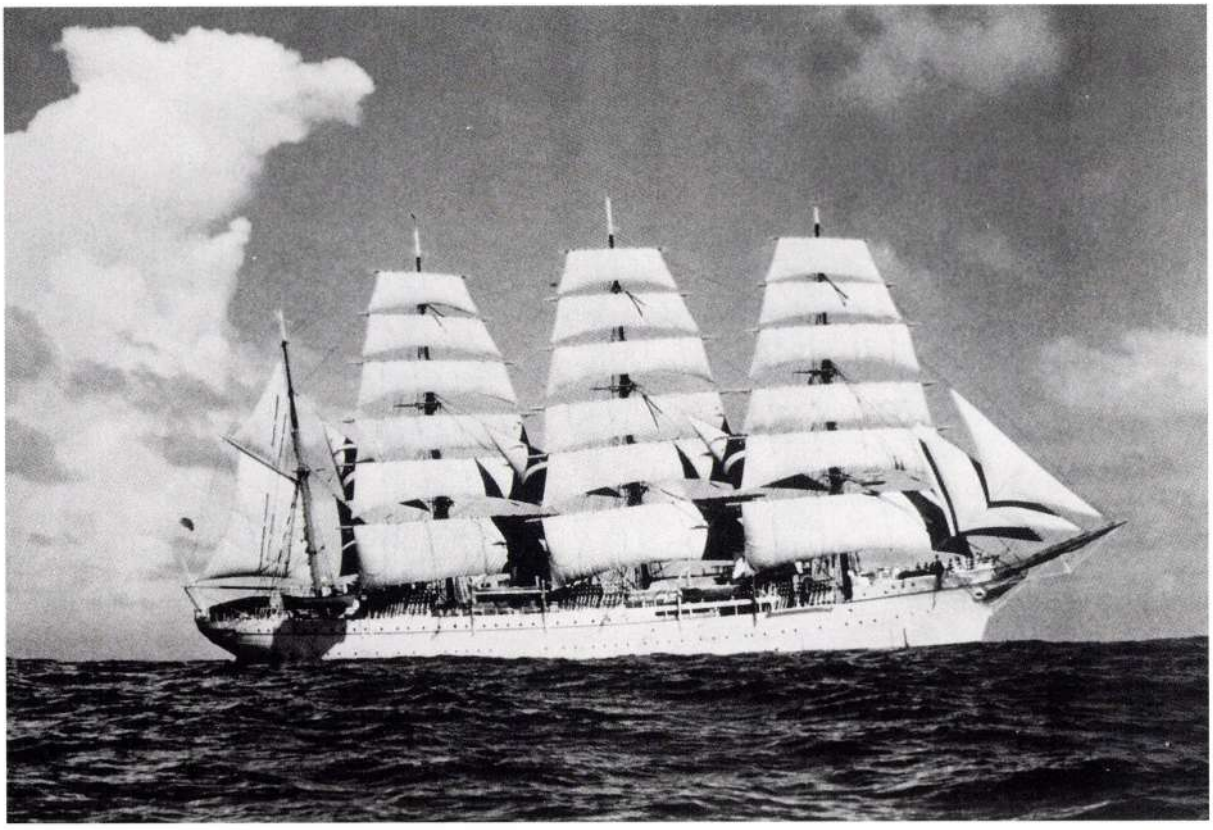
船種：旅客船　船主：東洋汽船　建造：1908年4月三菱長崎造船所
垂線間長：550フィート（167.6m）、型幅：63フィート（19.2m）、型深：38.6フィート（11.76m）
主機：パーソンス蒸気タービン
出力：19,000馬力、試運転速力：20.61ノット、船客：1等275人、特2等54人、3等800人

（野間恒著「客船・昔と今」、出版協同社刊より転載）

天洋丸一般配置図



［山高五郎『図説日の丸船隊史話』（至誠堂刊）より］



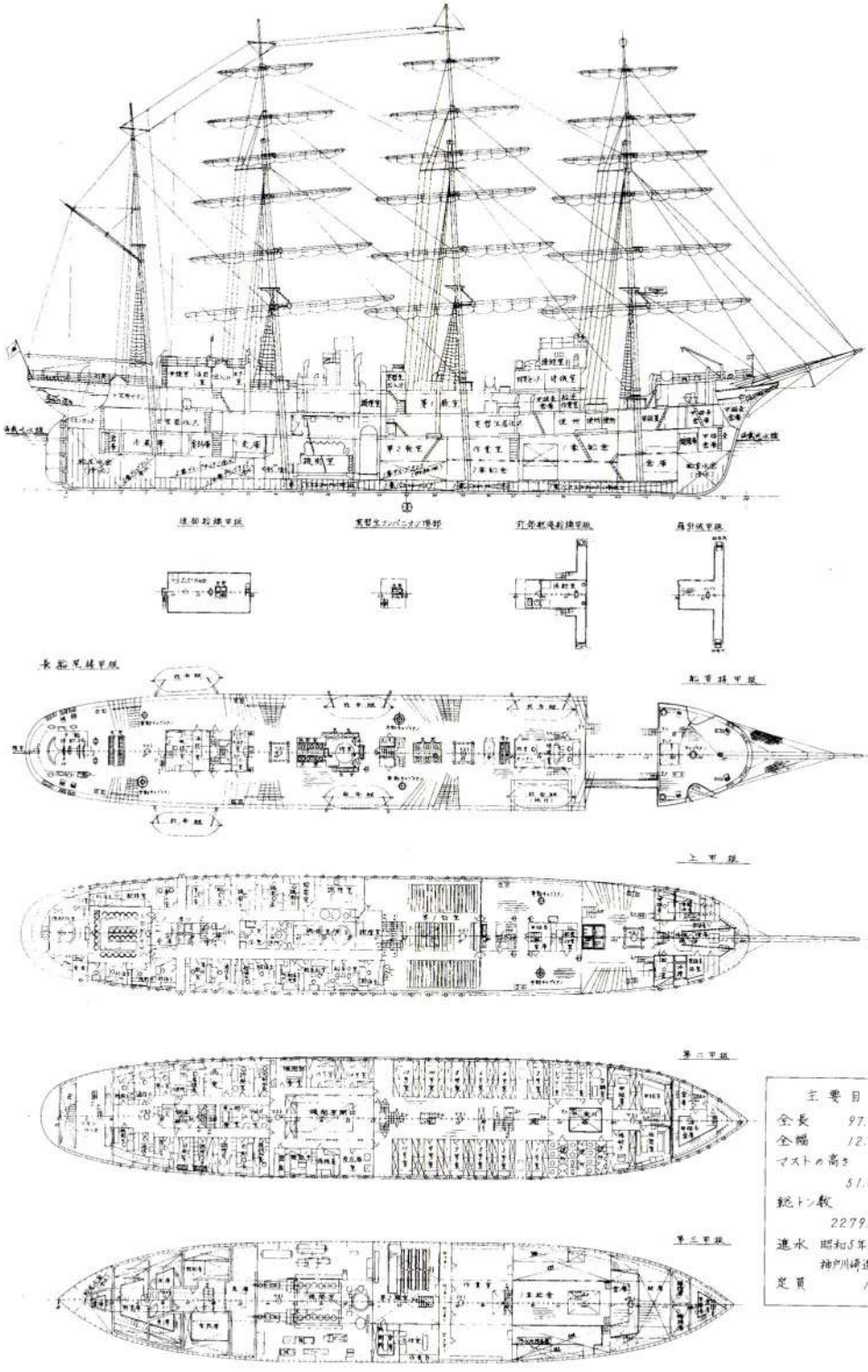
日本丸（NIPPON MARU）

本船は船員養成を担う地方公立商船学校に対する大型練習帆船の必要性により建造され、実習生の年齢を考慮してヤードやマストを幾分小さくして扱い易くされている。我が国初のディーゼル補助機関付きの4本マストバーク型帆船。1984年に現役を引退する迄、「太平洋の白鳥」「海の貴婦人」と称えられ、姉妹船の「海王丸」とともに、54年間にわたり数多くの船員を育て上げた。現在は、横浜桜木町駅前の旧三菱重工横浜造船所の1号ドック（明治31年建造）に係留保存され、市民に一般公開されている。

船種：練習船（TRAINING SHIP）　船主：文部省　建造：1930年3月川崎造船所
垂線間長：260フィート（79.25m）　型幅：42.5フィート（12.95m）　型深：25.75フィート（7.85m）
満載喫水：21.023フィート（6.41m）
総トン数（GT）：2,279トン　載貨重量（DWT）：1,312トン
補助機関：1,200馬力　ディーゼル機関2基　速力：11.445ノット

（写真提供：川崎重工業（株））

日本丸一般配置図



主要目	
全長	97.05m
全幅	12.95m
マストの高さ	51.07m
総トン数	2279.19トン
進水	昭和5年1月27日 神戸川崎造船所
定員	196名



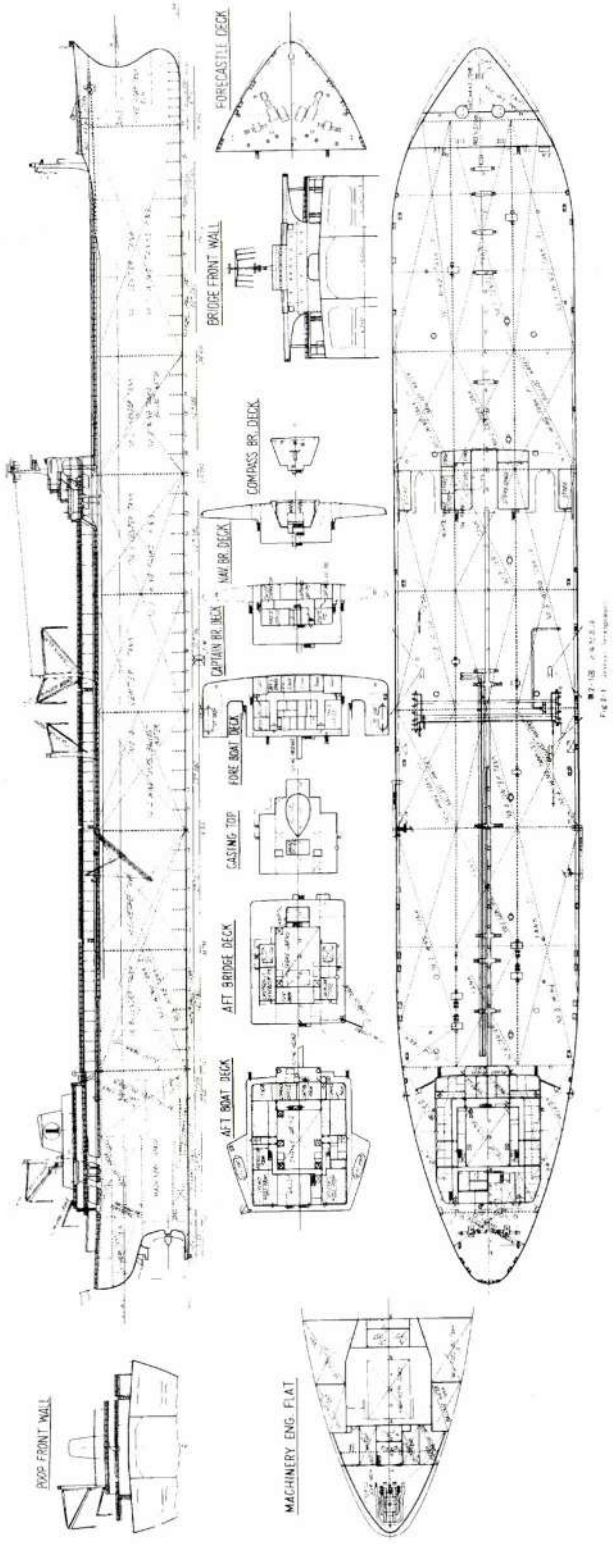
出光丸（IDEMITU MARU）　ー世界最初の VLCC ー

わが国での大型船の建造は1950年代から始まり、1955年には45,000トンのスーパータンカーが建造され，1960年7万トンのマンモスタンカー、1962年15万トン「東京丸」とタンカーの大型化が進み、同年に世界で最大、最長の20万トン級のタンカー「出光丸」が誕生した。20万トン（載荷重量）以上のタンカーをVLCC（Very Large Crudeoil Carrier）とその後呼ぶようになった。タンカーの大型化はさらに進み、とうとう50万トンを越えて停止した。

船種：タンカー　船主：出光タンカー　建造：1966年12月石川島播磨重工横浜工場
垂線間長：326m　型幅：49.8m　型深：23.2m　満載喫水：17.685m
総トン数：107,957トン　載荷重量：209,302トン　主機：33,000馬力　蒸気タービン　速力：16.35ノット

（写真提供：石川島播磨重工業（株））

出光丸一般配置図


FORECASTLE DECK
BRIDGE FRONT WALL
COMPASS BR. DECK
NAV. BR. DECK
CAPTAIN BR. DECK
FORE BOAT DECK
CASING TOP
AFT BRIDGE DECK
AFT BOAT DECK
POOP FRONT WALL
MACHINERY ENG. FLAT



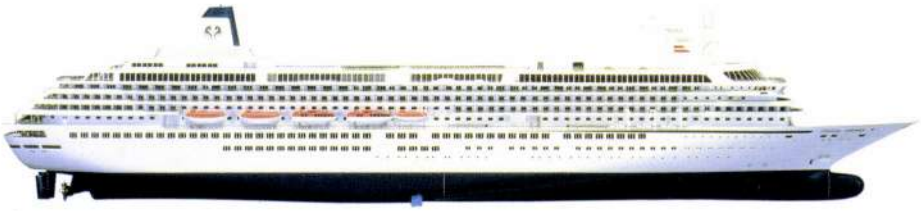
CRYSTAL HARMONY（クリスタル・ハーモニー）

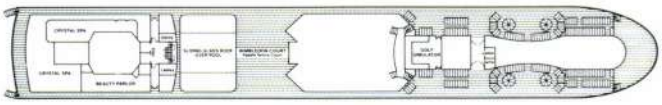
広さ、雰囲気、快適さなど最高級のグレードを誇るクルーズシップ。世界的な権威であるベルリッツのガイドブックでは、最高位のファイブスター・プラスにランクされている。日本のクルーズ客船では最大で、振動防止のため、電気推進方式を採用している。1990年のシップ・オブ・ザ・イヤーに選ばれた事でも分るように人気が高い。

船種：客船　　船舶運航会社：CRYSTAL CRUSES INC,
建造：1989年4月　三菱重工業（株）長崎造船所
垂線間長：238.0m　　型幅：30.2m
型深：32.2m　　満載吃水：6.618m
総トン数：48,621トン
主機：推進モータ　12,000kW×2　航海速力：22.00ノット
乗客数：960名

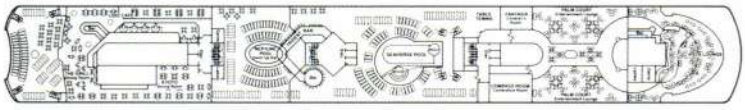
（写真提供：日本郵船（株））

クリスタル・ハーモニー一般配置図

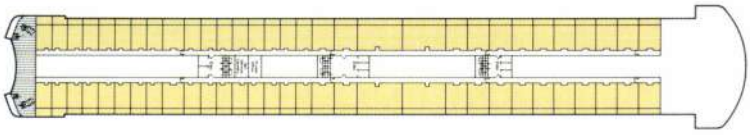




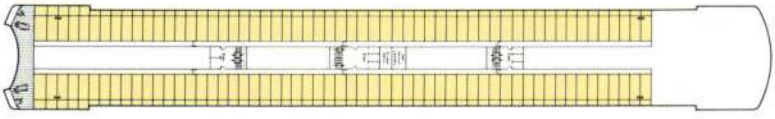
SUN
DECK TWELVE



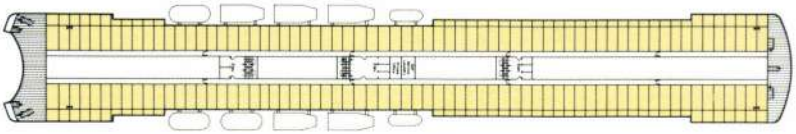
LIDO
DECK ELEVEN



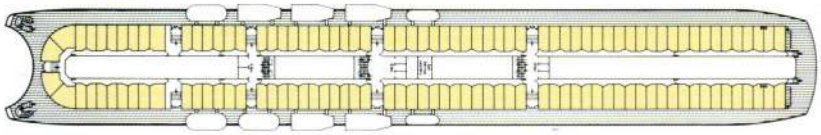
PENTHOUSE
DECK TEN



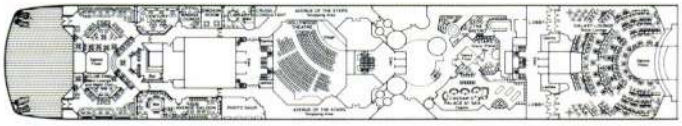
SEA BREEZE
DECK NINE



HORIZON
DECK EIGHT



PROMENADE
DECK SEVEN



TIFFANY
DECK SIX



CRYSTAL
DECK FIVE

序　文

1896年（明治29年）11月29日、同志12名が東京築地水交社にて会合し造船協会の設立を協議決定した。翌1897年（明治30年）4月1日に「造船協会趣意書」を発表し、正式に造船協会（日本造船学会の前身）が創立された。それ以来日本造船学会はわが国の造船造機技術発展の舞台となり、時には先導となり、時には下支えとなり、多くの貢献をはたして来た。

その間1945年（昭和20年）の第二次世界大戦終戦までの48年は戦争の時代であり、戦後の52年間は復興と平和国家建設への道程であり、今や日本は米国に次ぐ世界第二の経済大国となった。その発展の牽引車となった産業の一つが造船工業である。

日本の造船技術は100年前は英国をはじめとするヨーロッパ諸国の造船技術者や造船学者の指導を受けてその礎をきずいた。また第二次世界大戦後の復興の時には、米国の新しい建造技術の教えを受けた。日本は1956年以来41年間にわたり船舶建造量世界一の座を維持している。この輝かしい実績は、造船界に身を置く先人達のたゆまぬ努力と研鑽による造船技術の向上によることは勿論であるが、これらの諸外国の力添えも忘れてはならない。今後はアジア諸国をはじめとする世界の造船国と手をたずさえて、新しい発展を期したい。そのために日本造船学会が果たす役割は極めて大きい。

本年（1997年）日本造船学会の創立百周年記念事業を行うにあたり、記念事業の一つとして本書「日本造船技術百年史」の刊行を企画した。過去にも、造船協会が編集した「日本近世造船史」、「日本近世造船史・大正時代」および「造船協会四十年史」そして、70周年を期して刊行した「昭和造船史」がある。これらも、日本の造船の技術史を後世に伝える貴重な文献であるが、本書も日本造船学会の百年間の活動を軸として日本造船技術百年の発達の足跡をふりかえり、それを記録に残し後世に伝える役割を担うものである。

本書は、1895年から1995年迄の100年間を5つの時代に区分して第Ⅰ部から第Ⅴ部とし、各部において、性能、強度、建造、設計、機関、海洋技術の分野別に章立てした構成にしている。各章は、その分野の第一人者の方に執筆を依頼し、専門に偏らず読んで面白い書物にするとの意向で執筆者はじめ関係者一同努力を傾注した。

各社自慢の船舶等の写真を集めた写真集は、本書に華やかな彩りを添えるものと思う。

10年後、20年後にも本書が造船技術史の良き図書として広く多くの人々に読み継がれていく事を期待するとともに、本書によって先人の努力を知り、今後の日本造船界の発展の指針を与えるものとなれば幸いである。

1997年5月13日　　日本造船学会会長

大庭　浩

日本造船技術百年史　目次

序文

目次 …… Ⅰ

参考文献略記一覧表 …… Ⅲ

企業名略記一覧表 …… Ⅳ

日本造船学会の沿革 …… 1

第Ⅰ部　日本造船技術の揺籃期
1895年～1910年（明治28年～明治43年）

概観 …… 23

第1章　性能 …… 25

1.1　抵抗推進 …… 25

1.2　運動性能 …… 28

第2章　強度 …… 29

2.1　構造 …… 29

2.2　材料強度 …… 30

2.3　接合 …… 30

第3章　建造 …… 32

3.1　近代造船業への道のり …… 32

3.2　造船技術の自立 …… 32

3.3　造船施設の拡張 …… 33

第4章　設計 …… 34

4.1　基本計画 …… 34

4.2　艤装 …… 40

第5章　機関 …… 41

第6章　海洋技術 …… 43

第Ⅱ部　日本造船界の勃興期
1910年～1930年（明治43年～昭和5年）

概観 …… 47

第1章　性能 …… 49

1.1　抵抗推進 …… 49

1.2　運動性能 …… 53

第2章　強度 …… 56

2.1　構造 …… 56

2.2　材料強度 …… 58

2.3　接合 …… 58

第3章　建造 …… 60

3.1　第一次世界大戦と生産拡充時代 …… 60

3.2　建造工法 …… 60

第4章　設計 …… 64

4.1　基本計画 …… 64

4.2　艤装 …… 66

第5章　機関 …… 67

5.1　艦艇用ディーゼル機関の黎明 …… 67

5.2　海軍　蒸気機関 …… 68

5.3　商船用ディーゼル機関の黎明 …… 71

5.4　商船用タービン …… 73

第6章　海洋技術 …… 74

第Ⅲ部　帝国海軍時代と太平洋戦争
1930年～1945年（昭和5年～昭和20年）

概観 …… 77

第1章　性能 …… 79

1.1　抵抗推進 …… 79

1.2　運動性能 …… 83

第2章　強度 …… 86

2.1　船体構造 …… 86

2.2　材料強度 …… 89

2.3　接合 …… 90

第3章　建造 …… 93

3.1　造船業と造船企業 …… 93

3.2　船殻関係技術の発展 …… 94

3.3　船殻工作法の発展 …… 95

3.4　艦艇建造 …… 95

3.5　代表船紹介 …… 98

第4章　設計 …… 101

4.1　基本計画 …… 101

4.2　艤装 …… 108

第5章　機関 …… 110

5.1　海軍　ディーゼル機関 …… 110

5.2　海軍　蒸気機関 …… 111

5.3　日本海軍艦艇推進機関のまとめ …… 113

5.4　商船用ディーゼル機関の活躍と動向 …… 114

5.5　商船用タービン …… 115

第6章　海洋技術 …… 117

第Ⅳ部　世界一の造船国への道
1945年～1970年（昭和20年～昭和45年）

概観 …… 121
第1章　性能 …… 125
1.1　抵抗推進 …… 125
1.2　運動性能 …… 133
第2章　強度 …… 141
2.1　構造 …… 141
2.2　材料強度 …… 151
2.3　接合 …… 154
第3章　建造 …… 162
3.1　戦後の復興と世界一への道のり …… 162
3.2　建造技術の変遷 …… 164
3.3　艤装 …… 175
第4章　設計 …… 177
4.1　基本計画 …… 177
4.2　艤装 …… 189
4.3　システム技術 …… 191
第5章　機関 …… 195
5.1　ディーゼル機関 …… 195
5.2　商船用タービン …… 201
5.3　艦艇用タービン …… 204
第6章　海洋技術 …… 206
6.1　概要 …… 206
6.2　海底石油資源関連 …… 206
6.3　海洋エネルギーの利用 …… 207
6.4　水産関連 …… 207
6.5　海洋空間利用 …… 207
6.6　海洋調査 …… 208
6.7　海洋汚染防止機器 …… 208

第Ⅴ部　技術立国の造船技術
1970年～1995年（昭和45年～平成7年）

概観 …… 211
第1章　性能 …… 215
1.1　抵抗推進 …… 215
1.2　運動性能 …… 226
第2章　強度 …… 237
2.1　構造 …… 237
2.2　材料強度 …… 241
2.3　接合 …… 242
第3章　建造 …… 249
3.1　造船絶頂期（1970年～1974年） …… 249
3.2　構造不況の時代（1975年～1989年） …… 251
3.3　新たなる発展 …… 257
3.4　艤装 …… 259
第4章　設計 …… 269
4.1　基本計画 …… 269
4.2　艤装 …… 280
第5章　機関 …… 284
5.1　ディーゼル船機関 …… 284
5.2　商船用タービン …… 286
5.3　艦艇用ガスタービン …… 288
5.4　システム技術 …… 289
第6章　海洋技術 …… 295
6.1　概要 …… 295
6.2　海底石油資源関連 …… 297
6.3　その他海洋資源利用 …… 302
6.4　海洋エネルギーの利用 …… 303
6.5　水産関連 …… 304
6.6　海洋空間利用 …… 304
6.7　水中技術 …… 309
6.8　海洋調査 …… 310
6.9　海洋汚染防止技術 …… 312

第Ⅵ部　年表 …… 315

第Ⅶ部　写真集 …… 349

あとがき …… 501

参考文献略記一覧表

略　　号　誌　名　等
造 会 報：造船協会会報（第1号～第83号；1903年12月～1951年2月）
造 協 論：造船協会論文（第84号～第122号；1952年2月～1967年12月）
造 船 論：日本造船学会論文集（第123号～；1968年6月）

造 雑 纂：造船協会雑纂（第1号～第294号；1915年4月～1951年11月）
造 協 誌：造船協会会誌（第295号～第462号；1952年1月～1967年12月）
造 船 誌：日本造船学会誌（第462号～第750号；1968年1月～1991年12月）

関 船 誌：関西造船協会誌
西 船 報：西部造船会々報
舶 機 誌：舶用機関学会誌
航 海 論：日本航海学会論文集

船 研 報：船舶技術研究所報告
船 研 講：船舶技術研究所講演前刷集
造 研 資：日本造船研究協会研究資料
漁 研 技：水産庁漁船研究技報
水 工 報：水産工学研究所報告
水 工 技：水産工学研究所技報（漁船工学）
防 技 報：防衛庁技術研究本部技報
九 応 報：九州大学応用力学研究所所報

Trans. : Transaction
Proc. : Proceedings
INA : Institution of Naval Architects（～ Vol.101 ; ～ 1959年）
RINA : Royal Institution of Naval Architects（Vol.102 ～; 1960年～）
SNAME : Society of Naval Architects and Mechanical Engineers
ISP : International Shipbuilding and Progress
JSR : Journal of Ship Research
JFM : Journal of Fluid Mechanics
JSTG : Jahrbuch der Shiffbautechnischen Gesellschaft

企業名略記一覧表

本文、年表において、企業名は主に以下略称を用いた。

	企業略称	
石川島播磨重工業（株）	石川島播磨	（1960年～　　）
石川島重工業（株）	石川島重工	（1945年～1960年）
（株）東京石川島造船所	石川島造船	（1893年～1945年）
播磨造船所	播磨造船所	（1916年～1960年）
播磨船渠（株）（合名会社を含む）	播磨船渠	（1907年～1916年）
川崎重工業（株）	川崎重工	（1939年～　　）
川崎造船所	川崎造船所	（1986年～1939年）
佐世保重工業（株）	佐世保重工	
住友重機械工業（株）	住友重機	（1969年～　　）
住友機械工業（株）	住友機械	（1940年～1969年）
浦賀重工業（株）	浦賀重工	（1962年～1969年）
浦賀船渠（株）	浦賀船渠	（1897年～1962年）
日本鋼管（株）	日本鋼管	（1912年～1988年）
	NKK	（1988年～　　）
鶴見製鉄造船（株）		（1936年～1940年）
（株）浅野造船所	浅野造船所	（1916年～1936年）
日立造船（株）	日立造船	（1943年～　　）
大阪鉄工所	大阪鉄工所	（1881年～1943年）
三井造船（株）	三井造船	（1942年～　　）
（株）玉造船所	玉造船所	（1937年～1942年）
三井物産（株）船舶部	三井物産	（1917年～1937年）
三菱重工業（株）	三菱重工	（1934年～1950年／1964年～　　）
三菱日本重工業（株）	三菱日本重工	（1952年～1964年）
新三菱重工業（株）	新三菱重工	（1952年～1964年）
三菱造船（株）	三菱造船	（1952年～1964年）
東日本重工業（株）	東日本重工	（1950年～1952年）
中日本重工業（株）	中日本重工	（1950年～1952年）
西日本重工業（株）	西日本重工	（1950年～1952年）
三菱造船（株）	三菱造船（長崎）	（1917年～1934年）
三菱合資会社長崎造船所	三菱長崎造船所	（1993年～1917年）
横浜船渠（株）	横浜船渠	（1893年～1935年）
運輸省船舶技術研究所	船研	（1963年～　　）
運輸省運輸技術研究所	運研	（1950年～1963年）
逓信省船舶試験所	船舶試験所、目白水槽	（1927年～1950年）
逓信省船用品検査所	船用品検査所	（1916年～1927年）
東京大学生産技術研究所	東大生研	（1949年～　　）
海洋科学技術センター	海技センタ	（1971年～　　）
新日本製鐵（株）	新日鉄	
（社）日本海洋開発産業協会	JOIA	
日本海洋掘削（株）	JDC	
三井海洋開発（株）	三井海洋	（　　～1989年）

日本造船学会の沿革

1. 事業の来歴

1894年（明治27年）6月に6名の同志により造船協会設立の協議が行われたが、日清戦争の勃発に遇い中断された。1896年（明治29年）11月29日さらに他の同志を加え東京築地水交社に会合して設立を協議し、翌1897年（明治30年）4月1日に「造船協会趣意書」を発表した。創立者は、若山鉉吉、辰巳一、内藤政共、臼井藤一郎、黒部広生、山口辰弥、松尾鶴太郎、寺野精一、佐雙左仲、三好晋六郎、進経太、須田利信の12名の諸氏であった。事務所は東京市京橋区山城町の日本工学会内に置いた。趣意書にはこのように唱われている。

「今や我国帝國海軍の拡張に伴い、海運の事業又大いに伸興す。而して其結果として、船舶の需要益々多きを告ぐ。ここに於いて船舶製造の業また其振起を畫し、此需要に応ずるの策を立てざるべからず。抑も造船の業たるや、海軍に在ては其勢力の如何に影響し、通商貿易に在ては其盛衰之に伴い、其振不振の関する処重且大なりと言う可し。故に苟も此業に従事するものは、専ら学術の研究と実地の経験とに因り、改良進歩を計り、益々発達隆盛に赴くの途を講ぜざるべからず。依って我等同志者茲にかんがみ、造船技術者、艦船の乗員、造兵技術者、船舶司検員及港湾船渠、其他船舶に関係ある事業に従事する緒彦を糾合し、其協力に頼り、ともに造船及之に関聯する技藝學術を研究し、其知識を交換し、勉めて諸般の改良進歩を計り、大いに斯業をして發達隆盛に到らしめんことを目的とし、ひとつの団体を組織し、之を造船協會と名づけ、別冊の通其規則を定めたり。大方有志の各位我等同志者の微衷のある処を容れ、此擧を賛成し、速に入會せられ、ともに本會の趣旨を貫徹せしめられんことを希望の至りに堪へざるなり。明治三十年四月」

初代会長は赤松則良（海軍中将男爵）が就任し、「造船協会規則」により第1回総会を1897年（明治30年）9月18日に開催した。当時会員数は計181名（名誉員27、賛成員14、正員54、協同員26、准員60）であった。

1898年（明治31年）10月14日の役員会において本会定款を議決し、翌10月15日付で社団法人の申請をした。同年11月29日付で認可がおり、12月13日に登記を完了した。翌1899年（明治32年）7月15日開催の臨時総会において本会細則を議定した。

1897年（明治30年）12月に「造船協会年報」第1号を発刊し、第1回総会の記事と会員からの寄稿4件を掲載した。寄稿された論文題目は次のようであった。

「船舶の進水摘要」　佐雙左仲・松尾鶴太郎



初代会長　赤松則良

「軍艦八島公試運転成績」　佐雙左仲

"Effect of Inertia of Moving Parts of an Engine on Piston and Crank Pin Effort"　井口在屋

「神奈川丸外五艘速力試験成績」　三好晋六郎

また翌1898年（明治31年）7月17日の第2回総会にあわせ初めて講演会を開催し、5件の論文が発表された。以後、毎年総会と同時に講演会が開かれている。発表された論文題目は次のようであった。

「水管式気罐」　宮原一郎

"An Improvement to Amsler's Planimeter"　Prof.Hillhouse.,B.Sc

"A Modern Battleship and her Engineers"　A.R.Pattison

「船舶の大小及び速力と積載量の関係」　辰巳一

「船舶製造上の統計に就いて」　佐雙左仲

1903年（明治36年）7月、大阪において臨時講演会を開き、6件の論文が発表された。これは第1回の地方大会となった。

1903年（明治36年）12月、それまでの「造船協会年報」を第6号で終了し、代わって「造船協会会報」第1号を発刊し内容の充実を図った。その後の刊行誌は次の推移をたどり、今日に至っている。

誌名	号数	刊行年月
造船協会年報	1～6	明治30.12～明治35.12
造船協会会報	1～83	明治36.12～昭和26.2
（造船協会会報附録）	1～5	明治42.11～大正3.4
造船協会雑纂	1～294	大正4.4～昭和26.12
造船協会雑纂附録時報	1～17	昭和21・7～昭和23・5

造船協会誌	295～462	昭和27.1～昭和42.12
造船協会論文集	84～122	昭和27.2～昭和42.12
日本造船学会論文集	123～	昭和43.6～
日本造船学会誌	463～750	昭和43.1～平成3.12
TECHNO MARINE（日本造船学会誌）	751～	平成4・1～
J.of Marine Science and Technology	1～	平成7.12～

1906年（明治39年）2月、政府当局に船型試験水槽設置に関する建議を進言した。これが造船協会が当局に進言した最初の調査事業である。後1915年（大正4年）に設置した内地造船業振興調査会においても本件を取上げ、さらに1921年（大正10年）船舶試験所調査会が設置され、船舶試験所に関する調査報告書を逓信大臣に提出した。

日本造船史の編纂の組織的な動きはこのころより始まり、1906年（明治39年）に「日本近世造船史」（明治時代）の編集に着手した。以来5年の歳月を経て1910年（明治44年）に刊行し、天皇・皇后両陛下にも献上された。

東京帝国大学教授三好晋六郎在職25年を記念し、同志による募金が行われ本会に寄付を受けたので、1909年（明治42年）4月の臨時役員会において、これを基金として三好奨学資金を設けることを決定した。これにより1910年（明治43年）6月第1回懸賞論文を募集し、同年11月応募16件中3件に授賞した。続いて、1912年（明治45年）3月には三好奨学資金により奨学褒賞が制定され、工科大学造船科、同舶用機関科、大阪高等工業学校造船科、同舶用機関科、工手学校造船科の各首席卒業生に賞品が贈呈された。三好奨学資金についで寺野奨学資金（1917年）、岩永奨学資金（1919年）、小嶋奨学資金、藁科奨学資金（1920年）、野村奨学資金（1925年）、今岡奨学資金（1934年）などがあり、学術向上に貢献した会員や委員会等への授賞に充当された。

阪神地方在住の会員からの意向にもとづいて、関西地区の会員有志（大阪商船：小島精太郎、川崎汽船:田中泰董ほかの諸氏）の発議により1912年（明治45年）5月に造船協会阪神倶楽部が設立された。当初会員は184名であり、翌1913年（大正2年）4月に神戸、大阪にて阪神倶楽部の臨時大会が開催された。現在の関西造船協会の母体となり、1943年（昭和18年）に阪神倶楽部を関西造船協会と改組した。



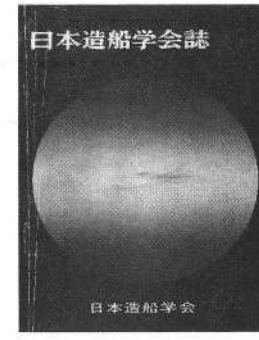
造船協会会報
第1号



造船協会雑纂
第1号



造船協会誌
初号



日本造船学会誌
初号



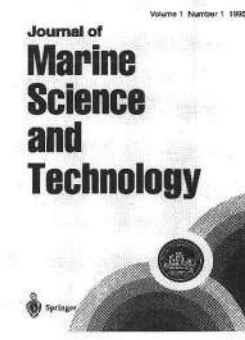
TECHNO MARINE
初号



造船協会論文集
初号



日本造船学会論文集
初号



Journal of Marine Science and Technology
第1巻第1号

日本の貨物船建造費が海外と比べ著しく高価であり、その原因と改善方法を調査するため、1912年（大正元年）12月に船価調査会を設置し、委員24名を委嘱して材料・工費・金融および造船、海運関係者の申合せの4部門に分け約1年半にわたり調査し、1914年6月にその結論を発表した。

当時の時局に際し、日本造船業の振興が急務となり、その方途を研究するため、1915年（大正4年）5月に内地造船業振興調査会が設置され、

(1) 国内鉄鋼材供給に関する件
(2) 国内補助工業促進に関する件
(3) 船舶研究所設立に関する件

の3部門に分け21項目に付き審議し、翌1916年11月詳細な報告書を会長に提出した。

1916年（大正5年）6月、農商務省鉱山局長より本会に対する諮問に応えて鋼質鋼材標準規格調査会を設置し、構成鋼材、鍛鋼、鋳鋼の3項目につき調査研究し、翌年5月に答申書を提出した。

同年、船舶用術語選定調査会を設置し、委員37名により術語集の編集に着手した。その後、関東大震災により原稿を焼失するなど幾多の困難に遭遇したが、12,100余の語数を掲載して1932年（昭和7年）1月に刊行の運びとなった。

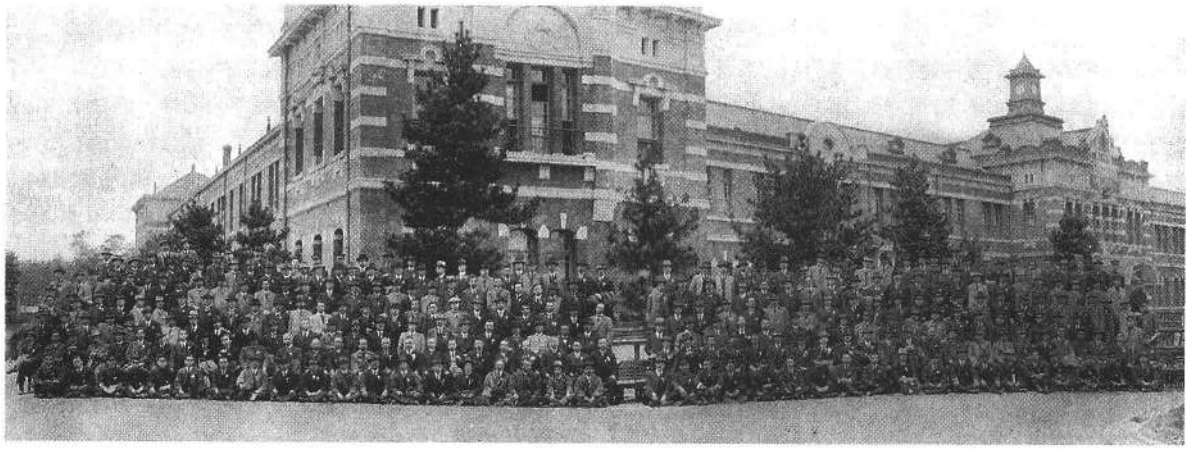
1917年（大正6年）4月、第1次世界大戦中にわが国造船業界の採るべき方策につき調査研究するため、造船対策に関する臨時調査会を設置し、

(1) 造船奨励金下附停止に関する件
(2) 米国材禁輸に関する件
(3) 鉄鋼材の調節および独立自給の方法に関する件

につき審議し、第1および第2項は1919年（大正8年）3月に逓信大臣に意見書を提出した。第3項はその複雑性のため他学会とも共同調査し、1917年（大正6年）12月に審議結果を政府当局に建議した。また同年、鉄鋼材の需給調節および製鉄業促進に関する調査会を設けて、6学会（日本鉄鋼協会、造船協会、機械学会、電気学会、建築学会、火兵学会）共同で組織し、その覚書を首相および関係各省大臣あてに提出した。

日本工学会主催の連合工業調査会に参加し、1920年（大正9年）に工業教育機関（高等、中等、初等）の制度・組織にわたる教育刷新案を発表した。1917年12月、工業材料機械類統一調査会が設置され、農商務省商工局長からの諮問に応え、委員16名を委嘱し審議の結果を答申した。これはわが国現行メートル法の先駆となったものである。1918年（大正7年）3月、造船用鋼材の需給を円滑にするため標準貨物船型制定調査会を設け研究審議し、その成案を逓信大臣に提出した。

1920年（大正9年）4月、機械学会との合同大会が九州帝国大学工学部において開催され、同年6月には東京において、英国I.N.A.の副会長J.F.Kingによる"Classification of Ships"と題して特別講演を行った。1922年（大正11年）は本会創立25周年にあたり、10月28日東京市麹町区帝国ホテルにおいて記念祝賀会が開催された。



九州大学における造船協会・機械学会連合臨時大会（1920年）

近藤記念海事財団より寄付を受けて1923年(大正12年)6月に「日本近世造船史」(明治時代)の続編として、「日本近世造船史」(大正時代)の編集に着手した。中途関東大震災に遭遇し多大の困難を生じ、完成には12年の年月を要し、昭和10年に刊行することとなった。

1923年(大正12年)7月、船舶用品基準統一に関する建議書を逓信大臣に提出した。1925年(大正14年)に商工省内の工業品規格統一調査会において船用品の規格統一に着手することになり、これに呼応して本会も船用品規格統一調査会を設置し、多数成案を得てこれを商工省に提出した。本調査会は昭和8年まで存続した。

1923年(大正12年)9月の関東大震災による被害のため事務所を一時東京帝国大学工学部船舶工学科内に移した。震災のさなかにも活動が続けられ、同年12月には、会員からの提議を審議し、造船振興調査会を設置した。技術、政策、経済の3部門に分け、多方面にわたる調査研究を重ねて1925年(大正14年)末に調査を完了した。本調査会は北米航路優秀貨物船建造の促進に関して積極的な活動を行い、本会を含む10団体連名の建議書を各関係大臣に提出した。翌1926年帝国議会において約1万4千GT、18Kディーゼル推進の船舶3隻の建造補助金支給の予算案が通過した。

九州地区の同志、野中季雄(九州帝国大学)、斯波孝四郎(三菱長崎造船所長)らの主唱により1924年(大正13年)1月九州造船会が設立し、当初の会員は391名であった。その後1949年(昭和24年)に西部造船会として新発足した。

1924年6月本会会員よりの提議により、試験水槽成績表現法調査会を設置し、調査研究を開始した。これは後に1941年(昭和16年)設置の試験水槽委員会の発端となった。

当時商工省において国産振興会を設置し各種の調査研究を行っていたが、本会はこれに策応し、1926年(大正15年)7月、それまでの造船振興調査会を解散して新たに国産振興調査会を設置した。国産振興会よりの諮問に係る造船用鋼材並びに国内船用品製造所に関する調査研究を行った。優秀旅客船の国内建造費が外国製に比し著しく高価であり対応策を講じるため、1928年(昭和3年)12月に本調査会を解散し、新たに第2次造船振興調査会を設置して調査研究の結果を取りまとめ、1931年に報告書を提出した(造船協会雑纂第117号附録)。

1929年(昭和4年)10月東京において開催された工学会主催万国工業会議に本会は第9部門(造船・造機)として参加し、29件の論文(うち日本から15件)が発表された(造船協会雑纂第91号および第92号)。1931年(昭和6年)11月に造船・機械・火兵・土木・建築の5学会による応用力学連合大会に参加し、合計68件のうち造船13件の講演を行った。翌1932年4月には第2回工学会大会に参加し、平賀譲の「帝国軍艦の進歩」と題する講演が行われた。また4月6日夜ラジオにより同氏の「我工学界の現状」と題する講演が放送された。

すでに内燃機船の船体機関に特有の事故・損傷の原因調査を行っていたが、1932年(昭和7年)1月、帝国海事協会より関連の調査依頼があった。また高速船に生じる特殊海難の原因およびその防止法について同年6月逓信省臨時海難防止調査会から調査依頼あり、これらを併せ審議するため内燃機船調査委員会を設置し、各方面の協力を得て調査を進め、1935年(昭和10年)5月に調査を完了した(造船協会雑纂第166号に収録)。

1934年(昭和9年)4月、商工省工業規格統一調査会からの照会に対し、陸用汽罐規格審議会を設置し、同年5月答申案を提出した。また1925年(大正14年)6月に発足した第1次船用品規格統一調査会は当初の計画を完了し、1933年(昭和8年)12月に一旦閉会としたが、その後、造船連合会および商工省臨時産業局よりの要望もあり、1934年(昭和9年)9月改めて第2次船用品規格統一調査会を設置した。

さきに刊行の「日本近世造船史」(大正時代)の後をうけ、その続編を刊行のため造船史編集委員会を設け1936年(昭和11年)7月、「日本近世造船史」(大正・昭和時代)の編集に着手した。第3回日本近世造船史編集委員会はその後昭和16年頃には委員33名を数えた。

1937年(昭和12年)は本会創立40周年の年であり3月31日～4月1日にわたり東京市麹町区日本工業倶楽部において40周年記念祝賀会が開催された。祝賀式典には2件の記念講演があり、出席者は300余名に達した。講演会では8件の講演が行われ、見学会では工場見学のあと富士五湖・箱根並びに大島巡覧の一泊旅行を行った。造船協会雑纂第181号(1937年3月)および同会報第60号(6月)を記念号とするとともに「造船協会40年史」を刊行した。

1938年(昭和13年)6月、日本航空学会並びに機械学会との連合大会を開催し、東京帝国大学航空研究所の長距離機周回飛行成功記念講演会と晩餐会を催した。

また同年、英国ロンドンで開かれた造船造機国際会議に本会代表として遠山光一、長野利平を派遣し、本会からの代表論文(船舶動揺に関する渡辺恵弘の論文)を遠山が代読した。引続いてグラスゴーで開かれた万国工業

会議にも両氏が出席した。

1939年（昭和14年）3月、「造船便覧」編集準備委員会が設立され、準備作業につづいて「船舶工学便覧」編集委員会が設置され、便覧の編集に着手した。

1924年（大正13年）設置の試験水槽表現法調査会は所期の目的を達成したので解散し、代って船型試験研究の発達を図るため1941年（昭和6年）3月、試験水槽委員会を設置した。当初は18名の委員で構成されたが、のち1949年に流体力学全体を含む組織に拡大された。

1942年（昭和17年）3月、時局下外国文献の入手が困難となり、研究の自給自足が緊急の要務となった実状に鑑み、本会独自の立場で船舶技術研究の促進具現を図るため造船研究準備委員会を設置し、技術委員会設置の方針が打出された。これにより同年4月に研究の運営・推進の母体として研究委員会設置のこととなり、山本武蔵委員長以下、第1部会（井口常雄主査、委員19名、幹事2名）、第2部会（玉井喬介主査、委員27名、幹事2名）、第3部会（朝永研一郎主査、委員19名、幹事2名）並びに主査会の組織を発足し、さらに12の研究委員会が設けられ活動を開始した。

第1部会（造船・造機・基礎科学）

第2部会（造船設計・工作）

第3部会（造機設計・工作）

本委員会は、その成果を当局に進言し時局に寄与してきたが、戦後の実情に照らし本委員会は1946年（昭和21年）6月に解散し、継続すべき委員会は別個に実施することとした。

1944年（昭和19年）5月、時局下、春季講演会が中止され、会報は第72号、雑纂は第266号以降休刊となった。1946年（昭和21年）7月に戦後初めての雑纂第267号が復刊されたが、時局柄毎月の刊行は困難なため同誌の時報欄を分離し雑纂附録として毎月刊行のこととした。この附録時報は1948年（昭和23年）5月第17号をもって廃止された。1945年（昭和20年）3月10日の空襲により事務所が全焼したため、東京大学第1工学部船舶工学科講師室内に仮事務所を置いた。その後1946年（昭和21年）12月に東京都麹町区丸ノ内の日本工業倶楽部に事務所を移転した。

1946年（昭和21年）5月5日、戦後初の第49期春季講演会が、東京大学第1工学部第3号館において開催され、約9時間にわたり13件の論文が発表された。来会者は約280名に達した。同年7月、戦前・戦時中陸海軍その他において考案あるいは実施された研究で当時機密取扱その他の理由で公表されなかったものを関係者に収録・執筆を依頼するため特殊研究集録委員会を設置し、翌1947年まで活動を続けた。

1946年（昭和21年）7月の評議員会の議決により、先に解散された技術委員会に代る研究委員会を設置することとなり、研究委員会が次々に準備委員会を設け検討を重ね、委員会の発足に至った。

委員会名	委員数	発足年月
電気熔接研究委員会	25名	1946年11月
木船研究委員会	17名	1946年10月
鋼船工作法研究委員会	20名	1946年11月
漁船研究委員会	12名	1946年11月
造船設計法基準制定委員会	17名	1948年11月
船体構造研究委員会	65名	1950年12月

1947年（昭和22年）3月、文部省に学術用語制定委員会が設置され、その原案作成のため、船舶工学術語改訂委員会を設けた。当局において学制改革が講じられているのに呼応し、同年5月本会においても造船教育制度を調査研究するため造船教育制度調査委員会を設け、同年7月に造船技術の方策に関する報告書を会長に提出した。本報告書は海運・造船関係14団体連名で建議し、事務処理は日本海事振興会に一任のこととした。その後本委員会は1948年半ばまで存続した。

1943年（昭和18年）6月第72号以来休刊となっていた造船協会会報が1947年（昭和22年）10月に第78号から復刊された。1947年（昭和22年）に創立50周年を迎え、11月に日本工業倶楽部において記念式典と記念講演を開催した。会報第80号を記念特集号とした。

従来授賞または懸賞論文の審査はその都度適当な審査員を選び、また講演論文は要旨を理事会に提出して承認を受けていたが、より民主的な審査を行うため1948年（昭和23年）1月、論文審査委員会を設置した。

1939年（昭和14年）10月に編集に着手した「船舶工学便覧」は5分冊に分けて刊行することとした。1950年（昭和25年）5月に先づ第2分冊が刊行された。以後次の通り刊行された。

第1分冊　昭和28年　6月

第2分冊　昭和25年　5月

第3分冊　昭和25年　11月

第4分冊　昭和27年　7月

第5分冊　昭和26年　10月

索　　引　昭和29年　8月

1953年（昭和28年）になり、「船舶工学便覧」は15年を経過したことから改訂を要する箇所も多々あるため、改訂準備委員会を設置し、6つの小委員会に分れ審議し

た。翌1954年より改訂委員会として発足した。

1951年（昭和26年）11月、第1回応用力学連合講演会が開催され、造船協会を含む7学会が参加した。本講演会は、その後毎年開催のこととなった。 文部省学術奨励審議会学術用語分科審議会の要請により、1955年（昭和30年）学術用語集正誤委員会を設置し、用語集の正誤を審議しこれに協力した。「学術用語集船舶工学編」（文部省編集）は1955年（昭和30年）12月に発行された。

1956年（昭和31年）11月に本会60周年記念事業実行委員会を設置し、翌1957年7月20日海の記念日を期して創立60周年記念式典と講演会を開催した。また同日、日本試験水槽史に関する懇談会が開かれた。会誌第388号を記念特集号とするとともに60周年記念事業の一環として英文による記念叢書の刊行を計画した。翌1957年1月に記念事業実行委員会の中に出版委員会を設けて編集に着手し、7月に第1・2巻を刊行した。これには造船の各分野にわたる書下し論文を収め、5年間にわたり、第13巻まで刊行された。



造船協会創立60周年記念晩餐会（1957年）

1958年（昭和33年）5月に、本会の第61期春季講演会・見学会を関西造船協会・西部造船会と3学会連合大会として名古屋商工会議所において開催し、講演会には計61件の論文発表が行われた。大会参加者は延約330名に達し、以後3学会連合大会は例年行われることとなった。

1958年（昭和33年）11月、これまでの鋼船工作法研究委員会のなかの機関艤装委員会を分離独立して艤装研究委員会（幹事4名、委員30名）を発足した。また翌1959年、本会内における造機部門強化のため次の4つの研究委員会が設置された。

(1) 造機研究連絡委員会（委員31名）
(2) 蒸気機関研究委員会（委員19名）
(3) 内燃機関研究委員会（委員24名）
(4) 補機研究委員会　（委員11名）

艤装研究委員会は1963年（昭和38年）6月「機関艤装」（全5巻）の第1巻を発刊した。また同年、造機関係の研究委員会を整理統合し、蒸気機関、内燃機関、補機の3研究委員会を廃止し新たに造機研究委員会を設けた。

1959年（昭和34年）10月、第1回船体構造シンポジウムが神戸にて開催され、参加者は115名に達した。また同年11月には東京にて第1回試験水槽シンポジウムが開催され、参加者は100名に達した。

「改訂船舶工学便覧」の第1分冊が1960年（昭和35年）10月刊行され、つづいて第2分冊は昭和37年2月に刊行された。1961年（昭和36年）12月に「わが国造船造機技術の展望」が英文「Technical Progress in Shipbuilding and Marine Engineering during 1960」として刊行され、広く海外へも配布された。これ以後本誌は毎年1回刊行することとなった。

これまでの造船設計基準制定委員会はほぼ当初の目的を達したので解散し、新たに1962年（昭和37年）1月造船設計委員会（委員46名）が設置された。

1963年（昭和38年）1月、従来の日本船舶工業会はモーターボート競走法の一部改正に伴い、同会並びに全国モーターボート競走会連合会より財産事業を継承して（財）日本船舶振興会として発足した。昭和38年度に同振興会に「英文造船造機技術の展望」並びに「造船技術に関する国際会議協力」に係わる補助申請を行った。

1964年（昭和39年）1月、第11期国際試験水槽会議（ITTC）の日本組織委員会を設置し、2年後の1966年10月に日本ではじめてのITTCを開催した。これは本会が組織するはじめての国際会議であり、海外からは19ヶ国82名、日本からは代表29名、オブザーバー47名が参加した。

1966年（昭和41年）4月、（社）日本舶用機関学会が創立され、事務所を舶用工業会内に置いた。同年、本会70周年記念事業実行委員会ならび昭和造船史出版委員会が設置され、翌1967年5月に例年の三学会連合講演会に引続いて、記念講演ならびに記念式典を行い、参加者は200名に達した。会誌第459号を記念号とした。また創立70周年を機に、本会基金4,000万円の設定を計画し、関係方面の協力を求め募金を開始した。

1967年（昭和42年）11月開催の第70期年度通常総会において

(1) 会名を「日本造船学会」と改める件
(2) 資産および会計に関する定款条項を明確に改める件

を議決した（1968年2月認可）。会名変更は1968年1月から実施され、併せて会誌を「日本造船学会誌」（463号、



第11回　国際水槽会議（1966年）

1968年1月以降）、論文集を「日本造船学会論文集」（123号、1968年6月以降）と改題することとした。1968年（昭和43年）3月、創立70周年記念事業の一環として計画された「英文論文集」（Selected Papers from the Journal of the S.N.A. of Japan）第1巻が刊行された。本書は日本船舶振興会の補助事業として、広く海外にも配布された。その後1977年3月、第14巻まで刊行され、1978年3月第15巻からは書名を Naval Architecture and Ocean Engineering と改め毎年1巻刊行のこととなった。

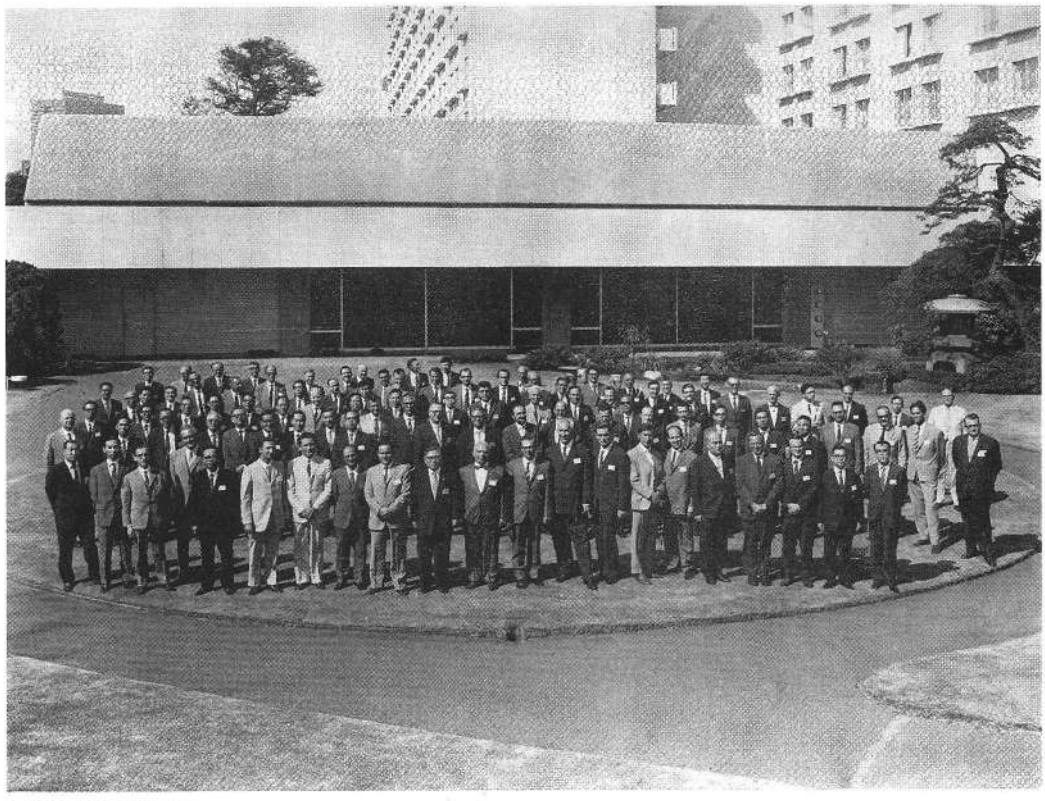
1970年（昭和45年）8月、東京にて第4回国際船体構造会議（ISSC）が開催され、12専門委員会に分れ講演と討議が行われた。参加国は20ヶ国、出席者は外国人75名、日本人47名、計122名に達した。つづいて9月に、ISSCのために来日のJ.H.Evans, J.B.Caldwell, J.Moeの3教授による船体構造に関する特別講演会を開催し、参加者は約160名に達した。

1971年（昭和46年）4月、国際事業の活発化を図るため、日本船舶振興会助成金ならびに業界分担金により、昭和46、47年度に基金（総額1億5千万円）を設定のこととし、これにより同年8月事務局に国際部を新設した。

同年11月26日、東京にてオランダ船型試験水槽所長J.D. van Manenの「Scientific Industrial Service in Marine Technology」と題する特別講演会を開催し、来会者は約100名であった。また翌1972年4月にE. Abrahamsen（N.V.船級協会）、H.G.Schultz（独ロイド協会）の両氏による船体構造設計に関する特別講演会を開催し、来会者は約150名であった。講演論文を論文集第132号に掲載した。同年、従来の造船技術国際会議連絡委員会を解散し、新たに造船技術国際交流委員会を設置した。



創立70周年記念式典晩餐会（1967年）



第4回　国際船体構造会議（1970年）

1972年（昭和47年）9月、造船所の自動化に対する電算機の利用に関する国際会議（ICCAS）の日本組織委員会を設置し、翌1973年8月に東京にて、IFIP（国際情報処理学会連合）およびIFAC（国際自動制御連盟）との共催で開催された。7つのセッションに分れ論文54件（日本24、外国30）が発表され、参加者は353名（日本243、外国110）に達した。

海洋工学委員会が1973年（昭和48年）6月に設置され、委員会は構造・性能・設計の3分科会からなり活動を開始した。翌1974年11月、東京にて第1回海洋工学シンポジウムを開催し、7件の講演が行われ、参加者は200名に達した。

「昭和造船史」の編纂は1966年9月以来、幾多の困難に遭いつつ努力を重ねてきたが、1973年（昭和48年）11月に先づ第2巻戦後篇を刊行した。昭和造船史出版委員会は引続き第1巻戦前戦時篇の編集に取りかかった。1975年（昭和50年）6月、昭和造船史戦前篇のため収集された旧海軍の艦艇図面を纏め、「昭和造船史別冊・日本海軍艦艇図面集」として刊行した。

1977年11月、昭和造船史出版委員会は「昭和造船史第1巻・戦前戦時篇」を刊行し、これにより1966年に設置された本委員会はその使命を果し解散した。

1975年（昭和50年）8月、本会初めての試みとして、中堅技術者を対象とする「新しい造船学」の第1回夏季講座を開催した。設計技術者コース、管理・工作技術者コースについて計16件の講義が行われ、参加者は125名に達した。本夏季講座は以後毎年開催されている。

1975年（昭和50年）造船業界並びに学界の長期ビジョンを検討するため、新たに長期検討委員会を設け、その下部機構として技術予測小委員会を設けた。翌1976年5月、春季大会において長期検討委員会予測小委員会で行っている造船技術の展望についての報告を兼ねてパネルディスカッションを行い、参加者は約120名に達した。長期検討委員会は、1986年（昭和61年）6月にその目的を達したので解散し、下部機構の未来像検討小委員会を未来像検討委員会として発足させた。

1976年（昭和51年）2月、東京にて国際造波抵抗セミナーが開催され、6つのセッションについて論文15件（日本8、外国7）が発表され、参加者は148名（日本118、外国30）に達した。つづく関西集会は大阪にて開催され、105



日本近世造船史
（明治時代）



日本近世造船史
（大正時代）



昭和造船史第１巻
（戦前編）



昭和造船史第２巻
（戦後編）



昭和造船史別冊・日本海軍艦艇図面集

名（日本80、外国25）の参加のもと4つのセッションにわたり、論文発表と討論があった。本セミナーは日本学術会議、関西造船協会、西部造船会の協賛を得て、日本学術振興会、日本船舶振興会の補助によって行われた。

同年（昭和51年）9月、東京大学名誉教授吉識雅夫より文化功労者の賞金を基とし300万円の寄付を基に造船技術賞（吉識賞）を設定し、選考委員会を設け、毎年わが国造船技術または学術の進歩発展に顕著な功績のあった会員に本賞を授与することとした。



第１回吉識賞表彰　長谷川鍵二氏（左）

同年11月、システム技術委員会を発足し、鋼船工作法委員会NC（数値制御）委員会は本委員会に吸収された。翌1977年5月には、造機研究連絡委員会を解散し、委員は全員造機研究委員会委員として合流した。

1977年（昭和52年）5月、東京にて創立80周年記念式典および記念講演会（4件）を開催し、参加者は130余名に達した。会誌第581号（1977年11月）を記念号とした。80周年記念事業の一環として、実際的な造船設計に関するシンポジウム（PRADS）を東京・笹川記念会館において開催した。東南アジア5ヶ国の学会長の招待講演が行われ、計56件の論文（日本21、外国35）が発表された。参加者は世界27ケ国から245名（日本155、外国90）に達した。

「学術用語集・船舶工学編」（文部省編集・1955年12月刊行）に代り、原子力・システム・海洋などの新分野を含めた新しい船舶工学用語集を編集するため1981年（昭和56年）3月、船舶工学用語集編集委員会を設置した。研究委員会に属する57名を編集委員として構成し、日本船舶振興会補助事業として3年間にわたり活動し、1984年2月に「船舶工学用語集」（公刊前報告書）を発刊した。

1972年より会費請求・徴収と評議員選挙投票集計に関する事務は電算処理されてきたが、その後工学系の多くの学協会に漢字処理システムを含む業務電算化が普及してきたことに鑑み、本会会務委員会は新システム採用について検討し、会費管理システムを採用することになった。1982年4月以降会員原簿の管理、会員名簿の作成、会誌・論文集の発送ラベル作成、会費の請求と徴収、選挙の投票集計などが新システムに移行した。その後、経費の節減・会員に対するサービスの向上を目指して、1987年に本方式の利害得失を再検討し、大型コンピュータによる処理方式から事務局におけるパーソナル・コンピュータ処理に切換えた。

1982年（昭和57年）10月、運輸省・日本船舶振興会の



PRADS'77（1977年）

後援、日本海事協会、日本造船工業会、日本船主協会の協賛により船舶等の復原性に関する国際会議(STABILITY'82)が東京・笹川記念会館において開催された。参加者は18ケ国・1国際機関より229名、発表論文は14ケ国55件を数えた。つづいて翌1983年、第2回PRADS'83が開催された。大韓造船学会との共催により、東京セッションとソウル・セッションを催し、発表論文は80件、参加国は25ケ国、参加者375名に及んだ。また、第5回海洋および極地工学に関する国際シンポジウム(OMAE'86)の準備委員会につづいて日本組織委員会および実行委員会が設置され、1986年4月に米国機械学会および関連学会との共催で東京にて開催された。53セッションにわたり368件の論文発表があり、参加者361名、参加国20ヶ国に達した。

1983年（昭和58年）2月、将来技術検討委員会が設置され、21世紀に向けて日本国内のみならず海外の予想される先端技術について2ケ年計画で調査検討を行なうこととなり、委員12名を委嘱した。1985年5月の春季講演会を利して最終報告「21世紀へ向けての造船関連技術開発課題」を発表した。本委員会は1986年5月に解散した。

1983年、試験水槽委員会の第1部会、第2部会をそれぞれ推進性能研究委員会と運動性能研究委員会に昇格し、試験水槽委員会は水槽機関の管理、運用にかかわる課題の検討、審議を行う機関として存続した。

1984年2月に完成した船舶工学用語集に対する修正意見等を容れて用語集の出版が承認され、船舶工学用語集出版委員会が設置され出版準備に着手した。1986年2月に和英対照解説付の船舶工学用語集が刊行された。

1987年（昭和62年）5月、東京・日本造船振興財団会議室において、創立90周年記念式典ならびに記念講演（前会長講演および懸賞論文8件）を行った。会誌第700号（同年11月）を記念号とした。



創立90周年記念式典晩餐会（1987年）

1985年より準備を進めてきた第18回国際試験水槽会議本会議（ITTC）が1987年10月、神戸国際会議場において開催された。理事会・評議会および9技術委員会ならびに3グループの報告および討論会が開催され、参加者223名、参加国25に達した。

新企画ワーキンググループの事業として1988年（昭和63年）11月、12月および翌年3月の3回にわたりイブニング・セミナーを開催した。1990年（平成2）年6月、操船シミュレータを運営している機関の国際組織IMSFの第5回MARSIMと、船の操縦性能推定法に関する国際会議第2回ICSMとを合同して東京・日本海運倶楽部において開催した。18ケ国から286名の参加者が集まった。

1990年（平成2年）に各年度において技術的・芸術的に最も優れた船舶を"Ship of the Year"として表彰する制度を創設した。また、船舶工学および海洋工学分野における若手研究者の創造的研究を奨励し、広く技術の発展を促すため、文化功労者顕彰を受けられた東京大学名誉教授乾崇夫からの賞金の寄付により日本造船学会奨励賞（乾賞）が設けられた。

1991年（平成3年）5月、中国造船工程学会代表団5名が来日し、第94期年度通常総会に出席し、陸団長より中国造船工程学会について講演があった。1991年（平成3年）5月、第4回船舶海洋システム設計に関する国際会議（IMSDC'91）が神戸国際会議場で開催され、220名の参加のもと招待講演4件、一般講演50件があった。

日本造船学会誌第751号（平成4年1月号）から会誌名称をTECHNO MARINEに変更し、隔月の特集号の発行、論文集収録論文の概要掲載、カラー図版の使用、増頁等も行った。1992年（平成4年）9月、第18回夏季講座として第2回新しい造船学シンポジウムを開催した。これ以降の夏季講座は日本学術会議造船学研究連絡委員会主催で行われることとなった。

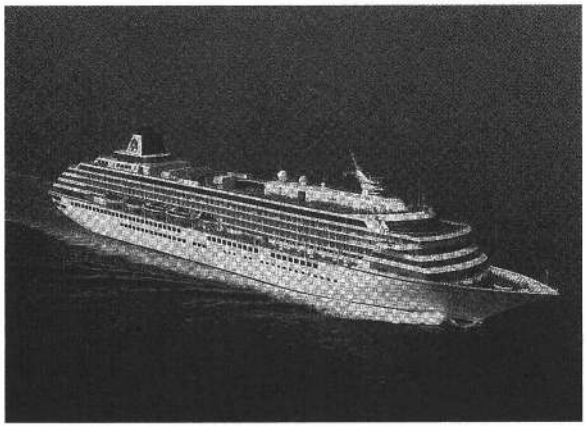
1992年（平成4年）11月の大韓造船学会40周年記念式典、翌1993年5月の中国造船工程学会50周年慶祝大会、さらに同年7月の米国造船造機学会百周年記念式典に本会会長らが招待され出席した。

1993年11月、第2期の将来技術検討委員会が設けられた。第1期の委員会設立以降の日本造船業を取り囲む環境およびテクノロジーの大きな変化を鑑み、造船業として開発すべき技術項目を新たに洗い出しを行った。

1993年（平成5年）12月、高速海上輸送に関する国際会議（FAST' 93）が横浜で開催された。462名の参加者のもと、展示会と並行して論文143編の発表があった。1994年（平成6年）12月、本会創立70周年記念事業に端を発する英文論文集がVol. 31を以て終刊となつた。以後、オリジナル英文論文を集めたJournal of Marine Science and Technology（季刊）を発行することとなり、1995年12月に第1号が発刊された。同年9月、海洋環境保全のテクノロジーに関する国際会議（MARIENV' 95）が開催された。



高速海上輸送に関する国際会議FAST'93（1993年）



第1回　Ship of The Year受賞「クリスタル・ハーモニー」

2. 歴代会長



初代会長　赤松　則良
1897年9月～1918年4月



第2代　寺野精一
1918年4月～1920年11月



第3代　近藤　基樹
1920年11月～1922年10月



第4代　山本　開蔵
1922年10月～1925年11月



第5代　今岡純一郎
1925年11月～1928年11月



第6代　末廣　恭二
1928年11月～1931年11月



第7代　今岡純一郎
1931年11月～1933年11月



第8代　藤島　範平
1933年11月～1935年11月



第9代　斯波孝四郎
1935年11月～1937年11月



第10代　平賀　　譲
1937年11月～1939年11月



第11代　重光　　葵
1939年11月～1941年11月



第12代　元良信太郎
1941年11月～1943年11月



第13代　山本　武蔵
1943年11月～1945年11月



第14代　井口　常雄
1945年11月～1947年11月



第15代　渡辺　賢介
1947年11月～1949年3月



第16代　横山　　渉
1949年3月～1949年11月



第17代　山県　昌夫
1949年11月～1953年11月



第18代　丹羽　周夫
1953年11月～1955年11月



第19代　加藤　　弘
1955年11月～1957年11月



第20代　渡辺　恵弘
1957年11月～1959年11月



第21代　李家　孝
1959年11月～1961年11月



第22代　吉識　雅夫
1961年11月～1963年11月



第23代　原田　秀雄
1963年11月～1965年11月



第24代　佐藤　尚
1965年11月～1967年11月



第25代　寺沢　一雄
1967年11月～1969年11月



第26代　遠山　光一
1969年11月～1971年5月



第27代　木原　博
1971年5月～1973年5月



第28代　水品　政雄
1973年5月～1975年5月



第29代　秋田　好雄
1975年5月～1977年5月



第30代　栖原　二郎
1977年5月～1979年5月



第31代　真藤　亘
1979年5月～1981年5月



第32代　元良　誠三
1981年5月～1983年5月



第33代　木下　昌雄
1983年5月～1985年5月



第34代　藤田　譲
1985年5月～1987年5月



第35代　佐藤美津雄
1987年5月～1989年5月



第36代　竹沢　誠二
1989年5月～1991年5月



第37代　前田　和雄
1991年5月～1993年5月



第38代　小山　健夫
1993年5月～1995年5月



第39代　大庭　浩
1995年5月～

3. 役員構成

第1期（1897年9月～1898年11月）
　会長
　副会長（主事・会計・検査）
　評議員
第2～58期（1898年11月～1955年11月）
　会長
　理事（主事・主計・編集）
　監事
　評議員
第59～72期（1955年11月～1969年11月）
　会長
　副会長
　理事（庶務・会計・編集正・編集副）
　監事
　評議員
第73～74期（1969年11月～1971年5月）
　会長
　副会長
　理事（庶務正・庶務副・会計・編集正・編集副）
　監事
　評議員
第75期～76期（1971年5月～1973年5月）
　会長
　副会長
　理事（庶務正・庶務副・会計・編集正・編集副・国際正・国際副）
　監事
　評議員
第77期～78期（1973年5月～1975年5月）
　会長
　副会長
　理事（庶務正・庶務副・会計・編集正・編集副・国際正・国際副・学術）
　監事
　評議員
第79期～92期（1975年5月～1989年5月）
　会長
　副会長
　理事（企画正・企画副・庶務正・庶務副・会計・編集正・編集副・国際正・国際副・学術・事業）
　監事
　評議員
第93期～98期（1989年5月～1995年5月）
　会長
　副会長
　理事（企画正・企画副・庶務正・庶務副・会計・編集正・編集副・国際正・国際副・学術正・学術副）
　監事
　評議員

4. 運営に係わる委員会

編集委員会	1919.11～
会務委員会	1924.11～
論文審査委員会	1948. 1～

5. 研究委員会

委員会名	会期
技術委員会	1942. 4～1946. 6
木船研究委員会	1946.10～1949.12
漁船研究委員会	1946.11～1949.12
造船設計法基準制定委員会	1948.11～1962. 1
造機研究連絡委員会	1959～1977. 5
蒸気機関研究委員会	1959. 1～1963.11
内燃機関研究委員会	1959. 1～1963.11
補機研究委員会	1959. 1～1963.11
溶接研究委員会	1946.11～1986. 3
造機研究委員会	1963.11～1986. 9
試験水槽委員会	1941. 5～
推進性能研究委員会	1983.10～
運動性能研究委員会	1983.10～
材料・溶接研究委員会	1986. 3～
鋼船工作法研究委員会	1946.11～
造船設計委員会	1962. 1～
船体構造委員会	1950.12～
艤装研究委員会	1958.11～
海洋工学委員会	1973. 6～
システム技術委員会	1976.11～

6. 各種委員会

委員会名	会期
日本近世造船史（明治時代）	1906. 5～1911. 1

編纂委員会	
船価調査会	1912.12～1914. 6
内地造船業振興調査会	1915. 5～1916.11
鋼質鋼材標準規格調査会	1916. 6～1917. 5
船舶用術語選定調査会	1916.11～1931.12
欧州大戦中造船対策に関する臨時調査会	1917. 4～1917.12
工業材料機械類統一調査会	1917.12～1917.12
標準貨物船船型制定調査会	1918. 3～　—
関税調査会	1918. 9～1918.12
船舶試験所調査会	1921. 1～1921. 6
日本近世造船史（大正時代）編纂委員会	1923. 5～1935.10
造船振興調査会	1923.12～1925. 7
試験水槽成績表現法調査会	1924. 6～1942.
船用品規格統一調査会	1925. 6～1933.12
国産振興調査会	1926. 7～1928.12
第2次造船振興調査会	1928.12～1931.10
内燃機船調査委員会	1932. 4～1935. 5
陸用汽罐規格審議会	1934. 4～1934. 5
商工省より照会の規格案審議のための委員会	1934. 6～　—
第2次船用品規格統一調査会	1934. 9～1941.12
船舶工学便覧編纂委員会	1939. 3～1950. 5
船舶科学振興施設調査会	1941. 3～1941. 9
特殊研究集録委員会	1946.11～1947. 6
船舶工学術語改訂委員会	1947. 3～1955
造船教育制度調査委員会	1947. 5～1948
船舶工学便覧改訂委員会	1953. 9～1972. 5
学術用語集正誤委員会	1955.～　—
60周年記念事業実行委員会	1956.11～1958. 2
耐爆強度文献調査会	1961.10～1962. 3
造船技術国際会議連絡委員会	1963. 6～1971. 5
第11回国際試験水槽会議日本組織委員会	1964. 1～1966.10
70周年記念事業実行委員会	1966. 9～1968. 5
昭和造船史出版員会	1966. 9～1977.11
第4回国際船体構造会議日本組織委員会	1968. 6～1970.
国際事業企画準備委員会	1970　～1971. 4
造船技術国際交流委員会	1971. 5～
夏季講座「新しい造船学」準備委員会	1974. 9～1975. 9
ICCAS日本組織委員会	1972. 9～1973.12
国際造波セミナー組織委員会	1974. 6～1976. 3
同　実行委員会	1974. 6～1976. 3
80周年記念事業委員会	1976. 4～1977.12
同　実行委員会	1976. 4～1977.12
PRADS組織委員会	1976. 4～1977.12
同　実行委員会	1976. 4～1977.12
財務検討委員会	1978. 4～1979. 5
船舶工学用語集編集委員会	1981. 2～1984. 3
STABILITY' 82組織委員会	1981. 6～1983. 3
同　実行委員会	1981. 6～1983. 3
2nd PRADS組織委員会	1981.10～1984. 3
同　実行委員会	1981. 9～1984. 3
長期検討委員会	1975.10～1986. 6
同　技術予測小委員会	1975. 9～1982. 9
未来像検討小委員会	1982. 9～1986. 6
将来技術検討委員会	1983. 2～1986. 5
海洋および極地工学に関する国際シンポジウム（OMAE）組織委員会	1984. 9～1986. 7
同　実行委員会	1984. 9～1986. 7
第18回国際試験水槽会議日本組織委員会	1985. 3～1988. 4
同　実行委員会	1985. 3～1988. 4
90周年記念事業組織委員会	1986. 9～1987.10
同　実行委員会	1986. 6～1987.10
操船シミュレータと船舶操縦性に関する国際会議（MARSIM & ICSM' 90）組織委員会	1989. 6～1990. 9
同　実行委員会	1989. 4～1990. 9
船舶海洋システム設計に関する国際会議（IMSDC' 91）組織委員会	1990.12～1991.10
同　実行委員会	1990.12～1991.10
高速海上輸送に関する国際会議（FAST' 93）組織委員会	1992. 5～1994. 4
同　実行委員会	1992. 5～1994. 4
造船技術国際交流委員会	1971. 5～
同　運営委員会	1971. 5～
未来像検討委員会	1986. 6～
新企画ワーキンググループ	1987.10～
将来技術検討委員会	1993.11～
International Journal編集委員会	1994. 6～
海洋環境保全のテクノロジーに関する国際会議（MARIENV' 95）組織委員会	1994. 6～1995.10

同	実行委員会	1994. 6 ～ 1995.10
海洋工学および極地工学に関する国際会議（OMAE' 97）		1995. 6 ～
	組織委員会	
同	実行委員会	1995. 6 ～

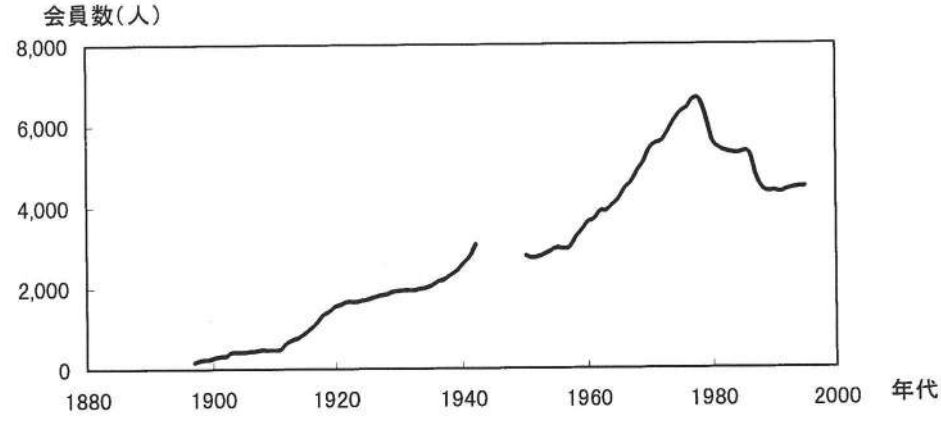
7. シンポジウムの開催

開催年月	題　目	開催地
1959.10	第１回船体構造シンポジウム	神戸
1960.11	第１回試験水槽シンポジウム	東京
1961. 6	海洋波と船舶に関するシンポジウム	東京
1962. 1	最近の鋼船工作法に関するシンポジウム	東京
1962. 7	進水に関するシンポジウム	神戸
1963. 2	造船艤装管理に関するシンポジウム	大阪
1963. 6	船体振動に関するシンポジウム	東京
1964. 4	工作法に関するシンポジウム	東京
1964. 6	操縦性に関するシンポジウム	東京
1965. 4	工作法に関するシンポジウム	神戸
1965. 6	造波抵抗に関するシンポジウム	東京
1965.10	船体軽量設計に関するシンポジウム	東京
1966. 4	鋼船工作法に関するシンポジウム	東京
1966. 7	塑性設計に関するシンポジウム	東京
1966. 9	脆性破壊と疲労に関するシンポジウム	大阪
1967. 4	工作法に関するシンポジウム	東京
1967. 6	船用プロペラに関するシンポジウム	大阪
1967. 9	専用船の構造強度上の問題点に関するシンポジウム	神戸
1968. 4	超大型船建造工作上の諸問題に関するシンポジウム	東京
1968. 6	抵抗・推進に関するシンポジウム	神戸
1968.10	破壊力学および溶接力学に関するシンポジウム	東京
1969. 4	最近の船殻工作上の諸問題シンポジウム	東京
1969. 6	タンカーの横強度に関するシンポジウム	東京
1969. 7	耐航性に関するシンポジウム	神戸
1970. 4	造船における自動化・省力化の諸問題（その１）シンポジウム	名古屋
1970.11	第２回操縦性シンポジウム	東京
1971. 4	造船における自動化・省力化の諸問題（その２）シンポジウム	東京
1971.10	「船体の損傷とその対策」シンポジウム	広島
1971.11	破壊力学と溶接力学に関するシンポジウム	東京
1971.11	第２回舶用プロペラシンポジウム	東京
1972. 4	「造船における近代化について」（その１）シンポジウム	東京
1973. 4	「造船における近代化について」（その２）シンポジウム	神戸
1973. 5	「粘性抵抗」シンポジウム	大阪
1974. 3	巨大船の構造強度についてシンポジウム	神戸
1974. 7	造船における近代化について（その３）シンポジウム	東京
1974.11	第１回海洋工学シンポジウム	東京
1975. 6	肥大船の推進性能に関するシンポジウム	東京
1975. 7	造船における近代化について（その４）シンポジウム	東京
1975.10	船舶の振動および騒音に関するシンポジウム	東京
1976. 6	第２回海洋工学シンポジウム	東京
1976. 7	「造船工作の現状と問題点」シンポジウム	東京
1977. 7	「造船工作の現状と問題点」（その２）シンポジウム	東京
1977. 9	第３回海洋工学シンポジウム	東京
1977.12	第２回耐航性に関するシンポジウム	神戸
1978. 7	「造船工作の現状と問題点」（その３）シンポジウム	東京
1978.10	海洋汚染防止技術に関するシンポジウム	東京
1979. 2	第４回海洋工学シンポジウム	東京
1979. 7	「船型設計のための抵抗・推進」理論シンポジウム	東京
1980. 5	鋼船工作法シンポジウム「特殊船と海洋構造物について」	東京
1980.10	船舶の振動・騒音とその対策に関するシンポジウム	東京
1981. 1	第５回海洋工学シンポジウム	東京
1981.12	第３回操縦性シンポジウム	東京
1982. 5	鋼船工作法シンポジウム「特殊船と海洋構造物について」（その２）	東京
1982.12	第６回海洋工学シンポジウム	東京
1983. 2	「船型開発と試験水槽」シンポジウム	東京

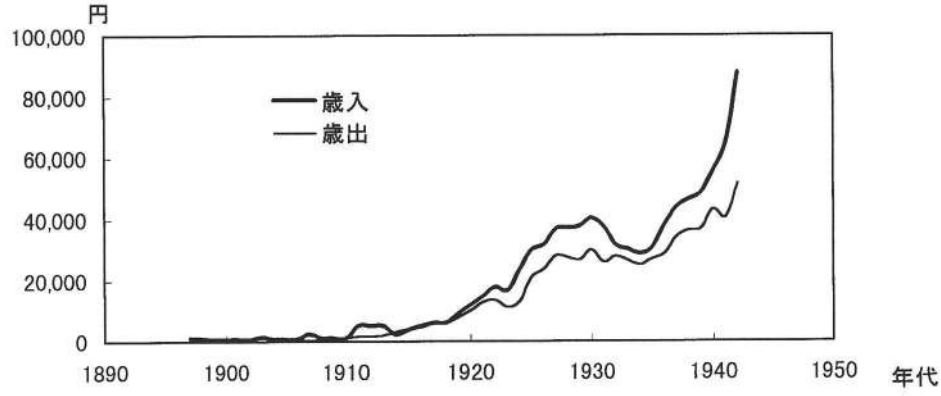
1983. 3	船舶・海洋構造物の損傷に関するシンポジウム	東京・広島
1983.11	新しい製造法による鋼材（TMCP鋼）の溶接構造物への適用に関するシンポジウム	東京
1984. 5	鋼船工作法シンポジウム「造船における新しい生産・管理技術」	東京
1984. 6	第7回海洋工学シンポジウム	東京
1984.12	「波浪中推進性能と波浪荷重」シンポジウム	東京
1985. 7	「物体に働く流体抗力」シンポジウム	東京
1985.10	船舶の振動・騒音とその対策に関するシンポジウム	神戸
1985.12	「船舶の航行安全と操縦性能」シンポジウム	東京
1986. 5	鋼船工作法シンポジウム「新しい生産技術について」	東京
1986.10	「船舶と海洋構造物の安全性と復原性」シンポジウム	東京
1987. 7	第3回舶用プロペラに関するシンポジウム	東京
1987.12	「操縦性能の予測と評価」シンポジウム	東京
1988. 1	第8回海洋工学シンポジウム「21世紀に向けての海洋開発」	東京
1988.11	Evening Seminar「コンピュータ・グラフィックスと応用技術」	東京
1988.11	「船型と耐航性」シンポジウム	東京
1988.12	Evening Seminar「AIとエキスパートシステム」	東京
1989. 1	造船におけるシステム技術シンポジウム	東京
1989. 3	Evening Seminar「超高速船」	東京
1989. 6	鋼船工作法シンポジウム「造船工作における新しい技術とテーマ」	東京
1989. 6	「高速艇と性能」シンポジウム	東京
1989. 7	第9回海洋工学シンポジウム「海に求める豊かさと安らぎ」	東京
1989. 7	「船体まわりの流れと流体力」シンポジウム	堺
1989.12	「マリンビークルの運動制御」シンポジウム	東京
1990. 1	「造船設計における構造解析と信頼性工学」シンポジウム	東京
1990.12	「高速船型の耐航性推定法」シンポジウム	東京
1991. 1	第10回海洋工学シンポジウム「地球環境と海洋」	東京
1991. 4	「次世代船開発のための推進工学」シンポジウム	東京
1991.11	「CIMを推進する要素技術の現状と将来」シンポジウム	大阪
1991.12	「船の運航自動化技術」シンポジウム	東京
1992. 2	第1回海中技術セミナー	東京
1992. 6	鋼船工作法シンポジウム「造船工作における新しい技術とテーマ」（その2）	東京
1992. 7	第11回海洋工学シンポジウム「海を知る」	東京
1992.12	「耐航性研究と船舶構造設計」シンポジウム	横浜
1993. 4	「船体まわりの流れと船型開発」に関するシンポジウム	福岡
1993.10	造船設計委員会第1回シンポジウム「艤装設計における新しい技術」	千葉
1993.10	船体構造委員会シンポジウム「船の強度と災害防止」	東京
1993.12	「船舶設計時における操縦性能の推定と評価」シンポジウム	横浜
1994. 1	第12回海洋工学シンポジウム「海と人との共生への提案」	千葉
1994.12	「耐航性理論の設計への応用」シンポジウム	東京
1995. 5	「実海域における船の推進性能」シンポジウム	東京
1995. 6	鋼船工作法シンポジウム「造船技術の近代化」	東京
1995. 7	船体構造委員会シンポジウム「経年船の安全を考える」	東京
1995. 7	第13回海洋工学シンポジウム「海洋への期待」	東京
1995.10	造船設計委員会シンポジウム「艤装における安全性・信頼性」	福岡
1995.12	運動性能研究委員会シンポジウム「操縦性研究の設計への応用」	東京

8. 会員数および財政の推移

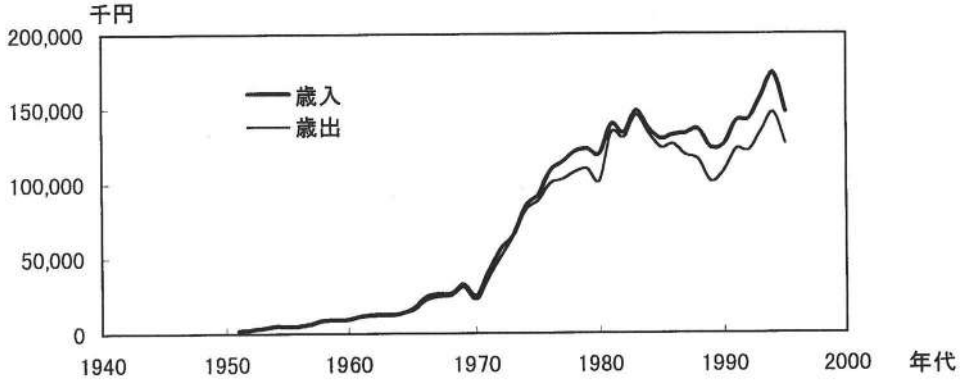
会員数の推移



歳入・歳出の推移（戦前）



歳入・歳出の推移（戦後）



注）1945年（昭和20年）前後の記録は不明

第Ⅰ部

日本造船技術の揺籃期

1895年～1910年（明治28年～明治43年）

概観

ペリー来航を機に、1853年（嘉永6年）に徳川幕府は、210年余続いた大船建造禁止令を撤廃して、民間人に西洋型商船の所有を奨励する布告を出した。この政策は明治維新後も引き継がれ、1869年（明治2年）の大政官布告で手厚い海運政策をとった。これにより開国直後から外国船の購入ブームになり、我が国は西欧諸国からの中古船舶の売り先としての絶好のマーケットになった。このころ諸外国は造船技術の激動期にあったが、我が国では十分な船舶知識も無く、品質を見分ける能力に乏しい日本人が購入した外国船舶の大部分は、世界の情勢からみて旧式のものであった。

次第に西洋型船の保有量が増加するにつれ、明治政府は1884年（明治17年）に西洋型船検査規則を公布し、翌年には東京、大阪、神戸、函館に船舶検査所を開設した。また維新以後、西南の役、台湾出兵、日清戦争（1894年）などで海上輸送力確保の重大さを再認識した政府は、1896年（明治29年）に航海奨励法と造船奨励法を施行し、外国航路の充実と船舶の国内建造を奨励した。

造船協会が設立された1897年（明治30年）ころの我が国の所有船舶は、ロイド統計によると17万総トン余で世界の1.1%であった。また、明治期の建造量は最大の1907年（明治40年）で66,000総トンであった。この時代は建造船舶は大部分がロイド協会に登録したことから、建造基準はロイド規則に従って行われた。なお我が国では1899年（明治32年）に帝国海事協会が設立されたが、同協会にその船級が認められるようになったのは1926年以降である。

徳川幕府は幕末の困難な時期であったにもかかわらず、製鉄、造船のための工場建設や技術導入に務め、また造船、造機を学ぶための留学生派遣も行っていた。造船技術を修得するため外国人技術者の招聘も積極的に行い、1877年（明治10年）ころまでオランダ人、フランス人技術者の指導を受けていたが、以降は次第に日本人だけで計画設計を行うようになり、設計方式もイギリス式に変わっていった。

このころ建造された船舶をみると、1871年（明治4年）に我が国の鉄船第1号の「新潟丸」（64総トン）が建造されたが、設計や資材は大部分は外国に頼っていた。1872年（明治5年）大阪で我が国で設計された初めての鉄製貨物船「興讃丸」が建造された。1890年（明治23年）には軟鋼が輸入されて鋼船第1号の「筑後川丸」が長崎造船所で建造され、同年に全鋼製軍艦「八重山」も完成した。1895年（明治28年）に長崎造船所で全通二重底を装備した「須磨丸」（1,592総トン）が建造され、造船技術が飛躍的に進歩する先駆けとなった。これを基に1898年（明治31年）に一挙に6,000総トンを越える「常陸丸」（6,172総トン）を完成し、以後の大型船の基盤を築いた。また、1908年には大型鋼製客船「天洋丸」を建造し、ようやく国産技術により建造できるようになった。造船施設の船台、船渠、クレーンの国産新設が1900年～1910年の期間に盛んに行なわれた。

明治時代の軍艦は、日清、日露の両戦争で活躍した戦艦「三笠」を含めて殆ど英国などの外国製であったが、戦争後は多くの技術者を海外に派遣して技術の習得に務め、この間に国内の造船施設も急速に整備され、1907年（明治40年）に呉で初めて国産の装甲巡洋船「筑波」が竣工し、その後は殆どの軍艦は国産になった。1910～11年（明治43～44年）には我が国で設計された2万トン級の戦艦2隻が建造され、材料も大部分は国産のものが使用されるようになった。

我が国で最初の舶用機関は、1855年（安政2年）に薩摩藩が製作した蒸気機関とされる。1897年（明治30年）前後から国産の大型船舶が製造され始め、技術の水準も年々高くなって行った。機関の最高出力を見ると、1898年（明治31年）と1903年（明治36年）に大きな飛躍が見られる。1898年には貨客船「常陸丸」で主機に出力2,040馬力の3連成蒸気機関（回転数約85rpm）を搭載したが、技術や資材のほとんどはイギリスに依存していた。1903年には豪州航路貨客船「日光丸」の主機3連成蒸気機関で、1基当たりの出力6,700馬力／99rpmとそれまでの2.5倍を達成した。この頃になると、鋳鋼品を始めとする主要部品にも国産品が充当され始めた。明治時代の舶用機関はほとんどが蒸気機関であったが、1898年（明治31年）には石油機関（4馬力）、1907年（明治40年）には客船主機として蒸気タービンが製作された。

一方造船学の教育は、1880年（明治13年）工部大学校機械科で造船学を教授することが決定し、1883年（明治16年）に第1回卒業生3名を出し、同年機械科から独立して造船学科を設立した。工部大学校は1886年（明治19年）横須賀海軍工廠学舎と合併して帝国大学工科大学造船学科となり、海軍の技術士官の育成を引き受けることになった。また卒業者を積極的に海外留学に派遣し、外国技術の吸収に務め、彼らは後の造船技術の発展に大きく貢献した。

明治時代の末期から大正時代になると、船体強度に関して我が国の自主的研究の必要性が指摘されるようにな

り、次第に基礎的、理論的研究が進められるようになった。1900年（明治33年）には造船協会への寄稿のなかで隔壁強度について新しい考え方が提案され、鋲接構造の強度に関する実験も進められるようになった。時代とともに計測技術の必要性も高まり、歪計を英国から購入する計画が進み、実船において歪の実態を明らかにする計画も進められた。

運動性能のうち、耐航性に関して、諸外国では横揺れの軽減について関心が持たれ、原理的船体運動理論が創られた。また、安定性や乗り心地向上のための各種の横揺れ軽減技術の考案がなされた。一方、我が国では耐航性及び操縦性に関して特筆すべき技術的進歩はなく、西欧の技術を学習していた時期であった。

第1章　性能

1.1　抵抗推進

1.1.1　破天荒な客船「天洋丸」「地洋丸」「春洋丸」

大型航洋鋼船の国産第一船は、1898年（明治31年）三菱長崎造船所で建造した日本郵船の欧州航路貨客船「常陸丸」である[1]。同船は、総トン（グロストン、GT）数6,172トン、長さ136メートルで、3連成往復動蒸気機関を2基搭載し、出力3,847馬力、2軸プロペラを装備し、14.18ノットの速力を出した。当時トップの造船所の三菱長崎にとっても、それまでの実績1,600総トンを大幅に上回る初めての大型鋼船であった。奇しくも本船の起工は、造船協会創立の1897年（明治30年）にあたり、西洋式造船技術が実業界と学会で同時に始まった記念すべき船でもある。初めての事にはトラブルが付きもので、本船も国産とは言え、設計図から材料まで英国ヘンダーソン造船所から購入し、技術者クラークを技術顧問に招いて指導を仰いだが、鋲打ち不完全というロイド検査員ロバートソンの指摘に、鋲の打ち直しを何度も行うはめになった。しかし承認が得られず、三菱側も検査員忌避の申し立てをロイド協会に行って対抗した結果、ロバートソンは罷免され、次席検査員のスタンベリーが派遣されて再検査の結果、ようやく承認を得た。このトラブルで工事は9ヶ月も遅れる、といういわくが付き、就役しても7年後の日露戦争で徴用され、陸軍部隊を輸送中に玄界灘でロシア艦隊の攻撃を受けて沈没するという不幸な船であった。「常陸丸」の図面と写真を図1.1.1と図1.1.2に示す。

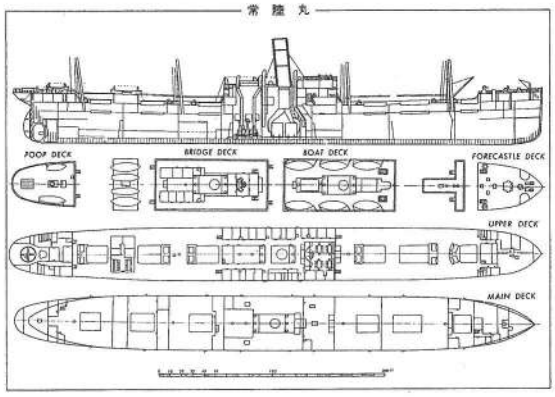


図1.1.1　「常陸丸」の一般配置図

1904年（明治37年）東洋汽船の創立者浅野総一郎は、サンフランシスコ航路の起死回生の一手として、最高速力21ノット（航海速力18ノット）、13,000総トン級の新型客船3隻を三菱長崎造船所で建造する計画を突然発表して世間をあっと言わせた。その3隻が「天洋丸」「地洋丸」「春洋丸」[2, 3]である。指名された当の三菱長崎造船所さえ驚いて慌てて計画変更を申し入れたが、逆に浅野にそんな消極的なことではいけないとはっぱをかけられる始末であった。それ程、この3隻の客船は日本造船界にとっては画期的な船であった。その革新的な特徴として

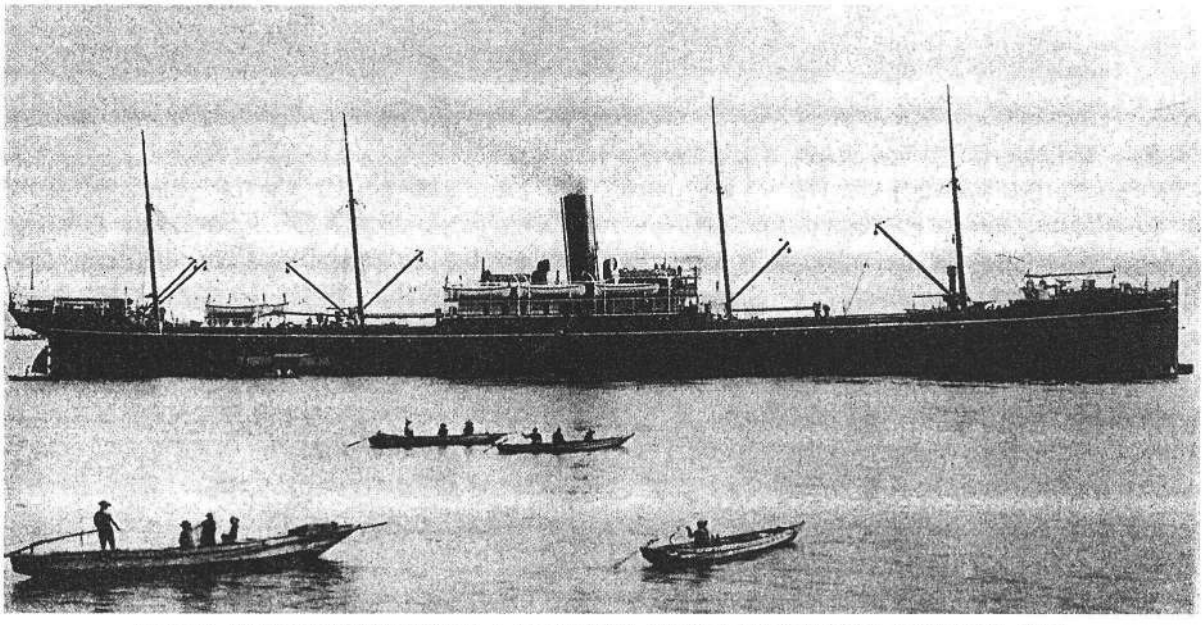


図1.1.2　欧州航路貨客船「常陸丸」［山高五郎著『図説日の丸船隊史話』（至誠堂刊）より］

は、新船のサイズは競争会社のPML社の「コリア」と垂線間長・幅は同じでトン数も13,454総トンと大きさも同等であったが、性能及び設備面では他社のいずれの船より格段上をいくものであった。第一にエンジンに未だ声価の定まらない蒸気タービンを採用したばかりかでなく、重油焚という当時の常識を破るものであった。これは振動がないと言う蒸気タービンの長所を活かして乗客を呼び、石炭より燃料消費量が少なく安価な重油を焚く事で燃費節減を図ろうという考えであった。さらに、出力19,000軸馬力の3軸プロペラ駆動、バランシング舵の採用で、航海速力18ノット、最高速力21ノットを出そうという計画であった。これは、革新的な技術向上を造船所の技術陣に迫る要求であった。また、船内設備は当時最新のアール・ヌーボー様式を基調に日本調を大胆に取り入れたもので、その斬新さは世間の注目を集めるのに十分だった。こうして「天洋丸」が1908年（明治41年）4月に竣工、「地洋丸」が同11月に竣工し、「春洋丸」は遅れて1911年8月に完成した。この浅野の偉大な賭けは、最初は効を奏さず、社運を傾ける皮肉な成績であったが、1910年（明治43年）には遠洋航路補助法の助成という追風もあって乗客が増え、益々その名声が天下に轟くに至って、社業に多大な貢献を成した。

「天洋丸」型姉妹船3隻は、東洋汽船の浅野総一郎という個人の先見性によるものとはいえ、それに応えた造船所の技術陣の努力によって、日本造船技術史上に、その名をとどめ、日本の国産技術向上に画期的な役割を果たした。天洋丸の当時の英姿を口絵の写真と図面に示す。

船の推進性能向上のために不可欠な設備が試験水槽である。三菱長崎造船所は「天洋丸」型の建造に当たってそのことを痛感し、日本で最初の試験水槽（長さ121.90m、幅6.10m、深さ3.50m）を1907年（明治40年）に竣工した[4]。この水槽は世界で15番目にあたる。1871年、ウイリアム・フルードが世界で最初の試験水槽をトーキィ（Torquay）に建設して[5]から36年経っているが、当時の新興国日本の一民間造船所が英国の指導を受けて作ったとはいえ、自力で完成したことは、特筆に値する。

一方、造船協会も1906年（明治39年）に試験水槽設置の建議書を政府に提出し熱心に訴え続けていた。その甲斐あって、三菱長崎とほぼ同時に、海軍艦型試験水槽（長さ137.00m、幅6.10m、深さ3.65m）を東京築地に海軍省が建設した[6]。「日本近世造船史－大正時代」[7]に本水槽の建設を1903年とする記述があるが、上記の建議書よりも早いとは考えられないので、1908年の説をここではとる。これで、日本にも官民一基づつの試験水槽が出来て船型開発や推進性能向上の研究遂行が可能となり、一応曲がりなりにも造船国の仲間入りを果たした。

1.1.2　皇国の興廃この一戦に在り

良く知られたこの言葉は、日露戦争の決戦となった1905年（明治38年）5月27日の日本海海戦の火蓋を切るにあたって、連合艦隊司令長官東郷平八郎が、旗艦「三笠」の艦橋からZ旗を掲げて、艦隊総員にとばした檄文である。この後に「各員一層奮励努力せよ」という文章が続いている。この言葉にその後の日本の運命が象徴されている。この海戦は日本側の勝利に帰し、日露戦争も終わった。日本はポーツマス講和条約により南樺太割譲と満州進出への足がかりを得、本格的に大陸進出を企てた。このため、欧米列強との軋轢が増し、特に米国とは、北太平洋の制海権と南方諸島の覇権をかけて衝突するところとなり、結局太平洋戦争に突入して日本の無条件降伏という結末を迎えることになった。「皇国の興廃」がこのような結末になろうとは、東郷自身さえもこの時知る由もない。東郷の心境は、日本海海戦の幕開けを知らせる大本営宛の急報「敵艦見ゆとの警報に接し連合艦隊は直ちに出動之を撃滅せんとす。本日天気晴朗なれども波高し」という電文に良く表れている。新興国日本の心意気が表われている。東郷が乗った旗艦「三笠」は、現在、横須賀市の三笠公園に保存されている。その日露戦争直前の写真を図1.1.3に示す。

ところで、大国ロシアが誇るバルチック艦隊を敵に回して日本の連合艦隊が圧勝しようとは誰も予想すらしなかったことである。当時の両艦隊の陣容を表1.1.1[8]に示す。日本が91隻で206,600トン、ロシアが38隻で214,320トンであり、トン数はほゞ互角と見られるが、隻数は圧倒的に日本が多くて、ロシアの2.4倍である。ロシアは戦艦の隻数では日本を圧倒しているが、それ以外の艦種では明らかに劣勢である。次のクラスの巡洋艦は日本が2倍の勢力である。さらに駆逐艦を見ると、日本の勢力がロシアを圧倒している。その上、日本艦隊の別名「機動部隊」を特徴づけているのは、この艦隊の主力艦の速力がロシア艦隊を2～4ノットも上回っていることである。この快速を利してロシアの主力の巨艦を挟み撃ちにすることができたことが第1の勝因として挙げられる。

何故このような優位が日本連合艦隊に備わっていたのかの理由は、造船協會々報第1号に掲載されている佐雙の論文「最近帝国軍艦に就いて」[9]に見ることができる。この論文によると帝国海軍の急速な増強ぶりがはっきりと見てとれる。それも、当時の最新鋭艦を世界の造船界

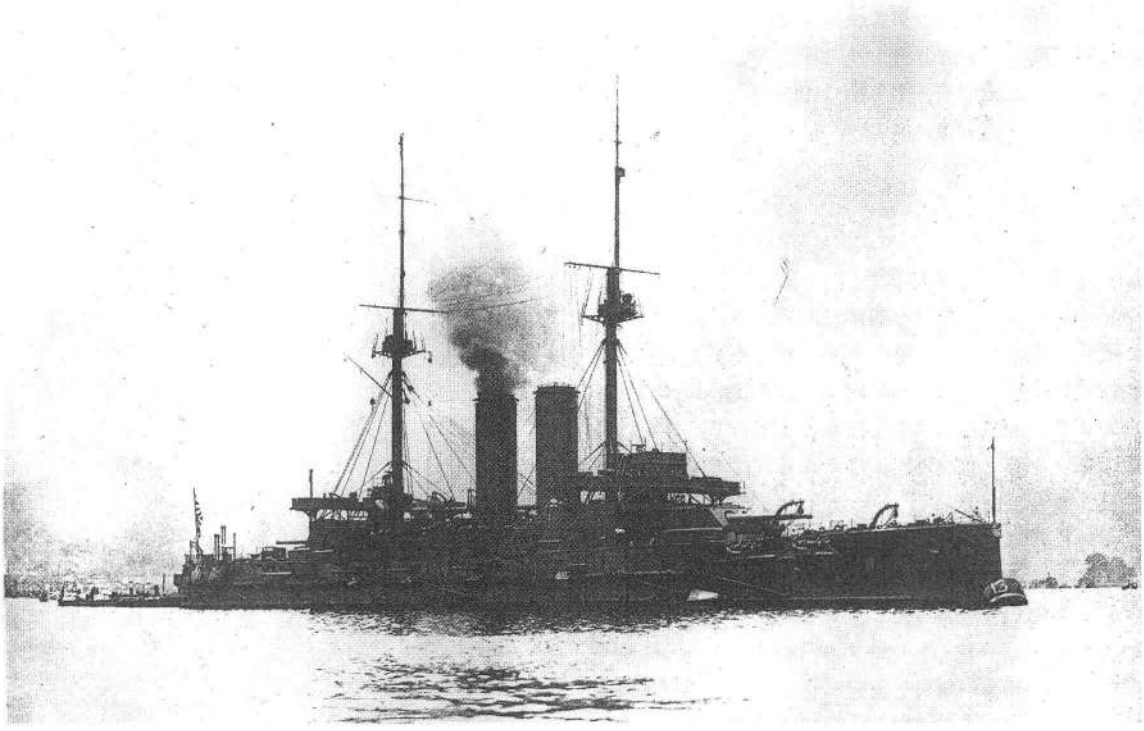


図1.1.3　連合艦隊旗艦戦艦「三笠」

表1.1.1　両艦隊戦力比較表

	日本連合艦隊			ロシアバルチック艦隊		
	隻数	トン数	最高速力	隻数	トン数	最高速力
戦艦	4隻	58,500トン	18ノット	8隻	97,170トン	15ノット
装甲巡洋艦	8隻	74,200トン	20ノット	3隻	20,310トン	16ノット
巡洋艦	12隻	41,240トン	18ノット	6隻	26,620トン	18ノット
海防艦	4隻	20,180トン	14ノット	3隻	13,580トン	16ノット
通報艦	3隻	3,710トン	20ノット			
駆逐艦	21隻	7,310トン	29ノット	9隻	3,150トン	27ノット
水雷艇	39隻	4,544トン	23ノット			
特務艦				9隻	53,490トン	10ノット
砲雷戦力	32～30cm砲		23門	30cm砲		18門
	25cm砲		1門	25cm砲		27門
	20cm砲		34門	20cm砲		9門
	15cm砲		204門	15cm砲		152門
	12cm砲		40門	12cm砲		22門
	魚雷発射管		250門	魚雷発射管		123門

をリードする英国で大量に建造している。三国干渉以来ロシアを仮想敵国と見なし、臥薪嘗胆のスローガンの下に、海軍の増強に10年間国家財政を傾注した結果であった。速力重視は、この時代から早くも帝国海軍の基本姿勢になっていたように思われる。西洋式造船技術はまだ黎明期で、大学にも海軍工廠にも英国と仏国から招聘した指導者がいて、熱心に造船技術の伝授に当たっていた。造船協會の會報にも、当時の西欧、特に英国の最新技術や造船学を紹介したものが多く見られる。その中に混って、独自の研究の芽生えがすでに始まっているのは、頼もしく感じられる。それらのうち、宮原水管式汽罐（ボイラー）[10, 11]と末広式捩計[12, 13]とは、その後の発達により推進装置に少なからぬ影響を与えた点で特筆できる。前者は帝国海軍の艦船の汽罐に採用され、多くの高性能軍艦でその偉力を発揮した。後者は、軸馬力計に応用されて推進器の性能計測に多大の貢献をなし、後年学士院賞を受賞するところとなった。

参考文献

1) 山高五郎：図説日の丸船隊史話、至誠堂（1981）
2) 野間恒：豪華客船の文化史、NTT出版（1993）
3) 三浦昭男：北太平洋定期客船史、出版協同社（1994）
4) 谷口中：造船誌、第488号（1970）
5) 吉岡勲：ウィリアム・フルード伝、船舶技術協会（1985）
6) 造船協会：造船協會40年史（1937）
7) 造船協会：日本近世造船史－大正時代、工業図書（1935）
8) 東郷神社・東郷会：図説東郷平八郎（1993）
9) 佐雙左仲：造会報、第1号（1903）

10）宮原二郎：造会報、第2号（1898）
11）宮原二郎：造会報、第1号（1903）
12）末広恭二：造会報、第7号（1909）
13）末広恭二：造会報、第12号（1913）

1.2　運動性能

1.2.1　耐航性

耐航性は波浪中における船体の動揺を取り扱い、船がその機能を果たすために備える必要がある基本性能である船速（speed）、安定（stability）、強度（strength）（3Sと言われる）と係る諸現象を対象としている。また、これらの応答を惹き起す外界条件である波浪（seaway）との係りも重要である。

この時代には、船の転覆防止の観点から復原性や横揺れ運動が主たる対象であった。フルード（英）が横揺れの理論を完成しつつあったし、クリロフ（露）が波浪圧力に関するフルード・クリロフの仮説「船体表面に働く波の圧力は、船体が無いと仮定したときの仮想船体表面座標における波の圧力に等しい」による船体運動の理論（1896年、明治29年）を発表したのも、この時期である。

また、船の乗り心地や軍艦の戦闘性能の観点より、横揺れの軽減に対する関心が持たれ、ビルジキール、減揺水槽、移動重量、ジャイロ式などが欧米において次々と考案され、その有効性を世に問い始めた時代でもあった。

わが国においては造船学術技芸の学習期であり、この分野の技術開発及び研究成果として特に記すべきことはない。

1.2.2　操縦性

この時期、この分野におけるわが国の造船技術上の進展として特に記すべきことは見当らない。

第2章　強度

2.1　構造

2.1.1　建造船舶の推移

明治以後、日露戦争に至る迄の我が国の造船は極めて貧弱で、年とともに進歩したものの、造船建造量は極めて微々たるものであった。造船協会が設立された1897年前後の我が国の所有船舶はロイド統計によると英・米は云うに及ばず、伊・仏・独などヨーロッパ主要国に比してもはるか下位にあり、僅か17万余総トンで世界の1.1%に過ぎなかった。

川崎造船所の例に見ると、1893年には408総トンの船舶を2隻建造し、竣工までの工期は10ヶ月余を要しており、その後10年を経ても、建造船舶の大きさは600総トン程度である。工期は半分程度に短縮されているが、この要因は鋼材の加工に必要な機械が多少整備されたことと、工員の技能が向上したことがあげられている。工員の数はこの間200人未満から千数百人へと大幅に増加し、一方船価はこの間に1.5倍に、工数は0.78倍になっている。この間に同所で建造した鋼船の合計は35隻、約2万トンで我が国では第2位で、第1位は三菱造船所で約8万トン、第3位が大阪鉄工所で約1万トンである。

最も建造量の多い三菱造船所では、1895年に当時としては大型の1,580総トンの「須磨丸」の建造に成功し、大いに注目された。1898年には同所は、日本郵船会社が日清戦争後に開始したヨーロッパ航路向けの「常陸丸」6,172総トンを建造し、新しい時代を迎えることとなった。同船の建造は、同型船が英国に同時発注されたなかで、独自の技術をもって完成させたもので、外板などの鋲接工事を始めロイド協会の承認をうるのに多くの苦労を重ねたが、その性能は同型船に比して遜色ないまでにこぎつけることができた。この大型船の竣工が我が国の造船界に明るい希望を与えることになった。

1885年に発足した日本郵船会社の所有船舶の大きさの推移をみると、当初は一隻の平均が1,261トン、10年後に2,087トン、20年後に3,248トンと大型化し、最大船舶では当初・10年後・20年後でそれぞれ2,528トン・5,787トン・7,453トンとなっている。船体材料もこの間に大きく変化し、当初は鉄船が65%を占めていたが、20年後には鉄船は18%に減少し、鋼船が81%と大部分を占めるようになった。

この時代は建造船舶は大部分がロイド協会に登録したことから、建造基準はロイド規則に従って建造が行われた。しかし技術が進歩するとともに、例えば船倉を広く使用するために倉壁に設ける梁や肋骨の改良、ピラーの配置の見直し、あるいはロイド規則で定められている支水隔壁の縦横防撓材の配置の改良など、規則を先取って新しい構造が認められるようになった。

ロイドの名は古く1668年に起源するもので、英国で保険業者と海運業者が集まって保険業務を始めたというロンドンのコーヒー店の所有者の名からとったものである。

船体構造部材の寸法決定のためには、船に加わる荷重あるいは風浪の大きさなど、数多くの要因を考慮する必要があるが、これらの寸法は科学的知識のみで判断することは極めて困難であり、経験的な資料を参考にして判断することが欠かせなかった。保険業界の立場にたつと、同一船型で同一目的に使用する船舶に構造的に大きな差があることは評価し難く、従って、船の大きさ・吃水・荷物の状況等に応じた不公平のない標準構造寸法を与えることによって、安全性を確保することが望ましいと考えられた。当時のロイド協会規則の概要は、造船協会会報4号に報告されている。なお、我が国では1899年に帝国海事協会が設立されたが、同協会にその船級が認められるようになったのは1926年以降である。

我が国の軍艦は、日清・日露の両戦争で日本海軍の主力として活躍した戦艦などは、三笠を含めて殆ど英国などの外国製であったが、戦争後は多くの技術者を海外に派遣して技術の習得に務め、この間に国内の造船施設も急速に整備され、1907年に呉で初めて国産の装甲巡洋艦（13,750トン）が竣工し、その後は殆どの軍艦は国産されることになった。1910～1911年には我が国で設計された2万トン級の戦艦2隻が建造されるようになり、材料も大部分は国産のものが使用された。その後も年とともに戦艦は大型化が進み、1915～18年には超弩級戦艦と称された4隻の3万トン級の戦艦が竣工するに至った。

2.1.2　技術の進歩

明治時代の末期から大正時代になると、船体強度に関して我が国の自主的研究の必要性が指摘されるようになり、次第に基礎的・理論的研究が進められるようになった。

特殊な船型を有する2,000トン級の浅吃水船について、独得の方法で船体の受ける剪断力及び曲げモーメントを計算した結果が発表された。これは中国の揚子江沿岸航行用に使用する船舶であり、一般船に比して浅吃水で縦強度的に弱点がある一方で、平穏な河川の運航に供することから波浪外力が小さく、一般船の基準を適用するこ

とに問題があるため、直接的に本船の強度の検討を行ったものである。

隔壁の強度に対する考え方に関して、当時ボストン工科大学のピーボディーが1900年に造船協会への寄稿のなかで、水圧を受けるパネルの強度と、パネルを支えるフレーム構造との強度に分けて考える方法を示し、隔壁強度の検討における新しい考え方を示した。

局部的な強度の問題については、船体が急速に大型化するに伴い、船体重量を軽量化させる必要から、特に平板の鋲接構造が重要な要素として研究が進められた。鋲接における鋲の材質・鋲孔の大きさ・配置などに関する実験や、理論的研究が相次いで始められ、わが国では末広が初めて理論による薄板開孔部の周辺応力の計算法を発表した。開孔を有する板の応力分布の研究は、英国において既に論文が発表されており、1892年にグルーンが倉口付近の応力分布の研究を発表した他、実験的研究なども行われていた。強度に関する実験が進められるに伴って、次第に計測技術の必要性が高まり、歪計を英国から購入する計画が進み、実船において歪の実態を明らかにする計画も進められた。

参考文献

1)　安部正也：造会報第1号（1903）
2)　今岡純一郎：造会報第4号（1906）
3)　Peabody C.C.：造会報第4号（1906）
4)　東條玉太郎：造会報第5号（1907）
5)　今岡純一郎：造会報第6号（1908）
6)　今岡純一郎：造会報第8号（1910）
7)　末広恭二：造会報第10号（1912）

2.2　材料強度

この時期、この分野におけるわが国の造船技術上の進展として特に記すべきことは見当たらない。

2.3　接合

2.3.1　リベット接合の船体への適用

船体を構成する材料は、周知のごとく木材から鉄、鋼材へと変化した。船体のリベット接合は、鉄が使われ始めた頃から適用され、船舶の建造に本格的に採用されだしたのは、鋼船時代に入った、1880年代になってからであるといわれている。

鉄が使われ始めた頃のリベット材料は、材質的に信頼性がなく、このためあまり普及しなかったが、鋼材の精錬法として塩基性ベッセマー法が1877年（明治10年）に、続いて塩基性平炉法が開発されて、鋼材の品質、性能が著しく改良されたことに大いに関係しているといえる。

初期の鋲打作業は、手打ちであったため、非常な重労働作業であったが、時代とともに水圧鋲接法、さらには圧搾空気ハンマ法が開発され、機械力による鋲打作業へと進歩した。

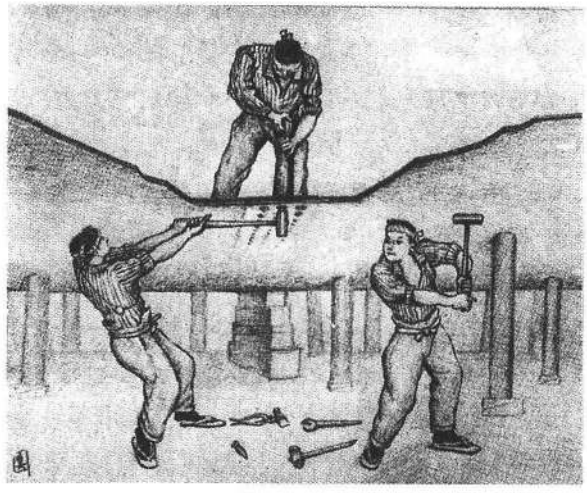


図2.3.1　明治末期に見られた手打ち鋲接状況

この手打ちによる鋲打ち作業は、図2.3.1に示されるように、打ち方に二人の作業者を配置して行うものであった。このような人力では、一本当たりの鋲打ち回数に限界があるため、鋲の寸法にも制限があったし、船体を建造するためには何十万本という非常に多くの鋲を打ち込む必要があったため、大変な労力を伴う作業であった。また、きちっと絞めるためには熟練を要したし、鋲打ち用のハンマーを振るうための作業空間が必要であった。ちなみに、当時の船舶の1船当りの鋲接数は、9,800DWTの大型船で、約65万本、9,100DWTの中型船で、約57万本が使用されており、一日に約5万本の鋲接作業を必要とした。

この大変な鋲打ち作業を少しでも楽にするために、鋲接の機力化に対する種々の工夫が行われ、人力を使う代わりに、水圧や空気圧を使った方法が開発された。

水圧鋲接法は、鋲の据込みを確実に行うことができ、板と板の密着も完全になることから、鋲の締まりが優れており、大径鋲も簡単に、しかも確実に打つことができた。このことから、大型船のキールやシヤーストレーキのような厚板の接合には、不可欠のものとなった。さらに、従来の手打ち鋲接法に比べて速度がきわめて速いことから、大きな経済的効果をもたらし、橋梁、鉄骨などの船舶以

外の製品にも盛んに使用された。

ただし、この水圧鋲接法は、皿鋲が打てないことと機械装置が大きく、かつ付属設備が必要であるため、移動がしにくい欠点があった。したがって、水密を確保しなければならない箇所には、手打ち鋲に頼らざるを得ない場合があり、可搬型の水圧鋲接機械装置の開発、工夫が盛んに行われた。

その後、米国で発明された圧搾空気ハンマ法が、研究、学習されて我が国に持ち込まれてから、この水圧鋲接法は、造船界から徐々に姿を消すことになる。

1906年（明治39年）に、500HP空気圧縮機とグローブ式ニューマチックツールが輸入され、巡洋艦「平戸」の建造に初めて機力鋲接が適用された。しかし、これらのツールは、非常に重く、日本人の体力で使いこなすには、大変であったが、工夫と改善が加えられ、さらに次第にその操作法にも習熟し、全面的に手打ち鋲接から機力鋲接へと転換していった。

この圧搾空気ハンマ法は、圧搾空気を送る設備だけで、大した設備も必要でなく、鋲接作業が非常に早いことから、わが国においては、1910年代初期頃から各造船所に広く普及していった。この方法の特徴は、機械が可搬式で便利であったこと、動力が空気であるため簡単に取り付けることができたこと、短時間の内に数多くの鋲打ちができ能率が良いこと、相当な大きさの太径鋲まで打つことができたこと、さらには信頼性が高く、皿鋲に対しても打つことができるので、船体の大型化にも対応することができたこと等をあげることができる。

さらに、手打ち鋲接に比べて鋲接速度がきわめて速いにもかかわらず、作業員のグループの構成人員はむしろ少なくてすむことから経済的にもはるかに優れた方法であった。手打ち鋲接作業は、鋲打ちが2人、押さえかた、鋲の取りつぎ、鋲焼きにそれぞれ1人の計5人が標準的な鋲打ちグループであったが、この圧搾空気ハンマ法の採用と種々の鋲接補助具が考案されて、3人のグループ編成で鋲接ができるようになった。

この圧搾空気ハンマ法による鋲接の時代は、1900年頃から戦後の1945年頃まで続くことになる。図2.3.2は、昭和の時代における圧搾空気を使った鋲接作業の状況を示したものである。

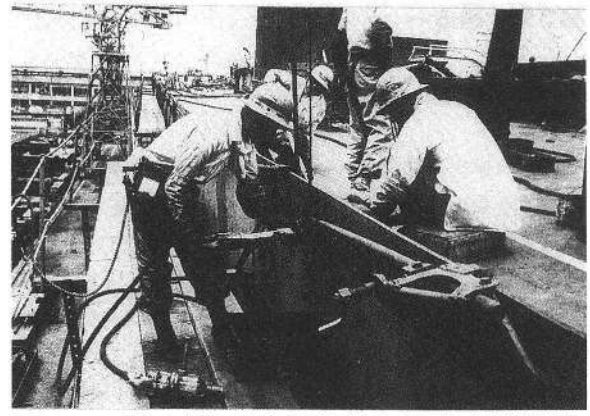


図 2.3.2　昭和の時代における圧搾空気ハンマによる鋲接状況

参考文献

1)　造雑纂

2)　川崎重工業㈱社史年表

3)　寺井清：造船における溶接技術管理、船舶技術協会

第3章　建造

3.1　近代造船業への道のり

日本の近代造船業は、古来の和船建造とは別に、幕末の頃、欧米先進国による植民地化の危機に対応して、幕藩封建権力の手によって創始された。これにより造船業は、出発の時点から軍事工業の性格を色濃く持ち、また同時に、鉄鋼業、機械工業などの基礎産業、機関・補機などの関連産業が未成熟のなかで発足した。この為、造船業は自らが機関・補機をはじめ、陸上機械、車両などの製作を手掛け、総合重工業への道を歩む宿命を担ってきた。明治以後、造船業はそのような性格を顕在化させつつ、日本重工業の発達に先鞭をつけ、その主導勢力として自らの発展をとげていった。欧米諸国で長い歴史の「大帆船時代」を日本造船業は短期間で通過し、鉄・鋼製汽船の建造へと進んだ。

3.1.1　鉄船建造

新潟と佐渡の夷両港の連絡のため、新潟税関では1871年（明治4年）に鉄船「新潟丸」を建造した。これは佐渡両津市の正覚寺裏の加茂湖畔で建造され、設計を外国に仰ぎ日本において組み立てたもので、わが国最初の鉄船であった。

3.1.2　鋼船の建造

1890年（明治23年）軟鋼材が我が国に輸入されるや、大阪商船会社はまず率先して鋼船4隻を建造した。「筑後川丸」（総トン数610）は三菱長崎造船所で建造され、わが国最初の鋼船であった。

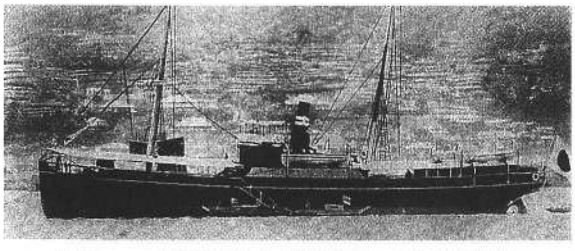


図3.1.1「筑後川丸」（船舶百年史前編より）

1894年（明治27年）に日清戦争が勃発、その翌年戦争の最中、三菱長崎造船所は三菱会社の注文により鋼製貸客船「須磨丸」（総トン数1,592）を建造した。当時としては破格の大型船で、構造は現在の航洋船と大差なく、全通二重底を有する1,000トン以上の鋼製建造の最初であった。

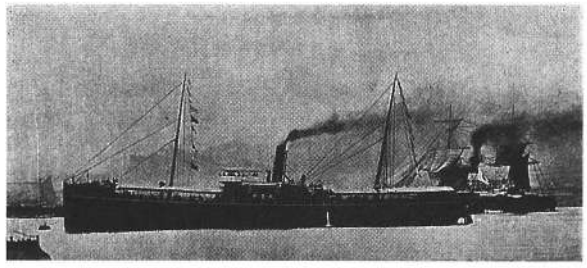


図3.1.2「須磨丸」（船舶百年史前編より）

3.2　造船技術の自立

3.2.1　大型船建造

幕末の長崎製鉄所におけるオランダ人技術者、横須賀製鉄所におけるフランス人技術者の指導を歴史的起点として、わが国造船技術の近代化が展開するが、明治20年（1874年）代を迎えるまで、なおそれは、外国人による直接指導の段階であった。わが国最初の鋼製汽船の建造も、かれらイギリス人技術者に負うところが大であり、また、1895年（明治28年）の竣工の「須磨丸」が同時代の外国人主導下における技術水準の高まりを示すものであったと言えよう。

さらに、1898年（明治31年）竣工の「常陸丸」の場合は、表3.2.1の「須磨丸」との比較にみられる様に、従来の建造船舶とは船型、性能ともに卓越した大型航洋船であった。

表3.2.1「須磨丸」と「常陸丸」との比較

	須磨丸	常陸丸
総トン数	1,592トン	6,172トン
長　さ	77.6m	134.8m
幅	9.1m	14.9m
深　さ	6.9m	10.2m
総馬力	835馬力	3,847馬力
最高速力	不明	14.18ノット



図3.2.1「常陸丸」（船舶百年史より）

この「常陸丸」の建造は、設計から工作に至る多くの部分をイギリス人技術者に依存したが、それまで最大1,500総トン級の建造能力、建造実績しか持たなかった我が国の造船技術能力が、一挙に6,000総トン級まで高められたものである。この建造により少なくともわが国の造船業における船体工作技術力が、かなりの水準まで上昇した事がわかる。

一方、「常陸丸」では全面的にイギリスに依存した設計技術も、その後逐次、部分的修正を加える事で自立化の方向へ進んだ。そして、世界有数の大型客船（13,500総トン、最高速力20.61ノット）「天洋丸」、「地洋丸」・「春洋丸」の三姉妹船の建造によりわが国の造船技術が世界水準へ到達した事を示すものとなった。

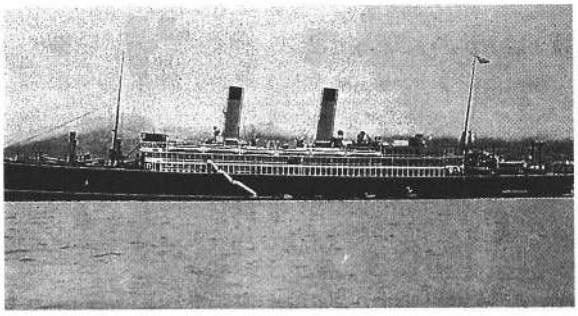


図3.2.2 「天洋丸」（船舶百年史前編より）

この時点において、日本技術者による先進技術の摂取、導入の過程を経てわが国の造船技術は外国人の直接指導を離れ、自立化を達成したのである。

3.2.2 特殊船建造

船型の大型化と並んで、明治30、40年代を特徴づける事象は、特殊船建造技術の発達であった。三菱、川崎の大型船に対し、特殊船の建造を主導したのは大阪鉄工所であり、その技術はかなりの部分が外国船の模倣ないし外国人技術者の指導、外国特許の取得などに拠った。この様な状況下の中、浅吃水船等の特殊船分野が拡大し、造船技術の新分野が開拓された事は建造技術の幅を広げ、その意義は大きいものがある。

3.3 造船施設の拡張

創成期のわが国造船業は、明治初期のいわゆる買船主義の支配下にあって、船舶機関の修理を中心業務としていたことから、船架ないし船渠と金属工作機械がその主体設備であった。

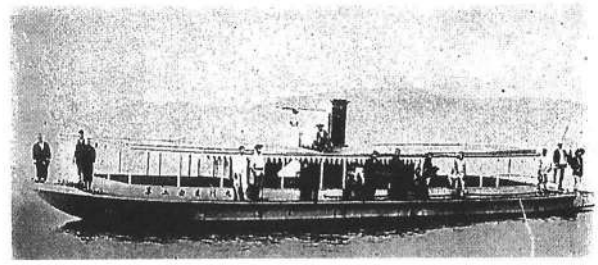


図3.2.3 浅吃水船　第二由良川丸（船舶百年史前編より）

有力造船所は、この時期、社船ならびに軍需との結合による、大型艦船の受注があり、この建造により新船台・船渠、ガントリークレーン等の造船関連設備等の設備投資をうながした。

図3.2.4は、1905年（明治38年）竣工の三菱長崎造船所の大型乾船渠で、規模は当時東洋最大のものであった。

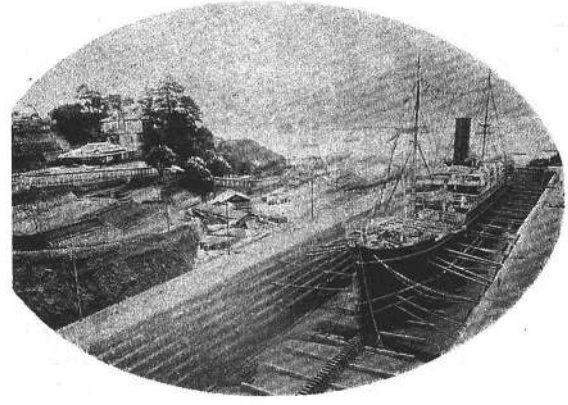


図3.2.4 三菱長崎第三号船渠
（船舶百年史前編より）

第4章　設計

4.1　基本計画

100年間の造船設計の変遷を限られた紙数で纏めることは極めて困難である。特に第2次世界大戦後の多岐に亘る特殊専用船は経済背景と技術の発展に支えられて発展したもので、夫々に独自の設計思想がある。元来、設計は自然科学、基礎工学の所産を活用し、これを生産技術に継げるもので、これらに左右されると同時に社会、経済の要請に応えるものであり、これらを含んで述べると膨大なものになる。ここでは、黎明期の造船設計技術の養成について極く概略を述べ、工学の発達の成果を包括した設計技術の変遷を船型の変遷として代表させることにした。代表船種として100年間継続している一般貨物船と特殊専用船の代表として油槽船を取り上げ、他の船種についてはトピックスとして挙げるに止めた。

4.1.1　黎明期の国家政策と技術の養成

1635年（寛永12年）徳川幕府が500石以上の大船の建造を禁止し、1853年（嘉永6年）に大船建造禁止令を撤廃するまでの210余年の間、僅かに沿岸航路の和船の技術の発達はあったものの、本格的な航洋船の建造は閉ざされたままであった。この間諸外国では帆船から蒸気船、鉄船に移行し飛躍的な発達をしたが、鎖国政策を続けたわが国では無縁のものであった。1853年ペリーの来航を機に、同年9月に大船建造禁止令を撤廃すると共に、逆に西洋型軍艦の建造を奨励した。しかし、旧来の固有技術と異なる西洋型、特に蒸気船の建造に関連の工業が皆無に近い当時として俄かには如何ともし難かった。当時の国内事情と新技術の習得について、極く概略述べる。

(1) 大船建造禁止令撤廃の前後

1853年（嘉永6年）9月の禁止令撤廃の前、5月には薩摩藩は琉球防衛を理由に「昇平丸」を起工していたし、11月には幕府自身も「鳳凰丸」の建造を浦賀で着手、翌年1月には水戸藩の「旭日丸」の建造も開始された。近代鉄工業をもっていなかった日本の造船は先ずこれらの木造帆船から出発したのは当然過ぎる過程であったが、同時に蒸気軍艦の購入が急務であった。

これよりさき、西欧の科学技術に関心を持っていた蘭学者たちを中心に幕府、諸藩が西洋型船建造を目指して蘭書の習得に努力したが、断片的な蘭書の翻訳に過ぎなかった。薩摩藩主島津斉彬は特に蒸気船の建造に熱心で、1848年（嘉永元年）に蘭学者箕作元甫に命じてオランダの舶用機関書を翻訳させ、「水蒸船説畧」を1849年（嘉永2年）に完成させた。1851年（嘉永4年）にこれを参考にして、江戸の屋敷内で機関の製造に着手し、4年間をかけて完成し、小型船「雲行丸」（長さ16.5m、幅2.6m）に装備し、外輪を回転させ、隅田川で試運転を行った。これがわが国建造の舶用蒸気機関の第1号であり、蒸気船の第1船であった。

幕府は大船建造禁止令撤廃と同時に、オランダに対して蒸気軍艦の購入と海軍士官養成のために教官派遣を要請した。1855年（安政2年）「スンビン号」がオランダから寄贈され、練習艦「観光」と改名し、オランダ士官を教官として長崎に海軍士官養成を目的にした長崎伝習所を開設した。1856年オランダに発注していた「ヤパン（咸臨丸）」が長崎に到着、1857年（安政4年）に第1回伝習生の一部を乗せた観光が江戸に到着。築地に軍艦訓練所を開設し、後進の教育に当たることになった。1858年（安政5年）にはオランダに発注していた第2艦「エド（朝陽丸）」が到着、同年イギリス艦隊が江戸湾に来訪し、ビクトリヤ王女から王室ヨット「エンペラー（蟠龍丸）」が寄贈された。

1859年（安政6年）に長崎における海軍伝習は閉鎖され、築地の海軍操練所に一元化され、練習艦も築地に総て集約された。これらの艦と長崎で購入された木造帆船「鵬翔丸」の5隻はわが国海軍の創世期の最初の艦隊と言えよう（表4.1.1参照）。また技術習得も実務的な操艦操機から開始されたと言える。

表4.1.1　日本海軍創世期の艦隊編成

艦　名	観　光	威臨丸	朝陽丸	蟠龍丸	鵬翔丸
入手年	安政2（1855）	（1856）	（1858）	（1858）	
旧艦名	蘭スンビン	蘭ヤパン	蘭エド	英エンペラー	
艦　質	木造	木造	木造	木造	木造
機関馬力	150	100	100	128	—
推進器	外輪	スクリュー	スクリュー	スクリュー	帆
L (m)	51.816	49.682	49.682	46.034	48.763
B (m)	7.01	7.315	7.315	6.706	7.620
d (m)				2.706	
排水量 (t)	400		300	370	340GT

さきに述べたように、薩摩藩は1855年に「雲行丸」の蒸気機関を完成したものの、同年回航された「観光」を詳細に調査した結果、製作に必要な機械設備、技術力の

差で実用に耐える蒸気船の自作は困難であると判断して、自作から購入へと方針を変更した。

このように購入によって船腹が整備されても運航のためには当然のことながら修理設備が必要になる。幕府は「観光」が到着した翌年の1856年（安政3年）に長崎の飽の浦に長崎溶鉄所の建設を開始した。この造船所は伝習所の練習艦を修理することを目的とし、オランダから必要な機械設備を購入すると共に、オランダ技師を招聘して行われたものであり、1861年（文久元年）に完成した。

1857年（安政4年）長崎溶鉄所が一部竣工すると、直ちに蒸気船「たま浦形」が建造され、これが本格的に日本で蒸気船を建造した第1船とされた。1862年（文久2年）には石川島造船所で砲艦「千代田形」が建造されたが、この蒸気機関も長崎溶鉄所製造の物で、外国から購入した機械設備と技術導入が早くも効果を現しだしたと言えよう。更に1865年（慶応元年）には佐賀藩でも外車汽船「凌風丸」が建造された。

長崎での設定とは別に、築地に結集した練習艦隊の修理に対し、幕府は江戸付近にも修理工場の必要性に迫られていた。そのため、浦賀の造船所が活用された。「咸臨丸」がアメリカへ出航する1860年（万延元年）の前年に修理を行ったのが同ドックであり、わが国初の修理ドックの活動をしている。その他水戸藩の石川島造船所もあったが、幕府は江戸近くの大造船修理工場を計画し、1864年（元治元年）フランス公使ロッシュに援助を要請して、横須賀及び横浜に製鉄所の建設を開始する。1865年（慶応元年）に着工し、横須賀造船所を経て、明治維新後も横須賀海軍工廠として日本海軍の最大の工廠となるが、横浜製鉄所は明治になって廃止された。

このように、蒸気軍艦の購入と修理を対象にした造船所の建設及び技術導入を行う一方、幕府は技術習得のため海外へ留学生を派遣した。1862年（文久2年）オランダへ留学生が派遣され、造船、造機技術を習得し、オランダに発注されていた軍艦「開陽」が完成して日本に回航されるのに便乗して1867年（慶応3年）に帰国したこれらの留学生の多くは明治維新後のわが国海軍、造船界の基礎を設定した。

このように、徳川幕府は幕末の困難な時期であったにも拘わらず、工場の建設と技術導入に努力したと言うより、船に期待を掛けざるを得ない状況にあったと判断できる。これらの施策は総て命じ維新政府に引き継がれた。

(2) 幕末から明治初期の施策

1853年（嘉永6年）の大船建造禁止令撤廃の主旨は「荷船の外大船停止の御法令に候処……」即ち国防のため諸大名に軍艦建造を許すことであったが、神奈川はじめ次々に開港して諸外国の商船が出入りすることになると、幕府は1861年（文久元年）に民間人にも西洋型商船の所有を奨励する布告を出した。この布告の主旨は、今後百姓町人も大船を所有または製造しても差し支えない。又外国商船を購入したい者は最寄りの開港奉行に申し出なさい。外国商船を購入所有した者には国内貨物輸送を許可する。航海士、水夫等乗組員の斡旋もすると言った懇切なものであった。

その結果、勿論一般庶民は商船を保有する力は無かったが、維新当時、幕府、諸藩の所有した船舶は130～140隻程度になったと推定されている。

維新後、明治政府はこの政策を引き継ぎ、1869年（明治2年）の太政官布告で、文久元年の幕府の布告を踏襲するだけでなく「日本製の船は難破のおそれがあるので、今後西洋型商船を所有する者は手厚く引き立てる」と言う条項が追加されている。

このような手厚い海運政策を背景に、開国直後から外国船の購入がブームになり、日本は西欧諸国の中古船の売り先としての絶好のマーケットになった。一方、当時、諸外国では造船技術の激動期にあり、十分な船舶知識のない日本人は品質を見分ける能力がなく、この点でも中古船を売り易かったものと思われる。政府は外国商船の購入を奨励すると共に、1869年（明治2年）には「従来諸藩は外国人と直接取引きして船艦を購入しているが、時々大金を費やして廃退粗悪の品質を買っていることもあり……」と注意を促す布告を出している。

1873年（明治6年）、ウィーンの万国博覧会に日本も出品したが、この時工業技術習得のための派遣団を送り、帰国後、膨大な報告書を公表した。その中には航海造船報告書があり、「航海を盛んになるには造船を盛んにすることが基盤である。最近購入された外国船の大部分は旧式で、外国人の物笑いになっている……」。また造船所の詳細調査で、中古船の検査の要諦、船齢による船価の低減についての実例等詳細に報告して注意を喚起した。

幕末以来の西洋型船の奨励により次第にその保有量が増加したので、1884年（明治17年）に西洋型船舶検査規則が公布され、明治19年6月までに軍艦と20トン未満の帆船を除く総ての西洋型船の検査を終了するように命じ、1885年（明治18年）に東京、大阪、神戸、函館に船舶検査所を開設した。同年に1887年（明治20年）1月以降500石以上の日本型船の建造を禁止する布告を発した。この両制度はその後の和船建造に大きな影響を与えることに

なったが、船舶の安全性を確保するために船舶検査制度の始まりとなった。

維新以降、西南の役、台湾出兵、日清戦争（1894年）等で兵員輸送で苦渋を嘗めた政府は海上輸送力確保の重大さを再認識し、1896年（明治29年）に航海奨励法と造船奨励法を施行し、外国航路の充実と船舶の国内建造を奨励した。

(3) 明治中期までの建造状況

(2)に述べたような諸施策を背景に、民間船主の所有する西洋型船は次第に増加したが、目標の蒸気船はその運用技術の習得問題もあって、急速には伸展せず、主として木造帆船が外国から購入された。しかし、河川、港湾、内海を航行する小型旅客船は外国からの回航が困難であり、国内で建造せざるを得なかったので、先ず内航小型船の建造から開始されることになる。

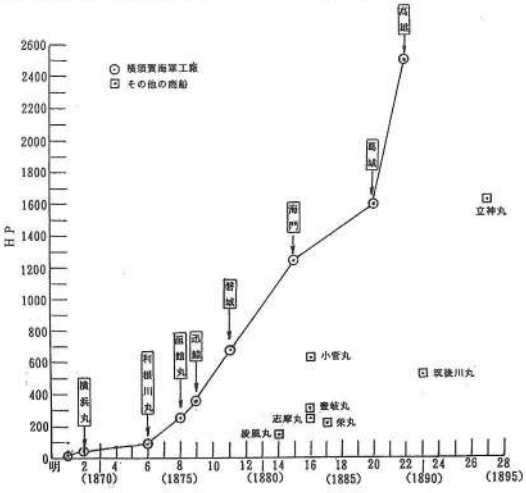


図 4.1.1　明治中期までの蒸気推進機関発達（大馬力化）の概要

1857年（安政4年）に建設が始まった直後の長崎溶鉄所が「たま浦形」の小蒸気船を建造し、横須賀製鉄所は仏人ウェルニーの提案により、横浜製鉄所との連絡用に30馬力と10馬力の小蒸気船を建造した。この提案は資材の殆どを外国に依存していた当時は開港の横浜に到着した資材を僻地の横須賀に運ぶのは海路がより経済的であるとの理由であった。30馬力の「横須賀丸」の機関はフランスから輸入、10馬力の機関は国内製作として、両船とも1868年（明治元年）に完成した。翌1869年（明治2年）には40馬力の「横浜丸」を国産で完成した。蒸気機関の大馬力化は以後図4.1.1のように順調に進展したが、製鉄業の背景が無かった日本では鉄船、鋼船の建造は容易ではなかった。

1871年（明治4年）に新潟税関が夷（佐渡両津市）との連絡のため、64総トンの鉄船「新潟丸」を夷で建造した。これがわが国建造の鉄船第1号であるが、近代製鉄業の基盤がなかった当時、設計も材料調達も外国にたよるしかなく、夷では組立てだけであったとされている。

翌1872年（明治5年）大阪で121総トンの鉄製貨客船「興讃丸」が建造され、これがわが国で設計された鉄船の第1船とされている。ただし、明治維新後阪神地区では外国人経営の造船所があり、小型蒸気船を建造していたので、この船の設計も日本人の手によるものではあるまい。

1873年（明治6年）には東京築地で鉄製客船「神戸丸」（251総トン）が建造され、後に「電信丸」と改名され貨物船となり、第2次世界大戦後も「甲南丸」と再改名して就航した長命の船であった。

1890年（明治23年）に軟鋼が輸入されると直ちに「筑後川丸」が長崎造船所で建造され、鋼製商船の第一号となったが、鉄船は20数隻建造されただけで、鋼船に移行した。

1895年（明治28年）に長崎造船所で建造された「須磨丸」（1,592総トン）は全通二重底を装備した航洋船構造で、造船技術が飛躍的に進歩した船の先駆けであるとされている。これを基盤に1898年（明治31年）に「常陸丸」（6,172総トン）が完成したが、一挙に6,000総トン以上、二軸船に飛躍し、以後の大型船の基盤を築いた。

一方、海軍では1872年（明治5年）横須賀海軍工廠でお召し艦「蒼龍」の端船曳船（2軸、鉄船）を建造したが、木造艦を主とし、1883年（明治16年）に長さ90m以下の艦を鉄製にすることを計画調査し、1885年（明治18年）1月に漸く横須賀工廠に鉄船製造場建築の予算を計上した。最初は1887年（明治20年）完成の鉄骨木皮の「葛城」、続いて同年完成の鋼骨鉄皮の「愛宕」、排水量2,000トン近い鋼骨鉄皮の「高雄」を経て、1890年（明治23年）に全鋼製軍艦「八重山」が完成した。鋼板の性質がよく分からないために慎重に鉄鋼混構船を試みたとされているが、鋼板の入手が困難であったことも理由の一つであったと推察される。「八重山」が完成した年と「筑後川丸」が完成した年が同年であることは興味深く、材料入手の難易が設計を左右していたことを示唆している。続いて「秋津州」、「橋立」と大型化する。

これらの事情と造船界をめぐる出来事を纏めて図4.1.2に示した。

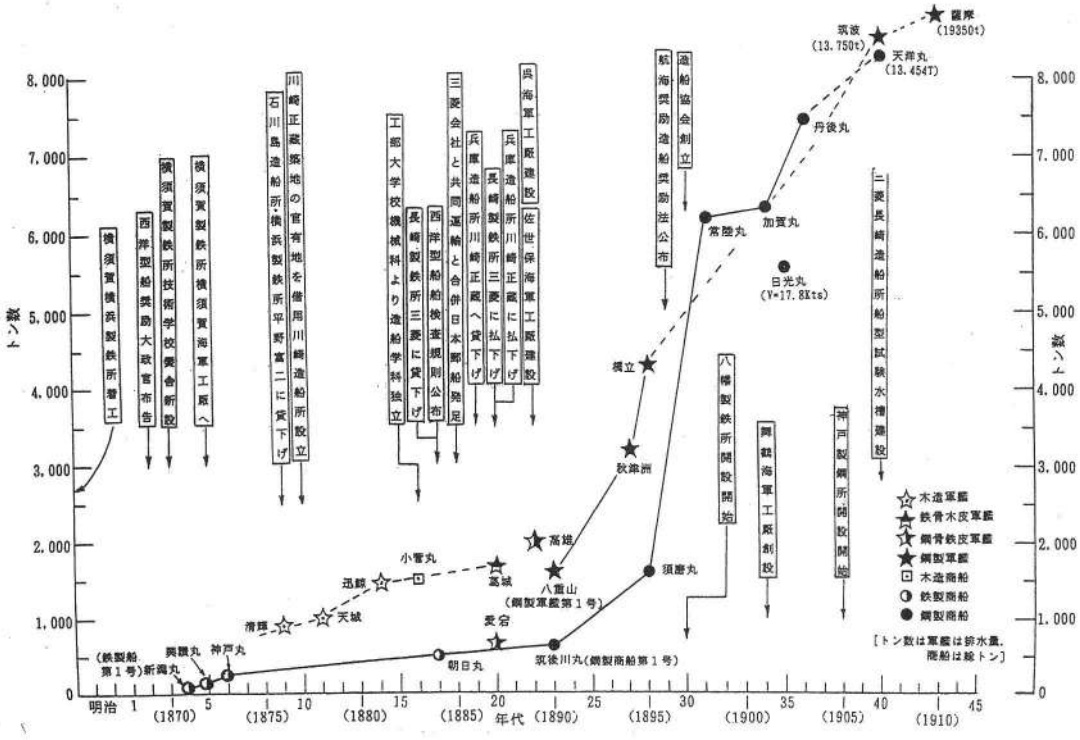


図 4.1.2　明治年間の建造状況と造船界をめぐる主な出来事

(4) 明治中期のまでの技術養成

(a) 大船建造禁止令撤廃前後までの事情

わが国の航洋船は中国大陸との交流により、遣隋、遣唐使を経て、勘合船を明に派遣した。当時の構造様式の詳細は明らかではないが、恐らく中国型を模したものであったと思われる。慶長年間になり、長崎の豪商等が御朱印船を競って建造したがL/B＝2.4程度で中国或いは欧州の初期の帆船の寸法比に極めて近いものであった。また、慶長年間には英人ウイリアム・アダムスが幕府の顧問として西洋型帆船の建造技術を伝え、その結果として慶長遣欧使節船が建造されたが、大船建造禁止令により、これらの技術は総て失われた。禁止令撤廃前後は先に述べたように蘭書の翻訳による程度の知識しかなく、解禁後建造された「鳳凰」、「昇平」、「旭日」等の帆船も西洋型帆船を模擬したものに過ぎなかったといえよう。

1855年（安政2年）に完成した「スクーナーヘタ号」は露国大使プチャーチンが前年下田の津波で失った乗艦の代船として伊豆君沢郡戸田村で設計建造したもので、わが国の船大工が建造に参加し、初めて蒸材法やタール、ピッチの製法を教わったとされている。

以後これを模して数隻の君沢型スクーナーが建造された。これらのことは慶長年間に伝授された筈であるが、無から出発しなければならない状況であった。

1855年（安政2年）に開設された長崎伝習所は運用を主とした海軍士官の養成を目標にしたものであったが、1857年（安政4年）に開設した長崎溶鉄所は8月にオランダ船匠を10人招聘して技術の指導、習得を目指した。1861年（文久元年）には長崎の卒業者を石川島に派遣して、1864年（文久3年）に千代田型砲艦の第一艦を完成した。この艦は堅牢で評判がよかった。早くも教育の成果が得られたと言えよう。

1865年（慶応元年）に着工した横須賀、横浜製鉄所は仏人首長ウエルニーの進言により、先ず横浜碇泊中の仏軍艦から海軍技士、武器掛を各1名スカウトすることから始め、1866年（慶応2年）にはウエルニー以下仏人技術、技能者を横須賀製鉄所43名、横浜製鉄所16名（内7名は横須賀製鉄所より出張）計52名を揃えた。この俸給総額は1年間83,760$に達した。横須賀製鉄所は近代造船所として発足するには、先ず煉瓦の製作から始めなければならない事情があったので、これら仏人の職種はあらゆる専門に亘っているが、その内設計関係は製図工事長1、製図職1、造船兼製図職1の3名で、その年俸合計は4,500$であった。

1868年（明治元年）には仏人総数45名、総年俸67,300$、1870年（明治3年）に総人数43名、1871年（明治4年）には31名、1874年（明治7年）には横須賀26名（内製図1、工学1、語学1）横浜5名計31名の変遷を辿っている。

(b) 設計の活動

設計の活動は実際には製品に包括されて表面に出ることがないので、具体的に活動を述べることは困難であるが、一つの指標を示しておく。開設以来設計部門は製図課として出発しているが、表4.1.2に1876年（明治9年）の工廠の人員表を示した。この表は職工、人夫の合計である。当時の職種別の配分の一端が伺える。

次に明治初期の建艦費の例を表4.1.3に示した。ここに揚げたのは直接の材料、工費で、先に述べた仏人の俸給その他の間接費は含まれていない。建艦費に含まれた設計費は%で「天城」0.22、「磐城」0.33、「葛城」0.66であり、極めて僅少である。当時は人件費が低く、材料費が圧倒的に高い時代であり、このことは総工費が総船価の23～27%であることにも端的にあらわれている。

表4.1.2　横須賀海軍工廠人員（明治9年10月現在）

場名	人員	場名	人員	場名	人員
船台	152	滑車	26	組立	91
填隙	122	錬鉄	130	建治	44
船渠	71	整飾	55	築造	34
製帆	43	製罐	180	倉庫	9
製網	47	鋳造	54	管材	2
船具	80	模型	21	製図	170
端船	36	舎密所	1	官廳	1
非常用具	4	旋盤	119		
鋸鉋	23	鑢鑿		計	1,515

表4.1.3　明治初期の建艦費、設計費の例（単位；円）

艦名	完成年	材工総費(a)	工費(b)	製図費(c)	(b)/(a)	(c)/(a)
天城	明11.	81,274.6.	19,362.0	181.6	0.238	0.0022
盤城	明12.	87,418.6	?	288.8	?	0.0033
海門	明16.	432,901.9	117.727.1	?	0.272	?
葛城	明20.	642,614.4	?	4,262.6	?	0.0066

(c) 技術の養成

大船建造禁止令の反動のように同令撤廃後幕府は外国技術の吸収に熱心になる。殆どの民間造船所でも所内に技術養成学校を設定したが、代表として横須賀海軍工廠の例を述べる。

1865年（慶応元年）横須賀製鉄所の建設に着工すると同時に技術伝習生14名（技師生徒4名、職工生徒10名）を採用した。1866年（慶応2年）ウエルニーは技術伝習生及び職工生徒を教育育成することの必要性に関する意見書を提出し、その中で各課に仏人との意志疎通のため通訳を一名置くこと、この通訳は洋学伝習所のフランス語生徒を派遣させ通訳を兼ねて工学の伝習を受けることを提案した。1867年（慶応3年）幕府は技術伝習生徒の増補を行うとともに職工生徒制を発足させた。これを引き継いだ明治政府は1870年（明治3年）製鉄所内に技術学校を新設し、黌舎と称した。主眼とする学科目は造船学、機械学、仏語、数学であった。

1874年（明治7年）黌舎生徒、職工生徒の就業規則の改正を行ったが、その中に、職場への修行入業した者はその職場職人と同様に年齢相応の日給を支給するとの一項目があり、技術習得の生徒を優遇したことが伺える。

表4.1.4に黌舎生徒、職工生徒の学科目を示した。明治9年に制度が変わり、予科と本科に分かれた。b) にその学科表を、c) に同年の職工学校の学科表を示した。4年間仏語があるが職工学校だからあまり力を入れなくても良いと注釈されているのは面白い。1889年（明治22年）には5年制に変わり、その時の学科表をd)に示した。開設以来フランスの指導で発展した横須賀工廠であったが、1878年（明治11年）6月にフランス式をやめて、海軍一般の英式に移行することを申請して許可された。a) b) c) で仏学、仏語学があるが、d) ではこれらが消えて英学が掲げられているのはこれらの事情を反映している。科目も時代の推移を現していて、技術の進展がこれらの表を眺めるだけでも推定できるが、歴史、地理等の一般教養、基礎工学、計画製図が重視されていたことが感じられる。

表4.1.4　横須賀製鉄所黌舎の学科表

a) 明治8年（1876年）学科表　　（　）在籍者数

四等生	算学　代数学初歩　幾何学初歩　萬國地理学
(11)	図学　佛学　和漢字
三等生	算学　代数学　幾何学　化学　日本地理学
(10)	図学　佛学　和漢学　翻訳学
二等生	算学　代数学　画法幾何学　三角術　物理学　化学
(8)	日本地理学　図学　佛学　和漢学　翻訳学
一等生	高等代数学　高等画法幾何学　物理学　化学
(4)	図学　佛学　和漢字　翻訳学

b) 明治9年（1876）学科表

	等級	学科目	既修科目
予科	四等生	幾何学　翻訳学　泰西近世史 和漢学　製図	算学　代数学 佛文典
	三等生	化学　佛訳学　翻訳学 和漢字　製図	算学　幾何学 代数学
	二等生	重学　物理学　化学　画法幾何学 翻訳学　和漢学　製図	三角術　代数学　幾何学 佛語学　地理学　算学
本科	第一期	幾何図学　微分積分学　推理重学 造船實訣　博物学　製図	物品抗耐学　物質組成学
	第二期	造船学　蒸気機械学　造船實考課	製図
	第三期	蒸気機械学考課　艦砲学　築造学	製図　工場執業

c) 明治9年（1876年）職工学校学科表

第一学年	算学　幾何学　代数学　図学　佛語学
第二学年	画法幾何学　三角術　曲線学　物理学　化学　図学　佛語学
第三学年	重学　物品器具学　物理学　化学　図学　佛語学
第四学年	造船学（本部生徒に限る）蒸気機械学（鉄部生徒に限る）製帆学（製帆及船具生徒に限る）　衛生学　図学　佛語学

d) 明治22年（1889年）練習生学科表

予科	第一年	和漢学（日本小史）　算術（分数、比例、開平、開立） 代数学（四則より一次方程式に至る）幾何学（平面、立体）
	第二年	英字（読書、文法）見取図（簡易） 和漢学（国史略）代数学（二次方程式より二項法に至る） 三角術（八線の定義より八線と角度の諸関係説明に至る） 画法幾何（点、線、平面、立体）英字（萬國史） 見取図（諸機械）重学（静、力、動）化学（非金属） 物理学（総論、空気、水圧、光、音）
本科	第三年	代数幾何学（直線、圓、楕円、拗物線、双曲線）製図（見取図、製図）汽機学（汽機書）応用力学（物質強弱論）化学（金属）工場機械説（造船部各工場機械説明及工業に関する概説）
	第四年	造船学（木船、鉄骨木皮船の構造）製図（計画図）応用力学（物体抵抗論）汽機学（舶用汽機及機関）
	第五年	造船学（鉄船、鉄骨木皮船、艦船計画）汽機学（舶用機関の計画）製図（計画図）

一方、大学に於ける造船学の教育、1880年（明治13年）工部大学校機械科で造船学を教授することが決定し、修業年を予科2年、本科4年の6年とした。1883年（明治16年）に第一回卒業生3名を出し、同年機械学科から独立して造船学科を設立した。工部大学校はその後帝国大学工科大学となるが、造船学科の学生の実習は横須賀海軍工廠で行われた。1886年（明治19年）横須賀海軍工廠黌舎と合併して帝国大学工科大学造船学科となり、海軍の技術士官の育成を引き受けることになる。表4.1.4 d) はこの移管後、職工学校を技能者養成所にしてからのものとみられる。表4.1.5に1885年（明治20年）頃の帝国大学工科大学造船学科の学科表を示した。

このように技術、技能の育成に注力すると共に、これらの養成機関の卒業者を積極的に海外留学に派遣し、外国技術の吸収に努めた。

表4.1.5　帝国大学工科大学造船学科学科表（明治20年頃）

第一学年	数学　力学　応用力学　熱機関学　機械学　機械製造法 製造冶金学　水力学　造船学　応用力学製図及演習 計画及製図　舶用機関計画及製図 （一年及第の上は、夏期休業中、造船所にて実地演習をなさしむ）
第二学年	造船学　蒸気学　舶用機関学　水力機　電気工学大意　工芸経済学 計画及製図
第三学年	実地演習［第一学期間］　造船学　計画及製図 卒業計画及論文

表4.1.6　明治時代の船腹量、造船量及び累積造船量

年	船腹量	造船量	累積造船量	累積造船量／船腹量
明治25（1892）	142,492	—	—	—
26（1893）	151,773	1,132	1,132	0.0074
27（1894）	174,466	3,173	4,305	0.025
28（1895）	279,668	2,296	6,601	0.024
29（1896）	334,592	7,849	14,450	0.043
30（1897）	404,475	6,740	21,190	0.052
31（1898）	454,163	11,424	32,614	0.072
32（1899）	473,704	6,775	39,389	0.083
33（1900）	488,187	4,543	43,932	0.090
34（1901）	524,125	37,208	81,140	0.155
35（1902）	555,230	27,181	108,321	0.195
36（1903）	585,542	34,514	142,835	0.244
37（1904）	668,360	32,969	175,804	0.263
38（1905）	870,839	31,725	207,529	0.238
39（1906）	996,553	42,489	250,018	0.251
40（1907）	1,008,747	66,254	316,272	0.314
41（1893）	1,140,177	59,725	375,997	0.329
42（1909）	1,150,858	52,319	428,316	0.372
43（1910）	1,146,977	30,215	458,531	0.40
44（1911）	1,200,975	44,358	502,889	0.418

横須賀海軍工廠で初めて仏人の手を離れて、日本人だけで計画設計を行ったのは、「磐城」からであるとされている。この艦の計画は1877年（明治10年）前後であったろうから、ウエルニー（1875年退職、1877年離日）が区切りをつけた時期である。日本人担当者は赤松本会初代会長であった。ウエルニーの後、1885年（明治18年）仏海軍造船大監ベルタンが一時来日した。完全に設計が外国人から独立したのはベルタンが離日した1887年（明治20年）以降であるとする向きもある。

以上、日本造船の黎明期に技術技能を習得した人々が中核になって日本造船界を牽引することになるが、表4.1.6に示されるように明治期の建造量は最大の1907年（明治40年）で66,000総トンであり外国からの買船が過半数を占めることを示している。

4.2　艤装

4.2.1　電気艤装

(1) 揺籃期の電気設備

明治時代へ入り、英国で建造された「長門丸」級の客船に初めて電灯照明が使用されたという広告が出されており、一方、国内建造船では、1898年竣工の貨客船「常隆丸」に電気艤装工事を施工し、発電機及び電灯が装備されたとの記録が残されている。その後、電灯に続いて扇風機やベルなどが装備されたとの記録もある。

ディーゼル船の出現までは全て汽動主機であり、補機や甲板機械の重要装置を電動化するような状況ではなかった。主として電灯、扇風機、ベル、電熱器などが使用されたのみで、発電機容量も客船でさえ30KW程度であった。なお、この時期は全て直流方式であった。

(2) タービン船の電気設備

1908年（明治41年）、わが国初のタービン船「天洋丸」が竣工、続いて姉妹船「地洋丸」、「春洋丸」が建造されたが、舶用として当時日本最大の英国アレン社製発電機DC100V、75KW2台が装備された。負荷は、電灯650灯、ボートウインチ用電動機、カーゴウインチ用電動機、扇風機及びテレフンケン式無線電信機などであり、電気工事も当時としては画期的な工事であった。

第5章　機関

1855年（安政2年）7月22日、江戸田町の薩摩藩邸内では、1基の蒸気機関がたくましい蒸気音を響かせて回転し、並み居る諸侯を驚かせた。薩摩藩主島津斉彬がオランダより取り寄せた舶用蒸気機関学に関する書を基に藩内で日本人が製作した機関で、これが我が国の舶用機関事始めであり、その後の発展の礎となった。

図5.1には明治時代の各年度において我が国で製造された、あるいは外国から購入した1000総トン以上の船舶数と、その年度に我が国で製造された機関（レシプロ機関のみを対象）の最大（図示）馬力数を示す。

図5.1からは、1897年（明治30年）前後から国産の大型船舶が製造されはじめ、時代が進むとともに国産船舶数が多くなって我が国造船技術の水準が年々高くなって行くのがうかがえる。また、我が国で製造された機関の最高出力を見ると、1898年（明治31年）に大きなステップがあり、1903年（明治36年）にさらに大きな飛躍が見られる。

1898年（明治31年）の第1ステップは、日本郵船の貨客船「常陸丸」の主機（図5.2）である。本船は造船奨励法適用船舶として竣工しているが、国際航路用の外洋商船として全くの未経験の分野に挑んだわけであり、実際ロイド船級登録までには数々の試練があったようである。そのような試練の中で、我が国としては前代未聞の馬力数を持つ主機関が製作された。これは3連成レシプロ機関（3段膨張式往復動蒸気機関）で、出力2040馬力、回転数約85rpmであった。高圧、中圧、低圧各部のシリンダ径はそれぞれ20in（508mm）、33.5in（851mm）、56in（1422mm）で、行程は48in（1220mm）、蒸気圧は14 kg/㎠である。船体はもとより、機関も、ボイラもすべてイギリスから設計図を購入し、資材もほとんど輸入品というイギリス依存型ではあった。余談であるが、この船舶は後年日露戦争に陸軍御用船として徴用され、1904年（明治37年）6月15日撃沈され、多数の乗組員が殉職している。

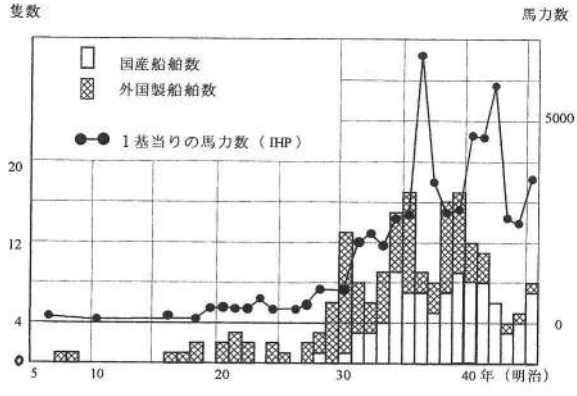


図5.1　明治時代の各年度に進水した船舶数（1000GT以上）とわが国で生産されたその年度の1基最大馬力数（レジプロ機関のみ）

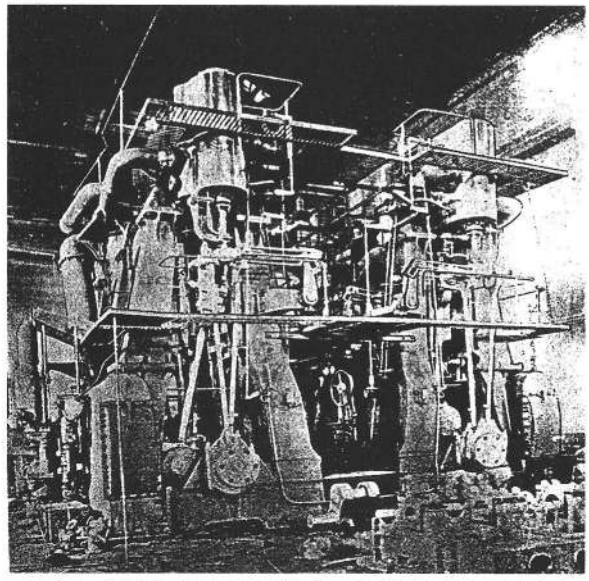


図5.2　常陸丸用の3連成レシプロ機関（2040馬力）

1903年（明治36年）の第2ステップは、日本郵船の豪州航路貨客船「日光丸」の主機である（図5.3）。この主機は上記「常陸丸」主機と同様に3連成レシプロ機関であるが、1基当たり出力は6700馬力/99rpmとこれまで我が国で生産した最高馬力の実に2.5倍を達成し、以後我が国においてはこれを超える馬力のレシプロ機関は出現していない。高圧、中圧、低圧各部のシリンダ径はそれぞれ31in（787mm）、51in（1300mm）、85in（2160mm）で、行程は54in（1372mm）、蒸気圧は13 kg/㎠である。それま

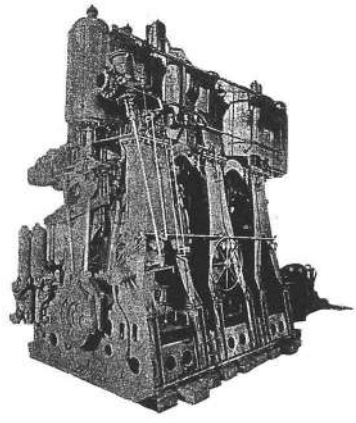


図5.3　日光丸用の3連成レシプロ機関（6700馬力）

では各種主要部分品特に鋳鋼品も海外からの輸入が多かったが、このころになると次第に国産品が充当されるようになってきた。

上記2例からもうかがえるように、未知の分野に挑戦した明治時代の舶用機関技術者の意気込みがいかに高く熱く燃えていたか、当時の技術者魂を想像すると身の内の熱くなる想いを禁じ得ない。

さて、明治時代におけるわが国の舶用機関はほとんどが蒸気レシプロ機関ではあったが、1898年（明治31年）には石油機関（4馬力）が隅田川を走り、1907年（明治40年）には客船主機として蒸気タービンが製作され、日本造船技術の揺籃期を形成している。

参考文献

1)　日本舶用機関学会、舶用機関調査研究委員会編：本邦建造船要目表、海文堂、(1976)
2)　矢崎信之：舶用機関史話、天然社、(1941)
3)　三菱造船㈱編：創業百年の長崎造船所、(1957)
4)　日本船舶機関士協会編：舶用機関技術史、(1993)

第6章　海洋技術

小規模な沿岸観測調査や漁業調査が始まったばかりの時代であった。

1872年に初めてヘルメット潜水器が国産化されて、貝採取等漁業の他港湾建設やサルベージ作業に使用された。1910年代には漁業用に減圧用の再圧小型タンクを装備したダイバーボートが400隻を越えた。

第 II 部

日本造船界の勃興期

1910 年～ 1930 年（明治 43 年～昭和 5 年）

概観

第一次世界大戦による第一次造船ブームが起こり、造船業ばかりでなく海運業も空前の好景気に湧き立った。欧州航路貨客船「香取丸」や豪華客船「浅間丸」等が建造された。1918年に第一次大戦が終結すると一転世界は船腹過剰と大不況に見舞われる。このころは海運界は総じて不況であり、造船界もその影響を受けたが唯一その中で客船や貨物船が政府の援助を受けて大量に建造された。具体的には、第一次から第三次にまでにわたる船舶改善助成施設、1932年に実施された優秀船舶助成施設などの助成金を得て大型で高速な船舶が数多く建造されている。例えば、外国航路の客船が老朽化していたこともあり、米国やカナダとの間を航海する大型で高速の貨客船がこれらの助成金で次々と建造された。また、中国、東南アジア、南洋諸島、台湾、北朝鮮などとの国交関係が変化し物資や人の交流が増加しこれらの近海航路に就航する貨客船の充実も計られた。この時期の特徴は、このような大型貨物船の大量建造とディーゼルの導入による主機の大馬力化と言える。

抵抗推進性能に関しては、第一次世界大戦による造船業の活況は造船技術や造船学の分野の進歩に大きな影響を与え、独自の船型やプロペラ開発の研究が登場してきた。模型を用いた水槽試験による抵抗推進性能の向上の研究がなされたり、プロペラ理論が出されたりし、世界に通用する研究がなされるようになってきた。また、逓信省船舶試験所に大水槽（長さ139.2 m、幅10 m、水深6.3 m）が作られた。一方、軍艦について、大艦巨砲主義に基づく高速大型戦艦「陸奥」（32,720トン、26.5ノット）等が我が国独自の力で作られた。その後、画期的性能を持つ高速重巡洋艦「妙高」（10,000トン、35.5ノット）等が作られ、当時の造船技術のレベルの高さが示された。

運動性能のうち、耐航性に関しては、船体横揺れの軽減装置として、画期的元良式スタビライザーが考案された。この時期は横揺れ現象の解明のための研究が始まり、1918年に東京大学に新設された動揺試験水槽が活用された。一方、操縦性に関しては、旋回運動時の運動方程式が導かれる等の先駆的研究がなされた。舵に関する研究が盛んに行われ、操舵による船速低下、舵形状と旋回性能の関係や特殊舵についての研究がなされた。また、近接して航行する2隻の船で起きた海難事故の原因解明のため、近接航行時の二船間の吸引作用についての研究が行われた。この時期より、狭水路を航行する船の運動特性や航行安全面からの研究が始められた。運動性能に関する造船技術向上の努力がなされた時期にあたる。

構造・強度技術に関しては、明治の末期頃から漸く自主的な技術開発の必要性が認識され、船体強度に関して本質的な検討や解析が行われるようになった。船体の受ける剪断力ならびに曲げモーメントを初期段階で予測する近似式や、船体の横断面係数の近似的推定法、船体の主要部材の強度標準などが提案されるようになった。基礎的な研究の必要性が求められるなかで、船体の不連続部の応力集中問題について解析や実験が行われ、倉口周辺の応力分布及び破壊強度などが研究された。また、1907年に初めてストロメヤー式歪計を購入して歪計測を行い、1914年には試運転時に長時間にわたって歪計測が行われたが、これらの歪計は歪の計測点の数や計測可能な個所に制限があった。船体の軽量化が進むとともに座屈問題も無視できなくなり、船体のビルジ部、潜水船の横隔壁、梁の捩り座屈及び肘板の座屈など船体構造の多くの座屈現象が解析された。船体の振動問題については、1903～1904年に駆逐船について初めて振動計測が行われた。また図式法と呼ばれる船体固有振動数の計算法や、水中で船体が振動する場合の慣性影響などの論文も発表された。さらに船体振動に大きな影響を与える要素として付加水の問題も指摘されたが、当時は国内外の研究者が誰も理解を示さなかった。このころ船体振動の研究を進める上で振動計の試作も行われるようになった。

この時期の接合技術は、圧搾空気ハンマー法による鋲接の全盛期であるが、新しい技術の芽生えがあった。即ち、米国と露国で発明考案された電気溶接法の最大の欠点である溶融金属の酸化を防止する方法がスウェーデンと英国で考案された。両者とも被覆材を用いる点は同じであるが、前者は被覆材から中性または還元性ガスを発生させ、後者はスラグを発生させて、空気との接触を遮断するものである。三菱長崎造船所は、スウェーデンからこの電気溶接法を導入し、1920年に長さ110フィート、412トンの港内従業員送迎船「諏訪丸」を自家製の溶接棒を使って全溶接で建造し、10～15％の重量軽減効果を達成した。艦艇の重量軽減に躍起になっていた海軍がこの電気溶接に着目し、海軍工廠を中心に実用化を目指して研究開発に力を入れた。

建造技術に関して、第一次世界大戦の特需による造船ブームに乗り、日本の各造船所はストックボードという短期量産型の標準船の建造で大量の船腹を海運界に送り

出した。大正時代・昭和初期の船体建造法は、鋲接建造方式であって、工程は、現図展開・型取・切断・孔あけ・曲げ・取付・鋲接・鉄木・進水・艤装の順に進んだ。ストックボードの建造では工程短縮のため、一部にブロック建造や電気溶接のはしりが見られた。最短30日で起工から竣工という記録がある。

機関技術については、この時期にディーゼル機関が日本の艦艇及び商船用の主機に初めて採用され、その優れた熱効率により従来の蒸気機関独占分野に逐次進出しその勢力範囲を拡大した時代である。その源流は、日本海軍の潜水艦の発達にあった。日露戦争のため日本がアメリカから購入した潜水艇に搭載の主機が日本海軍が手を触れた最初の内燃機関で、180馬力立型4シリンダのガソリン機関であったが、当時は危険なガスによる爆発事故という最大の課題があった。ディーゼル機関の発明は、ルドルフ・ディーゼルが1893年にドイツ特許を取得したのが最初であるが、ドイツのMAN社が1899年に陸上機関を製作したのが実用機第1号である。第1次世界大戦では各国潜水艦に1基1000馬力級のディーゼル機関が多く採用され、特にドイツ、イギリスの潜水艦の活躍と戦果はめざましいものがあった。日本海軍の潜水艦用に建造されたディーゼル機関は、発生する故障、不都合問題を数年を経て克服し、発達していった。日本海軍の蒸気機関は、蒸気往復動機関から直結単式蒸気タービン、減速歯車付き多シリンダ式蒸気タービンへ、ボイラは円缶から水管缶へ、燃料は石炭、煉炭、重油へ転換し、従い石炭専焼、重油石炭混焼、重油専焼へと移行した過渡期である。蒸気タービンとしてパーソンス式（イギリス）やカーチス式（アメリカ）他が発明され、後者は戦艦「安芸」に採用された。1916年（大正5年）、海軍は初めて主タービンに減速歯車を採用し、これにより高圧時3,000rpmの高速回転を実現した。1923年以降は海軍の開発になる艦本式タービンが主機となった。また艦本式ボイラも確立された。燃料廠の設立もこの頃である。商船では、1922年に三井物産船舶部が「赤城山丸」にディーゼル機関を搭載したところ、蒸気レシプロ機関搭載船と比べ大幅な運航成績の改善が立証でき、ディーゼル船建造の気運を大きく醸成することとなった。

第1章　性能

1.1　抵抗推進

1.1.1　第一次世界大戦による第一次造船ブーム

この時代、三菱長崎と川崎造船所の二大造船所は、海軍の軍艦建造と郵船会社、大阪商船からの発注もあって堅調であったが、他の民間造船所は修繕工事と小型船舶の建造でやっと社業を続けているという状態であった。明治時代が終わり、大正時代に入っても市況は仲々良くならず各社経営に苦心する有様が続いた。そこに降って湧いたのが、1914年（大正3年）7月の第一次世界大戦である。大戦勃発直後は先行き不安から警戒感が強く、産業界・経済界の不況は深刻な状況が強まったが、1年程経った1915年の後半から情況は一変した。ヨーロッパの交戦国の輸出品生産が途絶えるとともに、船舶の軍事徴用と戦争損失による船腹不足が起こって造船ブーム[1,2,3]が到来したのである。このブームの恩恵に一番あずかったのが日本である。大戦は1918年（大正7年）11月に終結するが、ヨーロッパの復興特需もあってブームは1920年まで続いた。この間、中古船までも用船に引っ張りだことなり、海運界も空前の好景気に湧き立った。

1913年（大正2年）に郵船会社が建造した欧州航路貨客船「香取丸」は、主機関に往復動蒸気機関2基とその排気で駆動する蒸気タービンとでそれぞれが独立に1基づつの推進器を作動させるという複合式の推進装置を装備した珍しい船であった。蒸気のエネルギーを無駄なく利用しようとする省エネ推進装置の先駆であったが、当時としてはあまりに複雑なメカニズムとコスト高で後続船は無かった。図1.1.1と2に「香取丸」の図面と写真を示す。

造船ブームに乗って、貨物船の国内建造が盛んになり、「豊岡丸」（DWT7,375トン、長さ136メートル、主機関パーソンス2段減速式タービン2基5,700馬力、速力14.54ノット）を1番船とするT型（船名の頭文字がT）貨物船6隻を、郵船会社が建造して口火を切った。各造船会社はこの機を利して注文を待たずに仕入船（ストック・ボート）を標準仕様で多数建造したが、造るはしから売れた。こ

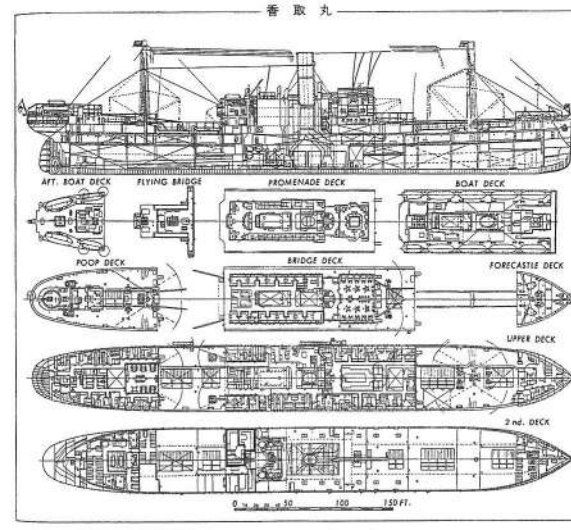


図1.1.1　香取丸
［山高五郎著『図説日の丸船隊史話』（至誠堂刊）より］



図1.1.2　欧州航路貨客船「香取丸」［山高五郎著『図説日の丸船隊史話』（至誠堂刊）より］

れは戦時標準船（戦標船）のはしりであった。買い手は、国内船会社だけでなく外国船会社やバイヤーも多く、早くも、日本は造船輸出国に躍り出た。

1920年（大正9年）の中頃になるとブームは去り、戦時景気の反動の不況が襲って来た。ブーム時に雨後の筍のように創立された多くの造船所や船会社は次々と姿を消していったが、中には、堅実な経営で踏みとどまって、後世造船日本の一員として活躍することになる造船所も少なくなかった。戦後の落ち込みも過ぎて、落ち着きを取り戻した造船界に、1925年（大正14年）南米航路の新鋭貨客船「さんとす丸」級3隻（7,267トン、4,600馬力、15.75ノット）が登場した[1]。船主会社大阪商船の和辻春樹[4]はディーゼル機関の高熱効率と低燃費に着目していて、本船の主機をディーゼルとし、わが国初の大型モーターシップを実現した。そして、昭和初期になると、日本・米西岸間航路に、豪華客船が続々と登場した。「浅間丸」（1929年建造）、「龍田丸」、「秩父丸（後に鎌倉丸と改称）」（1930年建造）、「氷川丸」、「日枝丸」、「平安丸」（1930年建造）である[5, 6]。「浅間丸」、「龍田丸」は16,947総トン、16,000馬力ディーゼル、速力：最高21ノット／航海19ノットの性能と豪華設備を誇る世界の一級客船である。「浅間丸」の写真を図1.1.3に示す。もう何処へ出してもひけを取らない世界のトップレベルの船が日本で出来るようになった証である。これらのうち、「氷川丸」は太平洋戦争の戦火をくぐり抜け、戦後も活躍し、1960年（昭和35年）に退役して、今は横浜港の山下公園に係留されて海上博物館・レストラン船として市民に親しまれている。

この時期の造船業の活況は、造船技術及び造船学の分野にも大きな影響を与え、世界に伍してわが国独自の船型や推進器開発のための研究が登場してきた。1916年（大正5年）の第4回三好奨学資金懸賞の当選論文である元良信太郎の「模型スクリュープロペラ実験の解析（英文）」[7]は、スクリュープロペラのシリーズモデルテストの解析結果を報告したもので、スクリュープロペラの設計に役立てることを目的として三菱長崎の試験水槽で行われた研究の成果である。元良は、1920年に「船体後部の形状と推進効率」という研究[8]を発表して、方形係数0.77という比較的肥えた最も標準的な貨物船（元良は荷物船と記す）の船尾のフレームライン形状のU型、V型について3隻の模型を用いて抵抗性能と推進性能の優劣を、水槽試験のデータに基づいて論じた。この論文の結論である単螺旋船ではU型船尾の方が推進係数は良いがEHPは劣るということと、双螺旋船の方が単螺旋船より推進性能上有利であるということは、その後の日本の船型計画の思想に大きな影響を及ぼした。

他にも世界のトップレベルに位する研究者が現れている。船体の粘性抵抗を測定するのに二重模型を用いる方法を提案したり[9]、和船の櫓を当時最新の翼理論を用いて研究し[10]、その後日本の航空工学の草分けとなった横田

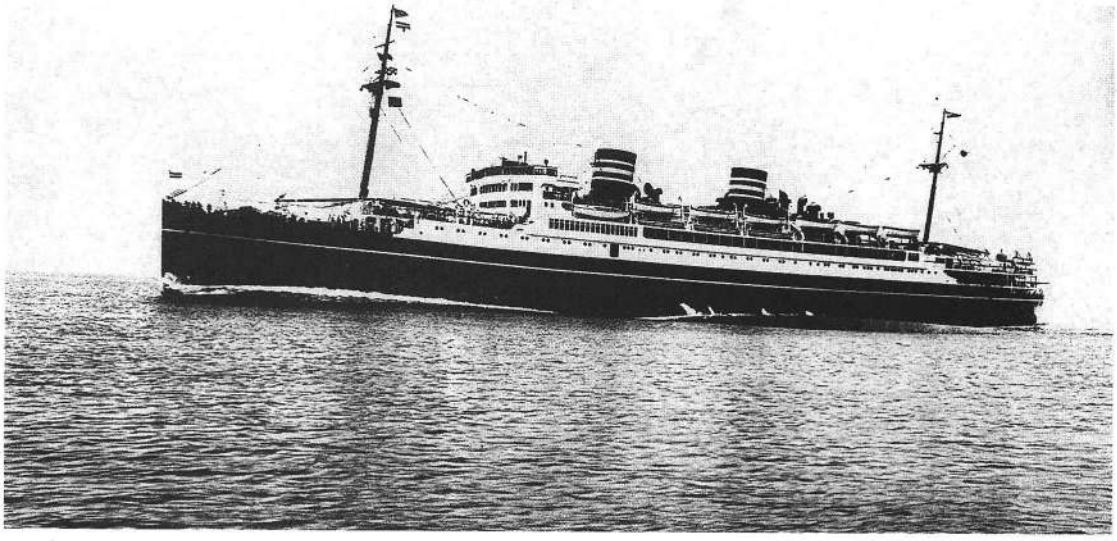


図1.1.3　客船「浅間丸」

は、前述の末広、元良（信）と共に船舶推進性能分野あるいは流体力学の分野をリードした一人である。この頃、最新のプラントルの境界層理論を用いた摩擦抵抗の研究[11～15]が盛んに行われた。この他には、八代の一連の推進器に関する研究[16～18]、は日本の艦船の推進器の性能向上に貢献した。また、ピトー管による非定常流速の測定に関する和田の研究[19]や、後年、河田の理論として有名になるプロペラ翼相互干渉の理論[20]のような先駆的研究も現れた。このように、この時代は造船学や航空工学の分野で世界に通用する研究が一部の魁的学者によって行われるようになって来た時代であると言える。

船の性能の実験設備である試験水槽は、三菱長崎水槽と海軍の築地水槽が出来て以来、暫くの間、見るべきものが出来なかった。大正時代に入ってユニークな幾つかの実験用水槽が主として個人の力で作られた[21]。それらを列記すると、1914年（大正3年）建設の水産講習所の漁船船型試験用水槽（長さ80.8m、幅6.1m、深さ3.0m）、1924年（大正13年）建設の九州帝国大学造船学科の教育研究用水槽（長さ36.6m、幅9.1m、深さ5.5m）、1925年に徳川が自邸の庭に作った徳川水槽（長さ7.6m、幅0.9m、深さ0.6m）、平賀が1926年（大正15年）に建設、1927年に延長改造した、人呼んで平賀水槽（長さ30.5m、幅1.8m、深さ1.2m）は造波装置まで備えていた。そして1919年（大正8年）に末広の造った東京帝国大学動揺実験水槽（長さ9.1m、幅3.3m、深さ1.07m、水深0.87m）は小さいながら、造波機、消波装置を装備した世界初の動揺水槽であった。これ等の水槽はそれぞれアイディアに富んだ工夫が施された特色のある水槽であった[21]。それは、製作者である徳川、平賀、末広という3人の偉大な学者の個性と学識の表れであって、余人が手易く真似できるものではない。

一方、関東大震災の後、1927年（昭和2年）には東京目白に逓信省船舶試験所の大水槽（長さ139.2m、幅10.0m、深さ6.3m）が、1930年（昭和5年）には東京目黒に震災で壊れた築地水槽の代わりの海軍技術研究所の大型試験水槽（長さ245.5m、幅12.5m、深さ6.5m）が新造された。前者を目白水槽、後者を目黒水槽と呼び、これに三菱長崎水槽を加えて、三大水槽が日本に揃い、一躍世界の一流造船国並の試験水槽を有する国となった[21,22]。その他、大阪帝国大学にも教育研究用の試験水槽（長さ30.0m、幅1.8m、深さ1.4m）が1928年（昭和3年）に完成した[22]。

1.1.2　大艦巨砲主義の台頭

日露戦役における日本連合艦隊の勝利を目の当たりにした英国は「三笠」を筆頭に日本の主力艦の殆どを建造した国として、多くの戦訓を日本海海戦から学んだ。そして、フィッシャー（海軍卿）の英断により、最強の戦艦「ドレッドノート」（Dreadnought：17,900トン、速力21ノット、当時最大の巨砲12インチ砲を2門づつ連装した砲塔を5基センターライン上に据え付けて左右両舷発射可能とし、副砲を全廃した）を日本海海戦の翌年1906年（明治39年）に一早く建造して世界中をあっと言わせた。この戦艦「ドレッドノート」は、世界の海軍界にとってまさに青天の霹靂であった。戦艦「ドレッドノート」の出現がその後の世界の建艦競争を大鑑巨砲主義[2,23]に走らせるきっかけになったのである。「ドレッドノート」は幾つもの革新的設計を行っているが、高速力ということも重要なポイントである。そのために23,000馬力という大出力の蒸気タービンを世界の大型艦船で始めて採用している。これが大成功を収め、燃料消費量が減り、航続距離が増し、いつでも高速での全速航走が可能となり、機動力が格段に向上した。

帝国海軍も、ドレッドノート級（ド級、漢字で弩級と呼称した）の戦艦の建造を焦眉の急と考え、1912年にド級一番艦「河内」を横須賀工廠で、2番艦「摂津」を呉工廠で建造した。「河内」は21,833トンで21ノット、25,000馬力の蒸気タービンを搭載した。しかし、砲力は12インチ連装6基12門を装備してド級戦艦の名目を保っているが、中心線上配置は船首船尾の2基4門だけで、残8門は両舷に4門づつ分散しているので、片舷砲力は8門になって4門は遊んでしまうという中途半端な形になっていた。

英国は1912年（大正元年）にド級を遥かに越える超ド級戦艦「Orion」（22,500トン、21ノット、13.5インチ砲10門）と、超ド級巡洋戦艦「Lion」（26,350トン、23ノット、13.5インチ砲4基8門）を建造して、またまた、世界の海軍関係者の度肝を抜いた。この超ド級の出現で列国の建艦競争に拍車がかかった。日本海軍の時代遅れは誰の目にも明かとなって海軍関係者の焦燥感は募るばかりであった。そこで、1911年（明治44年）高速巡洋戦艦「金剛」の建造と技術習得を英国ヴィッカース社に依頼して一気にこの遅れを取り返す方策に出た。「金剛」は27,500トン、速力27ノット、14インチ砲連装4基8門を中心線上に配備した超ド級巡洋戦艦であった。この時習得した図面と技術は貴重な物で、これ以降日本海軍の主力艦（「金剛」型超ド級巡洋戦艦「比叡」、「榛名」、「霧島」及び超ド級戦艦「扶桑」、「山城」、「伊勢」、「日向」）が国産

化できただけでなく、世界のトップレベルの造艦技術を、横須賀・呉の二大海軍工廠並びに長崎三菱造船所・川崎造船所の二民間造船所でマスターし、これ以後海軍の主力艦船はこの4造船所が担うことになる。

1914年（大正3年）に勃発した第一次世界大戦は1918年（大正7年）に終結した。この戦争に、実質的に参戦しなかった日本は漁夫の利を得、八六艦隊案の完遂を目指して、当時最強最速と目される戦艦「長門」「陸奥」「加賀」「土佐」の建造に1917年（大正6年）から着工した。この長門型戦艦のうち、「陸奥」は帝国海軍の象徴的存在となる程、日本独自の戦艦であった。32,720トンの大艦で、なおかつ、26.5ノットという高速力と16インチ砲8門の威力を誇った。当然、第一次世界大戦で疲弊した列強にとって脅威の的となった。図1.1.4に「陸奥」の姿を示す。

世界大戦が終わって間もなくの1921年（大正10年）、米国の呼び掛けで海軍軍縮のための5ヶ国（英、米、日、仏、伊）会議がワシントンで開催されて世に云うワシントン

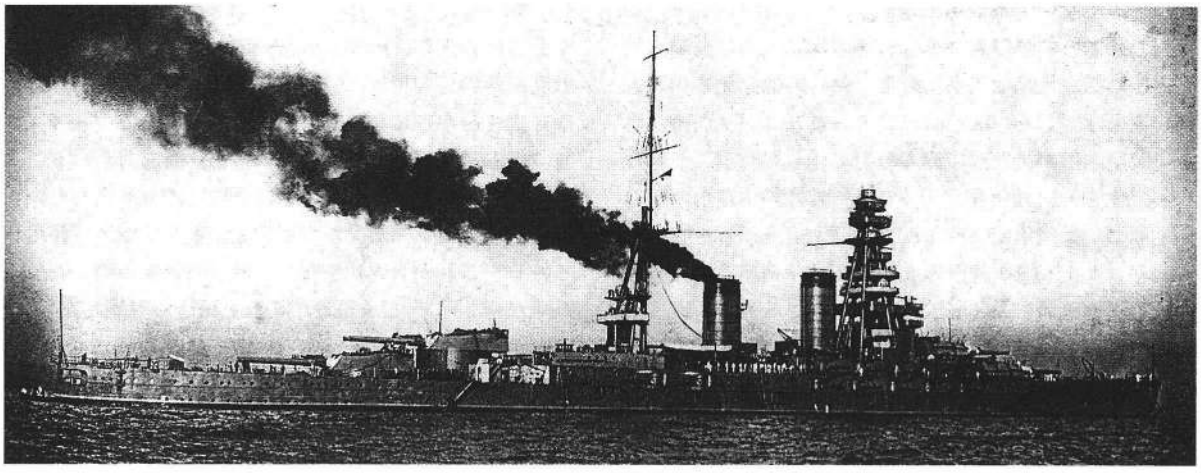


図1.1.4　戦艦「陸奥」

条約が締結された。英米日仏伊の主力艦トン数比を5：5：3：1.75：1.75に厳しく制限し、制限を越える艦は廃棄処分にするという結論であった。米英は結託して日本に超ド級戦艦「陸奥」の廃棄を強く迫ったが、日本は譲らず、米英に2隻の造艦の追加を認めることで終結した。かつての覇者英国はこの大戦で受けた打撃が大きく、もはや栄光を取り戻す力は残っておらず、その地位を米国に渡すことになった。

このワシントン条約の結果、日本海軍の八八艦隊計画は頓挫し、六四艦隊に縮小せざるをえなくなった。廃棄対象となった未完成巡洋戦艦「赤城」と戦艦「加賀」は、特例条項適用により航空母艦への変更が認められて、1927年（昭和2年）に空母「赤城」（飛行甲板長249メートル、排水量26,900トン、速力31ノット）が、1928年（昭和3年）には空母「加賀」（飛行甲板長230メートル、排水量26,900トン、速力27.5ノット）が世界で最初の航空母艦として誕生した。飛行機60機搭載の大型空母は世界の最先端であった。米国も巡洋戦艦「レキシントン」と「サラトガ」を33,000トン型の空母に改造して、ここに世界四大空母が揃い踏みすることになった。後年太平洋戦争でこの四大空母が日米両国海軍の機動部隊の中心となって死闘を行なった。

ところで、ワシントン軍縮条約で枠外扱いになった補助艦（軽巡洋艦、駆逐艦等）に目をつけてその戦闘力を格段に増した軽巡「夕張」（排水量2,850トン、速力35.5ノット）を考案設計したのが、平賀[24]である。続いて、日本最初の重巡洋艦「古鷹」（排水量7,100トン、20センチ砲6門、魚雷発射管12門も持ち、34.5ノットの高速力を出した。）を設計した。この画期的巡洋艦は世界の耳目を集め、「平賀」の名を世界中に轟かせた。条約で規定された、排水量1万トン以下、備砲口径20センチ以下という制限一杯で最高の戦闘力を有する重巡洋艦という難題に挑戦して、ついに1929年（昭和4年）平賀が世に送り出したのが重巡洋艦「妙高」である。これは、平賀の傑作と言われ、いわゆる条約型巡洋艦の嚆矢であり、世界の重巡洋艦建造競争に火を付けた。「妙高」は、連装20センチ砲5基10門、3連装魚雷発射管12門の兵装と、13万馬力の大出力機関を、201メートル長のスマートな艦型に

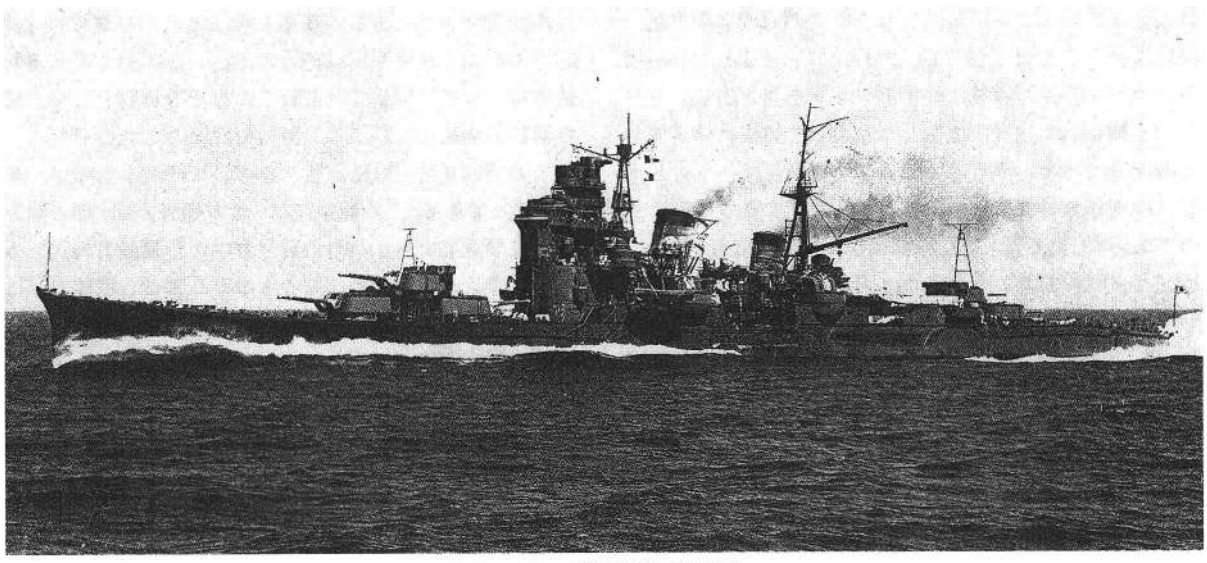


図1.1.5　重巡洋艦「妙高」

納め、1万トン級としては最高の35.5ノットという高速を出して、世界中の海軍関係者の注目を浴びた。図1.1.5に「妙高」の写真を示す。そして、日英米の重巡建造競争が過熱した1930年（昭和5年）、それを鎮めるために、ロンドン軍縮会議が招集され、ワシントン条約で枠外とされた補助艦に対して、米、英、日の保有量を制限する事を決定して、重巡の建艦競争を一応収拾することができた。

参考文献

1) 山高五郎：図説日の丸船隊史話、至誠堂（1981）
2) 造船協会：日本近世造船史－大正時代、工業図書（1935）
3) 井上洋一郎：日本近代造船業の展開、ミネルヴァ書房（1990）
4) 和辻春樹著、野間恒編：随筆船新版、NTT出版（1996）
5) 野間恒：客船昔と今、出版協同社（1974）
6) 三浦昭男：北太平洋定期客船史、出版協同社（1994）
7) 元良信太郎：An Analysis of Model Screw Propeller Experiments、造会報、第19号（1916）
8) 元良信太郎：造会報、第27号（1920）
9) 横田成年：造会報、第24号（1919）
10) 横田成年：Action of "Ro"（櫓）、造会報、第28号（1921）
11) 重光蔡：造会報、第34号（1924）
12) 末広恭二：造会報、第36号（1925）
13) 小野正三：造会報、第39号（1926）
14) 重光蔡他：造会報、第41号（1927）
15) 和田小六：造会報、第41号（1927）
16) 八代準：造会報、第30号（1922）
17) 八代準：造会報、第40号（1927）
18) 八代準：造会報、第41号（1927）
19) 和田小六：造会報、第40号（1927）
20) 河田三治：造会報、第46号（1930）
21) 竹沢誠二：本邦試験水槽発達小史［1］、［2］、造船誌、第592号（1978）、第604号（1979）
22) 造船協会：造船協會40年史（1937）
23) 寺谷武明：近代日本の造船と海軍、成山堂書店（1996）
24) 内藤初穂：軍艦総長・平賀譲、文藝春秋（1987）

1.2　運動性能

1.2.1　耐航性とスタイビライザー

この時代も船体の横揺れが耐航性の主たる研究対象であり、わが国においても種々の研究が行われ、成果が実船に応用されるに到った。その中の特筆すべきものは、元良式スタビライザーの発明と末広による横揺れに関する研究である。

当時、横揺れの軽減装置としては、減揺水槽がWatt（1883年）により発明され、Frahm（1911年）がこれを実用に供しており、またジャイロ・スタビライザーがSchlick（1909年）により発明され、Sperry（1915年）により改良されて多くの艦船に搭載される時代を迎え、減揺水槽の有効性についての研究が末広などにより行われていた。また、軍艦「鳳翔」にスペリー式ジャイロ・スタビライザーが導入された。このような時代にあって、元

良式スタビライザーが発明された[1]。その原理は潜水艦の横舵にヒントを得たもので、図1.2.1に示すように、船体中央のビルジ部の両舷に舵状のフィンを突き出し、その迎角を横揺れ角速度に比例して制御し、横揺れ減衰偶力を増加させるというものである。着想のスマートさと実船への適用性は他の装置をはるかに凌駕する画期的なものであった。わが国で2隻の実船に装備された後、特許は1936年（昭和11年）英国Denny-Brown社に譲渡され、客船「クイーン・エリザベス号」や英国軍艦多数に採用され、その優秀性は広く知られることとなった。第2次大戦後になり制御技術の進歩により、今日、その技術は種々改良されて、カーフェリーやクルーズ客船などの減揺装置に広く使われ、安全性や乗り心地の向上に寄与しているのは周知のとおりである。

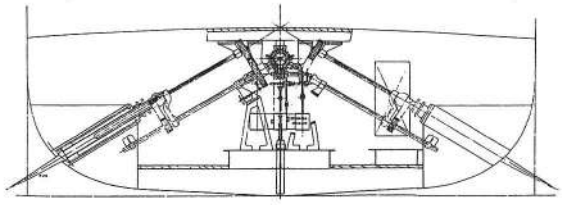


図1.2.1　元良式スタビライザー（「睦丸」、520GTに装備）[1]

横揺れ現象の研究では、フルードによる研究により、かなり解明の端緒が開かれていたが、末広による付加慣性モーメント、減衰力、横揺れと縦揺れの回転運動の連成作用による船首揺れ、波による横漂流力等についての独創的研究があいついで発表され、国際的な評価を得た[2]。

1918年（大正7年）、東京帝国大学に動揺試験水槽（長さ9.1m、幅3.3m、深さ1.07m）が新設され、末広らによる横揺れ運動の精緻な観測に大いに活用された。これは耐航性に関する専用の造波試験水槽と関連技術がわが国に出現したという点でも意義深い出来事であった。

参考文献

1)　元良信太郎：造協論、第32号（1923）
2)　Suehiro, K.：Trans. of INA, Vol.66（1924）

1.2.2　旋回性能と舵

現在用いられている操縦性という呼称は、この時代にはほとんど使用されておらず、旋回性という観点からの捕え方がほとんどである。この旋回性能については、一般商船の場合にはさほど重視されていなかったが、軍艦においては戦術上しばしば急激な方向転換を必要とすることがあることから、旋回性能、旋回圏の調査研究は非常に重要であり、海軍の新造艦船はほとんど定常的に旋回性能の海上試運転が実施されていた。これらの試運転結果は、本船に対しては航行上の貴重な資料となり、また新規計画船に対しては設計の根拠となった。

この旋回運動を運動方程式を導いて研究したのが、萩の研究[1]である。この研究では、まず船長方向、船の幅方向および重心まわりの力の釣り合いから運動方程式を導いており、その力の基になるものとしては、船体の抵抗（船長方向）、プロペラの推力、操舵による船長方向および船の幅方向の力、および船体重心まわりのモーメントを挙げている。導かれた運動方程式は2階の微分方程式であり、コンピュータのない当時としては、直接計算することは困難で、種々の省略、簡略化を行って解析をした。しかし、当時としてはこのような研究のアプローチは画期的なものであったと思われる。

このように旋回性能については、戦術上の必要から軍艦を対象として特に詳細な研究が実施されていた。操舵すれば横傾斜し、船速が低下することは衆知の事実であったが、操舵角に対する船速低下がどの程度になるかについては、当時としては解明されていなかった。しかし、海戦になって敵艦が見えない遠距離より砲撃を行う場合には、自艦の位置を正確に知ることが極めて重要になる。従って、操舵に対して船速が減ずる割合を知ることが必要となるために研究課題として注目されるに至った。

一般的な旋回性能に関連した研究としては、舵についての研究が多い。従来の舵の設計に際しては、矩形平板単独試験より得た資料に基づいていたが、岡本[2]は実際の船に最も適していると考えられる模型について系統的単独試験を行うと同時に、自航模型試験により伴流中における舵の性能についても研究している。この試験に用いた舵模型の縦横比（舵の高さと幅の比、この比が大きいほど縦に細長い舵となる。）は0.5～2.0であり、通常艦船に用いられる縦横比の範囲をカバーしている。岡本は、この試験によって、小舵角の範囲においては縦横比の大きい方が舵として有効であるが、最大旋回能力は縦横比が小さいほうが大きいことを示した。また舵の直圧力（舵に作用する圧力分布の積分値）の中心位置に関しても、縦横比によって多少の相違はあるもののJösselの算式[2]で充分表現できることをこの模型試験から示し、特に縦横比0.5近くの舵についてはJösselの算式とほとんど一致することを示した。

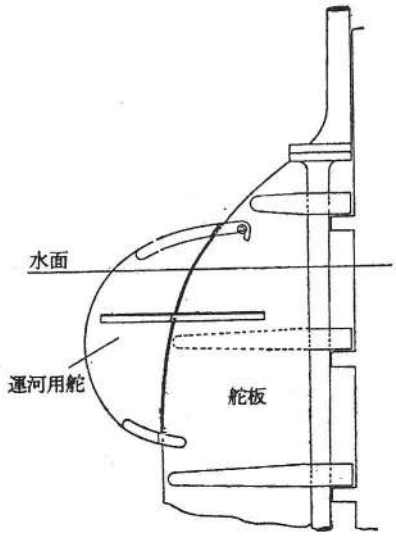


図1.2.2　運河用舵

このような通常舵の他にも、いわゆる特殊舵についても、当時としては新しいアイデアに基づくものが盛んに生まれている。例えば、今日から考えれば大変ユニークな運河用舵なるものもある。これはスエズ運河のような狭い海域を低速で航行する際の舵効きを向上させる目的で、舵面積を臨時に増大することをねらったもので、運河航行時にのみ通常の舵後方に臨時に舵を固着するものである。この他、Balanced Reaction Rudder[3]やキッチェン舵、エルツ舵、フレットナー舵等種々の舵が誕生した。

一方、2隻の船相互間に生じる相互作用についても大正時代から興味ある問題として注目されていた[4]。米国やヨーロッパにおける運河を近接して航行中の船の海難事故はよく知られていたが、1914年（大正3年）中国揚子江において、7ノットで航行中のA船をB船が9.5ノットで追い抜こうとして航行不安定となり、遂にA船の船腹に衝突、沈没させるという事故が発生した。この事故は当時裁判にまでなり、事故原因の解明が求められたのを契機として、近接航行時の2船間の吸引作用に関する研究が行われるようになった[4]。このような問題は現在でも重要な問題であり、特に狭水路を航行する船の運動特性あるいは航行管制の面から実験的、理論的に数多くの研究がなされている。従って2船間の相互影響の問題は古くから研究されている課題の一つと言える。

参考文献

1)　萩　興可：造雑纂、第48号（1926）
2)　岡本方行：造会報、第49号（1932）
3)　Tutin, J.（原著者）：造雑纂、第51号（1926）
4)　蒔田秀夫：造会報、第22号（1918）

第2章　強度

2.1　構造

長期に亘って商船の建造は、大部分がロイド協会等の船級協会の規則に従って構造寸法の決定がなされていたことから、これまで船体強度に関して本質的な検討や解析が行われることがなく、信頼できる強度の計算式も求められていなかった。しかし、明治の末期頃から漸く自主的な技術開発の必要性が認識され、次第に研究が進むとともに成果の発表も行われるようになった。

