

## 第6章 電気推進

著者： 森田 豊 ・「船の科学」 1988-4 Vol.41 No.4～1988-6 Vol.41 No.6 から抜粋・要約

### 1. 電気推進方式の出現

- ・電動機を推進機の動力として応用したのは、シーメンスであると言われていて、明治19年（1896）5馬力の直流電動機と、120AH（アンペア時）の蓄電池で小船を航走させ、800rpmで11km/hの速力を得たとのこと。
- ・航洋船としては、明治36年（1903）ロシアのペテログラードにあったソシエテ・ノベル・フレール社が建造した”バンダル”が最初であった。この船はボルガ河および裏海を航行する約1,200トンの油槽船で電気推進は後進のとき使用する考えであった。
- ・推進関係は下記の通り。

原動機	ディーゼル機関（逆転機構なし）	120PS	3基	
発電機	直流発電機（電圧 50V、	240rpm、	87kW）	3基
制御	船橋制御	電気推進効率	81%	

- ・初期のころは原動機がディーゼルかタービンかによって、電気推進の概念が異なっていた。
- ・原動機がディーゼル機関の場合は、船を推進させるのは電動機であるという電気推進本来の姿であった。
- ・原動機が蒸気タービンの場合は、タービンの速度を減速して動力を推進器軸に伝えるための減速歯車に代わる方法として考えられた。
- ・いずれにせよ電気推進の利点が理解され、大出力電気推進船の出現が期待された。

### 2. 電気推進の初期の風潮

- ・明治43年（1910）、英国造船協会の年会でダートノールにより、かご形誘導電動機を推進電動機として、周波数制御によってプロペラの回転数を変換する方式の電気推進方式が提案され、電気推進方式の有利性が述べられた。
- ・メーバは1911年イギリスで行った電気推進試験船”エレクトリック・アーク”の成績を基に電気推進の利点を下記のように力説した。

- (1) 原動機、推進器双方とも最高効率のもとに運転でき、これが広い速度範囲に対応できる。
- (2) 原動機の逆転を必要としない。
- (3) 原動機と推進器の数が異なっても、自由に動力の集合、分配ができる。
- (4) 遠方より制御できる。

- ・このような論争がなされていたが、当時はまだ大型航洋船では適用されてなかった。
- ・アメリカ海軍では早くから電気推進が注目され、給炭船”ジュピター”にて諸テストを行い、良好な成績を上げた。”ジュピター”に装備された推進装置は次の通り。

原動機	タービン（カーチス・タービン	6段落）	1基	
発電機	3相交流発電機（タービン直結	2,300V）	5,000kW	1基
電動機	3相誘導電動機	2基（2軸の各推進軸に直結、速度制御はタービン回転で制御）		

- ・”ジュピター”の成績が良かったので、北アメリカの大湖で使用する貨物船”タイマウント”（ディーゼルと電気推進を共用）に電気推進装置が装備された。”タイマウント”の電気推進装置は次の通り。

原動機	ディーゼル機関	300PS	2基
発電機	3相交流（500V、	270A）	2基（6極と8極の2種類の巻線をもつ）
電動機	かご形誘導電動機（30極と40極の2種の巻線をもつ）		1基

通常の航行は発電機1基のみで行い、電動機は速度制御は発電機の極数変換による周波数変換と電動機の極数変換による組合せで行った。発電機2台を運転するときは、並行運転ではなく、1台の電動機のそれぞれ別個の巻線に接続して電力を供給する方式をとっていた。珍しい方式である。

- ・電気推進方式は、アメリカでは試験的に採用されていたが、ヨーロッパでは低調であった。ところが、スウェーデンでスタール・タービンが発明されてから電気推進方式採用の機運が上昇してきた。

- ・我が国では大正10年(1921)竣工の美洋丸に、このスタール・タービンを原動機とする電気推進方式が採用された。

### 3. 諸外国における電気推進方式の採用

- ・電気推進方式の採用に大きく貢献したのはアメリカ海軍であった。まず給炭船”ジュピター”で試み、好結果を得たので、大型船への応用が可能となり、巨大客船にも採用されるようになった。その採用状況を下記に示す。

