

# 製品・技術ニュース

## LNG冷熱利用冷凍法海水淡水化実験装置

— (財)造水促進センターへ納入 —

### 三井-AST

— „AST-002” アラスカでのフィールドテストに成功 —



アラスカにおける三井-AST

三井-AST (アルキメディアンスクリュトラクタ) は、氷上及び海上での走行はもちろんのこと、海上から氷盤へ、また氷盤上から海上への移動も可能であり、更に強力な砕氷能力をも併せもつ当社独自の開発による、全く新しいタイプの氷上・海上両用トラクタである。また、湿地帯の走行にも適している。

当社では、昭和55年冬期、大型化した試作機AST-002を、北海道紋別市付近の流氷でのテストのあと、氷海石油開発で有名なアラス

カのブルドローベに運び、米国、ソハイオ社 (SOH IO Alaska Petroleum Co.) の協力を得て、約40日にわたるフィールドテストを行った。

その結果は極めて好評で、なかでも、自重約200 tのホーバージャのけん引 (表紙写真参照)、及び総重量約70 tのソリのけん引テストの成功は、三井-ASTが氷海石油開発における海上の作業基地と陸上の支援基地を結ぶ機材輸送手段として有効であることを証明した。また、氷海プラットフォームや氷海船舶からの緊急脱出用、氷海での流出油回収用としても有効である。

なお、ブルドローベでのフィールドテストは、昭和56年の結氷期 (10月) と厳冬期 (12月) にも計画されている。

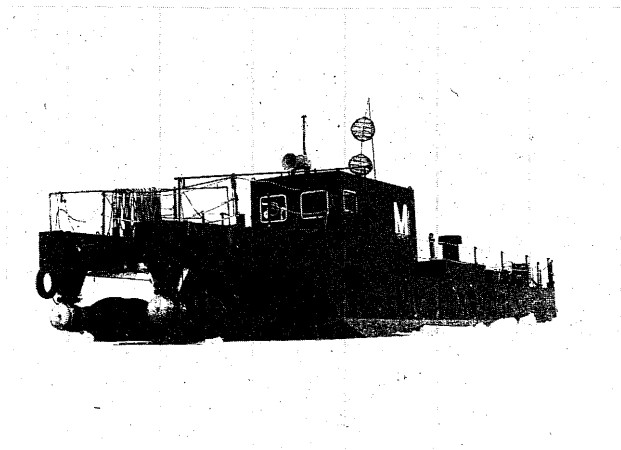
#### 主要目

乗員	5人
重量	10.8 t
構造材料	耐食アルミニウム合金
全長×全幅×全高	8.85×4.86×3.73 m
速力	取上max. 6.0 kn 水上max. 4.3 kn
けん引力	氷上max. 10.0 t 水上max. 1.0 t
砕氷能力	氷厚40 cm (海水) 速力3kn
エンジン	空冷4サイクルディーゼル305 PS×1台
トランスミッション	油圧

(船舶・海洋プロジェクト事業本部)

## 最新鋭アルキメディアン・スクリュー型砕氷船 “おほ一つく”

—北海道紋別港でフィールド・テストを実施—



フィールド・テスト中の“おほ一つく”

アルキメディアン・スクリューを踏首に2本装備したASV (Archimedean Screw Vessel)は、氷とかみ合ったスクリュー・ロータを回転させることにより、船首部を氷上に引っ張り上げ、その荷重を利用して砕氷を行う新型式の砕氷船である。

従来の砕氷船は、水中のプロペラで推力を発生し、その推力で船首部を氷上に乗り上げ、その船体荷重により砕氷しながら

前進する。したがって、スラスト効率が悪く、大馬力を必要としている。ASVの主機出力は、従来型砕氷船に比べ約40%で済むので、高能力、高効率であり、今後の氷海域での水路確保、物資輸送の面で大きく貢献するものと思われる。

本船“おほ一つく”は、運輸省の試験研究補助金により建造され、本年1月より3月まで北海道紋別港でフィールド・テストを行い、30 cmの氷海を快調に砕氷航行し、予期した性能を発揮した。将来は北極海向の砕氷能力1.8mの砕氷船の建造が期待される。