末広は、船体強度の分野において近似計算式すらないことを指摘する一方で、船の曲げモーメントの計算は積荷などによって大きく変化するので、簡単な算式では表せないこともその理由としてあげている。そこで、船体の曲げモーメントを初期の段階で比較的簡単に計算する一つの近似計算式を発表した。即ち、船型を船体中央部に対して前後部対称と仮定し、水線面の形状は双曲線と見做し、波浪は波高が船の長さの1／20の正弦波と近似して、船体に生じる浮力と船体、機関及び積荷による重量などの船の長さ方向の分布から、数学的に船体の受ける剪断力と曲げモーメントを計算する方法を示した。

船体の強度標準に関して、小野は1922年に我が国として初めて独自の考え方をまとめて、私案として発表し注目された。内容は、1920年前後に英国でまとめられた満載吃水線報告及びロイド規則などを分析し、自らも多くの船の実績を調査し、それらを総合してまとめたもので、船体主要構造部材の標準及びその考え方を示し、ロイド規則との比較も行った。

一方で井口は、船体の横断面係数Zの近似的推定法を発表し、ここでZ＝C・AD（A：中央横断面積、D：強度甲板の高さ）としてCは中央横断面の形状や配置によって変化する係数と考えた。長さが200’～400’の多くの実船について、構造寸法をロイド規則に基づいて算出し、この結果からCの変動範囲は0.21～0.26の狭い範囲に収まることを明らかにした。なおこの論文及び前記の末広の論文は、当時造船協会が計画した三好奨学資金の懸賞当選論文として選ばれたものである。

日露戦争終了後においてわが国の造船需要が益々高まるにつれて、船体構造の軽量化の必要性が求められ、多くの研究が始められた。特に材料が軟鋼から高張力鋼へと転換が進み、鋲接接合が強度に及ぼす影響を明らかにすることが重要な課題となり、平賀らは我が国で初めて鋲そのものの強度を始め、各種形式の鋲接合に関して総合的な実験を行った。この実験は実用性を考えて、試験片は実際に工場で使用されている材料から選び、加工についても通常現場で実施される方法を採用して実験を行っている。荷重は引張りと剪断を中心に行い、得られた資料を海軍の造船材料規格と比較しながら、鋲接方法優劣について評価している。同じ時代に、田路も鋲材が熱加工によって性能が大きく変化する可能性があることに着目して、鋲の加熱方法や鋲接の方法が鋲接部材の強度にどのような影響を与えるかを実験的に明らかにした。特に高張力鋼は熱加工による強度的影響が大きいことを明らかにし、鋲の加熱温度では鋲の打ち始めと打ち終わった時の温度が重要であることや、打ち終わった時の温度でみると、高張力鋼の場合強度的に最善となる加工温度は、軟鋼より高いことを実験的に求めた。この他鋲接方法として、打鋲に人力、空気圧及び水圧をそれぞれ使用した場合の強度的な影響についても、その優劣を明らかにしている。

基礎的な研究の必要性が求められるなかで、平板の弾性挙動に関する研究が次第に進められるようになった。鋲接構造にみられる多くの開孔や、甲板に設ける倉口など船体各部の開孔部に共通する問題として、末広は船体の不連続部の応力集中問題について解析を行った。この論文の中で、末広はブルーンが発表した研究に誤りがあることを指摘して注目された。横田は末広の指導を受けてさらに平板の応力解析問題を発展させ、各種の実際的な問題について解析結果を示し、この中で引張りを受ける円孔や楕円孔を有する平板の開孔周辺の応力分布についての計算を示した。

倉口周辺の応力分布及び破壊に対する強度について山口が実験を行っている。平板に開口を設けた数多くの試験片について、開口部にさらに補強として縁板を取り付けた場合、ダブリング構造とした場合あるいは開口隅部に丸味をつけた場合について、その補強効果についても評価を行った。浅羽も、倉口のような開口部にその隅部に丸味をつけた場合の引張り強度に及ぼす効果や、鋲孔のように等間隔に一列孔を有する板の、孔のピッチと径の比が応力分布に及ぼす影響について理論的な計算を発表し、これまでに米国海軍で行われたセルロイド板を使用した研究は信頼性に問題があることも指摘した。

水圧などの垂直荷重を受ける矩形板の曲げ強度の研究も行われるようになり、妹澤は基礎理論に基づく解析法を示し、既に発表されている外国の研究結果とも比較した。実験も行い、特に従来の実験では精度的に未だ信頼できるものが少ないことから、測定精度をあげるために

弾性係数が小さく同じ荷重で撓みが大きくなるセルロイド材を使用することを試み、理論計算値と撓みが良く一致することを示した。なお、歪の測定結果には多少の相違がみられるが、局部的な歪を直接測定する方法が開発されていないことから、やむを得ないことであった。この時代歪の測定は機械的なものが主で、英国ではストロメヤー式の歪計を用いて軍艦の進水時の歪計測が行われており、又駆逐艦「ウォルフ」のドック内での荷重試験にもこの歪計が使用されている。我が国では1907年に初めてこの歪計を購入して、パービスと寺野がわが国の軍艦で進水時の歪計測を行い、その後は記録計の考案も行ってさらに多くの軍艦について歪計測を行った。1914年には試運転時に長時間にわたって歪計測が行われ、初めて全力航走中の船体の歪変化を測定し、その後さらに機器が改良され、操舵機の歪についての計測も行われた。しかしこれらの歪計では歪の計測点の数や計測可能な個所に制限があり、新しい歪計の開発が求められていた。

船体の軽量化が進むとともに、板厚の減少によって平板の座屈問題が無視できなくなり、座屈がさらに構造全体の破壊へと進展する可能性が指摘されるようになった。平板の座屈の研究は、まず潜水船について研究が進み、航空機の分野においても先駆して研究が行われていた。妹澤は座屈現象を振動現象と関連させて説明し、振動周期が無限大になるような現象が座屈であると考え、エネルギー保存の法則を応用して、周辺固定など各種の周辺条件の矩形板の座屈値の計算法を発表した。さらに解析を拡げ、平板の他、船体のビルジ部など湾曲した板の圧縮強度や、潜水船の横隔壁のように外圧を受ける円形板の圧縮座屈、梁の捩り座屈及び肘板の座屈など、船体に生ずる可能性のある多くの座屈現象について解析を行い、船体のビルジ部の構造に弱点があるなど、実際の設計に役立つ多くの有益な資料を発表し注目された。理論計算の一方で、東大航空研究所の協力によって数多くの試験片について座屈実験も実施している。

船体構造部材の多様化から、山形材に代えてフランジをした平板を甲板や外板などの桁材として使用することも検討されるようになったが、強度的には十分であっても実用上はフランジの加工技術が確立されておらず、さらに船級協会によって承認を得ることが容易でないことから、実現にはなお時間を要することになった。縦通隔壁が果たす役割について、戦争における隔壁の損傷が船の転覆に大きな影響があった多くの実際的経験から、パービスが隔壁強度の見直しを提言し、多くの議論がかわされた。特に軍艦及び客船の縦通隔壁が水密隔壁として十分な強度を有する必要があることが強調された。

最後に船体の振動問題については、1903～4年に斯波ら4教授が駆逐艦について初めて振動を計測して1904年の米国主催の万国工業会において発表をしている。ついで1905年に、横田が振動に関する研究として数理的に図式により船体固有振動数の計算法を発表し、この図式法といわれる計算法は後になってその優れた点が認められるようになった。また寺田は数学物理学会において、水中で船体が振動する場合の慣性影響についての論文を発表し、駆逐艦の模型による実験も行って、それらの研究成果を1907年仏国における造船学会万国大会において発表した。

1914年（大正3年）に横田は船体振動に関する一般的概念を造船協会に発表し、通常の船舶であれば振動として問題となるのは上下・左右それぞれ3節振動までであることを示し、船体の固有振動数が船体振動に重要な影響を与えることから、固有振動数の推定精度を高めることが、船体振動を防止する上で最も重要であることを強調した。しかし、これまでに得られている船体固有振動数の推定法においては、船体の剛性について、これを一体構造とみなしており、複雑でしかも多くの鋲接によって組み立てられる船体構造は、剛性低下があることを考慮に入れなければならないことを説いている。さらに横田が強調したのは、船体振動に大きな影響を与える要素として付加水の問題をとりあげて、仏国の学会でこの問題について討論したにも拘わらず、国内・外の研究者が誰も理解を示さなかったことに非常に憤慨している。これは日本の技術が未だ世界から信頼されていないことが一つの原因になっていると考え、明治以来の我が国は欧米模倣主義にのみ走り、何一つ海外から認められるような技術を養成してこなかったことに警告を発した。また、船体振動の研究を進める上で、欠かすことができないのが振動計であることから、振動計の原理について解説を行うとともに、自らも横田式と称される振動計を試作して振動の研究に貢献した。

参考文献

1) 末広恭二：造会報、第12号（1913）
2) 田路担：造会報、第13号（1914）
3) 平賀譲他：造会報、第13号（1914）
4) 横田成年：造会報、第13号（1914）
5) 太田喜代二郎：造会報、第13号（1914）
6) 横田成年：造会報、第15号（1915）
7) 横田成年：造会報、第18号（1916）

8)　末広恭二：造会報、第19号（1916）
9)　寺野精一：造会報、第23号（1918）
10）山本開蔵：造会報、第23号（1918）
11）小野輝雄：造会報、第30号（1922）
12）妹澤克惟：造会報、第33号（1923）
13）妹澤克惟：造会報、第38号（1926）
14）山口増人：造会報、第39号（1926）
15）今岡純一郎：造会報、第42号（1928）
16）浅羽隆太郎：造会報、第42号（1928）
17）重光蔟：造会報、第60号（1937.4）
18）山本幹之助：造会報、第60号（1937）
19）日本造船学会編：昭和造船史、第1巻（1977）

2.2　材料強度

この時期、この分野におけるわが国の造船技術上の進展として特に記すべきことは見当たらない。

2.3　接合

2.3.1　わが国最初の本格全溶接船「諏訪丸」の建造

鉄船の建造では、部材を接合するのに、リベット接合が唯一の方法として、長い間採用されてきた。

金属の接合は、ヒッタイトの時代に遡るといわれる鍛接法、ギリシャ時代には確立していたロウ付け法などは別として、工業レベルの接合法としては、1865年にドイツのウエーラ（F.Woehler）が発明した高温のアセチレン炎を使用したガス溶接と、1885年にロシア、ベナードス（N.V.Benerdos）による炭素アーク溶接、1890年にロシア、スラビアノフ（N.Slavianoff）、米、コッフィン（C.A.Coffin）による金属アーク溶接法などの電気溶接が考案されて、19世紀末の欧米の工場で小規模ながら使用されていた。

特に電気溶接法は、大きな発電機が必要なので、ガス溶接法に比べて可搬性の点では劣るが、熱集中性が高いので溶接変形が小さく、割れが発生しにくく、溶接部の硬化度も低くて優れているとされ、急速に発展していった。

溶融溶接とは、溶加材と母材の一部を溶解し、開先内で凝固させることによって両者を結合させる方法であるので、溶融金属の酸化を防ぐことが必須条件となる。

ガス溶接では、燃焼炎を中性または還元性に調整することで、容易にこの条件が達成されるが、スラビアノフ、コッフィン等が開発した金属アーク溶接は、裸の金属棒を使用するものであったために、溶接金属は著しく酸化劣化して、継手の信頼性は、はなはだ心もとないものであった。

これを改良するために発明されたのが、いわゆる被覆アーク溶接棒で、スエーデン、チェルベルヒ（Oscar Kjellberg）は被覆材から中性または還元性ガスを発生させる方法（1907年特許取得）、英国ストローメンジャ社（Strohmenger Co.）は被覆材が溶融金属表面にスラグを形成して酸化防止する方法を開発し（1913年）、現在にも繋がる手動溶接法の基礎を築いた。

この間、日清、日露両戦争を経験したわが国は、急速な工業国化を目指して、これら欧米技術を意欲的に吸収していくが、なかでも三菱長崎造船所は、1908年（明治41年）に炭素アーク溶接法を導入したのを皮切りに、1910年にガス切断、溶接法導入、1914年の技術者欧州派遣などを通じて着々と溶接技術の習得に勉め、1915年にはチェルベルヒ社の技術を導入して溶接棒の自製を開始した。

一方、欧州の造船所では、小型工作船や小型平底船の建造に溶接を適用する動きが見られ、1918年にはロイド船級協会が、船舶建造にアーク溶接を適用することを認可し、さらに1920年、英国では、362トンの本格的外洋貨物船「フラッガー号」を溶接で建造する試みを開始した。

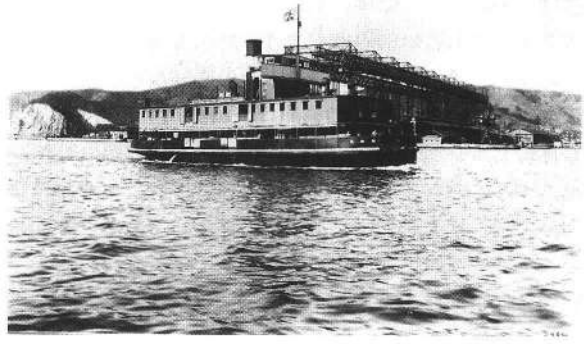


図2.3.1　諏訪丸

しかし日本でもこれとほぼ時を同じくして、三菱長崎造船所は1,500人乗りの港内従業員送迎船「諏訪丸」を自家製の溶接棒を使って建造し、1920年（大正9年）3月に進水させている。

「諏訪丸」の主要目は、長さ110フィート、幅32フィート、深さ8フィート、412トン、8.156ノット、主機169馬力、搭載人員1,500名、Twin Screw Steamerである。

溶接施工は、44kWの直流特性モタージェネレータを溶接電源とし、棒径1／8インチと3／16インチの被覆アーク溶接棒を使っている。立向き溶接や上向き溶接など姿勢溶接の施工や、歪み修正に大変苦労しているが、リベット建造を前提とした部材設計にもかかわらず、10～15%の重量軽減に成功し、溶接による船舶建造が、経済的にも十分成り立つことを実証している。

その後溶接工法は、軍用、民間用を問わず船体軽量化の必要性が高まるにつれ、海軍工廠を中心に各造船所に浸透して行き、いわゆる第四艦隊事件による一時的な停滞はあったものの、着実な進歩を遂げ、戦後の造船王国の技術的な大きな柱になったのはご承知の通りである。

第3章　建造

3.1　第一次世界大戦と生産拡充時代

1914年（大正3年）7月に起こった第一次世界大戦は、日本の海運・造船界にきわめて重大な影響を及ぼした。

大戦の初めの頃には不振であった海運・造船界も、1915年（大正4年）に入るや急激に活発となってきた。その後、戦局の進展に伴い、ヨーロッパの交戦国の場合、ほとんど全船腹が軍事輸送に徴用され、しかも、そのうちのかなりの部分が撃沈、拿捕などの被害を受けた。この結果、世界的にみて船腹量は著しく減少してきた。

戦争による海上危険の増大と、船腹の絶対的不足は、当然の事ながら運賃と用船料を騰貴させ、海運業に未曾有の収益をもたらした。

わが国においても、海運需要の急増と船腹の絶対的不足、他方における海運企業の高収益と高蓄積は、戦争による外国船の輸入途絶の影響もあり、国内造船所に膨大な新造船需要をもたらした。

表3.1.1　船舶国内建造量と輸入量の推移

西　暦	国内建造船(A)		輸入船		計（B）		(A)/(B)
	(隻)	(トン)	(隻)	(トン)	(隻)	(トン)	%
1912年(大正 1)	170	43,013	24	49,019	194	92,032	46.7
1913年(大正 2)	112	54,950	27	55,120	139	110,070	49.9
1914年(大正 3)	85	58,846	13	32,181	98	91,027	64.6
1915年(大正 4)	73	78,918	11	25,081	84	103,999	75.9
1916年(大正 5)	93	138,011	11	32,065	104	170,076	81.1
1917年(大正 6)	196	226,843	13	7,280	209	234,123	96.9
1918年(大正 7)	516	598,691	20	3,632	536	602,323	99.4
1919年(大正 8)	323	636,271	15	947	338	637,218	99.9
1920年(大正 9)	229	486,948	6	544	235	487,492	99.9
1921年(大正10)	132	216,840	4	2,883	136	219,723	98.7

表3.1.1によると、国内建造船について言えば、1914年（大正3年）まで海運不況の影響で年間5万総トン程度の停滞状態にあった。1915年（大正4年）から急速、大幅な増勢に転じ、1918年（大正7年）には前年比2.6倍の516隻、約60万総トンの建造実績をあげている。

海運界の好景気に乗じ、船舶建造量の急増とともに、投機的企業として全国各地に多数の造船所が新設された。その現象は阪神地方特に大阪において最も著しく、木曽川、尻無川に沿ってにわか作りの造船所が立ちならんだ。

1,000総トン以上の船舶建造が可能な造船所においても、1913年（大正2年）末の6ヶ所が、1918年（大正7年）末には木造船所も含めて57ヶ所に増えている。しかしながら戦争の終結と共に、26ヶ所程度に減少、造船ブームを当込んで設立された造船所の大部分は消滅した。しかし、この中には新設もしくは、この時期から新造船を開始し、後に成業を得たものも少なくなく、今日の造船勢力模様の雛型が形成されたと考えられる。

さらに、この時期特筆すべき点は、各造船所において将来を見越した船舶の見込生産、いわゆる短期量産型のストック・ボート建造が大々的に行われた事である。

このストック・ボートも大戦終結後、受注・建造量は激減した。表3.1.2に示すように、1925年～1927年の建造実績は年間5万トンにも満たない惨状であり、船舶改造助成施設が軌道にのる1935年（昭和15年）前後にいたるまで、事業の不振を強いられた。

表3.1.2　新造船建造量の推移

年　次	隻数	総トン数	年　次	隻数	総トン数
1924年（大正13）	20	65,042	1931年（昭和 6）	15	78,866
1925年（大正14）	14	49,174	1932年（昭和 7）	10	44,397
1926年（大正15）	14	47,095	1933年（昭和 8）	10	69,435
1927年（昭和 2）	13	46,123	1934年（昭和 9）	20	123,137
1928年（昭和 3）	22	101,816	1935年（昭和10）	23	109,864
1929年（昭和 4）	27	158,652	1936年（昭和11）	63	276,095
1930年（昭和 5）	23	147,537	1937年（昭和12）	93	428,844

3.2　建造工法

船体の建造工法は大正中期から昭和初期にかけ、一部に電気溶接法の採用が芽生えたとはいえ、依然従来の鋲構造が主体であり、建造技術にも工場設備にも見るべき進歩はあまりなかった。

3.2.1　加工～取付作業

当時は図3.2.1のような鋲接建造方式を採用しており、加工された船殻の部材の大部分は、一個づつ船台あるいは船渠に運ばれた。

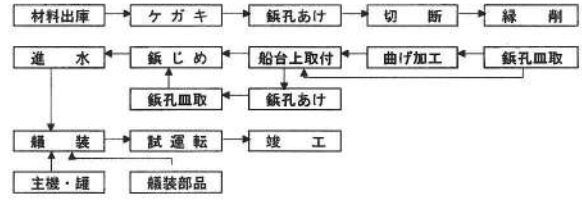


図3.2.1　鋲接建造方式

現図作業から船台上工事に至る工程は、大別すると内業と外業に分ける事ができる。

内業に属する作業には、工程順に現図展開、型取、罫書、切断、孔あけ、曲げがある。これらを現図工場、鉄機工場（ボンス工場）、孔あけ工場、山形工場、撓鉄工場で施工した。外業に属する作業は、取付、鋲接、填隙、鉄木、進水台工事であり、これらを取付工場、鋲接工場、鉄木係、進水台係で施工した。

現図は、床の上で原尺の展開を行ない、これを定木型に取り罫書係に渡し、罫書係は、定木、型板、箱型等により切断線、鋲接孔、折曲げ線、基準線等を部材に手作業で罫書きを行う。

鉄機工場では、罫書の済んだ鋼材に多種多様（歪取り、切断、曲げ、孔あけ、背切、削正）の機械加工を行い、孔あけは、ポンチングマシーンで、切断はシャーリングマシンで各々行われた。

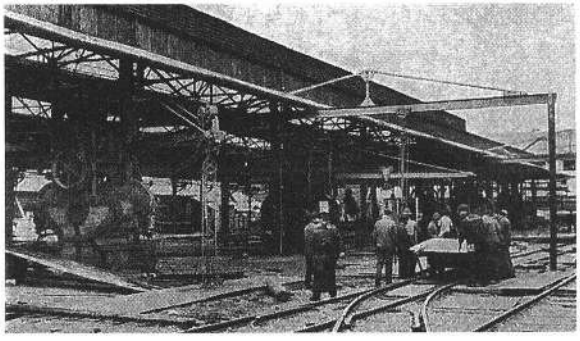


図3.2.2　ボンス工場（川崎重工業会社社史より）

取付作業は、加工の済んだ部材を船台に運び、順次取付け組立を行う作業である。最初にキールを据付けた後、底部外板を並べてその上に肋材及び、フレームを建てる事が、重要な第一段階であった。これに隔壁を組込み、外板・甲板と順次張り付けていく。全船台にはデリック・ポストが林立し、入力ガイを持つ3丁デリック・ブームと蒸気ウインチ（後に電動ウインチ）とによって、部材は個々に搭載された。

これらは、現在のような組立工程を主体としたブロック建造による、流れ作業方式と異なり、いわゆるピース・ツー・ピースの建造方式であった。しかし、当時でも一部では隔壁、船尾構造、梁柱、デッキガーダー等が船台周辺の地上組立場において組立が行われた。

3.2.2　ブロック建造の起り

わが国におけるブロック建造方式は、1918年（大正7年）に川崎造船所が、いわゆるストックボートを大量建造した時に、部分的に採用されている。このストックボードは9,100重量トンの標準設計による貨物船であった。接合は完全な鋲接であるが、大幅にサブアセンブリを採用し、今でいうブロック建造法を行っていたことになる。

同型船を同一造船所において建造した為、施工の利便と工員の熟練とにより船舶の急需に応ずる事ができ、又昼夜兼業工事を行い建造期間は著しく短縮された。

図3.2.2は、川崎造船所において1918年（大正7年）10月30日進水した「来福丸」（総トン数5,857）は進水までに23日間、進水後竣工まで7日間を要し、全工程を僅か30日で完了させた驚異の最短建造世界記録の船であった。

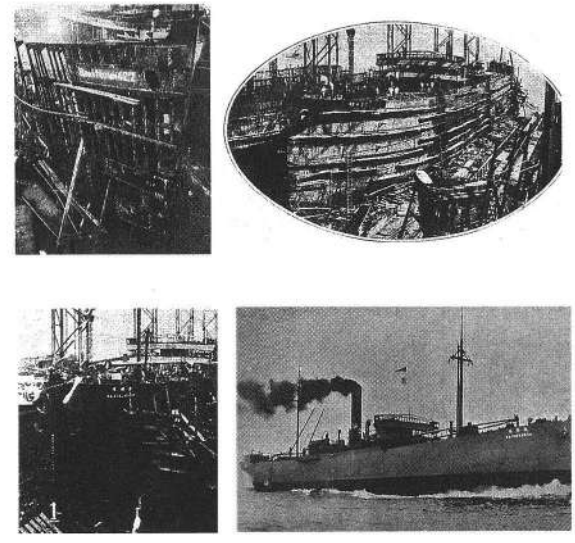


図3.2.3　ストックボート最短建造記録（船舶百年史より）

3.2.3　鋲接作業

作業には、手打、撞木打、水圧打、空気打がある。手打は、人がハンマーを振り汗を流して打上げるもので、諸種の作業のうち最たる重労働であったが、ニューマチックハンマーが輸入されるに従いほとんど姿を消した。

撞木打は重い金棒で鐘を撞くようにして鋲を打つ方法で、これは大径の長い特殊鋲に用いられた。

水圧打は水圧鋲止め機により専ら地上でフロアー・ガーダー等に用いられた。

空気打はニューマチックハンマーを使うもので、鋲の据え込みもよく能率的で、鋲接作業はほとんどこの方法

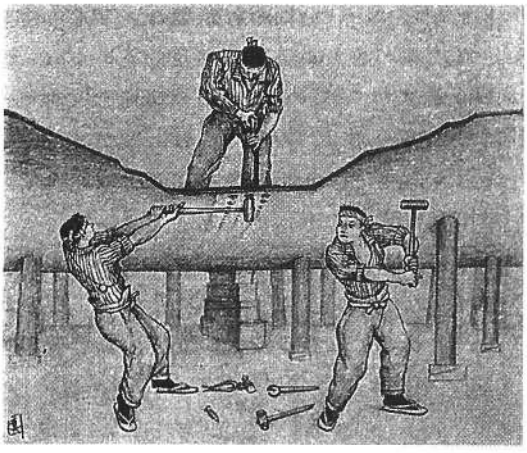


図3.2.4　手打鋲接（川崎重工業会社社史より）

によった。このハンマーは、体格の違う外国人が考案したものであり、日本人の体力には合わず天秤で支持して使い易くするなどの工夫がされ、次第に普及する様になった。

鋲打工の構成は鋲を打つ者、当て盤で鋲頭を押える者、天秤でハンマーを支える者、鋲を炉で焼く者（明治時代は石炭、大正初期はコークスを使用）、場合によっては鋲送りを取継ぐ者から成る。各造船所は、鋲接技術の研究を続け、工数節減と作業の簡易化の為、様々な打法や補助具の考案を行い、1組毎の構成人員の削減を図っていった。又、設備的には製鋲工場を設け、随意の材質・寸法・形状が得られる様になり、鋲打作業の能率は飛躍的に向上した。

3.2.4　電気溶接法の導入

電気溶接法が日本の造船に採用されたのは、1914年（大正3年）三菱長崎造船所がスウェーデンからチェルベルグ式溶接の特許権を得、その技術研究に乗り出した頃である。世界的にみれば、全溶接船は、1918年（大正3年）英国のリッチボロウ海軍工廠で曳船が建造され、さらに1920年（大正9年）には航洋船「フラッガー号」（398GT）が英国Cammel Laird造船所において建造された。日本は僅かに後れて三菱長崎造船所が1919年（大正8年）に港内従業員通船「諏訪丸」（421GT）を全溶接船として起工し1920年（大正9年）に竣工させた。

他の民間造船所でも、電気溶接法の研究実施の気運が昂まり、一方で海軍の指導もあり発達の度合いが加速された。しかしながらその溶接に対する信頼度は依然低く、研究実験的、局部的に採用するにとどまった。

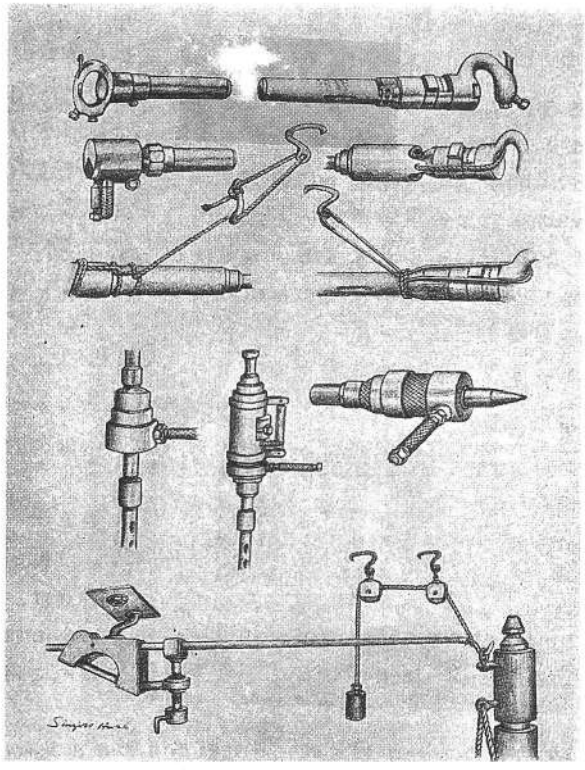


図3.2.5　様々な鋲接工具（川崎重工業会社社史より）

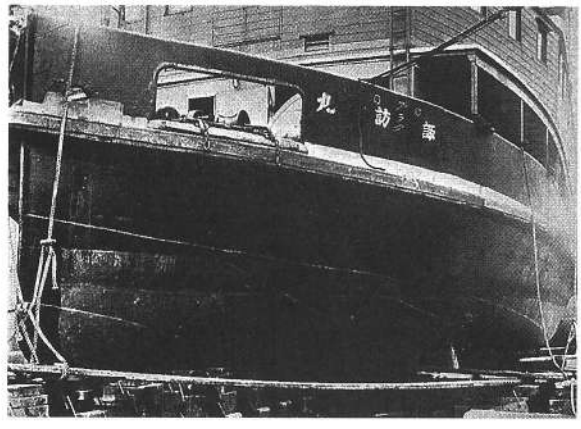


図3.2.6　諏訪丸の外板溶接（船舶百年史）

3.2.5　足場

外板作業の足場装置は、建造法の進捗と共に変遷し、1896年（明治29年）頃は船の全周に割立を立てていた。1912年（大正元年）頃からは割立は前後の彎曲部のみにとどめ、中央部の足場受けブラケットをボルト締めする方法が用いられた。又、足場板の固縛材としては、わら縄を用いていた。

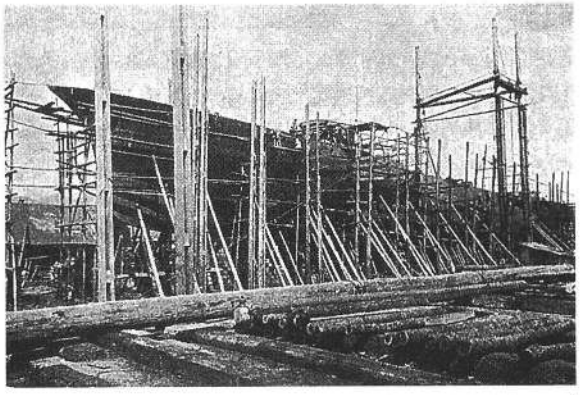


図3.2.7　通報艦「淀」の建造（川崎重工業会社社史より）

3.2.6　塗装

鋼材の塗装前処理は、現代では加工の前にブラスティング、プライマーによる塗装前処理が一般的であるが、当時の鋼材は建造中風雨にさらして放置し、ミルスケールが自然に除去された後、塗装前に赤錆だけをかき落す方法がとられた。これは、塗装工程や建造工程上からも特別な下地処理の必要がなく、塗装時期も外板外面を除き艤装工事の進展に連れて塗装を行っていた。

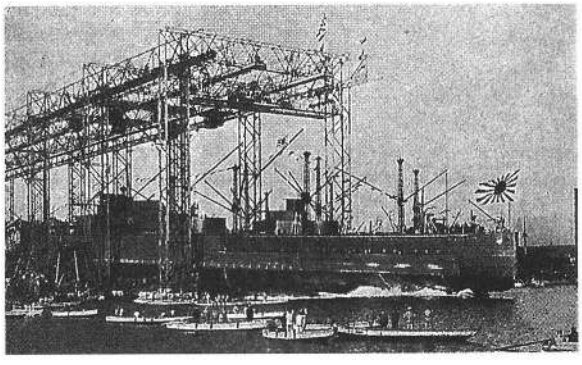


図3.2.8　戦艦「伊勢」の進水（川崎重工業会社社史より）

3.2.7　進水

本年代における進水方式は、獣脂および軟石鹸を用いたヘット進水が一般的であった。

船台を海に向かって小傾斜させ、船体と船台の間に木材を挟み、さらに必要に応じ氷セッケンやグリスを使い、船台上で船を滑らせ海に浮かばせる方式をとっていた。

獣脂は温度によって硬度が異なり、進水時の気温の予測が必要で塗布要領もあわせ職人芸を必要とし、各造船所の担当者の腕の見せ所であった。

第4章　設計

4.1　基本計画

4.1.1　成長期の造船事情と特殊船の芽生え

(1) 明治末期の造船事情と特殊船

明治後半から続々と日本と欧州、アメリカ大陸との間の航路が開設され、このための大型航洋船は殆ど貨客船であった。1898年（明治31年）の「常陸丸」、1901年（明治34年）の「加賀丸」、明治36年の「丹後丸」を始め17.8ノットの速力記録を樹立した1903年（明治36年）の「日光丸」も豪州航路の貨客船であった。1907年（明治40年）にはGT 13,454Tの「天洋丸」が完成した。これまで、航洋貨客船は日本郵船に限られていたが、大阪商船会社も太平洋航路を開設し、6,000GT級の第一船「たこま丸」を1907年（明治40年）に完成し、続いて「ばなま丸」型を5隻建造したので貨客船の設計を大いに刺激した。これ等の貨客船の主要要目を表4.1.1に掲げた。

表4.1.1　明治期後半の貨客船の主要要目

船　名	常陸丸	加賀丸	日光丸	丹後丸	天洋丸	ばなま丸
船　種	貨客船	貨客船	貨客船	貨客船	客　船	貨客船
航　路	欧　州	シァトル	豪　州	シァトル	シスコ	タコマ
建造年	1898	1901	1903	1904	1907	1910
	明31	明34	明36	明37	明40	明43
G/T (T)	6,172	6,301	5,539	7,463	13,454	6,059
DW (t)	7,823				10,109	7,584
L (m)	135.64	135.64	128.02	135.64	167.64	121.92
B (m)	14.986	14.986	15.24	15.85	19.202	15.545
D (m)	10.21	10.21	9.27	10.21	11.734	9.91
d (m)	7.85				9.692	
L/B	9.05	9.05	8.40	8.56	8.73	7.84
機　関	三連成×2	三連成×2	三連成×2	三連成×2	タービン×3	三連成×2
馬　力	3、847	5、365	6、694	6、624	18、958	5、173
速力（kts）	14.18	15.15	17.77	15.61	20.61	14.96
1等客	29		93	90	47	
2等客	20		28	26	53	
3等客	124		154	158	268	

「天洋丸」は初のタービン船であったばかりでなく、液体燃料を使用、無線電信機（ドイツのテレフンケン式）装備の第一船であるだけではなく、送風機8台、サーモタンク4台を備えたスチュワード式サーモタンク暖房装置を食堂、喫煙室、読書室に適用した。メカニカルベンチレーションを広範囲に適用した点では大進歩である。

これらの大型貨客船と同時に、国内及び中国大陸との交易のため、中小型貨客船が多く建造され、客室設備関連の内装設計技術が進歩した。

特殊船については後述するが、この期に第一船が出現したものとしては、1899年（明治32年）の練習帆船「月島丸」、同年のフェリーボート「豊浦丸」、1900年（明治33年）の浅喫水客船「大亨丸」、1902年（明治35年）の鉄鉱石運搬船「若松丸」、1906年（明治36年）の電纜布設船「小笠原丸」、1910年（明治43年）には当時世界最大級の油槽船「紀洋丸」等が挙げられる。極めて特殊な船ではあるが、1902年（明治35年）の「大浦丸」は三菱造船所が救難事業のために建造した船であるが、1936年（昭和11年）救難作業中荒天のため沈没、船長以下18名が殉職した珍しくも痛ましい歴史を残したわが国救難船の第一船である。

このような特殊船の出現は、各種の制約条件下での船型設計技術と特殊設備の設計を大いに刺激した。

(2) 大正時代の造船事情と特殊船

明治後半から航路を拡張した日本海運界は大正期に入って、欧州航路の船腹不足に対処するため16ノット10,000トン級の貨客船を、北米、南米航路の船質改善のため15～16ノット7,000～9,000トン級の貨客船を発注し、依然として貨客船による大型外航船の建造が続いた。代表的な大正期の貨客船の主要要目を表4.1.2に示した。

「安洋丸」はSingle Reduction Turbineの第一船であり、「箱根丸」はDouble Reduction Turbineの第一船である。

表4.1.2　大正期の代表的貨客船の主要要目

船　名	香取丸	諏訪丸	まにら丸	安洋丸	箱根丸	さんとす丸
船　種	貨客船	貨客船	貨客船	貨客船	貨客船	貨客船
航　路	欧　州	欧州	北米タコマ	南米西岸	欧　州	南　米
建造年	1913	1914	1915	1921	1921	1925
	大2	大3	大4	大10	大10	大14
G/T (T)	10,513	10,927	9,506	8,163	10,423	7,267
DW (t)	11,633	12,879	11,610		11,712	7,336
L (m)	149.35	153.92	144.78	135.64	150.88	131.06
B (m)	18.593	19.354	18.593	18.288	18.898	17.069
D (m)	11.125	11.430	9.983	9.906	11.278	10.973
L/B	8.030	7.953	7.787	7.417	7.984	7.680
機　関	排気T付三連成×2	三連成×2	三連成×2	S.G.付タービン×2	D.G.付タービン×2	ディゼル×2
馬力	11.562	10.958	7.991	7.500	9.600	4.600
1等客	112	122	10	34	83	38
2等客	56	60	—	51	40	特3 94
3等客	184	190	348	456	56	666

「さんとす丸」はディーゼルを搭載した航洋貨客船の第一船であるが、国産ディーゼルを搭載したのは翌年1926年（大正15年）に完成した同型船「もんてびでお丸」であり、片舷輸入機、片舷国産機といった苦労をしている。

1914年（大正3年）に第一次世界大戦が起こり、世界的に船腹が不足し、新造船による船腹補充が急務となった。これまで、大型貨物船は輸入に頼っていたが、貨客船から純貨物船に転換して、貨物船の大量建造が行われた。各造船所は夫々に同一設計図による同型船を多数建造した。当時の代表的貨物船として日本郵船の「豊岡丸」型（T型）の主要要目を表4.1.3に示した。

さらに各造船所は建造期間を短縮するため仕入れ船を建造した。この仕入れ船は船長が130m～75mの各種の貨物船で、各造船所の標準型を設定し、注文に先行して建造を開始し、建造中或いは完成後に商談をするものであった。1918年（大正7年）に川崎造船所で建造された「来福丸」（L＝117.35m、B＝15.54m、D＝10.97m、d＝8.26m、DW＝9,081トン、三連成3,776馬力、VT＝14.39ノット）は起工～進水23日、進水～試運転終了6日計29日、翌30日目には引き渡し完了の短期建造の世界記録を樹立した。船殻重量を推定すると約2,200トン、鋲数も40～50万本と考えられるが一日の鋼材処理搭載量95トン以上になる。当時の設備を考えると脅威的な記録である。このような仕入れ船は粗製乱造であったとされているが、同船の排水量、航海速力等を推定してCadmを求めると、図4.1.1の1920年代の線に乗るので、性能はその時代のものを確保していたと考えられる。

表4.1.3　大正初期の代表的大型貨物船T型の主要要目

船型	三島型	重量区分	軽荷重量；4,512t
G/T	7,375T		船殻重量；3,018.5t
船種	貨物船		艤装重量；786.6t
L (m)	135.636		機関部重量；694.8t
B (m)	17.678	L/B 7.76	
D (m)	10.363	L/D 13.09	
d (m)	8.126	B/D 1.706	
機関	パーソン	B/d 2.175	
	S. G. Turbine	DW/△/Cb 0.924	
	5,700SHP		
排水量	15,205t		
Cb	0.761		
DW	10,693		

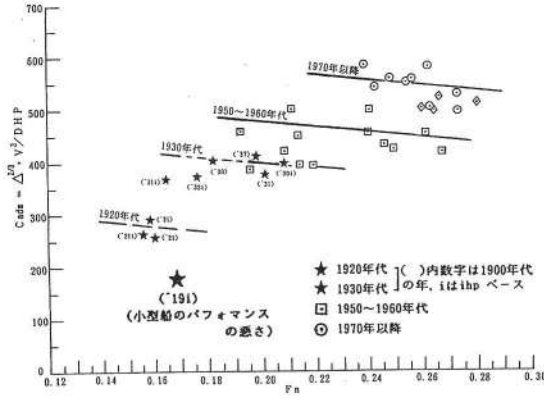


図4.1.1　一般貨物船のCadmの変遷

このような状況下で、わが国の進水量は1917年（大正6年）35万G/T（GT、総トン）となり、世界第3位になったが、引き続き1918年（大正7年）49万GT、1919年（大正8年）61万GTと増加した。

この間、英国についで1917年（大正6年）米国の鋼材の輸出を禁止したので、国内鋼材が不足し、建造が困難になった。造船奨励法を公布した1896年（明治29年）の鋼材自給率は5%（輸入鋼材22万トン）であり、1897年（明治30年）八幡製鉄所を開始したが、1913年（大正2年）には自給率34%（輸入鋼材53万トン）であったことからこれは大打撃であった。

当然のことながら、鋼材価格が急騰し、その対策として近海用の小型船に木造船建造熱が高まり、1,000GT以上の木造船が19隻、最大は1,445GTのものまで建造された。長崎造船所に於いてさえ木造船を建造する状態であった。

この状況を打破するため、1917年（大正6年）製鉄業

奨励法が公布され、鋼材自給を目指したが即効は望めず、1918年（大正7年）「日米船鉄交換契約」を締結した。（第一回は1 DWT/1ton Steel、第二回は2 DWT/1ton Steel）これにより、米国から27万トンの鋼材を輸入し、米国へは45隻、35万DWTの貨物船を輸出した。

1918年（大正7年）第一次世界大戦が終結すると、一転して船腹過剰と大不況に見舞われる。

この期の特徴は、大型貨物船に注力したことと大量建造の経験をしたと共に、ディーゼルが導入されたことであろう。1923年（大正12年）「音戸丸」、翌1924年（大正13年）には航洋貨物船「赤城山丸」（4,634GT, B&W型）前述の「もんてびでお丸」等ディーゼル機関が漸く採用され始めた。その他の推進方式では1921年（大正10年）貨物船「美洋丸」（5,479GT）がわが国初の電気推進方式を採用した。特記すべきこととしては、1920年（大正9年）に大波止～長崎造船所間の渡船「諏訪丸」（421GT）を電弧溶接で建造したこと、1923年（大正12年）「睦丸」（521GT）に元良式フィンスタビライザーが装備されたことであろう。

艤装設計の面では、1912年（大正元年）に「横浜丸」が荷役装置に汽動ではあるがクレーンを採用し、1921年（大正10年）には「箱根丸」が電動クレーンを搭載した。

特殊船としては、1920年（大正9年）に関釜連絡船「昌慶丸」、1919年（大正8年）に自航式貨車航走船「第一関門丸」、1924年（大正13年）に青函連絡船「翔鳳丸」型、1922年（大正11年）に近代式油槽船の第一船「千珠丸」、1923年（大正12年）には魚類冷凍運搬船の第一船「長光丸」が出現したこと等が挙げられる。

4.2　艤装

4.2.1　電気艤装

(1) ディーゼル船の電気設備

大正時代へ入り、ディーゼル機関の採用により、電化の範囲が大きく拡がった。

当時のディーゼル船の主なものとして、「赤城丸」、「飛鳥丸」、「さんとす丸」などがあり、例えば1925年（大正14年）竣工した「さんとす丸」では、機関部、甲板部の電化により、発電機の容量は大きく増え、主、補助発電機計5台、合計出力610KWとなり、また電動機は計60台、合計出力1,060KWとなった。この頃から、電気設備が船舶の安全に重要な役割を担うようになったと言えよう。

またこの時期、航海装置も進歩を遂げ、例えばジヤイロコンパスによる自動操舵装置が、1923年（大正12年）竣工の「白山丸」、「岩手山丸」に搭載された。

世界の動きに目を向けると、1912年（明治45年）に起きた客船「タイタニック号」の沈没事故を契機として、ロンドンの国際無線会議で船舶相互通信と避難信号聴取を行うこととなった。当時の船舶無線機はマルコーニの発明による火花放電式であったが、その後電子管が発明され、火花放電に代わる発信回路が確立された。さらに1927年（昭和2年）にはワシントン国際無線予備会議で、客船と1,600トン以上の船舶は、無線機を装備しSOS信号の聴取を義務づけられた。

(2) 大型貨客船の電気設備

昭和時代へ入り、1929年（昭和4年）に「浅間丸」が竣工した。本船は当時日本最大の客船で、船型、構造、設備等あらゆる点で世界のトップレベルに達していると注目された。また英国において最新の豪華客船をモデルとして計画され、主機を始め機関部補機、甲板部補機、艤装品及び電気・機械器具等ほとんど舶来品を使用するよう指定された。発電機は計6台、合計出力1,940KW、また電動機は計230台、合計出力4,200KWに達したが、これは当時、人口5万の都市の電力を賄うに足る出力であった。

第5章　機関

5.1　艦艇用ディーゼル機関の黎明

本期間ではディーゼル機関が日本の艦艇及び商船用の主機に始めて採用されて、その優れた熱効率により従来の蒸気機関の独占分野に遂次進出して、その勢力範囲を拡大した時代である。そして発展の源流は日本海軍の潜水艦の発達にあったのでその概要を述べる。

5.1.1　最初の潜水艦主機はガソリン機関であった。

1904年（明治37年）に日露戦争が勃発したが、開戦3ヶ月で日本海軍は機雷及び事故により主力軍艦「初瀬」ほか3隻を失った。この勢力補充の巡洋艦1隻の急速建造と潜水艇1隊を購入することとなり、ホーランド型潜水艇5隻をアメリカのエレクトリック・ボート会社へ発注した。この潜水艇は常備105トン・水上速力8ノットで、アメリカで建造されて日本へ輸送し、横須賀海軍工廠で組立、艤装された。

この潜水艇こそ日本最初の潜水艇であり、その推進機関こそ日本海軍が手を触れた最初の内燃機関で180馬力立形4シリンダのガソリン機関であった。当時の潜水艇は主機の動力源がガソリン機関であったため、危険なガスによる爆発事故が最大の課題であった。アメリカから購入した潜水艇5隻は日露戦争には間に合わなかったが、隠密性の高い新兵力として第1潜水艇隊を設立した。（図5.1.1）　日本海軍では艇の形態から「ドン亀」と愛称していたが、潜水艇は第1次世界大戦後の1919年（大正8年）から潜水艦と改称された。

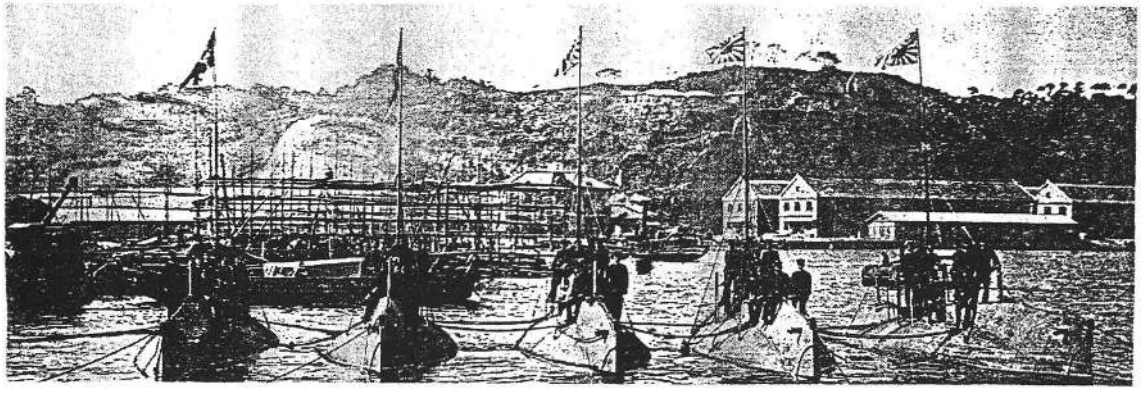


図5.1.1　日本海軍が最初に設立した第1潜水艦隊（アメリカから輸入したホーランド型潜水艇5隻）

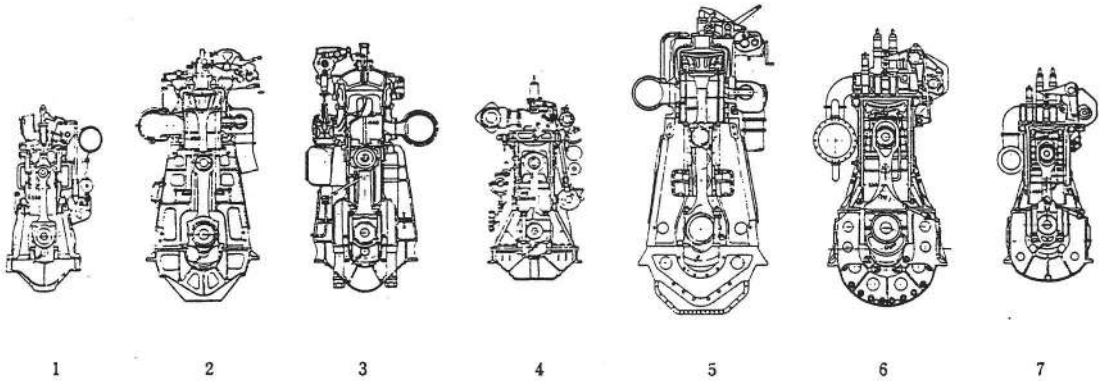
5.1.2　主機にディーゼル機関を導入する。

ディーゼル機関の発明はルドルフ・ディーゼルが1893年（明治26年）2月23日付でドイツ特許を取得した日とされているが、その後試作実験を重ねて実用機としては、ドイツのMAN社が1899年（明治32年）に陸上機関を製作したのが最初である。

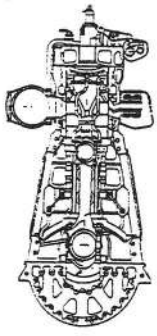
明治末期から大正初期にかけてヨーロッパ各国のディーゼル機関は実用時代に入り、潜水艇主機には安全性や燃料消費率がガソリン機関に比し格段と優るディーゼル機関が登場した。第1次世界大戦では各国潜水艦に1基1000馬力級のディーゼル機関が多く採用され、特にドイツ及びイギリス潜水艦の活躍と戦果はめざましいものがあった。日本海軍は戦勝国側の立場から潜水艦の価値を再認識してドイツから戦利潜水艦7隻を入手して調査研究するとともに官民一体となってヨーロッパ各国の有名なディーゼル機関メーカより技術導入に努力した。図5.1.2は1916年（大正5年）頃から1932年（昭和7年）頃までに建造された日本海軍の潜水艦用ディーゼル機関の発達の概要を示す。

当時、潜水艦は横須賀、呉、佐世保各海軍工廠及び川崎造船所、三菱神戸造船所で建造され、ディーゼル機関はズ式（スイスのSulzer社）を上記海軍工廠と神戸製鋼所で、シュ式（フランスのシュナイダー社）、フ式（イタリヤのフィアット社）及びラ式（ドイツのMAN社のライセンシーであるスイスのラウシェンバッハ社）を川崎造船所、ビ式（イギリスのビッカース社）を三菱神戸造船所で製造した。

しかし、当時これらの機関は潜水艦用として設計されたものではあったが、それぞれ欠点があって、これらの故障、不都合問題の解決には数年を要した。この苦しい経験は関係者のディーゼル機関設計製造技術向上に大きな役割を果し、後に日本独自の機関を設計製造するため



1　2　3　4　5　6　7



8

番号 / 要目	1	2	3	4	5	6	7	8
艦名	波10潜	呂11潜	呂1潜	呂51潜	伊52潜	伊1潜	伊21潜	伊65潜
竣工年月日	大正 6. 7.20	大正 8. 7.31	大正 9. 3.31	大正 9. 6.30	大正 14. 5.20	大正 15. 3.10	昭和 2. 3.31	昭和 7.12. 1
*機械形式	朱式 S. 2	ズ式二号 S. 2	フ式 S. 2	恩式 S.4.S_0	ズ式三号 S. 2	ラ式二号 S. 4	ラ式一号 S. 4	ズ式三号 S. 2
シリンダ数	8	6	6	12	8	10	6	8
毎分回転数	400	340	360	380	300	390	450	300
馬力 SHP	1 100	1 300	1 300	1 200	3 000	3 000	1 200	3 000
重量 (t)W	26.90	35.00	39.00	35.30	83.60	81.50	30.25	85.25
SHP/W	40.89	37.14	33.33	33.99	35.88	36.80	39.67	35.19
kg/SHP	24.5	26.9	30.0	29.4	27.9	27.2	25.2	25.5

備考）* 計画値 S：単動，D：複動，2：2 ストロークサイクル，4：4 ストロークサイクル，S_0：無気噴射
S_0 のないもの：空気噴射

図 5.1.2　日本海軍潜水艦用ディーゼル機関の発達概要（1916年頃から1932年頃まで）

の実力が養われた。

また、日本海軍が潜水艦建造に力を注いだ理由は1921年（大正10年）開催のワシントン海軍軍縮会議で、主力艦の対英米比5：5：3の制限を受けて、その劣勢を補う方策の一つであったが、潜水艦用ディーゼル機関の技術進歩は、それが基盤になって海軍では水上艦用の、民間では商船用のディーゼル機関発達につながって源流となった。

5.2　海軍　蒸気機関

5.2.1　はじめに

本期間は大正時代（1912年～1926年）を挟んだ前後3～4年を含む期間で、日本海軍は1905年（明治38年）に日本海海戦に歴史的大勝利を得た後、第一次世界大戦、八八艦隊案の成立、ワシントン軍縮条約及びロンドン軍縮条約成立等内外の大きな情勢変化に影響された。

蒸気機関は蒸気往復動機関（日本海海戦参加の全艦船の推進機関）から、直結単式蒸気タービン、減速歯車付き多シリンダ式蒸気タービンへ；ボイラは円缶から水管缶へ；燃料は石炭、煉炭、重油へ転換し、従って石炭専焼、重油石炭混焼、重油専焼へと移行した過渡期に相当する。

技術の実態は外国製艦艇の輸入、技術提携の積極的推進を経過して、遂に日本海軍式（艦本式）機関の国産に着手して一応の成果を納めた時代であった。

第二次世界大戦に参加した12隻の戦艦及び巡洋戦艦中の10隻（9隻は国産）までは本期間中に竣工就役したものである。

5.2.2　蒸気タービン主機の採用

(1) 艦艇用蒸気タービン主機採用の先見性とカーチスタービンの購入

イギリスのパーソンスがパーソンス式タービンの特許をとったのが1884年（明治17年）で、その後約15年間

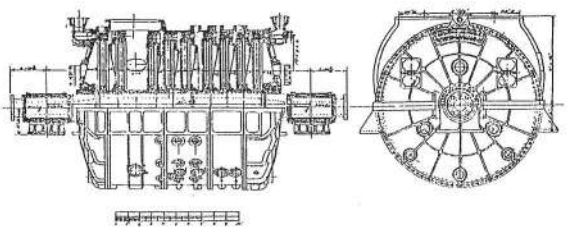


図 5.2.1　戦艦「安芸」、巡洋艦「伊吹」カーチス式主機タービン

に、ドゥラバール（スウェーデン）、カーチス（アメリカ）、ラトー（フランス）、ツェリー（スイス）が独自の蒸気タービンを発表した。日本海軍は将来艦艇の主機関を蒸気タービンとすべきことを決意し、1905年（明治38年）海軍大臣は呉鎮守府長官宛て呉海軍工廠で建造中の戦艦「安芸」、巡洋艦「伊吹」の主機械をカーチス式タービンに変更するよう訓令した。このアメリカから輸入したタービンは主軸に直結の1個のケイシングの単式タービンであり、タービン車軸節直径は3.66m、長さは8.31mという大きなもので、タービン1基の重量は165トンであった。原計画のピストン式往復機関1基は260トンであるから、その60%の軽量になった。ボイラは国産の宮原式水管缶で圧力は18.3 kg/cm²の原計画と同様で、過熱管を増備し、公試運転成績ではタービン入口で12℃過熱を記録した。重油石炭混焼である。公試において265rpm, 2軸合計28,977SHP, 21.16ノットを得た。図5.2.1に戦艦「安芸」、巡洋艦「伊吹」のカーチス式主機タービンを示す。

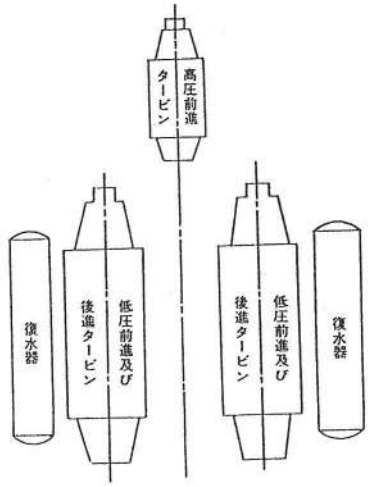


図 5.2.2　通報艦「最上」の主機タービン配備

(2) パーソンスタービンの購入

これと同時にパーソンス式タービンを1907年（明治40年）三菱長崎造船所で起工の通報艦「最上」に採用した。この購入タービンは高圧1個と低圧2個からなる直結型で、高圧は中央軸、低圧は両舷側軸に直結し、全力8,000SHP, 日本海軍最初の3軸艦である。図5.2.2に最上主機械配備を示し、全力8,000SHPを3軸に等分する計画であった。

(3) カーチス及びパーソンスタービン製造権の取得

前述のタービン購入に際し製造権も購入して国産することが将来の機関整備上有利と判断され、表5.2.1の条件で契約を締結した。艦本式タービンの制定まで、この条件を誠実に実行した。

5.2.3　減速歯車装置付主タービンの採用

(1) 減速歯車装置付主タービンの採用

日本海軍が主タービンに減速歯車を採用した最初の艦は、1916年（大正5年）計画の戦艦「長門」（呉海軍工廠建造）、巡洋艦「天龍」（横須賀建造）、同「龍田」（佐世保建造）、駆逐艦「谷風」（舞鶴建造）、同「江風」（横須賀建造）である。

「天龍」型、「谷風」型のタービンは全く同一で、ジョンブラウン社計画のブラウンカーチス式高低圧タービンである。海軍は川崎造船所にその製造図面を購入させ、川崎造船所及び横須賀、佐世保海軍工廠で製造させた。

巡洋艦にはこのタービンを3基、駆逐艦には2基装備し、ボイラはロ号艦本式（14 kg/cm²、38℃過熱）で、巡洋艦には重油専焼8基、混焼2基、駆逐艦には重油専焼4基である。

表 5.2.1　主機タービン等技術提携条件

対象技術	主機カーチスタービン	主機パーソンスタービン	主機減速歯車装置
契約者	日本海軍及びアメリカジェネラルエレクトリック社（GE）	日本海軍、三菱合資会社及びパーソンス社	日本海軍及びアメリカウエスチングハウス社（WH）
契約日 イニシャル ロイヤルチ(R)	明治39年7月1日 100、000＄ 75c/HP戦艦1等巡洋艦 60c/=HP2&3等巡洋艦 50/cHP水雷艇、駆逐艦	明治44年9月1日 3、000£ 2s/HP	大正7年3月 50c/HP ミニマム（M）10、000＄
期間	15年　5年後（R）改定	15年　5年後（R）改定	5年5年延長（R）（M）改定
条件	日本政府工場においてのみ製造可能	海軍用パーソンスタービンの60%以上を三菱造船所が製造する。残余を海軍工廠。	
その他	（R）実績例赤城約30万＄ 駆逐艦約5万＄	タービンの数、馬力、重要寸法の報告義務	WH社製ホプ艦を購入横須賀工廠に据付け最初に陸奥の減速歯車を切削

(2) 高速回転タービンの実現

減速装置によりこのタービンの回転数は全力時高圧タービンは3,000rpm, 低圧タービンは1,800rpmの高速回転を初めて実現した。

「長門」型減速歯車装置はウエスチングハウス(WH)の特許によるもので、「長門」のものはWH製を輸入し、「陸奥」のものはWH製のホブ盤を輸入し、横須賀工廠に据付け歯削りした。本技術提携条件は表5.2.1に示す。

5.2.4　艦本式タービンの制定

(1) 外国特許タービンの主機械

1918年（大正7年）度計画の巡洋艦、潜水母艦、駆逐艦合計63隻にはすべてパーソンス式またはブラウンカーチス式の高低圧タービンの国産品が採用された。さらに4隻の駆逐艦にはツェリー式高低圧タービンを装備した。したがって上記67隻のタービンは全て欧米の特許によるものであった。

ついで海軍は1923年（大正12年）度計画の巡洋艦4隻の内、「古鷹」、「青葉」には長崎製パーソンス式を、「加古」には川崎製ブラウンカーチス式タービンを、そして「衣笠」には川崎計画の川崎式タービンの最初の製品を採用した。「古鷹」、「青葉」、「加古」の主機タービンは海軍艦船に採用した両外国特許型式の最後のものであった。

(2) 艦本式タービンの制定

日本海軍は各種外国特許のタービンの輸入、製造、運転、整備の経験に基づき、自らのタービンを開発してこれを1913年（大正12年）度計画の「追風」型駆逐艦4隻、「睦月」型駆逐艦10隻計14隻に採用した。衝動型高低圧タービン2基2軸38,500SHPで、この歴史的な海軍開発タービンを追風型艦本式タービンと呼称した。

「追風」型4隻は大正13～14年に完成して、その艦本式タービンは見事な成績を発揮した。この成功によって以後計画する全艦艇のタービン主機械は専ら艦本式タービンとする方針が決定した。

5.2.5　艦本式ボイラの制定

(1) 軍艦ボイラの発展経緯

日清戦役の2年間における欧米列強の造船造機技術の進展は著しいものがあった。1894年（明治27年）イギリスに発注した戦艦「富士」、「八島」は高円缶10基、11 kg/cm²である。1898年～1899年（明治31～32年）イギリスあるいはアメリカで竣工した巡洋艦「高砂」、「笠置」、「千歳」ならびに「浅間」、「常盤」にも高円缶が採用されていた。

しかし円缶における事故は跡を絶たず、1897年（明治30年）イギリスで起工の戦艦「敷島」では、主力艦として初めて水管式ベルビールボイラを装備し、圧力は一挙に19 kg/cm²に上昇した。続いてドイツ、イギリスで起工した「八雲」、「吾妻」、「出雲」、「磐手」もこれに倣った。またイギリスで建造の戦艦「朝日」と「三笠」にもベルビール式ボイラを採用したが、圧力を21 kg/cm²とした。「三笠」は計画15000SHP, 直立3段膨張3気筒往復動機関2基2軸、石炭燃焼缶25基である。

(2) 日本海軍最初の水管缶

1892年（明治25年）フランスのクルゾー社で進水した第15号水雷艇と、同時にフランスで製造のうえ翌明治26年小野浜造船所で組立てた第20号水雷艇で、ジュタンブル式ボイラである。

(3) 宮原式水管ボイラの発明と装備

1899年（明治32年）にはわが国最初の駆逐艦がイギリスのソーニクロフト社及びヤロー社で竣工した。両社ではそれぞれ自社開発の水管ボイラを装備し、その圧力は17.6 kg/cm²であった。

ついで明治35年進水の巡洋艦「新高」及び「対馬」にはフランスより輸入のニクロース式水管ボイラ16基を各々搭載した。圧力は14.8 kg/cm²である。なお明治33年軍艦「八重山」の換装用としてニクロースボイラ8基が輸入された。

このように明治25年以来フランスまたはイギリス製品のみ採用されたが、明治30年当時の海軍造船大監宮原二郎は自ら巧妙な宮原式ボイラを発明して特許を取った。

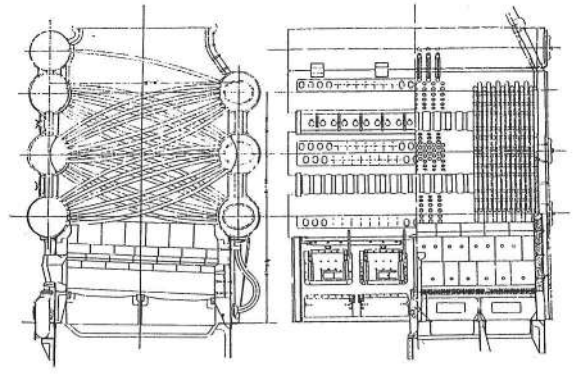


図5.2.3　宮原式ボイラ

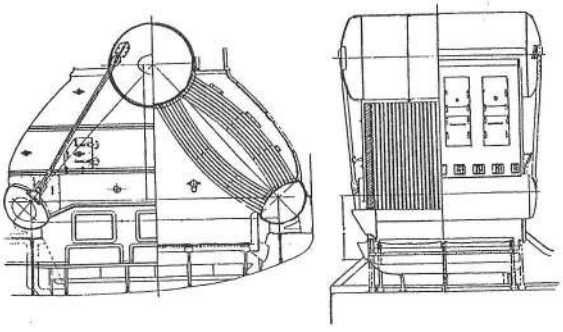


図 5.2.4　イ号艦本式ボイラ

明治34年に水雷敷設船で実用実験し成果を得、明治35年軍艦「橋立」の円缶換装用に採用され、以後引き続いて大正4年進水の戦艦「山城」までの約15年間大艦用ボイラとしてほとんど独占時代を画した。

(4) 艦本式水管ボイラの制定

1902年（明治35年）艦政本部が設置されて間もなく、多数の水雷艇の老朽ボイラの換装の必要を生じたので、時の鑑政本部四部長宮原二郎は部内で研究計画して、ヤロー式ボイラの形状に改良を加えた艦本式ボイラを制定した。そして駆逐艦、水雷艇用ボイラとして広く採用したが、最初に装備のものは明治35年進水の駆逐艦「春雨」と第66号水雷艇であり、軍艦としては明治36年横須賀進水の巡洋艦「音羽」である。

艦本式ボイラの水ドラムはヤロー式と同様に下方底板のみが円弧状に湾曲して、上方管板は平板状を呈していたが、使用後6～7年で上下両板の継目に深い溝蝕を生ずることが発見された。明治45年イギリスで進水した巡洋戦艦「金剛」のヤローボイラにも同じ欠陥を発見した。このため大正4年、水ドラムは上下両板とも円弧状に改正する方針を決め、この改正型をロ号艦本式ボイラと呼び、改正前のものをイ号艦本式ボイラと呼ぶことにした。この改正以後ロ号艦本式ボイラは大艦にも採用されることになり、大正、昭和を通じて日本海軍全艦艇の主ボイラとしてその王座を守ることになった。図5.2.3に宮原式、図5.2.4にイ号艦本式ボイラを示す。

5.2.6　燃料廠の設立

(1) 石炭、煉炭時代

日清戦争には、英炭の輸入が意の如くならず、主として和炭を使用したため、我が艦隊は充分に戦力を発揮できなかった。そのため国産原料による煉炭の製造について研究と工業化を計ったが日露戦争には間に合わず、急いで英炭を輸入して難関を切り抜けた。この戦争中徳山に海軍煉炭製造所を急設して要望し続けた軍用炭の独立を達成することができたが、時既に世界の大勢は液体燃料へと移行しつつあり、海軍もまたこれに従い大課題の解決を迫られた。

(2) 石油燃料と海軍燃料廠

我が国の石油資源は極めて貧弱で平常用燃料重油の調達も甚だ困難で、外国油の輸入を要する外、貯蔵運搬にも著しい隘路があった。海軍は非常用としての重油の貯蔵の方針を決定すると共に、八八艦隊を目途とする兵力量の増強計画に対応するため、1921年（大正10年）に海軍燃料廠を創設し、直営により製油作業を開始すると共に、同廠研究部で石炭低温乾溜、石炭液化等液体燃料の自給を目的とする代用燃料の研究に注力した。

(3) 航空燃料と研究開発

昭和に入り、航空兵力の増強は航空ガソリンの需要を急増するばかりでなく、航空潤滑油に品質改善等についての研究開発課題が多発したので、大船に研究実験を専門とする燃料廠を新設した。

海軍は、我が国全体の液体燃料の需要は国策として解決の必要あることを提唱し、終始指導的立場においてその推進に務めた。

参考文献

1)　日本造船学会編：日本造船史、第1巻（1977）
2)　生産技術協会：旧海軍技術資料第1～5分冊（1970）
3)　帝国海軍（日本舶用機関学会復刻）：帝国海軍機関史上下巻、別冊（1975）
4)　燃料懇話会：日本海軍燃料史、上下巻（1972）
5)　牧野茂他編：海軍造船技術概要、上下巻（1985）
6)　矢杉正一：舶用蒸気機関の変遷、船の科学、Vol. 29, No. 12（1976）～Vol. 30, No. 6（1977）
7)　大原信義：日本海軍の舶用機関、世界の艦船、No. 194（1973）

5.3　商船用ディーゼル機関の黎明

明治末期頃からヨーロッパ各国の有名ディーゼル機関メーカは陸上用から逆転機構付きの船舶用機関を開発し製造を始めた。日本への技術導入は当時の時代背景から潜水艦用が先行したが、商船用においても各社はまず技

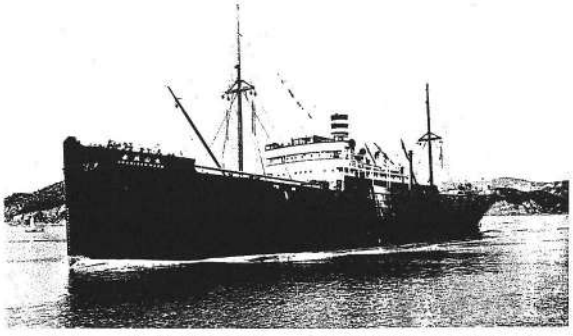


図5.3.1　日本最初のディーゼル航洋船「赤城山丸」

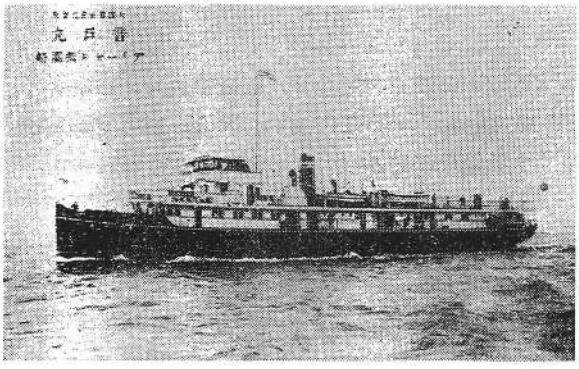


図5.3.2　日本最初のディーゼル商船「音戸丸」

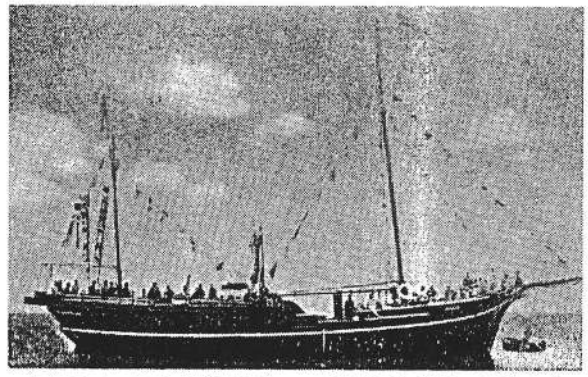


図5.3.3　日本最初のディーゼル漁船「第2大洋丸」

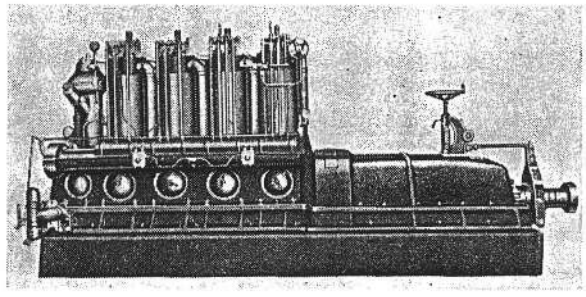


図5.3.4　「第2大洋丸」主機関（新潟M4Z100ps×350rpmディーゼル機関）

術者を海外に派遣して実地調査し情報を集めた。そして最初は機関と船体を丸ごと輸入したり、或は機関を単体で輸入して日本の建造船に搭載し、運航成績を自らの手で調査したり、生産設備などを検討した。その上で正式なライセンス契約を結んで階段的に国内生産に移行した。当時として止むを得ない方法であったが結果的には賢明な策であった。

5.3.1　日本最初のディーゼル船建造の実例

1922年（大正11年）に三井物産造船部（現在の三井造船）では、各社ディーゼル機関の得失と運航成績を調査研究するため技術者を海外に派遣するとともに、新造船の「赤城山丸」はディーゼル機関採用を決めた。1924年（大正13年）にデンマークのB&W社から4サイクル単動、無気噴射674TFに続いて150型、1600ps×115rpm機関を輸入・搭載した。これは日本最初の航洋ディーゼル船で、処女航海で北米航路に就航し、横浜ーサンフランシスコ間の16昼夜を無事故で航海した。（図5.3.1参照）

引き続き建造された姉妹船「秋葉山丸」には蒸気レシプロ機関が装備され、両船の運航成績を比較検討の結果、ディーゼル船は燃料費、修繕費、人件費が減少するのみでなく、速力、載貨容量、重量ともに増大し、その収益力の著大なことが如実に立証された。

これはわが国の海運界に航洋大形ディーゼル船建造の気運を大きく醸成することとなった。

また、日本最初のディーゼル商船の「音戸丸」は1924年（大正13年）に三菱神戸造船所で建造された。主機はイギリスのビッカース社製4サイクル単動、無気噴射6シリンダ（600ps×150rpm）の輸入機関であった。

本船は大阪ー別府間航路の快適な近海旅客船として運航成績は良好で好評であった。三菱神戸造船所は海軍からの要請もあって1917年（大正6年）に前述のとおりビッカース社と潜水艦用ディーゼル機関製造のライセンス契約を結んだが、3年後の1920年（大正9年）に商船用も追加契約を行った。しかし「音戸丸」には輸入機関を採用した。（図5.3.2参照）

さらに日本最初のディーゼル漁船「第2太洋丸」の主機は新潟工所製のM42型ディーゼル機関（4シリンダ、100馬力×350rpm）を1919年（大正8年）に搭載した。新潟鉄工所では1918年（大正7年）にイギリスのマーリース社と陸用機関のライセンス契約を結んだが、舶用機関は自社独自設計で製造する方針を立てた。M4Z型機関はスウェーデンのA·B会社（ポーラー）より購入した舶用4

シリンダディーゼル機関（50馬力×500rpm）に範を採り、自社設計製造の第1番機で運航成績はたいへん良好であった。（図5.3.3及び図5.3.4参照）

5.4　商船用タービン

明治時代から第二次大戦終結までのわが国の新造商船の主機別内訳は表5.4.1の通り、明治時代はほとんどが蒸気圧力150～200psi、出力3,000馬力以下の蒸気機関であり、40%強が外国建造船であった。大正時代には国内建造が主体となり建造量も増えたが、蒸気圧力180～200psiの三連成機関がほとんどであった。蒸気タービンは明治、大正合計で42隻に搭載されたが、客船、貨客船、大連・関釜・青函の鉄道連絡船が主体であった。

わが国最初のタービン船は1907年（明治40年）に英国で竣工した青函連絡船「比羅夫丸」（姉妹船：「田村丸」）、パーソンスタービン1基3軸3,400PSであった。1908年にわが国で建造された豪華客船「天洋丸」（「地洋丸」、「春洋丸」）は英国からパーソンスタービン1基3軸19,000PSを輸入して搭載した。同年建造された義勇艦「さくら丸」（「梅ケ香丸」）の1基3軸9,000PSのタービンはパーソンス社の図面で三菱長崎が製造した国産初号機であり、続いて東洋汽船の3番船「春洋丸」のタービンも同所で製造された。

明治末期にはわが国の造船所および海軍は外国技術を導入してタービンの国産化を進め、パーソンスおよびカーチスタービンが製造可能となった。さらに大正時代にはツエリー、ラトー、スタールタービンが導入され、大正末期にはわが国独自のタービンも設計、製造できるまでに成長した。

当時のパーソンスタービンは3胴式で、高圧タービンで中央軸、2組の低圧タービンで両舷軸を直結駆動するため低速・超多段・大直径のタービンであったが、1913年竣工の南米航路貨客船「安洋丸」（2軸7,500馬力）には1段減速歯車が導入され、同10年の欧州航路貨客船「箱根丸」（「筥崎丸」、「榛名丸」、「白山丸」、2軸9,000馬力）には2段減速歯車が導入されて、タービンは高速・少数段・コンパクトな近代型に進化した。

使用蒸気は圧力200psi止まりの飽和蒸気であったが、1925年（大正14年）の「楽洋丸」、7,500PSに初めて過熱蒸気（120° F）が採用され、普及して行った。ボイラは丸缶主流の中で水管ボイラが青函連絡船（1924年の「津軽丸」、「松前丸」、2軸5,500馬力の三菱衝動タービン、1926年の「第一、第二青函丸」、2軸2,400馬力）に採用された。

表5.4.1　戦前の主機関別商船建造隻数

	明治	大正	昭和	[内戦標船]
蒸気機関	246	636	546	[188]
タービン	7	35	401	[247]
ディーゼル	8	19	226	[2]
合計	261	690	1.173	[437]
（内輸入船）	(110)	(45)	(0)	

（注：1,000総トン以上の鋼船）

参考文献

1)　日本舶用機関学会編：本邦建造船要目表（1868～1945）、海文堂（1976）
2)　日本舶用機関史編集委員会：日本の舶用タービン年表、舶機誌、第18巻、第6号（1983）

第6章　海洋技術

1918年（大正7年）に水産講習所海洋調査船「天鳩丸」で初めて海洋調査が開始された。1922年（大正11年）には海洋漁業調査船「白鳳丸」が建造された。1925年（大正14年）に音響測深が初めて行われた。

潜水技術は依然としてヘルメット潜水器が主流であったが、1913年（大正2年）にマスク潜水器が開発された。

第Ⅲ部

帝国海軍時代と太平洋戦争

1930年～1945年（昭和5年～昭和20年）

概観

この時期、第一次大戦後のワシントン会議およびロンドン会議で締結された海軍軍縮条約のもとで、帝国海軍は先進国英米を相手に激しい建艦競争を行っていた。
まず、推進性能に関しては、技術的進展は軍艦の建造に見られる。特に、巨大戦艦「大和」と「武蔵」の建造にあたって、長射程距離の大口径砲の一斉射撃時における復原力と27ノットの速力確保による機動力という相反する性能の両立をするための船型開発が行われた。その結果、長さが3mもの大型突出型球状船首（バルバス・バウ）付船型と4軸スクリュープロペラが採用され、従来型船型より15,000馬力軽減がなされた。そして、研究面では、曳航抵抗に関する実艦実験が行われ、摩擦抵抗の実験式を作成し、抵抗に及ぼす浅水の影響の研究、船底汚損による抵抗増加の研究、系統的高速艇模型試験結果やプロペラ性能図表が発表された。また、新型の抵抗動力計や自航動力計等が開発され、これにより試験技術が向上し、その試験結果を基に作成された設計図表はその後の船型設計に利用された。プロペラに関しては、エアロフォイル型プロペラの開発がなされると共に、キャビテーション性能向上のため、キャビテーション水槽が船舶試験所（目白）に建設され、プロペラ改良に貢献した。戦争直前および戦時中、大学等に曳航水槽が新設されたり、船舶試験所や三菱長崎の船型試験水槽の大型化や高速化がなされ、船型改良の努力がなされた。

一方、運動性能に関しては以下のような進歩が見られる。運動性能のうち、耐航性に関しては、当時の艦艇の兵装過重による復原性の低下があり「友鶴」等の転覆事故が発生し、復原性改良の対策研究が行われた。このため、海軍技術研究所に動揺水槽が建設された。また、船体横揺れ現象の研究により、船体動揺理論が大いに発展し、後の復原性規則の判定式導入の基礎が築かれた。そして、操縦性に関しては、艦艇に重要な旋回性能の研究が盛んに行われた。新しい旋回試験法が考案されたり、旋回腕水槽が船舶試験所に設置されたりした。また、系統的旋回模型試験が多数行われ、舵と旋回性能の関係が明らかにされ、設計データが得られた。旋回運動方程式の近似解法が考案され、旋回性能の推定法が提案された。軍艦の運動性能向上のための研究がなされた時期にあたる。

この時代の構造に関する最大の事件は、1935年の帝国海軍の第四艦隊事件である。海軍大演習に際して、第四艦隊が津軽海峡東方海上を進行中猛烈な台風に遭遇して、所属のほとんどの艦艇が損傷をうけ大演習は中断された。事故原因は、砲搭など重装備による重量増加が構造重量にしわ寄せされた結果、甲板の座屈強度不足を招いたためであった。その後、補強平板の座屈の実験的研究が海軍部内で多数行われた。しかし本格的な研究は、戦後の座屈理論の発展を待たなければならなかった。また当時は、船舶の縦強度の計算にあたって波高が波長の1/20のトロコイド波を採用していたが、実際に遭遇した波はこれより波高の大きい波であったことが観測されている。この事故により強度計算に用いる標準波高を高くする必要があることが明確になったが、波浪観測など波の本質に関する研究は何等行われなかった。

このころ海軍の艦艇では、溶接接合を採用した艦に溶接残留応力に起因する損傷が多数発生した。このため重要部材では溶接継手の採用が控えられ、その結果溶接技術の発展が抑制されることになった。また艦艇が攻撃などで損傷をうけたとき浮揚性を維持するためには、隔壁の強度が重要であるので横圧を受ける補強平板の強度の研究が活発に行われた。これに関連して曲げを受ける縦横の補強材に対する有効幅の研究も行われた。

このころ我が国における構造分野の研究で特筆すべきものは、徳川武定が行った潜水艦耐圧殻の圧潰強度に関する研究である。この研究は1929年の万国工業会議で発表されたが世界中の学者の関心を引き、碩学Timoshenkoは早速彼の著書に引用した。徳川の研究は補強円筒殻、球殻など潜水艦の耐圧殻の設計の基礎を固めた。戦時中は鋼材を使わない船舶の建造が計画され、鉄筋コンクリート船、木船などが造られた。当時の木船構造の基礎的研究は、戦後、防衛庁の掃海艇の建造に影響を与えている。学問分野では当時造船の先達は地震学や振動学の分野でも活躍していた。船の動揺の研究で著名な末広恭二は、世界における地震学の創始者のひとりである。妹沢克惟は振動・動揺の広範な分野を網羅した名書「振動学」を通じて振動学の発展に著しく寄与し、太田友弥の著書「船体強弱学」は、この分野における唯一の総合的な教科書として、多くの学生・技術者に親しまれた。

材料強度に関しては、特に軍艦に関わる兵器用特殊鋼材に関して政府主導で研究が行われた。海軍は呉工廠製鋼部を独立させて本格的な試作生産を開始し、第二次大戦終結まで、弾丸、砲身、鋼鈑、魚雷気室などの製造と研究を行い、1935年頃には世界最高の技術水準と規模に

達していた。しかし、貴重な技術データは軍事上の機密ということで公表されないまま、終戦時文書焼却命令によって多くが失われてしまった。また、強度の高い特殊鋼についてではあるが、早くも脆性破壊に関する冶金的研究が行われた。いずれにしろ、この時期における材料強度研究は冶金技術者の主導のもとに行われた。

満州事変（1932年）から日華事変（1936年）と大陸侵攻が進むにつれ、世の中は徐々に臨戦態勢となり、造船は完全に海軍主導の艦船建造に突入した。以前より平時標準船が計画ていたが、この計画中に第２次世界大戦が起こり、すぐさま戦時標準船が計画されることとなる。これは、戦時の艦船不足を補う意味で建造され第１次から第３次まで設定されたが、戦況の変化とともにその船質は大きく異なる。すなわち、第1次標準型がそれまでの優秀な船舶の資質を備えていたのに対して、第２次では大量生産に適した簡易型の船舶が、第３次では喪失量の軽減を目的とした速力増加と構造の強化が実施された。

接合技術、建造技術に関しては、以下のような進歩が見られる。かねてより研究を重ねていた海軍は1930年に溶接率60%の敷設艦「八重山」を建造し、5%の重量軽減効果があった。そこで、1933年に「大鯨」で溶接ブロック建造法を採用し上々の首尾を達成したことをきっかけに艦艇の建造にこの工法が大幅に取り入れられた。しかし、前述の第四艦隊事件に関連して、溶接構造の脆弱性が指摘されて、構造部材への電気溶接は行われなくなった。太平洋戦争に突入するや、艦船の短期大量建造の要求から、電気溶接法の使用が大幅に復活し、ブロック建造法と相俟って工期の短縮を実現した。はじめは強度部材には使用しなかったが、次第にエスカレートして、溶接率70%に達するものも出現した。特に戦時標準船（戦標船）は設計段階から溶接ブロック建造工法の採用を前提に計画されたが、ブロック間の接合はリベット接合にしたことが幸いして、米国の戦標船の大量脆性破壊事故の二の舞いを演じないですんだ。

太平洋戦争開戦の1941年暮れに史上最大の軍艦「大和」が密かに竣工し、翌年８月に「武蔵」が完成したが、時代はすでに空母と航空機の時代に移っていて、両巨艦は何の成果を上げる事なくあえない最後を遂げた。

この時期、機関に関しては、ディーゼル機関は大出力複動2サイクルディーゼル（空気及び無気噴射）機関に始まり、中型単動４サイクル及び超小型大出力軽量ディーゼル機関の研究開発に費やした時代であった。ワシントン及びロンドン条約で兵力の著しい制約を受けた日本海軍は、高速潜水艦構想を計画し、従来の潜水艦ディーゼル機関に倍する出力が必要となった。このためシリンダ径470 mmのテスト機関による試験を開始し、さらなる高出力を得るためシリンダ直径は変えず、ストロークを490 mmから530 mmとし、10筒からなる艦本式２号とよばれるディーゼル機関を開発、これが後の大出力複動2サイクル無気噴射ディーゼル機関（艦本式11号～13号）の基となった。1917年、当学会の前身である内燃機関船調査会が、造船協会内に設立された。その目的は、我が国最初の外航ディーゼル船「赤城山丸」が就航して以来、その経済的有利性から多数の高速ディーゼル船が建造され就航するようになったが、初期のため船体及び機関部の損傷、故障が頻発し、その原因究明と対策を検討しようということであった。1924年、三菱長崎造船所はスイスのSulzer社とライセンス契約を結び、後にMS機関、UEC機関等を開発した。

この期間の蒸気機関は、自ら制定した艦本式タービン及び艦本式ボイラをもって、軍縮条約による制限の中で、高信頼性、高速、軽量な蒸気機関の整備に尽逐し、条約失効後の無条約時代は、戦艦大和を含む精強な艦隊の整備に、そして太平洋戦争の遂行に懸命の努力を尽くした期間であった。途中、艦艇のタービン翼折損という大事故が起こり、その問題解決に多大な労力が使われた。1927年～1945年（昭和２～20年）に竣工した商船1173隻中、船標船を除く736隻の内訳は蒸気船が49%、ディーゼル船が30%、タービン船は21%の154隻であった。このなかで単機出力が5000ＰＳを超える大馬力船は22隻、水管ボイラ搭載船は26隻に過ぎなかった。また1942年～1945年（昭和17年～20年）建造の船標船437隻の内訳はタービン船56%の247隻、蒸気船188隻、ディーゼル船２隻であった。

第1章　性能

1.1　抵抗推進

1.1.1　宝の持腐れになった巨大戦艦「大和」「武蔵」

日本海海戦の勝利以来、帝国海軍には、性能の優れた主力艦（戦艦、巡洋艦）による決戦こそ勝敗を決するものという信仰がすっかり根付いてしまった。そのためには、敵より少しでも射程距離が長い大口径砲を装備することが必須であり、巨砲を搭載するには艦型が大型になり、機動力を向上させるために速力が高くなるのは当然であると信じて疑わなかった。こうして大艦巨砲主義の道をまっしぐらに突き進み、遂に未曽有の巨大戦艦「大和」と「武蔵」の建造につながった[1~3]。

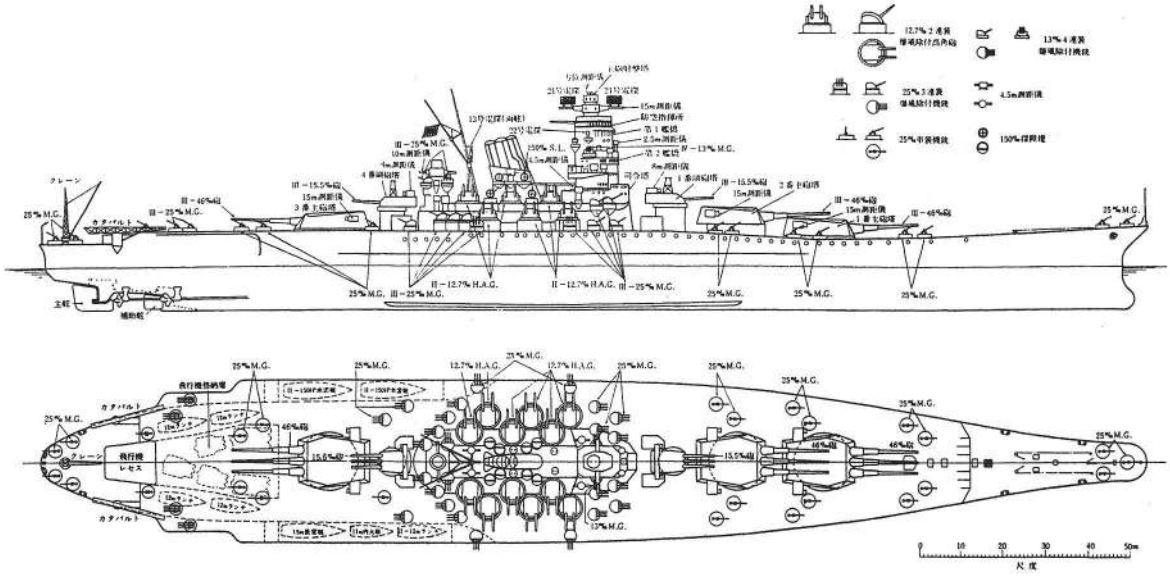


図1.1.1　戦艦「武蔵」の一般配置図

帝国海軍と造船界が1934年（昭和9年）から8年にわたり総力をあげて心血を注いだ巨艦「大和」（1941年12月竣工）と「武蔵」（1942年8月竣工）について述べる。ここではその抵抗推進性能の特色を紹介する[2]。まず、図1.1.1に一般配置図を示す。意外に幅広であり、その広い甲板の中心に聳え立つ岩山の様な艦橋と、中心線上に据えられた3つの小山のような46cm主砲塔がある。この46cmの主砲9門が片舷に向かって一斉射撃した時の過大なヒーリングモーメントに耐える復原力を保持するためにはいささか不格好でも大きな船幅を必要とした。しかし、機動力の源である速力27ノットは絶対にキープしなければならない。この相反する性能の要求は基準排水量62,315トン、水線長256m、水線幅36.9m、深さ18.915m、吃水（公試状態）10.40mという大きさを知ったとき、如何に過酷なものであるか造船技術者でなくても理解できる。そのため、船型計画は熾烈を極めた。50隻以上の模型船の水槽試験が夜に日をついで目黒水槽で行われ、遂に決定した船型は、4軸プロペラ船尾で突出型球状船首（バルバス・バウ）という船型であった。当時、これだけの巨艦を建造できるのは、呉海軍工廠のビルディングドックと三菱長崎の2号船台だけであり、両者の建造能力ぎりぎり一杯の主寸法に抑えながらも排水量をキープするため、長さに比べて幅広で軍艦にしては肥えた船型（Cb＝0.619）になった。当然著しい抵抗増加が予想された。そこで考え出したのが、断面積が中央断面積の12%、前方突出量3mという当時世界に類を見ない大型船首バルブであった。「大和」の線図[5]を図1.1.2に示す。バルバス・バウ船型については米国海軍研究所のテーラー（D. W. Taylor）が膨大なシリーズテストを行った詳細な研究[6]があるが、前方突出型という船首バルブの採用は「大和」と「武蔵」が世界で初めてである。一昔前の19世紀末の軍艦や古代の軍艦にも衝角（ラム）というバルブに類似の船首突出物があったが、これは目的が体当戦法の槍の役目と船首の補強のためであったので、抵抗減少の

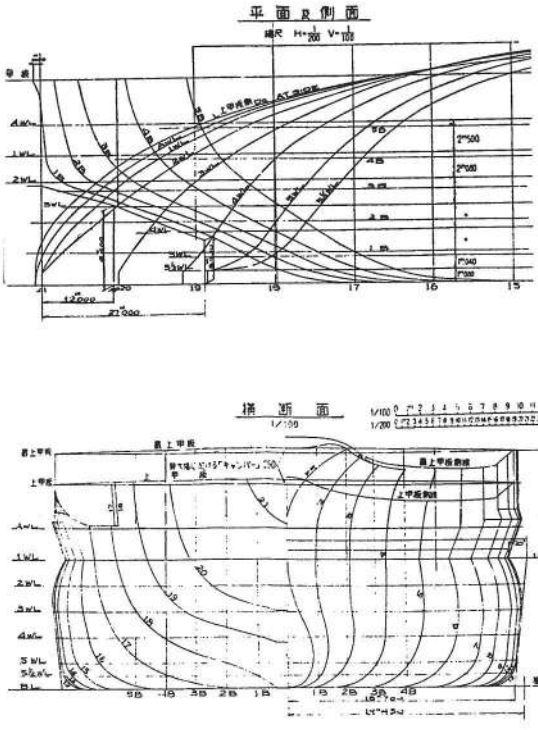


図1.1.2　大和型戦艦「大和」線図

ための突出型バルバス・バウ船型とは異なる。「大和」と「武蔵」のこのバルバス・バウ船型は、27ノットの速力を出すのに従来型船型とくらべて15,000馬力の出力低減に成功し、結局、主機関は37,500SHP×4基の蒸気タービンを搭載した。「大和」や「武蔵」ほどバルブは大きくないが、バルバス・バウ船型として戦前有名だったのは、フランスの豪華客船「ノルマンディ」があり、日本でも1940年（昭和15年）建造の高性能客船「出雲丸」と「橿原丸」にバルバス・バウが採用されたが、両船はそのまま空母「飛鷹」と「隼鷹」に改造されて幻の客船と言われている。バルバス・バウについては、1960年（昭和35年）代に行われた日本の研究により世界中の船に広まったことは良く知られている。「大和」の写真を図1.1.3に示す。

1.1.2　技術に軍事用・平和利用の区別はない（生かすも殺すも使う人次第）

日本が世界一の造船国になった理由の一つとして戦前、海軍の技術と技術者がその先導となったことが挙げられる。戦争中海軍技師として働いていて、敗戦と同時に野に放逐されて路頭に迷った末、民間造船所の一工員から

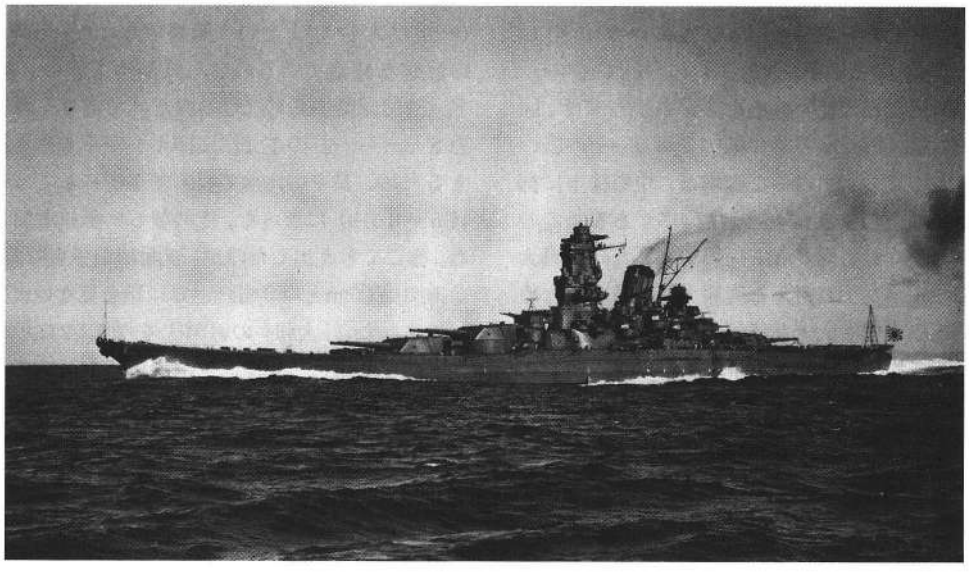


図1.1.3　戦艦大和

技術者人生をやり直して平凡に定年まで勤め上げた例は、多くの海軍出身技術者の典型な生き方である。そういう人達が日本の造船の復興を担い、後進に自分達の財産である技術を伝承して来るべき日を待ったから、その後の造船日本の発展があったと言えよう。軍艦を造る技術と商船を造る技術に基本的な相違はない。技術は継続であり、蓄積であり、そしてそれを担うのは人である。断絶が最も恐れることであり、日本の造船にとって敗戦という衝撃的出来事が技術の断絶につながらなかったことが不幸中の幸いであった。

戦前の造船は海軍主導で推移したことは否めない。その技術と資料の大部分は軍事秘密の厳しい統制管理の下にあって世に出ることは殆ど無かったが、学会発表論文等にその片鱗を見ることができる。海軍技術研究所における研究は、基礎的研究を重んじ、かつ、それを実用に供する応用研究も平行的に行うという堅実なものであった。その間の事情は文献1に記述されており、引用すると「推進性能に関する基礎研究としては、まず新しい理論の開発、従来の理論の拡充等により種々の現象の原因の解明に努めるとともに、必要に応じ実験による裏付けを行って設計に役立つ新計算式を作り、また多くの有用な資料を提供する等のいわば前向きの研究ともいうべきものである。また理論研究と並行に系統模型実験を行い、船型あるいはプロペラの要目の変化が性能に及ぼす影響を調査し、更にその結果を用いて広汎な設計図表を作成して、与えられた船型・プロペラに対して一々模型実験を行わずとも、その性能を概略的に推定し得るようにすることも、基礎研究の重要な作業の一つといえよう。」

当時の海軍技術研究所には、徳川を中心に、八代、出淵、鬼頭などの俊英が揃っていた。そこへ1925年（大正14年）艦政本部を追い出された平賀が加わった。12月には所長となり、震災で壊滅した艦型試験水槽の再建に一丸となって邁進し、1930年（昭和5年）に前述の目黒水槽を建設した。平賀は、その間、同地に仮設した平賀水槽を用いて年来暖めてきた摩擦抵抗の研究に着手し、一年余りの実験の末、摩擦抵抗算定の実験式の基本構想を固めたのが1928年（昭和3年）の春であった。実艦実験で仕上げをするべく行動を開始し、同年7月には、廃駆逐艦「夕立」を用いた実艦実験の許可をとりつけた。この実艦実験は、廃駆逐艦「夕立」（長さ70.71m、幅6.55m、排水量375トン）と曳船（長さ35m、幅7m、排水量30トン）と板船（長さ23.57m、幅0.16m、排水量3.4トン）の三隻を最高速度26.3ノット（板船は16ノット）までの種々の速度で曳航して、その時の曳引抵抗を計測するという大がかりなものであった。約1年がかりで実験は終わり、実艦実験の結果を解析して実験式に当てはめ、仕上げの修正をすれば完成であった。1871年にフルードが行った「グレイハウンド」の実験[7]に次ぐ、世界で二番目の実艦実験が日本で行われたのである。この実験の結果により平賀が創案した摩擦抵抗の実験式を用いれば、フルードの法則に従って模型試験の結果から実船の抵抗を精度良く算定できることを、1934年（昭和9年）にロンドンで開かれた第2回国際試験水槽会議（ITTC）で2篇の論文として発表した。第1論文が摩擦抵抗算定の実験式の導出に関するもの、第2論文がその実験式を用いて模型試験結果から算定した実船の抵抗が実艦実験の結果と良く一致することで実験式の精度を証明したものであった。この平賀の論文[8,9]は絶賛を博し、英国造船学会（I.N.A.）の最高の栄誉である金牌を受賞した。しかし、平賀の実験式には理論的な欠陥があることが発表の席上の討論でも指摘されていたが、結局それが理由となって広く実用されるには至らなかった。

この時期、特筆すべき研究としては、海軍にあっては、出淵の浅水影響に関する研究は世界に先駆けて浅い水域を航走する船の著しい抵抗増加の問題を取り上げた。小型水槽を利用して水深を幾種にも変えた実験を行い、その結果を艦種別に水深をパラメーターにした有効馬力曲線図表にまとめて実用に供した[10,11]。この他、球、紡錘型、魚形等の多くの精密模型を用いてその抵抗を計測した徳川らの実験研究[12]、船底汚損による抵抗増加に関する出淵の研究[13]、空気抵抗に関する二重模型を用いた出淵の風洞実験[14]、八代の高速艇系統模型試験[15]、八代のプロペラ単独性能図表[16]、鬼頭のプロペラの鳴音現象の原因究明と防止[17]、などがあげられる。

もう一方の旗頭である目白水槽でも、重光、山県、研野が世界に伍した研究を続々と発表した。山県による試験水槽の側壁影響に関する理論的研究[18]、一軸プロペラの船型に関する系統的模型試験[19,20]、船体とプロペラと舵との相互干渉作用に関する実験的研究[21,22,23]が注目すべきものであり、これらの実験を可能にした各種新型試験装置の開発に関する研野の業績もわが国の水槽試験技術の向上に大きく寄与したものとして高く評価される[24~27]。それらのうち、代表的なものとして、抵抗動力計と自航動力計の写真を、それぞれ図1.1.4と1.1.5に示す。これらの成果が結集して、山県の名著「船型試験法」[28]と「船型学」（抵抗篇[29]、推進篇[30]）が生まれ、有名な山県図表が世に出たのである。

この頃、プロペラの性能改善と設計資料の整備のため

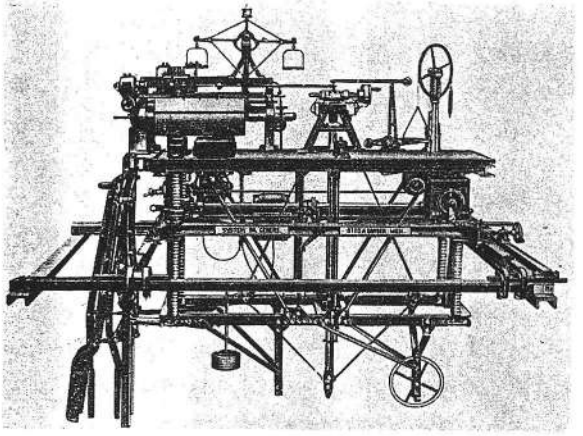


図1.1.4　抵抗動力計

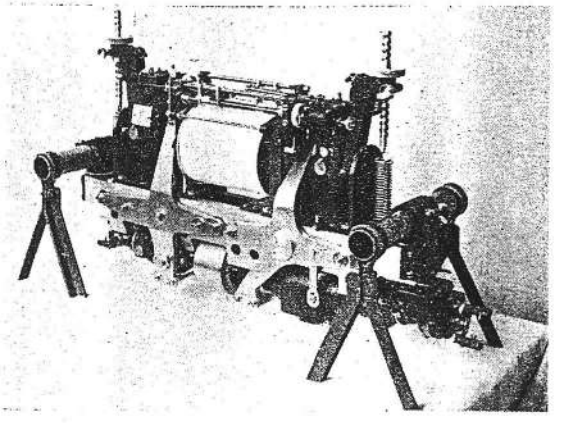


図1.1.5　自航試験用プロペラ動力計

の仕事が精力的に行われていた。すなわち、エアロフォイル断面を採用した新しいプロペラの開発とキャビテーション性能の改善である。三菱長崎造船所では、その成果を活かしてエアロフォイル断面プロペラを装備した第1船「照国丸」が1930年（昭和5年）に竣工した[31]。以後長崎で建造された高速船は皆この新型プロペラを装備した。海軍では、八代を中心に、やはりエアロフォイル翼型プロペラの開発を精力的に進め成果をあげていたが公表されていない[1]。目白水槽でも、菅を中心にエアロフォイル翼型プロペラの開発が始まり[32]、丁度新設されたキャビテーション（空洞）水槽がそのキャビテーション性能改善に役立った。その後、この研究は土田から矢崎へと受け継がれて、世界に誇るAUプロペラ、MAUプロペラが戦後完成した。

この他にも見るべき研究は幾つもあり、この時期は日本の性能関係研究の第一黄金時代と言える。研究施設の面では、この時期に新設された水槽は多数あるが、曳航長水槽は次の五つである[32, 1]。まず、1934年（昭和9年）横濱高等工業学校（現横浜国立大学工学部）に長さ50.4m、幅3.6m、深さ2.7m、フラップ式造波装置付の中型水槽が設立され、次いで1937年（昭和12年）に東京帝国大学第一工学部船舶工学科に、長さ85m、幅3.5m、深さ2.4m、フラップ式造波装置付の中型水槽が完成した。これで官立学校の造船関連学科には全て曳航長水槽が完備したことになる。

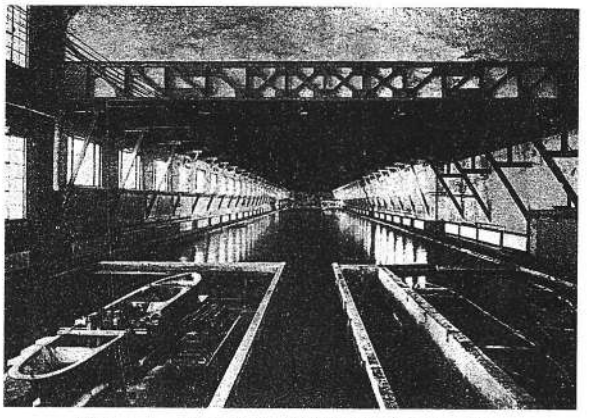


図1.1.6　逓信省船舶試験所船型試験水槽

目白水槽では、高速船・高速艇の模型試験のために、旧水槽に平行して、長さ207m、中央部幅8m、前後加減速部4.5m、軌条間隔5m、深さ4.15m、曳引車最高速度12m/sの高速水槽を1941年（昭和16年）に設立するとともに、旧水槽の長さを60m延長して合計200mとして機能向上を図った。この後、旧水槽を第一水槽、高速水槽を第二水槽と呼ぶようになった。目白第一水槽の写真を図1.1.6に示す。三菱長崎では、飽の浦水槽の老朽化のため、新鋭大水槽を浦上地区に建設する工事を1940年(昭和15年)に着工した。この水槽は、長さ120m、幅6.1m、深さ3.65mの小水槽部と長さ165m、幅12.5m、深さ6.5mの大水槽部の2水槽から成り、中央で接続することにより長大水槽（全長285m）となる。常時は、それぞれ別の試験ができるように別々に曳引車を有し、高速曳航を行う時は大水槽用曳引車が両水槽を通して曳行できるようにしたユニークな水槽で、1943年（昭和18年）に小水槽部が、1944年（昭和19年）に大水槽部が完成した。それに伴い、1943年に飽の浦の旧水槽は35年の歴史を閉じて新水槽に移転したが、1945年（昭和20年）8月9日の原爆により大被害を蒙り、業務停止のやむなきに至った。これに先立って、海軍の目黒水槽にプロペラ単独試験専用の中水槽（長さ102.5m、幅3.5m、深さ2.25m、最高速度7m/s）が1936

年（昭和11年）に完成している。この水槽に関する資料は一切残っていないし、成果も分からない。

最後に、前述の平賀水槽は、東京帝国大学の第二工学部が1942年（昭和17年）に発足するに当り、当時東大総長になっていた平賀の発案で、第二工学部船舶工学科に移設することになったが、戦時中でもあり、再組立に難渋しているうち、千葉市空襲の折、格納していた機材を全部焼失してしまい、計画はご破算となった。幸い残った水槽本体の一部（長さ21m）は、戦後東京大学生産技術研究所第2部の発足に伴い、麻布に移設して今も活用されている。

その他、日本で二番目に建設されたキャビテーション水槽（中心線間高さ5m、同長さ6.5m、観測部：高さ0.5m、幅0.5m、断面積0.226m²、最高流速8.5m/s）が逓信省船舶試験所（目白水槽）に1941年（昭和16年）に建設された[32]。なお、日本で最初のキャビテーション水槽は目黒の海軍技術研究所に1935年（昭和10年）以前に建造されたが、長さ10.5m、高さ7m、計測部断面0.7m×0.7m、最大流速10m/sということ以外、何も分からない[32]。以上のようなはなばなしい研究活動と成果をあげたこの時期であったが、敗戦と同時に一切無に帰してしまったが、人は残った。この点、戦争で800万総トンの船腹と6万人にのぼる船員を失って壊滅に瀕した海運界[33]に比べてまだましであった。この残った人達が戦後の復興のために働けるようになるには、終戦直後の米国占領軍による厳しい造船統制の下に、苦渋の数年間を過ごさなければならなかった。

参考文献

1) 日本造船学会編：昭和造船史第1巻、原書房（1978）
2) 吉村　昭：戦艦武蔵、新潮文庫（1985）
3) 吉村　昭：戦艦武蔵ノート、文春文庫（1985）
4) 寺谷武明：近代日本の造船と海軍、成山堂書店（1996）
5) 日本造船学会編：昭和造船史別冊、日本海軍艦艇図面集、原書房（1975）
6) Taylor, D.W.：Speed and Power of Ships, Rev. Edition (1933)
7) Froude, W.：Trans. of I.N.A., Vol.15（1874）
8) Hiraga, T.：造会報、第55号（1934）
9) Hiraga, T.：Trans. of I.N.A., Vol.76（1934）
10) 出淵巽他：造会報、第61号（1937）
11) 出淵巽他：造会報、第68号（1941）、第69号（1941）
12) 徳川武定他：造会報、第61号（1937）
13) 出淵巽：造会報、第55号（1934）
14) 出淵巽：造会報、第48号（1931）
15) 八代準：造会報、第58号（1936）
16) 八代準：造協誌、第315号（1955）
17) 鬼頭史城：渦、コロナ社（1958）
18) 山県昌夫：造会報、第48号（1931）
19) 重光蔟他：造会報、第50号（1932）
20) 山県昌夫：造会報、第51号（1933）、第53号（1934）
21) 山県昌夫他：造会報、第52号（1933）
22) 山県昌夫：造会報、第57号（1935）
23) 山県昌夫：造会報、第62号（1938）、第65号（1939）
24) 研野作一：造会報、第54号（1934）
25) 研野作一：造会報、第64号（1939）
26) 研野作一：造会報、第64号（1939）
27) 研野作一：造会報、第66号（1940）
28) 山県昌夫：船型試験法、共立社（1937）
29) 山県昌夫：船型学（抵抗篇）、天然社（1941）
30) 山県昌夫：船型学（推進篇）、天然社（1952）
31) 谷口　中：造学誌、第488号（1970）
32) 竹沢誠二：造学誌、第592号（1978）、第604号（1979）
33) 日本殉職船員顕彰会：画集戦時徴用船の最期、日本海事広報協会（1984）

1.2　運動性能

1.2.1　復原性

この時代の耐航性に関する最大のトピックスは、1933年（昭和8年）に起きた駆逐艦「早蕨」、1934年の水雷艇「友鶴」の転覆海難事故とそれに関連する復原性の研究である。

ワシントン海軍軍備制限条約（1922年、大正11年）による主力艦、航空母艦の保有制限、それに続くロンドン海軍条約（1930年、昭和5年）において課せられた補助艦保有量の制限を補うため、帝国海軍では単艦の排水量を抑えて戦闘力アップを図ること、すなわち船体重量の軽減と兵装の強化に造艦の力を注いだ。そのような中で起きたこれらの転覆事故は、あらゆる艦種の復原性劣化を象徴するものであることが判明し、抜本的対策が必要となった。

それまで兵装改良による船体の重心上昇に対しては、水線面積を増やす効果をもつ船側バルジを装着することによって船の復原力の第一の指標である重心上メタセンターの高さ、GM値を確保することで対応してきた。そのため、喫水が浅くなり、重心の水線上高さ、OGの値が大きくなる傾向にそれほど注意が払われないまま推移した。

波浪中の横揺れに対する安定性に対してはGMのほかに、船体の左右揺れとの連成から生まれる横揺れの力も考えると、OGの値が大きな影響を持つことが末広や渡辺の研究により見いだされていた。事故後、改めて現存艦艇のOGの値を検討した結果、それらが過大であることが認められた。そこでこれを適切に保つように「艦艇復原性能摘要表」、「艦艇旋回力標準」などを定め、全艦種の復原性改良、即ち重心をできるだけ下げるための船体・兵装の大改造を行った。

荒天により夜間練習を中断して佐世保へ帰港時に斜め後方約50度より大波を受けて航走中に起こった「友鶴」転覆の直接の原因は、後年明らかにされる斜め追波中航行時の各種の危険性が複合して端的に表れたものと推論されるが、事故の遠因には、用兵側の過大な要求に造艦側が妥協したということがあると指摘されている[1]。

その後も船舶の重大海難が得てして時代の要請に従い新設計を取り入れた新鋭船に発生しているのが見られるが、自然現象である波浪の中で運用される船舶の設計にあたり、耐航性に対する配慮を重要視すべきとの教訓を与えるものである。また漁船などにおいて漁労機器の過重装備による復原性劣化を、船幅の増加やバルジの装着によりカバーしようとする船型が見られるが、「友鶴」の教訓を忘れてはならないであろう。

海軍技術研究所においては、動揺試験水槽（長さ60m、幅12.5m、深さ7.3m）を復原性研究の専用水槽として急遽新設し、上記の対策研究のほか、波の方向と横揺れの系統実験、ビルジキール選定の研究、戦艦の損傷時復原性能、砕氷艦の安定水槽の研究などにも利用された。

一方、渡辺により横揺れ現象の研究はこの時代に大いに発展した。有効波傾斜、波の漂流力は入射波と船体運動の位相差により生じるという理論、見掛の慣性力率、縦動揺に伴う不安定横揺れの力学、不規則波中の動揺などの研究がなされた[2]。特に有効波傾斜係数を船型パラメータにより表現する式や、不規則波中の限界動揺角を代表的な規則波中の横揺れ、定常風による傾斜、突風の作用を仮定して算定する方法等、後述するわが国の復原性規則の判定式の中にも取り入れられている手法を提案したことは特筆に値する。そのほか、加藤による横揺れ運動の付加慣性モーメントや摩擦減衰力に対する実験式も発表された[3]。

参考文献

1)　日本造船学会編：昭和造船史、第一巻、原書房（1977）

2)　Watanabe, Y.：Trans of INA、Vol.80（1938）

3)　加藤　弘：造協論、第66号（1940）

1.2.2　旋回試験

戦闘時の運動性能を重視する艦船にとって、旋回性は極めて重要な性能の一つである。当時のわが国における旋回に関する研究施設は、海軍技術研究所にしかなく、模型試験装置としては、技術研究所の実験池において蓄電池を原動力とした模型船を航走させて航跡を計測する方法が行われていた。しかしながら、従来のブイと測角盤（Buoy and Sight法）による旋回試験では計測機器の数は少なくて簡単である反面、精度が不十分であり、同時測定を行うことが必要であるため、数人の計測者を要した。そこで、新田[1,2]は各種の計測を自動的に、しかも連続的に記録する方法を開発し、艦船が旋回する場合について、その航跡、船体の傾斜角、船速、プロペラの回転数、針路、舵角等が時間の経過と共に変化する様子の計測を行った。これは当時としては世界的にも例をみない独特の方法であった。

以上のように、船の旋回性能はいわゆる自航模型船で調べるのが最も手っ取り早い方法であるが、一方で旋回運動を個々の運動成分に分解し、各成分の運動に対して船体に作用する流体力の計測を行い、この流体力を基に旋回運動を計算によって求める方法が考えられている。

このような試験設備を利用して、1930年代に旋回試験および各種の系統的な模型試験が活発に行われた。

赤崎[3,4]は船の旋回に関する実験的研究を初め、数多くの研究成果を発表している。まず彼は旋回の転軸に着目した系統的模型実験を実施し、旋回理論の基礎となる各成分の関係、即ち旋回抵抗、旋回転軸、舵と旋回中の前進抵抗等の関係を明らかにした。また、舵性能に及ぼす縦横比、形状、厚さと幅の比、舵と船尾並びに推進器との位置関係の影響に関して系統的な実験を行い、シリーズ舵の旋回時における直圧力とその中心に関する実験式を示している。また圧力中心の位置はJösselの算式で実用上充分な精度で求めることができることも示しており、この実験式は当時広く用いられた。

更に、当時は船体重心まわりの運動方程式について検討するのが一般的であったが、赤崎は旋回の転軸に主眼をおいて、旋回理論の基礎となる各因子の性質並びに関係を実験的に研究した結果から旋回運動方程式の近似解法を述べるという、極めてユニークな研究を行っている。即ち、各種船型に対する船の見掛質量（船の質量に見掛上付加した流体質量の効果を加えた質量）や慣動半径（慣性モーメントを船の質量で割った値の平方根で長さの次

元をもつ）の値および船速の変化に対する舵板位置における平均伴流速度の変化、各種推進機器について速度の変化並びに負荷の変化に対する舵板位置における平均脚水（推進器によって後方に加速された水）の速度の変化等を模型実験より求めておけば新しい船の旋回の推定および舵を設計する場合の資料が得られるとの提案も行っている。

また、惰力により前進中の船の見掛質量に対する船の速力と船型の影響を調べている。系統的模型試験を行い、各吃水毎に種々の横傾斜した状態について模型船の前進抵抗と惰力直進中の速力低減の曲線を求め、船の見掛質量を示す係数を算出している。更に、操舵による船の旋回運動をその転軸の前進運動と回転運動とに分けて、船の見掛質量の加速度運動方程式で取り扱う場合、船に作用する水の側圧中心と船の前進、横運動および回転の3つの方向の見掛質量が必要なことから、系統的模型実験により、それらの値を測定して関係を図表に示した。

以上のように、赤崎は数多く実験的研究成果を発表し、船の旋回性能に関する解析に多大な貢献をしている。

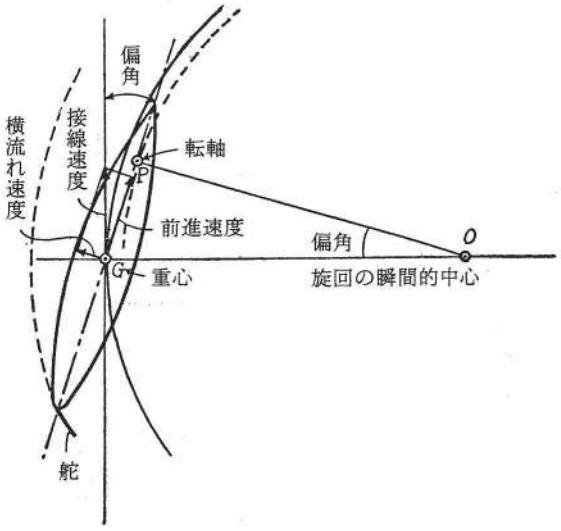


図 1.2.1　転軸[5)]

参考文献

1)　新田重治：造会報、第47号（1931）
2)　新田重治：造会報、第50号（1932）
3)　赤崎　繁：造会報、第61号（1937）
4)　赤崎　繁：西船報、第2号（1950）
5)　大串雅信：理論船舶工学（下巻）、海文堂

第2章　強度

2.1　船体構造

昭和初期、太平洋戦争の終戦前における、構造に関する最大の事件は、帝国海軍の第四艦隊事件である[1]。1935年（昭和10年）9月26日午後、海軍大演習に際して、特別編制の赤軍第四艦隊が、演習地点に向って津軽海峡東方海上を進行中、猛烈な台風に遭遇して、同艦隊所属のほとんどの艦艇が損傷をうけ、特に特型駆逐艦初雪、「夕霧」（図2.1.1参照）の2艦は、艦橋とその前方に位置する1番砲塔との間の船首楼甲板が座屈し、その断面で船体が切断し、大演習は中断された。両艦は、後部砲塔付近の上甲板にも皺が生じたが、自力後進して大湊に帰港することができた。切断された船長の20%に相当する船首部分については、翌27日朝、船首船底を水面に出して浮遊した状態で発見された。巡洋艦「那智」は、近くで操業していた漁船の援助をうけて、初雪の船首部にロープをかけて曳航しようと試みたが、激しい波浪のため困難を極めた。巡洋艦「木曽」は「夕霧」の曳航を試みていたが、突然その船首部が沈没した。機密暗号書が仮想敵国の手に入ることをおそれた海軍は、「初雪」の船首部に乗組員の生存者がいる可能性が少ないとして、28日夕刻、浮遊していた船首部を処分せよとの命令を「那智」艦長に下し、撃沈という悲劇的結末を迎えた[4]。

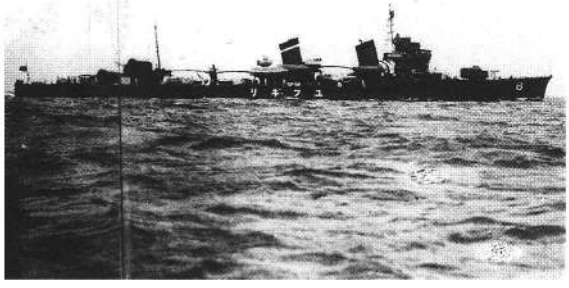


図2.1.1　特型駆逐艦夕霧（事故前）[2.1.7]

大型の軍艦を含む多くの艦艇も損傷をうけたので、この大事故を、海軍では「第四艦隊事件」と呼んだ。事故後直ちに第四艦隊事故査問委員会が設置されて、原因が究明され、さらに臨時艦艇性能改善調査委員会が設置され、すべての艦艇に対して必要な補強がほどこされた。この事件は、前年に発生した水雷艇「友鶴」の転覆事故とともに帝国海軍の2大不祥事といわれている。

特型駆逐艦は喫水線上長さ115.3m、最大幅10.36m、深さ6.25m、喫水3.20mで、艦橋に達する長船橋楼をもち、基準排水量1,680トン（long ton）に比較して12.7cm砲6門（連装3基）、61cm水雷発射管9門（3連装3基）という重装備をしており、高速で凌波性・居住性もよく、帝国海軍の誇りであった。しかし、砲塔など重装備による重量増加は、船体の構造重量にしわ寄せされていた。一般に、船舶の縦強度の計算にあたっては、船の長さと等しい波長をもち、波高が波長の1/20のトロコイド波を標準波として採用してきた。このとき実際に遭遇した波の波高は、標準波より波高の大きい波であったことが観測されている。特に台風中心付近では二方向からきた波が重なり合って、頂部が尖ったいわゆる三角波も観測された。事故発生後、観測された波高が波長の1/10の波についてこれらの艦の縦強度計算を行なったところ、長船首楼をもつため、サギング状態で船首楼甲板に大きな圧縮応力が現われることがわかった。

この事件には前兆があった[5]。その約1月半前の8月12日、同じ特型駆逐艦の「叢雲（むらくも）」が野島崎南方20海里の海域でかなりの高速で教練運転を行なっていた。同艦は、三角波に遭遇し、動揺により艦首が海中に突っ込むとき、艦首に3段の衝撃音が発生し、不気味であったという。この際、船首楼甲板とその下の上甲板に座屈による破損が生じた。これは特型駆逐艦共通の欠陥の兆候であるとして、全艦に補強することの必要性が、調査にあたった艦政本部第四部部員によって上告されたが、叢雲の損傷部を復旧し、その部に甲板桁を増設しただけで、他の特型駆逐艦は何ら補強することなく大演習に参加し、この大事故が発生した。

1901年（明治34年）、英国海軍の新造の駆逐艦「Cobra号」が、造船所から所属軍港に向かって回航中に、船体中央部で「逆への字」型に折れるという大事故が発生した[8]。英国海軍省は駆逐艦委員会を任命し、駆逐艦「Wolf号」を用いて縦強度に関する基礎的研究を行なわせた。同艦のドック内での実船実験により、縦方向に補強された位置に於ける縦ひずみは、曲げモーメントから計算された値より大きくなることが、1905年に発表された。この事実からPietzkerは「有効幅」の概念を導き、船体強度学の発展の契機となった[9,10,11]。第2次大戦後では1968年（昭和43年）および1980年（昭和55年）冬期、野島岬沖を西航中の、鉄鉱石あるいは石炭を満載したばら積み貨物船「ぼりばあ丸」および「尾道丸」に同様な大事故が

発生した。この種の事故は、構造設計上最も重要な検討事項「縦強度」に関係するので「異常海難」といわれている。豊後水道において、台風の余波をうけて発生した「菱洋丸」の屈曲事故は、同船は解体のために回航中であり、不適切なバラスト水の積載と腐食による激しい衰耗に起因すると考えられるので、前の2船と一緒には論じられない。尾道丸については、船底が波の上に現われて再突入するとき波面から受けるいわゆるスラミング衝撃によって異常な曲げモーメントが発生することが示され[12]、第四艦隊事件における特型駆逐艦の場合も、同様な原因によるものと考えられている[13]。

事故発生時、特型駆逐艦の船首楼甲板の中央部の板厚は3mmである[5]。横梁は600mm以上の間隔に設けられていたはずである。甲板下縦桁は両舷に2本であったという。したがって、甲板の座屈応力は1kgf/mm²以下で、船首楼甲板の座屈は起こりやすい。切断が起こった船橋と砲塔との間の部分がサギングモーメントによる縦曲げを受けるときの、最終強度（最大抵抗モーメント）を計算すると、波高波長比1/15の状況においても、波によるサギングモーメントが、その値より大きくなる。なお、特型駆逐艦は凌波性がよく運航し易い艦として評判であったが、フレヤーが大きくて凌波性がよい船ではスラミング衝撃が大きくなることが、現在では理論的に知られている。

第一次大戦後、ワシントン会議（1921－1922年）およびロンドン会議（1930年）で締結された海軍軍縮条約のもとで、帝国海軍は先進国英米を相手に激しい建艦競争を行なっていた。そのため、当時における造船学の常識に基づく「設計基準」の中で、大胆な設計を行なったもので、その積極性が悲劇を招いたものであるとされた。なお、その設計基準は、断面係数の計算にあたって、引張り側の板の鋲孔の部分を計算から除外する、いわゆる鋲孔控除のような考え方もひきずっていた。

全艦隊の強度の点検・補強が、平賀譲（海軍造船中将、東京帝国大学教授、のち総長、男爵）の指導のもとに実施されたが、この大事故の原因は設計思想の先進性にあるとして、艦艇の設計建造に関する技術全般にわたって、保守的な性格を強めた。かくて、真の原因を科学的に探求するいとまがなく、敗戦をむかえた。この事件は、さまざまな影響を及ぼしたが、大事故が発生したにも拘らず、後進造船国の日本には、造船学の根幹にかかわるような研究を行なう余裕はなかった。

この事故により、強度計算に用いる標準波の波高を高くしなければならないことが明確になった。二方向の波浪やうねりの重畳による三角波の重要性が認識された。しかし、文献調査がなされただけで、波浪の観測など、波の本質に関する研究は、何等行なわれなかった[14]。水面衝撃の研究の重要性も認識されたようであるが、海軍部内でわずかに基礎研究が行なわれたにすぎない。

この事故が甲板の座屈強度の不足に基づくことが明らかであったため、補強平板の座屈の研究の必要性が認識され、吉識雅夫（東京帝国大学助教授、のち教授、工学部長）の指導により海軍部内で補強板の座屈の実験的研究が多数行なわれた[15]。しかし、本格的な研究は、戦後の座屈理論の発展を待たなければならなかった。

溶接接合を採用した艦に、溶接残留応力に起因する損傷が多数発生した。このような事故の技術的解決には時日を要するとして、「外板、内底板、主要な甲板など重要な縦強度部材は、技術的に信頼できる鋲継手にする」など、溶接継手の採用が控えられた[6]。このような方針により、基準排水量10,000トン（long ton）の潜水母艦大鯨のような大型艦の主要部を溶接継手で建造した溶接技術も、その後の発展が抑制された。

平賀譲は、軍縮条約の締結によって戦艦「長門」・「陸奥」以外は実現しなかったとはいえ世界の最先端を行く「八八艦隊」（戦艦・巡洋戦艦各8隻）および画期的な重巡（一等巡洋艦）「古鷹」・「妙高」の計画者として令名が高かった。悲劇の戦艦大和[1]は1934年の軍縮条約廃棄通告後に計画された。同氏は、当時すでに現役を退いていたが、この計画の指導にあたり、大きな影響をあたえた[5]。「大和」は、砲戦に重点をおいた計画で、他国の軍艦の砲弾の到達範囲外から、それらを砲撃するための46cm砲9門（3連装3基）という世界最大の主砲をもつ大艦巨砲型戦艦の典型であった。そのため防御面を犠牲にしていわゆる「集中防御」を採用し、船長の53.5%の主要部のみに防御を集中して、船首尾の防御は縦横の水密隔壁に頼る設計であった。高等技術会議における山本五十六（海軍少将、のち海軍大将、連合艦隊司令長官、元帥）の予言が実現して、航空機中心の戦争になることは予期しなかったとはいえ、魚雷に対する水中防御に弱点があった。防水区画に浮力材として石油缶を詰めることの有効性も、すでに知られていたが、本艦には採用されなかった。当時、命中魚雷1発の爆発による浸水量は2,000トンをこえたというが、この量は防水隔壁の配置と構造で定まる。「大和」・「武蔵」に続く3番艦を改装した航空母艦「信濃」の水中防御は、大和と同じであった。同艦は、竣工して回航の途上、片舷のみにわずか4発の魚雷をうけて、約7時間後に転覆した。この原因は、主な構造の板が鋲接合

であり、溶接接合も今から見ると完全とはいえず、また隔壁が軽構造であったので、爆発による衝撃、あるいは増加する水圧による隔壁のたわみの増大によって、広範囲の継手が順次水密性を失い、浸水量が想定をこえて増大し、反対舷注水などの対応の限度をこえたことによるのであろう。ちなみに、防水隔壁には2種類あり、「タンクの隔壁」には完成時水圧試験を行なったが、通常の「水密隔壁」は気密試験（密閉して空気圧を加え、一定時間内の圧力低下が許容限度内であれば合格、気密性は継手に石鹸水を塗り、気泡発生の有無によって調べる）であった。駆逐艦の薄い隔壁板は溶接されていたが、水圧試験時水頭が高まると、溶接金属のブローホールなどにより、溶接線のある箇所で水が吹出し始めることを経験した。この場合、検査官の検査の前にコーキング・ハンマーでその箇所を叩いて水を止めた。

艦艇が損傷をうけたとき、浮揚性を維持するためには、隔壁が十分の強度をもつことが必要であるので、隔壁のような横圧をうける補強平板の強度の研究が活発に行なわれた。これに関連して、曲げをうける縦横の補強材に対する有効幅の研究が多く行なわれた[16]。

昭和初期、我が国における構造分野の研究で特筆すべきものは、徳川武定（子爵、造船少佐、最後の水戸藩主徳川昭武の次男、のち海軍技術研究所長、海軍技術中将、東京帝国大学教授）が、海軍技術研究所で行なった潜水艦耐圧殻の圧潰強度（外圧による座屈）に関する研究である。ドイツのvon Misesの理論研究[17]と同時期に、いわゆる徳川理論および1925年以降に行なった膨大な実験の成果を1929年に東京で開催された万国工業会議（World Engineeing Congress）で発表した[18]。この研究は世界中のこの方面の学者の関心を引き、碩学Timoshenkoは早速、彼の著書に引用した[19]。国際的な交流の機会が殆ど無かった当時、このような先端的な研究がなされたことは日本造船界の誇りである。ちなみに、万国工業会議では国内論文371編、海外論文442編が発表され、この開催によって日本の工学研究が飛躍的に発展した[20]。同氏は、その後引張り強さ60kgf/mm^{2}のデュコール鋼（DS鋼）製の耐圧殻についても研究を続け、外圧をうける補強円筒殻、球殻など潜水艦の耐圧殻の設計の基礎を固めた[1]。同氏の名前を冠する無次元数Tokugawa Numberは、今もって耐圧殻設計のための指標として用いられている。同氏は船体抵抗にも関心をもち、自宅内（昭武の隠居所戸定邸、松戸市に寄贈）に小型水槽を設けて基礎的研究を行なうなど[21]、研究の幅は広く、独創性の豊かな研究者であった。

一般商船については、縦肋骨方式に対するIsherwoodの特許構造が知られていた。これは、横隔壁位置において、縦肋骨を貫通することなく、隔壁に接合する外板など縦強度に寄与する板部材の厚さを増加する構造方式である。この構造方式によると、横隔壁において、欠陥が起こりやすい縦肋骨貫通部の鋲接合がなくなるので、横隔壁の水（油）密性確保に適している。このような事情により、油タンカーに、横隔壁と縦肋骨とを接合しない、いわゆるbracketless systemが採用されるようになった[1]。このような構造方式では、横隔壁の両側における縦肋骨の切断部には応力集中が発生しているはずであるが、幸い鋲接合の場合は応力集中が緩和されており、この欠陥が原因となる事故は発生しなかった。全溶接船にこの構造方式が採用されたならば、応力集中による亀裂が多数発生し、大事故も起こり得たと思われる。

戦時中鋼材を使わない船舶の建造が計画され、鉄筋コンクリート船、木船などが造られた。原田正道（東京帝国大学助教授、のち長崎造船大学学長）による木船構造の基礎的研究は、戦後、防衛庁の掃海艇の建造に影響を与えている[22]。

地震学は、振動に関係する先端的な学問分野であるが、当時造船の先達が活躍していた。船の動揺の研究で著名な末広恭二（東京帝国大学教授、初代地震研究所長）は、世界における地震学の創始者のひとりである。妹沢克惟（東京帝国大学教授、のち地震研究所長）は地震学の数理的研究とともに弾性振動などについても多数の研究論文を残しているが、振動・動揺の広範な分野を網羅した名書「振動学」を通じて振動学の発展に著しく寄与した[23]。書物といえば、太田友弥（大阪帝国大学教授）の著書「船体強弱学」は、この分野における唯一の総合的な教科書として、多くの学生・技術者に親しまれた[9]。

参考文献

1）日本造船学会編：昭和造船史、第1巻（1977）原書房
2）福井静夫：日本の軍艦、出版共同社（1956）
3）紀脩一郎：第四艦隊事件、自家版（1976）
4）紀脩一郎：ある駆逐艦航海長の手記、自家版（1978）
5）牧野茂：艦船ノート、出版共同社（1987）
6）牧野茂、福井静夫編：海軍造船技術概要、第5分冊、第9章（1957）
7）丸スペシャル、No. 18、潮書房（1978）
8）Faulkner, J. et al.: Trans. of RINA（1985）
9）太田友弥：船体強弱学、工業図書（1938）
10）Biles, J.H. : Trans. of INA（1905）

11）Pietzker, F. : Festigkeit der Schiffe、Reichs-Marine-Amt, Berlin（1911）
12）山本善之他：造船論、第154号（1983）
13）山本善之他：造船論、第158号（1985）
14）臨時艦船改善調査会：波浪に関する研究調査（1935）
15）吉識雅夫：造会報、第75号（1953）［1944年発表］
16）奥田克巳他：造会報、第58, 59号（1936）
17）Von Mises , R. : Festschrift Prof. Dr. A. Stodola zum 70 Geburtstag,Orell Fuessli Verlag（1929）
18）徳川武定：造雑纂、第92号（1929）、Proc. of World Eng. Cong.,Tokyo, Vol.29（1929）
19）中田孝：日本機械学会誌、第730号（1977）
20）Timoshenko, S. : Theory of Elastic Stability, McGraw-Hill（1936）
21）徳川武定、高橋高蔵：造会報、第66号　(1940)
22）原田正道：造会報、第75号（1953）［1944年発表］
23）妹沢克惟：振動学、岩波書店（1932）

2.2　材料強度

第Ⅱ部に対応する時期を含め、材料技術、材料強度の面から注目されるのは軍艦に関わる兵器用特殊鋼材であろう。明治政府は国防のため早くから国産を目指して研究に着手していた。1903年（明治36年）海軍は呉工廠製鋼部を独立させて本格的な試作生産を開始し、第二次大戦終結まで、弾丸、砲身、鋼鈑、魚雷気室などの製造と研究を行った。莫大な費用と人材を投入し、苦労を重ねて、1935年（昭和10年）頃には世界最高の技術水準と規模に達していた。しかし、貴重な技術データは軍事上の機密ということで公表されないまま、終戦時文書焼却命令によって多くが失われてしまった。1996年（平成8年）8月、輝かしい海軍の製鋼技術の歴史を後世に残すべきだと考えた技術史家、山田太郎が堀川一男（NKK社友）ら関係者の協力を得て『呉工廠製鋼部史料集成』が編纂された。同書のまえがきに堀川により上述したような経緯が簡潔に述べられているので以下に引用する。

「昔から鉄鋼は兵器の材料として重視されていたが、殊に戦前は一国の産する兵器用鋼材の質と量が軍備の優劣に深く関わっていた。此のことは徹甲弾貫徹力や装甲鈑の防弾力といった兵器としての性能がそれを構成する鉄鋼の品質で決まる事、戦艦大和・武蔵などの装甲鈑の重量が排水量の3分の1にも及ぶ事などからも明らかである。それ故明治政府が国防の見地から兵器国産化の検討を開始した時、並行して兵器用鋼材製造の調査と研究にも着手した。明治の初め頃、わが国には未だ重工業が育っていなかったのでその製造を委託し得るような民間施設はなく、1901年（明治34年）に発足した官営製鉄所も民需用普通鋼を造るのに手一杯であった。そこで、使用者と供給者を同一機関に所属させるのは変則ではあったが、「機密保持」と「巨大投資」の必要から海軍自らの手で製鋼を行う事となり、1903年（明治36年）に呉海軍工廠内に製鋼部を独立させて終戦に至る迄兵器用大型特殊鋼材を製造していたのである。

わが国の海軍は常に世界最新鋭の兵器を逸早く採り入れて、明治の中葉以降兵器の性能は列強に比べて余り大きく後れてはいなかった。此の事は裏を返せば初歩的な経験を十分に積まないうちに一足飛びに高度な技術を取り扱ったわけであって、関係者の労苦は並大抵ではなかったろう。しかも、先進国に派遣した留学生や海外駐在監督官或いは海外出張者が密かに入手した情報とか輸入兵器の確性結果などの知識を基にして試行錯誤で試作を重ねていたのである。それでも日本人の新しいものを巧みに消化吸収してしまう特性と精緻を極める器用さとに助けられて、日露戦争が終わる頃には輸入品に近い鋼材が造れるようになり、更に独自の基礎研究により明治の終わりには安定した品質の製品が得られるようになった。しかし、全面的な国産化に踏切るに際し、正式な技術指導を受けることになったが、豊富な経験を積んでいたので此の技術導入は極めて順調に実施され、大正の初めには完全に列強と同じ技術水準に達した。

丁度その頃ワシントン軍縮会議が開催されて海軍の軍備が制限される事に成り、列強の兵器製造会社は技術開発の意欲に陰りを見せたが、わが国は軍縮会議の取り決めた制限の枠に国防の危機を感じ、海軍自営だから可能だったのかも知れないが、質をもって量を補わんと益々研鑽に努めた。その結果、1937年（昭和12年）に海軍無条約時代に突入し間髪を入れず「大和」級軍艦の建造が計画された際、この間に涵養された世界を凌ぐ製鋼の技術が遺憾なく発揮されたのである。

上述のように日本海軍の製鋼は1877年（明治10年）頃極く小規模な坩堝炉から始めて、僅か50数年後の1941年（昭和16年）には世界で最大重量、最高品質の戦艦「大和」級の弾丸、砲身或いは装甲鈑の様な特殊鋼材を製造し得るような高い技術水準に到達したのである。しかし1945年（昭和20年）8月15日の敗戦により呉海軍工廠製鋼部は40有余年の輝かしい歴史の幕を閉じて解体した。」

同書にはまた、強度の高い特殊鋼についてではあるが、

早くも脆性破壊に関する冶金的研究が行われたことが記述されている。いずれにしろ、この時期における材料強度研究は冶金技術者の主導のもとに行われた。

2.3　接合

2.3.1　社会的ニーズと溶接接合法

当時の我が国の鋼材の接合法は、リベット接合が主流で、溶接による接合は緒についたばかりであった。1920年に三菱長崎で「諏訪丸」が建造されたが、これが我が国での全溶接船の最初であり、世界でも最も早い方であった。1926年（昭和元年）には「電気鎔接協会」が設立され、電気鎔接採用促進が行われた。一方、昭和初めの日本が置かれていた国際的環境は、第一次大戦後の不況下にあると共に、1931年には満州事変が勃発し、1933年（昭和14年）には国際連盟を脱退した状況であった。これに伴いわが国は、米英との軍事力の均衡を維持するため艦艇の建造を積極的に推進する必要があった。そこで艦艇建造に当たって、溶接を採用し重量を軽減して攻撃力と防御力の増強を計った。1930年8月、呉で起工した敷設艦「八重山」は、日本の海軍において大幅に溶接を採用した最初の艦艇で、その溶接使用率は60%であり、重量減は5%であった。当時、リベット工は採用が難しく、また一方では重量軽減と工期短縮の必要性が叫ばれた。そのため溶接接合法の採用とブロック工法への移行は必然の勢いであった。しかし、未だ使用範囲は横強度部材に限られていたが（表2.3.1参照）、1933年に建造された「大鯨」ではほとんど全面的に溶接接合が採用され、その溶接使用率は1959年（昭和34年）頃に建造された船舶とほぼ同じ程度であった。こうして、「八重山」及び「大鯨」の溶接ブロック建造により、艦艇の構造には溶接接合が大幅に採用されていった。しかしながら、1935年9月第4艦隊が悪天候の中で大事故を起し、これを切っ掛けに船体構造の強度、溶接接合法の適用範囲等について大幅に見直すことになり、その結果、溶接接合法は船体主要構造部にはあまり使用しないことになった。

一方、戦争が進展するに伴い、資源を輸送する商船への需要増と艦艇増強への要求は、船舶の更なる短期建造の必要性をもたらした。商船では1939年（昭和14年）に船舶改善協会が7種の標準船型を作成し、それをもとに1941年には戦時標準船が設計された。第二次大戦に突入するや商船も海軍の管理下におかれ、船舶建造が一元化されると共に、戦時標準船も合計10種の標準船が制定された。この標準船では設計初期段階から電気溶接による接合法を考え、且つブロック工法を採用する様に計画された。また、船舶建造への強力な需要から大量生産方式を採用する様になり、リベット接合から電気溶接接合へと建造設備も改められる様になった。大量建造のため、4つの造船所を建設し、ブロックまでは溶接接合とし、ブロック間はリベット接合とする方法で、且つ、タクトシステムを採用することにより年間100隻を建造するに至った（改E型船）。また、溶接の採用率は一部では約70%にも達した（改A型船）。如何に溶接接合法を採用したかを示す例として、4ET型油槽船（重量トン数：1,640トン長さ：65.0m、幅：10.8m、深さ：5.55m）について、この船を全鋲接船にした場合と全溶接船にした場合及び実船の3ケースについて物量を比較した資料を表2.3.2に示す。

表2.3.1　電気溶接使用範囲[3)]

一、造船の部
- （一）船殻
- （イ）主横隔壁構造
- （ロ）小隔壁構造
- （ハ）縦強力「メンバー」ニ計上セラレザル諸「タンク」及諸「トランク」類
- （ニ）「ビルトアツプフレーム」「フロアープレート」「デープビーム」類
- （ホ）「ビームニー」「ブラケット」類
- （ヘ）「カラーアングル」
- （ト）缶台、補機台、二次電池台構造、主機械台ノ一部及支筒類
- （チ）露天甲板上ノ単独「デッキハウス」、艦橋、給気筒、弾槽、釣床格納所等
- （リ）縦強力重要ナラザル甲板、外板及縦通材
- （ヌ）「ピルヂキール」「ドツキングキール」及「バラストキール」
- （ル）「スタンチユーブ」海水吐出ナラビニ吸入筒「ヂスタンピース」
- （ラ）舵

表2.3.2　標準船4ETの物量比較表

	標準船4ET	全絞鋲船	全熔接船
船殻重量	430トン	485.8トン	425.5トン
鋲　数	43,500本	210,000本	0
熔接長	12,500m	500m	15,720m
絞鋲工数	890	2,750	0
熔接工数	1,750	100	2,315

2.3.2　海難事故と溶接の適用基準

1931年（昭和6年）起工の巡洋艦「最上」は重量軽減の目的から溶接を大幅に採用した。しかし、1935年（昭和10年）公試中にプロペラ直上付近の重油タンク部の肋骨及びサイドストリンガーが振動により切断し、外板にも亀裂が発生した。これにより厳しい振動を生ずる部分の構造には、溶接接合の採用を制限した。また、1935年9月に第4艦隊が荒天に遭遇し、大事故を起こした（写真2.3.1参照）。事故の具体的な内容は、駆逐艦では、「睦月」「朝月」その他数隻の艦橋が破壊され、特に「朧」は甲板の一部に亀裂が発生、また「夕霧」と「初雪」は大波により艦首を切断した。更に、特型駆逐艦の大部分は船首楼甲板の後部砲塔前後の上甲板に大小のしわを生じ、これが舷縁部から外板に及んだ。巡洋艦では、新造直後の「最上」や「三隈」で波浪による艦首振動が激しく、またその前部外板は肋骨を溶接にて取付けたため、はじめから外板に凹凸がみられ、それが次第に拡大して強度低下をもたらす程度となった。その他、上部の溶接構造部分に小亀裂が多数発生した。「妙高」型巡洋艦は中央部のシャーストレーキ及びその直下の外板の横縁継手にコーキング割れを生じた。その他、潜水母艦「大鯨」の外板も肋骨が溶接接合であったため、中央部水線付近及び艦橋前方の上部の外板に相当顕著な凹凸を生じ、溶接構造の問題を提起した。

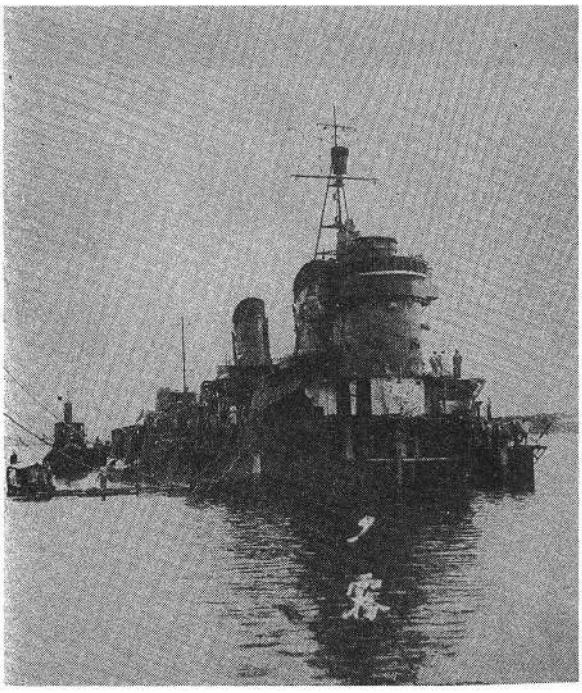


写真2.3.1　第四艦隊事故「夕霧」損傷状況

一方で、これまで溶接接合法を採用した場合は、溶接による構造部材収縮のため、建造中の艦艇が前後端で上方向に曲がる現象が既に確認されており、相当大きな内部応力が存在すると考えられていた。その他、溶接部が繰り返し応力に対して、リベット接手よりも劣ること等が考えられていた。以上のことから損傷の原因は船体重量軽減のため、これまでより前後部の主要縦部材の強度を急激に減少させていたのに加えて、特に特型駆逐艦に代表される様に溶接接合法を大幅に採用したため、外板、船首楼甲板にはじめから凹凸が生じ、外板、甲板の強度が低下していたことも事故発生の原因であったとの結論に達した。そこで次の様な対策を講じた。内部縦応力除去のため、前後部の上部外板及び甲板は縦通材共に必要に応じ数個所切断してリベット接合として、溶接接合による内部応力の除去を計った。更に中央部では引張応力が許容応力の80%以下になる様に補強した。凹凸損傷の激しい外板甲板は換装し、振動、衝撃力の大きい場所の肋骨、梁、防撓材の鋼板への取付はリベット接合とした。これ等の対策に基づいて1936年1月溶接使用範囲を大幅に制限するため、新しい「船体構造電気溶接使用方針」が発布された。また、当時の溶接接合法に関する規定は、帝国海事協会の1921年（大正10年）に発行された鋼船規則に僅かに設けられている程度であった。その後、1933年にやや具体的な規定が設けられた。1940年には、これまで2年余に亘る審議の結果として、当時最新の知識と経験に基づく鋼船構造規定を編纂し交付した。第二次大戦中に米国で起こったリバティー船での脆性破壊の事故は日本では発生しなかったため、溶接用鋼材の規格は戦後になって設けられた。

2.3.3　接合技術

(1) リベット接合法

リベット接合作業は、部材にリベットのための孔あけを行い、板の曲げ加工をした後リベット接合し、コーキングをする作業である。孔あけは部材の接面側からポンチングマシンにて押し抜き、その後裏側のまくれを取り除いた。板厚の薄い場合はダイス上でポンチを当ててハンマーで叩き抜くが、厚い場合はボール盤できりもみする。しかし、これは現場施工に向かず、ポータブルの空気式ドリルが開発されるや、これが能率的で確実でもあることから多く用いられる様になった。当時のリベットのサイズは通常は15mm、稀に28mmであったが戦艦「武蔵」では40mmのものを使用した。鋲打工の構成は、鋲

を打つ者、当て盤で鋲頭を押さえる者、天秤でハンマーを支える者、鋲を炉で焼く者、鋲送りを取り継ぐ者等から成っていた。また、鋲接手を水密にするためにコーキングが行われた。これはコーキング用の空気圧式ハンマーにて行われた。以上の様にリベット接合は現在から考えると大変な作業であった様である。

(2) 溶接接合法

日本における電気溶接の本格的採用は、1920年（大正9年）三菱長崎での「諏訪丸」の建造が最初と言われている。この様に電気溶接に関しては早くから関心がもたれ、造船各社では研究開発が行われ溶接機は昭和初期には交流式の溶接機が製造される様になった。

一方、品質の良い溶接接合を得るには鋼材に適合した溶接棒が必要である。そこで海軍では当初から溶接棒を自製していた。昭和に入って呉、横須賀の各工廠にて研究を続け、1932～34年（昭和7～9年）頃、その成果を基に当時の高田船底塗料（株）が「タセト棒」として量産に成功した。更に、呉と舞浜の工廠の協力によりわが国独特の溶接棒「MK23号」を開発し、1940年（昭和15年）これを海軍制式溶接棒として採用した。更に1944年には高張力鋼の開発に伴い、それに適する溶接棒の開発を行った。自動溶接研究も行われたが実用化には至らなかった。一方、民間では1933年には溶接心線が八幡製鉄所でつくられたイルミナイト系溶接棒が出現した。当時は未だ重要構造物には輸入棒を使用し、国産棒の開発が望まれた。1942年に神戸製鋼所はイルミナイト系溶接棒B-17を開発し、重要構造物に使用される様になった。これは高級溶接棒大量生産のはじまりである。サブマージアーク溶接法は、被覆アーク溶接法に比べて操作の熟練を要しないこととスピードが極めて早いことから、日本でも昭和10年代半ばより長崎造船所にて研究が行われていた。また、現在のグラビティ溶接機の原型ともなる「呉船式自動溶接機」の研究も行われていた。

規格に関しては、1939年に臨時日本標準規格にて被覆溶接棒心線、1941年に一般構造用被覆電弧溶接棒、1945年に鋼材溶接部X線透過検査法に対する規格が制定された。こうして溶接技術は戦前戦中を通じて発展し、船舶の建造に急速に採用された。このことを1937年、氏家竹次郎は当時の溶接協会誌にて次の様に語っている。「……。一言にして言えば現代は鐵と電気の時代である。飜って考ふるに我が電気熔接殊に船舶の熔接の如きは他に幾多の応用範囲ありとするも、主として鐵を電気に依りて完全に継ぎ合はさんとする前代未聞の企てであり、且つ驚くべき最新の技術である。……」

参考文献

1) 日本造船学会編：昭和造船史第1巻
2) （社）日本溶接協会：造船の溶接－35年の歩み－
3) 鎔接協会誌、第2巻、第3号（1932）
4) 造雑纂、7月号（1946）
5) 鎔接協会誌、第7巻、第9号（1937）

第3章　建造

3.1　造船業と造船企業

1930年（昭和5年）から1945年（昭和20年）にかけての造船業が遭遇した歴史は、おおよそ次の経過をたどったといえる。

①昭和初期の不況ないし恐慌期（1930年～1931年）
②満州事変を契機とする景気回復の兆しと支那事変突入（1932年～1936年）
③臨戦体制下（1937年～1940年）
④戦時体制下（1941年～1945年）

第1次世界大戦中（1914年～1919年）におけるわが国造船界の未曾有の盛況も休戦となるや新造船の注文の激減に会い、大正末期から昭和の初めにかけて長期の不況に突入した。この不況の影響は深刻であり、造船所の閉鎖、工場設備の縮小、人員整理が相次いだ。表3.1.1に見るように1931年（昭和6年）末の状況を好況時の1918年（大正7年）末に比較すると、造船業者数、工場数及び工員数は約3分の1に、船台数は約2分の1に減少した。

表3.1.1　日本造船の推移

（100GT以上）

年次	造船所	工場	船台	ドック	労務者	その他
			基	基	人	人
1918年（大 7）	53	57	157		97,355	
1925年（大14）	18	23	79		35,815	
1931年（昭 6）	19	22	75		33,677	
1935年（昭10）	18	25	78	54	57,223	6,632
1936年（昭11）	25	35	94	56	80,161	8,767
1937年（昭12）	25	35	96	56	86,147	9,396
1938年（昭13）	31	39	102	56	100,560	10,983
1939年（昭14）	31	40	112	57	116,665	15,634
1940年（昭15）	31	41	126	59	114,025	16,281
1941年（昭16）	36	47	126	70	123,816	18,776
1942年（昭17）	36	48	130	71	160,287	25,460
1943年（昭18）	38	56	132	73	227,106	37,285
1944年（昭19）	38	56	133	78	287,799	45,922
1945年（昭20）	＊35	＊50	＊126	＊75		

注：「造船協会会報」第80号による。
＊は関東州台湾を除く。

このような状況に憂慮し、民間の造船技術の進歩と能力維持のため、政府により民間能力を利用し、艦艇の建造を図る方針が決定された。

不況期の1928年（昭和3年）から1931年（昭和6年）に、海軍が民間造船所に発注した艦艇の量は年平均排水量18,700トン（商船トン数換算、概算93,500総トン）で、当時の手持ち工事量と比較した場合、きわめて大きい工事量であった。この事は、表3.1.2のように軍艦発注が当時の造船業界維持存続にとってなくてはならないものであったといえる。

また、各造船企業は不況を乗り切ろうと競って機械工業をはじめとした新分野への進出による経営の多角化を進め、企業の維持存続を図った。

表3.1.2　船舶建造量の推移

年　次	民間造船所				海軍工廠	
	一般商船		艦　艇			
	隻数	総トン数	隻数	排水トン数	隻数	排水トン数
1926年（昭 1）	86	62,375		21,840		4,280
1927年（昭 2）	93	59,952		11,690		25,050
1928年（昭 3）	99	75,344		30,050		7,900
1929年（昭 4）	119	98,600		8,190		8,350
1930年（昭 5）	122	206,146	2	16,800		23,400
1931年（昭 6）	103	92,908	6	23,650		7,400
1932年（昭 7）	128	53,387	8	1,470		3,400
1933年（昭 8）	104	60,693	11	4,070		13,120
1934年（昭 9）	172	147,118	9	16,070		22,300
1935年（昭10）	166	150,123	9	16,300		32,800
1936年（昭11）	192	217,461	28	15,750		23,900
1937年（昭12）	219	399,324	20	26,640		33,350
1938年（昭13）	233	423,039	23	31,900		18,400
1939年（昭14）	116	333,431	23	59,640		50,200
1940年（昭15）	125	307,161	39	124,910		85,900
1941年（昭16）	112	241,090	43	96,120		24,300
1942年（昭17）	118	293,059	84	59,970		58,500
1943年（昭18）	294	800,535	157	159,650		79,280
1944年（昭19）	762	1,730,388	75	274,820		186,800
1945年（昭20）	215	565,313		56,950		29,200
計		6,317,447		1,056,480		737,830

（昭和造船産業史より）

臨戦体制下および戦時体制下の時期には船腹の拡充計画が実施されたが、既設造船所の造船設備は量産工場としては必ずしも適していなかったため、各地に新たに造船所が建設された。

それらの中には、戦後の経営は考慮しないという考え

の下に、施設を一時的な簡易なものとした簡易造船所が4社あったことは着目すべき点である。

さらに、占領地の造船所での委託経営の形で民間の有力会社が進出し、出先の海軍工作部の監督の下にあった。

なお、当時の状況を振り返った場合、造船業の変遷には海軍の存在が大きなウェイトを占めていた。その海軍の造船設備として艦船及び兵器の設計、製造、修理、購買及び実験を実施する14の海軍工廠が存在した。終戦時までにおかれた海軍工廠は表3.1.3のとおりである。艦艇の新造は横須賀、呉、佐世保、舞鶴の4工廠と多数民間造船所によって行われ、また雑役船及び木船は小造船所数十ケ所で建造された。海軍は艦艇建造の基盤として、古くから民間造船所を重視し、その保護育成に努めた。

表3.1.3　当時の海軍工廠

工廠名	所在地	創立年月日	所属鎮守府
横須賀	神奈川県横須賀市	1903年（明36）11.10	横須賀
呉	広島県呉市	1903年（明36）11.10	呉
佐世保	長崎県佐世保市	1903年（明36）11.10	佐世保
舞　鶴	京都府舞鶴市	1903年（明36）11.10	舞鶴
広	広島県呉市	1923年（大12）04.01	呉
豊　川	愛知県豊川市	1939年（昭14）12.15	横須賀
光	山口県光市	1940年（昭15）10.01	呉
鈴　鹿	三重県鈴鹿市	1943年（昭18）06.01	横須賀
多賀城	宮城県宮城郡	1943年（昭18）10.01	横須賀
相　模	神奈川県高座郡	1943年（昭18）05.01	横須賀
沼　津	静岡県沼津市	1943年（昭18）06.01	横須賀
川　棚	長崎県東彼杵郡	1943年（昭18）05.01	佐世保
高　座	神奈川県高座郡	1944年（昭19）04.01	横須賀
津	三重県津市	1944年（昭19）04.01	横須賀

※高座及び津は航空機関係。（昭和造船史第一巻より）

3.2　船殻関係技術の発展

3.2.1　鋼材

船舶に使用する材料は多種多様であるが、最も多量に使用されるものは鋼材である。昭和の初期の不況時には材料の節約に、また戦時中の非常時においては代用材の使用に力が注がれた。

わが国の鋼材の生産量は少なく、また価格の関係上、昭和の初め頃までは外国からの輸入に頼っていた。その輸入先は主として英国であるが、米、独等もあった。外国からの輸入はその発注から到着までに約3ケ月を要し、その間船積み状態及びその船名を知り、常にその船の動向を監視せねばならなかった。仮に積み残しや揚げ地違いがあった場合、鋼材が入手出来ない状況になり船の建造工程に支障をきたすことになった。

1925年（大正15年）に製鉄奨励法の改正があり、輸入材の関税免除と内地材には奨励金が交付されることとなった。このため船価は低減し、不況に直面していた造船界のよい刺激となり、その効果は船舶改善助成施設に現れ、内地材が使用されるようになった。

1937年（昭和12年）に日華事変が起こり、船舶の需要が増し、また海軍艦艇用鋼材とのバランスが崩れ、商船用鋼材の不足が発生し、その価格も高騰した。また鋼材を輸入しようとしても為替管理令により阻まれる状態であった。そこで政府は鉄鉱石の輸入を促進し、鋼材を増産するため平時標準船に企画院案の鉄鉱石が加えられ、また第一次戦時標準船にはK型として取り入れられた。

1940年（昭和15年）に米国の金属製品及びスクラップの対日禁輸によって鋼材の入手は益々不円滑となり、価格は暴騰した。1941年（昭和16年）に第二次世界大戦に突入し、造船及び製鉄は海軍の管理下におかれ、物価統制令により価格は安定したが、鋼材の入手難は益々深刻となっていった。

3.2.2　溶接

大正の中期ごろから第二次世界大戦ころまでの四半世期は、船体の建造法の歴史を振り返った場合、一言でいえば鋲接工法から溶接工法に移行してゆく転換期であったといえる。（図3.2.1参照）

世界における電気溶接法の船舶への適用は、今世紀になってからのことで、英国で1920年（大正9年）に航洋としての世界最初の全溶接船が建造された。わが国では三菱長崎造船所において1920年（大正9年）に全溶接による港内渡船「諏訪丸」（421GT）が建造された。また海軍では鋼材重量及び工数の軽減又は工期の短縮等の必要性から非常に強い関心を持って電気溶接法に関し早くから研究を行った。艦艇建造についても広範囲にわたり電気溶接法を適用していたが、1935年（昭和10年）溶接構造について問題を生じ、一時強度部材への溶接の使用を中止することとなった。

3.2.3　塗料

昭和初期から第二次世界大戦までの間にわが国で開発、工業化され、多くの塗料会社で造られた主な塗料には、フェノール樹脂塗料、フタル酸樹脂塗料、塩化ゴム塗料、

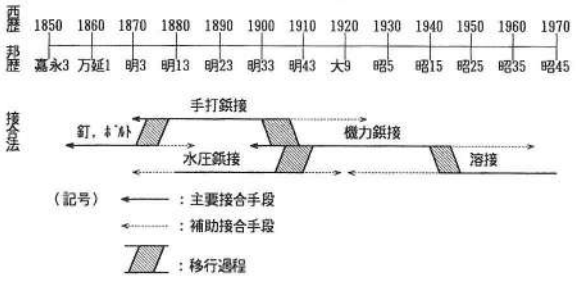


図3.2.1　船舶接合技術の変遷
（造船における溶接技術管理寺井清著より）

油性調合ペイントなどがあった。そしてフェノール樹脂塗料は耐酸塗料、絶縁塗料、錆止塗料などの性能向上に役立った。フタル酸樹脂塗料は一部客船の船室美粧用に塗られたほか機械器具などに用いられた。艦船用塗料は船底塗料及び特殊用途の塗料を除いては主に亜麻仁油のボイル油を練油とした油性塗料であって、それが堅練型から順次調合型に移って行った。そして練油中に亜麻仁油、重合油、スーパーワニス、コパルワニスなどが混入されるようになり塗膜性能が向上した。

3.3　船殻工作法の発展

3.3.1　溶接構造工作法

第二次世界大戦勃発とともに戦時体制に入り、建造工法の簡易化と材料・部材の標準化等のため溶接工法を主体としたブロック建造方式が採用され、量産急造に適する建造工程が組まれることとなった。

溶接施工技術が進むにつれて溶接設計も漸次溶接主体の設計に改善され、各種溶接器材や溶接材料等も改善されるようになった。しかし、造船所のクレーン設備やレイアウト等は溶接建造に適するように改められるまでには至らなかった。戦時中に新設された数ケ所の造船所は溶接主体の工法に適するようクレーン設備、レイアウトが施工された。その一例を述べると、鋼板は工場内でガス切断され、軌道鋼板運搬車によって建造ドックサイドの溶接組立工場に運ばれ、ここで溶接ブロックがクレーンで反転されながら溶接された。A型船の最大ブロックは二重底部で24トンのものもあった。また、ブロック同士の継手は重ね継手とし、建造ドック内で覆板を取り付けて鋲接した。終戦直前に竣工した改A型船の溶接採用率は約70%であった。また改E型船はタクトシステムにより年間100隻の量産に成功したのは高く評価された。

戦時中、高速溶接の要請から1942年（昭和17）頃には溶接棒は径10～12mm、長さ1mぐらいのものが使用され、溶接機は400Aのものを2台並列運転していた。また、グラビティー溶接法も一部では利用されていた。太径棒の芯線は溶接専用として造られたものではなく、鋲材の中から炭素含有量の少ないものを選んで使用する実情であった。

また、溶接には部材のガス切断作業が重要となり、鋲接における鋲打工とか填隙工は必要がなくなったが、バックチップのためのはつり工は必要とされた。

なお、戦時中は船体主要構造部にはあまり使用しなかったため、米国リバテー船のような脆性破壊による大損傷の事故はなかった。

3.4　艦艇建造

当時の造船業にとって艦艇の建造が重要な位置を占めていた。海軍では有事の関係から重量軽減、短工期建造等の強い要請がからみ電気溶接法が重要視された。また、その適用によりブロック建造法、工数削減法が考えられた。1926年（昭和元年）から1945年（昭和20年）までの艦艇の建造量を図3.4.1に示す。

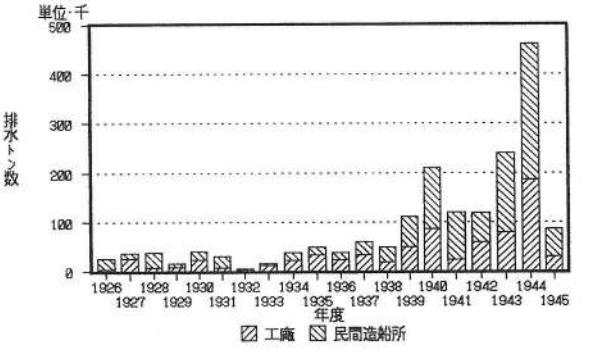


図3.4.1　船艇年度別建造量
（昭和造船史第一巻より）

3.4.1　艦艇工作法の進歩

昭和初期から終戦までの間の造船工作法の最大の進歩は電気溶接法の導入であった。昭和初期までの船体構造は商船・艦艇とも鋲接が主体であって、鋲接技術の巧拙はその船の運命を支配するとまでいわれ、建造工程は鋲接作業を重点に組まれたものであった。

昭和初期に入り、電気溶接法の研究は次第に進歩していった。しかし、民間造船の場合、当時の設計者、船主、船級協会とも溶接についての知識、経験に乏しかったこともあって電気溶接法やガス溶接法の適用は小部材の小部分に限られており、これを主要構造部材に採用するこ

とには消極的であった。

一方海軍では、有事の必要にも迫られていたこともあって電気溶接法に対する研究、実験に非常な努力を払った結果、艦艇建造に積極的に採用を始めた。この影響を受け、商船でも船殻構造の一部に使用されるようになりその採用範囲も次第に拡大していった。

第二次世界大戦に突入し、多量生産方式が必要不可欠となり、建造工法は鋲接工法から電気溶接工法へと大きく転換し、建造設備もこれに適用するように改められ、現在の建造工法の基礎を築くことになった。

(1) 電気溶接法の使用

ワシントン条約により主力艦の保有トン数が制限され、また1931年（昭和6年）には満州事変によって日本は国際連盟を脱退して、自国の軍備に頼らなければならなくなった。このため、日本海軍は英・米海軍力との均衡を維持するため積極的に軍艦に溶接法を採用し、船体重量の軽減により攻撃力と防御力の増強を図った。海軍ではかねてから溶接の重要性に着目してその研究に努力を重ねていた。当初は部分的にリベットの代わりに溶接法を用いた程度であったが、技術の進歩に伴い次第にその適用範囲を拡大し、小型艇から順次大型艦にまで及んだ。結果、第二次世界大戦中には艦艇の主要構造部分にまで溶接法を採用するに至った。

(2) ガス切断について

アセチレンガスによる切断は、その切断面が昭和初期には極めて不良で、機械加工を必要としたが、1933年（昭和8年）に横須賀造船部でトーチの選定、酸素の純度、圧力の増大の研究により良好な切断面を得ることに成功した。軍艦大鯨では船殻が溶接構造であるので、鋼材はガス切断のみで加工した。その結果、鋼材の歩止まりは向上し、鋼材の取扱いが便利になり、船殻加工能率が上がり、工数の低減等幾多の利益が認められた。その結果、各造船部共MS材の加工は全てアセチレンガス切断に改善され船殻機械場の配置替えが行われた。なお海軍では高張力鋼やDS材が相当量使用されたが、これらには熱間加工が許されないのでガス切断は使用されなかった。

(3) 船殻構造のブロック建造法

鋲接工法主体の船体建造工法は、加工された船殻の各部材の大部分を一個ずつ船台あるいはドックに運び、キールプレートを最初に据え付け、順次部材を取り付け組み上げていく手法で、いわゆるピース・ツー・ピースと呼ばれていた。

船殻構造に電気溶接を使用するようになり、当初は平面ブロックのみへの適用であったが、次第に立体大型ブロックに拡大していった。戦時に入り、艦艇に本格的に急速建造方式が適用されるようになり、呉工廠の造船ドックにおける一等輸送艦、また日立向島と大阪造船の二等輸送艦にこの方式が適用された。

呉工廠造船ドックにおける輸送艦の建造では、船体を艦首大ブロック、艦尾大ブロック、舷側ブロック等に区分された。艦首尾のブロックには大型の外型組立治具を用い、部材の組み合わせは治具の内面に部材を置くことによって容易に行われるようになった。また、船殻工事には全面的に電気溶接法が採用され、大ブロック相互の継手だけを鋲接とした。大ブロックの中、艦首部は重量92トン、艦尾部では94トンという当時としては前例のない巨大なブロックであった。

結局呉工廠では16隻の輸送艦を建造したが、2隻ずつを1組とし、おおよそ1か月に2隻ずつ竣工させ、その建造所要期間は第1、2番艦の135日に対し、第13、14番艦では75日となった。

(4) 造船部工数統制方式の採用

1934年（昭和9年）頃から呉工廠において、船殻の加工重量及び搭載重量をベースに工数曲線を画き、工事の能率と進捗状況を同時に表すことに成功した。設計、原図、ぎ装その他の工事にも適当なベースを用いて、この方法が使用できることがわかった。これにより造船部工数統制方式を確立して工事の管理を行い、工数の削減と工事期間の短縮等に成功した。本方式は、呉造船部が中心となって1938年（昭和13年）以降各工廠造船部で本格的に採用された。工数の節減は戦時の人員不足も考え実施したもので、その意義には極めて深いものがあった。

(5)「八重山」の建造

1930年（昭和5年）8月に呉で起工した1,380トン（公試状態排水量）敷設艦「八重山」はわが国海軍で溶接を大々的に採用した最初の艦である。しかし本鑑は、最初から溶接を用いるものとして計画したのではなく、溶接構造としては不十分な点があった。海軍最初の全溶接船ということで、電気溶接で不具合があったことを想定して、その際は直ちに鋲接に切り替えられるよう外板は重ね継手にした。また溶接は一部を除きすべて下向きのみとしたので、多くは地上で組み立てて溶接し、ブロックとして搭載する方法をとった。但し、ブロック同士の継

手は鋲接とした。また溶接による歪の発生には特に留意し、対称法・多層法・水冷却法等種々の方法を併用して極力その防止に努めた。

溶接使用範囲は外板は中央部を除きシーム及びバットとも全部溶接（但し継手は重ね溶接）、甲板及び隔壁自体も全部溶接（但し隔壁周辺の外板及び甲板への取付は鋲接）とし、肋骨及び肘板は3本ごとに1本をリベット締めとした。その結果、船体の溶接使用率は約60%に及び、これによる重量軽減は5%に達した。

当時の電気溶接は極めて幼稚なもので、溶接棒はすべて手製であり、使用電流は主として交流を用いたが、溶接工の技量も未熟なものが多かったので溶着部金属にはブローホールが多く、引張強度・衝撃値ともあまり良くなかった。

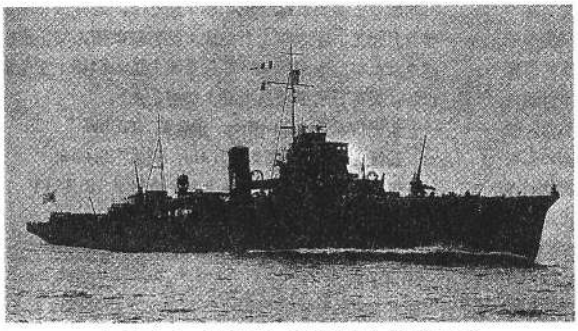


図3.4.2　敷設艦「八重山」新造公試
（昭和造船史より）

(6) 大鯨の建造

「八重山」が溶接艦として成功したので、次に大艦ではあるが、使用鋼材が全て軟鋼である潜水母艦「大鯨」を溶接艦とすることとなった。「大鯨」は横須賀で1933年（昭和8年）4月12日に起工、同年11月16日に進水した長さ約200m、約1万トンの潜水母艦である。船台期間はその頃建造の1万トン艦の約1／2～1／3にあたり、その短縮要因は関係者の相当な努力はもちろんであるが、艦政本部のリベット構造図面を溶接ブロック建造方式に改め、広範囲に溶接構造を採用したことによるところが多い。溶接使用範囲は肋板・肋骨・梁・ロンジ・サイドストリンガ及びデッキガーダを外板あるいは甲板に直接溶接にて取付け、甲板相互の継手にも大幅に溶接を取り入れたもので、ほとんど全溶接に近く、その溶接使用率は1959年（昭和34年）頃の商船とほぼ同程度と認められる。

溶接工事が開始された1933年（昭和8年）頃は長さの方向における溶接による収縮は考慮されたが、多くのブロックを組み合わせた船体の立体構造物についての歪はあまり考えなかった。「大鯨」の溶接ブロックはリベット構造の艦政本部通牒図から直ちに原図型取りした関係上、リベット構造をそのまま溶接化したものが多く、鋼材もリベット構造の場合と同様のものであった。

まず船台上の二重底ブロック上に外板・隔壁・甲板等のブロックを搭載し、船体寸法を調整した後仮付け溶接を行った。溶接が二重底ブロック継手より始まり、外板・隔壁・甲板へと順序良く上方に進行するに従って船体は固まっていき、それにつれて艦首と艦尾が上方に上がり、その量は艦首で150mm、艦尾で100mm程度に達した。その対策として甲板に重量物を搭載し、溶接部周辺にピーニングを施したが効果は現れなかった。そこで艦首と艦尾の適当な箇所にリベットゾーンを設けることとし、外板・ロンジ及び竜骨を順次切断したところ自重により下降し、船体形状の反りを修正することができた。この切断作業は進水直後の12月末から1月初めにかけ横須賀工廠第4ドック内で実施された。また船尾材・シャフトブラケット及び船尾管等は、いずれも鍛造品と鋼板との溶接結合で、焼なましの後機械加工を行って取り付けた。

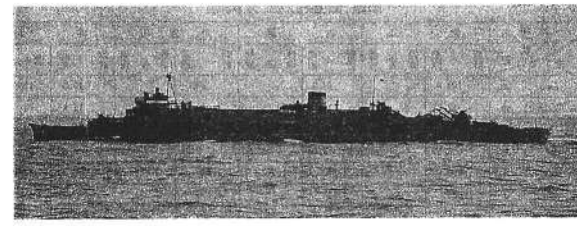


図3.4.3　潜水母艦「大鯨」（1939年）
（昭和造船史第一巻より）

(7) 第四艦隊事件について

1935年（昭和10年）9月26日、演習のため特別編成の赤軍第四艦隊の主要部隊が、津軽海峡東方海面をほぼ東方に向け航行中、猛烈な台風に遭遇した。この台風にその中心付近で遭遇した第四艦隊の各艦のほとんど全部が船体構造またはぎ装部分に損傷を受けた。

事故後直ちに査問委員会が組織され、事故原因の調査とその対策を審議立案することとなった。本問題の発端は船体強度設計上の強度不足によるものであったが、委員会の進行に伴い、当時次第に広範囲に船体構造に採り入れられて来た電気溶接が船体強度に及ぼす影響が問題となり、全艦艇についてその構造強度を全面的に再検討することとなった。

検討の結果、電気溶接の本質すなわち歪・残留応力・疲労強度・鋼材の材質・工作法等についての解明がまだ十

分行われておらず、従って当時の溶接使用範囲を大幅に制限することが妥当であるとの結論に達し、重要な構造物への溶接の使用を禁止した。

3.5 代表船紹介

3.5.1　一般商船

1930年（昭和5年）～1945年（昭和20年）の間は、商船建造に対しても海軍の指導と命令によるところが多く、むしろ造船業の推進母体は海軍側であったといえる。このようなことから一般商船も軍需物資輸送船隊や戦時標準船方式に至るまで戦時体制下の影響を強く受けている。第二次世界大戦中鋼材や木材の不足により、現在では想像できないような事例を2、3紹介する。

(1) 木鉄船の建造

第二次世界大戦中、船腹の増強と鋼材の不足に対して、大型木造船の代わりとして木鉄交造の貨物船が注目されるにいたった。それは、

①鋼船に比べて鋼材が少なくてすむこと

②木船の最大欠点である船体縦強度の不足を鋼材により補強し、相当の大型船まで建造できること

などの理由によるものであった。

1943年（昭和18年）1月、木鉄貨物船の建造が決定され設計に着手したが、翌年に入って300及び500総トン型の2種が建造された。第1船は1943年（昭和18年）4月に大阪木鉄造船（株）で進水した。図3.5.1は1944年（昭和19年）山西造船鉄工所で建造された500総トン型「第二海幸丸」である。

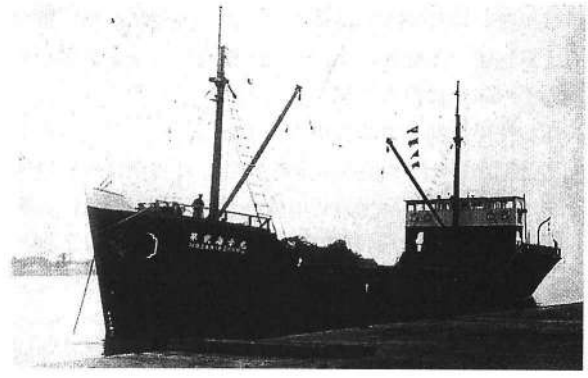


図3.5.1　木鉄船「第二海幸丸」（船舶百年史後編より）

(2) コンクリート船の建造

1942年（昭和17年）末、油送船の急速建造が計画され、被えい航油送船まで建造したところ、鋼材不足で船ができないならコンクリートによりいくらかでも船腹を増強しようという事になった。海軍省ではその研究に着手し、試作的に艀5隻を姫路近くの曾根に新設された武智造船所で建造した。

この艀建造の成績に力を得て、自航できる貨物船を建造することとして、E型船とおおむね同型のものを3隻建造することとなった。これらは800総トン（980重量トン）で、主として日本近海の海軍用石炭輸送を目的としていた。

その第1船は「第一武智丸」で、1944年（昭和19年）3月進水し、ぎ装は三井玉野造船所で行われ、同年8月竣工し、同型の第2船及び第3船も続いて竣工した（図3.5.2参照）。

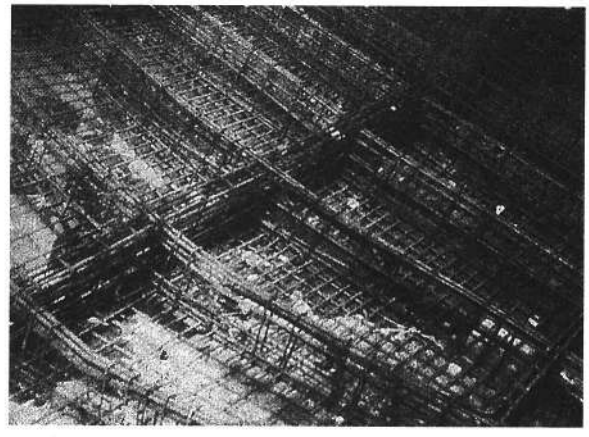


図3.5.2　コンクリート船「第一国策丸」の船底
（船舶百年史後編より）

(3) 一本足進水

船体の建造工作法が時代を追って大きく変化したのに対し、進水方式はほとんど変わらなかった。船台での船の進水は一種独特の雰囲気につつまれ、「石橋をたたいて渡る進水作業」とまでいわれるほど慎重に作業されるのが通例である。

このような進水作業であるが、戦時中の進水に必要な長尺の米松材の入手困難と、従来の進水方法による場合の船匠の不足に対する処置として、石川島造船所において新構想による一本足進水をし、1943年（昭和18年）5月10日、試作船の2E型戦時標準船にこの方法を採用した。これによれば、水流及び風がなければ図3.5.3の様な一本足進水は何等懸念するに及ばないとの結論であった。

この結果、その後数隻に採用された。

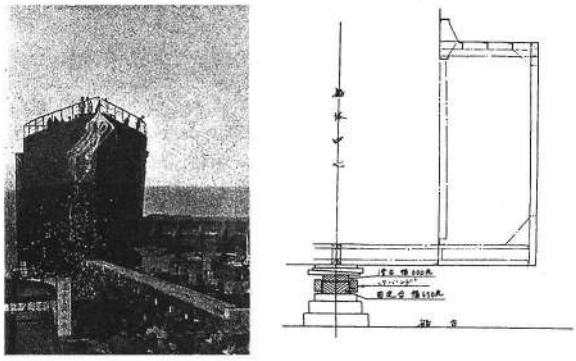


図3.5.3　一本足進水（2E型船）及び進水台の構造
（船舶百年史後編）

3.5.2　巨大戦艦大和、武蔵の建造

戦艦「大和」と「武蔵」が進水を完了したのは1940年（昭和15）の8月（「大和」＝呉工廠）と11月（「武蔵」＝三菱長崎造船所）であり、この2隻が完成したのはそれぞれ1941年（昭和16年）の12月と翌年の8月である。その後、「大和」は3年余、「武蔵」に至っては2年余の寿命でしかなく、その艦名も戦後になって初めて国民に広まったのであるが、わが国が建造した世界一の軍艦ということで現在でもあまりに有名なことは筆記する必要もないであろう。

1937年（昭和12年）度に始まった第三次補充計画は無条約時代突入の最初であり、わが国海軍最大の計画であった。戦艦「大和」（第1号艦）と戦艦「武蔵」（第2号艦）以下約70隻の大小艦艇を5年に渡り建造するものであった。この第三次計画の艦艇は、戦艦「武蔵」以外はすべて開戦に間に合い、「大和」は開戦の日に最終公試を終え8日後に引き渡し式を行い軍艦旗を掲げた。

呉工廠では、1935年（昭和10）より「大和」建造に関する調査研究及び施設の改善について検討を始め、順次整備工事を行った。その主なものは造船ドックの一部掘り下げ及び拡幅、ガントリークレーンの強化、ドック頭部の目隠し屋根設置、現図場新設、甲鉄罫書場新設、艤装用浮桟橋の増設、総合艤装工場の新設等の他、300トン海上起重機の補助吊の容量強化等も行った。

「武蔵」は三菱長崎の第2船台で建造されたので進水工事を必要とし、建造を著しく困難なものとした。その主な事項はまず船台のガントリークレーンと船体との間隙が非常に狭隘で作業が困難であること、中甲板甲鉄の大部分を進水後搭載としたため中甲板隔壁の本固めができないこと、進水重量を過大にしないための処置が工事上に及ぼす影響が大であること、佐世保に曳航して第1回入渠を行い、それ以後呉にて工事を実施し引き渡したこと等のほか、長崎における機密保持に非常な苦労があったことが挙げられる。

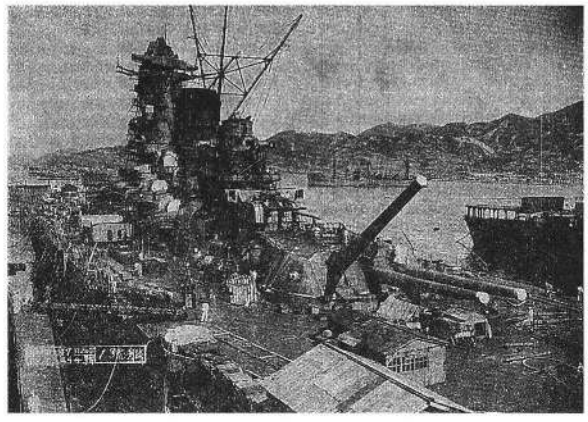


図3.5.4　ぎ装中の戦艦「大和」（昭和造船史第一巻より）

両艦の建造の間の機密保持には相当の努力が払われた。わが国の造艦技術の到達した最高度を注ぎこまなければ成功できないとされていた両艦であったが、このような大きな軍艦を秘密に建造するということの方がはるかに困難であった。海軍は新主力艦の建造を最高の機密として取り扱った。現場にいるものは、だれであれ、秘密を守るという誓いを立てさせられ、彼らはその家族にも自分が見ているものについて話をしないことになっていた。呉市の裏側にはちょっとした山があるが、工廠の様子を見られないようにするため見張りを立てたとか長崎では船台回りに漁網を下げてすだれとして遮蔽したために、一時、九州地方の漁網が不足して九州地方の漁師達が大いにあわてたという語り草が残っている。

防諜警戒のクライマックスは「武蔵」が進水する時である。「大和」は呉工廠のドック内で建造されたので陸地から海へ滑っていくという進水はなかったが、「武蔵」はこの行事を1940年（昭和15年）11月1日に迎えた。進水の当日、夜が明け始める時刻から交通を止め、港内に停泊している船は出航させられた。また一般作業者にも進水日は知らせず当日予告なしに行われた。綿密な計画と慎重な技術的計算の甲斐あって進水は上首尾であった。浮かんだ「武蔵」を桟橋まで曳いていく際が秘密の最も漏れる危険性が高かったが、「武蔵」の進水と同時に港内に停泊していた「大鷹」が近づき「武蔵」を見えないように隠した。

「大和」の完成は1941年（昭和16年）12月、「武蔵」は

表3.5.1　武蔵建造工程日誌（三菱造船広報課）

1937年（昭和12年）	
1月	建造内命を受く
6月23日	呉海軍工廠において本艦工事に関し指導を受けるため、鉄工場馬場熊男技師ほか工員10名を派遣
10月14日	新原図場において現図工事を開始
10月16日	甲鈑第1回分68枚、第2白銀丸にて回着
1938年（昭和13年）	
3月29日	午前9時55分、第2船台において起工
1939年（昭和14年）	
1月28日	船殻水圧試験開始
6月　2日	進水台作製工事開始
8月23日	罐室大漏水試験施工
10月21日	第1号罐積み込み
11月15日	機械室第漏水試験施工
1940年（昭和15年）	
1月16日	第12号罐積み込み終了
2月20日	右舷外軸用主復水器2個積み込み、主機積み込み開始
5月2日	右舷内機低圧タービン2台積み込み、主機積み込み終了
11月　1日	伏見郡令部総長宮殿下台臨、午前8時55分、進水式を挙行（小川所長支鋼切断）
12月29日	船殻重心査定施工
1941年（昭和16年）	
4月28日	前部艦橋建て付け
5月26日	甲鈑取付完了
7月　1日	入渠のため佐世保海軍工廠へ曳航（午前5時）
7月　2日	第7ドックへ入渠（午前9時）
7月11日	主舵取付、推進軸及び推進器取付
～12日	
8月　2日	長崎へ帰航、午前10時、向島岸壁へ繋岸
10月　6日	主砲積み込み
～12月　8日	
1942年（昭和17年）	
5月　5日	兵員艦内居住開始
5月20日	呉へ自力回航（午前3時5分、出航）
5月26日	海軍工廠第4ドック入渠（午前9時30分）
6月　9日	出渠（午前7時）
6月18日	伊予沖における運転公試のため出動
～26日	
7月24日	砲熕公試その他のため伊予沖に出動、第7回
～30日	公試
8月　5日	午前9時、竣工式（起工後1587日目）

（福井静夫、日本戦艦物語、（1992）より）

1942年（昭和17年）8月であったが、当時この両艦の名前は発表されなかった。しかし、国民の間には無敵の力を持つ新戦艦を日本海軍が持っているというううわさが徐々にささやかれるようになり戦争の成りゆきを案じている人達に安心感を与えたことは確かであった。が、両艦の運命ははかなく「武蔵」は1944年（昭和19年）10月24日に比島沖海戦で、「大和」は1945年（昭和20年）4月7日に沖縄近海でその生涯を終えた。

大和型の戦艦は第3号艦（「信濃」：後に空母へ変更）と第4号艦（戦況により工事中止）を建造したが、戦後はわが国みずからが証明したハワイ、マレー沖海戦での空母中心主義の優秀さにより巨大戦艦は時代遅れのものとなり、戦艦の大型化に終止符が打たれた。

参考文献

1)　寺井清：造船における溶接技術管理
2)　古波蔵保好：航跡
3)　上野喜一郎：船舶百年史（後編）
4)　日本造船学会編：昭和造船史（第1巻）

第4章　設計

4.1　基本計画

4.1.1　昭和初期（戦前）の造船時事情

(1) 客船の時代

昭和の初期は第一次世界大戦の余波で、海運界は依然として不況であり、造船界もその影響を受けざるを得なかった。その中で、客船、貨客船の建造が大きな影響を与えた。その背景は、

①外国航路の客船が老齢化し、その代船が必要であった。

②米国ダラー汽船が「プレジデント」型（14,000GT）10隻、カナダ太平洋汽船が「エンプレス」型（20,000GT）2隻を太平洋に就航させた。

③1926年（大正15年）、東洋汽船を合併した日本郵船がサンフランシスコ航路に「浅間丸」型3隻を投入することを決定して、（1928～29年）（昭和3～4年）にかけて建造開始した。

④これに対抗して、ダラー汽船は「プレジデント・フーバー号」（21,900GT）型2隻、カナダ太平洋汽船は「エンプレス・オブ・ジャパン号」（26,032GT）を建造した。

このように競争が激化し、太平洋航路だけでなく、他の航路も強化する必要があった。

これ等の代表的な客船、貨客船を表4.1.1に示した。当時の年間建造量は図4.1.1に示したように、10万GT前後であった造船界にとってはこれ等の建造は大きな牽引力になった。

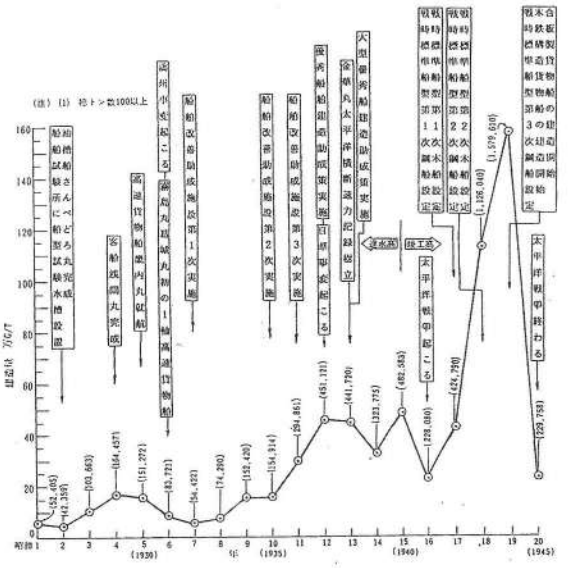


図4.1.1　昭和初頭から20年までの新造船建造量と主な出来事

このような客船の建造は船型のみならず、艤装設計に大きな影響を及ぼす。「浅間丸」の例で画期的な点を挙げれば、

①パンカールーブルを公室、私室の全般にわたり施設

②客用リフトの採用

③ラウンジに舞台を装備

表4.1.1　昭和初頭の代表的外航客船、貨客船

船　名	浅間丸	照国丸	氷川丸	ぶえのすあいれす丸	平洋丸
船　種	客　船	貨客船	貨客船	貨客船	貨客船
航　路	北米	欧州	北米	南米東岸	南米
	桑港		シャトル		西岸
建造年	1929	1930	1929	1929	1929
L (m)	170.69	153.92	155.94	140.21	140.21
B (m)	21.95	19.51	20.12	18.90	18.29
D (m)	12.98	11.28	12.5	12.04	12.34
d (m) (abt.)	8.69	8.60		7.84	7.84
L/B	7.78	7.89	7.75	7.42	7.67
G/T	16.947	11.979	11.621	9.625	9.815
DW.	8,218		10,000	8.233	
1st class	239	121	76	60	42
2nd class	96	68	69	—	80
3rd class	504	249	186	1,076	500
Main Eng.	4	2	2	2	2
	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel
BHP	16,000	10,000	11,000	6,000	10,462
Vs (kts)	20.71	17.76	18.21	16.595	16.727
同型船	龍田丸	靖国丸	日枝丸	りおでじゃ	
	秩父丸		平安丸	ねいろ丸	

表4.1.2　優秀船舶建造助成施設による客船、貨客船

船　名	あるぜんちな丸	報国丸	新田丸	橿原丸	三池丸	阿波丸
船　種	貨客船	貨客船	貨客船	客　船	貨客船	貨客船
航　路	南米	アフリカ	欧州	北米	北米	豪州
				桑港	シアトル	
建造年	1939	1939	1940	1941	1941	1942
L (m)	155.00	150.00	168.00	206.00	153.00	153.00
B (m)	21.00	20.20	22.50	26.70	20.00	20.20
D (m)	12.60	12.40	12.40	13.90	12.60	12.60
d (m)	8.796		8.813	9.175	8.672	
L/B	7.38	7.43	7.47	7.72	7.65	7.57
G/T	12,755	10,438	17,150	27,700	11,738	11,249
DW.	8,032	9,463	9,935	10,415	9,015	
VT (kts)	21.48	21.15	22.47	25.50	20.61	20.80
M. Eng.	2-D	2-D	2-T	2-T	2-D	2-D
HP	16,500BHP	13,000BHP	25,200SHP	56,250SHP	14,000BHP	14,000BHP
1st.	101	48	127	220	—	37
2nd	—	—	86	120	100	—
Sp. 3rd	130	48	—	—	—	—
3rd.	670	304	70	550	136	—
同型船	ぶらじる丸	愛国丸	八幡丸（雲鷹）	特空母準巌に改装	安芸丸	
その他	あ丸特空母海巌に改装	護国丸	春日丸（大鷹） $\triangle_p$：22,461t C_b：0.661 C_p：0.680 新田丸（沖縄）	出雲丸：飛巌に改装後 d：8.15m $\triangle_p$：31,915t $\triangle$L：21,500t		

④ラウンジのドーム側面に大壁画を採用
⑤ラウンジに映写設備を採用
⑥客室に電気ヒーターを採用
⑦装飾室舷窓の拡大
⑧フロア・ヒンジの採用
⑨プール、日本座敷の新設
⑩大理石の大幅採用

当時のディーゼル機関は1機の出力が5,000BHPに達していたので、燃料消費の有利さを評価されて、これ等の客船、貨客船にて全てディーゼル主機関が採用された。

昭和初期から船舶改善助成施設（後述）が実施され、1937年（昭和12年）には優秀船舶建造助成施設が客船にも適用されたので、各航路に優秀な客船、貨物船が次々に投入された。表4.1.2にこれらの主要目を示した。

このうち、「橿原丸」型等は計画当初から軍事目的を考慮され、進水時には特設空母隼鷹として海軍に徴用されるなど殆どが太平洋戦争中、特設空母、水上機母艦に改装された。〔室内装飾〕「浅間丸」以降の客船、貨客船では消防設備、航海設備、通信設備（特に船内通信）等が強化された。特に診療・病室設備をはじめとする居住・衛生設備の向上は飛躍的なものがあった。「浅間丸」型では船客の30%程度が外国人であることから、国際性のある調度品、衛生設備、厨房品、室内装飾を目指し、英、独、仏の室内装飾業者から設計仕様が取り寄せられ、1等公室等は英国業者に施工を依頼した。これらのことは国内関連工業製品に大きな刺激を与えた。表4.1.3に「浅間丸」型の室内装飾の様式を示した。

これ等の客船、貨客船の多くを建造した三菱重工業の社史から当時の室内装飾の傾向と流れを抜粋して図4.1.2に示した。

表4.1.3　浅間丸型の室内装飾様式

	浅間丸	秩父丸
1等		
食堂	ジョージァン式	仏国近代風
社交室	早期ジョージァン式	英国近代風
入口広間	ウイリアム・メリー式	ルネッサンス式
ベランダ	スペイン16世紀風	鎌倉時代様式
ギャラリー	早期ジョージァン式	フロレンチン
喫煙室	チューードル式	ウイリアム・メリー式
読書室		仏国近代
プール	ローマ式	仏国近代
子供室	現代風	近代
ジムナジューム		近代
演奏室		仏国近代
日本座敷		江戸時代日本風
2等		
食堂		ルイ16世紀
喫煙室		英国古代
社交室		英国近代
ベランダ		英国中世期
エントランス		英国古代

「欧米におけるクラシック様式に対する新運動は断片的ながら当所の装飾に影響を及ぼしてはいたが、新様式の全貌については、誰も十分に把握していなかった。第一次世界大戦の賠償船として回航された大洋丸によってドイツの設計に対する合理性、資材工作面の優秀性とセセッション運動の神髄に触れた。従来の室内装飾はアール・ヌーボー式に日本趣味を加味するか、外国様式から離れて日本古代建築様式にするか二大別されていたが、装飾意匠に主眼を置いた従来様式は機能上不便である面もあるので、「浅間丸」ではこれらの手法を避けることとなった。」

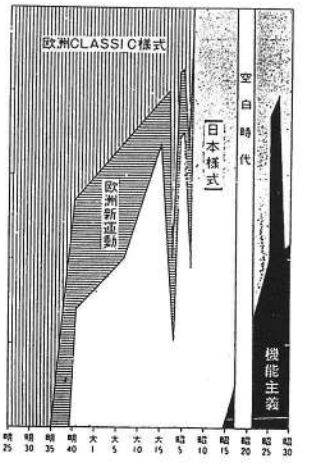


図4.1.2　客船室内装飾様式の変遷（明治25年～昭和30年）
〔創業百年の長崎造船所〕より

(2) 高速貨物船の時代

昭和初期はディーゼル機関の発達により、新造外航貨物船はディーゼル主機搭載船に切り替えられた。これらの代表的なものを表4.1.4に示した。

船質改善助成策により1930年（昭和5年）に「畿内丸」、次年に「霧島丸」型の高速貨物船が出現したのを契機に、老齢船の多かった日本船隊の船質を改善する目的で、1932年（昭和7年）～1934年（昭和9年）に第一次船舶改善助成施設、1935年（昭和10年）～1936年（昭和11年）に第二次、1936年（昭和11年）～1937年（昭和12年）に第三次が実施された。この施策は老齢の不経済船を解体して、代船として4,000GT以上、速力13.5ノット以上の船を新造する者に助成金を交付する制度であったが、多くは6,000GT以上、17ノット以上が建造された。表4.1.5にその実績を示した。

更に、1937年（昭和12年）には国際情勢の変化により、より大型で高速の船舶が必要になり、優秀船舶建造助成

表 4.1.4　昭和初期の代表的外航貨物船

船　名	ころんぴあ丸	白馬山丸	幸和丸	志どにい丸	良洋丸	鞍馬丸	昌平丸	広隆丸	広盛丸	広徳丸
建造年	1927	1928	1929	1929	1930	1930	1931	1931	1933	1937
L (m)	123.44	132.59	126.49	115.82	126.49	132.59	132.59	132.59	132.59	132.59
B (m)	16.76	17.22	17.07	14.17	17.07	17.68	17.68	17.83	17.83	17.83
D (m)	9.75	10.06	9.68	10.44	9.68	10.16	10.67	10.00	10.52	10.00
d (m)			7.71			8.09				
L/B	7.37	7.70	7.41	8.17	7.41	7.50	7.50	7.44	7.44	7.44
L/D	12.66	13.18	13.07	11.09	13.07	13.05	12.42	13.26	12.60	13.26
G/T	5,612	6,651	5,847	5,436	5,973	6,769	7,256	6,680	6,665	6,701
DW.	9,316	9,775	9,119	6,829	9,246	10,356	10,094	10,211	10,261	10,155
VT (kts)	13.85	15.0	15.26	15.81	14.97	15.52	14.60	15.56	16.47	16.91
M. Eng.	1-D	2-D	1-D	1-D	1-D	1-D	1-D	1-D	1-D	1-D
BHP	2.300	4.200	3.200	3.450	3.931	4.050	3.300	3.200	3.600	4.000
同型船 その他	おりんぴあ丸 春天丸	箱根山丸	MAN Eng 輸入第1号	めるぼるん丸 ぷりすべん丸 平甲板		Exh. Gas Boiler 搭載				高瑞丸 3次改善

表 4.1.5　船舶改善助成施設による実績

助成施設年次	実施期間	解体船		新造船	
		隻数	総トン数	隻数	総トン数
第一次	昭和7～9年	94	399,240	31	198,989
第二次	昭和10～11年	11	52,718	8	50,834
第三次	昭和11～12年	13	47,294	9	50,891
合　計	昭和7～12年	118	499,252	48	300,714

施設が実施され、6,000GT以上、19ノット以上の船舶建造に助成金が交付された。この施策には客船も含まれ、実績としては客船12隻、153,000GT、貨物船16隻、143,950GTが建造された。

これら一連の船質改善施策により、高速貨物船が多数建造され、外航貨物船の船質は著しく改善された。横浜～サンフランシスコの航海で平均速力17.93ノットの記録

表 4.1.6　昭和初期の高速貨物船と各助成策による高速貨物船

船　名	幾内丸	関東丸	霧島丸	①吾妻山丸	小牧丸	①長良丸	②赤城丸	②かんべら丸	神川丸	②有馬山丸	金華丸 ⑯	崎戸丸	相模丸
船　型	S/F	S/F	S/F	3 Isl	S/F	3Isl	3Isl		S	S/F	S/F	S/F	S
建造年	1930	1930	1931	1933	1933	1934	1936	1936	1937	1937	1937	1939	1940
L (m)	135.64	140.73	134.11	137.16	137.16	136.00	140.0	128.0	145.0	137.16	145.0	145.0	145.0
B (m)	18.44	18.75	18.29	18.29	18.59	19.0	19.0	17.50	19.0	19.90	19.0	19.0	19.0
D (m)	12.42	12.12	12.19	11.28	12.19	10.50	10.5	11.0	12.2	12.04	12.2	12.5	12.5
d (m)	8.44					8.42	8.39				8.596	8.546	
L/B	7.36	7.51	7.33	7.50	7.49	7.16	7.37	7.31	7.63	7.26	7.63	7.63	7.63
G/T (T)	8,357	8,601	5,959	7,614	6,465	7,185	7,387	6,477	6,853	6,552	9,305	7,126	7,189
DW. (t)	10,141	10,951	8,892	9,974	9,653	9,821	9,612	7,080	9,844		10,257	9,421	9,451
VT (kts)	18.44	18.34	18.03	18.85	19.58	18.68	18.98	19.80	19.57	19.30	19.39	19.72	19.44
M Eng.	2-D	2-D	1-D	1-D	1-D	1-D	1-D	1-D	1-D	1-D	1-D	2-D	2-D
BHP	7,200	7,500	6,000	7,000	8,735	6,700	8,000	7,000	9,137	7,600	10,178	9,600	9,800
同型船	東海丸 山陽丸 北陸丸 南海丸 北海丸	関西丸	葛城丸	①天城山丸 (S) 阿蘇山丸 (S) 青葉丸	①金剛丸 香久丸 ①清澄丸 ②衣笠丸 ①鹿野丸	①能登丸 ①能代丸 ①野島丸 ①鳴門丸 ①那古丸	有馬丸 ③浅香丸 栗田丸 (S) 吾妻丸	②東京丸	聖川丸 君川丸 国川丸	浅香山丸 熱田山丸	金龍丸	讃岐丸 ⑯佐渡丸 ⑯佐倉丸 他3隻	相良丸 笹子丸

3 Isl：三島型、S/F：船首楼付遮浪甲板　S：遮浪甲板　①：1次改善 ②：2次改善⑯ ③：3次改善⑯ 優秀船助成

を樹立した「金華丸」も優秀船舶建造助成施策適用の1船である。客船、貨客船に就いては先に述べた通りである。このようにして、1941年（昭和16年）にはわが国の商船船隊は600万GTになり、質量共に世界第3位になった。表4.1.6にこれらの高速貨物船の要目を示した。

(3) 近海航路貨客船の充実

昭和初期から旧満州を初めとする中国大陸、東南アジア諸国、南洋群島、台湾、北朝鮮との国交関係の変化で人、物の交流が増加し、従来の配船を強化する必要があったので各航路の貨客船の充実が図られた。

(a) 東南アジア方面〔表4.1.7(1)参照〕

表4.1.7(1)に示す各船が投入された。このうち、「日蘭丸」型は三島型の船型で熱帯航路用諸施設を備えた。

「盤谷丸」型は三島型であったが、サイゴンを経て、メナム河を遡航してバンコクに到達するため、喫水4.25mで2,400DWTを確保するよう設計された。また、主機はディーゼル2基であるが、フルカンギアで1軸とした等の特徴があった。

表4.1.7（1）　近海航路貨客船

方　面	東南アジア					
船　名	名古屋丸	日蘭丸	那智山丸	盤谷丸③	パラオ丸	サイパン丸
船　種	貨客船	貨客船	貨客船	貨客船	貨客船	貨客船
航　路	ジャバ	ジャバ	バンコク	バンコク	南洋	南洋
建造年	1932	1939	1932	1937	1934	1936
L (m)	123.44	128.0	103.02	114.7	111.0	115.0
B (m)	16.92	17.4	14.94	17.0	15.5	16.4
D (m)	9.91	10.3	9.14	10.0	8.50	10.15
d (m)	7.92				6.744	6.541
L/B	7.30	7.36	6.90	6.75	7.16	7.01
G/T	6,049	6,503	4,309	5,348	4,495	5,333
DW.		8,830		6,630	4,153	4,247
VT (Kts)	16.02	17.44	15.50	15.95	16.95	16.79
M. Eng.	1-T	1-T	1-D	1-D	1-T	1-T
HP	4,200	4,500	2,250	3,140	4,400	4,500
1st.	31	26	21	20	31	31
2nd.	26	56	30	—	—	—
Sp. 3rd.	—	—	—	—	109	85
3rd.	—	—	181	50	158	262
同型船		日昌丸		西貢丸		

(b) 中国大陸方面〔表4.1.7(2)参照〕

日本～天津

この航路の特徴は白河遡航のための耐氷構造と河川航行時の浅喫水と貨客の載貨重量の確保であった。

大連～天津

天津～大連～青島航路の船は省略し、大連～天津航路の「北京丸」だけを示した。

神戸～長崎～上海

大正期の古い船は省略し、「神戸丸」だけを示した。

南支那航路

基隆～香港～広東航路の不定期貨客船は「広東丸」、「香港丸」である。「香港丸」ではこの海域の海賊に対する防禦設備として、第1防禦船橋楼、第2防禦船橋楼甲板室、第3防禦端艇甲板室の3段構えの防禦体制を備えたとされている。

(c) 満州、台湾、北鮮方面〔表4.1.7(3)参照〕

大連航路

第一次世界大戦後、この航路の充実が図られたが、1932年（昭和7年）の満州国の独立後、この航路が強化された。「黒龍丸」はノーシヤ、ノーキャンバー船、主機蒸気圧27気圧であった。

台湾航路

基隆航路は「高千穂丸」以前は外国からの購入船が当てられていたが、本船の建造により強化された。「高千穂丸」はノーシヤ、ノーキャンバー船の世界第1船とされている。高雄航路船の「高雄丸」型は本航路で燃料炭が安価に補給できるので、石炭だきの蒸気タービンを採用、船倉に機械式通風装置を装備した特徴のある船であった。

北鮮航路

北満州の農産物は南満州鉄道で大連まで南下し、大連経由で日本に輸出されていたが、吉林～会寧間鉄道が全通して、これらの物資が最短距離である北鮮を経由して輸出される目途が立ち、この航路が開設された。航路特性としては、厳寒の北朝鮮海域に耐えることであった。この航路の「新京丸」型では電気溶接が広範囲に採用された。

(d) 国内航路と沿海航路の客船〔表4.1.8参照〕

沖縄航路

沖縄航路の貨客船は1928年（昭和3年）の「首里丸」が最初であったが、1936年（昭和11年）に近代的な「波上丸」型が就航して強化された。

北海道・樺太航路

北海道～樺太間には1929年（昭和4年）に砕氷型貨客船「間宮丸」が就航し、1939年（昭和14年）には「白海丸」が就航して強化された。この航路は砕氷船の構造と設備が必要であるが、「白海丸」はBC協会のIce Class A

表 4.1.7（2）　近海航路貨客船

方　面	中　国　大　陸								
船　名	景山丸	長江丸	天津丸	北京丸	神戸丸	山東丸	河南丸	広東丸	香港丸
船　種 航　路	貨客船 神戸～ 天津	貨客船 大阪～ 天津	貨客船 大連～ 天津	貨客船 大連～ 天津	貨客船 神戸～ 長崎～ 上海	貨客船 大連～ 中国～ 日本	貨客船 大連～ 中国～ 日本	貨客船 南支	貨客船 南支
建造年	1927	1927	1927	1937	1940	1931	1931	1928	1937
L (m)	86.87	86.56	83.82	80.80	130.0	102.11	102.11	91.44	90.99
B (m)	13.11	13.87	12.95	12.80	18.0	14.78	14.78	13.72	13.72
D (m)	7.01	7.01	6.40	6.40	9.75	7.32	7.32	7.54	7.70
d (m)					6.047				
L/B	6.63	6.24	6.47	6.31	7.22	6.91	6.91	6.66	6.63
G/T	2,318	2,613	2,317	2,265	7,938	3,234	3,280	2,811	2,797
DW.	2,849	2,953	2,423	1,404		4,966	4,899	2,500	2,458
VT (Kts)	15.34	15.19	14.78	15.19	21.57	13.02	12.68	15.23	15.61
M. Eng.	1-R	1-D	1-R	1-R	2-T	1-D	1-D	1-R	2-T
HP	3.344	3.743	1.600	1.700	13.000	1.400	1.500	2.800	4,400
1st.	32	38	38	40	149	7	11	20	18
2nd.	—	—	—	—	—	—	—	38	46
3rd.	59	86	116	160	44	88	45	288	171
4th	—	—	—	218	—	—	—	—	500
同型船 その他	砕氷型	白河遡行の最大DW最高速力		万寿丸 北海丸 白河遡行 耐氷構造		山西丸	河北丸		