#### (1) アメリカ戦艦”カリフォルニア”(1915、大正4年)

大型船での応用は、まず新造戦艦”カリフォルニア”から始まった。要目は下記の通り。

発電機	ターボ交流発電機	2基
電動機	誘導電動機	7,500PS 4基

速力と出力の関係は 22ノットの全速力に対し 36,000PS、14ノットでは 7,000PSであった。操縦が楽で確実に進め、全力後進のできることで評価された。

#### (2) アメリカ戦艦”ニューメキシコ”(1918、大正7年)

”ニューメキシコ”は 32,000トンでターボ交流電気推進が採用された。

主発電機	2極2相 4線式 11,000kW	2基
推進電動機	回転数 167rpm、29,000PS	21ノットの航走が可能。 24極と36極に極数変換ができるようにして、速度制御を行っている。

#### (3) アメリカ航空母艦”レキシントン”(完成は1927年、昭和2年)

姉妹艦”サラトガ”とともに当時世界最高出力を誇っていたが、完成までには仕様変更や工事中止などいろいろの紆余曲折があったと伝えられている。

”レキシントン”(43,500トン)の出力は 180,000PS(速力 33.7ノット)であった。

発電機	タービン駆動の発電機 35,000kW	4基
推進電動機	22,500PS	8基
推進軸	1軸 45,000PS	4軸

#### (4) アメリカにおける電気推進商船

- ・アメリカにおいては、初期には軍艦にて発達したが、やがて大型商船にも波及するようになった。
- ・昭和2年(1927)、カリフォルニア(21,000トン)に採用され、続いて太平洋航路の大型客船”ブレイジデント・フーバ”、”ブレイジデント・クーリッジ”にタービンを原動機とする電気推進方式が採用された。
- ・電気推進船の原動機は、最初はディーゼル機関であったが、蒸気タービンの発達に伴いターボ電気推進方式が採用された。その後ディーゼル機関も発達し、燃料経済性の面から、再びディーゼル電気推進方式が台頭してきた。
- ・昭和3年(1928)、アメリカの製油会社の注文で、当時世界最大の ブランス・ウィック号(12,500積載トン)がイギリスのスコット造船所で建造された。構成、要目は下記の通り。

原動機	米国インガースル・ランド型4サイクル	750PS(軸出力)	4基
主発電機	直流発電機	250V, 600kW	4基
電動機	直流電動機(ダブル・アーマチュア)	2,800PS(軸出力)	1基

主発電機は直列に接続され、全負荷では4基同時に運転される。速力を下げるときは任意の台数で運転される。それぞれの合計電圧は 1000V, 750V, 500V, 250Vとなり、それに応じた電動機の回転数が得られる。推進電動機は、毎分95回転し2,800PSの軸出力を出すもので、各独立の2台の電動機が同軸上の上の1台の電動機を形成しており、半分のみ運転も可能となっている。速度制御と逆転はブリッジにある制御器のハンドルによって励磁電流を制御して行う。
- ・ディーゼル電気推進方式は、燃料の節減効果が高いため、渡船、浚渫船、曳き船、水産調査船、海洋研究船などに採用された。
- ・アメリカでは欧州大戦中に急造されたギヤード・タービンの貨物船(約11,770トン)3隻(Courageous, Defiance, Triumph)が速力を上げるため、ディーゼル電気推進船に改造された。主な要目は下記。

原動機	ディーゼル機関,	1, 300 PS	4基	
発電機	直流発電機 (励磁機	100 kW直結)	375V, 800 kW	4基
電動機	直流電動機 (ダブルアーマチュア)	4, 000 PS (軸出力)	1基	
	制御はワードレオナード式			
速力	13ノット			

#### (5) イギリスにおける電気推進船

- ・明治44年(1911)、試験船 エレクトリック・アーク号を建造し、クライド河で実験を行った。
- ・これを基に大正2年(1913)、電気推進船がスワンハンター・アンド・ウィリアムリチャードソン社にて完成されアメリカの大湖地方の航路についた。本船の長さは約250フィートであった。主な要目は下記。

原動機	ディーゼル機関 (4サイクル、6シリンダー、400 rpm、300 PS	マーリス・ピッカートン・アンド・デー社製)	2基
発電機	周波数を異にする交流発電機		2基
誘導電動機	2台の発電機に対し、独立の極数の異なる巻線を持つ電動機		1台

- ・大正7年(1918)、電気推進船 ウィスティ・カッスル号完成。本船は長さ約350フィート、積載トン数は6000トンであった。

両舷にユングストローム型のターボ交流発電機 2台、中央に誘導電動機 2台、減速歯車を介して1本の推進器軸を回転させていた。

- ・大正10年(1921)、果物運搬電気推進船 サベント号が完成。船の長さ 325フィート、ウォークマン・クラーク会社で建造された。

電気設備はイギリスのブリティッシュ・トムソン・ハウストン社で製造され、タービン駆動の推進交流電動機は 2500 PS (軸出力)、回転数は100 rpm であった。