、おほ一つく”の主要目

全長	21.0 m
幅	3.6 m
深さ	2.3 m
喫水	1.2 m
総トン数	35.46トン
スクリュー・ロータ用機関	いすゞ製ディーゼル機関2基
出力	245 PS×2 200 rpm×2基
最大速力	氷海 3ノット (砕氷能力35 cm)
	水上 3ノット
スクリュー・ロータ	直径0.75 m, 長さ3.8 m

(船舶・海洋プロジェクト事業本部)

## アルキメディアンスクリュトラクタの開発

船舶・海洋プロジェクト事業本部

## Development of Archimedean Screw Tractor

Ship &amp; Ocean Project Headquarters

Development of the Archimedean Screw Tractor (AST), a totally new type of vehicle for amphibian operation on the ice sea, is described in this paper. The AST is characterized by a pair of cylindrical screw rotors attached to the bottom of the body. It can easily move from on the water to on the ice surface and vice versa, and exhibits a remarkable icebreaking capability in case of need.

After being constructed on the basis of various basic model tests, the AST-001, the first manned-model, and the AST-002, the second one, were field tested on the same basis on the ice sea off Hokkaido in 1979 and 1980 respectively. The AST-002 was further field tested as to its performance in free running and in towing three sleds and a hoverberge in various ice conditions in Prudhoe Bay, Alaska in 1981. These tests established the remarkable capabilities of AST in various operating modes.

The ASTs can give excellent performance when they are used on the ice water for transportation of personnel and goods, ice management by icebreaking, oil spill recovery, evacuation from arctic rigs, and miscellaneous works such as ice road construction, geophysical survey and oil boom deployment.

本稿では、全く新しいタイプの氷海用水陸両用艇アルキメディアンスクリュトラクタ (AST) の開発経緯について述べる。AST は、艇体の底部に一對のスクリュロータをもち、水上と氷上間の移行が可能であり、また高い砕氷能力を有している。

各種のモデル実験に基づき、人間搭乗艇 AST-001 号及び -002 号のフィールドテストを、それぞれ 1979 年及び 1980 年に北海道の氷海で、1981 年には AST-002 号を使いアラスカのブルドーベイで実施した。その結果、AST は氷海における人員・物資の輸送、アイスマネージメント、漏油回収、リグ等からの脱出艇、並びにアイスロードの建設、物理探査及びオイルフェンスの展開等の各種の作業艇に適していることが確認された。

## 1. 開発の背景

最近の増大するエネルギー需要を満たすため、かつては考えられなかったような自然条件の厳しい北極海の大陸棚や、人跡未踏の湿原地での石油開発が、現実のものとなっている。その場合、作業基地と支援基地とを結ぶ人員・資材の輸送の確保が重要な課題である。

三井造船 (株) では、1976 年から、アルキメディアンスクリュを利用した水陸両用艇 AST の開発に着手し、現在まで、氷海石油開発が活発に行われているアラスカのブルドーベイで、試作 AST-002 号艇を使って各種テストを実施し、実用化の段階にはまっている。

AST は、艇体下部に螺旋状にブレードを配した浮体円筒を備え、それを回転することにより水上及び氷上を進むこと、水上から氷上へのはい上がりや、その逆の運動ができることが特徴である。更に、氷厚の比較的薄い場合には連続砕氷することもできる。

ここでは、氷海再現水槽でのスクリュロータ単独性能試験から、AST-002 号艇によるブルドーベイでのテストに至るまでの、1976 年から 1981 年の 6 年間の各開発段階での開発内容・結果、さらに AST の適用分野について述べる。

## 2. 氷海水槽でのアルキメディアンスクリュの単独性能試験

1976 年 6 月、氷海水槽で、長さ 52.2cm、ドラム径 12.7cm のロータにブレードの配設の仕方の異なる 3 種類のスクリュロータ (①ヘリックス角  $\alpha=30^\circ$ 、ブレード高さ  $h=1.59$ cm, ②  $\alpha=30^\circ$ 、 $h=1.27$ cm, ③  $\alpha=40^\circ$ 、 $h=1.27$ cm) の単独性能試験を行った。