表 4.1.7（3）　近海航路貨客船

方　面	大　連			台　湾				北　鮮				
船　名	うらる丸	吉林丸	黒龍丸	高千穂丸	高砂丸	富士丸	高雄丸	洛東丸	永興丸	月山丸	射水丸	新京丸
航　路	大連	大連	大連	基　隆	基　隆	基　隆	高雄～横浜	阪神～清津	阪神～清津	新潟～北鮮	伏木～北鮮	内地～北鮮
建造年	1929	1929	1937	1934	1937	1937	1927	1935	1937	1938	1940	1932
L (m)	123.29	128.00	128.00	137.16	139.99	138.00	108.20	89.92	91.45	108.00	93.00	89.92
B (m)	16.76	17.10	17.40	17.98	18.50	18.40	14.78	13.72	13.80	15.00	13.70	13.72
D (m)	10.06	10.15	10.15	11.28	11.00	11.00	9.91	7.24	7.45	8.80	7.50	7.24
d (m)		6.20	6.35	7.39	7.52	7.35		6.07		6.07		6.23
L/B	7.36	7.49	7.36	7.63	7.57	7.50	7.32	6.55	6.63	7.20	6.79	6.55
G/T	6,377	6,783	7,369	8,154	9,315	9,138	4,282	2,960	3,026	4,515	2,924	2,607
DW.	5,430	3,886	4,182	6,300	5,997	6,159	5,302	4,056	4,122	4,430	3,700	4,103
VT (Kts)	17.02	18.59	18.35	19.18	20.16	19.95	16.32	13.92	14.46	16.12	15.14	13.06
M. Eng.	2-T	2-T	2-T	2-T	2-T	2-T	1-T	1-R	1-T	1-R	1-R	1-R
HP	6,500	7,800	7,800	9,000	11,000	10,400	3,915	2,000	2,011	3,000	2,000	1,001
Sp. 1st.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	—	—
1st.	68	44	45	35	45	31	4	18	—	18		12
2nd.	129	141	139	156	156	165	54	100	22	58		—
3rd.	577	672	62	700	700	781	—	—	105	680		50
同型船 その他	うすりい丸	熱河丸	鴨緑丸					大同丸 竜興丸 慶興丸 感興丸 新興丸 瑞興丸		砕氷型 気比丸 白山丸		盛京丸 安州丸 定州丸

を取得していた。北海道～内地間の就航船については特記すべきものがないので省略した。

沿海航路客船

昭和初期の沿海航路の客船は飛躍的に向上した。ここでは代表として大阪～別府、大阪～徳島、東京～伊豆の各航路の船を示した。

このように外航船のみならず、内航船も充実した時代であった。

(4) その他

昭和初頭、木造帆船に補助推進機関として、内燃機関の一種である焼玉機関（セミディーゼル）が使用され、補助機関付帆船（機帆船）として沿岸航路の貨物船や漁船に使用された。この機帆船と500GT以下の小型網船は海上トラックと呼ばれ、沿岸海運に大いに活動したが、記述を省略する。

表4.1.8　国内航路と沿海航路の客船

船　名	首里丸	波上丸	間宮丸	白海丸	緑　丸	に志き丸	こがね丸	あきつ丸	橘　丸
船　種	貨客船	貨客船	貨客船	貨客船	客　船	客　船	客　船	客　船	客　船
航　路	沖　縄	沖　縄	小樽～樺太	小樽～樺太	大阪～別府	大阪～別府	大阪～別府	大阪～徳島	東京～伊豆
建造年	1928	1936	1930	1939	1928	1934	1936	1936	1935
L (m)	79.25	107.00	64.01	93.00	74.07	74.00	74.50	60.00	76.00
B (m)	11.89	15.70	10.06	13.70	11.58	12.00	12.00	10.00	12.20
D (m)	7.01	9.75	6.10	7.50	5.94	5.80	5.80	4.90	5.50
L/B	6.67	6.82	6.36	6.79	6.40	6.17	6.21	6.00	6.23
G/T	1,857	4,731	1,127	2,921	1,724	1,847	1,905	1,038	1,780
DW.	2,688	4,572			436	420	317		
VT (Kts)	14.21	17.90	13.05	15.60	16.40	17.34	17.45	15.15	17.77
M. Eng.	1-R	1-D	1-R	1-R	2-D	2-D	2-D	1-D	2-D
HP	1,866	4,000	1,485	2,500	1,840	2,400	2,400	1,200	2,400
1st.	6	12	6	12	46	46	28	34	1,230
2nd	47	55	22	30	133	147	132	93	(Mono
Sp. 3rd.	—	—	—	68	—	—	—	—	Class)
3rd.	207	774	80	468	491	521	551	475	
同型船その他	レンツ式機関装備第1号	浮島丸	砕氷構造		董　丸				上部構造流線形、機械通風装備

4.1.2　太平洋戦争と造船

1941年（昭和16年）12月太平洋戦争が勃発すると、当時600万GTを超えた日本保有船腹は総て軍事輸送と海軍の補助艦艇に組み込まれた。これより先に1939年（昭和14年）に支那事変が長期化、内外の情勢の変化に対応すべく、船舶建造の効率化を考え、船舶の標準化が考えられた。これが平時標準船型である。これを表4.1.9に示した。

この計画が本格的に実施される前に太平洋戦争が起こり、戦争による損害が予想以上に大きく、艦船を大量に建造して補充する必要に迫られた。そのため、大量建造を目的とした戦時標準船（戦標船）が企画された。戦局の悪化に伴い第1次から第3次まで設定された。

戦争中の新造船と喪失船、船腹保有量の減少を図4.1.3に示した。1943年（昭和18年）年から急激に喪失量が増加したことがわかる。

(1) 第1次標準船

1942年（昭和17年）に設定、建造開始。開戦直後であり、平時標準船として存在した貨物船6種に鉱石船1種、油槽船3種を加えた計10種類で、経済的にも優秀船で、戦後も大幅に改廃することがないものと想定されたものであった。従って簡易化は僅かであった。

(2) 第2次標準船

1943年（昭和18年）末から実施されたもので、戦局が不利になり、船の損害が多く、益々大量建造に迫られ、多量生産に適した徹底した簡易型が採用された5種類が設定された。簡易化の例を挙げると

①加工の少ない簡易船型の採用

表 4.1.9　平時標準船型の要目

船型	A		B	C	D	E	F
総トン数	6,300	6,200	4,500	2,750	1,990	830	450
載貨種類	9,300	9,240	6,800	4,200	3,000	1,250	750
構造種類	重構船	重構船	重構船	重構船	重構船	重構船	重構船
船の資格	1級	1級	1級	1級	1級	2級	2級
主機	タービン	ディーゼル	タービンレシプロ	タービンレシプロ	レシプロ	内燃機	内燃機
	(3,500HP)		(2,400HP)	(1,400HP)	(1,100HP)	(750HP)	(600HP)
航海速力	13kt		12kt	11kt	10kt	10kt	10kt
航行区域	遠洋		遠洋	近海	近海	近海	近海

出所：船舶改善協会事業史　342ページ

② 二重底の廃止
③ 船尾機関の採用
④ 鋼材板厚の減少
⑤ 居住区の簡素化
⑥ 副装置機械類の廃止
等で、船の性能、命数、保安性能を犠牲にして輸送力だけを増すものであった。

(3) 第3次標準船

第2次の対策で建造量は増えたが、性能が悪いため、喪失量も増えた。1944年（昭和19年）10月から実施されたもので、喪失量を減少する対策として、速力の向上と横隔壁の間隔を小さくすることが行われ、同時に戦線の縮小に伴って中型船の建造に重点を置き、一般貨物船は4種類、油槽船は2種類とした。これらの戦時標準船の要目を表4.1.10に示した。

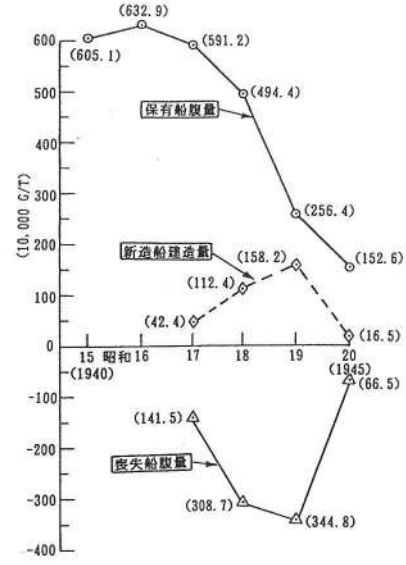


図 4.1.3　戦時中の船腹建造量、喪失量、保有量

表 4.1.10 (1)　戦時標準船の主要要目

	(1) 第1次戦時標準船									
船型	A型	B型	C型	D型	E型	F型	K型	TL型	TM型	TS型
船種	貨物船	貨物船	貨物船	貨物船	貨物船	貨物船	鉱石船	油槽船	油槽船	油槽船
略称	1A	1B	1C	1D	1E	1F	1K	1TL	1TM	1TS
L (m)	128.0	112.3	93.0	82.3	60.0	50.0	120.0	153.0	120.0	80.0
B (m)	17.8	15.8	13.7	12.2	9.5	8.4	16.5	20.0	16.3	9.8
D (m)	9.8	9.1	7.6	6.2	5.0	4.2	9.5	11.5	9.0	5.0
L/B	7.19	7.11	6.79	6.75	6.32	5.95	7.27	7.65	7.39	8.16
G/T	6.400	4.500	2.700	1.900	830	490	5,300	10,000	5,200	1,010
DW.	10,429	7,336	4,476	2.850	1.320	771	8,433	15,600	7,790	1,272
VT (Kts)	15.0	14.0	14.0	12.5	12.0	12.0	12.0	18.50	15.50	12.0
Vs (Kts)	12.0	12.3	11.0	10.0	10.0	10.0	10.5	15.0	12.50	10.0
M. Eng.	1-R (T)	1-T	1-R	1-R	1-D	1-R (D)	1-R	1-T	1-T	1-R
HP	3,600	2,200	2,000	1,200	750	550/600	2,100	3,600	3,300	1,050

表 4.1.10 (2)　戦時標準船の主要要目

	(2) 第 2 次 戦 時 標 準 船						(3) 第 3 次 戦 時 標 準 船					
船型	A型	D型	E型	TL型	TM型	TE型	A型	B型	D型	E型		TL型
船種	貨物船	貨物船	貨物船	油槽船	油槽船	油槽船	貨物船	貨物船	貨物船	貨物船		油槽船
略称	2A	2D	2E	2TL	2TM	2TE	3A	3B	3D	3E		3TL
L (m)	128.0	85.0	60.0	148.00	93.00	60.00	128.0	115.00	98.0	60.00		150.00
B (m)	18.2	13.4	9.5	20.40	13.80	9.50	18.2	16.10	14.3	9.50		20.4
D (m)	11.1	7.2	5.45	12.00	7.30	5.45	11.1	9.50	7.5	5.45		12.0
L/B	7.03	6.34	6.31	7.25	6.74	6.32	7.03	7.14	6.85	6.32		7.35
G/T	6,600	2,300	850	10,000	2,850	870	7,200	5,100	3,000	875/880		10,200
DW.	11,200	4,000	1,585	16,600	4,722	1,618	10,230	7,000	4,750	1,540/1,560		15,067
VT (Kts)	13.0	11.0	9.0	15.0	11.5		15.50	17.5	14.5	10.0	10.0	19.0
Vs (Kts)	10.0	9.0	7.0	13.0	9.5	7.0	12.00	14.0	12.0	7.5	8.0	16.0
M. Eng.	1-T	1-T (R)	1-T (S. S)	1-T	1-T	1-D	1-T	1-T	1-T	1-R	1-D	1-T
HP	2,500	1,100	450/400	5,000	1,200	420	5,000	5,000	2,500	580	600	10,000
										3ERS	3ED	

これの鋼船の標準型と共に、鋼材節約のために木造船の推進と標準船を設定した。

(4) 第 1 次木船船型

1942年（昭和17年）、一般貨物船はG/T（GT、総トン）が70、100、150、200、250の5種類が建造された。

(5) 第 2 次木船船型

1943年（昭和18年）には、GTは100、150、250の3種類に限定、徹底簡素化された。

更に通常の木船の他に、資材節約のため各種の材料が用いられた。1944年（昭和19年）にはわが国初の自航コンクリート船「第一武智丸」（GT 800T）が完成した。同年木鉄混構貨物船、合板製貨物船、コンクリート船の戦時標準船型が設定された。これらの船は主要ではないが極めて珍しいものであるので表4.1.11に主要目を示した。

以上戦時中の設計思想を伺うと、資材節約、工程簡素化に狂奔しているが、船型を抜本的に検討した結果は現れず、目に見える所が簡素化されたと感じられる。わかっていたのだろうが、パラダイムを変えることの難しさが改めて感じられる。

表 4.1.11　戦時中の特殊材料による建造船

材料構成	合板船	木鉄船	コンクリート船	
船名	第1国策丸	第一辰鹿丸	第一武智丸	第一国策智丸
船種	油槽船	貨物船	貨物船	ガソリン運搬船
建造年	1944	1943	1944	1945（戦後完成）
L (m)	38.80	37.00	60.00	36.90
B (m)	7.00	7.40	10.00	7.60
D (m)	3.50	3.80	6.00	3.85
d (m)			5.00	
排水量 (t)			2,200	
L/B	5.54	5.00	6.00	4.86
G/T	230	305	800	265
DW.	300	470	980	215
V (Kts)	12.0	9.4 (Max)	9.50	8.0
M. Eng.		焼玉	1-D	1-D
HP		240	700	250
第一武智丸：鋼材（船体用）135t［針金1.0t. 溶接棒1.0t. 厚板9.0t 薄板13.0t. 棒鋼108t］ 木材（艤装用）237石、（型枠用）1,200石 セメント；170t、川砂；255t、砂利；510t コンクリート混合比；セメント／砂／砂利：1/1.5/3 比重；2.35. 外板厚さ；110mm				

4.2　艤装

4.2.1　電気艤装

(1) 交流化船の出現

満州事変後、海運界の状況は好転し、船舶の需要が急速に増加する中で、エポックメーキングな技術革新として、交流化船「金剛丸」（関釜連絡貨客船）が1936年（昭和11年）に竣工した。当時、陸用電気機器はほぼ交流化されていたが、交流化船は米国の湖上船、沿岸警備艇などの特殊な船に限られており外洋航行船の実例はなかったので、交流化に際して電圧の決定、発電機型式の選定、

自動電圧調整器の選定、3芯電線の採用、配線工事、ウィンチの交流化など現在で言うプロジェクトチームを編成し、詳細検討を行っている。ちなみに本船の電圧は、当時のロイドルールに従い、220Vを採用しているが、発電機定格電流が1、600Aと大きくなり、各装置に著しい影響が出たので、続いて高電圧（440V）の採用へと進んだ。

「金剛丸」の主発電機及び配電盤全景を図4.2.1に、また主発電装置接続図を図4.2.2に示す。

(2) 単線式配線方式（戦時標準船）

1943年（昭和18年）に至り、戦局はますます苛烈となり、物資不足が目立ち始めてきた。特に工業用材料として銅の不足はその影響する所が広く、出来る限りにおいて他の金属で代用されていたが、船舶における銅の節約の手法として考えられたものに単線式配線方式がある。この方式では船体を帰還回路として使用するので、配線するのは1本の銅線のみで足り、従来の方法に比べて電線の所用量は半分で済むことになる。但し、この方式では帰還電流による各部の腐食発生が懸念されたが、実船実験の結果、数mVの電位差で問題の無いことが確認されたので、戦時標準船においては、油送船を除き全面的に直流単線式配線方式を採用するに至った。

ちなみに実船実験では、電流密度を変えながら電位差を測定していたが、このとき陰極側鋼板に全く腐食発生の無いことに気づいたことから、外部電線式電気防食法が単線式配線方式研究の副産物として生まれるというエピソードもあった。

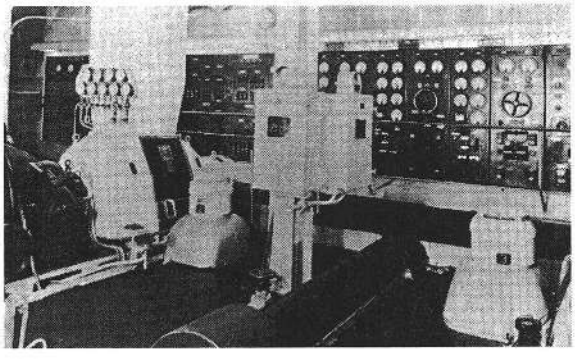
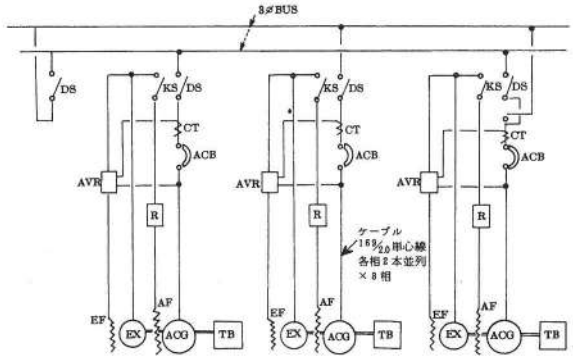


図4.2.1　金剛丸主発電機及び配電盤



TB：スチームタービン	ACB：気中遮断器
ACG：交流発電機	AVR：自動電圧調整器
AF：交流発電機界磁巻線	R：界磁調整器
EX：励磁機	CT：計器用変流器
EF：励磁機界磁巻線	KS：刃形スイッチ
DS：ディスコンスイッチ	

図4.2.2　主発電装置接続図

第5章　機関

5.1　海軍　ディーゼル機関

5.1.1　はじめに

第Ⅱ部までは外国技術の輸入ならびにズ式（Sulzer）及びラ式（Rauschenbach ← MAN）ディーゼル機関の局部的改善時代であった。第Ⅲ部の前半（1935年頃まで）は大出力複動2サイクルディーゼル（空気及び無気噴射）機関研究開発実用化であり、その後半は太平洋戦争敗戦までの複動ディーゼル機関の改善改良、中型単動4サイクルディーゼル機関の生産、及び超小型大出力軽量ディーゼル機関の研究開発時代であった。

5.1.2　潜水艦用大出力複動2サイクル空気噴射ディーゼル機関の開発と実用化

(1) 大出力機関の必要性

ワシントン及びロンドン条約で兵力量の著しい制約を受けた日本海軍は艦隊随伴高速潜水艦構想を計画した。当時アメリカ海軍戦艦は22ノット程度であったからこれに対し優秀な潜水艦を整備し、大艦隊遭遇戦の好機をとらえ、戦艦を追尾して撃滅する構想である。これには従来の潜水艦ディーゼル機関に倍する出力が必要であった。

(2) 研究開発

このため1930年（昭和5年）よりシリンダ径470mmのテスト機関による試験を開始し、1932年（昭和7年）4シリンダ機関による総合試験を完了後、実用機艦本式1号甲8型複動ディーゼル（D/S470/490mm350rpm4,500PS）機関2基を伊第68潜水艦に搭載した。1934年9月、16日間の南洋巡航試験を終了してその実用性を確認し、水上高速潜水艦の要望に応えた。

(3) 艦本式2号主機の開発製造

さらなる高出力を得るためシリンダ直径は変えず、ストロークを490mm→530mm,10筒機関を開発した。本機は2号10型機関、350rpm, 7,000PSで、大型「伊号」潜水艦に2基装備されその高速力（24ノット）を誇った。図5.1.1に「伊18号」潜水艦へ搭載直前の左舷機写真を示す。その前端（写真右端）2シリンダは燃料噴射用4段高圧空気圧縮機である。図5.1.2は断面図である。

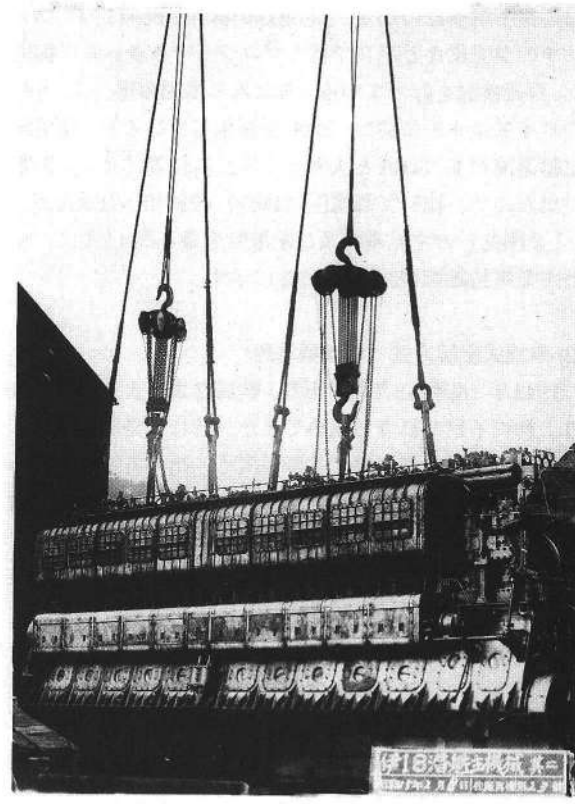


図5.1.1　艦本式2号10型ディーゼル機関の写真「伊18号」潜水艦へ搭載直前1940年（昭和15年）2月8日　佐世保海軍工廠

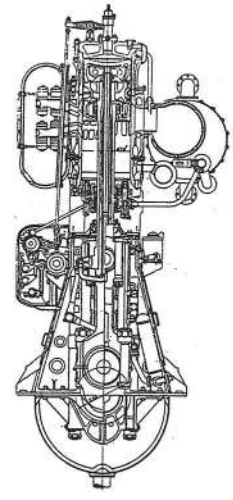


図5.1.2　艦本式2号10型ディーゼル機関　断面図

(4) 空気噴射ディーゼルとした理由

隠密性こそ潜水艦の最大の武器で、これを害するものは徹底的に排除された。レーダの無い時点では視認発見が索敵の第一で、特に潜水艦が浮上直後の最も危険度の

高い状態での、主機起動排気発煙は厳しく禁止された。当時空気噴射は無気噴射に較べて格段に淡煙であった。また技術導入の文脈からも当然と考えられる。

5.1.3　水上艦用大出力複動2サイクル無気噴射ディーゼル機関の開発

(1) 艦本式11号機関（D/S45cm/60cm, 400rpm, 800馬力/シリンダ）の開発

潜水艦用複動2サイクル空気噴射ディーゼル機関の実験研究により複動機関の設計製造技術は一段の進歩を遂げたが、一方ドイツ海軍は1万トン戦艦にディーゼル主機を装備し攻撃防御力を強化し航続力の大延長を計りつつある実情に鑑み、日本海軍においても将来ある種の水上艦にはディーゼル主機を採用する要あるを認め、1932年（昭和7年）夏試験用45型機関の設計に着手した。単シリンダ、3シリンダ試験機を製作実験を開始したが、急遽水上機母艦「大鯨」に装備の命令があって、実験と実用機製造を並行することになり、1934年（昭和9年）3月末に艦内搭載を終了する慌ただしさとなった。海上試験の結果は惨憺で、戦艦「大和」の項で述べたごとく遂に「大和」のディーゼルタービン併用基本計画を全タービンへ変更するの止むなきこととなった。

(2) 開発とその後の経過

その後12号（D/S45㎝/53㎝、400rpm, 700PS/1シリンダ）、及び13号（D/S48㎝/60㎝、400rpm, 1,000PS/シリンダ）について懸命の努力を続けて来たが、11号機関は水上機母艦「瑞穂」（11号8型4基2軸、合計出力15200PS）などに搭載、12号は開発中止、13号は水上機母艦「日進」（13号10型4基、13号12型2基合計出力47000PS）に搭載されたが、いずれも就役後短月日の間に沈没し、使用実績を確認できなかったことは残念であった。

5.1.4　中小型ディーゼル機関

(1) 22号ディーゼル機関など

1930年頃、中型潜水艦の主機関に単動4サイクル無気噴射ディーゼル機関の研究が始められ、単シリンダ及び6シリンダの試験機が呉海軍工廠に設置された。1933年頃には実用化が進み、民間工場でも製造が開始された。

22号ディーゼル機関はD/S43cm/45cm, 510rpm, 220PS/シリンダで5、6、8、10シリンダ（過給機付きのものもあった）のものが多数製造され、潜水艦、海防艦、駆潜艇の主機、及び2サイクル複動ディーゼル機械の掃除空気ブロワ駆動用原動機に使用された。

これ以外に単動4サイクルディーゼル機関は多種類あり、潜水艦、海防艦、特務艦艇、駆潜艇、哨戒艇などに広範囲に亘って多数使用された。

(2) 魚雷艇用超軽量高速大出力ディーゼル機関

戦争の推移により、排水量20トン前後で速力30ノット以上を要求する魚雷艇の主機として、機関重量が5kg/PS以下のディーゼル機関が急遽必要になった。横須賀海軍工廠の機関実験部が中心となり、5型式のディーゼル機関が研究開発されたが、敗戦までには期待するものは完成しなかった。ただし三菱重工業が担当した64号10型（ZC707）D/S　15cm/20cm, 20シリンダ（10V）、1,500rpm, 2,000PSは戦後のアメリカ海軍の日本海軍技術調査団がアメリカに持ち帰り試験して、その性能に驚嘆したことがPBレポートに報じられている。戦後本機関はZC,WZディーゼル機関として三菱重工業が製作し海上自衛隊の魚雷艇及び掃海艇の主機として装備した。

5.2　海軍　蒸気機関

5.2.1　はじめに

本期間の前半は、第Ⅱ部期間に日本海軍が鋭意努力して自ら制定した艦本式タービン及び艦本式ボイラをもって、ワシントン及びロンドン軍縮条約による制限の中で高信頼性、高速、軽量な蒸気機関の整備に尽遂し、後半の1937年（昭和12年）以降の両条約失効後の無条約時代は、時にはタービン翼折損のような大技術問題に直面もしたが、それらを解決し、精強な艦隊の整備に、そして太平洋戦争の遂行に懸命の努力を尽くした期間であった。

当時の水上艦艇は一部を除いては蒸気タービン推進であるから、日本海海戦は蒸気往復機関艦艇の戦闘であり、それから36年後の太平洋戦争は蒸気タービン艦艇の海戦と言うことができる。

5.2.2　技術の進歩と機関部の近代化

(1) 軍縮条約の影響とその対策

英米海軍に対して量的制約を受けた日本海軍は、その劣勢を克服するために猛烈な訓練と懸命な技術開発に務めたが、推進機関についてはようやく自主開発した技術を中心にして対応した。

すなわち艦本式タービン、ボイラの採用；高圧、高温

蒸気の標準化；補助機械の旋転化；各種基本制式及び標準化の設定；プロペラの系統的実験と設計法の確立；機関部諸装置の改善；海軍工廠、実験部の創設拡充；民間造船所の活用などによって新造艦艇の設計建造及び既就役艦の近代化に努力した。

(2) 既就役艦の近代化

主力艦10隻、大型空母2隻には大改造を施して性能を向上した。巡洋戦艦「金剛」について例示すれば、明治末期に起工した本艦のヤロー式ボイラ36基は1928年（昭和3年）の第一次改造では重油専焼ロ号艦本式ボイラ10基と換装した。さらに昭和10年に戦艦とするための第二次改造では、新造時の直結タービン及び第一次改造時ボイラ全部を撤去し、巡洋艦最上型の艦本式高中低タービン4基、合計出力136,000SHPとし、新造時の64,000SHPの2倍以上の高出力となった。　同ボイラは全て巡洋艦鈴谷と同型のロ号艦本式8基で、圧力は19.3kg/cm²→22kg/cm²、温度は飽和→300℃過熱蒸気である。この結果、直結タービンの重量1,038トンは改造後の減速装置付きタービンの403トン（39%）となり、全機関部重量（水油を含まず）は新造時の4,119トンから2,705トンへと約$^{2}/_{3}$に減少した。

燃料を石炭から重油へ変更したことにより、燃料タンク及び関連装置は整理され、得られた余積は他に利用された。また加減速は燃料重油の供給量の加減操作だけとなり、ボイラ部員数は減少し、その担当作業は著しく改善された。

5.2.3　駆逐艦朝潮型タービン翼折損事故（海軍艦艇臨時機関調査委員会（臨機調）問題）

(1) 事故の発生

1937年（昭和12年）8月、新造公試中の駆逐艦「朝潮」の主タービンの中圧2段落翼4本が折損した。これにひきつづき同型タービンを採用した駆逐艦「夏雲」、「大潮」、「満潮」、「山雲」の中圧タービンに同様に翼折損事故が発生し、艦艇推進機関全般にわたって、その信頼性に疑問が持たれるに至った。

(2) 臨機調の設置とその結論

1938年（昭和13年）1月に臨機調が設けられ、極秘裏に海軍を挙げて、機関の性能、故障原因の究明、対策が検討された。結論として「翼車の振動と、翼植込方法をエ字型からフォークエンド型に変更したのが適当でない」との2点が強く認められた。もしこの結論に沿って改造することになると、当時の主要艦艇の主タービンの大部分が改造を要し、所要経費（当時）約4,000万円と3年以上の年月を要すると考えられた。

(3) その後の調査研究と処置

朝潮型タービンの臨機調の結論に基づく対策実施の結果が良好であったことから、推定原因が適当と考えられる一方、タービンは主機として採用以来すでに20年以上を経過し、相当の故障を克服し、既成艦タービンは順調に運行されていたので、「朝潮」型原計画の故障原因に関する徹底的実験研究が実施された。海軍技術研究所における基礎研究、広工廠の実物翼車の艦内と同一使用状態における動的振動試験、「朝潮」型の一艦「山雲」による航走実艦実験などである。そして「朝潮」の事故発生から満2年後にその原因を確認した。すなわち翼の円周方向2節振動がノズル数と回転数の積に等しいところの共鳴振動であった。

これにより既成艦及び新計画艦タービン全般にわたり再調査し、必要な処置を採って整備を完了したが、太平洋戦争開戦はそれから間もなくのことであった。

5.2.4　戦艦「大和」（2番艦「武蔵」）の機関部の計画と建造

(1)「大和」機関部の初期計画

「大和」型2艦は1937年（昭和12年）度第3次補充計画に属するもので、極秘裏に建造された世界無比の大戦艦である。当時国の命運を左右する程のものと位置付けられていた戦艦の推進機関はその信頼性が最優先するのは当然であるが、特に装甲の重量を減じ排水量を少なくするために機械室の長さを短くすること及び航続距離を大にすることが要求された。

(2) 機関型式の選定

このため全蒸気タービン、蒸気タービンとディーゼルの併用、及び全ディーゼルの3型式について、1934年（昭和9年）末から慎重に検討された。ディーゼルは燃料消費が少ないこと、潜水艦用2サイクル空気噴射複動ディーゼルの開発が順調であり、水上艦用2サイクル無気噴射複動ディーゼルの開発実用化の成功が期待されるとして、併用案に決定した。ところがその後約2カ月後の時点で、潜水母艦「大鯨」に搭載した高出力ディーゼルが燃焼不良、重要構成部品故障、計画出力未達などの重大欠陥を露呈した。このことから主力艦主機にディーゼルを採用

するのは時期尚早と判断され、遂に主機械は実績のある蒸気タービンとする基本方針が決定された。これは1936年（昭和11年）3月のことである。

(3) 機関の構成

信頼性を第一として次ぎのごとく定められた。タービン主機は1931年（昭和6年）度計画の駆逐艦「初春」と同型の高低圧タービン2組を4ピニオン方式で1基とした。この出力は初春型の2組よりも約10%低い37,500SHPと設定し、1艦合計150,000SHPとし、各軸に巡航タービンを装備した。　ボイラは十分余裕を持たすため、30 kg/cm²、350℃、ロ号艦本式空気予熱器付き標準ボイラ12基を、25 kg/cm²、325℃で使用することに決定した。

機械配備は図5.2.1に示す如く、主機及びボイラは各々独立した区画に装備し、戦闘被害を極限できるだろうタービン1基、ボイラ3基を1軸単位機関とする縦配列が実現した。図5.2.2に主機構造を示す。

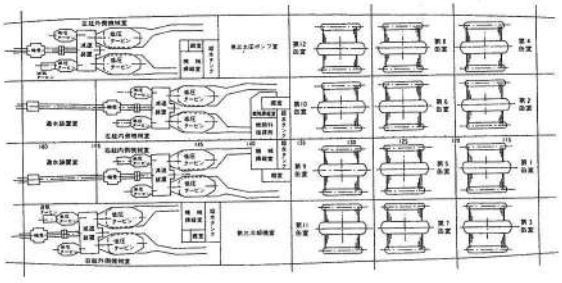


図5.2.1　戦艦「大和」機関区画主機タービン及びボイラ配置図

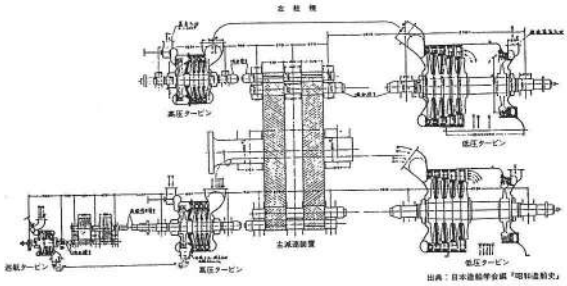


図5.2.2　戦艦「大和」主機タービン配置図

5.3　日本海軍艦艇推進機関のまとめ

5.3.1　アメリカ海軍との比較の一例

海上自衛隊を創設するに当たって、アメリカ海軍は太平洋戦争に使用した艦艇多数を日本に貸供与して、ソフト及びハードの両面で支援した。この援助は「I will show you.」の誠実な精神で貫かれ、海上自衛隊の実力の向上に著しく寄与した。

蒸気機関については駆逐艦DD454「Ellyson」（日本艦名「あさかぜ」）、ディーゼル機関については潜水艦SS261「Mingo」（日本艦名「くろしお」）をとりあげ、ほぼ同年代に就役した日本海軍の駆逐艦「かげろう」、潜水艦「伊37号」とを対比する。

(1) 駆逐艦

	かげろう：K	Ellyson：E
竣　工	昭和16年 1941 Nov 6	1941 Jul 25
軸出力	2軸合計 52000SHP	2軸合計 50000SHP
主タービン rpm	H3893/M3396/L2752	H5703/L4803
減速歯車	1段減速	2段減速ロックドトレイン
ボイラ	機械室前方3ボイラ各室1ボイラ 30kg/cm² 300℃空気予熱器付き	ボイラ室機械室ソフト配置2缶/室×2室 47kg/cm² 455℃エコノマイザ付き
プロペラ D/PMM	3300/3545 380rpm　3翼	3430/3700 390rpm　3翼
速力	35	37

特徴の比較は以下のとおりである。

①機関配備「Ellyson」はボイラ室機械室のシフト配置でダメジコントロール的に優れる。

②「Ellyson」は高温高圧高回転ロックドトレン減速で軽量小型指向である。

③「Ellyson」はデアレイチングタンクで給水の積極的な溶存酸素除去装置、「かげろう」は密閉給水装置を装備する。圧力温度の影響が大きい。

(2) 潜水艦

	伊37号：I	SSDD261 Mingo：M
竣　工	昭和18年 1943 Mar 10	1943 Feb 12
型　式	一等潜水艦乙型	FLEET TYPE
主機ディーゼル	艦本式2号10型2基 2サイクル複動空気噴射ディーゼル 350rpm 7000PS×2 ディーゼル直結推進	GW16-278（V8）4基 2サイクル単動無気噴射ディーゼル 750rpm 1600BHP×4 ディーゼル電気推進
プロペラ D/PMM	2600/2540 350rpm　3翼	2380/2680 280rpm　3翼
速力水上/水中 kt	24/8	21/10

特徴の比較は以下のとおりである。

①「伊37号」の軸系は主機、勢車、嵌合継手、中間軸、発電電動機、嵌合継手、推力軸、プロペラ軸、プロペラの長いもので、ねじり振動回避あるいは防止対策の苦労があった。「Mingo」は電気推進であるから軸系ねじり振動対策は容易である。かついかなる水上速力でも高力度充電が可能である。

②主機冷却は「伊37号」は海水、「Mingo」は真水である。海水の場合はシリンダライナ冷却水がクランクケイスに

滴下し潤滑油と混入したり、潜航時海水止め弁が漏洩すると深度圧が排気集合管など冷却部にかかり艦内にドレンしなければならぬなど不都合である。
③潤滑油ポンプ、冷却水ポンプなどの補機類は、「伊37号」は独立電動機駆動、「Mingo」は主機付きである。掃除空気ブロワも同様で、「伊37号」は電動遠心式、「Mingo」は主機付容積型ルーツ式ブロワで高排圧にも対抗できる。
④「Mingo」は“O”リング、人造ゴム、メカニカルシールなどのシール技術が優れている。

5.3.2　まとめ

艦艇機関部はその国の機械技術によって計画整備されるが、わが国の技術がヨーロッパの系譜上にあることが窺える。数値の比較で優劣を論じてもあまり意味がないが、考えさせられることが無いわけではない。

1853年（嘉永6年）アメリカ海軍ペリー提督の率いる蒸気推進帆船軍艦4隻に狂歌「太平の眠りを醒ます上喜撰（茶の銘柄）（蒸気船）たった四杯（4隻）で夜も寝られず」のごとく周章狼狽しながらも危機対策を講じた日本が、明治維新以来懸命の努力を国防に尽くした。日本は欧米による日本の植民地化を防止するための海防対策、海軍の建設に務め、日清、日露戦役では外国技術を駆致して危機を脱し、さらに自主技術の開発育成に務め、遂に世界三大海軍の一と言われるほどにまで育成した。1945年（昭和20年）8月15日敗戦、同11月30日海軍省は解散し日本海軍は72年の生涯を閉じた。この日本海軍機関技術成果の評価は武芸で言う守、破、離のいずれの段階であっただろうか。黒船来航から150年経過した現在の機械技術水準は、海軍という機械技術集団の壮大な長年月に亘る技術習得ならびに自主開発の基礎の上に構築されたことは疑いの無いところである。

参考文献

1) 日本造船学会編：日本造船史　第1、2巻（1977）
2) 生産技術協会：日本海軍技術資料1～5分冊（1970）
3) 帝国海軍（日本舶用機関学会復刻）：帝国海軍機関史、上下巻、別冊（1975）
4) 燃料懇話会：日本海軍燃料史、上下巻（1972）
5) 牧野茂他：海軍技術概要、上下巻（1985）
6) 矢杉正一：舶用蒸気機関の返遷、船の科学　Vol. 29 No. 12（1976）～Vol. 30. No. 6.（1977）
7) 松本喜太郎：戦艦大和（1952）
8) 福井静夫他：造艦技術の全貌（1952）
9) 牧野茂他：戦艦武蔵建造記録（1994）
10) 藤田秀雄他：舶機誌、Vol. 30、No. 7及びNo. 8、（1995）
11) 生産技術協会　旧海軍機関関係図書、機関計画内規（1953）
船用蒸気タービン設計法（1954）
蒸気タービン故障記録（1954）
蒸気タービン工作標準（1955）
艦船艤装及修理標準（蒸気機関）（1953）
内燃機関設計計算書（1957）
造機設計標準（1953）
舶用機関の艤装上下巻（1958）
12) 大原信義：日本海軍の舶用機関、世界の艦船、No. 194（1973）

5.4　商船用ディーゼル機関の活躍と動向

本期間では1932年（昭和7年）から「船舶改善助成施策」及び1937年からの「優秀船舶建造助成施設」の実施によって、高速優秀航洋商船が続々と建造された。日本の商船隊は国際競争力を著しく増進するとともに、当時、戦時色が次第に強くなってきた時代背景の中で国防的な要請にも応え得るものであった。この情勢下で舶用ディーゼル機関は高性能高出力化を図り、当時の海運、造船界の要請によく対応して活躍した。

太平洋戦争に突入する直前の日本海運の保有船舶は約630万総トンであったが、開戦と同時に軍事輸送船、海軍補助船、あるいは高速優秀船は航空母艦、巡洋艦、掃海艇などに改装工事されて大活躍した。しかし、敵襲による損害は予想以上に大きく、戦後、日本の残存船舶は130万総トンで、うち実際の稼働船舶は75万総トンという状態であった。

この期間に商戦用ディーゼル機関の果たした役割は重大であったが、その活躍と動向については下記に記述する戦時体制にはいる前に日本が保有していた合計107隻の航洋ディーゼル船の調査資料が詳細に物語っているので、ここではその概要を記述する。それは当造船学会の前身である造船協会が設立した調査委員会の研究成果であって概要は次の通りである。

5.4.1　造船協会が設立した内燃機関船調査委員会

1917年（大正6年）に当学会の前身である造船協会内に内燃機関船調査会が設立された。その目的は1924年（大正13年）に、わが国最初の外航ディーゼル船である「赤城山丸」が就航して以来、その経済的な有利性から多数の高速ディーゼル船が建造されて就航するようになった。

しかし初期のため特有な船体及び機関部の損傷、故障が頻発した。よってこれを調査蒐集のうえ共同研究して原因を摘出し防止対策を立てようということであった。委員会の構成は委員長平賀譲（元海軍造船中将、東大総長）の下に船体部及び機関部の2小委員会を設け、委員はそれぞれの分野の専門権威者が各15名ずつ全国レベルで選任されて約3年間活動した。調査は1924年（大正13年）より1933年（昭和8年）までに進水したディーゼル船で500総トン以上の合計107隻について、予め設定された調査項目にもとづいて行われた。会議は総会2回、船体部小委員会66回、機関部小委員会60回が開催されて鋭意調査研究の結果、船体部報告書、機関部報告書及び内燃機船要目表の3部が1936年（昭和11年）に完成し発刊された。研究成果は有効適切で真に貴重な資料であり、その発刊時期はあたかも「船舶改善及び優秀船舶建造」2助成施策の実施と同時期で、当時の好参考資料として大きな役目を果たしたことが推察される。

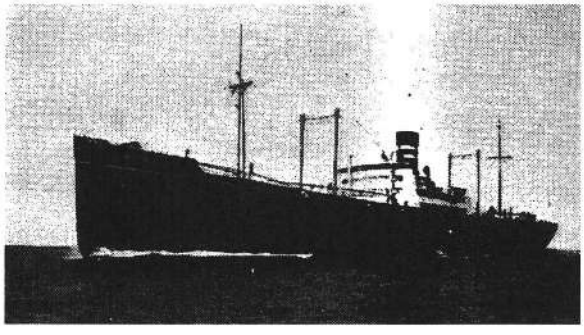


図5.4.1　貨物船「北海丸」（主機は三菱MS機関の第1番機）

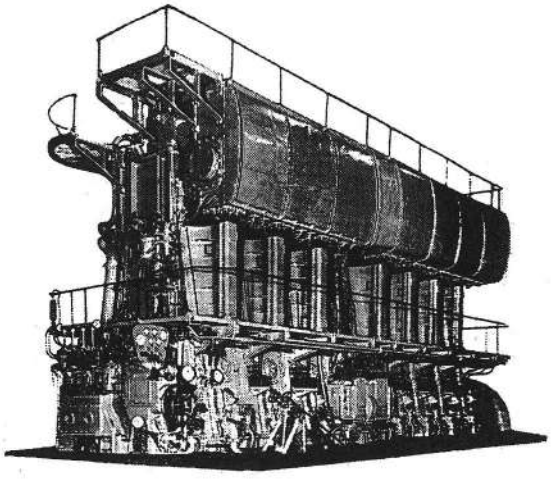


図5.4.2　三菱MS72/125型ディーゼル機関の第1番機

なお、このなかで三菱長崎造船所では1924年（大正13年）にスイスのSulzer社とライセンス契約を結んで多数の同型機関を製造したが、空気噴射式のため新しい無気噴射式の開発をSulzer社に要請した。しかし当時のSulzer社は全くその意志のないことを回答してきた。よって1927年（昭和2年）同社は新しい構想も入れて独自に開発する方針を決定し、約5年間の研究実験を経て1932年（昭和7年）にMS機関の第1番機6MS72/125型6シリンダ（3,600馬力×120rpm）を完成して航洋貨物船「北海丸」に搭載した。

第二次世界大戦終結後は各社とも外国とのライセンス再契約を主体にして製造を再開したが、三菱長崎造船所では、このMS機関を基盤にして実験研究を重ねてUEC機関を開発し、現在、世界の海で活躍中である。（図5.4.1及び図5.4.2参照）

参考文献

1)　日本海軍潜水艦史、信行社（1979）
2)　日本船舶機関士協会：舶用機関技術史（1993）
3)　三井造船㈱：三井造船のディーゼル50年（1976）
4)　造船協会：内燃機関船要目表（1936）
5)　堀　元美：潜水艦－その回顧と展望－、出版共同社（1959）
6)　藤田秀雄他：日本の艦艇・商船の内燃機関技術史、舶機誌（1995～1996）

5.5　商船用タービン

(1) 一般商船

1927年（昭和2年）～1945年（昭和20年）に竣工した商船1,173隻中、戦標船を除く736隻の内訳は蒸気船が49%、ディーゼル船が30%、タービン船は21%の154隻であった。この中で単機出力が5,000PSを越える大馬力船は22隻、水管ボイラ搭載船は26隻に過ぎなかった。蒸気圧力は以前の200psi（14kg/cm²）より向上したが、ほとんどが16～17.5kg/cm²止まりであった。この中で大馬力、高圧高温などで注目される船は以下の通りである。

1936年（昭和11年）竣工の関釜連絡船「金剛丸」（姉妹船：「興安丸」）は2軸15,600馬力、17.5kg/cm²×300℃で試運転速力23.19ノットと当時最大馬力、最高速船であった。1937年竣工の大連航路貨客船「黒竜丸」（「鴨緑丸」）2軸7,800馬力は27kg/cm²×390℃の最高の蒸気条件を採用し、水管ボイラにテーラー・マルチプルレトルト式のメカニカル・ストーカーを採用した最新鋭船で

あった。1938年竣工の15,000DWTタンカー「黒潮丸」（11,000馬力、21kg/cm²×350℃）は単機出力最大で、試運転速力20.69ノットを記録したわが国初のタービンタンカーであり、戦標船1TL型の原型となった。

1940年（昭和15年）竣工の17,150GTの客船「新田丸」（「八幡丸」、「春日丸」、2軸25,200馬力、27kg/cm²×390℃）は明治の「天洋丸」を初めて越える大馬力船であったが、就航後それぞれ空母「沖鷹」、「雲鷹」、「大鷹」に改造された。1940年に起工した27,700GTの大型客船「橿原丸」、「出雲丸」は2軸56,250PS、40kg/cm²×420℃と戦前最大馬力、最高蒸気条件を記録したが、建造途中で空母「隼鷹」、「飛鷹」に改造されて竣工した。

(2) 戦標船

1942年（昭和17年）～1945年（昭和20年）に建造の戦標船437隻の内訳はタービン船247隻56%、蒸気船188隻、ディーゼル船2隻であった。タービン船247隻のうち主要な船は、蒸気圧力22kg/cm²の水管ボイラを装備した15,000DWTタンカーで11,000馬力、16.5ノットが1隻、8,600馬力、15ノットが16隻、甲50型1号タービン5,000馬力、13ノットが34隻であった。貨物船は甲25型タービン2,200馬力を搭載した10ノットの6,600GT型が最多の96隻、甲12型タービン1,200PSを搭載した9.5ノットの2,820GT型が34隻であった。

(3) 排気タービン

蒸気機関に排気タービンを付けて出力、効率を向上させる方式が1913年（大正2年）竣工の「香取丸」、（中央軸を15psi、4,400馬力の排気タービンで駆動）で成功したあと後続がなかったが、昭和初期から復活し新造船70隻のほか主機改造にも採用され、蒸気船の近代化に貢献した。70隻の内訳は三連成機関7隻、二連成機関35隻、2段複動のレンツ機関11隻、高性能のBauer Bach機関4隻、高圧の排気をターボコンプレッサで2気圧、70℃昇圧・昇温して中圧に送るGotaverken機関13隻であった。

参考文献

1) 日本舶用機関学会編：本邦建造船要目表（1868～1945）、海文堂（1976）
2) 日本舶用機関史編集委員会：舶機誌、第28巻、第1号（1993）

第6章　海洋技術

この時代はまだ国内での海洋観測が中心の活動に留まっていたが、1940年（昭和15年）頃にはドイツにならって日高孝次らによって航行中の気象観測船、貨物船の上からステレオ写真による海洋波浪の観測及びその解析も試みられ成功している。

1929年（昭和4年）には、一民間人西村一松によって世界で初めての本格的潜水船「西村式豆潜水艇1号艇」が基隆で建造された。全長13m、排水量14トン、乗員4～5名、蓄電池50個で水中速力3ノットの性能で、翌1930年に初島沖で400mの潜航試験に成功したと言われる。1935年には1号艇を大きくした、排水量24トン、水中速力5ノットの「西村式豆潜水艇2号艇」が三菱横浜船渠で建造され、海洋生物採取や海底地質調査などの作業などに従事した。



図6.1　世界初の潜水船「西村式潜水艇1号艇」（1929）

第Ⅳ部

世界一の造船国への道

1945年～1970年（昭和20年～昭和45年）

概観

第二次世界大戦以降のこの時期、日本の復興はめざましく、造船界においても船型、機関、設計解析技術、建造技術など全ての分野で飛躍的な発展を遂げ、世界一の造船国として確固たる地位を築き上げた。戦後、船舶は全て連合軍総司令部の管理下におかれ船舶の建造は厳しく制限された。そのため、各所の造船所は建造する船もなく鍋釜を造って凌いでいたといわれる時代であったが、戦後日本造船の復興、更に発展を夢見て活動が始まり、造船協会には種々の研究委員会が設置された。また、1947年には船舶公団が設立され、計画造船が始まり、1950年に規制が完全に撤廃されると、ほぼ同時に起こった朝鮮動乱も影響して、このころから輸出船の建造が飛躍的に増加し、1956年（昭和31年）にはついに当時最大の造船国であったイギリスを抜き世界一の進水量を記録した。

この様な動きの中で、抵抗・推進関係では、戦争により三菱長崎と海軍の目黒水槽の２つの大型試験水槽が大きな痛手を受けたが、目白水槽はいち早く機能を回復し、運輸技術研究所の曳航水槽として活動した。戦後直ちに活動を再開した試験水槽委員会は共同研究を企画し、水槽試験と実船試運転の精度をテーマとし、「白馬山丸」での実船計測が、次いで、「日聖丸」での運航性能に関する実船試験が行われ、貴重な実船データが得られた。これらの実船計測に伴って、種々の計測装置が開発されている。

研究としては、造波抵抗理論が目覚ましく発展するとともに、模型と実船の相関問題について、その後の水槽試験法のベースとなる考えが提案されている。更に、「波なし船型」、「極小造波抵抗船型」と言う理論船型が提案された。波なし船型の存在が模型試験で立証された後、関西汽船の「くれない丸」で実証試験が行われ、船首バルブによる大きな馬力の節減が確かめられ、その後の船型設計に大きな影響を与えた。水槽試験法においても、乱流促進法が提案され、船型試験の精度向上が計られた。一方、プロペラに関しては、わが国の商船用プロペラの基本となったMAUプロペラが運研と尼崎製鉄により開発され、また、船用プロペラの性能計算法の主流となったプロペラ揚力面理論が開発されている。

1967年から始まったスエズ運河封鎖により大型タンカーの需要が高まり、日本の造船所に大量の発注があり、大型タンカーの技術開発が官学民の協力によってなされ、未曾有の反映が築かれた。タンカーの船型開発に伴って、船尾形状と船尾粘性流の関係の解明に主題が移り、種々の研究がなされた。特に、模型船の伴流分布計測値から実船の伴流を推定する方法が考慮されたり、肥大船の船首での砕波抵抗や船尾ビルジ渦の発見がなされた。また、肥大船が限界を超えると、推進性能や操縦性能の不安定現象が発見され、解明の努力がなされた。

また、この時代、大型模型を用いた船型開発のために大型試験水槽の必要が生じ、運輸省の船舶技術研究所に長さ400mの世界一級の超大型船型試験水槽が建設され、その後、石川島播磨重工業など造船所に大型船型試験水槽が建設され、技術開発がなされた。

運動性能に関して、船舶の波浪中での性能を総称する耐航性という概念が出現したのがこの時代である。設計や運航技術において、現在なお使われている波浪中における耐航性に関する理論が提案された。スペクトル解析及び線形重ね合わせ理論を導入した実海域性能計算法と任意の方向から来る規則波中を航行する船体に加わる流体力を計算するストリップ法が開発された。これとともに、薄幅船や細長船理論に基づく非定常造波抵抗理論や波浪中抵抗増加の理論計算法等の画期的船体運動性能理論が発表された。

運輸技術研究所に運動性能試験専用の大型角水槽が建設され、斜波中での実験法の開発がなされ、波浪中性能を評価する研究が行われるようになった。理論研究が盛んに行われる様になるのに対応して、「日聖丸」をはじめとする実船実験がしばしば行われるとともに、実船対応模型試験も行われ、それらの相関が調べられた。その計測項目はシーマージン、船体の受ける加速度、波浪と横揺れ等であった。また、船載式波浪計の開発や波浪情報の標準化やデータベースの整備が緒についた。「洞爺丸」等の連絡船の転覆海難事故を契機に復原性基準の制定とそれに対応した研究が行われた。この他、原子力船や新形式船の出現に対応した安全性の確保の研究が始まった。

一方、操縦性に関しても操縦運動解析法について「流力モデル」と「応答モデル」と呼ばれる2つの方法が採用され、これに対応した模型による操縦性試験法として、今日も用いられている自由航走模型試験と拘束模型試験法が開発された。これらの試験により最適舵面積と船型と旋回性能の関係、船の操縦特性を表す操縦性指数、流体力係数、附加質量を求める研究に成果が得られた。また、実船の操縦性能を把握するため、公試運転において旋回試験の他、Z操縦試験等が行われる様になり、模型試験結果との間の尺度影響について関心が持たれる様になって

きた。

また、この時期、運動性能に関しても研究体制が整えられ、研究の実船への応用が本格化してきた。国際的にも国際試験水槽委員会ITTCに新設された耐航性や操縦性の技術委員会に対応し、比較実験などに参加するなどの貢献をした。

構造に関して、わが国の社会環境は戦後の復興、経済の発展へと移り変わった。　戦後の復興のため、構造技術者達は力を合わせて日本の造船業を再興しようと各社の技術を交流し、お互いに切磋琢磨して技術の向上に励んだ。また造船先進国のヨーロッパ、大量生産方式の先輩である米国に教えを請い、世界のトップに立つ基礎を築いた。造船部門の研究には国を挙げての協力態勢が必要であるという要望が結集して、1952年に日本造船研究協会が設立された。その中に順次研究部会を設置して産官学が一丸で研究に当たり、造船協会の各研究委員会も総力を挙げてこれに協力することとなった。

1950年代には2万載貨重量トンの標準型タンカーから、3万5千重量トンのスーパータンカー、更に4万5千重量トンへと大型化が行われた。10万重量トンの「Universe Apollo号」もこの時代の船でありマンモスタンカーと呼ばれた。大型化の主役は構造技術者で、縦強度基準値の低減、貨油艙の長大化及び広い部材心距の採用により、次々大型船が建造された。

1960年代に入ると、船殻構造の合理化が船殻設計の基本理念となった。合理化の一つに高張力鋼の採用があった。また大型化、高速化に際して巾広ずんぐり船型と球状船首という新しい船型が現れ、種々の構造上の問題をもたらした。

戦後の造船に於ける大きな変化の一つは鋲接から溶接への移行である。当初は重要箇所に鋲接も残されたが、溶接技術の進歩と靱性の高いE級鋼、F級鋼が容易に入手できるようになってからは、舷側厚板や弯曲部外板の鋲シームも廃止された。

輸送効率を向上するために船の専門化も進んだ。従来はタンカーと一般貨物船が主であったが、鉱石専用船、撒積貨物船、コンテナ船、自動車専用船、液化ガス船が出現した。これらの船は夫々に構造上の問題点を持っており、設計者は夫々に解決策を講じては設計、建造及び運航を行ってきた。そして運航経験はフィードバックされて新造船に適用された。

船舶の合理化、大型化に加えて建造量の増大に対処するためには標準化が必要であった。夫々の造船所に於いて多かれ少なかれ標準化が進んだ。このころ普及してきた有限要素法解析により、桁の隅部、端部の形状が応力集中の少ないように標準化された。構造のパターンが標準化され、横桁心距、縦通肋骨心距、船側縦通肋骨心距の整数倍を増減することによって、異なった船が容易に設計できる所謂パターン・モジュールによる設計法も確立された。設計システム確立に電子計算機は大いに役立った。

材料強度に関しては、溶接技術の導入で大型の鋼構造物が建造されるに伴って脆性破壊が注目されだした。造船界は最も早くこの問題に強い関心を持ち、研究活動が活発に行われてきた。米国や英国で行われた組織的な損傷船の調査により、原因は応力集中を生む構造細部の設計、船体の溶接不良、船体鋼材の材質に問題があることが指摘された。

わが国においては、造船協会の電気溶接研究委員会において初めて組織的共同研究活動が始まり、1950年に造船協会内に設置された「鋼材研究会」により初めて実験を含む本格的な共同研究が行われた。また、日本造船研究協会では発足後、早くも研究プロジェクトSR3「国産造船用鋼材による溶接船体の信頼性向上に関する研究」に始まる一連の研究が実施された。この時代の研究の中心は、もっぱら実験室で脆性破壊をいかにして再現するか、どのような試験法によってこれをどう解釈すれば材料の脆性破壊性を評価できるかということであった。

50年代終わりから70年代には、応力と亀裂停止温度の関係を求める二重引張試験法が考案され、破壊力学的手法を導入することによって合理的解釈が加えられた。これは、線形破壊力学に始まり、亀裂先端まわりの塑性変形の影響を考慮した非線形破壊力学へと発展した。

いち早く溶接を大幅に導入した造船界は、使用する鋼材の材質に強い関心を持ち続けてきた。製鉄業界に対して、粘り強く溶接性のよい材料を供給してもらうべく働きかけ、製鉄業界もこれに応えるべく、数多くの基礎研究や技術革新を行い、両社の共同研究も盛んに行われた。

また、疲労に関してもこの時期に研究が始まった。1960年頃のVedelerの研究により、船舶のように波浪外力を受ける複雑な構造物では繰り返し数が少なくても疲労亀裂は生ずるのではないかとの指摘に基づき、船体構造の低サイクル疲労が研究の中心となり、一連の造船研究協会のプロジェクトなどにより疲労現象の理解が深められたが、船舶のような複雑な変動応力を受ける複雑な構造物の疲労挙動を正確に予測したり、的確に設計基準に盛り

込んだりするためにはまだまだ解決すべき多くの問題が残されている。

接合に関しては、戦後の復興から立ち直った造船業はブームと不況の波を繰り返し、飛躍的発展を遂げた。これは、石炭から石油へのエネルギー革命に対応したタンカー建造で、電気溶接法の全面採用によるブロック建造法により低コスト短工期を他国に先駆けて達成したことによる。タンカーがどんどん大型化するために、溶接の自動化・高速化は時代に急務であった。1950年にユニオンメルトの名で米国から導入されたサブマージアーク溶接による自動溶接法は、溶接機器及び溶材の国産化のための開発研究が精力的に行われ、たちまち実用機が開発されあっという間に全国に広まった。その後もこのサブマージアーク溶接法は改良が続き、ますます高速化・多用途化し、ついに1961年には片面自動溶接法という画期的高能率溶接法を生み出した。反転作業の不要なこの溶接法の実用化で地上組立行程はコンベアラインに乗って流れ作業で行われるようになった。これに続きエレクトロスラグ溶接、エレクトロガス溶接法が開発され、船台上のブロック同士の接ぎ手の溶接が自動化された。これらの新しい溶接法はほとんどわが国で開発されたものである。その中には、戦前、呉の海軍工廠で開発された呉船式自動溶接機に始まり、幾多の改良の末、今では隅肉溶接のほとんどに適用されているグラビティ溶接法のような息の長い溶接法もある。

建造についても、敗戦直後は暫時GHQの造船統制の下であえいでいたが、その統制もなくなり、計画造船が軌道に乗ったところへ訪れた第一次造船ブームで日本の造船業は復興を果たし、1956年には一気呵成に建造量世界一となった。この発展をもたらしたのは、電気溶接法によるブロック建造方式という建造法の改革であった。その技術の土台は既に海軍によって培われていたが、戦後さらに米国から導入した自動溶接機と欧米から導入した自動ガス切断機を工夫改良して大幅に活用したことによる。昭和40年代は、未曾有の造船ブームで好況が続き、タンカーの大型化と貨物船の専用船化が進み、コンピュータの利用によりこれを可能にする技術革新が次から次へと行われ、設計から建造さらに艤装まで一貫生産ラインにのって運ばれるシステムが出現した。今や、原図・罫書の作業はなくなり、自動製図機でフェアリングした線図から取り出された船型数値データから直接ブロック単位の工作図が作成され、NCガス切断、自動溶接という工程により、次々大型ブロックが建造され、100トン以上のクレーンで船台に搭載されたブロックは、層状建造法または輪切り建造法で船体を形造っていった。その際すでに、ブロックには区画毎にあらかじめ地上で配管をはじめ艤装品が取り付けられるブロック艤装が施されている。このような技術革新に伴って、新鋭の造船工場のレイアウトはまったく様変わりし、ブロックを建造する広いアセンブリ・ヤードと大型ビルディング・ドックと100～300トンのゴライアス・クレーンという組み合わせになった。

また、この時期、世界経済が活発になりそれにつれて貨物輸送量が増大すると船型の大型化が進み特にタンカーにその傾向が顕著に現れた。技術的には、溶接技術を主体として建造法の革新期であるとともに、高張力鋼が用いられるようになり船舶の軽量化に貢献した。この時代の後半は球状船首を始めとした船型改善が著しい時期でもあった。特に、低速船は幅広浅喫水化が考慮されるようになり、後の経済船型の普及につながることになる。電気艤装の分野では、交流化による発電機の進歩が挙げられる。発電機が小型化することで船の大型化に貢献したことを見逃してはならない。また、機関艤装では現場型どり方式から工場内製作方式に転換され進水後の現場艤装からの脱却が始まった。

システム技術について、ここで取りあげる「造船におけるシステム技術」とは，CAD/CAM/CAEに相当する要素技術とその統合化技術を意味するものと考えているが、戦後の船舶建造にブロック建造が採用され、それまで職人集団の手にあった情報が設計部門や管理部門の手によってまとめられようになり、システム化の始まりとなった。この時期のシステム技術は、コンピュータのハードウェアの発達とソフトウェアの供給形態に応じて二つの段階に分類することができる。第一段階は個人のためのプログラムを個人が作成した時期であり、設計分野における船舶算法と、現図作業の数値計算化の二つの面から開始された。第二段階は大規模なプログラムをプロジェクトチームによって開発した時期であり、最適化問題、パッチ型自動設計、有限要素法による構造解析、数値計算による線図生成、船殻形状処理言語などがテーマにあがった。

機関に関して、戦後、大型ディーゼル機関の生産が再開され、溶接構造と排気ターボ過給の採用により出力当たりの機関重量は一挙に40%軽くなった。ディーゼル

油価格の高騰により低質燃料の使用を余儀なくされ、シリンダライナの摩耗やピストンクラウンの焼損に対する研究が進展した。船舶の大型化が進むにつれて大型低速ディーゼル機関の大出力化が望まれ、シリンダ径を拡大し、排ガスターボ過給率を上げてシリンダ当たり出力を増大した機関が開発され、12シリンダ機関では数万馬力を越えるようになった。船舶の大型化に伴い、水潤滑式船尾管軸受でリグナムバイタの異常摩耗が多発し、1964年以降油潤滑式船尾軸受への移行が進んだが、その後船尾管オイルシールや油潤滑式船尾管軸受の損傷の改良研究が進められた。オートメーション化の流れは、世界初の自動化船「金華山丸」(1961年竣工)となって結実したが、その後夜間の機関室無人化が実現し、超自動化船の開発も開始された。一方蒸気タービンは、大馬力化しやすく機関室が短いことから、特に大馬力船のタンカーで独占的地位を占め、タンカーの大型化とともに発展した。ディーゼル機関と対抗するため、タービンプラントの性能向上特に燃費向上の努力が継続され、新しい技術が次々と開発実用化された。蒸気条件の向上として1950年頃から30kg/cm²ボイラに脱気器が採用された。また欧州のシンプルな2段給水加熱・エコノマイザ方式に対して日本の4段給水加熱・ガス式空気加熱方式は給水温度、ボイラ効率を高くした。1965年頃からタービン入口60kg/cm²×510℃という高圧高温の蒸気条件が現在まで標準とし定着した。高速を要求される欧州航路コンテナ船にもタービンが採用された。艦艇用でも大型化が進んだが、1977年度からはガスタービン艦に切り替わった。

海洋技術に関して、戦後、世界各国の海洋に対する関心が急速に高まり、1950年代に海底油田の探鉱・開発と深海調査船などによる海洋調査が盛んになり、海洋の持つ経済的、政治的意義が飛躍的に高まった。先進諸国は、総合的な海洋開発政策を国家プロジェクトとして推進し始めた。わが国でも世界的な海洋開発の高まりに対応して、1961年代から官・学・民共新しい体制を作って対応した。

1946年に、メキシコ湾で初めて海底石油掘削・生産が行われ、試掘用掘削リグが各地で稼働を始めたことに伴い、わが国でも1960年代から造船技術を活用して掘削リグをはじめパイプ敷設バージなどの海洋構造物の建造が始まった。更にその他海洋エネルギー利用、栽培漁業、海洋空間利用、海洋調査など広範囲に亘って海洋開発の黎明期を迎えた。

第1章　性能

1.1　抵抗推進

1.1.1　占領下で始まった飛躍への胎動

敗戦の1945年（昭和20年）8月15日からサンフランシスコ条約発効の1952年（昭和27年）4月28日までの連合国の占領下にあった6年8ヶ月は、マッカーサーを最高司令長官とするGHQ（連合国総司令部）の支配の下で、民主国家として日本を立て直すのが目標であった。国民は敗戦の衝撃よりも戦争が終わったという開放感を感じながらも、毎日を生きていくのに精一杯であった。しかし、憲兵の怖い目や空襲におびえながら身をすくめて暮らす必要が無くなった安堵は何物にも代えがたいことであった。戦時中、旧制の大学、高等学校、中等学校で学んだ若い世代は、ある者は志願して、ある者は徴兵令で戦場に送られ、多くの者があたら若い命を落とした。工学系の学生は、徴兵免除もあって戦場行きを免れた者が多かった。しかし、学徒動員で勤労奉仕の明け暮れの毎日ではろくな勉学も出来なかった。戦後、学校に戻ったり、学校を出たばかりの若い学徒が集まって勉強会や研究会を開いて研鑽に励み始めた。誰にはばかることなく、外国の文献も読めるようになった。自由を手にした彼等は芋で空腹をいやしながら手に入る文献は手当たり次第貪るように読んだのがこの時期である。彼等に格好の勉学の場を与えたのが造船協会（後に日本造船学会と改称）であった。

日本造船学会資料[1]によると、1946年（昭和21年）に発足した研究委員会に、溶接研究委員会（委員長　福田）、鋼船工作法研究委員会（委員長　吉識）、漁船研究委員会（委員長　松木／1949年廃止）、木船研究委員会（委員長　吉識／1949年廃止）があり、1948年には、造船設計基準制定委員会（委員長　南波／1952年に造船設計委員会に改組）が設置された。水関係では、既に1942年に発足した試験水槽委員会があった。更に1950年には船体構造委員会（委員長　常松）が発足して、それぞれの分野で産・官・学の技術者が一堂に介して垣根を一切排除し、共学の精神で、戦後日本の造船の再興、さらには発展を夢見て研究し、共同して実践にあたった。まさしく造船ファミリーの誕生であった。以後の活動の足跡は日本造船学会資料[1]にも詳しいが、その活動を寺谷は文献[2]のなかで高く評価し、日本の造船が世界一になる原動力を培ったとしている。なかんづく鋼船工作法研究委員会の成果が日本造船技術の革新をもたらし、日本の輸出産業の礎を築いたと産業経営史の碩学中川も記している[3]。

近代日本海事年表[4]によると、1946～47年は戦時体制の処理事項が目白押しに並んでおり、1947年には、海運・造船の復興策として船舶公団が設立され、計画造船が始まり、1948年（昭和23年）には戦後初の輸出船（ノルウェイ向け）を受注した。1950年（昭和25年）の朝鮮戦争勃発による朝鮮戦争特需開始、1951年の朝鮮戦争休戦、1951年の対日講和条約（サンフランシスコ条約）調印、1952年発効、同時に日米安全保障条約締結があった。1950年（昭和25年）以後の造船の復興は目覚ましいものであった。その理由は、1947～1948年に計画造船が第1次から第4次まで矢継ぎ早に実施されて、海運界にカンフル注射の効果を果たした。次に、1949年（昭和24年）にドッジラインによる占領政策の大変換があり、船舶公団は廃止された。計画造船も第5次以降は規制が大幅に緩和され、大型船の建造の自由化になるとともに、資金融資もテコ入れになったことから、海運各社の造船意欲を大いに刺激した。そこへ朝鮮戦争特需が到来し、弾みがついて一気に復興が進み、1953年（昭和28年）の第9次計画造船では、貨物船52隻（39.5万総トン）、油槽船10隻（12.9万総トン）という大盛況になった[2]。

ところが突如、1954年（昭和29年）造船疑獄が起こり、造船界・官界・政界から多くの有力者が被疑者となり、逮捕されるに至った。しかし、時の政権を握っていた自由党の幹事長佐藤栄作に検察の手が及ぶに至って、法務大臣犬養健の指揮権発動により、佐藤は逮捕を免れ、造船疑獄も急速にしぼんでいった。けれど、この造船疑獄で収賄の罪に問われた運輸官僚と贈賄側となった造船界は手ひどい打撃を受けたため、造船業界は以後政界との接触の最も少ない業界になった。そして、船の建造能力の向上は輸出船に向けられていくと同時に、先ず北欧諸国の先進技術の導入とそれをベースにした自国技術の開発向上が盛んになった。そして、とうとう1956年（昭和31年）には産業革命以来世界の王座に君臨していた造船王国の英国を抜いて世界一の造船国に日本がのし上がった。

水関係でも、胎動は始まった。試験水槽委員会の中に、第一部会（抵抗推進関係）と第二部会（耐航操縦関係）の二分科会ができ、そこを舞台に新進気鋭の学徒が活動を開始した。1946年（昭和21年）当時の試験水槽委員長は出淵で、その後、青山、山県、菅へとバトンタッチしながら、若い研究者を指導した。船舶流体力学及び抵抗推進分野の研究者をあげると、東では、東京大学第一工学部の木下（東大助教授、戦前海軍軍籍にあったという理由で1946年11月公職追放で日立造船に移った）、乾、西

山、丸尾、中島、岡田、東京大学第二工学部の田宮、別所、船舶試験所の土田、横尾、矢崎、花岡、田崎であり、関西では、大阪大学の笹島、中村、野本であり、九州大学では上野、山崎、神中、三菱長崎造船所では、谷口、渡辺などであった。

試験水槽の中で、戦災により大きな被害を受けたのが、三菱長崎水槽と海軍の目黒水槽の二大水槽であり、その復旧が何よりも急がれた。1946年（昭和21年）6月に復旧に着手した長崎水槽は、1949年（昭和24年）には小水槽の方だけが何とか試験できるようになったが、大水槽まで含めて全体が復旧完了したのは1953年（昭和28年）であった[5]。一方の目黒水槽は海軍が無くなったこともあって荒廃するまま放置されていたが、1956年（昭和31年）に新しく発足した防衛庁の技術研究本部第1研究所第3部に所属が決定して、やっと復旧の目途がつき、1959年（昭和34年）に新鋭の水槽に生まれ代わった。

戦災を免れた目白水槽はいち早く機能を回復し、組織的には、運輸技術研究所（通称、運研）船舶推進部の試験水槽として1963年（昭和38年）まで、船舶技術研究所（通称、船研）の水槽として1968年（昭和43年）まで稼働した。同年、分離独立した日本造船技術センターに払い下げられ、同センターの主力試験水槽として現在も活動している。他方、1963年（昭和38年）に運研から代わった船研は、三鷹地区に施設統合を図るとともに1963年に日本一の大型曳航試験水槽である三鷹第2水槽（長さ5,400m、幅18m、深さ8m、曳引車最高速度15m/s）の建設に着手した[6]。

戦後直ちに活動再開した試験水槽委員会は、全国の性能研究者の力を結集して共同研究を行うことで、技術の向上と若手の研鑽に力を注いだ。その一つに、わが国の各水槽の水槽試験成績の比較というテーマがあり、その最終的評価を下す実船試運転の精度が問題となって、「白馬山丸」での実船試験を共同して行うことになった。1949年（昭和24年）11月15日の試運転当日に、4種類の軸馬力計による軸馬力の計測を行った他、観測船「海風丸」による標柱間の風向、風速及び潮流の計測も、速力試運転に平行して行われた。「白馬山丸」の実船試験の結果、試運転解析における軸馬力の計測精度や風並びに潮流に対する修正法が検討され、わが国の速力試運転解析法確立のための基準データとなった[5, 7]。

更に、大規模な実船実験が試験水槽委員会の共同研究として行われた。それが「日聖丸」による運航性能試験であった。「日聖丸」は、日本鋼管の建造の日産汽船㈱所有の9,914DWTの貨物船で、同船の横浜～バンクーバー間の処女航海に試験水槽委員会のメンバー10人が乗り込んで、速力、プロペラ回転数、軸馬力、ピッチング、ローリング、船体応力、波、風を同時計測するという画期的試験であった。1951年（昭和26年）も終わろうとする12月26日同船は横浜を出航し、翌1952年5月3日帰航して、この実験は大成功裏に完了した[8]。この大規模実船実験は関係者ばかりか、その後の日本の造船学研究に計り知れない貴重な影響を及ぼした。その一つが、実海域における船の性能把握の重要性を若い研究者の脳裏に焼き付けたことである。また、若い研究者に大きな自信を与えたことも、後年世界の造船界のリーダーとなる原動力となったと確信すると、その時の乗船者の一人谷口は述懐している[5]。この実船実験では種々の新しい計測装置も適用されて、その真価を発揮したが、中でも志波式速度計[9]は特筆に値するものであった。

造波抵抗理論とその応用に関する研究の成果が早くも1950年（昭和25年）代のこの時期に花を咲かせた。木下・乾等による船の造波及び造波抵抗に及ぼす浅水影響と側壁影響に関する一連の研究[10]とともに乾の流線追跡法による船型条件と造波抵抗理論の新展開[11]があった。前者は木下一門勢揃いという感じで、船体だけでなく推進器、平面翼、推進性能、伴流にまで及び、あらゆる浅水・制限水路影響を網羅し尽くしており、これ以上やりようがないと言える程である。後者は、乾の斬新なアイデアに基づき、船体を表す特異点（吹出し）分布を船体中心線面上に分布させた時、流量ゼロの流線（3次元では流面）が水面に出来る波の影響を無視すれば、閉じた流線形を形造ることに着目して、その吹出し分布を出発点とし、船型は流線追跡法で求め、造波抵抗はケルヴィン・ソースに関するハヴロックの理論を適用するという、全く新しい理論的方法を開発した。この乾の新理論は世界の船舶流体力学界に衝撃波的影響を与え、特に斯学の泰斗であるドイツのヴァインブルムの絶賛するところとなってその波紋を更に拡げ、後年大型船首バルブの大流行を巻き起こす源泉になる。因みに、流線追跡法で求めた流線形体をヴァインブルムは「Inuid」（イヌイドと読む）と命名して乾の名を不滅のものにした。図1.1.1にInuid船型第1号S　101他、Sシリーズ4隻の線図を示す。

もう一方で、造波理論を応用して成功したのが、丸尾の滑走体理論[12]であり、それまで経験工学であった高速艇の分野に理論的手法という一条の光明を与えた。その頃九州では、船体表面上の圧力は船の造波により変わることに着目して船体抵抗と圧力分布との関係を解明したユニークな研究が神中によって行われた[13]。

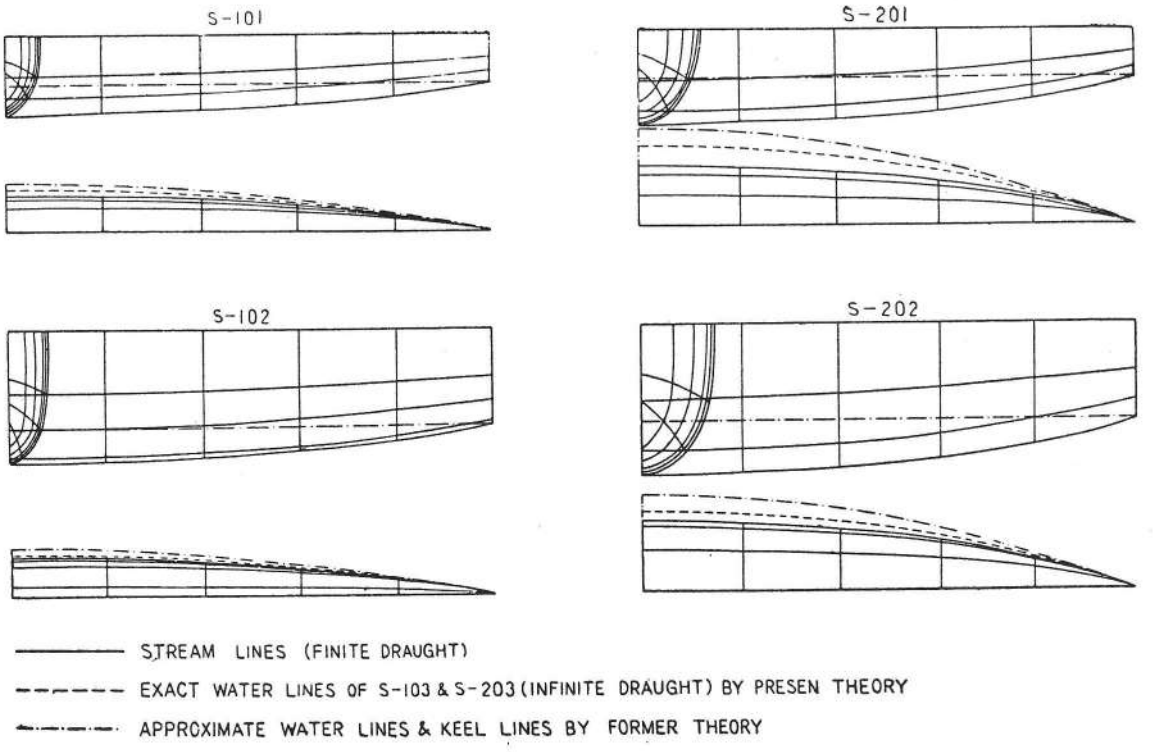


図1.1.1　Inuid船型第1号Sシリーズ

この時期の推進性能分野で注目すべき研究として、谷口の模型／実船相関の問題を扱った研究[14]がある。谷口は、英国流の実船の軸馬力とプロペラ回転数に修正を施す相関法に疑問を呈し、むしろ、船体表面の粗度影響を考慮した実船摩擦抵抗算定を適切に行うべきであると提唱した。これが後の「ΔC_F相関法」に継がったのである。当時、鋲接船から溶接船へ移行する時期と重なって表面粗度の影響に関する論議がやかましかったが、本格的に摩擦抵抗に及ぼす影響を論じた研究論文は、この谷口論文の他には、笹島らの論文[15]が見られるだけである。

1.1.2　波無し船型の登場

1952年（昭和27年）にサンフランシスコ条約が発効して、独立国となった日本を待っていたのは激動する国際情勢と経済戦争であった。1954年の造船疑獄で大火傷を負った造船界は、体力の回復を待つ間もなく国際社会の荒波に乗り出さなければならなかった。それは輸出船に活路を拓こうとする日本造船業界の宿命であった。日本が独立を果たして国際社会に船出した1952年に、アメリカでは、USL社の客船「ユナイテッド・ステーツ」が大西洋航路の処女航海で史上最高の平均速力35.5ノットの

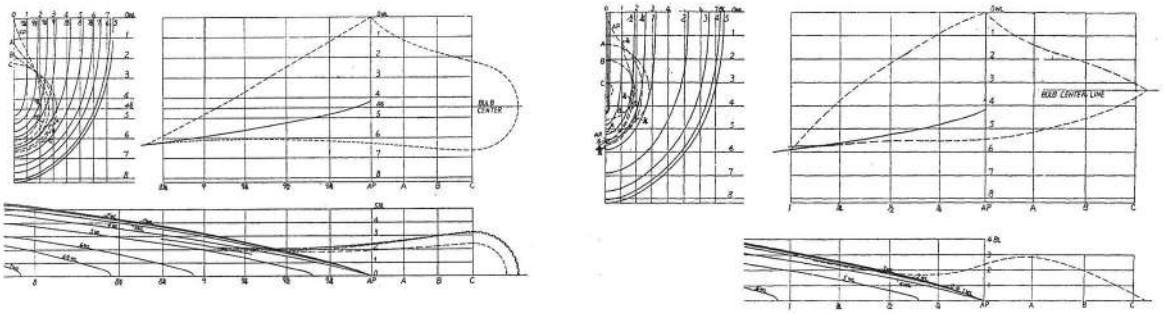


図1.1.2　波無し船型C201F2XA4の線図

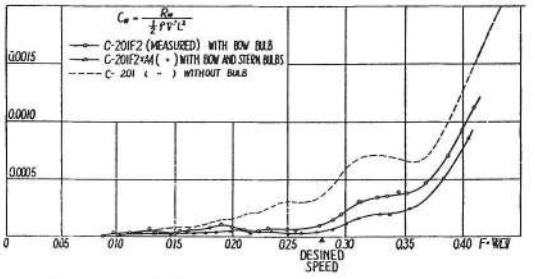


図1.1.3　波無し船型の造波抵抗係数曲線

記録を樹立してブルーリボン（ヘイルズ杯）を獲得した。この記録は1990年（平成2年）にオーストラリアの双胴高速船「シーキャット」に破られるまで、38年間不滅の記録として燦然と輝いていた。

この時期を年表で概観すると、米ソ両大国冷戦の時代並びに宇宙開発競争幕開けの時代であったことが分かる。そして、日本の造船が世界一になって、急成長を始めたのもこの時代で、旅客輸送が船から飛行機にバトンタッチしたのもこの時代であった。世界は目まぐるしく変化していった。

水関係の造船技術の面でもこの時代激動があった。それが表題に掲げた波無し船型の登場である。戦後に起こった造波抵抗理論の発展とその応用は、この時期に至って頂点に達する。その頂点は二つあり、一つが乾らによって達成された大型船首バルブ及び船尾バルブによる波無し船型（Waveless船型）、もう一つが丸尾と別所という二人の世界的学者によって発見された極小造波抵抗の船型（波の極く少い船型）である。

乾とその共同研究者は[16]、船首バルブを球と見做せると考えたとき、球の造る波は船の船首に出来る波と逆位相（山と谷が逆に現れる事を意味する）になっていることに着目して、船体の造る波は丁度船首に山が来るので、この処に谷から始まる球の波を重ね合わせれば、両者はお互いに打ち消し合って波が消え、波無しの状態が実現すると考えた。これを造波干渉という。そして、船首バルブの造る波が球の波と一致することを模型船の水槽試験により理論的及び実験的に証明した。次に、高幣及び熊野は、この造波干渉を最も効果的に起こさせるには、船の造波の起点を船首と船尾に集中させるのが最良であり、それに最も適した船型はInuidであることを利用して、最良の「波無し船首（Waveless Bow）」を造り出し、同じ原理を船尾の波に適用して「波無し船尾（Waveless Stern）」を生み出した。世界初の波無し船型C201F2XA4の線図を図1.1.2に、その模型試験による造波抵抗係数曲線を図1.1.3に示す。

こうして水槽試験で波無し船型の存在を立証した乾らは、いよいよ、実用船型でも船首バルブによって船首に波の立たない船が出来ることを立証する研究に取りかかった。実証対象に選ばれた船は関西汽船の神戸～別府航路の高速客船「くれない丸」であった。当時別府航路は、新婚旅行・観光旅行の人気が高く、世間の注目をひくには格好であった。まず模型船の水槽試験で幾つものバルブを交換して最適のバルブを選び出し、その効果を確認し、実船実験へと進んだ[17]。「くれない丸」のホームグラウンドである瀬戸内海で、姉妹船の「むらさき丸」と並走する「くれない丸」の船首まわりにはわずかの白波が立つだけで、後に伝播する曳き波も、「むらさき丸」の船首から連なる波にくらべて圧倒的に小さかった。その航空写真を図1.1.4に示す。その航空写真での波紋撮影と同時に、船中では軸馬力と船速との関係が計測され、バルブ無しの時のデータに比較して、大きな馬力低減効果が確認された。他方、乾の指導により、横山が波なしバルブは漁船でも効果があることを示し、護衛艦のような高速船型にも適用して効果があることを竹沢が実験的に証明した。更に、池畑・梶谷は波無し船型の実用化研究を行い、実際に高速ライナー、青函連絡船の船型計画例を示した。以上の波無し船型に関する一連の研究成果を総括した論文を米国造船造機学会に発表し、世界の造船界にセンセーションを巻き起こした[18]。これ以後、大型船首バルブは「乾バルブ」とも呼ばれ、世界中の殆どの船に採用されるようになった。

もう一方の極小造波抵抗の船型は、理論的に極小造波抵抗の条件を満足する船型を表す汎関数に関する積分方程式の解を変分法により求めた横切面積曲線を有する理論船型であり、水槽における模型試験でその効果が示された[19]。この結果は、フルード数に対する最適の柱形係数と横切面積曲線の図表で与えられ、極めて実用性が高いことから、この極小造波抵抗の横切面積曲線を有する船型を船型計画に取り入れる造船所が多くなり、その後建造される船の抵抗性能の改善に大いに貢献した。

造波抵抗理論の学問的進歩をみると、1954年（昭和29年）に発表された球の造波抵抗に関する別所の研究[20]は、線形自由表面条件の下に、水面下を直進する球のまわりの流体運動の問題について、調和関数展開法を用いて厳密解を導き出したもので、学問的にはこれ迄世界の誰も成し得なかった快挙であると言えよう。この別所の解は、後にブラール（Brard）がノイマン・ケルビン問題と名付けた問題の厳密解である。同様の考え方を適用して、別所は3次元没水体の解を求め、造波抵抗の2次近似を計算

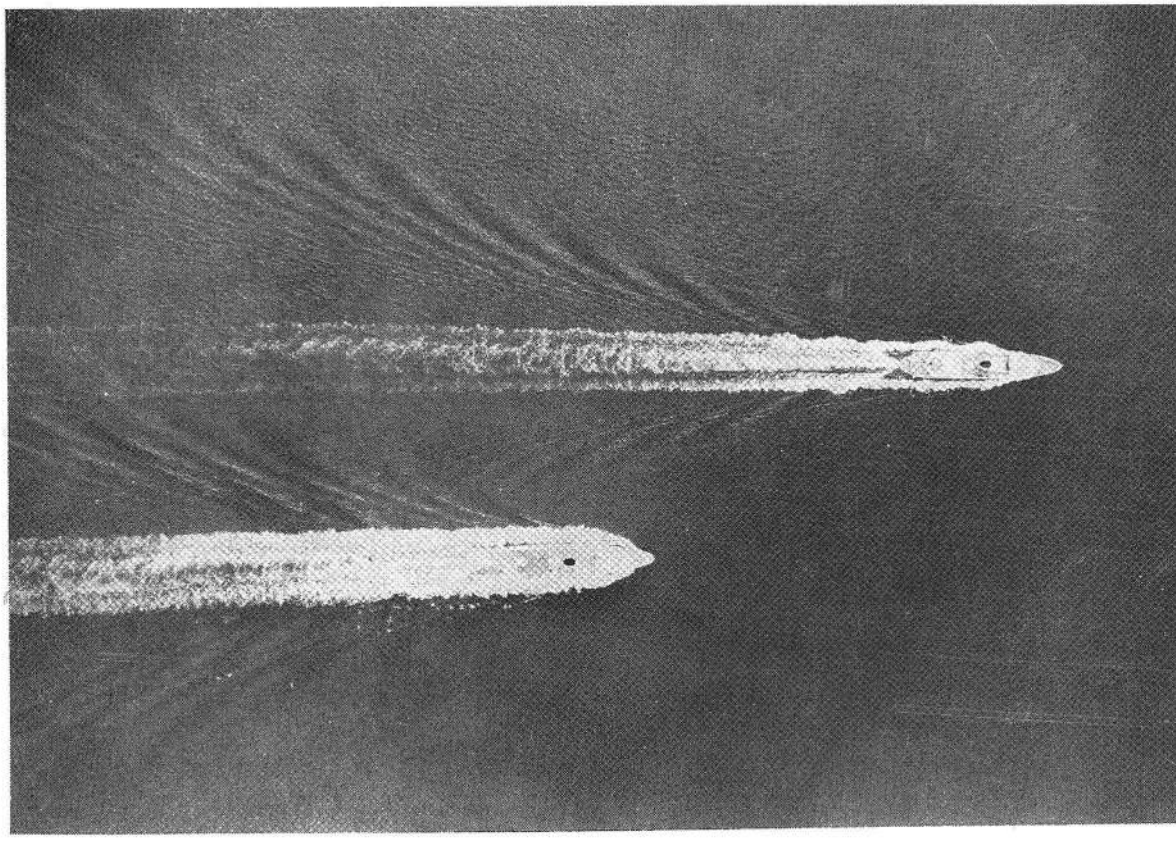


図1.1.4 「くれない丸」と「むらさき丸」の波数の比較

し実験と比較し、更に2次元没水円筒について、水面に造る波の2次近似を計算して有限波高影響を明らかにし、水上船についても物体表面条件に及ぼす造波の影響、並びに、物体と水面との交線（水線）に関する線積分の影響について世界で初めて考察を加えた[21]。

丸尾は水面下を運動する物体に働く流体力に関する理論を展開し、続いて、波浪中の抵抗増加に関する丸尾の公式として有名になる理論を発表した[22]。また花岡は薄い船の造波及造波抵抗について、加速度ポテンシャルという概念を導入して従来と違う観点から考察し、ミッチェルの造波抵抗公式とハヴロックのそれとが変数変換で一致することや船体境界条件が薄翼理論の積分方程式に類似の積分方程式で表されること、並びに非定常船体運動理論の基礎となる非定常造波理論などを発表して、後世の研究に大きな影響を与えた[23]。丸尾はさらに、幅も吃水も長さに比べて同程度に小さいと見做せる船の造波抵抗について線型理論を展開し、テイラーが彼の有名なテキストで提唱した「船の造波抵抗を支配する第1因子は横切面積曲線、すなわち、排水量の前後方向分布であり、第2因子は船首における水線入角（エントランス・アングル）である」ということを理論的に証明した[24]。造波抵抗理論を応用した研究で、特殊ではあるが成果をあげたものとして、西山の水中翼に関する一連の研究と丸尾の滑走艇の研究がある。

この時期には、粘性抵抗に関する研究も盛んになる。まず、実験研究として、熱線流速計による境界層計測が手作りのセットで水槽において行われ始めた。既に風洞実験では、空気用の熱線を用いた流速計測が盛んに行われていたが、熱容量と熱伝達が格段に大きく、蒸発や溶解空気による気泡のために焼損の多い水中において、熱線流速計を何とか使えるものにした努力は高く評価される。

他方、水槽における模型実験では、層流影響の問題は避けて通れない。模型船まわりの境界層流を如何にして実船と同じ乱流境界層に近づけるかという課題は、水槽試験の基本的命題であり、早急に解決されなければならなかった。この困難な問題に果敢に挑戦したのが田古里[25]であり、その優れた実験技術と水用熱線流速計を自作した卓抜した電気的計測技術により、各種の乱流促進法の効果

を比較検討して、スタッドが最も優れた乱流促進効果があることを見い出した。その形状も従来の円柱スタッドより新しく工夫した台形断面スタッドが格段良いことを示した。この成果を実用化するため、模型船における台形断面スタッドの高さと固有抵抗の問題を綿密な実験と計測によって調べ、現在では常識となっているS.S. 9 ½の位置に台形断面スタッドを植える方法を提案した。田古里の乱流促進法の普及が水槽試験の精度の向上に果たした効果は計り知れない程大きい。

この少し前、イギリスのヒューズ(Hughes)は、フルード以来の等価平板の摩擦抵抗算定法に依存していた水槽試験関係者及び粘性抵抗研究者に、3次元物体の形状影響を考慮すべしという警告を発し、大きな衝撃を全世界に与えた。この研究に触発された研究者が、続々と形状抵抗又は形状影響係数の研究を始めた。まず、乾らは没水体で形状抵抗を測定することを試み、笹島らはヒューズの実験を解釈するためにアスペクト比の色々異なる平板の摩擦抵抗の理論研究から始め、次に、物体の横曲率の影響を調べ、続いて模型船の水槽試験から形状影響係数を決定することを試み、大型油槽船を例題にとって馬力推定に及ぼす影響を論じた[26]。更に一歩進んで、田中は境界層理論を用いて、粘性圧力抵抗と摩擦抵抗の圧力勾配影響とに形状影響を分離して論じた[27]。一方、造波が粘性抵抗に及ぼす影響という観点から形状影響を論じた研究が、田宮と波多野によって行われた。

プロペラ（推進器）に関する研究も、従来の水槽試験のみによる実験的研究だけでなく、理論的研究が行われるようになった。その先駆となったのは、花岡がダクトプロペラのダクト（当時、コルトノズルと呼んでいた）の性能解析のために展開した揚力面理論である[28]。ダクトを固定された揚力面でモデル化し、その積分方程式を数値的に解いて性能を理論的に推定する道を拓いた。プロペラについては、山崎が揚力面理論を用いて、新しいスクリュープロペラの性能解析法を発表し、中島は河田の揚力線理論を拡張して各半径位置における翼素の翼型特性を求める方法を開発し、更にその方法を応用してキャビテーション発生判定法を考案した[29]。この方法で使われる図表が有名な「中島のバケット線図」でプロペラ設計者に今でも広く使用されている。他方、プロペラ設計図表として世界的にその名も高いAU型及MAU型プロペラシリーズが矢崎らにより開発され[30]、日本をはじめ世界のプロペラ設計者に利用される基礎を築いた。大型コンピュータの利用が未だ不自由な時代に揚力面を解くことは困難であったが、中島はグロアート変換とフーリエ級数展開を用いて、比較的容易にスクリュープロペラの揚力面を解く方法を開発した。その他、谷口の翼車推進器（フォイト・シュナイダープロペラ、あるいはトロコイダルプロペラと呼ばれる）に関するユニークな研究[31]が行なわれており、その後の実用化に当たっての設計法の原理となった。

船体・プロペラ・舵の干渉問題について流体力学的アプローチが試みられた。西山の研究は、初めてこの問題を理論的に取扱ったものであり、高木はプロペラを作動円板モデルで表して、その後流速度場のメカニズムの問題並びに舵との相互干渉問題の解明に果敢に挑戦した。その他、尺度影響と実船-模型船相関の問題についての横尾や谷口の研究、形状影響係数に及ぼすトリム・シンケージの影響に関する横尾の研究、そして漁船の近代化に大きな寄与をした中村の漁船の船型に関する系統的研究がこの時代に登場している。そして、次世代を担うと期待される新しい船として、水中翼船がシュプラーマル社と日立造船から登場し、片やエアクッション船（ACV）がホバークラフトの名でデビューした時期でもある。

1.1.2　超大型タンカー（VLCC, ULCC）現わる

日本造船界が敗戦・占領の苦境から立ち直り、1956年（昭和31年）以来世界一の造船国の座に君臨し続けることができた理由の一つに、石炭から石油へのエネルギー革命を果たす石油の大量輸送という問題に、タンカー（油槽船）の大型化という方法で、世界に魁けて日本が応答したことが挙げられる。これには1967年（昭和42年）から1975年（昭和50年）まで足かけ9年続いたアラブ連合共和国によるスエズ運河封鎖という政治的事情も大きく影響している。中近東の産油国から喜望岬回りで大量の石油を運ぶために、ヨーロッパ船主は、大型タンカーの建造が可能な日本の造船所に競って発注した。また、日本の造船所は設備の拡張でこれに応え、大型タンカーの建造を一手に引き受けた。その様な中で、世界最大のタンカー「出光丸」(209, 302DWT、33000馬力、18ノット)が石川島播磨重工業横浜第2工場で竣工したのが1966年12月であった。世界初のVLCC（20万トン以上のタンカー）の誕生である。出光丸の写真を口絵に示す。

そして、30万トン以上のULCCへとその大型化は止まる所を知らない勢いであったが、1977年（昭和52年）に至って50万トンで略々限界に達するのである。スーパータンカー(3万トン以上)から始まって、マンモスタンカー(5万～10万トン)、ウルトラマンモスタンカー（10万トン以上）と呼んだが、20万トンを越えると、VLCC（20万

～30万トン)、ULCC（30万トン以上）とするしか、呼称方法がなくなった。このタンカーの大型化に伴う技術上の問題も、学界・業界一体となって解決に当たり、文字通り総力を結集して未曽有の繁栄を築いたのが、この昭和40年代（1965～1974年）である。

抵抗推進の分野では、船首形状と造波の問題から、船尾形状と粘性（境界層及び伴流）の問題へと主題が移っていった。低速肥大船型の抵抗推進性能問題は複雑難解である。その間の事情を、三菱の谷口は次のように述べている[32]。「この種の船型は超高速ライナーや艦艇の船型に比し、一見やさしいもののように思われるが、実際は逆で、造波抵抗理論の助けを直接受けられない他に、水槽試験技術上でも多くの困難な点を持っている。第1に、この種の船型では本質的にその排水量の割に抵抗が少ない（およそ1/10000の桁である）。従って水槽試験に際し、もしわずかでも加速度が残っていると、その影響は大きな誤差となって現れる。例えば重力の10万分の1の加速度が残っていても、抵抗や馬力に％の桁の誤差を生ずるのであって、いかに厳密な定速度が試験に要求されるかが分かる。第2に、この種の船型では使用する模型の大きさが不十分であると、模型の極く近くの流れの様子が実船とは全く異なってしまって、模型試験の意義がなくなる危険がある。このため、この種の船型について実用になる結果を得るためには、長さ6～7m以上の大型の模型船を使用することが必要であり、その仕上精度も非常に高い値が要求される。一方、模型の大型化にかかわらず、計測される値の絶対値は小さく、これらを高い精度で計測するためには、非常に高精度の計測装置が必要である。

更に、谷口は低速肥大船型が幅と深さの割に長さの短い、いわゆる「ズングリ船型」であるため、船尾流れの不安定性により、推進性能の著しい悪化、操縦不安定、プロペラ起振力増加にもとづく船体振動の増加やキャビテーション現象の発生等々の問題を生ずる、と指摘している。正に、この指摘どうりであって、これらの問題の解決が性能関係の技術者に課せられた。世界一になって先頭を歩む日本の造船界が自分自身で克服しなければならない試練であった。

このような状況の中で生まれたのが、実船のプロペラ面内の伴流分布を、模型船で計測した伴流分布から推定する笹島・田中の方法であった。この方法が東京で開かれた第11回国際試験水槽会議（ITTC）で発表されるや否や[33]、一大センセーションを巻き起こし、あっと言う間に世界中に広まった。この方法は伴流をポテンシャル伴流と粘性伴流に分離し、粘性伴流分布の幅を船体粘性抵抗係数の比で縮めて、ポテンシャル伴流分布に加算するというやり方である。最初発表された時には、ポテンシャル伴流分布を求める方法として、模型船の後進試験が必要という煩雑さがあったが、電算機の発達により、Hess & Smithの方法でポテンシャル伴流分布を計算する方法が可能になって、計算も簡便になった。また、キャビテーション試験での不均一流場は、この方法で求めた実船流場をワイヤー・メッシュ・スクリーンで再現するやり方が普及して飛躍的に進歩し、実用性が高まった。

これに続く大きな出来事は、馬場による砕波抵抗の発見である。馬場は1969年（昭和44年）2つの重要な論文を発表した[34]。この論文によると、肥大船の船首はブラントなので、船首波の波頂は崩れて運動量損失を発生し、速度欠損のある伴流となって船側に沿って流れて船尾後方の水面付近の流場に至り、船体周囲境界層から連なる船尾伴流の外側に別の伴流の小山となって現れる事を発見し、この運動量損失にもとづく抵抗を砕波抵抗（wave breaking resistance）と名付けた。そして、この抵抗は、馬場が新たに展開した抵抗成分分離の理論によると、造波抵抗にも粘性抵抗にも入らない第3の抵抗成分とすべきであるが、Wake Survey法によればピトー管の総圧損失として検出されるので、粘性抵抗の中に含まれることになり、波形解析で求めた波形造波抵抗と合算した全抵抗には含まれると指摘している。この砕波抵抗は船首で発生することから船首形状の研究が肥大船でも注目を浴びることになった。

三菱長崎水槽では、砕波抵抗の発見の3年前に、低速肥大船の船型設計に当たって、船首エントランス部と船尾ラン部とに分け、前者は造波の少ない船型、後者は推進性能上優れた形状にすれば、両者の相互干渉は無視しても良いという船型可分原理が成立することを示し、この原理による新しい設計法を発表して、他社に一歩先んじた[35]。更に、三菱長崎水槽の渡辺は、船尾の肥大化が限界を超えると自航試験に不安定な諸現象が現れることを発見した[36]。それは、自航要素のうち、有効伴流係数に顕著に現れて、二つの値に分かれるという結果になること、その時のプロペラ前方の流れに二種のタイプがあって、フリップフロップ的に流れが変わること、船尾に横方向の流体力が働くこと、舵効きが悪化し針路不安定になる現象と関係があることを見出した。

肥大船の形状抵抗を理論的に計算するのは、まだこの時期の3次元境界層理論では無理な状況であった。そこで別所は、神中の発表した流線計算の簡便法[37]を発展させて、船体表面上の流線と2次流れをポテンシャル流理

論で求める方法を考案し、肋骨線に沿う2次流れのエネルギーの総和が形状抵抗と強い相関関係があることを示して、理論計算による形状抵抗の推定の問題に突破口を開いた[38]。

造波理論及び造波抵抗理論も新展開を見せた。まず、理論面では、水上船に関して船体条件の2次近似が、池畑[39]並びに梶谷[40]によって初めて計算された。造波のない無限流体中なら船体を表わす特異点分布は前が吹出し（＋）で後かつ吸込み（－）の丁度反対称分布になるのに、造波の影響を考慮すると船体を表す吹出し分布は前後反対称にはならず、後半部の吸込みが前半部の吹出しより小さくなること、逆に前後反対称の吹出し吸込分布を与えて造波の影響を入れた流線追跡法により船型を計算すると、閉じた流線形にならないことが明らかにされた。造波抵抗の少ない船型の追求も続けられ、別所は全然波を発生しない特異点分布（波無し分布）を発見し、これを応用すると造波抵抗を変えないで船型を変形することが可能となり、その解は唯一ではなく無数に存在することを示した[41]。丸尾と石井は極小造波抵抗船型を与える半没水船理論を発表した[42]。この理論は、ランキン・オボイドを没水部とし、水面貫通部を形成する長いストラットとの間の造波干渉により、波消し条件を実現するもので、その実用性が注目を集めた。

造波抵抗関係で最も大きな影響を後世まで及ぼしたのは、この時代に著しい発達を遂げた波形解析の技術である。乾が船の抵抗性能を知るにはその造波を観察する重要性を強く提唱し、ステレオ写真技術を応用して波紋図を作成して以来、米国のPien, Newman, Wardやドイツの Eggers, Sharma らが、模型船の波を計測、解析し、スペクトラムや造波抵抗を算定する波形解析の方法を種々提案した。池畑らは、Newman及びSharmaが提案したいわゆる「縦切法」を取り上げて、試験水槽で実用するための諸問題、特に模型船航路と波高計との距離の問題と打ち切り修正の問題について、実験的・理論的に研究して実用化の道を拓いた[43]。

今一つ重要な発見が田古里らによってなされた。それは船尾ビルジ渦の発見である[44]。それまでは、船尾境界層流の剥離と渦の形成について諸説紛々で混沌としていたが、田古里らは流れの可視化技術を駆使し、船尾流れはビルジを回るところで大きな曲率に追随できずに3次元的に剥離し、巻き上がって渦を作ると、その下流でも次々に同様な渦が作られて、それらが連続して遂に進行方向に平行な軸をもつ縦渦が形成されることを、実験的に明らかにした。これを「ビルジ渦」と田古里らは名付けた。今では常識になっているが、船舶流体力学上の発見の中でも5指に入る画期的な発見であった。

プロペラ理論では、揚力面理論が実用になる時代となった。菅井は、船用プロペラの定常特性解析法を、花岡の揚力面理論を基に展開し、単独特性はもとより、翼面圧力分布までも理論的に計算する方法を開発した[45]。推進性能理論でも、中武が船体とプロペラを流力モデルで表現して、コンピュータ上のシミュレーション計算で自航性能を求めることに成功して、実船スケールのシミュレーション結果から自航要素の尺度影響について初めて論じた[46]。

民間会社で試験水槽を持っていたのが、唯一、三菱長崎だったが、1967年（昭和42年）に至って、石川島播磨重工業が横浜地区に長さ100m、幅10m、水深5mの試験水槽を建設し、最新鋭の計測装置を備えた民間水槽として稼働を開始した[47]。そして1970年（昭和45年）には長さを200mに延長した。

その直前の1965年（昭和40年）、遂に日本一の大水槽が船舶技術研究所三鷹地区に完成した[48]。長さ400m、幅18m、水深8m、曳引車最高速度15m/sという世界のトップクラスの水槽であり、造船日本の象徴となった。この大水槽の写真を図1.1.5に示す。

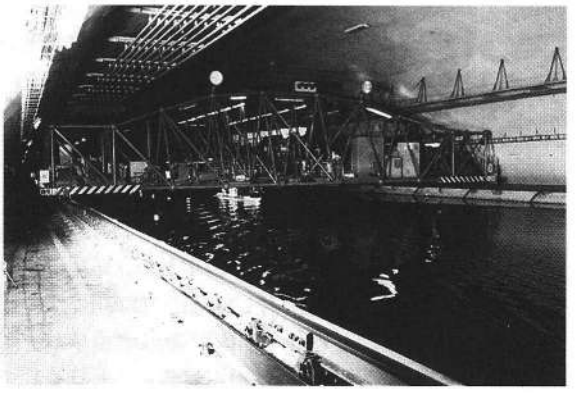


図1.1.5　400m水槽（運輸省船舶技術研究所）

参考文献

1) 日本造船学会：日本造船学会資料、第4版（1995）
2) 寺谷武明：造船業の復興と発展、日本経済評論社（1993）
3) 中川敬一郎：戦後日本の海運と造船、日本経済評論社（1992）
4) 脇村義太郎／山縣昌夫監修：近代日本海事年表、東洋経済新報社（1991）
5) 谷口中：造船誌、第489号（1970）

6) 船研：船研報、第6巻、第4号（1969）
7) 試験水槽委員会：造雑纂、第289号（1951）
8) 菅四郎：造協論、第92号（1957）
9) 志波久光：造協論、第97号（1955）
10) 木下昌雄他：造会報、第73号（1951）他9篇
11) 乾崇夫：造協論、第85号（1952）、第93号（1953）、第102号（1958）
12) 丸尾孟：造会報、第79号（1947）、第81号（1949）、造協論、第86号（1953）
13) 神中龍雄：造協論、第84号（1952）
14) 谷口中：造協論、第85号（1952）
15) 笹島秀雄：関船誌、第72号（1954）、造協論、第95号（1954）
16) 乾崇夫他：造協論、第108号（1960）、第109号（1961）、第110号（1961）
17) 乾崇夫他：造協論、第110号（1961）
18) 乾崇夫：Trans. of SNAME, Vol. 70（1962）
19) 丸尾孟他：造協論、第114号（1963）
20) 別所正利：造協論、第94号（1954）
21) 別所正利：造協論、第99号（1956）、第100号（1957）、第105号（1959）、第106号（1960）
22) 丸尾孟：造協論、第97号（1955）、第100号（1957）、第101号（1957）、第108号（1960）
23) 花岡達郎：造協論、第89号（1956）他7篇
24) 丸尾孟：造協論、第112号（1962）
25) 田古里哲夫：造協論、第109号（1961）、第110号（1961）、第111号（1962）
26) 笹島秀雄他：造協論、第101号（1957）、第102号（1958）、第103号（1958）
27) 田中一朗：造協論、第113号（1963）、第114号（1963）
28) 花岡達郎：造協論、第85号（1952）、第86号（1953）
29) 中島康吉：造協論、第92号（1957）
30) 矢崎敦生：運研報、第11巻、第7号（1961）
31) 谷口中：造会報、第74号（1952）、造協論、第88号（1955）
32) 谷口中：造船誌、第490号（1970）
33) 笹島秀雄他：Proc. of 11th ITTC（1966）
34) 馬場栄一：造船論、第125号（1969）
35) 谷口中他：造協論、第120号（1966）
36) 渡辺恭二：造船論、第126号（1969）
37) 神中龍雄：造協論、第118号（1965）
38) 別所正利：造協論、第122号（1967）
39) 池畑光尚：造協論、第117号（1965）
40) 梶谷尚：造協論、第118号（1965）
41) 別所正利他：造協論、第116号（1964）
42) 丸尾孟他：造協論、第116号（1964）、造船論、第123号（1968）
43) 池畑光尚他：造協論、第121号（1967）、造船論、第124号（1968）、第125号（1969）
44) 田古里哲夫他：造船論、第123号（1968）
45) 菅井和夫：造船論、第128号（1970）
46) 中武一明：造船論、第125号（1969）
47) 寺尾貞一他：造協論、第121号（1967）
48) 横尾幸一他：造船論、第124号（1968）、船研報、第6巻、第4号（1969）

1.2 運動性能

1.2.1 耐航性

(1) 研究概要

船舶の波浪中の性能を総称する耐航性（Seagoingまたは Seakeeping Quality）という概念が出現したのは、第2次大戦後のこの時代である。それを代表するのは、1つは不規則波とそれによる船体応答を確率論的に解析して規則波中の性能を実海域における性能に換算する手法、即ち、スペクトル解析および「線形重ね合わせ理論」（不規則波を無数の周期の異なる規則波の合成と考え、船の運動もそれぞれの規則波に対する応答の重ね合わせで表すことが出来るという理論）の導入である。もう1つは任意の方向から来る規則波の中における船体運動を船型のパラメータを用いて理論的に推定するために考案された「ストリップ法」（船体の横断面が運動するときにまわりの流体から受ける力を2次元的に求め、それを船全体に足し合わせて船体全体が受ける流体力とするという理論）である。

これらの技術は、計算機の急速な発達に支えられ、今日、船舶の設計技術や運航技術に広く応用されるところとなっているが、それらの基礎が築かれた時代であった。

前者については St.Denis-Pierson が1953年に後者については Korvin-Kroukovsky が1955年に何れも米国において端緒を開いたものである。わが国では、前者に関しては、山内がほぼ同時期に不規則時系列解析の理論を実船実験の解析に応用し、さらに解析法を多入力の場合や非線形現象の取扱い等に発展させるとともに、水槽実験技術としても不規則斜め波中の実験法を開拓した[1)]。

後者に関しては、渡辺が斜航する物体に対する流体力の理論を応用して、縦波中を前進する船体の縦揺れと上

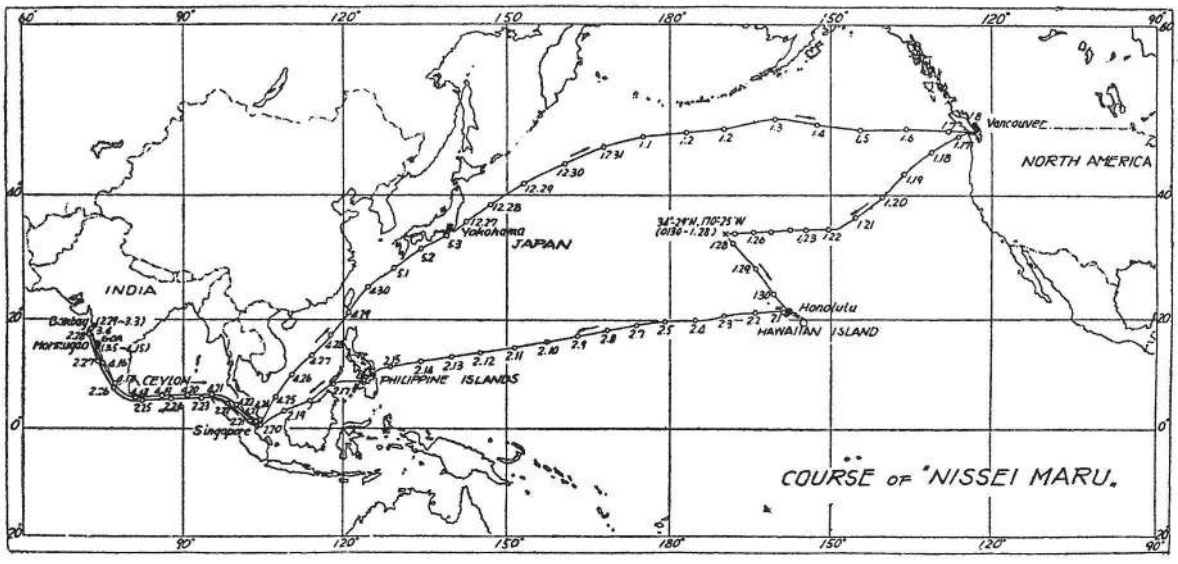


図1.2.1　日聖丸の実験航路図[7]

下揺れ運動を計算するストリップ法の実用化に道を拓き[2]、これに田才による2次元ルイスフォームで船体断面を近似して付加質量や造波減衰力を求める理論（Ursell-田才法[3]）が組み合わされ、いわゆるOSM（Ordinary Strip Method）と呼ばれる実用計算法が確立された。その後、高木と田才などにより改良されたNSM（New Strip Method）となり、横運動（船首揺れ、左右揺れ、横揺れの連成運動）の計算法に発展していった。

これらの実用計算に先だって、大戦後いち早く花岡、丸尾などによる波浪中船体運動理論が華々しく展開した。花岡は薄幅船（thin ship）に対する非定常造波抵抗理論[4]によりHaskind-Hanaoka-Neumanの関係と呼ばれる、波強制力と造波減衰力の間の関係や、Haskind-Hanaokaの関係と呼ばれる、動揺流体力の対称性に関する原理を発見し、船体運動の研究発展に寄与した。丸尾は、波浪中の抵抗増加に関するそれまでの理論を統一する公式を導き、不規則波中の抵抗増加の式も与え、抵抗増加の理論計算の道を拓いた[5]。

水槽実験技術においても、海外で相次いで誕生した米海軍テイラー水槽やオランダNSMB水槽にならい、わが国でも「角型水槽」といわれる運動性能（耐航・操縦）専用の試験水槽（長さ80m、幅80m、深さ4.5m、造波装置付き）が運輸技術研究所に造営された[6]。それまで波浪中の性能といえば、抵抗試験水槽における横波中停船時の横揺れ運動やその安定性、正面向かい波中の縦揺れ・上下揺れとそれによる波浪荷重や馬力増加の研究に限られていた。この新角型水槽の出現により、波浪中をあらゆる角度で航走する船体の応答（斜波中の運動）の研究が可能となり、トータルに波浪中性能を捉える技術に道を拓いた。

このような耐航性研究の発展と表裏一体をなしているこの時代における造船技術上のエポックメーキングな出来事としては次のようなものが挙げられる。即ち

イ.「日聖丸」による実船実験とその後の実船実験、

ロ.「洞爺丸」海難と船舶復原性規則の導入、

ハ. 原子力商船やコンテナ船等の新しい船種の出現

などで、これらに関係する研究は国家的規模のプロジェクトとして、新設の日本造船研究協会等により、産・官・学の協力体制のもとに実施され、耐航性研究が推進された。

(2) 実船実験

この時代の耐航性研究は実船による航海性能試験と前記の波浪中船体運動理論の研究によって、幕が上げられたと言えよう。

先ず第2次大戦後の荒廃した社会情勢の中にあって、いち早く、わが国の造船技術界（本学会試験水槽委員会が担当）は新造貨物船「日聖丸」（日産汽船所属、6,928GT）による太平洋横断の実船実験を計画し、1951年（昭和26年）から1952年にわたり、129日間の処女航海の計測をおこなった。実験に乗船したのは、菅（団長）、畑、木下、谷口、埴田、乾、山内、元良、岡田、伊藤の10名のメン

バーである。実験の内容は平水中及び波浪中の馬力等推進性能に重点がおかれたが、波浪観測、船速、軸馬力、船体動揺、応力等がそれぞれ工夫を凝らした計測装置により、1回3分間の記録が154回にわたり採取された。解析においては主として各種現象の平均値の関係が求められた。また、各種海象の中で通増速力実験なども随時行ない、水槽試験との相関を確認した[7]。

実船試験後に、多くの研究機関、大学において同船の模型による水槽実験や風洞試験が共同研究（日本造船研究協会のSR1）として実施され、耐航性の研究の端緒を開くことにもつながったという意味でも、意義深い実船実験であった。図1.2.1に「日聖丸」の航路図を示す。

「日聖丸」の実験のほかにも、船体運動、馬力増加、船体強度、海象把握のため、実船実験が多くの機関により推進され連綿として続けられた。運輸技術研究所による青函鉄道連絡船によるシーマージンの実験（1952－1954年）やニューヨーク定期貨物船による耐航性実験（1960－1965年）、あるいは原子力商船研究開発の一環として行われた、船体の受ける加速度の長期実船計測（貨物船・タンカーの実験航海）などがある。後述の復原性規則のための研究では、波浪とそれによる横揺れの計測が巡視船等を利用して実施された（SR17）[8]。

計測・解析技術に関しては、実験の都度、臨時に船内に計器を持ち込み、配線を張りまわし、計測員が数人乗り組みペンまたはオッシログラフに記録し、解析は下船後数カ月をかけて行うという労力のかかるものから、計測記録器の進歩、時系列解析理論の進展につれて、次第に船上での自動計測・オンライン解析の方向に発展していった。

波浪の観測は実船実験において未だに完全な手段が得られていない、造船技術にとっての永遠の課題である。山内の考案になる船載式波浪計が、運輸省航海訓練所練習船「青雲丸」（実験船として各種計測システムが建造時に装備された）の船首波浪計として装備された（1969年、昭和44年）。そして実験的な使用実績を経て、現在多く利用されている船首波高計（電磁波利用）として発展している。

これらの実船実験を通じて、耐航性の造船研究者が荒海に揉まれる船舶の運航実態を体験することが、その研究にとって大切なことである、という認識が醸成され、次の時代に引き継がれていった。

船舶設計に利用される波浪の情報としては、第2次大戦までは、船長に等しい波長を持ち、波高がその1/20であるような規則的なトロコイド波を仮定し、それによって船体に働く縦曲げモーメントを強度設計の基準としていた。大戦中に開発された波浪予報技術（連合国のノルマンディ上陸作戦に利用されたことで有名）で、不規則波を有義波高と平均波周期で代表させる概念が生まれた。さらに不規則波をエネルギ・スペクトルによって周波数毎の要素波の合成と見る理論が確立されるに至って、船体運動の周波数応答関数の理論的推定法の開発と相まって、応答の大きさを確率論的に決定することが行われるようになった。この理論を設計に使用するため、世界共通のスペクトル型を決める必要が生じ、国際試験水槽会議（ITTC）や国際船体・構造会議（ISSC）において標準スペクトル式を相次いで定めた（Pierson-Moskowitzのスペクトル、JONSWAPスペクトル、光易の方向スペクトル等）。

わが国の造船・海運と関連が深い北太平洋の波浪データに関しては、ISSCの作業の一環として、山内らが一般船舶による気象通報データを解析し、統計図表を作成した（SR80）。これは1966年（昭和41年）の国際満載喫水線条約改訂に当たって、航行海域の季節帯を定めるのにも活用された。世界の代表海域については、Hogben-Lambの統計（1967年）があり、北大西洋についてはWaldenの統計（1964年）があり、後者は波浪荷重の長期分布による設計値推定の福田の方法[1]などに用いられている。

(3) 船舶復原性

水に浮かぶ船舶にとって、安定性、即ち復原性は最も基本的な性能の1つである。しかし、第二次大戦までは、一般商船に対しては判定基準のようなものはなかった。

戦後、米国沿岸警備隊（コーストガード）やソ連等が復原性の基準を実施するに至ったが、わが国においても運輸省が復原性規則の制定にとりかかった（1953年、昭和28年）。その最中の1954年（昭和29年）9月、台風15号による鉄道連絡船「洞爺丸」ほか4隻の連絡船の転覆海難（犠牲者1,305名、「タイタニック号」に次ぐ世界第2番目の大海難事故）や旅客船「南海丸」の沈没海難などが相次ぎ、復原性規則の制定が一層加速された。「洞爺丸」海難は、車両甲板後部開口からの海水打ち込みによる復原力喪失、機関停止漂流、海底への触底による転覆などの現象が加藤他による模型実験によって確認され[8]、その後の鉄道連絡船の設計改良に生かされた。

復原性基準の研究は1953～1956年にわたり行われた。検討の内容は、

イ．船体の動揺性能に関しては、動揺減衰係数、風圧

偶力、風波中における横揺れ、

ロ．風波に関しては、風及び海洋波に関する調査と観測、

であった。

平水及び沿海以上の船舶について、それぞれ成案を得、直ちに旅客船に対する復原性規則（運輸省令、第76号、1956年、1956年）

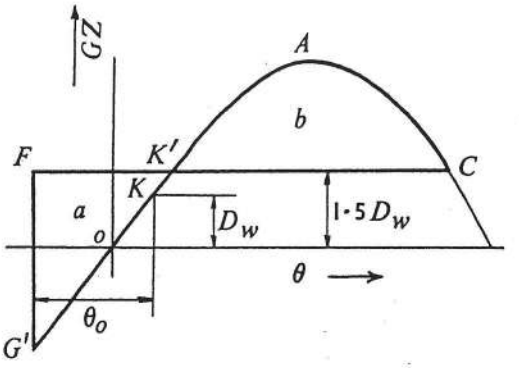
イ．甲基準：GMの値を風圧と旅客の移動で規定

ロ．乙基準：予備復原力をC係数（b/a≧1.0）規定

ハ．丙基準：GMmaxの値を経験値により規定

として実施されることとなり、今日に至っている。

研究成果は、山県により英国造船学会に発表され[9]、高い評価を得たのみならず、近年になって、国際海事機関（IMO）における貨物船の非損傷時復原性基準（A.562）の中にweather criteriaを導入する場合の基礎ともなっている。これはわが国の船舶復原性規則において乙基準と称されるもので、横風、横波中において、定常傾斜のまわりにある振幅で同調横揺れしている船体に突風が作用した場合の傾斜偶力のする仕事が復原力の位置のエネルギー（動復原力）より大きくなってはならない、という規定（C係数が1.0より大きいこと）である。



C＝b/a≧1.0

Dw：定常風圧偶力

θ_0：横揺れ振幅

1.5Dw：突風による風圧偶力

図1.2.2　船舶復原性規則・乙基準

この基準は、外力として風と波とを同時に取り入れ、船体の復原力GZ曲線をそのまま考慮し、かつ突風の影響の形で不測の危険性をも算入している。一般には「船がエンジン故障で航行の自由を失ったとき、最も条件の悪い横波を受け、同調横揺れしている場合の安定性を評価する、いわゆる横波基準である」という想定シナリオ（モデル）の下での基準として理解されている。この復原性規則が施行されて以後、わが国では復原性不足による旅客船の転覆事故は皆無であることが、この規則が上記のシナリオを越えて、より一般的な条件下でも有効であることを裏付けており、わが国の造船界の成果の一つといえる。

漁船の復原性に関しては、水産庁漁船研究室（現水産工学研究所）において土屋らによって研究が進められていたが、1965年（昭和40年）に発生した遠洋かつお釣り漁船の大量遭難事件（マリアナ海難；台風29号により7隻が遭難し、209名の犠牲者を出した）を契機として行われた共同研究や日本海難防止協会による漁船の安定性についての研究などを手始めとして、わが国の耐航性の研究の一分野としてその後も研究が連綿として続くこととなる。

(4) 原子力商船の開発研究

原子力の平和利用の一環として、原子力船の開発がいち早く注目され、わが国でも研究開発体制が順次整備されていった。耐航性に関しては、陸上炉と異なり、船載原子炉に船体動揺による加速度変動が加わること、波浪中のプロペラにかかる負荷が波浪や船体動揺により増加したり大きく変動して原子炉の出力特性に影響することの2点が問題となる。先ず運輸技術研究所では原子力商船の想定船として、貨物船やタンカーについて向い波中航走時の系統模型実験を曳航水槽において実施し、上下揺れ、縦揺れ、プロペラ・スラスト増加などの応答特性を求めた[10]。

加速度の設計値に関しては、実船（「穂高山丸」、「おれごん丸」、「もんたな丸」等）の航海を利用して自動計測を行い、船種に応じて加速度の長期統計値が決められた。これはその後、原子力第一船「むつ」の設計に採用され、波浪中模型実験により確認された。

このように、原子力商船の研究開発推進の国の政策は、耐航性の研究の発展にも大きな効果を及ぼしたといえる。

(5) その他のトピックス

この時代に、水中翼船、ホバークラフトの2つの船型が高速船として発明され、わが国にも導入された。これら船型は、水面を切る翼の揚力あるいは水面上に囲われた空気室の圧力により船体を一定の高さにもちあげて船体による造波抵抗を減らすとともに、波浪の影響を受けないようにして高速航行を可能とするものである。

他方、翼や空気室が水面にあるため、これらが波浪の

影響を受け、例えば、水中翼船では波を後ろから受けて走る場合に前翼が揚力を失い、波に船首を突っ込み翼走が出来なくなる、あるいは小さな波でも波に向かって進む場合には翼の揚力や空気室のクッションが小刻みに変動し、振動を受けて乗り心地を害する等の弱点がある。このようなことを避けて安全を保つため、これらの高速船の耐航性が研究され、運航の基準が決められた。

(6) 研究体制

学会の体制を見ると、日本造船学会には船舶の水槽試験技術や船舶流体力学に関する研究推進のため試験水槽委員会が設けられていたが、1964年（昭和39年）にその中に第1部会と第2部会が設けられ、第2部会が運動性能を専ら取り扱うようになったことも、この時代の耐航性研究の進展に寄与したといえよう。ITTCにおいても、1951年（昭和26年）に耐航性を取り扱うことが決まり、その後耐航性技術委員会が設置され、本学会からも定常的に代々の委員を出し、委員会の有力メンバーとして耐航性研究の国際交流に寄与している。

国内の研究組織では、鉄道技術研究所において鉄道連絡船研究の一環として、船舶の運動力学の研究がスタートしたが、その後、船舶試験所が運輸技術研究所に衣替えした際に、運動性能を専ら取り扱う船舶性能部（後の船舶技術研究所運動性能部）が新設（1950年）され、それに合体した。そのほか、防衛技術研究所、水産庁漁船研究室、九州大学応用力学研究所、東京大学生生産技術研究所などの有力な研究機関、あるいは戦後の学制改革により船舶・造船学科を有する大学の数が増え、いずれも運動性能の研究に力を注ぎ、耐航性研究の基礎を築いた。

参考文献

1)　日本造船学会：耐航性に関するシンポジウム（1969）
2)　渡辺恵弘：九大工学集報、31－1（1958）
3)　田才福三：造協論、第105号（1959）
4)　花岡達郎：造協論、第89号（1956）
5)　丸尾　孟：造協論、第101号（1957）
6)　志波久光：運研報、第11巻、第12号（1961）
7)　菅　四郎：造協論、第92号（1957）
8)　日本造船学会：創立60周年記念叢書、Vol.6（1960）
9)　Yamagata, M.：Trans. of RINA、Vol. 101（1959）
10)　日本造船学会：創立60周年記念叢書、Vol.8（1963）

1.2.2　操縦性

(1) 操縦運動の推定法

第2次世界大戦以前においては、船の操縦性能は旋回性能によってのみ評価されることが多かったため、旋回性能に関しては多くの研究が行われていた。しかしながら、戦後、操縦性能として旋回性能とともに針路安定性および操舵に対する追従性の重要性が次第に認識されるようになり、船の操縦性能に関する研究はこの時期に急速な発展をとげていった。

船の操縦運動を明らかにするためには、まず船の運動を表す運動方程式の表現が問題になる。戦前は、航空機の運動解析と同様な考え方に基づいて、重心の軌跡の接線方向と法線方向ならびに垂直軸まわりの回転に分けて運動方程式をたてることが多く行われていた。しかしながら、この方法では各軸方向の付加質量（見掛上付加した流体質量の効果）に基づく項を付加する必要があり、運動方程式の取り扱いが複雑になることから、現在用いられているように、船体の前後および幅方向ならびに垂直軸まわりの回転に分けて運動方程式をたてる方法が次第に用いられるようになった。この運動方程式を用いて船の操縦運動を解析する方法は、その後、「流力モデル」と「応答モデル」とそれぞれ呼ばれことになる大きな二つの流れとなって同時に発展していった。

まず、「流力モデル」と呼ばれる第一の方法は、運動方程式中に現れる各項の係数について流体力学的に詳細な検討を行い、船体に作用する流体力等を偏角（船首の方向と船速の方向がなす角）や旋回角速度の関数として表して微分方程式を解く方法である。この方法に従って船の運動を推定する場合、運動方程式中に現れる流体力係数を正確に与える必要があるため、これらの流体力係数に関連した多くの研究が行われた。まず、付加質量係数については、元良[1]によって系統的な模型試験が行われている。元良は、模型船を使って6自由度の運動に対するそれぞれの付加質量および付加慣性モーメント（見掛上付加した流体質量によるモーメントの効果）の計測を実施し、これらの値を船体主要目の関数として求めるための図表の作成を行った。この図表は、今日においても付加質量や付加慣性モーメントを求めるために広く利用されている。

船体に作用する横力およびモーメントについては、船体を縦横比の小さい矩形翼と仮定して取り扱い、定常旋回時の船体に作用する横力およびモーメントを推定する方法が井上[2,3]によって示された。井上[3]は船体流体力（船体に作用する流体力）に及ぼす偏角および旋回角速度の

非線形項の影響についても検討を行っており、流体力係数を船体主要目の関数として表す方法を示している。旋回運動時における非線形項の影響に関する研究においては、旋回運動時における舵力を精度良く推定することが不可欠であった。舵性能に関する研究は古くから行われていたが、この当時、次第に舵力の推定精度が向上し、また模型試験による舵力の計測データが蓄積されていった。抵抗推進に関連して古くから行われていた舵の単独試験とともに、拘束した船体の後方にプロペラおよび舵を取り付けて行う実験が実施されるようになったが、実船試験結果との比較より船の運動が舵に及ぼす影響が大きいことが分かってきた。そこで、藤井[4]は自航模型船を用いて旋回運動時に舵に作用する直圧力および舵トルクを計測し、船の運動が舵性能に及ぼす影響について検討を行うとともに、舵直圧力係数および舵トルク係数の近似式を示した。

操縦運動推定のためのもう一つの方法は、伝達関数（制御理論において用いられる入力と出力の比を表す関数）を導入することにより、入力である操舵に対する出力として船の操縦運動を取り扱うことによって推定を行う「応答モデル」と呼ばれる方法である。野本[5,6]は、船の操縦運動方程式より応答方程式を導き、操舵に対する操縦運動の応答特性を表す伝達関数を求めた。この伝達関数に含まれる定数K、T_1、T_2、T_3は船の操縦運動特性をよく表すことから操縦性指数と呼ばれ、特に旋回力を表す指数Kと追従安定度を表す指数T_1の二つの指数によって、実質的に船の操縦性能を表すことができる。先に述べた運動方程式を力学的に解く方法によって船の操縦運動の推定を行う際には、流体力を表す諸係数の値を各船型について決定する必要があるため、模型試験や理論計算による推定が必要となってくる。これに対して、伝達関数は自航模型試験や簡単な実船試験結果を利用して、周波数応答の手法により比較的簡単に求めることが可能であり、また船の操縦性能を定量的に把握することができるため、この応答モデルを用いた研究は急速に進展した。

(2) 操縦性試験法（模型試験）

模型船を用いた試験は古くから多く行われていたが、その多くは抵抗推進に関連した試験がほとんどであり、1950年（昭和25年）頃より徐々に操縦性に関する模型試験が行われるようになった。ここでは、自由航走模型試験（模型船に推進器を搭載して自航させる試験）と拘束模型試験（模型船を検出器に固定して流体力を測定する試験）に分けて述べる。

(a) 自由航走模型による試験法

自由航走模型船を用いた試験法は、実船と同様な操舵を与えることによって生じる船の運動を直接観測できるため、船の操縦性能を容易に把握することができ、さらに戦後の無線技術の普及により、模型船の運動を無線で誘導することが可能になったことから、一般的な試験方法として次第に自航模型を用いた試験が広まった。しかしながら、戦後間もないころには専用の水槽はまだ建造されておらず、既存の用水池や実験池を利用して試験が行われていたが、1960年（昭和35年）に運輸技術研究所に三鷹第一船舶試験水槽（角水槽）が完成し、また、その後九州大学（1961年）等にも旋回水槽が設置されるようになるにつれて、操縦性に関する自航模型試験は活発に行われるようになった。

本格的に自航模型船を用いて行われた操縦性試験は、志波ら[7,8]によるものがおそらく最初である。志波らは舵面積に関する実用的な資料の収集を目的として、方形係数C_Bが0.6、0.7、0.8の三種類の船型に対して船長船幅比L/Bを6.8、7.3、7.8の3種類に変化させた自航模型船を対象として、6種類の異なる舵面積比の舵を取り付けた場合について系統的に旋回試験を実施し、最適舵面積および船型の変化が旋回性能に及ぼす影響について検討を行った。その結果、図1.2.3に示す旋回縦距は舵面積比が大きくなるほど減少していくが、旋回横距や旋回圏については舵面積比が1/50程度より大きくなるとその変化は見られなくなることを得ている。また、C_Bおよび船幅が大きいほど旋回圏は小さくなることから、舵面積を決定する際には船型の違いによる旋回性能の差を十分考慮する必要があることを指摘している。

野本ら[5]は、周波数応答の考え方に基づいて船の運動を

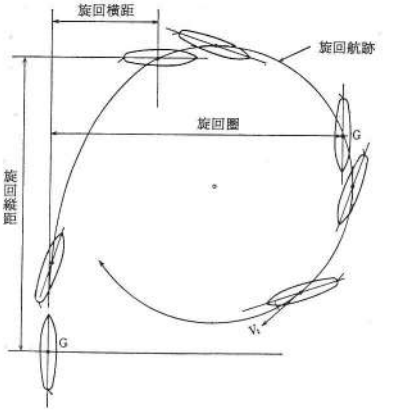


図1.2.3　旋回圏の名称
［本田啓之著、「操船通論」、成山書店より転載］

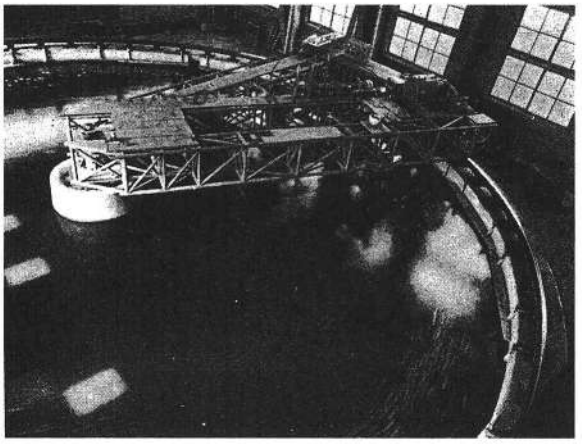


図1.2.4　旋回腕水槽（船舶技術研究所）[10]

解析するという立場から、正弦操舵等の特定の操舵を与えた場合に生じる自航模型船の運動の計測を実施し、その運動を誘起した操舵とその運動を結び付けている船の特性を表す操縦性指数K、Tの推定を行っている。ある周波数の正弦操舵によって生じた運動に含まれる周波数成分は操舵と同じ周波数成分であると考え、周期が0から無限大にわたって正弦操舵に対する応答を知ることにより、任意の操舵に対する運動を重ね合わせによって推定することができる。また、舵面積や載荷状態、船速の影響について系統的な試験から、舵面積比の増加により安定性および追従性が改善されることを示している。

(b) 拘束模型による試験法

船体に作用する流体力を偏角や旋回角速度の関数として表し、船の運動を推定する方法においては、拘束模型試験によって船体に作用する流体力の計測が有効な方法であるため、拘束模型試験も活発に実施された。

拘束模型を用いる試験法としては、まず旋回腕水槽において種々の偏角の条件の下で旋回腕に取り付けた模型船を旋回させて流体力の計測を行う旋回腕試験がある。井上[9]は、1950年（昭和25年）頃に九州大学の当時の動揺水槽に直径5mの旋回腕を設置し、長さ1mの模型船を使って船体に作用する横力およびモーメントの計測を行っている。当時、アメリカやフランスにおいては旋回水槽が設置され始めてはいたものの、まだ試験結果もあまり発表されてない時期であった。また、その後設置された直径20mの旋回腕模型船曳航装置を用いて旋回腕試験を数多く行い、流体力係数を求めるとともに、船体主要目を用いてこれらの流体力係数を推定する方法の提案も行っている。

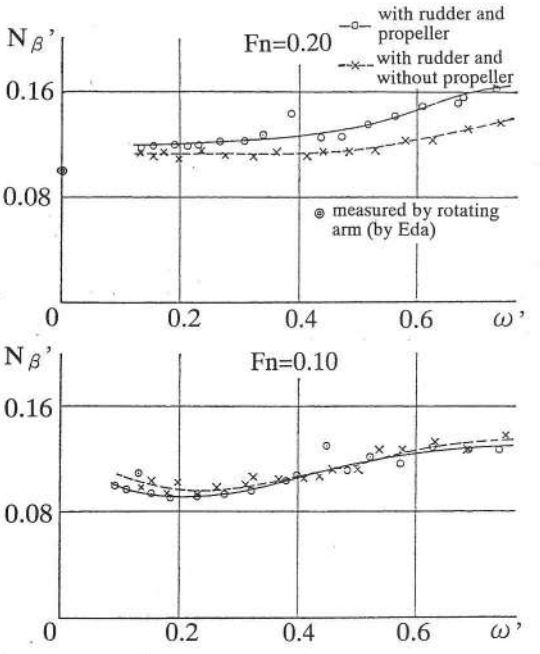


図1.2.5　流体力（回頭モーメント）係数$N_{\beta'}$に及ぼす運動の周波数ω'の影響[11]

船舶技術研究所においても、図1.2.4に示す水上飛行機の実験のために逓信省中央航空研究所が設置した旋回腕水槽（直径12m）[10]を利用して、舵や船体の模型実験が行われた。

また、拘束模型試験法としては模型船に強制的に平面運動を行わせる試験法（PMM試験法）もある。この試験法は既存の曳航水槽を利用して実施することが可能であり、また、偏角や旋回角速度に基づく定常的な流体力だけではなく、加速度に基づく流体力も計測することができる反面、計測精度に十分な注意を払う必要があるため、その試験法や試験精度に関する研究が行われた。元良ら[11]は1964年（昭和39年）に東京大学に完成した試験装置を用いて強制ヨーイング試験を実施し、流体力係数や付加質量および付加質量モーメントを求めている。図1.2.5に示す様に、試験結果を外挿して求めた周波数が0の場合の流体力係数は旋回腕試験より得られた流体力係数と良く一致しており、また低周波数領域においても強制ヨーイング試験結果は信頼できることを示している。

(3) 実船試験および尺度影響

新造船の公試運転において実施される試験の中で、この当時、操縦性能に関連した試験で必ず実施されていたものは旋回試験だけであり、図1.2.6に示すZ操縦試験や

スパイラル・逆スパイラル試験等はスケジュールの関係でほとんど行われていなかった。しかしながら、建造船舶が次第に大型化するにつれて操縦性能が重視されるようになり、1955～1965年（昭和30年～40年）頃にかけて、旋回性だけでなく針路安定性や追従性等を総合的に評価するための試験が行われるようになった。ただし、このように新たに実施されるようになった試験法については、必ずしも周知されていなかったため、その実施方法も統一性に欠けるきらいがあった。このため、当時の日本造船協会試験水槽委員会において海上試運転施行方法について検討が行われ、操縦性分科会より実船操縦性試験法の標準について報告[12]がなされた。この報告においては、旋回中試験のように一定の大舵角を長時間保って航行することは現実の操船時においてはまれであるため、特に大型肥大化した船に対しては、Z操縦試験やスパイラル試験によって操舵に対する船の運動の追従性や針路安定性の調査の重要性を示しており、旋回試験と合わせて総合的に操縦性能の評価を行うことが必要であることを指摘している。

以上のように、タンカーの大型化にともなって現れた肥大船型の船の多くは針路不安定な傾向をもっていたため、多くの船についてZ操縦試験やスパイラル試験が行われ、その解析が行われた。また、前節で述べたように自由航走模型を用いた試験も活発に行われ、その解析が進むにつれて、操縦性問題に関連して実船試験結果と模型試験結果における尺度影響について関心が集まってきた。自由航走模型試験結果と実船試験結果については、志波ら[7]によって旋回試験について比較検討が行われ、非常に良く一致することが示されていた。しかしながら、川野ら[13]がスパイラル試験における小舵角での旋回や、やはり操舵角度が小さいZ操縦試験も対象として比較検討を行った結果、大舵角での定常旋回半径については実船と模型船でよく一致するものの、直進付近のゆるやかな小舵角の操舵によって生じる運動においては、模型試験によって推定された結果と比較した場合、実船はかなり針路不安定になることが指摘された。これは、実船と模型船の摩擦抵抗の違いに基づく船体後流の差に起因する舵効きの違いが大きな原因であると考えられている。

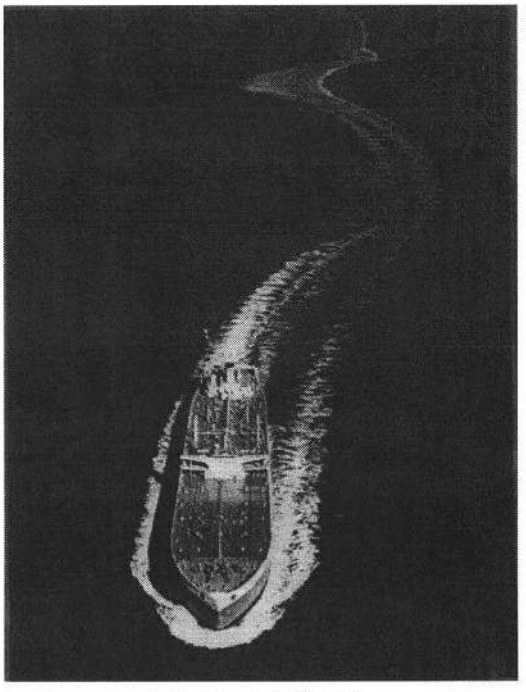


図1.2.6　Z操縦試験

参考文献

1）元良誠三：造協論、第105、106、107号（1959、1960）
2）井上正祐：造協論、第94号（1953）
3）井上正祐：西船報、第32号（1966）
4）藤井　斉他：造協論、第107、110、111号（1960、1962）
5）野本謙作他：造協論、第99号（1956）
6）野本謙作他：造協論、第109、110号（1961）
7）志波久光他：造協論、第105号（1959）
8）志波久光：造協論、第106号（1959）
9）井上正祐：西船報、第2号（1950）
10）船舶技術研究所：船舶技術研究50年（1966）
11）Motora, S. 他：造協論、第118号（1965）
12）造船協会試験水槽委員会操縦性分科会：造協誌、第442号（1966）
13）川野浩一他：造協論、第113号（1963）

第2章　強度

2.1　構造

太平洋戦争が終わって以後、わが国の社会環境は、戦後の復興、経済の発展、省エネルギー、環境保全時代と共に移り変り、一方で、造船を取り巻く技術環境は、溶接の進歩、コンピューターによる計算、計測法の進歩、更に情報化へと技術革新が進み、これらの社会及び造船技術の変化に対応して船舶は大きな変化をなしてきた。

1945年（昭和20年）から1970年（昭和45年）の間では、戦後の復興と経済の発展が社会的環境であった。戦後の復興のため、構造技術者達は力を合わせて日本の造船業を再興しようと各社の技術を交流し、お互いに切磋琢磨して技術の向上に励んだ。又造船先進国のヨーロッパ、大量生産方式の先輩である米国に教えを請い、世界のトップに立つ基礎を築いた。

やがて経済発展の時代となり大型船・高速船・専用船が造られるようになった。この時主役を演じたのが構造技術者であった。過去の技術を基に慎重に一歩一歩大型船を建造していったが、船体中央部の上甲板の同じ規格の鋼板を、入荷したミルシートを調べて、強度の高い板から順次に中央部の応力の高いところに配置したり、初めて採用した波型隔壁の水圧試験に立ち会って、自ら隔壁板に手を当てて水圧を感じとったり、「人事を盡して天命を待つ」姿勢が構造技術者に見られた。又船主の中にも造船所の設計に加えて、自分で重要と思われる部材にはエキストラを注ぎ込む「船を思う気持」がみられた。

次いで経済至上主義の世となり、更に大型の新しい構造の船を設計する際に、従来の船の設計基準を充分理解しないで、そのまま延長して用いた大胆な設計も見られるようになったが、このような場合には天罰覿面であった。設計基準は人為的なもので絶対的なものではなかった。

2.1.1　溶接

戦後の造船に於ける大きな変化の一つは鋲接から溶接への移行である。日本で最初に建造された全溶接船は、1948年8月25日播磨造船所で竣工した1,200総トンの飯野海運のタンカー「新和丸」であった。当時の電気溶接は材料の品質も悪く技術も未熟であったが、下向き溶接かせめて竪向き溶接で作業ができるような構造設計をする事によって、無事に本船は完成し、更に無事故で全生涯を終えている。日本で最初の全溶接船を完成させた技術者は「さらに溶接構造の根本的研究並びに溶接法の進歩により、全溶接船こそ実に経費の少ない信頼性の多い優秀船となることを確信する。」と言い切っている[1]。すべての溶接を下向き又は縦向きにするための設計の一例を図2.1.1に示す。

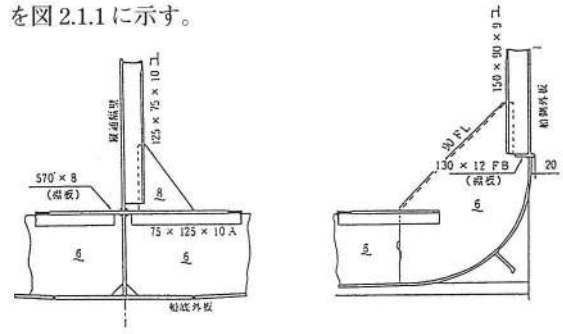


図 2.1.1　新和丸の溶接設計

その後しばらくは、溶接継手を一線に配置しないで、シフトするとか、溶接が重なる事を嫌ってスカラップをとるとかの配慮がなされていたが、段々と溶接の特性が理解されるようになり、それらの配慮は行われなくなった[2]。

舷側厚板や弯曲部外板の鋲シームは、クラックアレスターとして1960年（昭和35年）頃までは残っていたが、靱性の高いE級鋼・F級鋼が容易に入手できるようになってからは廃止された。最後まで残った弯曲部竜骨の鋲接手も弱い隅肉溶接に置き換えられて鋲接手は船舶から消えてしまった。

溶接の採用自身が船舶建造上画期的な合理化であったが、溶接採用上も種々の合理化が試みられた。直線構造とR型構造、重ね接手と突合せ接手を図2.1.2に示したが、いづれも前者は工作の容易さからの発想で、後者の方が合理的であり大型船では百トン単位の重量差が生ずる。

1950年（昭和25年）代の初めに建造された1万トン級の貨物船の中央部機関室の外板に凹損が多発した。いずれも溶接船で、鋲構造時代には見られなかったものである。調査の結果、溶接による痩せ馬のために横肋骨式外板の座屈強度が低下し、船体縦応力により座屈したことが明らかになった[3]。それからは座屈強度の高い縦肋骨式が採用されるようになったが、思わぬ溶接による落とし穴であった。

経済性追求による合理化で、1950年代から船舶は大型化してきた。1958年に建造された「Universe Apollo号」は世界最初の10万重量トンのタンカーで、片舷に上甲板に3枚と船底に5枚、それぞれ巾1.8 m、厚さ38mmの二重張が鋲接されていた。二重張を溶接で接合するのは困

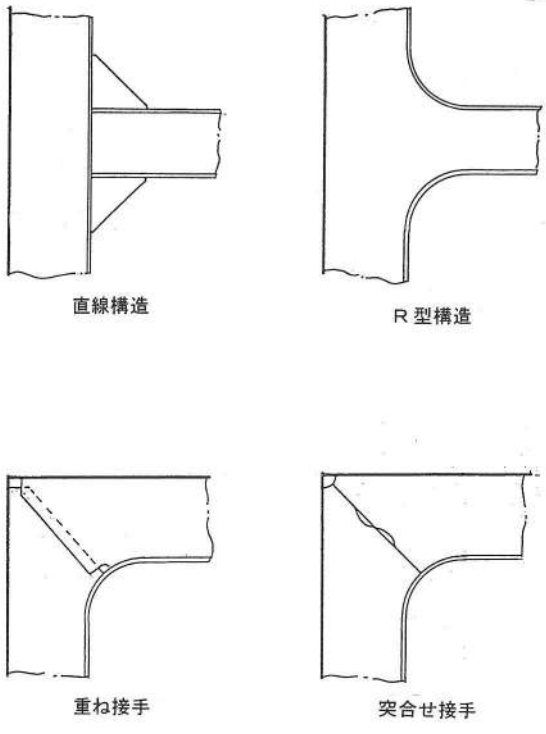


図 2.1.2　溶接設計の合理化例

難と考えられるので、二重張が残っていれば鋲接も残ったかも知れないが、大型船の縦曲げモーメントの研究の結果、二重張なしで大型船が建造できるようになった。

2.1.2　合理化

船舶の大型化・専用化・高張力鋼の使用等によって船舶の合理化が達成された。

大型船の縦強度基準値の低減、貨油艙の長大化及び広い部材心距の採用により、次々に大型船が建造された。その状況を図2.1.3に示す。一歩ずつ前船の結果をフィードバックしながら着実に大型化がなされている事がよく示されている。大型化の主役は構造技術者であった。

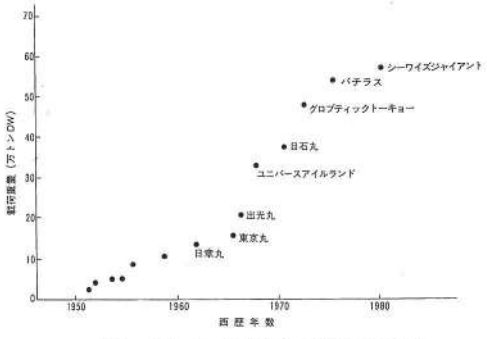


図　2.1.3　船舶の大型化の年表

1950年代には、1万8千重量トン、2万重量トンの標準型タンカーから、2万8千重量トン（飯野海運の「祐邦丸」、「高邦丸」）、3万5千重量トンのスーパータンカー、更に4万5千重量トン（飯野海運の「剛邦丸」）へと大型化が行われた。前述の「Universe Apollo号」もこの時代の船であり、マンモスタンカーと呼ばれた。

これらの船は構造配置上共通した特徴を持っていた。即ち、横桁心距は3m、タンク長さは1万8千重量トン及び2万重量トンタンカーでは9m、スーパータンカー以上になると12mが普通であった。また横方向には2列の縦通隔壁で区切られた3列タンク配置となっていた。

10万重量トンの「Universe Apollo号」の場合では、3列の縦通隔壁で区切られ、長さ12m、巾12m、深さ21mの井戸のようなセンタータンクが32個2列に並び、その両側に長さ24mのウィングタンクが並んだ配置となっていた。

1950年代の大型化の基本理念は、従来の確立された技術そのものを用いる事であった。そして1960年代に入ると、船殻構造の合理化が船殻設計の基本理念となった。その発想は「鰯も鮪も骨の数はそんなに変わらない。」が原点であった。大型船では桁・肋骨の間隔を拡げて、タンクの長さも長くするのが合理的であろうと考えた。

タンク長さを増大するために、タンク内の荷油の運動の研究がなされ、長いタンクには制水隔壁を設けることにより、長さ50mのタンクが出現するようになった。それと共に横桁心距も3mの枠を破って6m近くまで拡大された。新旧の10万重量トンタンカーの構造配置を図2.1.4に示す。

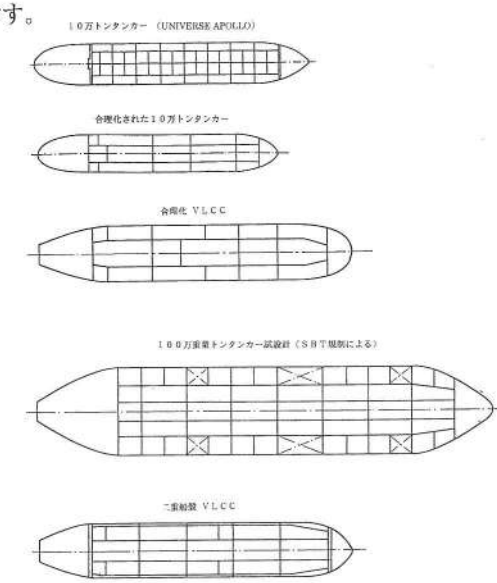


図 2.1.4　各時代のタンク配置図

縦強度の合理化は、船舶の大型化に寄与した事柄の一つであった。前述の「Universe Apollo号」のように、上甲板と船底に厚板の二重張が必要となるのでは、10万重量トン以上の船舶の建造は困難のように考えられていた。

しかし、船が大きくなっても、船の長さに等しい波長で波高が波長の1／20の波に乗せて縦強度を決めるのは、不合理ではないかとの発想から、実際に海洋に存在する波の研究がなされた。更に、波浪中の動的縦曲げモーメントの研究や、不規則波中の縦曲げモーメントの統計分布の研究等が行われた結果、大洋を航行する船舶に働く縦曲げモーメントが、長期にわたってどの様な値になるかが明らかにされた。このようにして大型船に対して新しく得られた縦強度の基準値は、従来の基準値の約75%となった。

この基準によって建造された数多くの大型船の多くは既に寿命を終えているが、縦強度部材の損傷が殆どなかったのは、この新しい基準でも尚余裕を持っている事を表している。

一方、1960年代に建造された大型船では、横強度部材の損傷が多発した。長大タンク、広い部材心距が仇となった。肋骨と桁の交点に設けられた桁の切欠き所謂スロット部にクラックと座屈が生じた。肋骨が支えた荷重がこの部分を通して桁に伝達されるが、広い部材心距により伝達される荷重が倍増したにも拘わらず、この部分の構造や桁の厚さがもとのままであったのが、その主な原因であった。更に、長大タンクのために船側外板と縦通隔壁間に相対変位が生じ、船底横桁の両端固定の設計条件が崩れたこともそれに加担した。損傷例を図2.1.5に示す。

船体に加わる主な荷重は重量と浮力で、いずれも上下方向の力である。この力に対して船体の枠組を支えているのが、船側外板・縦横隔壁の鉛直板部材である。小型船ではこの枠組がしっかりしていて、桁の両端固定条件を満足させているが、大型船において長大タンクを採用したために、この枠組の剛性が不充分となった。

船体強度を論ずる場合、従来から縦強度・横強度・捩れ強度・局部強度と区別されていたが、大型船の場合は縦強度の前に、この枠組の強度を全体強度あるいは基本強度として論ずる必要がある[4]。表2.1.1に船舶の大型化を成し遂げた技術的条件を示す。

輸送効率を向上させるために、大型化と共に船の専門化が進んだ。従来は液体を運ぶタンカーと一般貨物を運ぶ貨物船が主であったが、鉱石専用船・撒積貨物船・コンテナ船・自動車専用船・液化ガス船などが出現し、他にも種々の特殊な船が対象物を限って輸送するために建

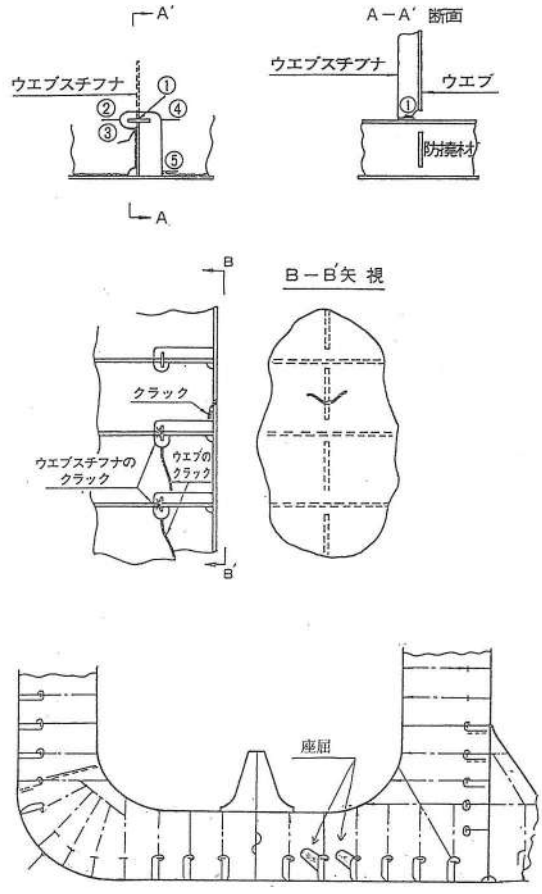


図 2.1.5　スロットの損傷例

造された。これらの船はそれぞれに構造上の問題点を持っており、設計者はそれぞれに対して研究し、解決策を適用して設計、建造及び運航されてきた。そして運航経験はフィードバックされて新造船に適用された。それぞれの専用船の断面図を図2.1.6に示す。

表 2.1.1　船舶の大型化の技術的条件

研究項目	成果	問題	解決法
脆性破壊	厚板の採用 高張力鋼の採用	材料費	材料の進歩 （TMCP鋼）
溶接構造	軽量化・大型化 ブロック建造法	疲労による 座屈強度の低下	疲労許容値の設定 構造方式の改良
荷油の動圧力	荷油能の長大化	船側タンクの 剪断変形	全体強度設計、制水隔壁に 剪断剛性を持たせる
波浪荷重の 合理的決定	縦曲げモーメントの 合理的決定	横強度部材・ 局部部材の軽視	補強
		異常海難	運航法
広い部材心距	部材数の減少	局部強度の不足	桁板の増厚
ずんぐり船型	縦曲げモーメントの 減少	推進性能	Cbを小さくする。
		操縦性	舵面積を増す。
塑性設計	構強度部材の 合理化	疲労強度の軽視	破壊管理制御
防蝕	電気・化学的 防蝕法	バラスト・タンクの 腐蝕	塗装

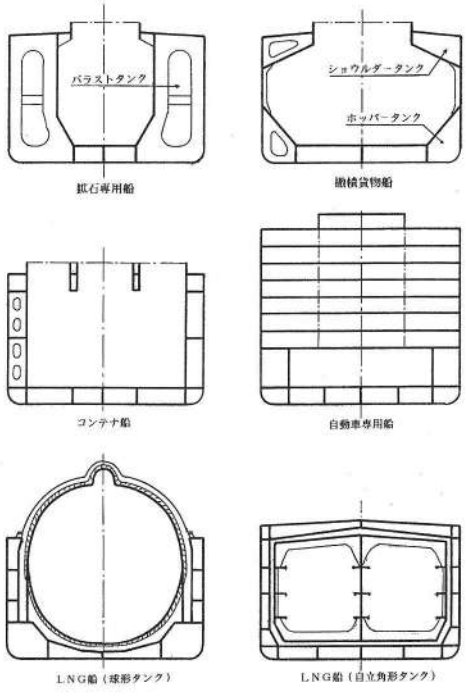


図 2.1.6　専用船の中央断面図

鉱石専用船は、船体中央に長大な鉱石艙を持ち、その両側にバラストタンクを持つ配置になっている。荷役効率から鉱石艙には横隔壁はなく、また艙口も大きい方が望ましい。横隔壁は前述の全体強度からも又船の横断面形状を保持する上からも重要な役目をするので、横隔壁のない構造では横断面保持のために特別に注意を払う必要がある。鉱石専用船では、二重底と艙口間甲板がその役目を果たすことになる。

撒積貨物船では、貨物艙の容積をできるだけ大きくする事が大切である。そのために二重底は低く艙内には構造物の存在は許されない。荷役の都合で二重底の両側にはホッパータンクがあり、荷崩れ防止のためとバラスト用に、上甲板下に斜板を持つショールダータンクがある。横隔壁で支えられたホッパータンクとショールダータンクの捩り剛性によって、二重底及び船側肋骨の横強度が保たれている。この捩り剛性は横隔壁の間隔即ち船艙長さに左右されるから、撒積貨物船では横隔壁の間隔が重要な要素となる。一時、5万重量トンでは7艙、10万重量トンでは9艙と言われていた所以である。船側から船側まで艙内に構造物ないという事は、二重底や上甲板のスパンが長くなりすぎて、普通では成り立たない構造配置であるが、幸いホッパータンクとショールダータンクがあり、構造的にはうまい配置になっている。ホッパータンクとショールダータンクが船側外板と普通の横肋骨で結合されている点も興味深い。

コンテナ船は、大艙口のために上甲板の面積が少ないのが問題であるが、横隔壁は適当に配置され横断面形状保持は充分である。

自動車専用船の一番の問題点は、横隔壁のない事である。上甲板以下は一般の船と同様に横隔壁によって仕切られているが、自動車を積む車輌甲板部分には横隔壁があると自動車の走行に不便なので設けない配置になっている。その上柱もない方がよい。梁の深さも浅い方がよいと、使用上からの要求が厳しい。

横隔壁は、所謂竹の節で、これが横断面の形状を保っているから全体の強度が保てるわけである。この点から横隔壁のない船や数の少ない船は、本質的に構造上の不安を感じさせるものである。

液化ガス運搬船の代表的なものは、LPG船及びLNG船である。1960年代に独立タンク型のＬＰＧ船が初めて建造された。LNG船は球形タンク型が1970年代から多く建造されている。アルミニウムタンクの赤道部分がスカート状に支持された構造である。外国の特許となっている独立タンク型のLNG船は、1990年代に2隻建造された。桁や肋骨の隅肉溶接ビードの形状まで規定されており、桁や肋骨のない球形タンクとは対称的である。

船体構造の合理化の一つに高張力鋼の採用があった。船殻設計者の中に、「縦強度には余裕がある。何とか理由を付けて縦強度を減らして、軽い船を造りたい。」という意識があった。そこで縦強度部材に高張力鋼を採用するようになった。最初は、軟鋼で設計すると45mmを超える板厚になる部分に高張力鋼を使用して、45mm以下の造船所で扱い慣れた板厚にしていた。当時は高張力鋼は値段も高く、工作の制限も多かったので、その使用は限られていた。その後TMCP鋼（Thermo-Mechanical Controlled Processing）の開発により、合金成分をそれ程増さないで熱処理によって強度を上げられるようになった。TMCP鋼は値段もそれ程高くなく、溶接も軟鋼とそれ程変わらないので、急速に使用範囲が広がった。

従来は鋳物であった船尾骨材が溶接組立式になった。軽量化と鋳物の欠陥から解放されるのが目的であった。

2.1.3　船型の変化

1960年代の大型化・高速化に際して新しい船型が現れた。幅広ずんぐり船型と球状船首である。長さを抑え幅を拡げ、Cbを小さくする事により抵抗増加を防いだ、ずんぐり船型は、長さを抑えたために船体の縦曲げモーメ

ントが小さく、巾が広いために上甲板及び船底の板厚が厚くならなかった。もちろん二重張も不要であった。

球状船首は種々の構造上の問題をもたらした。高速船では球状というより円柱を突き出したような球状船首と、その上の主船体及び船首楼は薄い板でつながっているに過ぎないような形状になっていた。

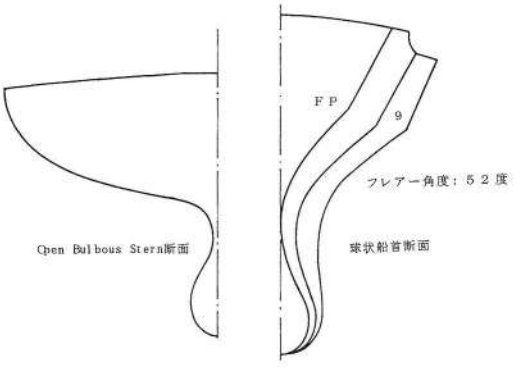


図 2.1.7　特殊断面形状例

コンテナ船やフェリーでは、甲板上のコンテナの波による被害を防ぐためや、船の凌波性を向上させるために、大きなフレアーが付いていた。フレアー角度が45°を超えると波の衝撃力が非常に大きくなる。

以前は、船は水を切って走るので船首材の曲率半径は小さい方がよいとされて居り、鋼板の曲げ加工の可能な範囲で小さく、50Rとか70Rになっていた。100Rにすると速力が出ないという伝説もあった。従って、水線から上部のファッションプレートの曲率半径もそれ程大きくなくて、フレアー部の波浪衝撃対策も重要ではなかった。

球状船首が採用されるようになり、又船型学の進歩により満載吃水線附近の船首材の曲率半径が大きくなり、更に投揚錨時に錨が球状船首に触れないようにフレアーを大きくするようになってから、船首部外板の凹損事故が続出した。船首部形状の変化により波浪衝撃圧が増大したにも拘わらず、外板の強度を従来通りとしていたためである。円筒形船首では、船首材の曲率半径は大きいがフレアーが小さいので損傷を生じなかった。

高速船の痩せた船型では、中央部の上甲板・外板等の板厚を船体中央部0.4L（Lは船の長さ）間等しく保っただけでは、その間で中央部の断面二次モーメントや断面係数は保てなくなってしまう。

船の縦強度部材を設計する場合、船体中央部の曲げモーメントに対して必要な断面係数を保つよう、中央部の部材寸法を定めそれを船体中央部0.4L間保ち、それから先は船首尾0.1L間の寸法にまで変化させる従来の方法では、このような痩せ型高速船では、船型が痩せた分だけ剛性及び強度が船体中央部0.4L間で従来の船型の船より低下する。

実際に1970年頃に1万重量トンの貨物船が、船首から¼L附近で船首部が下方に折れ曲がった事故があった。この事故がきっかけとなり、船体中央部0.4L間から船首部へ甲板や外板の板厚を漸減していた従来の設計基準が、各断面で必要な断面係数を保つように改良された。

後の省エネルギー時代にも、オープンバルバススターン等船尾部が非常に痩せた船型が出現し、そのために後部機関室二重底内底板に座屈を生じた例がある。

船型の変化という環境の変化には充分予見して対応してきたとはいえないが、教訓を生かしてその都度設計基準が改良されていった。

2.1.4　設計システム

構造設計者は自分の設計哲学に基づいて、設計システムを確立していった。設計システムの確立には標準化と電算化が大きく寄与した。

各社の技術を交流し、お互いの手の内を知っていても、構造設計者は夫々自分自身の設計哲学を固持していた。大型タンカーの構造様式が、堅桁を主とするVertical Mainと水平桁を主とするHorizontal Mainに別れたのはその一例である。また、現場の工作が困難でも性能第一の設計に固執するか、可能性があれば工作の楽な設計に挑戦するか、あるいはそれぞれの中間の道を行くかなど、それぞれ設計者の意志が感じられた。

各社の技術の交流は1970年頃まではまだ続いて居り、お互いに図面を見せ合って批判し合ったり討論することもあったが、他の設計を参考にしながらも自分の設計哲学を守っていた。ただこの頃から秘密主義が一部に発生し、「設計哲学の異なる設計で話し合っても得るところはない。」と殻に籠もる傾向がでてきた。

大きく把えるとこの時代の構造設計哲学は合理化であった。従来の小型船の経験をもとにした設計基準を延長して大型船の設計に適用すると共に、産官学が協同して或いは各社単独で船体構造の合理化について研究し、軽い船を造ることに努力した。

このようにして建造された初期の大型船の就航実績がフィードバックされて、やがて信頼性の高い船が設計されるようになった。そして設計哲学は、性能・信頼性・保守と進歩してきた。

性能とは、与えられた期間与えられた使命を果たすた

めのバランスのとれた構造のことで、合理化によって得られる。信頼性は、船員と船及び荷物の安全に関するもので、これらの安全を脅かすような大きな損傷を起こさないようにする事である。これはフィードバックの含まれた信頼性設計によって得られる。保守は、修理費のかからない、また交通性のよい検査の仕易い構造といった意味である。

このように設計哲学を確立し発展させるためには、船体の構造設計に関する事項をすべて網羅し、夫々の関連を示した図表が有効である。その一例として、許容応力の概念と称するフローチャートを図2.1.8に示す[5]。

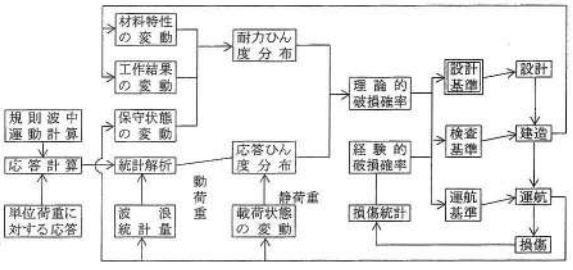


図 2.1.8　許容応力の概念

設計哲学を基に信頼性のある設計を行い、更に生産性を向上するために標準化が進められた。

1961年（昭和36年）に日本は英国を追い越して世界一の造船国となった。船舶の合理化・大型化に加えて建造量の増大に対処するためには、標準化が必要であった。標準に従って設計・建造・運航が行われ、各段階に於ける不具合点をフィードバックして標準を改訂すれば、船舶の信頼性は向上する。夫々の造船所において多かれ少なかれ標準化が進んだ。そして標準化の行き着いたところは標準船であった。標準化に関しては、次の一文が事情をよく説明している[6]。

『1979年（昭和54年）の夏、モンテカルロ、ホテル・ド・パリの最上階のレストランで海風に吹かれながら、M氏は満足感に浸っていた。船主のS氏が「あなた達の造った「Breeze号」はパーフェクトな船だ。」と賛辞を惜しまなかったからである。

眼下にはモナコの夜景が拡がり、快晴の空には満月までが輝いていた。M氏が初めてモナコの土を踏んだのは、1973年（昭和48年）1月11日であった。新造船の技術打合せのためである。それ以来、船主のS氏の強い信頼を得て、事ある毎にS氏の相談にのってきた。

「Breeze号」がパーフェクトな船になったのには、それなりの理由があった。1973年にこの船の商談が始まった頃は、日本の造船業の円熟期で標準船方式が確立していた。本船も標準船の中の一隻であった。本船の技術打合せの際に船主は標準船である事を嫌い、自分達はスペシャルオーナーだから、気に入った船を造るために造船所に無理を強いるのは当然だと主張していた。然し標準船のよいところを充分説明して納得してもらった。

標準船という言葉には、グレードの低い船というイメージがつきまとうが、この頃の標準船はどの船主にも受け入れられるように、高いグレードで設計されていた。しかも先行船の経験が後続船の設計、建造に直ちに織り込まれていたので、数隻目からはパーフェクトになるのはごく当たり前の事であった。

船そのものの標準化だけではなく、あらゆる設計、工作等の作業の標準化も行われていた。つくられた標準はそれにより作業をする際に不都合があったり、その結果に不具合が生じた場合、速やかに改善されていた。このように標準をつくって使って直すというサイクルを繰り返すと、楽にパーフェクトな仕事ができるようになる。

造船業の最盛期以前には、標準化は個人の単位で行われていたようである。筆者が設計に入った頃は先輩方は皆それぞれに、帳面に細かい字で自分なりの標準をギッシリと書き込んで机の抽出しに入れていた。後輩が苦心して書き上げた図面をこの標準に照らして、不具合のところは、赤鉛筆で訂正を書きなぐって返していた。「図面を書く前にあの帳面を見せてくれれば、楽に訂正なしの図面ができるのに。」と口惜しく思った事を今でも覚えている。その後、標準は係・課・部単位というように段々広い範囲に及ぶようになり、会社と会社が合併する時もまず標準を共通にする事から始まるようになった。』

個人の単位で行われた標準化を係・課・部単位に拡げるという事は、個人のノウハウを供出してグループの共有の財産にして、それをグループの全員で使いながら改良していこうという事である。個人主義の強い外国では考えられないことであろう。終身雇用・年功序列の日本でこそ可能であった。個人とグループが勝負をすれば、グループが勝つのは明らかである。日本が世界一の造船国になり得た原因の一つであろう。然し自分のノウハウを吐き出した個人は、整理の対象になり易く、石油危機以後多くの構造技術者が職場を去っていった。

太平洋戦争中に米国で大量に建造された戦時標準船リバティー型貨物船の寿命が尽きる1965年頃から、その代替船が世界の主要造船会社で計画設計された。100種類近くの標準設計がなされたといわれている。フリーダムはその中の一つで、150隻近く建造された。高性能・高経済

性を狙って、甲板艤装・機関部に斬新なアイディアが種々採用されたが、構造についても、船艙容積（ベール）を増すためにタンクサイドブラケットの代わりにガセットプレートを用いたり、第二甲板にグレーン積込みに便利な格子甲板を採用したりしている。

このフリーダムに、船首船底部の凹損がかなりの頻度で発生した。発生する個所が特定されており、そのブロックをストックしておけば、速やかに修理できて船主にサービスできる。保守・修理の上からも標準船は有り難い。

スラミングによる船首船底部の凹損は、1930年（昭和5年）前後のディーゼル船に多発して解決済みの筈であったが、1950年代になって歴史は繰り返している。船尾機関船になってきた事と、船の長さが長くなり船首部の波面に対する相対速度が増したのがその理由ではないかと考えられる。

船殻構造の標準化の第一歩は肋骨心距の標準化である。船尾タンク内は750mm、機関室は850mm、縦肋骨心距は、大型船では上甲板及び船底は950mm、船側は850mm、横桁心距は大型タンカーでは5,800mmといったように重量と部材数、溶接長を考えた上での最適値が決められた。

部材に生ずる応力分布は、1965年頃までは光弾性や歪ゲージによる応力計測で、それ以降は有限要素法で容易に得られるようになった。これらの技術を用いて桁の隅部、端部の形状が応力集中の少ないように標準化された。

構造のパターンが標準化され、船の長さ方向には横桁心距、巾方向には縦通肋骨心距、深さ方向には船側縦通肋骨心距の整数倍を増減する事によって、異なった船が容易に間違いなく設計できる、いわゆるパターン・モジュールによる設計法も確立された。

設計手順の標準化も行われた。この手順によれば異なったグループでも均質な設計が得られ、信頼性を確保する事ができる。標準化された船殻設計の手順の一例を図2.1.9に示す。

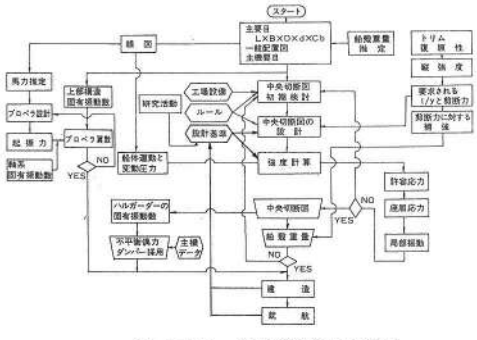


図 2.1.9　船殻設計の手順

設計システム確立に電子計算機は大いに役立った。電子計算機の利用が年と共に盛んになり、日常の設計業務に利用されるだけでなく、大型船・特殊船等の構造計算に用いられるようになってきた。そしてそれらの計算法は標準化されて、設計システムに組み込まれていった。

1950年代の終わり頃、各造船所は電算機を導入し、船体の縦強度計算等に利用し始めた。縦強度に関してはその後海洋波のデータを基に、波浪中の船体運動を考慮し、上下曲げ、水平曲げ及び捩りが同時に作用する船体縦強度解析、いわゆる縦強度トータルシステムに発展した。

この手法は、今迄に経験のない超大型船・超高速船・特殊な寸法比の船等を設計する場合利用された。その際には単に新しい船に適用するのみでなく、同一の手法で多くの既就航船について解析を行い設計応力を求めて、それを参考にしながら新しい船を設計してきた。

電算機は横強度の計算に威力を発揮した。横強度部材の平面骨組計算に始まり、立体骨組計算次いで有限要素計算が行われるようになった。1970年頃には、船全体の（主として船艙部分）立体骨組み計算を行い、変位の大きい個所の横桁（トランスリング）について、その変位を用いて有限要素法解析を行う方法が確立された。

金と時間と労力をかけて造り上げても、出来上がった頃には環境が変わっていてあまり有効ではなかった例として、万里の長城・戦艦「大和」・PASSAGEといわれている。PASSAGE（The Program for Analysis of Ship Structures with Automatically Generated Elements）は、1970年から5年間かけて作られた。各社から優秀な人材が選ばれてその開発に当たった。然し出来上がった頃には、もっと便利な汎用計算プログラムが売出されていた。この業界の早い変化に開発がついて行けなかった。然し、開発を担当した各社の技術者は、その後夫々の造船所において有能なシステムエンジニアに成長しており、日本の構造解析技術の向上に、PASSAGEの開発は大いに貢献したといえよう。

1980年代後半には、荷重・座屈・疲労・信頼性・システムを考慮した新船体構造設計法（Advanced Design by Analysis－ADDA）の調査研究が行われた。高度に発達した電算機を駆使する設計法である。

2.1.5　実船計測

戦後の荒廃から漸く立ち直り始めたわが国の、造船界における最初の大規模な実船計測は、1951年（昭和26年）から1952年にかけて行われた、貨物船「日聖丸」の129日に亘る航海時の計測であったが、これは主として船体

の運動性能に主眼をおいたものであった。

構造強度関係の実船計測としては、進水時の曲げモーメントやそれによる船体各部の応力分布などを計測する、いわゆる進水実験がその草分けであった。

当初の計測装置としては、目盛りを読み取る方式の機械的ひずみ計しか無かった。キールに沿った数ヶ所の曲げ応力を測るには、各点にオクィゼン式のような古典的なひずみ計を設置して、それぞれ2名ずつの計測員が腹這いになって待機し、進水の進行にしたがってリーダーが甲板を叩く1秒ごとのハンマー音に合わせて、1人が目盛りを読み1人がそれを記録するという、きわめて原始的な方法が一般的であった。スペースの関係で、応力集中箇所のような狭い範囲での多点計測は望むべくもなかった。

戦争が終わって、長期にわたった科学技術の鎖国の扉が開かれてみると、基礎的な分野での立ち後れは隠れもない事実であった。文物の交流も徐々には始まったが、物が到来するようになったのはずっと後のことで、当初は限られたルートで僅かに触れることのできた文献によって垣間見るだけで、彼我の落差の大きさに目を見張ったものである。

応力計測の分野でも同様で、抵抗線ひずみゲージがたしかSR-4という商品名で実用の域に達していることを知ったのも、アメリカの雑誌によってであるが、詳細は判らなかった。運輸技術研究所（船舶技術研究所の前身）などが中心になって、その開発試作が進められた。針を立て並べた基板の上にニクロム細線を手作業で巻いて行くという、きわめて原始的な方法からスタートしたようである。ゲージの抵抗変化を測定する増幅装置（ひずみ計）ももちろん存在せず、秋葉原あたりの電気店で買い集めた部品を組み立てて、手探りの試行錯誤を繰り返すという、努力が重ねられていた。

造船部門の研究には国を挙げての協力態勢が必要であるという要望が結集して、1952年（昭和27年）に日本造船研究協会が設立された。その中に順次に研究部会（SR部会）を設置して、多大の経費と労力を必要とする研究項目に対しては、産官学を一丸とした態勢で当たり、造船協会（造船学会の前身）の各研究委員会も、総力を挙げてこれに協力することとなり、まず最初に5件のプロジェクトを掲げたが、第1研究部会（SR1）が前記の「日聖丸」の実船試験を担当し、第2研究部会（SR2）（1952－1954年）が応力分布測定に関する研究を進めることとなった。

SR2では、実船測定よりも大型構造模型による実験に主眼を置いたが、上述の抵抗線ひずみゲージの開発が加速され、ほぼ実用の域に達して、応力集中箇所に多数のゲージを配置しての、応力分布の計測が可能となった。SR10（1953－1954年）では、実船航走時の強度試験を計画し、航海訓練所の練習船「北斗丸」で、波浪中の船体応力の計測を行った。これまでの手探りの開発研究で、ひずみゲージによる遠隔計測・動的計測・多数点同時計測などができるようになった訳である。少数の増幅器で多数点の計測を行うための切替え装置も、電話交換機用のロータリースイッチを流用した手製の物で、苦心惨憺した思い出話もある。

手作りの計測装置からスタートした実船計測であるが、やがてゲージや増幅器の専門メーカーも現れ、造船各社でも手軽に実船計測ができるようになってきた。しかし、長期間にわたる計測となると、ゲージの防湿処理や、増幅器の安定性(零点漂動)など、問題は沢山残されていた。

SR24（1955～1956年）も、同様に実船航走時の強度試験を目的としたものであったが、主として荒天航走中のスラミング現象の計測に重点が置かれた。同じく航海訓練所の練習船によって三陸沖海面で試験が行われた。練習船は、スラミングの計測には必らずしも最適な船ではなかったが、当時としては、実験計測だけのために1・2週間もの時間を割いて貰えるような船は他に無かった。三陸の漁港に待機していて、荒天警報が出て漁船が退避帰港してくると、計測航海のために出航するということを繰り返して、計測員も船酔いに悩まされたが、航海実習中の練習生には大いに恨まれたものである。

この計測では、ひずみゲージをセンサーとした水圧計も試作され、船首船側に孔を明けて多数設置したり、船側外板に電気接点を多数配置し、船側のwave profileを記録したり、振子式の動揺計を試作して船体応力との同時記録を行うなど、メンバー手作りのいろいろな装置が用いられた。

この種の研究部会に限らず、広く造船界全般において、産官学の協力態勢の緊密さは特記すべきもので、全国の関係者が一丸となって取り組み、失敗例の資料も隠さず公開して、学び合ってきたという態勢は、他の業界では全く見られない雰囲気であった。敗戦の泥沼から何とか早く這い上がらなくてはという熱気が、戦後12年で造船世界一を達成する原動力となったものと思われる。次いで、SR44（1959～1960年）とSR49（1960～1962年）では、波浪による甲板荷重（青波水圧）を対象として実船計測が行われた。船主協会の協力を得て、実際に営業航海をしている船に、2・3名の計測員が便乗するという形で、貨物船10隻・油送船2隻・冷凍船1隻の計13隻につい

て、冬期の北太平洋航海を主として順次実施された。ここでも、硬さの異なるベローズと計数機を組み合わせた青波水圧頻度計、銅の薄板を使用した青波最高水圧計、および機械式ひずみ計（抵抗線ゲージは長期安定性にまだ問題があった）と電磁カウンターを組み合わせた応力頻度計など、手作りの装置が多数使用されている。SR63（1963～1965年）の主題は耐航性の実船試験であった。貨物船「しあとる丸」によって、冬期の北太平洋から北大西洋にかけて、往復75日の航海中の計測を行った。周辺波浪の同時計測を目的として、手作りの曳航式の波浪ブイを用意したが、残念ながら実験開始早々に破損して、期待に応えられなかった。船体の操縦性能・動揺・応力などは、幅1インチの磁気テープを使用する12素子のアナログデーターレコーダーを特注して使用したが、これらの同時計測を行うには計測要員6名の便乗を必要とした。

油送船・鉱石船・撒積貨物船など巨大専用船が続々と現れるようになって、従来の経験の延長だけでは予測できない問題も続出するようになった。これら巨大船の運航実態を調査するため、シリーズの実船計測が表2.1.2に示すように次々と計画され、総計170航海の計測が実施されている。

表 2.1.2　実船計測一覧（1966－1981年）

SR部会	計測船	隻数	航路	航海数
SR99	油送船	3	中近東	10
SR118	鉱石船	3	世界・南米・北米	7
SR124	鉱石船	3	豪州・南米	68
	撒積貨物船	3	豪州	22
	コンテナ船	1	世界一周	11
SR163	コンテナ船	1	北米	52

SR99（1966～1968年）は大型油送船の、SR118（1969～1971年）は大型鉱石運搬船の応力計測を行った。いずれも2・3名の計測員が便乗して、多数点の同時記録を採り、問題となる箇所の応力分布を詳細に調べるという方式で実施された。

SR124（1970～1974年）の、鉱石船「笠木山丸」の計測当初の10航海では、応力・水圧・動揺・加速度・鉱石圧など、多数点の総合的な計測を行い、SR132と共同して投棄式波浪ブイによる波浪計測も行った。

SR132（1971～1974年）は、実船搭載用の各種波浪計の開発試作を実施した部会である。曳航式の波浪ブイ、水圧式および加速度式の投棄式波浪ブイ、超音波反射式波浪計、レーザー反射式波浪計、船用レーダーを利用した波浪計ならびに波浪の方向スペクトルが計測できるクロバー型ブイなどの試作と実用試験を行っている。この段階になるとさすがに手作りは無理で、いずれも外注であったが、前例のない装置だけに、信頼度の高い大手メーカーはなかなか関心を示さず、いろいろ苦労も多かったようで、実用の域に達しなかったものもあった。

SR124において、「笠木山丸」の10航海以外の91航海は、少数点の応力の長期記録によって頻度分布を求めるという、統計的計測に主眼をおき、いずれも計測員の乗船しない無人計測であった。「ぽりばあ丸」（1969年）・「かりふぉるにあ丸」（1970年）など、本邦東方海上で大型船の海難事故が続発したこともあって、実船計測に対する各方面の協力態勢も強化され、5年間にわたる大掛かりな計測が実現したものである。協力を仰いだ船主協会の配船の都合で、荒天遭遇の機会の比較的少ない航路が多かったのは、いささか残念である。

SR163（1976～1981年）は、北米航路のコンテナ船「米州丸」1隻に限定して、長期間の自動計測を行った。上甲板応力（波浪曲げ応力）と縦揺・横揺の3項目について、3時間毎に30分間ずつの計測と同時に演算処理をして、各項目のRMS値・最大値・最小値・平均周期を、パンチテープにデジタル記録する方式で、5年間52航海の連続計測に成功している。

以上実船計測の草分け時代から、主として造船研究協会のSR部会の実船計測について概観してきたが、その後も、船舶技術研究所・海事協会・各造船所などでも、それぞれ短期長期の実船計測が数多く行われている。

実船計測は、波浪中を航走している船について、

(A) 外界条件（気象・海象・操船条件など）

(B) 波浪荷重（モーメント・水圧・衝撃荷重など）

(C) 船体応答（応力・動揺など）

の関連を検証するためのものである。これまでは主として(B)→(C)の関係を狙ったものが多かったが、最近では(A)→(B)の関連を目的としたものが多いようである。波浪データも、乗組船員の目視観測資料だけでなく、同時計測記録の可能な波浪計データへの要望が大きく、波浪ブイや超音波反射式の波浪計など、いろいろの改良型が開発されている。

2.1.6　振動

戦後間もなく、船体振動に及ぼす機関室の位置の影響が研究された。機関の発生する起振力が船体振動形の腹に作用する場合、あるいは起振偶力が節に作用すると大きな振動に発達し易いので、機関の位置は重要である。然

しながら、機関室の位置は船全体の配置から決められるべきもので船体振動上決定されることはなかった。

船体固有振動数の推定が種々試みられている。起振力の振動数と船体固有振動数が接近すれば共振状態となり大きな振動となる。船体固有振動数を推定して共振を避けようという狙いである。理論式と実船計測結果を対比させて、精度のよい推定式を得る努力が振動技術者によってなされてきた。

実際に生じた船体振動問題についての報告もなされている[7]。それは1万トンの三島型貨物船の上下2節振動で振巾は船尾楼前端附近で5mm程度であった。この振動のため船橋楼甲板に座屈を起こしたような挙動（3～4肋骨心距の波長で甲板が変形し息をしているよう）が見られた。

本船の主要目は次の通りであり、当時の最新鋭ディーゼル貨物船であった。

$L \times B \times D \times d = 140m \times 19m \times 10.5m \times 8.35m$

$C_b = 0.687$、$V_S = 17$ノット

主機：ディーゼルエンジン、8,000BHP×110rpm

プロペラ：4翼、直径5.7m

上下慣性2次モーメント $I_V = 3.771 \times 10^5 \times m^2 \times mm^2$

振動計測はガイゲル振動計1台で1951年10月から1年間9回にわたって同型船4隻に対して行われた。

原因として次の5項目が上げられた。

1. 主機の不平衡力
2. 溶接構造のため船体が変形し軸系に無理が生じた
3. プロペラの不釣合
4. 機関室開口が大きく強度不足
5. 上下慣性2次モーメントの分布が振動しやすい状態になっている

計測及び調査の結果第5項目が主原因であることが判明した。即ち、船尾楼甲板の前方でI_Vが小さく、主船体と船尾部が連成振動をしていた。そこで、その部分の外板と上甲板を増厚する対策を行った結果、振幅は5mmから3.5mmに減少した。

さらに主機の上下不平衡力を15.5トンから4.65トンに減らし、（そのため水平不衡力は3.5トンから6.65トンに増加）振巾を2mmまで減少させることができた。110cpmで2mmの振巾は、23mm/sec、26.5galに相当する。

この例のように船尾の振幅が特に大きくなる振動が、スーパータンカーと呼ばれた大型船にも出現し、船尾振動の研究が1950年代後半に行われている。

1960年代に入り、船尾船橋楼船が一般化してきて、上部構造の前後振動が脚光を浴びて登場した。船尾にある高い船橋が主船体の上下振動の傾斜によって回転し、前後振動に変換される。合理化による船の配置の変化が、新しい船体振動現象を発生させた。「船体振動は振動技術者にとって永遠の課題である。」とよくいわれるが、それは環境の変化によって次々と新しい振動現象が生ずるからである。変化を予測して予め手当をしておけば振動問題は生じない。

1960年代の終り頃、上部構造の前後振動が問題になった船があった。10万トンの撒積貨物船で、上部構造は塔型で船尾楼甲板上5層であった。この塔型船橋がプロペラ回転数の5倍の振動数（5次の振動）で150galの加速度で前後に振動した。プロペラは5翼一体型、主機は10気筒ディーゼルエンジンであった。

10筒主機は5次の起振力を持っているので、5翼プロペラの5次起振力と相殺させるために、プロペラ取付角度を変えてみたが（これはPhasingと云われる技術）、効果はなかった。プロペラ起振力が小さかったためであろう。プロペラを4翼にしてみたが、5次の振動が依然として残った。これでプロペラが犯人でないことが確定した。主機のクランク軸の先端に前後振動のダンパーを取付けたところ、問題となっていた振動はピタリと止まってしまい、船主監督も「More than satisfactory!」と云ってびっくりしていた。

重量のあるクランク軸が前後振動していて、そのために前後方向の起振力を発生していたのである。上部構造の前後振動とクランク軸の前後振動を同時計測して、それらの振動曲線がよく似ていたので、クランク軸の前後振動が原因だろうと推測してダンパーを取付けたわけである。当時既に60点同時振動計測が可能であった。この場合のクランク軸のように、自分自身は振動の許容値内に居ても、振動する事によって起振力を生じ他の物を起振する物を共振体と呼び、共振体を除く事が振動対策となる[8]。

大型タンカーや鉱石船では、タンク内の構造物が大きくなり、固有振動数が下がり、プロペラや主機の起振力の振動数に接近し、共振する懸念がある。実際に共振したために、タンク内構造にクラックが生じた例がいくつもある。タンク内構造の固有振動数の推定が必要となってきた。電算機を用いた有限要素法による固有振動数の計算が行われるようになってきた。1トランスリングをモデル化して、周辺条件を定め接水の影響を入れて計算すれば、それぞれの振動モードに対する固有振動数が得られる。然しこのような計算は、金と時間と労力を必要とする割にはあまり精度はよくなかった。計測結果と対比

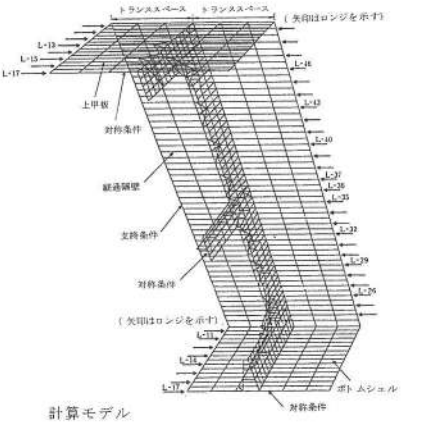
しても、振動モードと固有振動数の両者が一致することは稀であった。一方理論式を計測結果を用いて精密化した推定方法も試みられ、かなりの精度が得られるようになった[9]。図2.1.10に有限要素法による計算結果の一例を示す[9]。

大型高速コンテナ船で、1軸5万馬力のタービン船が出現した。プロペラ回転数は130rpm、6翼プロペラである。プロペラ翼の起振振動数は130rpm×6＝780cpmである。通常の船のそれは100rpm×5＝500cpm程度であるから56%も高い振動数である。通常の船と同じ基準で居住区を設計建造すると各所で共振する心配があった。

表2.1.3に社会的経済的環境及び技術的環境と振動問題を示したが、環境が変わるにつれて次々と変わった振動問題が生じていることがよく判る。

表 2.1.3　環境と船体振動

	社会的経済的環境	技術的環境	発生した現象	解決法
1950年代		船体中央部に機関と船橋を配置	軸系横振動	合理的な軸の据付方法
1960年代	合理化	船尾機関、船尾船橋	船体縦み振動	バランサー
	経済性向上のための高馬力化	6RD90(不平衡偶力)		
		10RD90(クランク軸の前後振動)	上部構造の前後振動	ダンパー
1970年代	経済性向上のための専用船化	ULCC、VLCC	タンク内構造の振動	補強による共振の防止
		高速コンテナ船(50,000馬力25節)	高い翼振動数(130回転×6翼=780cpm)	補　強
		高馬力機関の大型船	船尾および局部振動	振動防止総合設計システム
1980年代	オイルショック	少数気筒エンジン、船型の改良	エンジン起振力による振動	



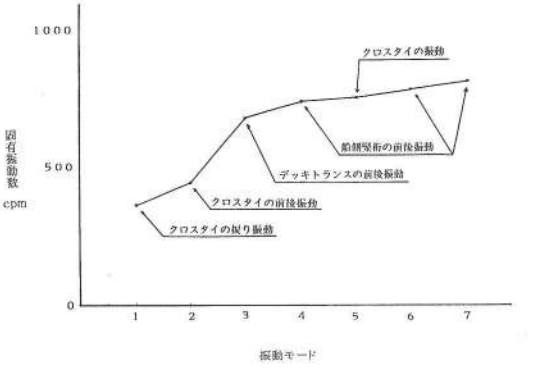


図 2.1.10　タンク内構造の振動計算例

2.2　材料強度

2.2.1　脆性破壊

通常は破断するとき、かなりの粘り強さ（延性という）を有する鋼材が、条件によって延性を示さず非常に脆く破壊する（脆性破壊）ことがあることは鋼が大量生産されるようになって間もなく指摘された。しかしあまり大きな注目はされなかった。比較的大型のリベット接合の構造物（タンク類など）も脆性破壊と思われる原因で倒壊し大きな事故を起こした例が報告されている。事故調査委員会が設けられたが、人為的な破壊活動によるのではないかといった憶測まで生まれ、その原因は明確にはされずに終っている。

脆性破壊が鋼構造工学上注目されるようになったのは、溶接技術の導入で大型の鋼構造物が建造されるようになってからである。有名なのは、早くから溶接を導入した欧州の橋梁で、ベルギーで溶接橋が次々と破壊し落橋

参考文献

1) 松山泰他：造船誌、第267号（1946）
2) 國安常雄他：造会報、第104号（1958）
3) 日本造船学会編：昭和造船史第2巻、原書房（1979）
4) 間野正己：船体構造設計、㈱船舶技術協会（1993）
5) 服部堅一：東京大学博士論文（1979）
6) 間野正己：造船誌、第613号（1980）
7) 角田令二：造船誌、第303号（1954）
8) Memoirs of a Marine Troubleshooter：The Institute of Marine Engineers（1995）
9) 越智義夫他：石川島播磨技報、第15巻、第3号（1975）

した事故である。詳しい調査が行われたが、鋼材に脆性破壊という現象があるということは明確に認識されるに至らなかった。

一方、第二次世界大戦中に、工期短縮を主目的に米国において多数建造された全溶接による戦時標準船に脆性破壊による重大損傷が頻発した。これが脆性破壊の問題が鋼構造工学上重大な問題として造船・製鋼業界で採り上げられる契機となった。このような背景があって造船界は材料・溶接に関し最も早くこの問題に強い関心を持ち、研究活動が活発に行われてきたのである。

米国や英国で行われた組織的な損傷船の調査により、原因は応力集中を生む構造細部の設計、船体の溶接不良、船体鋼材の材質に問題があることが指摘された。材質の問題についてはVシャルピー試験（小型切欠衝撃曲げ試験）の破壊エネルギー値が目安となることが見いだされ、現在も造船用鋼材をはじめ材料の粘り強さの指標として様々な材質規格に盛り込まれている。

現在の知見では溶接構造物と脆性破壊現象そのものは必ずしも本質的な関係があるわけではない。しかし、溶接施工は鋼材が溶融・凝固の過程で高温下でのひずみを受けて材質が脆くなることがあること、不備な溶接により各種の溶接欠陥が生じ得ること、高い引張残留応力や拘束応力で局部的に高い応力が生ずることなどで、脆性破壊発生促進因子が重なりやすい。また、一度脆性亀裂が進展（伝播）すると応力が通常の設計応力程度の低いレベルでも容易に伝播し続け、溶接接合のように冶金的に一体となっているために大規模に亀裂進展が生じ、大きな破壊事故になる傾向がある。このような意味で溶接鋼構造物と脆性破壊は実際上密に関係があるということもできる。

わが国における最初の組織的共同研究活動は、1945年に発足した造船協会（現日本造船学会）の電気溶接研究委員会において始まった。当初の主な活動は、公表された脆性破壊事故例の技術的検討や関連文献の収集・討論などの調査研究であり、勉強会的性格のものであった。この組織はその後何回か組織の改変を経ているが、現在、材料・溶接研究委員会として、造船・鉄鋼はじめ各界の破壊強度研究者の参加のもとに、50年近い歴史を持つ研究会として活動している。

以上のような背景のもとに我が国造船界の強い要望で日本溶接協会、製鉄会社、大学、国立研究所が協力し、1950年（昭和25年）に造船協会内に設置された「鋼材研究会」により初めて実験を含む本格的な共同研究が行われた。

この動きを引き継ぐようにして、日本造船研究協会では発足後、早くも研究プロジェクトSR3「国産造船用鋼材による溶接船体の信頼性向上に関する研究」が実施された。以来、船体用鋼材の脆性破壊特性のSR研究が多く実施されており、造船界における関心の高さがうかがわれる。

この時代の研究の中心は、もっぱら実験室で脆性破壊をいかにして再現するか、どのような試験法によってこれをどう解釈すれば材料の脆性破壊性を評価できるかということであった。当時研究者によって提案された試験法の種類は枚挙にいとまがない位である。

多くは亀裂のような応力集中源をつけ溶接による材質劣化や残留応力など脆性破壊を促進する因子を加えた試験片または試験体を、温度を変化させて荷重を加えて破壊させるものである。鋼材は低温になるほど延性が減少するので、一般に上記のような試験を行うと、ある温度から低温になると急に延性を失い変形も少なくて脆性的に破壊するようになる。これを遷移温度と呼んで、脆性破壊特性を示す重要な尺度とされた。

問題は各種試験法によって求められる遷移温度が、同一材料を用いても同じにならず、船体の実際の稼働温度との関係が不明確であったことである。これは各種試験法にはできるだけ小型で容易に実施できることが重視されたことなど、船体がおかれる条件と試験条件の違いに起因すると考えられたが、材料の粘り強さ（靭性）を示す相対的尺度として評価の基準となった。実際に近い条件で試験することもいろいろ行われたが、どうしても時間と費用のかかる大がかりな実験とならざるを得ず、主に新材料や溶接法の開発のための研究的大型試験として行われた。

上記SR研究をはじめ多くの研究では、各種の提案された試験法のうち、実際面から適当と考えられるものを選び、その破壊特性すなわち主として遷移温度をもとに造船用鋼材の材質を評価し、簡便な工業的小型試験と研究室的大型試験との相関関係が調査された。

試験法を中心とする各種の実験的研究の結果から、脆性破壊に対する特性は、切欠や欠陥などからの高速不安定の脆性亀裂が走りはじめる「発生特性（伝播開始特性）」と高速で伝播中の亀裂の伝播継続や、停止に関する「伝播特性」とを区別すべきものであることが明らかになった。すなわち、脆性亀裂は発生源には局部的ではあってもかなり大きな応力やひずみが加わらないと容易に生じないが、一度亀裂が伝播しはじめると低い応力のところも走り続け、容易に停止しにくいということである。

50年代終わりから70年代は、個人または研究グループ

による脆性破壊研究が最も活発に行われた時期で、数多くの研究論文が報告された。脆性亀裂伝播停止特性を調査する試験として応力と亀裂停止温度の関係を求める二重引張試験法が考案され、広く実施された。試験結果の解釈は直感に基づいていたこともあり、試験法による矛盾があったが、1960年代初頭に当時米国で萌芽しつつあった初期の破壊力学的手法を導入することによって合理的解釈が加えられた。すなわち、応力、温度の他に停止亀裂の長さが停止特性のパラメータになるということである。

初期の破壊力学は亀裂の弾性力学（線形破壊力学）ともいうべきもので、脆性亀裂の伝播は応力の低い弾性状態で起きるので、これが近似的に適用できると考えられた。これまでの試験結果の解釈が改められて脆性亀裂停止の条件が定式化され、材料の脆性亀裂阻止靭性値が定義されて多種の亀裂伝播阻止の工夫（クラックアレスター）を施した亀裂伝播阻止実験によってその妥当性が実証された。

しかし、1967～1970年に実施された巨大船の脆性破壊防止対策（SR101）の一連の研究の中で、超広幅試験板を使用した長大亀裂伝播停止実験が行われ、上述の概念を修正せざるを得ない結果を報告、これらは長大な亀裂に対する鋼板の亀裂伝播阻止性能に関して重大な実験データを提供するとともに、その取り扱い方に理論上大きな課題を示すこととなった。この点に関しては現在も研究が進められている。

脆性亀裂伝播開始現象に対しても線形破壊力学の適用が試みられたが、造船用鋼材にとっては非現実と考えられる低温や大きな亀裂を考えない限り適用が困難であった。現実の破壊事故例の多くは初期亀裂状欠陥から塑性変形の影響を無視できない状況のもとに脆性亀裂の伝播が開始していると考えられ、塑性変形を考慮した脆性亀裂伝播開始の破壊理論が必要と考えられた。

上記のような背景をもとに1960年代末になり、亀裂先端まわりが塑性変形した状態からの不安定亀裂の伝播開始（破壊発生）の条件が盛んに研究されるようになり、破壊力学自体が非線形破壊力学、弾塑性破壊力学とも呼ばれる領域に拡大、発展していった。現在では造船・海洋構造物の分野で用いられる溶接構造用鋼および溶接部からの脆性破壊発生に対する強度評価に非線形破壊力学のパラメータによる評価が行われている。

このような研究成果は船体用鋼材は勿論のこと、多くの大型溶接構造物において脆性破壊を生じないための材質の選定、溶接施工基準の設定、欠陥の重要度の評価技術（日本海事協会の規則、日本溶接協会の鋼板材質判定基準、欠陥評価基準他）に活かされている。

日本造船研究協会は、常にその時点で造船界が共同で探求すべき技術課題をテーマとしてとりあげてきた。後掲のように材料（含溶接継手）の強度は関心の高い問題であり続けた。研究の発展により概念や理論は変遷したが、個別の研究が新しいSRプロジェクトの動機となり、技術者・研究者の共同作業を大きな研究費によって可能にした。SRプロジェクトが大きな成果を挙げると同時に、新たに未解決の課題を浮き彫りにして、個別的基礎研究を促す動機となるという繰り返しで造船用鋼材の研究は発展してきたといえる。

いち早く溶接を大幅に導入した造船界は、使用する鋼材の材質に強い関心を持ち続けてきた。製鉄業界に対して、粘り強く溶接性のよい材料を供給してもらうべく働きかけ、製鉄業界もこれに応えるべく、数多くの基礎研究や技術革新を行い、両者の共同研究も盛んに行われた。

2.2.2　疲労

1951年（昭和26年）10月には造船協会電気溶接研究委員会により、1919～1949年にわたって発表された外国文献の調査報告“溶接継手の疲労強度”が発表され、すでに当時から溶接構造物としての船体の疲労強度への関心の高さがうかがわれる。また、1956年には溶接欠陥が高サイクル疲労強度に及ぼす影響についての日本造船研究協会（造研）の共同研究プロジェクトが開始されている（SR32）。　造船関係の戦後の研究動向をみると、1960年頃を境に変化した。以前は推進軸系の高サイクル腐食強度など機械系のものが主であったが、以後は船体構造の低サイクル疲労に重点が移った。このきっかけの一つは1961年（昭和36年）の第1回ISSC（国際船体構造会議）および翌年のIIW（国際溶接学会）においてNVのVedelerにより、船舶のように波浪外力を受ける複雑な構造物では繰返し数が少なくても疲労亀裂が生ずる（低サイクル疲労）のではないかということが船体の亀裂損傷データをもとに指摘されたことであった。

1963年（昭和38年）には造研プロジェクト“船体構造不連続部のローサイクルファティーグに関する研究（SR62）”が開始され、引き続いて1966年から当時の船舶の大型化とともに採用が増した高張力鋼を含めて造船用鋼板および溶接構造の不連続部や工作誤差などの影響が研究され（SR95）、疲労強度に対する共同研究体制が整った。これには1960年頃から始まった荷重制御低サイクル疲労強度に関する一連の個人による研究が大きく影響し

ている。その後、1966年からはひずみ制御低サイクル試験による一連の基礎研究が開始され、累積被害、疲労寿命その他各種因子の影響などについて繰返しひずみを基本とした考察が進められた。このような活発な研究活動により造船分野においても疲労現象の理解が深められたが、船舶のように複雑な変動応力を受ける複雑な構造物の疲労挙動を正確に予測したり、的確に設計基準に盛り込んだりするためにはまだまだ解決すべき多くの問題が残されている。

2.3　接合

2.3.1　高能率自動溶接技術の導入と船体への適用

わが国の造船業は、戦後急速な発展を成し遂げて、荒廃していた戦後の経済界を支え、復興に大いに貢献してきた。特に、1956年（昭和31年）には約180万総トンの船舶を進水させ、新造船建造量世界一となった。以来、2度の石油ショックを契機とした船腹過剰による深刻な構造不況や、さらには、低生産コストを武器にした発展途上国の追い上げ等の危機に見舞われながらも、産官学挙げての関係者の努力により、種々の施策を実行して今日に至るまで世界一の座を確保し続けている。

この造船業の発展の理由には多くの要因が考えられるが、技術的には、導入された溶接技術の改良・開発による適用拡大とこれにともなって提案されたブロック建造法の採用をあげることができる。

なかでも、溶接技術は、造船業の発展を支える基本技術として貢献してきたし、また造船への適用を通してそこから生じた技術課題を解決することによって、溶接技術それ自体も発展してきたといえる。

この時期は溶接機の導入・溶接材料の開発など溶接技術を船体構造継手に如何にして適用して行くかを検討し、実用化を図った時期であり、いわばリベットから溶接技術採用への転換期に当たる。本格的に溶接が適用されはじめたのは、1950年頃以降であるが、これにより、工期の短縮、使用材料の節減が図れるなど多くの経済的な効果とともに、最大の特徴は水密性が容易に保てるということであり、船体建造にとってきわめて合理的な接合方法である。このため、溶接技術の適用は急速に普及して行った。

この溶接技術の造船への適用と改良･開発の特徴は、作業能率を高め、生産性を向上させるために溶接の自動化･高能率化を指向してきたことであり、その実現に向けて造船界あげて大きな努力が払われてきた。

(1) 溶接船とサブマージアーク溶接法の導入

戦後の造船業のスタートは、1947年（昭和22年）に開始された第一次計画造船の実行に始まる。また、輸出船についても引合い、成約が徐々に増大するようになってきた。このような情勢から、溶接技術の重要性と船殻工事への適用に対する認識が高まり、造船協会（現在の日本造船学会）、溶接学会などにおいて溶接技術に関連する各種研究委員会が組織され、また日本溶接協会が設立されるなど産官学が一体となった研究体制が整えられた。

このような状況のなかで、造船所、学識経験者および日本海事協会等が協力して、設計、工作の観点から検討が行われた戦後初めての全溶接小型タンカー「新和丸」（1,200総トン、GT）が1948年に建造された。また、1950年には、我が国初の溶接構造大型タンカー「日栄丸」（11,806総トン）が進水している。その後、溶接技術は、種々の改良が加えられ、各種大型船の外板継手に採用されるなど漸次その適用拡大が図られて行くことになるが、この新和丸の建造は、船体への溶接適用拡大の先鞭を付けたという意味でも記念すべき出来事であった。