- ・大正13年(1924) シティ・オブ・ホンコン号(18, 480積載トン) が建造された。従来の蒸気機関の低圧排気エネルギーを利用するパウエルバッハ排気タービン(メトロポリタン・ヴィークス社創案)を船の推進に応用したものである。この排気タービンで発電機をまわし、プロペラ軸に直結した電動機を駆動したもので、電気推進装置が一種のフレキシブル・カップリングとして働いているところに特徴がある。この方式の特長は (a) 燃費の節約(20~30%)ができる、(b) 出力が増加すること、(c) プロペラ・レーシングが除去できる、(d) 機械部の摩耗が減る、(e) 設備費が安くつく、(f) あらゆる船に適用できる、(g) 逆転が自在にできる などが挙げられる。

電動機は 回転数 83 rpm、1300 PS (軸出力) のものが使用された。

- ・昭和4年(1929)、ヴィスロイ・オブ・インディア(19, 700総トン) が P&O社のインド航路の優秀旅客汽船として、グラスゴーのアレキサンダー・スチーブン・アンド・サン会社によって建造された。静かで振動が少ないということから、ターボ電気推進が採用された。要目は下記の通り。

全長	612フィート	総トン数	19, 700トン
推進用ターボ発電機	交流発電機	2基	(9000 kW)
推進用電動機	各8000 PS (軸出力)、回転数	109 rpm	2基

#### (6) フランスにおける電気推進船

- ・代表的な船として ノルマンディが挙げられる。ノルマンディは1932年(昭和7年)、フランスのゼネラル・トランス・アトランティック汽船会社の客船として進水した。全長 1027フィート、総トン数 75, 000トンで、当時世界最大最高速度の電気推進船であった。主要目は下記の通り。

主原動機	タービン (総出力 136, 800 kW)	34, 200 kW	4基
主発電機	3相交流発電機 (出力 33, 400 kW×4、電圧 5500~6000V) 4基		
推進電動機	3相同期電動機 (出力 40, 000 PS×4、回転数 238~246 rpm) 4基		

- ・1942年(昭和17年)、ターボ電気推進客船 KAIROUAN (排水量 8300トン) が進水した。本船は 最高速度 24ノットを目標とした。

原動機	タービン	2基
主発電機	3相交流発電機 2基 (電圧 3300V, 出力 9020 kW×2、回転数 3420 rpm)	

推進電動機 交流電動機 1基 (出力 24000PS、回転数 191rpm)

#### 4. 我が国における電気推進方式の採用

##### (1) ターボ電気推進貨物船 美洋丸

- 我が国で最初に電気推進方式が採用されたのは浅野造船所（鶴見）で建造された東洋汽船会社の貨物船で、大正9年（1920）12月に進水した美洋丸（総トン数 5470トン）である。推進部の要目は下記。

原動機	タービン（ユングストローム・スタール・タービン）	2基
	（出力 1000kW, 回転数 3600rpm）	
発電機	3相2極回転界磁型同期発電機	2基
	（電圧 1000V, 周波数 60Hz, 出力 1050kW（力率 90%のとき））	
電動機	巻線型3相誘導電動機	2基
	（出力 1300PS, 電圧 1000V, 周波数 60Hz, 極数 12, 回転数 600rpm）	

- 発電機、電動機、ポンプ類は両舷に1組ずつ装備され、独立して運転された。発電機の並行運転はしてなかったが、故障時の対策として、両舷の発電機とも切替スイッチにより反対舷の電動機の運転が可能で、また1台の発電機で両舷2台の電動機に電力の供給が可能であった。

- 電気推進方式の利点として、下記のことが確認された。

- 高効率なスタール・タービンを商船で利用できたこと。
- タービンの始動が楽で、ハンドルのみで推進軸の始動、停止、逆転ができたこと。
- 推進が誘導電動機であるため、電力供給を遮断したとき、回転数の降下が速やかで、始動、逆転も小電力で、短時間で可能であること。
- 急角度の操舵、荒天候の航走のとき、負荷が急変しても電動機の回転数は急変しないこと。
- 保守時間が少なく済んだこと。
- 他の姉妹船に比べ、石炭消費量が少なかったこと。