Photo 1 Performance Tests of Archimedean Screws in Ice Basin  
(アルキメディアンスクリュ氷海水槽単独性能テスト)

これによりヘリックス角が大きく、ブレード高さの低いものほど良好な性能を示すことがわかったが、台車曳航によるテスト方式のため、氷上テストでは供試スクリュロータの微妙な上下及び左右の動きに計測システムが十分追従できず、自走モデルによる試験が必要であることがわかった。試験の様子を Photo 1 に示す。

## 3. 自走モデルによる性能テスト

1977 年、スクリュロータ長 1.2m、ドラム径 0.2m の自走モデルにより、水上、泥土上テストを行った。更に、1978 年 2 月には、北海道サロマ湖にて氷上テストを行った。供試スクリュロー

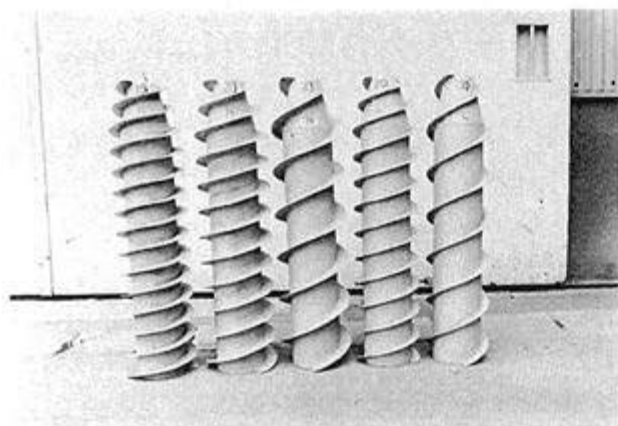


Photo 2 Five Types of Archimedean Screws for AST Model  
(AST モデル供試スクリーロータ)

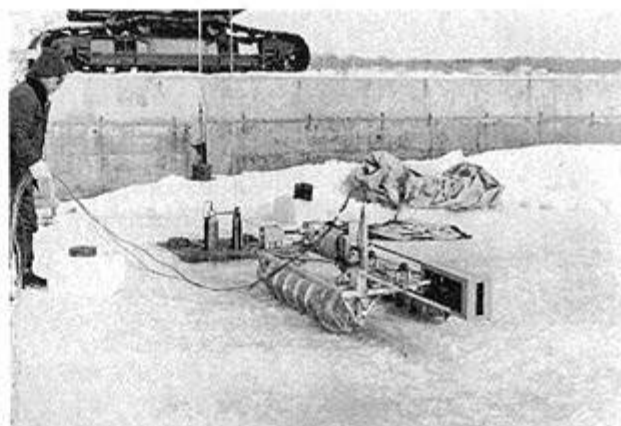


Photo 3 AST Model Tests on Ice at Saroma Lagoon  
(氷上モデルテスト (サロマ湖))

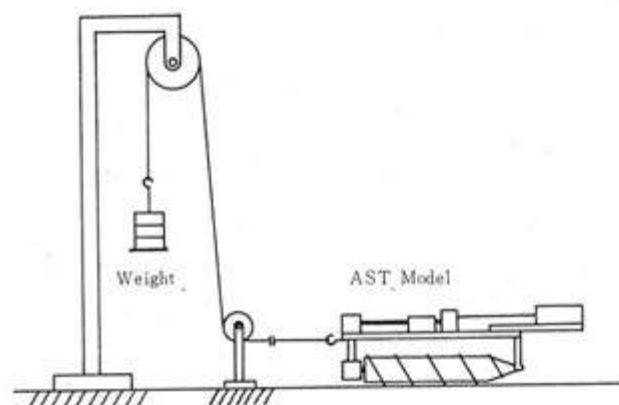


Fig. 1 Schematic Arrangement of AST Model Tests  
(AST モデル実験の概念図)