この時期の溶接は、まだ被覆アーク溶接法が主体であったが、1950年に米国から10台のサブマージアーク溶接機（ユニオンメルト：9台、リンカーン：1台）が輸入され、自動溶接法の適用研究が開始された。図2.3.1は、導入初期のサブマージアーク溶接法を船体へ適用している状況である。サブマージアーク溶接法は、従来溶接法に比べて画期的に溶接速度が早いことから、造船各社が協力してその実用化を進めた。この研究協力は、その後の企業間の枠を超えた造船界の研究開発の協調体制を整えるとともに、溶接の自動化推進に大きな役割を果たしたといえる。

その後、船体構造継手への溶接の適用は積極的に進められ、1954年頃にはシヤーストレーキとストリンガープレートを除いて船体への溶接の適用率は、ほぼ100%に達している。

(2) 自動溶接法の船体への適用拡大

1955年代になるとわが国の経済界は、「もはや戦後ではない」と言われるほどに約10年にして急速な発展を見せた。この発展は、重化学工業が中心になって推進してきたものであるが、なかでも造船業は、自動車産業と並んで、その後の高度成長経済を先導してきたと言っても過言ではない。

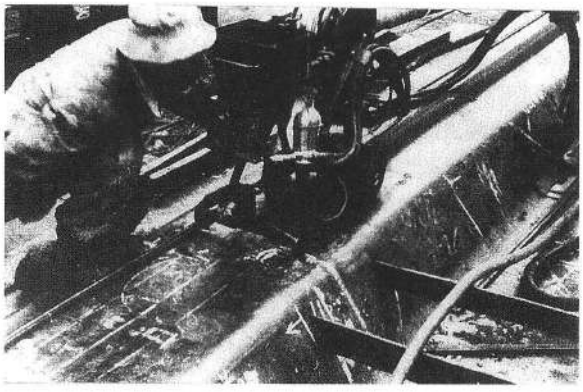


図 2.3.1　サブマージアーク溶接導入初期の船体への適用状況

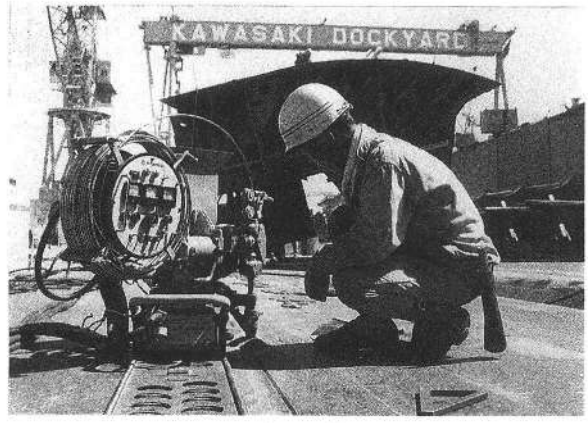


図 2.3.3　上甲板へのサブマージアーク溶接法の適用状況

この高度成長期における造船業の特徴は、スケールによる経済効果を追求して、船体構造はますます大型になり、大量のマンモスタンカー、大型鉱石運搬船などが次々と建造されていった。

この船体の大型化によって、船体を構成するブロックの板厚・寸法も大きくなった。この増大する溶接作業量とコストダウンに対処するために、いかに早く、能率良く建造するかが最大の技術課題として追求され、溶接の高能率化、高速化が図られていった。

この時期に採用された代表的な高速・高能率な自動溶接法は、以下のものをあげることができる。

すなわち、サブマージアーク溶接法については、内業工程における板継ぎの突合せ溶接継手に適用が開始され、その後、曲がり外板の板継ぎ（図2.3.2参照）及び船台ブロックの上甲板の板継ぎ（図2.3.3参照）、さらには側外板のロンジ材の突合せ継手（図2.3.4参照）等に順次適用されていった。また外業工程においては、ブロック同士の外板の立向突合溶接継手にエレクトロスラグ溶接法またはエレクトロガス溶接法が採用された。さらに、船底

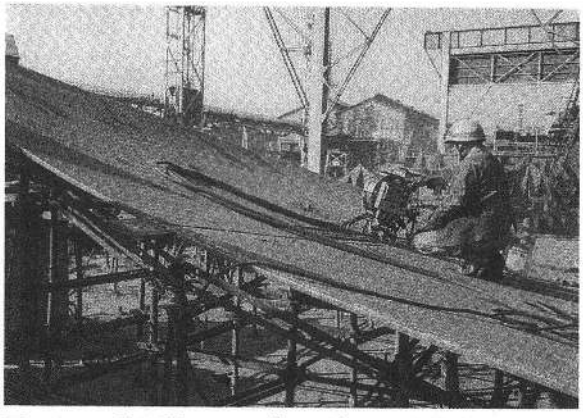


図 2.3.2　曲り外板へのサブマージアーク溶接法の適用状況

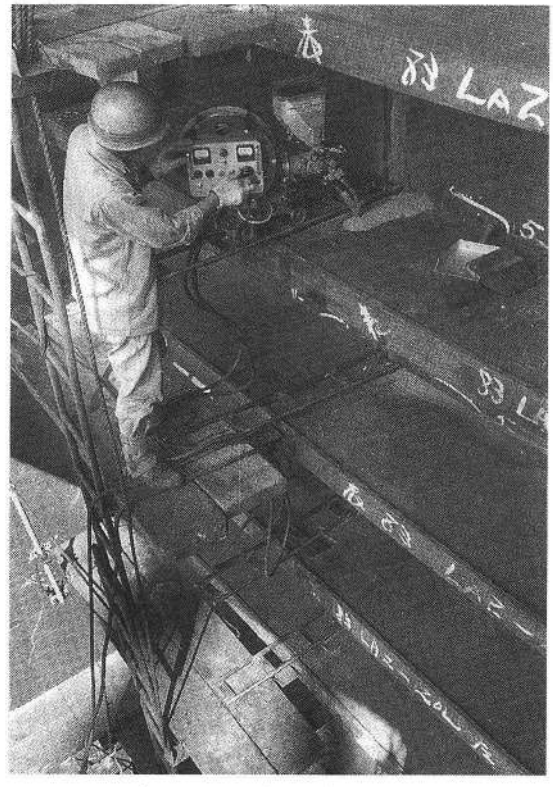


図 2.3.4　ロンジ部材へのサブマージアーク溶接法の適用状況

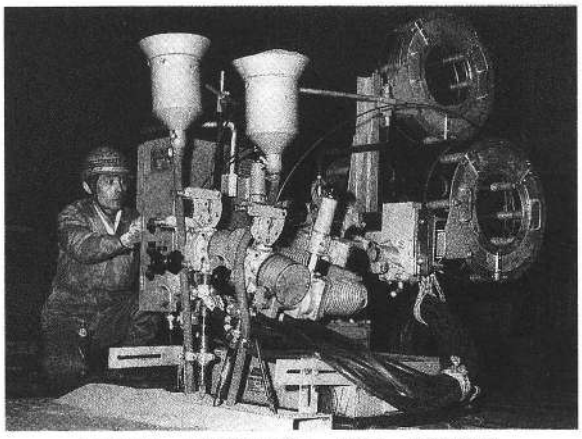


図 2.3.5　二電極サブマージアーク溶接機

のロンジ材の立向突合溶接継手には、わが国独自の消耗ノズル式エレクトロスラグ溶接法が採用され、溶接の高能率化に大きく貢献した。

サブマージアーク溶接法は、米国から輸入されて以来、自動溶接法の代表として実用化のための各種の研究が推進されるとともに、溶接機器及び溶材についての開発が行われ、国産化されるようになった。

さらに、このサブマージアーク溶接法の高速化の方策として電極の複数化が行われ、2電極及び3電極の溶接機が開発され、実用化された（図2.3.5参照）。また、溶材については、わが国独自の焼成型フラックスが開発され、サブマージアーク溶接法の適用拡大、能率向上に大いに寄与し、さらにその後の片面溶接法の実用化へと発展して行く素地を作った。

1961年（昭和36年）には、三菱長崎で片面自動溶接法を船体平板の板継ぎに適用することに成功し、片面自動溶接時代の幕開けとなった。この片面サブマージアーク溶接法は、地上組立工程の反転作業を省略することができるため、コンベアラインとの組合せによって、外板の板継ぎ溶接施工の流れ作業化が可能となることから、大手各造船所で積極的に採用された。この片面サブマージアーク溶接法は、グラビティ溶接法と同様に、わが国で開発された造船溶接技術を代表する溶接法であり、一走で裏波を形成して溶接が完了することから、その高効率・高生産性が高く評価され、海外においても「URANAMI溶接法」として有名である。

片面サブマージアーク溶接法は、その後、裏当方法、裏当材、溶材などについて改良・改善が加えられて、フラックス銅バッキング法（FCB法）、フラックスバッキング法（RF法）、フレキシブルバッキング法、固型フラックス法などが実用化され、内業の板継ぎ工程のみならず、外業工程、船台工程へとその適用が拡張されて行った。

また一方では、板継ぎ工程のより一層の溶接高速化を行うために、図2.3.6に示すような多電極ヘッドを搭載した大型の片面溶接装置が各造船所で開発、設備化されていった。

エレクトロスラグ溶接法やこれの改良溶接法として開発されたエレクトロガス溶接法は、図2.3.7に示すように

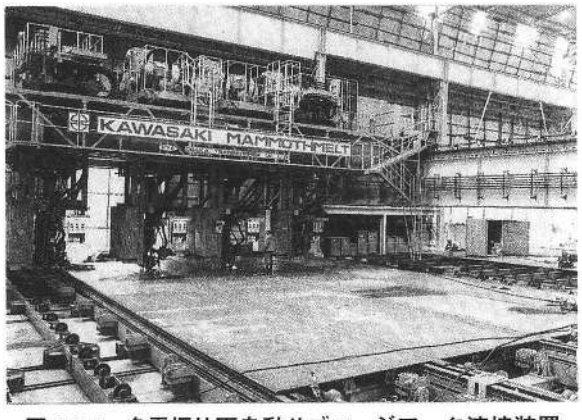


図 2.3.6　多電極片面自動サブマージアーク溶接装置

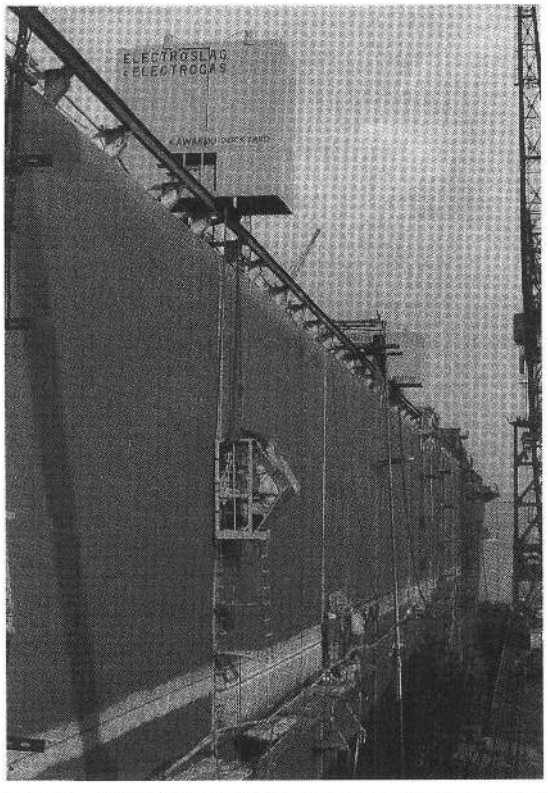


図 2.3.7　船側外板立向継手へのエレクトロスラグ溶接法の適用状況

平行部・直線部が多い大型タンカーのブロック同士の厚板長尺の立向突合せ溶接継手に適用され、船台上において施工された。

その後、高張力鋼の採用拡大にともなって、特に、シヤーストレーキ部に使用されるE級鋼の溶接継手部の靭性を確保するために、溶接入熱量に規制が加えられたことから、この立向溶接継手については、エレクトロガス溶接法が主流となる。

エレクトロスラグ溶接は、わが国独自の開発・改良が加えられて消耗ノズル式エレクトロスラグ溶接法（CES法）として船台上において、図2.3.8に示すような上甲板及び図2.3.9に示すように底板のロンジ部材などの短尺内構材の立向突合せ溶接継手に適用され、溶接の効率化に大きく寄与した。

このような高速・高能率溶接法を開発・改良してきた結果として、大型船舶をしかも大量に建造することができる技術的、設備的環境が整備され、次々に大型タンカーが建造された。1962年に、当時世界最大の13万トンタンカー「日章丸」が建造されたのを契機として、1965年には、15万トンタンカー「東京丸」、1966年には、20万トンタンカー「出光丸」、さらに1971年に37万トンタンカー「日石丸」、1975年には48万トンタンカー「日精丸」などが建造・引渡しされた。

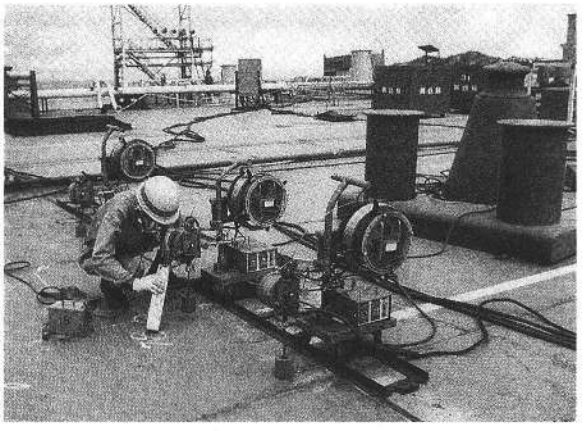


図2.3.8　上甲板ロンジ材への消耗式エレクトロスラグ溶接法の適用状況

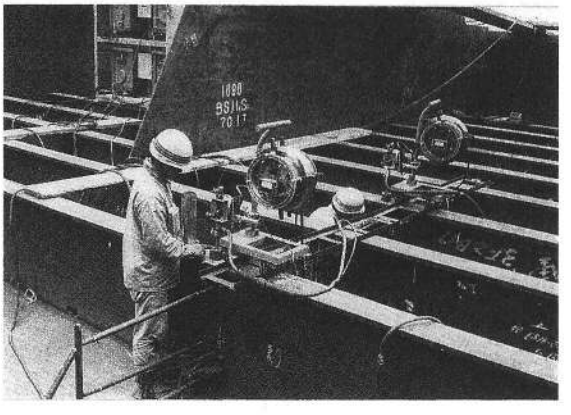


図2.3.9　船底ロンジ材への消耗式エレクトロスラグ溶接法の適用状況

参考文献

1)　日本溶接協会；溶接50年史
2)　日本溶接協会；溶接の歩み
3)　溶接便覧、丸善

2.3.2　造船用専用溶接材料の開発

溶接技術は、従来のリベット接合法に代わって、1948年（昭和23年）頃から積極的に採用され始め、急速に造船界に普及し、発展していった。その基盤を支えたのは、わが国溶材メーカーがそれぞれの適用目的に沿って新しく開発した独自の溶接材料に負うところが大きい。特に、サブマージアーク溶接法の焼成型フラックス、グラビティ溶接法に使用された鉄粉高酸化鉄系太径溶接棒及び立向下進溶接棒等は、その代表的な開発溶接材料である。

(1) サブマージアーク溶接用材料

従来の溶接は、ほとんど手動による施工が行われていたが、1950年（昭和25年）に米国から10台のサブマージアーク溶接機が輸入されて以降、自動溶接の適用検討、溶接機器の改善及び溶接材料の開発が積極的に行われ、急速に造船界に普及していった。

当時使用されていた溶接材料は、米国からの輸入品で、1959年（昭和34年）からは国産化された溶融型のフラックスとC-Mn系のワイヤの組み合わせで使用されていた。この溶融型のフラックスは、大入熱領域での作業性が悪く、しかも溶接金属の清浄度は低く、良好な溶接継手品質を得ることが難しかった。このため、その後の船舶の大型化に対処するために鋼材の厚板化および高張力鋼の採用検討などが進められる状況下で、溶接施工の高能率化、高品質化を推進していくには十分とはいえなかった。このような背景から、サブマージアーク溶接材料に対する改善・開発が強く要請され、溶融型フラックスの欠点を是正して、高能率と高品質を同時に満足できる焼成型のフラックスが、1961年（昭和36年）に開発された。

この焼成型フラックスは、わが国独特のものであり、フラックス中に合金成分を加えられる利点があり、しかも

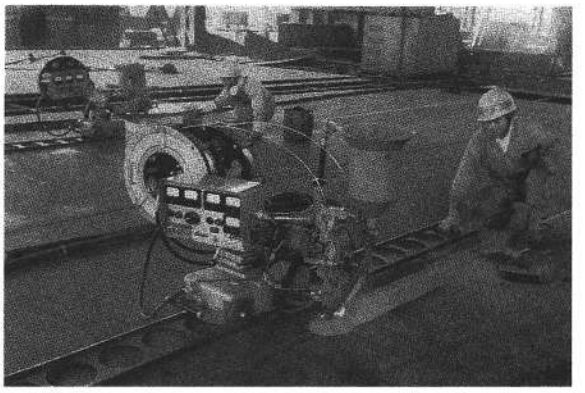


図 2.3.10　サブマージアーク溶接法の適用例

溶接金属の水素量が低く抑えられていたこと、大入熱溶接における靱性確保に効果を発揮したこと、さらに大電流、大入熱溶接でも作業性が悪くならないことなど、多くの特徴を有しており、サブマージアーク溶接の適用拡大、能率向上など造船溶接の発展に大きく貢献した。図2.3.10は、サブマージアーク溶接法の代表的な適用方法である内業工程の平板の板継ぎの溶接施工状況を示したものである。

さらに、タンカーの大型化が進められる中で、溶接の高能率化を指向したサブマージアーク溶接に対する期待がますます強くなり、反転作業のない片面自動溶接の開発に対する要望が高まっていた。このような状況の中で、1961年に、三菱長崎において、船体平板の板継ぎ溶接へ片面自動溶接法を適用することに成功し、その後の片面自動溶接全盛時代への幕開けとなった。

この片面自動溶接の裏当に使われる裏フラックスは、ビード外観の安定を図るために種々の工夫がなされており、耐熱性のフラックスに少量の熱硬化性樹脂を添加した独特の組成を有するフラックスであり、この専用フラックスの開発により、片面自動溶接法は、次第に全造船所に普及していった。

(2) すみ肉専用溶接棒

溶接技術との組合せでその適用が進んできたブロック建造法の定着によって、内業と地上組立における下向溶接の比重が多くなり、これにともなって、水平すみ肉溶接施工に対する能率向上の要請が高まり、高能率すみ肉溶接棒の開発が期待されるようになった。1954年頃より水平すみ肉継手を対象にした専用溶接棒の開発に着手した。開発された溶接棒は高酸化鉄系の大径溶接棒であり、高電流に耐え、かつ均等な脚長を得ることができるため、大脚長の一層すみ肉溶接を可能とし、しかもすみ肉部にコンタクトしたままで容易に溶接を行うことができた。この溶接棒は、"コンタクト棒"とも称され、各造船所に急速に普及していった。

これまでの溶接棒は、イルミナイト系溶接棒がほぼ100%であり、全姿勢溶接用として種々の溶接継手に適用されていたが、1953年には、前述の理由により高酸化鉄系溶接棒の適用が増加し、使用溶接棒の約30%を占めるまでに上昇し、造船の溶接に新たな能率の良い溶接棒を提供することになった。

その後、この高酸化鉄系溶接棒に、さらに改良が加えられ、鉄粉酸化鉄系の長尺溶接棒が開発され、グラビティ溶接法として内業工程の小物骨部材のすみ肉溶接に採用されていくことになる。

このグラビティ溶接法は、呉の旧海軍工廠において"呉船式自動溶接機"として開発されたのが始まりで、わが国独自に開発された簡便で、しかも安価な溶接方法であり、図2.3.11に示すごとく、先ず大組立工程におけるロ

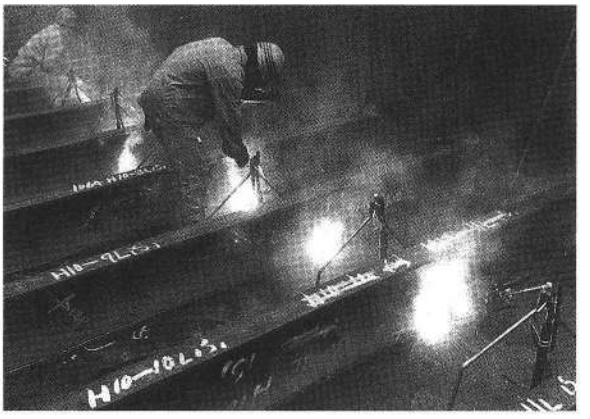


図 2.3.11　大組工程におけるグラビティ溶接の適用例

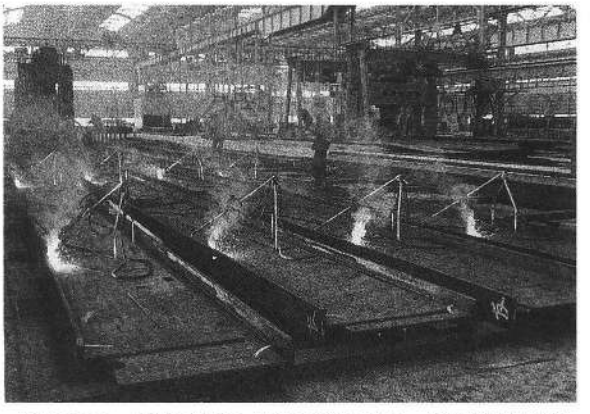


図 2.3.12　小組工程におけるグラビティ溶接の適用例

ンジ材と外板のすみ肉溶接に適用されてその有効性が認められるとともに、図2.3.12に示すように、小組立工程や船台工程にもその適用範囲が拡張された。しかも一人の作業者が多台持ちできることから生産性がきわめて高い画期的な溶接法として、わが国のほとんどすべての造船所で採用されるに至った。

さらに、よりコンパクトに、より使い易くするために、機材に種々の改良、開発が行われた。曲線の水平すみ肉継手の溶接が可能な無指向式グラビティ溶接機、狭隘部や一部突合せ継手にも適用が可能な図2.3.13に示すような低角度グラビティ溶接機、さらに両側同時に施工できるようなグラビティ溶接機などが開発され、またアークを自動的に継続的に発生することができるリレー式連続法などが工夫され、適用された。



図2.3.13　低角度グラビティ溶接機

(3) 立向下進専用溶接棒

グラビティ溶接の採用により、下向溶接が高能率化されると、立向溶接が工程上のネックとなり、立向溶接の高能率化が強く要請されるようになった。

立向溶接は、溶接品質確保の観点から上進溶接で施工されるのが一般であるが、能率が悪いのが欠点である。これを解決するために、これまで作業性、溶接品質に対する評価が低く、補助的な溶接法にすぎなかった下進溶接方法の見直しが行われ、専用溶接棒の開発が本格的に開始された。

これまで船体構造に適用されていた立向下進溶接棒は、チタニア系溶接棒が一般であった。しかし、この溶接棒は、溶接割れが発生しやすく、溶接金属の機械的性質が低いため、上部構造の一部に採用されているに過ぎなかった。1963年頃、被覆材をチタニヤ系から塩基性系（低水素系）に変更することにより、作業性、機械的性質の両面で改良が行われた新しい溶接棒が開発され、船体に適用された。しかも、この溶接棒は、高電流領域の溶接条件が使えるように工夫されていたため、上進溶接法に比べて大幅に溶接速度を早くすることができ、溶接時間を30～60%も短くすることができた。

造船の最終工程である船台での総組立工事においても、隔壁、側外板等のブロック同士の取り合い、船底、上甲板などの骨相互の取り合いなど立向溶接継手が比較的多く、高能率、高品質の立向溶接の必要性はきわめて高い。このような状況から、ステージを問わず適用範囲が急速に拡張されていった。

(4) 低水素系溶接棒

1957年（昭和32年）、戦後初めての潜水艦「おやしお」の建造が行われた。この船体にはSi-Mn系の50キロ級高張力鋼が採用されており、わが国造船界における高張力鋼の適用の最初となった。この鋼材の開発とともに、低温割れを防止するために低水素系溶接棒の研究が積極的に進められた。

一方、船舶の大型化の要請の高まりの中で、1960年代の前半頃から商船にも50キロ級高張力鋼を採用する機運が強まり、その使用比率も増大していった。また、同じ頃にクラックアレスターとしてE級鋼を使用するようになったことからも、低水素系溶接棒の開発にさらに拍車がかけられた。これにともなって、低水素系溶接棒の性能に対する要求も多様化し、全姿勢用溶接棒のみならず、1968年には50キロ高張力鋼用すみ肉専用棒が開発された。この棒は、低水素系溶接棒でありながら、等脚長の平らな形状のビードが得られ、かつ能率も良いことからグラビティ溶接機と組み合わせて大いに使用された。

参考文献

1)　日本溶接協会船舶鉄構海洋構造物部会編；造船の溶接－35年の歩み－
2)　寺井清；造船における溶接技術管理、船舶技術協会

2.3.3　鋼船工作法研究委員会と工作法基準

(1) 委員会発足と溶接工作法基準

終戦直後の民間造船所は、戦争中に戦時標準船を主体に建造していたため、建造技術が低下ないしはかたよった状態になっていた。この建造技術を一日も早く立て直すことが将来の造船業にとってきわめて重要であるとの東京大学の吉識の提案により、1946年（昭和21年）12月にわが国の主要な造船会社の現場・工作関係の中堅技術

者が参画して、吉識を委員長とする鋼船工作法研究委員会が造船協会（現在の日本造船学会）に組織された。

この委員会では、企業の壁を越えて、各社の具体的な工作法、工数計画、新しいアイデア等を持ち寄り、オープンな形式で種々討議、検討が行われるとともに新しく米国から導入された溶接技術などについても研究が行われ、造船工作技術の立て直しと改善が図られた。

この研究委員会は、当初は勉強会的色彩が強かったが、溶接構造によるブロック建造方式の採用が漸次増大していく中で、戦時中に米国で発生した大量の損傷事故の教訓を生かすべく、溶接施工法自体はもちろんのこと、使用鋼材、加工材の仕上げ精度、ブロック配置並びにその溶接手順等の溶接工作の計画と管理に関する指針の作成が強く要望されるところとなり、1947年末頃より電気溶接研究委員会のメンバーも加わって、溶接工作法の研究が行われた。約2ヶ年の歳月と十数回の討議を重ねて、船の「電気溶接工作法基準」が作成された。

さらに、この工作基準は、工作法の発達と大型船の建造が増大する中で、時代の要請に対応するために、1952年より、これの全面的な見直し、改訂が行われ、自動溶接工作法及びX線判定基準などの追加を行い、第1節溶接設備及び器具、第2節鋼材及び溶接棒、第3節溶接施工法、第4節ブロック建造施工計画、第5節ブロック建造施工要領、第6節修繕船における溶接施工要領、第7節試験及び検査、第8節災害防止の8節からなる基準とし、解説も含めて1955年（昭和30年）に「船の溶接工作法」として発刊された。船体の溶接施工の基本として、広く造船各社の施工要領に反映され、適用されている。

(2) 鋼船工作法基準

また、前述の鋼船工作法研究委員会において、次の主要課題として500総トン貨物船を対象とした「鋼船工作法の基準」を作成することが、1949年末頃より企画され、第4章水圧、第5章撓鉄及び鍛冶、第6章取付の各基準が発行され、引き続き、第1章現図、第3章鉄機がその年に完成した。これに関連して、1950年6月には、3章～5章の工作基準をテキストとして、鉄機、水圧、撓鉄の講習会が開催され、技術の普及を図っている。

さらに、1950年（昭和25年）秋には、「鋼船工作法の基準」の内、第7章船体木工、第8章進水の基準が完成した。その後、第9章穿孔及び第10章鋲接は、1952年に、第11章填隙及び第13章瓦斯は、1954年に刊行され、「鋼船工作法基準」の全13章が完成した。

その後、1958年（昭和33年）からは、この鋼船工作法基準の改訂準備は始められ、1960年には、第1巻総括、第2巻工作管理図表及び現図工作法、第3巻内業工作法、第4巻組立工作法、第5巻船台工作法、第6巻進水工作法の「鋼船工作法」全6巻が鋼船工作法研究委員会第一分科会より発刊された。

この間、船体の大型化への対応のため高張力鋼の採用が急速に増大するのに対処するために、既に出版されていた「鋼船工作法基準」を基礎として、1954年には、高張力鋼工作法基準の審議が開始されている。内容は、罫書、鉄機、水圧、撓鉄、穿孔及び填隙、取付及び船台木工、鋲接、溶接及び酸洗及び亜鉛鍍金の9章からなるものである。

この他に、1950年末から1951年にかけての鋼船工作法研究委員会の活動としては、内業施工要領、工場管理、1万総トンクラスのA型貨物船及び大型油槽船の施工要領、工場管理等の工作法基準等の審議が行われ、船体関係の工作法基準の審議は、満5年の歳月を費やして一応終結し、それぞれ工作要領として刊行された。

一方、従来の船殻、工場管理、その他技術部門一般を対象とした課題については、工作基準を策定するなど相当な成果をあげることができたが、これまであまり議論されなかった艤装関係についても技術向上の要請が高まり、新たに艤装を研究項目として加え、検討するために、1952年5月からは、鋼船工作法研究委員会の編成を船殻関係を第一分科会、艤装関係を第二分科会に改組して討議するようになった。早速、第二分科会では、艤装工事関係の工作基準を検討し、原案を作成、銅工工作法の基準が決定した。

さらに、1954年（昭和29年）には、木工工作法の基準作成に着手し、1959年には、塗装工作基準を刊行、造船仕上げ工作基準にも着手した。

この間、1958年（昭和33年）には、鋼船工作法研究委員会の中に、機関及び電気艤装関係の課題を研究、討議する第3分科会を発足させ、活動を開始している。

(3) 鋼船工作法精度標準（JSQS）

1955年（昭和30年）に刊行された「鋼船工作法」は、わが国の造船所で建造される船舶の工作法の基本を示したものであるが、これに基づいて建造される船舶の品質を高度に維持し、しかも工数を低く抑えるためには、理論と実績に裏付けされた信頼度の高い品質基準を設定することが必要であるとの認識が高まり、鋼船工作法研究委員会第一分科会において、関東、関西、西部各地区に小委員会を設けてそれぞれの分担において、船殻品質に

ついて検討が行なわれた。この検討結果を基に、加工及び製品の精度を対象とした工作の標準としてまとめられたのが、「日本鋼船工作法精度標準」(Japan Shipbuilding Quality Standards；JSQS) であり、1964年（昭和39年）に発刊された。この標準は、素材、原図、内業加工部材、組立ブロック、船型確保、鋲孔、歪及びその他主として工程順にそれぞれの区分を定め、項目毎に標準範囲と許容限界を示したものとなっている。これにより、船主、船級協会などの監督者側と製造者である造船所間に品質制度上の共通したルールを持つことができるようになった。

1969年（昭和44年）には、各国の船級協会の意見を反映して、見直しと修正が加えられ、英文版が発行されている。さらに、1971年には、溶接関係の基準を作るための精度小委員会を設けて理論的、実験的なバックデータを付けて全般的な見直しが行われた。その後、1973年（昭和48年）以降2年毎に部分的な改訂が行われている。1975年には、高張力鋼の加熱作業条件の現場作業基準を設けており、1985年（昭和60年）には、鋼材の新製造法（TMCP）の線状加熱法、溶接のショートビード、仮付けビード等に関する条件の追加、改訂を行っている。

このように、JSQSは、日本造船業界の正式な精度仕様として広く適用されている。

以上のように、鋼船工作法研究委員会では、官学の主導により、企業の壁を乗り越えて、将来の造船界の建造法のあり方が熱心に討議され、この結果策定されたものが鋼船工作法基準であったということができる。この産官学の協調体制は、我が国造船界の特徴であり、その後の急速な発展の基盤をなすものであったといえ、人材育成にも大きく貢献した。

参考文献

1) 日本造船協会誌
2) 鋼船工作法基準
3) 船の溶接工作法
4) 日本鋼船工作法精度標準（JSQS）
5) 南崎邦夫：船舶建造システムの歩み、成山堂書店
6) 日本溶接協会、船舶・鉄構海洋構造物部会編：造船の溶接－35年の歩み－

第3章　建造

3.1　戦後の復興と世界一への道のり

1945年（昭和20年）8月に終戦を迎えたが、需要の大半を占めていた軍需が消滅し造船各社は船舶建造再開の見込みがつかない時期がしばらく続いた。その結果造船所によっては、農機具や鍋釜の製作、さらには下駄の製作などを行い当座を凌いだ。

その後700万人に及ぶ在外邦人の内地送還や国内物資輸送のために、この年の9月にGHQは、工事を中止していた戦時標準船123隻、37万3,000総トンの建造続行を許可した。また、政府は当時の食糧難打開策の一つとして水産業の振興に着目し、12月に、捕鯨船、トロール船、カツオ・マグロ漁船、運搬漁船など各種漁船416隻、34万総トンの建造を決定した。このことにより、造船業の生産活動が再開されることとなった。多くの造船所で大量の漁船が建造されたが、三菱長崎造船所では、戦前に戦艦武蔵を建造した船台に、50トン級の漁船が横に並べられて建造され、一日に十数隻も進水させたこともあった。

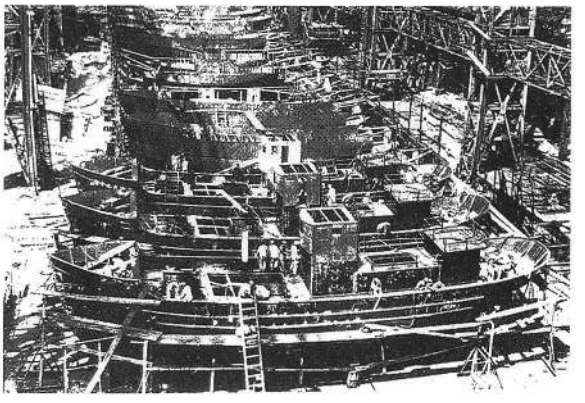


図3.1.1　ガントリー・クレーン下における漁船の大量建造（船舶百年史後編より）

また、当時の政府は壊滅的打撃を被った海運界の自主的再建は無理と判断し、政府の融資によって必要船舶を建造させることとした。1947年（昭和22年）5月にはこの主旨で船舶公団が発足し、第1次～4次の貨物船建造計画、いわゆる計画造船が実施に移された。しかしながら1949年（昭和24年）頃までの鋼船建造実績は年間約10万総トン程度であり、戦前の1941年（昭和16年）の建造実績23万総トンを大きく下回るレベルであった。なお、1948年（昭和23年）までの第4次計画造船までに完成した国内貨物船は91隻、8,993総トンで、その殆どは石炭焚きであった。

当時、総トン数約5,000総トン、速力15ノット以上の船舶は事実上建造を禁止されていたが、1949年（昭和24年）には占領政策の転換によってこれらの制約は緩和され、船型制限は貨物船7,000総トン、油送船12,000総トン、速力は15ノットまでとする程度となり、1950年（昭和25年）以降はこれらの制限も撤廃されるに至った。

一方、欧州の造船所は新造船の受注過多のため新規の受注に応じられない状態になり始め、1947年（昭和22年）の中頃には、日本に欧州各国より新造船注文の引き合いが多くなった。日本の建造船の納期が外国よりも早いこと、および対ドル円為替レートが安かった結果、輸出船の受注が拡大し、1949年（昭和24年）以降徐々に建造量は増加していった。

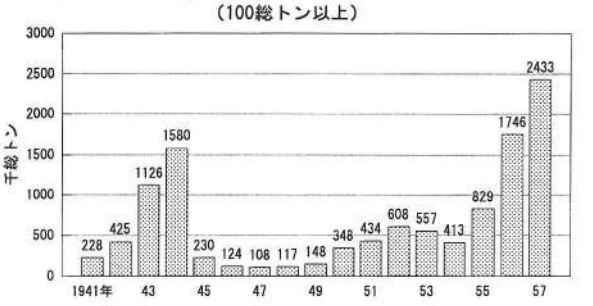


図3.1.2　日本の進水高の推移
（船舶百年史ーロイド統計ーより）

インフレと混乱を続ける戦後の日本経済を安定させるために、GHQは1948年（昭和23年）12月に経済安定9原則を発表した。この政策はGHQのドッジ顧問の指導により、“ドッジライン”として1949年（昭和24年）4月から強力に実施された。また同時に、単一為替レートも1ドル＝360円に設定された。

その結果、インフレは急速に収束したものの、経済界はひどい金詰まりに見舞われ、深刻な不況に陥った。ところが、1950年（昭和25年）6月に突如として朝鮮動乱が勃発した。この動乱が転機となり、日本の経済は徐々に回復し、戦前の水準まで復興した。直接的な影響としては、アメリカ軍の作戦資材や復興用資材の対日需要、いわゆる“特需”が急増し、造船界においても造船需要、船舶修理工事の増大につながった。

1951年（昭和26年）7月に朝鮮動乱の休戦会談が始まるとともに、いわゆる特需ブームは去ったが、造船業だけは、計画造船のおかげで操業の上昇が続き、さらに1951年（昭和26年）10月頃から1952年（昭和27年）春にかけて、海外からのタンカーの引き合いが殺到したため、し

ばらくはタンカーブームが続いた。

しかし、1953年（昭和28年）7月、朝鮮動乱の休戦協定を境として世界の経済は沈滞期に入り、再び不況に陥った。1953年（昭和28年）10月には主要造船所24工場5,000総トン以上の船台99基のうち、稼働中のものは41基に過ぎず、1954年（昭和29年）半ばにはわずかに数基という惨状に陥った。この結果、1954年（昭和29年）の年間進水高も41万総トン程度となり、1952年（昭和27年）と比較して30%以上も落ち込む結果となった。

1954年（昭和29年）秋には、欧米の経済界が好転し、翌1955年（昭和30年）には世界的な好況となった。この好況の背景は、エネルギー利用の変化であり、朝鮮動乱後のアメリカが石油輸入国に転じたことや、中近東の石油に対する各国の依存度が高まったことなどで、石油輸送が激増したことにある。この世界的な好況が日本の経済界にも波及し、再び景気は上昇した。日本の造船業も同時に飛躍的な発展を遂げ、1956年（昭31年）には進水量175万総トン、世界シェア26%を占め、イギリスを抜き世界一の座についた。

日本の造船が急進した背景にはこの時期のタンカーブームが挙げられる。1956年（昭和31年）7月、エジプトがスエズ運河の国有化を宣言したことに端を発し、10月にエジプトとイスラエルが交戦状態となり、スエズ動乱が勃発した。11月にはスエズ運河の航行が停止した。

世界の海運界では、当時4万5千総トン、速力16.5ノットのタンカーが進歩的船主の流行船型であった。ところがこの動乱により、スエズ運河の通航によらず、アフリカ南端を迂回しても採算のとれる大型タンカーの建造熱が盛んとなり、10万重量トンクラスのタンカーが建造され始めた。1960年（昭和35年）代に入って、さらに大型化が促進され20万トンを越すVLCC（Very Large Crude oil Carrier）の出現となった。

世界の船主たちは、1956年（昭和31年）頃既に合理化を進め溶接工作法・ブロック建造方式などでコスト低減と工期短縮を実現していた日本の造船業へ向け、タンカーの発注を急いだ。

1956年（昭和31年）日本の造船業は世界一の座につき、その後シェア世界一を維持することになるが、1970年（昭和45）までの道は決して平坦なものではなかった。

日本の経済は、1956年（昭和31年）～1957年（昭和32年）の「神武景気」、と呼ばれる大規模な好況時代を迎えることになり、造船業も一旦はスエズ動乱の影響による輸出船ブームで急速に発展したが、1957年（昭和32年）4月のスエズ運河再開とともに、このブームは急速に沈静

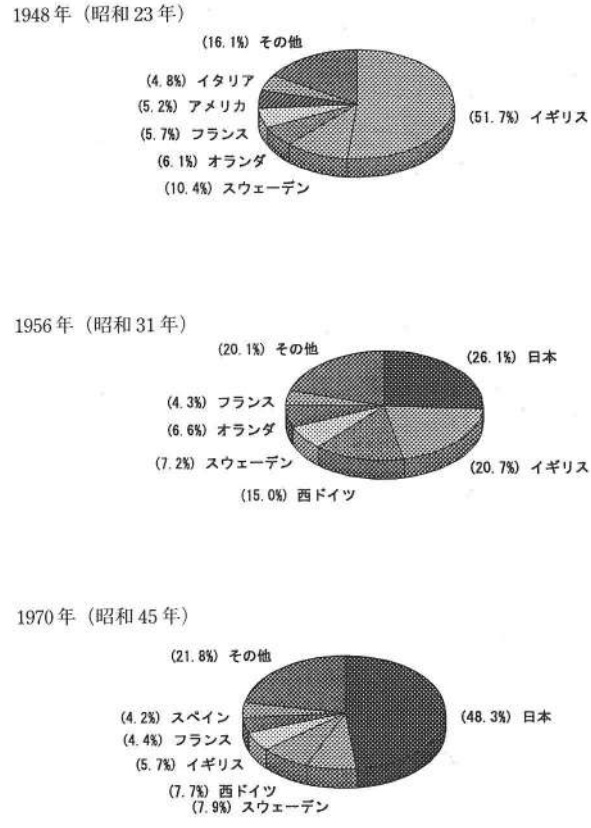


図3.1.3.　世界の進水高のシェア（ロイド統計）

表3.1.1　タンカー大型化の推移

建造年	船　名	重量トン
1948年（昭23）	新和丸	1,800
52（昭24）	聖邦丸	20,356
52	PETRO KURE	38,000
54（昭29）	PHOENIX	45,000
55（昭30）	SINCLAIR PETRO-LORE	55,000
56（昭31）	UNIVERSE LEADER	85,000
59（昭34）	UNIVERSE APPOLO	103,000
62（昭37）	日章丸	130,000
66（昭41）	東京丸	150,000
66	出光丸	209,000
68（昭43）	UNIVERSE IRLAND	326,000
71（昭46）	日石丸	372,400
73（昭48）	GLOBTIK TOKYO	483,664
77（昭52）	ESSO ATLANTIC	508,731

（日立造船百年史より編集）

化に向かった。

その後1958年（昭和33年）の「なべ底不況」を経て、1959年（昭和34年）～1961年（昭和36年）の「岩戸景気」では、一般の産業界は好況であったが、海運・造船業は多大の過剰船腹による圧迫を受け、不況色を脱しきれないでいた。造船各社は、船型大型化や専用船化への設備・技術上の対応を図る一方、当面の不況対策として、陸上部門への進出に取り組み経営の多角化を進めた。

1957年（昭和32年）以来、長期の造船不況が続いたが、1962年（昭和37年）秋頃から様相が一変し、輸出船の受注が増え始めた。世界経済は、大量かつ安価な石油の供給に支えられながら発展を遂げ、さらに産業界の技術革新により、大量の石油需要につながった。これがいわゆる「第2次造船ブーム」で、1956年（昭和31年）頃の「第1次造船ブーム」をはるかに凌ぐ、空前の規模となった。また世界の進水高に対する日本のシェアも、1968年（昭和43年）には50%を越える値を記録し、1970年（昭和45年）には進水高1,000万総トンを越えた。

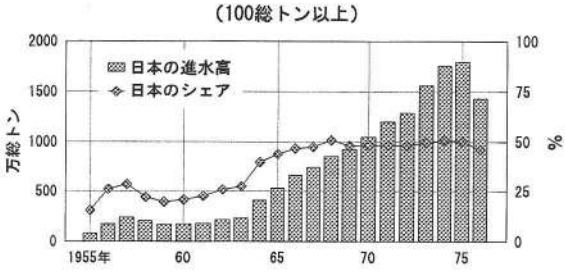


図3.1.4　日本の進水高およびシェアの推移
（ロイド統計より）

終戦から立ち直り、わずか11年で世界一の造船国になり、その後世界の50%のシェアを占めるに至ったが、その間に造船の建造技術は大きく変遷した。基本的には、既存の造船所でいかに生産量を増加・拡大させるかの技術的進歩であったと言える。

特にリベット工法から溶接施工への変化とブロック建造法の拡大は、生産量増大と建造工期短縮に大きく寄与した。溶接法の拡大は、鋼板切断において溶接開先を必要とし、機械切断からガス切断への普及を促した。また、ブロック建造法の拡大は、造船所のレイアウトをアセンブリーを主体とする工場へと一変させた。1960年（昭和35年）半ば頃からは、現図にコンピューターの利用も始まり、1970年（昭和45年）までには、NC切断機が出現するなど、造船の基本的な技術はこの時期までに成熟したと言える。

1966年（昭和41年）頃から急激に船舶は大型化したが、これに先立ち造船各社は、輸出船の受注が増え始めた1962年（昭和37年）頃から、船台の拡張や新工場建設に動き出した。1962年（昭和37年）頃は、大手造船所は3万～10万総トンクラスの建造ドックの新設に着手することになるが、その後景気が持続したこともあり、1970年（昭和45年）頃までには大手造船所はいずれも10万総トンを越えるクラス（約20～50万DWT）の建造ドックを保有することになる。造船の長い歴史のなかでも、このように急激な設備拡張時代は見いだせない。また造船業は、戦後以来3～4年の周期で不況と好況を繰り返しながら発展拡大してきたが、この時期は長期に亘って好況が続き、まるでこの好況が未来永劫に持続するかのような勢いであった。

一方、終戦後の頃の船の種類は、貨物船とタンカーで大半を占めていた。当時の貨物船は、原材料、穀類、一般雑貨を輸送する約1万2千トン程度までのものであり、何でも運ぶ形態であった。戦後に経済が発達するにつれ、貨物量が増大し、その結果各種専用船が出現することとなった。その代表的なものが、Bulk Carrier（バラ積船）、Container Carrier（コンテナ船）、Pure Car Carrier（自動車専用運搬船）、LPG Carrier（液化石油ガス運搬船）などであり、1970年（昭和45年）までにこの種の専用船が出揃うことになる。

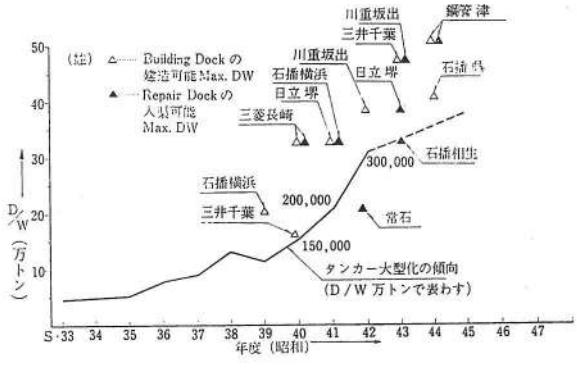


図3.1.5　船舶の大型化の傾向（昭和造船史第2巻より）

3.2　建造技術の変遷

3.2.1　現図

(1) 現尺現図

設計図を基に、部品個々の加工に必要な情報を何らかの形で伝える加工用一品図を現図と称する。ブロック建造法が採用されるまでは、生産設計用の図面はなく、船

殻機能図（コンプロ）のみしかなかった。この船殻機能図を原寸大の船体断面・平面・側面を木の床の上に描いてフェアリングを行った。船体の外形形状及び各断面に於けるフレームの形状は、このようにして定義され、個々の部品はこの基本形状を基に設計図を参照し、床に描いて定義した。この情報を原尺のテープ、定規、木型等により鋼板に写し取り、罫書きを行って加工した。このように原寸で加工情報を加工職に伝える方法を、現尺現図と言う。



図3.2.1　現尺現図の写真

(2) 縮尺現図

現尺現図の方法は、多少の工夫はできるものの、ほぼ建造する船の断面と同じ程度の床面積を必要とした。1960年（昭和35年）代に入り船舶の大型化が進み、特にタンカーでは、20万トン以上の船が建造され始めると、従来の現尺現図では床面に描ききれない船が出現した。

これらを解決するために、縮尺現図が採用されるようになった。縮尺現図は一般的には1/10で作画され、何らかの方法でこの作画情報を鋼板に写し取るか、直接鋼板を切断するのに用いられる。従って、罫書きあるいは切断機の開発につれ、縮尺現図も拡大していった。

1953年（昭和28年）三井造船が導入したフォトマーキング（拡大投影し、人手でトレース）、1955年（昭和30年）に三菱重工業、IHI、日立造船が導入したモノポール（1/10ネガフィルムをフォトアイにて追跡して拡大切断）などが、縮尺現図の道を開いた。1960年（昭和35年）には、全加工重量の50～60%は縮尺現図によるまでに達した。

縮尺現図は、現尺現図と比較して非常に少ない床面積での作業を可能にしたが、一方で現尺型に比べ10倍の精度を要求されるようになった。即ち、誤差も拡大されるため、10倍の投影であれば1mmの誤差が10mmの誤差に化けることになる。従って、現図の作成には相当な注意が払われた。

(3) NC現図

1955年（昭和30年）頃から商業用コンピューターが普及し始めたが、各造船所はいち早く、この利用法に着目し、1963年（昭和38年）頃から外板展開、線図のフェアリングなどの技術計算に利用し始めた。その後に、フレームの展開、曲がり外板組立用治具の計算などに適用し、1960年（昭和35年）代後半には、コンピューターを利用した自動製図機が出現するようになり、図形処理プログラムが開発され、内部構造部材についても自動作画するようになった。

このように、コンピューターを利用した現図をNC現図と称するが、精度に対する不安要素は大きく改善されることになる。また、その後のコンピューターの発展は著しく、1980年（昭和55年）代には図形を対話形式で直接コンピューターに入力できるCADが出現する。

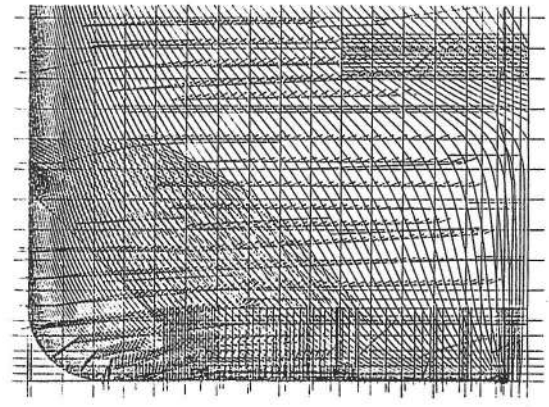


図3.2.2　フェアリングされた線図
（昭和57年日本造船学会第631号より）

(4) 工作図

ブロック建造法は、図面の形態をも変えることとなった。即ちブロック単位で作業者が作業を行うため、作業者が理解し易いように、図面もブロック単位に近いものに編集された。このような工作用の図面を工作図と称するが、工作図は単にブロック単位の図集だけでなく、部品表や溶接開先、各ステージで精度を維持する為の伸し（部材の端部に付加する場合と部材全体を拡大する場合とがある）などが追記されるようになる。また、生産の形態もロット単位（ブロック複数個から構成された加工の単位）で加工工場に流れるようになった。

表 3.2.1　造船所における現図、加工変遷の例

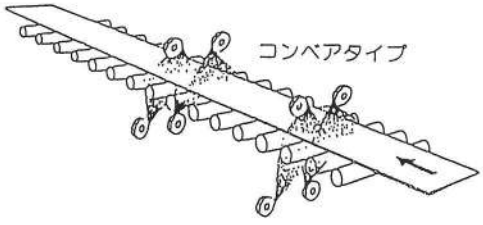
年	現図、加工の変遷
1956年（昭31）	正面線図に縮尺現図を採用
60　（昭35）	工作図作成開始
60	リモートグラフ（拡大切断機）稼働開始
62　（昭37）	拡大投影機稼働
63　（昭38）	外板展開にコンピューターを利用
67　（昭42）	自動製図機を設置
71　（昭46）	EPM 設置
73　（昭48）	NC 切断機導入
75　（昭50）	NC 切断機にプラズマ搭載

3.2.2　加工

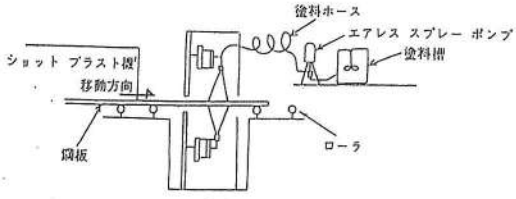
船体を構成する部材の製作までを一般的に加工工程と呼ぶが、鋼材の表面処理、部材罫書き、切断、曲げ工程がこれに属する。

(1) 鋼材の表面処理

鋼材の表面処理設備としては、従来は歪み取りローラーあるいはピックリング（酸洗い）装置であったが、1950年代半ば頃から、塗装前錆落し作業ならびに塗装作業合理化のため、ショットブラストと組み合わせたショッププライマーの自動塗装装置が設置されるようになった。



ショットブラストライン



ショッププライマーライン

図 3.2.3.　ショットブラスト、ショッププライマーライン（らん15号より）

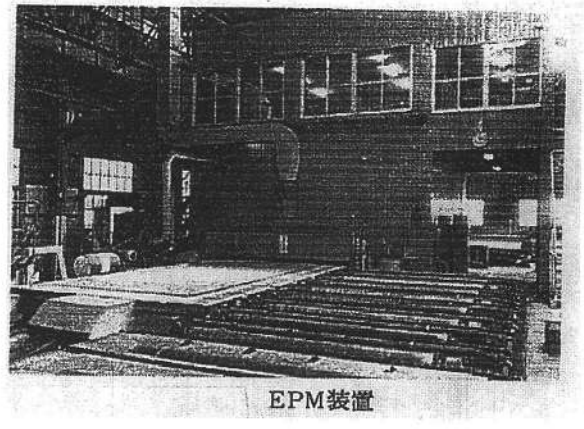
ショットブラスト装置は、ミルメーカー（鉄鋼会社）から納入された鋼材の表面のミルスケール（鉄の酸化物：黒皮）を、ショットという1～1.5mm径の鋼球を表面に打ち付けて除去する装置である。また、ショッププライマーは、切断・曲げ加工・溶接などを行っている間の鋼材の錆を防止するために、加工前に工場で塗装される塗料を言う。

(2) 罫書き

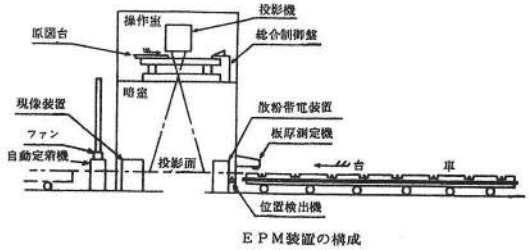
表面処理の後に罫書き工程へと移るが、部材の切断線・取付線・基準線・部材名称などを鋼材に直接描くことになる。最終製品に対しては、この罫書き情報は不要であるが、中間工程で罫書き線および文字が現在でも必要となっている。

現尺現図の時代は、定規、コンパス、ポンチ、ハンマー、墨つぼ、墨さしにより、鋼板に直接描いていたが、EPM（Electro Print Marking）装置、NC 切断装置の出現により、これらの道具は主役の座を降りることになる。しかし現在でも、小部材の製作、ブロックマーキングなどで、これらは必要とされている。

罫書き工程の大きな変化は、1953年（昭和28年）に三井造船にフォトマーキング装置が導入されたことにある。罫書きの方法は従来と同じであるが、拡大投影した部材の輪郭線をトレースする作業に変わり、作業の省力化が図られた。また、もう一つの大きな変化は、鋼板に画像



EPM装置



ＥＰＭ装置の構成

図 3.2.4　EPM 装置（鋼船工作法、第３巻より）

を直接焼き付けるEPM装置の導入である。1962年に開発され、三菱重工業神戸工場に最初に導入された。投影罫書きに比べ罫書きの能力が飛躍的に向上した。

初期のものは、光導電性塗料（EPM感光剤）、トナー、定着剤を必要としていたが、1967年（昭和42年）に罫書き鋼板に全く前処理を必要とせず、光導電性粉体（EPMPhotoner）と定着剤を用いて画像を形成する粉体EPM方式が完成し、広く普及した。

1970年（昭和45年）頃は、この拡大投影機とEPM装置が主流であったが、その後NC切断機に搭載された溶射式マーキング装置に、その座を明け渡すことになる。

(3) 切断

鋲構造の時代には主としてポンチング、シャーリングマシンによって鋼材を加工していたが、戦後はガス切断による加工へと移行した。ガス切断法そのものは明治の末から日本に導入され、溶接と同じく第2次世界大戦中のアメリカにおいて発達したが、日本においては溶接技術の進歩と同様に1950年代半ば頃に急速に拡大されていった。

表3.2.2　電気溶接・ガス切断・機械切断使用率変化の例

年　次	機械切断使用率	ガス切断使用率	船体溶接使用率
1944年（昭19）	95%	5%	21%
1952年（昭27）	60%	40%	85%
1956年（昭31）	5%	95%	95%

（昭和造船史第2巻より）

また1950年（昭和25年）頃より可搬式自動切断機がドイツあるいはアメリカより輸入され、精度および能率の面で従来の手動切断と比べ格段の威力を発揮した。その後これらの国産化も進められるようになってきた。さらに中圧火口の出現によりマルチプル・トーチ切断が可能となり、1953年（昭和28年）には、日本で初めてフレームプレーナーが川崎重工において国産化された。

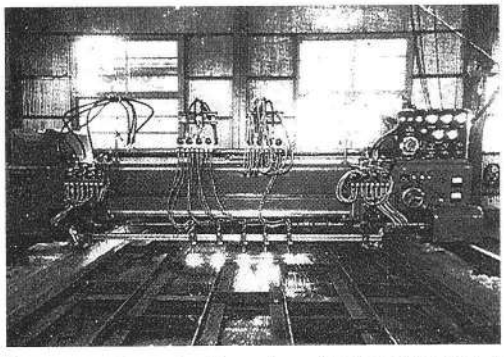


写真3.2.5　フレームプレーナー（溶接五十年史より）

フレームプレーナーは、切断機本体が極めて精度の高いレール上を走行し、船体中央部の甲板や外板などの矩形状の板は罫書きなしで切断することができることから、溶接開先切断、平行切断がより一層に高精度化、高能率化された。現在でも多くの工場で威力を発揮している。

さらにガス切断の使用率向上に伴い、ガス供給設備も、従来の集合装置方式あるいは低圧アセチレン発生装置に代わって、液体酸素方式あるいは中圧アセチレン発生方式が普及した。その結果、工場のみならず船台にも広くパイプラインが敷設されることになった。

一方、内部構造材の曲線を有する複雑な切断については、自動拡大切断機の登場が特筆される。戦後ドイツで考案された光電制御式自動ガス切断機モノポールが、1955年（昭和30年）に輸入された。1/10縮尺現図で詳細に描かれた図形をさらに1/10の写真乾板に取り、このネガの切断線を光電的にトレースすれば両腕部のバーナーに作動し、両側同時に現尺（100倍）の寸法に切断できる仕組みとなっている。当時としては画期的であり、工場によっては全加工重量の15%をモノポールにより切断した。

このように、従来のシャーリングマシン、エッジプレーナー、ポンチングマシン、ボール盤が、自動・半自動式ガス切断機、フレームプレーナー、自動拡大切断機に置き換わった。

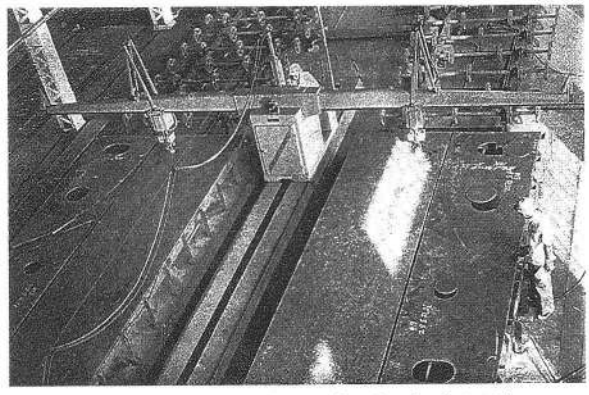
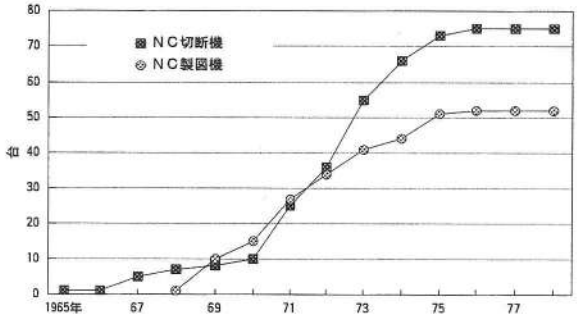


写真3.2.6　モノポール（船舶百年史より）

現図にコンピューターが利用され始めるのと同様に、ガス切断機にもコンピューターが利用され始めた。このNCガス切断機は、1961年（昭和36年）英国の造船所で導入されて以来各国に普及した。日本では、1965年（昭

和40年）日立造船堺工場で、外国製装置と自社開発ソフトウェアーを組み合わせて稼働したのが最初となる。NC切断機の利点としては、それまでの拡大投影されたマーキング線上を半自動切断機でトレースしながら切断する方法に比べ、数値制御のため部材切断精度が飛躍的に向上した。

やがて1970年代初めにプラズマ切断トーチを装備したNCプラズマ切断機が開発されると、その切断速度の高速化による能率向上と、ガス切断に比べて切断部材への熱歪が極めて少ないとの理由により、造船各社に急速に普及していった。NCガス切断機を導入・設備していた造船所でも順次NCプラズマ切断機への置換を行い、現在NCプラズマ切断機がどこの造船所においても、切断工程の主流をなしている。



NC機械普及状況

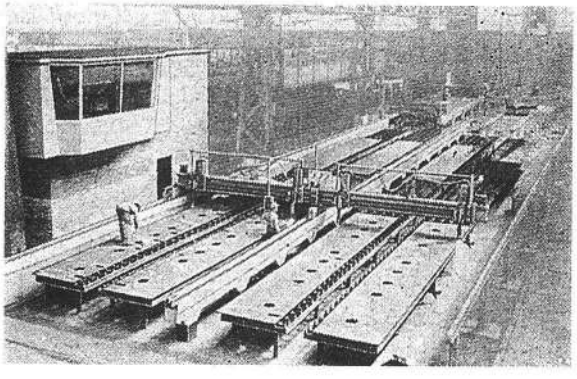


図3.2.7　NCガス切断機
（昭和造船史、第2巻、日本造船工業会30年史より）

(4) 曲げ

船体の前後部や中央部においてもビルジ部分は、曲面を有している。従って、この付近の構造を構成する部材は曲げ加工を必要とする。戦後の曲げ加工は、加熱炉の中で全体又は部分焼きを行い、定盤上で加圧荒曲げ後、ハンマリング等で仕上げ整形を行うという方法が一般的であった。このような加工法では、加熱に多大の時間を要することと、人力によるハンマリング等、非能率かつ重筋作業を強いられることから各種の新工法が工夫されていった。

加熱加工の分野では、線状加熱法が生み出された。線状加熱法は、局部的に加熱することで鋼材に生じる収縮変形を利用した加熱工法で、鋼板表面をガスバーナーにより線状に加熱し、水冷する操作を繰り返すことによって所定の曲がり形状に加工することができる。

冷間加工においては、片フレーム型プレスあるいは汎用門型プレスに代わって、700～1,000tのラムベッド移動回転式の高能率プレスが広く使用されるようになり、従来の水圧プレスに代わって、故障が少なく高度の制御方式の可能な、油圧プレスが多く採用されるようになった。

3.2.3　溶接、組立

戦後の造船工作法の大きな進歩として、溶接法の拡大とブロック建造法の採用とが挙げられる。この2つの出来事は、互いに量を拡大しコストを下げるという目的に協調しながら、戦後僅か10年余りで急速に普及した。

(1) 溶接

造船の溶接法は戦後までは全て手溶接であったが、1950年（昭和25年）頃から1970年（昭和45年）にかけて、省力化のために多くの溶接法が開発された。1970年（昭和45年）までに開発された主な溶接法は次のとおり。

・サブマージアーク溶接
・グラビティー溶接
・立向き自動溶接機
・ガスシールドアーク溶接

サブマージアーク溶接は、1933年（昭和8年）にアメリカで開発され、1936年（昭和11年）に船殻の溶接に初めて適用されたが、日本へは、1950年（昭和25年）頃アメリカのリンデ社より「ユニオンメルト」の名称で導入さた。それ以来、造船溶接の自動化が始まったと言える。裸ワイヤーを自動供給し、裸ワイヤーと母材との間に発生するアーク周辺を粉末のフラックスで囲って行うアーク溶接法である。大電流が使用でき、溶着速度が大きく、深い溶け込みが得られる利点がある。1965年（昭和40年）頃には、裏当て方法、裏当て材等の研究がなされ、片面サブマージアーク溶接の開発が行われ、実用化された。

グラビティー溶接は、造船が開発実用化した中で最も

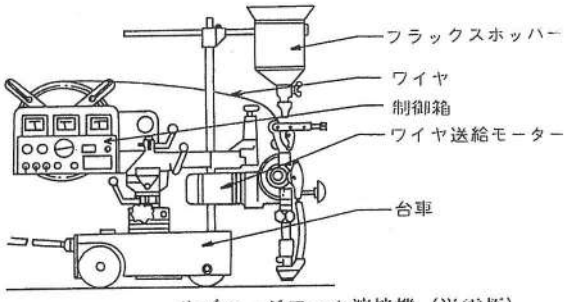


図3.2.8　サブマージアーク溶接
（鋼船工作法、第4巻、組立工作法より）

生産性に寄与した施工法の一つである。第2次世界大戦中、呉船式溶接法として造船所で開発されたものであるが、種々の難点があって当時はあまり使われなかった。1960年代船舶の大型化、建造量の増大に伴い溶接長が増加したために再び注目を浴び、多くの改善が進められ実用化に成功した。

この溶接法は、ガイドレールにセットされたホルダーに溶接棒を挟み、アークをスタートさせるとあとは溶接棒の消耗につれてホルダーが自重で下降しつつ溶接が進行する、極めて簡便な溶接法である。また、一人で多数の治具を操作でき、治具は小型で取り扱いも容易であり、設備費も少額であることから、急激に拡大した。溶材使用量では、1960年（昭和35年）は殆どゼロであったが、1970年（昭和45年）には全溶材の約1/4を占める迄に増大した。

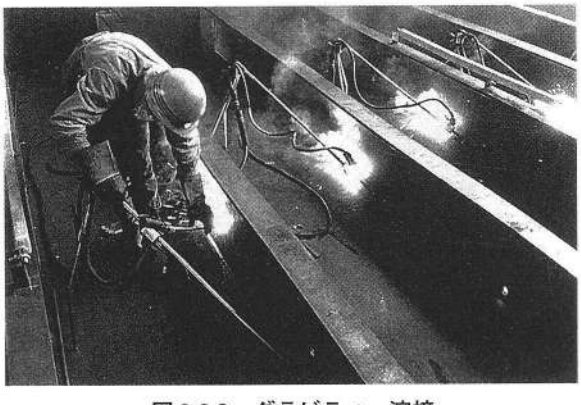


図3.2.9　グラビティー溶接

立向自動突合せ溶接としては、1951年（昭和26年）頃ソ連で開発され1960年（昭和35年）に国産機が登場したエレクトロスラグ溶接機（ES）と、1960年（昭和35年）ベルギーで実用化されたエレクトロガス溶接機（EG）がその代表的なものである。日本の造船溶接への本格導入は、1965年（昭和40年）に始まり、日本鋼管においてES溶接が、川崎重工、浦賀重工、三菱重工においてEG溶接が、ほぼ同時期に船体側外板の高能率自動溶接機として適用された。

ガスシールドアーク溶接は、1953年（昭和28年）に名古屋大学関口によって発表されたCO_2-O_2シールドによる炭関アーク溶接法に由来する。その後1965年（昭和40年）頃、炭酸ガスをシールドガスとした炭酸ガス半自動溶接機が開発され、一部大手造船所に導入されるが、手溶接に比べ耐風性が劣ることから、他産業に比べ普及は遅かった。しかし、1970年（昭和45年）以降は、その機動性と高能率が見直され急激に増加した。

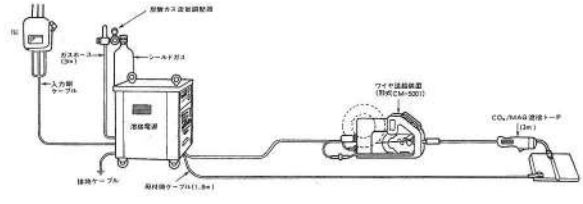


図3.2.10　CO_2溶接機

(1) 組立

ブロック建造法についても溶接と同じく歴史は古く、第1次世界大戦のさなかの1918年（大正7年）頃川崎造船所において採用された。ストックボートという標準船の量産を実施した際に、大幅なサブアセンブリの採用によって、数10隻にのぼる9,100総トン型の貨物船をわずか1ヶ月近くで進水させている。

また、第2次世界大戦中のアメリカにおいて輸送船を主体として船舶の大量建造が行われたが、この時期に溶接法の拡大適用と結びつき、ブロック建造法が本格的に採用された。1950年（昭和25年）頃、ほぼ戦前の建造量まで回復した日本の造船業は、それまで軍艦を主体としていた戦前・戦中と異なり輸出商船を主体としてさらに建造量を増やしていったが、この時期にブロック建造法が日本でも本格的に採用され始めた。ブロック建造法は、地上組立作業に工事を移すことができ、船台の工事量を大きく減少できるために、船台工事期間を短縮することができる。この利点を生かし日本の各造船所は建造量の増加に努めた。

ブロック建造法の推進で大きく変化したものとして、

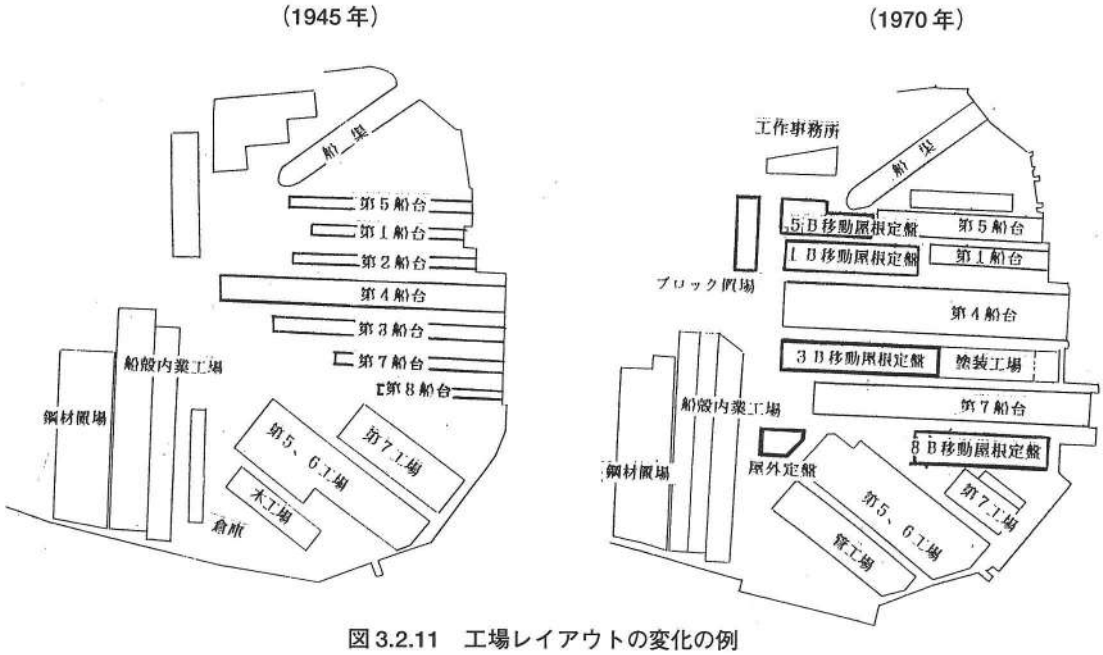


図3.2.11　工場レイアウトの変化の例

工場レイアウトの変更とクレーンなどの運搬設備が大型化したことが挙げられる。ブロック建造法は船台期間を短縮できる一方で、ブロックを建造する工場いわゆるアセンブリーヤードを必要とする。従って、それまでの工場は船台を如何に多く保有するかにあったが、多くの造船所で船台をアセンブリーヤードに変更し、ブロックをいかに効率よく作るかに力点が置かれた。その結果、1970年（昭和45年）頃には、全船殻工事の50%以上が組立、小組立工程で施工されるようになった。

ブロック建造法の利点としては、

①溶接が下向きの姿勢となるため、溶接の信頼性と作業能率が向上する。

②船台作業が減少し、船台期間を大幅に短縮できる。

③ブロックの組立工程管理により、工場全体の工事量の平準化が図れる。

などが挙げられる。

一方、従来の船台工事においては、トランス一本ずつ外板は一枚ずつ搭載していたが、60トン近くのブロックを搭載するようになると、ブロック個々の精度が問題となってきた。その結果、部材精度向上を目的として統計的品質管理の導入が図られた。部材加工工程におけるX－R管理手法が、その代表的な例と言える。

自動溶接機の開発に伴い、組立法も工夫された。ブロックの一般的な組立法は、予め外板あるいは甲板などの皮板を自動溶接機で継ぎ、この板をベースにトランス、ロンジ材を配材し組み立てる方法で、「バラ配工法」と呼ばれる。ブロック建造初期の頃は殆どこの工法であったが、船舶が大型化し船体の平行部の範囲が広くなると、この平行部に対してさらに合理的な組立法が開発された。「枠組工法」と「ロンジ先付け工法」がその代表的な例である。

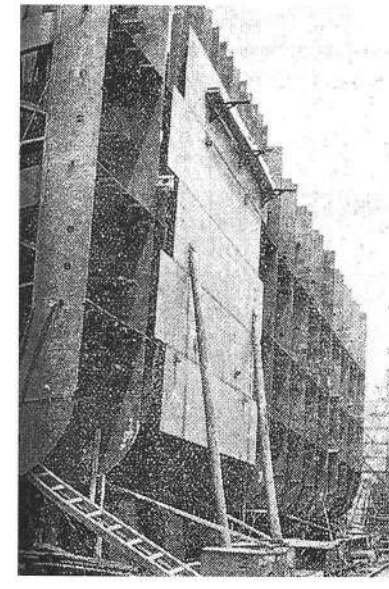


図3.2.12　1950年頃の船台建造状況
（日本造船学会論文集第90号より）

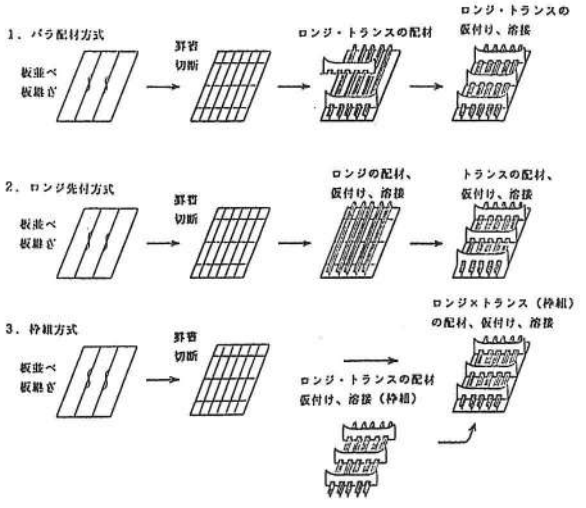


図3.2.13　平行部ブロックの組立法（らん、第15号より）

「枠組工法」は、ロンジ、トランス、ガーダー等の内部構造部材を定盤上で格子状に組み上げ、板継ぎされた皮材上に乗せ一体化する方法である。装置化することによりロンジまたはトランスを挿入する方式とすれば、交差部のカラープレートを不用とすることができ、精度保持が容易であるという長所がある。

「ロンジ先付け工法」は、板継ぎされた皮板上にロンジ材を先行して取り付け溶接を行い、その後に直行するガーダー等の部材を取り付ける方法である。ブロックの組立において最も溶接長の長いロンジと皮板との隅肉溶接を合理化できる長所がある。

1960年代後半には、多くの造船所で「枠組工法」が採用され、片面自動溶接とコンベアラインとを組み合わせた設備の導入が行われ、「枠組工法」が一つの時代を築いた。1970年（昭和45年）に日本鋼管津造船所において、「ロンジ先付け工法」で専用型ラインウェルダーによる溶接の自動化が図られた。当時は、サブマージアーク溶接機が適用されていたが、その後1975年（昭和50年）以降、CO_2溶接機を搭載した装置に変わり広く普及するようになり、「ロンジ先付け工法」による隅肉溶接の自動化が主流となっていった。

また、ロンジ溶接を行った後にトランス材を差し込む方法や、皮板の溶接前にロンジ材を取り付けて溶接する「単板ロンジ先付け工法」などが、その後出現することになる。

3.2.4　船台工事

終戦後、ブロック建造法が定着するに従って、ブロック組み立て定盤（アセンブリーヤード）が拡大してきた。また、1960年（昭和35年）頃には大手造船所はいずれも70～80トンのクレーンを設備し、搭載ブロックの重量も大きくした。少ない船台で、ブロックをできるだけ大きくし、船台工期を短縮し建造量の増加に努めたが、世界一の建造量となった1956年（昭和31年）以降、さらなる建造量増加に対応するために、船台工事における工期の短縮を目的に様々な工夫がなされた。

船台工事は、ブロックを船台に搭載し、ブロックの位置決め、取付、溶接を行い、船体各タンク区画の水圧・気密試験を行い、主機などの主要艤装品を納め進水させるまでの工事である。この工程では、船殻工事の他、塗装工事、船体艤装工事、居住艤装工事、電気艤装工事など多くの職種が混在して作業する。従って短期で船台工事を進めかつ職種の混在を避ける合理的な建造法が考えられた。この建造法は、ブロックの搭載手順により一般的には層状建造法と輪切り建造法とに分類される。

いずれの建造法も、艤装工事の多い機械室を早期に立ち上げるために、起点ブロックは機械室近傍の船底ブロックとなる。層状建造法は船首尾方向への展開を主眼に置いたものであり、この起点ブロックからスタートし、まず船底部分、次に横隔壁構造、外板構造へと展開していく方式である。前船の進水後早期に工事を展開でき、上下の混在作業を回避できる特徴がある。

輪切り建造法は、上下方向への展開に主眼を置いたものであり、工事はタンクあるいはホールドごとにまとまって行われるので、各区画ごとの完成が早く、タンク内作業の装置化を行い易い特徴がある。

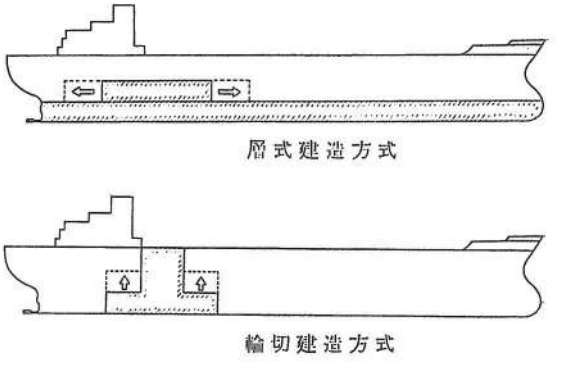
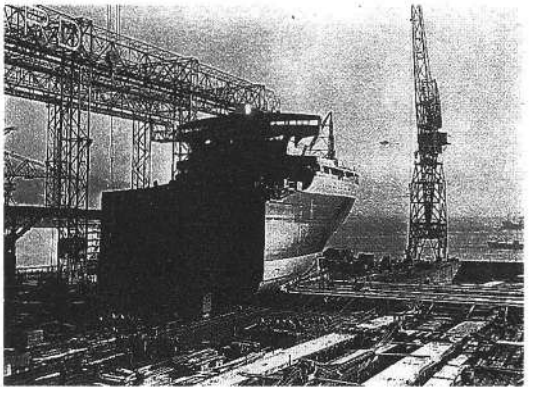


図3.2.14　層状建造法と輪切り建造法
（昭和造船史第２巻より）

1957年（昭和32年）に川崎重工神戸工場において、船尾ブロックの横移動方式による建造方式が採用された。予め組み立てられた船尾の大ブロック（総重量2,800トン）を隣接の船台へ移動して、残りの船体の建造を船首方向に展開して船体を完成させる方法である。船体の延長工事と平行して船尾の艤装工事を行い、船台期間の短縮と進水後引渡しまでの期間の短縮をも狙ったものである。38,000DWTのタンカーにおいて初めて試みられたが、当時標準船台期間5ヶ月、進水後3ヶ月とされていた工期をそれぞれ2.5ヶ月、1.5ヶ月と半分に短縮した。

後に、ドック建造においてセミタンデム工法が出現するが、基本的な考え方はこの建造法と同じであり、傾斜を持つ船台でこの時点で既に実用化されたことになる。



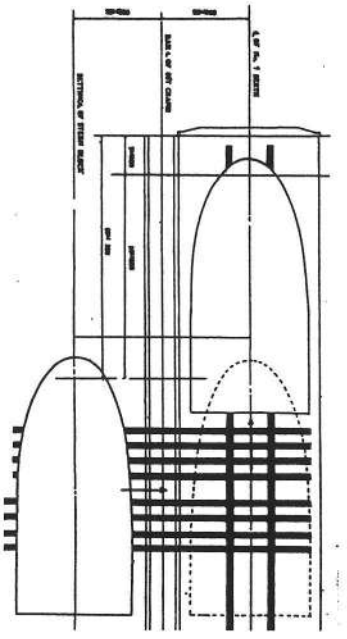


図3.2.15　船尾ブロック移動方式による建造法（造船百年史より）

三菱重工業横浜造船所では、複数の建造起点からブロックの搭載を始める、多点建造法が採用された。単に工事量の早期展開だけの目的ではなく、当時の既存造船所では工場の面積的な制約から、ブロックのストックも大きな問題となり、これを解決するのにも有効とされた。この工法を採用するにより船台期間を4ヶ月から3ヶ月に短縮することに成功した。

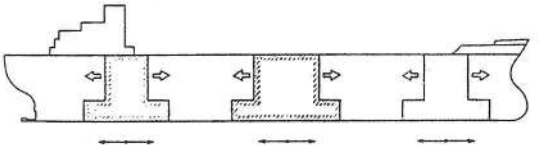


図3.2.16　多点建造法（昭和造船史第２巻より）

1960年代の半ば頃から1970年代の初めににかけて、大型造船所が新設され稼働を開始し、造船所によってはドックの増設を行い複数のドックを保有することになるが、一般的には1ドック体制の造船所が多かった。この1基のドックを有効に活用するよう考案されたのがセミタンデム建造法である。

先行する建造船と同時に、後続の建造船の船尾構造を平行して建造し、進水時に後続の船尾構造を浮上させて移動させる方法である。ドックの回転率が向上し、工事量の平準化が図れる効果がある。

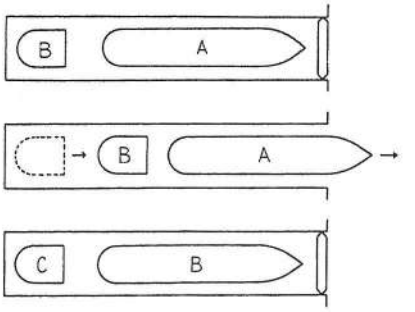


図3.2.17　セミタンデム法
（鋼船工作法、第５巻、外業工作法より）

新鋭の造船所は、ドックに通常200～300トンのゴライアスクレーンを装備しているが、この能力を最大限に生かすために、数個のブロック（通常ハンドリングの関係上1ブロックは100トン以下の重量）を予めドック搭載前に結合する総組を行うようになった。総組は、船台工事を地上化し足場作業の合理化や溶接工事などの装置化を目指し、搭載後の工事の削減を図るものである。

その他、1970年代までに様変わりしたものとして、足

場、塗装、艤装法がある。

現在は船体外板の足場は激減し高所作業車に置き換わったが、1970年代まで足場は、船体に直接ピースを溶接し、このピースにブラケットをボルトで固定し、足場板をブラケット上に固縛する固定足場が一般的であった。また、ブラケットを利用してそれにフラットバーを吊り下げ数段の足場にする、たんざく足場等が用いられた。終戦後は、丸太を利用した足場も多かったが、戦後徐々に鋼製材料を用いたこのような足場に移行した。

建造船が大型化するに従い足場架設枚数も急激に増加し、46,000DWTタンカーで10,000枚を越えるまでになった。工期が短縮し足場架設枚数も増加したことから、従来の鳶職の技術に依存しない、合理的な足場架設の方法が考え出されるようになり、ドックサイドや外板、さらにはホールドやタンク内部を走行する移動足場が考案された。

船殻のブロック建造とともに、1950年代半ば頃から塗装もブロックが完成した後に施工されるようになった。これがブロック塗装であるが、時代とともに塗装グレードが高くなり、タンカーのカーゴタンクにも特殊塗装が施工されるようになり、新鋭の造船所はいずれも大型の塗装工場を保有することになる。塗装工場は、溶接箇所とショッププライマーの損傷箇所をブラストで下地処理する区画と、塗装を行う区画とに分かれた2区画を持つのが一般的である。

艤装も塗装と同時期にブロックで施工されるようになり、ブロック艤装として1970年（昭和45年）頃までに定着した。最初は、デッキや隔壁貫通部の貫通ピースをブロックに取付ることから始まり、順次拡大していった。また、船台においては、従来艤装品は単体で搭載されていたが、先行して数本のパイプをパイプバンドと一体にしたり、ポンプなどの補機とパイプや補機台とを組み合わせたり、艤装品を地上でまとめて一体化して搭載するようになった。このような方法をユニット艤装と呼ぶが、1970年（昭和45）頃にはブロック艤装、ユニット艤装などの地上艤装化率が60%を越える造船所も現れた。

3.2.5　進水

船殻工事の大半が完了した時点で、船体を海上に浮かばせる作業が進水である。船台およびドックでの進水を、それぞれ船台進水およびドック進水と呼ぶ。

船台進水では、長さ方向に傾斜して据え付けられ、盤木、支柱などで支えられた船体の荷重を、予め設置された進水台に移し、進水台上を滑走させ海面に浮揚させる。船体は、滑走の過程で浮力変化に応じて外力を受けることになり、十分な注意が必要であり時には船体自身も補強することがある。また、戦前から戦艦などの進水重量は20,000トンを越えており、巨大な重量物を一気に滑走させるための研究が、戦前戦後を通じて行われてきた。

一方、ドック進水は建造ドックで行われる進水であり、ドック内に海水を注水させて船体を浮揚させるものである。トリム、ヒールにより船底を傷めないよう、予めバラストタンクに水を入れ、船体浮上時に船首尾がほぼ盤木に平行して浮上できるように注意が払われる。

船台進水における船体下部の進水台構造は、いわゆる鉄道のレールの役目を果たす固定台と、船体の荷重を直接受ける滑走台から構成される。この固定台と滑走台との間にヘット（鉱物性ワックスを主体に高分子化合物、合成樹脂などを配合して製造される）および軟石鹸を塗布し、この滑りを利用して船体を滑走させる。この方法をヘット進水と呼び戦前までは広く一般的であった。

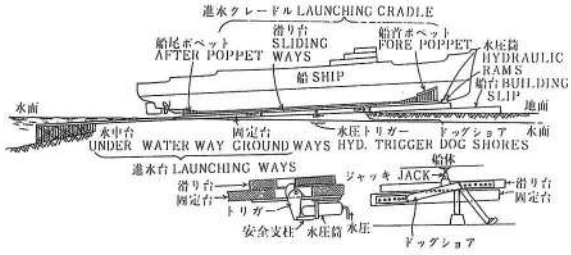
1947年（昭和22）に東日本重工業株式会社横浜造船所においてボール式進水方法が採用された。ヘットの滑りを利用する代わりに鋼製のボールを利用する方法で、第二次世界大戦中、ヘットの不足を補う意味で考案され、戦後間もない時期に実用化された。

進水直前には、傾斜した船体の発進力を一時的にトリガーの爪で支えることになるが、この発進力を推定するためには、ヘットの静摩擦係数の値が問題となる。この値は戦前から実験的に求められていて、結果に多少のばらつきがあるが、0.005～0.03の値と報告されている。ヘットの静摩擦係数は、気温などによる影響で多少変化するが、ボール進水では、ボールによる摩擦係数は0.02～0.025とほぼ一定であると報告されている。

また、ボール進水の場合許容できる平均圧力が大きいので、進水台をコンパクトにでき、進水工事量を削減することができる。このように、一般的にはボール進水が有利とされ、その後他の多くの造船所でもこの方式が採用されることになった。

参考文献（順不同）

1) 大串雅信：理論船舶工学、海文堂
2) 鋼船工作研究委員会：新版　鋼船工作法、産報
3) 上野喜一郎：船の世界史、舵社
4) 鋼船工作研究委員会：船の建造および工作法概要、産報
5) 運輸省海上技術安全局監修：造船統計要覧、成山堂書店



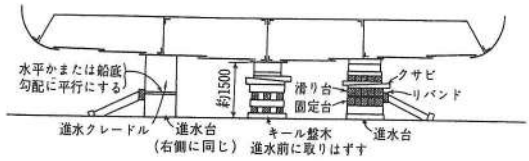
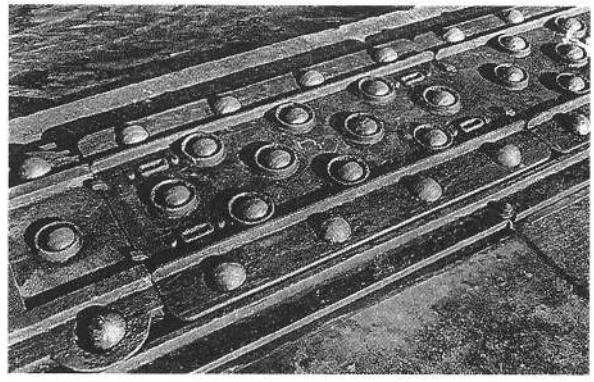


図 3.2.18　船台進水（理論船舶工学、上巻より）

6)　日本造船工業会30年史
7)　造船の溶接　35年の歩み、日本溶接協会
8)　関西造船協会誌
9)　日本造船学会誌
10)　西部造船会会報
11)　南崎邦夫：船舶建造システムの歩み、成山堂書店
12)　日本造船学会：昭和造船史、原書房
13)　寺谷武明：造船業の復興と発展、日本経済評論社
14)　九十年の歩み（川崎重工業小史）
15)　五十年の歩み（関西造船協会）
16)　三井造船株式会社75年史
17)　石川島播磨重工業社史
18)　日本鋼管株式会社70年史
19)　浦賀船渠六十年史
20)　日立造船百年史
21)　続三菱重工業社史
22)　創業百年の長崎造船所
23)　溶接五十年史、産報
24)　上野喜一郎：船舶百年史（後編）、有明書房



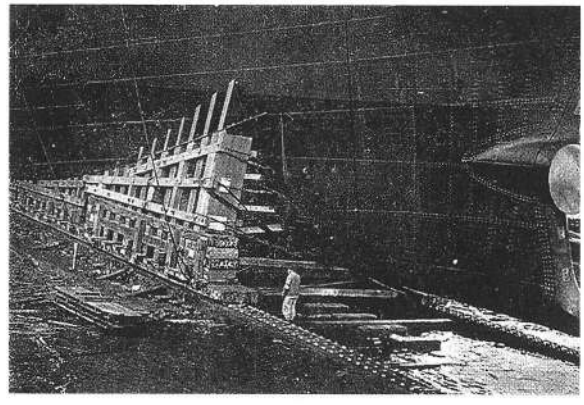


図 3.2.19　ボール式進水（理論船舶工学、上巻写真集より）

3.3　艤装

3.3.1　はじめに

艤装工作技術の改革というと、船殻工作のような、大きな設備改善、リベットから溶接へ、作業ユニットというような画期的な技術革新というものはなく、地道な改善の積み上げで効率化を図ってきた。

このように艤装関連については、船殻関連に比べ、改革改良への動きが出遅れていた。この辺の事情は「鋼船工作法研究委員会」の設立の経緯の中にもうかがえる。この委員会は当初は船殻関係だけでスタートしたが、艤装関係を加えるようになったいきさつは以下のようである。[1),2)]

この委員会の発端は、終戦直後の1945年11(昭和20年)月頃、当時の造船協会会長の井口と吉識による「日本中の造船屋の知識を結集して造船を建て直そう」という会談に始まった。その後、1951年(昭和26年)11月に準備委員会が招集され、鋼船工作法研究委員会が創設された。当初は船殻に関する工作法の勉強会が月に一度の造船所をめぐりながらもたれるようになり、各社間の活発な意見交換の場となった。そして途中から成果を記録に残す為、鋼船工作法基準の作成に着手し、1951年の出版に至った。

このようにして工作法の基準も出来上がったところでひとまず工作法研究委員会を解散しようと当時の播磨造船所相生工場で会議がもたれた。その折に、所長の六岡(元石川島播磨重工業会長)に「造船とは船殻だけなのか、艤装は造船屋の仕事でないのか。すぐ艤装関係の工作基準を作りなさい。」と一喝されたという。かくしてこの委員会は180度の大転向をし、本委員会を発展的に二分して第一分科会は船殻を、第二分科会は艤装を取り上げることになった。

このような事情で、第二分科会は1951年に結成され、掴みどころのなかった艤装の分野でも次々と成果を上げ、艤装方式の改革・工作基準の作成をはじめ、造船の大量生産技術等、今日の発展に大きく貢献してきた。その根底には委員会の性格である相互交流によって切磋琢磨し合うという、他の造船国に例を見ないものが脈々と生き続け、今日に継承されている。

以下では、この時期の艤装工作法への取り組みを前期(1945年～1960年)と後期(1960年～1970年)に分けて述べる。

3.3.2　艤装工作法への取り組み(前期)

戦後の廃墟と化した造船業、大造船所でさえも建造が許可されるのは最大54トンの漁船くらいしか見込めない状況のもとに財閥解体、GHQ発令等の手も足も出ないような諸政策が打ち出され造船業の前途は非常に暗い状況にあった。

この時期は、終戦による荒廃からの復興の時期であった。当時の建造方式は、戦前と同様、船台上で船殻構造を完成して進水させたのち、艤装岸壁に係留後、艤装工事を行うというやり方で、船殻工事期間と艤装工事期間は明確に分けられていた。

船殻の建造法については、従来の鋲接工法から溶接によるブロック建造法への転換が始まり、この時期の終わりには体制がほぼ確立されて大きな変革がなしとげられた。

艤装においては、この時期戦前並みの水準まで達したという状態で技術的には大きな変化はみられず、艤装品についてもほとんど造船所内で内作し、加工外注は補助的な手段とされていた。つまり艤装は材料、工作法ともに造船業の中でも遅れている分野とされ大きな問題であった。

このような状況の中で、先に設立された船殻関係の第一分科会の活動が成果を挙げたことをふまえ、第二分科会が設立されたわけであるが、当時の活動は艤装工作法の基準作成をテーマとして展開された。全国の造船所が集って真剣な討議、審議がなされるという当時としては画期的な活動により、各造船所が持っている技術、工作法が集約され、鈑金工作法、銅工工作法、木工工作法、などが発刊された。また諸外国、特に欧州を中心とした技術研究調査団を派遣するなど、第二分科会活動が造船業界全体の技術水準向上に果した役割は大きい。このような活動が基盤となって、次の時期の大きな飛躍が生まれたともいえる。

たとえば、真藤が当時ニューヨーク出張中にビルの建設現場を見て、「船の艤装も、物を整理して運び込み、場所毎に纏めればよいと思った。」と語られているが、この発想が契機となって、艤装方式の革新が始まったとされている。[3)]

3.3.3　艤装工作法への取り組み(後期)

艤装工作法の改善研究はこの時期にも引き続いて行われ「造船艤装」(5巻)が刊行された。また、1955年(昭和30年)頃より始まった世界的な海運造船ブームが、それまで国内船中心に建造していたわが国造船界を輸出造

船へと転換させた。1956年（昭和31年）以降は建造量世界一となり、文字通りの造船王国となった。次第に船の大型化が進み、新しい艤装方式が各社で検討実施されるとともに、内注品は順次外注に切り替えられ、いわゆるYARD作業主体の形態へ移行していった。

新しい工法として、従来の系統別艤装法から区画別艤装法に移行し、区画管理が行われるようになった。区画別艤装となると、装置別の図面では工事がやりにくくなり、ここに取付のための艤装工作図が必要になり、また艤装品も区画別にまとめ、事前に製作する必要がでてきた。ここで初めて、事前のエンジニアリングが重要になり、生産管理技術者が生まれた。

区画単位に艤装ができるようになれば、より仕事のやりやすい、環境の良い地上ステージで艤装をするようになるのは当然の流れであった。地上艤装は、地上でいくつかの艤装品をひとつのユニットに組み立てて船内に搭載するユニット艤装と、船殻ブロックにやりやすい姿勢で艤装品を取り付けて、船殻ブロックと一緒に船内に搭載するブロック艤装の二通りの工法となった。ブロック艤装の考え方は、さらにはブロックをプリエレクションした後の大ブロックでの艤装へと発展した。一方、早期艤装法、いわゆる先行艤装が定着して艤装の内業化への指向が進み、内業艤装、内業でのユニット組みが始まった。このため、艤装品の早期手配や行程計画の確立が必要となって、管理体制の強化へとつながっていった。

このような環境の中で、標準船の量産方式も試みられ、これによって、品質の向上、工期短縮、コストダウンに大きな成果を上げた。特に、ブロック艤装、ユニット艤装の拡大が図られ、まさにこれらの工法の有効性が実証され、他の船の建造にも様々な影響を与え、地上艤装は船の建造の常識となった。

さらに、この時期の終わり頃には急速な船の大型化に対応するため、三菱重工長崎造船所の20万トンドックが1965年7月竣工、日立造船堺工場の30万トンドックが1966年5月に竣工し、これに引き続いて大手・中手各社の新鋭造船所の建設が始まっている。これは従来の造船所の観念から脱却したいわゆる大ブロック先行艤装、流れ作業の考え方をとり入れた合理的なレイアウトを有しているものであった。

参　考　文　献

1)　吉識：造船誌、第518号
2)　田中：船台虫夜話(1)、関船誌、第186号
3)　南崎：船舶建造システムの歩みー次代へのメッセージー、成山堂書店

第4章　設計

4.1　基本計画

4.1.1　特殊船の発達

昭和初期から一般貨物船に於いても貨物の変化に対応するために、船型の変化がみられる。この変化は重量物貨物から雑貨その他の容積貨物への移行であり、従来三島型の貨物船では、45cub.ft/DWTであったものが、50～600cub.ft/DWTの容積が必要になったためである。さきに述べたディーゼル機関の採用により、蒸気機関に比較して高出力、機関室容積の縮小が可能になり、高速、大貨物容積の確保が容易になったが、それだけでは対処できない分は三島型貨物船の船橋楼を延長し、船員居住区をその上に配置する等によって貨物倉容積を増加した。

これらの貨物船は1925年（大正12年）の関東大震災の復興工事用の北米材の運搬船として活用されたが、1928年頃からその需要も一段落したこともあり、1929年に本格的な容積貨物である豪州羊毛積み取りを目的にした「志どにい丸」（第Ⅲ部の表4.1.4参照）が計画された。この船はわが国最初の平甲板船で、以後第Ⅲ部表4.1.6に示したように船首楼付遮浪甲板貨物船が主流となった。

これらの容積貨物船には特殊貨物の区画が装備された。「畿内丸」（第Ⅲ部の表4.1.6参照）に例をとれば、赤道直下でも10°Fを保持できる冷凍貨物層、6ヶ所のシルクルーム、貨物油ディープタンク、50トンの危険品室等である。これとともに1924年（大正13年）「ふろりだ丸」で木製から鋼製に改良されたデリックも益々強化され、荷役の向上が図られた。この時代の木材運搬船は後年の木材専用船と異なり、貨物船を甲板強度、長尺木材搭載に便利なように考慮しただけのものであった。本節ではこれらの部分的な配慮ではなく、専用船としての特殊船について述べる。

(1) 油槽船

わが国は石油資源がとぼしく、明治中期以降、産業が興隆するに従ってこのことが顕在化して海外資源に頼らざるを得なくなった。1910年（明治43年）に完成した「紀洋丸」は海外から原油を運搬する目的で計画されたわが国初の航洋型油槽船で、当時世界最大級であった。この船は完成直前、輸入税の改正があり、原油輸入の阻害要因になったので、移民船に改装され、南米航路の貨客船として就航したが、後に本来の目的である油槽船に再改装され、昭和初期まで油槽船として活躍した。この船以降の代表的な大型油槽船を表4.1.1に、中小型油槽船を表4.1.2に示した。

表4.1.1　昭和初期の代表的大型油槽船

船　名	紀洋丸	千珠丸	さんぺどろ丸	昭洋丸	永洋丸	帝洋丸	富士山丸	東亜丸	さんらもん丸	建川丸	宝洋丸	日章丸	あかつき丸
建造年	1910	1922	1927	1928	1929	1931	1931	1934	1935	1935	1936	1938	1938
DW.		8,904	11,497	10,977	11,949	13,960	13,586	13,747		13,691	13,305	14,005	14,236
GT.	9,287	6,515	7,269	7,499	8,674	9,850	9,524	10,052	7,309	10,152	8,692	10,526	10,216
L (m)	143.26	128.02	131.06	131.06	140.50	149.35	149.35	152.0	131.0	152.00	144.47	159.00	152.40
B (m)	17.22	16.46	17.37	17.58	18.29	19.50	19.81	19.81	17.50	19.81	18.60	20.00	19.81
D (m)	10.06	10.05	10.52	10.52	11.43	11.96	11.28	11.28	10.90	11.43	11.28	12.00	11.43
d (m)									8.66				
L/B	8.32	7.78	7.55	7.46	7.68	7.66	7.54	7.67	7.49	7.67	7.77	7.95	7.69
主機関	1-R	1-R	1-D	1-R	2-R	2-D	1-D	1-D	1-D	1-D	1-D	2-D	1-D
HP	5,902	3,332	2,300	4,105	7,822	7,200	9,390	8,611	3,300	10,658	4,500	9,400	10,678
VT (Kts)	14.21	14.24	13.12	12.05	15.93	17.53	18.80	18.43	15.09	19.92	16.15	19.59	20.13
同型船		橘　丸 満珠丸	さんぢえご丸他3隻					極東丸 東邦丸	さんくれめんて丸 4000BHP 15.95Kts	日本丸			あけぼの丸黒潮丸
備　考	我国初の油槽船。世界最大	我国初のイシャウッド式構造	我国初のヂーゼル油槽船			高速油槽船の始め	2列縦通隔壁の始め	フリーガス装置の第一船			縦横助骨併用方式の第一船		黒潮丸 DW14,960 20.69Kts (世界最大、最高速)

表4.1.2　昭和初期の中小型油槽船

船　名	快速丸	海城丸	第2共栄丸	ばれんばん丸	日南丸	千代田丸	第3伏見丸
建造年	1932	1939	1940	1942	1942	1943	1943
DW.							
GT.	1,124	3,271	1,157	5,237	5,175	4,701	4,292
L (m)	67.30	94.50	63.00	120.00	120.0	112.00	109.73
B (m)	10.52	14.63	10.50	16.30	16.30	15.80	15.24
D (m)	5.56	7.62	5.25	9.00	9.00	9.00	8.84
d (m)							
L/B	6.40	6.46	6.00	7.36	7.36	7.09	7.20
主機関	1-D	1-D	1-R	1-T	1-T	1-T	1-R
HP	700	2,521	1,403	4,000	3,500	2,800	2,300
VT (Kts)	12.56	15.18	13.54	16.57	16.06	14.50	11.30
同型船			第3、5、6、7共栄丸	誠心丸	日輪丸	千早丸	

表4.1.1の「帝洋丸」は速力17ノットを超える高速油槽船であるが、これに続く「富士山丸」は18.8ノットであり、「あかつき丸」は20ノットを超えている。この同型船「黒潮丸」はDW14,960トン、速力20.69ノットを記録し、当時世界最大、最高速の油槽船であった。この背景には1931年（昭和6年）以降の国防上、工業上石油の確保が益々重要になったことが挙げられるが、1934年（昭和9年）以降はDW13,000トン以上、機関出力約10,000 BHP、速力18～20ノットを一軸で達成していることに注目すべきであろう。これらの実績が戦時標準船型設定の基盤となっていることは第Ⅲ部の表4.1.10、本章の表4.1.1、4.1.2を眺めるとよく理解できる。

油槽船の構造方式には横肋骨、縦肋骨の典型的な二方式があり、1926年（大正15年）英国から購入した糖蜜運搬船を改造した「光洋丸」、1928年（昭和3年）同型船を購入改造した「端洋丸」は共に横肋骨方式であった。造船所によって肋骨方式に好みがあったようで、表4.1.1の「さんぺどろ丸」、「さんらもん丸」、「帝洋丸」、「昭洋丸」、「永洋丸」は横肋骨方式改良のフォスターキング方式、「千珠丸」、「東亜丸」、「建川丸」、「富士山丸」は縦肋骨方式のイッシャーウッド式、「宝洋丸」、「日章丸」、「あかつき丸」は混合方式であった。このように発展したわが国の油槽船隊の1926年（昭和元年）から1938年（昭和13年）までの船腹推移を図4.1.1に示した。

(2) 撒積貨物船

撒積貨物船としては鉱石、石炭、セメント、穀物等があるが、鉱石は比重が大きいので船倉強度上特殊構造とする必要があり、セメントは特殊船倉構造とセメント荷役機械を必要とするので専用貨物船になる。他は一般貨物船を部分的に特殊貨物に対応する機能を持たせるだけである。

(a) 鉱石運搬船：

1902年（明治35年）に清国の大冶鉱山から八幡へ鉄鉱石を運搬する目的で建造された「若松丸」「大冶丸」の2隻がわが国の鉱石運搬船の第一船であった。この船はまた4連成汽機を装備した最初の船（この機関は複雑であり、以後余り使用されなかった）であると共に「大冶丸」は商船としては初めてのクルーザ型船尾を採用したと言った新しいことを試みている。

これ以後1930年（昭和5年）に同じく大冶鉱山から八幡への運搬に「宗像丸」が建造された。この船は長船尾楼型で、デリックブームも20t×1.5t×4.3t×4と荷役装置を強化したもので、船倉容積もグレーンで6,517m³であった。この船以降の鉱石運搬船の要目を表4.1.3に示したが、当時の鉱石運搬船は専ら中国からであり、距離も短いので船型も8,000DWT程度のものであった。

(b) 石炭運搬船：

石炭輸送は撒積貨物のうちで最も多量で、日本向け石炭は極東市場では海運界の重要な地位を占めていた。一般貨物船による石炭輸送から順次専用船による輸送へ移行し、小型の内航船では昭和初期に「高見山丸」級の3,200DWTが最も大きく、外航船では日本～南支間の「那岐山丸」（7,000DWT）から日本～満州間の「龍江丸」、「浜江丸」、「三江丸」の7,000DWT級までが就航した。表4.1.4にこれらを示した。

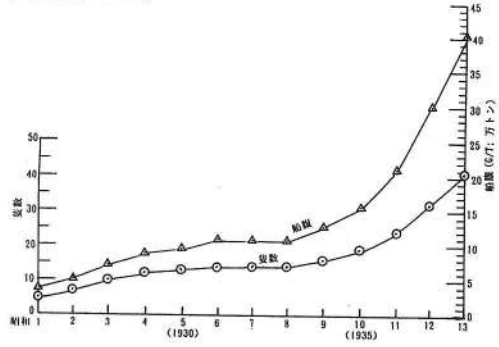


図4.1.1　昭和初期の我国油槽船船腹の推移

(c) 穀物運搬船と木材運搬船

この時代、わが国に輸入される穀物は北米、豪州からのもので、往航は主として雑貨、復航は穀物を運搬するものであったので、二層甲板で船倉内には船体中心線に鋼製仕切隔壁を設け、穀物搭載時には倉口部分に仮設の

木製シフティングボード、中甲板上には倉口の周囲に木製囲壁を設けた。北米航路のものは木材と穀物運搬を兼用するものが多く、主構造、配置等は一般貨物船と大差なく、木材搭載に対する強度と設備に考慮が払われただけであった。「赤城丸」、「ふろりだ丸」(共に1924年)、「玖馬丸」(1926年)、「ころんびあ丸」、「白馬山丸」、「志どにい丸」、「良洋丸」(何れも第Ⅲ部の表4.1.4参照) 等多数の船が建造された。南洋材の運搬には中小型船が使用されたが、これらのうちで木材運搬と鋼材運搬を兼用したものもある。

なお、木材満載喫水線が適用されたのは1934年 (昭和9年) 3月制定の安全規則からである。

(d) セメント運搬船

セメントの運搬は袋詰めで行われていたが、新鮮なセメントを変質させずに長距離多量に運搬するため、1936年 (昭和11年) にセメントを撤積み輸送する「清忠丸」が出現した。(表4.1.5参照) セメント倉は長さ方向に3区分、幅方向に3区分、計9区画に分割され、倉底はホッパーを形成し、底部に長さ方向に2条の通路と3条のベルトコンベヤ区を設けたものとした。荷役装置はキニヨンポンプ空気式積込み払出し装置を主体とするロータリーフィダー、ベルトコンベヤ、バケットエレベーター、スクリューコンベヤの組合せで、後年のセメント撤積み船の基盤を作った。

(3) その他の特殊船

この時代は現在程貨物船が多様化していないが、それでも多様化の兆しが見られることと、社会ニーズによって各種の特殊船が出現している。以下主なものに限定して述べる。

(a) 鋼材運搬船

1935年(昭和10年)近くになると国内産業の興隆に伴って、鋼材の需要が増え、製鉄所から阪神、京浜方面への鋼材移出が盛んになった。これに対処するため、1936年 (昭和11年) に「太明丸」型、1940年 (昭和15年) に「宮崎丸」型 (表4.1.5) の鋼材運搬船が建造された。これらは長大な倉口と強力なデリック、ウインチを装備するのが特徴である。

(b) 鉄道連絡船

渡船は古くから就航しているが、ここでは比較的大型の鉄道を連絡する連絡客船と車両渡船 (列車渡船、諸車渡船)、車両と旅客を同時に積む客載車両渡船を鉄道連絡船として就航航路別に述べる。

(i) 関門連絡船

この航路の自航貨車渡船は1919年 (大正8年) に「第一関門丸」をもって就航を開始した。「第二関門丸」(1919年)、「第三関門丸」(1921年)、「第四関門丸」(1922年)、「第五関門丸」(1926年) の5隻が就航していたが、これらは何れも両頭船で外車式推進方式を採用し、2基の外車、翼数は10～12枚、外車直径は3.04～4.56m、第三関

表4.1.3　昭和初期までの鉱石運搬船

船　名	若松丸	宗像丸	昭南丸	日鉄丸
建造年	1902	1930	1942	1942
DW.		4,899	8,312	8,599
GT.	2,778	3,302	5,401	5,993
L (m)	97.54	97.54	120.00	120.00
B (m)	12.80	14.17	16.50	16.40
D (m)	7.62	7.62	9.30	9.30
d (m)		6.53		
L/B	7.62	6.88	7.27	7.31
主機関	1-R	1-R	1-R	1-T
HP	2,257	2,672	2,300	3,249
Vs (Kts)	12.59	10.0	11.3	12.0
同型船	大冶丸		鵬南丸 他3隻	日勝丸
備　考	鉄鉱石運搬の第一船、大冶丸はクルーザー船尾の商船第一船		平時標準船	平時標準船

表4.1.4　昭和初期の石炭運搬船

船　名	高見山丸	那岐山丸	龍江丸	浜江丸	三江丸
建造年	1927	1931	1936	1936	1939
DW.	3,205	6,902	7,639	7,739	7,602
GT.	1,996	4,391	5,626	5,419	5,461
L (m)	83.82	109.73	120.00	120.4	120.00
B (m)	12.42	15.24	16.40	16.16	16.41
D (m)	6.40	8.84	9.30	9.14	9.30
d (m)					
L/B	6.75	7.20	7.32	7.45	7.31
主機関	1-R	1-D	1-T	1-T	1-T
HP	1,100	1,850	4,080	4,260	3,556
Vs (Kts)	11.2	14.3	15.39	16.0	15.4
同型船	鞍馬山丸 龍田山丸 高野山丸	那須山丸			

表4.1.5　その他の特殊船の主要要目

船　名	清忠山	太明山	凌風山	静波丸	宮崎丸	興泰丸	新高丸
建造年	1936	1936	1937	1938	1939	1939	1943
船　種	セメントタンカー	鋼材運搬船	気象観測船	海難救助隊	鋼財運搬船	浅喫水貨客船	自航ドラクザクション
G/T (T)	3,079	2,883	1,180	984	3,948	3,214	3,244
DW. (t)	3,648	4,118			5,301	2,021	
L (m)	93.00	98.50	68.58	59.44	106.68	97.50	98.00
B (m)	15.24	13.50	10.59	10.67	14.94	15.25	16.00
D (m)	6.71	7.30	5.11	5.18	8.08	4.70	7.25
d (m)						4.10	
L/B	6.10	7.29	6.48	5.57	7.14	6.39	6.13
L/D	13.86	13.50	13.42	11.47	13.20	20.74	13.25
主　機	1-D	1-R	1-D	2-R	1-R	2-R	1-R
HP	1,650	3,000	1,369	2,000	2,750	4,000	1,200
VT (Kts)	13.50	13.74	14.54	14.54	15.90	17.92	11.34
同型船		陽明丸			宇佐丸 鶺戸丸	他7隻	

門丸以降は固定翼として直径を大きくして推進効率を高めた。

1939年（昭和14年）には増加する旅客に対処するため、大型連絡客船「下関丸」（527GT）も就航した。1942年（昭和17年）関門トンネルが開通して、31年に亘る車両航送は終焉し、総ての船は宇高航路に移管された。

(ii) 宇高連絡船

宇野高松間の航路の旅客輸送は1910年（明治43年）、貨車輸送は1921年（大正10年）から開始されたが、1929年（昭和4年）に2軸ディーゼル推進、ワム型貨車10両を搭載する自航貨車渡船「第一宇高丸」（313GT）を建造、1934年（昭和9年）には「第二宇高丸」が建造された。

1936年（昭和11年）に列車渡船が計画されたが、戦争のため実現しなかった。

(iii) 青函連絡船

青森函館間の航路は1885年（明治18年）に開設されているが、鉄道とは関係がなかった。1891年（明治24年）、上野青森間の鉄道が全通し、翌1892年（明治25年）に小樽－札幌－室蘭線が開通した。1893年（明治26年）に青森函館間の航路が室蘭まで延長され、本州と北海道の鉄道がはじめて船を介して連絡されることになった。1904年（明治37年）に函館－小樽間の鉄道が開通して「青函航路」の開設が決定された。

最初の航洋渡峡船はイギリスへ発注された「比羅丸」（1480GT）と「田村丸」（1479GT）（ともに1908年就航）であった。この航路の車両航送が開始されたのは1914年（大正3年）で、貨車はしけ車運丸が投入された。この“はしけ”は船尾積込口は1車線、中で3車線に分かれ、7トン積貨車7両を搭載するものであった。

1924年（大正13年）に完成した「翔鳳丸」型4隻により本格的な客載車両渡船が就航した。

この間、「白神丸」、「竜飛丸」（ともに814GT、木造）、「第一、第二快運丸」（約1,000GT、木造）等の第一次世界大戦中の鋼材不足の影響による大型木造船が就航している。

1926年（大正15年）に列車渡船の第一船、「第一青函丸」、1930年（昭和5年）「第二青函丸」が就航したが、両船ともに貨車は曝露搭載で、船首楼と船橋楼間はブルワークを張っただけであったので、L/D ≒18で縦強度の確保が困難であった。車両甲板と船底の間に縦方向にトラスガーダーを設けて補強した。「第三青函丸」以降は乾舷甲板によるL/Dは大差ないが、船首楼から船尾船橋まで連続した甲板を張り、これを強力甲板としたので強度上のL/Dは9.6近くになり、特段の補強は不要になった。これ等の青函連絡船の大部分は第二次世界大戦で失われた。

(iv) 関釜連絡船

大正末期には大型連絡船としては「景福丸」型3隻が就航していたが、1931年（昭和6年）満州国の建国により、

表 4.1.6　代表的な鉄道連絡船の主要要目

船名	第一関門丸	景福丸	翔鳳丸	第一青函丸	高麗丸	亜庭丸	第二青函丸	宗谷丸	金剛丸	第三青函丸	壱岐丸	天山丸	第四青函丸
建造年	1919	1922	1924	1926	1927	1927	1930	1932	1936	1939	1940	1942	1943
船種	車両渡	客船	客車両	車両	貨客	砕氷貨客	車両	砕氷貨客	貨客	車両	貨	貨客	車両
航路	下関	関釜	青函	青函	関釜	稚泊	青函	稚泊	関釜	青函	関釜	関釜	青函
G/T (T)	463	3,619	3,460	2,326	3,208	3,297	2,326	3,593	7,081	2,787	3,519	7,906	2,903
L (m)	53.64	109.73	106.70	108.50	97.54	94.50	108.50	94.50	126.50	110.0	98.00	134.00	113.20
B (m)	7.92	14.02	15.85	15.85	13.10	13.72	15.85	14.02	17.46	15.85	14.50	18.20	15.85
D (m)	4.27	8.53	6.71	6.10	9.14	9.14	6.10	9.12	10.00	6.60	8.80	10.00	6.60
d (m)	2.29	4.57	4.57	3.96	5.18	6.40	3.96	6.63	6.10	4.60	5.03	6.10	4.64
L/B	6.77	7.83	6.73	6.85	7.45	6.89	6.85	6.74	7.24	6.94	6.76	7.36	7.14
L/D	12.56	12.86	15.90	17.79	10.67	10.34	17.79	10.36	12.65	16.70	11.14	13.40	17.15
主機	1-R	2-T	2-T	2-T	2-R	2-R	2-T	2-R	2-T	2-T	1-T	2-T	2-T
HP	529	8,514	5,730	2,302	4,495	6,439	2,302	5,851	17,363	5,359	4,018	17,533	5,314
VT (kts)	10.12	19.78	16.95	19.51	16.16	16.40	13.93	17.06	23.19	17.70	17.16	23.26	17.16
貨物	車両×7	客949 貨430t	客895 ワム25	ワム43	客603	客745 貨470t	ワム43	客796 貨380t	客1,746 貨4,170t	ワム44	貨4,170t	客2,048 貨2,223t	客120 ワム44
同型船	第二関門丸	徳寿丸 昌慶丸	飛鸞丸 津軽丸 松前丸		新羅丸				興安丸		対馬丸	昆崙丸	第五～十二青函丸、石狩丸（昭21.7.完成）

朝鮮半島及び経由の大陸間の輸送が増大し、1935年（昭和10年）に高速、冷房付貨客船「金剛丸」型2隻が就航し、続いて1941年（昭和16年）「天山丸」型4隻が計画されたが、戦争のため完成したのは「金剛丸」、「崑崙丸」の2隻だけであった。なお、この航路に列車渡船が就航しなかったのは、軌道寸法の相違のためである。

(v) 稚泊連絡船

1927年（昭和2年）に「亜庭丸」、1932年（昭和7年）に「宗谷丸」が投入された。両船ともに砕氷型貨客船である。なお、砕氷型船舶については「昭和初期の造船事情」で触れた。

以上の鉄道連絡船の代表的なものの主要要目を表4.1.6に示した。

(c) 浅喫水貨客船

「連絡船」はもともと橋の代わりの「渡し舟」であり、古くから利根川、吉野川、由良川等に存在した。これ等は河川、湖に就航するから喫水が制約されるが、小舟では特に大きな制約にはならなかったと思われる。昭和初年から中国大陸に進出してから揚子江本支流の貨客輸送に対処するため、浅喫水の特性を備えた船舶が本格的に必要になった。1927年（昭和2年）～1939年（昭和4年）に621GT～4,378GTの4隻が上海の造船所で建造されたが、1939年（昭和14年）には「興泰丸」型（表4.1.5参照）8隻が完成した。この他この時代には琵琶湖、霞ヶ浦等に湖水用浅喫水客船や熊野川の観光用プロペラ船が出現した。

(d) ケーブル敷設船

わが国の海底電線は明治初年に下関海峡に布設されたものが最初であるが、本格的な敷設船は1896年（明治29年）英国グラスゴーで建造された「沖縄丸」が第一船である。国内建造は1906年（明治39年）の「小笠原丸」（1,404GT）が第一船で次いで1922年（大正11年）の「南洋丸」（3,605GT）、1941年（昭和16年）には「東洋丸」（3,760GT）が完成した。同年には旧海軍の「釣島丸」（1,160GT）も完成した。これらの敷設船の活動で、1939年（昭和14年）には公衆電話に使用される海底電線の延べ長さは1万里を超えるに至った。これらの主要目等は後述する。

(e) 海洋気象観測船

わが国は地勢上四季を通じて高気圧と低気圧の往来が頻繁で暴風雨の来襲が激しい。その上地形が複雑で気象予報が困難である。予報技術の向上に伴い、更に広域の気象情報を求めるために1937年（昭和12年）に「凌風丸」（表4.1.5）が建造された。本船は本格的な海洋気象観測船で、海洋気象観測に必要な機材のみならず、海洋学研究のための設備、これに付随する研究室、図書室、分析室を設備するとともに測候所建設資材の運搬、離島測候所への物資供給の役割をも分担した。

(f) 海難救助船

わが国建造の海難救助船の第一船は4.1に述べた1902年（明治35年）の「大浦丸」であったが、1927年（昭和2年）に「祐捷丸」（807GT）、「那須丸」（694GT）が建造され、1935年（昭和10年）には「三島丸」（106GT）が建造された。1938年（昭和13年）に「静波丸」（表4.1.5参照）が完成した。本船はわが国の近海、南支、南洋方面にも出動することを意図したため、十分な復原性、耐波性を備え、作業甲板を広くとり、被救助船との接舷を考慮してタンブルフォームを大きくする等船型上の考慮のみならず、強力な揚貨設備、トーイングフック、排水能力4,000トン/hr、発動機艇2隻、伝馬船3隻の作業艇を搭載する等、救助能力にも万全を期した救助船であった。

(g) 浚渫船

海運、水産業の発展に伴い、港湾建設、埋立、改良工事に必要な浚渫船はその用途に応じて発展した。輸送に従事する船舶ではないので、ここでは具体的にのべることは避ける。大正末期から昭和初頭にかけて、グラブ式、デッパー式、バケット式、ポンプ式等の各型式のものが大型化し、バケット式等は輸出もした（ソ連向け、1937年、「ナホースカヤ」、1,097GT）。1943年（昭和18年）には浚渫能力：深度15m、1,800m³/hrのドラグサクション式浚渫船「新高丸」（表4.1.5参照）が完成した。

(h) その他

1929年（昭和4年）には水産講習所練習船「白鷹丸」（1,328GT）が「雲鷹丸」の代船として建造され、1930年（昭和5年）には文部省航海訓練所が4檣バーク型双螺旋ディーゼル練習帆船「日本丸」、「海王丸」を建造する等教育訓練が目的の船舶が活発になった。また、昭和10年代には冷凍・冷蔵運搬船が出現する。1939年（昭和14年）には冷蔵運搬船「瑞洋丸」（245GT）、同年冷凍冷蔵運搬船「播州丸」（992GT）が完成した。「播州丸」は捕鯨工船「日

新丸」、「第二日新丸」船団の鯨肉を冷凍して極地から日本本土へ運搬することを主目的とした。捕鯨工船では1936年（昭和11年）建造の「日新丸」（川崎造船所）は工期の関係で設計、材料表はイギリスから購入したが、起工から進水まで156日、後2月以内で艤装完了、1.7万GTの工船の建造記録を樹立した。1918年（大正7年）の「来福丸」に次いでの世界記録である。興味深いことが多いが紙数の関係で割愛する。

このように昭和初期には各種の特殊船が出現し、爾後の基礎を築いた。

4.1.2　第二次世界大戦後の造船事情の推移

(1) 混乱期：1945～1950年（昭和20年～25年）

第二次世界大戦の結果については「太平洋戦争と造船」で述べた。残存船腹量は134万GT程度で、そのうち2/3は戦時標準船であり、実質的には総てを失ったといっても過言ではない。更に海運造船界にとって厳しい現実は1945年（昭和20年）100GT以上の船舶は総て連合軍総司令部の管理下に置かれ、翌1946年（昭和21年）にはポーレ賠償報告によって保有総船腹量が150万GTに制限されたことである。占領政策により、建造途中で中断された戦時標準船の建造続行、離島対策のための小型客船、損害の大きかった青函連絡船の整備、漁船の建造等は認められたが、外航船の建造は5,000GT以下、速力15ノット以下に制限された。造船設備の戦災は比較的少なかったとはいえ、この建造制限下では建造する船もなく、各造船所は漁船と鍋釜を作って凌いだと云われる時代であった。1949年（昭和24年）建造制限は貨物船は7,000GT以下、タンカーは12,000GT以下、速力は何れも15ノット以下に緩和された。1950年（昭和25年）にはこれらの制限が総て撤廃され、同時期に起こった朝鮮動乱の影響で国際経済が刺激されたともあり、造船界も自由競争の時代を迎えた。1945～1950年（昭和20年～25年）の間が戦後の混乱期と呼ばれる所以である。

(2) 復興期：1951～1954年（昭和26年～29年）

朝鮮動乱と前後して、世界の海運界は戦後の復興のため新造船を必要としたが、欧州の造船界は大量の手持ち工事量を持ち、短納期が期待できなかったので、日本の造船所へ発注することになった。1951年（昭和26年）には25.6万GT、7,000万ドルの輸出船を契約、輸出産業の基盤を築いた。

(3) 躍進期：1955～1973年（昭和30年～48年）

輸出船に支えられて建造量は増大し、1956年（昭和31年）には進水量174万GTに達し、イギリスを抜いて世界一を記録した。世界経済が活発になり、グローバリゼーションがはじまると、船型は大型化し、特にタンカーにその傾向が顕著に現れた。1956年（昭和31年）のスエズ運河閉鎖により、海運界の建造意欲が一層高まった。同年12月にスエズ紛争が解決、翌1957年4月に運河が開通すると運賃が急落し建造意欲も萎んだが、手持ちの工事が十分あったので、逆に低運賃にも耐えられる経済船型の開発に注力した。1967年（昭和42年）再びスエズ運河が閉鎖されると、この反動としてスエズ運河に依存しない超大型タンカー、大型バルクキャリヤ、大型兼用船の需要を刺激する結果になった。

(4) 構造変革期：1974年（昭和49年）以降

1973年（昭和48年）までに世界の50%の進水量を占めるに至った日本の造船界も種々の問題を抱えていた。通貨不安、「利益なき繁忙」等であったが、同年の秋のオイリショックで造船をめぐる経済環境が一変した。中東諸国の石油供給量削減、これに伴うタンカーの船腹過剰により新造船受注量が935万GT（前年度比72%減）。これによって、新造船需要予測を650万GTとし、設備削減、韓国をはじめとする新興造船国の台頭、OECD中心とする国際的な協調等造船業の構造変革期に入ってから20年以上になるが、未だに前方が見えない状態である。

以上船舶の大型化を中心にしてその背景を概略述べたが、図4.1.2に建造量、船腹保有量の推移とともに、造船をめぐる出来事を示した。

4.1.3　混乱期と復興期の技術と施策

前節に述べたように、混乱期、復興期は夫々5年であり、総てを失った造船界が10年で躍進期に入ることが出来た要因は何であったろうか。

(1) 技術革新と工法の改善

戦後の産業界では技術革新が強く求められた。造船界でも例外ではなかった。1948年（昭和23年）頃から船体の建造が鋲工法から溶接工法へと転換し、1950年（昭和25年）には1.2万G/Tタンカー「日栄丸」が溶接率90%で竣工した。溶接工法に伴って建造法もブロック工法へと転換し、そのためマーキング、モノポール、フレームプレーナー等を導入した加工工程の近代化、ブロック運搬機械の強力化等急速な設備革新が行われた。1954年（昭

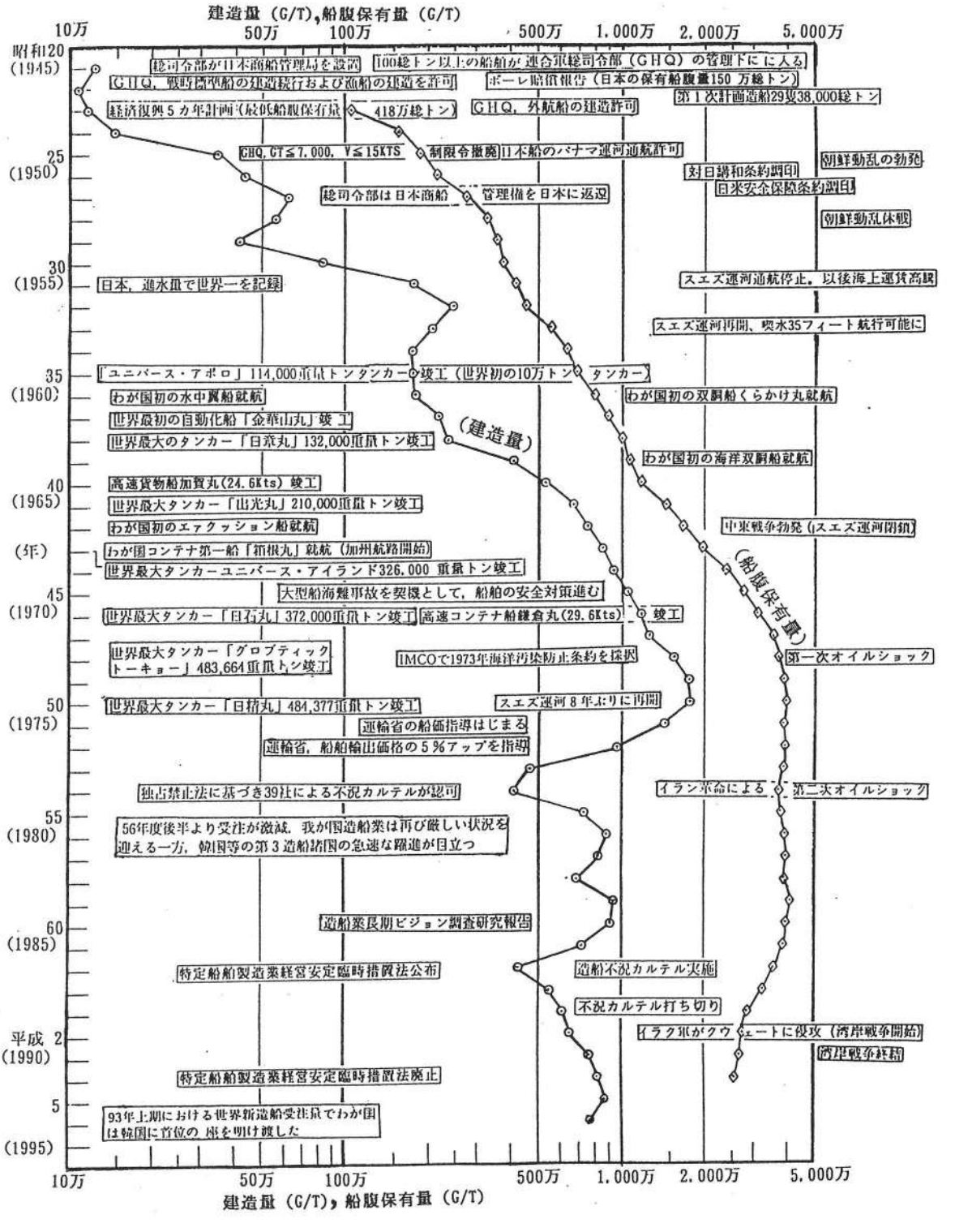


図 4.1.2　第二次世界大戦後の造船界をめぐる主な出来事

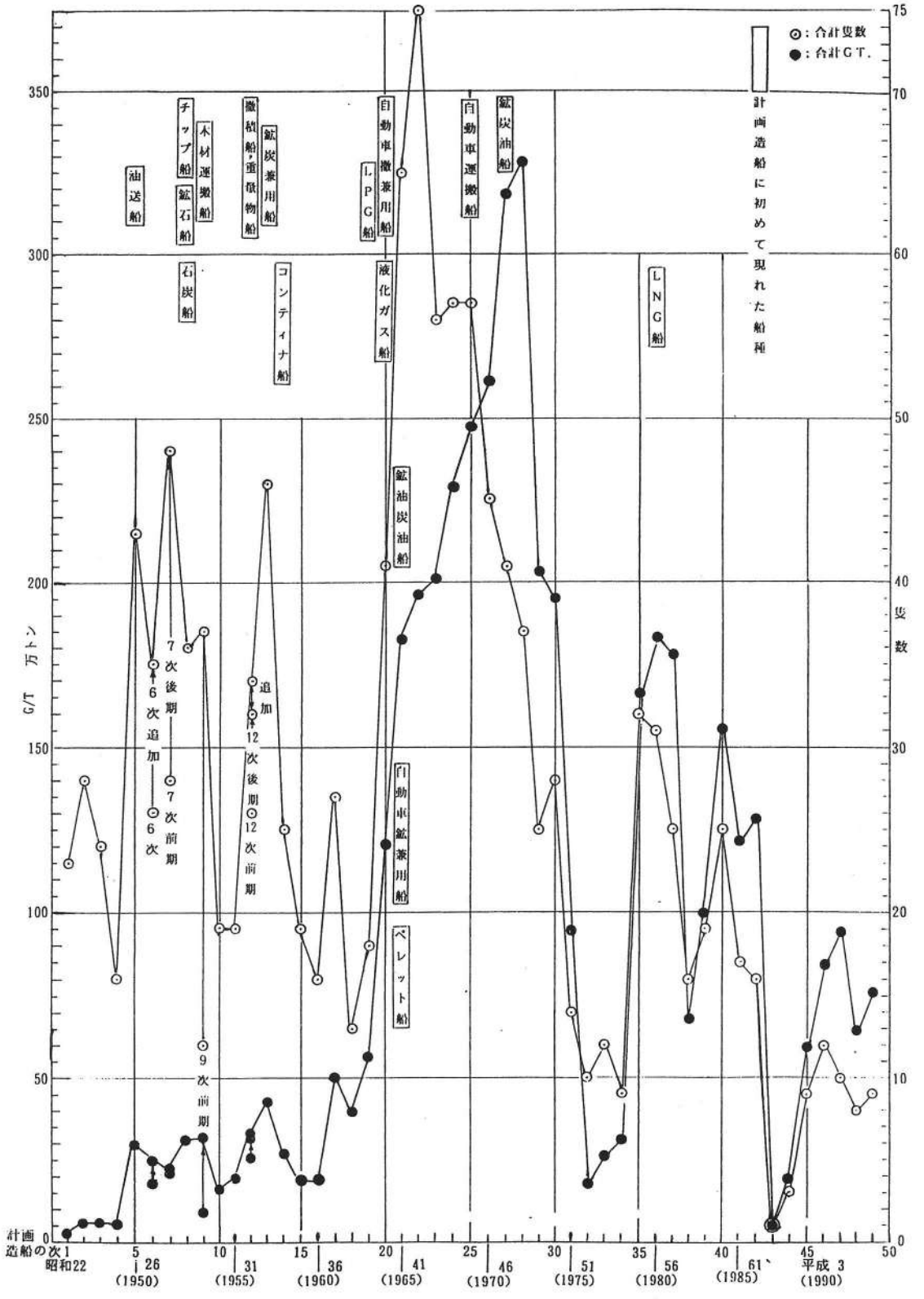


図 4.1.3　計画造船施策の推移

和29年）～1960年（昭和35年）の間には船型の大型化に対処するため、船台、建造ドックの拡張、運搬用クレーンの増強等著しい設備の改善が行われた。1962年（昭和37年）頃から更なる船型の大型化に応じ超大型建造ドックが建設された。

(2) 技術の伝承と発展

混乱期から復興期にかけ、工法をはじめとして躍進期の基盤を築くことが出来た要因の一つとして挙げられるものは技術の伝承と発展であるる混乱期にあって、造船協会（本学会の前名）に工作法委員会をはじめ、構造、流力、設計、艤装、機関等の各分野の研究委員会が設定され、全国横断的に研究、技術が討議された。これ等の委員会には旧海軍の技術者も参加し、戦前の技術の討議、反省、諸外国の新しい技術の検討が行われた。1953年（昭和28年）には船舶工業に関する総合技術の向上を目的とする日本造船研究協会が設立され、混乱期、復興期の実証を含めた大規模な実船実験をはじめとする発展的な試みがなされた。食料にも事欠く混乱期にあって、将来を思いこのように技術の伝承と発展に情熱を注がれたことが躍進期を迎えることが出来た原動力であった。

(3) 施策

混乱期から脱却するもう一つの要因は政策的に行われた「計画造船」の施策であろう。1947年（昭和22年）内航船を主体とした29隻、38万GTの第一次計画造船が発足した。この量は現代の大型船一隻のGTにも満たないものであるが、当時の制限下では最大限の海運、造船施策であった。また、150万GTの制限下では船質の向上をはかる以外に方法がなく、積極的に戦時標準船の解体も行われた。「計画造船」は復興期、躍進期を通じ、今日まで継続された。図4.1.3にこの施策を要約して各次の隻数とGTを示した。図4.1.2の建造量の推移とこの図を併せて見ると、変動に対して計画造船が如何に“安定”の役割を果したが伺われる。また図4.1.3で“新たに認められた船種”を見るとわが国の産業構造推移の一側面をみることが出来る。。

これとともに、1950年（昭和25年）に造船技術審議会、1952年（昭和27年）海運造船合理化審議会、1971年（昭和46年）運輸技術審議会が設けられ、将来対策を提言し、施策に反映された。

このように、個別の企業ではなく、全国横断的な技術の向上と適切な施策が相俟って各期を克服したといえよう。

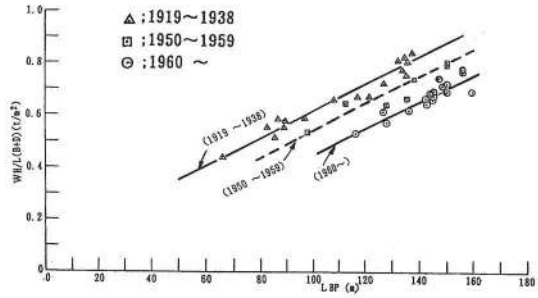


図4.1.4　一般貨物船の船殻重量の変遷

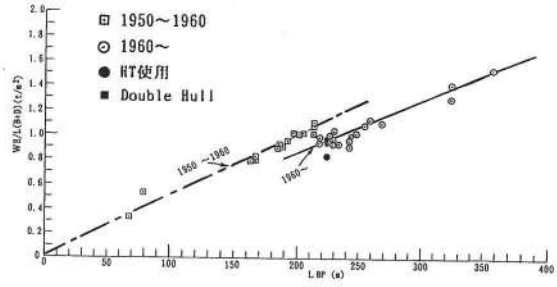


図4.1.5　油槽船の船殻重量の変遷

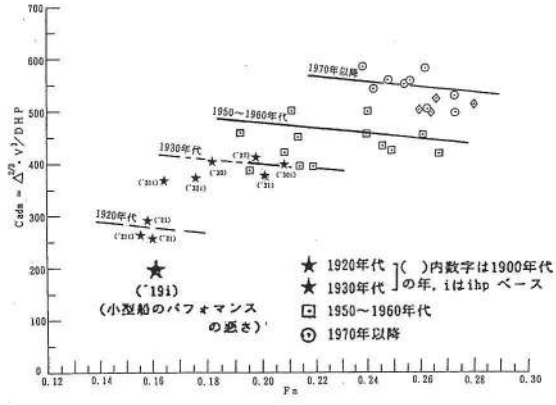


図4.1.6　一般貨物船のCadmの変遷

4.1.4　躍進期以降の船舶設計に影響した技術

復興期に於ける船舶の設計は、溶接工法の採用による構造設計の変化、ブロック建造法による影響は当然反映されたが、マクロ的にみれば、船型設計は第二次世界大戦直前の優秀船時代に復活またその延長上であったと言える。このことは、図4.1.4と4.1.5の船殻重量は明らかに低下しているが、図4.1.6と4.1.7のCadm、第V部の図4.1.4と4.1.5のDHP/DW・Vs、図4.1.8と4.1.9の機関部重量、第V部の図4.1.6と4.1.7のCbの絶対値、Cb～載貨重量係数が戦前並からその延長上であることをみればわかる。

このように考えると、混乱期、復興期は溶接技術を主体とした建造法の革新期であり、これ等を基盤にして船型設計の革新が行われたのは、躍進期に入ってからであると言えよう。技術革新は突然変異的なものもあるが、継承的なものも多く、船型設計のような社会背景が強く影響するものは後者の傾向が強く、混乱期、復興期の胎動期があってのことは論を要しない。

図4.1.10にはこれ等を要約して、戦後の海上貨物輸送量の進展、特にタンカー大型化の要因である液体貨物の増加、これに対応する世界の船舶建造量の推移、船型大型化の代表として大型タンカー出現の時期、溶接を主体とした構造の推移を示した。

図中、船型設計と構造設計に影響した技術の導入時期を●印で示した。スペースの関係で限られた項目しか示すことができなかったが、戦後の設計技術の概略推移を伺うことができよう。

これ等躍進期の成果は、構造設計の代表として船殻重量は図4.1.4と4.1.5に、抵抗推進性能は図4.1.6と4.1.7に、機関部は重量に反映して図4.1.8と4.1.9に示した。

球状船首をはじめとした船首形状の改良による造波抵抗の減少、波形分析等は高速船型の設計の基礎になっただけでなく、低フルード数、幅広肥大船型設計に大きな影響を与えた。波浪中の運動理論により、排水量の大きい船型では波浪中の速力低下の度合いが少ないことがわかり幅広肥大船型が実現した。1961年（昭和36年）のタンカー「亜細亜丸」（DW：48,287トン、Vs：16.5ノット）がその第一船である。この船は経済船型（ズングリ船）のはじまりとされL/B＝6.72の幅広船型である。これよりさき、1959年（昭和34年）に46,000DWT, L/B＝6.98のタンカーが出現している。当時L/B≒7.5が普通であったから7.0を切るものは経済船型の兆しが既に始まっていたとも言える。ともあれこれ等を契機として急速に経済船型が普及した。この状況を図4.1.11に示した。

機関の発展も目覚ましく、復興期の1952年（昭和27年）

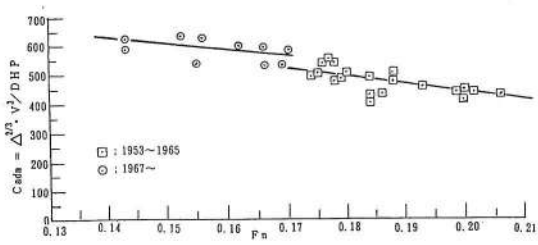


図4.1.7　油槽船のCadmの変遷

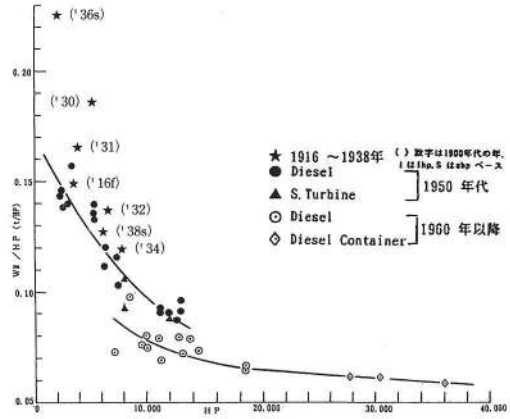


図4.1.8　一般貨物船の機関部重量の変遷

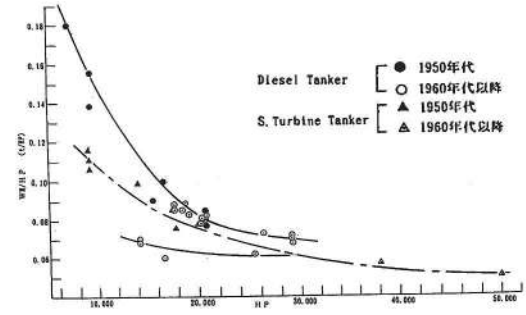
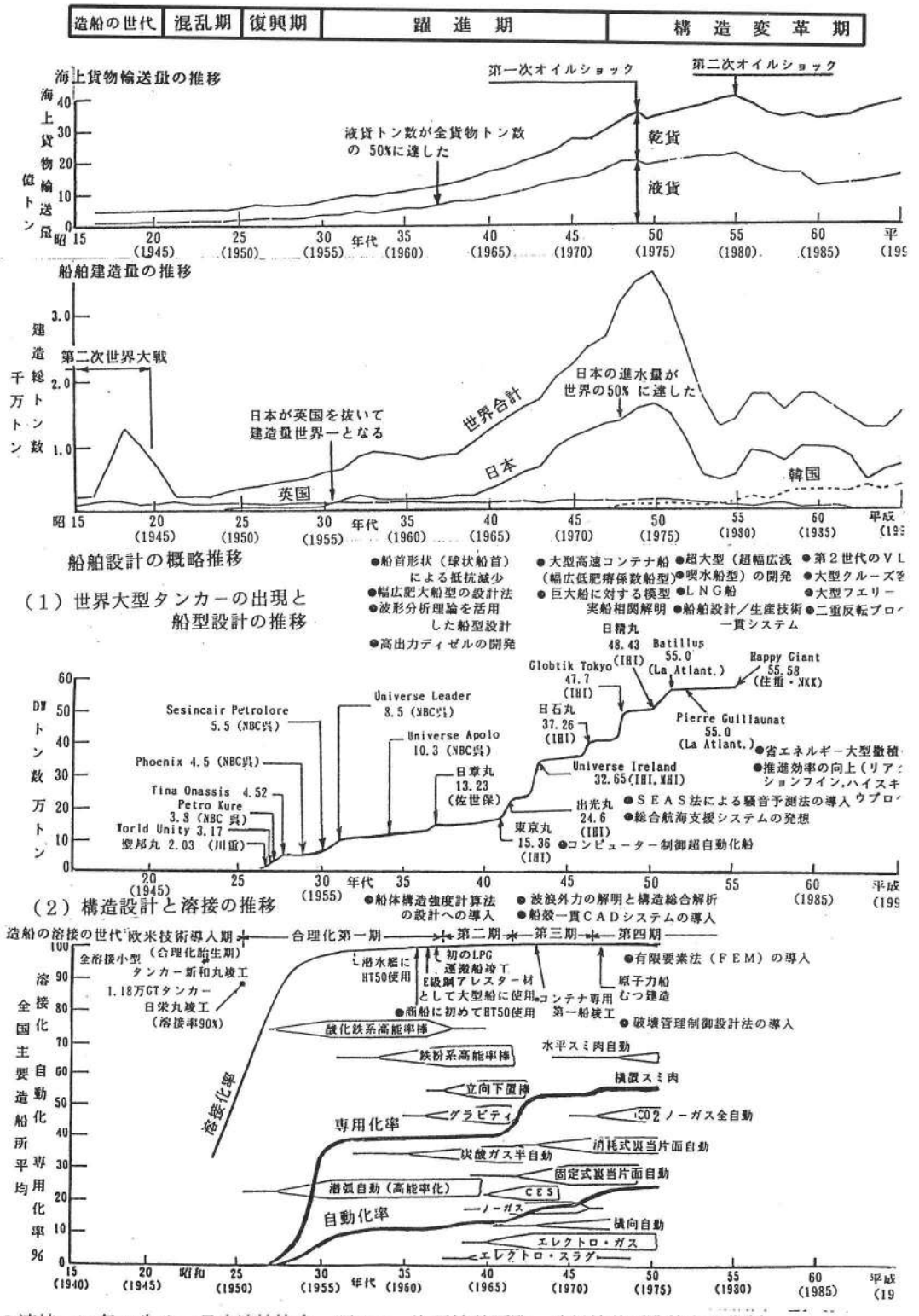


図4.1.9　油槽船の機関部重量の変遷

には国産の新型ディーゼルUE型が完成し、1954年（昭和29年）には国産ガスタービン第一号機が完成した。躍進期に入ってからはディーゼル機関の高出力化に注力されたが、軽量、コンパト化は船型設計に影響を与えた。これとともに、燃料消費率の向上は有効載貨重量、載貨容積の向上のみならず、直接運航コストに影響した。図4.1.12にディーゼル機関の燃料消費率向上の推移を示した。第一次オイルショック、特に第二次オイルショック



「造船の溶接—35年の歩み—日本溶接協会　昭60.4、海運統計要覧、造船統計要覧等より作製

図4.1.10　船舶設計に影響した技術の系譜

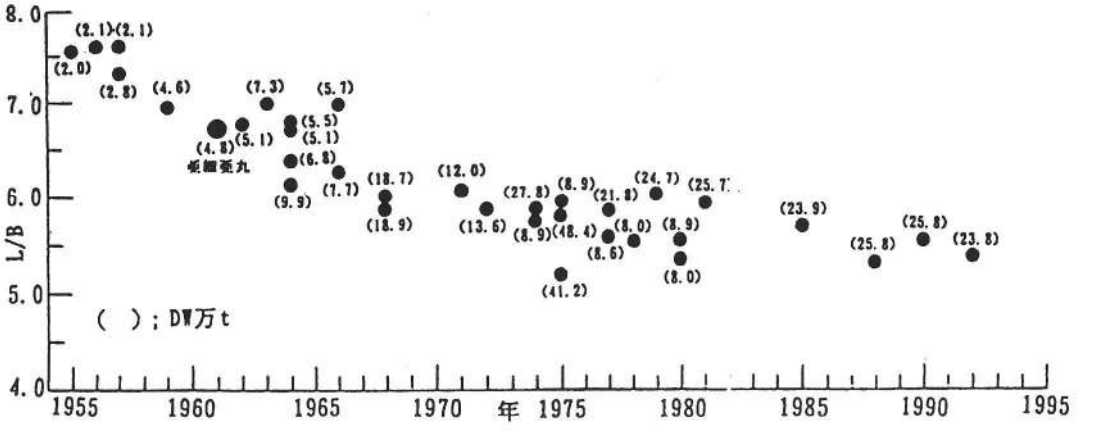


図4.1.11　大型タンカーのL/B低下の推移

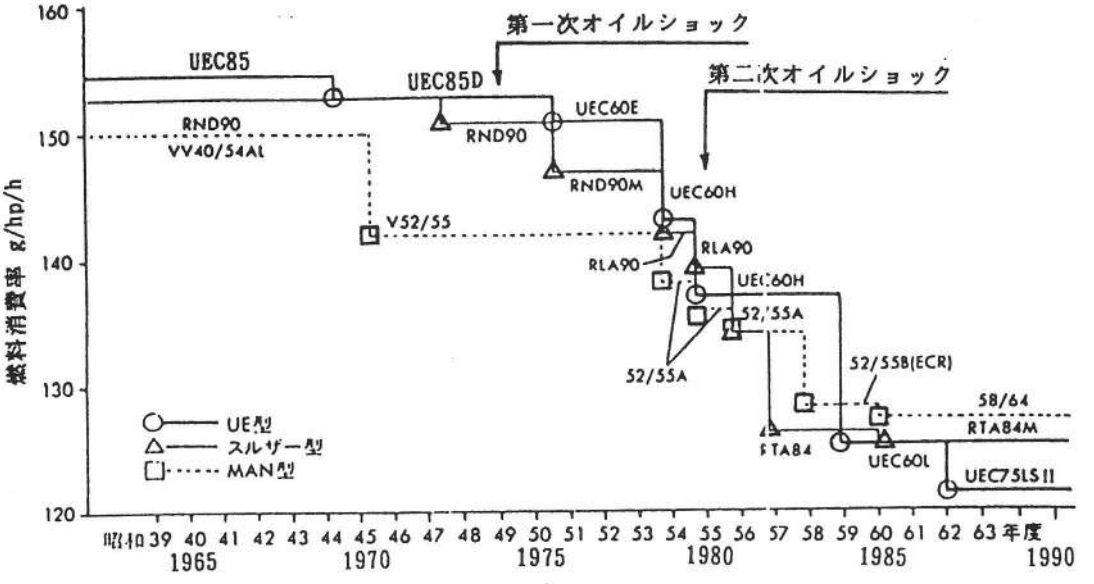


図4.1.12　ディーゼルエンジンの燃焼消費率低減の推移
〔続三菱重工業（株）社史より〕

以降の燃料消費率の低減が目覚ましい。

高速船分野では航海速力20.7ノット、試運転最高速力24.63ノットの定期貨物船「加賀丸」が1966年（昭和41年）に出現し、更に幅広低肥瘠係数船型を進展させた「山城丸」等に進展した。しかしながら、定期貨物船はコンテナ船をはじめとする専用船に替わられ、世界の一般貨物船の船腹は1995年末で11.6%、日本船籍船で2,000GT以上の外航船は1995年央で僅か7隻、船腹構成比で1%になった。ここでは高速定期貨物船の「第一加賀丸」の主要要目を表4.1.7に示すに止めた。

表 4.1.7　高速定期貨物船「加賀丸」の主要項目

種類	定期貨物船	L(m)	160.000	L/B	6.96	主機	1-D
建造年	1966	B(m)	23.000	L/D	12.03	HP	18,400
G/T(T)	11,930	D(m)	13.30	B/D	1.73	Vs(15%SM)	20.75Kts
DW(t)	13,392	d(m)	9.322	B/d	2.47	VT	24.63Kts
Cargo(G)	(G) 24392	△(t)	19.761	Cb	0.561		
Capacity	(B) 22,263			Cp	0.580		

4.2　艤装

4.2.1　電気艤装

(1) 交流化と発電機

旧来の船舶の発配電方式には、一般に直流方式が広く採用されていたが、船内補機に誘導電動機を使用することが保守・価格の面で非常に有利であることに着目して交流化が進められ、日本では、第二次大戦後になって急速に交流方式の採用が拡大した。当初は220V三相交流方式が採用されたが、1952～1953年頃に建造された輸出船を契機として戦前の艦艇における経験もあって440V三相方式となり、今日における標準方式を形成するに至った。

一方、交流方式の拡大に伴い発電機も進歩を遂げた。初期の交流発電機は直流回転励磁機と自動電圧調整器を併用する方式であったが、1957年頃には自励式交流発電機が、さらに1964年頃にはシリコン整流器の発達に伴い電気的接触部分の無いブラシレス交流発電機が実用化され保守・点検の軽減に大きく寄与した。また回転機の絶縁材料についても従来のB種に代わってF種絶縁材が開発され、発電機や大型電動機に採用されるようになり、小型軽量化に寄与した。

このような交流化と発電機の進歩が、この時代の船舶の大型化に伴う電源の大容量化を可能ならしめた。

(2) 自動化船の誕生と機関の無人化

1961年竣工した「金華山丸」に、我が国では初めて制御室が設けられ、また主機などの遠隔操縦を行うための自動化装置が採用されたが、これが自動化船建造の第一歩とされている。その後、遠隔監視や自動制御技術の発達に伴い自動化は急速に進み、1969年には「ジャパンマグノリア号」が機関の無人運転を行う第一船として日本海事協会のMO符号を初めて取得した。また、エレクトロニクス技術の進歩に伴い船舶におけるコンピュータの利用が検討され、1970年には「星光丸」に初めてコンピュータが搭載された。

4.2.2　機関艤装

(1) 現場艤装・それからの脱却

戦前を含めて戦後数年は船殻構造が製作され、完成して進水後、岸壁で艤装が行われるのが常で、軸系、補機器、管類などの僅かな部分が進水前に船内に取付けられたに過ぎなかった。各区画の艤装品の位置は現場に印をつけ、関係者が立会いで決定された。

艤装工事は舷側に据付ける機器から始められ、舷側への機器の引込みは人力が主体であった。主機は大物の搭載が終了してからフローティングクレーンで開口部から吊り下げて据付けられた。

舷側に続いて下部、上部の順に進められた。

配管は型棒による現場型取りが主体であった。型棒により管工場で製作されたものを船内に取付けようとすると、そのスペースにはすでに別の管が配置されており、取付けできない事態も起き、船側艤装員と相談しつつ手直しということもしばしばであった。艤装期間中は管工事が集中し、大繁忙であった。

1949年に18,000DWT級の大型輸出船が建造され、1950年の第5次計画造船にも12,000DWTのタンカーが出現した。

計画造船が進むなか、次第に船が大型化し、つれて機関の馬力も増大し、主要管の口径が大きくなり、従来の現場型取りによる配管工事では作業が円滑に進まない事態となってきた。

そこで、管や電線、トランクの配置等の総合装置図を作成するようになり、管などの貫通位置も示されるようになった。この頃には大口径管の冷間管曲げ機械が導入され、作業能力が従来の2、3倍となった。

1950年代半ばになると、配管図から管の製作図が作られるようになり、現場型取り方式から工場内製作方式に転換された。これは、機関艤装における生産設計の第一歩と言えるもので、進水後の現場艤装からの脱却の始まりである。

大型輸出船ブームの到来と共に、進水前艤装をできるだけ多く進めることが課題となり、次のような早期艤装（先行艤装）工法が採用されだした。

(a) ユニット艤装

船台前、地上における艤装方式で、船殻ブロック取付け前に、別の場所で機器をユニットとして組立てを行うもので、次のようなものがある。

補機のユニット（補機、台、管、弁等）

タンクのユニット（タンク、管、弁等）
主床板のユニット
制御室のユニット
昇降梯子と手すりユニット

(b) 地上艤装

船台前、地上での艤装として機関室関係外板、各甲板下や隔壁、ケーシングウォールなどに管、風路、電路、電気諸金物、梯子のプラットフォーム、床板などを取付けるもの。

(c) 区画別艤装

区画ごとにユニット艤装、地上艤装を総合的に行うもの。

(d) 青空艤装

機関室内のユニット、主機、補機、タンクなどを船台上、青空の下で行うもの。

上記の方式は、艤装のアレンジがわかる図面や生産設計図の早期出図と船殻ブロック工法の確立とに支えられて、1960年代に入ると本格的なものとなり、早期艤装率は　進水前に30、40%となり、進水から引渡しまでの期間が著しく短縮された。

引続き、大型ユニット組立場の登場やオンデッキ艤装方式の導入等により、飛躍的にブロック化やユニット化が拡大され、並行的に電算機の活用も進んで、必要な資材の集配システム、供給システムが整備されて、早期艤装は完全に定着した。

地上での早期艤装は工数の節減、工期の短縮、コストの低減に大きく寄与したばかりでなく、機関室内高所での作業や無理な姿勢の作業、溶接の火花や塵埃・騒音の満ちた中での作業などが減るという労働環境改善の効果も大きかった。

(2) 艤装研究委員会の発足

(a)「機関艤装」の刊行

1958年初頭、造船協会に機関艤装研究委員会（委員長原田秀雄、副委員長原田三郎）が設置された。

機関艤装の領域においては、船体の分野にあるような全国的な研究委員会もなく、各造船所間の技術交流も行われず、また、施工法についても互いに比較検討する機会もなかった。

大型輸出船ブームの到来により、このままでは海外技術との競走に遅れをとることが必至の状態と感じられる有り様であったので、研究委員会が発足した。研究委員会は組織を挙げて、設計・工作の現状を網羅記述し、できるだけ早く発行して技術者の参考とすることが急務とされた。

そこで、全国14造船所（後に19造船所）の設計、工作の機関艤装担当の責任者を委員として依嘱し、東、中、西の3地区委員会を毎月開催して研究、調査、討論を行い、わが国初めての「機関艤装」全10巻の集大成ができた。いずれも、多忙な社務のかたわら、多くの日時を費やした労作である。

第1巻　軸系（1963年6月10日　刊）

最重要課題として採上げられ、トランシットによる軸心見透しにも解説がある。

第2巻　タービン主機、ディーゼル主機、ボイラ（1963年9月10日　刊）

積込み前の主機台位置決め、台座仕上げ、据付け、運転・検査まで、機種別に多くの例示をしている。ボイラについては、主として重油焚き水管ボイラを採上げ、本体、付属装置、煙路、煙突等の現場作業を対象に、共通点の多いものを記述している。

第3巻　補機（1964年11月1日　刊）

目的に応じた形式、大きさ、台数など機関関係補機の決定法、船内配置、積込み据付け時期と作業、保守・整備がのべられ、また意外と工数のかかるものとして通風装置、交通路、タンク等の工程、積込み計画・工事の注意事項が盛り込まれている。

第4巻　管装置（1965年6月20日　刊）

管艤装の基準の設定、製図方式、管材料と工作など広く設計、工作上の諸問題、管工場の配置、艤装担当職の職務にまで言及し、他の艤装との関連が深いだけに、段取りよく行うことの必要性をのべている。

第5、6巻　自動化および遠隔操作（1967年7月1日および1967年10月20日　刊）

主機並びに諸装置の遠隔操作、自動化が採上げられているが、人手を省くことに主眼をおいた初期の自動化から、正確、迅速、監視容易等を意識した自動制御、多数の装置の集中制御方式への移行を目差したものとなっている。

第7、8、9巻　諸検査、運転（1968年7月1日、1968年9月20日、1969年4月1日　刊）

主機、補機、自動化装置の製造と艤装の各工程での船級協会規則や船主船内検査要領などによる諸試験・検査、運転・開放検査等についてのべ、輸出船の統一的な対処

資料とする。いかなる検査・運転があるかが一目瞭然である。

第10巻　予備品、要具および装備品、総合工程（1969年11月20日　刊）

品目、数量の決定を信頼度の面から合理的に行う提案が見られる。

「機関艤装」は10年を超す大事業であり、全10巻は例示を含めて詳細に記述されており、わが国の機関艤装技術レベルの向上に大きく寄与した。

(b) 艤装研究委員会マニュアルの作成

「機関艤装」の編集作業が進むなか、参加造船所も次第にふえ、研究委員会は年6回も開催された。

各造船所は多量の工事量をかかえて日常業務に忙殺されていた。そこで、委員会の各種作業について、互いに無駄な労力を省き、より充実した、統一された内容とするため1970年4月の第72回委員会でマニュアルを決定した。

マニュアルの巻頭言に次の言葉がある。

「我々が過去の小視野的な企業秘密主義から脱却し、お互いのフリーディスカッションの中から教え、学び、共に研究し合って、今日の輝かしい世界をリードする造船界の一大原動力となってきた。本委員会の諸作業にこのマニュアルが充分有効に活用されることを望む」

この心意気はマニュアルの随所に見られるが、自由討議議題の「当番造船所の機装設計課及び機装課の現状説明作成マニュアル」によく表れているように思う。すなわち、艤装船の機関室視察、造船所の電算化計画とその施行状況、採用した新設計手法の効果、艤装工程表な早期艤装の量と割合などが資料として提出されるように決められており、設計と工作現場の両者に大変重要な勉強の場を提供している。

なお、このマニュアルは一部省略しつつも今も使われており、マニュアル作成時の精神は引きつがれている。

4.3　システム技術

システム技術とはどんな学問・技術であろうか。「システム工学」とか「生産システム工学」とかの書物が盛んに出版されているが、現在のところ万人が納得する学問分野を形成しているとは言い難い。これはシステム技術が比較的新しい学問分野であり、未だ発展途上の学問領域であるからと言える。

システム技術が比較的に新しい学問分野であるところから、造船業では戦後になって初めて研究・開発が始められたと言える。1973年に発行された「昭和造船史」においても第二巻（戦後編）造船技術・第四編建造の中に「コンピュータの活用」の概要が記述されているのみである[1]。

1945年から1970年までのシステム技術は、コンピュータのハードウェアの発達とソフトウェアの供給形態に応じて次の二つの段階に分類することができる。第一段階は個人のためのプログラムを個人が作成した時期、第二段階は大規模なプログラムをプロジェクトチームによって開発した時期である。これらの時代を簡略化して、個人プログラム時代、企業プログラム時代と呼ぶことにすると、1960年代の中頃までが個人プログラム時代であり、石油危機（1973年）までが企業プログラム時代である[2]。

4.3.1　造船におけるシステム技術の歩み

南崎はその著書「船舶建造システムの歩み」の中で、造船システムの歩みを大枠としてとらえると「ConstructionからProductionへの変換」であると述べている[3]。第二次世界大戦後の船舶建造に溶接が大幅に採用されるようになると、それがブロック建造方式の始まりとなった。ブロック建造方式では、船殻工事で工作図・カッティングプランなどを用いた作業指示および日程計画が作成されるようになる。そこで、それまで職人集団の手にあった情報の発信が設計部門や管理部門の手によってまとめられるようになり、この情報の統合化こそ造船におけるシステム化の始まりであることを述べている。

この意味では1960年代のアメリカのアポロ計画で象徴される技術思想が、その後「システム」開発と呼ばれるようになったが、NASAは宇宙開発技術だけでなく、各種管理技法の開発と普及に貢献し、今日におけるプロジェクト管理、システム分析、システム工学などの学問の体系化に大きく貢献したと言うことができる。

4.3.2　個人プログラム時代

個人プログラム時代の造船業のプログラム開発は、設計分野における船舶算法と、現図作業の数値計算化の二つの面から開始された。

船舶算法のプログラムは、排水量計算、復原性計算、縦強度計算、タンク容量計算などのように既に伝統的な設計業務の中でルーチン化している計算作業から手がつけられた（1961年）。この分野のプログラム開発について個々の計算ルーチンの自動化だけでなく、一連の関連をもったシステムにすることを提唱した三菱日本重工（現

在の三菱横浜製作所）の設計部門の仕事は、プログラム開発の指針を示したものとして評価された（1963年）。

現図作業の数値計算化は、外板展開法の幾何学的解析から出発した。この基礎理論を整理したのは三菱日本重工の三田村、北村らによる研究であった（1962年）。1/10縮尺原図、EPM、座標読取機など作業面の条件も整えられ、外板展開、フレーム展開、外板組立用治具などのためのプログラムが開発された。これらのプログラム群はその後船殻部材形状図形処理言語、線図フェアリングなどのプログラムと結合されて船殻システムとして体系化される。

個人プログラム時代のプログラムは多くの場合、作成者自身でしか使えないものが多かった。プログラム開発の組織をどうするべきかが次第に問題になるようになった。オープンショップ制、クローズドショップ制、タクスフォース制などと様々な方式が試みられた。日本中型造船工業会は共同開発によるプログラムの整備という方式を採用し、1966年から継続的に個別プログラムの開発を実施している。

4.3.3　企業プログラム時代

造船業のコンピュータ利用は1967年頃から本格化したと言える。その頃造船各社は大型計算機を導入し始めたからである。UNIVAC-1107、IBM 360/50、IBM 7040およびHITAC-8500などが使用された。当時の主なテーマをあげてみると、最適化問題、バッチ型自動設計、有限要素法による構造解析、数値計算による線図生成、船殻形状処理言語、などがある。

最適化問題は海外の文献の刺激によって流行したテーマである。最適化の解析の適用は、基本計画問題と船体構造設計の二つの分野に分かれる。当時においては欧米造船界も大型コンピュータが利用できる環境は、大学や研究機関に限定されていた。また研究論文のテーマとして最適化問題が最適であるという理由もあって、このテーマが最初に採り上げられ1970年頃がその最盛期となったが、日本では設計プロセスの中に定着しないでその流行は過ぎ去った。

日本造船業界で熱心な開発努力が傾注されたテーマは定型的な設計作業の一部をバッチ型自動設計のプログラムで置き換える仕事であった。船級協会のルールに基づく船体構造のスキャントリングの自動決定をコンピュータのプログラムに行わせることが目標に選ばれ、NV、LR、AB、NKなどのルール別、或いはタンカー、バルクキャリアなどの船種別の組合せで各種のプログラムが開発された。コンピュータの能力が向上したこと、FORTRANコンパイラが安定化したこと、などがこれらの開発の可能性を示唆し、設計部門の若手の挑戦心を誘った。これらの自動設計型プログラムは開発後の保守体制をどうするかが問題点であった。開発が一応完了してしまうと、開発担当者は次第にプログラムから離れ、結局そのプログラムは使われなくなる運命にあった。一方、船級協会のルール改正に追従してプログラムを修正する保守サービスも問題点として残された。

船級協会のルールに準拠したものではないが、同じように構造設計の自動設計をねらったプログラムがアメリカでも開発された。このシステムは、CASDOSと呼ばれ、アメリカにおける、CADシステムの開発の流行を背景にした長期プロジェクト（1962～1969）であったが、自動設計型プログラムと同じように設計プロセスの中に定着するにはいたらなかった。

日本造船業界で船殻部材形状処理言語を最初に完成させたのは日立造船のHIZACであった（1966年）。これはNC自動切断機の導入（1965年）と呼応するものである。この種の図形処理言語はNCガス切断機用のほかにEPM縮尺原図用にも応用されて各社でプログラム開発が一斉に行われ、1968年頃には各社ともそれぞれのシステムを開発している。

4.3.4　造船研究協会における活動

造船業でシステム技術が意識的にとりあげられるようになったのは日本造船研究協会の研究部会SR 106（船舶の高度集中制御方式の研究、1968年）、SR 110（造船所における省力化に関する調査研究、1969年）などの頃である。当時はまだ「システム」という言葉自身が新鮮な頃であった。装置産業におけるプロセスコントロールにコンピュータを利用していることに刺激されて、陸のプラントと同じように海のプラントとしての船舶にコンピュータを導入することがSR106のテーマになった。SR106は汎用コンピュータに視野が限定されていた造船界の人々に対して、制御技術の重要性を認識させた。その結果、その後のミニコンピュータの利用、マイクロプロセッサの利用などへの技術開発の足場をつくった。日本では1970年代の初め頃はようやく第二世代タイプのミニコンピュータが普及し始めたばかりで、使用環境の厳しい船舶に搭載可能なコンピュータは、アメリカでの宇宙開発や航空機などに使われている特殊仕様のものでないと使用できないのではないかと考えられていた。当時は「クインエリザベスⅡ世号」のコンピュータ搭載が

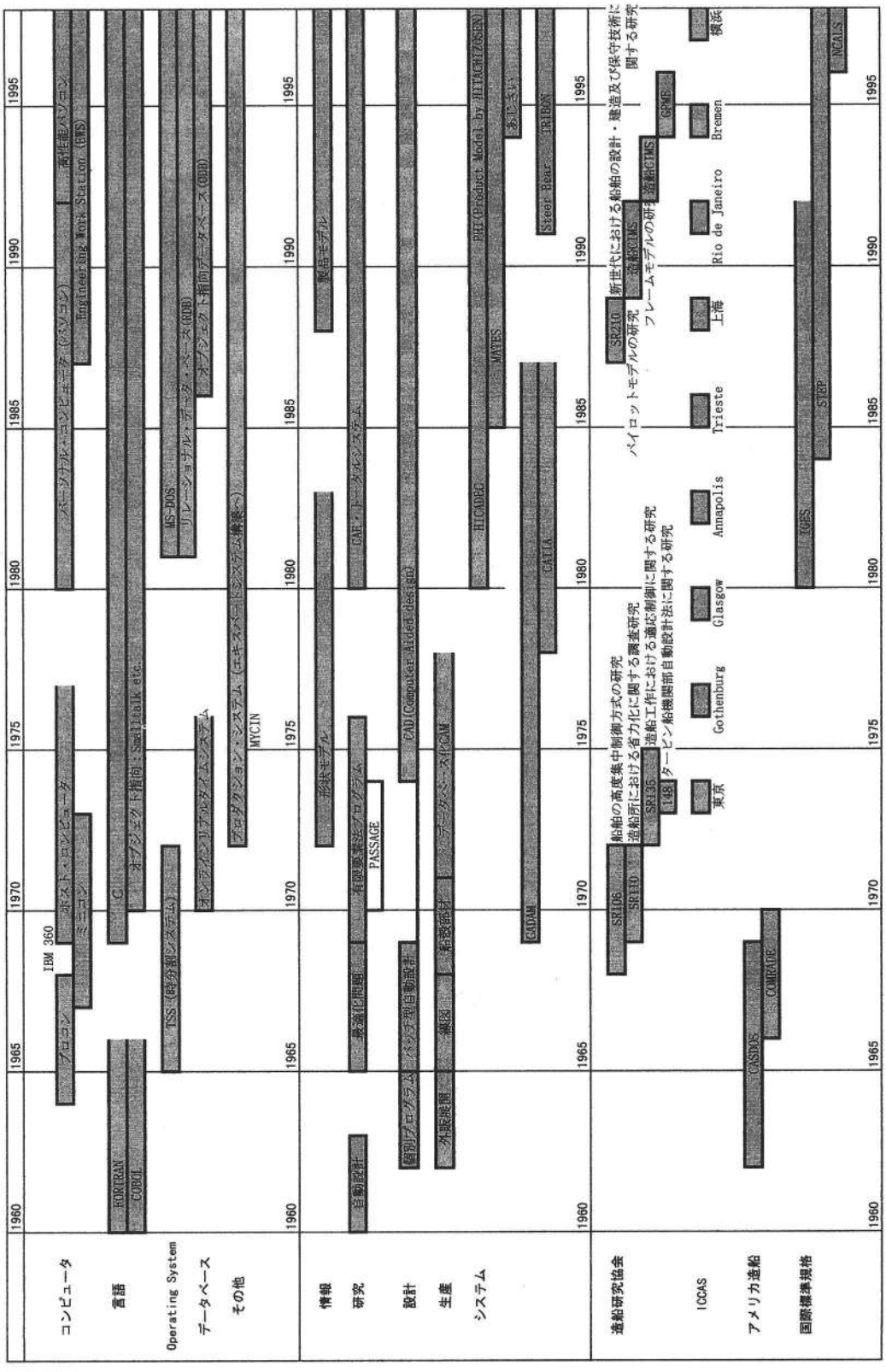


図 4.3.1　システム技術年表

ニュースになった頃であり、装置産業のプロセスオートメーションは機械産業のメカニカルオートメーションよりも近代化された技術であると考えられていた。

SR110も装置産業でのコンピュータ利用状況に触発されて企画されたプロジェクトであった。プロセスコントロールによる無人化工場がメカニカルな分野にも適用できるであろうとする楽観的な思潮が1960年代の後半に世界的に流行した。IMS（Integrated Manufacturing System）の概念が提唱されたのもこの頃である。SR110の時期は技術思潮の転換期であった。統合化と自律分散化の間で多くの議論がかわされた。未来指向の立場と現実重視の立場との間でも意見がわかれた。造船業では生産需要増の見通しに対して要員不足と賃金上昇率が制約になると考えられ、省力化という目標に対して疑問は抱かれなかった。この研究は方法論の幅を広げすぎて具体的な結論をまとめることなく終了してしまったが、プロジェクトに参加した各社のシステム技術者が自由な意見交換を行う場として重要な役割を果たした。

SR110の討論の背景資料にはアメリカのCASDOSやCOMRADE（Computer Aided Design Environment）の論文情報も断片的に伝えられ、システム技術分野では北欧指向からアメリカ指向に移った。開発された設計用ツールのCASDOSではコンピュータ・グラフィックスの採用は見送られたが、COMRADEではコンピュータ・グラフィックスのためのデータ構造の研究が主要な研究課題として取り挙げられた。当時のコンピュータ・グラフィックスはディバイスが裸で提供されただけで、ソフトウェアのサポートは皆無に等しかった。1960年代末の話題の中心はデータ構造であった。

コンピュータ・グラフィックスの実用段階での利用を初めて試みたのは日本鋼管の船殻図形処理システムGLOFTであった。その他に、コンピュータ・グラフィックスの試用を試みたところも二、三あったが、一般にはグラフィック・ディスプレイ装置が高価であることから未だ経済的でないとみられ採用が見送られた。三井造船はグラフィック装置を自社開発で作る方向へむかった。

参考文献

1)　日本造船学会編：昭和造船史、第2巻、原書房（1973）
2)　システム技術委員会第Ⅰ部会：造船におけるシステム技術、日本造船学会（1984）
3)　南崎邦夫：船舶建造システムの歩み、成山堂（1996）

第5章　機関

5.1　ディーゼル機関

5.1.1　2サイクル大形低速ディーゼル機関

(1) 大形機関の生産再開

戦後漁船用機関として300馬力および450馬力の小形ディーゼル機関を製作していた三井造船が、1947年（昭和22年）8月に戦後大形機関復活の第1号機を完成した。

この機関は戦時中の仕掛り品を集めて製造されたが、終戦直後の資材入手難から、大変な苦労を重ねてようやく完成した口径620㎜、5,400馬力のB＆W2サイクルトランクピストン型機関であった。更に1948年（昭和23年）8月に2号機も完成し、いずれも折からGHQが食糧政策として建造許可した南極捕鯨母船の主機となった。

そして、2号機の試運転の際、デンマーク公使を招待したことが、戦後初の大形輸出船「ELSE　MAERSK」（5,100DWT、3,640馬力）受注のきっかけとなった。受注した大形輸出船用主機を製造するために、戦後初めてB＆W社から最新の2サイクル単動クロスヘッド型機関の図面を入手した。

これらの新型機関は、1949年（昭和24年）から1950年にかけて完成したが、その内の1基（図5.1.1）は、当時のディーゼル機関の限界といわれていた8,000馬力を越える口径740㎜、8,300馬力の高出力機関で、B＆W社とほぼ同時に完成したものであった。

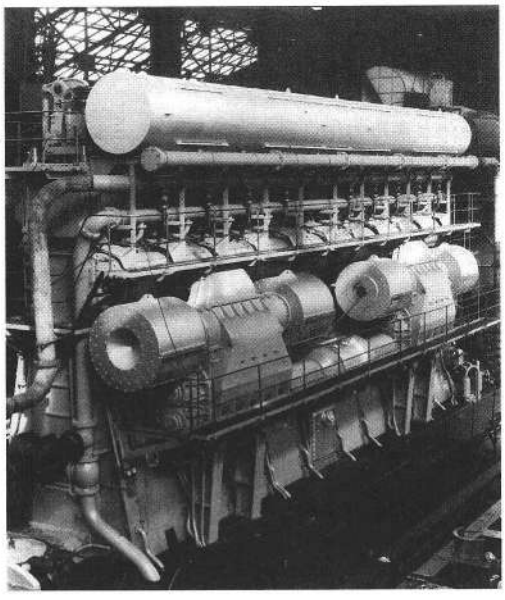


図5.1.1　B&W型無過給機関
（昭和25年完成、8.300馬力）

(2) 過給方式の導入と高出力化

この2サイクル単動クロスヘッド型機関は、戦前の花形機関であった複動機関に比べて、取扱いが簡単で、当時としては唯一低質燃料油が使用できるという基本的特長を持っていたため、今日まで船用大形ディーゼル機関の王座を守り続けている。

しかし、大形ディーゼル機関は、その構造上他の推進機関に比べて、出力当りの重量が重く、また、昭和20年代前半では、1台の最大出力が8,000馬力程度であったため、船舶の大形化あるいは高速化に対応できない場合があった。

そのため、ディーゼル機関メーカーは、大形ディーゼル機関の重量軽減と、高出力化の実現のために、技術面で互いにしのぎを削って競争した。重量軽減のためにまず機関の架構や台板への鋼板、鋳鋼溶接構造の採用が図られたが、終戦後は国内産業の回復がはかばかしくなかったため、1952年（昭和27年）になって初めて溶接構造の機関が完成した。

当時製造された出力最大の機関（8,300馬力）の場合、溶接構造の採用により、重量は約100トン、出力当りの重量は約19%軽くなった。溶接構造はその後のすべての大形機関に採用され、それまでの鋳造構造は姿を消した。

続いて、重量軽減と高出力化を同時に実現するために、2サイクル機関の排気ターボ過給の採用が図られた。ディーゼル機関の出力を、排気ターボ過給により増大させることは、4サイクル機関では昭和の始め頃から実施されていた。しかし、2サイクル機関の排気ターボ過給は、良好な掃気を得ることが容易ではないことから、長い間実現は至難とされていた。

各機関メーカーが排気ターボ過給の開発を進めた結果、B＆W社が1952年（昭和27年）に世界初の2サイクル過給機関（6,500馬力）を完成したのに引続き、三井造船が1953年（昭和28年）に三井船舶所有の「有馬山丸」の換装用主機として、口径740㎜、8,200馬力の2サイクル過給機関を完成した。この「有馬山丸」は、1937年（昭和12年）に完成した9,000DWT貨物船で、終戦時に生き残った5指にみたぬ1万トン級の商船のうちの一隻であった。

この過給機関では、同一寸法の無過給機関に比べて、出力が35%増加し、その結果出力当りの重量も25%軽くなり、さらに燃料消費率が174g/BHP/hから161g/BHP/hに低減され、船用機関における画期的な成果であった。ほぼ同時期に溶接構造による重量軽減と排気ターボ過給の

採用による出力の増大が実現したことにより、出力当りの機関重量は一挙に約40%軽くなった。(図5.1.1)

1954年（昭和29）年には、初めて1基1万馬力を超える口径740mm、11,250馬力の大形機関を搭載した高速貨物船「榛名山丸」(10,300DWT) が竣工した。本船は太平洋横断日数短縮の新記録を樹立した。1957年（昭和32年）には、当時世界最大出力の口径740mm、15,000馬力の大形機関を搭載した34,100DWT油送船「第五雄洋丸」が竣工した。

(3) 低質燃料油の使用

ディーゼル機関は、大形機関といえどもディーゼル油を使用してきたが、終戦後ディーゼル油の需要が急増した結果ディーゼル油の価格が高騰し、低質燃料油（ボイラ油）との値開きが大きくなった。そのため、ディーゼル機関メーカーは1949年（昭和24年）頃からディーゼル機関への低質燃料油の使用の研究を開始した。一方、スウェーデンのデラバル社が、従来の油清浄機（ピュリファイヤ）と直列に使用して、燃料油の中の固形分を取り除くクラリファイヤを開発したため、シリンダライナの摩耗対策、ピストンクラウンの焼損対策等の低質燃料油の使用に関する研究が進展した。

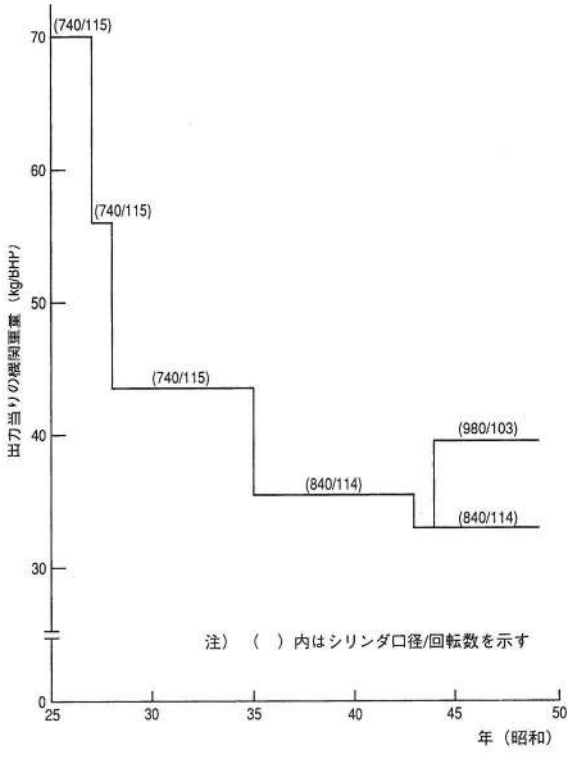


図5.1.2　B＆W型機関の出力当り機関重量の推移

これらの研究の成果をもとにして、1951年（昭和26年）には、7,000馬力の大形機関による陸上における低質燃料油の長期専焼試験に成功し、また、1952年（昭和27年）には8,000馬力の大形機関を搭載した1万DWT級の高速貨物船で、就航後低質燃料油の専焼に成功した。それ以来、低質燃料油使用が次第に常識となっていった。当時のディーゼル油と低質燃料油との価格差は、トン当り10～15ドルであったことから、4年間で同出力の大形機関1基の製作費に匹敵する燃料費の節減が可能であった。

しかし、当初は燃料油中の硫黄分によるシリンダライナ内壁の腐食摩耗などの問題が発生したが、1953年（昭和28年）頃から次々と油会社から中和性のシリンダ油が提供されると共に、大形機関の燃焼室周りの改造等が行なわれたことにより次第に解消して、ディーゼル油使用の場合と比べても、遜色のない信頼性を確保できるまでになった。

その結果、昭和30年代前半では、300～500秒/RW＃1　50℃程度の低質燃料油が一般的に使用されるようになった。昭和30年代後半になると、世界的に舶用燃料油の低質化が一層顕著になり、輸出船では3,500秒の燃料油の使用可能な仕様とすることが要求された。これは、ディーゼル機関メーカーのピストン等の燃焼室壁の熱負荷対策の実施と、油会社が実船による実績に基づいて改良した、高アルカリ価シリンダ油を次々と製品化したことにより可能となったものである。

高速貨物船の機関部乗組員は、使用燃料油の低質化が進んだにも拘らず、昭和30年代よりも昭和40年代の方が、多少の余裕を持って機関の整備ができるようになった。

(4) 大形化と高出力化（第1期）

大形低速ディーゼル機関は、昭和20年代から昭和30年代の前半までの間に、溶接構造と排気ターボ過給の採用により機関重量の大巾軽減、高出力化および燃料消費率の低減が実現すると共に、低質燃料油の使用が実用化段階に入り、ディーゼル船の運航経済性が著しく向上した。この結果、粗悪なボイラ油が焚け、かつ軽量な蒸気タービン機関に対する大形低速ディーゼル機関のハンディキャップはかなり縮小し、それまでは蒸気タービン機関が搭載されていた10,000～15,000馬力の出力分野の船舶までディーゼル機関の分野が拡大した。

しかし、油送船の大形化は、戦後予測をはるかに超えて急速に推移したため、昭和30年代前半においても、大形低速ディーゼル機関の最大出力機関を上回る機関出力を必要とする油送船の需要が多かった。そのため、運航

経済性の優れている大形低速ディーゼル機関の大出力化を望む声が高くなり、ディーゼル機関メーカーはシリンダ径を拡大すると共に、排ガスターボ過給率を上げて、シリンダ当り出力を増大した機関を開発した。

1960年（昭和35年）には、口径840㎜、過給率65%（従来35%）、12,600馬力の大口径高過給の第1号機を搭載した鉱石運搬船「八幡山丸」（27,500DWT）が竣工した。この機関は、それまでの最大出力機関に比べて、シリンダ当り出力が約1.8倍となり、最大出力となる12シリンダ機関の出力は27,000馬力を越えたので、1960年（昭和35年）頃から大形油送船に大形機関を搭載する傾向が著しくなった。1964年（昭和39年）には、この機関の最大出力である27,600馬力の主機関を搭載した当時世界最大のディーゼル油送船「山瑞丸」（99,700DWT）が竣工した。

(5) 後進性能

大形ディーゼル機関が大形油送船に搭載された初期の頃、海上試運転時に実施される後進試験で、それまでの船に比べて主機関を後進へ速やかに切換えることができない事態が発生した。

ディーゼル油送船は、1961年（昭和36年）には48,000DWT、1962年（昭和37年）末には70,000DWTと大形化したが、これに伴い、満載状態では、主機関の常用出力で前進中に、後進全力が発令された場合、主機関を停止したあとのプロペラ遊転回転数の低下がおそくなった。

一方、後進への切換えは、遊転回転数が主機関の定格回転数の40%程度に設定された回転数以下に低下した後に、開始することになっていた。また、この切換え操作は、まず機関室内に設置された機関の始動用空気だめから、高圧の空気を主機関の各シリンダ内に順次投入して、プロペラの回転にブレーキをかけ、さらに後進側に回転し始めるまで高圧空気の投入を続ける。次に全シリンダへの高圧空気の投入を停止して、直ちに燃料油の噴射を開始することにより、後進回転速度を整定させる方式であった。

それまでの小形油送船や、貨物船等では、ほとんどの場合、後進への切替操作は1分以内で完了していた。しかし、油送船が大形化して、遊転回転数は数分以上待たないと、後進への切換を開始する回転数まで低下しなくなった。また、設定された回転数になってから、後進への切換えを行ったところ、高圧空気の投入により、一旦主機関は後進側に回転するが、高圧空気の投入を停止すると、燃料油の噴射が開始されるまでの瞬時の間に、主機関はプロペラの強い前進遊転トルクに引きずられて、再び前進側に回転してしまい、後進への切換に失敗した。

その後、機関の逆転機構を改良して、空気運転から燃料運転に切換った時、あるシリンダへの高圧空気の投入を継続して、後進回転を保持している状態で、別のシリンダへの燃料噴射を開始する方式としたため、その後さらに大形化したディーゼル油送船でも、後進への切換に失敗することはなかった。

(6) 大形化と高出力化（第2期）

1963年（昭和38年）頃から、原油の海上輸送量の増大に対応して、発注される大形油送船は急速に巨大化し、主機出力も30,000馬力を越える場合が増大してきた。

そこで、ディーゼル機関メーカーは、この大出力分野への進出をはかり、1967年（昭和42年）から1968年にかけてシリンダ口径が980～1,050㎜の超大形機関を開発した。これらの超大形機関はシリンダ当り出力が3,800～4,000馬力であり、12シリンダ機関では45,000馬力を越えるもので、巨大油送船あるいは高速大形コンテナ船の主機出力をまかなえるものであった。

同時に、これらの超大形機関を開発した過程で得られた成果を、在来の機種に適用して一段と進歩した新シリーズ機関を開発した。新シリーズ機関は、在来機種に比べてシリンダ当りの出力が15～25%上昇して、最大出力となる12シリンダ機関の出力は30,000馬力を越えた。

超大形機関は、SULZER機関では1968年（昭和43年）に28,000馬力の第1号機を搭載したコンテナ船「あめりか丸」（15,400DWT）が竣工、B＆W機関では1969年（昭和44年）に34,200馬力の第1号機を搭載したコンテナ船「おーすとらりあ丸」（23,300DWT）が竣工している。三井造船は、その後1975年（昭和50年）までの間に超大形機関を25基約87万馬力製造した。大半が巨大油送船用主機関であった。

1972年（昭和47年）に竣工した大形高速コンテナ船「えるべ丸」（35,200DWT）は、新シリーズ機関3基を搭載し、その合計出力は史上最大の84,600馬力であった。

(7) 高出力船の出現の歴史

ここまで大形低速ディーゼル機関の大形化と高出力化の推移の概略を述べてきたが、この推移と高出力船出現の歴史を比較した結果を、図5.1.3に示す。高出力船出現の推移は、同種の船舶が大量に建造された油送船のみについて、三菱重工建造船舶実績に若干他の国内建造船舶実績を加えて作成したものであり、またディーゼル機関

の推移の記録は、B＆W型機関の場合を示した。高出力船出現の時期については、過去最大出力の主機を搭載した建造船舶の竣工年で示すと共に、およその建造契約時期に当る竣工年の2年前も表示した。

大形機関は、一旦1960年（昭和35年）頃に、ほとんど全ての高出力油送船のニーズを満たすことができた後、再び主機出力増大のニーズに追い付かない時期があった。しかし、1969年（昭和44年）頃以降は、常に高出力油送船のニーズを満たしてきたことがわかる。

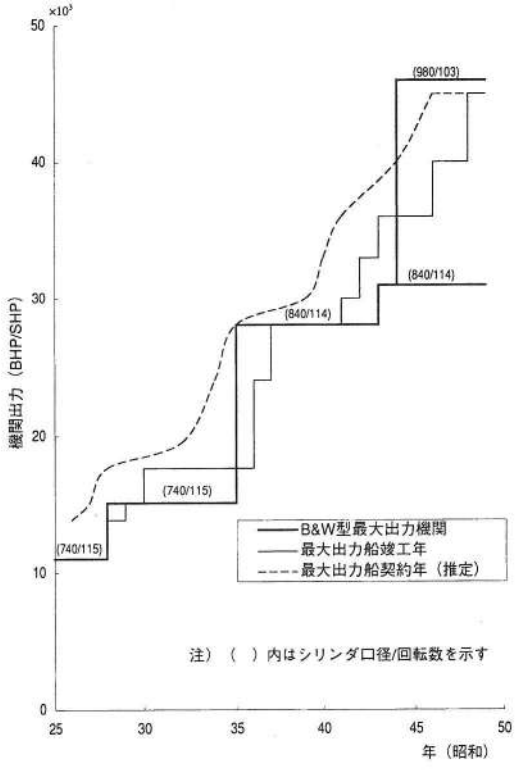


図 5.1.3　ディーゼル機関の高出力化と高出力油送船の推移

5.1.2　その他のディーゼル機関

(1) 4サイクル中形中速ディーゼル機関

船舶の大形化に伴い、大形外航船等の主機の軽量小形化を目的とした、1基または多基で、減速歯車装置を介してプロペラを駆動するギャードディーゼル機関が、昭和30年代後半以降海外で開発され、わが国でも1964年（昭和39年）以降、技術提携契約を締結する等により生産を開始した。シリンダ当り出力は当初400～500馬力であったが、昭和40年代中頃には1,000馬力の機関が出現した。

一方、国内では、1970年（昭和45年）に運輸省の大形超高速船用主機の国産化計画に呼応して、シリンダ口径600mm、シリンダ当り出力1,500馬力の機関の開発が開始され、1972年（昭和47年）に6シリンダ試験機関による性能試験を完了した。本機関は、大出力船舶にマルティプルディーゼル機関として利用される場合に問題となる、保守整備性を向上させるために、解放組立の省力化を徹底的に追求した機関構造とした。また、その後海外の機関メーカーが競って開発した、大出力中速機関の先鞭をつけたものである。

(2) 艦艇用ディーゼル機関

戦後の防衛庁のディーゼル護衛艦建造計画に呼応して、艦艇用主機の開発が行われた。1953年（昭和28年）から設計が開始されて、1955年（昭和30年）には9シリンダ、6,000馬力の艦艇用2サイクル排気ターボ過給機関2機種が完成し、直結推進方式機関として護衛艦に搭載された。これらの機関は、いずれも艦艇用主機として要求される軽量、小容積、高出力を実現していて、戦後のわが国の舶用ディーゼル機関開発技術の高さを内外に示すものであった。　その後、直結推進方式に代って採用されたマルティプル方式として使用される、高回転V型機関数機種が、1960年（昭和35年）から1963年にかけて開発され、以後1977年（昭和52年）までに竣工した多数の護衛艦に搭載された。

(3) 青函連絡船

1964年（昭和39年）から1965年にかけて建造された、6隻の新鋭連絡船の主機には、1基1,600馬力の4サイクル小型中速ディーゼル機関8機2軸のマルティプル方式を採用していた。主機負荷が連続最大出力の95%以上になるまで、稼働台数を増加することなく運航し、年間の大半は6台のみ使用していた。しかし、マルティプル方式にしたことで主機の循環整備が可能となり、主機の故障による欠航が殆ど発生しなかった。

5.1.3　軸系

軸系は、形状が簡単で、単に主機関の回転出力をプロペラに伝えるだけの役目であることから、船舶の安全上極めて重要なものであるにもかかわらず、長い間軸系に関する研究はほとんど行なわれていなかった。しかし、船舶の大形化、高速化が進むにつれて、軸系の重要性が一段と増してきたため、次第に系統的な研究が実施されるようになった。

(1) リグナムバイタの異常摩耗

船舶の大形化、高速化に伴って、船が地球上に出現して以来使用されてきた水潤滑式船尾管軸受で、軸受支面材であるリグナムバイタの異常摩耗が多発した。1962年(昭和37年)から1960年代中頃に建造された、5万DWTを越える油送船、鉱石運搬船、ばら積み貨物船等で、激しい場合は就航後半年から1年の間にリグナムバイタが10～20㎜程度摩耗した。当時プロペラ軸の抜き出し規定間隔に相当する3年間で、5㎜程度の摩耗が普通とされていた。

1966年度（昭和41年度）から3年間SR93の船尾管軸受に関する調査研究の中で、リグナムバイタの異常摩耗発生の実態調査、模型実験、プロペラ軸スリーブとリグナムバイタとの適合性に関する実験等が実施された。これによって、もっとも異常摩耗発生の可能性が少ない軸スリーブ材等当面の対応策が明らかになった。

しかし、異常摩耗の問題が十分に解明されていないこと、リグナムバイタが自然木であり、需要の増大に伴い産地、年令、採用部分の差によって、軸受性能が異なる場合が生じていて、高軸受圧力に耐えられないと思われること、ならびに諸外国で油潤滑式船尾管軸受が使用され始めたことから、1964年（昭和39年）後半以降急速に油潤滑式船尾軸受に移行していった。

(2) 船尾管シール装置の損傷

油潤滑式船尾管軸受は、わが国で使用され始めた時点で、既に諸外国で相当の実績があるということであった。しかし、事前調査、研究を行うこともなく、一挙に大出力機関搭載船の大径船尾管軸受にホワイトメタル軸受とオイルシール装置を採用した結果、オイルシールからの油漏れ、あるいはホワイトメタルの焼損等の事故が多発した。

当時オイルシール装置は全て輸入していたが、海外メーカーの対応が要領を得なかったので、わが国として独自の改良対策を確立するため、船主協会、造船工業会および日本海事協会が協力して、「船尾管オイルシール損傷対策委員会」を設置し、わが国の総力をあげて問題の解決にあたる態勢を整えた。

対策委員会は、オイルシール装置を装備した船全船について、運航実績を追求し、事故原因を検討する一方、国内シール・メーカーの協力を得て、実物大の試験装置によるシール・ゴムの耐久試験を実施して、シールに関する諸性能を明らかにすると共に、種々の改造品を実船に試用した。その結果、原設計の種々の欠陥がしだいに解明され、その都度対策が講じられたため、事故は急速に減少した。

このような経緯があったことから、その後の船舶の大形化、高速化に対応して、わが国独自のオイルシール装置実現の必要性を強く認識した、装置メーカー、造船所による改良研究、改良品開発が引き続いて実施されたため、大形深喫水の船や、高出力高速船でも重大な事故は発生しなかった。

(3) 油潤滑式船尾管軸受の損傷

水潤滑式船尾管軸受のリグナムバイタは、昭和40年代前半にはほとんど採用されなくなったが、それまでは、その優れた特性のゆえに、船尾管軸受材料として多用されてきた。その特性の一つは、天然木であるリグナムバイタが持つ適度の柔らかさであった。軸受荷重の増大と共にリグナムバイタのたわみが増し、プロペラ軸との当たりが得られやすかった。したがって、リグナムバイタ採用船では、軸芯は原則として主機と船尾管軸受を一直線に見通す方法が採用され、軸系アライメントに特別な配慮を加えるということはあまりなかった。

ところが、油潤滑式船尾管軸受のホワイトメタル軸受は、リグナムバイタのような変形性能がないため、多くの船で軸受の船尾側後端下部のメタル面に強い当たりが現われた。局部的な焼付きやき裂、はく離を起こすものもあった。

そこで、SR93に引き続いて、1969年度（昭和44年度）から3年間、SR114推進軸系の設計条件に関する研究が実施されて、油潤滑式船尾管軸受の諸問題の解明が行われた。この研究の結果、大重量のプロペラを片持支持する軸受後端下部に片当りが生じないよう、軸受を垂直面で傾斜させて、メタル面とプロペラ軸のたわみ曲線とをできるだけ一致させる、いわゆる軸受スロープボーリング法など、最適な軸系アライメント設定法が考案された。これらの対策を施した大型船では、船尾管軸受の損傷は発生しなかった。

しかし、1972年（昭和47年）に竣工した3機3軸の大形コンテナ船「えるべ丸」では、試運転中の高速航走時にホワイトメタル船尾管軸受で焼損事故が発生した。「えるべ丸」は33,800馬力の中央機と25,400馬力の両げん機の合計出力が84,600馬力の大形低速ディーゼル機関を搭載し、試運転最大速力が31ノットの商船としては他に類を見ない超高速コンテナ船であった。(図5.1.4)

本船の両げん軸の船尾管構造はボッシング型で、また両げん側プロペラの回転方向は、性能上の観点から内廻

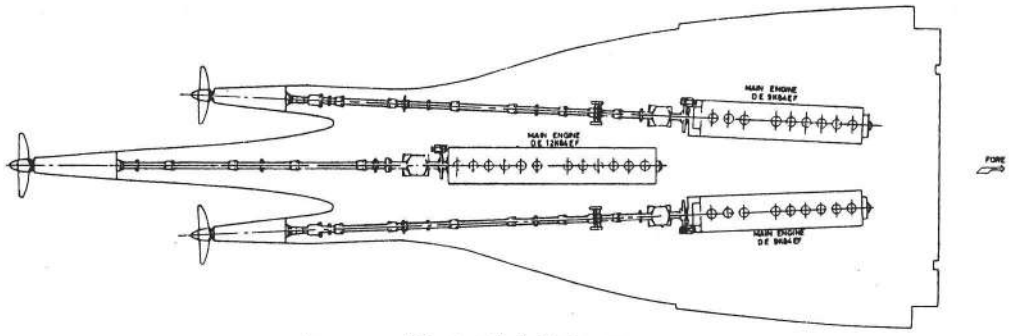


図 5.1.4　「えるべ丸」軸系配置

りとしていた。焼損は、主機の定格回転数付近で運転中に、左げん側軸受の後端側面に発生した。

軸受の焼損状態から、プロペラ軸が高速時に船体中心側軸受中心の高さに設けられた油溝に接近し、更に軸受に片当りしていることが推定されたので、油溝の位置を軸受上方部に移設すると共に、それまで油溝のあった軸受の船体中心側のメタル表面にサイドスロープ加工を施した。これにより焼損は防止されたが、船尾管軸受尾端に装備した相対変位計測装置により、推定どうりにプロペラ軸が回転数の上昇に伴って、船体中心側に浮上することが確認された。

この焼損事故から、軸系アライメントのあり方を再検討することになり、1972年度（昭和47年度）から3年間SR143の軸系アライメントの設定基準に関する研究が実施された。この研究では、プロペラが不均一伴流中を回転するために生じる変動曲げ外力、軸受内の油膜厚さを考えた軸の挙動等を加味した軸系アライメントが検討された。

5.1.4　自動化

(1) 金華山丸

1955年（昭和30年）前後からオートメーション化がわが国産業界に普及するなかで、1959年（昭和34年）の造船技術審議会への運輸大臣諮問「船舶の自動操縦化の技術的問題点ならびにその対策」を契機として、わが国の船舶自動化技術の開発が官民協力のもとに開始された。

1961年（昭和36年）に、世界初の大形外航ディーゼル自動化船「金華山丸」（9,800DWT、12,000馬力）が竣工した。本船は、外航船としては初めて主機を船橋操舵室から直接操縦するブリッジコントロール方式と、機関部の監視および制御を機関室下段に設けた機関部制御室で集中的に行なう集中監視制御方式を採用し、全世界の海運造船界に多大の反響を呼んだ。

「金華山丸」が処女航海でパマナ運河を通過した時に、船橋から主機を操縦するのを見て驚いた水先案内人が、ニューヨークへ電信を入れた。そのため本船がニューヨークに到着した時には、米国の国防長官が本船を見学したので、現地の新聞が世界初の自動化船入港と書いたことから、国際的なニュースになり、日本の新聞もびっくりした。

「金華山丸」の機関部自動化の概要を次に示す。まず主機のブリッジコントロール（図5.1.5）は、電気油圧式の遠隔操縦装置で、主機の起動停止、前後進、増減速を船橋操舵室または機関部制御室のいずれからでも操作することができた。起動は自動と手動の二方式を備えていた。主補機の冷却清水と潤滑油の温度調節は、全て在来の手動温度調節弁を機関部制御室から遠隔制御する方式とした。エンジンテレグラフロガー、自動記録温度計を機関部制御室内に設置し、燃料油清浄機、空気圧縮機、潤滑油こし器、油だきボイラ等の操作、運転を自動制御とした。機関部制御室は、防音、防熱を施し、空気調節を行って、乗組員の作業環境の改善を図ったので、当時乗組員から最も好評を得ることができた自動化装置であった。

「金華山丸」の機関部乗組員は、機関長、機関士3名、機関部員7名の計11名で、在来の貨物船に比べて機関部員が3名少なかった。

1962年（昭和37年）には14隻の外航ディーゼル自動化船が就航する等、その後自動化は普及し、自動化の対象範囲も急速に拡大していった。

(2) 夜間当直の廃止

欧米各国も自動化の研究開発は実施していたが、「金華山丸」出現までは自動化船の建造にあまり積極的でなかった。しかし、船腹増加や陸上における労働条件の向上等による船員の求人難と船員費の高騰等から、一転し

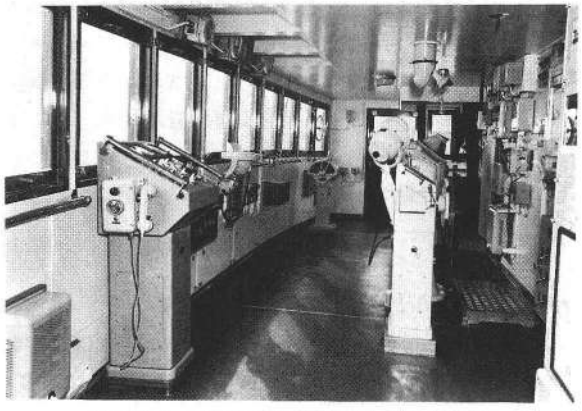


図 5.1.5　金華山丸船橋主機遠隔操縦台

て積極的な姿勢を示すようになった。

1964年（昭和39年）にわが国で竣工したデンマーク船主向ディーゼル油送船「SELMA DAN」（55,800DWT、20,700馬力）は、世界で初めて機関室の夜間無当直を達成した。本船の建造契約交渉の時に、「金華山丸」をはじめとするわが国のディーゼル自動化船の現状の説明、夜間無当直を可能とするための方策の提案等を行って、実現したものである。本船の機関部機器の自動化の程度は、一般の自動化船と大差はないが、操舵室に機関部警報を冷却水、燃料油等の配管系統のグループに別けて、グループ別代表警報を設け、異常が発生したら操舵室当直員が直ちに電話で機関部員に通報し、機関部員が機関室に赴いて適切な処置をとることにしていた。

これを契機として、英国、北欧船社は次々と夜間無当直船の建造を始めたが、わが国においても、1968年（昭和43年）から1969年にかけて、機関室夜間無当直をめざして建造された船が竣工した。1969年（昭和44年）に竣工したディーゼル鉱石兼油送船「ジャパンマグノリア」（94,500DWT、21,600馬力）がNKの機関の無人化符号「M0」を取得したわが国の第一船となった。これ以降に建造された外航船舶の殆どが機関室無人化船となった。

(3) 超自動化船

昭和40年代に入り、一層船員の求人難と船員費の高騰の傾向が強くなったことから、船内における労力の軽減と作業環境の改善が急務となった。また、船舶の大形化、高速化に対応し船舶の安全性、運航経済性の飛躍的向上も必要となった結果、1968年度（昭和43年度）から3年間SR106船舶の高度集中制御方式の研究が実施された。

本方式は船舶を一つのシステムとしてとらえ、従来から自動化されていた機関部のみならず、航海部門、船体ぎ装部門も含めた船舶の全機能を集中制御するもので、船舶の超自動化と呼ばれ、コンピュータが利用された。

1970年（昭和45年）には、SR106の成果を利用した初の超自動化ディーゼル油送船「星光丸」（138,400DWT、28,000馬力）が竣工し、機関部では、トラブル処理、主機のトルクコントロール等がコンピュータ制御された。また、1971年（昭和46年）には超自動化ディーゼル油送船「三峰山丸」（222,800DWT、38,000馬力）が竣工し、機関部では、主機のスタンバイ制御、ボイラの始動、停止、バーナ本数制御、貨物油ポンプの駆動用タービン起動制御とキャビテーション防止制御、主機保守データ収集システム等がコンピュータ制御された。

超自動化船は、この2隻のほかに、タービン船を含めて5隻建造されたが、いずれも実験的試行にとどまり、その後継続して建造されることはなかった。その理由は、設備投資が大きい反面、乗組員減員が大きく期待できなかったこと、船員費高騰対策として仕組船が容易に建造できるようになってきたこと等があげられる。

5.2　商船用タービン

5.2.1　商船用タービンの発達

戦後のタービン船は1946年（昭和21年）の宇高連絡船900馬力×2軸、1947～1948年（昭和22～23年）の青函連絡船2,250馬力×2軸いずれも16kg/cm²×280℃の石炭焚き丸缶で始まった。

蒸気タービンは大馬力化しやすく機関室が短いことから大馬力船に適し、特にタンカーで独占的地位を占め、タンカーの大型化とともに発展した。1950年（昭和25年）竣工の戦後初の大型タンカー「日栄丸」（18,776DWT、7,000馬力×114rpmから3万DWTで15,000馬力、6万DWTで18,000馬力、12万DWTで24,000馬力）をへて1966年（昭和41年）の「出光丸」（20万DWT、33,000馬力×101rpm）、1971年（昭和46年）の「日石丸」（37万DWT、40,000馬力×90rpm）まで大出力化した。図5.2.1にこの間の出力の推移を示す。

ディーゼルの大出力化と大型補助水管ボイラや二重蒸発ボイラなどの実用化により燃費のよいディーゼルタンカーが急増した。ディーゼルと対抗するためタービンプラントの燃費向上の努力が継続され、蒸気条件と燃費は22kg/cm²×350℃の340g/PS·hから30kg/cm²×400℃で285g/PS·h、42kg/cm²×454℃で240g/PS·h、61.5kg/cm²×515℃で210g/PS·hと改善され、さらに再熱プラントではタービン入口蒸気84～102kg/cm²×510～520℃、再