##### (2) ターボ電気推進特務艦 神威（かもい）（1922、大正11年）

- 大正11年9月、我が国海軍で唯一の電気推進特務艦（給油艦）神威がアメリカの造船所で建造され、12月に横浜軍港に回航された。要目は下記の通りである。

排水量	19,550トン	軸出力	8,000PS	推進器	2基
推進器回転数	120rpm	速力	15ノット	重油積載量	10,000トン

- 推進装置の要目は下記の通り

製造所	ゼネラル・エレクトリック社（ただし主復水器は除く）				
タービン	ゼネラル・エレクトリック・カーチス				
	出力 約8,600PS、回転数 2,400rpm（15ノットにおいて）				
推進発電機	3相交流回転界磁型（主タービンに直結）	1基			
	電圧 1,000V、	回転数 2,400rpm（2極）			
推進電動機	3相同期電動機	2基（出力 各4,000PS、	回転数 120rpm（40極）		
励磁兼補助用直流発電機	2基				
	出力 各400kW、	原動機	ギヤードタービン（カーチス）、	回転数 5,000rpm	
推進用予備発電機	3相交流発電機	1基			
	出力 625kW、	回転数 1,100rpm、	電圧 750V		

- 本船の電気推進の特徴は、推進電動機に同期電動機を採用したことである。当時の殆どどの電気推進船では誘導電動機が採用されていた。

##### (3) ターボ電気推進貨物船 一陽丸（1924、大正13年）

- 美洋丸に続き、商船では第2船で、大阪鉄工所で建造された。
- 本船は総トン数4,273.52トン、推進機関はユング・ストローム（スタール）・タービンで、交流発電機を駆動し、3相交流誘導電動機が減速歯車を介して推進軸を駆動していた。原動機、発電機、電動機を各2基有し、両舷に配置する美洋丸と同じ推進方式をとっている。

##### (4) トロール船 マリナ丸（1921、大正10年）

- ・本船は木造船であるが、重油機関を原動機として、電気推進装置からトルール設備まで全て電化したと言われている。要目は下記の通り。

重油機関 480PS 2基、発電機 165kW 2基、電動機 400PS  
 推進器(1軸) 200rpm、トルール用電動機 100PS

(5) 補助ディーゼル電気推進の水産調査船 照南丸 (1931、昭和6年)

- ・本船はトルール漁業および鮪旗魚延縄漁業の調査ならびに海洋調査を行うため、当時の台湾総督府から三菱長崎造船所に発注されたもので、総トン数 40トン、速力 10.5ノット、主機関として2台のディーゼル機関を有し、通常はこの機関で左右舷の推進軸(2軸)を駆動しているが、その他に補助電気推進装置を持っていて、他のディーゼル機関から供給される電力により電気推進を行えるようにしている。
- ・この補助電気推進装置は、主として調査の際に使用され、船橋にある管制器のハンドルを廻すのみで、前進、後進、停止、微速などの制御が行えるようにして、作業の効率化を図っている。なお、この場合にはディーゼル主機はクラッチで切り離されている。
- ・主機および補助推進機関の要目は下記の通りである。

主機 340PS (軸出力) ディーゼル機関 2基  
 補助推進電動機 55kW 直流他励分巻電動機 左右舷 各1基  
 減速歯車を介して推進器へ直結、いずれか1台のみ運転、  
 電圧 20~220V、回転数 16~165rpm  
 主発電機 120PS (軸出力) のディーゼル駆動の直流分巻発電機 1基  
 電圧 20~225V、出力 75kW、回転数 500rpm  
 励磁機 2.5kW 直流複巻発電機 推進用電動機の励磁および一般電力用も兼ねる。  
 電圧 220V、回転数 500rpm

(6) ディーゼル電気推進曳船 住吉丸 (1936、昭和11年)

- ・電気推進方式は制御の容易さから曳船にも適している。本船にはディーゼル電気推進方式が採用されている。昭和11年3月に川崎造船所で進水し、建造された。総トン数は152.27トン、電気推進方式のほか、操舵機、ウインドラス、キャプスタンなど補機は全般にわたり電化され、交流発電機から電力は供給された。
- ・推進器の要目は下記の通りである。

原動機 500PS (軸出力)、回転数 500rpm 2基  
 主発電機 直流他励差動複巻発電機 出力 330kW 2基  
 推進電動機 直流他励式、出力 400PS (軸出力)、回転数 180rpm 2基  
 補助発電機 直流発電機 出力 25kW 2基  
 2台並列に接続し、主発電機、推進用電動機の励磁電源となっている。