タは5種類 (①  $\alpha=30^\circ$ ,  $h=47$  mm, ②  $\alpha=30^\circ$ ,  $h=30$  mm, ③  $\alpha=20^\circ$ ,  $h=47$  mm, ④  $\alpha=20^\circ$ ,  $h=30$  mm, ⑤  $\alpha=15^\circ$ ,  $h=47$  mm) で、ブレード条数は2条とした。Photo 2 に供試スクリーロータ、Fig. 1 に実験方法の概要を示す。

泥土テストは、シルトと砂の配合率、含水率、粘度を変えることにより7種類の走行路盤について行い、要約すると次のことがいえる。

- (1) 一般に、最大けん引力は、ヘリックス角が小さい(ピッチが小さい)程、ブレードが高い程大きい。しかし、粘度の高い付着性の高い土質では、泥の付着のため逆の傾向となる。
- (2) けん引力  $F$ 、速度  $v$  で走行したときの有効な仕事率  $F \cdot v$  と、スクリーロータの必要パワーの割合をけん引効率とすれば、けん引効率は、ヘリックス角の大きい程 (15~30° 範囲)、ブレード高さが低い程良好である。
- (3) スクリーロータの必要トルクと AST 重量は比例関係にある。

氷上テストの様子を Photo 3 に示す。このテスト結果を要約すると次のことがいえる。

- (1) 最大けん引力は、ヘリックス角が大きい程 (15~30° 範囲) 大きい。氷に接するブレード数が少ないと、ブレード先端が深く氷面にくい込むため、泥土上とは逆の傾向となる。

- (2) けん引効率はヘリックス角の大きいもの程 (15~30° 範囲) 良い。
- (3) スクリーロータの必要トルクと AST 重量は比例関係にある。

#### 4. 氷海水槽での自走モデルによる運動性能テスト

1978年1月氷海水槽で、スクリーロータ長 144 cm, ドラム径 31 cm の自走モデルによる運動性能テストを行った。水上から氷盤上へのはい上がり、その逆の移行、プレッシャーリッジの登坂、ピボット回転等のテストを行い、艇体に作用する加速度等が調べられた。水上から氷盤上へ、はい上がるときの様子を Photo 4 に示す。

#### 5. 試作艇 AST-001 号によるフィールドテスト

上記一連のモデルテスト結果を基に、最初の間人搭乗実験艇 AST-001号が、1978年12月、当社千葉事業所にて完工した。本艇は、2人乗り、重量 1.6 t, スクリーロータ長 3 m, エンジン 20 PS  $\times$  2 台、速力は氷上 4.8 kts, 水上 3.1 kts の主要目をもっている。駆動系は、エンジン、可変容量プランジヤ油圧ポンプ、高トルク油圧モータ、チェーン装置から構成され、左右の各スクリーロータについて独立系統になっている。これにより前後進、旋回を行うことができる。油圧伝導装置(ハイドロ・スタティック・トランスミッション)の採用でロータ回転数の微妙な操作が可能となり、水上から氷盤上へのはい上がりの際の安全性を向上させることができ

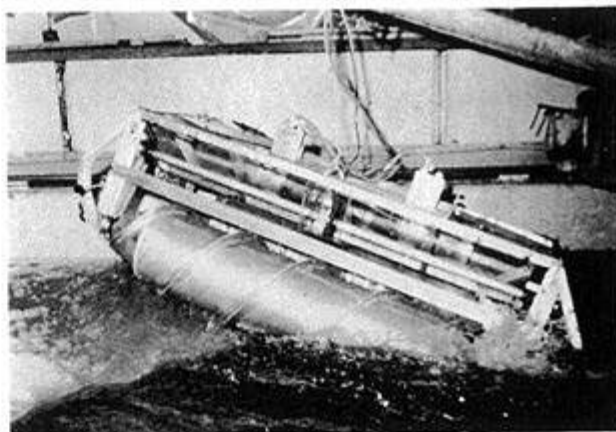


Photo 4 Maneuverability Tests of AST Model in Ice Basin  
(運動性能モデルテスト (氷海水槽))