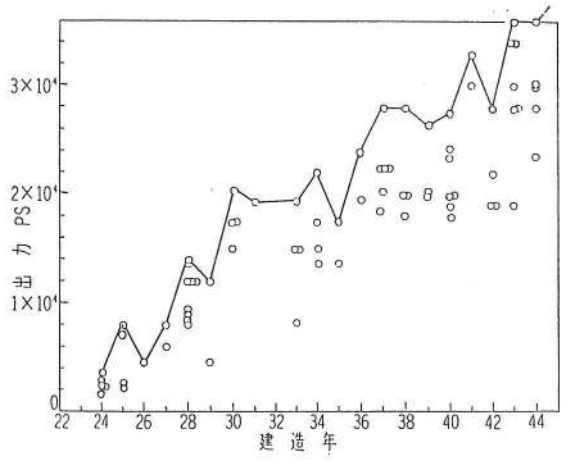


図 5.2.1　出力の推移

熱温度510～420℃で185～195g/PS·hの低燃費が実証された。

タンカー以外のタービン船は1953年の貨物船「常島丸」、「康島丸」12,000馬力×110rpm、42kg/cm²×450℃以降途絶えたが、昭和40年代の大型高速コンテナ船では2軸にしても当時のディーゼル最大出力を越えるため、タービン船が復活した。1969年から計画が進められた欧州航路コンテナ船「鎌倉丸」(「鞍馬丸」、「らいん丸」、「北野丸」、「春日丸」)の主機はタービン40,000馬力×135rpm×2基と決まり、続くニューヨーク航路コンテナ船ではディーゼル2軸船が主流のなかで「東米丸」45,000馬力、「じゃぱん·あんぷろーず」50,000馬力の2隻は大出力タービンを採用した1軸船となった。

5.2.2　タービンプラントの性能向上

タービンプラントの性能向上のため新しい技術が次々と開発実用化された経緯と要点は以下の通りである。

(1) 蒸気条件の向上

蒸気圧力、温度の推移を図5.2.2と5.2.3に示す。高圧·高温蒸気の記録を更新した船は以下の通りである。

昭和	船　名	PS×rpm	kg/cm²×℃	g/PS·h
25	日栄丸	7,000×114	22×350	342
25	あらびあ丸	8,000×102	30×400	321
28	祐邦丸	14,000×110	41×450	263
28	Stanvac Japan	13,750×114	60.8×454	243
30	Veedle	17,600×110	42.2×454	253
36	Naess Sovereign	24,000×105	59.8×482	234
36	利根川丸	20,000×105	61,5×515	218

高圧ボイラでは溶存酸素によるボイラの腐食が促進されるため1950年（昭和25年）頃から30kg/cm²ボイラに脱気器（ディアレータ）が採用され、プラントの水量制御はメークアップ弁とスピル弁で脱気器水位を一定にする方式が定着し、22kg/cm²ボイラまで使用されていた主復水器水位を自動調節するフロート式の密閉給水弁は姿を消した。

(2) 蒸気サイクルと給水温度、ボイラ効率

シンプルな2段給水加熱·エコノマイザ方式はボイラ効率が88%で燃費はやゝ劣るが運転·保守が容易であり、欧州メジャーオイル系船主に多く採用された。給水温度は硫黄分1.5%のガルフ系重油では250°F（121℃）が標準であったが硫黄分3.5%の中東系重油ではエコノマイザの腐食が激しいため昭和30年代始めに280°F（138℃）に上げられて現在の標準となった。

4段給水加熱·ガス式空気加熱器方式はやゝ複雑なプラントになるが、給水温度200～220℃でボイラ効率は約90%と高くでき、燃費は2段給水加熱に比べ6～8グラム低く、日本·米国·および独立系船主に多く採用された。在来の管式のガス式空気加熱器は高硫黄重油で腐食が激しいため昭和30年代半ばからロータリー式に替わった。

(3) 60kg/cm²×510℃プラント

昭和30年代末に1気筒2,300馬力、9気筒で2万馬力を越えるディーゼル機関が登場して低燃費を武器として7万DWTタンカーに続々採用され、タービンメーカーは危機感を抱いた。燃費で劣るタービンの劣勢を挽回すべくGE社はMST-13と名付けた新型タービンを開発して強力なセールスキャンペーンを開始した。850psi×950°Fの4段給水加熱のプラントで燃費を当時の600psi×850°Fプラントの240グラムから一気に200グラムに低減し、さらにシングルプレーン配置と称してタービン·ギヤの軸心を同一平面に配置して高さを半減し、ボイラをタービン室の真上に置いて機関室長さをディーゼル機関では不可能な短さに縮める大胆な提案であった。他のタービンメーカーも一斉に追随し、同様な高圧高温プラントが短期間に世界中に普及した。ただし、シングルプレーン配置は機関室の高さに余裕のある大型タンカーではメリットがないため、日本のタービンは全長が短くできる復水器下垂型を踏襲し、艤装を容易にするため空気エゼクタ、グランド復水器、潤滑油ポンプおよび冷却器をパッケージ化する方式が普及した。タービン入口60kg/cm²×510℃の蒸気条件は3万PS程度の舶用として費用対効果がバ

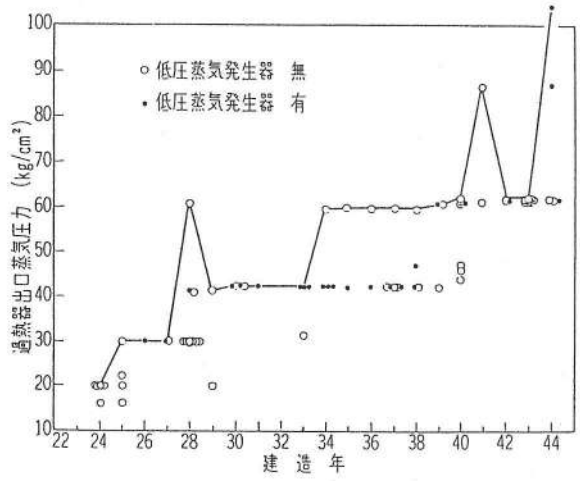


図 5.2.2　過熱器出口圧力の推移

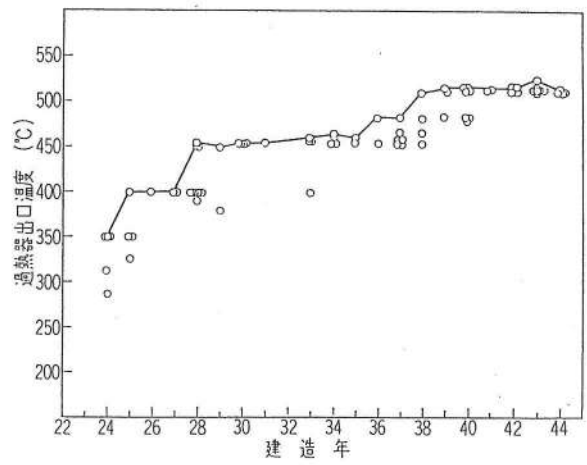


図 5.2.3　過熱器出口温度の推移

ランスしており現在まで30年余り標準として定着した。

(4) 新しい設計思想

1965年（昭和40年）に英国シェルが発注したMクラスのVLCCは同型22隻を3年間に日欧の9造船所で並行建造するというスケールの大きさに加え、卓抜した設計思想とネゴの厳しさで日本造船業に大きいインパクトを与えた。新しい設計思想は高性能と稼働率、保守費低減のバランスを徹底的に追求した結果生まれたきわめて斬新な発想①1缶半方式②主タービン定格MCR＝Normal③85rpmの画期的低回転④リファイナリ・プラクティスを導入した制御・計装の1社とりまとめ（当時はACCはベーレー、給水加減器はコープス、水面計はヤーウエー、制御弁はレスリーなど伝統ある専業メーカーの標準品採用が普通であった）などを含み、その後のタービンプラントの在り方に大きい影響を与えた。Mクラス22隻5年間の平均稼働率は94.1%、日本建造10隻の平均95.8%は欧州建造12隻の平均92.4%より断然高く日本建造船の優秀性を実証した[2)]。

表 5.2.1　再熱プラントの実績[3]

竣工	船名 同型　隻数	プラント名称	蒸気条件＊ kg/cm²×℃/℃	計画燃費 g/PS・h	主機駆動 ほか
1966	出光丸	R-801	84.4×510/420	195	2缶方式
1968～70	Energy Transport 他　4隻	MST-14	102×510/510	178	Gen, BFP スクープ
1969	松寿丸	R-805	84.4×510/500	194	2缶方式
1969～70	Arabiyah 他　2隻	R-804	84.4×510/510	189	Gen, BFP
1970～74	Golar、Patricia 他　6隻	UR-315	100×520/520	186	Gen, BFP
1976	Golar、Patricia	UR-450	100×520/520	184	45.000PS

30.000PS、1缶半方式、＊タービン入口、Gen：発電機、BFP：給水ポンプ

(5) 再熱プラント

昭和40年代に登場した1気筒4,000PS、8気筒で3万PSを越える大口径ディーゼルと対抗するため再熱プラントの開発が加速され、石播重工のR-801/4/5、GEのMST-14、川崎重工のUR-315/450プラントが相次いで開発され、表5.2.1の通り1966年～1976年に18隻（R-804とMST-14は佐世保重工建造船）に搭載された。再熱を効果的にするための高圧化に加え、主機駆動、スクープなどの省エネ技術を集大成したプラントが多かった。

(6) 発電機、補機の駆動方式

発電タービン、補機駆動タービンを抽気駆動にして再生効果を高める方式はシェルのMクラスはじめ多数の船に採用された。さらに効果の大きい主タービン直結駆動も上記再熱プラント搭載船のほかにも採用され、経年変

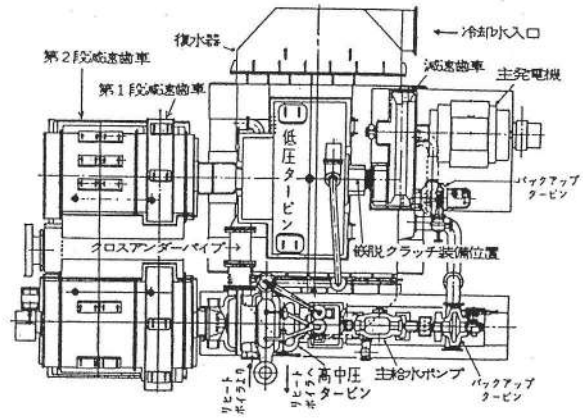


図 5.2.4　主機駆動発電機・給水ポンプの配置例

化による回転数低下を補償するためCPPを採用した例として1969年（昭和44年）建造の13万DWT鉱油船「San Juan Venturer」（23,500PS×85rpm）がある。図5.2.4に主機駆動発電機・給水ポンプの配置例としてR-804の場合を示す。

5.2.3　欧州航路コンテナ船用タービン

26ノットという高速の定期運航を維持するため、信頼性が高く運転操作が容易なプラントを要求された「鎌倉丸」クラスの主要諸元決定の経緯を以下に要約する。

運航平均出力は80%MCRと予想されたが出力70%～100%の範囲で最も燃費がよい90%が設計点に選ばれた。

パナマ経由の欧州航路の平均海水温度は就航実績調査の結果20.1～20.4℃であり、これで設計すれば復水器を小さくできるが、高真空による燃費向上のメリットをフルに活用するため標準より1℃低い23℃で設計された。

蒸気サイクルは燃費、コスト、信頼性と運転保守を比較評価し、シンプルな3段給水加熱方式が採用された。

2軸プラントの機器・配管・運転方式について艦艇のスプリットプラント方式、輸出2軸タンカーで実績のある復水・給水系統を給水加熱器、給水ポンプを含めて両舷共通の1系統にまとめる方式の双方を検討した結果、配置・配管の容易さと補機器容量の実績を考慮し、発電タービンも含めて左右舷独立と決定された。

主復水器の循環はスクープが標準であったが、配置がきわめて困難であるためポンプ循環が採用された。

主タービンは広い負荷領域で性能がよく、頻繁な発停でも問題を起こさぬことが要求され、はめ込み式ノズルと部分負荷性能のよいカーチス調速段が採用された。

ボイラは135rpmという高いプロペラ回転数での共振を回避し、大型化に対応して剛性を高めるため、蒸発管、水冷壁管とも大口径管が採用された。

運航成績は良好であったが1日当りの燃費が360トンと多いため、石油危機以降は採算に乗らず、低速ディーゼル2基に換装され、燃費は140トン程度に削減された。

表5.2.2　護衛艦用主タービンの発達[6]

艦種	年度（昭和）	艦名 同型隻数	出力（PS） 2軸合計	蒸気条件 kg/cm²×℃	タービン 構成
DD	28	はるかぜ＋1	30,000	30×400	4胴/2胴
DDK	30～33	あやなみ＋6	35,000	〃	高・低・巡
DDA	31,32	むらさめ＋2	30,000	〃	〃
DD	31・OSP	あきづき＋1	45,000	40×450	〃/2胴
DDG	35	あまつかぜ	60,000	〃	〃
DDA	38～41	たかつき＋3	〃	〃	〃
DDH	43,45	はるな　＋1	70,000	60×480	巡高・低
DDG	46～53	たちかぜ＋2	60,000	40×450	〃
DDH	50,51	しらね　＋1	70,000	60×480	〃

高：高圧、低：低圧、巡：巡航、巡高：巡航・高圧一体型

4胴：巡航・高圧・中圧・低圧、2胴：高圧・低圧（巡航なし）

5.3　艦艇用タービン

戦後初の護衛艦「はるかぜ」（28年度艦）、タービン2軸合計30,000馬力以来、艦の高機能化・大型化とともに表5.2.2に示す通り、2軸合計70,000馬力まで大出力化が進んだ。

機関室配置は被害時の生存性を考慮して船首から前缶室、前機械室、後缶室、後機械室のシフトエンジン配置が採用され、その後一貫して踏襲された。

28年度艦の蒸気条件30kg/cm²×400℃当時の国内造機技術水準と隊員の練度を考慮した堅実な選定であったが、その後大出力化に対応した性能向上のため40kg/cm²×450℃、さらに60kg/cm²×480℃へと高圧高温化した。

艦艇用タービンは30ノット超の全力では軽量コンパクトが要求され、18ノットの巡航（出力20%、回転数60%の低負荷）では蒸気消費率の少ないことが要求される。このため戦前から巡航タービンを装備し、タービンは高圧・低圧・巡航の3胴式が一般的であった。従来の手動嵌脱式巡航タービンは操作が面倒であり、誤操作の危険もあるため30年度艦から自動嵌脱式と嵌脱不要の直結式双方が採用され、35年度艦からは直結式に統一された。

護衛艦建造当初は各社の自由な発想に基づく異なった型式のタービンを搭載して比較評価を行い、実績を踏まえながら順次斉一化、標準化が進められ、35年度艦の30,000馬力タービンは高圧・低圧・直結巡航タービンの3胴式標準タービンとなった。

さらに高圧・高温の60kg/cm²×480℃に移行した43年度艦からはタービンの構成を一変し、巡航と高圧を一体化して高圧・低圧の2胴式とし、巡航時には蒸気を巡航－高圧－低圧とシリーズに流し、全力時には巡航と高圧にパラレルに蒸気を流し、双方の排気を低圧タービンに導入するシリーズ・パラレル方式が採用された。巡航・全力の切り替えは弁操作だけで簡単に行われ、製造、艤装、運転も容易で、巡航速力上昇への対応も容易であり、これが主タービンの決定版となった。

減速歯車は戦前の艦本式タービンの1段減速ではなく最初から2段減速でスタートし、軽量コンパクトなロックドトレーン型が35年度艦から全面採用となった。

ボイラは商船の2倍の大容量のため過熱器、節炭器付き、空気加熱器なしのシンプルな2胴水管が踏襲された。

52年度艦からガスタービン艦の建造が本格化し、蒸気タービン艦は53年度艦「さわかぜ」が最後となった。

参考文献

1) 編集委員会：タービンプラント24年の歩み、舶機誌、第4巻、第8号（1969）
2) 福垣敦男訳：VLCCの運航で何を学んだか？、造船誌、第572号（1977）
3) A.Fukugaki:Trans. IMarE,Vol 106、Part 1（1994）
4) 野田重昭他：造船誌、第488号（1970）
5) 阿部隆司：舶機誌、第9巻、第1号（1974）
6) 阿部安雄：護衛艦建造史・機関、世界の艦船（1987）

第6章　海洋技術

6.1　概　　要

6.1.1　世界の情勢

第2次大戦後、世界各国の海洋に対する関心が高まり、1945年（昭和20年）の米国の大陸棚資源領有宣言を機に、各国の大陸棚、領海、漁業水域に対する権利主張が強まった。これは技術の進歩によって海底油田の開発が可能になったため、先進国がその周辺の海底資源を自国の主権下に置こうとしたことと、また開発途上国も漁業資源を含めて自国周辺海域の管轄権主張を強めたことが背景となっている。

1950年代に海底油田の探鉱・開発と深海調査船等による海洋調査が盛んになり、海洋の持つ経済的、政治的意義が飛躍的に高まった。先進諸国は、海洋を資源獲得のための新しいフロンティア、あるいは宇宙に次ぐ国威発揚の場としてとらえ、総合的な海洋開発政策を国家プロジェクトとして相次いで打ち出した。1961年に米国ケネディ大統領が海洋開発の重要性を唱え、1966年に海洋資源技術開発法を制定し、1970年に海洋大気局（NOAA）を設立した。フランス、カナダ、ドイツ、イギリスも海洋開発政策とその推進のための体制を整え始めた。

6.1.2　我が国の情勢

(1) 国の動き

わが国では世界的な海洋開発の高まりに対応して、海洋科学技術に対する基本的方策を明確にするため、1961年に総理府に海洋科学技術審議会を設置し、1962年に国立の総合的海洋研究機関として東京大学海洋研究所を設立する等、海洋の科学調査・技術の推進を目指した先駆的な動きがあった。

海洋科学技術審議会は、1961年から1969年までに、海洋科学技術推進のための方策、開発計画、実施方策等について相次いで答申を行なった。（詳細は年表参照）

1967年には石油開発公団（現石油公団）が設立され、1969年には科学技術庁と通産省に海洋開発室を設置するなど新しい組織が生まれて海洋技術開発への体制が整い始めた。

いわゆる海洋3官庁といわれる海上保安庁、気象庁、水産庁は従来にも増して、それぞれの立場で海洋の観測に力を注ぎ、国際プロジェクトにも協力して貢献した。

運輸省船舶技術研究所、港湾技術研究所等においても海洋波浪や海洋開発用機器の試験研究が次第に活発に行なわれるようになった。

(2) 民間の動き

世界的な海洋開発の進展に刺激された形で、我が国でも1960年代後半から海洋開発あるいは海洋工学という概念が社会的にも一般化し始めた。このような情勢の中で、1966年に㈳海中開発技術協会が発足、1968年に経団連に海洋開発懇談会が設置、1969年に海洋産業研究会設立、1969年に鋼材倶楽部に海洋開発推進委員会設置等民間団体の新しい体制作りが始まった。又大手企業グループの海洋開発への進出が活発となり、1968年に三井海洋開発㈱、日本海洋掘削㈱、1969年に芙蓉海洋開発㈱、海洋機器㈱、日本海洋産業㈱等海洋開発専門会社が設立され、新しい海洋開発の事業に取り組むことになった。

6.2　海底石油資源関連

6.2.1　概　　要

1946年に、メキシコ湾で初めて海底石油掘削のジャケットプラットフォーム（PFと略す）が設置された。その後世界各地で海底油田の発見・開発が進み、1960年には海底石油の生産国は20ヶ国に達した。その当時生産可能水深は60mと深くなり、試掘井の最大水深は90mに達した。試掘用掘削リグが米国を中心として開発され各地で稼働を始めた。わが国でもそれに刺激された形で、1960年代から造船技術を活用して掘削リグを始め海底石油関連の海洋構造物、機器の建造が始まった。

6.2.2　掘削リグ

1958年に、米国のル・トノーの設計で日本初の型のジャッキアップ型掘削リグ「白竜号」が石油資源開発㈱向けに石川島播磨で建造された。建造当時は日本がリグを造り自力で掘削するなどと欧米から笑いものになったともいうが、1971年に日本海洋掘削㈱（JDC）に移り、国内外の試掘作業で大いに活躍した。

1965年から三菱重工は日本初の半潜水型リグSEDCO 135シリーズ4基を米国向けに建造した。これはSEDCO社の設計であったが、使用鋼材の規格はまだABS船級協会のバージの規則を適用していた。1969年にはJDC向けに自主設計による4脚マット付ジャッキアップ型掘削リグ「ふじ」や、テンダーバージ付の掘削リグを建造した。

1968年に三菱重工はアラスカのクック湾用の固定式掘削PF2基を製作した。気温－400C、潮流速6～8knの流

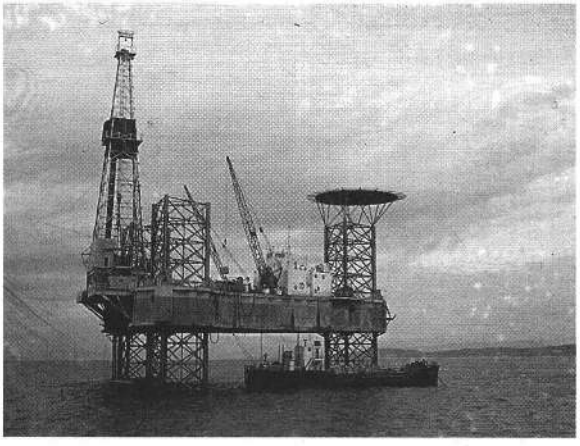


図 6.2.1　わが国初の JU リグ「白竜号」(1958 年)



図 6.2.2　わが国初の SS リグ“SEDCO 135G”(1968 年)

氷海域では、構造材料は流氷の衝撃に耐える50～70㌔級の低温用強靭性鋼材が必要となり、我が国の製鉄所は米国規格の特許等思いがけない問題も克服しながら新しい鋼材の開発に成功し、流氷域の海洋構造物の設計・建造が可能となった。日本鋼管と石川島播磨も国内及び海外向けの小規模の掘削用固定 PF 数基を製作した。

1967 年には三井造船は日本初の船型掘削リグ「Discoverer Ⅱ」を建造し、1970年には手動の船位位置保持装置を装備した掘削船「Discoverer Ⅲ」を建造した。

6.2.3　パイプレイバージ

国内でも1960年代から海底パイプの敷設需要が出て来たため、鉄鋼会社が中心となって、パイプレイバージの建造と同時に、パイプ敷設工事も行なわれた。1966年以降、日本鋼管は「第一安全丸」などを、新日鉄は中古タンカーを改造した「油島丸」などを建造した。

6.3　海洋エネルギーの利用

1965年に益田によって考案された波力発電ブイは、ブイの運動によってブイの中央のパイプの中を動く空気流を空気タービンに当てて発電する方式で、最大500wの発電出力を得るまでに開発された。航路標識の灯浮標として現在迄に国内外で800基以上設置又は輸出され、波力発電装置の中で唯一の商業製品となった。1966年には海上保安庁は緑青社と共同で、最大100Wの沿岸固定式波力発電装置を久里浜沖の無人島に無人灯台として設置し、実用化に成功した。

6.4　水産関連

1949年に水産庁が8海区水産研究所を発足させ、1960年代から栽培漁業という観念が生まれて1963年に瀬戸内海栽培漁業協会が設立され、獲る漁業から作り育てる栽培漁業へ移行する端緒となった。

6.5　海洋空間利用

6.5.1　プラントバージ

1969年に佐世保重工がアラブ向けに初のガス・オイル分離プラントバージを建造した。同年三井海洋は日本初のホテルバージ「おやしお」を建造した。これは200名の宿泊設備に空調、造水、娯楽設備等を備え、海外の工事現場で宿舎の建設を必要としない新しいシステムとして海外各地で活躍した。

6.5.2　一点係留ブイ

1963年から日立造船と日本鋼管はIMODCO一点係留ブイを、三菱重工は1965年からタンカー係留用CALMブイ（三菱SPM）を国内向けにそれぞれ数基製作した。

6.5.3　観光、レジャー用機器

1969年に海中公園指定が行われたが、同年日立造船は初めて和歌山県白浜の水深約10mの沿岸に、内部の覗き窓から自然の海中を見物出来る海中展望塔を設置した。

6.5.4　その他海洋関連機器

1960年代後半に海洋工事用に自己昇降式作業台（SEP）の有用性が世界的に認められ、わが国でも「大国」、「か

いよう」、「躍進2号」などが川崎重工、石川島播磨で建造された。

6.6　海洋調査

6.6.1　海洋調査船

1954年に戦後初の海洋気象観測船「春風丸」が神戸遠洋気象台向けに建造され、続いて海上保安庁向け遠洋測量船「拓洋」(1957年)、東京水産大学向け研究練習船「海鷹丸」(1955年)などが建造された。1956年には南極観測用砕氷船「宗谷」が改装によって完成し、初めて南極観測隊の輸送を行なった。

1960年代には、東大向け海洋研究調査船「淡青丸」(1963年)、「白鳳丸」(1967年)、北大向け「おしょろ丸」(1962年)、気象庁向け海洋気象観測船「凌風丸」(1966年)、「啓風丸」(1969年)など、大型で当時の最新設備を備えた調査船が建造された。戦後の25年間に漁業調査船も含めて合計40隻余の海洋調査船が建造されたが、欧米諸国に比べるとまだ十分とは言えないものであった。

1958年には深海潜水船「FNRS Ⅲ号」によって、日仏共同で日本海調査を行なった。1962年にはフランスの深海潜水船「アルシメード」が来日し、日本の学者も一緒に日本海溝の9,500mに潜航して話題を呼んだ。

6.6.2　潜水調査船

1951年に北海道大学向けに、有索の潜水探測機「くろしお号」が日本鋼管で建造された。竪型円筒を母船から吊下げ、母船によって移動観測又は海底に着座して乗員2名が観測する、潜航深度200mの潜水機であった。380回に及ぶ潜水調査を行なった後、1960年に日本鋼管で「くろしお号」の竪型の耐圧殻を横型にして、全長11.3m、乗員4名、水中速力2ktの有索自航潜水船に改造し、「くろしおⅡ号」とした。潜航深度は200mと変わらず、母船と連結されたケーブルで電力供給・通信を行なう方式は世界的にも珍しい潜水船であった。学術潜水調査等を約340回無事故で行なった後、1969年に退役した。

1958年には東海サルベージ㈱が潜水深度200mの潜水調査船「白鯨号」を製作し、明石海峡、津軽海峡の海底調査等を行なった。

1964年には三菱重工が読売新聞社向けに潜航深度300mの潜水作業船「よみうり」を建造し、新潟沖の地震調査や各地の珊瑚礁の調査等を行なった。更に1969年には川崎重工が潜航深度600m、マニピュレータを装備し、救難装置も備えた潜水船「しんかい」を海上保安庁向けに建造した。潜航回数150回、潜航時間累計約500時間の実績を残して1977年に退役した。

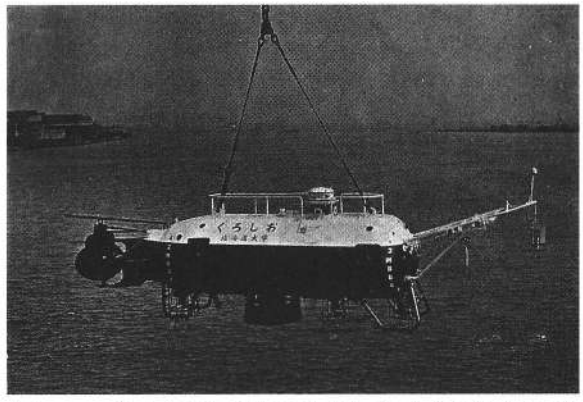


図6.6.1　北大向け有索潜水船「くろしおⅡ号」(1960)

6.7　海洋汚染防止機器

1960年代後期から我が国の高度成長と共に公害問題が社会の重大な問題ととなった。1967年には海水油濁防止法、1970年には海洋汚染防止法、水質汚濁防止法が公布され、国の海洋汚染防止に対する姿勢が明らかになった。

1960年代から油回収船も建造され始め、1966年には石川島播磨が大型タンカーのタンク洗浄、油水汚水受け入れと処理を行い、油回収装置を装備する、わが国初のタンククリーニングバージを建造した。

第Ⅴ部

技術立国の造船技術

1970年～1995年（昭和45年～平成7年）

概観

この時代は、経済の発展と工業化の進展により、海上輸送量が飛躍的に増加した。そのため、船舶の隻数、船腹量も増加したが、これに伴い貨物の種類も多様化することになる。この貨物の多様化と輸送量の増加に対処するため、専用船が増加し、船型は大型化の道をたどった。また、荷役方式の多様化もこの時代の特徴で、コンテナリゼーションが本格化し、RORO船や自動車専用船が数多く建造されるようになった。さらにクルージング船、ケーブル敷設船、海洋調査船、プッシャーバージなどの専用船も増加した。技術的には、球状船首を始めとした船首形状の改良による造波抵抗の減少、有限要素法の適用による構造解析の発展、低回転大直径プロペラとロングストロークエンジンの採用による省エネルギー化が挙げられよう。また、コンピュータ化の拡大により省人化はもちろんのこと、省エネルギーや安全運航を目的とした自動化システムも数多く採用されるようになった。

日本造船業界は、こうして1970～1974年に絶頂期を迎え、VLCCに続いて到々48万トン級のULCCが建造された。しかし、1973年に始まる第1次オイルショックを契機に、世界中がインフレと不況とに見舞われた。さらに1979年の第2次オイルショックで、わが国の海運・造船界は船腹過剰、設備過剰などに陥り、決定的構造不況時代を迎えた。原油価格の高騰により世界中に省エネルギーの風潮が漲り、荷動きの増大は止まり、やがて減少へと移行し、船舶の大型化及び高速化は終焉した。その後、海造審の答申に基づいて制定された「造船経営法」により、造船設備の廃棄・休業、過剰人員の整理、合理化により体質改善をはかったり、等々の努力と世界景気の立ち直りもあって、1988年には長かった10年間のトンネルをようやく抜けた。

推進性能に関しては、タンカーの大型化に伴う肥大船の問題を取り扱った研究が主流をなしていた。1985年頃までは船体周りの粘性流場を、今では古典的手法である境界層理論を用いて計算する努力がなされるとともに、流場計測が盛んに行われた。特に、模型船の伴流分布計測値から実船の伴流を推定する方法が開発され、船尾振動の評価やプロペラ設計にも大きな貢献をした。1970年代には各所に曳航水槽が作られた。一方、プロペラに関してはハイリースキュード・プロペラの出現とともに、船研の大型キャビテーション水槽を始めとして多くのキャビテーション水槽が建設され、プロペラの性能やキャビテーション、並びに船尾振動の予測の向上に大きな寄与をなした。推進性能予測のために、シミュレーション計算法や荷重度変更試験法等の試験法が提案された。オイルショックに対応した省エネの動きは周辺技術の発達と相まって、船舶について各種の省エネ・プロパルサの考案と実用化の努力がなされた。特に、二重反転プロペラは世界で初めて実用化がなされ、画期的な省エネ効果が得られた。1980年に入ると、船舶流体力学もコンピュータの能力を生かした数値計算法の開発が盛んに行われた。造波や造波抵抗等を計算する方法やプロペラ性能を計算するサーフェス・パネル法が開発された。一方、粘性流場を解くため、ナビエ・ストークス方程式の数値解法が造船の分野でも精力的に行われ、模型船レベルのレイノルズ数10^6程度の痩せた船の抵抗が計算出来るようになってきている反面、VLCCクラスの肥大船のビルジ渦を含む伴流分布の計算は、未だ手に負えないのが現状である。プロペラやキャビテーションの分野における計算法、設計法及び計測法に関しても目覚ましい進歩があり、キャビテーションが発生したプロペラの設計法や性能推定法が提案されるとともに、模型や実船プロペラ翼に関する計測法が開発され、造船技術の発展に大きな成果が上げられている。

運動性能に関しては、船の安全確保の観点から運動性能の研究がますます重要視される時期である。耐航性に関しては「ぼりばあ丸」等の大型専用船の相次ぐ事故に対して、安全対策の研究が急遽行われ、波浪衝撃圧等の波浪外力の研究が船体構造強度の研究と結びついて遂行される様になってきた。オイルショック後、海洋構造物の建造に伴う耐波性能の研究も始められた。近年の安全と環境保全に対する社会的要請による事故防止対策や技術のアセスメントの必要性が要求されるようになり、IMOにおける安全と海洋汚染防止に関する国際ルールの討議に研究の成果が取り込まれる様になってきた。また、電子計算機の発達により耐航性上の応答計算の実船設計への応用のための運動性能計算が可能になり、その実用性が確認された。同時に、耐航性理論の3次元理論への拡張の試みが種々なされた。漁船等の小型船の転覆の原因となる斜め追波についての研究や「エストニア号」の事故を契機とする損傷復原性の研究がIMOの安全基準の見直しに貢献した。この他、波浪情報の蓄積や波浪の再現技術に進展があり、水槽実験技術が大いに発展したことが特筆出来る。一方、操縦性に関しては大型タンカーの漂流座礁事故による原油流出による海洋環境汚染の頻発

に対応して、IMOでは操縦性能の極端に悪い船の排除のため、操縦性暫定基準が採択され、操縦性能推定法の確立が重要なテーマとなった。操縦運動の数学モデルが当会水槽試験委員会（第二部会）で構築され、現在定着しつつある。操縦性能推定法も高度化が図られるとともに、模型と実船の尺度影響、相互干渉、浅水域及び狭水路での操縦性能についての研究成果をもとに運航自動化技術の開発が行われ、船舶技術研究所等にシミュレーションシステムが作られた。この時期の運動性能の研究は狭義の造船技術ばかりでなく、操船や運航技術の向上にも貢献したと結論づけられる。

省エネルギー時代の船に於いては燃料消費を減らす事が関心ことであった。このために構造技術者は、船殻重量を切りつめて軽い船にすることが要求された。またコストダウンの圧力により、船殻構造に高張力鋼が大巾に使用されるようになった。TMCP鋼の出現もそれを加速した。1970年代からの二世代VLCCでは横強度部材にも広範囲に高張力鋼が使用されるようになった。船舶の信頼性向上のためにまた世界的な海運造船不況の中で生存競争に勝ち残るために、付加価値の高い船舶を建造しようと、種々先端技術が採用された。計測技術と電算機による計算技術である。設計の主要部分を占める構造応答計算は、電算機の発展により精度が向上するとともに、座屈解析、最終強度解析、信頼性解析、船体表面の変動水圧計算のプログラム等も開発された。計測の分野では局部構造の静的応答は勿論、衝撃応答の計測、実船計測では長期間の少数点に於ける応力頻度の計測と、多数点に於ける応力の同時計測が主に行われた。1970年代の後半からは完全無人の自動計測となった。1970年代に入り、海洋環境保全の問題が課題となり、大型タンカーのタンク寸法の制限が行われるようになった。1980年12月に北太平洋を航行中の大型撒積貨物船「尾道丸」の船首部が折損し、漂流後沈没する事故があった。この冬には同海域で13隻の船舶が沈没或いは大損傷を被っている。またこれより先に同海域同季節に1969年に「ぽりばあ丸」が、1970年には「かりふぉるにあ丸」が沈没している。尾道丸はその漂流期間中に充分な調査が行われた。その結果、荒天時の波浪による船体縦曲げモーメントと同時に船首船底にスラミング衝撃力を受けて船体破壊に至る機構が解明された。1990年から1991年には大型撒積貨物船21隻が300名の乗員と共に姿を消した。いづれも船齢20年に近い老齢船であった。一方海運不況の折から船齢延長の空気が強くなっていた。老齢船の現状を観察して余命を推定する技術が求められた。かくして疲労設計、破壊管理制御の研究が脚光を浴びてきた。またアラスカ沖でのVLCCの座礁による油流出事故を契機として、1990年代になって大型タンカーに二重船殻構造が要求されるようになった。高度成長に遂げ豊かな時代になって、一般の船舶に於いても居住性の改善が要求されるようになり騒音の研究が始められた。大型船では騒音源である機関室や推進器に近い上部構造の上甲板には居室を設けない配置が採用された。制振鋼板が開発されて、補機台や居室の鋼壁に利用する試みもなされた。

材料強度に関してはこの時代、巨大化する一方の船舶に対し、高張力鋼を広範囲に採用することが検討された。一方溶接作業性や能率の向上、コストの低減による船舶の短期建造体制を確立するために種々の大入熱溶接法が採用される傾向にあった。これらに対し、いくつかの重要な問題が提起され、大手製鉄会社、関連の溶剤メーカー、大手造船会社の船殻設計担当者ならびに破壊力学研究者の強力な共同研究体制のもと、多くの研究が行われた。脆性破壊、疲労破壊などを解析する破壊力学の手法を実船の設計に適用していく場合の問題点の整理と設計者のニーズに応じた研究の促進の必要性が強く認識され、破壊管理制御あるいはフラクチャーコントロールの考え方を導入する努力が開始された。また、オイルショックによる造船不況の打開策として各種の省エネルギー施策が材料開発および溶接工作技術の観点から官民をあげて強力に推進された。1980年代後半、高張力鋼を多用した大型タンカーの船側縦通肋骨の水線面近傍の取り合い部に亀裂が多発し、高張力鋼に対するより適切な疲労強度設計手法の確立のための研究が精力的に行われた。また、船舶に比べ実績も少なく多分に経験的であった海洋構造物の材料強度、外力条件などに関する研究も多く行われた。

1970年代以降、LNG船のアルミニュウム合金製タンクの出現を始め、アルミニュウム合金製高速船、アルミニュウム合金製上部構造物等にアルミニュウム合金の使用が著しく増加し、その溶接技術、溶接機器、溶材も長足の進歩を遂げた。アルミニュウム合金材の溶接法にはティグ溶接とミグ溶接の2系列がある。両者とも現在では片面自動溶接ができるまでに進歩している。鋼製の船体とアルミニュウム合金製上部構造物を接合する方法は、リベット接合、ボルト接合が使われていたが、接合部の電蝕等の問題があったため、1980年頃爆発圧着法による異

材継手（STJ）が開発されて広く用いられるようになった。一方、鋼材の溶接においては、1980年代に入ると、いよいよ溶接ロボットが登場した。最初は、予め教示した通りの作業しか出来ない比較的小型のワークを対象とした簡単なロボットであったが、センサー技術の進歩、パソコンの導入、等により現在では溶接パターンをデータベース化しCAD情報に基づいてロボットの作業と教示データを自動生成するシステムが開発適用されて、オペレータはロボットにワーク名の指定をしてやればロボットが自動的に溶接を行うまでに進んでいる。

建造の分野では、自動化、無人化は一段と進み、NCプラズマ切断機から更にNCレーザー切断機まで登場し、切断の能率・精度とも一段と向上し、溶接技術は1970年代に各種片面溶接法が実用化され、1980年代になると炭酸ガスシールドアーク溶接法が急速に進歩し、簡易自動溶接機や、溶接ロボットが登場して造船溶接の主流となった。艤装は船殻の生産工程に完全に取り込まれ、殻艤一体方式と呼ばれる生産体制が出来上がった。これらの要素技術を活用し、設計・加工・建造全体をコンピュータで統合する総合生産管理システム（CIMS：Computer Integrated Manufacturing System)が官民学一体体制の下で完成して、次世代の船である超自動化船、超高速船、超電導推進船、深海調査船の生産に役立つ日を今や遅しと待っている。

この時期のシステム技術の歩みを分類すると、ソフトウェア・パッケージを専門グループが開発し、使用者がこれを購入するようになった1970年代後半からの段階と、将来の統合化システムを指向しはじめた1980年後半からの段階に分類することができる。ソフトウェア・パッケージ時代では、有限要素法がコンピュータの大型化につれて着実に解析業務の中心となり、ソルバーとしてアメリカで開発されたNASTRAN、MARC、SAPなどが使われるようになった。1973年は日本造船業のシステム技術にとって国際交流の出発点であった。ICCAS '73（the International Conference on Computer Applications in the Automation of Shipyard Operation and Ship Design）とISO/TC 8の2つの国際会議が日本で開催された。それらに関連して、1977年に日本造船学会のシステム技術委員会（委員長秋田好雄）という形でまとまった。統合化システム時代では、造船所内の情報の仕組みであるソフトウェアの近代化として造船CIMSが中心課題として取り上げられてきた。SR210委員会のCIMSプロジェクト、シップ・アンド・オーシャン財団のパイロットモデルの開発およびフレームモデルの開発、同財団の造船CIMS開発研究委員会の組織、同財団の組立産業汎用プロダクトモデルの開発研究と続き、造船業CIMSの実用化加速のための基盤整備が完成されることになった。一方、日本の造船業では設計、工作、現場を対象とした幾つかの大型の統合化設計・生産システムが構築されるに至った。

1973年の石油ショックで燃料油価格が高騰してからは、燃料費削減が最重要課題となった。そこで大型低速ディーゼル機関ではプロペラ効率の高いロング・ストローク機関の開発が進み、1977年に三井造船は回転数を約18%低下させた一番機を完成した。このロング・ストローク化は、船舶の所要出力の低減のみならず、機関の燃焼が改善され燃料消費率も減少したので、船舶の燃料消費量は大幅な削減となった。その他、新しい掃気方式や低回転数化の構想が次々と発表された。大型機関では、同一船速時の燃費を低減するために、機関の定格出力／回転数より低い出力／回転数を連続最大出力に選ぶディレーティングの考え方も導入された。二重反転プロペラは省エネルギーに寄与した。昭和50年代に入ると、船員費高騰対策としての仕組船を見直し、日本人乗組員配乗による高度合理化船と称される近代化船の開発が始められた。国際海事機構（IMO）では1996年に船舶からの大気汚染を防止する国際条約が採択され、今後はこれまでの経済性と信頼性に加えて、NOx排出レベルの削減という環境対応性が求められている。昭和40年代はタンカーブームが続く中、タービン主機建造も増えた。しかし石油ショックによりブームは崩壊し、タービン船の発注はLNG船を除き途絶え、市場規模の縮小に伴い国内タービンメーカーは三菱、川重の2社のみとなった。艦艇用では、英海軍がガスタービンを最初に導入して以来、日本でも1977年度から護衛艦の主機がガスタービンに全面転換され、艦艇の近代化に大きく貢献することになった。現在、より静粛化、自動化を目指した新しい推進システムとして、電気推進システムが検討されている。

最後に、世界の体制が200海里水域制度へ向うに伴ない、わが国も官学民共世界的な海洋に対する新体制の下に、海洋技術の黎明期から飛躍の時代に移行した。1970年以降、世界的に海底石油の試掘・生産が活発となり、海洋技術はこの海底石油開発技術が先導する形で発展し、各種掘削リグ、生産設備及びその関連機器やシステムが新たに開発され、新形式の固定式あるいは浮遊式大型海

洋構造物等が数多く出現した。1960年代後半から始まった掘削リグを始めとする石油開発関連機器の建造は、益々盛んになり、1980年代中頃まで繁忙の時代が続いた。従来の船舶とは異なる形態の掘削リグを始め各種多様な海洋構造物の盛んな建造に伴ない、これらの構造、性能及び係留システムなどについて、理論的・実験的研究も著しく進展した。石油産業以外の分野でも、我が国の高度成長と共に、本四架橋、洋上石油備蓄、関西空港、東京湾横断道路等が次々と着工されるなど、海洋空間利用の巨大プロジェクトも活発に進展した。また、栽培漁業、海洋エネルギー変換、海洋調査、潜水調査船、無人潜水ロボットの開発等も大きな進展を見るに至り、当初先進国に遅れをとっていた海洋技術も、近年には世界最高のものが数多く出現するに至った。

第1章　性能

1.1　抵抗推進

1.1.1　世界を変えた経済戦争オイルショック

1970年（昭和45年）12月米国議会で、大気汚染防止に関するマスキー法が成立し、自動車排ガスの無公害化を1975年迄に達成するよう自動車業界に要求した。日本の自動車業界はいちはやくこれを達成して、輸出が急増した。1972年には、水質汚染防止法（水のマスキー法）も成立した。1971年、石油輸出国機構OPECは石油価格の値上協定をメジャーと交わした。環境保護時代の到来とオイルショックの先触であった。

1952年（昭和27年）頃から米国マトソン社とシーランド社がヨーロッパ航路で始めたコンテナサービスが徐々に海陸一貫の輸送体制革命の様相を見せ始め、遂に、1966年（昭和41年）、米国シーランド社が北大西洋航路に4隻のフルコンテナ船を配船して本格的コンテナリーゼーションの幕開けを告げるや、たちまちその波は太平洋にも押し寄せた。運輸省は早速、海上コンテナ輸送研究会を発足させたが、当時まだタンカーの建造に追われる日本造船業界は「利益なき繁忙」といわれる状態にあってコンテナ船どころではない状況であった。

この様な中で「出光丸」に代表されるVLCCの他、この時期に、新船種が続々登場してきた。IHIが開発した「フリーダム」を代表とする多目的貨物船（MPC）、ロール・オン／ロール・オフ（Roll-on/Roll-off）で直接自動車を積卸する自動車専用運搬船（PCC）、長距離大型フェリー（Ferry）、撒積貨物を専門に運搬する撒積貨物船（Bulk Carrier）、そして、定期船はどんどんコンテナ船（Container Ship）に代っていき、ついに、Ro/Ro船（Roll-on/Roll-off Container Ship）も出現してきた。依然、タンカー（Oil Tanker）と鉄鉱石運搬船（Ore Carrier）は健在であり、専用船時代の到来である。1967年（昭和42年）、神戸港摩耶埠頭にコンテナ専用突堤が完成したのを皮切りに、日本もコンテナ船時代に突入した。1968年には日本郵船のわが国初のコンテナ船「箱根丸」（16,240総トン、752個TEU積フルコンテナ船、22.6ノット）が三菱神戸で完成した。この年1月早々、造船協会は日本造船学会と改称した。時代の変化は学界にも及んだ。そして、1969年（昭和44年）には大阪南港、横浜本牧にもコンテナ専用埠頭が完成して、本格的コンテナ船時代を迎えた。

また、1970年代に入って、クリーンなエネルギー源として、にわかに脚光を浴びだした天然ガスが、東京ガス、大阪ガスに採用されることになり、LNG船の建造がクローズアップされてきた。こうして、1970年代には、海運界・造船界は変革の渦中で、新技術の開発に明け暮れることになる。その間にもタンカーの大型化は止まるところを知らず、1968年（昭和43年）には世界初のULCC「ユニバース・アイルランド」（326,585DWT）、1971年（昭和46年）には「日石丸」（372,698DWT）がIHI呉の新設第2建造ドックで完成した。そして、1973年（昭和48年）には484,000トンの「グロブディック・トーキョー」が出現し、4年後の1977年（昭和52年）には、509,000DWTの「エッソ・アトランティック」の出現で頂点を極めた。

ULCCの建造に引導を渡したのは、他でもないオイルショックだった。1973年10月の中東戦争に端を発したOPEC会議で、ペルシャ湾岸6ヶ国が21%もの原油公示価格の値上げを一方的に宣言したのに始まり、OPECも米国を筆頭とするイスラエル支援国に対抗するため、毎月5%づつ石油生産の削減を実行することを決定した。これが第1次オイルショックであった。原油価格は4.6倍にも跳ね上がった。更に決定的ダメージを与えたのが、1978年（昭和53年）のイラン革命による第2次オイルショックであった。とうとう原油価格はオイルショックの前の、実に13倍にも高騰した。世界中の経済は大混乱をきたし、インフレと不況という最悪の状態に陥った。日本の海運界・造船界は、その上、船腹過剰、設備過剰、人員過剰のトリプルパンチを受けて、ノックアウト寸前にまで追い込まれた。石油の大量消費に支えられて進行してきたタンカーの大型化は完全にストップし、世の中は一転して省エネルギー指向に変わった。まず、消費財の生産が止まり、あらゆる物が不足してきた。買い占め・売りおしみが横行し、トイレットペーパーや洗剤を買うために列を作ったのもこの時である。石油の備蓄が叫ばれ、余剰タンカーを備蓄船に転用して急場を凌いだが、本格的な石油備蓄基地建造が俎上にあがってきて、喜入や上五島をその候補地とする計画が策定された。

抵抗推進の分野では、1970年（昭和45年）代から1985年（昭和60年）頃までは、依然、タンカーの大型化に伴う肥大船の問題を扱った研究が多い。粘性作用が卓越する肥大船では、粘性流場の研究と3次元境界層理論の発達、不均一伴流中のプロペラ性能、キャビテーションの予測と防止、プロペラ起振力と船体振動、高精度水槽試験法の開発等々の問題解決が時代の急務として要請された。粘性抵抗を3次元境界層理論によって計算しようとする試みが、波多野ら[1]及び姫野と田中[2]によって初めて行われた。これらの研究では、ポテンシャル流線に沿っ

て境界層厚を計算する積分的解法が採用され、流線に直交する方向の境界層内流れ、いわゆる、2次流れは微小として「Magerのモデル」が使われた。船尾端付近で境界層が急激に厚くなる領域を除けば、かなり良く船体周囲の境界層流が計算できることを明らかにして、これ迄難しいとされていた3次元境界層計算の端緒を見出した。

理論と実験は車の両輪の関係で、肥大船のまわりの粘性流の実験的研究がこの時期相次いで行われた。池畑らは[3]、模型船後流中の乱流を計測するのに5孔ピトー管を用い、変動する5孔管の圧力を圧力変換器によって電気信号に変え、時系列データ処理法を用いて処理し、そのスペクトル構造を明らかにして、更に、プロペラ推力やトルク等をはじめとする6軸流体力成分の不規則変動に及ぼす伴流中乱流成分の影響を解明し、新しい知見を得ることに初めて成功した。その後暫くして、水用熱線流速計を用いた船尾流場の乱流計測が福田らや堀田らによって行われた。伴流場の構造についても、実船の伴流分布を5孔ピトー管で計測する実験が実施され、模型船と実船との伴流分布に関する貴重な実験データと伴流分布の比較研究が、横尾ら[4]及び並松ら[5]によって行われた。これらの実験的研究によって、模型船伴流分布の計測結果から実船伴流分布を推定する笹島・田中の方法の原理が正しいことが実証された。しかし、プロペラ面内の速度ベクトルについては未解決のまま残された。

一方、理論計算の方は、前述の波多野に続いて、まず、田中と姫野はやはり微小2次流れの仮定の下に、エネルギー方程式を補助方程式として積分法を適用した1次近似理論を展開して良好な結果を得た[6]。更に一歩進んで、2次流れも厳密に扱った完全3次元積分法の解法を試みて、肥大船でも微小2次流れの仮定が有効なことを確かめた[7]。この事実を実験と理論計算の両方から立証するため、奥野は壁面摩擦応力と境界層2次流れを3孔プレストン管を用いて計測し、その結果、2次流れは微小と仮定しながらもS字形の速度分布形を表す「逆交差流モデル(reverse cross flow model)」を導入して、ビルジ渦を含んだ伴流分布を理論計算で初めて解いた[8]。姫野と奥野は、この計算法を肥大船型の船首ビルジ部周りの境界層に適用して渦度分布を求め[9]、呉の実験結果[10]とも良く一致することを示して、肥大船船首ビルジ部からも縦渦が発生することを初めて指摘した。肥大船ではないが、貨物船模型まわりの境界層計測が波多野ら[11]によって詳細に行われ、多くの貴重な実験データが提供され、境界層内速度分布について考察が加えられた。

外国で行われた微分的解法による船体まわりの3次元境界層流の計算に刺激されて、副島と山崎が日本で始めて3次元境界層方程式を船体周囲流場について解いて、1次近似解を求め[12]、波多野らは一歩進んで2次近似解を求め[13]、永松は2次近似計算で求めた伴流の運動量積分から船の粘性抵抗と粘性圧力抵抗成分とを計算で求めることを試みた[14]。その後、Larsson[15]やNakayama[16]らにより排除影響を考慮した厚い境界層理論が発表され、船尾端における発散の難点を克服した。池畑ら[17]は更に改良した理論を発表したが、それ以後は、レイノルズ方程式（数値流体力学ではReynolds Averaged Navier Stokes Equationを略してRANS EQ.と呼ぶ）の数値解法へと移っていった。

いわゆるNSソルバーと呼ばれる純数値解法が出る前に、部分放物型近似法（partially parabolic approximation method）と領域分割漸近展開近似法及び渦拡散方程式法が一時期研究されたが、計算が複雑なこととその割合に結果がもう一つ満足いかないこともあって、消えていった。部分放物型近似法は、英国のスポルディングを中心とするグループが提唱し、そのコンピュータ・プログラムを世界中に販布したことで普及した。ナビエ・ストークス方程式中の粘性項のうち、主流方向の2階微分項を省略すると、主流方向についての方程式が放物型になることから部分放物型という名が付けられた。IHIの村岡は、このプログラムに改良を加えて、乱流モデルにk-εの2方程式モデルを組み合わせ、肥大船の船尾まわり流場に適用してかなりの成果を得た[18]。もう一つの領域分割法は、茂里によって創始された[19]。しかし、船尾流場を5つの領域に分割し、各領域で漸近展開した方程式を用い、それらの解を相互にマッチングする煩雑さのため、他者には手が出なかった。しかし、その思想には多くの示唆が含まれており、NSソルバー全盛の現在においても見直してみるべき方法と思われる。

肥大船の船尾粘性流れに関する問題は、ビルジ渦の特性と伴流分布に及ぼす影響が、鈴木らによって実験的及び理論的に研究された[20]。その結果、縦渦の発生、発達、拡散を渦の輸送方程式を用いて計算できることや尺度影響についての新しい知見を得ることができた。他方、プロペラの誘導速度により船尾伴流が干渉を受けて、有効伴流と公称伴流との差が生じる問題を永松らが初めて研究し、有効伴流分布の推定法を提案した[21]。

肥大船の船首に砕波現象が生じ、砕波抵抗という新しい抵抗成分が存在することは第Ⅳ部で述べたが、それ以来、肥大船の造波現象及造波抵抗研究は新しい曲面に展開していった。一つは低速造波理論の登場、もう一つは

砕波現象研究から派生した自由表面衝撃波の発見とその研究である。

低速造波理論は、Ogilvieが没水体について創始した理論を、馬場と武隈[22]が排水量型水上船に適用できる理論に拡張し、丸尾[23]がその一般論を立てたものである。この理論は低速における高次理論であり、二重模型まわりの流場を第1次の解とした場合の第2次摂動解に相当している。この理論による結果は、低速において実験と良く合い、従来のミッチェルの理論や乾の理論の欠陥を是正することができた。しかし、この理論の適用範囲は造波抵抗自体が少なくて、重要度の低い低フルード数領域(大体フルード数0.2以下)に限られることから実用性に欠ける恨みがある。この欠点を改良するために、船体表面条件を厳密化して適用性を高めるように、下村らによって低速造波理論の拡張が図られた[24]が、間もなく登場したランキン・ソース法やサーフェイス・パネル法等の数値流体力学的方法に取って代わられることになる。

もう一方の自由表面衝撃波は、肥大船船首波崩のみならず、造波レベルの高い船の船首波系に現れるもので、ケルビン波の縦波（八の字波）の波頂に相当する位置に段波が形成され、その流力的性質が超音速流中の衝撃波に類似していることからその名が付けられた。宮田により多角的に研究がなされ、その成果は船型計画にまで影響を与えた。そして、自由表面衝撃波は、船体造波の非線形理論を解くためのMAC法を用いたナビエ・ストークス方程式の差分解法へと発展した[25]。

コンテナ船や大型フェリーの登場により、造波抵抗理論を応用した船型計画法の研究が盛り返して来た。まず、水槽試験法として定着した波形解析を応用した船型計画法が、馬場[26]、堤・荻原[27]、松井ら[28]によってそれぞれ独自のやり方で提案された。更に、自由表面衝撃波の影響を考慮した船型改良法が仁藤らによって示された[29]。鈴木らは、非線形計画法を用いた船型設計の方法について種々の角度から研究して実用的な成果を示した[30]。多賀野は、造波抵抗理論に立脚しながら統計的手法を用いた独自の船型計画法を発表して注目を集めた[31]。

この時期、プロペラ起振力やキャビテーション[32]が船型設計上、重要な問題となってきており、プロペラ起振力やキャビテーションの研究が本格的に行われ始め、大いに発展した。特に注目されるのは、キャビテーション水槽の新設とハイリー・スキュード・プロペラ（HSP）の普及である。

プロペラ起振力には、プロペラに働く流体力がプロペラ軸を介して船体に伝わるシャフト・フォースまたはベアリング・フォースと、プロペラ及びキャビテーションが誘起する変動圧力が水中を経て船体に伝わるサーフェス・フォースの2種類がある。ベアリング・フォースに関しては、熊井の先駆的研究が有名で、その後も不均一流中でのプロペラ性能に関する理論的、実験的研究[33]が行われた。一方、サーフェス・フォースに関しては、キャビテーションにより船尾変動圧力が大幅に増大することが高橋（肇）によって指摘され、キャビテーション発生範囲の予測や船尾変動圧力推定の理論的、実験的研究[34]が続々と行われ始めた。

キャビテーションに関しては、東京大学において田宮・加藤の指導の下、初生やエロージョンなどについての基礎的研究[35]が造船の分野でも1969年頃から開始され、同時に翼型を用いたキャビテーション発生量やパターンの先駆的研究も精力的に行われた[36]。

キャビテーション水槽はプロペラのキャビテーション性能とプロペラ起振力の推定と改善のためには不可欠の設備である。高速コンテナ船や肥大船船尾で見られる厳しい不均一伴流中で作動するプロペラには数々のキャビテーションや起振力によるトラブルが発生し、その解決のため、この時期キャビテーション水槽が続々と設置された。当時、舶用プロペラ用のキャビテーション水槽としては、運輸省の運輸技術研究所（目白水槽、1941年建設、中心間長さ6.5m、同高さ5.0m、最高流速8.5m/s）から船舶技術研究所（三鷹）に1955年（昭和30年）移設されたものと三菱重工長崎造船所（1960年建設、K&R社設計、中心間長さ13.5m、同高さ5.5m、最高流速11m/s）が主であった。また、基礎研究用として、造船関係では、東京大学に超高速キャビテーション・タンネル（1969年建設、計測部30mm ϕ、最高流速80m/s）があった。

舶用プロペラのキャビテーション研究のニーズの高まりとともに、1974年（昭和49年）に日本造船技術センター（K&R社、K15-A、中心間長さ12.7m、同高さ7.0m、最高流速12m/s）に、1975年に船舶技術研究所に、その後、1979年（昭和54年）に石川島播磨重工（K&R社、K15-E、中心間長さ12.0m、同高さ7.0m、最高流速14m/s；第2計測部）に、1980年（昭和55年）に東京大学（中心間長さ9.0m、同高さ2.7m、最高流速11.2m/s；プロペラ用、2計測部）に、1984年（昭和59年）に三井造船昭島研究所（K&R社、K15-E、中心間長さ13.5m、同高さ7.0m、最高流速14m/s、2計測部）に舶用プロペラのキャビテーション試験が出来る水槽が新設された。

この中で最大の水槽は船舶技術研究所のもので、中心間長さは18m、同高さは10mで、交換可能な2つの計測

部を持つ。舶用プロペラ単独性能試験や水中翼試験等に用いられる第1計測部（直径0.75m、最高流速20m/s）と、最大7mの曳航水槽で用いられた模型船を取り付け、船後状態の3次元船尾流場でのキャビテーションのシミュレーションが可能な第2計測部（長さ8.0m、幅2.0m、高さ0.88m、最高流速6.0m/s）である。特に第2計測部は、第18～19期国際試験水槽会議（ITTC）での比較試験や「無振動型高品質船舶の開発プロジェクト」（日本造船振興財団、1986年～1989年度）での共同研究における船尾変動圧力計測等で大いに貢献した。図1.1.1に船研の大型キャビテーション水槽の写真を示す。

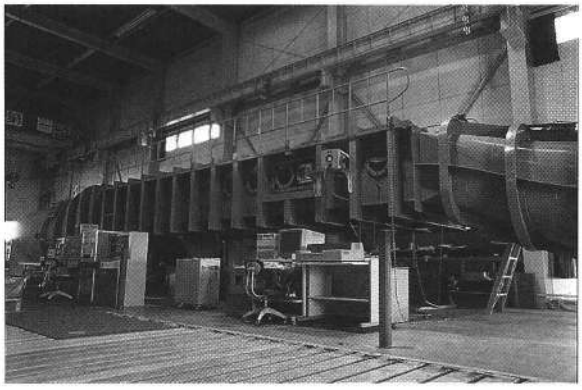


図1.1.1　船研大型キャビテーション水槽第2計測部

ハイリースキュード・プロペラは、キャビテーション性能改善とプロペラ起振力の低減に最も効果があるとされ、運輸省航海訓練所練習船の「青雲丸」を始め、多くの船に採用されるとともに、実験的・理論的に研究された[37]。

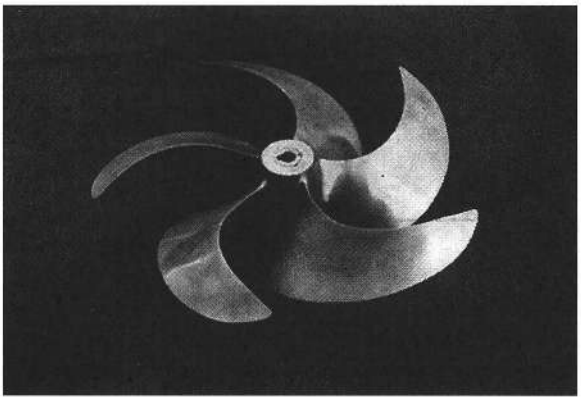


図1.1.2　ハイリースキュードプロペラ（HSP）

図1.1.2にハイリースキュード・プロペラの一例を示す。プロペラ翼が三日月型に反っているのが特徴であり、この反りによってプロペラ翼が高伴流域（船尾の流れの遅いところ）を通過するタイミングを翼根から翼端までの間で順次ずらすことで、キャビテーション・パターンを変化させ、キャビテーションの発生を緩やかにして、プロペラ起振力を低減することができる。このハイリースキュード・プロペラの普及とともに、この時期、プロペラの揚力面理論が大いに進歩し[38]、非定常流体力まで数値計算で求められるようになって、プロペラ起振力やキャビテーションの研究やプロペラの性能改善が大いに進んだ。

船体とプロペラ及び舵を船の推進システムと考えて一つの閉じた系として取り扱おうとする概念が山崎(隆)と中武によって提案され、理論体系が構築された[39]。そして、中武らは数々の数値実験により、この方法の有効性を示した[40]。この方法では、船体を等価特異点分布で表し、プロペラは有限翼数、修正を施した無限翼数理論でモデル化し、コンピュータ内でプロペラ回転数を上げていって、船体抵抗とプロペラ・スラストが一致した所で自航条件が成立したと考え、その時の船体特異点分布とプロペラ循環分布の解から船体抵抗とプロペラ・トルクを計算して自航要素を算出するとともに、馬力計算も行う。舵の影響も舵を渦分布でモデル化し、この推進系の中に組み入れれば、容易に取り込むことが可能である。

他方、池畑によってより簡便で実用的なシミュレーション法が提案された[41]。この方法では、船体の抵抗の情報として模型船抵抗試験の結果を用い、プロペラは翼素理論でモデル化し、計測した模型船流場での伴流分布から笹島・田中法により推定した実船伴流分布を持つ不均一流場中でプロペラを回転させ、自航条件（プロペラ・スラスト＝船体抵抗／推力減少係数）が成立する所まで回転数をあげて、その時の自航要素と実船馬力を得ようという方法である。相関係数のうち、有効伴流係数比(e_i)を必要としないで実船換算ができる所が特徴である。

相互干渉の研究法として荷重度変更試験が有効であることが足達らにより提唱され、実証もされた[42]。この方法は、かつて船後試験以来、英国で行われていた方法を拡張して、船体とプロペラの相互干渉の指標である推力減少係数をより合理的に求める。模型船を一定速度で航走する曳引台車上の抵抗動力計により曳引し、模型船に搭載した自航動力計にシャフトを介して接続した模型プロペラの回転数を調整して、推力ゼロの状態から抵抗動力計の曳引力が摩擦修正量を超えてゼロになるまで、回転数、曳引力、推力、トルク及び前進速度を計測する試験方法で、実船自航点以外に過負荷や低負荷などの種々の荷重度における推進性能を算定することができる。ま

た、この自航試験方法を応用して、抵抗動力計の曳引力を摩擦修正量と合うようにプロペラ回転数をコンピュータで制御すれば、自航試験の自動化が可能になる。現在、各水槽では、原理的にはこの方式に近いやり方でそれぞれ独自の自航試験システムを作っている[43]。推力減少係数の理論計算の新しい理論を石田が提唱し[44]、相互干渉に関する研究の進歩に寄与した。

1970年（昭和45年）代に、日本の主力造船会社は、自前の試験水槽を皆所有することとなった。既に、三菱に続いて石川島播磨重工が長さ200mの曳航水槽を建造したことは第Ⅳ部で述べた。1973年（昭和48年）に川崎重工と日立造船との合弁による明石船型研究所の試験水槽（長さ200m、幅13m、深さ6.5m）が完成した。これに続いて、1977年（昭和52年）日本鋼管津研究所（長さ240m、幅18m、深さ8m）、1978年（昭和53年）三井造船昭島研究所（長さ220m、幅14m、深さ6.5m）、1979年（昭和54年）住友重機械工業平塚研究所（長さ120m、幅6m、深さ3.5m）の各水槽が建設された。同じ、1970年代に、大阪大学、横浜国立大学、広島大学のキャンパス移転に伴い、100m長クラスの水槽をそれぞれ新設した。1980年代には船研、NKK、三菱に氷海水槽が造られ、耐航性・操縦性角水槽、海洋構造物試験水槽まで含めると、日本は断然世界一の水槽大国になった。

1.1.2　省エネ船の時代

第2次オイルショック後に造船業界を襲った不況は、タンカーの大型化に乗って拡張に拡張を続けた設備と人員が過剰となってのしかかる構造不況と言われ、最盛期の半分以下に減った需要に群がり取り合いする受注戦争で船価は下がりに下がり、赤字の船ばかりになり各社の業績は悪化するばかりとなった。世界的造船不況は目を覆うばかりで、欧州の老舗の造船所が次々と廃業や転業していくなか、日本の造船会社は、政府の指導と助成の下で、系列化と建造設備の削減、希望退職の名の下の人員整理を推し進めて懸命のスリム化を図った。これに拍車をかけたのが、製造業からサービス業への産業社会の変質に悪乗りしたマスコミやジャーナリズムの造船・鉄鋼をはじめとする重工業たたきであり、3K職業（きつい、きたない、きけん）のレッテルを貼って、テレビ・新聞を通じマイナスイメージを流し続けた。おかげで関係者の志気は低下し、若者が来なくなり、消滅寸前にまで追い込まれた。1978年（昭和53年）の操業度は、ピーク時の39%まで落ち込んだ。しかし、それでも世界一の建造量を維持したということは、いかに世界中の造船業界が冷え込んでいたかという証である。この時代を象徴する標語に「重厚長大から軽薄短小へ」というのがあった。重厚長大を代表する鉄鋼・造船から軽薄短小を代表するIC・LSI・パソコンへ時代は移行していった。

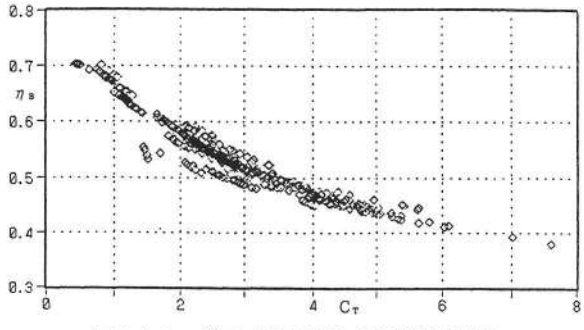


図1.1.3　プロペラ効率と荷重度の関係

この様な時代に生き残るためには、他国をはるかに凌駕する技術革新を成し遂げ、それを継続することこそが最重要課題であるということが、長い長い暗黒のトンネルの中で得られた結論であった。そこは、丁度、省エネ時代、まずやるべき技術開発は省エネルギー船となった。

この時代、省エネルギーに関心がもたれ造船の分船体抵抗の少ない船型、推進効率の高い船体とプロペラの組合せ、という課題は、船の抵抗推進論にとって永遠の命題である。これに効率の高いプロパルサーの探求を加えると、省エネ船という三題噺が出来上がる。しかし、この三つ目の命題はこれまで殆ど取り上げられていなかった。その理由は、スクリュープロペラの高い効率に満足してプロペラ効率の改良は少しなおざりにされていたきらいがあった。それが大型タンカーの建造によりスクリュープロペラの効率が50%台に落ち、更に40%台にまで低下したが、荷重度が高いためと考えて、見過されていた。省エネの要求の高まりにより、1%でも2%でも効率向上が求められるようになった。1970～1990年の間に、ある造船所で建造された船のプロペラ効率η_Bとプロペラ荷重度C_Tとの関係を図1.1.3に示す。荷重度に反比例してプロペラ効率が下がっていることは一見して分かる。プロペラの設計で、まずやるべきことは荷重度の設定である。この図で分かるように、荷重度は低ければ低いほど良い。プロペラ直径をできるだけ大きくしてプロペラ円の面積を大きくすれば良い。この様な考えから生まれたのが低回転大直径プロペラである[45]。1970年代から、各造船所はこぞって低回転大直径プロペラを採用した省エネ推進システムの開発に取り組んだ。プロペラ回転数は100rpmから70rpmに下がるのに、10年とかからなかった。そして、プロペラ直径が13mを越えるプロペラが出

現した。船の推進効率は、

推進効率＝伝達効率×プロペラ単独効率
　　×プロペラ効率比×船殻効率

で与えられることは良く知られているとうりである。伝達効率は軸系で決まってしまうので、後の三つのどれかを高めるしかない。今述べた低回転大直径プロペラは、プロペラ単独効率を向上させる良く知られた原理を実現させただけであるが、それにはロングストローク低回転ディーゼルエンジンの製造や遊星ギヤの開発が可能になったことと同時に、大直径プロペラの鋳造や切削の技術が開発されたことが相俟って実現した。

大直径プロペラ以外にプロペラ荷重度の低減が可能なプロパルサー（推進器）は、ダクト・プロペラ[46]、タンデム・プロペラ、二重反転プロペラ[47]、オーバーラッピング・プロペラ[44]、ヴェーン・プロペラ[48]などがある。これらは、どれも他の効果に主眼があるのだが、荷重度低減効果も期待できるというものである。簡単にそれぞれの効果について説明する。ダクトプロペラは、スクリュープロペラを外套（ダクト）の中におさめ、インペラの縮流を抑えることによりダクトに推力を発生させる装置で、スラストをインペラとダクトに分散するので、インペラの荷重度も下がってプロペラ効率の上がる効果もある。タンデム・プロペラは文字通りプロペラを2個前後に並べたスクリュープロペラで、スラストを2個に分散する事で荷重度を低減でき、両プロペラとも展開面積を少なくできるので大幅ではないが、プロペラ効率向上が図れる。二重反転プロペラは、タンデム・プロペラの前と後のプロペラの回転方向を反対にすることで回転流エネルギーの回収ができ、一層の効率向上が期待できるが、二重反転のための軸系のメカニズムが難しく、大型プロペラで実用化されたのは1988年（昭和63年）で、つい最近のことである。オーバーラッピング・プロペラは二軸プロペラの軸間距離をせばめると同時に、プロペラ位置を前後にずらして中央部分でオーバーラップするようにし、左右逆回転させてプロペラ回転流エネルギーを一部回収すると同時に、船体中心線上に集中した伴流をそのオーバーラップ部分で加速して伴流利得を稼ごうというプロペラである。ヴェーン・プロペラは、スクリュープロペラの直後に20%位大きな直径を持つ軽くて遊転自由なヴェーン・ホイールを装着し、スクリューの加速された回転する後流でヴェーン・ホイールのタービン部に回転を与え、外周部のポンプ作用で流れを加速してスラストを発生させようとする装置であり、この大きなヴェーン・ホイールにより有効直径が増加し、荷重度減少効果も期待できる。

プロペラ効率を原理的に向上させるには、船の推進にとって殆んど無駄にしかならないプロペラ後方での回転流のエネルギーを回収すれば良い。その典型が既出の二

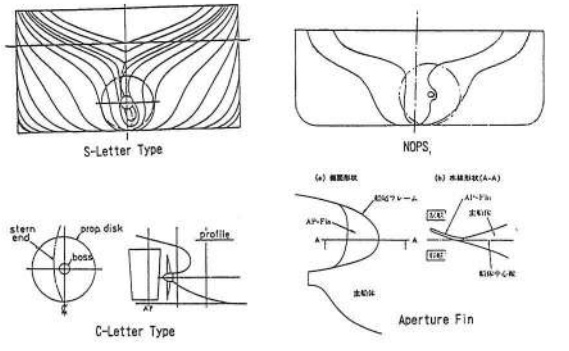


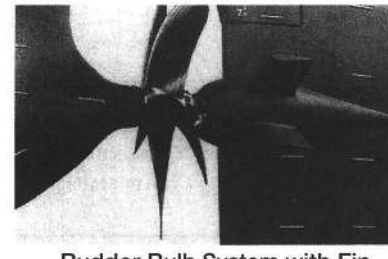
図1.1.4　非対称船尾、NOPS、アパーチャーフィン



AT Fin



SURF



Rudder Bulb System with Fin

図1.1.5　各種 Post Swirl Fin

重反転プロペラ（Contra-Rotating Propeller；CRP）であるが、軸系が複雑となるので、その他にも色々の付加装置や工夫が提案されている。そのうち実用になっているものを挙ると、原理的には次の二種類に分類できる。

(1) プロペラの前方でプロペラの回転方向と逆の回転流を与える方法（Pre-Swirl）

(2) プロペラの後方でプロペラから生じた回転流を回収する方法（Post-Swirl）

前出の二重反転プロペラは、2つのプロペラでこの(1)と(2)の両者を兼備した方位で回転流を完全に回収するプロパルサである。また、前出のヴェーン・プロペラは(2)の分類に入る装置である。(1)の分類に入るものとしては、非対称船尾（S字型[49]、C字型[50]）、NOPS[51]、アパーチャーフィン[52]、リアクションフィン[53]等がある。前三者は非対称船尾でくくることもできる。図1.1.4に概略図を示す。いずれもビルジ渦の回転流をプロペラ作動円内に誘導してエネルギー回収するところは共通している。S字型は更に上方で左向きの流れを、下方で右向きの流れを誘起して、右廻プロペラでそのエネルギー回収を行っている。アパーチャーフィンは上方の左向流を更に積極的に誘起する装置である。リアクションフィンは、プロペラ前方のボッシング部にシャフトセンターから放射状に立てた4～6（片舷2～3）枚の翼板で積極的にプロペラ円内に反時計回りの回転流を誘起して、そのエネルギーを右回転プロペラで回収しようとするものである。

次に、(2)の分類に属するものとして、プロペラ直後固定翼装置[54]、リアクション・ラダー[55]、ATフィン[56]、フィン付ラダーバルブ・システム（RBS-F）[57]、SURF[58]等がある。いずれも、ターボ機械のステーターに相当するもので、スクリュープロペラがローターに相当している。ちょっと変わった所で、PBCF[59]がある。プロペラ直後固定翼装置はステーターと略称され、スクリュー・プロペラの直後に放射状に6～8枚の翼板を内外ともにリングで固定して水車のような形状の固定翼（ステータ）を配置して、プロペラの回転流を前進方向の流れに変えて推力を得る装置である。リアクション・ラダーはコントラ・ラダーまたは反動舵とも呼ばれ、流線舵でもある程度回収しているプロペラの回転流をもっと積極的に舵で回収し、推力を得るため、舵の前縁を右回転プロペラ軸心より上方で左舷側へ、下方で右舷側に捻った舵である。ATフィン、RBS-F、SURFの写真を図1.1.5に、PBCFの概念図を図1.1.6に示す。ATフィンとSURFは一見して分かるように舵の前側に付けた水平フィンでプロペラの回転流を回収して推力を得る装置である。RBS-Fは従来のコスタバルブによる伴流利得とプロペラ効率比の改善に加えて、ステーター効果も得ようとするものである。PBCFは、ハブボルテックスの回転流エネルギーをハブに取り付けた3～4枚の小翼で回収してハブボルテックスを弱めて舵へ当る流を整流する効果もある。

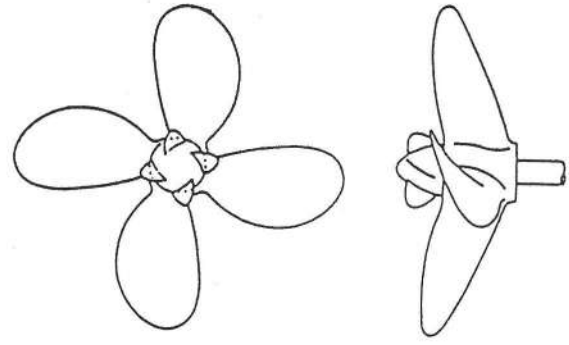
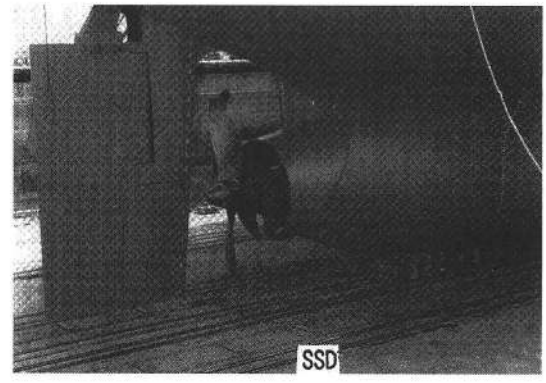


図1.1.6　PBCF



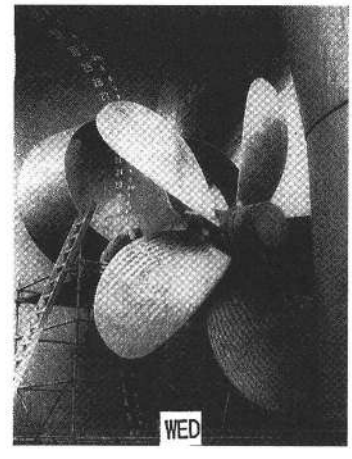


図1.1.7　各種省エネダクト

次に、船殻効率またはプロペラ効率比を改善する装置について述べる。ダクト形式のものには、MIDP[60]、HZ



グロシュウススポイラー



SAフィン

図1.1.8　各種省エネフィン

ノズル[61]、SSD[62]、WED等があり、フィン形式のものとしては、エアロフォイル・フィン[62]、グロシュウス・スポイラー[63]、SAフィン[64]等があり、特殊船尾形状のものとしては、トンネル式船尾[65]、カタマラン船尾[66]、ヴォルテックス・スターン（又はスネイル・スターン）[67]、バルバス・オープン船尾[68]、キール下突出船尾[69]等がある。ダクト形式のものは、いずれもプロペラ上側に集中する伴流を弱め、伴流分布の均一化を図って伴流利得を増やそうとするものであり、フィン形式でもエアロフォイル・フィン、グロシュウス・スポイラーはこの類である。SAフィンはこの効果に加えて、プラス推力減少係数の向上のためにプロペラ前方のクリアランスを広くしている。図1.1.7にSSDとWEDの写真を、図1.1.8にグロシュウス・スポイラーとSAフィンの写真を示す。特殊船尾形状の殆どのものは、船底や船側の境界層の流れを出来るだけ多くプロペラ円内に導いて伴流利得を稼ごうというものであるが、バルバス・オープン船尾とキール下突出船尾は、プロペラ軸心より下方の伴流を増やして伴流利得を増やそうと工夫されたものである。図1.1.9にトンネルスターン、カタマラン・スターン、バルバス・オープン・スターン、スネイル・スターンの概念図を示す。更に詳しい内容は文献[70]を参照願いたい。

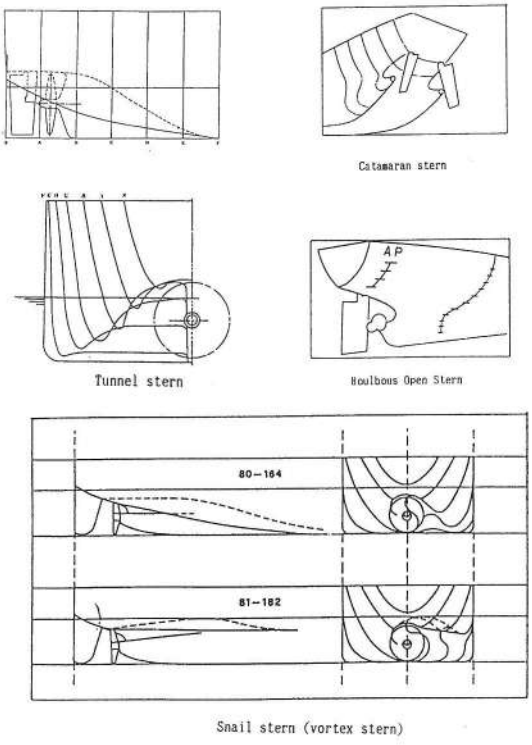


図1.1.9　各種省エネ船尾

全く違った発想の省エネ船として、帆船商船がある。風力を推進力に利用する帆船は、エンジンもプロペラもなしに航海できる。帆船商船はこの風力を補助推進力に利用しようとするアイディアである。帆は風に合わせて自動的に操帆され、最適の帆走が出来るようにコンピュータが制御する。主推進力はスクリュープロペラであるが、風力利用により10～20%もエンジン出力の低減が可能であるという。1980年（昭和55年）に誕生した帆船商船第1船は「新愛徳丸」であった。その後続々と建造されて、最近では帆走を主として、その美しい姿と静かな船旅を楽しむための帆走客船まで登場した。図1.1.10に最新の帆走客船「Wind Spirit」と「Wind Star」が並走している写真を掲げる。



図1.1.10　帆走客船

1.1.3　数値流体力学（CFD）の発達

1980年（昭和55年）代にはいると、船舶流体力学の世界もコンピュータ時代に突入する。これ迄もコンピュータ無しでは、複雑な造波の計算や三次元境界層の解法は

不可能であったが、コンピュータはあくまで計算の道具に過ぎず脇役であった。それが有限要素法や境界要素法が船舶流体力学に導入されるや、コンピュータが主役となり、それに合わせた計算法が工夫されるようになった。まず最初は、HessとSmith[71]が、今で言うランキンソース法で任意物体まわりの流れを解いたことに始まる。そしてDawson[72]が水上船の自由表面問題を解くのに拡張して以来大発展して今や、ランキンソース法並びにサーフェイス・パネル法と呼ばれる境界要素法の計算手法がポテンシャル流の解法の主役になっている。

ランキンソース法は、船体表面及び自由表面を微小平面パネルに分割し、そのパネル上に吹出しを一様密度で分布させ、まず二重模型流れの解を求め（Hess-Smithの解）、次にこの二重模型流れの解を基礎解としてそれに造波の影響を表す付加吹出分布を、船体表面条件と自由表面条件とから求めるのだが、その際自由表面条件で造波ポテンシャルについて一次の項だけ取ったのがDawson法である。Dawson法は多くの研究者により数多くの適用例があり、益々改良されて精度も安定性も向上している。波の放射条件を満足させる方法に自由表面条件式の2階偏微分項に上流差分近似を使うのがDawson法であるが、下流境界付近において解が振動を起こして収束を悪くし、精度を落とすことが指摘され、この問題を克服する方法も種々提案された。その中で、安東らが提案した九大法[73]が最も簡便確実であるとの定評がある。このランキンソース法の放射条件について瀬戸が理論的考察を行って九大法に理論的裏付けを与えた[74]。荻原は、自由表面条件に非線形項まで取り入れた形で解を求める逐次近似解法を開発してランキンソース法の精度向上を図り、数値計算例によりその成果を示した[75]。

サーフェイスパネル法は、境界をパネル分割して、グリーンの定理を用いて、境界表面上の吹出分布と二重吹出分布を求める方法で、揚力体が存在する場合でも、その後流渦面に相当するポテンシャルの不連続面上にポテンシャルのジャンプを考えれば解が求まることから、応用範囲が広い。凌らが舶用プロペラまわりの流れと流力特性の解析に適用したのが造船界では最初であろう[76]。これ以降、プロペラ理論は揚力面理論に代ってサーフェイスパネル法による揚力体理論が徐々に登場してきた。中でも、プロペラの流力特性と周りの流場の解析を綿密に行った星野の研究[77]や表面渦格子法という新しい方法を開発した山崎らの研究[78]が注目された。サーフェイスパネル法の他の応用としては、石川の船体と水中翼の流力干渉を扱った研究[79]、WIGの自由表面効果に関する増田・水谷・鈴木の研究[80]、セーリングヨットに働く流体力に関する鈴木らの研究[81]がある。

一方、粘性流体力学の分野では、ナビエ・ストークス方程式の数値解法が3次元境界層に取って代わると、数年にして自由表面の造波も含めた水上船まわりの自由表面粘性流問題までも、ナビエ・ストークス方程式から導かれた乱流に関するレイノルズ方程式[82]の数値解法で解かれるようになった。最初は有限差分法が専ら用いられ、次に有限体積法へと移行していった。自由表面衝撃波の非線形解を求めるのに有限差分法を用いて挑戦したのが、東大の宮田スクールの若手達であった[83]。

ナビエ・ストークス方程式ならびに乱流に関するレイノルズ方程式の数値計算コードをNSソルバーと呼んでいる。NSソルバーのポイントは3つあり。1つは格子生成、2つ目は離散化手法、3つ目は乱流モデルである。これらの3つのポイントが程良くバランスしないと、良いNSソルバーはできない。現在、日本で最も広く使用され実績の多いのは、船研の児玉が開発したNICEコード[84]であり、次いで東大で開発されたWISDAMコード[85]とTUMMACコード[86]、そして船研の日野のFRESHコード[87]であろう。その他、広島大学コード、阪大ー神船大の戸田コード、横浜国大の劉コード、大阪府大の馬場コード、田原コード、船研の日夏コード、IHIの増子コードなど多数のコード[88]が開発されたが、前4者は汎用性において優れる。いずれのコードも長い年月と多くの人手がかかってでき上がったものである。発表された論文は数多くあるが、どれが決定版とは言えないし、発表されていないノウハウが陰に沢山ある。現時点でNSソルバーでは、模型船レベルのレイノルズ数10^6オーダーまでの、自由表面の造波も含めた船体周囲の自由表面粘性流場までがシミュレートできる。特に、シリーズ60船型（C_b=0.60）

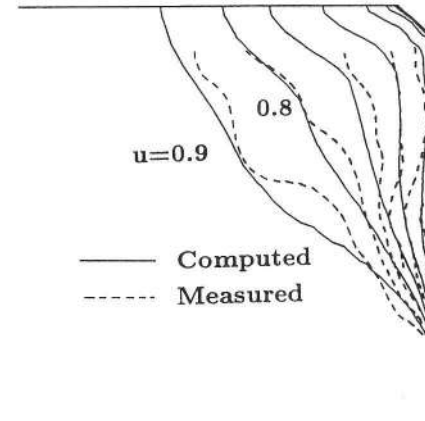


図1.1.11　シリーズ60船型の伴流分布

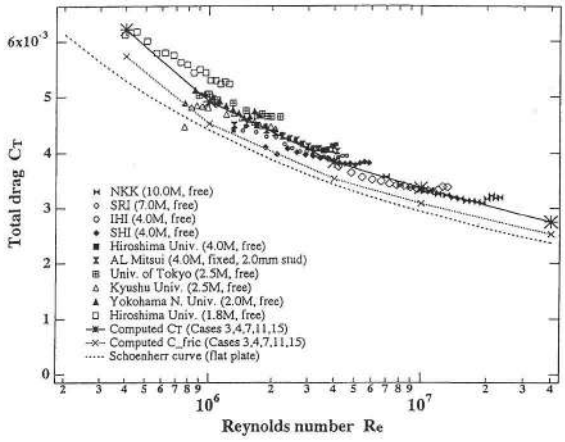


図1.1.12　シリーズ60船型の粘性抵抗係数

程度のファインネスをもつ船型の船尾伴流分布は図1.1.11に示す様にかなり実験と良く合う結果が得られているが、VLCCクラスの肥大船（$C_b > 0.80$）のように「目玉のある」伴流分布の計算は未だ手に負えない。従って、ビルジ渦のシミュレーションも今一つ上手く行っていない。これらの欠陥の原因は、乱流モデルにあると言われて久しいが、まだ明るい見通しは得られていない。自由表面の造波については、船側波形をはじめ船体近傍の波形は相当精度良くシミュレートできるようになり、非線形性の強い船首付近の波形も模型船の計測結果とかなり良く合った計算結果が得られる所迄到達しているが、むしろ船体から離れたケルビン波の波高が過小評価される欠点がある。シリーズ60船型に関するNSソルバーの計算結果として、図1.1.11に伴流分布を、図1.1.12に粘性抵抗係数を示す。

プロペラ周囲の粘性流をNSソルバーを用いて解こうとする研究[89]は松尾・荒川や宇都らによって行われ、複雑な格子生成問題を何とか解決して、流体力や圧力分布については定量的にまだまだであるが、定性的には妥当な結果を得ることに成功した。ちょっと変わったNSソルバーの適用例としては、電磁流体の解析と制御に用いた日夏の研究[90]がある。将来の電磁推進の実用化に夢を抱かせるユニークな研究である。

船用プロペラのキャビテーションの分野では、キャビテーション性能の推定理論ならびに、プロペラ翼の圧力分布がキャビテーションに及ぼす影響を考慮したプロペラ翼の理論的設計法の研究が盛んに行なわれた。例えば山口ら[91]のキャビテーション性能の優れたプロペラの開発研究、泉田や佐藤[92]のキャビテーションの発生と圧力分布との関係を考慮したプロペラの設計法の研究[92]が行なわれた。実験的研究としてはレーザ光の散乱原理を用いてキャビティ形状を非接触で計測する方法[93]が右近・黒部により開発され、児玉・湯浅らにより実船用に発展され、模型や実船で計測が行われた（SR183）。更に、工藤らにより自動化され、キャビティ形状の理論計算の検証には不可欠なデータが得られた。最近の高速船への関心の高まりとともに、スーパーキャビテーティング・プロペラの研究が行なわれ、右近らにより設計法[94]が、工藤らにより翼型やプロペラ性能解析法[95]が開発され、従来より格段に高効率のスーパーキャビテーティング・プロペラの開発が可能となった（SR214）。

プロペラの理論的研究の基礎となる計測データを提供する実船プロペラの翼表面圧力分布の計測という従来不可能と考えられていた実船実験が右近・湯浅ら[96]によって「青雲丸」の通常型プロペラばかりでなく、ハイリースキュード・プロペラについても実施されたことは大きな成果（SR206）であった。通常型プロペラについては現用のプロペラ揚力面計算法でも圧力分布が実用上計算できるが、ハイリースキュード・プロペラに関しては翼端での計算精度に問題があることが明らかにされた。

以上に述べた様にこの時期多くの重要な研究や技術開発が行われ、それらの成果が世界のトップとしての日本の造船技術を支えてきた。今後も日本がその地位を守り、リーダーシップを発揮するためには、技術力の維持が何よりも大事であることは言うまでもない。そのためには、抵抗推進性能ばかりでなく、造船全分野に渡る更なる新しい技術開発が期待されている。

参考文献

1）波多野修次他：造船論、第130号（1971）
2）姫野洋司他：関船誌、第147号（1973）
3）池畑光尚他：造船論、第130号（1971）
4）横尾幸一他：造船論、第130号（1971）
5）並松正明他：造船論、第134号（1973）
6）田中一朗他：造船論、第138号（1975）
7）姫野洋司他：関船誌、第159号（1975）
8）奥野武俊：造船論、第139号（1976）、関船誌、第165号（1977）
9）姫野洋司他：Proc. of Int. Symp. on Ship Viscous Resistance., Sweden（1978）
10）呉清達：関船誌、第166号（1977）
11）波多野修次他：西船報、第56号（1978）
12）副島俊二他：西船報、第55号（1978）
13）波多野修次他：西船報、第53号（1977）

14）永松哲郎：西船報、第55号（1978）、造船論、第147号（1980）
15）Larsson、L.：Proc. of 1st Int. Con. on Num. Ship Hydro. Washington D.C.（1975）
16）Nakayama、A. et al.：ASME、J. of Fluids Eng., Vol. 98（1976）
17）池畑光尚他：造船論、第152号（1983）
18）村岡賢二：造船論、第147号（1980）
19）茂里一紘：造船論、第144号（1978）
20）鈴木敏夫他：関造誌、第162号（1976）、第166号（1977）、第170号（1978）
21）永松哲郎他：造船論、第137号（1975）、第143号（1978）
22）馬場栄一他：造船論、第137号（1975）
23）丸尾　孟：Bul. of Fac. Eng., Y.N.U. Vol., 26（1977）、造船論、第142号（1977）
24）下村芳弘他：造船論、第146号（1979）
25）宮田秀明他：造船論、第147号（1980）、第148号（1980）、第150号（1981）、第151号（1982）、第152号（1983）、第153号（1983）、第154号（1983）、第155号（1984）、J. of Fluid Mech、157（1985）他多数
26）馬場栄一：造船論、第132号（1972）
27）堤孝行他：造船論、第136号（1974）、第137号（1975）、第138号（1975）
28）松井政博他：造船論、第147号（1980）
29）仁藤雅夫他：造船論、第150号（1981）、第152号（1983）
30）鈴木和夫他：造船論、第145号（1979）、第150号（1981）、第151号（1982）、第153号（1983）、第154号（1984）
31）多賀野寛：関船誌、第147号（1973）
32）加藤洋治：キャビテーション、槇書店（1979）
33）高橋通雄他：造船論、第141号（1977）、第143号（1978）
Sasajima , T.：Proc. of SNAME '78 Propeller Symp.（1978）
池畑光尚他：造船論、第150号（1981）、第153号（1983）
34）Tanibayashi, H.：ISP、Vol. 20, No. 226（1973）
高橋肇：西船報、第49号（1975）
石田駿一：造船論、第138号（1975）
千葉規胤他：造船論、第139号（1976）
Ukon, Y. : Proc. of IAHR Symp., Tokyo（1980）
湯浅肇他：造船論、第147号（1980）
凌志浩他：造船論、第151号（1982）
石井規夫：造船論、第153号（1983）
35）右近良孝他：造船論、第130号（1971）
佐藤隆一：造船論、第134号（1973）
児玉良明：造船論、第144号（1978）、第146号（1979）
加藤洋治他：造船論、第150号（1981）
36）宮田秀明他：造船論、第132号（1972）
右近良孝：造船論、第138号（1975）
泉田泰弘他：造船論、第146号（1979）
山口一他：造船論、第152号（1983）、第153号（1983）
37）山崎正三郎他：造船論、第149号（1981）、第150号（1981）第152号（1983）、第153号（1983）
38）小山鴻一：造船論、第132号（1972）、第137号（1975）、第145号（1979）、第153号（1983）
花岡達郎：船研報、第14巻、第5号（1977）
湯浅肇：造船論、第147号（1980）
39）山崎隆介：西船報、第33号（1967）、Memoirs Fac. Eng. Kyushu Univ. Vol.37, No.1（1977）
山崎隆介他：西船報、第40号（1970）、第41号（1971）、第42号（1971）
中武一明他：西船報、第34号（1967）、第36号（1968）、第37号（1969）
40）中武一明他：造船論、第138号（1975）、西船報、第54号（1977）、第55号（1978）、造船論、第152号（1983）
41）池畑光尚：関船誌、第163号（1976）またはISP、Vol.34, No.273（1977）
42）足達宏之他：関船誌、第171号（1978）、造船論、第152号（1983）、第154号（1983）
43）月野良久他：造技セ報、No.2（1974）
谷林英毅：船舶、Vol. 48, No.1（1975）
横田孝次：IHI技報、Vol. 14, No.3（1974）
池畑光尚他：関船誌、第155（1974）
富山毅他：NKK技報、No. 77（1978）
福田和廣他：関船誌、第177号（1980）
44）石田駿一：造船論、第136号（1974）
45）門井弘行：造船誌、第622号（1981）
46）Van Manen, J.D.：第2回舶用プロペラに関するシンポジウム、日本造船学会（1972）
47）佐々木紀幸他：西船報、第75号（1988）、住重技報、Vol. 38, No.112（1990）
右近良孝：西部造船会々報、第75号（1988）
三菱重工技報、Vol. 25, No.6（1988）
石播技報、Vol. 29, No.4（1989）
48）Grim, O ：JSR, Vol.24, No.4（1980）
49）Collatz, G ：Int. Symp. on Ship Hydro. and Energy Saving（1983）
50）荻野繁之他：第3回推進性能シンポジウム、日本造船学会（1989）
51）Miura, M. et al.：NKK Tech. Review. No.59（1990）

52）小柴幸雄他：石播技報、Vol. 28, No.6（1988）
53）Takekuma, K. et al.：造船論、第150（1981）
54）池畑光尚：関船誌、第188号（1983）
55）谷口中：造協論、第88号（1950）
56）森正彦他：石播技報、第33巻、第8号（1983）
57）田中陽：造船誌、第654号（1983）
58）岡本幸彦他：NKK技報、No.132（1990）
59）大内一之他：造船論、第163号（1988）、第165号（1989）
60）Narita, H. et al.：Trans. of SNAME, Vol. 89（1981）
61）北沢孝宗他：関船誌、第184号（1982）
62）Luthra：Int. Symp. on Ship Hydro. and Energy Saving（1983）
63）Grothues-Spork, H. ：ISP, No. 402（1988）
64）佐々木紀幸：西船報、第72号（1986）、第73号（1987）
65）浜田昇：船舶、第548号（1977）
66）塙友雄他：関船誌、第181号（1981）
67）Tommasi：ISP, No.402（1982）
68）石播技報、Vol. 24, No. 4（1984）
69）田中一朗他：関船誌、第188号（1983）
70）伊藤真一郎：第3回推進性能シンポジウム、日本造船学会（1989）
佐々木紀幸：第4回推進性能シンポジウム、日本造船学会（1991）
71）Hess, J. L. et al.：JSR, Vol. 8, No 2（1963）
72）Dawson, C.W.：2nd Int. Conf. on Numerical Ship Hydro., Berkeley（1977）
73）安東潤他：西船報、第75号（1987）
74）瀬戸秀幸：西船報、第81号（1991）
75）荻原誠功：造船論、第156号（1984）、第157号（1985）
76）凌志浩他：造船論、第157号（1985）、第159号（1986）、第160号（1986）
77）星野徹二：造船論、第165号（1989）、第166号（1989）、第174号（1993）
78）山崎寿他：Proc. of 20th Symp. on Nav. Hydro.（1994）
造船論、第172号（1992）、第178号（1995）、西船報、第89号（1995）
79）石川暁：造船論、第169号（1991）
80）増田聖始他：造船論、第170号（1991）
水谷直樹他：造船論、第174号（1993）
81）鈴木和夫他：造船論、第178号（1995）
82）日野幹雄：流体力学、朝倉書店（1992）
83）鈴木嗣他：造船論、第150号（1981）
増子章他：造船論、第152号（1983）
青木清平他：造船論、第153号（1983）、第154号（1983）、第155号（1984）
84）児玉良明他：造船論、第172号（1992）、第173号（1993）他多数
85）渡辺修他：造船論、第171号（1992）他多数
86）宮田秀明他：J. Comp. Phys., Vol. 60, No.3（1985）他多数
87）日野孝則他：Proc. of 5th Int. Conf. Num. Ship Hydro.（1989）他多数
88）Lungu, A. et al.：造船論、第173号（1993）他多数
鈴木敏夫他：関船誌、第217号（1992）他多数
Liu H. et al.：J. of Comp. Fluid Dyn., Vol. 3, No.2（1993）他多数
井上実他：関船誌、第217号（1992）他多数
田原裕介：関船誌、第220号（1993）他多数
日夏宗彦：関船誌、第217号（1992）他多数
増子章：造船論、第174号（1993）他多数
89）松尾裕一他：機械学会論文集、第57巻、533号（1991）
宇都正太郎：造船論、第172号（1992）、第173号（1993）
90）日夏宗彦：造船論、第161号（1987）、第163号（1988）
91）山口一他：造船論、第158号（1985）、第163号（1988）、第164号（1988）
92）泉田泰弘：造船論、第155号（1984）、第160号（1986）
佐藤和範：造船論、第161号（1987）
93）右近良孝他：船研報告、第19巻、第1号（1982）
黒部雄三他：船研報告、第20巻、第6号（1983）
Kodama, Y. et al：Papers of SRI, No. 73（1983）
工藤達郎他：造船論、第166号（1989）
94）右近良孝他：造船論、第174号（1993）
工藤達郎他：造船論、第175号（1993）
Ukon, Y.：Proc. of PROPCAV 95,New Castle（1995）
右近良孝他：造船論、第178号（1995）
95）工藤達郎他：造船論、第178号（1995）
Kudo, T. et al.：Proc. Cav '95,、Tokyo（1995）
96）右近良孝他：造船論、第168号（1990）、第170号（1991）、Proc. of 19th Symp. on Naval Hydro., Soeul（1992）

1.2　運動性能

1.2.1　耐航性

(1) 研究概要

この時代のわが国の造船技術は「ぽりばあ丸」(1969年、昭和44年）に続く「かりふぉるにあ丸」（1970年、昭和

45年）の沈没海難という、予想だにしなかった大型専用船の悲劇的事故により幕を上げた。耐航性の多くの研究陣は急遽、大型専用船の安全対策の研究に向かい、波浪衝撃圧など波浪外力の研究が、船体構造強度の研究と結びついて遂行された。この研究は10年後に三度び発生した同型船「尾道丸」の海難事故により、さらに新しい展開を迫られることになる。

その後、1970年代前半に2度にわたるオイルショックの洗礼を受け、造船技術においても大型化や高速化（例えば、100万トンタンカー、35ノット3000ヶ積みの超高速コンテナ船）の技術開発が、スタート後間もなく出鼻をくじかれ、これらに係わる運動性能の研究も影響を受けた。それに替わって船舶の省エネルギー技術、海洋に賦存するエネルギー開発、例えば波浪発電、海底石油や鉱物資源開発のための海洋開発関連の技術がにわかに注目を浴びるようになった。その結果、一般船舶の耐航性の研究者も、いわゆる海洋工学研究との相互関係が生まれ、海洋開発機器の耐波性能をも取り扱うようになっていった。

また高度経済成長指向に対する反省より、安全と環境保全に対する社会的要請が高まり、事故防止対策や技術のアセスメント（事前評価）が技術開発の前提とされるようになった。これらは国際的なスケールでの対応を必要とし、国際海事機関（IMO）において安全と海洋汚染防止に関する国際ルールの討議が活発化していった。

海上輸送の面においては、資源、エネルギー、生産物など大量輸送の外に、カーフェリーや高速船、クルーズ客船など運輸の多様化に応じた新しい船種が運航されるようになった。

この間、耐航性に関する技術は電子計算機の発達により、船舶流体力学の計算や不規則現象の統計解析などの計算技術が飛躍的に進展する一方、電子技術に支えられた水槽実験技術も大いに進歩し、両者相俟って、実船の設計や運航技術への適用に向けられるに至った。

これらの成果はその都度、シンポジウムにより広く紹介されている[1)～9)]。また幾つかの学術著書によって体系づけられている[10)～13)]。

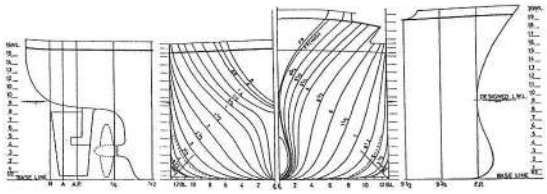


図1.2.1　SR108船型（コンテナ船L×B×D＝175×25.4×15.4m）

このような中で代表的なトピックとして以下のようなものが挙げられる。

イ．コンテナ船の耐航性研究とストリップ法計算の実用化、
ロ．大型専用船の海難と波浪外力についての研究、
ハ．安全運航システムや高度自動化船を目指す耐航性の応用、
ニ．波浪中の転覆現象解明と国際基準対応、
ホ．高速船開発に伴う耐航性研究の進展、
ヘ．海洋構造物の耐波性能に関する研究の隆盛、
ト．ストリップ法に代わる3次元理論の華麗な展開、
チ．波浪データ、計測技術、多方向波の影響への関心

(2) コンテナ船の耐航性研究とストリップ法計算の実用化

貨物船の花形は、長年にわたってニューヨーク航路や欧州航路の定期貨物船であった。1968年（昭和43年）頃から就航し始めたコンテナ船がそれにとって代わるようになり、1970年（昭和45年）以降はコンテナ船全盛の時代に入る。コンテナ船は海陸一体の輸送システムの一環を担い、比較的高価格の貨物を運航スケジュールに従って運ぶ任務が与えられ、波浪中の速力維持や甲板積みコンテナの安全確保の要望に沿って、その耐航性も船舶設計の段階から重視されることとなった。

1969年（昭和44年）にスタートした高速貨物船の耐航性の研究（SR108）は、すぐさまコンテナ船の耐航性の研究に衣がえし（SR125）、ほぼ10年近くにわたり研究が続けられた。本研究のため試設計された供試船型（図1.2.1）は、当時の第1世代のコンテナ船の船型とおおむね一致するもので、SR108船型（或いは国際的にはS-175船型）として、国内や国際的に行われた耐航性その他の比較実験や比較計算にしばしば利用されている。

これらの研究を通じて、耐航性の実船への適用技術が大いに進展した。

先ず、ストリップ法計算に関しては、斜め波中の縦及び横運動並びに耐航性に関係ある応答を計算する方法が定式化されるとともに、その適用性が斜め波中の水槽模型実験（自由航走実験、拘束実験、強制動揺実験等）により確認されていった[1)]。

1970年（昭和45年）に完成した東京大学の船舶航海性能試験水槽（長さ50m、幅30m、深さ2.5m）は2面に造波装置を備え、また曳航台車（X-、Y-台車；幅の広い水槽に跨る曳航台車の上に幅方向に動く副台車を載せたもの）を有する角型水槽として、拘束模型実験により船体に働く波の強制力を斜め波中で測定することが可能と

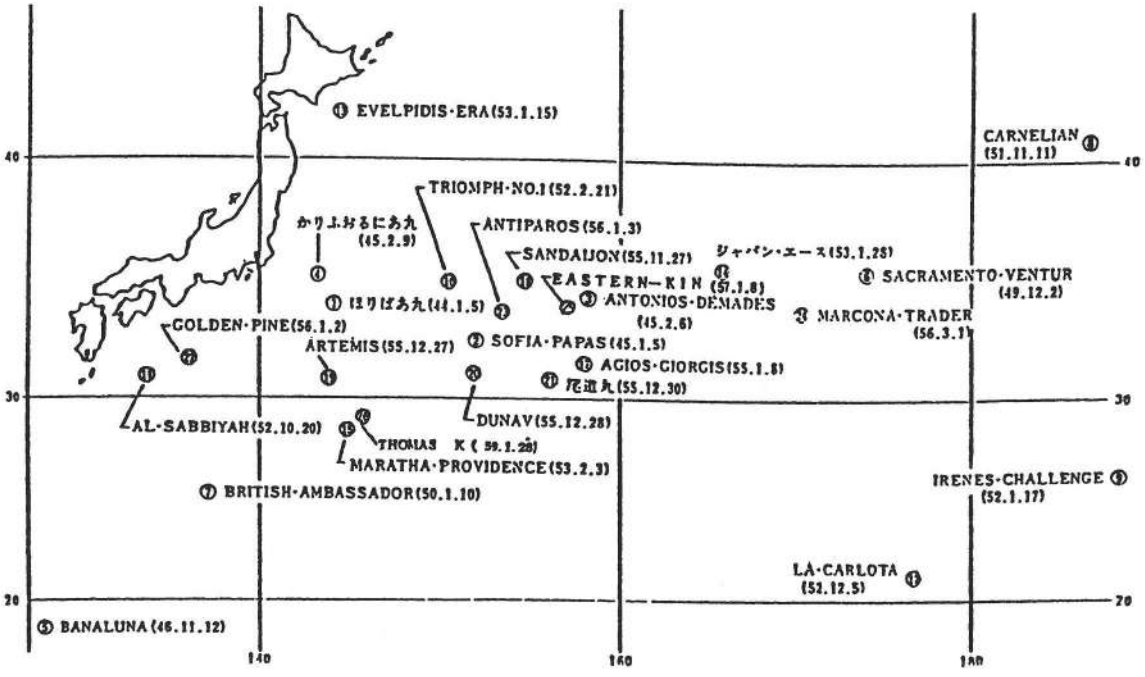


図1.2.2　冬季北太平洋（日本近海）における大型船の海難発生状況（1969年1月～1984年1月）[14]

なった。

計算法の実用化が進むに伴い、造船会社、大学、研究所がそれぞれ独自に計算プログラムを作ったが、その間の整合性やvalidationを行う必要性が強く認識されるようになった。既に第11回ITTCで波浪中の縦運動に関する国際的な比較計算がされていたが、本学会試験水槽委員会第2部会にストリップ法計算比較検討小委員会を作り、斜め波中の運動及び耐航性の応答について国内各機関（16機関が参加）の開発したプログラムの比較検討を行い、信頼性を高めた（1973～1974年）。

その後、第16回及び第17回ITTCにおいて、わが国の主導により国際的な規模でストリップ法計算プログラムの比較計算を実施した（世界の主要研究機関26が参加、うち国内12）。追い波中高速航行の条件下における波浪荷重の改良計算法も開発された（SR200-12）[2]。

粘性流体力が主要な成分である横揺れ減衰力の推定はストリップ法による船体運動計算のネックであった。模型実験による値を使うなどの便法が取られていたが、姫野らが成分分離法（摩擦、造渦、揚力、造波、ビルジキールに分けて推定する方法）を導入し、前進速度のある場合も含めて、与えられた船型に対して横揺れ減衰力を良好に推定する計算するプログラムを開発した[1,2]。

計算技術が進展するのと平行して、船舶性能を確認するため、斜め波中の耐航性模型実験を行うことが船主からも要求されるようになり、X-、Y-曳航台車を持つ幅広の運動性能試験水槽が造船会社にも設置されるに至った。耐航性に関する水槽実験技術の中で、竹沢らによる過渡水波中の実験技術は、周波数応答関数を1つの波パターン中の1度の実験で求めるもので、各種の耐航性実験で活用されている。

上記の理論計算や模型実験と併せて実船実験も大規模に実施され、合計6隻による北太平洋航路（PNW、PSW）での9航海の実験（1968-69）、6隻のコンテナ船による欧州航路他での計6航海の実験（1970-1973年）等が行われた。前者については約300回の計測がほぼ同型船、同海域について得られたので、このデータは1つに纏めて運動応答の長期分布の形で表され、荒天中の操船条件を考慮した理論値とよく一致するという結論を得た[1]。

後者については、竹沢の主導により計測コンテナを開発し、実船計測及び解析の手法を一挙に近代化したのが特徴である。コンテナ船の実験という特徴を生かして、計測システムを組み込んだ計測コンテナを開発し、データ取得から解析まで規格化した方法が一貫して用いられた。

耐航性に関する実船実験の究極の姿は、波浪を含め船体応答の計測結果を船上においてオンラインで解析し、その結果を操船者に示すとともに、もし危険な波浪条件

である時は、適切な危険回避操船手段（減速、変針）の有効性を提案できるようなものということができる。後に述べる、安全運航支援システムや高度自動運航システムはそのようなものを狙ったもので、プロトタイプ的な装置が造船会社によって開発されている。

ストリップ法計算の応用に関しては、国際満載喫水線条約（1966ILLC）の船首乾舷規定の評価が福田により、北大西洋の波浪データを用いた長期分布計算法によって行われた例がある（1970年、昭和45年）。この規定を耐航性理論により見直す動きがIMOで発議され（1986年、昭和61年）、現在2000年を目標にして国際的な検討が行われている。

(3) 大型専用船の海難と波浪外力についての研究

野島崎沖の冬季北太平洋で発生した「ぱりばあ丸」、「かりふぉるにあ丸」の船首部破損・沈没海難は、わが国造船界に一大衝撃を与えた。これらの船がともに第20次計画造船により建造され、建造後4、5年しか経っていない新鋭船であったからである。第20次計画造船が実施された1964年（昭和39年）はわが国の造船量が急速に増加を始めた最初の年にあたる。また、「かりふぉるにあ丸」は、高度経済成長に対応する海運の担い手として、官民一体として設計された高度経済船をモデルとして建造されたという経緯があった。官民あげての原因究明と安全対策研究が「かりふぉるにあ丸」事故のあと行われた。

運輸省が主導した産・官・学による対策研究においては、主たる原因は予想を越える波浪衝撃が船体を破壊に導いたとして、波浪と波浪衝撃力について研究が推進された。角水槽における模型実験、構造模型の座屈試験が行われ、その結果、不規則な海面において希に出現する大波高（25m）によって船体が大きく動揺し、船首部を破壊するほどの衝撃的な力が働いたのが直接の原因と推定した。波浪変動圧や衝撃圧に関する研究は、その後、造研（SR131）においてさらに推進されたが、実船実験（「笠木山丸」）にも力が注がれ、波浪計測のために各種の波浪計の開発実験も行われた（SR132）。

しかし、1980年（昭和55年）に同じく野島崎沖の太平洋上においてばら積み船「尾道丸」の船首破壊事故が発生した（相前後して5隻の船が沈没）。それまでにも、外国船籍の大型貨物船を含む海難事故がこの周辺海域において頻発（1969-1984年の間に21隻沈没、合計447千総トン、死者・行方不明240名、図1.2.2参照）していることから、あらためて大型船の異常海難防止対策の研究[14]が推進されることとなった。

この場合は下記の3つのテーマが取り上げられた。

イ．海難頻発海域における波浪の観測と異常波浪の解明

ロ．波浪による船体弾性応答の水槽および構造模型実験

ハ．「安全運航支援システム」の開発と実証実験

これらの一連の共同研究を通じて、海象、耐航性、船体強度等の研究の相互関係の重要さが改めて認識されるようになった。

大振幅の動揺による非線形な波浪衝撃圧（船底やフレアー部のスラミング）の発生メカニズムを解明するため、船体応答と波浪荷重の推算について時間領域のシミュレーションプログラムが山本らにより開発された。大型船の海難はその後も頻発しており、IMOにおいて安全対策が検討されるに至っている。わが国においても、大型船の水線付近船側が受ける変動水圧が外板の疲労破壊の原因になっているのではないかとして、研究（SR216）が推進されている。

長年にわたり波浪による海難が同じような船種で絶えないということは、造船技術上の大問題である。経済船型として船殻重量軽減を図ったことが波浪荷重に対して十分であるか、あるいは1966ILLCによって決められた大型船の乾舷が耐航性上適切であるかどうかなど、設計の根元に迫る検討が課題として残されている。

(4) 復原性に関する研究

わが国では、旅客船に対する復原性の問題は船舶復原性規則の施行によって一応完成の域に達していたと考えられていたが、漁船等の小型船の転覆海難は依然として多発しており、その復原性の確保のため適切な判定基準を定めることが次第に切実な社会的要望となりつつあった。1986年（昭和61年）に起きた潜水艇支援調査船「へりおす」（50GT）の沈没海難は小型船の復原性に対する社会的な関心を惹起した。ブローチングという専門用語がしばしば追波中の転覆現象の代名詞として報道され、ポピュラーなものになったりした。

耐航性の実験技術の進歩により、復原性研究の手法も伝統的な横波・横風中の横揺れ運動の安定性の研究から、斜め不規則波中を任意の出会い角や速度で航走する場合の耐航性の一環として、転覆を再現し、そのメカニズムを調べる方向に変わってきた。自由航走模型船による転覆実験の手法も、湖沼における自然風波中の実験から、角水槽における人工の斜め不規則波中の実験へと移っていった。

当初は各種の漁船に対する実験的研究を通じて、斜め波中航行時の転覆パターンを網羅的にしらべることに重

点が置かれ、横波中よりも斜め追波を航行する場合に転覆の危険性がより高いことが分かってきた。転覆現象を観察することによって得られた知見は、各地の漁業者が持っている経験を裏付けるものでもあった。また、海難審判裁決録に記載されている海難の様態を物理現象として理解し、安全対策を考えるのにも役立てられている[15]。

復原性研究の主目的は、復原性基準に反映させる成果を出すということである。この観点から、IMOにおいても船舶の復原性基準にRaholaの思想による静的復原性基準（A.167、A.168、1968年）に加えて、波浪や風の中の運動を考慮した動的な復原性の判定基準を作るべきとする提案がわが国を中心に推進され、討議が盛んに行われたということも復原性研究が活発化した背景であった。これは結局、実績のあるわが国とソ連の復原性基準の折衷としてA.562というweather criteria（わが国の復原性規則乙基準に類似のもの）として結実した（1985年）[3]。

その討議の途上、斜め追波中がより危険であるから、その主たる原因である追波中の復原性劣化を船型に応じて判定するファクターを含む新たな追波中基準を導入すべしという議論が起こった。これに対応するため、わが国でもコンテナ船、漁船等の斜め追波・追波中の転覆実験を系統的に行ったほか、波浪中の復原力変動の計算や数値シミュレーションによって、転覆の形態を分類し、波頭における復原力減少状態の継続、波乗りに続くブローチング、復原力の非線形性に基づくパラメトリック横揺など、斜め追波中の危険な現象を解明することができた。

これらの危険をもたらす波浪条件を避けるための操船ガイダンスをわが国から提案し、MSC Circular/IMO（1995年）として採択された。

追波中を高速航行する場合に起こる波乗り現象について菅、梅田により精力的に研究され、その発生条件（船速、波長、波高）と船型の関係が明快に示された。

漁船の復原性に関しては、トレモレノスの漁船安全条約（1977年）が制定されたが、この中に、勧告の形で土屋によって提唱されたC1、C2、C3の係数による復原性判定方法[1]が採用されている。

最近の出来事としては、1994年（平成6年）にバルト海で発生したRo/Roフェリー「エストニア号」の転覆沈没海難は852名もの犠牲者を出し、世界に大きな衝撃を与えた。この海難の特徴は、広いRo/Ro甲板上に海水が打ち込んだ場合の横安定性喪失であり、1987年に起こった「ヘラルドオブフリーエンタープライズ号」の転覆事故と同様の形態である（洞爺丸台風による鉄道連絡船の転覆海難とも共通する）。そこで、損傷時復原性のIMO規定の見直しが国際的な専門家パネルにより行われた。国内でも実験研究が実施され、その結果は甲板上の海水打ち込みを損傷時の復原性に考慮することを盛り込んだ1995年のSOLAS改正となって安全対策に結実することとなった。

この間、船舶と海洋構造物の復原性に関する国際会議の第2回（1982年）が本学会主催により東京において開催された。

(5) 波浪中の推進性能および耐航性の総合評価

船の設計時の主機関馬力の余裕を決めるシーマージンの観点（長期的）からも、また航行時の最適航路選択のためのウェザールーテイングの観点（短期的）からも波浪中の推進性能が重要である。また船体運動に伴うプロペラの露出、船首海水打ち込み、或いはスラミングを避けるため、船速を落すなどの操船も運航者にとって大きな問題となる。

この時代の波浪中推進性能の技術は、船体運動がストリップ法で求められたときに、波浪中の抵抗増加をいかに計算するかということと、船体・主機・プロペラ・操船者を1つのシステムとして捉え、波浪中の操船の最適化を図ろうということに代表される。前者は肥大船の船首からの波の反射による抵抗増加をいかに加えるかという問題も浮上させたが、研究の成果は試運転成績の波浪修正の標準的手法の開発（SR208）に結びついた。

後者は中村らにより主としてコンテナ船を対象に研究が行われた。実験的研究により、システムの形やそれぞれの要素が決められ、波浪中の船速低下（波浪による自然減速、nominal speed loss、と船体運動軽減のための任意減速、voluntary speed reduction）の予測を可能にした[2]。

細田らにより提案された「mission effectiveness」という指標により、耐航性と船型の関係を総合的に評価しようとする方法は、海上保安庁の巡視船を対象に行われた。このような手法が多くの一般船舶について行われるようになれば、即ち平水中の推進性能だけでなく波浪中の性能を造船者がギャランテイーする時代になれば、耐航性の研究もさらに促進されるであろう。

(6) 高速船、小型船の耐航性

(a) 高速船

この時代になり、単胴や双胴の高速船、半没水型双胴船（SWATH）、側壁型エアークッション船（SES）、全没翼型水中翼船などがあいついで出現し、旅客の高速輸送

に活躍するようになった。水中翼船では、表面波の影響が減じると共に、制御により安定性や耐航性を向上させる技術が適用されるようになったので、航行可能な波高も飛躍的に増加し、外洋における航路（佐渡、隠岐）にも就航するようになった。耐航性に関しては、単胴や半没水型双胴船ではストリップ法計算を改良した運動や波浪荷重の推定法が種々開発された[6]。また、運輸省主導によるテクノスーパーライナー（TSL）の開発プロジェクトが推進された。

(b) 小型船

海洋レジャーが盛んになるに伴い、遊漁船やプレジャボートなど小型船の海難事故が多発するようになり、小型船舶に対する安全検査の必要性から、日本小型船舶検査機構（JCI）が1974年（昭和49年）に発足した。そこでは小型船特有の運動性能の性質を明かにして安全基準に反映させるべく、各種の研究が実施された。耐航性に関しては、小型船の追波中高速航行時の波乗りによる方向不安定（ブローチング）、舷側からの海水打ち込みと放水口の大きさ、砕波中の安定性、「たか号」の遭難に関連する外洋ヨットの復原性、小型船の復原性基準の諸要素、などが次々と実施されていった。研究の成果は、小型船の復原性基準や利用者の安全教育用冊子などに盛り込まれている。国際的には国際標準機関（ISO）において小型船の復原性の国際基準について作業が進行している。

(7) 海洋構造物の耐波性能

(a) 復原性

1973年（昭和48年）の石油ショック以来、海底石油掘削に対するニーズが高まり、北海油田の開発が緒につくとともに、セミサブリグといわれる浮体式の海洋掘削船が増加していった。わが国の造船会社も積極的に海底石油掘削リグの建造に進出した。そのような中で、1980年（昭和55年）に「アレキサンダー・キーランド号」（北海）、1982年（昭和57年）に「オーシャン・レンジャー号」（カナダ沖北大西洋）の転覆海難が発生し、復原性を中心とする耐波性能に世界中の関心が集まった。海難に関係する諸国（米国、カナダ、ノルウエー）では事故原因の調査研究が行われたが、IMOにおいてもMODU Codeと略称される移動式海底資源掘削ユニットの安全基準が見直されることとなった。

わが国においても、波と風の中におけるセミサブの設計外力や復原性を研究し（SR192）、傾斜船体に対する風圧力や動揺、或は波と上部構造の間のエア・ギャップの推定手法を発展させ、設計の指針を得たが、IMOの審議に対しては上記の研究成果を活用しつつ対応した（RR743）[3]。その結果は、MODU Code（A.649、1989年）における非損傷時及び損傷時復原性基準の改正に反映されている。

(b) 係留浮体の運動性能

浮体式の海洋構造物は大小に拘らず位置保持のために索・鎖により係留されている。

先ず、セミサブの稼働性能と密接な関連を持つ波面と上部構造との間隙（エアーギャップ）を推定する動揺性能計算プログラムが造船各社により開発された。

係留された浮体には係留系の比較的小さい復原力が付加されるので、左右揺れや前後揺れ運動が長周期の固有周期を持つことになる。このため波の漂流力や非線形性、或いは変動風速等による長周期の外力が同調して大きな変位と張力の原因となる。波浪外力に関しては非線形の流体力や波力の研究が、運動に関しては非線形運動の時間領域におけるシミュレーション法の計算が、また極値推定のための非線形理論が、それぞれ研究の対象となっている。

(c) 超大型浮体の研究

海上空港のような面利用の超大型浮体構造物に対する耐波性能の研究は、関西新国際空港の海上埋立案に対し浮体工法案を造船界が提案して以降、種々の形態の構造物について行われた。その代表的なものは、要素浮体間の流力的相互干渉を調べること、波力による弾性変形を推定すること等である[13]。これらの研究は、1995年のメガフロート技術研究組合の発足により促進され、今日に至っている。

(8) 耐航性理論の展開

(a) 3次元理論

2次元理論であるストリップ法による船体運動計算は(1)で述べたように、船舶設計や運航に利用されるまでになったが、船型の3次元的な形状変化による長さ方向の波力や流体力の相互干渉効果が考慮されていないことから限界があり、船体表面の圧力の推定や、高速の場合の応答の推定において水槽実験結果を十分に説明出来ない場合があることが分かってきた。

そのため、より現象を厳密に考えた3次元理論の必要

性が早くから認識され、耐航性研究の先端を担っている。わが国においても多くの研究者が精力的に研究を行い、それぞれの理論によってストリップ法を陵駕する結果を提供している[9]。

その理論では以下のようなものが代表的なものである。

イ．細長船理論によるストリップ法の3次元影響補正
前進速度を持つ場合、Unified Theoryはストリップ法を包含しながら、流場の3次元影響や前進速度影響を説明し得る理論として、実験との良い対応を示している。

ロ．3次元理論による計算法
3次元グリーン関数法は前進速度のない海洋構造物に対して実用化されている。

しかしながら、これらの3次元理論は理論や計算法が難解であるのみならず、膨大な計算を必要とすることなどにより、計算法自体のvalidationや実験との比較がストリップ法ほどなされていないので、ストリップ法の補正や前進速度のない場合を除いて、未だ実用計算の段階に達していないのが現状である。

(b) 水波工学の展開

別所は波浪中の流体現象を電磁波の理論と対照することにより、波動現象を統一的に解釈することができることを示し、波エネルギーの吸収、波喰い推進、運動制御の理論等をユニークな形で構築し、応用の指針を示した[15]。

(9) 波浪情報の利用、波浪の再現技術

海洋の波浪は船舶にとって最も大きい外乱であり、強度設計の波浪荷重設定のためには、就航海域或いは全世界の波浪の長期統計が用いられ、安全運航やウェーザールーチングに対しては短期の気象海象情報や予測が必要となる。波浪の統計データについては、Hogbenらが新たにGWS（Global Wave Statistics、1986年）を発表、world-wideな海域の波浪情報を示すとともに、PC（パソコン）利用方式にした。わが国でも、山内らの北太平洋における風と波の統計以降、10年おきに同様の統計を順次実施している。

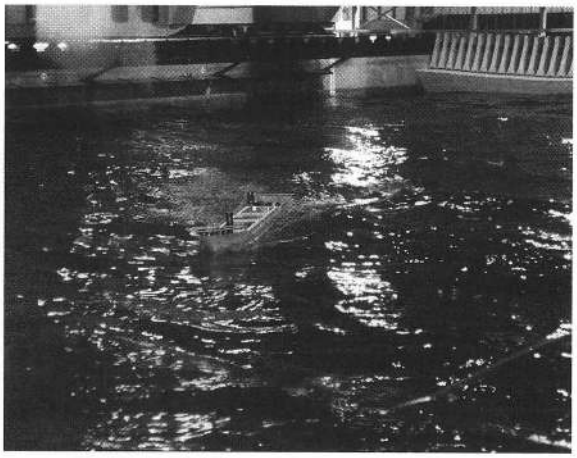


図1.2.3　最新の耐航性試験水槽（水産庁水産工学研究所）

これらは北太平洋を小海域に分け、月別、四季別、通年のそれぞれについて、波高-波周期、波高-波方向、波周期-波方向、風速-風向きの結合出現頻度分布などを数表およびローズ図として示したものである。1974～1988年については、ワークステーション上で処理出来るデータベースに記録され、最終ユーザーにはフロッピーディスクを媒体として届けられるようにされている。これらは北太平洋に限定されてはいるが、小海域毎の統計を示していることが特徴であり、きめ細かい航路別の海象を知る上でも活用されている。

船舶の運航における波浪情報の効果的な取得と利用に関しては、「高度自動運航システムの研究開発」（1983～1988年）のなかで、海象気象状態監視評価システムの開発で取り組まれた。その内容は、衛星を通じて広域の気象・海象情報を船に送るとともに、船が遭遇している波の情報（波高、周期、方向分布）をスペクトルの形で取得しようというもので、船体運動から方向波を推定する方法が検討された。海洋波浪の方向分布型についてのデータの必要性が増し、複数の船載波浪計を用いた方向波の計測技術も現在研究されている。

波浪中の水槽実験に用いられる波は上記の多方向波でなく、一方向から来る波が長年使用されてきた。しかし、この時代に入り、(3)節で述べた異常波中の海難が2方向から来る波の重ね合わせにより大きな衝撃を受けたことによるとされてより、また、海洋構造物の設計に関連して、多方向中の水槽実験、或いは、理論計算が実行されるようになった。耐航性試験水槽の最も近代的なものは、細かく分割した造波装置を備え、任意の多方向波において実験することが出来ることをセールスポイントとしている。図1.2.3に最新の耐航性試験水槽の写真を示す。

また、汎用されている長水槽においても側壁面の反射を利用することにより、任意の方向分布を有する多方向波の発生が可能であることを竹沢が初めて示し、多方向波中の水槽実験技術を一歩進展させた。

参考文献

1)　日本造船学会試験水槽委員会：第2回耐航性に関す

るシンポジウム、日本造船学会（1977）
2) 運動性能研究委員会:波浪中推進性能と波浪荷重、運動性能研究委員会・第1回シンポジウム、日本造船学会（1984）
3) 運動性能研究委員会：船舶と海洋構造物の安全性と復原性、運動性能研究委員会・第3回シンポジウム、日本造船学会（1986）
4) 運動性能研究委員会：船型と耐航性、運動性能研究委員会・第5回シンポジウム、日本造船学会（1988）
5) 運動性能研究委員会:マリンビークルと運動制御、運動性能研究委員会・第6回シンポジウム、日本造船学会（1989）
6) 運動性能研究委員会：高速船の耐航性、運動性能研究委員会・第7回シンポジウム、日本造船学会（1990）
7) 運動性能研究委員会：船の運航自動化技術、運動性能研究委員会・第8回シンポジウム、日本造船学会（1991）
8) 運動性能研究委員会:耐航性研究と船舶構造設計、運動性能研究委員会・第9回シンポジウム、日本造船学会（1992）
9) 運動性能研究委員会:耐航性理論の設計への応用、運動性能研究委員会・第11回シンポジウム、日本造船学会（1994）
10) 元良誠三監修、小山、藤野、前田共著：船体と海洋構造物の運動学、成山堂書店（1982）
11) 山内保文監修共著：船舶・海洋技術者のための不規則現象論、海文堂（1986）
12) 高木又男、新井信一：船舶・海洋構造物の耐波性能、成山堂書店（1996）
13) 造船学会海洋工学委員会性能部会編：超大型浮体構造物、成山堂書店（1995）
14) 運輸省：異常海難防止システムの総合研究開発、昭和61年度研究成果報告書（1987）
15) 日本海難防止協会：小型船の海難防止指針、成山堂書店（1980）
16) 別所正利：水波工学入門、造船誌、634号（1982.4）

1.2.2 操縦性

(1) 操縦性

海上輸送量の増大に対処するため、1970年（昭和45年）代の初めより船舶の大型化および専用船化が急速に進められ、運航の経済性を追求した幅広の省エネ船型を有する超大型タンカーや、LNG（液化天然ガス）船、PCC（自動車専用運搬船）等の専用船が出現することになった。

このような時代の要請に応じた新しい船型の誕生に際して、超大型タンカーの針路安定性や水面上の風圧を受ける面積が大きいPCCの風圧下における操船性等の問題について、その時々の技術を結集した操縦性能の検討が行われてきた。これらの技術は、針路不安定現象、大型模型試験、尺度影響、操船シミュレータ等の多くの研究テーマと成果を生み出してきた。同時に、1970年代以降の海難事故の発生件数の増加と共に、航行の安全性に関する関心が高まり、船の操縦性能がクローズアップされてきた。中でも、1978年（昭和53年）に発生した「AMOCO CADIZ号」の漂流・座礁事故、また1989年（平成元年）の「EXXON VALDEZ号」の事故は膨大な原油流出を引き起こし、近海の海洋環境に大きな被害を及ぼしたため、世界に大きな衝撃を与えた。このような海難事故を背景として、IMO（国際海事機関）では航行の安全性を確保するという観点から、操縦性能が極めて悪い船舶を排除することを目的として操縦性基準の設定について検討が行われた。その結果、操船者に本船の諸性能を熟知してもらうための情報として、1987年（昭和62年）にパイロットカード、ホイルハウスポスターおよび操船ブックレットを備えることを決定した。さらに、1993年（平成5年）11月に操縦性暫定基準が採択され、1994年（平成6年）7月1日以降に起工される新造船に適用されることとなった。これに伴い、設計段階において操縦性能を正確に予測することが必須条件となり、各種設計ツールをさらに有効利用するとともに、操縦性能推定に関して一層綿密な計画と検討が要求されるようになった。

(2) 操縦性能の推定法

「応答モデル」が提案されて以来、設計段階において船の操縦性能を推定するために,模型試験や実船試験の結果が利用されるようになった。しかしながら、設計段階で船型を変更した時、操縦性能がどのように変化するのかをより合理的に見極めるためには、流体力の成因に立ち戻って操縦数学モデルを組み立てておく方が良いとの認識から、「応答モデル」ではなく「流力モデル」に研究の主眼が移っていった。このため、1976年（昭和51年）より日本造船学会水槽試験委員会第2部会に「操縦運動の数学モデル研究グループ（MMG）」が組織され、「流力モデル」に基づく数学モデル構築に関する検討が開始された。基本的な考え方は、(1)船体、プロペラ、舵に分けた個々の要素に働く流体力の単独特性を基準とし、(2)船体、プロペラ、舵相互間の流体力学的干渉を(1)に加味して、

船体、プロペラ、舵の全体に働く流体力を表す、というものである。この考え方によれば、例えば舵の設計変更に伴う操縦性の変化を検討する場合、舵を表す数学モデルの中の諸係数を置き換えることにより合理的に推定することが可能になるとともに、操船シミュレータを用いて複雑な条件下での操縦性能を確認する場合等にも物理的に可能な種々の条件設定が容易となる。さらに、個々の要素に働く流体力の推定方法が進展すれば、その部分についてすぐさま最新の成果を取り込むことが可能である。このMMGの考え方は世界的にも高く評価され、操縦性能推定のための合理的な数学モデルとして定着しつつある。

操縦運動をしている船体に働く流体力の実用的な推定式として広く用いられている井上[1]の式は、船型を表す5個の船型要素（船長L_{pp}、船幅B、吃水d、トリムτ、方形係数C_B）を用いて、流体力を簡単に推定することが可能であり、精度も比較的良いという長所がある。これは、利用者にとって大きな魅力であり、今後ともデータの蓄積により、適用船型の範囲拡大、精度向上を図ることによって、初期設計における性能の把握等に簡単に利用できる手法として重要と考えられる。しかしながら、流体力係数の近似式の決定に用いられた模型船群の船型から外れた船型に対しては、信頼性が十分確かめられていないことに留意する必要がある。また、針路不安定な船や船型の微妙な変化による操縦特性に関しての推定は困難であることが指摘されている。

こうした背景から、上述の欠点を補うために、船体形状を詳細に考慮した船体流体力の理論的推定法の開発と同時にそれらの要素を取り入れた操縦性能推定法の開発が行われている。線形細長体理論に基づいた研究としては、不破[2]によって構築された推定法があり、細長体の揚力発生の機構を解明する上で、以後の研究に活路を開いた。更に、実際の船体形状を考慮した細長体に関するJones－不破－溝口のFlow Modelに基づいた推定法[3]は、船体横断面形状をLewis Form SectionまたはNパラメータで近似し、その各断面から下流に離散的な自由渦を流出させ、各断面まわりの流体の運動量変化より流体力を求める方法である。その推定結果は、模型試験結果と良く一致しており、船体形状の影響が考慮されていることが示された。

また、計算機の性能の発達に伴い、船体形状をより正確に取り扱うことが可能となり、船体まわりの流場までも含めて、船体形状を厳密に考慮して船体に作用する流体力を推定する方法として、Navier-Stokesの方程式を解くCFD（Computational Fluid Dynamics）に基づく方法が注目されている。抵抗推進の分野では多くの研究が発表されているが、大森や藤野ら[4,5]は、細かい船型要素まで考慮して操縦運動時の船体に働く流体力の推定を行い、

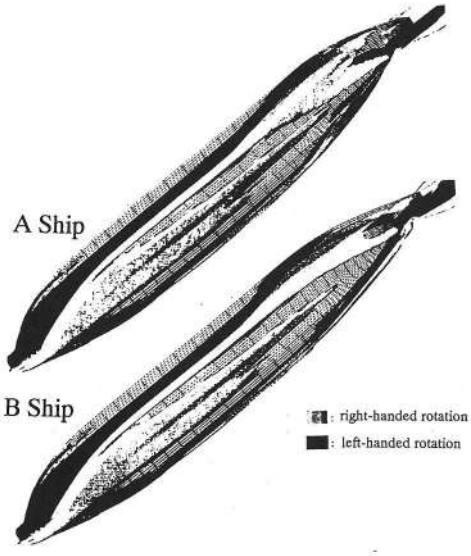


図1.2.4　CFDによる斜航時の船体周りの流れの計算例（文献4より）

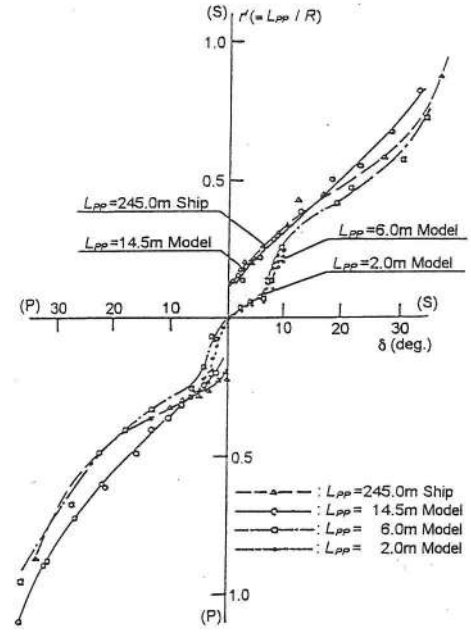


図1.2.5　旋回半径に関する尺度影響（文献8より）

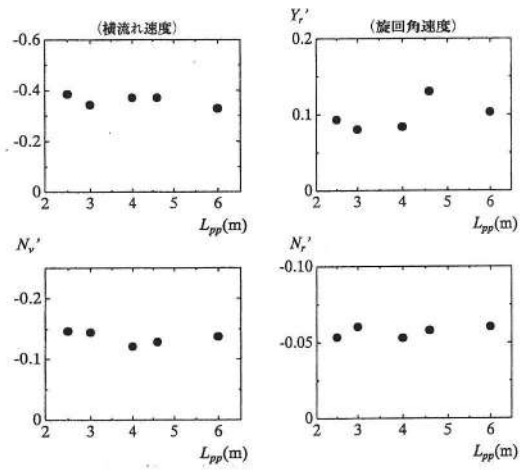


図1.2.6　流体力（横力、回頭モーメント）係数に及ぼす尺度影響（文献[9]より）

広範な船型への適用可能性を示している。

このように流体力を直接推定するという方法とは別に、蓄積された過去の試験データをもとに操縦性能を推定する試みもなされている。藤井[6]は旋回運動についての蓄積されたデータを利用して旋回性能を推定する実用的な方法を提案し、実船の性能と推定結果が良い一致を示すことを示した。さらに小瀬ら[7]は船体の主要目に基づく旋回縦距と旋回圏の推定式による推定結果と実船試験結果との比較より、船体のフレームライン形状を十分考慮して推定する必要があることを指摘し、操縦性能を推定しようとする船の船型に近いタイプシップのデータベースとともに、流体力係数の近似推定式を組み合わせることによって推定を行う方法を示した。

(3) 尺度影響

操縦性能推定の分野で多くの研究成果が得られ、以前より高い推定精度が得られるようになったものの、実船と模型船では船体周囲の流場が異なることに起因する尺度影響の問題がある[8]。この点について1981年（昭和56年）に発足したJAMPワーキンググループ（Japan Manoeuvrability Prediction Working Group）は、系統的な研究を実施した。JAMPでは実船と模型船の相関を調べるために、肥大船型である船長325mのタンカー「ESSO OSAKA」を対象として、スケールの異なる相似模型船5隻を用いて、自航試験による運動の計測、操縦運動に対応する船体流体力の計測を13の研究機関で実施した[9]。この結果、船の針路安定性の評価の大きな要因となる流体力微係数の主要な値については、スケールによる変化はほとんど見られないこと、模型試験結果から実船の性能を推定するためには、船尾伴流が重要な要因になることが指摘された。

(4) 相互干渉

尺度影響に関する研究を踏まえて、先の「MMGモデル」を用いて、船体、プロペラ、舵の相互干渉力に尺度影響を考慮する試みがなされた。船体、プロペラ、舵の相互干渉について検討する場合、そのまわりの流れ場は粘性の影響を強く受けているため、流体力学的に簡略化した一般的な流れモデルに置き換えることが困難である。従来から行われてきた方法は、舵とプロペラに働く流体力を拘束模型試験において計測して、各々の試験により得られているそれら単独時の流体力と流入速度との関係を用いて逆に流入速度を解析的に求め、その結果を整理して相互干渉に基づく流体力特性を得ることであった。この方法を痩せた船型に適用した場合は問題はなかったが、肥えた船型に適用した場合には推定精度が悪くなるという問題が生じた。そこで、船尾まわりの流れ場を直接計測して、船体、プロペラ、舵の相互干渉に関する数学モデルへ反映させようとする試みがなされた。例えば、松本ら[10]は前述の「ESSO OSAKA」を供試船型として、直進状態、操縦運動中およびプロペラ作動時の船尾まわりの左右非対称流場を計測し、さらに、実験的方法により求めてきた相互干渉の数学モデルについて従来の結果を整理して示した。

(5) 浅水域、低速航行時および狭水路等における操縦性能

港湾内や運河のように水深が浅く、多くの船が輻輳しており、さらに側壁などの障害物が存在する海域においては、操縦性の問題は極めて重要になる。IMO勧告による操船ブックレットの中に盛り込まれる内容の中にも、浅水域における操縦特性を示すことが要求されている。しかしながら、現実問題として浅水域において実船試験を実施することは極めて困難であるため、実船試験以外の方法が求められた。

浅水域を対象としたMMGによる数学モデルの適用の可能性について、芳村[11]は船長3mのPCC模型船に関する浅水域でのシミュレーション計算を行い、この推定結果と自航試験結果は良く一致することを示した。また、平野ら[12]は、比較的豊富に存在する深水域での流体力のデータを基に浅水域における流体力を推定することができれば有用であるとの考えから、小縦横比揚力面理論を応用して、主船体に働く流体力の線形項に関して深水か



図1.2.7　操船シミュレータ（運輸省船舶技術研究所）

ら浅水に至るまでの広範囲にわたる簡便な近似式を提案した。

低速操船時に問題となる点は、船速が小さくなることによって、舵等の制御力を含む水面下の船体に働く流体力が著しく小さくなり、相対的に外力の影響を受けやすくなることである。これらの問題については文献[13]にまとめられており、PCCやLNG船等の上部構造物の大きい船では風の影響が大きく、風速船速比が大きくなると操船不能となるケースも起こり得ること、低速時は舵の制御力が低下しているので操船が困難になること、潮流については、船速と潮流速度が同程度となるため、バース付近の操船に及ぼす影響は無視できないこと等が示された。

運河内等の狭水路や突堤・岸壁近くを航行する場合や複数の船舶が近接して航行する場合には、船体と側壁の間あるいは船体間に吸引力が発生することが知られている。この点に関して、貴島ら[14]は狭水路および複数船の相互干渉を同時に扱い、細長体理論を基に狭水路中を複数の船が近接して航行する際に各々の船に作用する流体力を計算し、船長比、船速比、側方距離、水深の影響等を明らかにした。

(6) 運航自動化技術

経済的に船を運航するという観点から、少人数化を目的とした船舶の運航自動化のための努力が払われている。特に、タンカーを対象とした航行の安全性の向上、省力運航や乗員の負担が少ない運航管理という立場から、運航自動化技術に対する要請が大きくなっている。近年の物流量の増加により輻輳海域において安全性を確保することはハードとしての性能向上だけでは困難であるとの考えから、安全な操船を図る別の手段として、操船者が的確な判断を下せるよう支援するシステムの開発が求められた。

こうした背景から、1983年（昭和58年）から1988年（昭和63年）にわたって将来の海陸一体化による高信頼度知能化船実現のための要素技術開発研究である高度自動運航システムの研究開発が行われた。運輸省船舶技術研究所では、出入港自動化システムの安全評価技術の研究が実施された。この研究の一環として、自動航行システムの安全評価を行うための総合的なシミュレーションシステム「SISANAM」が完成した。同システムは、高度自動運航システムの開発成果の評価をはじめ、操船における判断・意思決定過程の知識工学的分析研究、避航システム、海上航行管制問題、各種狭水域航行問題の研究等、多様な目的に使用されつつある。

船の操縦運動の力学的解明が進展し、その数学モデルの確立、運動推定法の発展により、シミュレーション計算に基づいて操船方法を検討していく方法が可能となりつつあった。

特に、IMO操縦性暫定基準を満たす船舶が全ての操船局面において安全性を満たすというわけではなく、港湾内や運河のように多くの船が輻輳し航行の安全性が問題となる海域については、操船シミュレータを用いて設計者が操船者とともに安全性の評価を行うことが必要であるとの認識が高まった。例えば、外乱下における港湾内操船等の総合的な安全性検討ツールとして、デスクトップ型の簡易シミュレータや模擬ブリッジおよび模擬視界を有する操船シミュレータが開発された。

参考文献

1) Inoue, S. 他：I.S.P., Vol.28, No.321（1935）
2) 不破健：造船論、第134号（1973）
3) 運動性能委員会：操縦性能の予測と評価、第4回シンポジウム、日本造船学会（1987）
4) 大森哲也他：造船論、第176号（1994）
5) 藤野正隆他：造船論、第177号（1995）
6) Fujii, H.： Proc. of MARSIM and ICSM '90（1990）
7) Kose, K. et al.：Proc. of MARSIM '93（1993）
8) 岡本洋他：造船論、第131号（1972）
9) 貴島勝郎：造船誌、第801号（1996）
10) 松本憲洋：大阪大学学位論文（1995）
11) 芳村康男：関船誌、第200号（1986）
12) Hirano, M. et al.：西船報、第69号（1984）
13) 運動性能研究委員会：マリンビークルの運動制御、第6回シンポジウム、日本造船学会（1989）
14) 貴島勝郎他：制限水域における船の操縦性、第3回操縦性シンポジウム、日本造船学会（1981）

第2章　強度

2.1　構造

1973年（昭和48年）と1979年（昭和54年）の二度にわたる石油危機を契機に船舶の大型化及び高速化は終焉した。それと同時に世界的な海運造船不況に突入した。原油の値段が1バレル当たり1.6米ドルから12ドルになり更に34ドルになったので世界中に省エネルギーの風潮が漲り、荷動きの増大は止まりやがて減少へと移行した事と、海運・造船業界共に設備過剰になった事が不況の原因であった。

省エネルギー時代の船において最も重要な事は、燃料消費を減らす事である。このため船型の改良、推進効率の向上、主機の燃料消費量の改善及び推進プラントの効率向上に努力が払われてきた。この場合の主役は船型設計者や機関設計者それに主機メーカーであった。

省エネルギーに関しては、構造技術者はそれ程貢献できなかった。船殻重量を切りつめて軽い船にして、それだけ船の寸法を減らせば船の抵抗が減るという消極的貢献にすぎなかっただけでなく、省エネルギー船型や省エネルギー主機の出現による環境変化に翻弄される立場となった。

1970年代に入り、海洋環境保全の見地から大型タンカーのタンク寸法の制限が行われるようになった。次いで1990年代になって大型タンカーに二重船殻構造が要求されるようになった。構造強度の面から合理化を図ってきた努力が、社会的環境の変化により空しくなってしまった。

2.1.1　海洋汚濁防止

海洋汚濁防止の見地から、1970年代になってタンカーのタンク容積の制限が行われるようになった。IMCO（International Maritime Cooperative Organization 国際海事協力機構）のSBT（Segregated Ballast Tank バラスト専用タンク）規制によって、損傷時の油流出量、バラスト専用タンクのバラストのみで所要の吃水がとれること、及び座礁による損傷長さが仮想されそれによる油流出量の制限が実施されるようになった。

この規制による70万重量トン及び100万重量トンタンカーの試設計が行われた。70万重量トンタンカーについては、L/B＝5.0及び5.5、縦通隔壁3條及び4條の組合せについて、100万重量トンタンカーについてはL/B＝5.0縦通隔壁4條の配置に関して、それぞれHorizontal Main及びVertical Mainの構造の試設計が行われた。応力・撓み・振動等の検討も行われ、実現可能の結論が得られた[1]。

第Ⅳ部の第2章の図2.1.4に100万重量トンタンカーのタンク配置を他の船に並べて示したが、船側タンクは巾18.55m、長さ23.2m、深さ45.5 mの井戸のような形状になっており、一つのタンクにトランスリングが3枚入っていて、合理化前の10万重量トンタンカー「Universe Apollo」号の再来を思わせる。

結局、経済的理由や損傷時の危険が大きすぎる事などから、70万重量トンや100万重量トンタンカーは実現しなかった。

このように海洋環境保全の見地からタンク寸法の制限がなされてきていたが、1989年3月のアラスカ沖でのVLCC「エクソン・バルデーズ」の座礁による油流出事故を契機として、タンカーの二重船殻構造が要求されるようになってきた。一重船殻構造に比べて約20%の重量増加になるといわれている。合理化により1%とか0.5%の重量減少に努力してきた構造技術者には青天の霹靂であった。

耐衝突・二重船殻構造については、1960年代に原子力船建造のために研究されたが、その後発達した電算機による計算技術と模型実験の計測技術を用いて、新しい研究が実施されている。

一重船殻構造の従来型VLCCでは、クロスタイは船側タンクに設けるのが普通で、船側外板と縦通隔壁の竪桁をクロスタイで結合して強度を保持していた。二重船側構造になると、船側構造だけで充分強度を保持できるので、クロスタイは中央部タンクに設け、縦通隔壁の竪桁同士を結合して強度を保持する構造配置が出現した。

二重船殻構造自身は、貨物船や撒積貨物船の二重底やコンテナ船の二重底及び船側構造で既に経験済みであるが、タンカーのように比較的荷重の大きい船の船底と船側を二重構造にした例は少ない。二重船殻構造は一体として作用する時は剛性は深さの2乗に比例し、強度は深さに比例する。二枚のパネルが別々に作用する時は単なる重ね梁となり、深さに関係なく一枚のパネルの2倍の剛性及び強度を持つにすぎない。二重船殻構造を一体として有効に作用させるためには適当に桁を設ける必要がある。桁の数や配置が研究され、二重船殻構造の最適設計法が確立された[1]。

2.1.2　海難損傷

1980年12月に、北太平洋を航行中の大型撒積貨物船「尾道丸」の船首部が折損し、船首部は沈没、主船体は1ヶ月余りの漂流後沈没した。この冬には同海域で13隻の船舶

が沈没あるいは大損傷を被っている。又、これより先に同海域同季節に1969年には「ぽりばあ丸」が、1970年には「かりふぉるにあ丸」が沈没している。更に遡れば、1935年の第四艦隊事件がある。

第四艦隊事件は折損した船首部は沈められたが主艦体は残って居り、調査の結果原因が明らかになった（第Ⅲ部　第2章　第2.1項参照）。「ぽりばあ丸」と「かりふぉるにあ丸」については、物証がないままに、その原因の究明が試みられた。「尾道丸」は結局は沈没してしまったが、その漂流期間中に充分の調査が行われた。そして開発された波浪中の船体運動計算プログラムによる計算、弾性模型による波浪中の曲げモーメントの計測等により、荒天時の波浪による船体縦曲げモーメントと同時に船首船底にスラミング衝撃力を受けて、船体破壊に至る機構が解明された[1]。

スラミング衝撃力は、フレアーの大きい船では船首船底のみならず、船首部の船側外板にも作用して船体縦曲げモーメントに影響を与える。コンテナ船で船首部右舷船側に波浪衝撃を受け、船側外板にクラックが6.6m水平に走り、船首隔壁に沿って更に3.5m下方に進行した例がある。この衝撃で船首部全体が捩り変形を生じている。

船首部の波浪による衝撃圧は波高によって変化するが、船速によっても変わる事が明らかにされた。異常海象に遭遇しても充分船速を下げれば損傷を防ぐ事が可能であろう[2]。

1990年から1991年8月までに、大型撒積貨物船21隻が300名の乗員と共に姿を消した。いづれも船齢20年に近い老齢船であった[3]。一方海運不況の折から船齢延長の空気が強くなっていた。老齢船の現状を観察して余命を推定する技術が求められた。

修理船に於いては、従来は損傷箇所を復旧するのが一般的であったが、損傷状態によっては次の三通りの方法が適用できる。

1）放置する。
2）復旧した上で補強する。
3）船の余命を考えて、元よりは弱い状態に戻す。

このような要求に対しては高度の技術が必要である。又、船体構造設計は船体構造の揺り籠から墓場までを考慮すべきであるという考えにも説得力がある。かくして疲労設計、破壊管理制御の研究が脚光を浴びてきた。

然し、このような高邁な理論に依らなくても船は保守次第で豊かな一生を過ごす事ができる。「妙齢23歳」と題したエッセイの一部を以下に紹介する[4]。

「（前略）人間で云えば、平均寿命を遥かに過ぎた年齢であるが彼女は全く年を感じさせない若さである。23才の妙齢の婦人と云う事ができる。外板、デッキ周りには全く錆が浮いていない。機関室もピカピカである。居住区は実際に新築のホテルと変わりない。操舵室には鉢植えの草木が夫々に花の美しさを競い合っていた。

その昔、日本船を訪問した時、デッキ周りに錆が浮いて、浮いた錆が落ちてその辺りに山をなしているのを見て悲しい気持ちになった事、そしてアマゾンにパルププラント建設現場を訪ねた時、十数カ国から技術者・労働者がやってきて生活していたが、住居のまわりに草花が植えられていないのは、日本人住宅だけであったのを思い出した。（中略）

本船が船齢23才であるにも拘わらず、若々しく働いている理由は色々あるが、第一は船主の経営哲学であろう。丈夫で長持ちする船が一番だと最初から長寿命を目指して設計建造された。トップの経営哲学に沿って技術陣は成るべく金をかけずに長寿命を達成するよう努力した。そしてトップの経営哲学は時代の流れの中で、常に船の問題点を先取りしていた。（後略）」

20世紀も終わりに近づき、日本の造船技術も成熟してきた。電算機によればいくらでも計算ができて結論が得られるようになってきた。日本は電算機を駆使した造船技術で世界に貢献するために、技術立国を目指すべきであるといわれている。構造技術者は、船体構造を相手にするのではなくて電算機を相手にするようになってきた。然し上述のエッセイのように基本に立ち戻り、初心に帰る必要があるのではないかと思われる。

TMCP鋼の出現と、不況によるコストダウンの圧力により、船殻構造に高張力鋼が大巾に使用されるようになった。第Ⅳ部第2章第1.2項で述べた一時代前の高張力鋼の使用は、充分強度に余裕があると考えられた縦強度部材に限られていたが、1970年代からの二世代VLCC（Very Large Crude Oil Carrier 25万トンタンカー）では、大型化により損傷を多く経験した強度に充分余裕があるとは考えられなかった横強度部材にまでも広範囲に適用した。

高張力鋼は字の如く張力が軟鋼に比べて高いが、ヤング率即ち剛性は軟鋼に等しく、又疲労強度は張力が高くなった程には高くなかった。従って高張力鋼を用いた部材そのものの強度は充分保持されていても、その部材の変形が大きくなり二次的悪効果を生じた。

第Ⅳ部第2章第1.2項に述べられているように、タンクの長大化により船側外板と縦通隔壁間に相対変位が生じ、船底横桁の両端固定の設計条件が崩れ、船底横桁にク

ラックや座屈を生じたように、高張力鋼で作られた船側竪桁の変形が大きく、船側竪桁で支えられている船側縦通肋骨の両端固定の条件が崩れ、その両端に付加モーメントが生じた。特に変形のない横隔壁とそれに隣接する船側竪桁との間の相対変形が大きく、クラックはこの部分に集中して生じた。

船殻構造は、もともと壊れない条件即ち応力を基に設計されてきたが、それでも桁のスパンと深さの比は、タンク外では15、タンク内では8、船首隔壁後方の防撓肋骨のそれは22、船体自身の長さと深さの比は17といったように撓みを制限する条件がついていた。

直接計算による設計が一般に行われるようになってからは、撓みによる付加応力の加わった応力値が得られるはずであり、特に部材の撓みを規制する必要はないと考えられたが、設計者は普通の荷重による応力と支持点の変形による付加応力を分けて、それぞれを考慮しながら設計を行うのが本筋であろう。

上記のクラックは、肘板や平鋼と船側縦通肋骨との溶接部の応力集中箇所に生じており、肘板や平鋼をソフトトーにする事によって防ぐ事ができる。

2.1.3　信頼性設計

統計的な応力解析を行い、鋼板の実体強度を明らかにして損傷確率を基に合理的許容応力を定めて設計を行う、新しい理論的信頼性設計の研究が行われた。

信頼性とは、船舶がどの程度安全であるかを示す尺度であり、信頼性設計とは目標とする信頼性を保つための設計手法である。従来からの経験的信頼性設計では、目標は従来よりもよりよい安全であった。船体構造設計では、外力が構造の耐力を超えると損傷が生じ安全が脅かされる。外力も耐力も一義的な値を持つものではなく、ばらつきを持った一種の統計量である。図2.1.1に示すように外力と耐力の分布が重なっている部分で損傷が生ずる可能性がある。

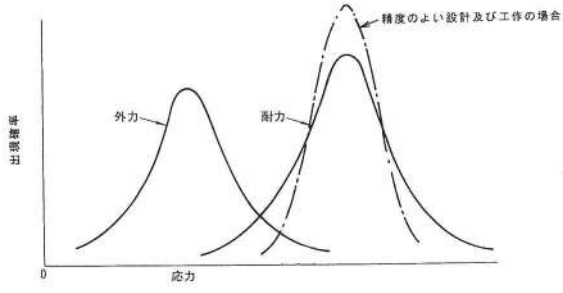


図 2.1.1　破損の確率

この部分を少なくするためには、耐力を右にずらす即ち耐力を上げればよいが、(安全率を大きくする) それでは重量増加になる。耐力のばらつきを減らして鋭い山にすれば、重量増加なしに信頼性の向上が得られる。設計及び工作の精度向上である。

設計の主要部分を占める構造応答計算は、最近の電算機の発展により骨組モデルや有限要素法を用いて精度よく計算できるようになり、計算結果も模型実験或いは実船計測とよい一致をみせている。然しこのような計算結果は、モデル化の方法、周辺条件のとり方によって大きく左右されるので、それらの標準化が重要である。第Ⅳ部　2.1.4に述べられているように、あらゆる設計、工作等の作業の標準化を行い、その標準を使いながらフィードバックにより改良していくと、耐力の分布のばらつきが減少して信頼性が向上する。

理論的信頼性設計を行うためにも、必要な種々の統計量について、その変動係数をまず把握し、ついでその値を小さくして損傷確率を下げるために、標準化及び標準の体系化が大切である。設計基準、検査基準及び運航基準は、船舶が一生涯に出会う各種変動量の変動係数を一定の枠の中に入れて、信頼性を保つために重要な役目を果たす。(第Ⅳ部の図2.1.9参照)

船舶の信頼性向上のために、又長期的世界的な海運造船不況の中で生存競争に勝ち残るために、付加価値の高い船舶を建造しようと、種々先端技術が採用された。計測技術と電算機による計算技術である。

大型船の海難事故に刺激されたり、無振動船を目指したりして、実船計測や模型実験が盛んに行われた。これらには最新の計測技術が駆使された。1950年頃船体振動計測にガイゲル振動計1台を持ち歩いたのに比べて、雲泥の差がある。

構造模型による局部構造の静的応答は勿論衝撃応答の計測、実船計測では長期間の少数点に於ける応力頻度の計測と、多数点に於ける応力の同時計測が主に行われた。1970年代の始め頃までは計測員が乗船して計測を行っていたが、その後は完全無人の自動計測となった。船体の縦曲げ応力のみならず、横強度部材の応力も計測されている。タンカーでは計測機器に防爆対策を施した。甲板の応力計測には、光電式応力頻度計や機械式応力頻度計が併用された。

鉱石運搬船の実船計測では、船内の鉱石圧や横強度部材の応力の他に、船首部外板のスラミング圧力や甲板の青波水圧の計測も試みられ、計測点は100点を超えた。計測で得られたデータは電算機で処理された。

電算機プログラムでは、T-SAP、PASSAGEに続いて、座屈解析プログラム、最終強度解析プログラム、信頼性解析プログラム、船体表面の変動水圧計算プログラム等が開発された[1]。

船体構造の最終破壊強度を理論的に究明し、設計・工作・保守を合理的に行うための、船体構造の破壊管理制御の研究が開始された。この研究成果は、就航中の船舶の損傷時の対策決定にも活用されるものと期待されている。(第Ⅴ部第2章2.1.2項参照) 波浪外力・構造応答・材料加工・工作精度・亀裂伝播・脆性破壊伝播を含む総合的な破壊管理制御システムを確立するものである。

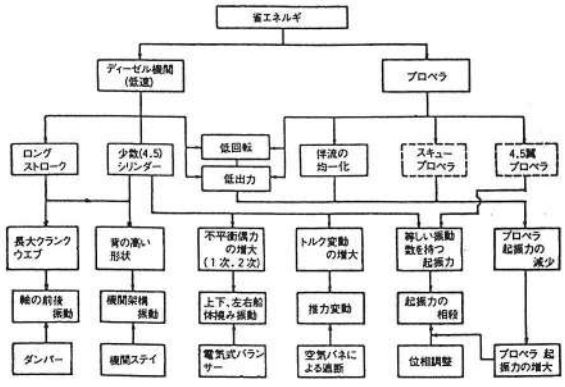


図 2.1.2　省エネルギー環境に生じた船体振動問題

2.1.4　騒音振動

客船に関しては従来から騒音・振動に注意が払われていたが、経済的に高度成長を遂げ豊かな時代になって、一般の船舶においても居住性の改善が要求されるようになってきた。1975年（昭和50年）の全日本海員組合と船主団体との間の確認書では、乗組員の居室の騒音許容値は65dBとなっている。新幹線内の騒音レベルが80dB程度である事を考えると、この許容値はかなり厳しい値である。又、1970年代になってからは、外国船主からも騒音規制の要求がでてきた。

このような環境のもとで、騒音の研究が始められた。諸外国の文献調査から、SEA法（Statistic Energy Method）による固体伝播音の計算まで行われるようになった。大型船では、騒音源である機関室や推進器に近い上部構造の上甲板には、居室を設けない配置が採用された。制振鋼板が開発されて、補機台や居室の鋼壁に利用する試みもなされた。

推進器の翼が伴流の大きい領域に近づいた時に瞬間的に発生するキャビテーションは、騒音源・振動源となる事が知られて居り、これを防止するためにハイリースキュード・プロペラの研究が行われた。通風ダクトの騒音を、位相が逆の音波を発して消去する能動的騒音制御の研究も行われた。

省エネルギー時代になって船体振動を取り巻く環境がすっかり変わってしまった。推進効率を上げるために伴流の均一化、大直径低回転推進器の採用及びハイリースキュード・プロペラの採用等推進面からは、船体振動によい環境がつくられた。船型の改良、推進効率の改善及び低速運航により必要馬力が減少した事も好都合であった。

一方主機の方は、燃料消費量改善のために出現した少数気筒長行程ディーゼル主機は、いろいろと振動問題をもたらした。図2.1.2にそれらの関連を示す[2]。

長行程機関ではクランク軸のウェブが大きくなり、クランク軸の前後方向の固有振動数が低下し、推進器の推力変動と共振する可能性が増加する。又、少数気筒と相俟って背の高い形状となり、機関の架構自体の前後・左右振動が起こり易くなる。少数気筒では一次及び二次の不平衡偶力が大きくなると共に、トルク変動が大きくなり、推進器が一様に回転しないで振り振動をしながら回転するので推力変動を惹起する。

図2.1.2の最下段に、それぞれの問題点に対する解決法が示されている。少数気筒即ち4気筒及び5気筒の主機はそれぞれ4次及び5次の起振力を生ずるので、4翼或いは5翼推進器と組合わせれば、それぞれの起振力を相殺する事ができる。巷間では、4気筒には5翼、5気筒には4翼の組合せがよいといわれているが、振動数の異なる起振力の組合せでは唸りが生じ好ましくない。

推進器と主機の起振力の振動数が等しい時には、Phasingによって相殺できる。最初の頃は、推進器の取付角度の異なった状態で2回振動計測を行い、推進器と主機の起振力のベクトルを求め、最適の取付角度を決定していたが、その後の研究により、今では最初から最適取付角度を計算によって得られるようになった。

バランサーは、問題となった振動と逆位相の振動を発生させて振動を消す装置の事であるが、種々の形式のものが開発された。最も一般的なものは主機の前後部に取り付けられるチェイン駆動の機械式バランサーと、船尾端に据え付けられる電動式バランサーである。いずれも不平衡重錘を回転させて起振力を発生させる。

質量・ばね系を利用した受動型ダンパーも数多く開発された。上部構造の制振用に質量として水、ばねとして密封された空気を用いたもの、遠心振子を用いたものも

実船試験を行い有効性が確認された。

空気ばねによる推力変動遮断装置は極めて有効であった。ただし、主機と推進器が直結型の軸配置には適用できないのが難点である。

1980年代の後半に無振動船プロジェクトが行われた。無振動を船舶のセールスポイントとして、折からの造船不況を乗り切ろうという狙いである。日本の造船大手7社の共同研究として実施された。学が参加しなかったのは、船体振動を専門として研究している適当な学者が居なかった事と、学者を通じて成果が外部に洩れるのを恐れたためであった。この頃では秘密主義がこれ程にまでになっていた。本プロジェクトの全体像を図2.1.3に示す。

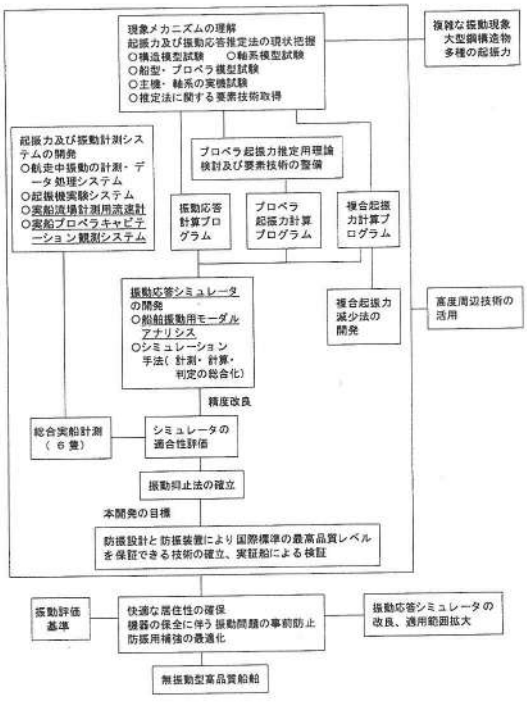


図 2.1.3　無振動船のプロジェクト全体像

参考文献

1) 日本造船研究協会40年史（1993）
2) 間野正己：船体構造設計、船舶技術協会（1993）
3) "BULK CARRIERS - THE SAFETY ISSUES" LLOYDS REGISTER SEMINAR（1991）
4) 間野正己：造船誌、第790号（1995）
5) 日本学術会議造船学研究連絡委員会：新しい造船学（1990）

2.2　材料強度

1970年代、船舶は巨大化する傾向にあったが、船殻材として高張力鋼（50キロ級）を広範囲に採用することが検討された。一方溶接作業性や能率の向上、コストの低減による船舶の短期建造体制を確立するために種々の大入熱溶接法が採用される傾向にあった。大入熱溶接継手部はその靭性がかなり劣化すること、この傾向は高張力鋼になるほど敏感になるなどの重要な問題が提起され、多くの研究が行われた。新材料の開発や大入熱溶接法の開発が行われた。このようにして大手製鉄会社、関連の溶剤メーカー、大手造船会社の船殻設計担当者ならびに破壊力学研究者の強力な共同研究体制の素地が築かれた。脆性破壊、疲労破壊などを解析する破壊力学の手法を実船の設計に適用していく場合の問題点の整理と設計者のニーズに応じた研究の促進の必要性が強く認識された。船の設計、建造時は無論のこと完成後の稼働中を含めてトータルに安全性を確保するためには破壊力学研究者、設計技術者、建造技術者、船舶の保守管理者などすべての関係者の事故を防ぐための緊密な連携が必要であるとする、いわゆる"破壊管理制御あるいはフラクチャーコントロール"の考え方を導入する努力が開始された。上述のような動きは船舶工学において破壊力学の重要性を認識させた画期的なことと言える。

1973年と1979年の2度のオイルショックを経験し、造船工業界は深刻な不況に見舞われ、これを打開するために各種の省エネルギー施策が材料開発および溶接工作技術の観点から官民をあげて強力に推進された。このような状況のもとで世界最高水準にあるわが国の製鋼技術を駆使した熱加工制御法（Thermo-Mechanical ControlledProcessing）が開発され、いわゆるTMCP鋼が製造され新たな船殻用鋼材として大きな注目を浴びた。折からの造船不況の中にあってもその研究の重要性から1982年6月から85年5月まで造研プロジェクト"新製造法による50キロ級高張力鋼の有効利用に関する研究（SR193）"が実施された。母材および溶接部の破壊靭性、溶接継手の強度、工作面における新材料の有効利用、船舶および海洋構造物用鋼材の製造面の現状と今後の展望についての各項目ついて精力的な研究が行われた。これと平行して日本海事協会は国際船級協会連合（IACS）に対して日本で開発されたTMCP鋼の船級協会規則への採用を熱心に働きかけ、1986年にはTMCP鋼の名称とともに採用されることとなった。またJIS規格は無論、諸外国の規則にも採用された。

船体への高張力鋼の使用率はかつてにくらべ格段に増

大しているが、上述のようにわが国で開発され、その有用性が世界各国からも認められた結果その後の船体用高張力鋼のほとんどがTMCP鋼であると言っていい。

1980年代後半、高張力鋼を多用した大型タンカーの船側縦通肋骨の水線面近傍の取り合い部に亀裂が多発し、油漏れ事故の発生が懸念された。環境保全の見地からも緊急を要する問題とされた。優れた品質のタンカーを建造するためには高張力鋼の使用は不可欠であることから高張力鋼に対するより適切な疲労強度設計手法を確立することが急がれ、広範な研究が行われた。主要因子と考えられる水線面付近の波浪変動基準の実船計測、水槽実験、これらに基づいた波浪荷重計算法の開発、取り合い部の模型による疲労実験と疲労亀裂進展解析技術の研究、就航実績船の逆解析による検証など、この問題解明のための研究が精力的に行われた。

海洋構造物の建造は船舶にくらべ実績も少なく、材料規格などは多分に経験的であったが、材料強度、外力条件などに関する新しい知見を用いて合理的な解析を行い鋼材を選定する基準に関する研究も多く行われた。初期に材料に存在すると想定される欠陥や応力頻度、最大応力などの外力条件の評価、疲労亀裂進展の評価、ひずみ集中部におけるひずみの評価、ひずみ速度と破壊靭性、欠陥からの脆性破壊強度の評価、靭性要求値の設定などの各種課題が実用的な立場から解析検討された。

海洋構造物に加わる繰返し荷重による材料の疲労強度に関して「Alexander L. Kielland」号が北海で荒天中に大事故を発生したのを契機として世界的に強度基準の見直しが行われた。ブラケット構造、ダブラーパッド溶接部、スティフナー端部、鋼管継手などのホットスポット応力算定法および疲労強度の評価法などについての検討が行われた。また溶接部の品質基準に関してアンダーカットの許容量の提案、各種止端処理の効果の明確化、止端部応力集中係数の計算法、応力集中係数と疲労亀裂発生・進展寿命の関係の明確化などに努力が払われた。

今後の造船技術の研究には環境保全と安全の問題により大きな重点を置くことが要請されるであろうことを考えると材料強度の問題は深くこれに関わることになる。破壊や疲労などの材料強度上基本的な物理現象はまことに複雑多岐であり、専門的基礎研究はたゆまず続けられて進歩していくであろう。しかし、船舶や海洋構造物など複雑な外力を受ける複雑な構造物にこのような成果を応用し実用化することには種々困難を伴うであろう。造船技術者には材料技術者、材料強度研究者とますます密接な連携を保ち、協力体制を充実していくことが強く求められる。

2.3　接合

2.3.1　船舶におけるアルミニウム合金の接合技術

アルミニウム合金の船舶分野における使用は、1970年代以降著しく増加した。その代表的なものはアルミニウム合金製の高速船であり、LNG船のアルミニウム合金製タンクである。以下に、アルミニウム合金製船舶における接合技術の変遷とLNGタンクの建造における溶接技術の開発とその適用について紹介する。

表2.3.1　アルミニウム合金に適用される溶接法

溶接法		出力範囲	主適用	板厚範囲
ティグ	交流ティグ	＜500A	全姿勢	＞0.4mm
	直流ティグ	＜1000A	下向	0.4～50mm
	プラズマ（交流）	＜300A	（裏波）	＞6mm
ミグ	細径ミグ	20～80A	全姿勢	0.4～1.6mm
	コンベンショナルミグ	＜500A	全姿勢	＞6mm
	エレクトロガス	＜800A	立向	25～100mm
	パルスミグ	50～300A	全姿勢	＜12mm
	大電流ミグ	500～1000A	下向	＜100mm

アルミニウム合金の溶接に適用されているアーク溶接法の種類と適用を表2.3.1に示す。溶接法の原理そのものは、既に1970年以前に開発または提案されたものであるが、1970年以降の利用技術、施工機器の進歩には目を見張るものがある。特に図2.3.1に示すように、パルス溶接技術と大電流溶接技術の進歩によって、溶接施工法の面で厚板溶接の高能率、高品質化、各種姿勢の溶接の自動化に著しい進歩が見られた[1]。

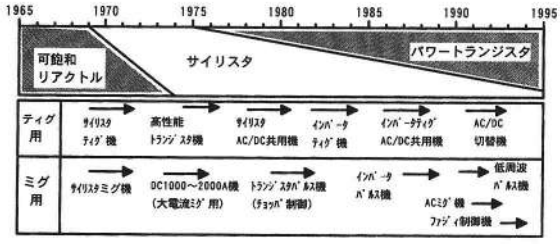


図2.3.1　軽金属用アーク溶接機のエレクトロニクス化

(1) アルミニウム合金製船舶における接合技術

時代は溯るが、わが国において本格的なアルミニウム合金製の船舶が建造されたのは、巡視艇「あらかぜ」(1954年、15m、20ノット）が最初である[2]。「あらかぜ」には

新しく開発された高強度でかつ溶接性と耐食性に優れたAN系合金（現在のA5083）が用いられ、その溶接にはイナートガスアーク溶接のティグ溶接が本格的に適用された。溶接機は国産の4台が用いられたが、外板、甲板の板厚は3～3.5mmと薄く、溶接ひずみの防止に苦労したことが記録されている。横部材の隅肉溶接は溶接時のひずみを抑えるためには、断続溶接が望ましいが、溶接の始端終端にクレータ割れが生じがちであるため、連続溶接がなされた。早期にクラックを発見するために、溶接部は建造中に8～50倍の虫眼鏡による検査とダイチェックが行われたと記録されている。なお、Z形材の縦通肋骨と外板の接合および隔壁と外板、甲板との接合にはリベット接合が適用され、リベット絞め数は約37,000本と記録されている。「あらかぜ」は20年間の巡視船、その後7年間の訓練船としての任務を全うし、その後のアルミニウム合金製船舶の普及に大きな役割を果たした。

「あらかぜ」の次に建造された魚雷艇3号（1956年、27m）の溶接には米国リンデ社から輸入されたミグ溶接機が用いられ、溶接によるひずみの発生を小さくすること、工数の削減に威力を発揮した。

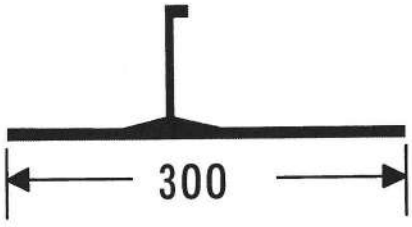


図 2.3.2　300mm幅押出形材

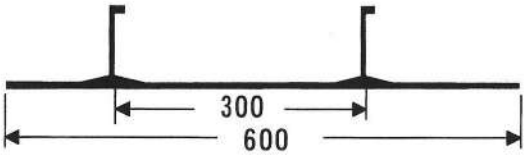


図 2.3.3　大型押出形材

その後、骨材と外板が一体となった押出形材が開発され、溶接によるひずみの防止、工数の削減などの観点から、アルミニウム合金製船舶への適用が拡大した。その結果、リベット接合は上部構造などの薄板部分に残る程度となった。図2.3.2は魚雷艇11号（1971年、35m）に適用された300mm幅の押出形材である。さらに大型客船「シーホーク」（1977年、45m、30ノット）では600mm幅の大型押出形材（π材、図2.3.3）が使用された[3]。「シーホーク」では船底は従来のリベット接合と溶接の併用であったが、2番船「マリンスター」では船底にもπ材が使用され、さらに上部構造に、より押出性に優れた6N01材による板厚3mmの押出し形材が用いられるようになり、π材はアルミニウム合金船に最大限適用されるようになった。「シーホーク」ではπ材の突合わせ溶接にミグ片面自動溶接が初めて適用され、ひずみを最小に抑えるとともに能率の大幅な改善に成功した。

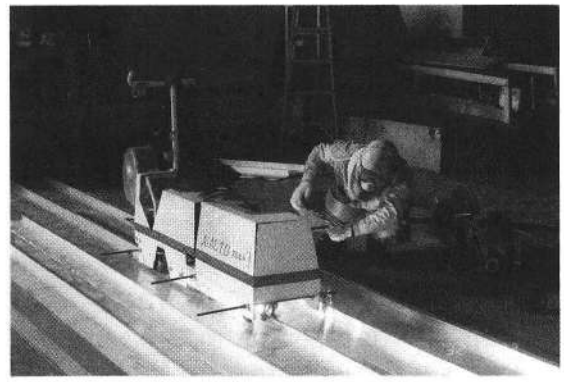


図 2.3.4　π材の板継ぎ専用自動溶接装置

今日ではπ材の突合わせ溶接専用の自動溶接装置が開発され一層の作業の効率化が図られている（図2.3.4）[5]。この装置は突合わせる2枚のπ材の骨部をローラーでクランプしながら倣う片面自動溶接装置である。装置自身の重量により溶接部近傍の目違いを順次矯正することができ、仮付けが不用となるため、π材の板継ぎに要する時間を、従来の約1／3に削減することが可能となった。さらに、最近の大型の高速艇においては押出形材の製造能力を超えた構造に、アルミメーカの専用工場で自動溶接された広幅のプレリブと呼ばれるπ材を使用したり、あるいは同様の性能を有する構造を造船の現場で形成す

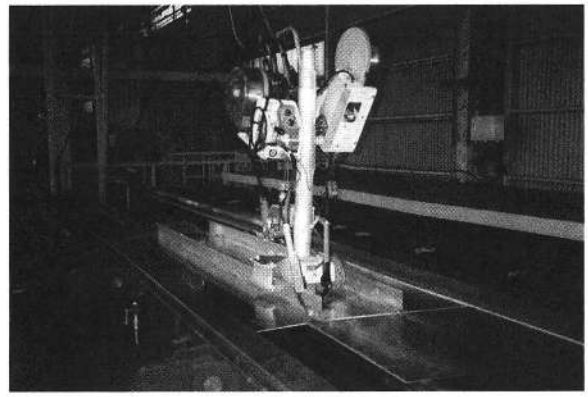


図 2.3.5　大型アルミニウム船における骨材の自動溶接装置

る専用の溶接装置（図2.3.5）の開発が行われた。この装置は板材の両端をつかみテンションをかけながら骨材を隅肉溶接するものであり、π材と変わらない外観と形状を有する溶接構造を形成することが可能となった[5]。

護衛艦などにおける特殊な接合形態として、鋼とアルミニウム合金との異種金属同士の接合がある。これは船舶の重量の軽減および重心の降下をねらって、鋼製の船体構造にアルミニウム合金製の上部構造を採用したものである。従来は鋼とアルミニウム合金との間の接合にはボルト、リベットなどによる機械接合が用いられていたが（図2.3.6）、接合部に電食防止用絶縁材の挿入などの手間が必要なことや、接合部での隙間腐食、水密性、強度などの問題があり、アルミニウム／チタン／鋼で構成される爆発圧着法による異材継手（STJ：Structural Transition Joint、図2.3.6）が開発され、ケーブル施設船「瀬戸丸」（1979年）に初めて採用されて以来、護衛艦のほか観光船、漁船などに用いられている。SWATH船型の調査観測船「ことぢき」（1981年、27m、20.5ノット）もその一つである。また、STJはLNG船のアルミニウム合金製のタンクと鋼製の船体との接合にも用いられている。

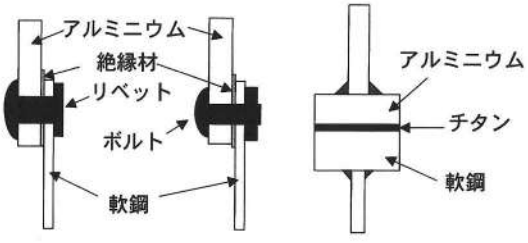


図2.3.6　アルミニウム合金と鋼との接合

(2) LNG船用タンクにおける溶接技術

(a) MOSSタイプLNG船[4) 6) 7)]

わが国におけるMOSSタイプのLNG船は1981年に竣工したGOLAR SPIRITに始まる。タンク本体は内径約40mのアルミニウム合金製（A5083-O）球形タンクで、1船に4～5個搭載されている。板厚は半球部で30～60mm、赤道部の最厚部は約200mmである。図2.3.7にはタンクのブロック分割と適用溶接法の一例を示す。タンク本体の溶接は、厚板を高レベルの品質と工作精度を維持しながら効率よく施工するため、ほぼ100%自動化され、大電流ミグ溶接法、全姿勢ミグ自動溶接法、狭開先ミグ自動溶接法などが適用された。

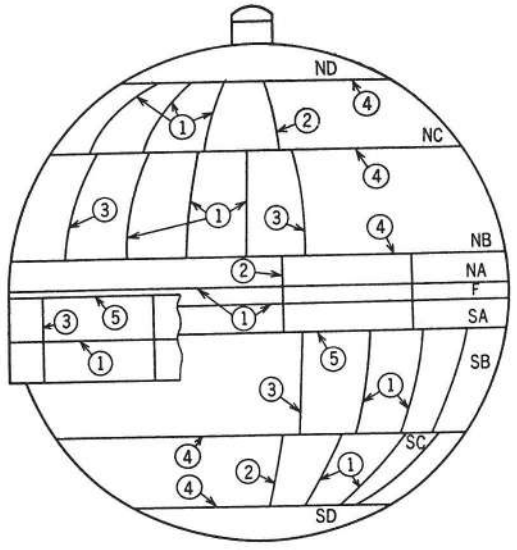


図2.3.7　球形タンクのブロック分割の1例と適用溶接法

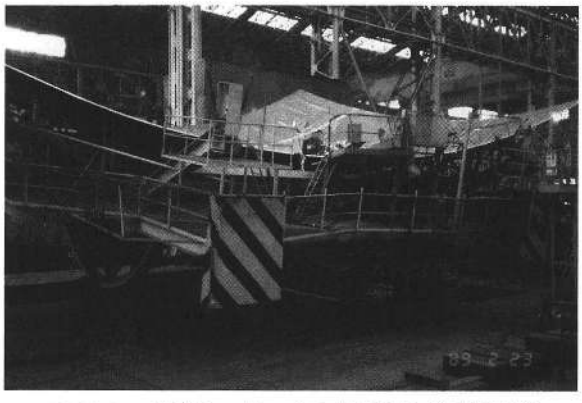
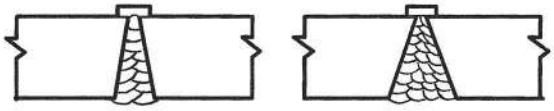


図2.3.8　ポジショナー上の大電流ミグ溶接作業

大電流ミグ溶接では、パッカリングと呼ばれる大電流域で発生するアークの不安定現象を防止するための種々の工夫がなされた。その1つとして良好なシールドが得られる2重ないし3重シールドトーチが使用された。また施工は溶接姿勢を常に適正な角度に保つため、大型ポジショナ上で行われた（図2.3.8）。ブロック継手や赤道部の溶接には、狭開先自動溶接法（立向または横向）が適用され、板厚30mm～200mmの広範囲にわたる溶接を従来の約1／2のパス数で施工可能となった（図2.3.9）。

狭開先溶接法では融合不良の発生を防止するために、



狭開先立向溶接　　従来立向溶接

図 2.3.9　狭開先ミグ溶接法の開先形状の１例

ワイヤのオシレート法や電流の制御法に工夫がなされている（図2.3.10）。

溶接部の検査の自動化も行われた。図2.3.11はその１例

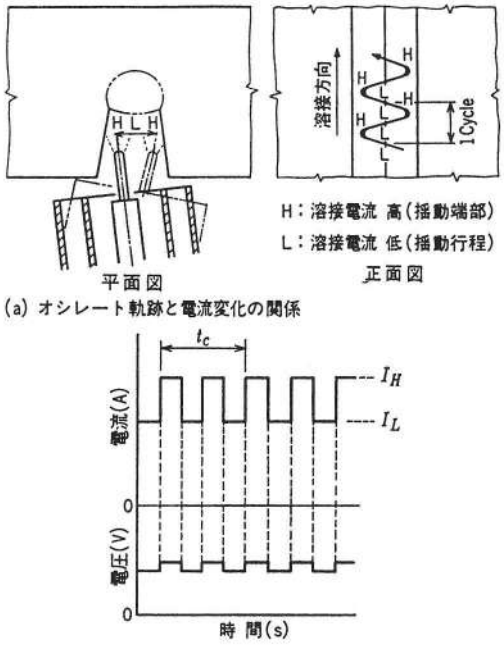


図 2.3.10　狭開先ミグ溶接法の原理

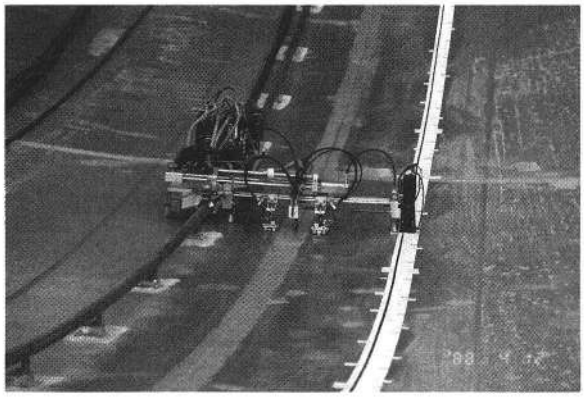


図 2.3.11　自動超音波探傷装置

で、狭開先ミグ溶接部の検査用に新たに開発された自動超音波探傷装置である。この装置は本体と走査機とからなり、溶接線近くに固定されたレール上を自動走査して、欠陥部のエコー高さ、欠陥指示長さ、および位置を出力する。

(b) SPB 方式 LNG 船[8)]

1993年に建造されたSPB（自立角型IMOタイプB）方式LNG船「POLAR EAGLE」には、4基のアルミニウム合金製のタンク（総容量約9万m³）が搭載されている。タンクは板骨構造であり、IMO規則におけるタイプBに属し、詳細な疲労・破壊解析により安全性が立証されたタンクである。タンクの溶接には表2.3.2に示した各種の自動溶接装置が適用され良好な溶接品質が得られた。

表 2.3.2　SPB 方式 LNG タンクの建造における自動溶接法

	溶接装置	溶接法	シールドガス
小組立	フラットバー自動溶接装置	ミグ溶接	Ar
	フェースプレート自動溶接装置	〃	〃
	自動ミグ隅肉溶接装置	〃	〃
枠組立	溶接ロボット	〃	〃
板継	大電流ミグ自動溶接装置（アークモニタシステム搭載）	大電流ミグ溶接	〃
大組立	自動ミグ隅肉溶接装置	ミグ溶接	〃
総組	自動ミグ溶接装置	〃	・Ar ・Ar＋［He50%］（横向き溶接のみ）

枠組み工程では溶接ロボットが使用された（図2.3.12）。X-Yローダー上のロボットはタッチセンサーで溶接箇所を確認し、無人運転により次々と溶接する。

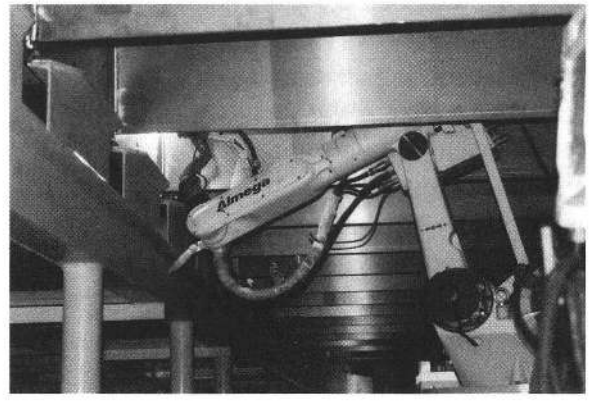


図 2.3.12　枠組み溶接ロボット

板継工程における大電流ミグ自動溶接機には、TV画面

にトーチ位置や溶融グループ内の溶接ワイヤ位置がモニタできるアークモニターシステムが装備され、安定した高品質の突合わせ溶接が可能となった。

参考文献

1)　堺他：軽金属溶接、Vol.22（1984）
2)　あらかぜ資料作成委員会（1982）
3)　浜田：船舶海洋とアルミニウム、軽金属溶接協会（1990）
4)　西垣他：同上
5)　永田:輸送用機器の軽量化と接合､軽金属学会(1994)
6)　原田：軽金属溶接、Vol.30（1992）
7)　南方他：川重技報、第81号（1983）
8)　奥井他：IHI技報、第34巻（1994）

2.3.2　溶接ロボットの適用による脱技量化

従来、製品の信頼性を大きく左右する溶接は優秀な熟練溶接技能者の手に依ってきた。しかし、作業者の高齢化に加え若年層の製造業離れなどで溶接技能者が不足している現在、安定した品質を保つ為には自動化、ロボット化を行い溶接作業の脱技量化を図る必要がある。

(1) 溶接作業

溶接はワークの材質や溶接方法､溶接箇所､板厚等様々な要素から溶接条件が決定される。また、溶接中は作業者がアークの状態や溶接品質が最適になるように溶接機の出力、溶接の狙い位置、速度などを調整している。しかし、この様なことは溶接に永年携わった経験のある熟練溶接技能者の判断で行われていた。優秀な熟練溶接技能者の溶接方法を見ると、溶接トーチの角度を変えたり狙い位置を微妙に変化させながら溶接を行っていることがわかる。これは、永年の経験と勘により得られるもので、教えられてすぐに身につくものではない。溶接技能者の溶接中の動作を大別すると、溶接トーチ先端を溶接線に沿って狙い位置を調整していることと、溶接ワイヤと母材間の溶融状態の監視、及びトーチ操作による溶融状態の制御を行っていることである。また、注意しなければならないのは溶接対象ワークの許容誤差は機械加工部品に比べはるかに大きいことである。同一形状のワークであっても、材料の変形、切断誤差、組立時の誤差が数mm必ずあるといっても過言ではない。しかし、溶接すべき位置と溶接トーチ先端とのズレは溶接品質維持の観点から1mm以内におさえることが必要であり、その追従性は作業者の技量によっている。また、溶接線は3次元的なものもあるので、溶接作業ではトーチ先端の位置決めだけでなく､3次元的なトーチの狙い方向も重要な条件の一つになっている。さらに、溶接速度も重要で、同じ形状の溶接線、同じ狙い方向においては、常に最適の溶接速度がありその速度を守る事が重要である。[1)]

(2) 溶接ロボット

ロボットは、一旦教示すると微妙な動きを何度でも再現することができるので、この熟練溶接技能者が行う溶接トーチの動きをロボットに教示することで、ロボットによる溶接を行う事が出来るようになる。溶接ロボットが一般に普及しはじめたのが1980年頃[2)]であるが、始めは小さなワークを専用の治具で固定し溶接トーチをロボットで移動させていた。その後､ワークをポジショナー上に置き溶接姿勢をなるべく一定に出来るようにする溶接方式が出現したが、対象ワークは比較的小型の物に限って適用していた。よって、ワークの大きい造船現場への適用は進んでいなかった。また､ロボットとポジショナーが同時に動きながら溶接することは出来なかった。やがて、長尺ものの溶接作業についてスラーダーの上にロボットを乗せて移動させながら溶接することが出来るようになり､さらにロボット､ポジショナー､スラーダーを組み合わせ同時に制御することができる様になってロボットの稼働範囲が拡大し、造船現場の大型のワークへの適用が可能になった。また、近年小型可搬型ロボットの出現により、ワーク内にロボットを持ち込む事によって今まで困難だった大型構造物への適用も可能となっている。

(3) センサー技術

従来、溶接は熟練溶接技能者が溶接のアーク状況を目や耳で判断しながら常に高品質になるように溶接条件を変化させていた。またギャップの変化なども瞬時に判断修正し多少の誤差であれば対応することができた。ところがロボットは元来教示された通りの動作しか行わずワークの状況の変化によってロボット動作を修正することが難しかったが、目や耳の替りになるセンサーを用いて状況の変化を検知し、狙い位置を修正したり、溶接条件を変化させてアークを最適な状態に保つ方式が採用されている。現在、ロボット溶接に採用されている主なセンサーについて紹介する。[3)]

(a) タッチセンサー

ワークは位置決め誤差や組立誤差等でロボット教示位

置とのずれが生じそのままロボットを動作させると溶接欠陥を生じるばかりでなくロボットとワークとの干渉が発生する。そこで、溶接を開始する前に教示位置とのずれをセンシングしてその結果をロボットに反映させて動作する。原理は図2.3.13に示すように溶接ワイヤーが母材と接触したときに流れる電流を検出し、そのときのロボットの位置と教示位置とのずれを演算する。

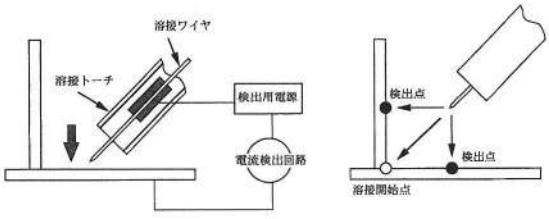


図2.3.13　タッチセンサー

(b) 近接センサー

コアに巻いたコイルを交流入力で励磁しワークとの間に発生する渦電流の磁束の変化をとらえてワークとの距離を検出する事によって、溶接線の位置を演算しトーチ先端の軌跡を修正する（図2.3.14参照）。

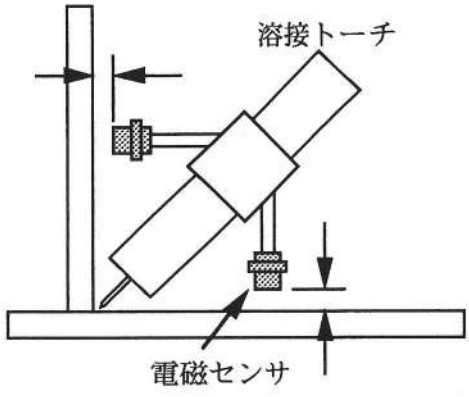


図2.3.14　近接センサー（電磁センサー）

(c) アークセンサー

溶接アーク現象が変化する際の溶接電流、電圧等の変化を検出し溶接線への追従、最適溶接条件制御に利用している（図2.3.15参照）。

(d) 視覚センサー

溶接箇所を直接CCDカメラで追尾しながらロボットを追従させたり、ギャップ量を検出することによって溶接条件を変化させる（図2.3.16参照）。

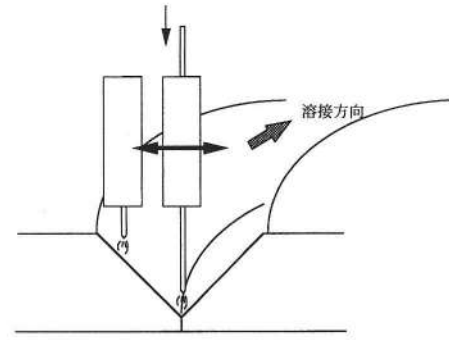


図2.3.15　アークセンサー

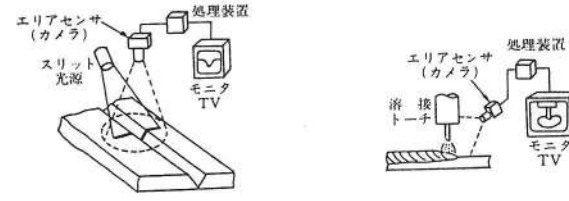


図2.3.16　視覚センサー

このように既に適用されているものも数多くあるが、どれも万能のセンサーではなく、数種類のセンサーを組み合せて使用しているのが現状である。今後更に高性能のセンサーが開発され色々な状況の変化を検出できるようになれば、未だ熟練溶接技能者の手に依っている箇所の溶接もロボットで行うことが出来るであろう。

(4) ティーチング作業の簡易化

ロボットに溶接作業をさせる為には、溶接対象ワークを実際に置いて溶接手順を実際のロボットを用いて教示する必要があり、オペレータはロボットの操作技術を収得しなければならなかった。また、溶接電流電圧や狙い位置の教示も全てオペレータが行っており、ロボットのオペレータが熟練した溶接技能者である必要があった。その為、溶接条件演算ソフトをロボット制御盤に内臓し簡単な指示で適正な溶接条件を算出することができるロボットが開発されている。また、コンピュータの発達によりパソコンのディスプレイ上の仮想ロボットを操作することによって教示を行うオフラインティーチングシステムが開発され、ロボットを実際に操作して教示する必要がなくなった。これは、生産ラインのロボットを用いて教示をする必要がなく、生産を阻害しないので有効な

手段であった。しかし、造船部材（図2.3.17）のような大型のワークは生産タクト上複数台のロボットで溶接する事が必要であり（図2.3.18）1ワークに対する教示時間が膨大になる。よって、多品種小量生産の現場ではロボットへの教示時間がそのものを減少する必要があった。そこで、ワークの各部位の溶接パターン（熟練溶接技能者のノウハウ）をデータベース化しCAD情報に基づいてそのパターンを組み合せる事によってロボットの教示データを自動生成するシステムが開発され適用されている（図2.3.19）。このシステムによりロボットのオペレータはロボットへのワーク名の指定と溶接開始指示をするのみで、後はロボットが自動的に溶接を行う。このようなシステムを構築することにより、溶接を全く知らない人が溶接工程にたずさわる事も可能となった。

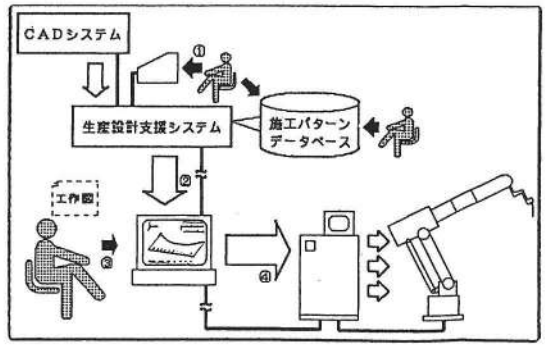


図 2.3.19　オフラインプログラムシステム構成図

参考文献

1）　産業用ロボット実用マニアル、新技術開発センター
2）　清原他：溶接技術、Vol.44.12（1992）
3）　牛尾他：溶接技術、Vol.40.2（1992）

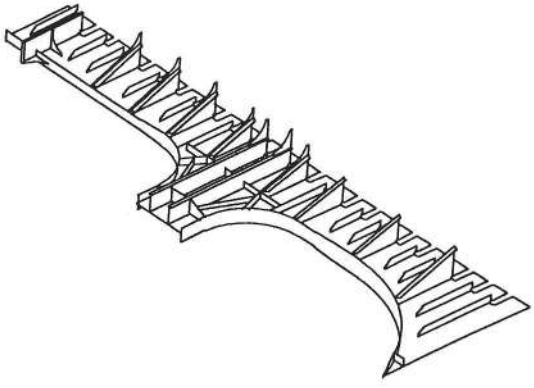


図 2.3.17　造船部材（トランス材）

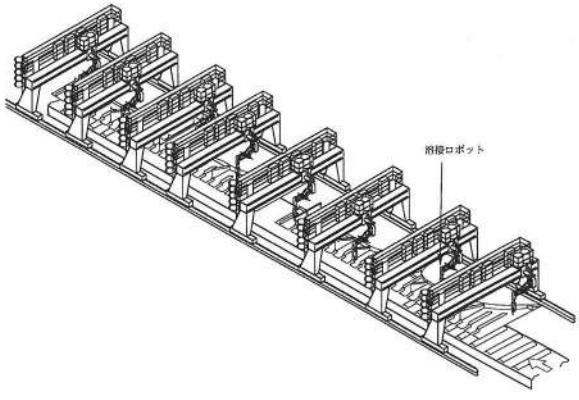


図 2.3.18　小組立溶接ロボットシステム概略図

第3章　建造

3.1　造船絶頂期（1970年～1974年）

3.1.1　建造量の増加と船舶の大型化

世界経済の高い伸びに伴う貿易の拡大により、1970年に入っても新造船需要は伸び続け、わが国の建造量は1974年まで増加の一途をたどった。また、石油海上荷動量の急増を背景に、経済性の高い大型船が望まれ、タンカー・専用船・兼用船の大型化が急速に進んだ。



図3.1.1　日精丸　（IHI社史技術製品編より）

(1) 超大型船

1966年（昭和41年）に登場したVLCC（Very Large Crude-oil Carrier：20万重量トンDWT超えのタンカー）はさらに大型化し、1973年（昭和48年）には「グロブティックトウキョウ」（483,664重量トン）「日精丸」（484,337重量トン）等40万重量トンを超えるULCC（Ultra Large Crudeoil Carrier）が誕生した。

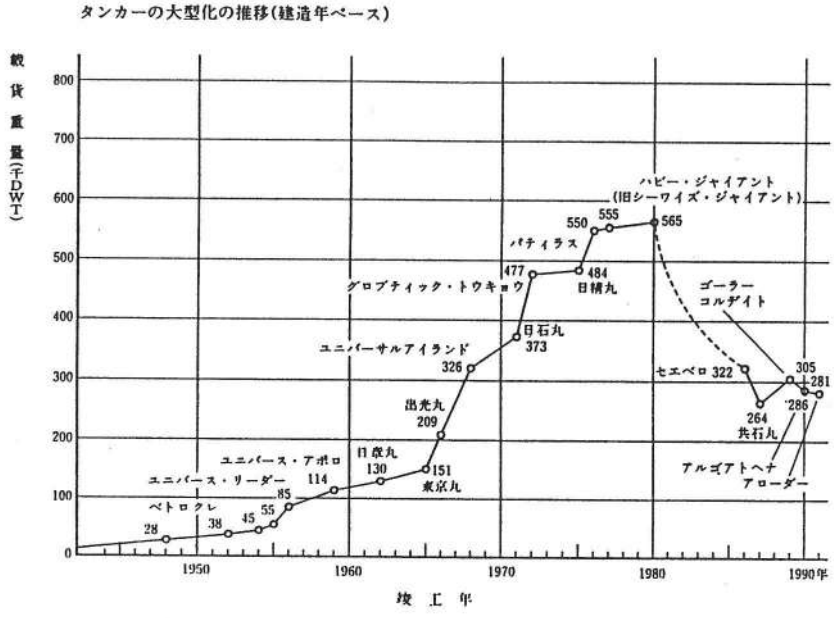


図3.1.2　タンカーの大型化の推移（MES75年史より）

3.1.2　建造設備の拡大

国内の造船各社は、この大量建造と船型の大型化への対応を図るため、競って大型建造設備・修繕設備を建設した。建造工法も、いかに早く多く作るかという観点で作業の機械化・省力化への取組がなされた。

1970年代前半の各社の設備投資は急増し、後に、能力過剰を引き起こすことになる。

(1) 大型建造設備

1970年（昭和45年）前後から1974年（昭和49年）にかけて、各社で50万重量トンを超える建造能力を持つ建造設備が建設された。多くは「セミ・タンデム方式」を

採用しており、内業組立建屋のレイアウトは、I型、L型、T型、U型等各々工夫されている。

表3.1.1　大型建造設備一覧（50万重量トン以上）

企業名	工場名	規　模	建造年
三井造船	千葉	50万	1968年（昭43）
日本鋼管	津	70万	1969年（昭44）
住友重機	追浜	100万	1971年（昭46）
三菱重工	香焼	100万	1972年（昭47）
川崎重工	坂出	60万	1972年（昭47）
石川島播磨	呉	80万	1973年（昭48）
石川島播磨	知多	100万	1973年（昭48）
日立造船	有明	70万	1973年（昭48）

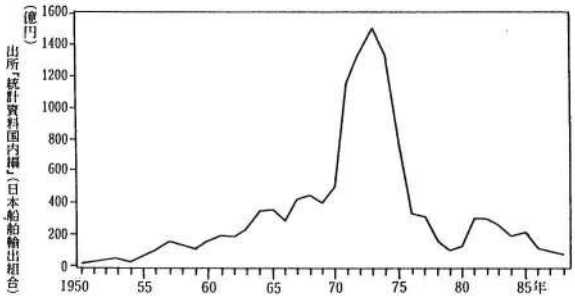


図3.1.3　設備投資の推移
（日本の造船業世界の王座をいつまで守れるか）

(2) 革新工法

工法においても三井造船（千葉）の「ロータスシステム」、住友重機（追浜）の「GAMMAシステム」、石川島播磨（呉・横浜）の作業ユニット等船体構造の大型化に対する省力化を狙った革新工法／設備が導入された。

(a) ロータスシステム

船体中央部ウイングタンクを、専用工場で最大1400トンに総組し、回転治具で溶接作業を下向き姿勢で完成した後、ドックサイドに移動し、90°回転降下正立させて、ドック内を移動・据付するまでクレーンを使わずに行うシステム。80隻に適用、従来工法と比較して工期、工数とも30%減少し、架設足場枚数は従来比10%以下の実績がある。

(b) GAMMAシステム

大型タンカーの中央部を上下半分ずつの総組立体ブロックとして専用総組工場で組み立てて、キャリアでドックサイドまで運び、搭載するシステム。

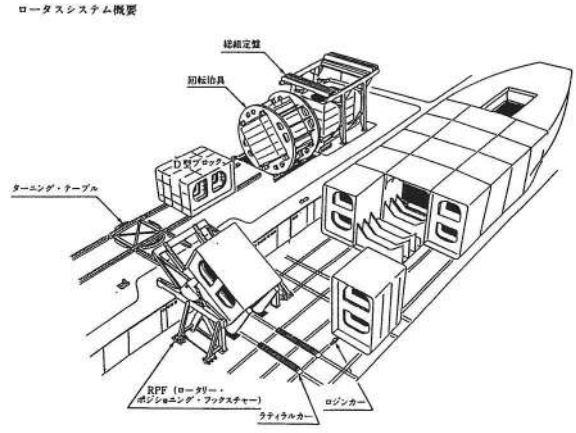


図3.1.4　ロータスシステム概要（MES75年史）

(c) 作業ユニット

自ら伸縮・俯仰・旋回しながら船内を自走転進する大型作業機械であり、継手形式別に専用化された油圧利用の取付治具および自動溶接機が組み込まれている。これにより足場の減少とマテハンの著しい向上を得た。

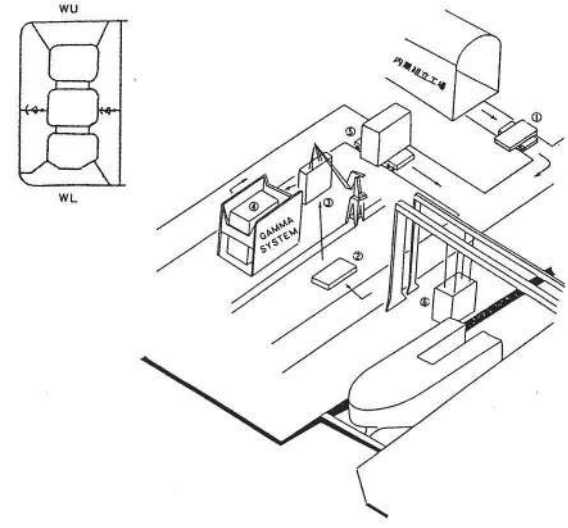
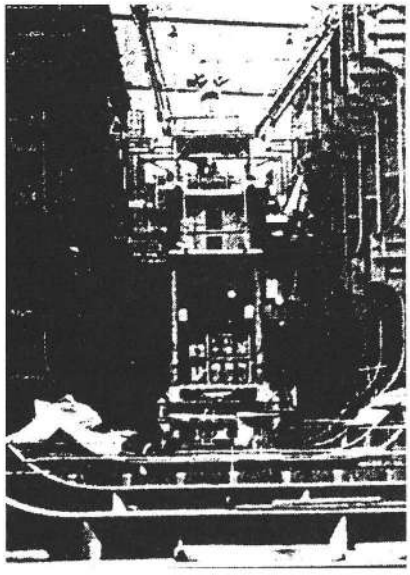