- ・船内電源用として、別に3相交流発電機(400kVA)が設けられている。

5. 電気推進とギヤード・タービン推進

(1) 信頼性について

前述したように、アメリカ海軍の給炭船 ジュピターにターボ電気推進が採用されたが、建造後5年以上の連続使用で故障しなかったことが高く評価された。

故障の少ない理由としては、後進タービンの必要がなく、同一方向のみに回転すればよいことが挙げられる。

(2) 重量および所要スペースについて

アメリカ戦艦 ニューメキシコの場合、直結タービンと歯車減速巡航タービンを装備した姉妹艦と比較して、機関重量にて200トン以上少なかったと言われている。

(3) 蒸気使用量について

全力運転においてはギヤード・タービンの方が優れているが、速度を低下した場合、特に15ノット以下では電気推進の方が有利とされている。

(4) 据付け、配置の自由度

電気推進方式の方が、自由度が高い。

推進電動機は船尾に配置されるので、中間軸分の重量が減り、その分スペースが増え、有効活用できる。

### (5) 理想的配置について

電気推進方式にすれば、タービンの周囲にボイラーを配列し、各種パイプ類の長さが最小にでき、パイプ径も小さくできる。

## 6. 電気推進とディーゼル直結推進

一般に大型ディーゼル機関の場合、1機1軸方式が多いが、小型高速ディーゼル機関の進展に伴い、1軸に複数の小型高速ディーゼル発電機を配する電気推進方式が採用されてきた。

### (1) 推進機関としての信頼性

故障の場合、多数機で構成されている方が、1機1軸より影響が少ない。検査、掃除、修理などで一部停止の場合も同様である。

### (2) 保守、整備について

電気推進方式の方が、小型であるので修理が容易で、標準化しやすく、予備品の供給や交換に有利である。

### (3) 逆転機構について

電気推進においては、電動機は逆転可能なので、逆転機構は必要ない。構造が簡単になる。

### (4) 運転効率について

出力の変動は小型機の運転台数の増減で対応できるので、効率的である。

### (5) 潤滑について

小型高速機関では潤滑装置を密閉式にできる利点がある。

## 7. ディーゼル電気推進に対する往時の意見

### (1) ディーゼル電気推進に直流を採用すべき場合

1軸を1台の電動機で運転する場合に、2台以上の発電機を装備するときは、直流とした方がよいとされた。当時は2台以上の交流発電機の並列運転が困難であったことによる。直流の場合は、全発電機および電動機を直列に接続することができ、速度制御は電動機にかかる電圧を変化させるだけで行えたからである。

### (2) ディーゼル電気推進に交流を採用すべき場合

複数の推進器を有し、各推進器がそれぞれ専属の発電機を持った電動機で回転される場合は効率の高い点から交流がよいとされた。また確実性が高く、重量、容積を軽減できる点から大出力のものも交流がよいとされた。この場合、各発電機の並列運転は必要ないので、それに伴うわずらわしさが少ない。

## [メモ]

1. 本稿は「船の科学」(Vol.41 1988-4~1988-6)の、電気推進に関して明治時代から終戦(昭和20年)までについて書かれた記事を抜粋・要約したものである。
2. 原本には電気推進装置の接続図、配置図や図表などが掲載されているが、余り鮮明でないので、ここでは取上げなかった。しかし、電気推進装置について明治から昭和初期までの動向や要目は簡潔に記述されているので、この間の変遷は十分辿ることはできると思う。
3. 電気推進は、最初は小型船でバッテリーにより推進電動機をまわす程度であったが、その後、原動機としてディーゼル機関やタービンが使用された。タービンが使用されたときは、電気推進装置が減速歯車に代わるものとして考えられた。
4. 電気推進方式は、アメリカ海軍で早くから注目され、その有用性が確認され、商船にも応用されるようになった。ここでは、アメリカ、イギリス、フランスおよび我が国の電気推進の実績が紹介されている。
5. 電気推進では3相交流発電機が意外に早く使用されている(1911年頃、明治44年)。ただ交流発電機

の並列運転は制御が難しかったので、交流発電機－交流電動機は1：1の組合せであった。

6. 直流発電機－直流電動機という組合せが多いが、複数の直流発電機を直列につなぎ、台数を増減することにより速度制御を行う方式が取られている。電圧が最大3000Vになることもあり、面白い方式と思う。
7. 戦前の電気推進装置で出力が最大のもは、アメリカの空母 レキシントン（昭和2年完成）の18万馬力（速力 33.7ノット）だと言われている。大正から昭和にかけての時代に、このような大きな電気推進装置が実用化されていたのには驚かされる。