Table 1 Principal Particulars of AST-001 and AST-002  
(AST-001 及び AST-002 の主要目)

		AST-001	AST-002
Number of Crew		2	5
Weight (t)		1.6	10.8
Material		Aluminum	
Dimension (m) L×B×H		3.69×2.47×1.80	8.85×4.86×3.73
Draft in Water (m)		0.48	0.80
Speed (kts)	On Ice	Max. 4.8	Max. 6.0
	On Water	Max. 3.1	Max. 4.3
Bollard Pull (t)	On Ice	Max. 1.8	Max. 10.0
	On Water	Max. 0.3	Max. 1.0
Ice Breaking Capability	Ice Thickness (cm)	15 (Sea Ice)	40 (Sea Ice)
	Speed (kts)	2	3
Engine		Air-Cooled, 2-Cylinder, 4-Stroke, Gasoline Engine 20 ps × 2 sets	Air-Cooled, 12-Cylinder, 4-Stroke, V-Type Diesel Engine 305 ps × 1 set
Transmission		Hydrostatic Transmission and Chain	Hydrostatic Transmission

Photo 5 AST-001 Breaking Ice Sheet of 15-20 cm Thick  
(連続砕氷中の AST-001 号 (氷厚 15-20 cm))

た。AST-001 号艇の主要目を Table 1 に示す。

1979年2月サロマ湖で各種テストを行ったので、その結果を次に示す。

- (1) 水上から氷盤上へはい上がることが実際の人間搭乗艇で確認できた。
- (2) AST が大きな砕氷能力をもち、しかも非常に安定した姿勢で連続的に砕氷できることが確認された。AST-001 号艇の連続砕氷できる氷厚は、氷の強度にもよるが約 15~20 cm である。連続砕氷している本艇を Photo 5 に示す。
- (3) 水上、破碎氷、水上を問わず、前後進、ピボット旋回等自由自在に動くことができ運動性能が良い。氷上及び硬い路盤上では左右のロータを同一方向に回転させることにより横進することもできる。
- (4) 旋回時、外側のロータには前進時の約 2 倍の負荷トルクが作用する。

(5) AST-001 号艇のトルク係数 (ロータトルク  $Q$  をロータに作用する重量  $W$  とロータ半径  $r$  との積で除した値  $Q/(W \cdot r)$ ) は 1 m モデルのテスト結果と同じであり、実用の設計に際し重要な指標となる。

(6) ブレード高さより深く積もった雪の上を走行するときにはトルク係数は氷上のその約 2 倍となる。

1980年7月、AST-001 号艇は、湿地帯での走破能力を確かめるため千葉県の手賀沼で、同年8月には荒川のヘドロ地帯で、更に1981年8月には、北海道サロベツ原野でテストを行い、沼と軟弱地が混在し葎が密生するような所では、調査艇、簡単な作業艇として使えることが確認された。

## 6. 試作艇 AST-002 号による北海道・フィールドテスト

上記の経験に基づき、本格的な AST-002 号艇が、1980年1月当社千葉事業所で完工した。本艇は5人乗り、重量 10.8 t、スクリュロータ長 6.91 m、エンジン 305 PS × 1 台、速力は氷上で最大 6 kts、氷上で最大 4.3 kts、最大けん引力は氷上で 10 t の主要目をもっている。トラック輸送を考慮してスクリュロータ、前後部のストラット、及びキャビンが艇体より分解できる構造となっている。動力伝達はハイドロスタティックトランスミッションを採用している。主要目の詳細を Table 1 に示す。

1980年2月、本艇を北海道紋別に分解状態で輸送し再組立を行った。そのときの状態を Photo 6 に示す。フィールドテストは紋別港とコムケ湖で行った。そのテスト結果の要約を次に示す。

- (1) 水上でのボラードブルは約 1 t で、そのときのロータ回転数は 80 rpm である。
- (2) 氷上での最大けん引力は約 10 t で、ブレーキをかけたブルドーザをけん引することにより計測した。
- (3) 水上から氷盤上へはい上がりは、氷厚 80~150 cm、表面に 10 cm の積雪のある氷盤に対して、トリム 20° 以内、