図3.1.5　ガンマシステム（造船の溶接より）



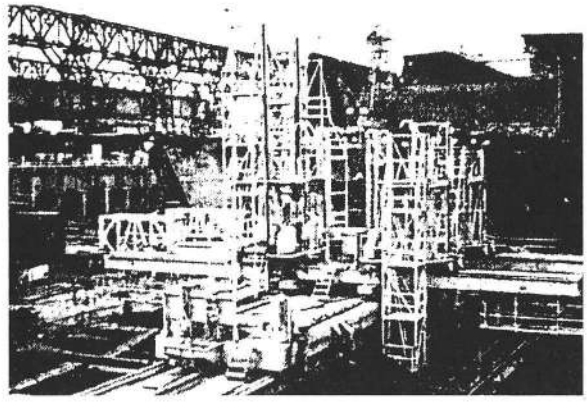


図3.1.6　作業ユニット工法（「造船溶接」より）

3.2　構造不況の時代（1975年～1989年）

3.2.1 造船市況の悪化

1973年（昭和48年）10月に発生した第1次オイルショックを契機に造船市況は急速に悪化し、受注は激減、キャンセル、引渡し延期が相次いだ。大量の手持ち工事があったため、1976年（昭和51年）までは建造量が確保されていたが、以降、1971年（昭和46年）のニクソンショック以来の円高と相まって、建造需要が供給能力を大幅に下回る深刻な構造不況に見舞われることになる。



図3.2.1　世界建造量推移
（進水ベース：千GT）

1980年（昭和55年）には一過性の「ミニブーム」、1983年（昭和58年）には「ハンディバルクブーム」があったものの、1979年（昭和54年）の第2次オイルショックの影響による船腹過剰の拡大、1970年代前半から低船価を武器に建造量を増大させてきた韓国の追い上げ、1979年（昭和54年）以降持ち直していた円高が1985年（昭和60年）以降急速に進行したことなどによって、受注不振、操業不足、収益悪化が続いた。

このため、造船業界は操業量調整、設備削減、人員対策などの構造改善対策に生き残りをかけての苦闘を続けることとなった。

(1) 操業量調整

1976年（昭和51年）11月、運輸省から特定船舶製造業40社に対し、「造船法」に基づき、1977、78年度の操業時間の上限を示す大臣勧告が実施された。その後、操業量調整は、大臣勧告、不況カルテル、ガイドラインと形式を変え、調整量も変化したが、1982年（昭和57年）度を除き1989年（平成元年）9月まで続いた。

(2) 第1次設備処理

1978年（昭和53年）10月、海運造船合理化審議会（海造審）は、「特定不況産業安定臨時措置法」に基づく造船業の安定基本計画を答申し、翌11月運輸大臣より告示された。これにより、年間建造能力（CGRTベース）を船台基数単位で、1979年（昭和54年）度末までに、大手7社

表3.2.1　世界船舶建造量

西暦	世界	日本	韓国	英国	西欧計	その他
1960	8,356	1,732		1,332	5,515	1,109
1961	7,940	1,799		1,192	5,154	987
1962	8,375	2,183		1,073	5,119	1,073
1963	8,539	2,367		928	5,178	994
1964	10,264	4,085		1,043	5,188	991
1965	12,216	5,363	4	1,073	5,673	1,276
1966	14,307	6,685	4	1,084	6,146	1,472
1967	15,780	7,497	14	1,298	6,742	1,527
1968	16,908	8,583	10	898	6,432	1,883
1969	19,315	9,303	8	1,040	8,027	1,977
1970	21,690	10,476	0	1,237	9,126	2,088
1971	24,860	11,992	7	1,239	10,422	2,439
1972	26,714	12,866	16	1,233	10,970	2,862
1973	31,520	15,673	44	1,018	11,707	4,096
1974	34,624	17,609	563	1,281	11,944	4,508
1975	35,898	17,987	441	1,304	12,907	4,563
1976	31,047	14,310	689	1,341	11,515	4,533
1977	24,167	9,943	455	1,119	9,271	4,498
1978	15,407	4,921	424	813	5,722	4,340
1979	11,788	4,317	479	771	4,076	2,916
1980	13,935	7,288	629	244	3,018	3,000
1981	17,066	8,857	1,229	339	3,655	3,325
1982	17,290	8,247	1,530	528	4,305	3,208
1983	14,888	7,071	1,201	527	3,802	2,814
1984	17,732	9,408	2,515	191	2,755	3,054
1985	17,247	9,299	2,777	145	2,448	2,723
1986	14,914	7,739	2,517	238	2,017	2,641
1987	9,770	4,170	2,298	46	1,490	1,812
1988	11,997	4,546	3,406	91	1,959	2,086
1989	13,041	6,023	2,679	100	1,990	2,349
1990	14,806	6,531	3,296	79	2,472	2,507
1991	16,860	7,718	3,674	151	3,059	2,409
1992	20,992	8,641	5,526	250	3,840	2,985
1993	18,699	8,626	4,025	205	3,228	2,820

（進水ベース：千GT）

40%、中手17社30%、中小手16社27%、その他21社15%、合計35%、処理することとなった。

(3) 第2次設備処理と業界集約

1985年（昭和60年）8月、三光汽船が戦後最大の負債を抱えて倒産するなど船主経済が悪化し、造船不況はさらに深刻さを増していった。

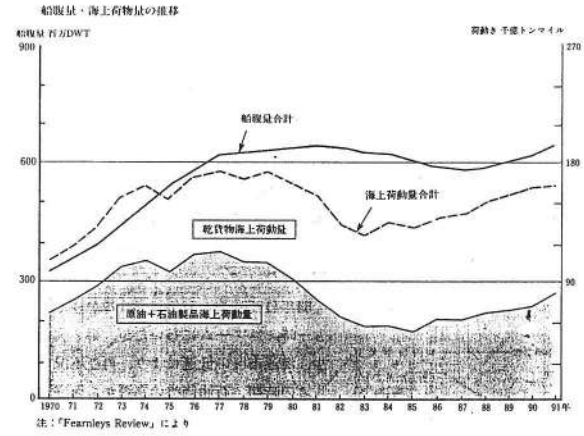


図3.2.2　船腹量・海上荷物推移（MES75年史より）

表3.2.2　操業量調整の推移

区　分		大臣勧告						不況カルテル			
調整方法		操業時間数比率（49年度対比）				基準年度のCGRT比					
		第1回		第2回		第3回			第1次		第2次
年月日		51.11.25通達		52.11.26通達		53.12.28通達			54.8.1認可		55.4.1認可
年　度		52年度	53年度	53年度	54年度	54年度	55年度		54年度	55年度	56年度
大手	7社	67%	63%	63%	55%	34%	34%	7社	34%	34%	45%
中手	17社	76%	70%	70%	66%	45%	45%	16社	45%	45%	60%
中小手	16社	82%	75%	75%	70%	49%	49%	16社	49%	49%	65%
合計	40社	72%	67%	67%	60%	39%	39%	39社	39%	39%	51%

（続MHI社史より）

1986年（昭和61年）6月の海造審の答申を元に、1987年（昭和62年）4月に「特定船舶製造業経営安定臨時措置法」が施行され、6月には運輸大臣から基本指針が告示された。これにより、事業の提携の実施と基数単位で20%の設備処理を行うこととなった。

(4) 円高の進行

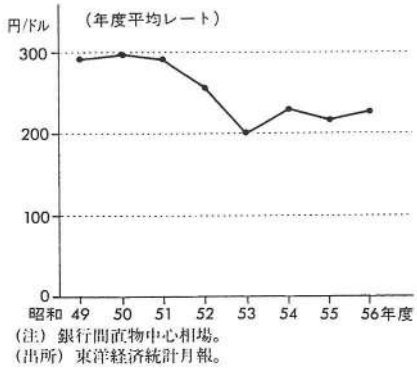
1971年（昭和46年）8月、ドル防衛のためのアメリカの新経済政策が発表され12月には円が切り上げられて、1ドル＝308円となった。1973年（昭和48年）には再度ドルが切り下げられ、変動相場制への移行が行われていった。第1次オイルショック後1976年（昭和51年）までは1ドル＝300円前後で推移したが、1977年（昭和52年）から上昇に転じて1978年（昭和53年）10月には、1ドル＝175円台を記録した。1978年（昭和53年）の第2次オイルショック後は円安基調となり、1ドル＝250円の水準となった。

表3.2.3　処理の推移
（呼称能力54総トン以上の設備を有する企業）

第一次設備処理（1980年3月末終了）			第二次設備処理（1988年3月末終了）		
	処理目標	処理実績		処理目標（一律）	残存
大手　7社	40%	39.5%	大手　7社	20%	7社
中手17社	30%	35.6%	中手17社	20%	13社
中手16社	27%	31.6%	中手11社	20%	4社
小手21社	15%	12.5%	小手　9社	20%	2社
合計61社	35%	36.6%	合計44社	20%（実績23.6%）	26社
企業数	61社→44社		44社→46社		
5千総トン以上の設備	138基→73基		73基→46基		
設備能力（CGT）	977万→619万		619万→460万		
グループ	11グループ（単独10社）		8グループ		

（「造船経営ノート」南崎邦夫著より）

1985年（昭和60年）9月アメリカの財政赤字を背景に、ドル高修正のため、G5が「プラザ合意」を発表し、円は急速に値上がりしていった。この円高は1988年（昭和63年）まで続き、円相場は1ドル＝120円にまで上がった。



（注）銀行間直物中心相場。
（出所）東洋経済統計月報。

図3.2.3　対ドル円相場の推移（続MHI社史より）

(5) 韓国の急成長

1970年代から外貨獲得のための国策として本格的に開始した韓国造船業は、1980年代に入って、大型建造設備を建設し、ヨーロッパから移転された技術と強力な国家助力、安い労働力を武器に、ウォン安を追い風にして急速に建造量を増加させていった。1988年（昭和63年）には建造量シェアで、日本37.9%に対し韓国28.4%にまで肉薄してきた。

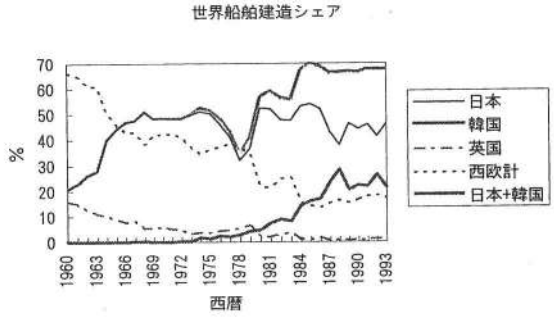


図3.2.4　世界船舶建造シェア

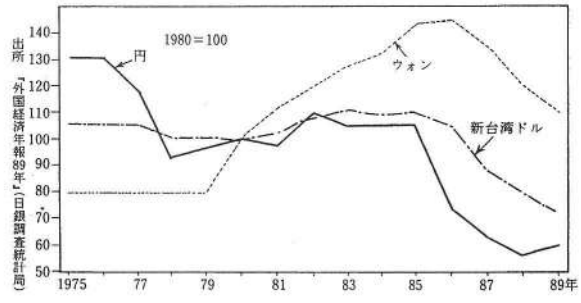


図3.2.5　日・韓・台為替レート指数
（「世界の王座をいつまで守れるか」より）

3.2.2　建造技術の進展

オイルショック後、大型タンカーの建造は激減したが、造船各社は省エネ・省人化を図る新世代船やコンテナ船、LNG船や本格的客船などの高付加価値船の開発にしのぎを削ると共に、工法・設備・管理手法などにも、メカトロ技術を取り入れ、合理化に取り組んでいった。



図3.2.6　省エネタンカー「T.Yドラコ」
（IHI社史研究製品部より）

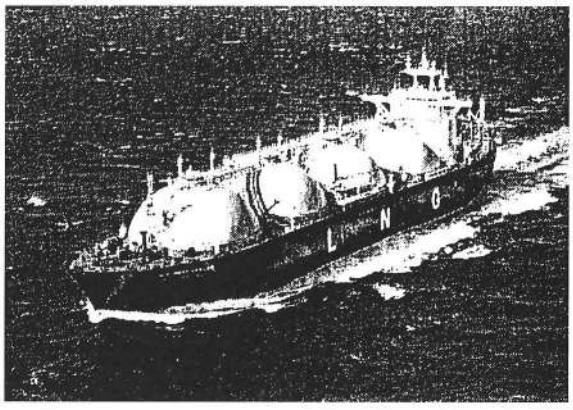


図3.2.7　LNG船（MES75年史より）



図3.2.8　コンテナ船（MHI神戸パンフレットより）



図3.2.9　客船「ふじ丸」（MHI神戸パンフレットより）

(1) 加工技術

1965年（昭和40年）に日立造船（堺）で導入されたNC（ガス）切断機は、1970年代に入って増加し、1973年（昭和48年）に住友重機（追浜）で実用化されたNCプラズマ切断機と共に切断の主流になった。その後、自動文字マーキング装置が付加されるなど省人化が進んだ。

小物部材に対しては、アイトレーサー（光学式現尺現図読み取り多点切断機）が導入され、後にはNC化された。

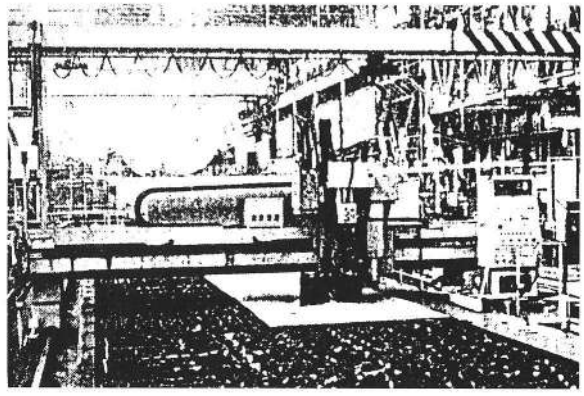


図3.2.10　NCプラズマ切断機（MES75年史より）

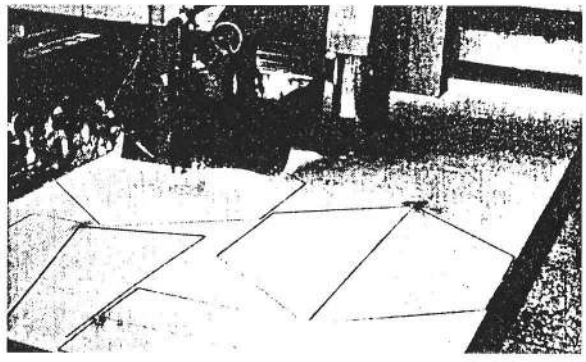


図3.2.11　自動文字マーキング装置（MES75年史より）

(2) 溶接技術

1970年代は、被覆アーク溶接（手溶接）とグラビティ溶接の全盛であったが、同時に、フラックス銅バッキング法（FCB）、フラックスバッキング法（RF）、フラックスアスベストバッキング法（FAB）などの片面1パスサブマージ溶接法や、エレクトロスラグ法、エレクトロガス法などの大入熱溶接法の開発と実用化が進んだ。1980年代に入ると炭酸ガスシールドアーク溶接法（CO_2溶接法）が急速に普及し、造船溶接の主流となった。また、1980年代の後半から、CO_2溶接の簡易自動溶接機、自動溶接機、溶接ロボットなどの装置化が進んでいった。

(3) CO_2溶接法の普及

CO_2溶接法は、風によるガスシールド性の問題、手溶接に比べて周辺機器が多いこと、狭隘区画における全姿

勢作業性に問題があり、当初は限定的な適用にとどまっていた。1979年（昭和54年）にフラックス入り細径ワイヤーが実用化され、従来の欠点を改善する溶接材料として造船現場に広く受け入れられて、CO_2溶接の適用が拡大されていった。その後、シームレスワイヤーの開発により、送送性の向上、吸湿の防止等の改良が加えられ、さらに、立向用、水平隅肉用、低ヒューム、低スパッター、スラグ剥離性向上等の改良が進められた。

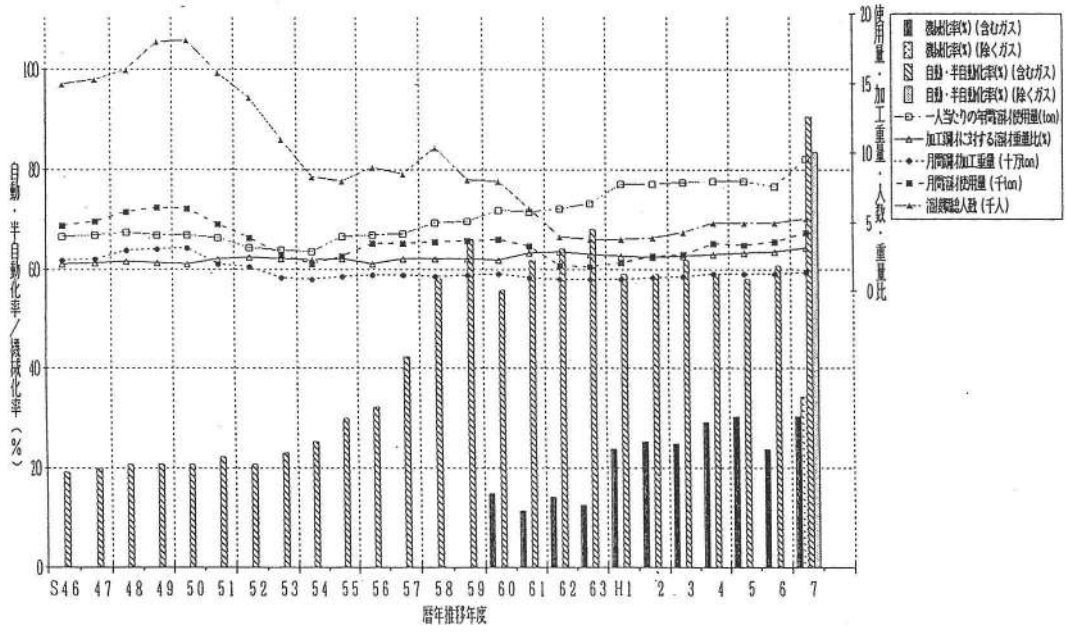


図 3.2.12　溶接方法の推移

(4) CO_2簡易自動溶接法の拡大

1980年代に入って、台車にCO_2溶接トーチを搭載して、レール・部材（立板）・開先を倣って走行、溶接を行う簡易自動機が次々と実用化されていった。これらの簡易装置は、人力可搬な重量で一人多数台の使用を可能とし、溶接の機械化・能率向上に大きく寄与していった。

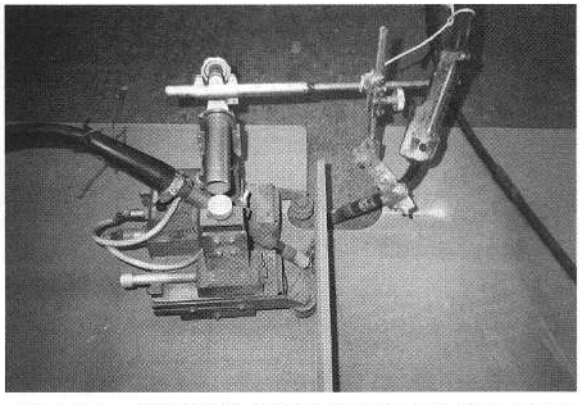


図 3.2.13　簡易自動機すみ肉溶接台車の例（MHIより）

すみ肉溶接台車の例：立板倣いによるすみ肉溶接台車であり、重量は10kg以下の軽量可搬で、グラビティーに代わる多数台使用装置として広く採用されている。

多目的溶接台車の例：レール走行式の軽量可搬で、建造ステージの狭隘区画にも適用可能、トーチオシレート機構を持ち、全姿勢の突合わせ、すみ肉溶接を可能とした。

(5) 溶接ロボットの実用化

溶接ロボット（センサー・記憶装置を有し、自由度3以上）は1980年代から実用化が検討された。造船工業会の造船近代化研究のテーマにも掲げられ、開発が促進された。ロボット作動データの構成について、当初は数値制御ロボット、ティチングロボットが主流であったが、ロボット作動データをいかに簡単に作成するかが、その後の開発の主流となり、オフラインのパソコンによってティチングデータを生成する方法や設計CADデータを用いて作動データを作成する方法が開発され、実用化され

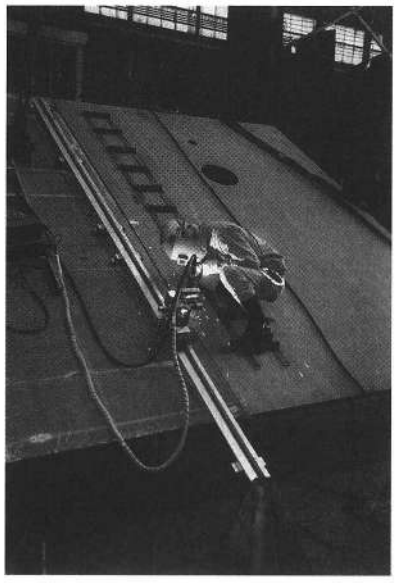


図 3.2.14　簡易自動機多目的溶接台車の例（MHI より）

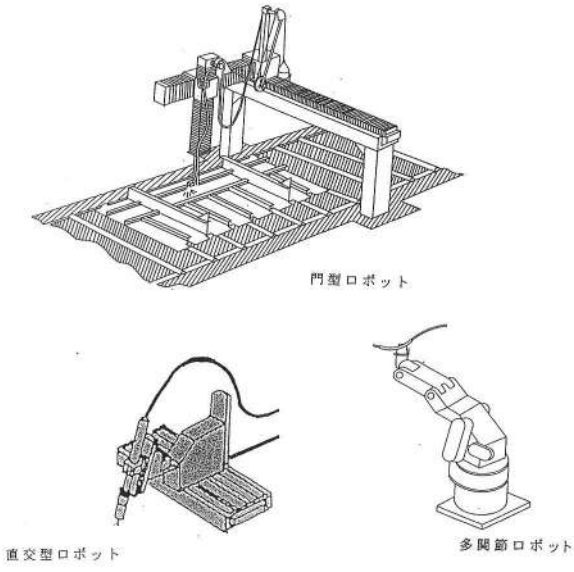


図 3.2.15　溶接ロボットの例

ていった。

(6) ブロック工法の改善

ブロック組立方法についても、従来の「ばら配材方式」から「ロンジ先付け（ラインウエルダー）方式」、「枠組方式」さらにキースロットによる「ロンジ挿入方式」、「トランス挿入方式」等が考案され、それぞれの方式に応じた設備・溶接方法の開発が行われていった。

(7) 組立ラインの採用

1960年代半ばに組立作業に導入されたコンベアは、その後、主に平板ブロック・小組立を対象に、各種自動機を組み込んだ組立ラインへと発展していった。平板ブロックに対しては、板継用FCB、ロンジ配材装置とラインウエルダー、トランス材の配材装置、溶接段取装置に自動溶接機や溶接ロボットなどを組み込んだパネルラインが多く採用されている。

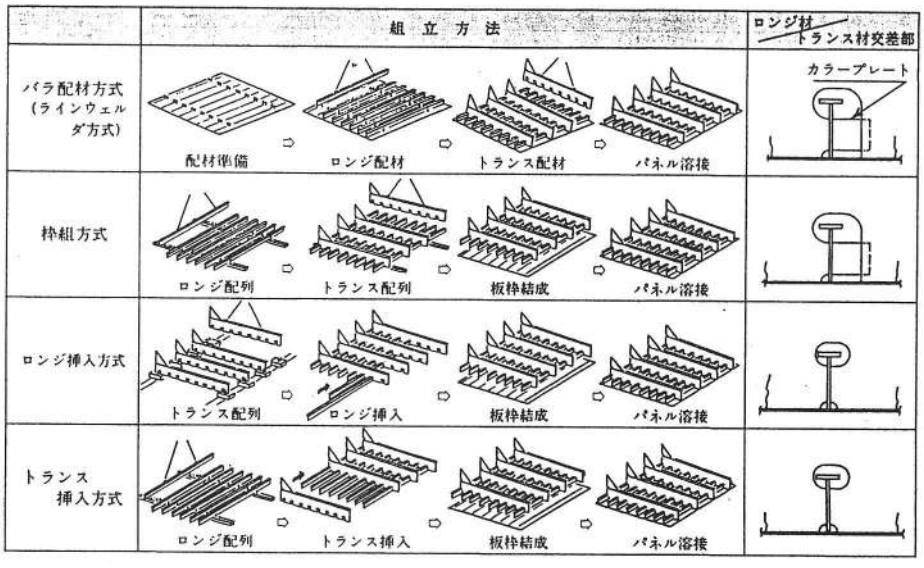


図 3.2.16　平面ブロック組立方法の比較

(8) 管理システムの開発

生産を支援する管理システムとしては、日程計画、工程管理、工数管理、物流管理等数多くのシステムがある。1970年（昭和45年）以降、コンピューターを利用したこれらのシステムが次々と開発されていった。また、当初は単独であったこれらのシステムは、統合され、さらには設計データを取り込んだ総合的一貫システムへと発展し、造船現場が望むムリ・ムラ・ムダのない建造計画による合理化を推進している。

3.3　新たなる発展

3.3.1　構造不況の終焉

1988年（昭和63年）ごろから世界経済の拡大と海上荷動きの堅調な推移を背景に、タンカー、LNG船、LPG船、コンテナ船、バルクの受注が増加してきた。また、1970年代前半までに多量に建造されたタンカーの代替需要も始まり、造船市況は活気を帯びてきた。

1991年（昭和63年）の海造審の答申に基づき、1992年（平成4年）2月に「造船経営法」廃止が閣議決定され、1974年（昭和49年）に始まった造船業の長い構造不況は終わった。しかし、日本経済は、平成に入って激しく動いており、1991年（平成3年）のバブル崩壊による不況、急激な円高の進行、韓国造船業の台頭による供給過剰など、日本造船業を取り巻く環境は依然厳しい。

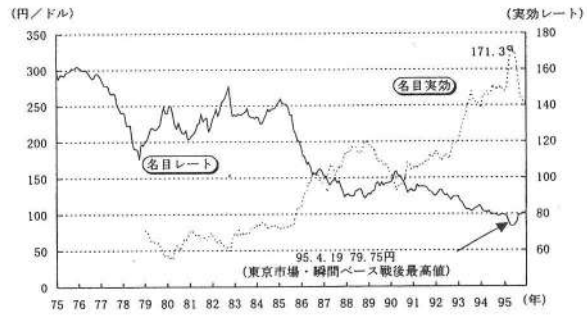
日本の造船業界は今後、産業基盤の整備と国際協調の推進によって”強く、魅力のある造船業”へ向けての取組みが求められている。

(1) 造船経営法の廃止

1991年（平成3年）9月の運輸大臣の諮問に対し、12月、海造審は、「一応構造不況から脱却した。これまでの造船対策に区切りをつけ、"魅力ある造船業"へ向けての造船対策に重点を移す。2000年までは需要は安定するが、産業基盤の整備と国際協調の推進が必要。」と答申した。

(2) 円高の進行

為替レートは1991年（昭和63年）から円高が進み始め、当時の1ドル＝約140円が、1994年（平成6年）には1ドル＝100円を割り、1995年（平成7年）4月には一時、1ドル＝80円を割った。同年秋以降は100円を超える水準に戻った。



(備考)　名目レートは月末値。名目実効レートは90年＝100。
(資料)　IMF「IFS」

図3.3.1　円の対ドルレートの推移（H8年版、通商白書より）

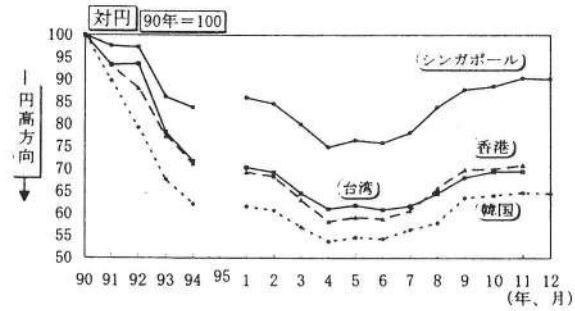
(3) 韓国造船業の台頭

1980年代に急成長した韓国造船業は1988年（昭和63年）以降ウォン高・労働争議などによって足踏みをしていたが、世界の船舶需要の高まりを背景に再び設備の拡張を計り、受注攻勢をかけてきた。急激な円高による相対的競争力向上もあって、1993年（平成5年）度には単年度ながら受注量で日本を追い越した。進水ベースの建造量シェアは、まだ十数パーセントの差はあるが、1985年（昭和60年）度以降日・韓合計で70%近いシェアを維持している。

造船需要の予測は、日本・欧州は2000年代半ばまで年平均約2000万トンとしているのに対し、韓国は2,400万トンと2割高い予測をしており、このギャップは不均等な受注競争を招きかねないと懸念されており、国際協調による国際的な構造不況を避ける取組みが求められている。

3.3.2　技術立国の造船技術

1995年（平成7年）の時点で、日本の造船所の多くは手持ち工事を確保しているが、船価水準は依然として低



(備考)　各国・地域1通貨単位当たりの円レートを90年を100として指数化したもの。

図3.3.2　NIEsの為替動向（平成8年版、通商白書より）

く、さらに、円高が押し下げている。

船種はかつてのブーム時のような同型船の大量受注よりむしろ、多品種少量生産といえるようになり、造船各社は、いかに1隻1隻を効率良く安く建造するかを追求してゆくことになる。また、タンカーについては、船殻構造も石油流出防止の観点から、二重船殻方式（ダブルハル）が求められるなど、建造技術の一層の向上が課題となった。

これらに対し、造船各社は、生産ラインへのロボット導入、船台作業の機械化等、伸長目覚ましいメカトロニクスの成果を盛り込んだ省人化設備と共に、生産管理システムをさらに発展させ、設計・資材部門も含めた総合生産管理システム（CIMS:Computer Integrated Manufacturing System）として情報の一元化による生産管理のメッシュアップ、スピードアップを目指している。

また、新時代の船として、超自動化船、深海調査船、超伝導推進船、ＴＳＬ（テクノ・スーパー・ライナー）など、わが国の造船技術を如何無く発揮した先端技術船の開発によって、差別化を進めていくことも技術立国日本としての進む道の一つであろう。



図3.3.3 「しんかい6500」（MHI神戸パンフレットより）



図3.3.4 「ヤマト1」（MHI神戸パンフレットより）

(1) 二重船殻タンカー

1989年（平成元年）アラスカ沖で「エクソン・バルディス号」（215,000DWT）石油流出事故が発生した。油流出量は3.6万トンで、その拡散した範囲や自然環境、社会に与えた影響は大きく、事故の再発防止の動きが急速に進んだ。その結果、1990年（平成2年）3月にIMO（International Mari-time Oganization）でタンカーの構造基準の強化が決議され、1993年（平成5年）7月6日以降の契約の5,000DWT以上の新造タンカーは二重船殻又は中間甲板付二重船側とし、既存船も一定の措置を講ずるものとされた。

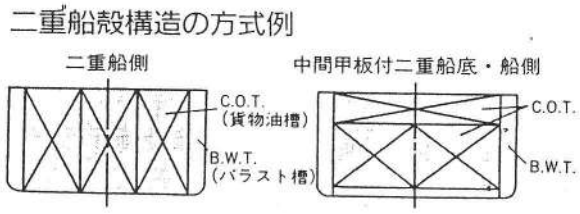


図3.3.5 二重船殻構造の方式例（MES75年史より）

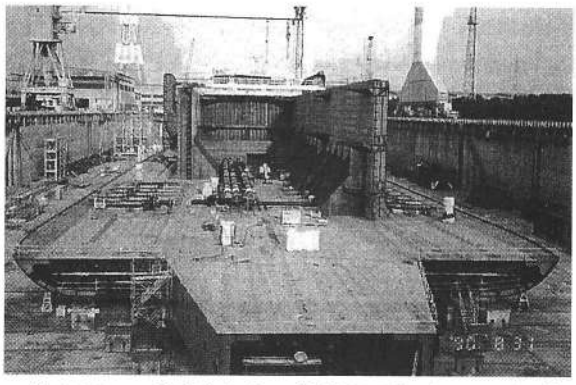


図3.3.6 二重底タンカー「オリンピックフェイス」147,457DWT （IHI社史、技術製品編より）

(2) 新世代建造技術

従来ベテラン作業者の経験やカンに頼ってなかなか機械化が進まなかった技能分野においても、不況時代の減員対策によって世代間ギャップが生じ、技能の伝承が難しくなってきたことを背景に、装置化・機械化をしていく試みがなされている。ベテランの技能をコンピュータに置き換える「エキスパート・システム」の開発や、従来、「匠の世界」であった撓鉄の分野における、自動反復機能を持ったプレス（片舷の動きを他舷で繰り返す）やティーチングによる自動高周波曲げ装置などが開発実用化されてきている。



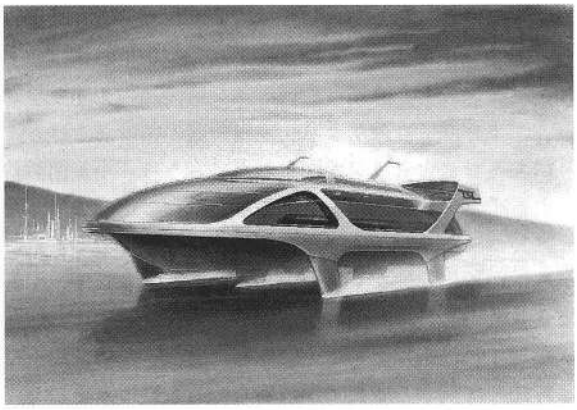


図3.3.7　TSL（MES75年史より）

切断においてもNCレーザー切断機が実用化され、型鋼の自動切断ラインなども採用されてきている。

また、従来、自動化が困難であった曲がりブロックに対する自動化装置や船台ステージにおける溶接ロボットなどの研究開発も進んできている。

(3) 造船CIM

造船業界では、1987年（昭和62年）から、（社）日本造船研究会のもとで「新世代における船舶の設計・製造、及び保全技術に関する調査研究」（SR210）を実施し、1989年（平成元年）から（財）シップ・アンド・オーシャン財団の自主事業に造船大手7社がメンバーとして参加して、造船CIMSパイロットモデルの開発研究を行ってきた。これは、建造とその管理を支援するシステムであり、艤装一体でかつ3次元のデータを持つシステムとすべく考えられている。

参考文献

1)　三菱重工（株）：海に陸にそして宇宙へ（続　三菱重工業社史）
2)　三井造船（株）：三井造船（株）75年史
3)　石川島播磨重工業：石川島播磨重工業社史
4)　南崎邦夫：造船経営ノート、海事プレス社
5)　南崎邦夫：船舶建造システムの歩み、成山堂書店
6)　伊丹敬之；日本の造船業世界の王座をいつまで守れるか、NTT出版
7)　日本溶接協会、船舶・海洋構造物部会：造船の溶接－35年の歩み－
8)　通産省：平成8年版通商白書（1996）

3.4　艤装

3.4.1　はじめに

この期の初頭には艤装一体ともいうべき工法管理方式が定着し、大量建造、超大型船建造の時代に入っている。新しいレイアウトを持った新鋭造船所も次々と稼働を開始し、設備改善、電算機の導入、QC手法の導入などにより、施行法、工作精度も一段と向上した。一方、現場に密着する生産設計の概念が生じ定着した。この生産設計の出現は生産性の向上、工事の合理化、加工外注の促進に大きく寄与し、これにともなって艤装品のユニット化が拡大され、品質の向上、艤装工数の削減につながった。

この時期は、工事の合理化、工作精度の向上が押し進められていったが、第二分科会の活動も工作基準の見直しおよび拡大、艤装品の精度標準の作成を中心に展開された。一連の活動の成果として「造船艤装」（5巻）が改訂され「造船艤装シリーズ」として刊行された。これは工作法の変化、精度向上をふまえたもので、一層現状に即したものとなった。また、艤装品の精度標準として「JSQS」が制定された。これは精度に関する共通の判断基準として広く活用され、権威あるものとなっている。

1973年のオイルショックに端を発した造船不況により、海造審答申に基づく運輸大臣勧告による造船能力調整が行われ、各造船所共、設備の縮小や、海洋構造物への移行が行われた。一方、新興造船国を中心とした諸外国の追い上げが受注競走を激化し、合理化、高付加価値への指向が以前にも増して強く叫ばれるようになってきた。そして目まぐるしい海運市況の変化に追従した短納期船への対応、さらに省エネルギー、省資源と造船界をとりまく情勢は複雑高度になっている。

この時期には、よりコストダウンを図るために、工程

間の無駄をなくすためのスケジューリング、より精度の高い能率を把握するためのより細かい原単位の決定、それをベースにした適切な配員計画、艤装品の欠陥ゼロ対策等、工作法的な改革より、生産管理の密度を上げることによるコストダウンが図られた。もちろん小集団活動による小さな改善の積み上げも行われた。それまで、特に艤装は工程をいかに守るかが最大の管理であったものから、いかに無駄なく建造するかという生産管理技術も確立された。

艤装工作技術は造船所・船種毎に異なるため、以下では各社の実例から艤装工作技術の変遷を見てみる。

3.4.2　管管理システム

(1)はじめに

「管管理システム」と聞くと、今までは配管の製作の為の日程管理業務を補助するシステムを指すものであった。今日、設計及び生産を包含するCIMが提唱され、実現しつつ有るなかで、「管管理システム」は配管の製作、仕分け、取り付けから実績管理までと従来の枠を越えた範囲をカバーする幅広いシステムとなりつつある。

(2) 今日の「管管理システム」

設計（生技）で、管割りされて生成された「管製作票」の情報を格納し、管製作工場での生産計画の情報と合わせて管理するシステムをここでは従来の「管管理システム」と呼ぶ。設計のCAD化により、「管製作票」の情報はCADの配管モデルから直接生成されるようになり、また同時に管工場の溶接ロボット等に供給されるFAデータも自動的に生成されるようになっている。また、管の進捗管理は、未だに管の製作状況の進捗管理に止まり、配管の一本一本の取り付け進捗管理までには到達していない。以上が今日の「管管理システム」とすると、現在実現されようとしている近未来の「管管理システム」は以下のようなものとなるであろう。

(3) 近未来の「管管理システム」

近未来の「管管理システム」と、今日のそれを比較したものが図3.4.1である。ここで、管仕分け管理とは、黒皮管の表面処理メーカーへの出庫管理、表面処理メーカーから納入される配管の入庫管理及び各取付けステージ向けへのパレッタイジングを指している。管取付け管理とは、パレット分けされた配管の、ブロックや船内の各取付けステージにおける取付け管理を指している。管保守管理とは、本船引渡後のアフターサービス及び修繕におよぶ配管の保守管理を指している。

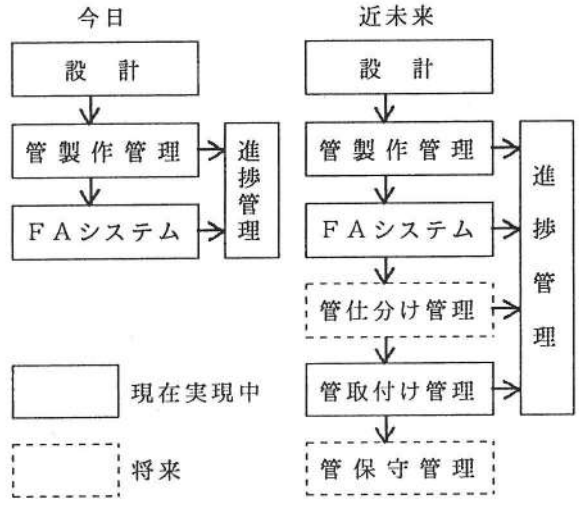


図3.4.1　今日の「管管理システム」

以下に近未来の「管管理システム」の各管理について、現在取り組み中の内容を含め、目指す姿を描いてみる。

(a) 管仕分け管理

配管にバーコードを添付し、それを読み取ることで配管の出入庫管理およびパレッタイジングにおけるパレット分けと品揃え状態の管理を行う。この情報は、下流の各ステージにおいて参照でき取付け計画の精度向上にも寄与する。

(b) 管取付け管理

配管の取付けステージで、配管の取付け指示書の作成から、取付け実績管理、工数管理等を行うもので機能として以下を持つ。

・配管の取付け指示書を作成する機能
・消し込みによる配管取付け管理の機能
・取付け予想工数と実績を管理する機能
・配管一品の詳細形状を出力する機能

(i) 配管の取付け指示書を作成する機能

図3.4.2に作業指示書作成画面を示す。ここでは、設計で生成された配管の情報を作業ステージの単位で読み込んだ画面上で、ボースンが各作業者の個人個人に取付ける配管を指示するもので、取付ける配管が強調されてプリントアウトされる。配管は、出力する方向を自由に指示が可能で、絵は鳥瞰図の形で表現される。また、前ス

テージからの未取付け管も取付けるべき管として同様に出力される。右側には配管及び金物の一覧も付随して出力される。本機能により、取付け者の個人目標管理を行うとともに、取付け図省略化を狙っている。

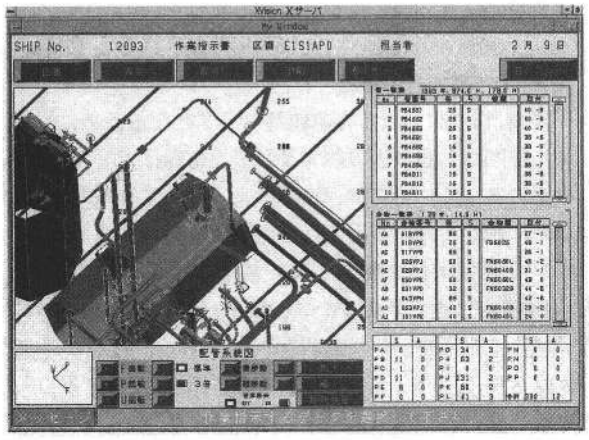


図 3.4.2　作業指示書作成画面

(ii) 消し込みによる配管取付け管理の機能

ボースンは、取付け者から配付した作業指示書を回収し、取付け管の消し込みを行う。ここで、消し込まれなかった配管は、次ステージに未取付け管として受け渡される。

(iii) 取付け予想工数と実績を管理する機能

配管の口径別、種別及び金物の種類別に工数を算出するための換算係数（原単位）を持たせており、これを用いて取付け予想工数と実績を管理している。この数値は、作業長の工程計画システムに接続し、工程の進捗及び工数の消化状況を見ることができる。

(iv) 配管一品の詳細形状を出力する機能

配管を現場で実際に取付ける際に、取付け図のような大まかな絵では実際の取付け方向が定まらずに管製作図を見ることがおうおうにしてある。このような時に、配管の拡大図に詳細情報を併記して出力し管製作図を捜し出してみる手間を省くのが目的で作られた機能である。この機能により管製作図のような帳票類を現場から極力排除しようとしている。

以上のように管取付け管理は、設計で生成された情報を活用し、ネットワークを用いて各ステージ間の情報を円滑に流すとともに個人の目標管理及び図面省略化を狙ったものである。又、取付け指示をよりわかり易く行う為には図3.4.3の様な「殻艤一体表示」を組み込み、よりビジブルなわかりやすい取付け指示を行う必要があると考えている。

(c) 管進捗管理

管製作管理から取付け管理までの全ての配管に関する管理が繋がると進捗管理も全てのステージをカバー可能となる。

(d) 管保守管理

管の仕分けがバーコードにより行われ、このコードが本船引渡後も残る事となればこのコードを用いてアフターサービスや修繕時のドックとの情報のやりとりも円滑となるであろう。また、本船にデータベースを搭載しておき、そこからの製作図レベルの詳細データの取り出しも可能となる。

(4) むすび

近年のパソコンを始めとするハードウエアの価格破壊やLANによるネットワークの広がりにより、造船現場のシステム化もやりやすい環境となってきた。また、上流の設計のCAD化も進み、情報のデジタル化も実現され欲しい情報がいつでも取り出せる状況となってきた。今後、管管理システムに新たに配管物流機能も加わり、社外メーカーとのネットワークによる生産情報のやりとりも可能となって、管管理システムはより広範囲なものに発展していく。

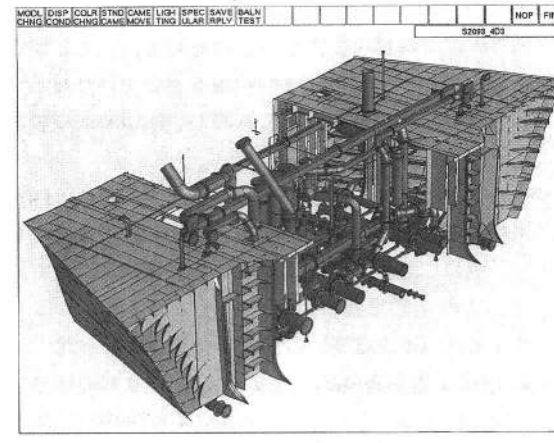


図 3.4.3　殻艤一体表示

3.4.3　大型外洋客船の艤装

1990年（平成2年）6月22日完工したクルーズ客船「クリスタルハーモニー」の建造・引渡しに到達するまでの

経緯及び取組みについて述べる。

(1) 経　緯

1973年（昭和48年）のオイルショックによって日本の造船業は大きな打撃を受けた。その一方で欧米のクルーズ客船の建造マーケットは、一般の海運市況に影響を受けず、また社会状況の変化にともなうクルーズ人口の増加も相まって、その需要にも期待されつつあった。

そこで、1970年頃から急速に発展したカリブ海を中心としたクルーズ事業に使われるクルーズ客船を建造するという趣旨で1986年7月プロジェクトチームを結成させた。

(2) 設計・建造の方針

「クリスタルハーモニー」は、約50年振りに建造される客船であり、まさにゼロからの出発であったといえる。そのため、客船建造プロジェクトは次の基本方針を基にスタートした。

・世界中で就航中の優秀クルーズ船を全て調査し、本船をそのどれにも優るものとすること。
・乗客の90%以上は欧米人であるので、欧米人に最高と評価される客室区画を造ること。
・欧州の一流客船建造造船所でも最低33ヶ月の建造期間が必要であるという工期を、独自の建造法を検討・採用することで26ヶ月の期間で完工すること。

(3) 設備計画

設備計画に関しては、

・艤装岸壁では膨大な物量の取扱を可能にする必要があるため、岸壁の3分の2の敷地を有していたパイプ仕分け場を構内の他場所に移設し、約2,000㎡の艤装品置場を確保した。
・船殻パネルブロックを効率的に生産するため、内組工場の旧コンベアライン設備を撤去し、平定盤化した。更に、船殻パネルブロックの製作が終了した後は、この定盤で客室造作の目玉であったユニットキャビン（計295室）のライン化生産を行った。
・又、内組工場を海調品の仮置き場，チーク材の切り込み加工場及びユニットバスのKNOCK-DOWN工場として活用した。
・内装（いわゆる木艤）工事については、そのほとんどをゼネコン6社に発注し、作業担当して頂いたが、この内装業者（通称大工さん）用として約300人収容可能な事務所兼控所を岸壁側の建屋内に設置した。

以上の計画に基づき推進してきたが、それでも膨大な物量の管理は難しく、特に艤装後半はホテル用品、家具などのコンテナの開梱荷降ろしが計画通り進まないことも重なって、仮置場を求めて構内を探し回るという付帯作業が発生する等、反省点も残した。

(4) 内装作業人員の養成

将来、世界に冠たる客船建造ヤードとなるためにも、ホテル部門の独自技術の確立及び能力確保は重要な取組み事項であった。そこで、社員による内装工事取り込みのため、現業各部から元木艤職関係者を募り、進水数ヶ月前から教育実技を開始した。結果的には厳しいルール（USPHルール）が適用される乗客・乗員用ギャレーのステンレス板工事，ホテル部門の約3分の1を占める12,000㎡のユニットキャビン組立及び船内据付工事を担当し、完成させた。

(5) モデルブロックによる先行艤装工法の検証

客船建造において先行艤装を推進するための最大の課題は、

・パイプ及び空調ダクト等の膨大な物量をいかに正確に推定するか。
・客室の天井裏の狭い空間で作業性を確保するために、艤装品をいかに効率よく配置するかである。

物量推定のミスはそのまま生産計画の失敗に直結するため、生技との調整を慎重に行ってきた。また、膨大な艤装品を効率良く、船体に歪みを与えることなく取付けるために、モデルブロックを利用し作業性の検証も行った。

(6) 内装工事

客船建造と一般商船建造との大きな違いは、

・居住区画が非常に広く、パイプ、ダクト、防熱、内張り、家具などの物量が約20～30倍となっていること。
・乗客、乗組員室（計295室）の製作方法としてユニットキャビン工法が採用されたことによる、船殻ブロック搭載に合わせたキャビンの製作及び本船への積込みを日程厳守すること。
・USPHの厳しいルールを満足する施工（賄室、冷蔵庫のパネル材及び機器類は全てステンレス材を使用し、表面に取付ビスを見せない工法で、更に取付精度は隙間が0.7mm以下であること等）を実施しなければならないこと。

・防火構造ではドラフトストップ適用範囲が多いため、内張り工事と並行作業となる箇所もあり、検査立会いを細分化しなければならないこと。
・就航後の船体伸縮，振動による「ビビリ音」「キシミ音」を絶対に発生させないこと。

これら以外にもスプリンクラー設備の大幅採用，木甲板工事，大理石工事等、客船独特の仕様と作業手順の難しさなど様々なことがあげられる。従ってこれら一つ一つの作業を計画的に進めなければ工事を進捗することができず、作業のミスは工程上大きな問題となりかねない要素を持っていることは、当初より理解はしていた。

しかし、実際には所内調整不足や、客室仕様の決定の遅れ、更には進水前約30回にもおよぶ降雨（船殻構造上、雨水が流れ難い構造となっていたため、その都度排水作業を行わなければならなかった）等の影響により不能率な日々が続き、内装作業がタイムリーにできない箇所が多く発生するなど、反省点も残した。

(7)「クリスタル・ハーモニー」の人気と評価

「クリスタル・ハーモニー」の建造時は内装・装飾がほぼ完成に近ずいた時点で、各界の名士，大学・高校 の教授教員，社員の家族等々、合計約3万人に一般公開を行い、その豪華な出来映えに「感嘆と賞賛」の声を得ることができた。

更に、就航後はSHIP OF THE YEAR '90及びファイブスタープラス等の輝かしい評価を受けるとともに、米国では人気投票一位を獲得するなど、名実ともに世界最高のクルーズ客船の地位を確立した。

また、「飛鳥」（「クリスタル・ハーモニー」に続いて建造したクルーズ客船）は就航後、世界各国のクルージングはもとより、国内航路における「洋上セミナー」の会場として利用される等、学生からも人気を得ている。現在でも「クリスタル・ハーモニー」や「飛鳥」がクルージング途中の寄港地として、長崎の港に白い船体を浮かべ入港してくると、長崎市民の温かい歓迎を受けている。

(8) 技術の蓄積と変革への取組み

「クリスタル・ハーモニー」の建造は、設計・研究所・生技・現場・資材が総力を尽くし、一体となって取り組んだプロジェクトであり、建造中に発生した設計上，工法上の数々の問題点についても各部門が協力し合い頑張ったことで、厳しい建造日程を一日も遅らせることなく完工することができた。

「クリスタル・ハーモニー」に続いて建造したクルーズ客船「飛鳥」では「クリスタル・ハーモニー」の建造において、数々の修羅場をくぐって力を付けた若い技術者が、この時培ったノウハウを様々な箇所に活かし、更に新たな技術を蓄えながら、より済々とした設計・建造を推進し完工することができた。

3.4.4　フェリーの艤装

(1) はじめに

フェリーの歴史は、初期の渡し船から出発し、現在の大型高速化に進んでいる。フェリーは、一面客船として高度の居住性を要求され、又、自動車運搬としての機能をもたねばならぬ。自動車、鉄道、他の輸送機関と比較して効率的にいかに多くの貨物（車）を運べるかを競い、高度の艤装をなし、しかもこれを短工期で建造するということである。また、特に長距離を走る大型のものでは、船型の美しさ、内装の豪華さも忘れてはならない課題である。フェリー艤装は、バルクキャリアーに較べ比率が高く、艤装を主体とした工程計画、配員計画、人員確保等の実施をしなければならない。幾多の問題について困難を乗り越えて解決してきている。

(2) 内装作業

造船所で全ての作業を施工する時代から分業化の時代と変化してきた。その典型的なものが内装作業であろう。造船所社内で内装作業者、内装工場をかかえ、家具一切を製作した時代から分業化が進み内装作業は内装専門業者に発注される事が一般的となり、また、家具等は内装業者から専門工場へ発注との形態が確立されてきた。しかし、作業者の高齢化が進むこれから、未熟練者でも工事可能なキット化、ユニット化が進むと共に、デザイン関係も船舶専門ではなく、ホテル、建築、店舗等のデザイナーによる設計が取り入れられるであろう。

(3) 工　程

生産量の増加から船台期間の短縮、艤装期間の短縮がはかられ、その影響をもろに受けるのが、内装工事である。船台期間短縮から船殻工事を残したまま進水、その後もしばらく火気工事が続く。これらを早く消化させ、艤装工事を本格スタートさせる必要がある。即ち、先行艤装を最重点におく。電装工事から始まったこの手法は反転前の船殻ブロックに、エアコンダクト、根太ピース、パイプ等、天井取り付け品は極力取り付けることが定着し

てきた。そうする事により、船殻工事終了後より早く塗装､防熱工事等と工程を進捗させることが可能となった。また、火気節点日を設け、内装区画での火気使用に区切りをつける管理方法がとられ、工程進捗と品質向上に寄与している。

(4) ユニット化

内装工事をいかに船上工事から地上工事に移す事で、作業の効率化、短工期化が可能となり、作業環境の改善がはかれる。その代表がユニットラバトリーである。ビジネスホテルなみのユニットラバトリーを船殻ブロック搭載前に青空搭載を行う。ユニットの中身はすべて完了しており、固定すれば工事は完了である。しかし、この工法には大物を船内に積む事で、事前準備を念入りに行う事を必要とする。時には、積み込むタイプを間違え船殻を切り取り替えを行った事や、艤装中の火気や機械的ダメージからの保護等の苦労を克服して定着してきた。ユニット化の次のテーマはキャビンのユニット化である。規格化された客室を工場で製作、積み込む工法は効果がある。しかし、ユニットラバトリー同様、一般配置図検討時、本工法を考慮し、計画する事や搭載に対する工程調整を十分行われなければならない。

(5) 管艤装

大型カーフェリーの総管本数は、約20,000本、内装区画に装備されている管本数は、全体の約15%、3,000本が内張内に先行装備されて、航海を楽しむお客様の居住性を豊かなものにしている。これらのパイプは一品毎図面化し、製作、所定の所に取り付けられる。管の継ぎ手は振動で流体が漏れないようにスリーブ溶接継ぎ手を採用し､全てを耐圧チェックを実施する｡現在ではコンピューターの活用で管図面が製図され、以前の手計算、手書きの膨大な作業は見られなくなった。

(6) 振動対策

フェリーはその特性上、船体構造上振動が出易く、また高馬力の主機を搭載するため振動対策を十分にする必要があり、設計、船殻工作、艤装工作、機関関係者と共に対策に努力している。トラブルを早期に発見し、工程をキープするために起振機試験を行うことが望ましい。尚、必要ならば、裸殻運転の実施ということも有効である。これは、船殻の完成と主機等運行に必要な最小限の機器の完成を行い、振動、騒音の調査のため、補強等、必要な火気工事を終了させるものである。新設計フェリーにおいて、その実施はかなり困難ではあるが、本試験実施により効果は大きいものがあった。

(7) 騒音対策

快適な船旅を提供するため、騒音に対し注意をはらってきている。騒音対策は発信源を断つか、遠ざけるか、通さなくするか、である。主機、発電機、通風機、エアコンの吹き出し口より等、色々な音があり、それなりの対処法をとってきた。また、内装材のきしみ音防止にも注意をはらわねばならぬ。特に根太のきしみは航海中になるものである。材料が木からスチール、モジュラーパネルユニットと変化していく過程で種々の対応を行ってきた。海上運転中、注意深く内装区画を回り、音を聞き回り、それが何から出ているかを判断するのも内装担当者の重要な役目となっている。

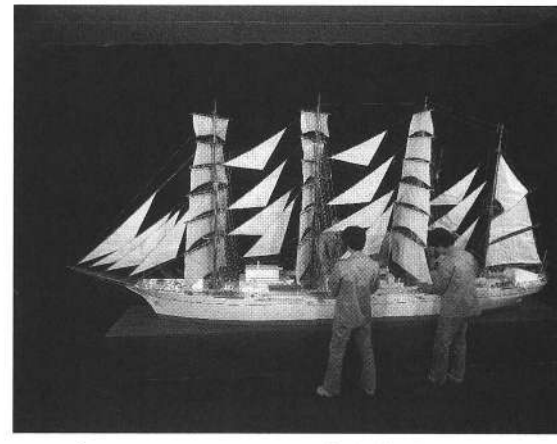


図 3.4.4　大型帆船模型

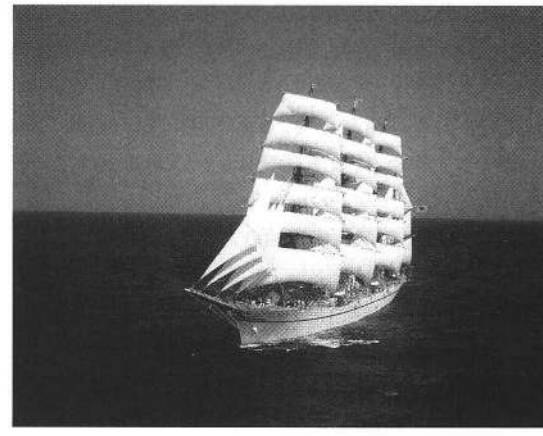


図 3.4.5　日本丸の雄姿

3.4.5　帆船の艤装

(1) はじめに

世界的に大型帆船の新造は稀であり、わが国においては半世紀振りの大型練習帆船の建造であった。帆船「日本丸」の建造では、帆装艤装をはじめとして、建造技術、なかんづく設計資料はまとまったものが少なく、口伝による伝承的技術に近代造船学の光を当て、建造そのものについても体制を固め、さまざまな苦労を重ねて1984年9月完成にこぎつけることができた。

(2) 帆装艤装概要

(a) 設計展開と帆装模型の製作

日本丸の帆装形式は旧日本丸と同様、4檣バーク型を基調とすることが基本方針として決定し、そのマスト配置・帆面積分布については代表的な近代帆船の実績を参考として、帆走性能および外観美を配慮して設定した。また、具体的な帆装艤装の設計展開に際して1/20縮尺の大形帆装模型（図3.4.4）の製作を行った。実船では合計21本のヤード・ガフ・ブームに36枚の横帆・縦帆が総本数約3,000本（延長約30,000 m）に及ぶ長短様々の索具類を介して、立体的に複雑に交錯しながら装備されており、このような帆装艤装について、平面的な設計図面上の検討では微妙な索具類の相互干渉の調整などは困難であり、立体的に綿密な詳細検討ができる大形帆装模型が不可欠のツールであった。この模型製作による徹底的な事前検討により、現場における実際の帆装艤装工事もまた、極めて順調に進めることができた。

(b) マスト・ステイ・バウスプリット

帆装艤装の主構造部材であるマスト、船首から前方に突き出しているバウスプリット及びこれらを支持するステイは設計及び施工面で最も基本的且つ重要な事項であった。

詳細記述は省略するが、艤装工事ではマスト付き金物の荷重試験実施やマストステイの初期張力測定に3点式張力計を特別に注文製作して使用し、張力の設定を行ったことなどが特筆される。

(c) ヤード・ガフ・ブーム

同じく帆装装置を構成する部材であるヤード・ガフ・ブームでは帆走性能（風上に対する切上がり性能）の向上を図るために、各ヤードが船首尾方向に極力鋭角に旋回できるように検討・改善を重ねた。また、操帆を容易にするための重量軽減に配慮し、機能の向上を達成することができた。

(d) 製帆

わが国練習帆船の製帆は、従来からすべて船上にて乗組員と実習生による手作業で行われていた。日本丸の建造計画では当初はミシン縫合帆の採用についても検討を試みたが、既存の製帆用ミシンでは縫糸の強度・縫い目の伸長度などに問題があり、結果として従来通りの手縫い方式を採用することとし、製帆メーカーを育成指導しながら1ヶ年以上の期間をかけて、予備帆1式を含む全帆（合計36枚/2,760 ㎡×2式）の製作を行った。

(e) 高所作業

帆船の建造ではマスト・ヤード上の高所作業が不可欠であり、このための安全管理には特に留意して作業を行った。高所作業時の墜落防止用安全器具の準備、材料・工具類の落下防止用対策及び高所作業者の安全教育と日常の健康状態の確認や高所作業安全指揮者の設置などを実施するとともに、帆装艤装の地上化を徹底し、マスト・ヤードに装備される付属金物・索具類などは極力地上にて取付を完了するよう心がけた。

(f) 試験

帆装艤装がほぼ完了した時点でマストごとにヤード・帆・索具などの作動性を確認するために操帆テストを実施した。帆船である以上、本来洋上において帆走試験を実施することが望ましいが、現実問題として帆走試験を遂行するには、操帆技術を習熟した相当数の乗組員の下に100名前後の操帆作業要員を配備する必要があり、造船所の手でこれを実行することは困難な問題がある。このため、造船所としては帆装艤装各部材の強度計算及び個別荷重試験の実施により、安全性を確認し、次に各マストごとに前述の操帆テストを行って各部の機能と作動性を確認した。

(3) むすび

「日本丸」の建造に続き、5年後には海王丸が建造され、新旧交替を果たした両帆船が毎年新しい船乗りを世に送り出している。幸いにして新練習帆船の建造工事は1件の人身事故もなしに予定通りの工期で無事完了した。建造工事の過程では、とりわけ帆船艤装については艤装品の名称・用途の勉強に始まり、まさに学ぶことの連続で

あった。そして、我々は帆船に秘められた技術には近代船にも活用できるものが数多くあることを学んだ。

3.4.6　コンテナ船ハッチカバー構造の変遷

(1) はじめに

コンテナ船の構造の特徴は、ホールド内にコンテナを積み付ける為のセルガイド構造が船殻の中で最高の精度と品質を要求されるものである。一方、船体艤装の中ではハッチカバーの据え付け作業が最高の精度と品質を要求されるものである。

このハッチカバー据え付け作業に最も大きく影響を与えたカバー構造の変遷について述べてみる。

(2) ハッチカバー構造の変遷

日本で初めてのコンテナ船（「箱根丸」-1968年8月引き渡し）から現在建造中のエバグリーン社コンテナ船迄を4世代に分類する。

(a) 第一世代

・荷重受け構造が全面メタルタッチの為，カバーとコーミングトップ面との摺り合わせ作業に苦労した。
・パッキンによる水密性試験の為ホールド内に足場架設を必要としホールド内工事の不効率の一因となっていた。

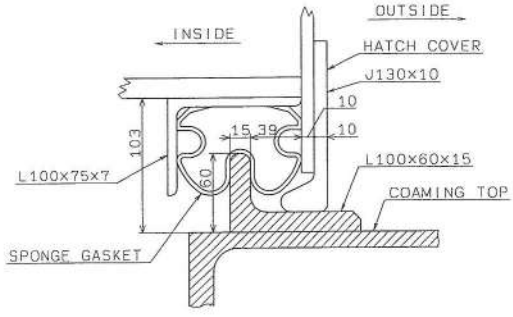


図 3.4.6　ハッチカバーパッキン構造

(b) 第二世代

・パッキンレスにより水密性試験は無くなったがシールバーとカバーリテーナーとの隙間保持に苦労した。
・船首より0.25 L迄のカバーはパッキン有りを継続した。

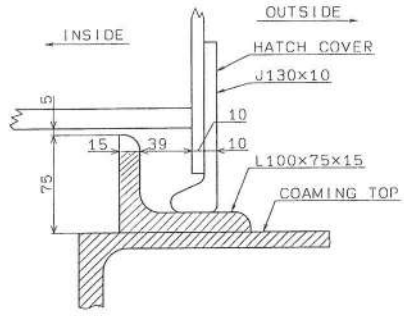


図 3.4.7　パッキンレスハッチカバー構造

(c) 第三世代

・荷重受けに部分受け方式を採用した。全面受け方式に比べて格段にやり易くなったが受け部のメタルタッチ度には依然として苦労している。
・船首より0.25 L迄のカバー構造は長い間水密性を要求されていたが，近年全面にパッキンレス仕様が認められてきている。

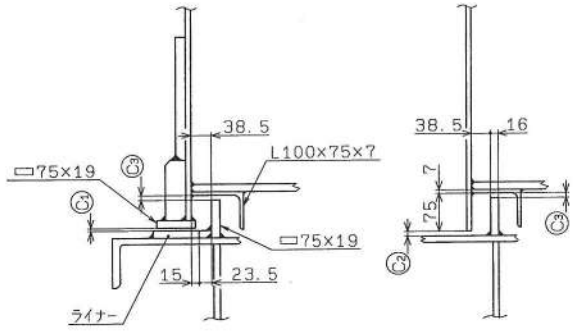


図 3.4.8　部分荷重受け部構造

(d) 第四世代

・ロンジウエブレスによる大幅な荷重受け部の削減をした。
・ホールド内作業の大幅改善をした。

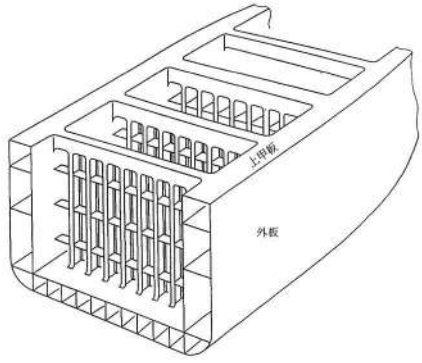


図 3.4.9　ロンジウエブレス構造

(3) むすび

第一世代のコンテナ船はフリーボードが低く従来の延長線上として貨物船の倉口蓋の水密構造が採用された。また荷重受け構造はカバー上に載るコンテナーの荷重を支える構造として従来の固定観念から全面荷重方式が採用され、メタルタッチ調整工事に非常な苦労を強いられた。加えてカバーの据え付け精度も厳しく船体艤装工事の中でも高難度作業として多大の時間を費やしていた。

その後、運航実績の解析による問題点の把握、船の大型化によるフリーボード位置上昇等によりカバー構造の非水密化、部分荷重受け化の構造変革が大きく叫ばれるようになってきた。そう言った中で非水密構造の実現に大きく寄与したのは阪大の赤木の論文“冠水によるハッチカバーの浸水に関する考察”（日本造船学論文集第136号、1974年）であり、これ以降パッキンレスのカバー構造が一般的になってきた。

また荷重受け構造の就航時のトラブル（全面受けによるコーミングトップに溝発生）、設計構造解析の進展（骨端部での荷重受け構造）により部分荷重受け構造が認められる様になり第二、三世代のカバー構造として長年主流を占め、作業の難度は軽減されてきた。

第四世代になるとホールド内コンテナ積み付け数を増加させるためロンジウエブレス構造が採用されるようになりカバー荷重受け部が大幅に削減し据え付け作業のより一層の軽減化に寄与してきている。

以上の通り第一世代から第四世代までの構造改革はその時代の要求に合わせて関係者の血のにじむ努力が成果に結びついたものである。今日の我々はその恩恵を享受しているが、いま時代の変化は激しく、急であり今後さらなる構造改革をすることがこの厳しい環境を生き残れる最善の方法である事を再認識し、さらなる変革活動を続けて行くことが必要である。

3.4.7　小型LNG船の船体艤装工事

(1) LNG船建造の歩み

1981年（昭和56年）9月末に竣工した「GOLAR SPIRIT」はLNGタンク総容量約129,000立方メートルを持つ世界最大級のLNG船であり、同時に国産初のLNG船でもあった。本船の建造を皮切りに、「尾州丸」、「琴若丸」、「NORTHWEST SHEARWATER」、「LNGフローラ」、「SHAHAMAH」、「SURYA AKI」の6隻を竣工させ、現在もカタール・プロジェクト向けLNG船の艤装中である。

近年建造船の場合は、従来は他場所で製造されていたカーゴタンクも同一工場において製造され、船内に直接リングブロックを搭載しており、タンク防熱も全て船内作業になっている。タンク防熱以外の船体艤装においては低温管パイプユニット、カーゴマシンルーム、ローディング・マニフォールドの徹底した先行艤装が当初から採用されており、その後大きな変更は見られない。

(2) 小型LNG船の建造

1996年（平成8年）2月に竣工した「SURYA AKI」はLNGタンク総容量約19,100立方メートルという従来の建造船とはタンク容量の大きく異なる小型LNG船であった。本船の建造にあたっては艤装工事上、次の大きな特徴が見られた。

・カーゴタンク防熱工事の約70%を地上にて先行施工する
・進水後約8カ月の艤装期間で完工させる

(a) カーゴタンク先行防熱の採用

初期建造の3隻においてもカーゴタンクの先行防熱は採用されていた。しかし約70%にもなる先行率は本船が初であり、防熱工事用の足場架設、防熱工事後のストック中の防火・防水対策は慎重に検討を行った。そして、総組後のタンクカバーを利用することにより、上記の課題を克服することが出来た。

(b) 短期艤装工事の実現

LNG船の建造においてはカーゴタンク液面計・タンク容量の検定、審査に一定期間を必要とし、小型・大型船の区別はない。そのため実質6カ月の艤装期間となり、船殻・艤装・塗装工事の効率的な運営、管艤装と仕上・電装工事間の綿密な節点管理の実施により、予定通りに完工した。

(c) 小型船建造上の問題

本船は従来型LNG船の約1/2の大きさであり、いささか小さすぎる船であり、様々な問題を経験した。そのひとつが艤装岸壁の選定であった。岸壁設備全てが全長300メートル程度の大型船を想定しているため、係留・乗下船用タラップには現場改善の英知が用いられた。また船上スペースが少なく、艤装品の積み込みには秩序と協議が求められた。

(3) 近未来のLNG船艤装

将来のLNG船艤装工事上の課題は自動化導入であろう。

・ステンレス低温管突き合わせ溶接のロボット化

・カーゴタンク防熱工事の機械化

この2点はLNG船艤装工事上、大きなウエートを占めており、品質の維持の観点からも重要である。この他には、物量軽減追求の設計も必要である。

コストダウンと高品質の維持は永遠に追求しなければならない課題である。

3.4.8　VLCCの艤装

1971年（昭和46年）に世界最新鋭の大型船建造工場として九州の地に産声をあげたのち、1975年に40万トンULCC、翌年には最大級の50万トンタンカーを建造した。ここに少し50万トンタンカーの話を紹介する。L×B×D（390×71×31.2）というのはドックの上から見ると人間がまるで蟻のよう見えるほどである。主機は45,000馬力のタービン機関、プロペラ直径9.6m、艤装品ではタンク内のパイプに関して言えば直径1,000㎜と人間が中腰で管内を通行できるほどの大きさで、このパイプ延べ長さは1.8kmバルブの開閉装置は電動油圧のリーチロットでリーチロットの径は80mmとこれまた馬鹿でかく容易に運ぶ事が出来る品物ではなかったのである。

建造当初、艤装工事のあり方は、ステージ管理で艤装工事する考え方、いわゆる船殻、艤装一体の管理方法で船殻の工事に左右されない艤装独自の生産管理の可能性を究明した艤装工場（ブロック艤装、ユニット、甲板艤装）を専用工場として配置し製造に当たったのである。ところがオイルショックによりその設備能力を最大限に生かしたULCC、VLCCの建造は途絶え、小型タンカー、バルクキャリアーといった船、また、それ以外にバージ、冷凍運搬船、海洋構造物であるジャッキアップタイプのオイルリグ、セミサブの製造と構造転換を余儀なくされたのである。この時期に、艤装工事はステージ管理から機能別に移行して艤装工事が最適な場所で施工するようになった。1988年からVLCC連続建造が再開され、オイルショックによる合理化で小数精鋭の中、考えられたのがノンファイナルドック、機関室天井と上部構造下部を一体にして搭載する建造法である。ノンファイナルドック建造法とは通常、海上試運転前に外板の最終塗装施工するためにドックに入渠することを言うがこのファイナルドックを設けずに建造する工法を言うのである。また、一方の機関室天井と居住区一体工法とは機関室天井の足場板を渠中まで持っていかず、地上にて工事を完成させ足場板の解体を地上で終わらす工法のことを言うのである。このような工法を講じてVLCC4隻/年の建造を確立させたのである。

タンカー海難事故による油流出で海洋汚染防止が取り沙汰され国際海事機関（IMO）加盟国は環境破壊を防ぐため大型タンカーは二重船体（ダブルハル）が義務付けられたのである。これによりタンク内の隔壁が増え艤装物量も増加するが生産性を確保するには、短工期建造につながる工法の研究開発を設計、現場一体となって創意工夫し他社に負けない強靭な体質を築く、そこには生産システムにマッチした設備と3K（汚い、きつい、危険）を排除する機器装置の改良、改善と未経験者にも高い生産性を維持できる工場の構築、近い将来コンピューターにより情報の生成と活用で製造の推進にCIM化を構築するであろう。

第4章　設計

4.1　基本計画

4.1.1　専用船の時代

経済が発展し、工業化が進むと、海上輸送量が増加し、船舶の隻数、船腹量も増加するが、貨物の種類も多様になる。また貨物船以外の多様な商用船も出現するようになる。図4.1.1に1960年以降の世界の商用船、貨物船の隻数、GT、平均GTの推移を示した。この図の示す所は、1960年から1980年の間で隻数では商用船は飛躍的に増加しているが、貨物船の増加は緩徐である。商用船全体のGTは1960～1980年間に急増していて、1980年以降は緩徐である。全商用船と貨物船の差は僅少である。このことは貨物船は隻数の増加は緩徐であるが、大型化していること、貨物船以外の商用船はGTは小さいが隻数が増加していることを意味している。これを端的に示しているのが平均GTである。年代を通じて、貨物船の平均GTに対して商用船全体では約1/2であるが、隻数の変遷をみると、貨物船の大型化が推察される。これと同時に1995年末に於ける商用船の船腹構成を表4.1.1に示した。

本表で船種が多彩になっている事とともに、撒積乾貨物船部門の平均GTが他の部門より大きく、特に油／貨兼用船が突出している。乾貨物船部門では一般貨物船の平均GTが小さくて隻数が多いことは世界的に外航大型船が減少していることを意味している。これに対してコンテナ船、RORO貨物船の大型化、貨客船の小型化、老朽化が目立つ。これ等の項目を細分すると更に船種が増え、現代は専用船の時代であり、一般貨物船に対してその他の船を特殊船とした定義は今や死語化していると言える。

4.1.2　荷役方式の多様化

商用船特に貨物船は航行して荷役をすることがその機能であるから、走る事と同様荷役効率が重要である。第二次世界大戦前の荷役方式は、船或いは岸壁の荷役機械で積み込み、積み卸しをするLift-on-Lift-off方式、タンカーやセメント運搬船のようにポンプ、コンベアを使用した連続荷役方式、鉄道車両渡船のRoll-on-Roll-off方式であったが、戦後の躍進期に入ってから、LOLO方式にunit cargo方式が加わり、RORO方式に自動車が加わった。更に、新しい方式としてFloat-on-Float-off（Swim-on-Swim-offとも言う）と呼ばれるバージをはじめ浮体を船倉に格納する方式が出現した。この方式はガントリークレーンを使用して標準化したバージを格納するLASH船、シンクロリフトで浮体を揚降し、Dolly-Hydraulic jackで船倉に搬入するSea Barge Carrier等があるが、純然たるFOFOは海軍用語ではWet-Well Operationと呼ばれ、英海軍の"Fearless"級、米海軍のLSD（Landing Ship Dock）、FDL（Fast Deployment Logistics）等がある。

これとは別に、自船を沈下されて浮体を掬い揚げ卸しする半潜水式リフトバージ方式があり、海洋構造物の運搬等に使用される。これ等の荷役方式の大別を図4.1.2に示

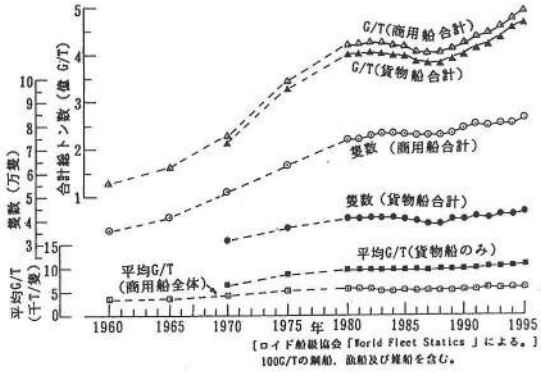


図4.1.1　世界の商用船の船腹推移

表4.1.1　1995年末の世界商用船の船種別船腹構成

	隻	1000G/T	構成比(%)	平均G/T	平均船齢
合　計	82,890	490,662	100	5,919	18
貨物船	43,802	464,988	94.8	10,616	18
液体貨物船	10,138	170,910	34.8	16,858	16
液化ガス船	985	14,899	3.0	15,126	14
化学薬品船	2,077	12,075	2.5	5,814	12
オイルタンカー	6,761	143,521	29.3	21,228	17
その他	315	416	0.1	1,321	20
撒積乾貨物船	6,165	151,694	30.9	24,606	14
撒積乾貨物船(ギァレス)	4,799	128,518	26.2	26,780	14
油／貨兼用船	226	14,.106	2.9	62,416	15
荷役装置付撒積貨物船	158	2,923	0.6	18,500	24
その他	982	6,148	1.3	6,261	15
その他の商用船	27,499	142,383	29.0	5,178	19
一般貨物船	17,181	56,759	11.6	3,304	21
貨客船	351	676	0.1	1,926	29
コンテナ船	1,763	38,742	7.9	21,975	11
冷凍・冷蔵船	1,446	7,158	1.5	4,950	16
RORO・貨物船	1,673	20,430	4.2	12,212	15
RORO・貨客船	2,256	10,562	2.2	4,682	19
旅客船	2,613	6,170	1.3	2,361	18
その他	216	1,886	0.4	8,731	22
その他の商用船	39,088	25,674	5.2	657	19
漁船	23,929	13,348	2.7	558	19
その他	15,159	12,327	2.5	813	20

[ロイド船級協会「World Fleet Statics」による。]
100G/Tの鋼船、漁船及び雑船を含む。構成比はG/T

した。

Unit Cargo, RORO方式の発展に伴い、より効率的にするため、船尾船首のランプウェイ、バウバイザー、回転式サイドポートドア、跳ね揚げ式サイドポートドア、可動式斜路、可動式車両甲板、カーリフター、ユニット貨物搬出入ローラ装置等の荷役補助装置が発達した。

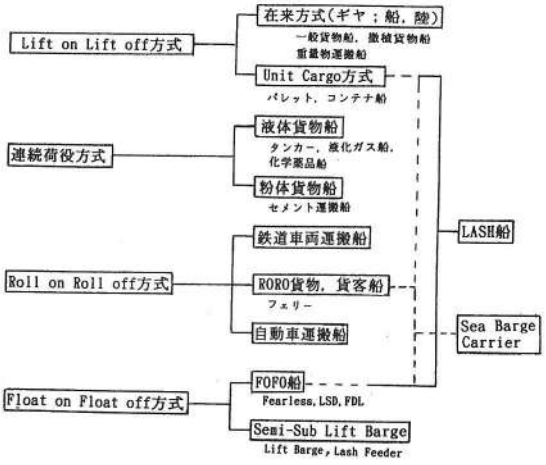


図 4.1.2　商用貨物船の荷役方式

4.1.3　貨物船の大型化と専用船化

オイルタンカーの大型化については、これまでに多く述べたが、他の貨物船でも例外ではない。また、表4.1.1に述べた多彩な専用船について、その発展の経緯と主要要目について触れることは紙数が許さない。ここでは限られたものの現状を中心にして概説することにする。

(1) 巨大船

タンカーに次いで大型化が目立つものは、撒積貨物船特に油との兼用船である。DWT20万トン以上のものを巨大船として日本国籍船の主要要目の一端を表4.1.2に示した。喫水が制約される船では特にL/Bが小さく、幅広浅喫水船の特徴を示している。

(2) Lift-on-Lift-off 船

(a) 在来荷役方式船の専用化：

1950年代前半に在来の特殊船である木材運搬船、鉱石船、石炭船が復活したが、1950年代の後半から、チップ船、撒積船、鉱炭兼用船、重量物運搬船等が出現した。

1960年代に入ると、自動車産業の進展に伴い、往航自動車、復航穀物、鉱石とする自動車撒積、鉱石等の兼用船が出現した。この兼用船の初期の自動車荷役はLift-on-Lift-offで行われたが、後にランプウェーと可動甲板を利用したRORO方式の兼用船となった。又、鉱石船でもニッケル、ペレット、燐鉱石等の専用化が進み、更に鉱油、炭油等の兼用船が出現した。これ等は何れも年とともに大型化した。例をチップ船にとると、1964年（昭和39年）の「呉丸」(17,315DWT) は世界初の大型チップ専用船とされたが、現在では57,000DWTが就航している。これ等の船の主要要目の一端を表4.1.3に示した。

表 4.1.2　DW20万トン以上の船の主要要目例

船　名	日新丸	日石丸	宇佐丸	尾上丸	星光丸	ふろんちあ丸	駿河丸
船　種	油	油	鉱　石	鉱　石	鉱　油	撒　積	鉱　撒
建造年	1975	1988	1972	1989	1979	1983	1987
G/T(T)	238,517	149,537	143,304	116,427	128.413	112,436	107,943
DW(t)	484,276	258,094	269,500	233,016	247,924	224,222	215,158
L(m)	360.00	318.00	320.00	305.00	313.00	299.00	285.00
B(m)	62.00	60.00	54.50	54.00	52.00	50.00	50.00
D(m)	36.00	29.70	28.00	24.60	27.30	26.65	26.70
d(m)	28.20	19.60	21.03	18.32	20.48	19.88	19.86
△(t)	550,906	291,723	312,465	259,711	287,511	254,980	240,338
DW/△	0.879	0.885	0.862	0.897	0.862	0.879	0.895
L/B	5.806	5.30	5.87	5.65	6.02	5.98	5.70
L/D	10.00	10.71	11.43	12.40	11.47	11.22	10.67
B/D	1.722	2.02	2.59	2.19	1.90	1.88	1.87
B/d	2.198	3.06	2.59	2.95	2.54	2.52	2.52
主　機	1-T	1-D	1-D	1-D	2-D	2-D	1-D
HP	45,000	23,640	18,000	19.700	36,000	18,900	19.200
VT(Kts)	16.50	15.80	13.94	16.13	17.10	15.70	15.10
Vs(Kts)	14.30	14.00	11.00	14.00	16.00	13.00	13.50

(b) ユニットロードの代表コンテナ輸送

(a)に述べた専用船は対象貨物が原材料あるいは単一大量生産に限られたものであるが、多種少量の“雑貨”は対象外であった。経済の発達に伴い、大量消費、工業の広域化により流通機構の合理化に対し、ユニットロード化が実用化された。この代表がコンテナ輸送方式である。コンテナの海上輸送は1952年に米国の沿岸航路で実用化されたが、その後陸運と海運を結ぶ海陸一貫輸送方式として急速に発展した。わが国におけるコンテナ設備の外航第一船は1959年（昭和34年）の「おれごん丸」(12,500DWT) であるが、本格的なコンテナ専用外航船は1968年（昭和43年）の「箱根丸」(16,300DWT) である。以後急速に大型化、高速化し、1971年（昭和46年）には「鎌倉丸」型（35,400DWT, 29.6ノット, 80,000HP）が出現した。世界的にも30ノットを超える高速船が計画され

たが、1973年のオイルショックの影響でコンテナ数は増加したが、速力Vsは23ノット程度に押さえられた。表4.1.4に「箱根丸」から20年の推移を示した。

表4.1.3　Life-on-Life-off船の主要要目例

船　名	Maritime Pioneer	いーでん丸	新となみ	日豊丸	春栄丸
船　種	Log	チップ船	チップ船	Car/Bulk	重量物
建造年	1976	1989	1991	1978	1983
G/T(T)	11,313	50.489	39,219	26,195	15,163
DW(t)	18.765	57.378	47,002	37,834	23.404
L(m)	146.0	219.0	192.00	173.20	150.00
B(m)	22.6	36.0	32.20	27.60	24.60
D(m)	12.9	22.9	19.64	18.50	14.00
d(m)	9.29	11.8	11.02	12.12	10.02
Cb	0.757	0.731	0.812	0.828	0.808
△(t)	23.793	69.698	56.732	49,277	30,612
DW/△	0.790	0.823	0.828	0.768	0.765
L/B	6.46	6.08	5.96	6.28	6.10
L/D	11.32	9.56	9.77	9.36	10.71
B/D	1.75	1.57	1.63	1.50	1.76
B/d	2.43	3.05	2.92	2.28	2.56
主　機	1-D	1-D	1-D	1-D	1-D
HP	8,400	11,750	10,200	12,660	8,160
VT(Kts)	17.50	17.69	15.74	16.41	16.70
Vs(Kts)	15.00	14.50	14.00	15.0	13.90
備　考		Hold Cap. 117.898m³ ギヤなし	Hold Cap. 99.552m³ ギヤ付き	Car ;2,638 25t DK CR×3 船尾ランプ	200t×1 25t×4

(3) 連続荷役方式船

連続荷役方式の船の代表はポンプを使用するタンカーであるが、ここでは専用船化した液化ガス船を示した。わが国のLPG船は1960年（昭和35年）の「第一えるぴい丸」（1,077GT）が第一船である。その後無公害燃料の評価がLPGの需要を伸ばし、LPG船も大型化し、1967年（昭和42年）には「竜野丸」（31,083GT）が建造され、1994年末では最大48,000GT、40,000GT以上が10隻、29,000GTが1隻就航している。

LNG船が導入されたのは、1974年にモスローゼンベルグで建造された「朝明丸」が第一船であったが、その後技術提携によって国産化され輸出船も多数建造されているが、日本国籍のものでは10万GT以上が10隻、7.1万GTが1隻就航している。

化学薬品船は硫酸、酢酸、重硫安液等を対象にするが、製品需要の特性から、タンクローリー等が便利なことも多く、大型船が必要ではない。1,000GT以上の船が1隻で、

表4.1.4　コンテナ船の推移

船　名	箱根丸	P.あろう	白馬丸	加　賀
建造年	1968	1973	1979	1988
G/T(T)	16,240	30.576	36,723	51,047
DW(t)	16,306	26,837	29,701	59,533
L(m)	175.0	204.0	200.0	273.0
B(m)	26.0	31.2	32.20	32.20
D(m)	15.5	18.90	21.60	21.50
d(m)	9.50	11.23	11.52	13.03
Cb	0.556	0.574	0.582	0.667
△	24,777	42.061	44.281	78,343
DW/△	0.658	0.638	0.670	0.760
L/B	6.37	6.54	6.21	8.48
L/D	11.29	10.79	9.26	12.69
B/D	1.68	1.65	1.49	1.50
B/d	2.71	2.78	2.80	2.47
コンテナ数	752	1,481	1,584	3,618
内　冷凍C.	80		586	200
主　機	1-D	1-D	1-D	1-D
HP	27,800	36,000	27,200	39,000
VT(Kts)	26.0	26,86	24.48	25.50
Vs(Kts)	22.6	22.80	21.60	23.00

表4.1.5　液化ガス運搬船等の主要要目

船　名	N.すわろう	朝明丸	城山丸	武蔵グロリア	NO.51伸興丸
船　種	LNG	LNG	LPG	LPG	化
建造年	1989	1974	1984	1993	1985
G/T(T)	106.717	71.822	47,938	42,431	1,596
DW(t)	66.892	50.746	49,999	49,255	3,249
L(m)	259.0	237.0	214.0	212.0	77.0
B(m)	47.2	40.0	36.0	36.0	14.0
D(m)	22.85	23.0	20.51	17.7	6.6
d(m)	11.39	10.64	11.32	11.02	5.6
△(t)	97,462	74,146	68.961	66,138	4,595
DW/△	0.686	0.684	0.725	0.745	0.707
L/B	5.49	5.93	5.94	5.89	5.50
L/D	11.33	10.30	10.43	11.98	11.67
B/D	2.07	1.74	1.76	2.03	2.12
B/d	4.14	3.76	3.18	3.27	2.50
主　機	1-T	1-T	1-D	1-D	1-D
HP	23,300	30,000	18,600	12,400	2,400
VT(Kts)	18.51	20.6	19.38	17.9	12.5
Vs(Kts)	18.50	17.5	16.00	16.0	12.0
Capacity (m³)	127,544	88,051 モスローゼンベルグ建造	82,512	75,358	3,044

全体でも10隻に満たない。

この他に石油製品運搬船がある。粉体貨物の代表であるセメント船もあるが、発達はしているが、荷役の基本は戦前からある。セルフアンローディングもあるが、これ等は省略した。

(4) Roll-on-Roll-off船

(a) 鉄道車両渡船からフェリーへ

第二次世界大戦で壊滅的な打撃を受けた青函連絡船をはじめ、鉄道車両渡船は他船に先駆けて整備された。この中には戦時標準船の続行も含まれたが、新設計の船としては宇高の「紫雲丸」型、青函の「洞爺丸」型がともに1947年（昭和22年）に建造された。これにより強化されたものの、1954年（昭和29年）9月18日の台風15号で、青函連絡船は「洞爺丸」以下5隻が一挙に沈没する事故に遭遇した。この事故解明に水槽実験を含む大規模な調査研究が行われ、車両区画への波の打込み影響等以後の車両渡船、フェリーに対する安全性の基本的知見が得られた。この結果、「桧山丸」型が誕生し、更に1964年（昭和39年）に最後の車載客船と言われる「津軽丸」が完成した。この船はマルチエンジン、わが国初のバウスラスター装備、高度な自動化等を行ったもので、同型7隻が建造され第7船の「十和田丸」は主機を防振支持し、振動、騒音の低減を図った。またフィンスタビライザーも後日装備した。

青函トンネル、本四架橋により、青函、宇高の連絡船は消えたが、戦後の船舶技術の一面は旧海軍に代わって旧国鉄連絡船が先導したと言われる。これ等の技術はその後のフェリー設計の基盤となった。表4.1.6に戦後の鉄道車両渡船、表4.1.7に最近の旅客フェリーの主要要目を示した。

表4.1.6　戦後の鉄道車両渡船

船　名	紫雲丸	洞爺丸	北見丸	第三宇高丸	桧山丸	讃岐丸	津軽丸	伊予丸	渡島丸
建造年	1947	1947	1948	1953	1955	1961	1964	1966	1969
航　路	宇　高	青　函	青　函	宇　高	青　函	宇　高	青　函	宇　高	青　函
船　首	車・客	車・客	車	車	車	車・客	車・客	車・客	車
G/T	1,449	3,898	2,928	1,282	3,393	1,828	8,278	3,084	4075
L(m)	72.00	113.20	113.20	72.00	111.00	73.2	123.00	84.00	136.00
B(m)	13.20	15.85	15.58	14.50	17.40	15.0	17.90	15.80	18.40
D(m)	5.00	6.80	6.80	5.00	6.80	5.30	7.20	5.45	7.20
d(m)	3.50	4.90	5.00	3.50	4.70	3.70	5.20	3.70	5.10
L/B	5.45	7.14	7.14	4.97	6.38	4.88	6.87	5.32	7.39
L/D	14.40	16.65	16.65	14.40	16.32	13.87	17.08	15.41	18.89
B/d	3.77	3.23	3.17	4.14	3.70	4.05	3.44	4.27	3.61
主　機	2-T	2-T	2-T	2-D	2-D	2-D	8-D2-cp	2-D2-cp	8-D2-cp
HP	2,181	5,455	6.005	2,204	6,187	2,178	10,740	4,870	11,945
VT(Kts)	14.66	17.45	17.82	15.01	17.11	12.88	20.64	16.88	20.67
客　数	1,500	932	—	—	—	800	1,200	1,800	—
線路数	2	2	4	3	4	3	4	3	4
貨車数	14	18	44	22	43	24	48	27	55
手押車	18	—	—	14	—	6	—	—	—
同型船	眉山丸 鷲羽丸	摩周丸 羊蹄丸 大雪丸	十勝丸 渡島丸 日高丸		空知丸 十和田丸	(ホイットシュナイダープロペラ)	八甲田丸 松前丸 摩周丸 羊蹄丸 大雪丸 十和田丸	土佐丸 阿波丸 讃岐丸	日高丸 十勝丸 空知丸 桧山丸 石狩丸

［車・客］；車載客船　貨車数；ワム型貨車の数
［車］　；車両渡船

表4.1.7　各級の旅客フェリー

船　名	フェリーあざれや	へすていや	さんふらわあにしき	クィーンコーラル	フェリーNO.10おおすみ
建造年	1994	1993	1992	1993	1984
G/T(T)	20,554	13,539	9,684	4,924	1,503
DW(t)	7,440	6,914	3,520	3,686	510
L(m)	181.0	175.0	140.0	128.00	70.0
B(m)	29.4	27.0	25.0	20.50	13.3
D(m)	14.5	18.31	13.3	14.0	4.7
d(m)	6.78	6.71	5.47	6.20	3.65
Cb	0.527	0.529	0.527	0.498	0.545
△(t)	19,493	17,209	10.353	8,300	1,899
DW/△	0.382	0.402	0.340	0.444	0.269
L/B	6.16	6.48	5.60	6.24	5.26
L/D	12.48	9.56	10.53	9.14	14.89
B/D	2.03	1.47	1.88	1.46	2.83
B/d	4.34	4.02	4.57	3.31	3.64
主　機	2-D	2-D	2-D	2-D	1-D
HP	32,400	35,600	25,200	13,500	4,600
VT(Kts)	26.01	26.20	24.47	22.15	17.85
Vs(Kts)	22.70	24.00	22.10	20.15	16.64
客　数	926	703	942	500	738
トラック	186	154	100	27	
乗用車	80	77	60	66	
コンテナ	—	—	—	236	—

(b) RORO貨物船と自動車運搬船

わが国のRORO貨物船は国内ではフェリーの発達で特定の貨物に限定され、比較的遠距離、中距離の近隣諸国は受入れ態勢が十分でないので、欧州程大型化が進んでいない。1994年末では5,000DWTを超えるものは1隻に過ぎない。

自動車運搬船の大型化は目覚ましく、1960年代の撤積兼用船で800台程度であった1970年代後半では表4.1.3に

表 4.1.8　RORO 貨物船と自動車専用船

船　名	神正丸	ほっかいどう丸	けんたっきーはいうえい	神成丸
船　種	RORO	RORO	PCC	PCC
建造年	1978	1990	1987	1990
G/T(T)	3,149	7,227	32,652	31,340
DW(t)	3,295	5,797	15,587	17,914
L(m)	105.00	146.00	170.00	188.00
B(m)	18.00	23.60	32.20	32.20
D(m)	12.30	16.50	21.15	22.18
d(m)	6.01	6.62	9.81	9.65
Cb	0.568	0.482	0.538	0.539
△(t)	6,619	11.260	29.645	32,290
DW/△	0.569	0.515	0.525	0.554
L/B	5.83	6.19	5.28	5.84
L/D	8.54	8.85	8.04	8.50
B/D	1.46	1.43	1.52	1.45
B/d	3.00	3.56	3.28	3.34
主　機	2-D1-S	1-D	1-D	1-D
HP	8,000	14,600	15,650	16,800
VT(Kts)	20.30	23.90	21.80	21.60
Vs(Kts)	17.0	20.50	19.00	19.20
NO. Car		12mT	5,640	5,322
Truck		109		8t × 245
Cont'ner				255
備　考	Ramp/Stern Side Lifter Cargo Lifter	Ramp/Stern Bow Cargo Lifter	Ramp/Stern Side × 2	同　左

表 4.1.9　FOFO 船の要目

船　名	FLASH	SPLASH	Ocean Servant I	Super Servant I	Acadia Forest
船　種	SEMI-SUB		SEMI-SUB		LASH
建造年	1974	1978	1976	1979	1969
G/T(T)					36,861
DW(t)	4,243	11,400	12,600	13,500	44,126
L(m)	80.00	125.00	108.00	130.00	234.00
B(m)	24.40	34.20	30.00	32.0	32.50
D(m)	5.35	7.50	7.50	8.50	18.29
d(m)	3.43	4.80	5.36	6.00	11.25
Cb			0.892	0.70	0.705
△(t)			15,945	19,300	62.022
DW/△			0.790	0.70	0.711
L/B	3.28	3.65	3.60	4.06	7.20
L/D	14.95	16.67	14.40	15.29	12.80
B/D	4.56	4.56	4.00	3.76	1.78
B/d	7.11	7.13	5.60	5.33	2.89
主　機	—	2-D	2-D	2-D	1-D
HP	非自航	6,000	1,440	8,500	26,000
VT(Kts)				14.40	20.54
Vs(Kts)		10.30	7.30	13.50	17.16
沈下 d(m)	8.40	10.53	11.50	14.50	500t Barge.
B.TK(m^3)	8,833	26,260	20,650	24,637	× 73 隻
沈下時間	P. 4.1h	P. 6.6h	G. 2.1h	G. 1.7h	500t ガン
浮上時間	P. 4.1h	P. 6.6h	Air 3.3h	Air 3.8h	トリーク
					レーン

[沈下浮上時間の P. はポンプ、G. は重力、Air は圧縮空気方式]

示したように2,600台、専用船では1980年前後で最大6,000台のものが出現したが、表4.1.8では最近の最も普通の外航船の5,500台前後のものを示した。

(5) Float-on-Float-off 船

この方式については4.1.2で概説したので、方式の説明は省略し、表4.1.9にその要目を示すに止める。LASH は河川港と河川及び運河で結ばれたその奥地を連絡するのに好都合であり、米国～欧州間が主航路になっている。

半潜水式リフトバージは初期のものは、注排水をポンプで行っていたが、表4.1.9に示したように、重力、圧縮空気方式が沈下浮上時間が短縮できるので、この方式が主流となった。低圧大要領の空気圧縮機を装備することが要点となる。浮体を海上輸送する場合、短距離では曳船で曳航する方が経済的であるが、遠距離輸送ではリフトバージによる方が安全性の点でも有利である。

表 4.1.10　日本国籍の代表的クルーザー客船

船　名	飛　鳥	ふじ丸	おせあにっくぐれいす
建造年	1991	1989	1989
G/T(T)	28,717	23,340	5,218
DW(t)	3,596	4,613	784
L(m)	160.00	147.00	92.00
B(m)	24.70	24.00	15.40
D(m)	15.95	13.50	6.20
d(m)	6.61	6.55	4.31
Cb	0.606	0.615	0.599
△(t)	16,222	14.563	3,752
DW/△	0.222	0.316	0.209
L/B	6.48	6.13	5.97
L/D	10.03	10.89	14.84
B/D	1.55	1.78	2.48
B/d	3.74	3.66	3.57
主　機	2-D	2-D	2-D
HP	23.540	21.400	7,060
VT(Kts)	21.94	22.42	19.30
Vs(Kts)	21.00	20.00	18.00
客　数	610	遠洋 603 沿海 725	120

4.1.4　その他の船舶

(1) 客船

戦後離島航路に対する旅客船は占領政策として漁船、鉄道連絡船とともに、いち早く制約から解放された。以来、高度経済成長策にのっとり、国内観光も盛んになり内航旅客船も充実し、瀬戸内海航路をはじめ幾多の名船と呼ばれる客船が建造された。しかしながら、これに続くモータリゼーションの時代に旅客フェリーにとって代わられ純客船は次々と姿を消すことになった。外航貨客船も同様で、戦後、南米航路の貨客船が復活したが、間もなく旅客航空機の発達で、時間の短縮できる航空機に客を奪われ、定期旅客船としては成立しなくなった。このことは定期旅客航路の代表であった欧州～米国の航路でも例外ではなく、世界的な現象であった。それに代わって現代の客船は国内では特殊な観光船であり、外航船では定期客船ではなく、遊覧を楽しむクルージング客船となった。この種のクルージング船は益々大型化している。輸出船としては「クリスタル・ハーモニー」等の大型船も建造されているが、ここでは日本国籍の各大きさの代

表 4.1.11　ケーブル敷設船

船　名	東洋丸	千代田丸	津軽丸	黒潮丸	KDDオーシャンリンク
建造年	1937	1948	1969	1974	1992
G/T(T)	3,760	1,850	1,960	5,656	9,510
L(m)	102.25	81.72	84.58	119.28	121.00
B(m)	14.75	11.60	12.60	16.20	19.60
D(m)	8.26	6.10	5.70	8.30	9.00
d(m)	6.30	5.27	4.60	5.90	7.41
L/B	6.93	7.04	6.71	7.36	6.17
L/D	12.38	13.39	14.84	14.37	13.44
B/D	1.79	1.90	2.21	1.95	2.18
B/d	2.13	2.20	2.74	2.75	3.18
主　機	2-T	2-R	1-D	1-D	4-D
HP	3,600	1,500	3,000	8,900	8,800
VT(Kts)	15.0	13.45	15.30	17.88	17.8
Vs(Kts)	12.0	10.0	13.50	16.50	15.0
ケーブルタンク　数	4	3		3	3
ケーブルタンク　(m³)		566	320	1,429	2,322
ケーブルタンク　(t)	3,000	320	650	1,900	
備　考	ホイットシュナイダー 1-100hp		Bow Thrust.	Bow & Stern Thrust.	Thrust. Bow×2 Stern×1 D. P. S.

表 4.1.12　海洋調査船の主要要目

船　名	凌風丸	白鳳丸	啓風丸	昭　洋	海　鷹	白嶺丸	開洋丸	[2]白嶺丸	拓　洋	白竜丸	なつしま	白鳳丸	よこすか
船　種	保気観	東大研究	保気観	保測量船	水大研練船	地質調査船	物理探査船	地質探査船	保測量船	漁業取締船	JAMSTIC研究船	東大研究船	JAMSTIC研究船
建造年	1966	1967	1969	1972	1973	1974	1976	1980	1983	1988	1988	1989	1990
G/T(T)	1,598	3,225	1,796	1,841	1,828	990.8	990.8	2,111	2,481	1,296	1,553	3,987	4,500
DW(t)	845	1,292	856	736	612	739.4	739.4	1,478	1,075		582	2,033	1,600
L(m)	72.00	86.00	72.00	73.0	71.00	68.00	68.00	80.50	90.00	70.60	60.00	90.00	95.00
B(m)	12.00	14.80	12.60	12.3	12.40	12.00	12.00	13.80	14.20	12.40	13.00	16.20	16.00
D(m)	6.60	7.30	6.50	6.50	6.00	4.60	4.60	5.50	7.30	6.30	6.30	8.90	7.30
d(m)	4.35	5.50	4.30	4.30	5.15	4.57	4.57	5.20	4.91	4.70	3.76	6.00	4.66
Cb	0.540	0.585		0.559	0.593	0.592	0.592	0.604	0.524	0.507	0.614	0.594	0.568
△(t)	2.081	4,200		2.214	2,756	2,262	2,262	3,579	3,370	2,140	1,848	5.330	4,130
DW/△	0.406	0.308		0.332	0.222	0.327	0.327	0.413	0.319		0.315	0.381	0.387
L/B	6.00	5.81	5.71	5.94	5.73	5.67	5.67	5.83	6.34	5.69	4.62	5.56	5.94
L/D	10.91	11.78	11.08	11.23	11.83	14.78	14.78	14.63	12.33	11.21	9.52	10.11	13.01
B/D	1.82	2.03	1.93	1.89	2.07	2.61	2.61	2.51	1.95	1.97	2.06	1.82	2.19
B/d	2.76	2.69	2.93	2.86	2.41	2.63	2.63	2.65	2.89	2.64	3.46	2.70	3.43
$\triangle^{1/3}$/L	0.177	0.187		0.179	0.197	0.193	0.193	0.190	0.167	0.183	0.205	0.194	0.169
主　機	1-D	D-E	2-D	2-D	2-D	2-D	2-D	2-D	2-D	1-D	2-D	4-D	2-D
HP	3,260	2,800KW	4,800	4,800	2,720	4,200	4,200	4,200	5,200	6,000	1,700	7,600	6,000
VT(Kts)	16.40	15.8	18.0	17.24	15.11	17.08	17.08	17.27	18.2	18.89	13.12	18.74	17.98
Vs(Kts)	13.00	12.7	14.0	14.0	13.75	15.00	15.00	15.15	16.9	14.00	12.26 双胴船	16.00	16.00

表的なクルージング客船の要目を表4.1.10に示した。

(2) ケーブル敷設船

ケーブル敷設船についてはⅣ部にのべたが、情報化は年を追って向上し、情報量の増加とともに海底ケーブル船の数とともに機能の向上と大型化が著しい。表4.1.11には戦前の「東洋丸」とともに戦後の大型ケーブル敷設船の要目を示した。1992年の「KDDオーシャンリンク」はGT10.000トン近くになっている。ケーブル敷設船の設備としては、船首尾車輪、敷設機等もあるが、表では能力の代表としてケーブルタンクだけを記載した。また、ケーブル敷設船では位置保持が重要であり、戦前では主機の他にホィットシュナイダー補助推進機等が装備されたが、現在では船首尾スラスターが設けられ、舵とともに機能している。このことは次に述べる海洋調査船も同様である、位置保持が重要な船では操縦性能研究によるシミュレーション技術がこれを支援している。この他に敷設船には一般船の自動化の他に海底ケーブル埋設機のコントロール等の高度な制御技術が適用されている。

(3) 海洋調査船

貨物船の他で戦後最も数と種類が増加しているものの1つは海洋調査船である。その種類は、気象観測を主とするもの、海図の整備を目的とする測量船、純然たる海洋研究を目的とする研究船、研究と訓練を兼用するもの、地用するもの等多岐に亘る。その所属も大学、研究所、官庁、企業等、手段は同じであっても、その目的によって指向するところが異なる。特に最近では広域環境の監視、観測が大きな課題になり、これに対処するために船型も大型化している。それ等の調査船の船型はL/B、B/d等ばらつきがあるが、基本的な係数である排水量長比（$\triangle^{1/3}/L$）は表4.1.12に示したように0.18～0.19程度を示すことが特徴である。また、高度な観測機器を搭載するので、その精度を保つため、振動、船内外の放射雑音の低減が共通の課題となる。

(4) プッシャーバージ方式と曳（押）船

この輸送方式は本来、貨物船の部門にいれるべきものであるが、曳（押）船とともに本節で述べることにした。この方式は米国の河川等で使用されていたものであるがわが国に導入されたのは1970年（昭和45年）頃で、石灰石、土砂輸送等に活用されている。従来非自航のバージは曳船で曳航されていたが、バージの船尾に凹部を設け、そこに押船の船首を嵌合して一体とし、恰も自航バージ

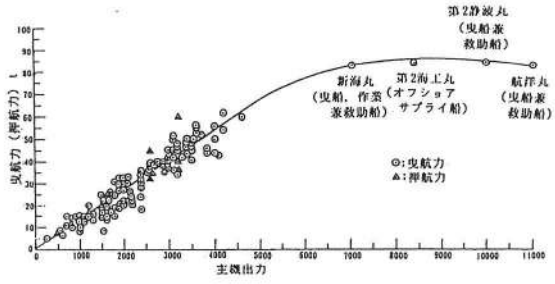


図 4.1.3　曳(押)船の主機出力と曳(押)航力の関係

のように運航するものである。長い曳航索が不要で、航行の自由も確保できる。現在この方式に従事している押船は最大押航力42.5トン、7,000DWT土運プッシャーをはじめとして40隻余、また曳船は船首部に嵌合装置を装

表 4.1.13　し尿、廃棄物船の分布

種類	船籍港	八戸	千葉	東京	川崎	横浜	横須賀	館山	名古屋	四日市	鳥羽	下津	田辺	津	和歌山	碧南	大阪	尼崎	呉	新居浜
し尿船	し尿船		1	1				1	2		1	1	1	1			1	1	1	
	運搬船		3	3		1			4	1						1			1	
	排出船						2									1				
	兼汚泥																			
廃棄物船	一般					1			1								2			
	産廃	1		3	4	1			1						1		2		1	1
	ゴミ運搬			1													1			
	廃液運搬				2															
	汚泥								1											

種類	船籍港	広島沼隅	松山	宮崎	北九州	広島下蒲刈	大牟田	西尾	高松	福岡	唐津	佐世保	長崎口之津	長崎勝本	長崎	八代	大川	熊本五和	熊本竜ヶ岳	鹿児島
し尿船	し尿船			1												1			1	
	運搬船				1	1		2	1	2		1								1
	排出船							1				1								
	兼汚泥				1		1						1							
廃棄物船	一般				1	1					1				1					
	産廃		1						4		2		1			4	1	1	3	
	ゴミ運搬																			
	廃液運搬	1			1															
	汚泥														1					

表 4.1.14　海面清掃、油回収船の分布

	種類 ＼ 船籍港	青森六ヶ所	久慈	福島・広野	東京	横浜	名古屋	神戸	堺	知多	鳴門	四日市	姫路	下関	東串良	串木野	男鹿	福井
海面清掃・油回収船	オイルフェンス展張船	1			1							1			1		1	1
	海面清掃船					1		3						1				
	海面清掃兼油回収船					1		4	1									
	油回収船	1	1		1			1			1	1		1	1	1		1
	防災兼油回収船			1	1					1			1					
	オイルフェンス油回収兼消防						1											

備すれば簡単に押船になるので、曳船兼押船は60隻余存在する。併せて100隻がこの方式に従事できる。なお、100GT以上の曳船（兼消防を含め）専用船は全国で100隻程度である。これ等の主機出力と曳（押）航力の関係を図4.1.3に示した。

(5) 環境対策船

1975年（昭和50年）以降の特徴的なことは、環境対策船（仮称）と呼ぶものが出現していることである。船種としては、し尿運搬、排出船、廃棄物船（産業廃棄物、ゴミ、廃液等）海面清掃、油回収船等が挙げられる。

1994年（平成6年）末で100GT以上のこれ等の船は、廃棄物搬出船の最大のものは6,500GT、10,500DWT（東京都）をはじめとして約50隻、し尿関係では、1,500GT、2,350DWT（東京都）を最大として約50隻、油回収関係船は32隻就航している。これ等の船は一般にポンプによる排出を主としているが、汚泥等の対策のため、スクリューポンプ、ソリッドポンプ、ギヤポンプ、スラリーポンプ等を装備している。海面清掃、油回収船はその作業上双胴船型のものが多い。

その分布を船籍港別に示すと表4.1.13及び4.1.14となる。表4.1.13のし尿、廃棄物船は日本海側は皆無で、本州の太平洋側、瀬戸内海、九州に集中している。これ等の地域の陸上環境が逼迫していることを端的に現わしている。海面清掃油回収船は男鹿、福井を除いてはこれも太平洋側、瀬戸内海である。この種の船は事故対策としては偏在していてよいかどうかは疑問が残るが港内海面が汚染されている一端を現している。

以上の状況から、安易な海上投棄が何時まで許されるのか、この種の船を建造するだけではなく、船上で無害処理したものを投棄するような抜本的な対策を真剣に考えなければならない時期でないかと思われる。

(6) その他

以上、戦後の50年間を概説したが、その他として次のことを付言する。

(a) その他の船舶

数は少ないが、砕氷船、原子力船、練習帆船、省エネルギー時代の帆装商船、比較的数の多い冷凍冷蔵運搬船等割愛したものが多い。

(b) 制御技術

1961年（昭和36年）の機関自動化船「金華山丸」以来の自動化技術は今や総合航海支援システムに発展している。これ等のシステムを支える基盤として、制御技術の発達がある。ジェットフォイルのウェーブコントロールや客室と主船体を構造的に分離して、客室の動揺を制御した「ヴォイジャー」は制御技術の成果と言えよう。この種の船が今後普及するかどうかは別にして、これからの船舶の高度化をはかるための設計には欠くことができない技術であるがこれも割愛した。

(c) 新型式船の出現

1960年代から水中翼船、エアクッション船、双胴船等の新型式の船舶が出現した。更に、最近の高速化を目指したウエーブピアサーその他の新型式船が出現している。これ等についても言及する余裕がなかった。

4.1.5　船舶設計の発展

船舶設計技術の発展については、設計の方法論やこれを支援する計算技術、作画手段等多岐に亘る。これらの方法論な手段は船舶の種類、使用目的によっても異なるので一律に述べることは出来ない。100年間を比較するとすれば、対象になる船主も限定されるし、具体的に解析できる資料も極めて乏しい。ここでは一般貨物船と油槽船について、船殻重量、抵抗推進性能、機関部重量、載貨重量の変化を辿ってみることにする。勿論、これらは

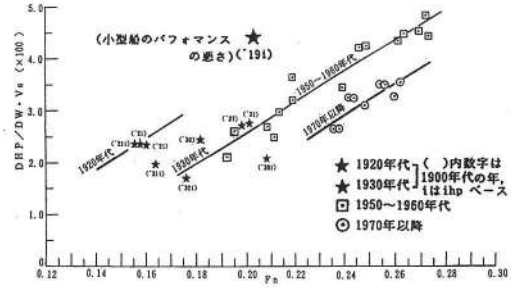


図4.1.4　一般貨物船のDHP/DW・Vsの変遷

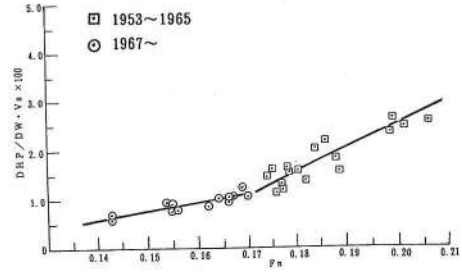


図4.1.5　油槽船のDHP/DW・Vsの変遷

各分野の成果であるが、これ等を船として総合する立場で設計の発展としたことをお断りしておく。

(1) 船殻重量の変遷

船殻重量は材料、構造強度に関する要求の変化によって左右されるが、船型設計によっても大きく影響を受ける。第Ⅳ部の図4.1.4に一般貨物船の船殻重量の変化を年代をパラメータにして示した。詳細船殻重量は船楼の有無その他の修正が必要であるが、ここではL、B、Dだけの主要寸法で表現した。

1919年（大正8年）～1938年（昭和13年）の約20年間（第二次世界大戦前の躍進期）、第二次世界大戦後の復興期の約10年間、1960年以降の3段階に分けたが年代によって漸減していることが分かる。(1919年～1938年)のデータに比較すると同一Lに対して1960年以降は20%程度軽くなっていることを示している。

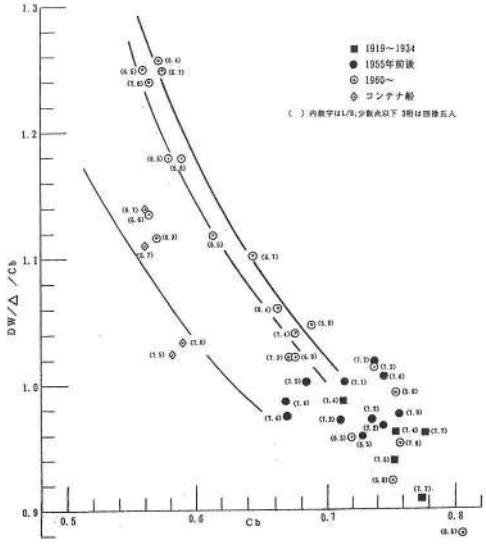


図 4.1.6　一般貨物船の載貨重量係数の変遷

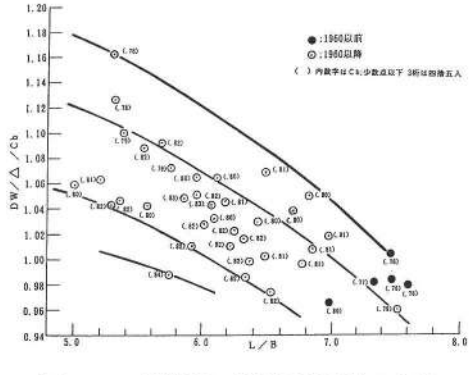


図 4.1.7　油槽船の載貨重量係数の変遷

次に油槽船の船殻重量を第Ⅳ部の図4.1.5に示した。第二次世界大戦前の船殻重量が見あたらないので1950年以降について示したが、大型化の影響、Double Hullの影響、高張力鋼使用による軽量化等の傾向が分かる。

(2) 抵抗・推進性能の変遷

抵抗・推進性能の変遷については、艦艇を抜いては論じ難いし、推進器の数によっても異なるが、比較のためにここでは一軸商船に限定した。貨物船は滅多に満載状態の試運転は行われないし、満載状態で試運転が行われる油槽船については、第二次世界大戦前の資料が入手し難い。ここでは貨物船はバラスト状態の試運転成績から求めた満載状態の確定速力、油槽船に対しては満載状態の試運転成績を用いた。航海速力、ノーシーマージン、DHPは機関の位置によりSHP、BHPから換算し、条件をできるだけ同一にしてアドミラル係数Cadmの形で比較した。但し、蒸気往復機関に関してihpをそのままDHPに置き換えた。

第Ⅳ部の図4.1.6に一般貨物船の、第Ⅳ部の図4.1.7に油槽船のCadmの変遷を示した。

図4.1.5から分かることは、年代によりフルード数Fnが高くなっている。つまり高速化が図られたこと。また、一般にFnが高くなればCadmが低下するが、年代毎ではこの傾向をしめしているが、年代別では逆に高くなっている。例えば、Fn＝0.16～0.18をとれば、1920年代では250、1930年代では400、1950年代では500、1970年以降では600（延長上の値ではあるが）を示している。この値は図4.1.6でも600近い値を示しているからほぼ確実であろう。1920年代に比較すると2.4倍近く向上したことになる。第Ⅳ部図4.1.7の油槽船については、これらの向上に加えて巨大化によるFn低下がCadmの向上の基礎となっていることが特徴と言えよう。

次にDW・Vs当たりのDHPを求めてみる。この表示はトン・マイル当たりの所要馬力と言った直截な表現である。第Ⅳ部の図4.1.6と4.1.7で用いた資料から図4.1.4に一般貨物船、図4.1.5に油槽船を示した。傾向と特徴は第Ⅳ部の図4.1.6と4.1.7のCadmと同様であるが、図4.1.4では1920年代でFn＝0.16でDHP/DW・Vs＝0.023が1970年以降では同一DHP/DW・VsでFn＝0.23に向上していること、1950～60年代は第二次世界大戦前の躍進期に復帰したので、大戦中は設計技術が停滞したことを物語っている。

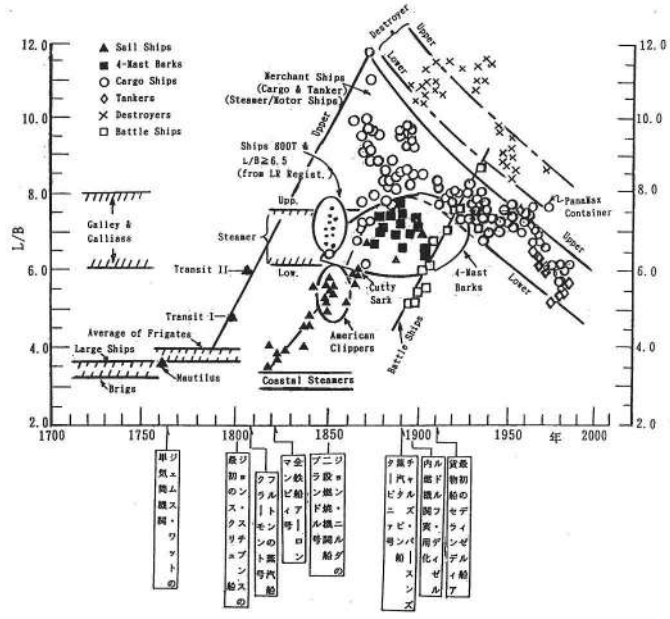


図4.1.8　L/Bの年代変化

このことは、1937年（昭和12年）ニューヨーク航路の貨物船「金華山丸」（国際汽船、川崎造船所）が太平洋横断速力記録を樹立した名船と言われた。この船はL＝145m、B＝19.0m、D＝12.2m、d＝8.596m、DW＝10,257トン、Diesel 10,178BHP、Vs＝19.385ノット排水量その他を推定すると、Cb＝0.65、L/B＝7.63、DW/△/Cb＝1.0、△＝15,780t、DHP＝10,178/1.05＝9,693.3、Cadm＝472.9、DHP/DW・Vs＝0.0489、Fn＝0.264と推定され、第Ⅳ部の図4.1.6と図4.1.4の1950～1960年代に近い値を示す。

(3) 機関部重量の変遷

推進機関の発達は目覚ましいものがあり、高出力化に対する明治期の発展については既に述べた通りである。蒸気機関は1970年（明治40年）に「天洋丸」が蒸気タービン（3基で18,958馬力、SHP）を搭載し、1923（大正12年）には「音戸丸」が、600馬力、BHPのディーゼルを搭載し、現代の代表的な機関形式が出揃った。

一般論としては大出力化と小型軽量化に対しては高圧力、高回転化が原則である。機関を外燃、内燃型に大別すると、外燃機関は大出力は可能であるが、小型軽量化に限度があり、内燃機関は小型軽量化は可能であるが、大出力化に限度がある（但し、ガスタービンは大出力化が可能）といった特性がある。

ここで取り上げた機関部重量は推進機関に直結する補機器だけではなく、発電機、甲板補機も含まれている。電力需要は年々増加しているし、荷役効率の向上のための甲板補機も年代と共に飛躍的に増加している。このことを前提にして主推進機の発達が必ずしも直接的に反映されていないが、マクロ的に機関部重量の変遷をみる。

第Ⅳ部の図4.1.8に一般貨物船を示した。1960年以降は殆どがディーゼル船であるが、荷役装置のないコンテナ船が高出力範囲で曲線の延長上にあることは、前記の前提はあるものの、機関の発達をかなり直接的に反映していると言えよう。

第Ⅳ部の図4.1.9に油槽船について示した。

機関部の発達の指標としては重量だけではなく、機関室の容積の変遷も目安になるが、省略した。

(4) 載貨重量係数の変遷

船舶の主目的は貨物を積んで、走り、荷役をすることであり、これ等を税対象になるトン数を最小で達成することが設計の要訣である。トン数は時代により積量測度法が変わり、荷役装置は港湾設備に依存する船もあるので、直接比較することが困難であり、本章から除外した。

載貨効率については古くから載貨重量／排水量で表現されるが、ここでは船型要素のL/BとCbを加味して、DW/△/CbをL/B、Cbをパラメータとして現してみた。

図4.1.6に一般貨物船を、図4.1.7に油槽船を示した。（但し、DW/△/Cbは載貨重量係数がCbに対してどの程度

になるかといった定義であってL・b・d・Cbの算術ではない）L/BもCbも共に船殻重量、抵抗・推進性能に影響を及ぼす船型要素であるが、Cbを導入してDW/△/Cbをとったのはこれが直接載貨重量に影響するかどうかを検討するためである。即ち、DW/△/Cb＞1.0はCbを減少しても直接DWの減少には繋がないことを意味するからである。

図4.1.6から、一般貨物船ではL/B、Cb共にDW/△/Cbに影響するが、Cbの影響がより支配的であることを示していることが分かる。この理由は一般貨物船では長さが160m以下であるので、縦強度上の要求差の範囲が狭いことが挙げられる。1919～1934年代はL/B、Cb共に大きく、DW/△/Cbも小さいが、1955年前後を経て1960年以降は高速化の影響もあり、Cbが小さくなり、L/Bの減少と相俟ってDW/△/Cbが向上している。

図4.1.7から、油槽船では貨物船と同様L/B、Cb共にDW/△/Cbに影響があるが、貨物船とは逆にCbよりL/Bがより直接的であることが分かる。この理由は油槽船が巨大化して長さの範囲が広く、縦強度上の要求差の範囲が大きく、巨大化によりFnが低下してCbが大きく、その範囲が狭いことが挙げられる。

載貨重量係数も一律ではなく、主要寸法範囲によって左右されることが明らかであり、1960年以降はこれ等を巧みに船型設計に採り入れて載貨重量係数を向上させたと言える。

4.1.6　船型発達の軌跡

1950年以降の20～30年間の船型の発展は目覚ましいものがあるように思われる。しかし、海上を貨物を運ぶ主目的の船を考える時、100年間の比較的長期間を考えても、長い間の歴史の中では一瞬とも言える短さである。ここでは、狭義の船型学を離れて、マクロ的に船型設計の「相」を眺めながら300年位遡って最近の100年間の進歩を評価して見ることにする。

船型を代表して、長さと幅の比（L/B）をとり1700年代から年代順に置点したものを図4.1.8に示した。

この図を少し解釈してみる。

(1) ガレー船、ガレァス船

古くから地中海沿岸で使用されたこれらの手漕ぎ船は高価な商品を運搬するか、海戦に使用された。L/B＝6～8の細長い船型であったが、長さは漕ぎ手の数で決まった。換言すれば抵抗を減少するためではなく、推進力を確保するために長くなる。漕ぎ手の数が増えると、そのための搭載食料の限度から長期航海が不能になる。17世紀になっても地中海に面した国では、地中海の風が不定であるので、地中海艦隊はガレー、ガレァス、大西洋艦隊は帆船ガレオンと使い分けた。

(2) 帆船

13世紀から本格的な航洋帆船が出現したが、速く走ることが目的ではなく、人力を節約して長期航海をすることが目的であった。初期のL/B＝2.5でRound Shipとも呼ばれた。17世紀でもL/B＝3.5程度で18世紀末で4.0近くなった。18世紀末、郵便船Transit IがL/B＝5となり、続いて19世紀初頭、Transit IIが6.0となり、帆船のL/Bのブレークスルーを行った。しかし多くの帆船は依然として4～5であったのは高速を目指して帆面積を増すと、復原性を確保するために幅の絶対値が必要なためであった。1850年以降漸次大きくなるが、6～8以上にはならなかった。

(3) 蒸気船

1850年前後でL/B＝6.5～8.0で1870年にはL/B＝12.0のものまで出現する。この理由は当時高出力の蒸気機関が入手困難であり、限られた出力で速力を出すために細長い船型が選定された。19世紀初めから古典流体力学が発展し、半ばにはフルード等の船型試験をはじめとする影響でL/Bが小さくなりはじめる。駆逐艦のような高速艦でもこの傾向は例外ではない。1900年以降この傾向は続き、今日に至っている。

(4) 戦艦

これらに反し、戦艦の船型は他の艦船に比較するとL/Bの変化が100年遅れている。元来戦艦は浮かべる城であり、高速が必要なかったというより、大口径の大砲を搭載し、その発射反動に耐える復原力を要求されたから細長くはできなかったと解釈できる。

以上を予備知識としてこの図を見ると、L/Bは18世紀の後半から速力を求めて次第に大きくなり、1870年頃に12までになり、これから以降は漸減し、1960年以降は7.0～6.0、1970年以降は6.5以下になっていることを明瞭に示している。

船長を短くして構造強度上有利にし、速力を出し、機関室長を短縮することは、構造力学、流体力学、機関の高出力軽量化等の各分野の発達の所産を総合しての結果であるが、社会制度の影響も大きい。

15世紀の後半にトン数制度が制定され、トン数が税の対象になった。以来、船の設計の要決は諸性能を満足することは勿論であるが、最大積載量を最小トン数で運ぶことが最大の目標になった。トン数算定には主要寸法が要因になるが、幅、深さに比較して長さは変化して来た。税対象のトン数を如何に小さくするかは500年後の今日でも重要項目であることに変わりないのである。

明治初期に購入された当時の比較的大型船は1860年前後に建造されたものが多く、L/B＝7～8.5、1893年（明治26）に初めて100 mを超す鉄船「名古屋丸」が購入されたがL/B＝8.8、1898年（明治31年）、1901（明治34年）に建造された「常陸丸」、「加賀丸」は夫々9.05、9.04、1902年（明治34年）建造の駆逐艦の第一艦「春雨」はL/B＝10.53であり、図の範囲に総て納まる。

このように考えると、設計の本質は科学、基礎工学の所産を生産に結ぶと同時に社会経済の要望を製品に結ぶ接点であるとされることを具体的に示しているとも言えよう。進化論のアナロジーを借りれば、生物は自然が選択し、技術の進化は社会が選択することを明確に示しているとも言える。L/Bが6.0前後のヅングリ船もこのような大きな傾向を素直に前進させたものといえる。マクロ的に見ると以上のように簡単にいえるが、ミクロ的には少しの前進も大きな決断と叡知が必要なことは論を待たない。

以上100年間の設計技術の経過を船型を中心に辿った。紙数を節約するため表と図で察していただくことにして説明を省いた。設計を支える各技術の概略、大きな影響を与えた戦艦、漁船の設計に言及する時間と紙数の余裕がなかったので割愛する。

4.2　艤装

4.2.1　電気艤装

(1) コンピュータ化の拡大

自動化設備は、当初は主に乗組員の数を減らす省人の目的で機関室無人化の設備を皮切りに採用されてきたが、最近では省エネルギーや安全進航を目的とした自動化システムも多く採用されるようになり、その範囲が荷役制御や運航支援の分野まで拡がってきている。これらは、従来、人間が行ってきた作業を肩代わりするだけでなく各局面での最適解を選び出すなど、コンピュータならでの特徴を生かしたものである。

一方、自動化装置は、従来、それぞれが独立して装備されることが多かったためハードウェアが統一されず、従って操作方法も異なるという不都合があった。しかるに最近は、コンピュータ性能の向上やネットワーク技術の進歩により、各機器がネットワーク（LAN）で結ばれるようになり、さらには一つのインテグレートされたコンピュータによるハードウェアの統一が行なわれる場合もある。図4.2.1に一例としてLAG船に採用された統合監視制御システムのネットワーク構成図を示す。

(2) パワーエレクトロニクス

1963年にサイリスタが開発されて以来、発電変換技術は飛躍的な発展を遂げ、船舶においてもその適用は着実に進んできている。適用例として、客船、調査船などの電気推進システム、省エネルギ・メンテナンスを目的とした軸発電・電動機システムおよびプラント補機の用途に応じた回転数制御システムなどがある。

「クリスタル・ハーモニー」電気推進システムの構成を図4.2.2に、また一般的な軸発電・電動機システムの構成を図4.2.3に示す。

ノイズによる誤作動防止対策が重要な問題となって来ている。従来はノイズ源として、大容量電動機の発停、無線機送信などを考えておけば良かったが、電気推進や軸発電・電動機システムにサイリスタなどの電力変換素子を用いる場合、電源波形そのものが歪み、高調波成分を多く含むことになるため、より厳重なノイズ対策が必要である。最近では、国際規格（IEC）や各船級規則で電磁環境適合性が規定されるようになってきている。

(3) 今後の展望

船舶の運行業務には、従来から乗組員の長年の経験と勘に頼る部分が相当あるが、近年の船舶の少人数化、混乗化の動きは、ベテラン乗組員の業務負荷の拡大や、乗組員全般の処理能力の低下という状況をもたらしている。

今後、かかる乗組員数の減少や混乗化の中で、海難事故を防止し、船舶の安全運航を維持するためには、座礁・衝突の回避や荷役時の誤操作防止、エンジントラブルの予知等を含む総合的な運航業務への支援が不可欠となってこよう。このため、近年、最新の電子・制御システム技術を駆使した支援システムが種々発表されるようになってきが、特に個人の経験や勘による判断・処理業務を人口知能（AI）技術を応用したユキスパート・システムを導入することにより、肩代わりすることが期待されている。

一方、国際法規ではSOLASにおいて、国際安全管理

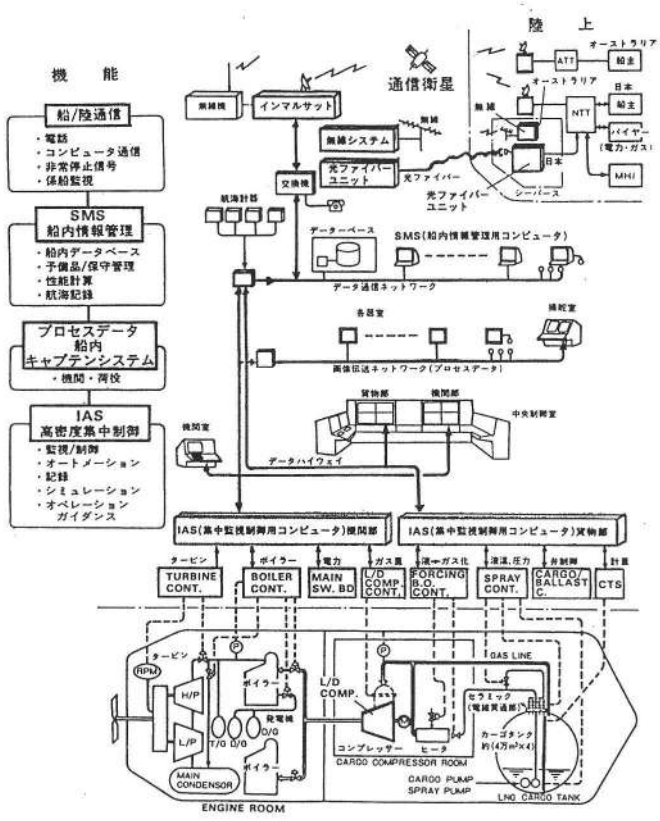


図 4.2.1　LNG 船統合監視制御システム

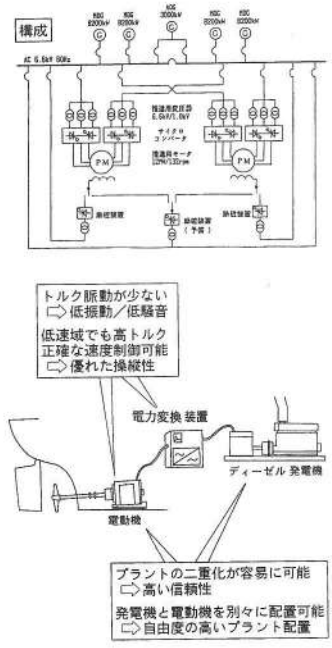


図 4.2.2 「クリスタル・ハーモニー」電気推進システム

コード（ISMコード）が1998年（平成10年）7月発効予定である。

ISMコードは、海上における船舶の安全を計るとともに海洋環境の保護を目的としており、運航会社および船舶自身に対して安全管理に関する要件を定めているが、これは単なる運航管理に留まらず技術的にもエポック・メーキング的な変革となる可能性を秘めている。

かかる変革の状況の中で、各種支援システムや予知診断システムの実用化と、さらには一歩進めて人間と機械

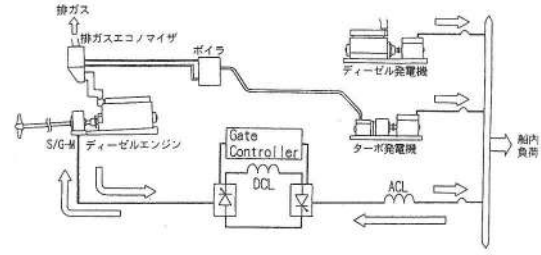


図 4.2.3　軸発電、電動機システムの構成

の役割分担の明確化を早急に実現することがこれからの大きな課題である。

参考文献

1)　三浦他:　三菱長船電気ものがたり（1977）
2)　日本舶用機関学会：船舶電気・電子工学便覧（1981）

4.2.2　機関艤装（近頃の問題）

(1) 新しい機装研究テーマの増加

オイルショック後の省エネ船、1980年からスタートした船員制度近代化船、造船所の人員削減、労働環境や地球環境問題等への対応として、新しい研究テーマが次々と出て来ている。たとえば、

排ガスエコノマイザー等の排熱利用
排熱利用と硫酸腐食
標準品採用による省力機械設計
少人数船対応の機関室配置
少人数船の予防保全・故障診断システムの拡充
海外調達品の精度、工作、図面
人員削減と技術ポテンシャルの維持方策
艤装中の機関室内の防塵・冷房・照明・清掃対策
軽薄短小構造指向による振動・騒音とその対策
粗悪燃料に対応するシステムの設計・工作
ビルジ廃油対策ー発生源ごとの分離処理
補助ボイラにおける廃油焚き
外注設計のあり方
現場スタッフとラインの業務分担のあり方

機関艤装は推進装置の種類により大きな影響を受けるが、最近はそれ以外の社会的問題で、しかも国際的規制の強化に対応する研究議題がふえてきている。

(2) 技術の伝承

平成に入って、わが国の造船業は国際競争を乗り切るために、徹底した生産性向上の努力を重ねた。その結果、為替の円高レートもしのいできた。同時に、人員削減も達成したものの、老齢化をもたらした。

機関艤装研究委員会では将来にわたって世界に冠たる性能・品質を達成する技術能力を維持向上しつづける上で、技術の伝承問題を真剣に考えなければならないと感じ、数度にわたって意見を交換し、一応のまとめを持った。その結果を「何時」「何処で」「誰が」「何を」「どうする」という分類によってまとめてみると次のようである。

(a) 何時、何処で

何時、何処で伝承を行うのが効果的かという点では、OJTが中心で、作業前や作業中の注意点の教育、トラブル検討会、見学会や講習会後の報告会等が挙げられる。常時常在といえる。勉強会や研修会も採用されるが、概して時間的余裕がないために永続しない傾向にある。

(b) 誰が

言うまでもなく、伝える側のベテランと承けつぐ側の若い技術者・技能者である。しかし、それだけでなく、モノ造りに当たって、単に具体的生産活動を行う直接仕事を担当する人達のほかに、造られたモノやモノ造りのための設備や機器を保守し、生産活動中に発生した問題に対処できる技術者、技能者を正しく評価して、生産活動を効率的に実行できる能力を持つ管理的技術者の養成も対象と考える。

(c) 何を

どんな技術・技能を伝承するのか。見え難い点が伝承がスムーズに進まない要因の一つである。

やや抽象的であるが、「時代に応じた機装設計並びに工作を通じて、目標とする性能、品質保証を達成する技術・技能」と定義づけられた。目前の技術もさることながら、物事に対する考え方、取り組み方を理解させて、創意工夫に役立つ技術を重要視する姿勢である。

なお、具体的には、図面では全体配置図、系統図、軸系装置図、諸管装置・取付図が、工作面では主機と軸系の据付け、プラントの運転・調整が、注文書発行面では自動化関係が、難度の高い技術・技能を含むので、伝承を重視すべきものとなった。

(d) どうする

どうしたら技術・技能を伝承できるか各造船所とも腐心しているが、主要なものを挙げると次のようである。

設計指針、チェックリストの作成の類のマニュアルの整備・充実
最大限に標準化の実施
マニュアルの持つ意味を実作業を通じて修得させる
ベテランと若手を組み合せる指導
バランスのとれた人員構成とする
製品のもつ性能、品質のあるべき姿を重点に指導する
意見発表会、委員会、講演会等幅広く色々な経験を持つ機会を与える
失敗の徹底的解明をさせる

職務の心構え、モノ造りの心のあり方を徹底的に認識させる

現状は伝承がスムーズに進んでいるようには見えないが、その理由として、ベテランが時間的余裕がないとか、人員構成のアンバランスなどがあるが、何を伝承すべき技術かを追いつめていない点が大きい。マニュアル化できる技術・技能は容易にシステム化、機械化、自動化への移行が可能であるから、伝承のための無駄なエネルギーを省くためにも、マニュアル化の推進が「どうする」のキーワードとなる。ただ技能は、職場の環境条件などから生れ、育ち、保有されていることが多く、マニュアル化は難しい。

モノ造りの技術・技能の伝承はそれぞれの企業、工場、職場単位によって、独自の方法によらざるを得ない。

(3) 機関艤装工数削減対策

世界的な減速経済が続くなか、業界は「良いもの」を「早く」そして「安く」造ることが厳しく要求されているが、円高状況下、「安く」造ることには苦戦を強いられている。

「安く造る」ために工数を削減するとしたら、どんな手だてがあるかを研究委員会で調査検討した。

その結果、ユニット艤装や地上艤装、モジュール化の拡大とか、3Dパイピングの拡大、機関室内での火気の使用期間、塗装期間の明確化・短縮化等々、従来から各造船所において実施してきたものの改善事項も多いが、新しい視点からの提案もあった。たとえば、管について、一本当りの平均長は長いほど工数が減るという従来の考え方から、重量も含めて扱い易い最適な長さにするとか、曲がりの少ない管のFA化可能な管の形の採用などがあった。また、設計と現業間の情報のオンライン化による追加、改訂の早期対応とか、船尾管の地上ボーリング、樹脂を用いた据付け方法の拡大、設計者の能力に合わせた作業分担の指示なども提案されている。

ここに挙げた例示は、各造船所ですべて実施されているわけではなく、各自の作業環境に適したものが採用されている。これからも新しい芽が生まれ、育つことを期待してよい。

第5章　機関

5.1　ディーゼル船機関

5.1.1　省エネルギー

有史以来船舶の運航採算性向上のための努力が払われてきた。高度経済成長期の船舶の大形化、高速化もこれを目指したものであったが、1973年（昭和48年）の石油ショックで燃料油価格が高騰してからは、燃料費節減が最重要課題となった。

(1) 推進機関

2サイクル大形低速ディーゼル機関は、石油ショックの直前に、機関全長を短かくして船舶の建造費低減に貢献する機関が開発された。しかし、旧形機関に比べて機関定格回転数が上昇したので、石油ショック以降一部の船主は、プロペラ効率の低下を嫌って旧形機関を選択した。そのため、プロペラ効率の高い低回転機関の出現が期待されていると考えて、三井造船はB＆W型機関のロング・ストローク化の開発に取り組み、1977年（昭和52年）にはロング・ストローク機関の一番機を完成した。このロング・ストローク機関は、回転数を約18%低下させたものであったが、これを契機として、すべての大形機関メーカーが、その後ほぼ歩調を合せて大形機関のロング・ストローク化を進めた。図5.1.1にMAN B＆W型機関の場合のロング・ストローク化の推移を、ストローク／シリンダ径比で示す。大形機関のロング・ストローク化は、プロペラ効率の向上による船舶の所要出力の低減のみならず、機関の燃焼が改善されて、燃料消費率も減少したので、二重の効果で船舶の燃料消費量は大幅に低減された。

図5.1.2にMAN B＆W型機関の場合の燃料消費率の推移を示す。なお、B＆W、UE各機関は、1978年（昭和53年）から1979年にかけて過給方式を変更して、燃料消費率を大幅に低減した。また、SULZER型機関は、1981年（昭和56年）に掃気方式をMAN B＆W型機関と同様の方式を採用した新型機関を開発して、燃料消費率を大幅に低減した。

ロング・ストローク大形低速機関の出現が1977年（昭和52年）以降となったため、中形中速ディーゼル機関と減速歯車装置を組合せることによって、プロペラの低回転数化を実現した船舶が多数建造された。そのため、わが国の建造船における中速機関のシェアが、1977年（昭和52年）に急増したが、1978年以降減少して、1980年代前半には元の水準に戻った。

また、徹底的な省エネルギー化を追求する一部荷主の意向もあり、造船会社は、大形機関に減速歯車をつけて、50r.p.m前後の低回転数化を図った省エネルギー船舶構想を相次いで発表した。1982年（昭和57年）には、1機1軸でCPPを採用して45rpmを実現した、ばら積み貨物船「邦英丸」（15,000馬力）が竣工した。

大形機関では、機関の燃料消費率と船舶の所要出力の低減により、同一船速時の燃料消費量を低減するための方策として、機関の定格出力/回転数より低い出力/回転数を連続最大出力に選ぶディレーティングの考え方も導入された。ディレーティングの採用により、最大5%程度の燃料消費量の低減が期待できるが、大幅ディレーティングのときは数シリンダ多い機関を搭載する必要があるため、燃料油価格が安定した最近では、シリンダ数を増加しないで実施できる程度で採用されている。

近年、機関に必要とされる効率を上回る高効率の過給

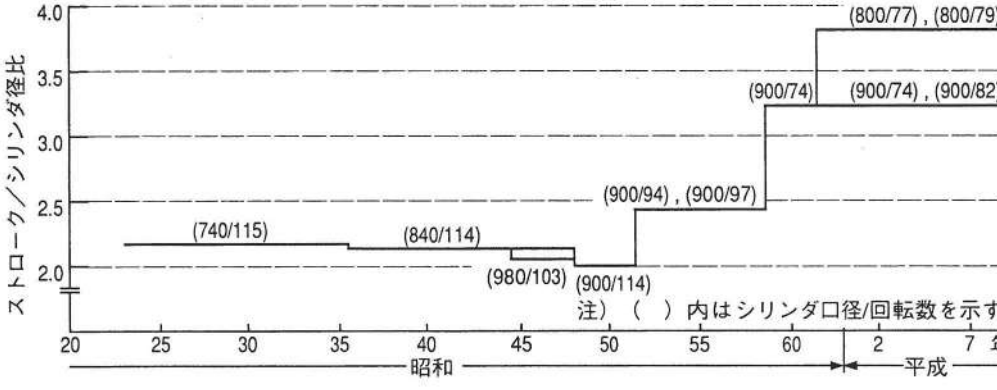


図5.1.1　MAN B＆W型機関のロング・ストローク化の推移

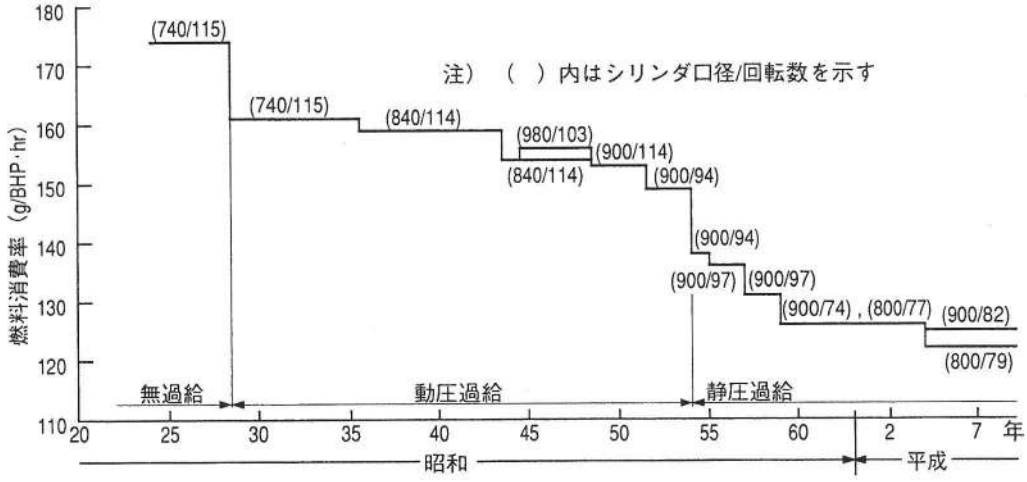


図 5.1.2　MAN B & W 型機関の燃料消費率の推移

機が登場したことから、その効率上昇により生じた余剰排気ガスエネルギーを小形ガスタービンで回収して出力を取り出して発電機等を駆動できるターボコンパウンドシステムが開発された。

高効率過給機の登場、就航実績の積み重ね等により、大形機関はロング・ストローク化と共に高出力化にもめざましいものがあった。図5.1.3にMAN B & W型機関の例を示す。

(2) 推進プラント

主機関の排ガスエネルギーの有効活用は、戦後船内雑用蒸気用排ガスボイラの搭載に始まり、昭和30年代後半からはターボ発電システムが広く採用されてきた。しかし、主機関の低燃費化に伴い、排ガス温度が低下し、また排ガス量も減少したことから、利用できる排ガスエネルギーが激減した。さらに、できるだけ小出力主機関搭載船にもターボ発電システムを採用したいとのニーズが強まった。そのため、昭和50年代中頃以降、排ガスエネルギーを限界まで回収するために、2段または3段の圧力に分けて蒸気を取り出すシステム等、種々のターボ発電システムが開発された。

その後、大形機関の省エネルギー化が一段と進み、排ガスエネルギーがさらに減少したことから、主機関駆動の軸発電機を主体とする船舶が増加した。

二重反転プロペラは、互いに反対方向に回転する二組のプロペラを同芯軸上に装備することで、大幅な省エネルギー効果が得られる推進装置であることは昔から分っていたが、プロペラを駆動する軸系の信頼性を確立する設計手法に未知のものが多かったため、長い間大形船舶には採用されなかった。近年、造船各社は多額の開発費を投入して、次々と商品化に成功した。1993年（平成5年）には、大形油送船「COSMO DELPHINUS」(258,000DWT、28,000馬力）と「沖ノ嶋丸」(258,000DWT、27,220馬力）の二隻が竣工した。

5.1.2　少人数近代化船

昭和50年代に入って、船員費高騰対策として建造されてきた仕組船を見直して、日本人乗組員配乗による日本籍船で、国際競争力のある高度合理化船と称される少人数船の開発が始められた。そのために、従来から関係のある海運会社と造船所が組んだ民間ベースの協同研究と、1979年（昭和54年）のSR117少人数運航船に関する研究が実施された。

これらの研究では、現行法規と船舶の自己完結性を前提として、18名定員を目標としたが、(18－α）名定員についても検討した。また、M0仕様以上の自動化はマイクロコンピュータ応用の監視制御装置の採用等の最小限にとどめ、各機器、システムの信頼性、作業能率等の向上による、省力化を進展させることに重点がおかれた。1979年（昭和54年）には初の高度合理化船「きゃんべら丸」（コンテナ船、30,700馬力）、「白馬丸」（コンテナ船、27,000馬力）が竣工した。

一方、1979年（昭和54年）以降船員制度近代化委員会が設置されて、船員制度の将来ビジョンの策定と実船を使用した総合実験による検証が開始された。総合実験は、1979年（昭和54年）から18～19名体制、1982年（昭和

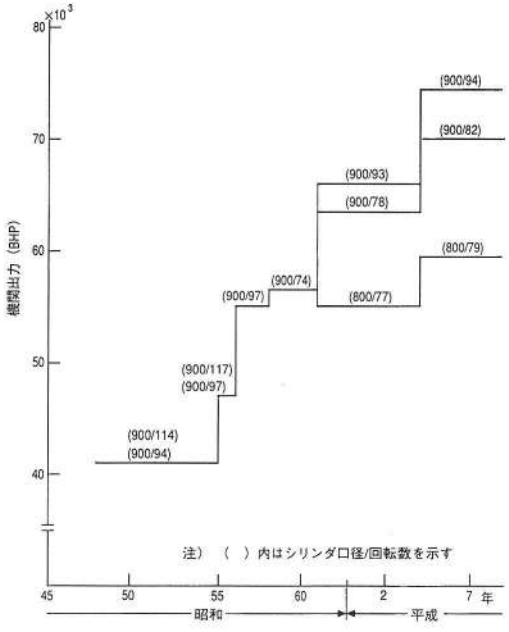


図5.1.3　MAN B & W 型最大出力機関の推移

57年）から16名体制、1986年（昭和61年）から14名体制、1989年（平成元年）から13名体制を検証するために実施された。また、総合実験とは別に、1987年（昭和62年）より11名程度までの少数精鋭化することを目標とした、パイオニアシップ実験が実施された。この実験は、船種、航路を限定することにより可能と思われるものから、少数精鋭化された乗組み体制をめざすものであった。

1982年（昭和57年）の運輸技術審議会の13号答申に基づく、産・学・官協同の国家プロジェクトとして、「高信頼度知能化船」の研究開発が、1983年（昭和58年）度に開始された。この研究開発は、1990年代のニーズに対応した、海陸一体化と知能化による高度自動運航システムと、高信頼度プラントの実現のために必要な要素技術を確立することを目標とした。1989年（平成元年）に要素技術研究が終了し、高信頼度プラントについては、同年末から研究成果を利用した高信頼度ディーゼル機関の実用化開発が実施された。

5.1.3　燃料油と地球環境保全

(1) 超粗悪燃料油

昭和50年代に入って、石油全般の需要の動向から、1990年代に入ると軽質油の需要が増大すると予想されたため、石油会社は新しい精油装置を採用して、原油から可能な限り軽質分を抽出する傾向が強まってきた。その結果、これまで経験したことの無いような超粗悪油が、船舶用燃料として供給される恐れがでてくると共に、この種の燃料油に起因すると思われるディーゼル主機関の損傷も発生し始めた。

そこで、この問題に対応するために、1980年度（昭和55年度）から3年間SR185の外航大型船における超粗悪燃料油使用に関する調査研究が実施された。当時国内では入手が不可能な極超粗悪油を、研究用として石油会社から提供してもらって、ディーゼル機関、関連機器、配管システム等に与える影響の調査と、問題点の解明等が行なわれた。

これらの燃料油は分解系重油で、同粘度のこれまでの直留系重油に比べて不純物が多く、着火性に劣り、他の燃料油との親和性に欠けるなどの問題があり、技術的対応が容易でないことが分った。その後も機関メーカー等が研究を続けて、建造船舶には可能な範囲の対策が実施されたが、燃料油に起因すると思われるトラブルは続いている。

(2) 大気汚染防止

船舶からの排出ガス等について、国際的な規制を実施するため、国際海事機関（IMO）において、船舶からの大気汚染の防止に関するMARPOL73/78条約の新付属書の策定作業が1996年の採択を目途として進められている。

大形低速ディーゼル機関は、超ロングストローク化と低燃費が実現した結果、高くなった燃焼室温度の場での燃焼ガス滞留時間の延長を招き、このため機関のNOx排出レベルは大幅に上昇した。国際的な規制が実施されると、NOx排出レベルを低下させる必要があることから、今後は、これまでの経済性と信頼性に加えて環境対応性が求められるようになった。

そのため、機関メーカーは、大気汚染物質低減策についての研究開発を実施しているが、中でもNOx低減に関する研究開発が最も多い。NOx低減策として、エンジン本体での低減策と、脱硝装置による低減策の両方について、研究開発が進められている。

5.2　商船用タービン

5.2.1　タンカーブームと石油危機、その後

昭和40年代後半はVLCCを主体とする空前のタンカーブームが続き、造船所、舶用機器メーカーとも我が世の春を謳歌した。大量建造消化のため異船主同型の造船各

社標準船が出そろい、主機出力はVLCCが30,000～36,000馬力、ULCCが45,000馬力であった。主機納期確保の重要性から日立造船（川重との提携）、三井造船（住重と合弁の東洋タービン）がタービンの製造に参入した。昭和48年末の日本タービンメーカー6社の手持ち工事量は実に255基、852万馬力、49年の生産実績は73基259万PS（三菱24基816,000馬力、石播17基630,000馬力、川重16基556,500馬力、日立9基280,000馬力、住重6基228,000馬力、三井2基81,000馬力）のピークを記録した。

40万DWTのULCCの受注活動と並行して次の60万DWT用の6～7万馬力の大型タービン製造の準備が進められ、各社で5,600～6,000mmの大型歯切り盤が新設され、6～8万馬力の再熱プラントの開発が相次いだが、60万DWTタンカー契約直前に第一次石油危機に見舞われてタンカーブームは崩壊し、海運・造船とも味曽有の大不況に突入した。

昭和52年度から護衛艦の主機がガスタービンに全面転換され、昭和60年代に始まったVLCCの代替船もディーゼルタンカーとなり、LNG船を除きタービン船の発注は途絶え、市場規模の縮小に伴い国内タービンメーカーは三菱、川重の2社のみとなった。

5.2.2　新型主タービンの開発[1)]

昭和50年代にはタービンの生き残りをかけた開発が相次ぎ、ポストULCC用再熱プラントとして川重のASPPが80,000PS、140kg/cm²×540/540℃で燃費168グラム、Stal-LavalのVAPが27,000PS、127.5kg/cm²×600/600℃で175グラム、GEのMST-23が50,000PS、169kg/cm²×566/566℃で161グラムと驚異的な低燃費を提案したが実らず、次に小型で使い易いタービンとしてGEがMST-21、9,000PS、60kg/cm²×500℃非再熱で224グラム、三菱がT-MAP、10,000～20,000PS、100kg/cm²×530/530℃再熱で187グラムを提案したが需要を喚起するに至らなかった。

5.2.3　排エコ・ターボ発電プラント[2)]

蒸気タービンの市場が急減した中でタービン・ボイラ技術者の勢力はディーゼル船用の排エコ・ターボ発電プラントに注がれ、排エコは複圧式、三重圧式から熱水フラッシュ式まで高度化し、発電タービンも混圧タービン、フラッシュタービン、ガスタービンとの組合せ発電システムまで開発され、採用船が急増した。残念ながらスーツファイア事故やバンカー価格の反落安定、混乗船の増加などにより、シンプルで運転しやすいプラントが求められ、現在は予熱部なしの簡単な排エコに落ち着いた。

5.2.4　石炭焚き船[3)]

1979年（昭和54年）に豪州船主が石炭焚き船建造に踏切り、豪州沿岸航路の75,000DWT、19,000馬力×80rpmのボーキサイト運搬船が、三菱重工で2隻、Italcantieriで2隻建造され、1982年から就航を始めた。

未経験の石炭焚き船で燃費を保証し、積込み・貯炭・運炭・給炭・燃焼・灰処理のすべての操作を夜間無当直船として自動化し、油焚き船と同等の安全性と信頼性を確保することはきわめて挑戦的な課題であり、短期間に膨大な調査・実験研究・設計検討が行われた。

蒸気サイクルは2段給水加熱方式で、過熱器出口蒸気圧力は標準の61.5kg/cm²を踏襲し、蒸気温度はボイラのスラッギングやファウリングを考慮して標準の515℃より低い480℃に抑えられた。ボイラは燃焼室容積が油焚きの約2倍取れるドロップファーネス構造で、燃焼方式は塊炭燃焼に最適の移動火格子と撒布ストーカーの組合せが採用された。機関室内に粉塵を出さぬため、平衡通風方式を採用して火炉を負圧とし、運炭、灰処理システムとも空気圧によるパイプ輸送方式が採用された。

この4隻のほかに米国の沿岸航路の32,000DWTの石炭運搬船が新造され、韓国とスペインで3隻が石炭焚きに改造されて将来が期待されたが、それ以上普及しなかった。

5.2.5　LNG船

タービンはボイルオフガスを燃料とするLNG船の主機として独占的地位を維持しており、1983年（昭和58年）のバダク向け「尾州丸」とアルン向け「越後丸」125,000m³、40,000PS×100rpm以来多数隻が建造されている。1993年（平成5年）竣工のアラスカ代替船「POLAR EAGLE」87,000m³、21,000PSと西部ガス向け「AMAN BINTULU」、18,000m³、7,500PS以外はすべて125,000～136,000m³の大型船であり、プロジェクト毎に船速が異なるため、出力は23,300～40,000PSと大差がある。

蒸気サイクルは4段給水加熱と2段給水加熱双方が船主の要望に応じて使い分けられている。タービン入口蒸気条件はタンカー同じ60kg/cm²×510℃が踏襲されたが、新しい試みとして燃費は4段給水加熱と同じで運転・保守が容易な58kg/cm²×520℃の2段抽気・3段給水加熱・蒸気式空気加熱器のプラントが開発され、平成6年から就航を始めて好評であり現在の標準プラントになっている。

復水器真空は標準の722mmHgだが設計海水温度を標準の24℃ではなく航路平均の27℃としたプロジェクトが3件あり、全船スクープとチタン管を採用しているのもタンカーとの大きい相違である。

参考文献

1)　大盛俊男ほか：舶機誌、第14巻、第9号（1979）
2)　福垣敦男：造船論、166号（1989）
3)　Fukugaki, A. Trans. of SNAME, Vol.90（1982）

5.3　艦艇用ガスタービン

5.3.1　導入までの経緯[1, 2]

艦艇用エンジンにガスタービンを最初に導入したのは英海軍であった。1947年（昭和22年）に世界で初めての航転型ガスタービンGATRIC（2,500馬力）を砲艦「MGB2009」に搭載して種々の試験を行った。その後幾つかのエンジン開発を経て、1968年に大型舶用ガスタービンを搭載した実験艦「EXMOUTH」の運転を開始、成功を収め、その後の新造のフリゲート及び駆逐艦はオールガスタービン化の方針を打ち出した。この大型ガスタービンは後に英国ロールスロイス（RR）社によりオリンパスTM3B（25,000馬力）として完成され、その後に開発された同社のタインRM1C（5,000馬力）と組み合わされてCOGOG方式で使用される制式エンジンとして、英海軍の主力艦艇に装備されるようになった。

一方、米海軍も、英海軍に遅れること5年にして主力艦のガスタービン化に着手、米国ゼネラルエレクトリック（GE）社の航転型ガスタービンLM2500（25,000馬力）を制式エンジンと定め、フリゲート、駆逐艦及び輸送艦に幅広く採用し、今やこのエンジンは舶用ガスタービンの単独機種としては世界最大の生産台数を誇っている。

我が国においては、1950年代半ばに防衛庁によって国産の舶用ガスタービン（5,000馬力）の開発が進められ、駆潜艇「はやぶさ」に搭載されたが主要部の故障が多発し、開発が断念された。その後魚雷艇用に航転型のIM300（3,000馬力）が開発されたが、推進用の大型舶用ガスタービンの開発には至らなかった。しかし、1970年代に入って防衛庁も護衛艦のガスタービン化の検討を開始、第1次オイルショックによる挫折もあったが、遂に1977年（昭和52年）に，同年度予算で建造される護衛艦（52DD、52DE）の主機にガスタービンを採用することが決定された。特にDD艦は、英海軍と同じくオリンパスとタインの組み合わせによるCOGOG方式とすることとなった。これにより同年度以降に建造される護衛艦は全て推進用にガスタービンが搭載されることになり、単にエンジンの大出力化、小型・軽量化にとどまらず、省力化、静粛化、機動性・運用性・整備性の向上等、艦艇の近代化に大きく貢献することになった。

5.3.2　導入から今日まで

52年度計画護衛艦のうち、海上自衛隊で最初に就役したガスタービン艦は建造期間の短い52DE「いしかり」で、オリンパスと巡航用ディーゼルエンジン各1台を組み合わせて2軸を駆動する形のCODOG方式が採用され、1981年に就役した。さらに52DD「はつゆき」は前述のようにオリンパスと巡航用タイン各2台による4機2軸駆動のCOGOG方式となり、1982年に就役した。これらのガスタービンは、RR社と技術提携した川崎重工業㈱によって製造されたが、導入の初期にありがちな種々の問題も順次解決され、この2艦の就役、成功は艦船のみならず、我が国の百年にわたる舶用機関技術史上からも実に画期的な出来事であった。その後これらの同型艦が順次建造され、「いしかり」型は計3艦、「はつゆき」型は計12艦となったが、高い運用性を維持して今日も第一線で活躍している。

1986年に就役した56DDG「はたかぜ」には、オリンパスと、第2世代のガスタービンとしてRR社によって新たに開発されたスペイSM1A（13,500馬力）を巡航用として各2台組み合わせたCOGAG方式が採用された。このスペイSM1Aは、燃料制御方式をそれまでの油圧機械式から油圧電子式に進展させたもので燃料消費率が大幅に改善された。58DD「あさぎり」には、このスペイSM1Aを4台搭載したCOGAG方式が採用され、1988年に就役、計8艦が建造されたが、「はつゆき」型をさらに高度化した推進システムとして内外の注目を集めた。その後、1990年に1番艦が就役した61DE「あぶくま」型計6艦にも各2台ずつ搭載され、合計装備台数は英海軍を抜き、48台に達した。さらにその出力増大型のスペイSM1C（20,000馬力）が開発され、最初に練習艦「かしま」（04TV）に2台搭載された。

1993年に就役した63DDG「こんごう」は、米海軍の最新のイージス・システムが導入されたことからイージス艦と呼ばれて話題になったが、同時に、ガスタービンも米海軍系のLM2500が護衛艦に初めて採用され、これを4台搭載したCOGAG方式となった。このエンジンはGE社と技術提携した石川島播磨重工業㈱によって製造された。それまで英海軍－RR社－川崎重工業系で占められていた

我が国の艦艇用ガスタービンは、ここに来て米海軍－GE社－石川島播磨重工業系の参画により2社体制となり、業界に新風を吹き込んだ。

58DD「あさぎり」型を一回り大きくした新型護衛艦03DD「むらさめ」は1996年に就役したが、この艦の推進システムには、まさしくこの2社体制の象徴ともいうべきスペイSM1CとLM2500各2台から成るCOGAG方式が採用された。

一方で将来に向けて、より静粛化、自動化を目指した新しい推進システムとして、電気推進システムが防衛庁で検討され、LM2500を機械推進用に2台、電気推進用に1台計3台搭載した試験艦「あすか」（04ASE）が建造され、現在試験中である。また、海外においても燃料経済性の向上を目的とした中間冷却・排熱再生サイクルのガスタービンの開発が行われており、艦艇用ガスタービンの今後の技術革新として大いに期待できるものがある。

参考文献

1)　山本肇：造船誌、第619号（1981）
2)　千葉正俊：舶機誌、第17巻、第5号（1982）

5.4　システム技術

ノーベル経済学賞を受賞したH.A.サイモン教授の“The Sciences of the Artificial”の日本語訳が「システムの科学」であり、「自然界を対象とする自然科学では解明できない、人間の行動によって形成される人工的な世界の科学の本質を解明する」ための著書と解説されている。システムとはいかにも理解し難いものである。

特に造船工学におけるシステム技術とは何かについては未だ明確には定義されていない。ここで取り挙げる「造船におけるシステム技術」とは、CAD/CAM/CAEに相当する要素技術とその統合化技術を意味するものと考えている。

ところで、CAD/CAM/CAEのそれぞれが大きな学問領域であり、一般にCADに相当する分野はより概念的・人工的な世界であり、「設計とは何か」という大きな課題を解決した後に、設計のシステム化に取り組まなければならない。一方、CAMは生産全般における要素技術のシステム化であり、その分担するべき分野は非常に広い。さらに、CAEはすべてのエンジニアリング項目に相当し、一言でCAD/CAM/CAEと呼ぶには余りに膨大に過ぎる対象である。

4.4節では、コンピュータのハードウェアの発達とソフトウェアの供給形態に応じて1945年から1970年までのシステム技術を、個人プログラム時代、企業プログラム時代の二つの段階に分類した。同様に1970年から1995年までのシステム技術の歩みを分類すると、パッケージ・ソフトウェアを専門グループが開発し、使用者がこれを購入するようになった段階と将来の統合化システムを指向し始めた段階に分類することができる。これらを簡略化して、ソフトウェア・パッケージ時代、統合化システム時代と呼ぶことにすると、ソフトウェア・パッケージが普及するのは1970年代後半であり、統合化システム指向は1980年代後半からである[1]。

5.4.1　ソフトウェア・パッケージ時代

自動設計型プログラムが業務の中に組み込まれなかったのとは対照的に漸次業務の中に広まっていくという経過をたどったのは有限要素法による構造解析である。有限要素法はコンピュータの大型化につれて着実に解析業務の中核になった。これらの動向を受けて日本造船研究協会は1970年から足掛け4年間をかけてPASSAGEを開発した。しかしながらこの頃からプログラムの供給形態が「企業プログラム・タイプ」から「ソフトウェア・パッケージ・タイプ」に移行するようになった。ソルバーとしてはアメリカで開発されたNASTRAN、MARC、SAPなどが使われるようになり、現在まで有効に利用されている。現在ではメッシュ・ジェネレータなどを含むプリ・プロセッサやポスト・プロセッサが別個のモジュールとして開発され、構造解析のためには必要にして欠くことができないシステムを提供している。

数値計算による線図生成のテーマは造船業でのコンピュータ利用として最も古いテーマである。線図プログラムの目的はおよそ三分野に分かれていた。水槽試験で使用されるシリーズ化した船型の表現手段、初期計画時におけるパラメータの変更に対応する計画線図の生成、および現図作業でのフェアリングの数値計算化の分野である。第一および第二の分野はコンピュータの実用化の初期から種々の試みがなされていたが、第三の分野の重要性に注目して体系化したシステムを構築したのがノルウェーのAUTOKONであった。船殻部材形状処理言語の開発と並行して、各社で線図プログラムの研究開発が行われた。線図プログラムは造船業だけではなく、航空機産業、自動車工業でもCAD/CAMシステムの中核になるプログラムとして重要な研究テーマにあげられている。ところで曲面処理の理論体系が整えられるのは1970年代からであるので（Coons' patch 1967、Bezier curve 1970、B-Spline 1972）、造船業で実用化された線図プログラムの

多くは、伝統的な手作業のフェアリングの手順をプログラム化したものが多い。

船殻部材形状処理言語は、線図プログラムとの連係、データベースとの連結、対話型操作の採用など新しいコンピュータ技術を組み込みながら約10年の期間にわたって各社で数度のレベルアップが繰り返された。

5.4.2　造船研究協会における活動

1970年代の造船業界でのコンピュータ技術に対する期待は日本と欧米では極めて異なっていた。イギリスやアメリカでは設計分野における応用分野に関心が持たれ、日本では生産現場用システムの開発に関心が向けられていた。船殻形状処理システムの開発に続いて、パイピング情報処理システム、資材管理システムが各社で開発され、SR110の検討課題ももっぱらこれらに向けられていた。

わが国の産業技術のリーダーシップを担っていた造船業の活動に注目して、コンピュータ・メーカは造船業のCAD技術に焦点をあてたシンポジウムを頻繁に開催した。これらのシンポジウムは産業界における技術移転に重要な役割を果たすとともに、造船界のシステム技術者にとっての情報交換の場となった。

5.4.3　日本造船学会における活動

1973年は様々な点で節目になる年であった。石油危機による経済動向の変曲点であると共に、コンピュータの利用の形式もそれまでの大型汎用計算機中心の考え方が崩れ、両極化が始まった。一方ではデータベースを中心にして通信系のネットワークと結んでさらに大型化する方向が試行されるとともに、他方ではミニコンピュータによる自律分散化の方向がはっきりした歩みを踏み始めた。その後の重要なキーテクノロジになるマイクロ・プロフェッサもこの頃に出現している。システム技術もアポロプロジェクト時代の巨龍主義、寄せあつめ主義、中央統制主義が変質することになる。

また一方では、日本造船業のシステム技術にとって、1973年は国際交流の出発点であった。ICCAS '73（the International Conference on Computer Applications in the Automation of Shipyard Operation and Ship Design）とISO/TC 8の2つの国際会議が日本で開催された。1972年にアメリカのパーデュー大学のウィリアムズから木原（日本造船学会長）に手紙が届けられた結果、IFIP、IFAC、および日本造船学会の三者共催で「造船所における、自動化に対するコンピュータ利用」に関する国際会議を東京で開催しようという提案であった。その開催準備を東大の藤田が担当することになった。

ICCASはその後3年毎に開催されることが慣行となった。第1回の東京会議（1973年）は、日本の造船各社の船殻形状処理システムに関心が集まった。第2回のゲーテボルグ会議（1976年）は、造船業の失速の最中であったため、経済動向と造船業の将来に関心が向けられ、労働界代表も加わったパネル討論がもたれた。第3回のグラスゴー会議（1979年）は小型コンピュータの利用に関心が集中した。コンピュータ利用の経済性評価に関するパネルももたれた。第4回のアナポリス会議（1982年）は曲面処理理論が一つの主要テーマになった。これにはアメリカでの、CAD技術の進展が背景になっている。第5回はイタリアで1985年に開かれた。その後第6回上海（1988年）、第7回リオデジャネイロ（1991年）、第8回ブレーメン（1994年）で開催され、第9回は日本造船学会100周年を記念して横浜（1997年）で開かれる予定である。ICCAS会議に発表された論文の傾向を概観すると、この間の造船におけるシステム技術の変遷が把握できる。

また1973年秋、東京で開かれた第8回ISO/TC 8会議で、「造船におけるコンピュータ・アプリケーションに関する国際標準化を検討する」ことが決定された。これをうけて㈶日本船舶標準協会にコンピュータ・アプリケーション委員会が設けられた。ISO/TC 8/WG 2は1974年末にデルフト会議を開き、ISO/TC 8/SC 15を発足させることとした。これに対応する国内活動としての日本船舶標準協会のコンピュータ・アプリケーション委員会は国際標準の作成に貢献した。これらの動きに連動して、国内でも船殻基本図の表記法の標準化作業を進めJIS規格原案の作成など着実な成果をあげた。

ICCASの準備、アプリケーション委員会などで、造船各社のシステム技術部門の技術者が集まって技術情報の交流をする機会が多くなるにつれて、この種の会合を定期的に持つことへの要望が高まり、これが日本造船学会のシステム技術委員会（委員長：NK秋田好雄）という形でまとまったのは1977年である。日立造船の宗正氏の努力によるところが大きい。当時既に鋼船工作法委員会の分科会として存在していたNC委員会はシステム技術委員会の中に組み入れられた。

第Ⅰ部会はシステム技術全般、第Ⅱ部会は設計問題、第Ⅲ部会は管理問題、第Ⅳ部会は生産技術問題と分かれて出発したが、その後は第Ⅰ部会と第Ⅳ部会が継続的な活動を続けることになった。現在は第Ⅰ部会がシステム技術に関する技術情報交流の場になっている。システム技

術委員会が発足した時は石油ショックによる茫然自失から造船業がようやく立直ろうと努力しはじめた時期に当たっている。この頃になると造船業が日本経済のトリガー産業であった時代は終わり、自動車工業、エレクトロニクス産業にバトンが渡された。造船業のシステム技術者もこのような環境変化に対応して今までとは違った方向での活動を開始し始めた。脱造船でエレクトロニクス分野の仕事に転身する場合があるなど多様化する状況下で、システム技術委員会のテーマも多様化している。このような状況下で過去十数年に日本造船業が試行錯誤しながら築いてきたコンピュータ利用システムの成果を整理して「造船におけるシステム技術」としてまとめようという提案が1981年に提起され、その結果日本造船学会誌に各項目毎のシリーズによる連載が始められた。足掛け3年にわたったこの連載が掲載された。

第Ⅰ部会が、システム技術全般を守備範囲としているのに対して、第Ⅳ部会は生産技術への応用を研究対象としている。既に述べたように第Ⅳ部会は鋼船工作法委員会の数値制御委員会（NC委員会）として発足していた。（1968年）第Ⅳ部会ではその名称の通りNC制御技術を中心に議論されてきたが、その他の活動として機関誌「すうちせいぎょ」を発行している（1972年から現在まで65号に及ぶ）。各号で特集テーマが選定され、造船所の現場の方々の「生の声」が掲載されるため隠れた多くの読者の関心を集めている。

5.4.4　造船業のCIMへの歩み（統合化システム指向）

あらゆる産業はその時代の波の中で、揺れながら成長するものである。造船業もその例外ではあり得ない。1950年代の造船業は欧米にどのように追い付き追い越せるかを目標に努力してきた。その結果、量的には1966年に世界シェアの45%を越えるようになった。その後も発展して拡大し続けたことによって、いやおうなしに今日の縮小調整期（1976年～1990年）を迎えるに至った。

この間においても我が国の造船業は不断の技術発展の努力を惜しんではいなかった。造船工業会は1982年から5年間の計画で「超近代化造船所プロジェクト」を実施した。これは、NCプレス曲げ加工、組立作業の自動化、三次元座標測定機、溶接ロボット、溶材なし溶接法、高速度深溶込溶接法、塗装用ロボットおよびタンク内自動足場装置の開発など生産のための要素技術を改めて開発することによって、超近代化造船所に脱皮するための研究への投資であった。

ところで、このプロジェクトはそれぞれが非常に大きなテーマであり、直接実用に結び付く技術開発は困難であることが見えてきた。このような状況下で、日本造船学会の将来技術検討委員会（委員長：藤田譲）は1985年に我が国の造船業が21世紀に向けて取り組むべき将来技術として、1）CIMS（Computer Integrated Manufacturing System）、2）ADDA（Advanced Design by Analysis）および3）N（Numerical Tank）など7項目を提案した。

CIMSに対する要望は超近代化プロジェクトの経緯と大きく関連しているものと考えられる。すなわち、造船業の設備の近代化への努力はハードウェア的指向であり、ハードウェアの高性能化を要請するばかりでは超近代化造船業への道を開拓することは困難であることに気付いた結果と思われる。そこで、造船所の設備の近代化とは異なる観点として、造船所内の情報の仕組みであるソフトウェアの近代化として造船CIMSへの要望が高まったと考えることができる。

造船工業会では直ちに造船業のCIMSへのフィージビィリティ・スタディを実施し、その将来性が高く評価された。その結果、1987年からの2年間のプロジェクトとして日本造船研究協会においてSR210委員会（新世代における船舶の設計・建造及び保全技術に関する調査研究）が組織された。

SR210委員会では造船業を労働集約型産業から脱皮させる新世代造船システム、構造設計を経験工学から脱皮させる新構造設計法、船型開発を水槽試験の制約から解放する数値水槽の3課題の実現の鍵となる重要なブレークスルー技術について調査研究し、問題点の抽出と基礎

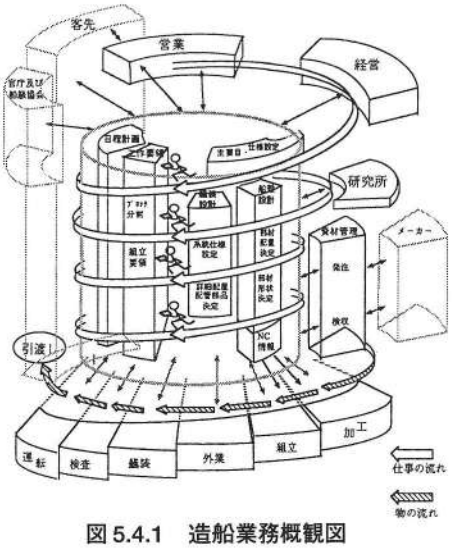


図5.4.1　造船業務概観図
（造船CIMSパイロットモデルの研究開発）

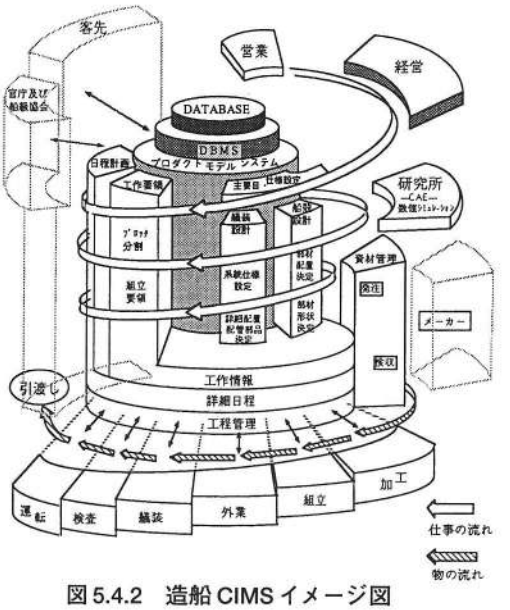


図5.4.2　造船CIMSイメージ図
（造船CIMSパイロットモデルの研究開発）

的研究を行い、開発・実用化のための技術的課題を明らかにすることを目的とした。特にCIMSプロジェクトでは内外の新世代コンピュータの技術的動向・海外の研究状況等の調査、構造物のモデリング手法、AI技術、情報通信システム等を調査研究した結果、三次元構造物のモデリング手法、主要目や機器配置等を決めるAI技術、情報統合化等の試作を含めたブレークスルー技術についての課題が整理された。

後述する如く、当時においては既に造船各社では独自に開発された大型システムを保存していたにも拘わらず、21世紀を目指した新しい研究課題に対して熱のこもった議論がなされた。この調査研究を通して、我が国の造船界のシステム技術に関する考え方は大いに深まったと言える。

このような大きなうねりに近い研究活動はその止まるところを知らないかの如きである。東大の小山の尽力によって、1988年からの5年間は、シップ・アンド・オーシャン財団においてパイロットモデルの開発およびフレームモデルの開発へと発展している。この成果の一部はTechno Marine（日本造船学会誌、No759、1992）の特集「造船CIMS」に掲載されている[2)]。

この特集号において「造船CIMSプロジェクトを振り返って」と題して、藤野（宏）は、「"天を恐れず"の造船CIMSであったがSR210でのサーベイ結果は『可能性有り』と出た。

こうなれば実際にやってみたい。コンピュータの中で実際に船を作ってみたい。これが、この関係者の希求するところとなり、日本造船振興財団（現シップアンドオーシャン財団）に開発事業として取り上げられることになり、造船CIMS開発研究委員会（委員長：笹川陽平）が組織された。こうして造船CIMSのパイロットモデルのプロジェクトがスタートしたのである。各社から出た専任チームのメンバーは造船CIMSの実現性を立証する作業に入った。システムそのものを作るというより、コンピュータの中の"虎ノ門"という造船所（専任チームが執務した船舶振興ビルの所在地）でパイロットモデルに使用した船を作ったのである。作りながら、そのための建造システムである造船CIMSというシステムを用意したのである。この方式は一つのプロトタイピングと言えるのではないかと思う。メンバーはこのプロトタイピング方式を通じて、コンピュータのなかで段々完成して行く船を作りながら、船大工としての苦しみと喜びを味わいつつ、パイロットモデルとしての造船CIMSのシステムを作ったのである。」と述べている。

これらの成果は日本造船学会論文集を初め、ICCASなどの国際会議の場で論文として公表され、我が国においてばかりでなく広く海外からも高く評価されている。ここに我が国の造船におけるシステム技術の一大飛躍が達成されたと言っても過言ではない。

更に、フレームモデルの概念を発展的に展開し造船業のみならず組立産業一般に共通するCIMS開発環境の整備を図ることを目的として、シップ・アンド・オーシャン財団において「組立産業汎用プロダクトモデルの研究」が開始された。1994年には汎用プロダクトモデル（General Product Model）の概念、GPMの造船業への適用手順、造船業の生産計画のあり方などに関する成果が報告されている[3)]。

この過程でGPMを容易に効率よく構築できる環境（General Product Model Environment）の重要性が認識され、1995年より2年の予定でその開発が始められている。この開発が成功裡に終了すると、造船業CIMの実用化加速のための基盤整備が完成されることになり、造船界からの期待は大きい。

これらの共同グループによるシステム開発とは別の観点からの造船におけるシステム技術開発も盛んに実施されている。野本・青山らは、造船を対象とした製品モデルを独自に構築している[4)]。特に製品を定義することのできるスパイラルを提案し、Product Definition Spiralと呼んでいる。このスパイラル上に設計機能、カット機能お

よびアセンブリング機能を配置することにより、造船における設計・生産システム（SODAS : System Of Design and Assembling for Shipbuilding）を構築している。

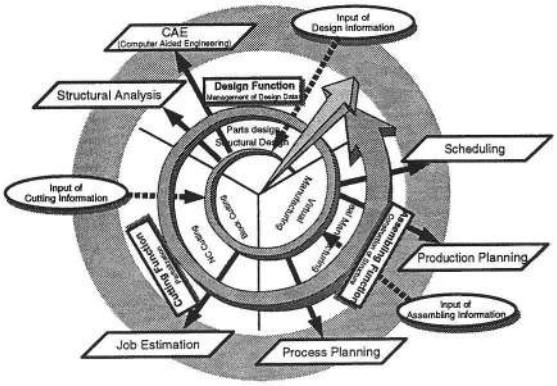


図5.4.3　製品定義スパイラル（野本・青山ら）

このシステムの特徴は船舶の配置設計から構造設計を経て一品図の設計まで一貫して適用できることであり、これらの情報は生産計画・生産情報へと一貫して利用できるように考えられている。またSODASをコントロールシステムとして構造解析システムであるNASTRANやMARCと結合されており、人手を介することなく、情報伝達を可能にしていることである。SODASの研究方針は、CAD/CAM/CAEの統合化されたシステムの構築を目指している。これらの成果は日本造船学会論文集に多数公表されている。

5.4.5　現在のシステム技術

以上において述べたように造船におけるシステム技術は、第二次大戦後の造船業の復興と共に発展し、コンピュータの進歩に歩調を合わせて向上してきた。その結果、CAD/CAM/CAEからCIMに至る広範囲の分野に拡張された。

このシステム技術は造船所の設備のように、“もの”として見えるハードウェアと異なり、視覚的にも抱え難いため評価され難い欠点がある。別の言い方をすると量的評価は容易であるが質的評価には難しさを伴う。特に「統合化設計・生産システムの開発」という分野にまで発達したシステムとなると、単に技術開発という点を超えて、同業他社との技術格差・技術障壁という観点からの戦略的・政策的意義まで存在する。したがって従来から開発されてきた要素技術の導入とは明らかに異なる一面を有している。

また一方ではこのような大規模システムを念頭に置く場合、システム開発のための費用は数十億円を下らないと考えられている。このような莫大な費用と長期間を要するシステム開発には全社が一体となった推進体制が必要である。このような意味から従来通り、各社が独自に自社のためのシステム開発をすることが良いのか、或いは造船業に共通の汎用システムを開発することの方が望ましいのかも議論されなければならない。

上述したような大型の統合システムを我が国の造船業ではいくつか構築している。三菱重工業で開発されたMATES（Mitsubishi Advanced Total Engineering System of Ships）は設計、工作、現場を対象とした総合造船システムである。1986年に実際に運用された後、現在まで約10年間の運用実績を有している。更に前章で述べた次世代システムへの研究成果を有効に取り入れながらなお新しいシステムとして成長し続けていると言われている。MATESの特徴は基本設計から一貫して利用できる設計支援機能を有していること、船殻／艤装システムによる生産支援機能を有していること、生産計画から製造管理までを広く支援する生産管理支援機能を有していること、更にはロボットなどFA機器へのデータ供給機能を有していると言われている。

一方、日立造船は1960年代のHIZACおよびHICASの開発の経験に基づいて、1980年代にはCADからCAMへの展開ニーズに応えるため、コンピュータ利用技術とグラフィックス機器を導入し、3次元データベースに基づく対話型、CAD/CAM一貫総合システムの開発に着手した。その結果1986年には船殻、艤装、機装および電気の設計4機能を包含し、なおかつCAD/CAMからFA支援までをデータベースに基づいて一貫処理できる総合システムHICADEC（Hitachi Zosen's System for Computer Aided Design, Engineering and Production Control）を開発した。

このシステムも前章で述べた新しいプロダクトモデルの概念を取り込むことによって新たなシステムへのステップを踏んでいる。1993年にはPHIプロジェクト（Product Model by Hitachi Zosen）に発展している。

上記のほかにも造船各社は独自のシステム開発に向けて努力している。一方、海外ではコッカムス・コンピュータ・システムはAUTOKON、Steer Bearの流れを汲むTORIBONを開発し、その高効率性・有効性の宣伝に忙しい。

以上に概観したように、造船におけるシステム技術の歴史は、50年に満たない。その間の技術進歩は目を見張

るものがあり、揺籃期から急速な進歩を遂げている。システム技術にかかわる技術者の多くは将来の造船技術を支えるのはシステム技術者であるとの高い誇りに満ち溢れてここ数年間を過ごしてきたように思われる。

参考文献

1) システム技術委員会第Ⅰ部会：造船におけるシステム技術、日本造船学会（1984）
2) 小山他：日本造船学会誌 No. 759（1992）
3) シップ・アンド・オーシャン財団：平成6年度組立産業用プロダクトモデルの研究報告書（1995）
4) 野本他：Simulation Based Design and Manufacturing、'96新しい造船学シンポジウムテキスト（1996）

第6章　海洋技術

6.1 概　　要

6.1.1 世界の情勢

国連第三次海洋法会議は1973年（昭和48年）から始まり、1975年（昭和50年）のジュネーブ会議で距岸12海里の領海及び距岸200海里の排他的経済水域を主な内容とする新しい国際海洋法の骨子が示され、世界の体制は200海里水域制度へ向うことになった。その後国連の海洋法条約案は1982年に採択された。

1970年以降、海底石油の試掘・生産が世界中で極めて活発となり、海洋技術はこの新しい海底石油開発技術が先導する形で発展した。各種掘削リグ、生産設備、パイプ敷設船、デリックバージ等直接石油開発に関する機器やシステムが新たに開発され、新型式の固定式あるいは浮遊式大型海洋構造物等が数多く出現し、更に潜水調査船、無人潜水ロボット等の周辺機器も著しい進歩を遂げた。これらの技術的進歩は、設計、建造、運用に至るまで、大量のデータの高速処理と高度な制御を可能にした1970年代後半からのコンピュータの飛躍的な進歩と普及に負うところが大きい。

6.1.2 我が国の情勢

(1) 全般情勢

世界的な海洋の新体制の進展に伴なって、わが国も官学民共それに対応するために新しい法律の制定や体制作りを本格的に始めた。

1960年代後半から始まった掘削リグを始めとする石油開発関連機器の建造は、益々盛んになり、1980年代中まで繁忙の時代が続いた。石油産業以外の分野でも、我が国の高度成長と共に、本四架橋、洋上石油備蓄、関西空港、東京湾横断道路等の巨大プロジェクトが次々と着工されるなど、海洋空間利用のプロジェクトが活発に展開され、栽培漁業、海洋エネルギー変換、海洋調査、潜水技術、潜水船の開発等も大きな進展を見るに至った。

従来の船舶とは異なる形態の掘削リグを始め各種多様な海洋構造物の盛んな建造に伴ない、これらの構造、性能及び係留システムなどについて、理論的、実験的研究が著しく進展した。

(2) 国の動き

(a) 新法律の制定

わが国は当初200海里制度には消極的な立場をとっていたが、1977年にソ連が200海里専管水域を宣言したこともあり、我が国も同年200海里漁業水域暫定措置法と12海里領海法を制定し、1983年には海洋法条約に署名した。1996年（平成8年）には同条約を批准して発効の予定である。

(b) 海洋開発審議会等海洋開発関連施策

海洋科学技術審議会は1971年（昭和46年）に海洋開発審議会に改組され、1973年に「我が国海洋開発推進の基本的構想及び基本的方策について」を答申した。更に1979年に第1次答申「長期的展望にたつ海洋開発の基本的構想について」、1980年に第2次答申「長期的展望にたつ海洋開発の推進方策について」、1990年に3号答申「長期的展望にたつ海洋開発の基本的構想および推進方策について」、1993年（平成5年）に4号答申「地球規模の海洋調査研究の計画的な推進方策について」を行なった。

運輸技術審議会は1977年（昭和52年）に「海洋構造物の建造に関する技術的重要事項とその実施方策について」を答申した。

1980年に海洋開発関係省庁連絡会議が設置され、1982年に「わが国における海洋開発関連施策」をとりまとめ、1985年（昭和60年）には「海洋開発推進計画」を策定した。

(c) 国の海洋開発への対応

1970年代初期に環境庁、資源エネルギー庁、海洋科学技術センター（科学技術庁所管）、海洋水産資源開発センター等新しい関連機構が発足した。又、船舶技術研究所に海洋開発工学部が新設され、海洋構造物の実験が出来る大型海洋実験水槽等の設備等が整備された。海洋開発関連の国家予算も年々増加して、1975年には沖縄で世界初の海洋博覧会が開催され、海上都市アクアポリスが展示された。

1973年（昭和48年）から運輸省航空局の諮問にも応え、日本造船工業会、船研、造研など官民の総力を結集して、新関西海上空港の浮体式工法の検討・研究が行われた。浮体は下面に浮力を受け持つ円筒を多数取り付けた構造で、係留はドルフィン係留が採用され、理論的な解析と共に、船研の大陸棚再現水槽で大型模型による実験も行なわれた。この研究の結果、問題点とその解決の可能性が示さ

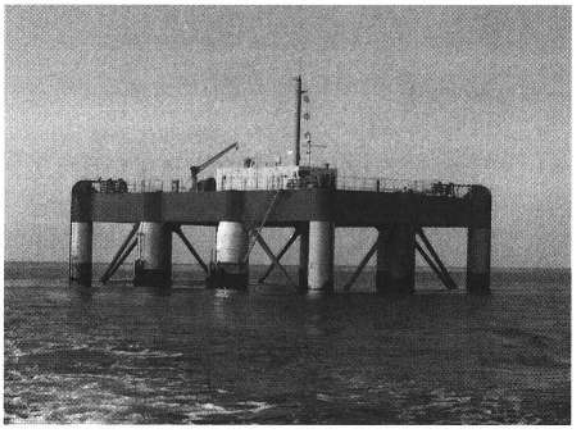


図6.1.1 「ポセイドン号」の実海域実験（1986）

れ、この浮体式工法の構想が提言された。

又、1986年（昭和61年）から船研と海技センタは半潜水型海洋構造物「ポセイドン号」（最大長、高、幅：34m×24m×26m）を山形県由良沖3kmに係留して、5年間に亘る大規模な実海域実験を行なった。弛緩係留と緊張係留の2種類の係留方式について、構造内力と運動応答、係留力等各種の計測とその解析が行われ、海洋構造物の研究に貴重な貢献をした。

(d) UJNR海洋構造物専門部会

天然資源の開発利用に関する日米政府間の情報交換協力の促進のための会議（UJNR）で、1970年に日米会議の第1回海洋構造物専門部会（MFP）が日本で開催された。以後1～1.5年毎に日米交互に開催され、現在までに20回を数える。日本側の所轄は船研で、米国側はNOAA等が中心となって運営される。毎回当時の情報の交換、実際の関連施設の見学調査、研究者の交流等を行って来たが、日米相互に最新情報の交換と見学による新知識の取得と共に、人的交流効果も大きなものがあった。

(3) 学会・大学、国際会議

(a) 学会・大学

1973年（昭和48年）に日本造船学会内に海洋工学委員会が発足し、性能、構造、設計の3分科会において海洋工学専門の研究者、技術者が集合して活動し、刻々と進展する海洋工学の発展に寄与した。海洋工学関係の論文が日本造船学会に発表され始めたのは1974年からで、その後年を追って増加した。

性能関係の研究は掘削リグ用の浮体の運動計算法から始まった。当初は船舶運動理論・流体力学を応用したもので、所謂線形理論を基礎とし、これを摂動法によって弱非線形問題への応用を目的とする研究が行われ、現在までに漂流力、長周期動揺強制力、同減衰力、3次以上の高次流体力、複数円柱間の流体力学的相互干渉の計算法など、次第に浮体構造物の特殊性に着目した研究へと進んで行った。又、問題の所在を発見するため、九大の海洋観測塔や船研の「ポセイドン号」など実海域実験が精力的に行われた結果、所謂粘性流体力の重要性が認識され、円柱その他の要素部材に加わる粘性流体力の研究などが70年代から80年代にかけて行われた。同時に係留鎖の動的変動張力の計算法なども70年代に重要な研究課題となった。更に85年以降には、浮体係留の長周期動揺が大きな問題として浮上して来た。このため長周期変動漂流力に関する理論的研究、減衰力に関する実験的研究などが集中的に行われた。更に現在に至るまで、複合外力、多方向波等の環境条件の見直しが行われつつある。

構造関係では、日本造船工業会において行われた関西空港のための半潜水式海洋構造物（セミサブと略称）による浮体式空港の研究・開発設計と並行して、構造分科会において、掘削リグを想定したセミサブを3次元骨組構造にモデル化し、流力弾性を考慮するため波浪中における運動応答と構造内力応答とを周波数領域において同時に解析する方法（一段階解法）と、セミサブを擬剛体とみなして先ず運動応答を解析し、次にこの結果を用いて準静的に構造内力応答を求める方法（二段階解法）とが比較検討された。尚、この共同研究の遂行のために実機対応のモデルとしてOSモデルが開発され、解析結果の比較等に非常に有効であった。このOSモデルは後にセミサブの運動応答性能の比較にも利用された。共同研究の成果は「半潜水式海洋構造物の構造設計要領」にまとめられ、1985年から順次学会に発表された。この成果は「ポセイドン号」の実海域実験で検証された。現在開発が進められている浮体式海上空港の研究では、弾性体と流体との相互干渉が重要となるので、上述の一段階解法で採用された流力弾性問題として、性能、構造の両分野からその応答解析法が精力的に開発されつつある。

海洋工学委員会は、ほぼ1.5年毎に海洋工学シンポジウムを開催し第13回に至っている。

第5回OMAE開催の経験を生かして、日本造船学会が中心となって土木、建築、資源・素材、石油技術、水産工学、鉄鋼という海洋開発に関係の深い学会の緩い横の繋がりとして海洋工学連絡会が1988年に結成され、以後、活動報告会に続いて年2回の海洋工学パネルが開催され、海洋学との接点、参加学会に共通するテーマ、新しいト

ピックスなどに関する講演と討論および国際会議の開催への協力などが行なわれている。

国公立大学の船舶又は造船工学科は、従来の名称ではカバーし切れない海洋技術の出現に対応するため、1989年に横浜国大が船舶海洋工学教室と名称変更をして以来、他の国公立大学の造船系学科も海洋を取り入れた名称に変更された。

(b) 国際会議

我が国における国際海洋開発会議は、1970年に第1回が東京で開催されて以来、1978年までに5回開催された。

ITTC（国際試験水槽会議）、ISSC（国際船舶海洋会議）等の国際会議も1978年頃から海洋構造物を対象とするようになり、1977年に第1回が東京で開催されたPRADSも第2回以降対象を海洋構造物へ広げた。

海洋工学および極地工学に関する国際会議（OMAE）の第5回が、米国機械学会と日本造船学会との共催で、我が国における海洋工学に関する初めての大規模な国際会議として1986年に成功裏に開催された。第16回OMAEが1997年横浜で開催される予定である。

日本を発信地とし、論文発表のための国際シンポジウムと大規模な展示会とを併設した唯一の催しであるテクノオーシャンが1986年から始まり、以後隔年毎に神戸ポートアイランドを中心に開催され、1996年に第6回を迎える。

米国ヒューストンで開催されるOTCは、1969年以来毎年開催される海洋工学に関する世界的な関心を集めた国際会議で、我が国からも盛んに論文提出と出展が行われた。又米国のMTS、英国ブライトン等で開催される海洋国際会議等多数の海外国際会議にも我が国から多勢参加した。

国際ECORの呼び掛けに応じて1971年にECOR日本委員会が発足し、海洋開発の各分野の委員会活動を活発に行なったが、1987年国際海洋科学技術協会設立と共に発展的に解消し、業務も引き継がれた。

(4) 民間の動き

1970年（昭和45年）に九大応力研の田才らの提唱により、海洋開発懇談会が発足した。既成の学会の枠を超え、海洋開発に関連する多くの分野の専門家の自由参加によって、研究発表と情報交換及び関連施設や工事現場等の見学を行い、現在72回を数えている。

1968年に設立された三井海洋開発㈱などに引き続き、1982年には深海資源開発㈱の他、三菱開発㈱、東洋海洋開発㈱、住友海洋開発㈱、ワールド・オーシャンシステム㈱、日鉄海洋工事㈱、石油資源開発㈱、日新海洋開発㈱、菱和海洋開発㈱等海洋開発専門会社が設立され、それぞれの立場で海洋開発プロジェクトを推進した。1987年以降石油開発関連需要の激減の影響もあって、海洋開発専門会社の一部は撤退又は転身した。

1970～80年代の海洋開発初期時代のプロジェクトの多くは、造船技術者が中心になって実施したと言っても良いが、これは諸外国でも例のないことである。

(5) 民間研究団体

㈶日本船舶振興会及び㈳日本舶用機器開発協会は、1970年代から海洋の新規研究開発に補助金を出し積極的な支援を行なった。㈳日本造船研究協会、㈳日本造船工業会は専門家を集めた研究会で海洋関連の基礎研究及び応用研究を数多く行なった。

1970年には海洋産業研究会、1973年には㈳日本海洋開発産業協会（JOIA）、㈳機械振興協会が設立されて、活発な調査・研究活動を行なった。

6.2　海底石油資源関連

6.2.1　概　要

1950年代にメキシコ湾で始まった海底油田の試掘・生産は、1970～80年代に北海初め世界中に急速に発展した。又1973年と1979年のオイルショック時には、世界的に掘削リグを始めとする石油開発関連構造物、機器の需要が急増大した。わが国の造船会社は優れた造船技術を生かしてこの需要に対応し、それらの建造に繁忙の時代を迎えた。船舶とは形式の異なる構造物も多く、従来の造船技術以外のノウハウも取得した。

1972年（昭和42年）当時、海洋事業の総売上高は3,000億円であったが、その後の高度経済成長と海外需要の増大とに支えられ、1977年（昭和52年）には8,400億円へと成長し、1981～83年の間は年間1兆円を超えるに至った。この時期の海外需要は、石油メジャーの北極圏など未踏海域への進出や大型海洋構造物発注の恩恵を受け、総売上高の約半分近くにも達した。然し1984年以降、世界的な石油需要の低迷等の影響を受けて、海底石油開発関連の需要は急速に減少傾向をたどった。

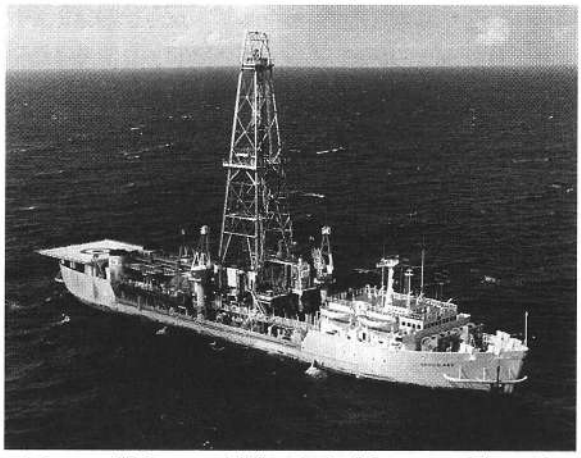


図 6.2.1　世界初のDPSを装備した船型リグ「SEDCO 445」(1971年)

6.2.2　掘削リグ

(1) 掘削リグの進歩

三菱重工は1971年（昭和46年）に半潜水型（SSと略称）リグ「OCEAN PROSPECTOR」を建造したが、当時のリグの設計は米国の設計で、陸上の掘削機器をそのまま搭載するだけで、波浪中の運動性能のみが強調されて構造は単に鋼管を組合せたトラス構造物が多く、製作には難しい問題が多かった。特に構造部材の円筒同士が直角又は斜めに結合する個所の十字隅肉溶接は平板同士の溶接より遥かに困難で検査もやり難かった。しかもこのような溶接部に、硫黄系の非金属介在に起因する層状剥離（Lamellar-tear）による亀裂が発生した。これを防ぐ耐Lamellar-tear鋼板は、製鉄所の努力で硫黄成分を1桁減らすことによって製造に成功した。三菱重工ではこの新鋼材を使用し、自主設計によって1971年にSSリグ「第2白竜」を、1974年に「第3白竜」を建造するに至った。

船型の掘削リグでは、1971年（昭和46年）に三井造船が建造した「SEDCO 445」は、世界で初めてDPS（Dynamic Positioning System）を装備した掘削船である。又1973年には、係留したまま船が回頭出来るタレット係留装置を装備した「Discoverer 534」を建造し、この方式はその後5隻の掘削船に適用された。1976年に三井造船が建造した「Discoverer Seven Seas」は大水深向けDPS装備船で、1988年に掘削水深2,328mの世界記録を樹立した。

三井海洋は米国企業とのジャッキアップ型（JUと略称）リグの技術提携により、1975年に「第4白竜」を始めとして4基の同型リグを建造したが、その建造体験から米国の設計を上回るJUリグの自主設計を完成し、1987年には世界最大稼働水深120mの「Trident IX」等を建造

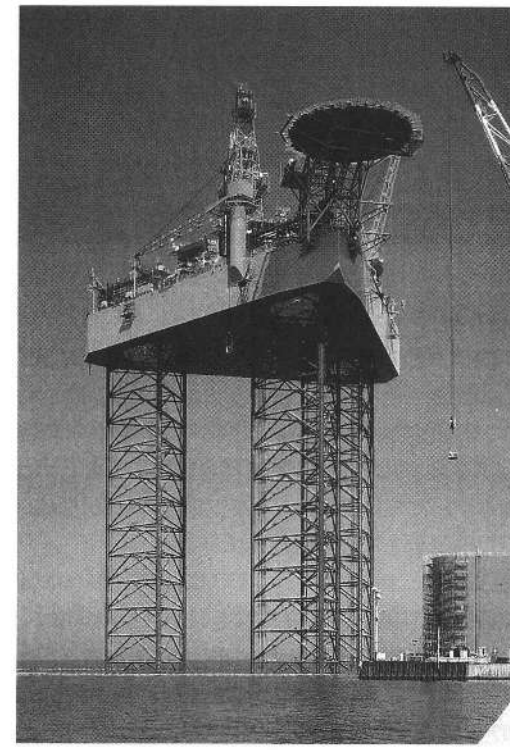


図 6.2.2　世界最大稼働水深400ftJUリグ「Trident IX」(1987年)



図 6.2.3　我が国最大のJUリグ「第9白龍」(1984年)

した。日立造船も米国の設計でJUリグの建造を始めたが、やがて自主設計のリグを多数建造した。トラス構造脚の複雑な格点構造部を鋳鋼製にして、突き合わせ溶接だけにする新工法を米国のライセンスで採用したりしたが、鋳鋼の溶接が意外に難しく2基に適用したにとどまった。JUリグは掘削台のカンチレバー式への改良、脚の構造の合理化、稼動水深の増大など種々の設計上の進展が



図6.2.4　我が国最大のSSリグ「第5白龍」(1977年)

あった。JDC向けの最新JUリグ「第9白竜」(三菱重工建造)を図6.2.3に示す。

SSリグは初期の複雑な構造から、2ロワーハルに複数のコラムのついた型式へと進化し、更にリグの事故例に鑑みて規則が変わり、上部構造を水密ににしたため剛性が増し、コラム数が減少してラーメン構造に変化した。又、船型リグと同様にDPSを装備するものも現われた。JDC向けの最新SSリグ「第5白竜」(三菱重工建造)を図6.2.4に示す。

(2) 氷海用特殊掘削リグ

カナダの設計構想によるボーフォート海で使用される氷海用特殊掘削リグが、日本の建造技術が高く評価されて発注され、当時の氷海向け特殊リグの殆どが日本製となった。

1982年(昭和57年)に日立造船はカナダ向けに23万DWTのVLCCを改造し、船側部にコンクリートを入れたハイブリッド構造とした着底式掘削ケーソンを建造し、又氷海掘削人工島用の外郭となる鋼製ケーソンリングを建造した。1983年に三井造船は、氷荷重を考慮した逆円錐形状の耐氷型浮体式掘削リグで、リグ中央下部から出る係留索で係留される「KULLUK」を建造した。1984年に石川島播磨は内部に砂を詰めて人工島を形成する着底式氷海用人工島型リグ「MOLIKPAQ」を建造した。1984年にNKKは氷海用人工島型リグ「Super CIDS」を建造した。着底部が95.25m×90mの巨大な構造物で、鋼とコンクリートのハイブリッド構造で、中央のコンクリート部はハニカム構造にする等設計的にも注目されるものが

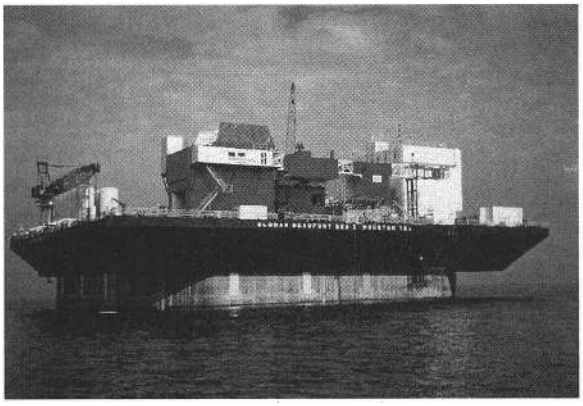
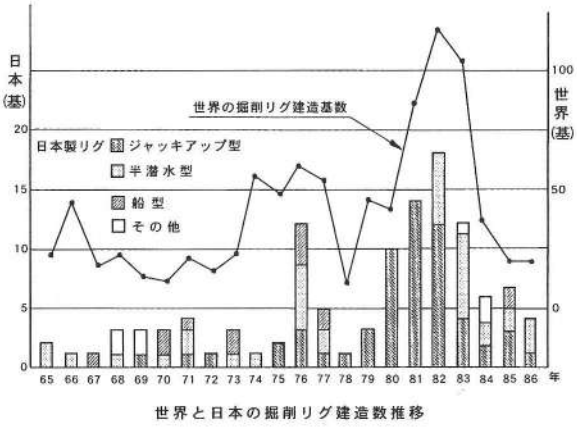


図6.2.5　世界最大の氷海用人工島リグ「Super CIDS」(1984年)

(3) 掘削リグの建造数

1958年(昭和33年)に始まり、1965年(昭和40年)から本格的な建造に入ったわが国の掘削リグの建造は、1986年までにJU型60基、SS型36基、船型14基、氷海型3基、その他4基、合計117基に達した。図6.2.6に我が国で本格的にリグの建造が始まった1965年から1986年までの22年間の、世界とわが国のリグの建造数の推移を示す。1973年、79年の石油ショック後の建造が世界的に急増しているのが見られる。1995年までの世界のリグの総建造数は約1,000基であり、わが国はその約12%を建造したことになる。



世界と日本の掘削リグ建造数推移

図6.2.6　世界と日本の掘削リグ建造数推移

6.2.3　生産プラットフォーム(PFと略す)

(1) ジャケットPF及び上載モジュール

1974年(昭和49年)にわが国で初めての生産用ジャケットが阿賀沖に据付けられた。水深80m、ジャケット重量

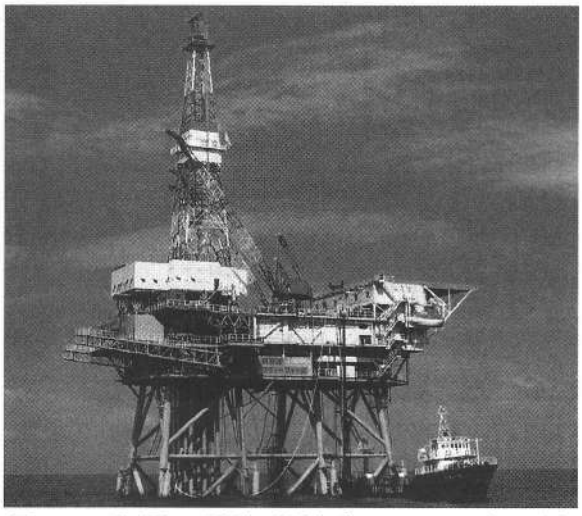


図 6.2.7　我が国初の阿賀沖石油生産プラットフォーム（1974年）

2,125トンで、このジャケットの進水には新造の進水バージ「あがの」が、又据付けにはパイプ敷設兼デリックバージ「くろしお」が使用された。その後ジャケットは1983年にいわき沖（水深154m、14,000トン）に、1984年に阿賀沖北（水深90m、3,200トン）に設置され、阿賀沖北PFは1994年に撤去された。