Photo 6 AST-002 Being Reassembled at Mombetsu  
(再組立中の AST-002 号 (紋別))

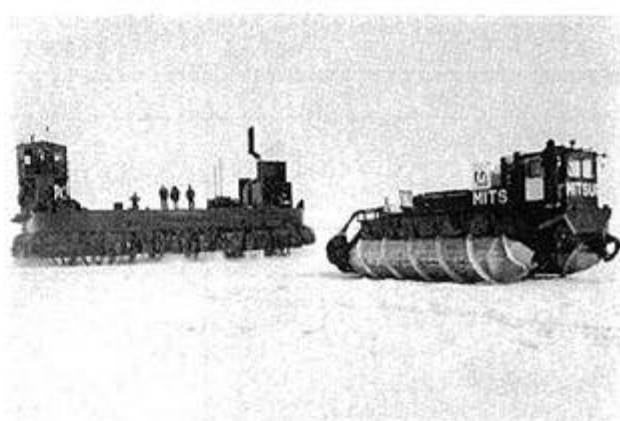


Photo 8 AST-002 Towing a Hoverbarge Weighing About  
200 tons in Prudhoe Bay  
(ホーバーバargeをけん引する AST-002 号 (ブルドーベイ))



Photo 7 AST-002 Running on Pack Ice near Mombetsu  
(流氷中を進む AST-002 号 (紋別沖))



Photo 9 AST-002 Towing Three Sleds Weighing About  
70 tons in Prudhoe Bay  
(重量 70 トンのソリをけん引する AST-002 号 (ブルドーベイ))

ヒール 5° 以内で比較的安全にはい上がった。

- (4) 流氷内走行テストを行い、氷厚 30~200 cm、広さ 20~400 m<sup>2</sup> 程の流氷盤や流氷塊の密集した氷海を走行し、AST の有する能力、安全性等を確認した。走行状態は、氷厚 40 cm 以上の所では氷上にはい上がり氷上走行し、それより薄い所では連続砕氷するという状態を、氷状に応じて交互に繰り返しつつ走行した。左右のロータが乗っている氷の質・強度の違いによって片側のロータだけ水中に落ちることも度々あり、そのときのヒールは、瞬間的に最大 30° にもなることもあったがおおむね 20° 以内であった。流氷内を走行する AST-002 号艇の様子を Photo 7 に示す。

#### 7. AST-002 号艇によるブルドーベイフィールドテスト

1981年、AST-002号艇によるフィールドテストを、米国の石油会社であるソハイオ社(SOHIO)の協力を得てアラスカのブルドーベイで行った。テストは、融氷期(4~6月)、結氷期(9~11月)、厳冬期(12月)の3回に分けて行われた。テスト結果の要約を次に示す。

- (1) 重量 200 t のホーバーバarge ACT-100 を氷上で約 3 kts でけん引できた。その様子を Photo 8 に示す。
- (2) 荷物を積んだそり 3 台を連結し、約 3 kts でけん引した。そり 3 台の総重量は約 70 t であった。その様子を Photo 9

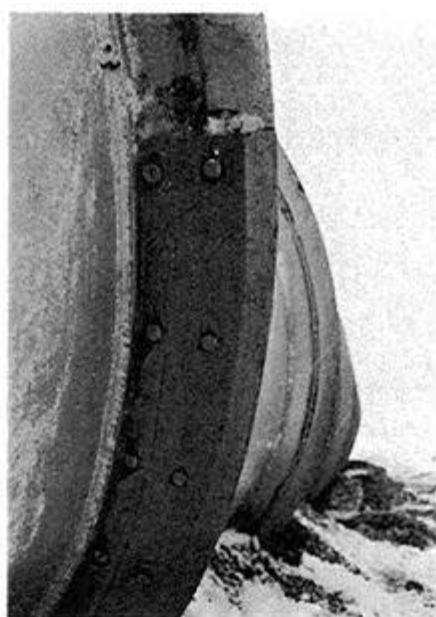


Photo 10 Steel Blade Bolted to Aluminum Alloy Foundation  
(ボルト付け鋼製ブレード)