ジャケット構造物の海外向け建造は新日鉄が約100基、NKKが10数基製作し、その半数は据付工事まで行なった。その他造船各社も1970年後半から1980年代にかけて、海外向けジャケットを多数建造した他、ジャケットの一部で高度な製造技術を必要とするボトルやノードなども多数製作した。又、生産PFの上に搭載される各種の上載モジュールも鉄鋼会社と造船各社で多数建造した。海外向けのジャケットの溶接は、従来の船の熔接資格では承認されないため、アメリカ熔接協会の資格を取得する必要があった。

1986年にはインド向けのJU型早期石油生産用PFを日立造船が建造した。

(2) TLP（緊張係留方式 PF）

TLPは大水深用として注目された海洋構造物の一つで多くの研究が行われたが、1984年に世界で初めてのTLPの生産PFが北海のハットン油田に設置された。その主要なロワーハル構造部は三井造船が製作し、チューブ脚は特殊鋼の材料製造から難しい中ぐり加工まで日本製鋼が製作した。

1986年に山形県由良沖に設置された「ポセイドン」の実海域実験では、海技センタがTLP係留の実験を行なった。又JOIAは造船各社の協力を得て、TLPの基礎挙動データを得る目的で、1992年から実験用のTLP構造物を初島沖に約1年間設置して実海域実験を行なった。

これらの研究実験成果は国内の水産関連や海洋観測用のTLP構造物に活用された。

(3) 浮遊式石油貯蔵・生産システム

(a) FSO（Floating Storage and Offloading、浮遊式貯油設備）

小規模油田や大水深域の海洋油田の生産システムの貯油出荷設備として、タンカー型式の構造物に原油を貯蔵する浮遊式貯油設備FSOが使用されるようになった。わが国では、1972年に三菱重工がインドネシア向けに新造した2隻（貯油量約16万kl）が最初で、1993年までに三菱重工、石川島播磨、三井海洋、川崎重工で計10基建造された。貯蔵船は新造又は中古タンカーの改造で、係留方式はCALM、SALM、及びそれらとYokeの組合せ、Bow-Turret方式、荒天時に係留装置を切り離す方式等各種採用されている。

(b) FPSO（Floating Production Storage and Offloading、浮遊式生産貯蔵設備）

FSOに生産設備も搭載したシステムで、大水深にも特にインフラのない海域にも適用出来る新しい生産方式として注目されている。我が国では1978年にブラジル向けに三菱重工が建造したのが最初で、1990年までに三菱重工、石川島播磨、モデックで計5基建造した。係留方式はFSOと同様に各種の方式が採用されている。



図 6.2.8　船首タレット係留のFPSO“ANOA NATUNA”（後方はシャトルタンカー、1990年、モデック製）

(c) PTS（Production and Testing Ship）試験生産設備

主として北海の小規模油田で坑井評価と早期生産を行い、複数の油田に転用出来るように開発された船型のシステムである。ウィンチをタレット上に設けるなどして係留システムの設置・回収が容易で、DPSを装備し定点保持も出来、従来のFPSOより移動性の高いシステムである。1986年にNKKが世界初のPTS「PETROJARL-1」を建造した。尚、2年以内に完成予定で我が国で建造中のものが2隻ある。



図6.2.9　世界初のPTS「PEROJARL 1」（1986年）

(4) SPS（海底石油生産システム）

1978年に石油会社、造船会社、鉄鋼会社等が参加した海底石油生産システムの研究組合が設立され、当時世界的に開発が盛んであったSPSの研究が行なわれた。水深は大陸棚の300mを目標とし、システムは、坑口装置、パイプライン、マニフォールド、ライザ・貯油の4つのシステムから成る。7年間の研究の結果、実機を製作して1984年に瀬戸内海の水深50mの海域で総合海洋実験を行なった。これによって参加各社は種々技術的ノウハウを得たが、実験そのものは一種の模擬実験に終った。

6.2.4　海底石油資源関連海洋工事用機器：

(1) ランチングバージ

ジャケットを進水させるための特殊バージで、1974年に日本で最初の阿賀沖の生産PFの進水に使用された「あがの」は、日鉄海洋工事向けに三井海洋が建造した。その後海外向けにも多数のランチングバージが建造された。1980年に日立造船が建造したMcDermott向けの「INTERMAC 650」（63,079DWT）は世界最大級のものであった。

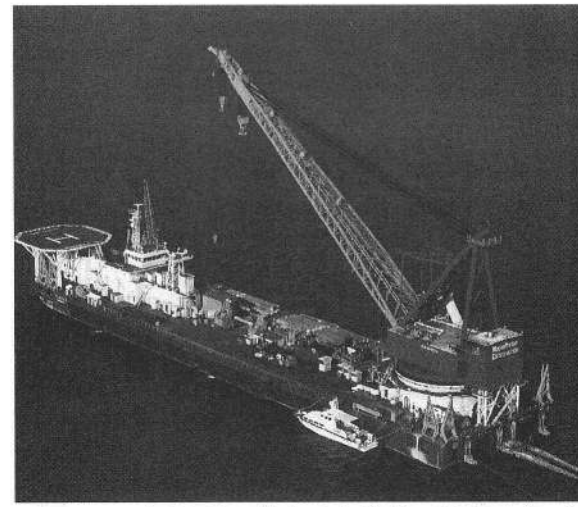


図6.2.10　我が国最大のパイプレイバージ「第2くろしお」（1976）

(2) パイプレイバージの建造、パイプ敷設

国内でも1970年前後から海底パイプの敷設需要が出て来たため、鉄鋼会社が中心となってパイプ敷設工事を目指してパイプ敷設船の建造が始まった。新日鉄は1967年に中古タンカーを改造して油島丸を建造し、1972年には初のパイプ敷設兼デリックバージ「くろしお」を建造した。1974年には日本鋼管が、更に大型の620T旋回式クレーンを備えた「KOKANPIONEER 1」を建造した。1976年には三井海洋が日鉄海洋工事向けに「第2くろしお」を建造した。これは長さ140mで、初めてセンターランチングウェイ方式を採用し、725tの旋回クレーンを備え、操船・敷設作業にコンピューター制御システムを搭載した我が国最大のパイプレイバージとなった。

(3) 半潜水型デリックバージ

荒天の多い北海で海洋構造物を洋上で建設する稼働率を向上させるために、半潜水型（SS）デリックバージが考案され、1978年に石川島播磨がオランダ向けに建造した、2,000t旋回式クレーン搭載の「NARWHAL」がその最初である。続いて同年に三井造船がオランダのHeerema社向けに「BALDER」と「HERMOD」の2隻の大型SSデリックバージを建造した。これは3,000ST1基、2,000ST1基、合計5,000STのクレーン（住友重機製）を装備し、大荷重を吊り揚げた時の傾斜を急速に修正するためのコンピューター制御のダイナミックバラストコントロール装置を装備して、短時間に確実に作業出来るシステムを備えた。137m×86m×42mの船体は当時世界最大の海洋構造物であった。この2隻が、北海で従来のバージ型デ

リックバージに比較して年間稼働率が飛躍的に向上する実績を収めたため、SSデリックバージの建造が世界的に流行し、1985年には三井造船は6,600STクレーン2基を装備した世界最大のSSデリックバージ「DB 102」をMCDermott向けに建造した。



図6.2.11　世界最大の半潜水式デリックバージ「DB102」(1985年)

(4) 海上作業・居住設備

石油生産設備の維持・管理・補修工事等の作業基地として、各種の作業台や居住設備が建造された。1977年に三菱重工はSS型海上支援船「SEDCO PHILLIPS」を建造した。同年石川島播磨はJU式修理用作業台「ARB-1」をペルシャ湾向けに建造した。90m×36m×7mで、4本の脚で昇降し、500t旋回クレーンを装備した世界最大級の自己昇降式作業台である。日立造船は1981年にJU式修理用バージ「AL HYLEH」をアブダビ向けに建造した。

居住設備としては、1980年に石川島播磨が360人収容のJU式居住PFをアブダビ沖に設置したのを初めとして、引き続き三菱重工と日立造船がJU式居住PFを建造した。SS型居住PFは、1982年に三井造船が616名収容の「POLYCASTLE」を、1987年には世界最大級の800名収容の「POLYCONFIDENCE」を北海向けに建造した。

(5) サブマーシブルバージ

海洋構造物などをサブマーシブルバージ上に搭載して、曳船で曳航し安全に速く輸送する「Dry Tow」と称する新しい海上輸送システムが開発され、JUリグの輸送等に革新的変化をもたらした。自航式を含め多くの潜水バージが建造され、新輸送方式に対応するようにリグの設計の変更も行われた。



図6.2.12　800名収容の世界最大級SS型居住用プラットフォーム「POLYCONFIDENCE」(1987)

6.2.5　掘削リグ用機器

掘削リグに搭載される掘削用機器は殆ど全て米国製を輸入していたが、米国のメーカーとの技術ライセンス契約で国内で製造することも行なわれた。三井海洋と三井造船はNationalのジャッキアップ装置を国内・国外向けに72基製造し、三菱重工はEmsco社のドローワークスを233台、マッドポンプを1,531台製造した。

6.3　その他海洋資源利用

6.3.1　マンガン団塊探査

1973年（昭和48年）に金属鉱業事業団が設立され、マ

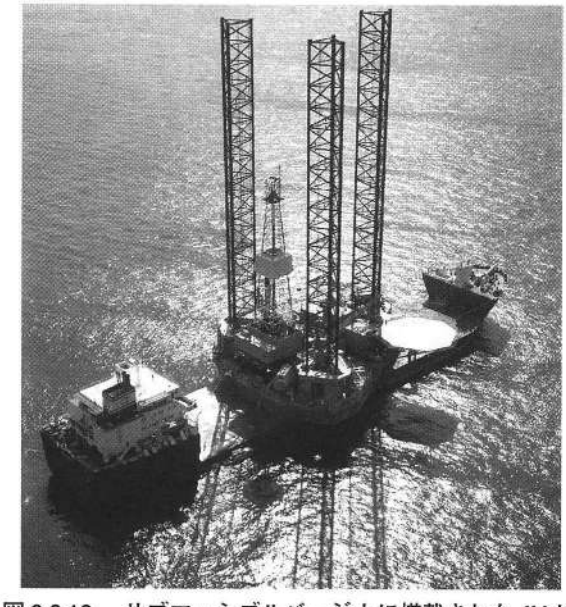


図6.2.13　サブマーシブルバージ上に搭載されたJUリグ「PENROD 96」(リグは1982年、日製)

ンガン団塊の調査・開発を行うことになった。1974年に竣工した「白嶺丸」で太平洋のマンガン団塊の調査を行なっていたが、1980年に新鋭の探査機器を搭載した地質探査船「第二白嶺丸」(2,050GT) が三菱重工で建造され、マンガン団塊探査で欧米にやや遅れていたわが国も、この新鋭船によって有効な探査を行えるようになった。

1982年に技術研究組合マンガン団塊採鉱システム研究所が設立され、造船各社も参加して、1990年までマンガン団塊の集鉱・揚鉱システムなどの研究を行なった。

6.3.2　ウラン回収

海水中に3mg/tonの濃度で溶存するウランを、チタン酸によって吸着する実証実験が金属鉱業事業団によって1981年から8年間四国仁尾町で行われたが、吸着効率が低く経済的に成り立たないことが判明した。1992年にチタン酸に替り、高い吸着性能を持つ放射線グラフト重合法による繊維状アミドキシム樹脂が原子力研究所で開発された。1996年から、浮体に吊下げた新吸着材で実海域試験が行われる予定といわれる。

6.3.3　深層海水

水深約300m以深の深層海水は、表層海水に比し富栄養、清浄、低温という特長を生かして、栽培漁業、医薬生産、発電、冷房利用等様々な有効利用法が注目されている。1985年から高知県室戸の海洋深層水研究所で、又1995年から富山県水産試験場で利用実験が開始されている。

6.4　海洋エネルギーの利用

6.4.1　波力発電

波力発電装置は、英国始め世界各国で研究され、わが国では既に第Ⅳ部6.3.で述べたような成果を挙げて来たが、この時期にも研究開発が盛んに行なわれた。大型実験機の実海域実験例が多いことでは世界一で、それらの主要なものについて記述する。

(1)「海明」

1978年（昭和53年）に海技センタは弁を持った空気室にエアタービンを取り付け発電機で発電する方式の波力発電船「海明」を開発した。4個の浮力室と22個の空気室を持つ、80m×12m×7.5m～3.8mの船体は、石川島播磨で建造された。定格125KWの発電機を最終的には10基搭載する計画であった。第1期実験は、1978年から山

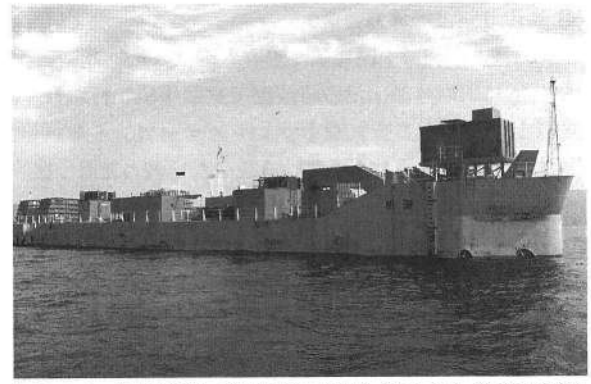


図6.4.1　波力発電船「海明」第2期実験（1985年）（海洋セ提供）

形県由良沖で発電機3基を搭載して第1次実験を行なった結果、発電機1基当りの平均出力は約20KWであった。1979年からの第2次海域実験は国際エネルギー機関との共同研究となり、米国、英国、カナダ等が参加した。英国製の発電機を1基を加え合計8基の発電機を搭載して実験した結果、波高5Mで船首、船尾の発電機はそれぞれ25kw、35kwの平均出力を記録した。8基の合計出力は約100KW、約半年間の総発電出力量は17万KWHであった。又この期間に、発電電力を海底送電ケーブルで陸上に送電する実験も行われた。1985年から約半年間、英国、米国の発電機と更に改良を加えた発電機3基と合計5基の発電機を搭載して、第2期海域実験が行なわれ、世界最大規模で且つ長期に亘る実海域の波力発電実験は貴重な記録を残して終了した。

(2) 沿岸固定式波力発電装置

1984年に山形県三瀬に、海技センタの協力を得て、三井造船と富士電機は沿岸固定式波力発電装置を設置して実験を行なった。空気室とエアタービン方式であるが、タンデム式ウェルズタービンを使用して最大出力約45KWを得た。

(3)「海陽」

海洋環境技術研究所は、浮体の運動エネルギーを浮体に付けたリンク装置で油圧エネルギーに変換して、窒素封入の蓄圧シリンダに蓄え、その蓄圧エネルギーを油圧モータに送って発電する方式を開発した。2個の浮体を持ち、構造物は4本の脚を持つJU型で荒天時にデッキを波の上に退避する方式とし、三井海洋が設計・建造して西表島に設置した。1984年と85年に発電実験を行い、波高0.8mで出力約10KWを得た。

(4) 酒田港防波堤波力発電

港湾技術研究所が開発した波エネルギ吸収型防波堤は、1992年に山形県酒田港の防波堤で実証実験が行われた。波の上下動による空気流でウェルズタービンを動かし、出力60kwで現在も稼働している数少ない波力発電装置の一つである。

6.4.2　海洋温度差発電

1974年から通産省のサンシャイン計画で基礎研究が行われ、その後佐賀大学、電力中央研究所等でも研究された。1981年に東京電力がナウル島に出力100KWの装置を設置し、実用出力15KWを得たが、水深560mの取水管が破損して使えなくなった。1982年には九州電力が徳之島に出力50KW（実用出力33KW）のテストプラントをを設置したが、いずれも実用化のレベルには至っていない。

6.5　水産関連

200海里水域の到来で従来の遠洋漁業が著しく制約を受けるようになり、1974年（昭和49年）に沿岸漁場整備開発法が制定され、水産庁は1980年にマリンランチング（海洋牧場）計画を、1984年にマリノベーション構想を発表した。更に1986年には㈱マリノフォーラム21が設立されて、官民共同によって栽培漁業に工学的な手法が導入されるようになった。1973年に三井海洋はマダイの親魚育成用の双胴の特殊バージを建造し、マダイの稚魚育成用餌であるワムシの自動培養装置を上浦水産試験場に設置し、1974年には成長した稚魚を自然の海域で育成するためのナーサリーバージを建造した。その後三井造船などもワムシの自動給餌装置、自動収穫装置、水槽掃除機、撹拌機、自動換水装置等、栽培漁業関連の機器の開発を行なう等工学技術が水産分野に参入した結果、栽培漁業も新しい進展を見るに至った。

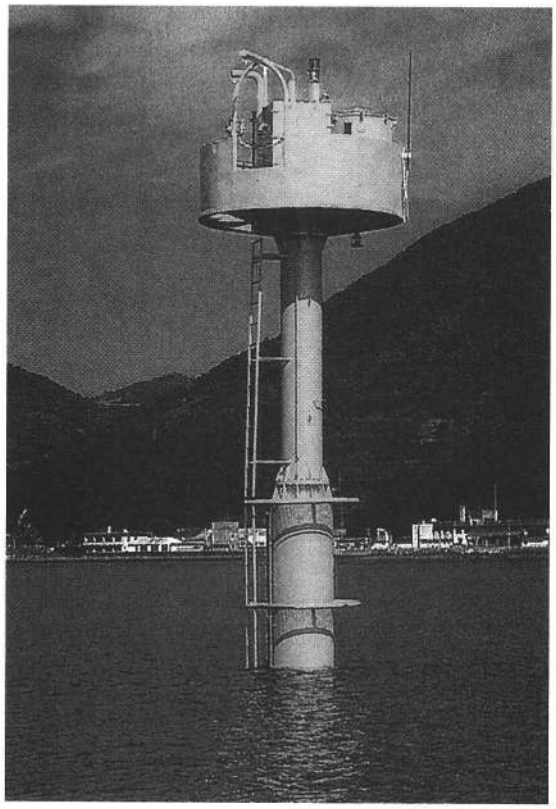


図 6.5.1　初の音響馴致システムによるタイ育成用自動給餌ブイ（1984年）

1984年（昭和59年）には三井造船が大分県佐伯湾に、初の音響馴致システムのタイ育成自動給餌ブイを設置して、マダイの海洋牧場を実現した。その後マリノフォーラム21の事業として、1990年に三井造船は愛媛県の沖合養殖パイロットファームの海上ステーションとして、水深65mの海域に水産分野では初めてのTLP構造物を設置した。20m角で4本のコラムと浮体を持ち、自動給餌システムやモニタリングシステムを搭載した。又三菱重工は1991年から各地に自動給餌ブイを設置し、1993年にはJU式沖合養殖パイロットファームを北海道奥尻島に設置した。

太陽光を海中に導入する海中緑化実験装置は、1987年に三菱重工が清水建設と共同で開発実験し、1988年には三井造船が大分に海技センタ向けの実験用スパーブイを設置した。

1990年にはアワビ養殖用の潜降浮上出来る中層型人工海底を、海技センタ向けに川崎重工が岩手県綾里湾に設置した。浮魚礁については、三井造船が1989年にマリノフォーラム21の一環として徳島沖水深1,265mに一点係留の浮魚礁を設置し、1995年には川崎重工が浮体直径7mの大型浮浮魚礁を沖縄県に設置したりした。

6.6　海洋空間利用

6.6.1　海上空港

大村湾内の島を崩してその土砂で埋め立て造成した、世界初の長崎海上空港が3年の工期で1975年に完成した。空港周辺の護岸用コンクリートケーソンの下部捨石マウンドを水深約10mの海域に造成するのに、三井海洋が開発した移動式バージ上からダンプカーが直接捨石を投下する新工法が採用され、空港建設工期が短縮された。

関西空港の建設計画に当っては、6.1.2 (2) で述べた官民

合同の研究による浮体式工法が提案されたが、1980年に旧来の埋立方式に決定された。埋立式による関西空港の建設工事は予想を超える地盤沈下のため、予定より1年半遅れて1994年9月に開港した。

海上空港を浮体式にする場合の超大型浮体式海洋構造物の問題点を実物で検証するために、1995年に主要造船所等が参加してメガフロート研究組合が結成された。1997年度までに100m×20m×2mの浮体ユニット9個を洋上接合し、300m×60m×2mの大型浮体モデルを完成させる計画で、1995年には追浜沖にユニット4個を接合して実証実験を行った。この実験の進行に合せて、超大型浮体の波浪応答解析法が開発され、単なる応答解析ではなく超大型浮体を弾性支床上の梁とみなして解析解を得、浮体断面の剛性の要求値を数式で表現するなど、全体構造の基本設計に直接有効な情報が得られるようになった。

6.6.2　海上都市アクアポリス

1975年に沖縄で開催された国際海洋博覧会のシンボルとして、世界初の海上都市アクアポリスが建造設置された。アクアポリスは上甲板が100m角の半潜水型構造物で、発電設備、汚水処理設備、造水設備等を供え、2,500人

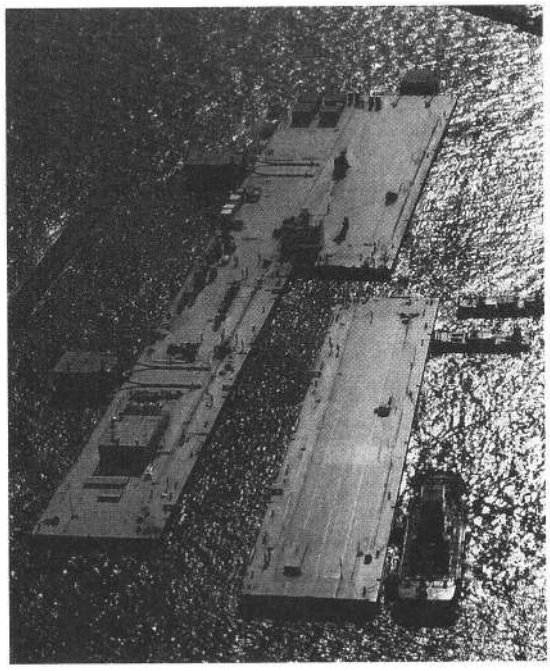


図6.6.1　メガフロートの実証実験、4個目のユニットを接合する状況（1995年）（朝日新聞社提供）

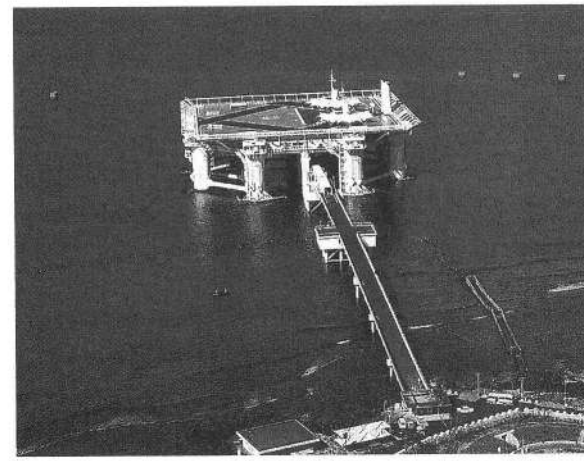


図6.6.2　沖縄海洋博の世界初の海上都市「アクアポリス」（1975年）

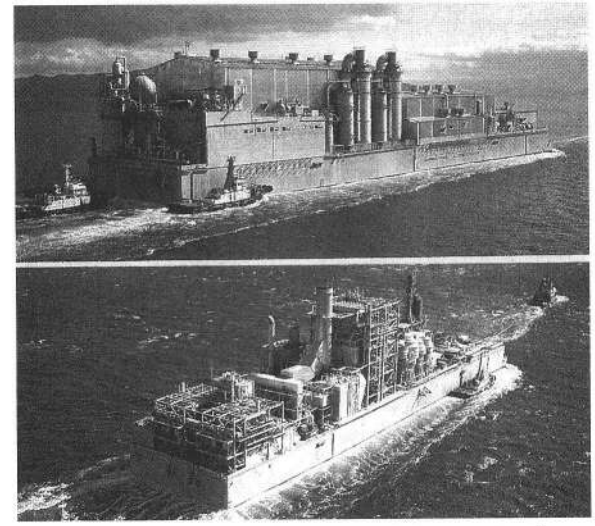


図6.6.3　曳航中のブラジル向けパルププラントバージ（上）とパワープラントバーシ（下）（1987年）

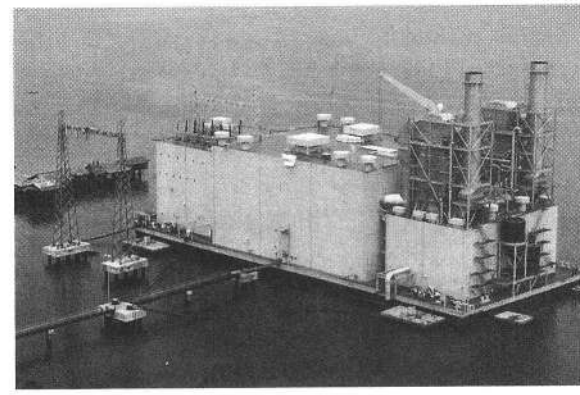


図6.6.4　世界最大のミンダナオ向け10万KW発電プラントバージ（1994年）（日本経済新聞社提供）

の観客を収容する海上都市である。構造物の建造は三菱重工が、係留工事は三井海洋が行なった。係留はチェーンによる16点係留で、最大水深50mの海底に穿孔した孔の中にチェーンを挿入してモルタルで固める、パーマネントアンカー方式が採用された。この方式は初めての経験であったが、多くのトラブルを克服して完工した。

6.6.3　プラントバージ

開発途上国や離島等僻地にプラントを建設する方法として、プラントを大型バージに搭載して運ぶ方式が開発された。現地にバージごと着底固定して陸上施設とするか、又は海面に浮いた状態で運用するか二つの方式がある。いずれの場合も現地建設工事が少なく、納期が短い特長があり、浮体式の場合は更に移動が容易であるという利点があり、多くの種類のプラントバージが主として開発途上国向けに建造された。

(1) 鉄鉱石積替作業台

三井海洋が1971年（昭和46年）に建造してインドのゴア沖まで輸送した鉄鉱石積替作業台は、着底させた作業台上に貯蔵した鉱石をコンベアで鉱石船に連続的に積み込み作業を行なう構造物である。従来方式の沖合積み替え方式に比し荷役効率を飛躍的に向上させた。モンスーン時期には浮上して港内に退避する方式とした一種の移動式プラントバージである。海洋開発の初期に計画建造された珍しい構造物で、日本から曳航されて出航する時に、九大応力研の田才教授等が、構造物の運動、波浪中の応力を波浪計測と同時に行ない、解析することによって海洋構造物の波浪中の運動・強度の推定法に関する研究を行なった。

(2) ホテルバージ

1977年（昭和52年）にはペルシャ湾で稼働する、1,190人用及び600人用の大型ホテルバージ2隻を常石造船が建造した。

(3) パルププラントバージ

1978年（昭和53年）に石川島播磨はパルププラントとパワープラントの2隻のバージを日本で完成して、ブラジルまで長途曳航運搬し、現地に着座固定してパルプ工場を完成した。プラントバージの特長を活かした画期的なプロジェクトとして、当時世界的にも注目を浴びた。

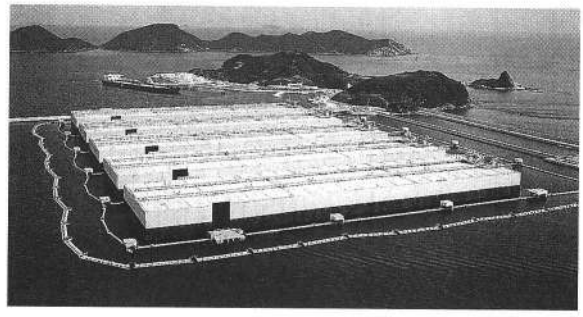


図6.6.5　わが国初の上五島の洋上石油備蓄（1988年）

(4) その他のプラントバージ

発電プラントバージが1979年（昭和54年）以来バングラデシュ、フィリッピン、タイ等向けに各造船所で20隻以上建造された。三井造船が1994年にミンダナオ向けに建造した世界最大の発電プラントバージ（出力10万KW）を図6.6.4に示す。海水からの造水設備（最大造水能力19,200m³/日）を搭載した造水プラントバージが1979年以来主として中東向けに数基建造された。洋上で海洋工事をする時のコンクリート製造プラントやセメントサイロを搭載したセメントプラントバージも、国内、中東向けなどに数基建造された。

6.6.4　洋上石油備蓄

石油の国家備蓄を増大させる国の政策に従って、海洋スペースを利用した洋上備蓄システム技術の研究が1973年（昭和48年）から6年間JOIAで行われた。1975年には石油備蓄法が制定され、一方技術面では1978年に運輸技術審議会により「浮遊式海洋構造物（貯蔵船方式）による石油備蓄システムの安全指針について」の答申が行われた。

三菱重工はJOIAの研究を更に具体化するための研究開発を行ない、1988年に上五島で我が国初の石油洋上備蓄貯蔵システムを完成した。容量80万klの貯油船5隻で、合計440万klの備蓄量となった。貯油船は二重殻構造で、ドルフィン係留とされた。2方面に防波堤を設け、貯油船の周囲は一部が防衝堤を兼ねる浮防油提で囲まれた。同様の洋上備蓄は白島でも採用され、70万klの貯油船8隻を日立造船が建造して、1996年に完成予定で工事中である。

6.6.5　ブイ

(1) 海洋無線中継船

1973年（昭和48年）に伊豆大島沖水深200mの海域に、

NTTが大陸棚辺縁部と陸上間を無線で中継するための試験用大型ブイ「海洋無線中継船」が設置された。当時としては大型海洋プロジェクトの一つで、各造船所も参加して舶用機器開発協会の委員会で研究が行なわれた。ブイは長さ135mのスパーブイで、伊豆大島沖水深200mの地点ににシンカーとチェーンで4点係留されることになり、ブイの建造は三菱重工が、設置工事は三井海洋が行なった。チェーンの付いた水中重量160tのシンカーを水深200mの海底に降ろすのに、通常の揚錨機を大型にしたものを製作したが使い物にならず、設置工事の工期が丸1年延びた。船の揚錨機を単にスケールアップしたため、大型船のアンカーより1桁大きい重量のシンカーを操作するのに、荷重や衝撃力に対して機械の材質が適応出来なかったためであった。海中に吊下げたままにしていたアンカーチェーンが疲労破壊で破断する事故等もあり、造船技術者が初めて海洋工事の厳しい試練に直面したケースであった。翌年ウィンチとワイヤーによる方法でシンカー敷設に成功し、ブイは所定位置に設置された。



図 6.6.6　伊豆大島沖に設置された海洋無線中継船（1973年）

(2) 一点係留ブイ

CALMブイは三菱重工が自主開発の三菱SPMを、日立造船がIMODCOブイをそれぞれ10数基国内外向けに建造した。

1983年（昭和58年）にむつ小川原石油備蓄基地の石油積み込み、払い出しのための大型タンカー（275,000DWT）係留用に、日本で初のSALMブイが設置された。ブイの設計・設置は三井海洋が行なったが、ブイの設計は米国SOFEC社との技術提携によった。係留工事ではSEP「KAJIMA」が活躍した。1986年には福井石油備蓄向けに同様なSALMブイを三井海洋が設置した。

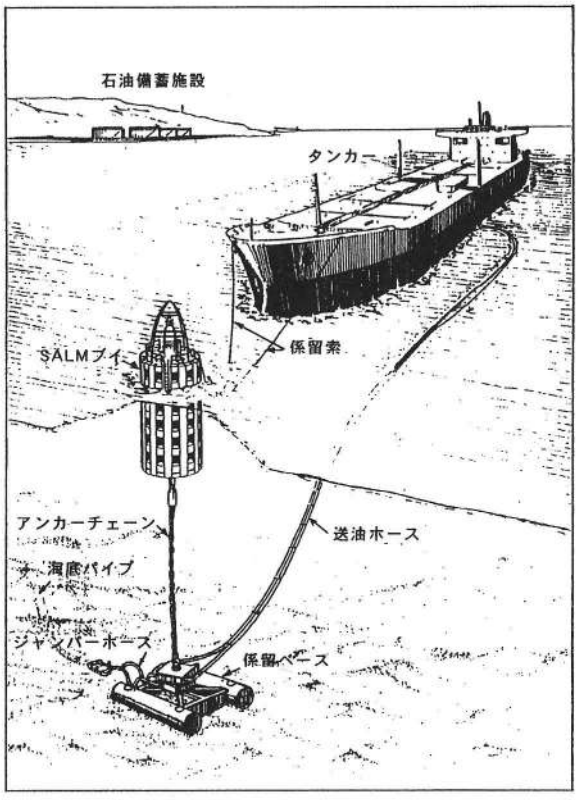


図 6.6.7　むつ小川原石油備蓄基地向け初のSALMブイ係留図（1983）

(3) その他のブイ

ユニバーサルジョイントで海底に結合されたスパー型ブイは、海象気象観測用に1979年（昭和54年）に新潟鉄工が相模湾に、1989年に三井造船が宮崎港沖に2基を設置した。1980年には三菱重工が玄海灘に世界初のTLP方式係留の耐波性直立ブイを、1991年に三井造船が琵琶湖に水質観測、測定用のSALM方式ブイを3基設置した。又三井海洋及び三井造船は1989年から北大の海底地震観測用に一点係留ブイを水深1,000m以上の海域に3基設置した。

6.6.6　観光・レジャー施設

海中展望塔は、日立造船が1969年（昭和44年）に白浜に設置して以来1980年までに全国6個所に設置された。1973年には水中展望回廊が愛媛県西海町に設置された。

海洋構造物を海中に設置して海釣り公園又は海釣りセ

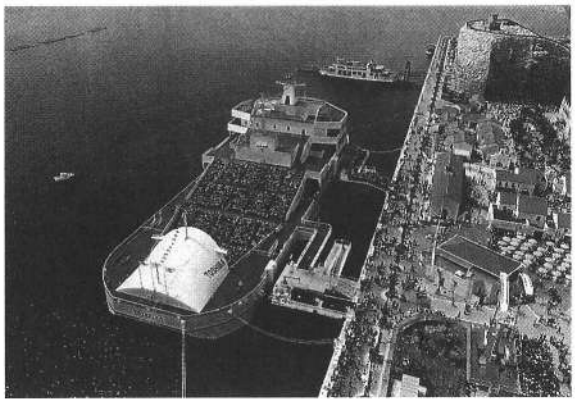


図 6.6.8　初の新造浮体式イベントシアター「RESTRELLA」(1992年)

ンターにする施設が、1974年頃から全国で数ヶ所設置された。1972年には鹿児島市に水中レストランが、1983年には佐賀県、呼子町に洋上レストランが建設された。

元移民船「ぶらじる丸」は、1974年に三井海洋により鳥羽市に係留され海上パビリオンとなった。元英国客船オリアナ号は、1987年に日立造船により別府湾に係留され海洋博物館となった。元青函連絡船羊蹄丸は、三井造船によりフローティングパビリオンに改造され、1992年にジェノバの「国際船と海の博覧会」に出展された。1992年に石川島播磨は日本で初の新造浮体娯楽施設であるイベントシアター「ESTRELLA」を呉に設置した。長さ128mで、浮体側にガイドレールを付けたドルフィン係留とした。定員3,160名で、内部にはモーションシアター、イベントシアター、ゲームハウス、展望レストラン、海洋展示ホール等が配置された。

1989年に三菱重工は、映像と同調して揺れる240の観客席と、映像に合わせて点滅する照明と立体的音響効果を持った「大航海体験館」を長崎オランダ村に納入した。

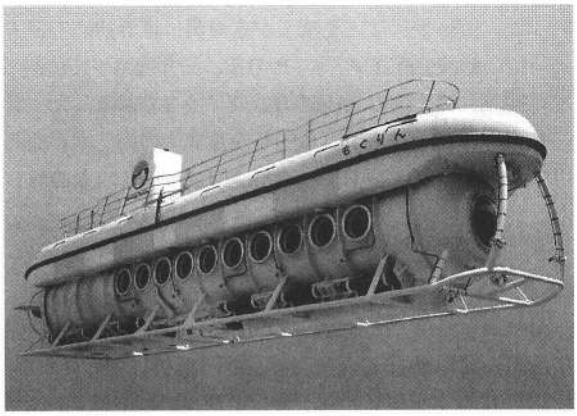


図 6.6.9　我が国初の観光潜水船「もぐりん」(1989年)

三井造船はアルキメディアンスクリューを装備した北海道の砕氷実験船を建造したが、流氷観光船「ガリンコ号」に改造し、1987年から紋別市に貸与されて活躍したが、1996年に代替船が建造される予定である。

水中観光船では、三井造船が没水部の側面に覗き窓を設けた、44～56人乗りの半潜水型水中展望船「コーラル・ビューワー」を開発した。安価で手軽に水中観光が出来る利点を生かして1988年以来全国各地で21隻運航されている。1989年に三菱重工が建造した観光潜水船「もぐりん」は本格的潜水船で、全長18.9m、乗客40人、潜航深度50mで沖縄で運航されている。

6.6.7　その他海洋開発関連構造物、機器

(1) 自己昇降式作業台（SEP）

国内向けに1972年から4年間に川崎重工、三井造船、石川島播磨等によって「うきしま」、「KAJIMA」、「盤石」、「たまの」等12基が主として建設会社向けに建造され、各種海洋工事に活躍した。稼働水深は10～65mで、昇降装置は建造各社ぞれぞれ独自の方式を採用した。

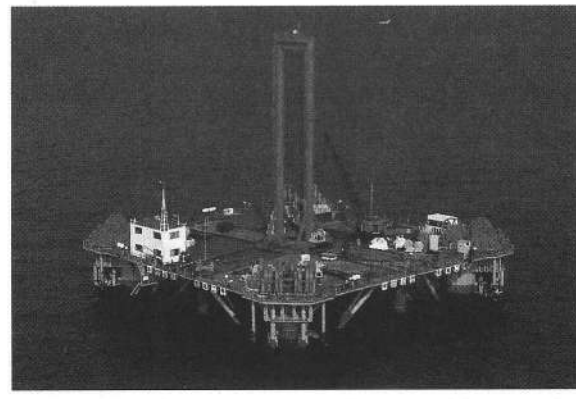


図 6.6.10　我が国初のTLP方式係留による本四公団向け大型船足場「創成2号」(1973年)

(2) 本四連絡橋公団向け船足場

本四架橋工事のための海底地質ボーリング等を行う船足場として、1970年に日立造船が小型のTLP方式係留の「創成1号」(14m×14m) を建造した。更に1973年には大型船足場「創成2号」を建造した。これは43m×43mの角型PFで4脚の半潜水式構造物で、アンカー8個とシンカー4個とチェーンによる緊張係留方式を採用した。最大稼働水深50mで、潮位の変動によるチェーン張力の変化をを一定に保持するために自動バラスト調整装置を装備している。潮流、波、風の外力に対して動揺が少ない特

長を生かして、本四公団の各種海洋調査工事に活躍した。わが国で初のTLP方式による海洋構造物であった。

(3) 橋脚用鋼製ケーソン

本四架橋は1976年大鳴門橋、1977年因島大橋、1978年瀬戸大橋、1986年明石海峡大橋、1988年来島大橋、1990年多々羅大橋と次々と着工され、それらの橋脚用の鋼製ケーソンの多くは造船所で建造された。建造後は曳航、係留、沈設、骨材投入、モルタル注入という据付工事が行われた。図6.6.11に示す一例は、1982年に三井造船、石川島播磨、三菱重工のJVで建造した、瀬戸大橋の7Aケーソンを曳航中の写真で、75m×59m×55m、鋼材重量約16,000tの巨大な構造物である。

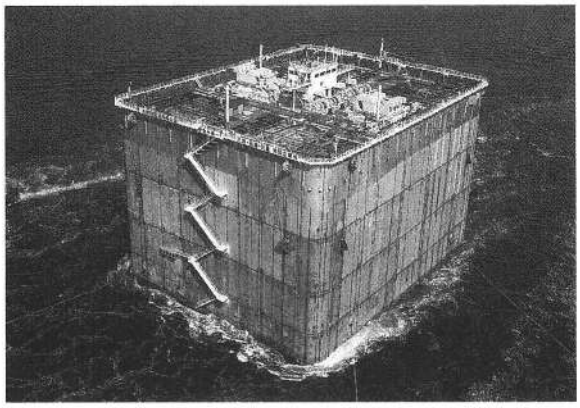


図6.6.11　瀬戸大橋7A橋脚用鋼製ケーソン（1982年）

(4) 本消波堤、浮桟橋

造船各社は1971年頃から独自の消波性能を持った浮消波堤を開発し始め、それぞれ多数の浮消波堤を製作設置した。1977年に石川島播磨は海外向けに浮遊式係船岸壁2基を設置し、その後三菱重工、三井造船等各造船所は国内向けに多数の浮桟橋を製作設置した。これら浮消波堤、浮桟橋はPCハイブリッド構造にしたものも多く採用され、三井造船は1991年に国内最長の110mのPCハイブリッド製浮桟橋を高松港に設置した。

(5) 電着工法

海水中に設置した陽極と陰極の間に直流の微電流を流すと、陰極側の構造物の表面に海水中のマグネシウムやカルシウム等の陽イオンが電着し、電着物は構造物を包み込むように徐々に成長し数ヶ月で厚さ10mm程度になり、コンクリート並みの強度になる技術を三井造船が開発した。藻礁、稚魚保育礁等の生成の他、海洋構造物の表面に電着防食ライニングを施工したり、コンクリート構造物の補修等にも応用されている。

6.7　水中技術

水深100mの海底の海底居住基地（ハビタート）で4名のアクアノートが1ヶ月居住して研究、作業を行うことを目的とした「シートピア計画」が海技センタが中心となって行われた。1972年に水深30mで4日間、1973年に水深60mで6日間、1975年には水深100mで7日間の海中実験が行なわれた。この100m海中実験は30日間海底で居住する計画であったが、予定を変更してハビタートを使わず、水中エレベータ（PTC）と減圧室（DDC）を使用して100mの飽和潜水実験を行なった。

海技センタは、1971年の創立以来、ダイバーによる飽和潜水技術の開発を進め、1973年には水深500mまでの海中環境を再現出来る潜水シミュレータを設置した。以後1995年までに50回の陸上、海上実験を行なった。1978年に潜水シミュレーターにより250mの飽和潜水実験を行い、1979年に300m潜水作業システムシュミレーション実験、1988年からはニューシートピア計画で「かいよう」を使って300m潜水作業実験を行なった。



図6.7.1　半没水双胴型海中作業実験船「かいよう」（1985年）（海技センタ提供）

1985年（昭和60年）海技センタ向けに三井造船が建造した半没水双胴型海中作業実験船「かいよう」は、波浪中で優れた運動性能を示し、広大な甲板スペースを多目的に利用できる特長がある。SDC、DDC2基からなる深海潜水装置を備え、マルチナロービーム音響測深機や自主開発によるDPS等を装備した高性能な海中作業実験船である。

6.8　海洋調査

6.8.1　海洋調査、海洋観測、及び関連機器

1981年に運輸技術審議会は「1980年代における海洋調査の推進方策について」答申した。

海洋調査技術は海上、海中いずれにおいても、この25年間に長足の進歩を遂げた。例えば、海中調査には第二次大戦中に発達したソーナー等の水中音響技術が用いられて来たが、測深、水中測位、海底面調査等に関する超音波測深やサイドスキャンソナーで得られたデータは、70年代にはマニュアルで等高線を書くなど利用法が限られていたが、90年代にはナロービームシステムによる測深データをコンピュータに取り込んで一括処理し、3次元鳥瞰図のような複雑なアウトプットを簡単に描けるシステムが一般化した。

1985年潜航深度6,000mのフランス潜水調査船「ノーチール」が来日し、日仏共同で日本海溝の調査を行なった。

6.8.2　海洋調査船

この25年の期間は戦後に建造された海洋調査船が代替建造を迎える時期にも当り、上記のように著しく進歩した海洋調査機器やシステムを搭載して、1世船より遥かに高性能の2世調査船が建造されるに至った。1983年（昭和58年）にNKKで建造された海上保安庁向け測量船「拓洋」（2,481GT）は、わが国で初のマルチナロービーム測深機を搭載し、その高精度の測量システムによって日本周辺海域の海図を次々に書き変える程の威力を発揮した。

この期間に、半没水双胴船型の観測測量船「ことぢき」（1981年、三井造船）、東大海洋調査船「淡青丸（2世）」（1982年、三菱重工）、海洋気象観測船「高風丸（2世）」（1988年、石川島播磨）、東大の最新鋭ハイテク海洋調査船「白鳳丸（2世）」（1989年、三菱重工）、海洋気象観測船「凌風丸Ⅲ世」（1995年、石川島播磨）などを始め、国内向けの海洋調査船の建造は漁業調査船を含め合計100隻余に達した。元原子力船「むつ」は世界最大級の海洋調査船に改造中で、1997年に完成予定である。

海外向けには我が国の優れた建造技術と搭載機器を生かして、三菱重工がモービル石油向けの調査船、世界最大級の物理探査船、石川島播磨がエクアドル、パキスタン等向けの調査船、三井造船が中国向けに本格的なコアリング船等を始め、諸造船所が合計20数隻の海洋調査船を建造輸出した。

1989年（昭和元年）には海底火山の噴火等を観測出来

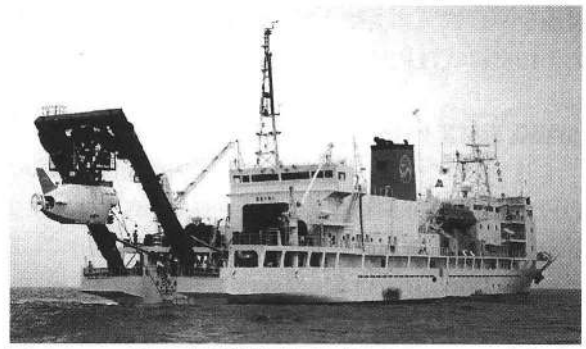


図6.8.1　世界最大潜航深度の「しんかい6500」と支援船「よこすか」（1989年）

る無人自航式観測用ボート「マンボウ」が建造され、自動的に自船の位置を確認しながら音波測量や水温計測を行い、小笠原等の海底火山や伊豆沖海底噴火観測などを行なった。

6.8.3　有人潜水調査船

(1) 無索式

川崎重工は1971年（昭和46年）に潜航深度300mの「はくよう」を建造した。全長6.4m、乗員2名で、水中運動性能が良好である。母船と共に行動し、各種海洋調査を行ない、既に1,500回以上の潜水記録を達成した。

潜水船の開発は欧米諸国に遅れをとっていたが、1969年（昭和44年）に海洋科学技術審議会が6,000m級潜水調査船の開発の必要性を答申し、これを契機に6,000m潜水調査船の研究が始まった。その研究成果を入れて、1981年に三菱重工が潜航深度2,000mの本格的な潜水調査船「しんかい2000」を海技センタ向けに建造した。竣工後各種海洋調査を実施し、海底生物の観察や1989年には沖縄トラフで熱水鉱床を発見する等多くの実績を挙げている。同時に潜水船揚収用Aフレームを装備した支援船「なつしま」（全長67.35m）が川崎重工で建造された。1987年に完成した潜航深度3,300mの無人探査機“ドルフィン3K”と組み合せて、予備調査や救難をも考慮した世界でも例を見ないシステムを構成している。

6,000m級の潜水船建造には、「しんかい2000」の建造よりも遥かに大きな技術的ブレークスルーが必要となり、耐圧殻に初めてチタン合金を使用し、球体の熔接歪みを極小にするために赤道熔接として電子ビーム溶接を採用し、新開発のシンタクティックフォームを浮力材として採用する等多くの新技術が開発結集された結果、1989年に世界最大潜航深度6,500mの「しんかい6500」が海技セ

ンタ向けに三菱重工で完成した。就役後、1991年に太平洋プレート上に屈曲による裂け目を発見したり、1994年に東太平洋海嶺および大西洋中央海嶺に潜航したり活躍している。同時に高性能の支援船「よこすか」(全長105m)が川崎重工で建造された。1995年に完成した（6.8.4（1）に後述する）1万m潜航深度の有索ROV「かいこう」と組み合せたシステムは「しんかい　2000」の3点セットと同一の思想である。

(2) 有索式

1972年（昭和47年）に、三井海洋が初の有索式ダイビングチャンバー“TADPOLE”を建造した。観測潜水深度100m、ロックアウト潜水深度50mで乗員2名であるが、運用システムに問題があり、実用に至らなかった。1974年にNKKは潜水深度200m、球体殻の下部が透明で視野の広い構造で、水ジェットで推進する潜水船「うずしお」を建造したが、試運転時に内部の火災による人身事故が起きた。その後一部改造して「たんかい」と改名されたが実稼動はせず、船の科学館に納められた。

6.8.4　無人潜水調査船

(1) 有索式（ROV，Remotely Operated Vechicle）

1975年に三井海洋と三井造船は共同で日本で初の無人潜水ロボット「水中アイロボット」を製作し、テレビカメラを装備して水深100mでの無人潜水観測に成功した。更に1977年にはマニピュレータを装備する改造を行って“MURS-100”としたが、実用には至らなかった。1979年には三井海洋は潜航深度300mの本格的なROV「MURS-300」を完成して、各種水中作業を実施してROVの有効性が認識される契機となった。



図6.8.2　我が国初のマニピュレータ付ROV「MURS-100」(1977年)

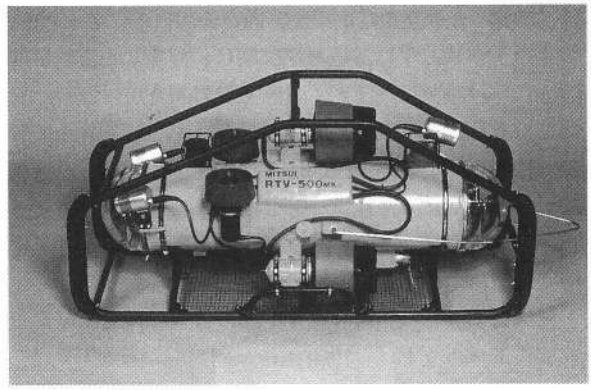


図6.8.3　最新鋭の小型ROV「RTV-500MK Ⅱ」
(1994年、三井造船製)

世界的にROVの性能は年々向上し、1984年頃から、海底石油開発現場での水中作業の主役だった有人潜水船の業務の一部を代替するまでに至った。我が国では石油開発分野での需要は少ないが、海洋調査、海中探査・点検・調査用として、水中運動体の流体力学研究と制御技術の進歩によって、日立造船のHI-ROVシリーズや三井造船のRTVシリーズなどのような、潜航深度50～500mの小型ROVの開発が行なわれ、200基を超える実用機が製作された。特殊作業用ROVとしては、三井造船が電力会社向

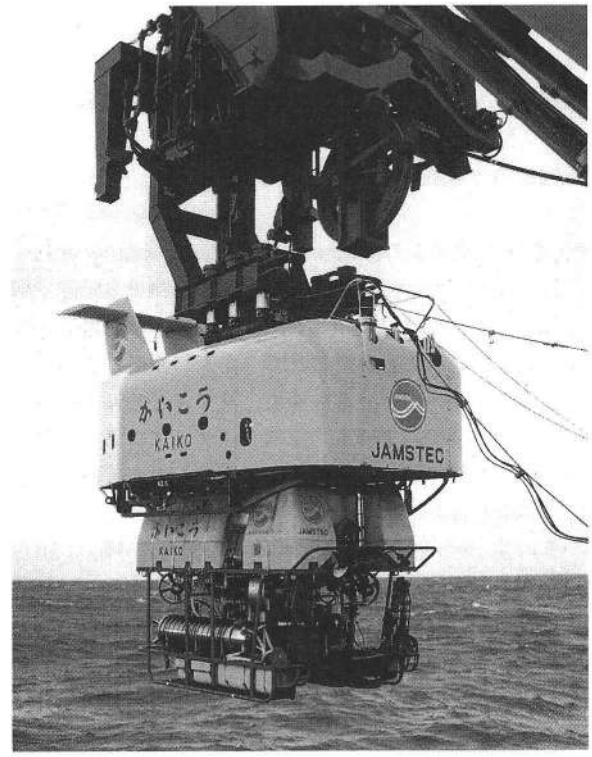


図6.8.4　世界最大潜航深度10,000mの無人探査機「かいこう」(1994年)

けに製作した発電所暗渠や管路内点検用自走ロボットや、三菱重工が1992年に海技センタ向けに建造した潜航深度500mで福井県のエビ、カニ資源保護の調査用「げんたつ」などがある。最新の小型ROVの一例として、三井造船製の「RTV-500MK Ⅱ」を図6.8.3に示す。これは潜航深度500m、速力3ノット以上、空中重量80kg、前後にカラーTVカメラ、前方ソーナーを装備し、機首の上げ下げ等姿勢制御が自由に出来る高性能ROVである。

通産省主導の技術組合で3年間に亘って研究開発した極限作業ロボットは、1990年に公開実験が行なわれた。

大型のROVでは、1987年にKDDが潜航深度2,500mで海底ケーブルの保守、点検、修理支援を行なう「MARCAS-2500」を開発し、三菱重工が製作した。

1987年には当時わが国最大潜航深度3,300mのROV「DOLPHIN-3K」が海技センタ向けに三井造船で建造された。4台のテレビカメラ、ステレオカメラ、マニピュレータ、航海用各種センサー、ソーナー、6基のスラスターを装備した高性能ROVで、自動操縦や大水深では初めての光ファイバー多重通信等が特長である。

1994年には世界最大潜航深度11,000mを誇るランチャー式ROV「かいこう」が海技センタ向けに三井造船で建造された。11,000mの大深度のため思いがけないトラブルにも遭遇したが、それを克服して、1995年マリアナ海溝で10,911mの世界最大深度に到達した。「かいこう」は「よこすか」を支援母船としていたが、専用支援母船として、「よこすか」と同型の新鋭深海調査船「かいれい」が海技センタ向けに1997年に完成予定で川崎重工で建造中である。

(2) 無索式（UUS, Unmanned Untetherd Submersible）

日本で初のUUS「OSR-V」を1974年に機械振興協会向けに三井海洋が三井造船と共同して開発した。潜航深度250mで、海底に設置したピンガーを基に垂直に上昇下降しながら海中の諸データを集め、リアルタイムに陸上に送信するシステムである。このアイディアは東大の渡辺茂教授の発案であり、試運転には成功したが実稼動することはなかった。

その後1986年から東大生研の浦環教授を中心にUUSの研究が始まり、新たに開発された「プテロア150」は1990年に初めて母船から独立して遊泳し、海底の形状を測定しながら一定高度を保持して航行することに成功した。1992年にKDDはこの型を踏襲した海底ケーブルの探査を行なうための、潜航深度1,000mの「Aqua Explorer 1000」を試作した。



図6.8.5　わが国初の無人無索水中ロボット「OSR-V」(1974年)

東大生研ではその後試験用のUUSを数機試作した後、1995年には自律型UUS「アールワン・ロボット」を三井造船との共同で製作した。全長8.3mで、遠隔操縦を受けずに自律的に運動し、初めて開発された閉鎖式ディーゼル機関（CCDE）で発電する電動推進方式で、潜航深度400m、24時間自航出来る世界で初の画期的なUUSである。1995年に水槽試験と最初の海域実験を成功裡に終った。最終ミッションは中央海嶺の探査であるが、1996年に完成して実海域航走実験を行なう予定である。

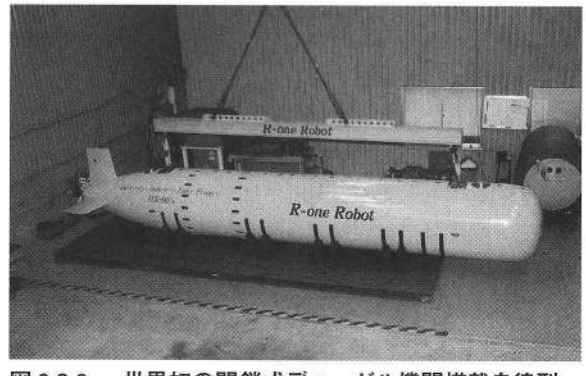


図6.8.6　世界初の閉鎖式ディーゼル機関搭載自律型UUS「アールワン・ロボット」(1995年)

6.9　海洋汚染防止技術

6.9.1　流出油防除技術

1974年（昭和49年）末、水島で約7,000klのC重油が瀬戸内海に流出する我が国最大の事故が発生した。全国からこの油回収に集った油回収船の殆んどは、高粘度のC重油の回収が出来なかった。

その直後1975年に「石油コンビナート災害防止法」が施行され、100万kl以上の石油を貯蔵する特定事業所は油

回収船の所有を義務付けられ、1976年に海洋汚染海上災害防止法が制定され、油汚染防止技術の開発が急務となった。水島の流出油事故の教訓もあって、メーカー各社はエダクター方式、傾斜板方式、ベルトコンベア方式、堰式など、それぞれ独自の方式で油回収船の開発を活発に行った。

このような情勢の下で、1978年（昭和53年）に海洋油濁防止研究所が筑波に建設された。これは80m×45mの角水槽及び長さ60m、幅3.8mの回流水槽に、造波、送風装置も備え、疑似油を水面上に流して油回収等の実物又は模型実験が出来るもので、屋根のあるこの種実験設備としては世界最大の施設である。1978年に運輸省令によって油回収船の認定方法が制定され、認定試験はこの海洋油濁防止研究所で行なわれ、波高、波長、油膜厚等の試験条件と油回収量が規定された。当時各社で開発中の油回収船は、1979年から一斉にこの新水槽で認定試験を受け、この試験によって油回収船の性能が向上した。この海洋油濁防止研究所は1981年に海洋環境技術研究所、1987年に筑波研究所と改名し、多くの特殊実験を行って実績を挙げたが、1995年に機能を停止したままになっている。

1976年には海上災害防止センターが設立され、全国的な流出油防除作業を実施することになった。1979年には同センター向けに、認定試験に合格した各社の油回収船10隻（自航型5隻、非自航型5隻）が配備された。

1978年には三菱重工が五港建向けに世界最大級のポンプ浚渫兼油回収船「清龍丸」(3,5202GT) を、1979年に石川島播磨が新潟石油備蓄向けに油回収兼オイルフェンス展張船「共備丸」(200GT) を建造した。1983年にむつ小川原石油備蓄基地向けに、油回収専用船では世界最大級の「第三たかほこ丸」(483GT、油回収能力92.3m³/h) を三井海洋が、オイルフェンス展張船「第二たかほこ丸」を三菱重工が建造した。

わが国の油回収船は現在合計145隻就役しているが、多くはゴミ回収、消防、油処理剤散布あるいは曳船等を兼ねたものが多い。この他オイルフェンス展張船や多目的防災船等各種の防災船が多数建造された。

6.9.2　水面清掃船

海、水面のゴミも大きな公害の一つで、海面清掃船や霞ケ浦向けのアオコ採集兼藻刈船等が各種建造された。

6.9.3　赤潮回収

沿岸に突然発生する赤潮は、栽培漁業に甚大な被害を及ぼすことから、赤潮の回収装置が研究開発された。三井海洋が1974年に開発した回収システムは、海面上に浮遊する赤潮の元凶であるプランクトンをポンプで吸い上げ、凝集剤と加圧水を注入してプランクトンを貯槽の上面に浮上させ、それを機械的に掻き取る方式であった。回収システムとしては成功したが、実機の実現には至らなかった。



図 6.9.1　我が国最大の油回収専用船「第3たかほこ丸」(1983年)

第Ⅵ部

年　　表

年次	造船技術	海外技術及び一般情報
1897 年 (明治 30 年)	・造船協会、設立 ・「海軍造船廠条例」、公布（各軍港に造船廠を置く） ・「船舶検査法」施行 ・浦賀船渠（株）、設立	・パーソンス（英）、世界最初のタービン船「タービニア号」（34.5 ノット）を建造 ・ブラウン（独）、ブラウン管を発明 ・金本位制、実施
1898 年 (明治 31 年)	・三菱造船所（長崎、三菱合資会社）にて高速貨客船「常陸丸」（日本郵船、6,172GT、T3,845 馬力、14.2 ノット）を竣工 ・宮原、水管式汽罐を開発 ・三菱造船所（長崎）にて日本初の専用練習船「神奈川丸」（1,515GT）竣工	・キューリー夫妻（仏）、ラジウムを発見 ・テーラー・ホワイト（米）、高速度鋼を発明 ・横浜ー神戸間に速達貨物列車を運転
1899 年 (明治 32 年)	・帝国海事協会、設立	・米、「セントルイス号」に初めて無線電信機を装備 ・中国で義和団事件が起こる ・ボーア戦争が始まる ・「船舶法」及び「船員法」、各公布、施行 ・新造船の国外発注抑制のため「航海奨励法」改正 ・日本で赤痢とペストが流行
1900 年 (明治 33 年)	・赤沼、沖合観測（下層水温）を開始 ・水産局、全国 5 ヶ所で沿岸観測を開始 ・東京商船学校練習船「月島丸」、駿河湾で暴風雨のため沈没 ・海軍艦政本部設置	・プランク（独）、量子論発表 ・ツエッペリン（独）、「飛行船 21 号」を建造 ・逓信省、上野、新橋両駅構内に初めて公衆電話機を設置 ・「未成年者の喫煙禁止法」、公布
1901 年 (明治 34 年)	・海軍省、無線電信機を兵器として採用（火花式、船舶間到達距離約 130km）	・英国海軍の駆逐艦「コブラ号」の事故発生 ・「第 1 回国際海洋研究会議」、開催（スウェーデン） ・マルコーニ（伊）、大西洋横断無線通信に成功 ・第 1 回ノーベル賞（レントゲンほか）授与 ・官営八幡製鉄所、創設
1902 年 (明治 35 年)	・この頃，西洋型船舶に「尺貫法」から英国流の「呎封度式」を採用 ・わが国初の鉱石運搬船「若松丸」(2,778GT)・「大治丸」竣工	・「日英同盟」、成立 ・シベリア鉄道開通 ・ド・ボール（仏）、アスマン（独）、独自に成層圏を発見 ・耐寒雪中行軍、八甲田山麓で遭難（199 人凍死） ・小学校への就学率、初めて 90% を上まわる
1903 年 (明治 36 年)	・斯波ら、初めて振動計測を実施 ・「軍工廠条例」、公布（横須賀、佐世保、舞鶴、呉海軍工廠設置） ・海軍、呉工廠製鋼部を独立させ、兵器用特殊鋼材の本格的試作生産開始	・ライト兄弟（米）、飛行機（16 馬力複葉機）で初飛行 ・フォード自動車会社（米）、設立 ・第 1 回早慶対抗野球試合行われる
1904 年 (明治 37 年)	・横須賀海軍工廠にて国産初の二等巡洋艦「新高」(基準排水量 3,120 トン、9,400 馬力、20 ノット）竣工 ・奥田、木造機帆船「海光丸」を新造（トロール漁業を開始） ・「船舶検査法施行細則」、改正	・日露戦争が始まる（～ 1905 年） ・ルーベル（米）、オフセット印刷法を考案 ・フレミング（英）、2 極真空管を発明 ・ローレンツ（蘭）、ローレンツ変換式を発表 ・三越呉服店、設立
1905 年 (明治 38 年)	・横田、図式による船体固有振動数の計算法を発表 ・神戸三菱造船所開設、日本郵船「和歌浦丸」がわが国初の浮きドックに入渠. ・帝国海事協会、練習用帆船「海平丸」に初めて乾舷検査書を発行	・Sulzer 社、世界初の 2 サイクル舶用自己逆転式ディーゼル機関（90 馬力 x375rpm）を完成 ・アインシュタイン（独）、特殊相対性理論を発表 ・「遠洋漁業奨励法」、公布 ・日本海海戦でバルチック艦隊を撃破 ・日露講和条約（ポーツマス条約）、調印

年次	造船技術	海外技術及び一般情報
1906年 (明治39年)	・川崎造船所にて国産初の潜水艇「第六」(排水量57トン、250馬力)、「第七」(排水量78トン) 竣工 ・三菱造船所(長崎)にて国産初のケーブル敷設船「小笠原丸」(1,456GT) 竣工 ・静岡県水産試験場の「富士丸」(25GT) が進水 (わが国初の石油発動機20馬力搭載船) ・造船協会、「試験水槽建設の建議書」を政府に提出	・仏で海洋研究所が開設 ・松島炭坑にて海底採炭を開始 ・ネルンスト (独)、熱力学の第3法則を発見 ・「鉄道国有法」、公布 (鉄道キロ数、約7,269km)
1907年 (明治40年)	・呉海軍工廠にて国産初の装甲巡洋艦「筑波」(排水量13,750トン、2軸P20,500馬力、20.5ノット) 竣 (火砲技術の自立の起点) ・播磨船渠㈱設立 ・軍艦の進水時の歪計測に「ストロメヤー式の歪計」を使用 ・英国W.デニー兄弟会社にて青函連絡船「比羅夫丸」(1,480GT) 竣工、わが国初の商船用タービンの採用 ・横須賀海軍工廠、60馬力4サイクルディーゼル機関を試作	・「英仏露3国協商」成立 ・ド・フォレ (米)、3極真空管を発明 ・リュミエール (仏)、カラー写真を発明 ・豊田式織機㈱、設立 ・東京株式相場が暴落 (日露戦争後の恐慌の端緒) ・鉱山等で労働争議が急激に増加 ・日清汽船 (株)、設立
1908年 (明治41年)	・三菱造船所 (長崎)、わが国初の船型試験水槽 (長さ121.9m、幅6.1m、深さ3.5m) 建設 ・三菱造船所 (長崎) にて国産初の舶用主機タービンを義勇艦第1船「さくら丸」(3,205GT) に搭載 ・大阪鉄工所にて国産初の鋼製汽船タンカー「虎丸」(531GT、T464馬力、10.4ノット) 竣工 ・逓信省、「無線電報規則」を公布 (船舶の私設無線電信への対策) ・三菱造船所 (長崎) にて、「天洋丸」(13,000GT、T19,000馬力、18ノット) 他姉妹船2隻を建造 (船舶用無線電信を装備) ・海軍艦型試験水槽 (長さ153m、幅6.1m、深さ3.65m) 築地に建設 ・わが国初の鋼製トロール船「第一丸」(199GT) 竣工	・ゼネラルモーターズ社 (米)、設立 ・クラーク (米)、元素の存在分布 (クラーク表) を発表 ・初のブラジル移民783人出発
1909年 (明治42年)	・独よりガス切断・溶接機が輸入され、横須賀海軍工廠にて使用 ・「末広式捩計」の開発 ・海軍艦型試験所、設立 (築地)	・「カーネギー号」(米)、世界周回調査を実施 ・ピアリ (米)、北極点到達 ・ベークランド (米)、ベークライトを発明 ・北原、漁業基本調査を開始 ・生糸輸出量、中国の輸出量を凌駕し、世界第1位となる ・「遠洋航路補助法」、公布
1910年 (明治43年)	・わが国初の世界最大級タンカー「紀洋丸」(9,287GT、R5,902馬力) 竣工 ・白瀬中尉、「開南丸」で南極探検 (～1911年) ・和田、北太西洋平年各月水温分布図を作成	・米でタングステン電球が発明 ・モーガン (米)、遺伝子説を提唱 ・日野、グラデー式単葉飛行機で初めて飛行に成功 (高度10m、距離60m) ・韓国併合に関する「日韓条約」調印 ・上野に5階建木造アパートできる (アパートの初め)
1911年 (明治44年)	・舞鶴海軍工廠にて駆逐艦「海風」(排水量1,150トン、3軸T20,500馬力、33.0ノット) に艦本式重油専焼ボイラーと混焼ボイラーを搭載 ・呉海軍工廠にて戦艦「安芸」(カーチスタービンを	・カッド湖で初の水上油井を掘削 (ガルフ石油会社) ・米、世界初の音響測探を実施 ・アムンゼン (ノルウエー)、南極点到達 ・米、最初のジャイロコンパス (スペリー社製) を汽

年次	造船技術	海外技術及び一般情報
1911年 (明治44年)	装備）竣工 ・高速巡洋戦艦「金剛」（排水量27,500トン、速力27ノット）の建造を英国ヴィッカース社に依頼 ・わが国初のカンチレバー式セルフトリミング構造のばら積専用船「六甲山丸」（2,171GT）竣工	船「プリンセス・アン号」に搭載 ・「船舶満載喫水線法」、施行 ・内務省土木局、小樽港で滑台によるケーソンの進水に成功 ・辛亥革命がおこる
1912年 (明治45年／大正元年)	・この頃，船殻構成材料として高張力鋼および特製堅質鋼を使用 ・呉海軍工廠にて東洋初の建造ドック竣工、第1番艦「扶桑」（排水量30,600トン）起工 ・造船協会阪神倶楽部、設立 ・日本鋼管㈱、が設立 ・名村造船所、設立	・米でスクリップス海洋研究所、発足 ・英客船「タイタニック号」（46,000トン）沈没（死者1,498人） ・スコット、南極を探検 ・ウェーゲナ（独）、大陸移動説を発表 ・日本の自動車登録台数521台 ・「日米通称航海条例」、調印
1913年 (大正2年)	・大串式マスク潜水器が出現 ・省エネ貨客船「香取丸」（日本郵船、10,512GT、わが国初のレシプロ用排気タービンを搭載）建造 ・日本海事組合（日本海事検定協会の前身）、設立 ・横浜の逓信省経理局と海上の「天洋丸」間で無線電話連絡に成功 ・末広、船体曲げモーメントの予測法を発表	・帝国飛行協会、設立 ・電話加入者20万突破 ・トンボ鉛筆、発売 ・森永製菓、ミルクキャラメルを発売
1914年 (大正3年)	・横田、船体振動に関する基本概念を造船協会に発表 ・巡洋艦型船尾を採用した貨物船「博進丸」建造 ・大阪鉄工所（桜島）にてわが国初のイッシャーウッド式構造の貨物船「北京丸」（3,181GT、5,096DWT、R1,648馬力、12.2ノット）竣工	・第1次世界大戦が始まる（～1918年） ・中国揚子江にて近接航行時の2船間衝突事故発生（2船干渉時の操縦性の研究の発端となる） ・ヴィッカース社、世界初の無気噴射ディーゼル機関（1,200馬力）を開発 ・パナマ運河が開通 ・「ジーメンス事件」、発生
1915年 (大正4年)	・3万トン級の超弩級戦艦「金剛」（基準排水量26,330トン、16,000馬力×4、27.5ノット）ほか3隻竣工（～1918年） ・雑纂第1号発刊 ・戦艦「扶桑」（排水量30,600トン、10,000馬力×4、22.5ノット）竣工 ・三菱長崎造船所にて「金剛型」巡洋戦艦「霧島」（排水量27,500トン、27.5ノット）竣工	・米、沿岸警備隊を設立 ・レーニン、「帝国主義論」を発表 ・三井三池炭坑、杭打式桟橋ボーリングを開始 ・本土、朝鮮、満州で八幡製鉄所の高炉の火入れあいつぐ（計16基）
1916年 (大正5年)	・浦賀船渠にて船体鋲打ち工事にニューマチックハンマー使用の貨物船「天王丸」（2,148GT）竣工 ・通信省管船局、船用品検査所を設立 ・元良（信）、プロペラシリーズ試験結果を発表 ・（株）横浜造船所、浅野造船所に改称	・久原鉱業㈱日立製作所、横軸フランシス・タービンを製作（1万馬力） ・陸軍飛行船「雄飛号」、所沢、豊橋、大阪間の飛行に成功
1917年 (大正6年)	・三菱長崎造船所にて12,500kWのタービン発電機2基完成 ・石川島造船、水圧式80トン焼入れクレーンを製作 ・三菱造船㈱、設立（前身、三菱合資会社造船部） ・三井物産船舶部（三井造船の前身）、設立	・「造船奨励金下付停止に関する件」、公布（造船業界の好況による） ・ロシア2月革命が起こる ・この頃から避暑旅行にでかける者増加 ・大阪の坂田三吉・東京の関根金次郎、将棋対決し坂田勝つ ・本多光太郎、KS磁石鉱を発明 ・金輸出禁止（金本位制停止）

年次	造船技術	海外技術及び一般情報
1918年 （大正7年）	・三菱造船（長崎）、わが国はじめてスウェーデンより溶接技術を導入 ・佐世保海軍工廠、溶接の実験を開始 ・水産講習所海洋調査船「天鴎丸」が竣工、海洋調査を開始 ・わが国初の減速装置付（ギャード）タービン船東洋汽船「安洋丸」（東洋汽船、9,534GT）が竣工 ・逓信省戦時船舶管理局、標準船型調査委員会を設立（戦時貨物船を対象として標準船型を制定） ・東京帝国大学、動揺試験水槽を建設 ・川崎造船所、ブロック建造法にてストックボードを大量生産 ・蒔田、近接航行時の2船間の吸引作用について研究	・マルクス公、皇帝を退位（ドイツ革命） ・第1次世界大戦が終わる ・ニューヨークーシカゴ間およびロンドンーパリ間に航空郵便開始 ・米価大暴騰、富山県で米騒動おこる ・第1次世界大戦終結の影響により小造船所の閉鎖が続出 ・海軍航空機試験所、設立
1919年 （大正8年）	・わが国初の自航式貨車航送船「第一関門丸」（463GT、R529馬力）及び「第二関門丸」（463GT）竣工	・日、シベリア出兵 ・パリ講和会議、「ヴェルサイユ条約」、調印 ・ドイツ労働党（ナチス）、結成 ・日本飛行機製作所、中島式5型機（複葉木製機150馬力128km/h）を陸軍に納入開始
1920年 （大正9年）	・帝国海事協会、貨客船「華南丸」（2,192GT）に船級を付与（同協会の船級第1船） ・三菱造船（長崎）、わが国初の全溶接船「諏訪丸」（421GT）竣工 ・元良（信）、船型と推進性能の関係についての研究を発表 ・斯波、電気溶接の研究について発表	・英、世界初の全溶接貨物船「FULLAGAR号」建造 ・「第1回汎太平洋学術会議」、開催（ホノルル） ・国際連盟、成立 ・米で世界初のラジオ放送開始 ・野口英世、黄熱病原体を発見 ・神戸海洋気象台、開設 ・日本船主協会、設立（日本船主同盟会の改組）
1921年 （大正10年）	・近代式油タンカー「千珠丸」（6,515GT、8,904DWT、R3,332馬力、イッシャーウッド式構造）竣工 ・海軍、水雷艇「鴿」の修理で初めて電気溶接を本格的に採用 ・佐世保海軍工廠、100トン積火薬運搬船を全溶接で建造 ・帝国海事協会、「鋼船規則」を刊行 ・海軍水路部、「潮汐表」を刊行 ・横須賀海軍工廠にて高速戦艦「陸奥」（排水量32,720トン、4軸T80,000馬力、26.5ノット）竣工	・ワシントン軍縮会議が開かれる（～1922年）（ヒューズ（米）、建造中の主力艦の廃棄、保有比率の設定を提案） ・上海で中国共産党創立大会 ・「度量衡法」改正公布（メートル法を基本とする） ・陸軍機、所沢ー長春間の初の海外飛行に出発
1922年 （大正11年）	・浅野造船所／横須賀海軍工廠にて世界初の新造航空母艦「鳳翔」（排水量9,500トン、15,000馬力×2、25ノット）竣工 ・わが国初の漁業調査船「白鳳丸」竣工（国産初の舶用ディーゼル機関（4サイクル自己逆転機付6シリンダ機関）を搭載）	・伊にてファシスト政権、成立 ・オスマン帝国、滅亡 ・ソ連邦、成立 ・「ワシントン海軍軍備制限条約」、締結 ・造船業界、海軍軍縮実施により大打撃を受け、以後1932年頃まで造船不況続く ・電灯普及率が70%になる
1923年 （大正12年）	・元良（信）が発明したフィン・スタビライザーを「睦丸」（500GT）に装備 ・海軍技術研究所、設立（築地） ・最後の輸入船「飛鳥丸」（7,527GT）英国に発注	・英でBBC放送開始 ・ド・ブロイ（仏）、物質波概念を導入 ・コンプトン（米）、コンプトン効果を発見 ・この頃、北京原人を周口店で発掘 ・関東大震災（死者91,344人） ・ブリヂストンの地下足袋発売

年次	造船技術	海外技術及び一般情報
1924年 （大正13年）	・播磨造船所にてわが国初の純木材運搬船「復興丸」（大洋海運3,835GT、D800馬力×2、10.9ノット）竣工 ・三菱造船（長崎）にてわが国初のデイーゼル客船「音戸丸」（大阪商船、688GT、600馬力）竣工 ・末広、横揺れ運動に関する独創的研究を発表 ・九州大学、教育研究用水槽を建設 ・九州造船会、設立 ・三井物産（現三井造船玉野）にてわが国初のディーゼル機関を搭載した貨物船「赤城山丸」（4,631GT、D1,600馬力）竣工 ・浦賀船渠にてわが国初の旅客兼車両運搬船である青函連絡船「翔鳳丸」（3,460GT、16.9ノット）竣工	・RCA社、写真電送の実験成功（ロンドン・ニューヨーク間） ・八木、カニ工船に大型汽船「樺太丸」を使用し、好成績 ・海軍工廠で組合（海軍労働組合連盟）結成
1925年 （大正14年）	・徳川ら、内殻設計方法を確立（潜水艦建造技術の向上に貢献） ・振動計測に「ガイゲル振動計」を使用 ・日本で音響測探が開始 ・「蒼鷹丸」、大陸棚海底漁場生物を調査 ・測量艦「満州」、日本南海を観測 ・マリアナ海溝で鋼索測探実施（9,814m） ・海軍技術研究所、歪計測法の実用化研究を実施	・調査船「メテオール号」（独）、南太平洋を調査 ・「デイスカバリー号」（英）、南氷洋漁場を調査 ・Buechi方式排気タービン過給機をドイツ連絡船に初めて採用 ・ハイゼンベルク（独）、量子力学の基礎を確立 ・ベアード（英）、実用的テレビを発明 ・三井三池炭坑、海底地震探査を実施 ・東京電力㈱、設立 ・「治安維持法」、公布 ・「衆議院議員選挙法」、公布（普通選挙）
1926年 （大正15年／ 昭和元年	・川崎造船所にて潜水艦「伊1号」（排水量2,135トン、D6,000馬力、水中18.8ノット、水中8.1ノット）竣工、永く主力潜水艦となる ・三菱造船（長崎）にて重巡洋艦「古鷹」（排水量8,586トン、25,500馬力×4、34.5ノット）竣工 ・萩、旋回運動に関する運動方程式を研究 ・「平賀水槽」（長さ30m、幅1.8m、深さ1.2m）、海軍技術研究所に設置 ・わが国産初のデイーゼル機関を装備した旅客船「もんてびでお丸」（7,266GT、7,366DWT）竣工	・NBC（米）創立、ネットワーク放送開始 ・ロッキード航空会社（米）、設立 ・シュレデインガー、波動力学を発表 ・「製鉄奨励法」、改正 ・海軍、メートル法を採用 ・電気鎔接採協会、設立 ・この頃、世界不況により日本造船界も低迷 ・海軍軍縮実施に伴う「損害補償法」、公布
1927年 （昭和2年）	・艦全体で翼次数を有する強制振動を計測 ・逓信省管船局船用品検査所、逓信省船舶試験所に改称、船型試験水槽（長さ139.2m、幅10m、深さ6.3m）建設 ・播磨造船所にて砕氷構造及び装置を施した稚泊連絡船「亜庭丸」（3,297GT、R3,220馬力×2）建造 ・呉海軍工廠にて巡洋戦艦「赤城」、空母（飛行甲板長249m、排水量34,364トン、4軸T131,200馬力、速力31ノット）に改造 ・三菱造船（長崎）にてわが国初の横肋骨構造FK式を「さんぺどろ丸」（11,497DWT、D2,300馬力）に採用 ・わが国初の営業用トロール船「釧路丸」（312GT、新潟空気噴油式2サイクルD750馬力）竣工 ・わが国初のディッパー式浚渫船「千葉」（225GT）竣工	・㈳日本放送協会（NHK）、設立 ・パン・アメリカン航空会社、設立 ・リンドバーグ、大西洋横断飛行に成功 ・ハイゼンベルク（独）、不確定性原理を発表 ・ロンドンーニューヨーク間の無線電話が開通 ・イドラック・ビウロー（仏）、ラジオゾンデによる気象観測に成功 ・東京にて地下鉄が開通（浅草ー上野間、2.6km） ・第1回全日本オープンゴルフ選手権大会開催 ・金融恐慌が始まる

年次	造船技術	海外技術及び一般情報
1928年 (昭和3年)	・わが国で初めて横肋骨構造のBlythwood式を「昭洋丸」(横浜船渠、10,977DWT、R4,105馬力)に採用 ・浦賀船渠建造の貨客船に「船尾ガイドベーン」を装備 ・平賀、「実艦曳引抵抗計測」のための実験を廃駆逐艦「夕立」等により実施 ・浦賀式操舵テレモータ及びスチームチラー型操舵機を装備した貨客船「広東丸」(2,811GT)竣工	・ソ連、第1次5ヶ年計画を開始 ・ロレンス、「チャタレー夫人の恋人」を発表 ・第9回オリンピック(アムステルダム)、織田幹雄(三段跳)、鶴田義行(200m水泳)で金メダル ・高柳、ブラウン管受像方式によるテレビの公開実験を実施
1929年 (昭和4年)	・徳川理論を万国工業会議で発表. ・世界初の探海潜水船「西村式豆潜水艇1号」が完成(潜航深度400m) ・川崎造船所、「スター・コントラ・プロペラ」の製造権を買収 ・日本郵船、サンフランシスコ航路に豪華客船「浅間丸」を就航(16,947GT、4基D16,000馬力、20.9ノット、三菱造船(長崎)にて竣工) ・横須賀海軍工廠にて重巡洋艦「妙高」(長さ201m、ギャードタービン130,000馬力、35.5ノット)建造	・深海潜水船「バチスフェア号」(有索)、920m潜水記録を樹立 ・世界恐慌が始まる ・ツエッペリン飛行船、世界一周に成功 ・フレミング、ペニシリンを発見 ・自動車の生産台数が437台(米は約534万台)となる ・「清水トンネル」、開通
1930年 (昭和5年)	・呉海軍工廠にて溶接を大幅に採用した最初の敷設艦「八重山」(排水量1,380トン、20ノット)起工 ・川崎造船所にて練習帆船「日本丸」・「海王丸」(2,283GT)竣工 ・大阪商船、世界最高速の貨物船「畿内丸」(8,357GT、10,141DWT、D3,600馬力×2、18.4ノット)をニューヨーク急行便に投入 ・横浜船渠にて客船「秩父丸(鎌倉丸)」(日本郵船、17,498GT、6,750馬力×2、20.65ノット)竣工(当時世界最大出力の機関搭載) ・文部省、航海練習所を設立 ・横浜船渠にて豪華客船「氷川丸」(日本郵船、11,622GT、2基D11,000馬力、18.21ノット)竣工 ・河田、プロペラ理論を発表 ・海軍技術研究所、目黒に移転、大型試験水槽(長さ245.5m、幅12.5m、深さ6.5m)を建設 ・エアロフォイル型プロペラを装備した「照国丸」(11,979GT、5,000馬力×2、17.76ノット)竣工	・「1930年国際満載喫水船条約」、締結 ・ロンドン軍縮会議が開かれる ・ビーピー・バートン(米)、潜水球で310m潜水に成功 ・「ハンゼン号」(ノールウエー)、北大西洋で4,000m深海測流を実施 ・独海軍、全ギヤードディーゼル方式による豆戦艦を完成 ・リンケ(独)、気団論を提唱(天気予測法の革新) ・金輸出解禁を実施 ・特急「つばめ」、東京ー神戸間運転
1931年 (昭和6年)	・川崎造船所にて「霧島丸」(国際汽船、5,959GT、8,892DWT、D6,000馬力、18.0ノット)竣工(一軸高速貨物船の先駆をなし、太平洋横断新記録を達成) ・新田、「新型航跡記録装置」を開発 ・播磨造船にてわが国初の2列縦通隔壁を有するタンカー「富士山丸」(13,586DWT、D9,390馬力)竣工 ・㈳帝国船級協会、設立	・満州事変が起こる ・ウイルキンソン大尉(米)、潜水艦で北氷洋を調査 ・ジャンスキー(米)、宇宙電波を発見 ・カーラー(スイス)、ビタミンAの構造を決定 ・エンパイヤー・ステート・ビルディングが完成(米、375m) ・英議会、ウエストミンスター憲章(条例)を可決
1932年 (昭和7年)	・横浜船渠にて砕氷構造及び装置を施した稚泊連絡船「宗谷丸」(3,593GT、R5,500馬力、16.3ノット)を建造 ・日本海一斉海洋調査を開始 ・赤崎、旋回に関する系統的模型実験を実施	・チャドウィック(英)、中性子を発見 ・アンダーソン(米)、陽電子を発見 ・日本の造船量僅か3.6万GTに落ち込む ・「海軍航空廠令」公布、横須賀に設置

年次	造船技術	海外技術及び一般情報
1932年 (昭和7年)	・岡本、舵に関する系統的実験を実施 ・国産初の大型MS2サイクル単動無気噴射機関を「南海丸」(8,416GT、3,600馬力×2)・「北海丸」に搭載 ・浚渫船「TIMOKEN SKAYA」に排泥ポンプ付バケット式及び交流電源装置を初めて採用	
1933年 (昭和8年)	・三菱神戸造船所にて海底調査船「海洋」を建造 ・北太平洋で一斉海洋調査を実施（～1941年） ・浦賀船渠にて電気溶接を広範囲に使用した貨物船「新京丸」(2,608GT、4,103DWT、R1,001馬力）竣工 ・海軍、射程4万mの「酸素魚雷」を完成 ・駆逐艦「早蕨」、復原性劣化による転覆海難事故が発生	・ヒトラー、独首相に就任 ・アインシュタイン、トーマス・マン、ツヴァイクら、ドイツより亡命 ・米、最初の着底式掘削バージを建造 ・メキシコ湾で最初の沖合掘削（914m）が実施 ・日本、国際連盟を脱退 ・米、ニューデイール政策を実施
1934年 (昭和9年)	・松山ら、潜水艦で日本海溝の重力偏差を測定 ・水雷艇「夕鶴」、佐世保沖にて転覆海難発生 ・三菱重工業（株）に改称（三菱造船株式会社より） ・呉海軍工廠、工数曲線を用いた工事管理手法を採用 ・平賀、摩擦抵抗算定の実験式を公表 ・横浜高等工業学校（現横浜国立大学)、試験水槽（長さ50.4m、幅3.6m、深さ2.7m）を建設 ・研野式振計が発表	・ビービー（米)、北大西洋で潜水球で水深923mまで到達 ・南氷洋で捕鯨を開始 ・ジョリオ・キューリー夫妻（仏)、人工放射能を発見 ・丹那トンネルが開通 ・日産自動車、小型自動車ダットサンの量産を開始 ・「船舶安全法」、施行
1935年 (昭和10年)	・平賀の平板抵抗に関する研究に英国造船学会から金牌が授与 ・呉海軍工廠にて巡洋艦「最上」(排水量11,169トン、4軸T152,000馬力、37.0ノット）竣工 ・第四艦隊事故発生（特型駆逐艦「初雪」・「夕霧」の船首部船体切断） ・水産試験所、黒潮異変の調査を開始 ・「西村式豆潜水艇2号艇」が完成 ・純日本式巡洋潜水艦の1番艦一等潜水艦「伊6号」(排水量2,243トン、水上D8,000馬力、21ノット）竣工 ・浦賀式二連成並びに低圧タービン連動汽機を貨客船「洛東丸」(2,962GT）に装備 ・出淵、船底汚れによる船体抵抗増加の研究につき発表	・ズンド（ノールウエー)、音響魚探でニシン、タラの発見に成功 ・モナコ国際水路局、世界海洋水探図を刊行 ・湯川秀樹、中間子論を発表 ・米でナイロンを発明 ・ドーマク（独)、スルフォンアミド剤を創製 ・ゼルニケ（蘭)、位相差顕微鏡を発明
1936年 (昭和11年)	・三菱重工神戸にてわが国初のセメント運搬船「清忠丸」(3,648DWT、D1,650馬力、13.2ノット）竣工 ・川崎造船にてわが国初の捕鯨工船「日新丸」(大洋漁業、16,764GT）竣工 ・海洋気象台、「海洋観測法」を刊行 ・「鳳戎丸」、北氷洋漁場を調査 ・播磨造船にて、国内最大出力最高速船「金剛丸」(7,081GT、T8,682馬力×2）竣工（わが国初の交流配電方式を採用） ・わが国初の縦横混合式構造タンカー「宝洋丸」(8,692GT、13,305DWT、D4,500馬力）竣工 ・わが国の先駆的砕氷型貨物船「北洋丸」(6,468DWT、T3,000馬力、15.9ノット）進水	・ハーデイ（英)、プランクトン航走採集器を発明 ・伊客船「CONTE ROSSO号」に初めて再熱タービンを採用 ・米でテレビ放送を開始 ・スペイン内乱が始まる ・独、フォルクスワーゲン試作車を完成 ・日、人絹糸生産高、米国を抜き世界第1位となる ・二．二六事件が起こる ・「日独防共協定」、調印

年次	造船技術	海外技術及び一般情報
1937年 (昭和12年)	・中央気象台「凌風丸」(1,180GT)、海洋観測を実施 ・三菱重工長崎にて貨客船「黒龍丸」(4,182DWT、3,900馬力×2)竣工、商船用としてタービン蒸気圧が初めて20kg/cm²を超える ・浦賀船渠にて船体構造の大部分に電気溶接を採用した貨物船「山彦丸」(山下汽船、6,795GT)竣工 ・(株)玉造船所、三井物産船舶部より分離設立 ・出淵、浅水域での抵抗増加の研究を発表 ・東京帝国大学、船型試験水槽を(長さ85m、幅3.5m、深さ2.4m)建設 ・海軍技術研究所、動揺水槽を建設	・日華事変が起こる ・伊、「日独防共協定」に参加 ・B&W社、2サイクル単動クロスヘッド機関を完成 ・トヨタ自動車㈱、設立 ・経済団体連盟、設立 ・ヘレン・ケラー女史が横浜に到着
1938年 (昭和13年)	・海軍、「広式ねじり振動防止装置」を開発(艦艇用ディーゼル機関に採用) ・渡辺、不安定横揺れを研究 ・戦前最大のトロール漁船「駿河丸」(991GT)竣工 ・播磨造船にて世界最大・最速のタンカー「黒潮丸」(14,960DWT、79,500馬力、20.69ノット)竣工 ・太田、船体構造部での応力集中の研究につき発表	・ハーン・シュトラスマン(独)、ウランの核分裂を発見 ・メキシコ湾で最初の海底油田を発見(コレオン沖) ・「国家総動員法」、公布、施行 ・東京帝国大学航空研究所の長距離機、周回航続距離世界記録を樹立
1939年 (昭和14年)	・浅利式単独潜水器を発明 ・三菱重工長崎にて日本最大の客船「橿原丸」(27,700GT、2軸56,250馬力、25.5ノット)起工 ・三菱重工長崎にて南米への移民船「あるぜんちな丸」・「ぶらじる丸」(大阪商船、D18,280馬力、21.5ノット)竣工 ・浦賀船渠にてその後の青函連絡船の構造設計モデルとなる「第三青函丸」(2,787GT、17.7ノット)竣工	・第2次世界大戦が始まる(～1945年) ・第1回万国地球物理会議(ワシントン)が開催 ・メッサーシュミットBF-113R型機(独)、最大速力毎時755kmを達成 ・BOAC(英)、設立 ・「海運組合法」、公布 ・「造船事業法」、公布
1940年 (昭和15年)	・播磨造船所、標準船の大量建造に鋼材のエンドレス運搬装置を採用 ・わが国独自の「鋼船構造規程」が制定 ・日本海洋学会、発足 ・資源科学研究所、設立 ・三菱重工長崎にて商船で最大出力機関を装備した貨客船「新田丸」(日本郵船、17,150GT、T12,600馬力×2、22.47ノット)竣工 ・加藤、横揺れ運動の実験式を発表 ・石川島造船所にて戦艦「大和」・「武蔵」艤装用のフローテイングクレーン(排水量6,000トン)進水 ・船体構造に縦横助材法を初めて貨客船「射水丸」に採用	・米、海水よりマグネシウムの採取に成功 ・「日独伊3国軍事同盟」、結成 ・客船「クイーン・エリザベス号」(英、83,673トン)が完成 ・この頃、米国建造の全溶接船に脆性破壊による重大損傷が頻発 ・造船所の労働争議が続発 ・人口調査(内地7,311万人、外地3,211万人)実施 ・内務省、図書課・警視庁検閲課、新聞雑誌の整理、統合などの出版統制強化を推進 ・高島炭田伊王島炭鉱で海底炭鉱を開始 ・「海運統制法」、公布
1941年 (昭和16年)	・呉海軍工廠にて戦艦「大和」(排水量68,100トン、T37,500馬力×4基、27.3ノット、水線長256m、バルバス・バウ付)竣工 ・「橿原丸」及び「出雲丸」、航空母艦に改造のため海軍により買上げ、「隼鷹」及び「飛鷹」に ・船舶試験所(目白水槽)、高速水槽(長さ207m、幅8m、深さ4.15m、曳引車速度12m/s)建設、同時に、船型水槽の長さを200mに延長 ・船舶試験所、キャビテーション水槽(中心間長さ	・カートス(米)、ベータトロンを発明 ・シコルスキー(米)、ヘリコプターによる約1時間の滞空に成功 ・7月20日を海の日記念日と定める ・英、レーダーを実用化 ・太平洋戦争始まる(～1945年) ・「船舶保護法」、公布(海軍による船舶運行護衛など) ・「国民勤労報国協力令」、公布(勤労奉仕義務法制化) ・各官立大学に研究所を設置

年次	造船技術	海外技術及び一般情報
1941年 (昭和16年)	6.5m、中心間高さ5m、最高流速8.5m/s）を建設 ・わが国初の大型測量艦「筑紫」（排水量1,600トン）竣工 ・横須賀海軍工廠にて空母「翔鶴」（排水量29,800トン、4軸T16,000馬力×4、34.2ノット）竣工 ・海軍、メートル波のレーダー（11号短波）を千葉県勝浦に装備 ・寺沢、軟鋼の塑性曲げや残留歪み及び応力の研究につき発表	
1942年 (昭和17年)	・三菱長崎造船所にて戦艦「武蔵」（排水量68,100トン）竣工 ・函館海洋気象台設立、「夕汐丸」が観測を開始 ・戦時標準船の建造が始まる ・造船統制会、設立	・クストー（仏）、アクアラングを発明 ・フェルミ（伊）ら、ミシガン大学（米）で原子炉によりウランの核分裂連鎖反応に成功 ・山陽本線関門トンネルが竣工 ・ミッドウェー海戦で空母4隻を失う（戦局の転機）
1943年 (昭和18年)	・帝国海事協会の「鋼船規則」がメートル法に改正 ・木鉄貨物船の第1船が進水 ・石川島造船所、「一本足進水」を実施. ・運輸通信省、設置 ・関西造船協会、設立 ・浦賀船渠にてわが国初のドラグサクション式浚渫船「新高丸」（3,244GT、1,800m³/h）竣工 ・大阪鉄工所、日立造船（株）に改称	・英海軍、対潜水艦水中音響探査器を開発 ・独海軍、シュノーケル潜水艦隊を編成 ・陸軍、火薬ロケット砲を試作 ・戦時経済統制、頂点に達する ・文部省、学童の縁故疎開促進を発表 ・「軍需会社法」、公布
1944年 (昭和19年)	・高張力鋼に使用する溶接棒を開発 ・戦時標準船用として標準タービンを統制製作 ・横須賀海軍工廠にて世界最大の航空母艦「信濃」（排水量62,000トン、37,500馬力×4.27ノット）竣工 ・武智造船所にてE型コンクリート船の第1船「第1武智丸」（800GT）竣工 ・三菱長崎造船所に大水槽（長さ120m、幅6.1m、深さ3.65m＋長さ165m、幅12.5m、深さ6.5m）建設 ・レイテ沖海戦にて「武蔵」撃沈さる	・ワクスマン（米）、ストレプトマイシンを発見 ・連合軍、ノルマンディーに上陸 ・海軍電波実験所、静岡県島田に開設 ・朝永振一郎、小谷正雄ら、磁電管の発振機構の理論的研究を開始 ・閣議、学徒動員を通年実施と決定 ・軍需会社法により多数の会社を軍需会社に指定
1945年 (昭和20年)	・呉工廠にて水中高速潜水艦「伊201」（ブロック式溶接、水中1,200馬力、水中速力19ノット）竣工 ・三菱、海軍の魚雷艇主機用ZC機関（2サイクル・ルーツブロワー過給方式直接噴射、軽量、1,500馬力×1,450rpm）完成 ・戦艦「大和」が撃沈される ・（株）東京石川島造船所、石川島重工（株）に改称 ・残存船腹量は134万GT（2/3は「戦時標準船」） ・100GT以上の船舶はGHQの管理下に置かれる ・船舶造修能力の回復措置を決定（「続行船」の生産を開始）	・「船員動員令」、公布 ・B29、東京を大空襲（23万戸焼失、死傷者12万人） ・米軍、沖縄本島上陸（守備隊全滅、戦死9万人、一般国民10万人） ・「軍需金融等特別措置法」、公布 ・大本営に「海運総監部」を設置（100総トン以上の船舶を国家船舶） ・米潜水艦、台湾海峡で輸送船「阿波丸」（病院船；船体に緑十字明示）を撃沈（官民2,045人のうち、生存者1人） ・米、広島と長崎に「原子爆弾」を投下（両市の被爆者の死没者計295,956人） ・御前会議で「ポツダム宣言」受諾を決定 ・太平洋戦争終結（第2次世界大戦終わる） ・米艦「シズリー号」上にて降伏文書に調印 ・「全日本海員組合」、創立（戦後初の全国単産） ・国際連合（国連）が正式に成立

年次	造船技術	海外技術及び一般情報
1945年 (昭和20年)	・浦賀ドックにて戦後第1船車輌渡船「第11青函丸」(2,850GT、T4,175馬力、16.7ノット) 竣工	・「農地調整法」、改正公布 (第1次農地改革) ・「労働組合法」、公布 (団体交渉権保護、団結権保障) ・「衆議院議員選挙法」、改正公布 (婦人参政等) ・米、大陸棚宣言をする ・GHQ、持株会社の解体に関する覚書 (財閥解体指令) ・GHQ、日本商船管理局を設置 ・スイス、シュプマル社で水中翼船の第1船を建造
1946年 (昭和21年) 1946年 (昭和21年)	・GHQ、鋼鉄漁船建造を許可 (416隻、48,532トン) ・ポーレ賠償報告により、保存船腹量を150万GTに制限、外航船は5,000GT以下、速力15ノット以下に厳しく制限 ・帝国海事協会、日本海事協会に改称 ・戦後初の民間船である鮪はえなわ漁船「第11大黒丸」(135GT) 建造	・米で電気抵抗線型歪計を開発 ・青函トンネル調査が開始 ・「金融緊急措置令」及び「日銀券預入令」、各公布 (新円切換) ・「持株会社整理委員会令」、公布 (三井・三菱・安田財閥解散) ・「3.3物価統制令」、公布 (価格等統制令廃止) ・GHQ、農地改革の徹底化について政府に勧告、「第2次農地改革」を実施 ・「食糧メーデー」(首相官邸に座込み) ・経済団体連合会 (経団連)、創立 ・船員中央労働委員会、設置 ・「公職追放令」、公布・施行 ・婦人参政による最初の総選挙を実施 ・「海運統制令」、撤廃 ・「日本国憲法」、公布 ・Anglo Saxon Petroleum社、「AURICURA号」で低質重油の専焼試験に成功 ・樺太引揚げ第1船、函館入港 ・シベリア引揚げ第1船、舞鶴入港
1947年 (昭和22年)	・長崎、舞鶴に海洋気象台が開設 ・三菱重工横浜造船所、貨客船「こがね丸」(564GT) の進水に「ボール式進水法」を初めて採用 ・日本鋼管鶴見、曳船にコルト・ノズルを装着 ・栖原、船殻の立体強度計算法を発表 ・「船舶公団法」公布、同公団設立 ・第1次計画造船 (29隻、38,000GT) が開始 ・丸尾、滑走体理論を発表	・チリ、200海里宣言 (200海里宣言の始まり) をする ・カリフォルニア沿岸で世界初のジャケットによる海底石油掘削 (水深6m) 実施 ・学校給食が始まる ・「私的独占禁止法」、公布・施行 ・マーシャル・プランを発表 ・「日本国憲法」、施行 ・「労働基準法」、公布・施行 ・「教育基本法」及び「学校教育法」、各公布 (6·3·3·4制規定) ・「海難審判法」、公布 ・「食糧管理法」、改正公布 ・GHQ、制限付民間貿易許可 ・最高裁判所、発足 ・海運復興会議、結成 ・GHQ、「2.1ゼネスト」の中止を命令 ・日本海運協会が解散、日本船主協会が設立
1948年 (昭和23年)	・播磨造船所にて戦後初の大型全溶接船、タンカ「新和丸」(1,700DWT、D850馬力、12.3ノット) 竣工 ・日本航海学会、設立	・仏、深海潜水船「FNRSⅡ」を完成 (潜航深度4,000m) ・「海上保安庁法」公布、「海上保安庁」、設立 ・第1次中東戦争が勃発

年次	造船技術	海外技術及び一般情報
1948年 (昭和23年)	・大阪・別府間航路用客船「るり丸」(関西汽船、1,920GT、わが国初の2サイクルトランクピストン・ユニロフ形機関搭載) 竣工 ・魚群探知機の使用普及が開始 ・タンカー「橋立丸」(日本⟷バーレーン)、遠洋不定期航路に就航 ・戦後初の輸出船 (ノルウェー向け) を受注	・ベルリンが封鎖される ・「1948年SOLAS条約」、締結 ・昭和電工事件が発覚 ・GHQ、「経済安定9原則」の実施を指示 ・ストライク報告、「最低400万GTの日本商船隊が必要」と結論 ・福井大地震が発生 (死者3,769人) ・B&W社、機関 (シリンダ径620m/m、出力4,800馬力) に初めて溶接構造を採用
1949年 (昭和24年)	・日本海事協会、「鋼船規則」を復刊 ・逓信省船舶試験所、わが国初の「抵抗線歪計」を開発 ・わが国初の耐食アルミニウム合金の使用船「ファンマノー」建造 ・船舶公団廃止 ・耐食試験による耐食アルミニウム合金の研究の開始 ・「運輸省設置法」公布、運輸省設立 ・三菱重工長崎造船所で小型船型試験水槽が復旧 ・「白馬山丸」(4,839GT)・「海風丸」、実船試験実施 ・東京大学生産技術研究所、設置 ・日立造船技術研究所、設立 ・第5次計画造船、42隻の適格船主決定 (戦後船舶のディーゼル化の始まり、本格的造船開始) ・建造制限が、貨物船は7,000GT以下、タンカーは12,000GT以下、速力15ノット以下に緩和 ・日本鋼管にて戦後初の水管ボイラー装備のタービンタンカー「富士丸」(2,400馬力×117rpm) 竣工 ・造船工業会、設立 (旧造船倶楽部) ・西部造船会、設立	・日本学術会議、設立 ・北大西洋条約機構 (NATO) が設立 (12ケ国) ・湯川秀樹、ノーベル物理学賞を受賞 ・1ドルが360円の単一為替レートを実施 ・「船舶運航管理令」、公布・施行 ・アメリカ型鉄鋼技術を導入 ・GHQ、「シャウプ勧告 (第1次税制改革)」発表 ・国会両院、病院船「阿波丸」撃沈没事件の賠償請求権放棄を議決 ・ドッジ・ライン実施による「安定恐慌」(不況、物価上昇) 終わる ・「道路交通取締法」改正施行により、対面交通実施 (歩行者右側、車左側通行) ・国家使用船、裸用船から定用切替え ・「海上運送法」、公布・施行 ・ソ連からの引揚げ再開第1船「高砂丸」2,000人を乗せ、舞鶴入港 ・「工業標準化法」、公布 ・「日本工業規格 (JIS)」、制定
1950年 (昭和25年)	・日立造船・三菱長崎、米国よりユニオンメルト (サブマージアーク) 式自動溶接機を船体溶接に採用 ・油送船「近油丸」の荷油の移動による荷重変化に対する船体応力の計測を実施 ・三井玉野、「可搬式放射線機」を開発 ・わが国で改良された「潜弧溶接法」を船体建造に導入 ・脆性破壊に関する実験を含む共同研究 ・造船協会内に「鋼材研究会」を組織し、造船用鋼材の調査実施 ・ビニール塗料を「あんです丸」他に使用 ・ブロック建造方式の採用を開始 ・運輸技術研究所 (旧運輸省船舶試験所)、設立 ・スペリー式レーダが青函連絡船「渡島丸」に初めて装備 ・GHQ、建造制限を撤廃 ・溶接率90%のタンカ「日栄丸」(日東商船、18,776DWT、石川島T7,000馬力×114rpm) 竣工	・朝鮮動乱が勃発 ・千円札が発行 ・「船舶運航令」、公布 (「船舶運航管理令」廃止) ・GHQ、日本船舶のパナマ運河通航・米国港湾への出入許可 ・日本労働組合総評議会 (総評) が結成 ・「レッドパージ」開始 (報道部門から) ・「造船法」、公布 ・「海上衝突予防法」、公布 ・「漁船法」、公布 (漁船登録規制廃止) ・東京通信工業 (ソニー)、わが国初のテープレコーダ発売 ・日本船出入港の範囲が世界28地区に拡大 ・日本船長協会、設立 ・「警察予備隊」、設置 ・「文化財保護法」、施行 ・特需景気が起こる ・三菱工業 (株) を東日本重工・中日本重工・西日本

年次	造船技術	海外技術及び一般情報
1950年 (昭和25年)	・運輸省に造船技術審議会を設置 ・大阪商船南米航路貨物船「あめりか丸」(9,413DWT)にわが国初のズルザ8SD72機関（5,600馬力×125rpm）を搭載 ・戦後初の遠洋定期航路（大阪商船、南米航路）開設 ・浦賀船渠にて海上保安庁初の大型巡視船「むろと」(696GT、D750馬力×2、最大16.2ノット）竣工 ・岡田、舵に働く流体力の研究	重工（株）3社に分割、各設立
1951年 (昭和26年)	・有索潜水探測機「くろしお号」(北海道大学）完成 ・「日聖丸」実船試験（北太平洋ーインド洋）実施 ・運輸技術研究所、300トンの堅形構造物試験機を設置 ・九州大学応用力学研究所、設立 ・旧呉海軍工廠内の造船施設を米NBC社に譲渡 ・造船協会内に「電気溶接研究委員会」を組織し、溶接継手の疲労強度の外国文献調査結果を発表 ・日本造船研究協会が任意団体として発足 ・船腹総量256,000GTの輸出船を契約 ・三島型ディーゼル貨物船「赤城丸」(10,100DWT)で大きな上下2節振動発生、実船計測実施 ・秋田、有孔板の弾塑性応力場の解析法を発表	・イラン、石油を国有化 ・日本開発銀行、発足 ・「船舶職員法」、公布・施行 ・「対日サンフランシスコ講和条約」、調印 ・「日米安全保障条約」、調印 ・海上保安大学校、開設 ・GHQ、海運各社にバンコク、インド・パキスタン、ニューヨーク定期航路の開設を許可 ・「港湾運送事業法」、公布 ・「モーターボート競走法」、公布 ・米国防総省、日本商船隊再建援助を声明 ・衆参両院で外交船腹緊急増強を決議 ・日本航空㈱、設立 ・この年、鉱工業生産指数が戦前を突破
1952年 (昭和27年)	・「日聖丸」実船計測と模型との比較研究（SR1、～1953年度） ・三菱横浜造船所（東日本重工業）、「可変ピッチプロペラ」を製作、曳船に装着 ・日本海事協会技術研究所、設置 ・三菱造船、国産大型ディーゼル機関UC型試作に成功 ・日本郵船、欧州定期航路を復活（スエズ経由） ・神戸商船大学、新設 ・わが国初のレーダを「第一大海丸」に装備 ・わが国初のロランA受信機を改造A型貨物船「大江山丸」(10,200DWT、2,000馬力、13.1ノット）に装備 ・国産造船用鋼材による溶接船体の信頼性向上の研究実施（SR3、～1953年度） ・保安庁技術研究所、越中島に設立 ・造船技術審議会答申「現在わが国における造船技術の向上を阻んでいる隘路とその対策」(諮問第2号) ・乾、流線追跡法による造波抵抗理論を発表 ・谷口、実船摩擦抵抗算定法を発表 ・大型構造模型と歪ゲージを用いた応力計測を実施（SR2、～1954年度） ・練習船「やよひ丸」で、実船曳航試験と実船伴流分布計測を実施（SR4、～1954年度） ・造船所の賠償施設指定解除 ・運輸省、海運造船合理化審議会を設置（「今後の船腹拡充方策」第1号答申）	・「日米行政協定」、調印 ・U.S.Steel社、焼入れ焼戻しを施した80キロ級CarilloyT-1鋼の製造に成功 ・米客船「UNITED STATE」、ブルーリボン賞を獲得 ・米国の沿岸航路でコンテナの海上輸送実用化 ・英軍、スエズ運河封鎖 ・「破壊活動防止法」、成立 ・日航機「もくせい号」が三原山に墜落 ・二重橋で「血のメーデー事件」が発生 ・保安庁（防衛庁の前身）が新設 ・皇太子明仁親王の立太子礼 ・「1948年SOLAS条約」、発効 ・主要港湾、航路の機雷掃海安全宣言をする ・韓国、「李承晩ライン」を宣言 ・「戦時海運管理令」、失効 ・GHQ、外航船の国旗掲揚を許可 ・日本商船管理局が廃止 ・「船舶安全法」、一部改正公布・施行 ・㈳日本船舶機関士協会、設立 ・B&W社、排気ターボ式過給法による世界初の641VTBF160機関（6,500馬力）を「DORTHE MAERSK号」に搭載 ・国際通貨基金（IMF）に正式加盟 ・「船舶区画規定（全面改正）」、公布

年次	造船技術	海外技術及び一般情報
1953年 (昭和28年)	・三菱造船長崎にて国産初のスーパー・タンカー「STANVAC JAPAN」(26,503DWT、T13,750馬力、最高圧60kg/cm²、17.3ノット) 竣工 ・船体に「溶接ブロック建造方式」を本格的に採用 ・播磨造船所にてキルド鋼を大量に使用した「祐邦丸」(28,210DWT、T14,000馬力、17.4ノット) 竣工 ・三井造船玉野、わが国初のオプティカル・マーキング (フォト・マーキング) 装置の稼働開始 ・川崎重工、高速高精度の自動ガス切断機(フレーム・プレーナ) 完成 ・日立造船因島にてわが国初の大型冷凍運搬船「宮島丸」(8,860DWT、D5525馬力、14.5ノット) 竣工 ・新三菱重工、わが国初の自動車航送船「あさぎり丸」(228GT、D270馬力、21.0ノット) 竣工 ・航海訓練所練習船「北斗丸」で波浪中船体応力計測実施 (SR10、～1954年度) ・秋田ら、水槽実験により動的縦曲げモーメントに及ぼす波長、波高等の影響を研究 ・吉識ら、シャルピー試験片の各部寸法について解析的研究を実施 ・三菱造船長崎、大型船型試験水槽を復旧 ・三井造船、スイスのエッシャーウィス社から舶用ガスタービンの技術導入 ・第9次計画造船、始まる ・溶接による船体部材の変形と残留応力の軽減対策の研究実施 (SR12及びSR18、～1956年) ・三井造船、「有馬山丸」の換装用主機として8,200馬力の2サイクル過給機関を完成 ・わが国初のスパット起倒式浚渫船「稲永丸」(60m³/h) 竣工	・「外航船舶建造融資利子補給及び損失補償法」、公布 ・仏、深海潜水船「FNRSⅢ」を完成 (潜航深度6,000m) ・St.Dennisら、不規則波中の船体の運動に関する統計的研究を実施 ・保安大学校、設立 (翌年、防衛大学校へ改称) ・NHK、テレビ本格放送を開始 ・「朝鮮休戦協定」、調印 (板門店) ・東証市場の暴落 (スターリン暴落) ・中国からの引揚げ開始 (「興安丸」等活躍) ・「日米友好通商航海条約」調印 ・「海上衝突予防法 (全面改正)」、公布・施行 ・海運造船合理化審議会、海運企業再編成を政府に勧告 ・「小型船舶安全規則」、公布 ・「独占禁止法」、改正公布
1954年 (昭和29年)	・戦後初の気象・海象観測船「春風丸」(150GT) 竣工 ・大型漁業調査船「東光丸」(1,098GT) 竣工 ・歪みとりローラーやショットブラストを導入 ・三菱造船下関、わが国初の全アルミニウム合金溶接製高速警備艇「あらかぜ」(28GT、20ノット) 建造 ・移民の増加に伴い、客船「ぶらじる丸」(10,100GT、20.31ノット) 竣工 ・台風15号により「洞爺丸」(死者1,430人) 以下、5隻の青函連絡船が転覆沈没 ・日本鋼管清水にてわが国初のバラ積貨物専用船「日隆丸」(15,368DWT、5,530馬力、13ノット) 竣工 ・防衛庁技術研究所、設立 ・造船技術審議会答申「わが国の船舶から速やかに除去すべき技術的欠陥について」(諮問第4号) ・運輸省、第10次計画造船に際し、造船価格低減策提示 (設計・仕様の合理化推進) ・別所、球の造波抵抗の厳密解を導出 ・三菱造船長崎にてわが国初の舶用ガスタービン	・造船疑獄が発覚 (地検が3造船会社を一斉手入れ) ・青函トンネルが起工 ・「第5福竜丸」、ビキニ環礁にて死の灰被爆 ・「防衛庁設置法」及び「自衛隊法」、各公布 ・犬飼法相が指揮権発動、自由党幹事長佐藤栄作の逮捕を阻止 (造船疑獄捜査崩壊) ・「1954年海水油濁防止条約」、採択 ・日本原子力船調査会、発足 ・日本船舶輸出組合、発足 ・米、ビキニ水域で水素爆弾実験を実施 ・米海軍原子力潜水艦「ノーチラス」竣工 ・通産省、新輸出計画を発表 (輸出最高会議設置) ・「ジュネーブ協定」、調印 (カンボジア、ラオス独立) ・「SEATO」創立8ヶ国会議が開催 ・力道山、シャープ兄弟とタッグマッチ (プロレス人気集まる) ・「海上航行安全審議会令」、公布・施行 ・海運労使、「ユニオン・ショップ制」を協定

年次	造船技術	海外技術及び一般情報
1954年 (昭和29年)	(500馬力) を採用した練習船「北斗丸」(1,631GT) 竣工 ・高速貨物船「榛名山丸」(三井船舶、10,300DWT、D11,250馬力、9気筒) 竣工、太平洋横断記録 (平均19.3ノット) 達成	
1955年 (昭和30年)	・自動ガス切断機「モノポール」が導入 ・志波ら、自航模型船による操縦試験実施 ・荒天時航走中のスラミング現象の実船計測実施 (SR24、～1956年度) ・吉識ら、残留応力の座屈に及ぼす影響を定量的研究により解明 ・アルミニウム合金骨木皮構造の交通艇「あゆ」竣工 ・日本海事協会技術研究所、設立 ・FRP製ローボートの試作 ・三菱日本横浜にて自衛艦「つがる」竣工 (戦後初の国産敷設艦、CPP装備、D3,200馬力、16ノット) ・丸尾、波浪中抵抗増加理論を発表 ・過給機関10Z78/140LABを搭載 (全船交流化) した日本郵船の「相模丸」(9,415GT、D12,000馬力) 竣工 ・造船技術審議会建議、「青函連絡船の安全性改善対策に関する建議」 ・「第1次造船ブーム」が起こる ・運輸省、保有船腹450万GTの船腹拡充5カ年計画を発表 ・「鋼船工作法」が刊行	・宇高連絡船「紫雲丸」(1,480GT)、貨物船と衝突 (死者168人) ・第27回総選挙 (改憲阻止選挙) 実施 ・経済企画庁 (経済審議庁の改称) 発足 ・左右両派統一、日本社会党再発足 ・自由民主党結成、保守合同なる ・GATTに正式加盟 ・東京通信工業 (ソニー)、初の携帯トランジスタラジオ (5石スーパー型) 発売 ・「原子力基本法等3法」公布 ・「神武景気」始まる (～1957年上期) ・運輸省、総合交通6カ年計画発表 ・アジア・アフリカ会議 (バンドン) 開催 ・「ワルシャワ条約」、調印 ・アルミ貨 (1円)、発行 ・家庭電化時代 (電気釜、テレビ等) が始まる ・日本登山隊 (槙隊長)、ヒマラヤの「マナスル」(8,125m) 初登頂に成功 ・運輸省、初の「海運白書」を発表 ・「日米原子力協定」、ワシントンで調印
1956年 (昭和31年)	・播磨造船所にて、スーパータンカーのはしり「泰邦丸」(飯野海運、33,434DWT) 竣工 ・「船舶復原性規則」、制定 ・進水時の応力計測による倉口隅の応力集中等の系統的検討を実施 ・防衛庁技術研究所 (目黒水槽) 大水槽を復旧、高速水槽を改修 ・NBC呉にて世界最大のタンカー「ユニバース・リーダー」(85,500DWT) 竣工 ・野本ら、Kempf提唱のZ試験についての理論的裏付けをする ・花岡、非定常造波理論を発表 ・練習船「汐路丸」にて実船プロペラの強度の実測を実施 (SR30、～1957年度) ・初の排気ターボ過給機付大型機関 (K9Z78・140C、12,000馬力×118rpm) 搭載の「佐渡丸」竣工 ・年間進水量175万総トンとなり、世界シェア26%で英を抜き世界一となる ・耐氷貨物船「宗谷」巡視船兼南極観測用砕氷船 (排水量4,849トン、D2,400馬力×2、12.3ノット) に改装、第一次南極観測に出港 ・溶接欠陥が高サイクル疲労強度に及ぼす影響につい	・エジプト、スエズ運河接収 (スエズ運河会社の国有化) ・商船大学を東京商船大学へ改称 ・佐久間ダムが完成 ・日本原子力研究所、設立 ・㈳日本造船関連工業会、発足 ・科学技術庁及び原子力委員会が発足 ・「日ソ国交回復共同宣言」、調印 ・スエズ動乱 (第2次中東戦争) が勃発 (イスラエル軍、エジプト侵入) ・国連総会で日本の国連加盟を可決 ・「船舶機関規則」、公布 ・英で世界初の商業原子力発電所 (コルダーホール) が運転開始

年次	造船技術	海外技術及び一般情報
1956年 (昭和31年)	ての研究実施（SR32、～1958年度） ・石川島重工にて海上自衛隊初の新造護衛艦「あけぼの」（基準排水量1,060トン、T9,000馬力、22.8ノット）竣工 ・石川島重工、わが国初のAftEngine型の貨物船「ANDROS STAR」（13,577DWT、T8,200馬力）竣工 ・新潟鉄工所にて海上保安庁向け遠洋測量船「拓洋」（排水量867トン、D650馬力×2、14.8ノット）竣工	
1957年 (昭和32年)	・川崎重工、わが国初の鉱・油兼用船「COSMIC」（47,420DWT、T20,250馬力、16.6ノット）竣工 ・川崎重工、2,800トンの船尾ブロックを船台上で横移動させる建造方式を採用 ・川崎重工技術研究所、設立 ・超大型船用厚板の溶接施工法の研究実施（SR39、～1960年度） ・南極観測船「宗谷」、ソ連船「オビ号」により救助 ・防衛庁技術研究所、目黒試験場を再開 ・造船技術審議会諮問第7号答申「超大型船建造上の技術的問題点及びその対策」 ・笹島ら、形状影響係数に関する研究を発表 ・超大型船用鋼材の厚板鋼板の切欠脆性の危険性につき検討（SR37、～1959年度） ・「第5雄洋丸」に世界最高出力機関1274 VTBF 160（15,000馬力×115rpm）搭載 ・わが国初の外航セメント運搬船「昭洋丸」（東海運、12,397DWT）竣工 ・ボーキサイト兼油送船「SUN WALER」（9,060DWT）の上部構造ハッチカバーに大量のアルミ材採用	・海員組合が賃上げを要求し、停船ストに突入、大幅賃上げを獲得 ・南極予備観測隊、オングル基地に上陸、昭和基地設定 ・スエズ運河、全面再開 ・「輸出検査法」、公布 ・秋田海岸で初の国産ロケット「カッパーC型」の発射に成功 ・なべ底景気が始まる（～1958年下期） ・東海村に「原子の火」（原子力研究所JRP-1原子炉）灯る ・ソ連、「スプートニク1号」を打上げ ・カラーテレビ実験局が開局（NHK、日本テレビ） ・瀬戸内海で定員の約3倍を乗せた「第5北川丸」が沈没（死者行方不明113人）
1958年 (昭和33年)	・石川島重工にてわが国初のジャッキアップ式掘削リグ「第1白竜号」（2,970GT）竣工 ・仏の潜水艇、バチスカーフ「FNRS Ⅲ」による日仏共同日本海溝調査（最深3,000m到達） ・潜水調査船「白鯨」竣工 ・渡辺（恵）、縦曲げモーメントの式を提案 ・日本海事協会、「超大型油送船の波浪曲げ許容応力は11kg/mm²、全曲げ許容応力は13.5kg/mm²」と規定 ・紀阿航路の「南海丸」、紀州沖で転覆 ・わが国初の鉱石専用船「新田丸」（照国海運、18,187DWT）竣工 ・㈳日本原子力船研究協会、発足 ・防衛庁技術研究所、防衛庁技術本部と改称、目黒試験場を第1研究所と改称 ・当時わが国最大ディーゼルポンプ式浚渫船「大栄丸」（3,600 m³/h）竣工 ・海運造船合理化審議会、「海運企業基盤強化方針」答申	・日本海難防止協会、設立 ・米、人工衛星「エクスプローラ」を打上げ ・関門国道トンネルが開通（全長3,461m） ・欧州共同市場（ECC）が発足 ・「IMCO条約」発効、IMCO、設立 ・日本貿易振興会（JETRO）、発足 ・米原子力潜水艦「ノーチラス」、氷海を潜航して北極に到達 ・「本船構造規則」、公布 ・岩戸景気が始まる（～1961年下期） ・富士重工、国産初のジェット練習機「T1」の初飛行に成功 ・狩野川台風（台風22号）来襲、中伊豆に大被害（死者1,189人、全壊流出1,044戸） ・日清食品、インスタント（即席）ラーメンを発売 ・ミッチーブーム、フラフープが流行 ・東京タワーが完成（高さ333m） ・一万円札が発行

年次	造船技術	海外技術及び一般情報
1958年 (昭和33年)	・川崎重工にて太平洋航路の「ブルーリボン」を獲得した高速貨物船「ねばた丸」(川崎汽船、13,326DWT、11,500馬力、20.9ノット)竣工	
1959年 (昭和34年)	・気象観測船「凌風丸」、日本海溝深海調査(深さ8,450mの海底の泥採取) ・工程短縮のため考案された3点建造法による「OLYMPIC RUNNER」竣工 ・波浪による甲板荷重(青波水圧)の実船計測実施(SR44、～1960年度) ・NBC呉にて世界初の10万トンタンカー「ユニバース・アポロ」(114,000DWT)竣工 ・外航コンテナ第一船川崎汽船「おれごん丸」(12,500DWT、11,500馬力)竣工、太平洋横断記録(平均19.7ノット)更新 ・㈳日本中型造船工業会、発足 ・新三菱重工神戸・浦賀重工・Sulzer社と「RT型排気ターボ過給機」の製造につき技術提携 ・運輸技術研究所に三鷹第一船舶試験水槽(角水槽)が完成 ・科学技術会議、設置 ・海運造船合理化審議会、「わが国海運の国際競争力強化のための具体的方策」について答申 ・関西汽船客船「くれない丸」(新三菱重工神戸にて竣工、2,928GT、D5,400馬力、18ノット)に大型船首バルブを装着し、その効果を同型船との比較で確認	・北海で大規模ガス田発見 ・世界初のホーバークラフト「ＡＣＶ」、ドーバー海峡横断成功 ・世界初の原子力空母「エンタープライズ」進水 ・日本で「メートル法」を実施、「尺貫法」を廃止 ・キューバ革命軍、バチスタ政権打倒 ・「中小型鋼船造船業合理化臨時措置法」、公布 ・特定船舶整備公団、発足 ・皇太子明仁・正田美智子御成婚 ・第3次南極観測隊、1年間昭和基地に放置された犬「太郎・次郎」の生存を確認 ・輸出量、戦前水準を回復 ・日産自動車、「ダットサン・ブルーバード」を発売(マイカー時代始まる) ・伊勢湾台風(台風15号)が中部地方に来襲(死者5,041人、被害家屋57万戸) ・水俣病問題で漁民1,500人、新日本窒素水俣工場で警官隊と衝突 ・中ソの意見対立激化 ・ソ連原子力砕氷船「レーニン」試運転・就航 ・Sulzer社、低質油専焼の高過給機関新機種RD形を開発 ・米、世界初の原子力商船「サバンナ号」竣工
1960年 (昭和35年)	・有索潜潜水船「くろしおⅡ号」(北海道大学)完成 ・播磨造船所にて国産初の加圧式LPGタンカ「第一えるぴい丸」(653DWT、D630馬力、10ノット)竣工 ・川崎重工にて戦後初の国産潜水艦「おやしお」(排水量1,424トン、D5,900馬力、19ノット)竣工 ・マトリックス法あるいは有限要素法による強度解析構造が普及 ・吉識ら、Vシャルピー試験の吸収エネルギーのばらつきについての統計的解析を実施 ・高橋(幸)、SS-41からHT70にわたる鋼材の回転曲げ低サイクル疲労強度に関する研究を発表 ・造船技術審議会答申「船舶の自動操縦化の技術的問題並びにその対策」(諮問第8号) ・石川島重工業と播磨造船所が合併、石川島播磨重工業が誕生 ・乾、造波干渉を利用した(船首バルブによる)波無し船型を発表 ・三菱造船長崎、キャビテーション水槽を建設 ・大口径高過給の第1号機を搭載した鉱石運搬船「八幡山丸」(27,500DWT、D12,600馬力)竣工 ・世界初のO.B.O「M. THEODORA COPUROS」(28,781DWT)竣工	・「トリエステⅠ号」マリアナ海溝で10,916mの世界最大水深潜水記録樹立 ・英国のGlasgow市で第1回国際船体構造会議開催 ・「日米新安保条約」、調印 ・石油輸出国機構(OPEC)、結成 ・西側20カ国、「経済協力開発機構(OECD)条約」調印 ・日本科学技術振興財団、発足 ・「国民所得倍増計画」を決定、高度経済成長政策開始 ・「1960年SOLAS条約」、改正 ・「チリ津波」来襲、北海道南岸・三陸に大被害(死者139人、被害家屋4万6400戸) ・貿易為替自由化を実施 ・三池炭坑争議が起こる ・プレハブ建築が盛んとなる ・衆議院安保特別委員会、自民党の採決強行で混乱 ・全学連デモ、国会突入(60年安保闘争) ・NHK等カラーテレビの本格放送が開始 ・閣議、国民所得倍増計画を決定 ・九州郵船「泰丸」(163トン)、博多－釜山間就航(日韓定期航路再開)

年次	造船技術	海外技術及び一般情報
1960年 (昭和35年)	・閣議、1970年までに外航船腹を1,335万GTとするため、今後10年間に970万GT建造の方針を決定 ・運輸省、船舶拡充5カ年計画発表	
1961年 (昭和36年)	・九州大学、航海性能水槽を建設 ・わが国初の双胴船「くらかけ丸」が就航 ・日本海事協会、超大型タンカーの格子桁構造を持つ立体構造の強度計算法を確立 ・三菱造船下関、水中翼船「MH-3」を開発 ・高能率な鉄粉酸化鉄系の専用溶接棒をグラビティ法により使用する施工法が再評価 ・元良（誠）、強制平面運動機構を用いる実験の方法論を確立 ・石川島播磨にて経済船型（ズングリ船型、L/Bが7以下）のタンカー第1船「亜細亜丸」（日東商船、48,287DWT、17,600馬力、速力16.5ノット）竣工 ・三菱造船長崎にて片面自動溶接法の船体板継への適用に成功 ・新明和工業、わが国初の水中翼船（14人乗）を建造 ・田古里、台形スタッドによる乱流促進法を提案 ・矢崎ら、MAU型プロペラ・シリーズを発表 ・わが国初の冷凍式LPG第1船「豪鷲丸」（ゼネラル海運、46,913DWT）が竣工 ・初の電気推進グラブ式浚渫船「蔵王丸」（4m³/h）竣工 ・初のTop Side Tank付ボーキサイト船「ぴんたん丸」（第一中央汽船、15,355DWT）竣工 ・三井造船玉野にて主機の遠隔制御、自動制御装置などを採用した世界初の大型自動化船「金華山丸」（9,800DWT、D12,000馬力、18.3ノット）竣工	・東独、東西ベルリン市境界にベルリンの壁を構築 ・ソ連の人間衛星「ボストーク1号」（ガガーリン少佐）、地球一周 ・「第2室戸台風（台風18号）」、近畿中心に猛威（死者202人、被災家屋98万戸） ・各地にコンビナート建設が進む ・「災害対策基本法」、公布 ・大鵬・柏戸、横綱となる ・米、キューバとの国交断絶 ・運輸省、外航船腹整備5カ年計画を決定 ・海運造船合理化審議会、「船腹拡充への海運強化策」答申 ・NVのVedeler、船舶の低サイクル疲労による船体亀裂損傷の可能性について指摘 ・経済協力開発機構（0ECD）発足
1962年 (昭和37年)	・東京大学海洋研究所、設置 ・日立造船神奈川にて国産初の大型水中翼船PT20型「大鵬丸」（63GT、D1,350馬力×1,500rpm、最高75km/h、乗客定員76名）竣工 ・新三菱重工業神戸にてわが国初の見本市船「さくら丸」（12,628GT、D9,800馬力、18ノット、旅客152人）竣工 ・新三菱重工業神戸、鋼材罫書き用EPM装置を導入 ・「第2次造船ブーム」が起こる ・わが国独自の低水素系の立向下進溶接棒が実用化 ・「水産庁漁船研究室」、再設置 ・三菱日本横浜にて世界初の大型冷凍式LPG運搬船「ブリヂストン丸」（日本郵船／ブリヂストン液化ガス、25,626DWT、D13,000馬力、16ノット）竣工 ・海運造船合理化審議会、海運再建基本方針（海運企業の集約化、政府の助成措置）を建議 ・住友機械平塚研究所、開設 ・浦賀船渠、浦賀重工業に改称	・米で世界初の半潜水型掘削リグが完成 ・堀江謙一、ヨットで太平洋単独横断に成功 ・「YS-11」（60人乗、ターボ・プロップ中型旅客機）の初飛行に成功 ・米、初の人間衛星「フレンドシップ号」（グレン中佐）の打上げに成功 ・綿紡・鉄鋼、戦後最悪の不況におちいる ・三河島駅構内で2重衝突「三河島事故」が発生（死者160人、重軽傷者325人） ・(財)日本船舶振興会、発足 ・輸出船延払条件を国際基準（80%、8年）まで緩和 ・「煤煙排出規制法」、公布 ・南ベトナム解放戦線、「14項目の政策」を発表 ・富士ゼロックス、国産初の電子複写機を完成（コピー時代の幕開け） ・ツイストが流行 ・海運組合、週48時間労働要求で停船スト ・運輸省、「海運対策要綱案」を決定（海運企業集約化の方向、利子猶予措置）

年次	造船技術	海外技術及び一般情報
1962年 (昭和37年)		・米、キューバ海上を封鎖（キューバ危機）
1963年 (昭和38年)	・運輸省船舶技術研究所、設立（運輸技術研究所を改組） ・わが国初の海洋研究船「淡青丸」(258GT、東大）竣工 ・佐世保重工にて世界最大のタンカ「日章丸」(出光タンカ、132,334DWT、T28,000馬力×105rpm、16.0ノット）竣工 ・川崎重工にて世界初の高度自動化船「みししっぴ丸」(11,978DWT、D9,000馬力、16.2ノット、定員28名）竣工 ・三菱造船長崎、片面自動溶接銅バッキング法を実用化 ・三菱造船長崎にて球状船首船型高速貨物船「山城丸」(12,897DWT、D13,000馬力、22.4ノット）竣工 ・三井造船にて機関室夜間無人化船「セルマダン号」(主機984VT2BF180、20,700馬力×114rpm搭載）竣工 ・船体構造用鋼の低サイクル疲労強度についての基礎研究実施（SR62、～1965年度） ・自動車運搬船第1船「第1ぷりんす丸」(プリンス海運、552DWT、積載車両218台）竣工	・「海運業再建整備臨時措置法」、公布 ・北九州市が発足（人口105万人） ・日本原子力船開発事業団、発足 ・海運再建2法に基づく海運業の集約化終了、6グループ化 ・日本郵船、三菱海運を吸収合併調印 ・日本油槽船、日産汽船、合併調印、昭和海運が設立 ・山下汽船、新日本汽船、合併調印、山下新日本汽船が設立 ・日東商船、大同海運、合併調印、ジャパンラインが設立 ・大阪商船、三井船舶、合併調印、大阪商船三井船舶が設立 ・川崎汽船、飯野汽船を吸収合併調印 ・米の通信衛星、初の日米衛星テレビ中継 ・米大統領ケネディが暗殺される ・経済企画庁、経済白書「先進国への道」を発表（高成長、高福祉型経済へ） ・偽札対策のため、新千円札発行 ・「建築基準法」、改正公布（建築物の高さ制限緩和） ・東海道線で3重衝突「鶴見事故」が発生（死者161人） ・東京・入谷の「吉展ちゃん（4歳）誘拐殺害事件」発生
1964年 (昭和39年)	・三菱長崎開発の電子写真マーキング装置（EPM）1号機による材料加工工程の自動化 ・「溶接構造用高張力鋼板規格」と「高圧容器用高張力鋼規格板」が制定 ・「低温度構造用鋼板材質判定基準」が制定 ・日本鋼管鶴見、大型船の船側外板の現場継手にエレクトロスラグ溶接を採用 ・三菱系3重工合併し、三菱重工業（株）再設立 ・秋田ら、低荷重破壊を再現させるディープノッチ試験を開発 ・三菱重工神戸にて自航式有人潜水船「よみうり」竣工 ・日本鋼管清水にて世界初の大型チップ専用船「呉丸」(傾斜船型採用、17,315DWT）竣工 ・山下新日本汽船の10万トンタンカ「山瑞丸」(99,700DWT、世界最高出力機関1284VT2BF180、27,600馬力×114rpm搭載）竣工 ・オイルバス式船尾管軸受装備のタンカ「根岸丸」(東京タンカ、93,298DWT）竣工 ・浦賀重工にてわが国初のバウスラスタ装備の青函連絡船「津軽丸」(8,278GT、20.64ノット）竣工 ・造船技術審議会答申「船舶の構造・性能の飛躍的改善策」(第9号諮問）	・「ラムダ3型1号」ロケットの打上げに成功 ・ライシャワー米大使が刺傷 ・新潟大地震が発生（M7.5） ・米、ベトナム戦争に介入（トンキン湾事件勃発） ・東海道新幹線が開業 ・第18回オリンピック大会、東京で開催 ・日本、「IMF8条国」に移行 ・日本、経済協力開発機構（OECD）に加盟 ・第1次マンションブームが起こる ・「シンザン」、3冠馬となる ・海運造船合理化審議会、「海運国際収支改善策（船腹増強策）」を答申

年次	造船技術	海外技術及び一般情報
1964年 (昭和39年)	・世界最大級自航グラブ式浚渫船「上総丸」(第二港湾局、1,993GT、電気推進、10m³/h) 竣工 ・瀬尾ら、ディーゼル機関の原油使用に関する研究につき発表 ・日本鋼船工作法精度標準 (JSQS) が発行	
1965年 (昭和40年)	・三菱重工広島にてわが国初の半潜水型リグ「SEDECO 135」シリーズ建造 ・波力発電ブイ、航路標識用として実用化 ・日立造船堺、NCガス切断機が稼働 ・日本鋼管鶴見にてわが国初の本格的砕氷艦「ふじ」(排水量5,250トン、D12,000馬力、16.0ノット) 竣工 ・石川島播磨にて日本独自技術による低温靱性の高いIN鋼使用の世界最大LPGタンカー「城山丸」(新和海運、34,805DWT、D12,000馬力、15ノット) 竣工 ・片面サブマージ・アーク溶接が実用化 ・川崎重工神戸、潜弧自動溶接を改良 ・造船技術審議会、「巨大船建造上の技術的問題点及びその対策」を答申 (第12号諮問) ・花岡、線型2次元キャビテーション理論を発表 ・日立造船桜島にてわが国初の外航自動車運搬船「追浜丸」(大阪商船三井、16,155DWT、D7,200馬力、17.3ノット、積載車両1,200台) 竣工 ・山崎 (隆)、非定常プロペラ理論を発表	・「アトランティスⅡ」(米)、紅海で海底重金属泥を発見 ・米、ベトナムの北爆開始 ・「1960年SOLAS条約」、発効 ・マリアナ海域で漁船集団が遭難 ・朝永振一郎、ノーベル物理学賞を受賞 ・「日韓基本条約」、調印 ・経済企画庁、経済白書「安定成長の課題」を発表 ・初の営業用原子力発電 (出力500kw) に成功 ・不況対策で赤字国債発行の方針が決定 ・「1960年の国際海上衝突予防規則」、公布 ・㈶日本船渠長協会、設立 ・タンカー「海蔵丸」(33,674DWT)、ペルシャ湾カフジにて火災爆発 ・いざなぎ景気が始まる (～1970年下期まで)
1966年 (昭和41年)	・石川島播磨にて世界最大のタンカー「東京丸」(153,685DWT)、世界初のVLCCタンカー「出光丸」(再熱サイクル採用第1船、主機タービン33,000馬力×101rpm、209,302DWT、16.7ノット) 竣工 ・日立造船堺、HIZAC (数値制御自動切断方式) を開発 (NC切断の実用化) ・「2分割建造法」の採用開始 ・巨大船総合研究委員会、20万重量トンと50万重量トン船につき技術的諸問題の項目を検討 ・航行中の大型タンカーの船体応力分布に関する実船計測実施 (SR99、～1968年度) ・鉱石兼タンカー第1船「つばろん丸」(55,605DWT) 竣工 ・ばら積兼タンカー第1船「ジャパン・カメリヤ」(ジャパン・ライン、58,870DWT) 竣工 ・飯田、切欠きによる疲労強度減少係数についての研究を公表 ・㈳日本舶用機関学会、設立 ・石川島播磨、船型試験水槽 (長さ100m、幅10m、水深5m) を建設 ・笹島・田中、実船伴流分布推定法を提案 ・第11回国際試験水槽会議 (ITTC)、東京で開催 ・わが国最大級の浚渫船「大瀬戸号」が竣工 ・初の半没水船型理論適用の高速貨物船「ORIENTAL	・米、ROV「CURVⅡ」、スペイン沖で水素爆弾回収に成功 ・「国際満載喫水線条約」、改訂 ・中国、文化大革命が始まる ・「小型船造船業法」、施行 ・全日空、羽田空港沖合で墜落 (死者133人) ・カナダ航空、羽田で事故 (死者64人) ・BOAC機、富士山付近で墜落 (死者124人) ・全日空、松山空港沖で墜落 (死者50人) ・海運造船合理化審議会、「コンテナ輸送体制整備について」答申 ・運輸省の斡旋で海上コンテナ輸送経営体制が決定 ・新三種の神器 (3C；カラーテレビ、カー、クーラー) 登場 ・ビートルズ来日、武道館で公演 ・シーランド社 (米)、北大西洋航路にフルコンテナ船を配船

年次	造船技術	海外技術及び一般情報
1966年 (昭和41年)	QUEEN」(12,759DWT) 竣工 ・世界初の垂直方向自動エレクロガス溶接機完成 ・わが国初のメンブレンタンク式LPG船「第101ブリヂストン丸」(910 m³) 竣工	
1967年 (昭和42年)	・三井造船と藤永田造船、合併調印 ・日立造船堺にて国産初のEゼロ級船鉱油兼用船「VEATAN」(91,801DWT、D20,700馬力、15.2ノット) 竣工 ・わが国初の半潜水型掘削リグ「DISCOVERER Ⅱ」が竣工 ・三菱重工下関にてわが国初の大型海洋研究調査船「白鳳丸」(3,225GT、2,800KW、12.7ノット) が竣工 ・三菱重工神戸にて世界初の「三次元増トン工法」による改造タンカー「HOEGH-GANNET」(39,855DWTから75,912DWTへ) が完工 ・世界初の「洋上溶接施工法」を「OLYMPIC RUNNER」の増深延長工事に採用 ・三井造船、ホーバークラフト国産第1号 (10人乗り) 竣工 ・住友金属、溶接性の極めて優れた、かつ生産性の良い調質型HT60とHT70の生産に成功 ・三井造船にて国産第1号のホーバークラフトMV-PP1 (タイ国税関連絡艇) を建造 ・㈶日本造船技術センター、設立 ・大型LPG船「竜野丸」(日本郵船、38,628DWT) 竣工 ・巨大船の脆性破壊防止対策の研究実施 (SR101～1969年度) ・日本鋼管、わが国初の50万GT級ドックの建設を申請 ・わが国初のコンピュータ船、漁業調査船「開洋丸」竣工 ・運輸省船舶技術研究所、わが国最大の三鷹第2試験水槽 (400m水槽) (長さ400m、幅18m、水深8m) を建設 ・石川島播磨東京にて大型護衛艦の第1船「たかつき」(基準排水量3,50トン、T60,000馬力×2、32ノット) 竣工 ・浦賀重工にて世界最大級の起重機船「第23吉田号」(非自航式シブ固定式1,200トン吊り) 竣工 ・初のアンローダー付チップ船「丸住丸」(24,208DWT) 竣工 ・山内ら、船の波浪中動揺応答の解析法を発表	・仏、ランスに潮汐発電所を完成 ・リベリア籍タンカー「トリーキャニオン号」(61,264総トン)、英仏海峡で座礁、大量の原油流出 ・スエズ運河が閉鎖、「第3次中東戦争」が勃発 ・「海水汚濁防止法」、公布 ・「公害対策基本法」、公布 ・ヨーロッパ共同体 (EC)、発足 ・東南アジア諸国連合 (ASEAN)、結成 ・伊予灘で貨物船「北扇丸」、タンカー「根岸丸」と衝突沈没 (乗組員全員死亡) ・㈶日本海事科学振興財団、発足 ・世界の主要ディーゼルメーカー、船舶の巨大化・高速化に伴い大口径・大出力機関 (4,000馬力/気筒) の開発を発表 ・「外貿埠頭公団法」、公布 ・「タンカー安全国際会議」、開催 ・日本の総人口1億人を突破
1968年 (昭和43年)	・山崎・中武、推進システム理論計算法を発表 ・造船協会、日本造船学会に改称 ・三菱重工神戸にてわが国初の本格的フルコンテナ船「箱根丸」(日本郵船、16,306DWT、D27,800馬力、	・「大気汚染防止法」及び「騒音規制法」、各公布 ・アラブ石油輸出国機構 (OAPEC)、結成 ・「核拡散防止条約」、調印 ・国民総生産、世界第2位 (除く、ソ連) となる

年次	造船技術	海外技術及び一般情報
1968年 (昭和43年)	25.9ノット、752TEU）竣工 ・住友機械にてわが国初の機関無人運転自動化船、三光汽船「仁光丸」(21,408DWT）竣工 ・石川島播磨重工と呉造船所が合併 ・㈶日本小型船舶工業会、発足 ・石川島播磨にて世界初のULCC「ユニバース・アイルランド」(326,585DWT、18,700馬力×2、14.0ノット）竣工 ・国内船につき長期予約建造方式を実現 ・三菱重工長崎にて世界最大のタンカー「ユニバース・クェート」(332,093DWT、2軸2舵）竣工 ・田古里、「ビルジ渦」に関する研究を発表 ・運輸省航海訓練所練習船「青雲丸」が竣工 ・大阪商船三井、航洋船のコンピュータ搭載第1船「鋼福山丸」を建造 ・三菱重工長崎にてMSタービン搭載第1船「かいもん丸」(178,714DWT、30,000馬力×90rpm）竣工 ・石川島播磨にて標準貨物船「フリーダム型」の第1船「KHIAN CAPTIN」(13,871DWT、13.9ノット）竣工 ・低水素系50キロ高張力鋼用すみ肉専用棒が開発 ・わが国初の鉱石運搬船「ぼうとらった丸」(第一中央汽船、93,356DWT）竣工	・小笠原諸島、日本に復帰 ・十勝沖地震発生（M7.8） ・「1966年LL条約」、発効 ・㈳日本船舶電装協会、発足 ・ソ連・東欧5ケ国がチェコに侵入 ・東京府中で3億円強奪事件が発生 ・タンカー「陽邦丸」(88,139DWT)、アラビア海で原因不明の亀裂発生、11,000トンの原油流出 ・海運造船合理化審議会、「新海運対策（1969年から6年間に2,050万GT建造の案)」を答申 ・IMO、復原性基準に静的復原性基準を追加 ・「満載喫水線規則」、公布
1969年 (昭和44年)	・大型鉱石専用船「ぽりばあ丸」（ジャパンライン、54,342DWT）の破断沈没海難発生（野島崎東方北太平洋、31人死亡） ・本格的潜水調査船「しんかい」（潜航深度600m）竣工 ・ブロック艤装、ユニット艤装等の地上艤装化が推進 ・造船技術開発協議機構設立 ・浦賀重工業と住友機械工業、合併、住友重機械工業として発足 ・NK初のM0船（鉱油兼用船）「ジャパン・マグノリア」(94,000DWT）竣工 ・造船技術審議会「鉱石運搬船の建造に関する建議」 ・20万トンタンカー（「マクトラ号」、「キングハーコン号」、「マルペッサ号」等）連続爆発事故発生 ・馬場、「砕波抵抗」の研究を発表 ・渡辺、「肥大船の不安定現象」（自航要素の2値、針路不安定）の研究を発表 ・わが国初のM0資格第1船ジャパンライン「ジャパン・マーガレット」(主機9UEC85/160C、21,600馬力搭載）竣工 ・高速貨物船の耐航性の研究（SR108、～1971年度） ・花岡、非定常プロペラ揚力面理論を発表 ・防衛庁技術研究本部、100トン型高速魚雷艇船型（PT11型、40ノット）を実用化 ・日本鋼船工作法精度標準（JSQS、艤装関係)、制定	・安田講堂事件、東大側が警官隊8,000人を導入 ・㈳日本船舶標準協会、発足 ・経済協力開発機構（OECD）で輸出船延払条件を統一（頭金20%、返済期間8年、金利6%以上） ・好景気は連続43ヶ月目に入る（いざなぎ景気） ・東名高速道路が全通 ・「トン数条約」、採択 ・米、アポロ11号月面「静かな海」に着陸 ・「1954年海水油濁防止条約の1969年改正」、採択 ・造船産業労使会議、発足 ・宇宙開発事業団が設立 ・わが国初の現金自動支払機を設置（住友銀行） ・物価対策閣僚協議会、公共料金抑制等の5項目の物価安定対策を決定 ・「大学の運営に関する臨時措置法」の強行採決により国会混乱 ・熊本水俣病患者112人、新日本窒素に対し損害賠償訴訟 ・海運造船合理化審議会、「コンテナ輸送体制の整備」を答申 ・鹿児島喜入の石油輸入基地が完成 ・日本の商船保有量が2,399万総登録トンとなる（世界第2位） ・石油備蓄基地、鹿児島県喜入町に完成（120万キロ・リットル）

年次	造船技術	海外技術及び一般情報
1969年 (昭和44年)	・日本海事協会、機関室無人化に関する規準制定(MO符号をつける) ・住友重機浦賀にて世界初のLASH船「ACADIA FOREST」(44,126DWT、D26,000馬力、19.1ノット)竣工	
1970年 (昭和45年)	・鉱石専用船「かりふぉるにあ丸」(56,474DWT)の破断沈没海難事故が発生(野島崎東方、5人行方不明) ・工事用船足場「創成1号」(TLP)竣工 ・原子力船「むつ」(8,200GT)竣工 ・日立造船、舶用Uタービン機関1番機(36,000馬力)完成 ・NKK津造船所にて専用型ラインウェルダーによる「ロンジ先付け工法」が採用し、溶接を自動化 ・船台期間の短縮を目的とした「多点建造法」が採用される ・東京大学(千葉)に船舶性能試験水槽が完成 ・運輸技術審議会が設置 ・計測コンテナを開発し、欧州航路のコンテナ船実船試験で使用(SR108、～1971年度) ・石川島播磨相生にてわが国初のコンピュータ制御自動化船「星光丸」(三光汽船、138,370DWT、D28,000馬力×121rpm)竣工 ・タンカー「ていむず丸」川崎沖で爆発 ・菅井、船用プロペラの定常特性解析法を発表 ・石川島播磨、コンピュータ積載の超自動化船「東光丸」(13万8,000トン)の公開 ・大型鉱石運搬船「笠木山丸」で船首部波浪荷重及び鉱石圧に関する実船試験実施(SR124、～1974年度) ・「第4回国際船体構造会議(ISSC)」、東京で開催 ・造船各社、大型計算機の導入を開始 ・「第1回国際海洋開発会議」、東京で開催	・北海で相次いで油田が発見 ・「水質汚濁防止法」及び「海洋汚染防止法」等公害関係14法、公布 ・㈳日本舟艇工業会、発足 ・「筑波研究学園都市建設法」、公布 ・初の国際衛星「おおすみ」が打上げ ・大型専用船海難特別調査委員会、設置 ・大阪万国博覧会開会(入場者約6,422万人) ・新日本製鉄が正式に発足 ・日航機「よど号」ハイジャック事件が起こる ・本州四国連絡橋公団、発足 ・シャープ、液晶LSIを使用した電卓発売 ・ジャンボ・ジェット機(490人乗り)、初来日 ・「新経済社会発展計画案」を閣議決定 ・「港湾整備5カ年計画案」を決定 ・いざなぎ景気終わる(実質経済成長率2桁中断) ・歩行者天国実施 ・1969～1974年度に2,800万総トンの建造計画決定 ・年後半よりタンカーを中心として船価が急騰 ・米、大気汚染の規正のための「マスキー法」成立 ・天然資源の開発利用に関する日米会議(UJNR)の第1回開催
1971年 (昭和46年)	・石川島播磨呉にて世界最大タンカー「日石丸」(372,698DWT、40,000馬力、15ノット)竣工 ・三井造船千葉にてわが国初の無人化資格超自動化油槽船「三峰山丸」(227,756DWT、D38,000馬力)竣工 ・長距離カーフェリー「フェニックス」(日本カーフェリー、5,954GT)竣工 ・世界初のDPSを装備した掘削リグ「SEDCO 445」竣工 ・潜水調査船「はくよう」竣工 ・世界最大級の半潜水型海底資源掘削船「第2白竜」竣工 ・「NCプラズマ切断」導入が始まる ・高速コンテナ船の耐航性の研究を実施(SR125、～1974年度) ・実船搭載用の各種波浪計の開発試作を実施(SR132、	・「沖縄返還協定」、調印 ・環境庁、設置(公害行政の一元化) ・「ニクソンショック」により欧州為替市場閉鎖、株価大暴落 ・10ケ国蔵相会議で1ドル308円で合意 ・新潟港にてタンカー「ジュリアナ号」乗上げ、重油流出事故 ・日本造船業、大幅円切り上げにより2,400億円の為替差損を被る ・日本船舶品質管理協会、発足 ・日本造船協力事業者団体連合会、発足 ・10年ぶりに国内船受注(774万総トン)が輸出船受注を上回る ・財形貯蓄制度、新設

年次	造船技術	海外技術及び一般情報
1971年 (昭和46年)	～1974年度) ・海洋科学技術センター、設立 ・三菱重工神戸にて、わが国最大最速のコンテナ船「鎌倉丸」(35,400DWT、80.000馬力、29.6ノット、1.838TEU) 竣工 ・運輸技術審議会答申「小型船舶の耐航性の確保に関する対策について」(諮問第3号) ・波多野ら、3次元境界層理論による粘性抵抗計算を試行 ・初のカーウェイカー・エレベータによるRO/RO方式カーバルカー「ASIA HUNTER」竣工	
1972年 (昭和47年)	・三井造船にて3軸高速コンテナ船「えるべ丸」(51,623GT、35,200DWT、D84,600馬力、31ノット) 竣工 ・川崎重工神戸にて高速カーフェリー「サンフラワー」(日本高速フェリー、11,312GT、D26,080馬力、24ノット) 竣工 ・わが国最大の5万馬力蒸気タービン完成 ・三菱重工長崎にてトータルコンピュータ制御システムを採用した超自動化VLCC「鳥取丸」(日本郵船、237,383DWT、T34,000馬力、16.45ノット) 竣工 ・海洋科学技術センター、「シートピア」の水深30m海中実験を実施 ・初の浮遊式貯油タンク施設 (FSO) 2隻竣工 ・造船工作における適応制御に関する研究を実施 (SR135、～1974年度) ・運輸技術審議会、「海洋技術開発及び海洋調査の目標とその実施方策」(第6号諮問) を答申 ・日立造船建造の鉱石運搬船「新鶴丸」(162,400DWT) において、5孔ピトー管による実船伴流計測実施 (SR107、1969年度～1973年度) ・住友重機械と三井造船との共同出資により東洋タービン (株)、設立 ・初の浚渫自動化した国内最大級ポンプ式浚渫船「若築丸」(9,000m³/h) 竣工 ・住友重機械追浜にてNCプラズマ切断機を実用化	・軽井沢浅間山荘篭城の赤軍派全員を逮捕 ・沖縄の施政権返還、沖縄県が発足 ・田中角栄、「列島改造論」を発表 ・田中首相訪中、日中国交正常化達成で合意 ・「1972年海上衝突予防条約」、採択 ・「コンテナ安全条約」、採択 ・浚渫船、新潟港で触雷沈没 ・「海上交通安全法」、公布
1973年 (昭和48年)	・国内16機関でストリップ法計算の比較検討 ・石川島播磨にてスターンバルブ採用高速コンテナ船「ぱしふぃっく・あろう」(26,837DWT、36,000馬力、22.8ノット、1,481TEU) 竣工 ・海洋開発審議会、「我が国海洋開発推進的基本的構想及び基本的方策について」(第1号諮問) 答申 ・運輸技術審議会、「100万重量トン型タンカーの建造に関する総合的な技術開発方策について」(諮問第2号) を答申 ・明石船型研究所、船型試験水槽 (長さ200m、幅13m、深さ6.5m) を建設 ・石川島播磨にて世界最大のタンカー「グロブティッ	・IMCOで「海洋汚染防止条約」、採択 ・円外国為替変動相場制に移行、為替損失が増大 ・「1973年MARPOL」条約採択 ・江崎玲於奈、ノーベル物理学賞を受賞 ・「ベトナム和平協定」、調印 ・原油公示価格を21%引上げと発表、第1次石油危機が起こる ・「投機防止法」、公布

年次	造船技術	海外技術及び一般情報
1973年 (昭和48年)	ク・トーキョウ」(483,664DWT、45,000馬力、14.3ノット) 竣工	
1974年 (昭和49年)	・日本小型船舶検査機構 (JCI)、発足 ・わが国初の地質調査船「白嶺丸」(990.8GT、D2,100馬力、15ノット) 竣工 ・阿賀沖に初の海底石油プラットフォームを設置 ・わが国初のローチングバージ「あがの」竣工 ・三井海洋開発にてわが国初の無索無人水中ロボット「OSR-V」完成 ・運輸技術審議会「エネルギー資源をめぐる環境の変化に対応するための船舶技術開発の具体的方策について」(諮問第7号) を第一次答申 ・小山、非定常プロペラ性能解析プログラムを発表 ・造船技術センター、キャビテーション水槽 (K&R、K15-A) を建設	・水島コンビナートからの流出油による瀬戸内海油汚染事故発生 (わが国最大約7,000kl) ・ニクソン大統領がウォーターゲート事件で辞任、フォード副大統領が昇格 ・三菱重工本社ビルで時限爆弾が爆発 ・原子力船「むつ」、放射線漏れの事故が発生 ・「1974年SOLAS条約」、採択 ・タンカー船腹過剰傾向等により、新造船の受注激減 (前年比の72%減) ・「小型船舶安全規則」、公布 ・「小型漁船安全規則」、公布 ・LPG船「第10雄洋丸」(43,723GT)、衝突炎上 ・消費者物価指数24.5%上昇 (狂乱物価)
1975年 (昭和50年)	・世界初のLASH FEDER BARGE竣工 ・三菱重工、LPG船タンク用の自動超音波探傷装置を開発 ・双胴高速旅客艇「ぶるーほうく」竣工 ・沖縄海洋博「海上都市アクアポリス」竣工 ・シートピア計画、水深100m海中実験を実施 ・石川島播磨呉にて世界最大のタンカ「日精丸」(484,377DWT、T45,000馬力、14.31ノット) 竣工 ・船舶技術研究所、わが国最大のキャビテーション水槽 (K & R K16-A中心間長さ18m、中心間高さ10m、最高流速20m/s) を建設 ・運輸技術審議会、第二次答申 (諮問第7号) ・大島造船所完成 (わが国最後の新造船所建設) ・VLCCの大量キャンセルにより船型変更が小型化	・初のコンクリート重力式プラットフォーム北海に設置 ・世界初の長崎海上空港を完成 ・スエズ運河が8年ぶりに再開 ・第1回主要先進国首脳会議 (サミット)、開催 ・沖縄海洋博覧会、開幕 ・タンカーのキャンセルが相次ぐ ・㈶日本造船振興財団が発足 ・ベトナム民族解放戦争、終結 ・「石油備蓄法」、公布 ・この年から造船不況始まる
1976年 (昭和51年)	・石川島播磨、高速NCマーキング装置を開発 ・北米航路のコンテナ船「米州丸」において上甲板応力などの自動計測を実施 (SR163、～1980年度) ・わが国最大のパイプレイバージ「第2くろしお」(長さ140m、725旋回クレーン) 竣工 ・試験水槽委員会に「操縦運動の数学モデル検討グループ (MMG)」設置 ・三菱重工神戸にてわが国最大級のコンテナ船「春日丸」(日本郵船、2,326TEU) 竣工 ・三菱重工長崎にて新形式の貨物船「VIVIEN」(ライパー、日本郵船、20,544DWT) ・世界初のセミサブ式重量物運搬船「OCEAN SERVANT Ⅰ」竣工	・周恩来首相死去 (78才) ・運輸省、船価指導を開始 ・操業量調整を勧告 ・ロッキード社の海外違法政治献金が暴露 (ロッキード事件) ・海上災害防止センター、設立 ・タンカー「菱洋丸」(52,157GT) の船体折損事故が発生 ・毛沢東共産党主席が死去 (82才) ・海運造船合理化審議会、1980年の船舶建造需要を650万トン程度、操業度を60%と予測し、造船能力調整を答申 ・南北ベトナム統一 ・わが国初の静止気象衛星「ひまわり」軌道に乗る ・文化大革命の混乱終息 ・ボンベイで日航機ハイジャック ・伊豆大島近海地震 (M7.0) ・1ドル237円70銭となる

年次	造船技術	海外技術及び一般情報
1977年 (昭和52年)	・三菱重工下関軽合金製大型高速旅客艇「シーホーク」(東海汽船、388GT、25ノット) 竣工 ・運輸技術審議会、「最近における情勢の変化に対応して船舶の性能改善および船舶の建造に関する技術の高度化を図るための問題点とその対策について」(諮問第8号) を答申 ・日本鋼管津研究所に船型試験水槽 (長さ240m、幅18m、深さ8m) を建設 ・凌ら、サーフェスパネル法によるプロペラ性能計算法を発表 ・三井造船、B&W型機関のロングストロール化 (18%低回転化) 達成 ・日立造船有明にて世界最大級のULCC「ESSO ATLANTIC」(508,731DWT、T45,000馬力×80rpm、15.2ノット) 竣工	・米・ソが200カイリ漁業専管水域実施 (領海200カイリ時代が来る) ・東京外為市場で円が急騰、1ドル＝268円60銭となる ・「12海里領海法」及び「200海里漁業水域暫定措置法」、制定 ・「1977年漁船の安全に関するトレモリノス条約」、採択 ・「1972年海上衝突予防条約」、発効 ・運輸省、主要造船所45社に対して2回目の業務に関する勧告を実施 ・造船不況の影響を受けて中小造船所の倒産が相次ぐ
1978年 (昭和53年)	・石川島播磨にて自航式半潜水型海上作業船「ナワール」竣工 ・三菱重工長崎にて世界最大のRO/RO船「BOOGABILLA」竣工 ・三井造船にて世界最大半潜水型デリックバージ「BALDER」と「HERMOD」竣工 ・初の浮遊式生産貯蔵設備 (FPSO、ブラジル向け) が建造 ・石川島播磨にてブラジル向け世界最大のパルププラントバージ (全長230m) が建造 ・運輸技術審議会、「浮遊式海洋構造物 (貯蔵船方式) による石油備蓄システムの安全指針について」(諮問第10号) を答申 ・足達ら、荷重度変更試験法を提案 ・三井昭島研究所に船型試験水槽 (長さ220m、幅14m、深さ6.5m) を建設 ・船舶技術研究所、海洋構造物試験水槽を建設 ・「特定不況産業安定臨時措置法」に基づく造船業の安定基本計画告示 ・三菱重工神戸にて600トンヘビーデリックを装備した重量物運搬船「あとらす丸」(20,763DWT) 竣工 ・三菱重工広島にて世界初の油回収機能付ドラグサクション浚渫船「清龍丸」竣工 ・世界初の自航セミサブ式LASH FEEDER BARGE「MAMMOTH OAK」(11,550DWT) 竣工	・メキシコ湾コニャック油田 (水深300m) に世界最大の生産プラットフォームを設置 ・「1973年MARPOL条約の1978年議定書」及び「1974年SOLAS条約の1978年議定書」、採択 ・半潜水船「アルビン」、東太平洋海嶺で熱水鉱床と新生物を発見 ・成田空港 (新東京国際空港) が開港 ・「日中平和友好条約」、調印 (北京) ・円高差益還元、電力・ガス料金値下 ・海洋油濁防止研究所設立 (筑波) ・「コンテナ条約」、わが国において発効 ・タンカーによる石油備蓄を開始 (長崎県橘湾) ・イラン革命が起こる ・1ドル175円50銭となる ・佐世保重工業救済案決定 ・「宮城県沖地震 (M7.5)」発生
1979年 (昭和54年)	・大型高速コンテナ船「加賀」(59,533DWT、39,000馬力、23.0ノット、3,618TEU) 竣工 ・球型有人潜水調査艇「たんかい」の試運転に成功 ・波力発電「海明」が完成、山形県由良沖で実験を開始 ・石川島播磨横浜研究所にキャビテーション水槽 (K&R、K15-E) を建設 ・住友重機械平塚研究所に船型試験水槽 (長さ120m、	・第2次石油危機が起こる ・独占禁止法による不況カルテル (39社) を認可 ・米国ハワイ島でMINI-OTECで温度差発電に成功 (50kW) ・53年度新造船建造許可実績が322万総トン (ピーク時48年度の9.5%) となる ・米・スリーマイル島の原子力発電所で大量の放射線漏れ事故が発生

年次	造船技術	海外技術及び一般情報
1979年 (昭和54年)	幅6m、深さ3.5m）を建設 ・防衛庁技術研究本部、SES船型実験艇「めぐろ」(全長18.5m、排水量30トン、GT1,050馬力×2、40ノット）を完成 ・初の高度合理化コンテナ船「きゃんべら丸」(30,700馬力）竣工	・米ソ、「SALT Ⅱ条約」、調印 ・「新経済社会7か年計画」(実質平均経済成長率5.7%想定）決定 ・円防衛対策発表 ・ソ連、アフガニスタンのクーデターに介入
1980年 (昭和55年)	・地質調査船「第2白嶺丸」(2,111GT、D2,100馬力×2、15.15ノット）竣工、マンガン団塊探査を開始 ・北太平洋を航行中の大型撤積貨物船「尾道丸」の船首部が折損 ・宮田ら、自由表面衝撃波モデルによる砕波抵抗理論を発表 ・東京大学に舶用プロペラ・キャビテーションタンネルを建設 ・船舶技術研究所に北川設計の氷海船舶試験水槽(長さ35m、幅6m、深さ2.1m）を建設 ・石川島播磨、世界最大級のサイドキャスティング・ドラグサクション浚渫船「HANG JUN 6002」(ホッパー容量6,622 m³）竣工 ・NKKにて、世界最大級の「LNTERMAC 650」(63,079DWT）竣工 ・日本鋼管津においてVLCC「SEAWISE GIANT」の船体中央部延長工事により世界最大船型(564,763DWT、T50,000馬力×91rpm、13.0ノット）に改造	・石油消費節約対策強化（7%節約）を決定 ・海底石油掘削リグ「アレキサンダー・キーランド号」の転覆海難事故が発生 ・海外造船協力センター、設立 ・イラン・イラク戦争が拡大 ・「1974年SOLAS条約」、発効 ・「海洋投棄規約条約」、わが国でも発効 ・公正取引委員会、造船不況カルテル延長を認可 ・電気・ガス料金大幅値上げ ・「石油代替エネルギー開発・導入促進法」、公布
1981年 (昭和56年)	・深海潜水調査船「しんかい2000」が三菱重工神戸にて、同支援船「なつしま」竣工 ・川崎重工坂出にてわが国初のMOSSタイプLNG船「GOLAR SPRIT」(80,239DWT、T45,000馬力、20.6ノット）竣工 ・追波中高速航行時の波浪荷重計算法改良（SR200） ・船研、レーザ光を利用したプロペラキャビティ形状計測法を開発、計測を実施（SR183） ・爆発圧着法による異材継手を採用したSWATH船型の調査観測船「ことざき」(27m、20.5ノット）建造 ・世界初の大口径4気筒主機(4RLA90）を「HOGDEN VOLGA」(65,689DWT）に搭載	・海底石油掘削リグ「オーシャン・レンジャー号」の転覆海難事故発生（カナダ沖北大西洋） ・政府、「行財政改革大綱」をを決定 ・福井謙一博士ノーベル化学賞受賞 ・1981年度後半から受注激減(韓国等の第3造船諸国の急速な躍進） ・「1974年SOLAS条約の1981年改正」採択 ・スペース・シャトルの打上げ成功
1982年 (昭和57年)	・NKK鶴見にて南極観測船「しらせ」(排水量11,600トン、30,000馬力、19.0ノット）竣工 ・住友重工追浜にて世界で初めてボイスコントロールシステムを採用した「紀ノ川丸」(第一中央汽船、177,000DWT、D20,400馬力×90rpm、13.8ノット）竣工 ・三菱重工長崎にて大型省エネルギーばら積み船「新豊丸」(新和海運、208,952DWT、D18,900馬力×2、13ノット）竣工 ・新製造法による50キロ球高張力鋼の有効利用に関する研究を実施（SR193）	・フォークランド紛争が勃発 ・「米ソ戦略兵器削減交渉」、開始 ・IMCOがIMOに名称変更 ・海運市況の低迷、新造船許可実績は435万総トン(昨年度比48%減） ・「トン数法」、施行 ・500円硬貨発行 ・省人化された近代船に対応する「船員法」 ・「船舶職員法」、改正公布 ・リニアモーターカー（超電導磁気浮上方式） ・世界で初めて有人浮上走行に成功

年次	造船技術	海外技術及び一般情報
1982年 (昭和57年)	・造船技術の超近代化に関する研究開発に関する造船工業会プロジェクトが発足（～1986年） ・運輸技術審議会、「最近における産業構造の変化、要素技術の進展等に対応して今後推進すべき造船技術開発について」（諮問第13号）を答申 ・航海訓練所「青雲丸」にHSPを装備し、プロペラに関する総合的実船実験（船尾変動圧力、キャビテーション、水中騒音）を実施（SR183、1980～1982年度） ・プロペラ回転数45rpmのCPPを装着したバラ積み貨物船「邦英丸」（15,000馬力）竣工 ・住友重機浦賀にてわが国初のガスタービン主機搭載の護衛艦「はつゆき」（排水量2,950トン）竣工 ・軽量小型隅肉自動溶接機「スオート」開発	
1983年 (昭和58年)	・三光汽船、省エネ型貨物船を大量発注 ・氷海用逆円錐形掘削リグ「KULLK」竣工 ・いわき沖にガス生産プラットフォーム設置（水深154m） ・むつ小川原石油備蓄基地向け「SALMブイ」完工 ・三菱重工長崎にてモジュール運搬船「SNIMOS ACE」（日本郵船、14,290GT、D8,750×2、13.1ノット）竣工 ・石川島播磨、NC化多層アークロボットを開発 ・㈶沿岸開発技術研究センター、発足 ・「高信頼度知能化船」の研究開発 ・ハンディ・バルクブームがあった ・わが国初の船舶超電導モータ（50馬力）開発 ・世界最大級で12ノットで自航出来るセミサブ式石油掘削リグ「OCEAN ODYSSY」（11,693GT）竣工 ・練習帆船「日本丸」竣工	・第2次臨時行政調査会、最終答申 ・メキシコ湾のレナ油田に世界初のガイドタワー設置 ・初の実用静止通信衛星「さくら2号a」を打ち上げ ・大韓航空機、ソ連軍機に撃墜（269人全員死亡） ・「1973年MARPOL条約の1978年議定書」発効 ・「船舶自動化設備特許規則」、公布 ・国債発行残高が100兆円を突破 ・秋田沖で「日本海中部地震」が発生（M7.7）（死者行方不明102人） ・新造船受注量、1,243万総トンを記録
1984年 (昭和59年)	・氷海用人工島リグ「SUPER CIDS」竣工 ・波力発電装置「海洋」発電を実験（出力10kw） ・石川島播磨、SPB式LNG船を開発 ・三井昭島研究所、キャビテーション水槽（K&R、K15-E）建設 ・石川島播磨、世界初の北極海向移動式人工島リグ「MOLIKPAQ」（最大排水量46,100トン）竣工 ・世界最大級起重機船「第50吉田号」（3,500トン吊り）竣工 ・わが国初のヘリコプター搭載大型巡視船「せっつ」（3,334GT）竣工	・北海のHutton油田に世界初のTLPプラットフォームを設置 ・わが国初の実用放送衛星「ゆり2号a」が打ち上げ ・江崎グリコ社長誘拐事件、発生 ・「ポートステート・コントロール」、実施 ・「STCW条約」、発効
1985年 (昭和60年)	・超省エネルギータンカー「出光丸」（258,090DWT）竣工 ・川崎重工にて海中作業実験船「かいよう」竣工 ・当時世界最大のタンカー「日石丸」（372,000DWT）解徹 ・三井造船にて世界最大セミサブデリックバージ「DB102」（6,600ST×2基）竣工	・米、大西洋4,000mの海底で「タイタニック号」を発見 ・青函トンネル（53.85km）が貫通 ・科学万博つくば85が開幕 ・日航ジャンボ機が群馬卸巣鷹山に墜落（520人死亡、4人生還） ・大鳴門橋（鳴門-淡路島間1690m）が開通

年次	造船技術	海外技術及び一般情報
1985年 (昭和60年)	・吉岡、「ウィリアム・フルード伝」出版	・海運造船合理化審議会、「今後の造船業の経営安定化および活性化の方策はいかにあるべきか」を答申 ・三光汽船、会社更生法適用を申請（負債総額5,200億円）
1986年 (昭和61年)	・実験用海洋構造物「ポセイドン号」実海域実験開始 ・世界初のＰＴＳ浮体式石油生産システム「PETROJARL-1」竣工 ・高知県室戸に海洋深層水研究所が設立 ・潜水艇支援調査船「へりおす」の沈没事故が発生 ・石川島播磨にて、世界最大のセミサブリグ「ZANE BARNES」(29,135GT) 竣工 ・船体振動・起振力の総合推定システムの開発と実船計測での検証を実施(無振動高品位船開発プロジェクト、～1989年度) ・国産初の船舶超導電気推進システム（650馬力）開発	・米のスペースシャトル・チャレンジャー、打ち上げ72秒後に爆発（乗員7人死亡） ・東京為替市場で1ドルが189円85銭に下落 ・ソ連のチェルノブイリ原子力発電所で事故発生 ・「特定外航船舶解徹促進臨時措置法」、公布
1987年 (昭和62年)	・無人探査機「ドルフィン3K」竣工 ・海洋ケーブル探査用ROV「MARCAS 25」竣工 ・新世代における船舶の設計・建造および保全技術に関する研究が実施（SR210, ～1988年度） ・わが国最大級の全旋回式クレーン（1,500トン吊り）「第1豊号」竣工	・国鉄が民営化、114年余の歴史に幕 ・ノーベル医学生理学賞に利根川博士 ・NY株式市場大暴落 ・1ドルが130円を切る円高となる ・公正取引委員会、造船不況カルテルを認可 ・「特定船舶製造業経営安定臨時措置法」、公布 ・海運造船合理化審議会、「造船設備の20%削減や業界集約化を骨子とする造船業の経営安定化策」答申
1988年 (昭和63年)	・世界最先端の省人化、省エネ化を織り込んだVLCC「日石丸」(258,094DWT、D23,640馬力、14ノット) 竣工 ・上五島石油洋上備蓄貯蔵システムが完工 ・三菱長崎にて二重反転プロペラを装着した「とよふじ5号」竣工 ・石川島播磨重工、貨物船「JUNO」に2重反転プロペラを換装	・掘削船「DISCOVER SEVEN SEAS」、メキシコ湾で最大掘削水深記録（3228m） ・メキシコ湾Bullwinkle油田（水深411m）に世界最大のジャケットプラットフォーム設置 ・本州－四国を結ぶ瀬戸大橋が開通 ・東京湾で潜水艦、釣り船の衝突事故発生 ・ドル安円高続く、120円台へ ・「特定船舶製造業経営安定臨時措置法」に基づく設備処理、事業提携を実施 ・海運造船合理化審議会、「今後の造船対策のあり方について」を答申 ・OECD造船部会を東京で開催
1989年 (昭和64年／平成元年)	・練習帆船「海王丸」竣工 ・深海潜水調査船「しんかい6500」竣工 ・造船CIMS、パイロットモデルの研究開発を開始 ・潜水観光船「もぐりん」就航 ・三菱重工神戸で戦後初の大型外航旅客船、「ふじ丸」（大阪商船三井船舶、23,340GT、D10,700馬力×2、20ノット）が竣工 ・テクノ・スーパーライナー技術研究組合、発足（～1996年） ・船研・三井昭研等により実船プロペラ翼面圧力計測法を開発、航海訓練所「青雲丸」にて世界で初めて計測に成功（SR206、～1990年度）	・アラスカ沖で、VLCC「エクソン・バルデーズ」の座礁による石油流出事故が発生 ・昭和天皇没（87歳） ・消費税（3%）が導入 ・中国、「天安門事件」（北京）が起こる ・昨年に引き続き不況カルテル実施 ・日本労働組合総連合会（連合）、発足 ・第1回日米構造会議（UJNR）が開かれる ・サンフランシスコでの大地震（M7.1）が発生 ・東西冷戦終結 ・「ベルリンの壁」崩壊 ・「造船業基盤整備事業協会」発足

年次	造船技術	海外技術及び一般情報
1989年 (昭和64年／ 平成元年)	・石川島播磨にて世界最大FPSO「CHALLIS BENTURE」(貨物タンク139,000 m³) 竣工 ・NKK津造船所にて「おせあにっく・ぐれいす」(5,218GT、D3,530馬力×2、18ノット) 竣工 ・NKK津造船所にてオフセンタ・プロペラ鉄鉱石運搬船「尾上丸」(日本郵船、233,000DWT、D19,700馬力×56rpm、14ノット) 竣工	・業況の好転により、「不況カルテル」打ち切り ・政府助成削減に関する基本的考え方を米国、OECD造船部会に提出
1990年 (平成2年)	・川崎重工にて深海潜水調査船支援母船「よこすか」(4,500GT、D3,000×2、16ノット) が竣工 ・この頃、大型タンカーの2重船殻構造が要求されるようになった ・無索無人潜水機「プテロア150」初の自立遊泳成功 ・試運転成績の波浪修正法の研究 (SR208、～1992年度) ・三菱重工長崎にて大型外洋客船「クルスタル・ハーモニー」(48,621GT、22ノット、乗客960) 竣工 [Ship of the Year '90]	・ソ連・初代大統領にゴルバチョフが就任 ・イラク軍がクウェートに侵略、全土を制圧合併 ・東西ドイツの統一なる ・ゴルバチョフ・ソ連大統領にノーベル平和賞を授与 ・韓国がOECDに正式に加盟 ・即位の礼 ・3月以来6年半ぶりに長期プライムレートが8%の水準を超える (8.5%) ・海洋開発審議会、「長期的展望に立つ海洋開発の基本的構想および推進方策について」を第3次答申
1991年 (平成3年)	・大型船の波浪変動水圧による外板疲労強度の研究 (SR216、～) ・三菱重工長崎にて大型客船「飛鳥」(28,717GT、D11,770馬力×2、21ノット) 竣工 ・内海造船にて内航RORO船「日産むさし丸」(九州急行フェリ、7,389GT、20.8ノット) 竣工 [Ship of the Year '91] ・住友重機追浜にて世界初のダブルハル式タンカー「OLYMPIC SERENITY」(96,733DWT、D14,200馬力×103rpm、13.9ノット) 竣工	・多国籍軍、イラクを空爆 (湾岸戦争勃発) ・都庁、日本一高層ビル新宿庁舎に移転 ・ロンドン・サミットG7＋1は、対ソ連支援で合意 ・ソ連邦でクーデター勃発、2日後に失敗に終わる (ソ連邦の崩壊) ・海運造船合理化審議会、「21世紀を展望したこれからの造船対策のあり方について」答申
1992年 (平成4年)	・石川島播磨、超細長双胴旅客船 (SSTH)「トライデント」(深日海運、52GT、D440kW×2、27.3ノット、乗客68名) 竣工、 [Ship of the Year '92] ・わが国最高速力の長距離フェリー「パシフィック・エキスプレス」(26.2ノット) 竣工 ・超電導電磁推進実験船「ヤマト1」竣工 ・テクノ・スーパーライナーの実海域模型船の建造を決定 ・船殻ブロックや船体の3次元計測法が実用化 ・プルトニウム海上輸送を護衛する世界最大の巡視船「しきしま」竣工 ・船研、船体まわりの流場計算のためのCFDコード (NICE) を開発、造船所に公表	・「国連平和維持活動 (PKO) 協力法」が成立 ・「育児休業法」が成立 ・ユーゴスラビアの解体 ・「脳死臨調」、脳死を人の死と答申
1993年 (平成5年)	・日立造船有明にてわが国初のダブルハルタイプVLCC「AROSA」(291,381DWT、D29,600馬力) 竣工 ・船研、高性能スーパーキャビテーティング・プロペラ設計法を開発 (SR214、1991年度～) ・石川島播磨にて二重反転プロペラ搭載VLCC「沖ノ嶋丸」(258,079DWT、D27,220馬力、15.7ノット) 竣工	・「IMO操縦性暫定基準A751 (18)」採択 ・メキシコ湾に世界最大水深のTLP生産プラットフォーム設置 ・55年体制が崩壊、新党さきがけ、新生党が結成 ・40年ぶりの冷夏不作による米不足、米を緊急輸入 ・皇太子徳仁と小和田雅子、御成婚 ・イスラエルとパレスチナPLOの和平成立 ・ドルが一時100円80銭となる

年次	造船技術	海外技術及び一般情報
1993年 (平成5年)	・石川島播磨愛知にてSPBタイプLNG船の第1船「POLAR EAGLE」(T21,000馬力、18.5ノット、貨物タンク87,660m³) 竣工 [Ship of the Year '92] ・三菱重工長崎にて世界初の二重反転プロペラ装備VLCC「COSMO DELPHINUS」(新和海運258,095DWT、D28,000馬力×84rpm、15.3ノット) 竣工 ・イージス艦63DDG「こんごう」(基準排水量7,250トン、ガスタービン、30ノット) 竣工 ・住友重機浦賀にて全没型水中翼船「高速ミサイル艇1号」(排水量50トン、GT4,000馬力、46ノット) 竣工 ・トプスルターナ型練習帆船「あこがれ」竣工 ・世界最大級高濃度泥土圧送船「伯凌」竣工 ・新設計手法DLAを適用したVLCC「EAGLE」(301,500DWT) 竣工	・冷夏による米不足、米緊急輸入
1994年 (平成6年)	・世界最大級100MW発電バージ2隻竣工 ・「新マリノベーション構想」、策定 ・防衛庁技術研究本部、SES船型実験艇「めぐろ2」完成、船速60ノットを達成 ・TSL技術研究組合、実験船建造 ・石川島播磨呉にて世界初の大型オープンハッチコンテナ船「NEDLLOYD ASIA」(46,985DWT) 建造 ・川崎重工神戸にて高速カーフェリ「はやぶさ」(船舶整備公団／九四フェリーボート、570DWT、30ノット) 竣工 [Ship of the Year '94]	・バルト海でフェリー「エストニア号」が転覆 ・小選挙区比例代表制の導入 ・自民党の政権復帰、新進党の結成 ・奥尻島、津波により甚大な被害 ・「製造物責任(PL)法」、成立 ・関西国際空港の開港 ・大江健三郎、ノーベル賞を受賞 ・「SOLAS条約」、改正(損傷時復元性)
1995年 (平成7年)	・メガフロート技術研究組合が設立 ・石川島播磨にて海洋気象観測船「凌風丸」(気象庁、1,380GT、14ノット) 竣工 ・三井造船玉野／三菱重工長崎にてTSL実海域実験船「飛翔」(200DWT、54.25ノット) 竣工 [Ship of the Year '95] ・三菱重工神戸にて世界初のフェリー式コンクリートミキサー船「第18神昭」竣工 ・三菱重工長崎にてオーバーパナマックス型コンテナ船「OOCL AMERICA」(50,013DWT、66,120馬力、24.6ノット、4,960TEU) 竣工 ・世界最大グラブ式浚渫船「東祥」(200m³/h) 竣工 ・住友重機浦賀にて最新銃兵装機器装備の試験艦「あすか」(基準排水量4,250トン、GT43,000馬力、27ノット) 竣工	・住専問題が表面化 ・大阪でアジア太平洋経済協力会議(APEC)、開催 ・阪神淡路大震災が発生 ・「東京地下鉄サリン事件」発生、オウム真理教祖麻原彰晃らを逮捕 ・世界貿易機関(WTO)が発足
1996年 (平成8年)	・世界初の多目的船(OBO)「サン・ファン・トレーダー号」(6,3410DWT) 竣工 ・石川県播磨にて世界最高速の長距離大型フェリー「すずらん」「すいせん」(ともに新日本フェリー17,345GT、D23,830kW×160.7rpm×2、29.4ノット) 竣工 ・石川県播磨東京にて最新型の汎用大型護衛艦「むらさめ」(基準排水量4,400トン、GT60,000馬力、30	・社会党が社会民主党へ党名変更 ・「HIV訴訟」の和解成立

年次	造船技術	海外技術及び一般情報
1996年 (平成8年)	ノット）竣工 ・石川島播磨、世界初の新造LPG FSO「ESCRAVOS」（貨物タンク 55,400 m³）建造 ・艤装期間を約8ヶ月に短縮した小型LNG船「SURYA AKI」（貨物タンク 19,100m³）竣工 ・わが国最大級の全旋回式クレーン装備の多目的作業船「第60吉田号」（1,700トン吊り）竣工 ・初の漁業取締船「東光丸」（290GT、20ノット）竣工	

年表あとがき

年表は本文の他、次の文献を参考に作成した。

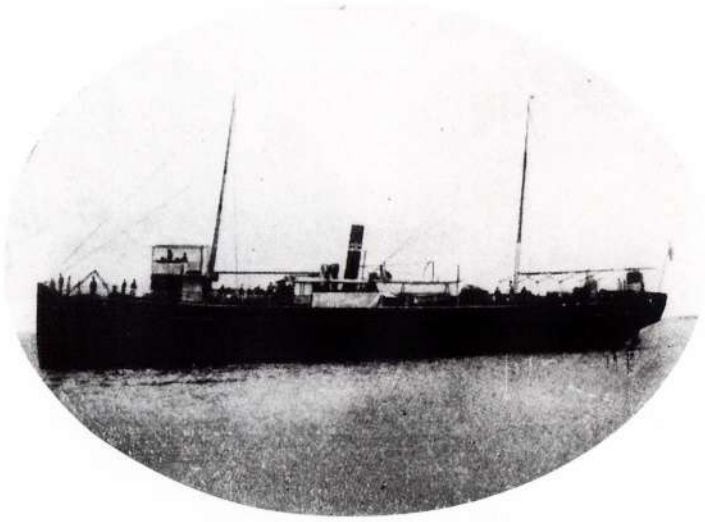
1. 日本造船学会：昭和造船史、第1及び2巻、原書房（1973）
2. 日本海事協会：日本海事協会75年史、日本海事協会（1976）
3. 船舶技術研究所：船舶技術研究所三十年史、船舶技術研究所（1993）
4. 船舶技術研究所：船舶技術研究所二十年史、船舶技術研究所（1983）
5. 船舶技術研究所：船舶技術研究五十年、船舶技術研究所（1966）
6. 日本造船研究協会：日本造船研究協会40年史、日本造船研究協会（1993）
7. 運輸省海上技術安全局検査測度課、安全基準管理室：船舶検査百年史、運輸省（1985）
8. 岩波書店編集部：近代日本総合年表（第3版）、岩波書店（1991）

年表中、馬力に関してDはディーゼル、Tはタービン、Rはレシプロの各機関を意味する。船速は主として巡航船速を表示した。DWTは載貨重量トン、GTは総トン、排水量は試運転または常備排水量を表示した。

第Ⅶ部

写　真　集

商　　船



朝日丸（ASAHI MARU）

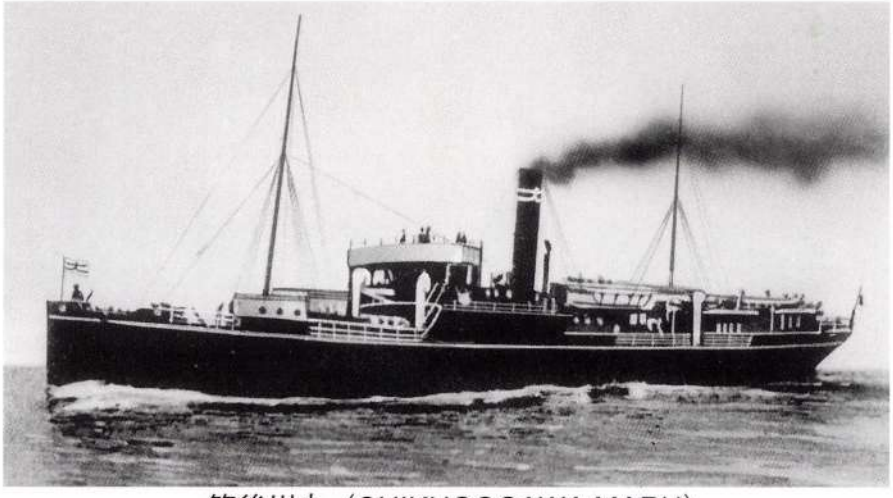
初期の鉄製大型船。明治初期～中期頃までは殆どが木造船であったが、関西の豪商中村新次郎氏が鉄船を発注、1884年（明治17年）に創立された大阪商船が買い取った。

船種：貨客船（CARGO PASSENGER）　船首：大阪商船　建造：1884年　海軍小野浜造船所

垂線間長：49.4m　型幅：6.7m　型深：5.8m　満載喫水：3.5m

総トン数：495トン　載貨重量：600トン　主機：56馬力（MCO）　2速成レシプロ　航海速力：8.5ノット

（写真提供：大阪商船三井船舶㈱）



筑後川丸（CHIKUGOGAWA MARU）

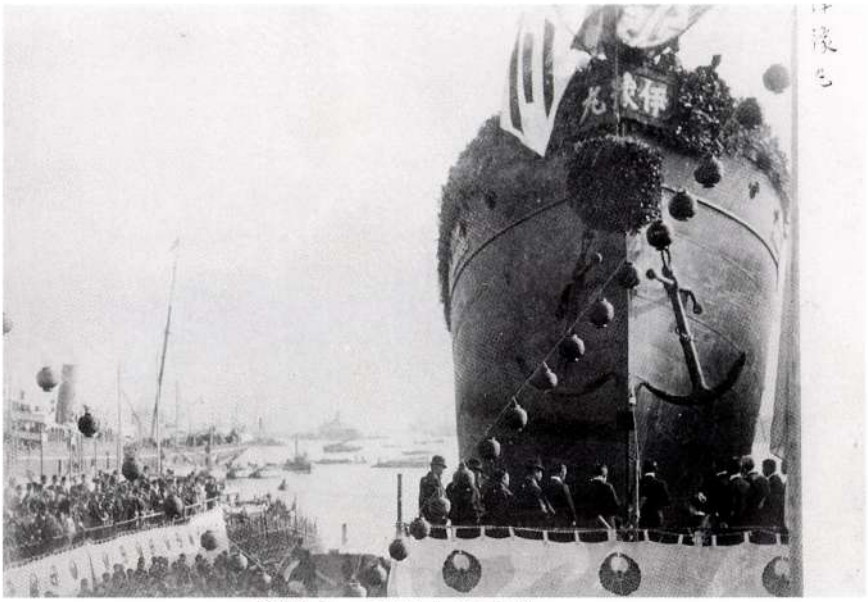
我が国最初の鋼船で、6隻同時に建造された。一時日清戦争の軍用船となり海軍測量船として活躍したが、のち大阪商船で1930年（昭和5年）まで就航した。

船種：貨客船（PASSENGER）　船主：大阪商船　建造：1890年5月　三菱長崎造船所

垂線間長：51.8m　型幅：8.5m　型深：5.5m　満載喫水：4.0m

総トン数：694トン　載貨重量：720トン　主機：740馬力（MCO）　3連成レシプロ　航海速力：10.5ノット

（写真提供：大阪商船三井船舶（株）／三菱重工業㈱）



伊豫丸（IYO MARU）

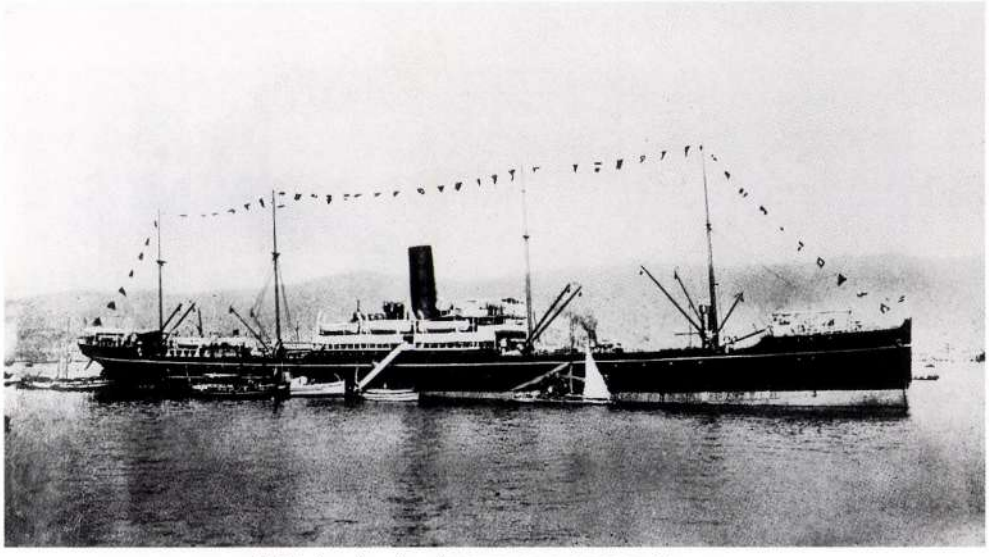
創業第１番船で、造船奨励法の適用を受けた第１船である。

船種：貨物船（CARGO SHIP）船主：伊豫汽船　建造：1897 年 12 月　川崎造船所

垂線間長：180ft（54.86m）型幅：26ft-6in（8.08m）型深：20ft-6in（6.25m）満載喫水：12ft-71/2in（3.85m）

総トン数（GT）：727 トン　主機：878 馬力　レシプロ機関１基　速力：11.5 ノット

（写真提供：川崎重工業㈱）



常陸丸（Ⅰ）（HITACHI MARU）

欧州航路向けにわが国で建造された大型船第一船。

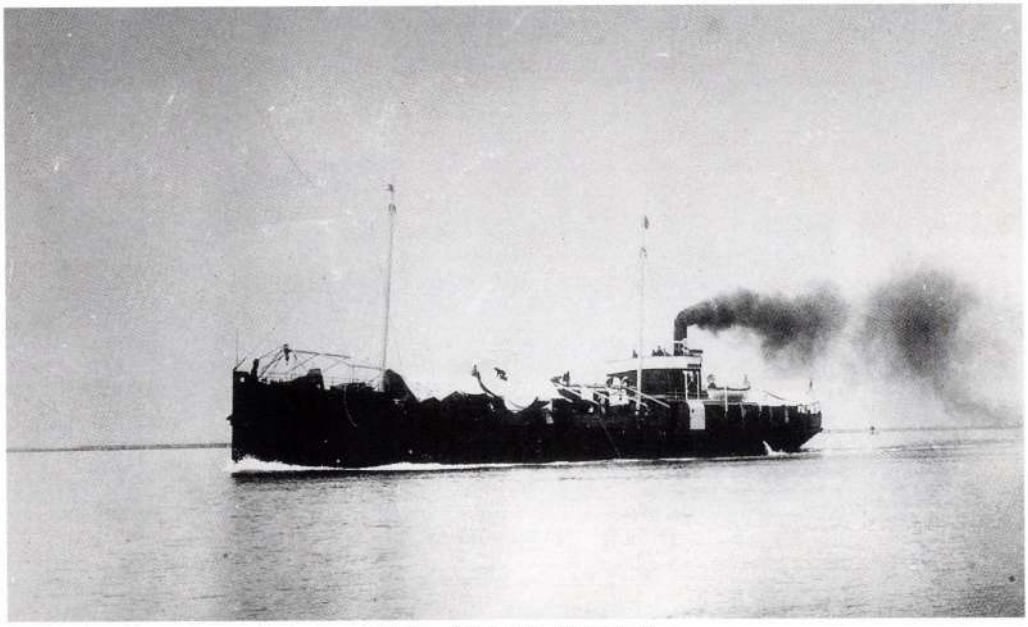
三菱会社では、英国から造船技術者を招聘、設計図および材料も当時同型船を建造中の英国から輸入した。

船種：貨客船　船主：日本郵船　建造：1898 年５月　三菱合資会社長崎造船所

垂線間長：135.635m　型幅：14.996m　型深：10.24m

総トン数（GT）：6,172 トン　主機：3,847 馬力　三連成二基　航海速力：15.03 ノット

写真提供：日本郵船㈱／三菱重工業㈱）



虎丸（TORA MARU）

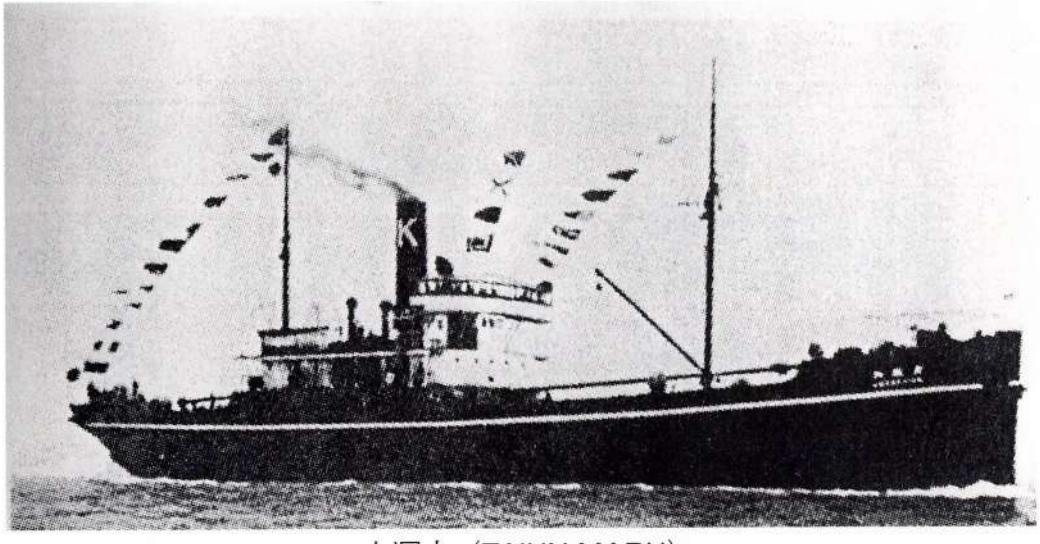
我が国で初めて建造された鋼製タンカー。タンク容量は 400 トン

船種：原油タンカー　船主：スタンダード石油会社（米国）　建造：1908 年 9 月　大阪鉄工所桜島

垂線間長：175ft　型幅：28ft　型深：12ft

総トン数：531 トン　主機：464 馬力　タービン　速力：10.4 ノット（試運転最大）

（写真提供：日立造船㈱）



大運丸（TAIUN MARU）

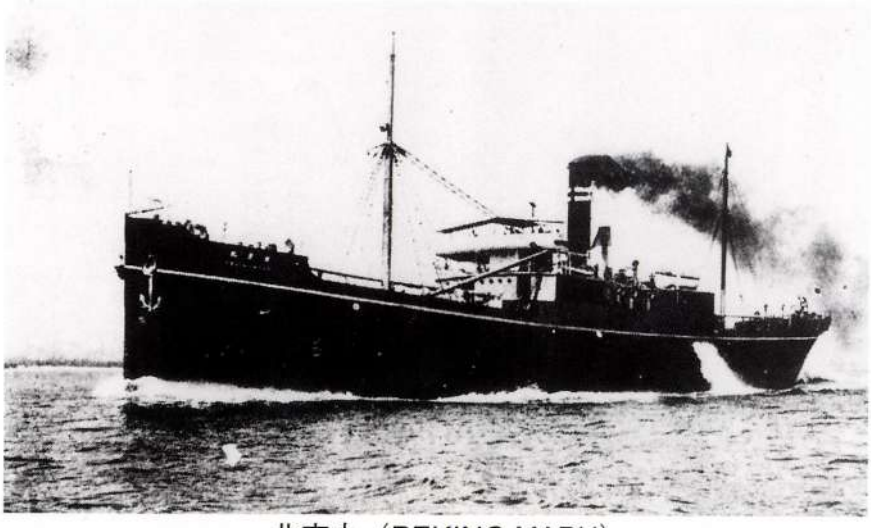
ストックボートの第 1 番船にあたる。後に杭州丸と改名。

船種：貨物船（CARGOSHIP）船主：川崎造船所　建造：1911 年 1 月　川崎造船所

垂線間長：295ft（89.92m）　型幅：45ft（13.72m）　型深：25ft（7.62m）　満載喫水 20ft-113/4in（6.39m）

総トン数（GT）：2,940 トン　載貨重量（DW）：4,522 トン　主機：1,241 馬力　レシプロ機関 1 基　速力：11.51 ノット

（写真提供：川崎重工業㈱）



北京丸（PEKING MARU）

我が国建造最初のイシャーウッド式構造船。イシャーウッド式とは、従来の横肋骨方式と比較して、構造が堅牢・航海中の振動が少ない・鋼材使用量が少ない（船体が軽くなり、載貨重量が増える）・修繕費、維持費が安い・工期が短いなどの特徴を持っている。

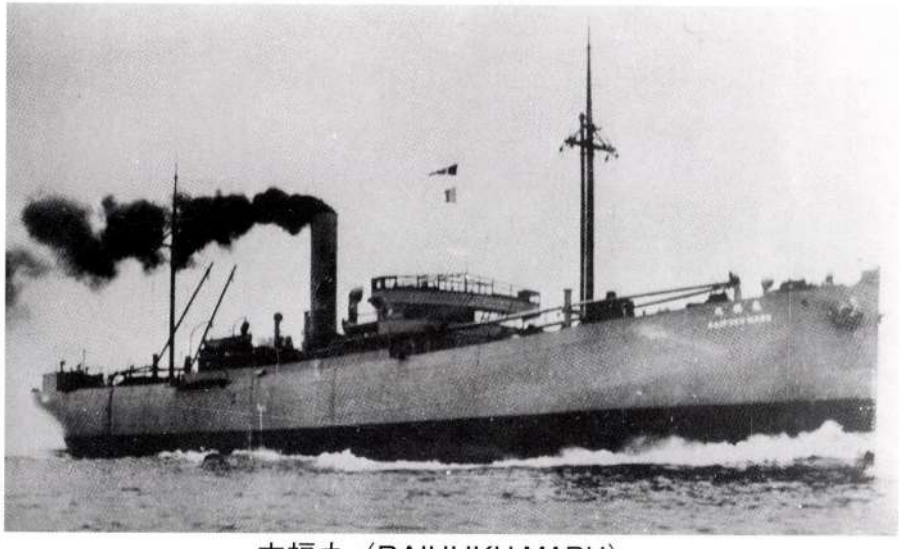
船種：貨物船　船主：大阪商船　建造：1914 年 8 月　大阪鉄工所桜島

垂線間長：305ft　型幅：43-9ft　型深：27-3ft

総トン数：3,182 トン　載貨重量：5,096 トン

主機：1,648 馬力　レシプロ機関　速力：12.2 ノット（試運転最大）

（写真提供：大阪商船三井船舶㈱／日立造船㈱）



來福丸（RAIHUKU MARU）

30 日間の短期建造世界記録を樹立したストックボート。後に大福丸と改名。

船種：貨物船（CARGO SHIP）船主：川崎造船所　建造：1918 年 11 月　川崎造船所

垂線間長：385ft（117.35m）　型幅：51ft（15.54m）　型深：36ft（10.97m）　満載喫水：27ft-1.33ft（8.26m）

総トン数（GT）：5,857 トン　載貨重量（DW）：9,081 トン　主機：3,776 馬力　レシプロ機関 1 基　速力：14.39 ノット

（写真提供：川崎重工業㈱）



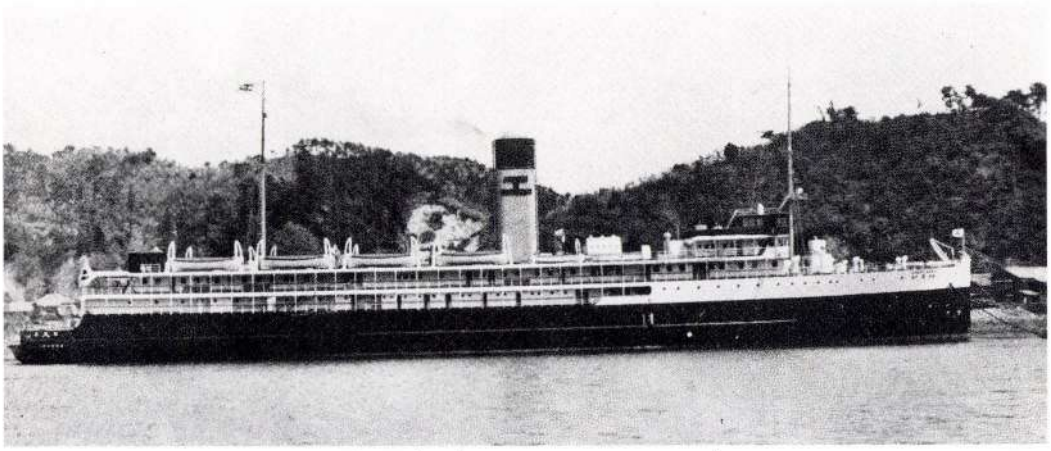
赤城山丸（AKAGISAN MARU）

輸入 B&W 型主機を搭載した日本初のディーゼル貨物船

船種：貨物船　船主：三井物産　建造：1924 年 9 月　三井造船玉野造船所

総トン数（GT）：4,631 トン　主機：1,600PS ディーゼル

（写真提供：三井船舶㈱）



翔鳳丸（SHOUHOU MARU）

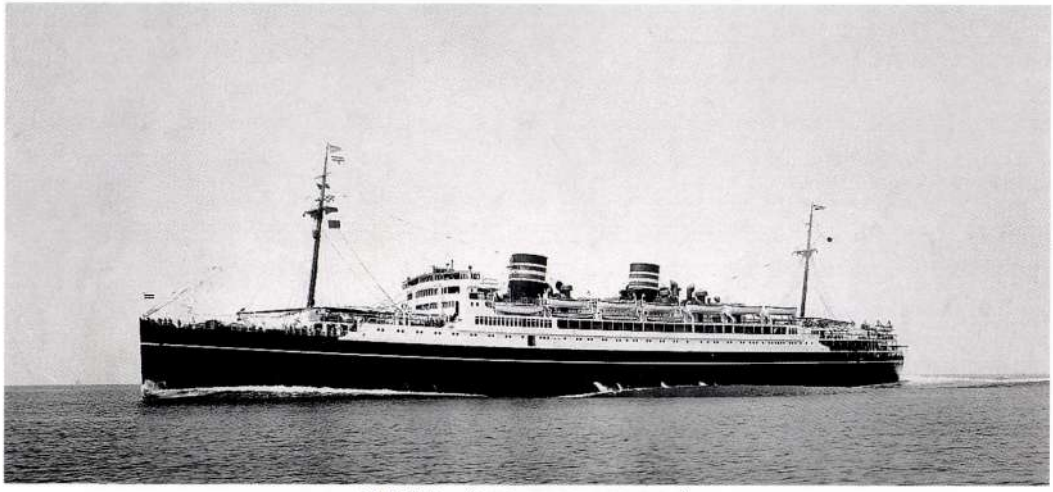
我国最初の旅客兼車両渡船であり、建造中関東大震災に遭遇したが幸い難を逃れた。船体・主機共に当時画期的なデザインで豪華青函連絡船として名を馳せた。

船種：旅客兼車両渡船　船主：鉄道省　建造：1924 年 4 月　浦賀船渠浦賀造船所

垂線間長：350ft（106.7m）　型幅：52ft（15.8m）　型深：22ft（6.7m）

総トン数（GT）：3,460 トン　主機：2 × 2,865 馬力 X190rpm　蒸気タービン　速力：16.9 ノット（試運転最大）

（写真提供：住友重機械工業㈱）



浅間丸（ASAMA MARU）

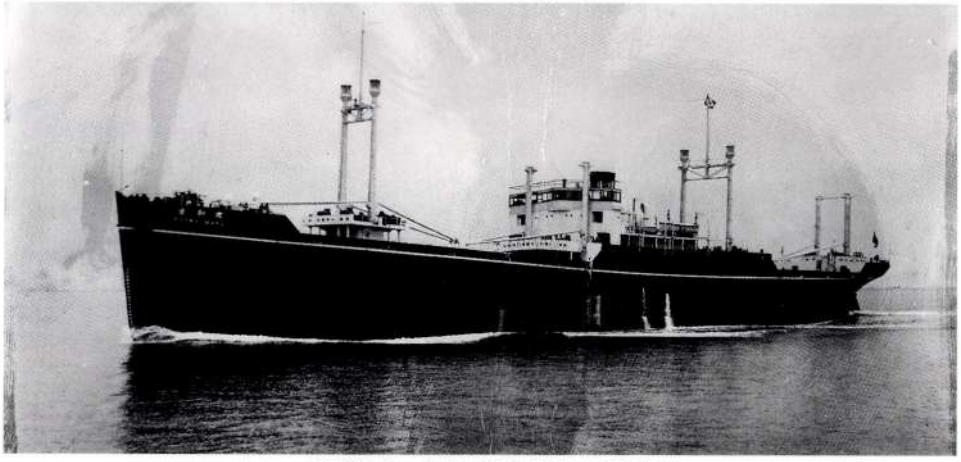
昭和初期の日本を代表する豪華客船で“海の女王”と呼ばれた。英国クラシック調を基調とする船内の内装は、竣工前より内外で大評判であった。

船種：客船　船主：日本郵船㈱　建造：1929 年 9 月　三菱造船長崎造船所

垂線間長：178.00m　型幅：21.95m　満載喫水：8.689m

総トン数：16,947 トン　主機：16,000 馬力　ディーゼル　航海速力：20.713 ノット

（写真提供：日本郵船㈱／三菱重工業㈱）



幸和丸（KOUWA MARU）

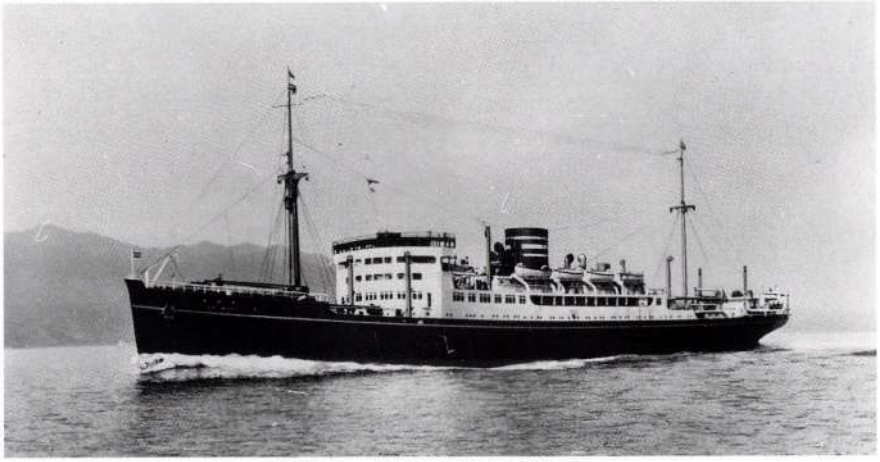
わが国で初めて 2 サイクルディーゼル主機（MAN）を採用した船舶であり、又独自の直線式船体線図や断切縦通材式二重底構造を初めて採用した技術革新的な船舶として当時話題になった。

船種：貨物船　船主：昭和商船　建造：1929 年 6 月　浦賀船渠浦賀造船所

垂線間長：415ft（126.5m）　型幅：56ft（17.1m）　型深：31ft-9inch（9.7m）

総トン数（GT）：5,847 トン　載荷重量（DW）：9,119 トン　主機：3,200 馬力 X107rpm　ディーゼル　速力：15.3 ノット（試運転最大）

（写真提供：住友重機械工業㈱）



平安丸（HEIAN MARU）

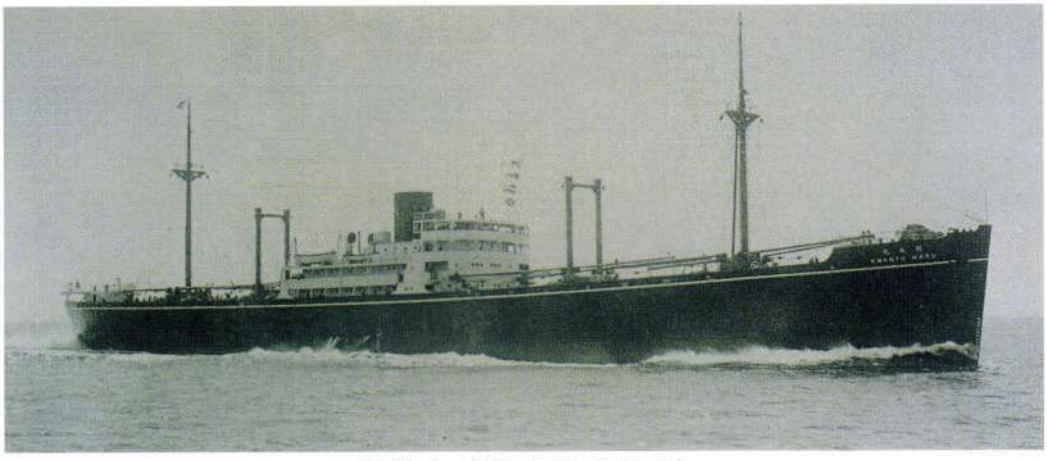
北米シアトル航路の豪華貨客船。桜島工場背面の安治川の川幅は約207mしかなく、船の全長／川幅の比が0.5以上は進水困難という従来の常識を大幅に覆す0.615という河川進水記録を達成。

船種：貨客船　船主：日本郵船　建造：1930年11月　大阪鉄工所桜島

垂線間長：510ft　型幅：66ft　型深：41ft

総トン数：11,616トン　載貨重量：10,223トン　主機：5,500馬力×2（MCO）　速力：18.4ノット（試運転最大）

（写真提供：日立造船㈱）



関東丸（KANTO MARU）

パナマ運河経由、ニューヨークライナーとして活躍した世界一の高速優秀貨物船。

船種：貨物船（CARGO）船主：岸本汽船　建造：1930年9月　横浜船渠

垂線間長：140.21m　型幅：18.75m　型深：12.12m

総トン数（GT）：8,601トン　主機：7,500馬力　ディーゼル　航海速力：18.34ノット

（写真提供：三菱重工業㈱）



氷川丸（Ⅰ）（HIKAWA MARU）

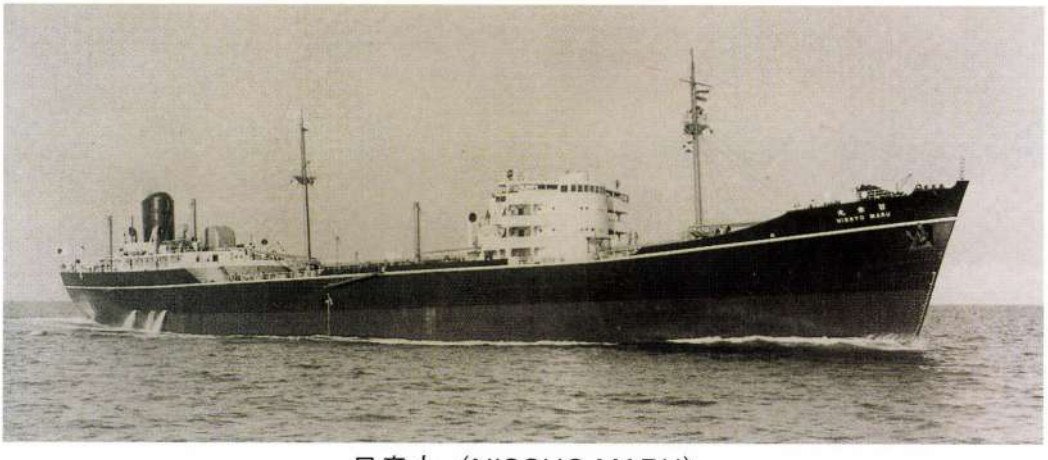
シアトル航路用に建造された。1941年海軍特設病院船となり、戦後も復員輸送に従事、1953年再びシアトル航路に就航、1960年第一線を退くまで、太平洋横断238回、船客数25,000余名。

船種：貨客船　船主：日本郵船　建造：1930年4月　横浜船渠

垂線間長：155.94m　型幅：20.50m　型深：12.50m　満載喫水：9.232m

総トン数：11,622トン　主機：11,000馬力　ディーゼル2基　航海速力：18.21ノット

（写真提供：日本郵船㈱／三菱重工業㈱）



日章丸（NISSHO MARU）

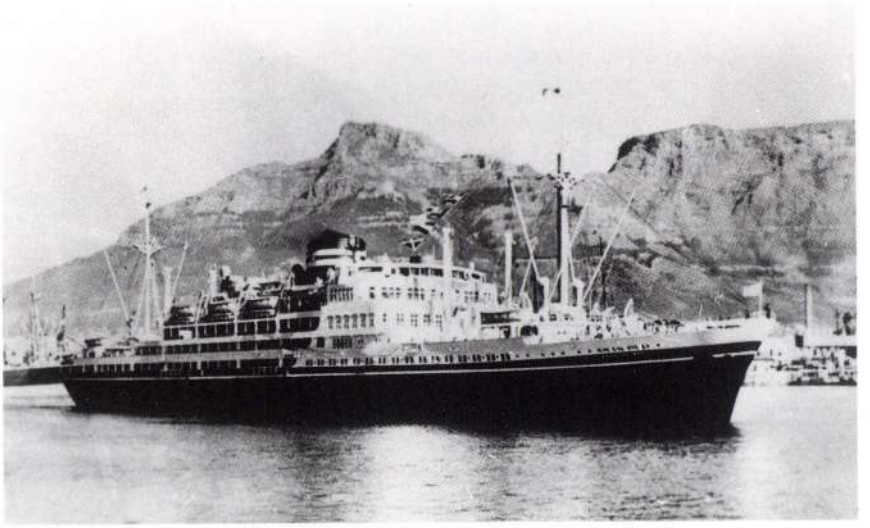
美しい流線型の船体は、19.6Ktに達する速力を誇った日本のタンカー史上に残る名船。

船種：油槽船（TANKER）船主：昭和タンカー　建造：1938年11月　横浜船渠

垂線間長：159.0m　型幅：20.0m　型深：12.0m

総トン数（GT）：10,526トン　主機：9,400馬力　ディーゼル　航海速力：19.59ノット

（写真提供：三菱重工業㈱）



あるぜんちな丸（ARGENTINA MARU）

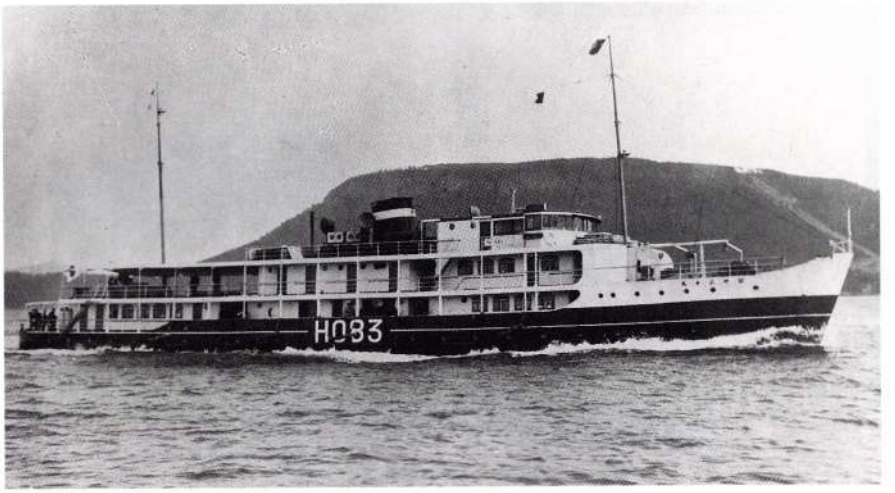
戦前の日本貨客船の大傑作で南米移民輸送と世界一周船として建造されたが、のち空母「海鷹」に改造された。同型船としてぶらじる丸がある。

船種：貨客船（CARGO PASSENGER）　船主：大阪商船　建造：1939年5月　三菱長崎造船所

垂線間長：155.0m　型幅：21.0m　型深：12.6m　満載喫水：8.6m

総トン数（GT）：12,755トン　載貨重量（DW）：7,769トン　主機：18,280馬力（MCO）ディーゼル2基　航海速力：17.2ノット

（写真提供：大阪商船三井船舶㈱／三菱重工業㈱）



はやぶさ丸（HAYABUSA MARU）

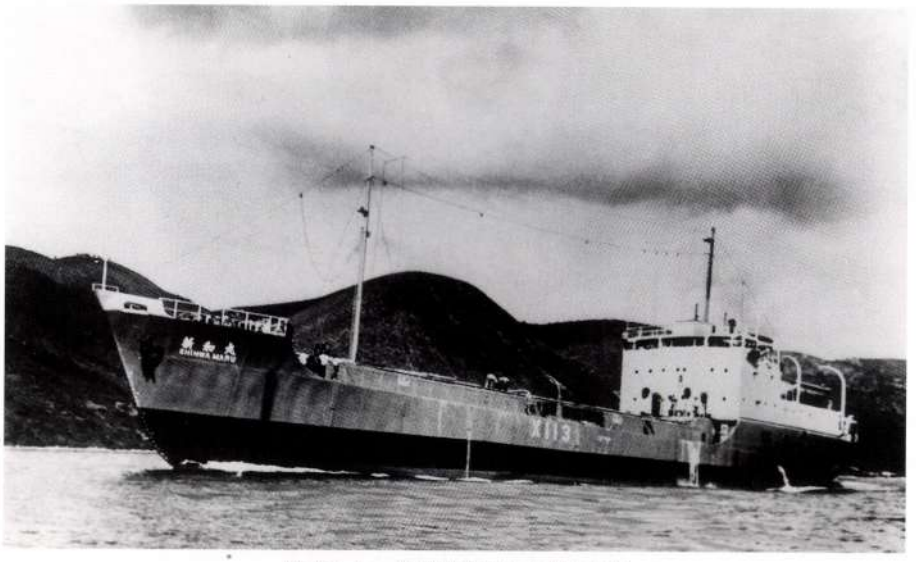
戦後我が国で初めての客船で、当時の最優秀船として昭和天皇淡路行幸のお召船に採用された。

船種：客船　船主：関西汽船　建造：1947年10月　佐野安船渠

垂線間長：47.0m　型幅：7.7m　型深：9.0m　満載喫水：2.4m

総トン数（GT）：391トン　主機：500馬力X290rpm（MCO）　速力：13.4ノット（試運転最大）12.45ノット（航海速力）

（写真提供：㈱サノヤス・ヒシノ明昌）



新和丸（SHINWA MARU）

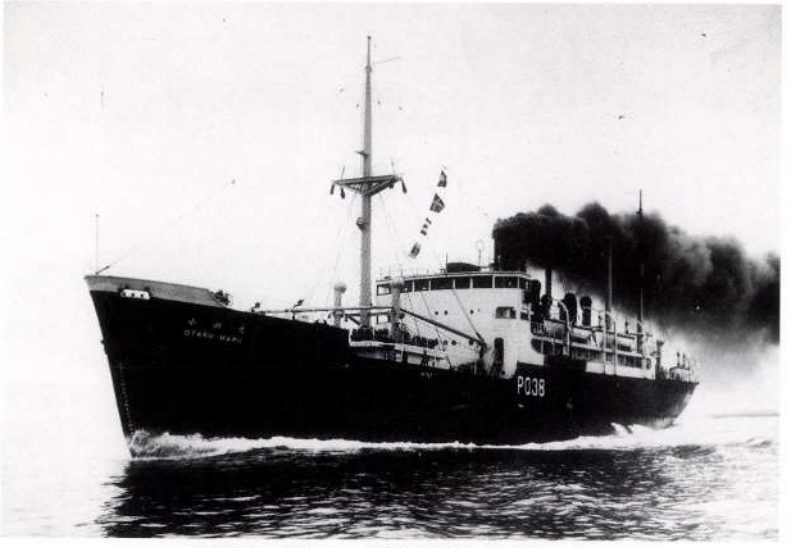
第二次世界大戦における戦時標準船の建造では鋲に代わって大幅に溶接を取り入れるようになった。戦後間もない新和丸の建造では設計、工作の両面でさらに研究を進め全面的に溶接ブロック工法を採用した。わが国における初の全溶接船であり、その後の溶接化に拍車をかけた。

船種：タンカー　船主：飯野海運　建造：1948 年　播磨造船所

全長：70.51m　型幅：10.8m　型深：5.55m

総トン数：1,700 トン　載貨重量：1,808 トン　主機：850 馬力　ディーゼル 1 基、速力：10 ノット

（写真提供：石川島播磨重工業㈱）



小樽丸（III）（OTARU MARU）

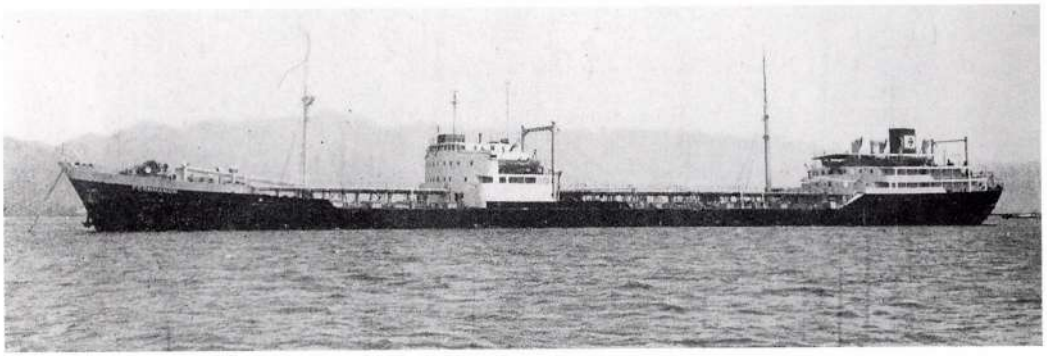
竣工後、国家使用船として船舶運営会が運航した。1950 年 4 月、海運の民営還元後は、小樽・新潟・伏木・七尾・両津などを結んだ。1953 年 7 月、運輸省航海訓練所の練習船に改装されて大成丸と改名、実習船として船員の実技教育に寄与した。

船種：貨客船　船主：日本郵船㈱　建造：1948 年 4 月　三菱重工業㈱長崎造船所

垂線間長：85.29m　型幅：12.20m　型深：6.40m　満載喫水：5.906m

総トン数：1,993 トン　船客定員：266 名　主機：1,700 馬力　ディーゼル　航海速力：11.0 ノット

（写真提供：日本郵船㈱／三菱重工業㈱）



FERNMANOR

第二次大戦後、本邦初の輸出油槽船である。

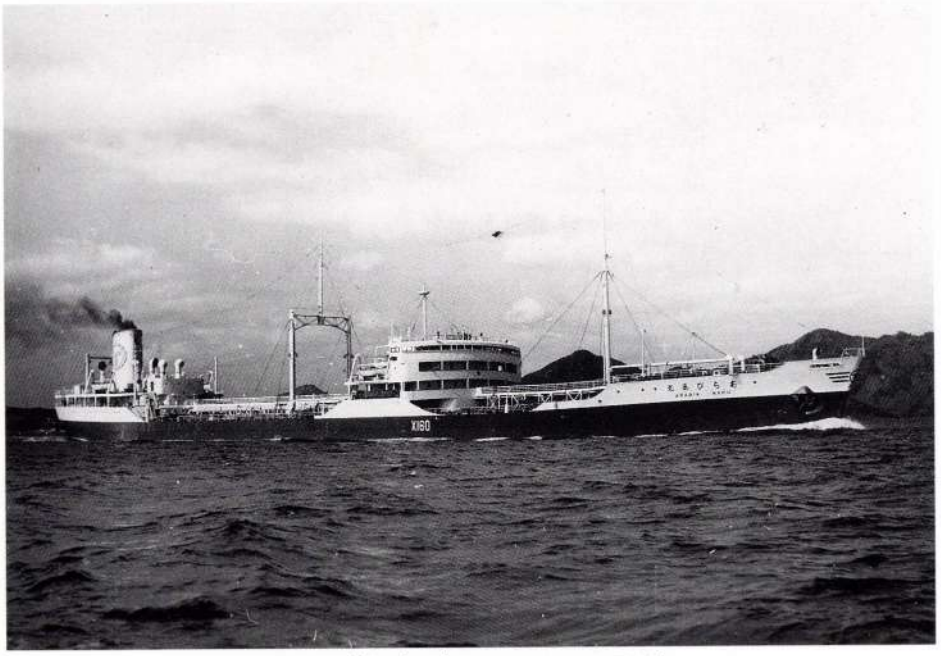
船種：油槽船（CRUDE OIL TANKER）船主：Fearnley&Eger　建造：1950 年 6 月　川崎重工業

垂線間長：168.0m　型幅：21.6m　型深：12.0m　満載喫水：9.256m

総トン数（GT）：13,233 トン　載貨重量（DW）：18,348 トン　主機：7,000 馬力×115rpm　ディーゼル機関 1 基

速力：14.853 ノット（試運転最大）、13.9 ノット（満載航海）

（写真提供：川崎重工業㈱）



あらびあ丸（ARABIA MARU）

第二次世界大戦終了後我が国で初めて建造された大型タンカー

船種：原油タンカー　船主：日本油槽船　建造：1951 年 3 月　日立造船因島工場

垂線間長：165.00m　型幅：21.506m　型深：12.00m

総トン数：11,981 トン　載貨重量：18,402 トン　主機：8,000 馬力　タービン　速力：15.0 ノット（試運転最大）

（写真提供：日立造船㈱）



平安丸（II）（HEIAN MARU）

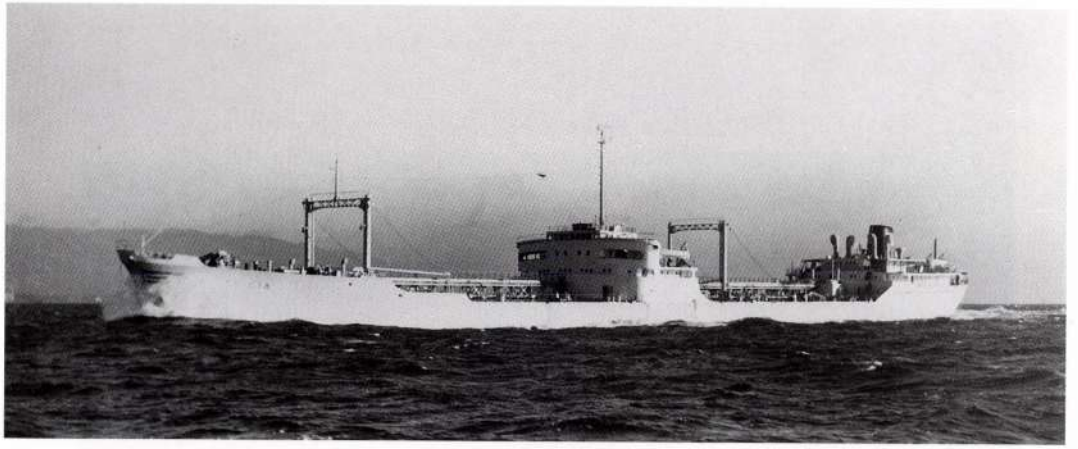
戦後わが国で建造された貨物船として初めて6,000トンを超えた外航船。ニューヨーク航路再開第一船として就航した。また、1952年にはスエズ経由欧州航路の12年ぶりの再開第一船となった。

船種：貨物船　船主：日本郵船㈱　建造：1951年1月　西日本重工業㈱長崎造船所

垂線間長：141.0m　型幅：18.0m　型深：10.0m　満載喫水8.03m

総トン数：6,724.1トン　主機：5,000馬力　ディーゼル　航海速力：13.5ノット

（写真提供：日本郵船㈱／三菱重工業㈱）



PATRICIA

建造当時世界最大級のスーパータンカーで、その後の輸出船ブームの先駆けとなった。

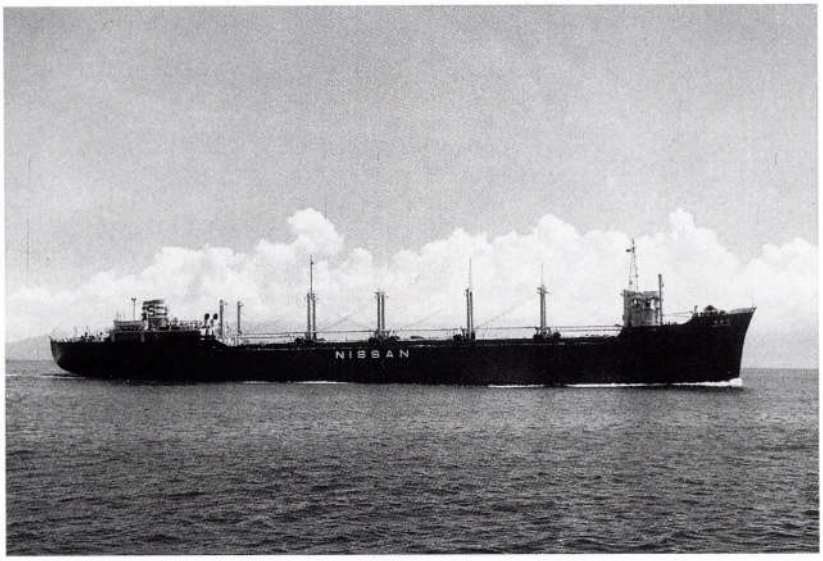
船種：油槽船（CRUDE OIL TANKER）船主：Ocean Oil OperationiInc.　建造：1953年1月　川崎重工業

垂線間長：181.0m　型幅：25.4m　型深：13.5m　満載喫水：10.29m

総トン数（GT）：17,736トン　載貨重量（DW）：29,696トン　主機：12,000馬力×105rpm　ディーゼル機関1基

速力：17.04ノット（試運転最大）、15.9ノット（満載航海）

（写真提供：川崎重工業㈱）



日隆丸（NICHIRYU MARU）

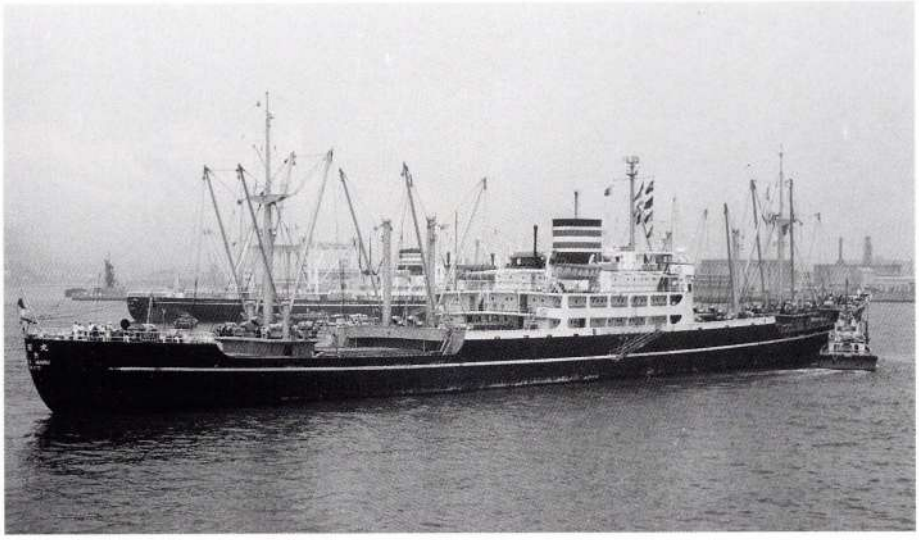
トップサイドタンクと二重底ホッパー部を有するわが国最初の撒積貨物専用船。

船種：撒積貨物船　船主：日産汽船　建造：1954 年 8 月　NKK 清水造船所

垂線間長：153.0m　型幅：21.0m　型深：11.5m　満載喫水：8.26m

総トン数（GT）：9,943 トン　載貨重量（DW）：15,368 トン　主機：5,530 馬力　航海速力：13.0 ノット

（写真提供：日本鋼管㈱）



熱田丸（II）（ATSUTA MARU）

Ａクラス船は、戦後の第一期船腹整備の中心をなす貨物船であり、順次就航した 11 隻は続々と再開された定期航路の基幹船隊としてわが国の貿易拡大に大きく貢献した。

船種：貨物船　船主：日本郵船　建造：1954 年 6 月　三菱造船長崎造船所

垂線間長：150.9m　型幅：19.0m　型深：10.50m　満載喫水：8.413m

総トン数：7,628.36 トン　主機：8,600 馬力　ディーゼル　航海速力：16.0 ノット

（写真提供：日本郵船㈱／三菱重工業㈱）



讃岐丸（Ⅲ）（SANUKI MARU）

三菱造船㈱長崎造船所建造のＳクラス第一船。姉妹船には、佐渡丸・駿河丸・埼玉丸・隅田丸・札幌丸の５隻がある。内燃機関はシリンダーの直径および行程の拡大に加え、ターボチャージャーの搭載により高出力を得ることが可能となった。

船種：貨物船　船主：日本郵船　建造：1955 年 5 月　三菱造船長崎造船所

垂線間長：156.0m　型幅：19.50m　型深：12.30m　満載喫水：9.023m

総トン数：9,096.6 トン　主機：12,000 馬力（最高出力）ディーゼル　航海速力：17.7 ノット

（写真提供：日本郵船㈱／三菱重工業㈱）



ANDROS STAR

－わが国初の Aft Engine 型の貨物船－

それまでの貨物船は船体中央部にエンジンルームを配置していたが、船尾にブリッジとエンジンルームを配置することによって容積効率の向上と建造コストの大幅な低減を図った。「石川島オライオン」型と称し、その後 Aft Engine の船型が主流となった。

船種：貨物船　船主：Orion Shipping & Trading　建造：1956 年　石川島重工

全長：158.9m　型幅：19.0m　型深：10.15m

総トン数：7,762 トン　載貨重量：13,577 トン　主機：8200 馬力　タービン 1 基　速力：15.9 ノット

（写真提供：石川島播磨重工業㈱）



三笠丸（MIKASA MARU）

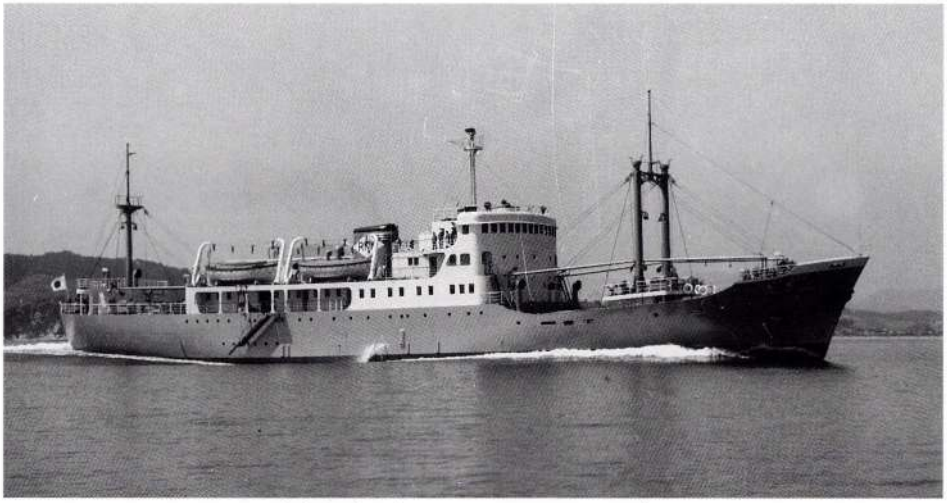
船種：貨物船　船主：日本郵船　建造：1956年3月　名村造船所　大阪

垂線間長：117.00m　型幅：16.80m　型深：10.40m　満載喫水：7.24m

総トン数（GT）：4,132トン　載貨重量（DW）：7,942トン　主機：3,300馬力180rpm（MCO）ディーゼル1基

速力：15.575ノット（試運転最大）12.50ノット（満載航海）

（写真提供：㈱名村造船所）



沖縄丸（OKINAWA MARU）

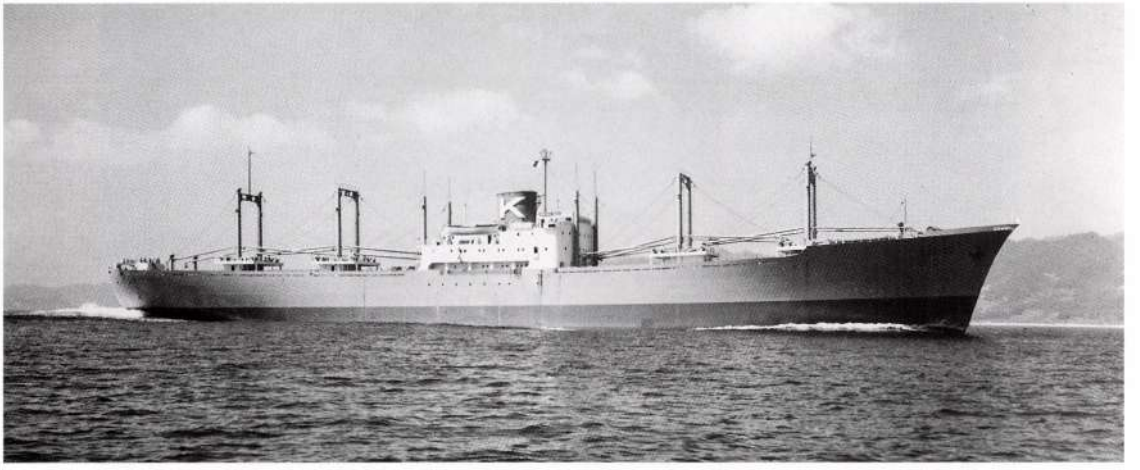
沖縄返還前の日本内地～沖縄を結ぶ国際航海の貨客船で尾道造船に於ける最初の輸出船であった。

船種：貨物船（CARGO & PASSENGER SHIP）船主：琉球海運　建造：尾道造船

垂線間長：75.0m　型幅：11.8m　型深：5.8m　満載吃水：5.21m

総トン数（GT）：1,612.94トン　載貨重量（DW）：1,221トン　主機：2,400馬力X225rpm　ディーゼル機関　航海速力：16.45ノット

（写真提供：尾道造船㈱）



ねばだ丸（NEVADA MARU）

太平洋航路のブルーリボンを獲得した高速貨物船。３隻の姉妹船も次々と同賞を獲得。

船種：貨物船（CARGO SHIP）船主：川崎汽船　建造：1958 年 3 月　川崎重工業

垂線間長：150.3m　型幅：20.5m　型深：12.9m　満載喫水：9.35m

総トン数（GT）：10,193 トン　載貨重量（DW）：13,326 トン　主機：11,500 馬力×118rpm　ディーゼル 1 基

速力：20.86 ノット（試運転最大）、17.6 ノット（満載航海）

（写真提供：川崎重工業㈱）



くれない丸（KURENAI MARU）

瀬戸内海の観光船就航幕開け第一船。映画館、理容室等設備、内装をはじめあらゆる面で最高の技術を駆使し、内航客船とはいえ日本の客船を代表する船であった。船体色の「ハーバーグリーン」は、ハープの音色のように涼やかな緑色をということで考案され、本船以降全船順次塗り替えられたが、いつのまにか「ハーバーグリーン」という色名が通称となった。当時としては最高の航海速力である 18 ノットで昼間の瀬戸内海を航行。新婚旅行、外国人観光客らで常ににぎわい、また全国の修学旅行にも愛用されたので、今でも多くの人々の思い出に残っている船であろう。

船種：客船（PASSENGER）船主：関西汽船　建造：1959 年 11 月　三菱・神戸

垂線間長：86.70m　型幅：13.40m　型深：6.25m

総トン数：2,928.39 トン　主機：5,400 馬力　ディーゼル　航海速力：18.0 ノット

（写真提供：関西汽船㈱／三菱重工業㈱）



第1ぷろぱん丸（PROPAN MARU NO. 1）

我が国で初めて建造された液化ガス専用運搬船。常温高圧で液化プロパンやブタンを運搬できる内航船であり、運輸省のLPG船暫定的特殊基準（案）に基づいて建造された。

船種：LPG船　船主：共和産業海運　建造：1960年11月　日立造船桜島工場

垂線間長：49.00m　型幅：9.40m　型深：4.40m

総トン数：654トン　載貨重量：243トン　主機：720馬力（MCO）速力：12.0ノット（試運転最大）

（写真提供：日立造船㈱）



亜細亜丸（ASIA MARU）

船の長さを短く幅を広くして推進性能を保持しながら建造コストを低減させた、いわゆる“ずんぐり船型”の第1船であり、その後の肥大船型のコンセプトとなった。

船種：タンカー　船主：日東商船　建造：1961年　石川島播磨重工相生工場

垂線間長：205.0m　型幅：30.5m　型深：15.8m　喫水：11.79m

総トン数：28,720トン　載貨重量：48,284トン　主機：17,600馬力　タービン　航海速力：16.5ノット

（写真提供：石川島播磨重工業㈱）



金華山丸（KINKASAN MARU）

世界最初の自動化船で、ブリッジから主機の遠隔制御が可能となった。

船種：貨物船（CARGO）　船主：三井船舶　建造：1961 年 11 月　三井造船

垂線間長：140.0m　型幅：19.0m　型深：12.0m　満載喫水：8.6m

総トン数（GT）：8,316 トン　載貨重量：8,800 トン　主機：12,000 馬力（MCO）　ディーゼル　航海速力：18.3 ノット

（写真提供：大阪商船三井船舶㈱／三井造船㈱）



大鵬丸（TAIHO MARU）

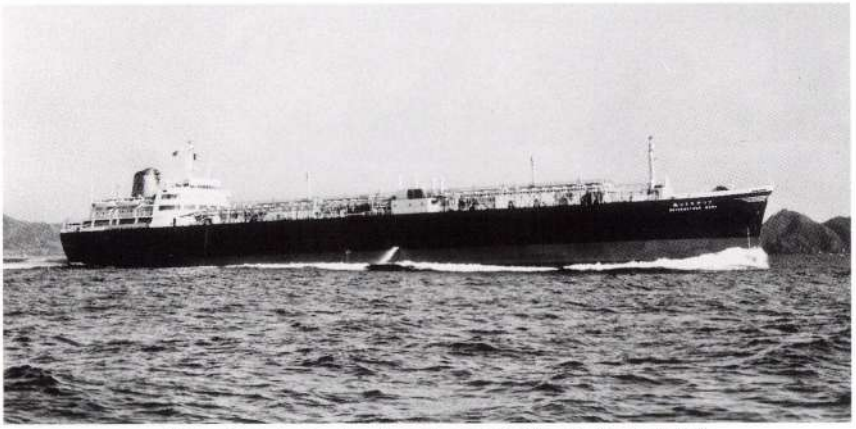
日立造船で建造した最初の水中翼船で、PT-20 型の 1 番船。その後、1983 年までの 32 年間に、PT-3 型、PT-5 型、PT-32 型、PT-50 型など、5 タイプ、計 51 隻が建造された。

船種：水中翼船　船主：名鉄海上観光船　建造：1962 年 4 月　日立造船神奈川工場

垂線間長：20.75m　型幅：4.80m　型深：2.25m　吃水：2.70m（着水時）1.15m（浮上時）

総トン数：63 トン　旅客定員：66 人　主機：1,350 馬力 x1,500rpm　速力：38.7 ノット（試運転最大）

（写真提供：日立造船㈱）



ブリヂストン丸（BRIDGESTONE MARU）

LPG（液化天然ガス）輸送用の外航船としては、わが国で初めて建造された専用船。LPGの貨物温度（マイナス42℃）を維持するために断熱材を施した4個の特殊鋼製タンクを採用するとともに、再液化装置を装備した。

船種：LPG船　船主：日本郵船　建造：1962年1月　三菱重工業横浜造船所

垂線間長：183.7m　型幅：25.0m　型深：16.70m　満載喫水：10.52m

総トン数：20,683.3トン　主機：13,000馬力　ディーゼル　航海速力：16.0ノット

（写真提供：日本郵船㈱／三菱重工業㈱）



日章丸（NISSHO MARU）

石油需要の増大とタンカー船腹量の不足に加え、1956年にはスエズ運河が閉鎖されてタンカー建造ブームが到来した。輸送効率の大幅アップをねらって船型は大型化の一途をたどり、10万トンを超えるスーパータンカーが出現した。本船は日本船主が初めて所有、運航する当時世界最大のタンカーであった。

船種：原油タンカー　船主：出光タンカー　建造：1962年10月　佐世保重工佐世保造船所

垂線間長：276.0m　型幅：43.0m　型深：22.2m　満載喫水：16.53m

総トン数（GT）：74,868トン　載貨重量（DW）：132,334トン　主機（ME）：28,000馬力　タービン　航海速力（Vs）16.0ノット

船級：NK/ABS

（写真提供：佐世保重工業㈱）



山城丸（Ⅲ）（YAMASHIRO MARU）

造波抵抗を極小にするために考案された球状船首（バルバスバウ）採用の第一船。竣工後は主に欧州航路に就航、1972年欧州航路のフルコンテナ化に伴い東地中海航路に配転された。

船種：貨物船　船主：日本郵船　建造：1963年11月　三菱重工業長崎造船所

垂線間長：161m　型幅：23.0m　型深：12.80m　満載喫水：9.342m

総トン数：10,032トン　主機：13,000馬力　ディーゼル　航海速力：22.45ノット

（写真提供：日本郵船㈱／三菱重工業㈱）



津軽丸（TSUGARU MARU）

国鉄青函連絡船の最後の代替船シリーズ7隻連続建造の原型モデルとなった第1船。可変ピッチプロペラ・バウスラスター・係留装置・ヒーリング装置・船尾扉等の遠隔制御を図った当時画期的な高度自動化船である。

船種：旅客兼車両渡船　船主：日本国有鉄道　建造：1964年3月　浦賀船渠浦賀造船所

垂線間長：123.0m　型幅：17.9m　型深：7.2m

総トン数（GT）：8,279トン　主機：8×1,600馬力X750rpm　ディーゼル　航海速力：18.2ノット

（写真提供：住友重機械工業㈱）



羊蹄丸（YOTEI MARU）

日立造船が国鉄から受注した戦後初の鉄道連絡船。従来の青函連絡船に較べて、大型化と高速化（所要時間が4時間40分から3時間50分に短縮）が図られており、ヒール調整装置やバウ・スラスタなど、最新設備が採用されている。

船種：青函連絡船　船主：日本国有鉄道　建造：1965年7月　日立造船桜島工場

垂線間長：123m　型幅：17.9m　型深：7.2m

総トン数：8,311トン　載貨重量：2,033トン　旅客：1,200人　貨車：48両　主機：12,800馬力（MCO）　速力：21.2ノット（試運転最大）

（写真提供：日立造船㈱）



城山丸（JOYAMA MARU）

－日本固有技術による当時世界最大LPG船－

建造当時世界最大のLPG船で、純国産技術により建造された。

船種：LPG船　船主：新和海運　建造：1965年10月　石川島播磨重工名古屋工場

垂線間長：190.0m　型幅：29.0m　型深：19.4m　満載喫水：11.0m　載貨重量：34,805トン　貨物タンク容積：46,500m^3

主機：12,000馬力　ディーゼル　航海速力：15.85ノット

（写真提供：石川島播磨重工業㈱）



シトカ丸（SITKA MARU）

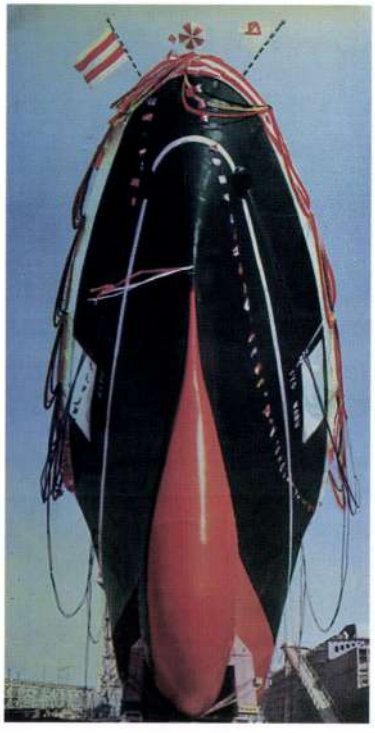
日本初のパルプ専用船。荷役時間の短縮とデッド・スペースを抑えるため、船艙口を大きく船艙の形状をパルプの荷姿に合わせ長方形とし、3台の橋型走行クレーンを備えた。

船種：パルプ専用船　船主：日本郵船　建造：1965年3月　三菱重工業広島造船所

垂線間長：128.7m　型幅：18.60m　型深：13.00m　満載喫水：8.368m

総トン数：8,576.3トン　主機：6,600馬力　ディーゼル　航海速力：14.3ノット

（写真提供：日本郵船㈱／三菱重工業㈱）



伊豫丸（IYO MARU）

船種：超高速定期貨物船　船主：日本郵船　建造：1965年12月

名村造船所　大阪

垂線間長：145.00m　型幅：21.80m　型深：13.25m　満載喫水：9.45m

総トン数（GT）：9,932トン　載貨重量（DW）：12,592トン

主機：10,000馬力×122rpm（MCO）　ディーゼル　1基

速力：21.378ノット（試運転最大）18.2ノット（満載航海）

（写真提供：㈱名村造船所）



ろざりお丸（ROSARIO MARU）

本船は日本の定期貨物船として初めて船尾機関型、2列船口、クレーン、油圧開閉式中甲板ハッチカバーを採用し、「荷役と積付け」の合理化による運航採算性の向上を主眼として設計された。

船種：貨物船（CARGO）　船主：大阪商船三井造船　建造：1955 年 5 月　佐野安船渠

垂線間長：130.0m　型幅：19.0m　型深：11.5m

総トン数（GT）：7,823 トン　載貨重量（DW）：11,530 トン　主機：7,200 馬力（MCO）　ディーゼル　航海速力：15.4 ノット

（写真提供：大阪商船三井船舶㈱／㈱サノヤス・ヒシノ明昌）



追浜丸（OPPAMA MARU）

日産自動車の積荷保証を得て建造されたわが国最初の自動車・穀物兼用運搬船で、自動車専用船の先駆けとなった。

船種：自動車兼撤積（CAR BULK）　船主：大阪商船三井船舶　建造：1965 年 10 月　日立造船桜島

垂線間長：142.5m　型幅：21.6m　型深：12.5m

総トン数（GT）：11,149 トン　載貨重量（DW）：16,155 トン　主機：7,200 馬力（MCO）　ディーゼル　航海速力：14.3 ノット

（写真提供：大阪商船三井船舶㈱）



SUN JUAN TRADER

世界で最初の兼用船。本船の特徴は撒積貨物船をベースとして開発された船型で、従来バラストタンクとしてのみ使用されていたT.S.T.及び二重底湾曲部タンクを効果的に利用し、あらゆる比重の液体貨物を安全に輸送できる船型となっている。

船種：鉱／炭／油撒積貨物船　船主：SUN JUAN CARRIERS　建造：1966 年 3 月　日本鋼管鶴見

垂線間長：236.2m　型幅：31.9m　型深：18.7m　満載喫水：12.2m

総トン数：39,586 トン　載貨重量：63,387 トン　主機：三井 B&W × 1 基　航海速力：16.9 ノット

（写真提供：NKK）



PETRAIA

当時めずらしいフランス向け逆輸出船で、機関室の完全自動化、ハッチカバーの自動開閉、可変ピッチプロペラの採用など多くの新方式を採用し、居室は冷暖房を完備、高級ホテル並の内装とした、貨物船としては異例の高グレード船であった。

船種：貨物船　船主：UNION NAVALE（仏）建造：1967 年 11 月

垂線間長：140.0m　型幅：20.5m　型深：12.55m　満載喫水：9.092m　総トン数（GT）：10,668 トン　載貨重量（DW）：16,373 トン

主機：4,520 馬力 X428rpm（MCO）2 機　速力：18.17 ノット（試運転最大）14.9 ノット（航海速力）

（写真提供：㈱サノヤス・ヒシノ明昌）



CHIAN CAPTAIN

第２次大戦中にアメリカで大量に建造された“リバティー”型戦時標準船の代替船として設計された量産型新型多目的貨物船の建造第１船で、以後124隻建造された。この技術はFortune、Forture-32、Friendshipと続くＦシリーズ船に引き継がれた。

船種：貨物船　船主：Freedom Maritime　建造：1968年３月　石川島播磨重工東京工場

垂線間長：134m　型幅：19.812m　型深：12.344m　満載喫水：8.61m

総トン数：10,086トン　載貨重量：13,871トン　主機：5,130b馬力　ディーゼル　速力：13.9ノット

（写真提供：石川島播磨重工業㈱）



はりま丸（HARIMA MARU）

本船は我国で始めて高馬力の国産の360度旋回式推進装置を装備した港内曳船である。

船種：港内曳船（HARBOUR TUG BOAT）　船主：三洋海事　建造：石川島造船化工機

垂線間長：25.0m　型幅：8.6m　型深：3.5m　喫水：2.6m

総トン数（GT）：198トン　主機：950馬力×２　推進器：360度旋回式　曳航力：27.7トン　航海速力：12ノット

（写真提供：石川島造船化工機㈱）



箱根丸（II）（HAKONE MARU）

日本初のフルコンテナ船として、カリフォルニア航路に就航した。主機に当時最大の27,800馬力の高出力機関を採用し、東京・ロサンゼルス間を9日間で航海し海上輸送新時代の幕開けとなった。

船種：コンテナ船　船主：日本郵船　建造：1968年8月　三菱重工業神戸造船所

垂線間長：187.0m　型幅：26.0m　型深：15.50m　満載喫水：8.883m

総トン数：16,240トン　主機：27,800馬力　ディーゼル　航海速力：25.86ノット

（写真提供：日本郵船㈱／三菱重工業㈱）



AUSTRALIAN ENTERPRISE

我国初のRO/RO船であり、その後のRO/RO船の雛形とも言うべき船となった。

船種：ロールオン／ロールオフコンテナ船（RO/RO船）船主：AUSTRALIAN NATIONAL LINE　建造：1969年8月　川崎重工業神戸工場

垂線間長：168.0m　型幅：25.0m　型深：16.4m　満載喫水：9.0m

総トン数（GT）：16,580トン　載貨重量（DW）：14,082トン　主機：8,690馬力×400rpm　ディーゼル機関3基1軸

速力：21.5ノット（航海速力）

（写真提供：川崎重工業㈱）



第五ブリヂストン丸（BRIDGESTONE MARU NO.5）

世界初の川崎式セミメンブレンタンク方式を採用し、世界最大のLPG船として建造・就航した。クリーンエネルギーの大量輸送の先駆けとなった。

船種：LPG船　船主：昭和海運　建造：1969年9月　川崎重工業神戸工場

垂線間長：200.0m　型幅：32.5m　型深：21.8m　満載喫水：12.2m

総トン数（GT）：40,935トン　載貨重量（DW）：48,956トン　主機：14,000馬力×118rpm　ディーゼル機関1基

速力：16.2ノット（満載航海）

（写真提供：川崎重工業㈱）



ACADIA FOREST

世界最初のLASH船建造。LASHシステムは従来の海上輸送に一大革新をもたらした。

船種：LASH船　船主：CENTRAL GULF　建造：1969年9月　住友重機械浦賀造船所

垂線間長：234.0m　型幅：32.50m　型深：18.3m

総トン数（GT）：36,862トン　載荷重量（DW）：43,517トン　主機：26,000馬力X122rpm　ディーゼル　航海速力：19.1ノット

（写真提供：住友重機械工業㈱）



星光丸（SEIKO MARU）

ーわが国初のコンピューター制御自動化船ー

船舶の大型化と就航隻数の増大による、船員、運行技術者の不足に対応するために自動化と省力化が必要とされた。この時代の要求に応えて生まれた、当時世界で最も進んだコンピュータ制御による自動化船である。

船種：タンカー　船主：三光汽船　建造：1970 年 9 月　石川島播磨重工相生工場

垂線間長：260m　型幅：43.5m　型深：22.8m　満載喫水：17.03m

総トン数：73,250 トン　載荷重量：138.539 トン　主機：28,000 馬力　ディーゼル　速力：15.4 ノット

（写真提供：石川島播磨重工業㈱）



山王丸（SANNO MARU）

昭和 40 年代、日本の高度経済成長期に国内の木材需要を賄うために大活躍をした南洋木材運搬船のシリーズ船で、年毎の改良を加え、トータルでは百数十隻を建造した大ヒット商品である。

船種：貨物船　船主：山友汽船　建造：1970 年 10 月 7 日　今治造船本社工場

垂線間長：96.00m　型幅：16.31m　型深：8.15m　満載吃水：6.710m

総トン数：2,996.86 トン　載貨重量（MT）：6,066.32 トン　主機：3,300 馬力 B&W642-VT2BF-90

航海速力：12.72 ノット　試運転最大速力：15.596 ノット

（写真提供：石川島播磨重工業㈱）



第十とよた丸（TOYOTA MARU NO.10）

当時の国産車輸出の急激な増大を迎えて、画期的な我国初の外航自動車専用船として建造された。

船主：川崎汽船　建造：1970年7月　川崎重工業神戸工場

垂線間長：150.0m　型幅：23.4m　型深：14.3m　満載喫水：7.5m

総トン数（GT）：12,517トン　載貨重量（DW）：9,148トン　主機：11,200馬力×140rpm　ディーゼル機関1基

速力：19.8ノット（満載航海）

（写真提供：川崎重工業㈱）



りつりん（RITSURIN）

耐波浪性に優れた世界最大級の双胴フェリーで広い甲板面積を生かして、神戸と高松を結ぶ海のハイウェーとして活躍した。

船種：双胴自動車航走兼旅客船　船主：宇高国道フェリー　建造：1970年10月　日本鋼管清水造船所

垂線間長：78.0m　型幅：25.0m　型深：8.0m　満水喫水：4.95m

総トン数（GT）：2,800トン　主機：1,600馬力×4基　航海速力：18.5ノット

（写真提供：NKK）



若梅丸（WAKAUME MARU）

世界最大級の320トン吊デリックを有する。

船種：定期貨物重量物運搬船　船主：日本郵船　建造：1970年11月　名村造船所　大阪

垂線間長：147.00m　型幅：21.50m　型深：12.10m　満載喫水：9.00m

総トン数（GT）：9,917トン　載貨重量（DW）：13,859トン　主機：11,600馬力124rpm（MCO）　ディーゼル　1基

速力：19.55ノット（試運転最大）16.9ノット（満載航海）

（写真提供：㈱名村造船所）



ジャパンオーキッド（JAPAN ORCHID）

1970年代に大量建造された23万トン型VLCC。VLCCの標準的な船型の一つである。

船種：油槽船（CRUDE OIL TANKER）　船主：ジャパンライン　建造：1971年6月　川崎重工業坂出工場

垂線間長：305.0m　型幅：53.0m　型深：25.3m　満載喫水：19.5m

総トン数（GT）：116,053トン　載貨重量（DW）：231,723トン　主機：36,000馬力×90rpm　タービン機関1基

速力：16.2ノット（満載航海）

（写真提供：川崎重工業㈱）



三峰山丸（MITUMINESAN MARU）

わが国最初の機関室無人化船。

船種：油送船　船主：大阪商船三井船舶　建造：1971 年 1 月　三井造船千葉造船所

垂線間長：310.0m　型幅：54.0m　型深：26.4m

総トン数（GT）：123,838 トン　載貨重量（DW）：227,756 トン　主機：38,000 馬力　ディーゼル　航海速力：15.45 ノット

（写真提供：三井造船㈱）



第十九とよた丸（TOYOTA MARU NO. 19）

船種：自動車兼バラ積運搬船　船主：日本郵船　東京船舶　建造：1971 年 12 月　名村造船所　大阪

垂線間長：182.00m　型幅：26.60m　型深：16.00m　満載喫水：11.20m

総トン数（GT）：22,478 トン　載貨重量（DW）：35,636 トン　主機：12,000 馬力 122rpm（MCO）ディーゼル　1 基

速力：17.48 ノット（試運転最大）14.4 ノット（満載航海）

（写真提供：㈱名村造船所）



多摩丸（TAMA MARU）

我が国で最初に自動車運搬船を計画したのは日産自動車。同社の積荷保証により大阪商船三井船舶向けに1965年に日立造船桜島工場で建造されたのが、我が国初の自動車運搬船「追浜丸」。「多摩丸」は積載車両台数の増加を図るための専用船として設計された第１船であり、「追浜丸」の1,200台積みに対し、2,530台積みと大幅に増加。

船種：自動車運搬船　船主：大阪商船三井船舶　建造：1972年２月　日立造船舞鶴工場

垂線間長：165.00m　型幅：25.40m　型深さ：19.00m　満載吃水：7.20m

総トン数：6,999トン　載貨重量：9,222トン　主機：12,400馬力（MCO）速力：20.0ノット（試運転最大）

（写真提供：日立造船㈱）



さんふらわあ（SUNFLOWER）

画期的大型高速豪華フェリーとして出現し、その後の大型フェリーの先駆けとなった。

船種：旅客兼カーフェリー（PASSENGER & CAR FERRY）船主：日本高速フェリー　建造：1972年１月　川崎重工業神戸工場

垂線間長：170.0m　型幅：24.0m　型深：15.6m　満載喫水：6.4m

総トン数（GT）：11,312トン　載貨重量（DW）：3,381トン　主機：26,080馬力　ディーゼル機関４基　速力：24.0ノット（航海）

（写真提供：川崎重工業㈱）



えるべ丸（ELBE MARU）

世界最初のディーゼル3機3軸コンテナ船。最高速力（30.96ノット）を記録。

船種：コンテナ運搬船　船主：大阪商船三井船舶　建造：1972年3月　三井造船玉野

垂線間長：252.00m　型幅：32.20m　型深：24.40m

総トン数：51,623トン　主機：72,000/84,600馬力　ディーゼル　速力：27.48/30.96ノット

（写真提供：三井造船㈱／大阪商船三井造船㈱）



鳥取丸（TOTTORI MARU）

トータルコンピューター制御システム採用の第一船。航法システム、機関システム、荷役システムなどに三菱電気㈱MELCOM350-5型を船舶用に改良した350-5S型を採用した。

船種：油槽船　船主：日本郵船　建造：1972年9月　三菱重工業長崎造船所

垂線間長：321.8m　型幅：52.4m　型深：25.7m　満載喫水：19.8m

総トン数：116,142トン　主機：34,000馬力　蒸気タービン1基　速力：16.45ノット

（写真提供：日本郵船㈱／三菱重工業㈱）



ESSO FUJI

世界で初めて貨物タンク容積が10万m³を超えた大型LPG船で、日本・オーストラリア間に就航。

船種：LPG船　船主：ESSO TRANSPORT CO., INC.　建造：1973年2月　日立造船因島工場

垂線間長：234.00m　型幅：39.90m　型深：25.00m　満載吃水：12.70m

総トン数：55,897トン　載貨重量：64,410トン　主機：20,000馬力x114rpm（MCO）　速力：17.5ノット（試運転最大）15.4ノット（航海）

（写真提供：日立造船㈱）



べらざのぶりっじ（VERRAZANO BRIDGE）

超高速力をディーゼル機関2機2軸で実現した。海上試運転において最大速力31.6ktの本邦商船最高記録をマークした。

船種：コンテナ船　船主：川崎汽船　建造：1973年7月　川崎重工業神戸工場

垂線間長：248.0m　型幅：32.2m　型深：19.9m　満載喫水：12.0m

総トン数（GT）：39,153トン　載貨重量（DW）：35,583トン　主機：40,000馬力×110rpm　ディーゼル機関2基2軸

速力：26.5ノット（満載航海）

（写真提供会社：川崎重工業㈱）



PACIFIC TAIO

本船は、現在でもチップ船としては非常に大型の部類に入る412万C.F.型の船である。荷役装置として3基のデッキクレーンと船側に3ケの固定式ホッパーを装備している。

船種：チップ運搬船　船主名：PACIFIC LEASE PANAMA LTO., INC.　建造：1974年9月　今治造船㈱丸亀

垂線間長：213.00m　型幅：35.50m　型深：22.50m　満載吃水：11.528m

総トン数：48,296.02トン　載貨重量：57,173トン　主機：12,600馬力×118rpm、SULZER7RND 76×1

速力：14.70ノット（航海）　16.258ノット（試運転最大速力）

（写真提供：今治造船㈱）



高千穂丸（TAKACHIHO MARU）

川崎と日向（宮崎県）を結んでわが国に本格的モータリゼーションの波を起こした日本初の画期的外洋航走パッセンジャーフェリー。

船種：自動車航走兼旅客船　船主：日本カーフェリー　建造：1974年2月　日本鋼管清水造船所

垂線間長：148.0m　型幅：21.5m　型深：13.6m　満載喫水：6.2m

総トン数（GT）：9,536トン　主機：18,000馬力×2基　航海速力：25.6ノット

（写真提供：NKK）



LOUIS L.D

船台で進水させた当社の最大船であり、進水重量7,900tに対し、進水船の行き足を止めて対岸に当たらぬようにドラッグと称するコンクリートケイソンやチェーンを数十個、計790tを次々とワイヤーで引っ張って、川幅240mのところに全長182mの船を進水させることに成功した。

船種：オープンバルカー　船主：S.A. Louis Dreyfuset Cie（仏）建造：1974年3月

垂線間長：174.0m　型幅：29.0m　型深：16.1m　満載喫水：11.55m

総トン数（GT）：25,230トン　載貨重量（DW）：39,083トン　主機：13,000馬力X124rpm（MCO）

速力：16.57ノット（試運転最大）14.5ノット（航海速力）

（写真提供：㈱サノヤス・ヒシノ明昌）



BERGE EMPEROR

船種：油送船　船主：BERGESEN　建造：1975年12月　三井造船千葉造船所

垂線間長：365.0m　型幅：68.0m　型深：28.65m

総トン数（GT）：211,360トン　載貨重量（DW）：423,680トン　主機：45,000馬力　蒸気タービン　航海速力：15.4ノット

超大型タンカー（ULCC）。

（写真提供：三井造船㈱）



日精丸（NISSEI MARU）

建造当時世界最大のオイルタンカーとして誕生。ペルシャ湾～日本を往復し、1996年10月末現在、就航から21年目、航走距離は151万マイルに達した。

船種：油槽船（ULCC）船主：東京タンカー　建造：1975年6月　石川島播磨重工呉造船所

垂線間長：360.0m　型幅：62.0m　型深：36.0m　満載吃水：28.2m

総トン数（GT）：238,517トン　載貨重量（DW）：484,276トン　主機：45,000PSx90RPM（MCO）蒸気タービン1基

速力：15.55ノット（試運転最大）14.3ノット（満載航海）

（写真提供：東京タンカー㈱／石川島播磨重工業㈱）



春日丸（KASUGA MARU）

360°旋回型450トンヘビーデリックを搭載し、石油プラント用長尺パイプ等を運搬、重量物運搬船建造ブームのきっかけとなった船である。

船種：重量物運搬船（HEAVY CARGOSHIP）　船主：日之出汽船　建造：1976年　尾道造船

垂線間長：142.5m　型幅：23.6m　型深：13.0m　満載吃水9.57m

総トン数（GT）：11,832トン　載貨重量（DW）：18,614トン　主機：10,400馬力X519rpm　ディーゼル機関　航海速力：15.55ノット

（写真提供：尾道造船㈱）



ESSO ATLANTIC

世界最大級の 50 万トンタンカー

船種：原油タンカー（ULCC）　船主：ESSO TANKERS INC.　建造：1977 年 8 月　日立造船有明工場

垂線間長：390.00m　型幅：71.00m　型深：31.20m　満載吃水：25.00m

総トン数：234,627 トン　載貨重量：516,895 トン　主機：45,000 馬力 x80rpm　タービン

速力：17.7 ノット（試運転最大）15.2 ノット（航海）

（写真提供：日立造船㈱）



AMERICAN HIGHWAY

12 層のカーデッキを有し、中央部両舷と船尾よりの右舷にそれぞれサイドポートドア（自動車出入口）を装備、又館内は FREE BOAD DECK より上部は BHD ドアを設けずオープン構造とし、荷役効率を高めた。

船種：自動車運搬船　船主：KOYO SYOSEN KAISHA, LTD.　建造：1977 年 3 月 26 日　今治造船丸亀事業本部

垂線間長：186.00m　型幅：30.00m　型深：27.90m　満載吃水：9.325m（EXT.）

総トン数：14,373.48 トン　載貨重量：17,830 トン　主機：23,450 馬力× 122rpm　SULZER7RND90M × 1

航海速力：20.2 ノット　試運転最大速力：22.4 ノット

（写真提供：今治造船㈱）



TSU

第一次オイルショック後世界中で大量の大型タンカーのキャンセルが出た。本船はULCCの代替船として建造された多目的貨物船。時代の流れを浮き彫りにした船となった。

船種：多目的貨物船（MPC）　船主：WILHELM WILHELMSEN　建造：1977 年 4 月　日本鋼管津製作所

垂線間長：165.0m　型幅：26.3m　型深：16.0m

総トン数（GT）：12,750 トン　主機：14,000 馬力×122rpm（MCO）航海速力：17.7 ノット

（写真提供：NKK）



SLURRY EXPRESS

当社の特許である砂鉄スラリー積込装置を装備した日本で 2 番目に建造された砂鉄スラリー運搬船。なお、世界最初のスラリー船は、1972 年に当社因島工場で鉱石運搬船から改造された川崎汽船の「八州川丸」

船種：砂鉄スラリー運搬船　船主：RIVER COOP　建造：1978 年 1 月　日立造船堺工場

垂線間長：232.00m　型幅：42.00m　型深：23.35m　満載吃水：17.04m

総トン数：48,479 トン　載貨重量：125,185 トン　主機：17,400 馬力×122rpm（MCO）

速力：15.7 ノット（試運転最大）13.35 ノット（航海）

（写真提供：日立造船㈱）



BARBER NARA

船種：ロールオン／ロールオフコンテナ運搬船　船主：BROSTROM　建造：1979年5月　三井造船玉野造船所

垂線間長：212.0m　型幅：32.3m　型深：20.2m

総トン数（GT）：22,078トン　載貨重量（DW）：32,776トン　主機：30,700馬力　試運転時速力：22.0ノット

（写真提供：三井造船㈱）



SEAWISE GIANT

竣工時船主の引取り拒否に対し果断に国際技術裁判にかけて全面勝訴を獲得した。本船を買取った上記船主の要請により船体延長工事を実施し、世界最大の船舶（載荷重量：564,763t）としてギネスブックに認定された。延長改造後の写真を次頁に示す。

船種：油槽船　船主：C.Y.TUNG GROUP　建造：1979年10月　住友重機械追浜造船所

垂線間長：358.0m　型幅：68.8m　型深：29.8m

総トン数（GT）：189,110トン　載荷重量（DW）：415,373トン　主機：50,000馬力X91rpm　蒸気タービン　航海速力：16.5ノット

（写真提供会社：住友重機械工業㈱）



SEAWISE GIANT

422,000DWTオイルタンカー“SEAWISE GIANT”号の船体中央部を延長し、世界最大の560,000DWTオイルタンカーへの改造がなされた。船体中央部を約80m延長するという、例を見ない大規模な改造工事は、入念な施工のもと約6ヶ月間を経て完工を見た。

船種：油槽船（ULCC）船主：C.Y.TUNG　建造：1980年12月　日本鋼管津製作所

垂線間長：440.02m　型幅：58.8m　型深：29.80m　満載喫水：24.61m

総トン数（GT）：260,851トン　載貨重量（DW）：564,763トン　貨物タンク容積：658,362m³　航海速力：13.0ノット

（写真提供：NKK）



瀬戸丸（SETO MARU）

船種：バラ積運搬船　船主：山下新日本汽船　建造：1980年11月　名村造船所　伊万里

垂線間長：217.00m　型幅：32.20m　型深：17.80m　満載喫水：12.389m

総トン数（GT）：36,300トン　載貨重量（DW）：62,412トン　主機：14,770馬力（MCO）　ディーゼル1基

速力：16.6ノット（試運転最大）14.6ノット（満載航海）

（写真提供：㈱名村造船所）



GOLAR SPIRIT

日本で初めて建造されたLNG船。モス方式球形タンクを採用。この後、日本で大量のモス方式LNG船が建造されることになった。

船種：LNG船　船主：GOTAASLARSEN　建造：1981年9月　川崎重工業坂出工場

垂線間長：275.0m　型幅：44.6m　型深：25.0m　満載喫水：12.5m

総トン数（GT）：93,815トン　載貨重量（DW）：80,239トン　主機：45,000馬力×105rpm　タービン1基　速力：20.6ノット（満載航海）

（写真提供：川崎重工業㈱）



白妙丸（SHIROTAE MARU）

船種：バラ積運搬船　船主：日本郵船　建造：1981年2月　名村造船所　伊万里

垂線間長：260.00m　型幅：43.00m　型深：24.00m　満載喫水：16.782m

総トン数（GT）：76,747トン　載貨重量（DW）：140,152トン　主機：18,990馬力（MCO）　ディーゼル1基

速力：16.1ノット（試運転最大）14.0ノット（満載航海）

（写真提供：㈱名村造船所）



OGDEN VOLGA

従来の常識を破って世界で初めて大口径低速回転の４気筒主機（住重スルザー4RLA90）を搭載し、振動問題もなく大幅な燃費・保守費の低減に成功して業界の注目を浴びた。

船種：油槽船　船主：OGDEN MARINE　建造：1981 年 6 月　住友重機械追浜造船所

垂線間長：220.0m　型幅：32.2m　型深：20.0m

総トン数（GT）：33,933 トン　載荷重量（DW）：65,689 トン　主機：14,740 馬力 X101rpm　ディーゼル　航海速力：15.0 ノット

（写真提供：住友重機械工業㈱）



第二昭鶴丸（SHOKAKU MARU NO.2）

低温化液化ガスタンカーの貨物タンク装置はヨーロッパの技術に支えられて発展し、我が国でも大型のタンカーが数多く建造された。佐世保重工ではブリジストン液化ガス（当時）と共同して LNG 船用の純国産 BS-SASEBO セミメンブレン方式のタンク装置を開発し、小型内航エチレン船に初めて採用された。

船種：エチレン・タンカー　船主：昭和電工・東福汽船　建造：1981 年 11 月　佐世保重工佐世保造船所

垂線間長：69.0m　型幅：12.60m　型深さ：6.3m　満載喫水：4.5m

総トン数（GT）：1,557 トン　載貨重量（DW）：1,543 トン　主機関（ME）：2,400 馬力　ディーゼル　航海速力 13.5 ノット

（写真提供：佐世保重工業㈱）



HITACHI VENTURE

世界最大（建造時）の鉱石運搬船としてギネスブックに登場。日立造船が開発したシリンドリカル・バウとHZノズルの採用により、推進性能の向上が図られた。

船種：鉱石運搬船　船主：CHIVALRY CARRIERS, INC.　建造：1982年1月　日立造船有明工場

垂線間長：315.00m　型幅：55.00m　型深さ：26.40m　満載吃水：20.40m

総トン数：70,164トン　載貨重量：267,889トン　主機：26,500馬力×83rpm（MCO）　速力：16.7ノット（試運転最大）14.3ノット（航海）

（写真提供：日立造船㈱）



ミシガン（MICHIGAN）

船体は銅製、上部構造物はアルミ合金製。ミシシッピー川のショウボートに似た外観を有し、船尾に設けた外輪で推進する旅客船

船種：旅客船　船主：琵琶湖汽船　建造：1982年4月　日立造船神奈川工場

垂線間長：50.00m　型幅：11.70m　型深さ：2.10m　満載吃水：1.19m

総トン数：921トン　旅客定員：787人　主機：440馬力×2基（MCO）　速力：10.8ノット（試運転最大）10.0ノット（航海）

（写真提供：日立造船㈱）



白峰丸（SHIROMINE MARU）

本船は当初電力炭輸送に従事する船として計画されたが、穀類及び鉱石等の運搬にも適する様に設計されている。又、浅吃水にてDWを確保出来るよう船幅を42mとしたため、船殻材として高張力鋼を使用した。

船種：撒積貨物船　船主：日本郵船　建造：1982年7月28日　今治造船丸亀事業本部

垂線間長：235.00m　型幅：42.00m　型深：19.00m　満載吃水：13.420m

総トン数：52,982.09トン　載貨重量：92,067トン　主機：17,000馬力×90rpm　SULZER5RLB90×1基

航海速力：14.1ノット　試運転最大速力：16.2ノット

（写真提供会社：今治造船㈱）



新豊丸（SHINHO MARU）

主機2基1軸、低回転大直径可変ピッチプロペラ、リアクションフィン等を装備した超省エネバルカー。

船種：ばら積貨物船　船主：新和海運　建造：1982年8月　三菱重工業長崎造船所

垂線間長：302.5m　型幅：50.0m　型深：24.60m　満載喫水：18.3m

総トン数（GT）：107,902トン　載貨重量（DW）：208,952トン　主機：18,900馬力（MCR）　ディーゼル機関2基

速力：16.34ノット（試運転最大）13.0ノット（満載航海）

（写真提供会社：三菱重工業㈱）



リバーボイン（RIVER BOYNE）

石炭を燃料とする蒸気タービン船で、ボイラーへの石炭の供給から燃焼後の灰の処理までのすべてを自動化した世界初の船。

船種：ばら積船（Bulk Carrier）船主：Australian National Line　建造：1982 年 9 月　三菱重工長崎造船所

垂線間長：248.0m　型幅：35.35m　型深：18.30m　満載喫水：12.20m

総トン数（GT）：51,994 トン　載貨重量（DW）：75,517 トン　主機：19,000 馬力×80rpm（MCR）　蒸気タービン 1 基

速力：17.0 ノット（試運転最大）、16.1 ノット（満載航海）

（写真提供：三菱重工業㈱）



紀ノ川丸（KINOKAWA MARU）

世界で初めてボイスコントロール方式による主機制御を採用した超自動化船。

船種：撤積貨物船　船主：第一中央汽船　建造：1982 年 5 月　住友重機械追浜造船所

垂線間長：285m　型幅：47.4m　型深：24.5m

総トン数（GT）：92,208 トン　載荷重量（DW）：179,678 トン　主機：20,400 馬力×90rpm　ディーゼル

航海速力：13.8 ノット

（写真提供会社：住友重機械工業㈱）



甲山丸（KOHZAN MARU）

メタノール（メチルアルコール）の需要増加に対応するために、この分野におけるフロンティアシップとして開発されたものである。メタノールは温度が上昇すると蒸発しやすい特性と勤続を溶かし腐蝕させてしまう性質をもっているため、スプリンクラーにて海水を散布するユニークなシステムを採用し、全タンクは無機ジンク塗料を内部に厚く塗装されている。

船種：メタノール船　船主：大阪商船三井船舶　建造：1983 年 3 月 30 日　今治造船丸亀事業本部

垂線間長：165.00m　型幅：30.00m　型深：17.60m　満載吃水：11.019m

総トン数：24,715 トン　載貨重量：35,653 トン　主機：10,800 馬力×128rpm　6UEC60HA×1

航海速力：14.6 ノット　試運転最大速力：16.1 ノット

（写真提供：今治造船㈱）



HAWKE'S BAY

積荷のユニットに合わせた貨物艙を 5 つ有し、積荷保護と垂直荷役ができるように完全な二重船側構造と幅広艙口蓋をもったオープンハッチタイプとしている。荷役装置として 22L.T. のガントリークレーンを 2 基設備している。

船種：パルプ／ランバー運搬船　船主名：興洋商船　建造：1983 年 9 月 28 日　今治造船丸亀事業本部

垂線間長：172.00m　型幅：29.00m　型深：15.20m　満載吃水：10.920m

総トン数：23,249 トン　載貨重量：36,249 トン　主機：8,500 馬力×140rpm　5UEC60HA×1 基

航海速力：13.4 ノット　試運転最大速力：15.37 ノット

（写真提供：今治造船㈱）



尾州丸（BISHU MARU）

国内船主向け初のLNG船。モス方式球形タンクを採用。それまで外国船に頼っていたLNG輸入に初めて参入した。

船種：LNG船　船主：川崎汽船／日本郵船／商船三井　建造：1983年8月　川崎重工業坂出工場

垂線間長：268.0m　型幅：44.2m　型深：25.0m　満載喫水：11.5m

総トン数（GT）：100,296トン　載貨重量（DW）：69,991トン　主機：40,000馬力×105rpm　タービン1基　速力：19.3ノット（満載航海）

（写真提供：川崎重工業㈱）



すにもすえーす（SNIMOS ACE）

重量物船の一種で、輸出先でのプラント組み立てを容易にするため、工場であらかじめ大きなモジュールに分けて組み立てられたものをそのまま積載し輸送する。船型は超幅広、運航喫水4.5mで可変ピッチプロペラ、バウスラスターを装備、船尾にはランプウェーがあり、RO/RO荷役が可能となっている。荷役装置はない。

船種：モジュール船　船主：日本郵船　他2社　建造：1983年6月　三菱重工業長崎造船所

垂線間長：162.0m　型幅：38.0m　型深：9.00m　満載喫水：6.37m

総トン数：14,209.0トン　主機：8,750馬力　ディーゼル2基　航海速力：13.10ノット

（写真提供：日本郵船㈱／三菱重工業㈱）



播州丸（BANSHU MARU）

播州丸は越後丸に次ぐ日本郵船が配乗管理するLNG船第２船でアルミニウム合金製の球状タンク５基を採用。LNGは天然ガスをマイナス162℃の超低温まで冷却液化したもので常温・常圧下の気体に比べ600分の１の体積となるため専用船による海上輸送が可能となった。

船種：LNG船　船主：日本郵船　他４社　建造：1983年10月　三菱重工業長崎造船所

垂線間長：283.0m　型幅：44.5m　型深：25.0m　満載喫水：11.52m

総トン数：65,996トン　主機：40,000馬力　蒸気タービン１基　航海速力：19.3ノット

（写真提供：日本郵船㈱／三菱重工業㈱）



神海丸（JINKAI MARU）

重車両デッキ２層、リフタブルデッキ２層を含む12層のカーデッキを有し、乗用車から重車両、コンテナ、CKDまで多様な荷役が可能。

船種：P.C.C.　船主：日本郵船　建造：1983年11月　大島造船所

垂線間長：171.00m　型幅：32.25m　型深：31.90m　満載喫水：9.617m

総トン数：47,129トン　載貨台数：4,033台　主機：14,850馬力（MCO）　航海速力：17.5ノット

（写真提供：㈱大島造船所）



HAPPY BUCCANEER

550トンマストクレーン2基を片舷に設け、タンデムローディング時1,100トンという世界最大のリフト能力を持ち、大型貨物の搭載に適したオープンタイプの船殻構造（横置き隔壁がない長大な貨物倉）、船尾ランプからのロールオン／ロールオフ方式による貨物の積み卸し可能という世界に類のないユニークなタイプ。

船種：重量物運搬船　船主：AMSTEL TANKER MANAGEMENT B.V.　建造：1984年8月　日立造船因島工場

垂線間長：134.00m　型幅：28.30m　型深：14.80m　満載吃水：7.06m

総トン数：16,341トン　載貨重量：13,740トン　主機：5,140馬力×150rpm×2基（MCO）

速力：16.5ノット（試運転最大）14.3ノット（航海）

（写真提供：日立造船㈱）



泉州丸（SENSHU MARU）

インドネシアのバダック基地拡張に伴い、1978年から始められた増量プロジェクトのために建造されたMOS球形タンクのLNG船。

船種：液化天然ガス（LNG）船　船主：大阪商船三井船舶　建造：1984年2月　三井造船玉野

垂線間長：270.0m　型幅：44.8m　型深：25.0m　満載喫水：11.5m

総トン数（GT）：103,022トン　載荷重量（DW）：69,549トン　主機：40,000SHP×98rpm (MCO)　タービン　航海速力：19.3ノット

（写真提供：大阪商船三井船舶㈱／三井造船㈱）



KAKAP NATUNA

日本で改造されたFPSOとしては最大級のものである。インドネシア南シナ海に設置され原油の生産を行っている。

船種：浮遊式石油生産貯蔵船（FPSO）　船主：Marathon Petroleum Indonesia 社　改造：1986 年 3 月　住友重機械追浜造船所

垂線間長：267.9m　型幅：43.4m　型深：20.6m　最大原油貯蔵量：760,000bbls

居住室：86 人　原油生産量：25,000bpd　係留装置：CALM ーヨーク方式

据付海域（水深）：インドネシア沖、南シナ海域（88m）

（写真提供：㈱モデック）



SOUTHERN ANGEL

船尾のランプウェイを介して、後部車輌甲板及び貨物艙への自動車の RO/RO 荷役を可能にし、又、貨物船には撤積、一般貨物をクレーンにて搭載し、後部車輌甲板には自動車の RO/RO 荷役を可能にしたマルチパーパス貨物船である。

船種：自動車／貨物運搬船　船主：NL BALSAM SHIPPING（PANAMA）S.A.　建造：1987 年 5 月 21 日　今治造船本社工場

垂線間長：156.80m　型幅：26.80m　型深：14.90m　満載吃水：8.631m

総トン数：22,053 トン　載貨重量：21,902 トン　主機：7,300 馬力×110rpm　6UEC52LA　ディーゼル

航海速力：14.0 ノット　試運転最大速力：16.1 ノット

（写真提供：今治造船㈱）



NORSUN

日本で建造された最大のパッセンジャーフェリーでヨーロッパ国際フェリーの特徴を持ち、英国 Hull とオランダ Rotterdam を結ぶ Night Ferry である。乗客 1,250 名、乗用車 250 台及びトレーラー 120 台を積載する。

船種：RORO CARGO PASSENGER SHIP　船主：NORTH SEA FERRY　建造：1987 年 3 月　日本鋼管鶴見製作所

垂線間長：169.5m　型幅（Bm）：25.1m　型深：7.9m　満載喫水：6.2m

総トン数（GT）：31,598 トン　載貨重量（DW）：6,748 トン　主機：Vertila × 4 基　航海速力：18.5 ノット

（写真提供：NKK）



LA SEINE

極東～欧州航路の貨物輸送の増大に対応して建造された、当時最大級、最新鋭のパナマックス型コンテナ船。

船種：コンテナ船　船主：MOL Euro-Orient Shipping　建造：1988 年 4 月　石川島播磨重工呉工場

垂線間長：273.0m　型幅：32.2m　型深：21.2m　満載喫水：11.2m

総トン数：49,956 トン　載貨重量：45,585 トン　コンテナ積載数：3,613TEU　主機：39,000 馬力ディーゼル　航海速力：23.5 ノット

（写真提供：石川島播磨重工業㈱）



大雪山丸（TAISETSUSAN MARU）

定期航路は複合輸送時代を迎え、内航ライナーに力点をおく背景のもと、本船は二層甲板船尾機関型のガントリ付コンテナ専用運搬船で20フィートコンテナを197TEU個積載し航海速力17.4ノットで大阪～北海道を一昼夜半で航行する。又、バウスラスター可変ピッチプロペラを装備し離着岸の係船作業の省力化を計る。

船種：コンテナ船（197TEU）　船主：船舶整備公団・春山海運　建造：1988年4月11日　西造船

垂線間長：101.90m　型幅：18.70m　型深：10.20m　満載吃水：6.205m

総トン数：2,894t　載貨重量：3,872ノット　主機：9,900馬力×141rpm　B&W6L50MC　ディーゼル

航海速力：17.4ノット　試運転最大速力：21.06ノット

（写真提供：今治造船㈱）



加賀（KAGA）

コンテナ船がスピードアップ、積個数増加する時代、ホールド内10列8段デッキ上13列4段、積個数3,618TEU、冷凍コンテナ200FEU積載可能であり、MO-B仕様等近代化船としてのコンテナ船である。

船種：コンテナ船　船主名：日本郵船　建造：1988年4月25日　幸陽船渠

垂線間長：237.00m　型幅：32.20m　型深：21.50m　満載吃水：13.025m

総トン数：51,047トン　載貨重量：59,533トン　主機：39,000馬力×90.0rpm　MITUI-B&W8K90MC　ディーゼル

航海速力：23.0ノット　試運転最大速力：25.5ノット

（写真提供：今治造船㈱）



上総丸（KAZUSA MARU）

製鉄各社の大型鉄原船の船隊整備計画の一環として建造された大型鉱石運搬船。

船種：鉱石運搬船　船主：日邦汽船　建造：1988年1月　三井造船千葉造船所

垂線間長：311.0m　型幅：52.0m　型深：24.3m

総トン数（GT）：112,895トン　載貨重量（DW）：227,183トン　主機：23,100馬力　ディーゼル　試運転時速力：15ノット

（写真提供：三井造船㈱）



つばさ（TSUBASA）

45ノットの超高速、波高3.5mの荒海でも快適な乗り心地と優れた操縦性を誇るジェットフォイルの本邦建造第1船で、日本の高速船時代の先鞭をつけた。

船種：旅客船（全没翼型水中翼船）船主：佐渡汽船・船舶整備公団　建造：1989年3月　川崎重工業神戸工場

垂線間長：24.0m　型幅：8.5m　型深：2.6mm　満載喫水：1.5m

総トン数（GT）：164トン　載貨重量（DW）：33.36トン　主機：3,800馬力×13,120rpm　ガスタービン2基

速力：46.36ノット（試運転最大）、44.2ノット（航海）

（写真提供：川崎重工業㈱）



シーガル２（SEAGULL 2）

1981年、世界初の実用半没水型双胴旅客船として東京・熱海～大島間に就航し、快適な乗り心地と優れた就航率を誇った「シーガル」の後継・改良型として建造。

船種：半没水双胴型高速旅客船（三井SSC）船主：船舶整備公団、東海汽船　建造：1989年12月　三井造船玉野事業所

全長：39.3m　型幅：15.6m　型深：6.8m

総トン数（GT）：567トン　最大搭載人員：417名　主機：2680馬力×4基　速力：30.6ノット（試運転最大）、27.5ノット（航海速力）

（写真提供：三井造船㈱）



ふじ丸（FUJI MARU）

大阪商船三井船舶と商船三井客船が発注した我が国最初の遠洋資格を持つ本格的豪華客船（旅客定員603名）で、日本の高レベルな造船技術を駆使して建造された。

船種：客船（PASSENGER）　船主：大阪商船三井船舶／商船三井客船　建造：1989年4月　三菱重工神戸造船所

垂線間長：147.00m　型幅：24.00m　型深：13.50m

総トン数（GT）：23,340トン　載貨重量（DW）：4,613トン　主機：18,200/21,400馬力　ディーゼル

航海速力：19.8/22.42ノット

（写真提供：大阪商船三井船舶㈱／三菱重工業㈱）



ビアンカ（BIANCA）

世界最大（建造時）の全アルミ合金製旅客船。最大吃水１ｍという制約があるため、巾と吃水の比が 12 という超巾広浅吃水船

船種：旅客船　船主：琵琶湖汽船　建造：1990 年 4 月　日立造船神奈川工場

垂線間長：57.00m　型幅：12.00m　型深：3.60m　満載吃水 1.00m

総トン数：1,216 トン　旅客定員：600 人　主機：550 馬力×２基（MCO）　速力：11.1 ノット（試運転最大）10.4 ノット（航海）

（写真提供：日立造船㈱）



パシフィックハーモニー（PACIFIC HARMONY）

新世代型方形独立タンク方式大型 LPG 船である。

船種：LPG 船　船主：くみあい船舶　建造：1990 年 7 月　川崎重工業坂出工場

垂線間長：212.0m　型幅：36.0m　型深：20.7m　満載喫水：11.0m

総トン数（GT）：42,465 トン　載貨重量（DW）：49,701 トン　主機：12,400 馬力×80rpm　ディーゼル機関１基

速力：15.5 ノット（満載航海）

（写真提供：川崎重工業㈱）



AROSIA

ホールド内に11列のコンテナを収容することで、搭載個数を大幅に増加させたパナマックス型のコンテナ船。

船種：コンテナ輸送船　船主：EAC　建造：1990年7月　三井造船千葉造船所

垂線間長：280.0m　型幅：32.2m　型深：20.9m

総トン数（GT）：49,779トン　載貨重量（DW）：55,971トン　主機：55,900馬力　ディーゼル　試運転時速力：24.5ノット

（写真提供：三井造船㈱）



おせあにっくぐれーす（OCEANIC GRACE）

美観、高級感をめざし建造された全て2人部屋の120人乗りプライベートヨットタイプクリーズ豪華客船。

船種：客船（PASSENGER）船主：OCEANIC CRUISE　建造：1990年7月　NKK津製作所

垂線間長：92.0m　型幅：15.4m　型深：6.2m

総トン数（GT）：5,218トン　主機：3,530馬力×1,000rpm×2基（MCO）　航海速力：18.0ノット

（写真提供：NKK）



尾上丸（ONOE MARU）

1990年前半、多くの超省エネルギー船が誕　生した。その中で本船はNOPS（オフセンタープロペラ船）が採用された初めての超省エネ鉱石船である。NOPSや他の対策で従来比14%の省エネを達成した。

船種：鉄鉱石運搬船（ORE CARRIER）船主：日本郵船　建造：1990年8月　NKK津製作所

垂線間長：305.0m　型幅：54.0m　型深：24.6m

総トン数（GT）：116,427トン　主機：19,700馬力×56rpm（MCO）　航海速力：14.0ノット

（写真提供：NKK）



SALAMINA

世界で初めて建造された「EPOCH MARK II」型プロダクトキャリアの1番船。「EPOCH MARK II」は日立造船が開発し、特許を取得したユニ・ガーダ・システムを採用した完全ダブルハル構造の船

船種：プロダクキャリア　船主：SALAMINA SHIPPING CORP.　建造：1991年3月　日立造船舞鶴工場

垂線間長：174.00m　型幅：32.20m　型深さ：19.00m　満載吃水：11.00m

総トン数：29,506トン　載貨重量：40,280トン　主機：9,200馬力×106rpm（MCO）　速力：15.1kt（試運転最大）14.0kt（航海）

（写真提供：NKK）



POLYSAGA

油漏れによる海洋汚染防止を目的としたスエズマックス型ダブルハルタンカー

船種：油送船　船主：RUSMUSSEN　建造：1991 年 12 月　三井造船千葉造船所

垂線間長：258.0m　型幅：46.0m　型深：23.9m

総トン数（GT）：79,918 トン　載貨重量（DW）：150,152 トン　主機：20,940 馬力　ディーゼル　速力：16 ノット

（写真提供：三井造船㈱）



NEDLLOYD EUROPA

世界初のハッチカバーレス大型コンテナ船。ハッチカバーの無いコンテナ倉のセルガイドを甲板上まで延長し、ハッチカバーの開閉作業の排除、固縛作業の軽減により荷役時間の短縮が可能となった。

船種：コンテナ船　船主：P&O NEDLLOYD　建造：1991 年 12 月　三菱重工神戸造船所

垂線間長：253.0m　型幅：32.24m　型深：23.25m　満載喫水：12.5m

総トン数（GT）：約 48,500 トン　コンテナ数：3,568TEU　主機：30,600kW　ディーゼル　航海速力：21.5 ノット

（写真提供：三菱重工業㈱）



飛鳥（ASUKA）

日本最大・最高級のクルーズ客船、全客室が海側に面し、加えてバスタブの完備を実現。'96年3月1日横浜港より96日間、18ケ国28港を訪れる世界一周クルーズを行った。

船種：客船　船舶運航会社：郵船クルーズ　建造：1991年10月　三菱重工業長崎造船所

垂線間長：192.8m　型幅：24.7m　型深：10.40m　満載喫水：6.618m

総トン数：28,717トン　乗客数：584名（最大604名）　主機：17,700馬力　ディーゼル2基　航海速力：21.0ノット

（写真提供：日本郵船㈱／三菱重工業㈱）



SAGA TIDE

ダブルハル構造、ボックス型のホールドを有し、多種多様な荷役に対応。レインシールド付きの2基の高速ガントリークレーンを装備する。

船種：OPENB.C.　船主：ALBIREOM.S.A　建造：1991年9月　大島造船所

垂線間長：190.00m　型幅：30.50m　型深：16.40m　満載喫水：11.823m

総トン数：29,235トン　載貨重量：47,029トン　主機：12,170馬力×125.0rpm（MCO）　航海速力：15.0ノット

（写真提供：大島造船所㈱）



OLYMPIC SERENITY

海上汚染防止条約の改定を先取りして世界で最初のダブルハル式タンカーとして建造された。

船種：油槽船　船主：ONNASIS　建造：1991 年 3 月　住友重機械追浜造船所

垂線間長：222.1m　型幅：42.0m　型深：20.3m

総トン数（GT）：52,127 トン　載荷重量（DW）：96,733 トン　主機：14,200 馬力×103rpm　ディーゼル　航海速力：13.9 ノット

（写真提供：住友重機械工業㈱）



とらいでんと（TRIDENT）

超細長双胴船（SSTH ; Super Slender Twin Hull）の第 1 船。優れた高速性能と経済性を実現し、日本造船学会・1992 年度 Ship of The Year を受賞した。

船種：旅客船　船主：深日海運　建造：1992 年　アイ・エイチ・アイ・アムテック

全長：30.4m　幅：5.6m　深さ：2.0m　喫水：0.88m

総トン数：52 トン　主機：440kW × 2 基　高速ディーゼル　試運転速力：27.3 ノット

（写真提供：石川島播磨重工業㈱）



黒隆丸（KOKURYU MARU）

荷役の自動化を主眼目に、本船側のランプウェイ・リフター・パレットキャリアをコンピュータ制御すると同時に、陸上側の風雨密パレット・Uフレーム車との組合わせにより、鋼材荷役の完全自動化・全天候型化を実現した。

船種：RO/RO船　船主：松浜海運、芙蓉海運、あすか汽船　建造：1992年2月29日　今治造船本社工場

垂線間長：110.00m　型幅：18.00m　型深：10.22m　満載吃水：5.000m

総トン数：5,195トン　載貨重量：2,510トン　主機：6,080馬力×200rpm　B & W8L35MC

航海速力：14.95ノット　試運転最大速力：18.65ノット

（写真提供：今治造船㈱）



NEPTUNE CENTAULAS

MARPOL 73/7813F規則を先取りし、二重船底側／船底構造を採用した、当時新構造船のアララマックスタンカー船である。

船種：OIL TANKER（CRUDE）　船主名：NEPTUNE ORIENT LINES　建造：1992年9月24日　今治造船丸亀事業本部

垂線間長：235.00m　型幅：42.00m　型深：19.50m　満載吃水：13.467m

総トン数：52,504トン　載貨重量：95,644トン　主機：16,600馬力×94.0rpm　SULZER7RTA62　ディーゼル

航海速力：14.5ノット　試運転最大速力：15.7ノット

（写真提供：今治造船㈱）



MELODIA

プロダクト積みを考慮した、二重船側／船底、オンデッキガーダー構造採用とし、タンク内には構造物が無い船とした。

船種：OIL TANKER（PRODUCT）　船主：MELODIA MARITIME PTE　建造：1992 年 6 月 4 日　今治造船丸亀事業本部

垂線間長：172.00m　型幅：30.00m　型深：18.40m　満載吃水：11.766m

総トン数：25,800 トン　載貨重量：41,450 トン　主機：9,700 馬力×78rpm　B&W5S60MC　ディーゼル

航海速力：14.5 ノット　試運転最大速力：16.05 ノット

（写真提供：今治造船㈱）



オーシャン・フェニックス（OCEAN PHENIX）

本邦最大級の低音常圧液化エチレン運搬船（－104℃）で SUS 製シリンドリカルタンクを搭載している。

船種：エチレン運搬船　船主：第一タンカー　建造：1992 年　石川島造船化工機

垂線間長：88.0m　型幅：15.0m　型深：7.5m　喫水：5.0m

総トン数（GT）：2,948 トン　タンク容積：1,500m³×2　主機：3,300 馬力　ディーゼル　航海速力：13.0 ノット

（写真提供：石川島造船化工機㈱）



GROUSE ARROW

世界初の全覆型ペーパーロール専用運搬船。

船種：撤積運搬船　船主：GEAR BULK　建造：1992年7月（引渡）　三井造船玉野造船所

垂線間長：175.0m　型幅：30.0m　型深：31.1m

総トン数（GT）：44,398トン　載貨重量（DW）：42,276トン　主機：12,750馬力　ディーゼル　航海速力：15.25ノット

（写真提供：三井造船㈱）



AROSA

1992年3月に改正された国際海洋汚染防止条約（MARPOL）に適合させるために二重船殻構造（ダブルハル）を採用した我が国で初めて（世界では2番目）建造されたVLCC

船種：原油タンカー（VLCC）　船主：ALOSA MARITIME　建造：1993年2月　日立造船有明工場

垂線間長：315.00m　型幅：58.00m　型深さ：30.40m　満載吃水：21.60m

総トン数：156,336トン　載貨重量：291,381トン　主機：29,600馬力×71.5rpm（MCO）

速力：16.35ノット（試運転最大）15.0ノット（航海）

（写真提供：日立造船㈱）



瑞光（ZUIKO）

動揺制御装置を装備した翼付き双胴高速船「SUPERJET-30」の1番船。ウォータージェット推進。水中翼を除き、全アルミ合金製。

船種：双胴高速船　船主：石崎汽船　建造：1993年11月　日立造船神奈川工場

垂線間長：31.50m　型幅：9.80m　型深：3.50m　吃水：1.90m

総トン数：167トン　旅客定員：156人　主機：2,500馬力×1,900rpm×2基（MCO）　速力：37.4ノット（試運転最大）34.0ノット（航海）

（写真提供：日立造船㈱）



沖ノ嶋丸（OKINOSHIMA MARU）

37,000トンの貨物船JUNOによる二重反転プロペラの実船試験に成功し、その成果を26万トンタンカー「沖ノ嶋丸」に適応して14%の省エネルギー効果を達成した。

船種：タンカー　船主：出光タンカー　建造：1993年　石川島播磨重工

垂線間長：319m　幅：60.0m　深さ：28.65m　喫水：18.94m

総トン数：147,665トン　載貨重量：258,079トン　主機：27,220馬力×62.1rpm　ディーゼル　航海速力：15.7ノット

（写真提供：石川島播磨重工業㈱）



POLAR EAGLE

世界初の自立角型IMOタイプB（SPB）LNG船であり、純国産技術により建造された。独自技術の成功により日本造船学会1993年度Ship of The Yearを受賞した。

船種：LNG船　船主：Phillips Alaska Natural Gas Corporation/Marathon Oil　建造：1993年6月　石川島播磨重工愛知工場

垂線間長：226.0m　型幅：40.0m　型深：26.8m　満載喫水：11.0m

総トン数：66,174トン　貨物タンク容積：89,000m³　載貨重量：48,817トン　主機：21,000馬力　蒸気タービン　航海速力：18.5ノット

（写真提供：石川島播磨重工業㈱）



ほくれん丸（HOKUREN MARU）

モーダルシフトに対応した世界初の牛乳専用ロールオン・ロールオフ船でこの船種では最高速のスピードで北海道から首都圏まで僅か20時間で結ぶ。平成9年春には姉妹船の誕生により、毎日運航が可能になる。

船種：RO/RO船　船主：川崎近海汽船　建造：1993年6月30日　今治造船本社工場

垂線間長：142.80m　型幅：21.40m　型深：17.35m　満載吃水：6.975m

総トン数：7,096トン　載貨重量：5,517トン　主機：26,400/26, 136馬力×400/150.8rpm　DU16PC4-2V×1

航海速力：23.5ノット　試運転最大速力：25.28ノット

（写真提供：今治造船㈱）



八戸丸（HACHINOHE MARU）

内航船近代化の動きにフル対応した石灰石運搬船で、操船・制御・監視・通信の諸機能を人間工学的に一体化したコクピット型船橋や完全密閉式荷役装置、居住スペースのアメニティ化等にその特徴がある。

船種：石灰石運搬船　船主名：扶桑船舶、船舶整備公団　建造：1993年10月1日　今治造船本社工場

垂線間長：160.40m　型幅：23.40m　型深：13.10m　満載吃水：9.347m

総トン数：14,930トン　載貨重量：22,786トン　主機：9,400馬力×134rpm　B&W6L50MC　ディーゼル

航海速力：13.75ノット　試運転最大速力：16.33ノット

（写真提供：今治造船㈱）



NANHAI SHENGKAI

中国沖に設置されたFSOであり、台風時にはアンカーラインを切離して自航することができる。

船種：浮遊式石油貯蔵船（FSO）　建造：1993年8月（設計）モデック（改造）センバワン造船所（シンガポール）

垂線間長：247.0m　型幅：40.6m　型深：22.3m　最大原油貯蔵量：880,000bbls　居住室：35人　載荷重量：121,361bpd

係留装置：切離式内部ターレット方式

据付海域（水深）：香港沖、リューフェン海域（141m）

（写真提供：㈱モデック）



COSMO DELPHINUS

世界初の二重反転プロペラ（CRP）装備のVLCCであり、三菱高度運航支援システム（SUPER ASOS）も装備した超省エネ・ハイテク船である。

船種：油槽船（VLCC）船主：新和海運　建造：1993年3月　三菱重工長崎造船所

垂線間長：311.0m　型幅：58.0m　型深：29.5m　満載型喫水：19.461m

総トン数（GT）：146,527トン　載荷重量（DW）：258,095トン　主機：28,000馬力×84rpm　三菱UE7UEC75LSIII

速力：16.08ノット（試運転最大）15.25ノット（満載航海）

（写真提供：三菱重工業㈱）



レインボー（RAINBOW）

国産として初めてこの双胴全没型水中翼船で、海象厳しいことで知られる隠岐航路に就航、時化た海域においても推進、耐航性能に優れ、航空機に代わる交通手段として離島振興に貢献している。

船種：旅客船（Passenger）船主：隠岐振興　建造：1993年3月　三菱重工業下関造船所

垂線間長：28.5m　型幅：11.0m　型深：4.20m

総トン数（GT）：302トン　主機：2,850馬力　ディーゼル機関2台　航海速力：40ノット　試運転最大速力：45.3ノット

（写真提供：三菱重工業㈱）



AMAN BINTULU

世界初のテクニガス・マークⅢメンブレン方式のLNG船で、現在、マレーシア～博多間で順調にLNGを輸送中である。
船種：LNG船　船主：ASIA LNG TRANSPORT SDN. BHD.　建造：1993年10月　NKK津製作所
垂線間長：124.0m　型幅：25.7m　型深：16.6m　夏期満載喫水：7.1m　計画満載喫水：6.5m
総トン数：16,399トン　貨物タンク容積（－163℃）：18,927m³　主機：7,500馬力×125rpm　蒸気タービン1基
航海速力：15.0ノット

（写真提供：NKK）



BERGE SIGVAL

発行前のIMO海上汚染防止条約（MARPOL条約）改正を先取りしてダブルハル構造を採用すると共に、徹底した自動化、省力化、メンテナンスフリー化を図り、高い信頼性と安全性を実現した当時ダブルハルでは世界最大の306,000DWT型VLCC。
船種：油槽船（VLCC）船主：BERGESEN D.Y.A/S　建造：1993年3月　NKK津製作所
垂線間長：317.00m　型幅：58.0m　型深：31.4m　満水喫水：22.34m
総トン数（GT）：160,214トン　載貨重量（DW）：306,430トン　貨物油タンク容積：350,344m³
速力：16.4ノット（試運転最大）　15.95ノット（満載航海）

（写真提供：NKK）



高峰丸（TAKAMINE MARU）

本邦初のダブルハルタンカーである。

船種：油槽船　船主：日本郵船　建造：1993 年 9 月　名村造船所　伊万里

垂線間長：232.00m　型幅：42.00m　型深：20.40m　満載喫水：13.80m

総トン数（GT）54,953 トン　載貨重量（DW）95,822 トン　主機：13,800 馬力×79rpm（MCO）　ディーゼル 1 基

速力：15.52 ノット（試運転最大）14.5 ノット（満載航海）

（写真提供：㈱名村造船所）



MARITIME WISDOM

最大クラスの載貨重量と貨物容積を有し、高速、低燃費を実現した高経済船設計のばら積み貨物船。愛称「スーパーパナマックス」

船種：PANAMAX B. C.　船主：BRANCASTER NAV　建造：1993 年 1 月　大島造船所

垂線間長：217.00m　型幅：32.26m　型深：19.00m　満載喫水：13.85m

総トン数（GT）：38,379 トン　載貨重量：73,657 トン　主機：12,300 馬力×81.0rpm（MCO）　速力：14.00 ノット

（写真提供：㈱大島造船所）



能代丸（NOSHIRO MARU）

石炭専用船として建造され、二重船殻構造のため倉内洗浄が容易であり、腐食が発生しにくくなっている。

船種：COAL CARRIER　船主：日本郵船　建造：1993 年 5 月　大島造船所

垂線間長：231.00m　型幅：43.00m　型深：19.30m　　満載喫水：12.637m

総トン数：53,935 トン　載貨重量：89,999 トン　主機（MCO）15,040 馬力×99.0rpm　航海速力：14.00 ノット

（写真提供：㈱大島造船所）



VINNGA

北海油田向けに、世界で初めての試みである STL システムを採用した最初の油槽船である。（STL システム：海中に浮遊状態で係留されたブイを拾い上げ、本船の船底に接続し、原油生産プラットフォームから原油を海面下で積み込むシステムであり、荒天での荷役が可能となること、また本船はこのブイに係留されるため荷役中の船体位置保持システムが不要になるなどの利点がある。）

船種：油槽船　船主：KS JLM TANK 1（ノルウェイ）建造：1993 年 7 月　サノヤス・ヒシノ明昌　水島工場

垂線間長：222.128m　型幅：42.0m　型深：20.3m　満載喫水：14.227m

総トン数（GT）：52,348 トン　載貨重量（DW）：95,029 トン　主機：16,200 馬力×107rpm（MCO）

速力：15.03 ノット（試運転最大）14.0 ノット（航海速力）

（写真提供：㈱サノヤス・ヒシノ明昌）



NYK ALTAIR

デッキ上5段のコンテナのハンドリングを容易にしたストロングラッシングブリッジを備えているポストパナマックス大型コンテナ船である。

船種：コンテナ船　船主：日本郵船　建造：1994年12月　石川島播磨重工呉工場

垂線間長：283m　型幅：37.1m　型深：21.8m　満載喫水：13m

総トン数：60,117トン　載荷重量：63,163トン　主機：43,620kW　ディーゼル　航海速力：23.5ノット

（写真提供：日本郵船㈱／石川島播磨重工業㈱）



NEDLLOYD ASIA

タンクトップからデッキ上4段まで連続セルガイドを備えてコンテナの荷役効率を向上した世界初の大型オープンハッチコンテナ船。

船種：コンテナ船　船主：Nedlloyd Lines B.V.　建造：1994年　石川島播磨重工呉工場

垂線間長：253.0m　型幅：32.24m　型深：23.25m　満載喫水：12.5m

総トン数：48,508トン　載荷重量：46,985トン　主機：30,600kW　ディーゼル　航海速力：21.5ノット

（写真提供：石川島播磨重工業㈱）



疾風（HAYATE）

揚力式複合支持船型（TSL-F）に関するＦグループ５社による研究の集大成として、全没型水中翼と没水体の浮力で船体を支持する全く新しいコンセプトの模型船を建造し、実海域試験に成功した。

船種：TSL-F 実海域模型船　船主：テクノスーパーライナー技術研究組合　建造：1994 年 7 月　川崎重工業神戸工場

全長：約 17.1m　幅：6.2m　深さ（上甲板）：約 1.5m　計画喫水（艇走時）約 3.1m（翼走時）約 1.6m

主機：3,800 馬力　ガスタービン１基　最大速力：41.3 ノット

（写真提供：川崎重工業㈱）



はやぶさ（HAYABUSA）

日本初、世界最大（建造時）のアルミ合金製高速カーフェリーで、SHIP OF THE YEAR '94 を受賞した。

船種：カーフェリー（波浪貫通型高速双胴船）船主：九四フェリーボート、船舶整備公団　建造：1994 年 12 月　川崎重工神戸工場

全長：約 100.0m　型幅：19.98m　型深：12.6m　満載喫水：約 3.1m

総トン数（GT）：約 2,280 トン　載貨重量（DW）：約 570 トン　主機：4,060kW　ディーゼル機関 2 基、5,420kW　ディーゼル機関 2 基

速力：35.5 ノット（最高速力）　30.0 ノット（航海速力）

（写真提供：川崎重工業㈱）



飛翔（HISHO）

海上高速物流システムを実証するために建造された世界初の50ノット級外洋航行型超高速貨物船（TSL-A）で、荒天時に優れた高速安全航行性能を発揮する。

船種：TSL-A型実海域実験船　船主：テクノスーパーライナー技術研究組合／三井造船／三菱重工業

建造：1994年6月　三井造船玉野事業所／三菱重工業長崎造船所

全長：70.0m　型幅：18.6m　型深：7.5m

総トン数：1,427トン（国内）載貨重量：200トン　主機：16,000馬力　ガスタービン2基、ウォータージェット推進器2基、

浮上機関：2,000馬力　ガスタービン1基及び2,000馬力　ディーゼル3基　最大速力：54.25ノット

（写真提供：三井造船㈱／三菱重工業㈱）



AFRICAN RUBY

船種：油槽船　船主：ELIGIBLE TANKERS S.A.　建造：1994年2月　名村造船所　伊万里

垂線間長：265.00m　型幅：45.00m　型深：24.30m　満載喫水：16.95m

総トン数（GT）：81,803トン　載貨重量（DW）：150,173トン　主機：24,000馬力×84rpm（MCO）　ディーゼル1基

速力：16.78ノット（試運転最大）15.1ノット（満載航海）

（写真提供：㈱名村造船所）



SANKO RADIANCE

船種：オープンバルクキャリヤー　船主：RADIANCE BULKSHIP LIMITED　建造：1994年7月　名村造船所　伊万里
垂線間長：177.00m　型幅：30.50m　型深：16.20m　満載喫水：11.50m
総トン数（GT）：25,676トン　載貨重量（DW）：42,529トン　主機：11,000馬力×122rpm（MCO）ディーゼル1基
速力：16.32ノット（試運転最大）14.5ノット（満載航海）

（写真提供：㈱名村造船所）



新鑑真（XINJIANZHEN）

先代「鑑真」の代替として建造された上海～神戸・大阪・横浜の定期国際貨客フェリーである。
船種：RO-RO PASSENGER SHIP　船主：CHINA-JAPAN INTERNATIONAL FERRY　建造：1994年　尾道造船
垂線間長：143.0m　型幅：23.0m　型深：8.5m　満載吃水：6.25m
総トン数（GT）：14,543トン　載貨重量（DW）：4,321トン　主機：21,000馬力×520rpm　ディーゼル機関　航海速力：21.05ノット

（写真提供：尾道造船㈱）



MAERSK TAIAN

日立パナマックスBCの79番船。第3世代の「パナマックス・オプティマ」をマイナーチェンジした「ニューバージョン」の1番船。パナマックスBCは通常デッキクレーンを装備していないが、本船は25トンクレーンを4基装備している。このタイプは1996年末現在4隻建造されており、更に連続建造されている。

船種：ばら積み運搬船　船主：DANE STAR S. A/PALACE MARITIME CORP.　建造：1995年10月　日立造船舞鶴工場

垂線間長：215.00m　型幅：32.20m　型深さ：18.60m　満水吃水：13.43m

総トン数：37,821トン　載貨重量：71,474トン　主機：11,830馬力×89.5rpm（MCO）　速力：16.5ノット（試運転最大）14.5ノット（航海）

（写真提供：日立造船㈱）



STELLAR GLORY

ボックス構造の貨物艙を採用し、マルチカーゴとしての高能率の荷役を可能にした他、貨物艙に冷蔵装置を組込むことにより米等特殊貨物を高品質の状態で輸送することができる。

船種：BULKER（米積み）　船主：COSMOS SHIPPING LINES, S.A.　建造：1995年7月21日　今治造船本社工場

垂線間長：149.80m　型幅：26.00m　型深：13.50m　満載吃水：9.782m

総トン数：15,899トン　載貨重量：24,202トン　主機：9,700馬力×127rpm　B&W5SC50MC（V）　ディーゼル1基

航海速力：15.1ノット　試運転最大速力：17.33ノット

（写真提供：今治造船㈱）



LA LOIRE

ホールド内12列8段、デッキ上15列5段コンテナ積載。デッキ上5段積みを考慮し、4段目までラッシング可能となる様ラッシングブリッヂを配置した4706TEU積オーバーパナマックス型コンテナ船である。

船種：コンテナ船　船主：MINSTREL SHIPPING S.A.　建造：1995年4月14日　幸揚船渠

垂線間長：283.00m 型幅：37.20m　型深：21.80m　満載吃水 13.00m

総トン数：58,531トン　載貨重量：61,470トン　主機：59,600馬力×94.0rpm　MITUI-MAN B & W10K90MC

航海速力：23.5ノット　試運転最大速力：27.06ノット

（写真提供：今治造船㈱）



第百八若潮丸（WAKASHIO MARU NO. 108）

現在鮪漁船では、日本最大の鮪延縄漁船である。漁獲装置及び加工設備を装備しており、凍結能力は、－60℃、漁艙－5℃保持できる能力を持っている。

船種：鮪延縄漁船　船主：若潮水産　建造：1995年11月　カナサシ

垂線間長：54.60m　型幅：9.40m　型深：4.25m　満載吃水：3.85m

総トン数：499トン　主機：1,000馬力　4サイクルディーゼル1基　航海速力：11.5ノット

（写真提供：㈱カナサシ）



ドリーム３号（DREAM 3）

国内唯一のディーゼルホーバー旅客船。駆動方式を従来のタービンから空冷式高速ディーゼルエンジンに変更し、メンテナンスコストを削減した。大分港～大分空港に就航。

船種：エアクッション型高速旅客船　船主：船舶整備公団、大分ホーバーフェリー　建造：1995 年 10 月　三井造船玉野事業所

全長：23.1m　全幅：11.0m

総トン数（GT）：51 トン　最大搭載人員：108 名　主機：（推進）　520 馬力×２（浮上）　520 馬力×２

速力：55 ノット（試運転時最大）、45 ノット（航海速力）

（写真提供：三井造船㈱）



WESTERN OCEAN

ハンディクラス最大級の撒積貨物船であり、４基の高効率デッキクレーン、低燃費主義を有し、大変好評を得ている。愛称「大島スーパーハンディマックス」

船種：HANDY MAX B.C.　船主：WESTERN BULK　建造：1995 年 8 月　大島造船所

垂線間長：181.60m　型幅：30.50m　型深：16.50m　満載喫水：11.820m

総トン数：26,449 トン　載貨重量：47,639 トン　主機：9,970 馬力× 109.0rpm（MCO）　航海速力：14.3 ノット

（写真提供：㈱大島造船所）



すずらん（SUZURAN）

従来の長距離フェリーの性能を画期的に向上した高速大型フェリーである。船体の細長化と船型の改良および世界最大出力の中速主機関の開発などにより航海速力29.4ノットを達成した。載貨重量：3000トン以上のフェリーとしては世界最高速である。

船種：旅客船兼車両航送船　船主：新日本海フェリー　建造：1996年　石川島播磨重工

垂線間長：187m　幅：25.0m　深さ：9.5m　喫水：7.08m

総トン数17,345トン　載貨重量：5,801トン　主機：23,830kW／160.7rpm　ディーゼル2基　航海速力：29.4ノット

（写真提供：石川島播磨重工業㈱）



FOREST CREATOR

本船は、360万C.F.型の最新鋭船で巾広艙口を採用している。荷役装置として3基のデッキクレーンと4個の固定式ホッパーを装備している。

船種：チップ運搬船　船主：NAIAD SHIPPING　建造：1996年9月24日　今治造船丸亀事業本部

垂線間長：193.00m　型幅：32.20m　型深：22.65m　満載吃水：11.547m

総トン数：40,328トン　載貨重量：49,865トン　主機：12,170馬力×124rpm　UE7UEC50LS II　ディーゼル1基

航海速力：14.7ノット　試運転最大速力：16.19ノット

（写真提供：今治造船㈱）



CROWN EMERALD

バナナ輸送に主眼を置いた最大級の冷凍船で、広い艙口蓋とデッキクレーンの組合わせによるパレット荷役の高能率化及び艙内40′コンテナ積を可能としている他、冷蔵装置は全てCRTによる遠隔制御・監視が行える。

船種：冷凍船　船主：IDHRA MARITIMA S.A.　建造：1996年3月28日　岩城造船

垂線間長：139.40m　型幅：23.00m　型深：13.00m　満載吃水：8.650m

総トン数：10,519トン　貨重量：10,351トン　主機：16,200馬力×105rpm　UE6UEC60LS×1基

航海速力：21.0ノット　試運転最大速力：22.5ノット

（写真提供：今治造船㈱）



ELLIDA

本船は最新鋭のケープサイズ鉱石兼撒積運搬船であり、ワールドワイドサービスを考慮した最適寸法を採用している。特にフランス・ダンケルク港に入港可能な最大船型、通称“ダンケルクマックス”としては最大限の載貨重量及び船艙容積を確保している。

船種：ORE/BULK CARRIER　船主名：CAPESIZE AS　建造：1996年9月18日　幸陽船渠

垂線間長：280.00m　型幅：45.00m　型深：23.80m　満載吃水：17.620m

総トン数：85,324トン　載貨重量：171,090トン　主機：21,900馬力×87.0rpm　MAN B&W6S70MC（V）×1基

航海速力：14.9ノット　試運転最大速力：16.9ノット

（写真提供：今治造船㈱）



NSS BONANZA

本船は最新鋭のケープサイズ鉱石兼撒積運搬船である。従来のケープサイズに比べ、幅広浅吃水船型を採用する事により、同吃水での載荷重量増を可能とした。また、低回転大直径プロペラを採用する事により、推進性能の向上及び低燃費を実現している。

船種：ORE/BULK CARRIER　船主：HOSEI SHIPPING S.A.　建造：1996 年 7 月 4 日　幸陽船渠

垂線間長：280.00m　型幅：47.00m　型深：23.00m　満載吃水：17.044m

総トン数：85,902 トン　載貨重量：170,907 トン　主機：20,200 馬力×69.0rpm　B&W7S70MC（V）×1 基

航海速力：14.5 ノット　試運転最大速力：16.25 ノット

（写真提供：今治造船㈱）



SUNNY STAR

本船はスモールハンディサイズ28型の代表的な1隻で、主として穀類の運搬に適する様に計画されているが、木材運搬にも十分に対応出来る強度の甲板と艙口蓋を有し、設備として起倒式スタンションが設備されている。又、荷役の容易性を考慮し巾広艙口としている。

船種：撒積貨物船　船主：I.M.A. LINES CO.,S.A.　建造：1996 年 6 月 2 日　今治造船本社工場

垂線間長：160.40m　型幅：27.20m　型深：13.60m　満載吃水：9.766m

総トン数：16,766 トン　載貨重量：28,387 トン　主機：7,800 馬力×108rpm　B&W5S50MC ×1 基

航海速力：14.0 ノット　試運転最大速力：16.0 ノット

（写真提供：今治造船㈱）



WHAKAAROPAI

ニュージーランドにて最初に設置されたFPSOであり南半球で最も南に位置している。

船種：浮遊式石油生産貯蔵船（FPSO）　船主：Shell Todd Oil Services　建造：1996年9月（設計）　モデック（改造）

ケッペル造船所（シンガポール）

垂線間長：254.0m　型幅：43.5m　型深：23.0m　最大原油貯蔵量：660,000bbls　居住室：34人　原油生産量：43,200bpd

係留装置：外部ターレット方式

据付海域（水深）：ニュージーランド沖、マウイ海域（110m）

（写真提供：㈱モデック）



T. M. HARMONY

二重船殻（ダブルハル）構造のVLCC。

船種：油送船　船主：MAYBARU SHIPPING PTE　建造：1996年12月（引渡）　三井造船千葉造船所

垂線間長：318.0m　型幅：60.0m　型深：28.6m

総トン数（GT）：150,551トン　載貨重量（DW）：259,000トン　主機：31,530馬力　ディーゼル　航海速力：15.85ノット

（写真提供：三井造船㈱）



アルズバーラ（AL ZUBARAH）

5基のMOSS方式の球形タンク（135,000m³）を搭載したカタールプロジェクト向けLNG船。

船種：LNG船　船主：大阪商船三井船舶、日本郵船、川崎汽船、昭和海運、飯野海運　共有　建造：1996年12月（引渡）　三井造船千葉造船所

垂線間長：283.0m　型幅：45.75m　型深：25.5m

総トン数（GT）：111,079トン　載貨重量（DW）：72,557トン　主機：36,440馬力　蒸気タービン　航海速力：19.5ノット

（写真提供：三井造船㈱）



ガリンコ号2（GARINKO GOU 2）

アルキメディアンスクリューを船首部に装備した、世界初の流氷観光船「ガリンコ号」の後継・改良型として建造。

船種：鋼製流氷観光船（三井ASV）船主：船舶整備公団、オホーツクガリンコ観光汽船　建造：1996年10月　三井造船、ヤマニシ

全長：34.77m　型幅：7.0m　型深：2.7m

総トン数（GT）：150トン　最大搭載人員：200名　主機：1010馬力×1基

速力：11.4ノット（試運転最大）、10.70ノット（航海速力）、氷海中速力：2ノット

（写真提供会社：三井造船㈱）



ねぷちゅーん（NEPUCHUN）

1991年に双胴型旅客船として国内最高スピードの41ノットをマークした「三井マイティキャット40」シリーズの最新型旅客船として建造。徳島～関西空港～大阪航路に就航している。

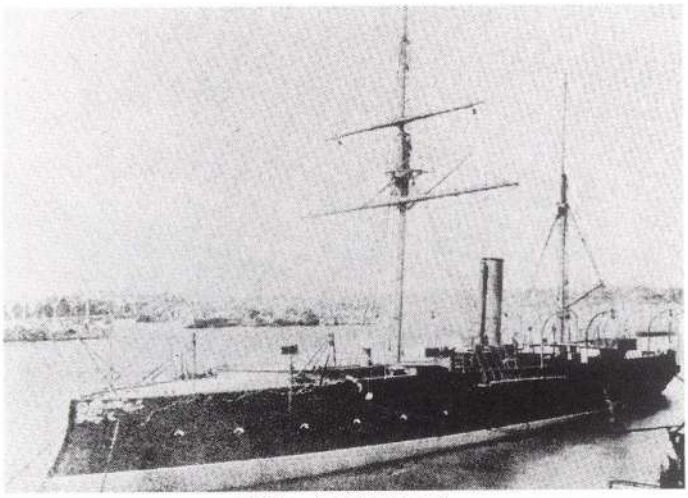
船種：軽合金製双胴型高速旅客船　船主：船舶整備公団、徳島高速船、南海フェリー　建造：1996年6月　三井造船玉野事業所

全長：43.2m　型幅：10.8m　型深：3.5m

総トン数（GT）290トン　最大搭載人員：304名　主機：3600馬力×2基　速力：41.02ノット（試運転最大）、36.80ノット（航海速力）

（写真提供：三井造船㈱）

艦艇



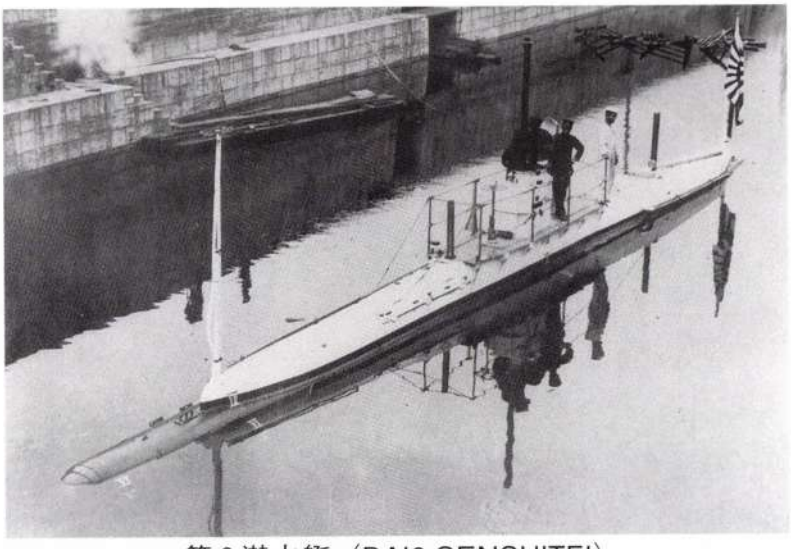
鳥海（CHOKAI）

民間造船所として、わが国最初に建造された軍艦である。推進器もわが国で製造した最初の双螺旋式のものが用いられた。船体の建造では、まだ空気圧縮機がなかったためリベットはハンマーで打たれた。

船種：鉄製1等砲艦　船主：海軍省　建造：1888年　石川島造船所

長さ：47m　幅：8.7m　深さ：4.2m　排水量：624トン　速力：10.3ノット　主機：963馬力　2連成表面復垂直動横置　2基

（写真提供：石川島播磨重工業㈱）



第6潜水艇（DAI6 SENSUITEI）

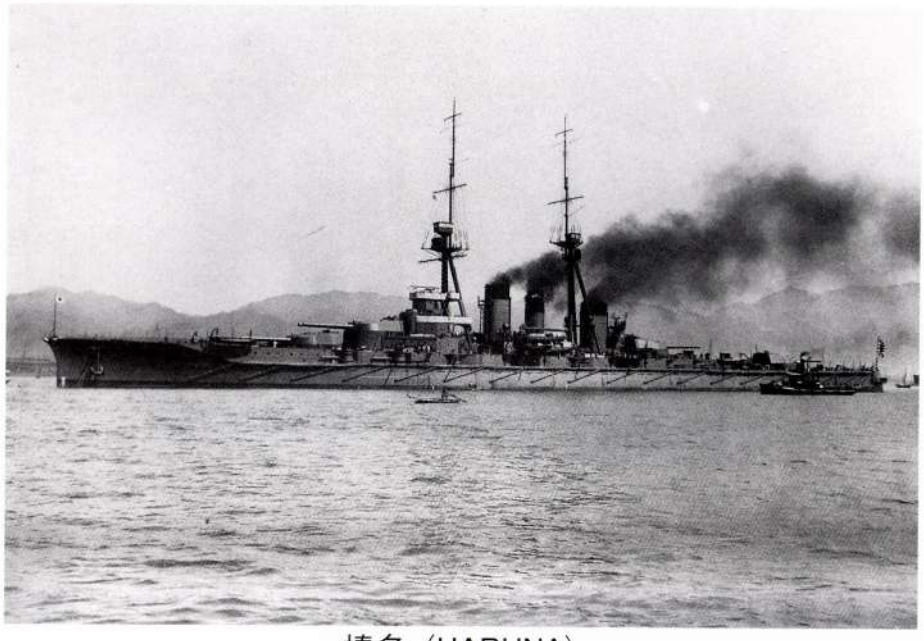
国産初の潜水艇、同型2艦

艦種：潜水艇（ホランド型改）船主：海軍省　建造：1906年4月　川崎造船所

全長：23.25m　幅：2.15m　平均喫水2.06m

排水量：58トン（常備）　主機：250馬力ガソリン機関1基　速力：8.5ノット（水上）、4.0ノット（水中）

（写真提供：川崎重工業㈱）



榛名（HARUNA）

国内民間造船所で建造した初めての主力艦、金剛型（４艦）、1931年戦艦に類別変更。

艦種：巡洋戦艦　船主：海軍省　建造：1915年４月　川崎造船所

垂線間長：199.19m　幅：28.04m　深さ：13.18m　平均喫水：8.22m

排水量：27,500トン（常備）　26,330トン（基準）主機：64,000馬力　タービン機関２基　速力：27.5ノット

（写真提供：川崎重工業㈱）



霧島（KIRISHIMA）

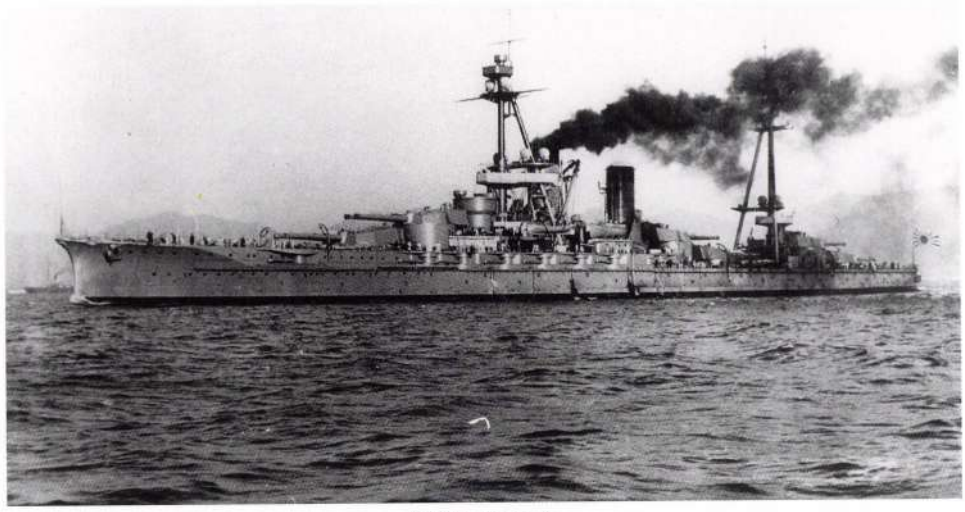
我が国の民間造船所で建造された最初の軍艦。

艦種：巡洋戦艦　船主：旧日本海軍　竣工：1915年４月　三菱長崎造船所

全長：214.6m　幅：28m　吃水：8.4m

排水量：26,330英トン（基準状態）　主機：パーソンズ式タービン　速力：27.5ノット

（写真提供：三菱重工業㈱）



伊勢（ISE）

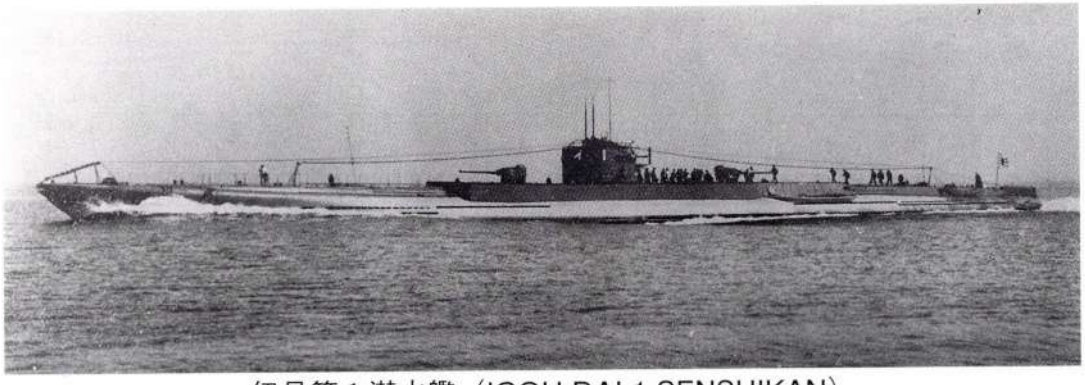
超弩級艦、伊勢型（２艦）、1943 年航空戦艦に改造。

艦種：戦艦　船主：海軍省　建造：1917 年 12 月　川崎造船所

垂線間長：195.07m　幅：28.65m　深さ：13.23m　平均喫水 8.86m

排水量：31,260 トン（常備）、29,990 トン（基準）　主機：45,000 馬力　タービン機関２基　速力：23.0 ノット

（写真提供：川崎重工業㈱）



伊号第１潜水艦（IGOU DAI 1 SENSUIKAN）

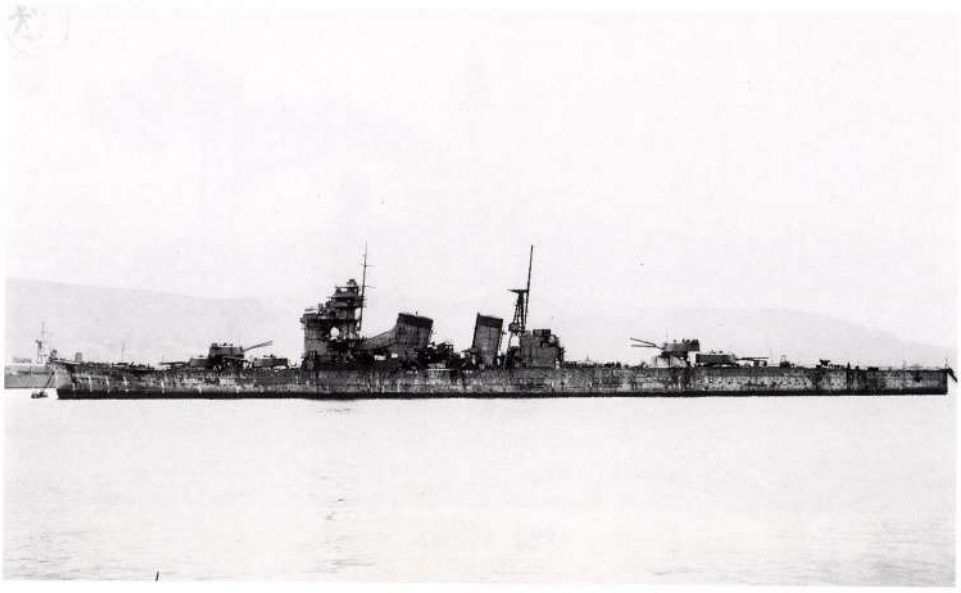
巡洋潜水艦第１艦目、同型５艦

艦種：１等潜水艦（巡潜１型）　船主：海軍省　建造：1926 年３月　川崎造船所

垂線間長：84.00m　幅：9.22m　深さ：7.58m　平均喫水：5.19m

排水量：2,135 トン（常備）　1,970 トン（基準）主機：6,000 馬力　ディーゼル機関２基　速力：18.0 ノット（水上）、 8.0 ノット（水中）

（写真提供：川崎重工業㈱）



羽黒（HAGURO）

ワシントン軍縮条約に基づき建造された初の巡洋艦「妙高」型の１艦

艦種：一等巡洋艦　船主：旧日本海軍　竣工：1929 年 4 月　三菱造船長崎

全長：204m　幅：19.0m　吃水：5.9m

排水量：10,000 英トン（基準状態）　主機：艦本式タービン　速力：35.5 ノット

（写真提供：三菱重工業㈱）



伊号第 8 潜水艦（IGOU DAI 8 SENSUIKAN）

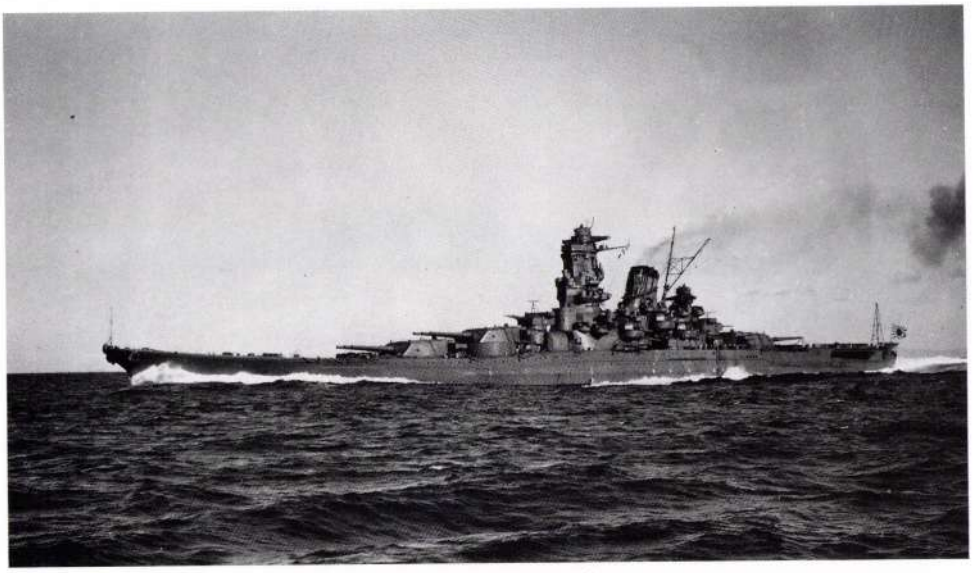
我国海軍の構想による初めての旗艦潜水艦、伊号７型　同型２艦

艦種：１等潜水艦（巡潜３型）　船主：海軍省　建造：1938 年 12 月　川崎造船所

垂線間長：103.80m　幅：9.10m　深さ：7.80m　平均喫水：5.37m

排水量：2,525 トン（常備）　2,231 トン（基準）主機：11,200 馬力　ディーゼル機関２基　速力：23.0 ノット（水上）　8.0 ノット（水中）

（写真提供：川崎重工業㈱）



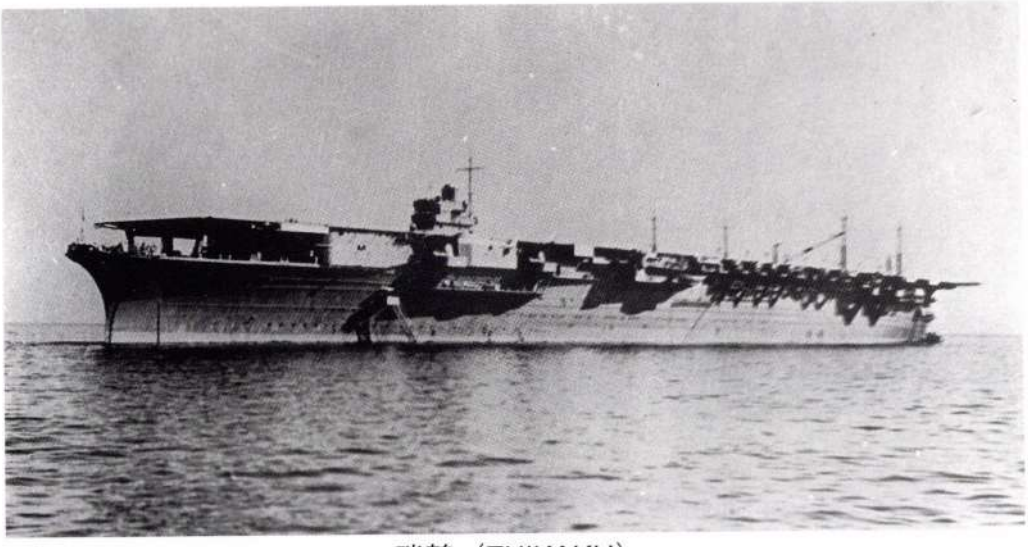
大和（YAMATO）

1940年（昭和15年）呉海軍工廠（現石川島播磨重工呉工場）で極秘裡に進水し、翌1941年に完成した世界最大の戦艦。1945年4月沈没。

全長：263m　幅：38.9m　深さ：18.9m　喫水：10.4m

基準排水量：64,000トン　主機：150,000馬力　蒸気タービン　速力：27.3ノット　主砲：46cm砲3連装　3基

（写真提供：石川島播磨重工業㈱）



瑞鶴（ZUIKAKU）

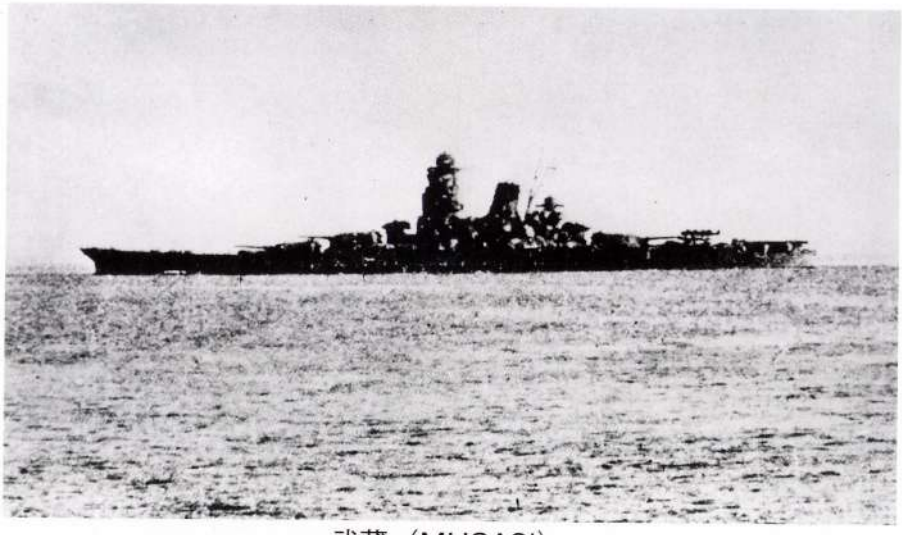
主機は我国艦船中、最も高出力の艦本式減速タービン4基（160,000馬力）を装備

艦種：航空母艦　船主：海軍省　建造：1941年9月　川崎重工業

垂線間長：238.00m　幅：26.00m　深さ：14.00m　平均喫水：8.87m

排水量：25,675トン（基準）主機：160,000馬力　蒸気タービン機関4基　速力：34.58ノット

（写真提供：川崎重工業㈱）



武蔵（MUSASI）

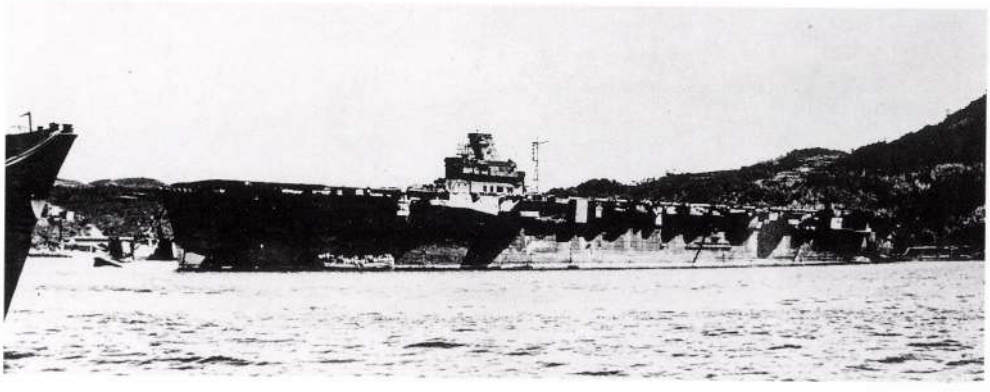
戦前、戦後を通じ、世界最大の戦艦「大和」型の２番艦。

艦種：戦艦　船主：旧日本海軍　建造：1942 年 8 月　三菱重工長崎

全長：263.0m　幅：38.9m　吃水：10.4m

排水量：64,000 英トン（基準状態）　主機：艦本式蒸気タービン　速力：27.0 ノット

（写真提供：三菱重工業㈱）



隼鷹（JUNYOU）

豪華客船「橿原丸」を建造半ばで改装した特設航空母艦

艦種：特設航空母艦　船主：旧日本海軍　建造：1942 年 5 月　三菱重工長崎

全長：219.3m　幅：26.7m　吃水 8.2m

排水量：24,140 英トン（基準状態）　主機：三菱式蒸気タービン　速力：25.5 ノット

（写真提供：三菱重工業㈱）



あけぼの（AKEBONO）

建造当時の正式名称は「乙型警備艦」と称し、海上自衛隊における初の新造護衛艦である。姉妹船「いなづま」「いかづち」とともに海上自衛隊の草創期から防衛の一翼を担い、1981年（昭和56年）にその任務を終えた。

船種：警備艦　船主：防衛庁　建造：1956年　石川島重工

全長：91.85m　幅：8.7m　深さ：5.5m　喫水：3.2m

基準排水量：1,060トン　主機：9,000馬力　蒸気タービン2基　速力：28ノット

（写真提供：石川島播磨重工業㈱）



はるかぜ（HARUKAZE）

戦後建造の国産1番艦。

艦種：護衛艦　船主：防衛庁　建造：1956年4月　三菱造船長崎

全長：106m　幅：10.5m　吃水：3.7m　基準排水量：1,700トン

主機：蒸気タービン　速力：30ノット

（写真提供：三菱重工業㈱）



いつき（ITSUKI）

沿岸用木造掃海艇。普通掃海具、磁気掃海具及び音響掃海具を装備した戦後初の中型掃海艇。

艦種：掃海艦　船主：防衛庁　建造：1956年6月　日本鋼管鶴見

垂線間長：37.5m　型幅：6.8m　型深：3.7m　満載喫水：2.1m

主機：三菱ディーゼル2基　速力：10.0ノット

（写真提供：NKK）



まきなみ（MAKINAMI）

第1次防衛力整備計画における主力護衛艦で「あやなみ」型同型艦。対潜能力に重点をおいた兵装と静粛・高速性を有した。

艦種：護衛艦　船主：防衛庁　建造：1960年10月　飯野重工業舞鶴造船所

全長：109.0m　幅：10.7m　深さ：8.1m　吃水：3.7m

基準排水量：1,700トン　主機：35,000馬力　蒸気タービン　2機2軸

主要兵装：3吋連装速射砲×3　4連装魚雷発車管×1　爆雷投射機（Y砲）×2　爆雷投下機×2　ヘッジホッグ×2

（写真提供：日立造船㈱）



おやしお（OYASHIO）

戦後我国初めての潜水艦。

艦種：潜水艦　船主：防衛庁　建造：1960年6月　川崎重工業

全長：78.80m　幅：7.00m　深さ：5.92m　平均喫水：4.66m

排水量：1,424トン（常備）　1,100トン（基準）主機：2,700馬力　ディーゼル機関2基　速力：約19ノット（水中）

（写真提供：川崎重工業㈱）



あきづき（AKIZUKI）

域外調達によって日本で建造された長船首楼型護衛艦。

艦種：護衛艦　船主：防衛庁　建造：1960年2月　三菱造船長崎

全長：118m　型幅：12.0m　吃水：4.0m

基準排水量：2,350トン　主機：蒸気タービン　速力：32ノット

（写真提供：三菱重工業㈱）



いすず（ISUZU）

初めて渡浪甲板型の船型を採用して耐航性向上、艦内容積の確保及び居住性の向上を図り、全艦冷房を初めて採用した。

艦種：護衛艦（DE）船主：防衛庁　建造：1961年7月　三井造船玉野事業所

全長：94.0m　型幅：10.4m　型深：7.0m　喫水：3.5m

基準排水量：1,490トン　主機：16,000馬力　ディーゼル4基　速力：25ノット

（写真提供：三井造船㈱）



あまつかぜ（AMATSUKAZE）

我が国初の誘導弾（ミサイル）搭載艦。

艦種：護衛艦　船主：防衛庁　建造：1965年2月　三菱重工長崎

全長：131m　幅：13.4m　吃水：4.2m

基準排水量：3,050トン　主機：蒸気タービン　速力：33ノット

（写真提供：三菱重工業㈱）



やまぐも（YAMAGUMO）

「くも」型護衛艦の１番艦で、2000トン級の艦では世界で初めてディーゼルエンジン（２軸６基）を搭載した。艦隊の主力構成艦として、同型９隻が建造された。

艦種：護衛艦（DD）船主：防衛庁　建造：1966年１月　三井造船玉野事業所

全長：114.0m　型幅：11.8m　型深：7.9m　喫水：3.8m

基準排水量：2,050トン　主機：26,500馬力　ディーゼル６基　速力：27ノット

（写真提供：三井造船㈱）



たかつき（TAKATSUKI）

２次防にて実現された大型護衛艦の一番艦で、建造当時世界でも有数な護衛艦であり、最新対潜兵器を搭載して注目を集めた。

艦種：護衛艦　船主：防衛庁　建造：1967年３月　石川島播磨重工東京工場

長さ：136.0m　幅：13.4m　深さ：8.7m　喫水4.4m

基準排水量：3,050トン　主機：60,000馬力　蒸気タービン２基　速力：32ノット

（写真提供：石川島播磨重工業㈱）



うずしお（UZUSHIO）

我国初の涙滴型潜水艦、同型７艦。

艦種：潜水艦　船主：防衛庁　建造：1971 年１月　川崎重工業神戸工場

全長：72.00m　幅：9.90m　深さ：10.11m　平均喫水：7.28m

排水量：2,650 トン（常備）　1,850 トン（基準）主機：4200 馬力　ディーゼル機関２基　速力：20 ノット（水中）

（写真提供：川崎重工業㈱）



ひえい（HIEI）

わが国初のヘリコプター搭載護衛艦“はるな”型の二番艦である。大型対潜ヘリ３機搭載による広域対応の対潜大型護衛艦として注目された。

艦種：護衛艦（DESTROYER）船主：防衛庁　建造：1974 年 11 月　石川島播磨重工東京工場

長さ：153.0m　幅：17.5m　深さ：11.0m　喫水：5.1m

基準排水量：4,700 トン　主機：70,000 馬力　蒸気タービン２基　速力：32 ノット

（写真提供：石川島播磨重工業㈱）



ゆうしお（YUUSHIO）

大型コンピュータ搭載の涙滴型潜水艦。

艦種：潜水艦　船主：防衛庁　建造：1980年2月　三菱重工神戸

全長：76m　幅：9.9m　吃水：7.4m

基準排水量：2,200トン　主機：ディーゼル　速力：20ノット

（写真提供：三菱重工業㈱）



しらせ（SHIRASE）

海上自衛隊最大の自衛艦で南極観測輸送支援にあたる世界一流の砕氷艦。本艦は砕氷、輸送、観測及びヘリコプター搭載の機能を備え南極観測の任務に当たる。砕氷能力は氷厚1.5mの海域を3ノットで連続砕氷が可能、又輸送力は1,000トンでヘリコプターを3機搭載。

艦種：砕氷艦　船主：防衛庁　建造：1982年11月　日本鋼管鶴見

全長：134m　型幅：28.0m　型深：14.5m　満載喫水：9.2m

主機：ディーゼル×6基　速力：19.0ノット

（写真提供：NKK）



はつゆき（HATUYUKI）

わが国初めてガスタービン主機を採用した護衛艦であり、はつゆき型シリーズ建造の１番艦である。

艦種：護衛艦（DD型）船主：防衛庁　建造：1982年３月　住友重機械浦賀工場

全長：130.0m　最大幅13.6m　深さ8.5m　喫水：4.1m

基準排水量：2,950トン　主機：45,000馬力　ガスタービン２基　速力：30ノット

（写真提供：海上自衛隊／住友重機工業㈱）



ちよだ（CHIYODA）

深海潜水艇や深海潜水装置とそれらの揚降装置、減圧装置を備えた我が国初の本格的潜水艦救難母艦であり、ミッション達成の為、自動艦位保持装置（DPS）が装備されている。

艦種：潜水艦救難母艦（AS）船主：防衛庁　建造：1985年３月　三井造船玉野事業所

水線長：113.0m　型幅：17.6m　型深：8.5m　喫水：4.6m

基準排水量：3,650トン　主機：１基当11,500馬力　ディーゼル２基　速力：17ノット

（写真提供：三井造船㈱）



とわだ（TOWADA）

護衛艦の長期行動化と大型化、ガスタービン化による舶用燃料、ヘリ搭載による航空燃料、爆薬、糧食などの洋上補給を迅速に行う能力を有する。

艦種：補給艦　船主：防衛庁　建造：1987 年 3 月　日立造船舞鶴工場

全長：167.0m　幅：22.0m　深さ：15.9m　吃水：8.1m

基準排水量：8,100 トン　主機：26,000 馬力　ディーゼル 2 基 2 軸　特殊装置：洋上補給装置一式、艦内移送装置一式

（写真提供：日立造船㈱）



ひびき（HIBIKI）

本艦のミッション達成のため、すぐれた耐航性能、広い甲板面積、少ない水中放射雑音を有する半没水双胴（SWATH）船型が採用されると共に、推進システムには電気推進方式が採用された。

艦種：音響測定艦（AOS）船主：防衛庁　建造：1991 年 3 月　三井造船玉野事業所

水線長：67.0m　型幅：29.9m　型深：15.3m　喫水：7.5m

基準排水量：2,850 トン　主機：ディーゼル 4 基、交流電動機 2 基（電気推進）速力：11 ノット

（写真提供：三井造船㈱）



やえやま（YAEYAMA）

機雷の高性能化に対応し、深深度に敷設された機雷を排除できる能力を有する。

艦種：掃海艦　船主：防衛庁　建造：1993年3月　日立造船神奈川工場

全長：67.0m　幅：11.8m　深さ：5.2m　吃水：3.1m

基準排水量：1,000トン　主機：2,400馬力　ディーゼル2基2軸　主要兵装：20ミリ機関砲×1　深深度掃海装置一式

（写真提供：日立造船㈱）



こんごう（KONGOU）

わが国初のイージス搭載艦。

艦種：護衛艦　船主：防衛庁　建造：1993年3月　三菱重工長崎

全長：161m　幅：21.0m　吃水：6.2m

基準排水量：7,250トン　主機：ガスタービン　速力：30ノット

（写真提供：三菱重工業㈱）



つしま（TSUSHIMA）

海上自衛隊初の大型掃海艦で敷設される機雷の深深度化、高性能化、特に対潜用機雷に対応。船体は木造で新型の深深度用機雷掃討装置、同機雷探知機及び中深度の磁気、音響掃海具、機雷処分具などを装備した世界有数の対機雷戦装備艦。

艦種：掃海艦　船主：防衛庁　建造：1993年3月　NKK鶴見

垂線間長：64.0m　型幅：11.8m　型深：5.2m　喫水：3.1m

主機：三菱ディーゼル×2基　速力：14.0ノット

（写真提供：NKK）



ミサイル艇「1号」（MISSILEBOAT NO.1）

我国初めての全没水型水中翼船型によるミサイル艇。

船種：ミサイル艇（PG）船主：海上自衛隊　建造：1993年5月　住友重機械浦賀工場

全長：21.8m　最大幅：7.0m　深さ：3.5m　喫水：1.4m

軸馬力：4,000馬力　速力：46ノット　主推進装置：主ガスタービン1基　ウォーターポンプ1基　補助ディーゼル機関：1基

（写真提供：海上自衛隊／住友重機械工業㈱）



かしま（KASHIMA）

第一線の護衛艦並みの実習訓練ができるシミュレータ（兵装）を装備しているほか、国家元首級の来艦にも対応できる特別公室等の区画を有する。

艦種：練習艦　船主：防衛庁　建造：1995年1月　日立造船舞鶴工場

全長：143.0m　幅：18.0m　深さ：12.3m　吃水：4.6m

基準排水量：4,050t　主機：27,000馬力　ガスタービン2基＋ディーゼル2基2軸　主要兵装：62口径76ミリ連射砲×1　水上発射管×1

（写真提供：日立造船㈱）



あすか（ASUKA）

各種兵装器機を搭載し、実艦試験を行う目的で建造された試験艦。

艦種：試験艦（ASE）船主：海上自衛隊　建造：1995年3月　住友重機械浦賀工場

全長：151.0m　最大幅17.3m　深さ10.0m　喫水：5.0m

基準排水量：4,250トン　主機：43,000馬力　ガスタービン2基　速力：27ノット

（写真提供：海上自衛隊／住友重機械工業㈱）



むらさめ（MURASAME）

最新型の汎用大型護衛艦“むらさめ”型の一番艦。艦型デザインから各種兵装の配置まで、わが国独自で作り上げた初の21世紀型護衛艦ともいえる。

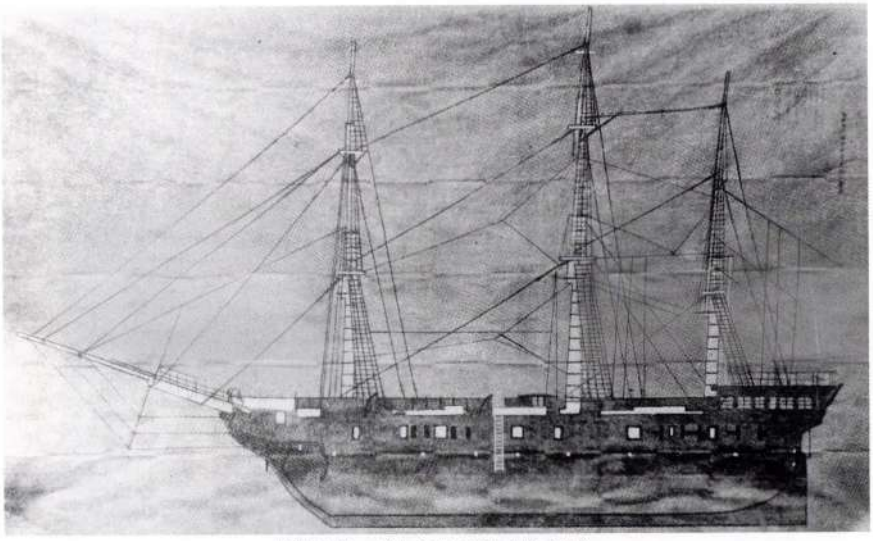
艦種：護衛艦　船主：防衛庁　建造：1996年3月　石川島播磨重工東京第一工場

長さ：151.0m　幅：17.4m　深さ：10.9m　喫水：5.2m

基準排水量：4,400トン　主機：60,000馬力　ガスタービン4基　速力：30ノット

（写真提供：石川島播磨重工業㈱）

官公用船



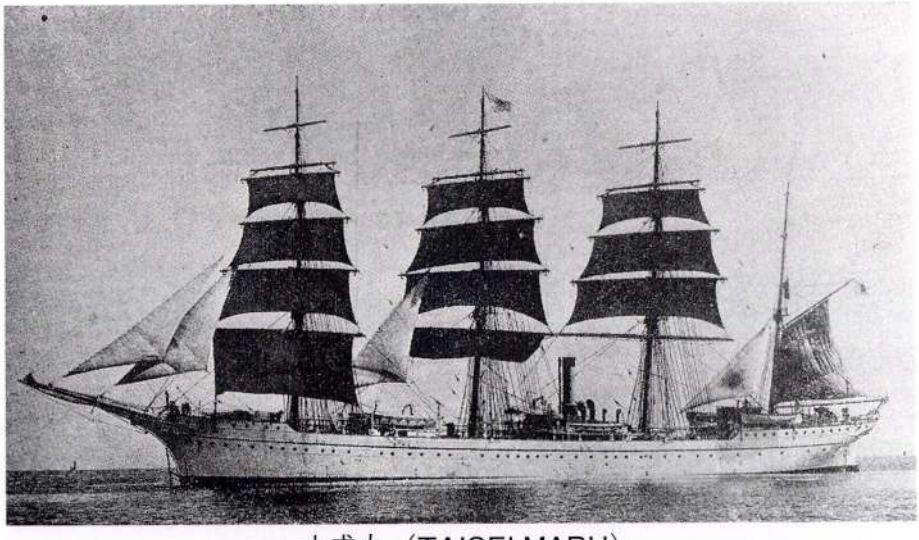
旭日丸（ASAHI MARU）

水戸藩が徳川幕府の命を受けて隅田川河口の石川島に造船所を建設し、本船を建造した。船体は堅牢でぎ装、装飾も優れていたが舳が重く敏速な操縦ができなかったという。旭日丸は石川島で造られた第1船であるだけでなく、日本人の完成した最初の洋式木造バーク型帆船である。

船種：木造バーク型帆船　船主：徳川幕府　建造：1856年

長さ：38.4m　幅：9.8m　深さ：7.3m

（写真提供：石川島播磨重工業㈱）



大成丸（TAISEI MARU）

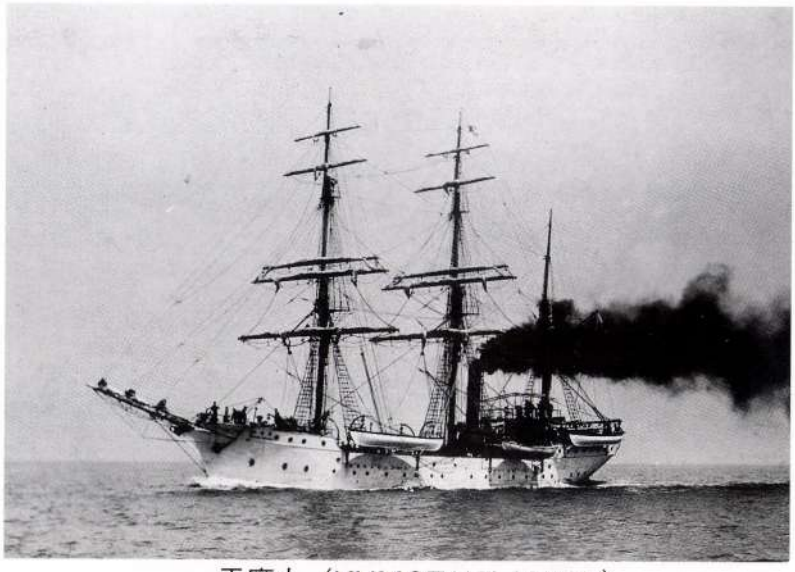
我が国初の補助機関付き4本マストバーク型の安全性に優れた鋼製帆装練習船。総航海距離は地球30周に当たり、この間2回にわたる東回り世界一周遠洋航海は特筆される偉業である。

船種：練習船（TRAINING SHOP）船主：東京商船学校　建造：1904年3月　川崎造船所

垂線間長：270フィート（82.30m）　型幅：44フィート（13.41m）　型深：26.75フィート（8.15m）　満載喫水：20.83フィート（6.35m）

総トン数（GT）：2,287トン　載貨重量（DW）：2,000トン　補助機関：932馬力　レシプロ機関2基　速力：9.985ノット

（写真提供：川崎重工業㈱）



雲鷹丸（KUMOTAKA MARU）

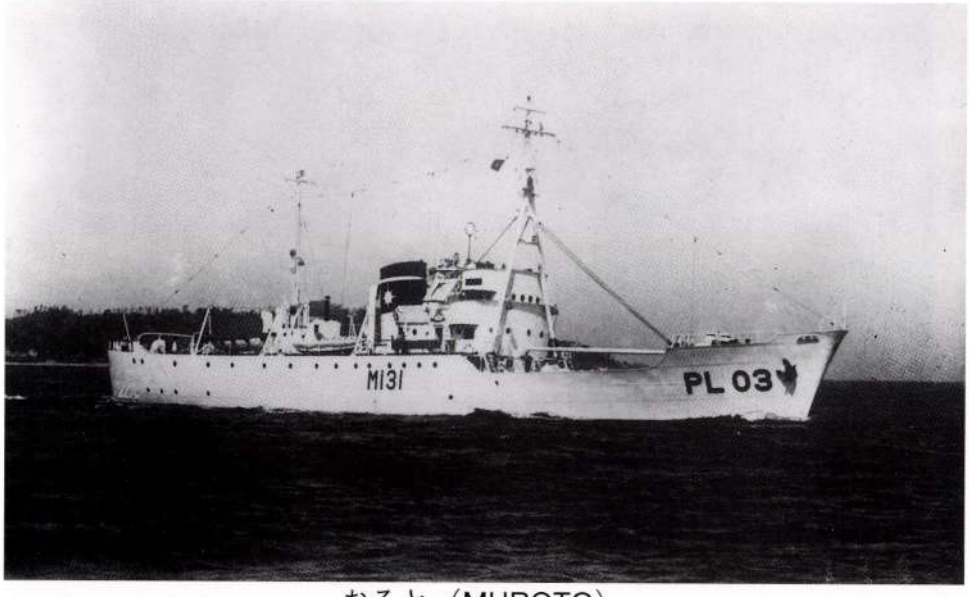
日本で初めて建造されたアメリカ式鋼製捕鯨船で、レジプロ式補助機関を備えたバーク型帆船。工場式母船としてカニ工船の実習作業に用いられ、我が国の母船式漁業の基礎の確立に貢献した。1961年から、東京水産大学品川校庭に資料館として永久保存されている。

船種：漁業練習船　船主：農商務省水産講習所　建造：1909年　大阪鉄工所桜島

垂線間長：135フィート（41.15m）　型幅：26.5フィート（8.08m）　型深：16フィート（4.88m）

総トン数（GT）：444トン　主機：303馬力　レシプロ機関　速力：9.10ノット（汽走）　8.9ノット（帆走）

（写真提供：日立造船㈱）



むろと（MUROTO）

戦後海上保安庁初めての新造巡視船。

船種：巡視船　船主：海上保安庁　建造：1950年3月　浦賀船渠浦賀造船所

垂線間長：55.5m　型幅：9.3m　型深：4.7m

総トン数（GT）：696トン　主機：2×750馬力X270rpm　ディーゼル2基　速力：14.9ノット（試運転最大）

（写真提供会社：住友重機械工業㈱）



開洋丸（KAIYO MARU）

我が国最大の漁業調査船3,210トンで船尾トロールマグロ延縄漁業ができる。各種の研究室を設け、コンピューターを備え、電気推進方式である。凍結装置は、液体窒素による－120℃。　深海トロール5,000m迄可能な装備をしている。

船種：海洋調査船　船主：水産庁　建造：1967年9月　カナサシ

垂線間長：82.00m　型幅：15.00m　型深：9.20m　満載吃水：5.73m

総トン数：3,210トン　主機：950馬力　1,150KW×2　航海速力：13.5ノット

（写真提供：㈱カナサシ）



銀河丸（GINGA MARU）

商船大学・商船高専及び海員学校の学生に対し実習訓練を行うと共に、船舶運航技術に関する研究を行うことを目的とする。約20,000海里の航続距離を有し、実習生160名と職員・部員を含む合計236名の居住設備を設けている。

船種：練習船　船主：運輸省航海訓練所　建造：1972年12月　NKK清水造船所

垂線間長：105.0m　型幅：16.0m　型深：10.5m　満水喫水：5.8m

総トン数（GT）：5,030トン　主機：6,200馬力　航海速力：16.5ノット

（写真提供：NKK）



海鷹丸（UMITAKA MARU）

我が国初の船尾トロール方式を採用した練習船である旧海鷹丸の代船として建造された。高度な学術研究と安全な学生実習を提供する大型研究練習船として、海洋観測調査・研究に必要な多種多様な研究設備を備え、船尾トロール、まぐろ延縄、流網漁業等の設備を有する。

船種：研究練習船　船主：東京水産大学　建造：1973 年 6 月　三井造船藤永田造船所

垂線間長：71.0m　型幅：12.4m　型深：8.3m

総トン数：1,829 トン　主機：3200 馬力　ディーゼル 2 基　速力：13.75 ノット（航海）　速力：15.41 ノット（試運転最大）

（写真提供：三井造船㈱）



そうや（SOUYA）

海上保安庁で初の砕氷型巡視船である。ヘリコプターを搭載し、オホーツク海で流氷観測と流氷による海難の救助を任務とする。本船は、旧南極観測船であった巡視船「宗谷」の代替として建造された。氷海航行能力及び砕氷能力（氷厚約 1.5m）を有し、また、減揺装置として、NKK 式減揺水槽及びフィンスタビライザーを装備する。推進方式には 2 軸の可変ピッチプロペラを採用している。

船種：ヘリコプター搭載型巡視船　船主：海上保安庁　建造：1978 年 11 月　日本鋼管鶴見

全長：98.6m　型幅：15.6m　型深：8.0m

総トン数（GT）：3,200 トン　主機：8,000 馬力　NKKPC × 2 基　速力：21.0 ノット

（写真提供：NKK）



つがる（TSUGARU）

新海洋秩序および広域哨戒体制に対応したヘリコプター搭載の大型巡視船として建造された“つがる”型巡視船の一番船である。

船種：巡視船　船主：海上保安庁　建造：1979 年 4 月　石川島播磨重工東京第一工場

全長：105.0m　最大幅：15.0m　深さ：8.0m

総トン数：3,200 トン　主機：16,000 馬力　ディーゼル 2 基　速力：22 ノット

（写真提供：石川島播磨重工業㈱）



東方

本船は、我が国で建造された高性能の漁業海洋調査船である。電子計算機による、主機馬力、速力、トロールウィンチ能力、又網の中の漁獲物が推定出来るようになっている。

自航しながら海水温度、海水濃度、水深が自動的に計測出来る曳航用 C.T.D を装備。超音波海底面調査器を装備。

船種：漁業海洋資源調査船　船主：中国機械進出口総公司　建造：1979 年 10 月　㈱カナサシ

垂線間長：56.00m　型幅：10.80m　型深：6.80m　満載吃水：4.30m

総トン数：852.7 トン　主機：2,500 馬力　4 サイクルディーゼル 1 基　航海速力：13.0 ノット

（写真提供：㈱カナサシ）



ベヘル・パイマー（BEHR PAIMA）

本船は我が国が始めて海外に輸出した本格的な海洋観測船である。

船種：海洋観測船（OCEANOGRAPHIC RESEARCH VESSEL）船主：パキスタン通信省　建造：石川島造船化工機

垂線間長：55.0m　型幅：11.8m　型深：6.0m　喫水：3.7m

総トン数：1,183.52 トン　主機：1,000 馬力×２ディーゼル　航海速力：12.8 ノット

（写真提供：石川島造船化工機㈱）



淡青丸（TANSEI MARU）

日本近海において、海洋に関する基礎的研究を行うことを目的とする海洋研究船である。

船種：海洋研究船　船主：文部省　建造：1982 年 10 月　建造所：三菱重工業下関造船所

垂線間長：45.50m　型幅：9.20m　型深：4.20m　満載喫水：3.70m

総トン数：479 トン（国内）610 トン（国際）主機：750 馬力×２台（２機１軸）ディーゼル

速力：14.61 ノット（試運転最大）12.00 ノット（満載航海）

（写真提供：東京大学海洋研究所）



拓洋（TAKUYOU）

大陸棚、沿岸、海象の調査及び探査を目的とする。主な観測機器はナローマルチビーム探測機、深海用音波探査装置、曳航式塩分水温深度測定装置及び複合測位装置・測量観測データ収録装置など。

船種：測量船　船主：海上保安庁　建造：1983年9月　日本鋼管鶴見製作所

垂線間長：96.0m　型幅：14.2m　型深：7.3m

総トン数2,600トン　主機：富士ディーゼル2基　航海速力：16.0ノット

（写真提供：NKK）



せっつ（SETTSU）

海上保安庁初めてのヘリコプター搭載大型巡視船。

船種：巡視船　船主：海上保安庁　建造：1984年9月　住友重機械追浜造船所

垂線間長：96.85m　型幅：14.6m　型深：8.0m

総トン数3,334トン　主機：2×7,800馬力X520rpm　中速ディーゼル2基　航海速力：21.5ノット

（写真提供：住友重機械工業㈱）



日本丸（NIPPON MARU）

口絵に掲載の初代日本丸の代替船として、我国で初めて純国産の大型洋式練習帆船として建造された。竣工の翌年我国練習帆船として初めて世界の練習帆船の帆走最高記録を達成し、「ボストンティーポットトロフィー」を受賞した。

船種：練習帆船（4檣バーク型）船主：運輸省航海訓練所　建造：1984年9月　住友重機械浦賀工場

垂線間長：86.0m　型幅：13.8m　型深：8.2m

総トン数：2,891トン　搭載人員合計：190名（乗組員：70名／実習生：120名）　主機：2×1,500馬力X650rpmディーゼル

航海速力：13.2ノット（機走時）

（写真提供：住友重機械㈱）



白鳳丸（HAKUHO MARU）

極海域を含む全世界の海洋に関する基礎的研究を行うことを目的とする海洋研究船である。

船種：海洋研究船　船主：文部省　建造：1989年5月　三菱重工業下関造船所

垂線間長：91.52m　型幅：16.20m　型深：8.90m　満載喫水：6.00m

総トン数：3,987トン（国内）3,991トン（国際）　主機：1,900馬力×4台　ディーゼル450KW×2台　電気

速力：18.74ノット（試運転最大）16.00ノット（満載航海）

（写真提供：東京大学海洋研究所／三菱重工業㈱）



むつ（MUTSU）

1961年関係各界の要望に応えて建造が決定された、わが国唯一の原子力船である。竣工後紆余曲折を経て1990年7月から1992年2月の実験航海のあと原子力実験船としての使命を終えた。その後解役され1997年9月竣工予定で大型海洋観測船「みらい」と改称して現在工事が進められている。

船種：原子力実験船　船主：日本原子力船開発事業団　建造：1990年7月　石川島播磨重工東京工場

垂線間長：116m　型幅：19m　型深：13.2m　満載喫水：7.8m

総トン数：8,200トン　載荷重量：3,200トン　主機：10,000馬力　蒸気タービン　速力：16.5ノット

（写真提供：石川島播磨重工業㈱）



えちご（ECHIGO）

効率的かつ迅速な業務遂行を可能とするために、巡視船として初めて最新の電子技術及び人間工学を駆使した高度集約型操舵室（IBS）を採用している。

船種：ヘリコプター1機搭載型巡視船　船主：海上保安庁　建造：1990年2月　三井造船玉野事業所

水線長：100.0m　型幅：14.6m　型深：8.0m

総トン数：3,200トン　主機：8,000馬力　ディーゼル2基　航海速力：22ノット

（写真提供：三井造船㈱）



開洋丸（KAIYO MARU）

水産庁所属漁業調査船のフラッグシップとして、最新の調査観測機器を装備し、世界最高レベルの調査観測能力及び船内騒音と水中放射雑音に対する静粛性を有する。

船種：漁業調査船　船主：水産庁　建造：1991年7月　三井造船玉野事業所

垂線間長：83.0m　型幅：15.0m　型深：6.8m

総トン数：2,630トン（国内）　2,942トン（国際）主機：3500馬力　ディーゼル2基、1100kW推進電動機1基

航海速力：約17.0ノット　試運転最大速力：約19.07ノット

（写真提供：三井造船㈱）



しきしま（SHIKISHIMA）

プルトニウム海上輸送の護衛を主務とする世界最大の巡視船である。連装35ミリ機関砲、20ミリ機銃、シュペル・ピューマ・ヘリコプター、高速警備艇、空域監視装置等を搭載し装備している。

船種：巡視船　船主：海上保安庁　建造：1992年　石川島播磨重工業

全長：150.0m　幅：17.0m　深さ：10.0m

ヘリコプター搭載：アエロスパシアルAS332L1中型ヘリコプター2機

（写真提供：石川島播磨重工業㈱）



ヤマト　1（YAMATO 1）

世界初の超電導電磁推進実験船。フレミングの左手の法則に基づいて、磁場と電場の相互作用により海水に作用する電磁力（ローレンツ力）の反作用として推進力を得る。神戸港内における実証試験により所期の性能が確認された。

船種：超電導電磁推進船　船主：シップアンドオーシャン財団（当時）建造：1992年7月　三菱重工神戸造船所

全長：30.0m　型幅：10.39m　型深：2.5m　計画喫水：1.5m

総トン数：約280トン　排水量：約185トン　定員：10名

推進装置：16KN×2（中心磁場4トン）6連環内部磁場型　最大速力：約8ノット

（写真提供：三菱重工業㈱）



こじま（KOJIMA）

海上保安大学校の教育訓練用巡視船として建造されたものであり、船内には各科（航海・機関・通信）演習室や、長期航海における体力維持のためのトレーニング区画などが設置されている。

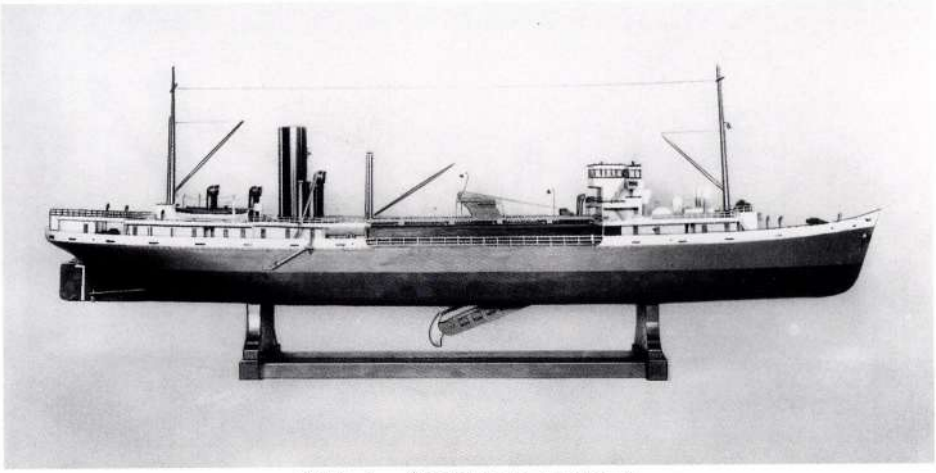
船種：教育訓練用巡視船　船主：海上保安庁　建造：1993年3月　日立造船舞鶴工場

全長：115.0m　幅：14.0m　深さ：7.3m

総トン量：2,950トン（新トン）　主機：4,000馬力×ディーゼル2基　武器：35ミリ機関砲×1　20ミリ機銃×1　13ミリ×1

（写真提供：日立造船㈱）

海洋作業船
海洋構造物
海 洋 機 器



新高丸（NIITAKA MARU）

わが国最初のドラグサクション式浚渫船として戦前唯一のものであり、又当時我国最大規模の浚渫船建造であった。

船種：浚渫船　船主：台湾総督府　建造：1943年6月　浦賀船渠浦賀造船所

垂線間長：98.0m　型幅：16.0m　型深：7.25m

総トン数：3,244トン　載荷重量：3,717トン　浚渫能力：1,800m³/h（深度15m）　主機：2×1,200馬力X200rpm　レシプロ機関

速力：11.3ノット（試運転最大）

（写真提供：住友重機械工業㈱）



第1白竜号（WHITE DRAGON NO.1）

わが国初めての海洋石油掘削リグである。日本海や東カリマンタンにて石油資源開発のための試掘作業に従事した。

船種：ジャッキアップ式海洋石油掘削リグ　船主：日本海洋掘削　建造：1958年10月　石川島重工

垂線間長：62.0m　型幅：46.0m　型深：6.1m

総トン数：2,970トン　最大稼働水深：33.5m　最大掘削深度：4,000m　最大搭載人員：92名

（写真提供：石川島播磨重工業㈱）



大瀬戸号（OSETO GO）

建造当時、わが国最大容量、最強掘削力を持つ浚渫船であり関門航路などで活躍した。

船種：浚渫船　船主：運輸省第四港湾建設局　建造：1966年9月　石川島播磨重工東京工場

長さ：45.0m　幅：18.0m　型深4.3m　喫水：2.66m

ディッパー容量：8 m^3　浚渫深度：18m　水平掘削力：120トン　主直流発電機：DC800kW 1基　主交流発電機：AC450kVA 1基

（写真提供：石川島播磨重工業㈱）



しんかい（SHINKAI）

我国初の本格的潜水調査船。

船種：潜水調査船　船主：海上保安庁　建造：1969年3月　川崎重工業神戸工場

全長：15.3m　幅：5.5m　深さ：5.0m　平均喫水：4.0m

排水量：85トン　最大使用深度：600m　速力：約3.5ノット（水中最大）

（写真提供：川崎重工業㈱）



かいよう（KAIYO）

わが国初の海洋土木工事用自己上昇式作業台

船種：自己上昇式作業台　船主：海洋機器

建造：1969年10月　川崎重工業

全長：42.0m　型幅：24.0m　型深：3.75m　喫水：2.1m

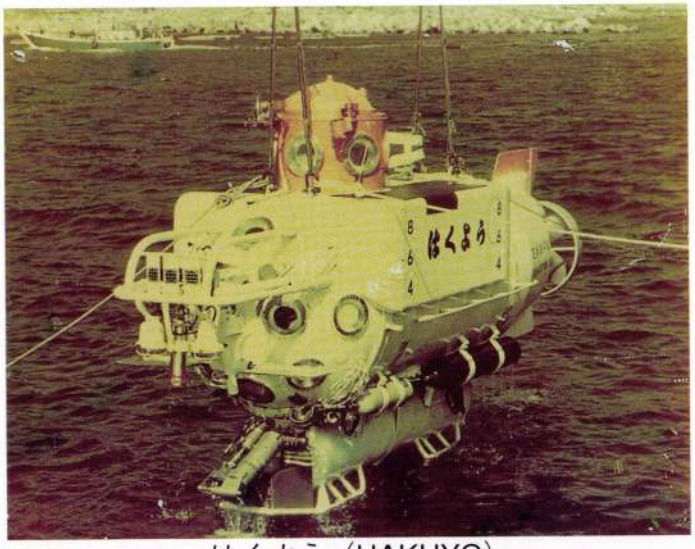
レグ寸法：断面寸法2.0m角　長さ53.0m　本数4本

バリアブルロード：400トン

ジャッキング装置能力：ジャッキアップ荷重450トン／レグ

プレロード荷重750トン／レグ

（写真提供：川崎重工業㈱）



はくよう（HAKUYO）

我国初の小型水中作業船。

船種：水中作業船　船主：オーシャンシステムズ　建造：1971年3月　川崎重工業神戸工場

全長：6.4m　幅：1.6m　深さ：2.0m

排水量：6.6トン　最大使用深度：300m　速力：3.5ノット（水中最大）

（写真提供：川崎重工業㈱）



わかしお（WAKASHIO）

海洋開発の先陣を担って、我が国初めて民間で建造された双胴型多目的海洋調査船。電波船位測定・海底地形プロファイラー等当時の最新の調査・観測機器を装備した。

船種：海洋調査船（OCEAN RESERCH）船主：芙蓉海洋開発　建造：1971 年 12 月　日本鋼管

垂線間長：28.0m　全幅：12.0m　型深：4.0m　満載喫水：3.3m

総トン数（GT）：368,31 トン　満載排水量（DW）：450 トン　主機：464 馬力×1800rpm　ディーゼル×2　主発電機：40KVA×2

速力：10.0 ノット（試運転最大）

（写真提供：芙蓉海洋開発㈱）



KAJIMA

世界最大級の海洋土木工事用自己上昇式作業台。

船種：自己上昇式作業台　船主：鹿島建設㈱

建造：1972 年 6 月　川崎重工業

全長：74.0m　型幅：45.0m　型深：5.0m　喫水：3.5m

ジャッキング装置能力：ジャッキアップ荷重1,585 トン／船首レグ

プレロード荷重 2,050 トン／船首レグ

（写真提供：川崎重工業㈱）



若築丸（WAKATSUKI MARU）

当時我国最大級のポンプ式浚渫船であり、又我国浚渫船で初めて浚渫自動化を採用した。後にスエズ運河拡張工事にも従事して活躍した。

船種：浚渫船　船主：若築建設　建造：1972 年 9 月　住友重機械浦賀造船所

垂線間長：75.6m　型幅：20.0m　型深：5.3m

浚渫能力：9,000m³/hX120m　主機：9,200 馬力 X250rpm　蒸気タービン駆動

（写真提供：住友重機械工業㈱）



第 4 白竜（HAKURYU No.4）

電動モーター駆動のピニオン・ラック方式の昇降装置を有する、レビングストン・クラスⅢ型の、日本初の本格的ジャッキアップ型リグである。

船種：ジャッキアップ型石油掘削リグ　船主：日本海洋掘削　建造：1975 年 5 月　三井造船玉野事業所

全長：63.25m　全幅：54.22m　型深：6.98m

脚数：3　脚長：127.469m　昇降装置：36 基（三井ーナショナル製）　稼働水深：90m　掘削深度：7,620m

（写真提供会社：三井造船㈱）



アクアポリス（AQUAPOLIS）

1975年に沖縄で開催された世界海洋博覧会に展示され、未来の海上都市として注目された。

船種：海上都市　船主：日本政府　建造：1975年5月　三菱重工

全長：104m　全幅：100m　全高：32m

デッキ面積：100m×100m　　居住設備：41ベッド　発電機容量：1200kW×2台

（写真提供：三菱重工業㈱）



DISCOVERER SEVENSEAS

アンカー等の係留設備を使用せず、スラスター及び主推進器で海上の定点を保持する自動船位保持装置（DPS）を有し、稼働水深の世界記録（2,328m）を樹立した船型石油掘削リグである。

船種：船型石油掘削リグ　船主：ソナット・オフショア・ドリリング　建造：1976年9月　三井造船玉野事業所

垂線間長：148.14m　型幅：24.384m　型深：9.754m

稼働喫水：7.548m　稼働水深：2,328m（実績）　掘削深度：7,620m

（写真提供：三井造船㈱）



パルププラントバージおよび発電バージ

世界最大のパルププラントバージである。 インフラ未整備のアマゾン川流域にパルププラントを建設するため、発電設備も含めたすべての設備を２隻のバージ上に搭載して現地まで曳航し、バージごとアマゾン川側の陸上に設置・稼働している。

船種：プラントバージ　船主：Jari Florestal e Agropecuaria Ltda（ブラジル）　建造：1978 年 2 月　石川島播磨重工呉造船所

パルププラントバージ（写真下）

垂線間長：230.0m　型幅：45.0m　型深：14.5m　排水量：約 30,000 トン　パルプ生産能力：750 トン / 日

発電バージ（写真上）

垂線間長：220.0m　型幅：45.0m　型深：14.5m　排水量：約 30,000 トン　55MW 蒸気タービン型発電機 1 基

（写真提供：石川島播磨重工業㈱）



「海明」浮体式波力発電装置（KAIMEI）

本装置は、世界で初の大型波力発電装置であり、大規模波力発電の実証を主目的として 1978 年から 1987 年に山形県鶴岡市由良沖において実海域実験を行った。尚、この実験は国際エネルギー機関（IEA）の国際共同実験として実施された。（写真は、1985 年当時の海明）

船種：浮体式波力発電装置（法規的には航路標識ブイ）　Floating wave power generator “KAIMEI”

船主：海洋科学技術センター　建造：1978 年 3 月　石川島播磨重工業　相生工場

全長：80.0m　型幅：12.0 m　型深：5.3m　喫水：2.1m

排水量：750 トン　軽荷重量（DW）：750 トン　発電機台数：定格 125kW × 8 台（1979 年当時）

（写真提供：海洋科学技術センター）



HANG JUN6002

ホッパー容量 6600m³、ブーム長さ約 100m の世界最大級のサイドキャスティングドラグサクション浚渫船である。

船種：浚渫船　船主：中国機械進出口総公司　建造：1980 年 2 月　石川島播磨重工相生工場

垂線間長：153.0m　型幅：29.0m　型深：12.0m

ホッパー容量：6,622m³　浚渫深度：24m　ディスチャージブーム長さ：114.5m　主機：7,800 馬力　ディーゼル　航海速力：14 ノット

（写真提供：石川島播磨重工業㈱）



CAISSON RETAINED ISLAND

8 基の鋼製ケーソンをワイヤーで連結して 8 角形の枠を作り、バラストを注水して海底に着底させた後、土砂をその内部に投入して短期間で経済的に人工島を構成する。

各ケーソンは長さ 48.49m、幅：13.11m、高さ：12.19m である。ビューフォート海の－50℃の環境に耐えられる氷海用構造物である。

機種：海底石油掘削用人工島　船主：ESSO RESOURCES CANADA　建造：1982 年 7 月　日立造船大阪工場

（写真提供：日立造船㈱）



BHS・SLQ デッキモジュール

ジャケットの上部構造物。BHSは石油・天然ガスの生産設備で原油処理能力は 180,000 バレル／日である。SLQ はそのための 15MW 発電設備 3 台、124 人の居住区を持つ。デッキモジュールとしては最大級のものである。

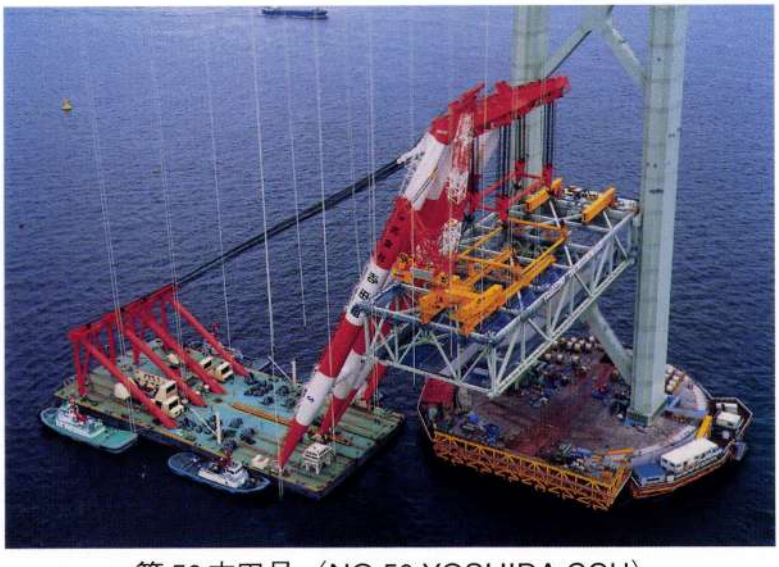
インドボンベイ沖までデッキバージで輸送されジャケットに搭載された。

機種：石油生産設備

船主：Oil and Natural Gas Commission of India

建造：1982 年 2 月　日立造船大阪工場

（写真提供：日立造船㈱）



第 50 吉田号（NO.50 YOSHIDA GOU）

当時わが国最大級の非自航起重機船。

船種：起重機船　船主：吉田組　建造：1982 年 4 月　住友重機械追浜造船所

垂線間長：110m　型幅：50m　型深：8.5m

吊上げ能力：3,500 トン

（写真提供：住友重機械工業㈱）



KULLUK

世界初の円錐型氷海用石油掘削リグで、零下 50℃、氷厚 1.5m のカナダ領ボーフォート海で稼働するための、ユニークなものである。

船種：円錐（コニカル）型石油掘削リグ　船主：ガルフ・カナダ・リソーシズ　建造：1983 年 4 月　三井造船玉野造船所

全長：83.8m　全幅：84.5m　型深：18.5m　稼働水深：55m　掘削深度：6,096m

（写真提供：三井造船㈱）



MOLIKPAQ

世界最大の鋼製移動式北極海向け石油掘削リグである。冬期の氷荷重に耐えるため海底に着底し、本体内に土砂を積む。

船種：移動式北極海向け石油掘削リグ　船主：Gulf Canada Resources Inc.（カナダ）建造：1984 年 4 月　石川島播磨重工愛知工場

垂線間長：111.0m　型幅：111.0m　型深：29.0m

最大排水量：46,100 トン　最大稼働水深：15.0m　最大掘削深度：6,000m

（写真提供：石川島播磨重工業㈱）



ZAPATA ARCTIC

建設当時世界最大級の半潜水式石油掘削船

船種：半潜水式石油掘削船　船主：ZAPATA OFF SHORE.　建造：1984 年 2 月　川崎重工業坂出造船所

全長：116.0m　型幅：72.0m　型深：41.6m　喫水（掘削時）：23.47m

排水量：32,940 トン（掘削時）　バリアブルデッキロード：4,000ST　稼働推進：610m

（写真提供：川崎重工業㈱）



GLOMAR BEAUFORT SEA Ⅰ

北極海海域で活動可能な、スティールとコンクリートからなるハイブリット型人工島で、再浮上可能な移動式で環境に優しく、安全性は勿論経済性にも優れた構造物である。

船種：氷海人工島　船主：GLOBAL MARINE DEVELOPMENT INC.　建造：1984 年　日本鋼管津製作所

Steel Mad Base（SMB）：長さ：312'-6"（95.25m）幅：295'-0"（89.92m）深さ：25'-0"（7.62m）

Concrete Structure（BB-44）：長さ：234'-0"（71.32m）幅：234'-0"（71.32m）深さ：44'-0"（13.41m）

Deck Support Barge：長さ：290'-6"（88.54m）幅：136'-0"（41.45m）深さ：26'-0"（7.92m）

総トン数：11,339 トン　稼働水深：35'（10.67m）～ 52'（15.85m）　掘削深度：25,000'（7,620m）　収容人員：93 名

（写真提供：NKK）



POLAR PIONEER

過酷な北海の気象海象条件下で操業できるようデリック回りが完全に平易されたユニークな全天候型大型セミサブリグ。

機種：セミサブ式海底石油掘削装置

船主：PARTREDERIENT POLAR FRONTIER DRILLING

建造：1985 年 10 月　日立造船有明工場

全長：122.00m　幅：75.60m　メインデッキ高さ：41.65m

稼働吃水：23.00m　稼働水深：360m　設計最大波高：32.0m

設計最大風速：55.0m/s　掘削深度：6,500m

稼働時バリアブルロード：7,965 トン　定員：100 人

（写真提供：日立造船㈱）



DSRV（DEEP SUBMERGENCE RESCUE VEHICLE）

わが国初の高性能深海救難艇

艦種：深海救難艇　船主：防衛庁　建造：1985 年 3 月　川崎重工業神戸工場

全長：12.4m　幅：3.2m　深さ：4.3m　平均喫水：3.45m

排水量：40 トン　速力：4 ノット（水中最大）

（写真提供：川崎重工業㈱）



HENRY GOODRICH

三井造船とソナット・オフショア・ドリリング社の共同開発による世界最大級のセミサブ型リグで、デッキへの搭載能力は5,500トンを有する。スラスターやDPS等の追加により、3,000m水深まで稼働水深を増すことが可能な設計となっている。

船種：半潜水（セミサブ）型石油掘削リグ　船主：ソナット・オフショア・ドリリング　建造：1985年7月　三井造船玉野造船所

全長：97.7m　全幅：75.0m　高さ：39.0m（甲板下面）　稼働水深：610m　掘削深度：7,620m

（写真提供：三井造船㈱）



DB102

自動船位保持装置（DPS）を装備し、厳しい海気象の北海での海洋工事において高い安全性を確保している。吊り上げ能力は世界最大（当時）である。

船種：半潜水（セミサブ）型クレーンバージ　船主：マクダッド・インターナショナル　建造：1985年12月　三井造船玉野造船所

全長：198.9m　全幅：95.5m　高さ：49.5m（甲板下面）　クレーン能力：6,600ショートトン×2基

（写真提供会社：三井造船㈱）

MAERSK GIANT

建造当時、世界最大級で、極めて過酷な気象海象条件下で稼働できるように設計されたジャッキアップリグである。

機種：ジャッキアップ式海底石油掘削装置

船主：MAERSK DRILLING

建造：1986 年 2 月　日立造船有明工場

長さ：84.00m　幅：90.00m　プラットフォーム深さ：9.50m

吃水：4.80m　レグ長さ：156.80m　稼働水深：106.70m

設計最大波高：30.0m　設計最大風速：45.0m/s

掘削深度：6,096m　稼働時バリアブルロード：3,750 トン

定員：94 人

（写真提供：日立造船㈱）





JACK BATES（旧名 ZANE BARNES）

世界最大の海洋石油掘削リグである。メキシコ湾、イタリア沖、ベトナム沖等大水深の海域の試掘に活躍している。

船種：半潜水式海洋石油掘削リグ　船主：Reading & Bates Drilling.（米国）建造：1986 年 11 月　石川島播磨重工愛知工場

全長：112.78m　全幅：77.72m　深さ：42.67m　掘削時喫水：24.38m　掘削時排水量：53,140 トン

総トン数：29,135 トン　最大 VARIABLELOAD：6,738 トン　最大稼働水深：1,524m　最大掘削深度：9,144m　最大搭載人員：122 名

（写真提供：石川島播磨重工業㈱）



上五島５号（KAMIGOTOU NO. 5）

長崎県南松浦郡上五島町青方海域に設けられた世界初の洋上石油備蓄基地。上五島１号から５号まであり、各88万キロリットル、合計440万キロリットルの貯油能力を有している。

船種：貯蔵船（oil storage barge）　船主：上五島石油備蓄　建造：1986年９月　三菱重工業長崎造船所　竣工：1988年９月

垂線間長：390.0m　型幅：97.0m　型深：27.6m　満載喫水24.5m

（写真提供：三菱重工業㈱）



PETROJARL 1

本格的な新造設備としては世界で初めて建造。システムは原油の処理設備、石油の貯蔵出荷設備からなっている。船体を油井の直上に定置する旋回係留装置及び船首尾に装備したスラスターで位置保持が可能であり、海象の厳しい海域での経済性良好。

船種：浮体式石油生産システム（PTS）船主：K/S Ptrojrl 1 A/S　建造：1986年５月　日本鋼管鶴見

垂線間長：194.2m　型幅：32.0m　型深：16.0m　満載喫水：10.0m

総トン数：30,742トン　載貨重量：31,473トン　主機：Nebb×４基　航海速力：10.0ノット

（写真提供：NKK）



ポセイドン（POSEIDON）

1986年9月から1990年7月まで、山形県鶴岡市由良沖合約3kmに係留され、「海洋構造物の沖合展開のための開発研究」の実海域実証実験用構造物として供された。

種類：実験用海洋構造物　船主：運輸省船舶技術研究所　建造：1986年7月　神例造船所

全長：34.0m　全幅：24.0m　最大高さ：26.0m　喫水5.50m　排水量：527.5t　長さ：30.0m　幅：20.0m　高さ：2.5m　カラム本数：12本

カラム直径：2.0m（一部2.5m）カラム高さ：2.5m　フーティング直径：4.0m　フーティング高さ：2.5m

係留方式：アンカーおよびチェーンによるカテナリー係留（一時期TLP方式）

本数：6条　チェーン直径：50mm（主部約200m）、73mm（アンカー側約55m）

（写真提供：運輸省船舶技術研究所）



ポリコンフィデンス（POLYCONFIDENCE）

北欧のホテル並みの仕様で建造され、800人の収容能力を有する、世界最大の浮かぶホテル（フローテル）である。自動船位保持装置（DPS）を装備し、厳しい海気象の北海において高い安全性を確保している。

船種：半潜水（セミサブ）型居住プラットホーム　船主：ラスムッセン・オフショア　建造：1987年5月　三井造船玉野造船所

全長：97.5m　全幅：66.2m　高さ：35.3m（甲板下面）

（写真提供会社：三井造船㈱）



DRAKE（Depth and Roll Adjustable Kite for Energy flux measurement of Kuroshio）

超音波ドップラー式流速計を搭載するため潜航深度と横揺れの自動制御を主翼および水平尾翼によって行う。黒潮の流量を高精度で計測することに成功した。

船種：海洋観測用航洋体、用途；海流および水温・塩分の計測　所属：九州大学応用力学研究所　建造：1988 年 3 月三井海洋開発

全長 ：2 m　幅：2 m　全高 ：1.5 m　空中重量：360kg

曳航索長：800m、曳航速度：6 ～ 12 ノット、観測深度：0 ～ 300m

（写真提供：九州大学応用力学研究所）



CHALLIS VENTURE

わが国初、建造当時新造としては世界最大の浮体式石油生産貯蔵積出設備。

船種：Floating Production Storage & Offloading Unit（FPSO）　船主：BHP Petroleum　建造：1989 年 7 月　石川島播磨重工愛知工場

垂線間長：238.5m　型幅：39.0m　型深：21.4m　満載喫水：14.35m

貨物タンク容積：139,000m^3　載貨重量：115,000 トン　処理能力（最大）：60,000BOPD

（写真提供：石川島播磨重工業㈱）



しんかい6500（SHINKAI 6500）

現在行動中の有人潜水調査船では潜航深度が世界最大

船種：深海潜水調査船　船主：科学技術庁／海洋科学技術センター　建造：1989年11月　三菱重工業神戸造船所

長さ：9.5m　高さ：3.2m　幅：2.7m　空中重量：26トン

最大潜航深度：6500m　乗員：3名　ペイロード（空中重量）：200kg　ライフサポート：最大9時間＋5日　水中速力：最大2.5ノット

推進装置：（主推進）　油漬交流モータ　5.2KW×1（垂直スラスター）　油漬交流モータ　1.4KW×2（水平スラスター）　油漬交流モータ　0.7KW×1

主蓄電池：油漬　酸化銀ー亜鉛田地400Ah×108 V×2群

（写真提供：三菱重工業㈱）



よこすか（YOKOSUKA）

6,500m級潜水調査船“しんかい6500”及び10,000m級有索無人探査機“かいこう”の母船として建造された。

船種：深海潜水調査船支援母船　船主：海洋科学技術センター　建造：1990年4月　川崎重工業神戸工場

垂線間長：95.0m　型幅：16.0m　型深：7.3m　満載喫水：4.7m

総トン数：4,439トン　載貨重量：1,368トン　主機：3,000馬力X600rpm　ディーゼル機関2基2軸　速力：16.7ノット（計画航海）

（写真提供：川崎重工業㈱）



東祥（TOUSHOU）

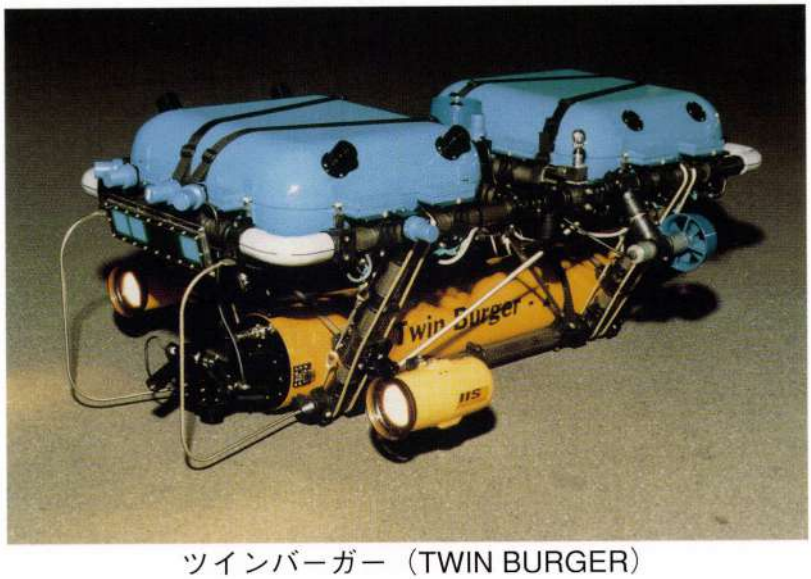
世界最大のグラブ式浚渫船（200m³ グラブ）としてギネスブックに認定された。

船種：グラブ式浚渫船　船主：小島組　建造：1991 年 3 月　住友重機械追浜造船所

垂線間長：100.0m　型幅：36.0m　型深：6.0m

グラブ容量：200m³　発電機：3 × 2,400KW ディーゼル駆動

（写真提供会社：住友重機械工業㈱）



ツインバーガー（TWIN BURGER）

テレビ画像と超音波測距信号を基にして行動を決定することのできる高いインテリジェンスを持つ AUV の実験機。1996 年 10 月に琵琶湖において自動ケーブル追従に成功している。同形機が 1 機あり、これと協調行動することができる。

種類：自立型海中ロボット（AUV）所有者：東京大学生産技術研究所浦研究室　建造：1992 年　東京大学生産技術研究所浦研究室

全長：1.54m　同幅：0.86m　全高：0.54m　空中重量：118 kg　最大潜航深度：50m　主コンピュータ：10xT800TRAM ＋ 4 × T425TRAM

エネルギ源：NiCd 電池（540Wh）最大水平航行速度：1 ノット

（写真提供：東京大学生産技術研究所）



かいこう（KAIKO）

世界最深海部の研究調査・観測が可能な無人探査機として、リアルタイム映像を提供するTVカメラ、高度な作業を有するマニピュレータ等を装備している。

船種：10,000m級有索自航式無人探査機　船主：海洋科学技術センター　建造：1995年3月　三井造船他

構成：有索中継機（ランチャー）長さ：5.2m　幅：2.6m　高さ：2.0m　尾翼頂部高さ：3.1m

自航無人探査機（ビークル）長さ：3.1m　幅：2.0m　高さ：2.3m

使用深度：最大11,000m　一次ケーブル：12,000m　二次ケーブル：250m

調査観測装置：各種TVカメラ、スチルカメラ、マニピュレータ

（写真提供：三井造船㈱）



白島石油備蓄基地

国家石油備蓄事業の一環として、北九州市沖合8㎞の海上に建設された貯蔵船8隻からなる備蓄基地で、約560万キロリットルの原油が貯蔵できる。上五島基地と並ぶ我国の代表的な海上基地で、3重の漏油対策、爆発燃焼防止システム等万全の安全対策がとられている。

機種：石油貯蔵船　船主：白島石油備蓄　建造：1996年8月　日立造船有明工場

貯蔵船長さ：397.0m　幅：82.0m　深さ：25.4m　満載吃水：22.7m

容量：700,000キロリットル／隻　カーゴポンプ：2,500m³／h×2台／隻

（写真提供：日立造船㈱）



ESCRAVOS LPG FSO

海底油田から原油とともに産出される石油ガスは焼却し大気放出されることが多いが、環境保全とエネルギー資源の有効利用を目的として計画されたプロジェクトの中核を担って、浮体式LPG貯蔵積出設備が世界で初めて新造された。

船種：LPG Floating Storage and Offloading Vessel　船主：Chevron Nigeria　建造：1996年10月　石川島播磨重工愛知工場

全長：172.1m　型幅：36.0m　型深23.4m　満載喫水：10.85m

総トン数：40,000トン　貨物タンク容積：55,400m³　載貨重量：37,000トン

（写真提供：石川島播磨重工業㈱）



アールワン・ロボット（R-one Robot）

閉鎖式ディーゼルエンジンを搭載した世界初の航行型AUVで、1996年8月には太平洋で連続4時間、20kmの潜航に成功している。これはAUVとして日本最長の潜航距離である。

種類：自律型海中ロボット（AUV）所有者：東京大学生産技術研究所　計画・設計：アールワン研究会　建造：三井造船㈱玉野事業所

最初の自律潜航：1996年7月

全長：8.27m　胴直径：1.15m　空中重量：4.35トン　最大潜航深度：400m　主コンピュータ：PEP-9000、VM40、2xMC68040

エネルギ源：閉鎖式ディーゼルエンジン・システム（最大出力：5 kW、容量：60kWh）主推進器：1.5kW　最大速力：3.75m/sec

（写真提供：東京大学生産技術研究所）



メガフロート浮体モデル

メガフロートの実現性を実証するために、100m×20mのユニット浮体9基を洋上に接合して建造された。その後、メガフロート開発のための各種の実証実験、計測等に供されている。

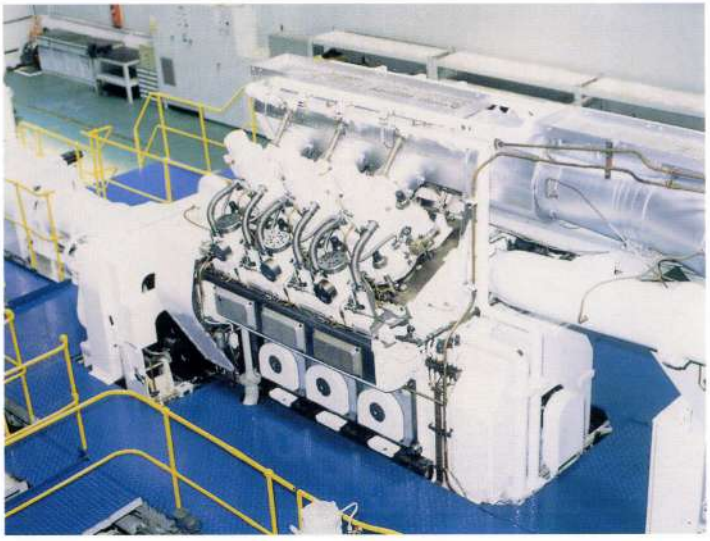
種類：実験用海洋構造物　船主：メガフロート技術研究組合　建造：1996年8月　横須賀市追浜沖

全長：300.0m　全幅：60.0m　深さ：中央部2.3m～端部2.0m（0.3m）の直線キャンバー　喫水：0.5m

排水量：9、225トン

（写真提供：運輸省船舶技術研究所）

機　　関



三井－6ADD30V

この機関は下記の最新技術を駆使することにより、出力率330を実現し、このクラスの中速ディーゼル機関では10年以上先を行く画期的な機関である。

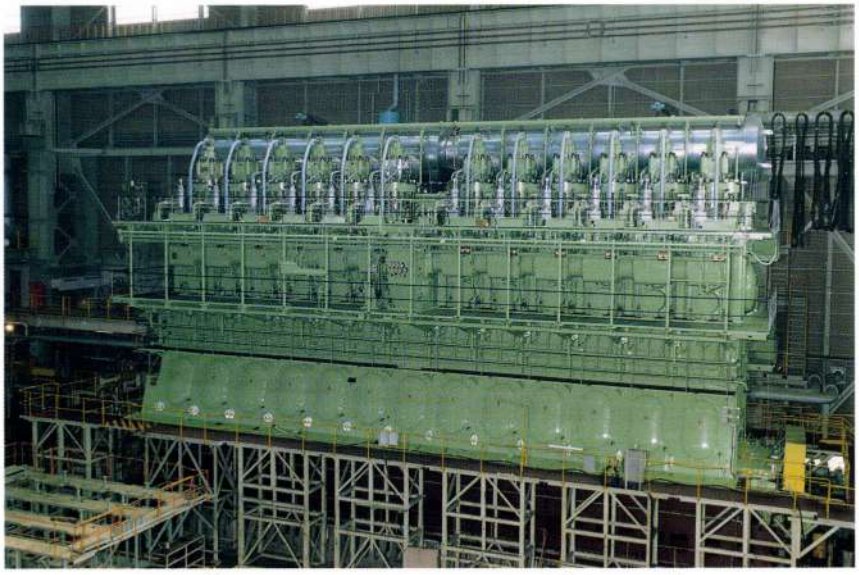
1）高出力・高効率―従来機関に比べ約40%UPの高出力を実現。（1弁式給排気弁機構、高圧燃料噴射等の新技術の採用）

2）高信頼性―セラミック等の新素材技術、新要素技術の確立。

3）軽量・コンパクト―約30%の軽量化、約50%のコンパクト化を実現。（一本化技術）

＊出力率：ピストン平均速度と平均有効圧力の積

（写真提供：三井造船㈱）



三井－MAN B&W12K90MC（MARK6）

本機は現存する世界最大のディーゼルエンジンであり、大型コンテナ船用主機関として搭載される。全長20mを超える大型構造物であるにも拘わらず、軸系のアライアメントに1／100㎜単位の精度が要求されるという点で極めてユニークなものである。

シリンダー径：900㎜　シリンダー数：12　ピストン工程：2,550mm

平均有効圧力：18bar　軸端出力：74,640馬力×94rpm

（写真提供：三井造船㈱）

あとがき

（社）日本造船学会が本年（1997年）創立百周年を迎えるに当り、この長寿を寿ぐために記念式典・祝賀会を始め多くの記念事業が行われます。その記念事業の一つとして百年史の出版が企画されました。大庭会長からは、読んで面白い百年史を作れ、“写真で綴る百年史”というような事も考えてみろ、との示唆がありました。この百年史の刊行を仰せつかった百年史ワーキンググループでは、総力を上げて、この目標の達成のために邁進いたしました。限られた時間と限られた頁数の中で、百年間に亘る日本造船技術の歴史を書いて下さいという無理な注文に心良く応じて御執筆下さった方々の御苦労は大変なものだったと思います。お陰様で、目標にかなり近づく事ができたのではないかと考えていますが、至らぬ点や不備な点も多々あるものと思います。それらはひとえに、百年史ワーキンググループの力不足に依るものと御寛容を以って御容赦下さいますようお願い申し上げます。

ここに、御執筆を御担当下さった方々のお名前を記して、その御協力に衷心より感謝申し上げます。
（敬称略、五十音順、除くワーキンググループメンバー）

大原信義	柿原　実	貴島勝郎	城田公治
杉本昌文	高石敬史	高橋幸伯	寶田直之助
竹村数男	塚原茂司	中田宣久	長澤　準
野本敏治	原田久明	福岡哲二	福垣敦男
間野正己	町田　進	松村裕之	武藤郁夫
村田正之	山本善之	湯原哲夫	横山直彦

最後に難しい注文も心良く引き受けて本書の印刷・製本を担当して下さった光写真印刷株式会社の桂立郎氏はじめ関係者の方々にも厚く御礼申し上げます。

1997年5月13日　　百年史ワーキンググループ（WG）

池畑光尚（WGリーダー）

右近良孝　　大内一之

大竹輝幸　　荻原誠功

川口　昇　　河村　満

加藤直三　　佐々木紀幸

鈴木克幸　　藤本由起夫

油谷正彰

日本造船技術百年史

1997年5月13日発行

発　行　　社団法人　日本造船学会

東京都港区虎ノ門1-15-16　船舶振興ビル
電話　03-3502-2048、2049

印刷所　　光写真印刷株式会社

東京都大田区蒲田本町2-1-18
電話　03-3732-0161～5


日本造船学会