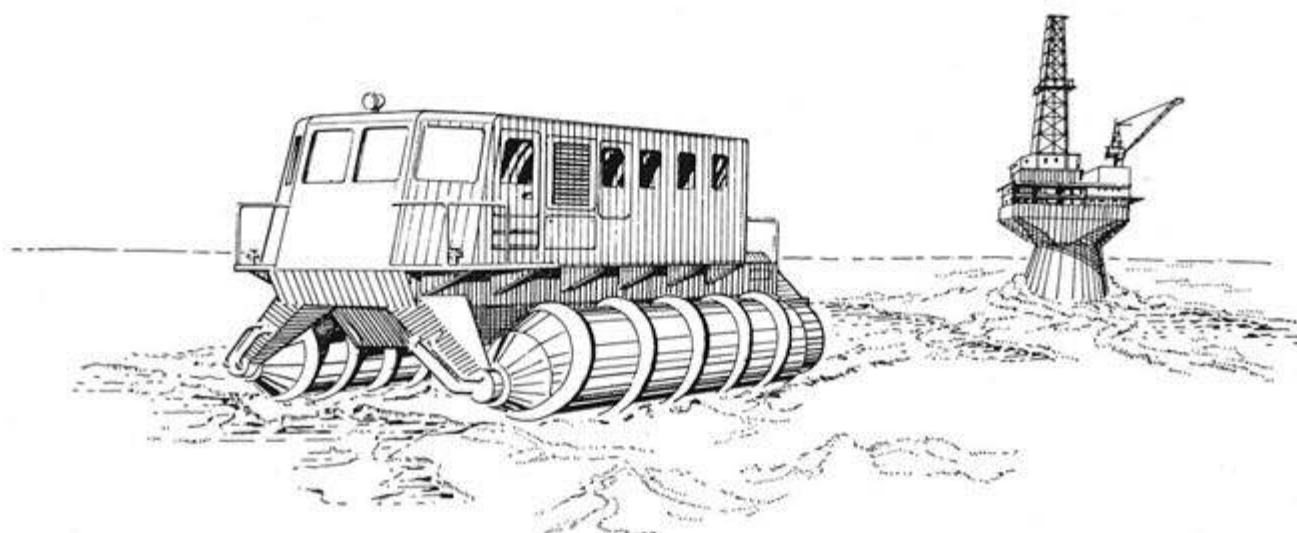


Fig. 2 Artist's Impression of AST-Evacuation Vehicle  
(AST 形脱出艇の概念図)

に示す。

- (3) 融氷期にアイスロード（石油試掘のために造られた人工島へ資材を輸送するための氷の道）に河水が深さ 60 cm も冠水し、既存の船やトラックでは稼働できない状態下でも、AST ならば十分稼働できることを実証した。
- (4) ブレードの材質を、アルミニウム合金の代りに部分的に (a) ボルト付け鋼製ブレード、(b) ボルト付けチタニウム製ブレード、(c) アルミニウム・ステンレスクラッド製ブレードの 3 種類のブレードにかえ耐摩耗性を調べた。その結果 (c) のアルミニウム・ステンレスクラッド製ブレードが良好な耐摩耗性を示した。更に軽量化に対してもブレード (c) は好ましい。
- (5) ウインチを使用することにより、結氷期の砕氷状態でもホーバーバージ ACT-100 をけん引することが確認できた。これは AST が、停止したホーバーバージを後に残し、ホーバーバージ上のウインチから繰り出されたワイヤを引いて数百米前進後、停止して、AST 自身がアイスアンカーとなり、ウインチを巻き込むことによりホーバーバージを前進させる方法である。
- (6) 氷厚 43 cm まで連続砕氷することが確認できた。

## 8. AST の適用分野

上述一連のモデルテスト及び試作艇によるフィールドテストの結果から、AST は、氷海、結氷する河川湖沼において次に列挙する用途に適している。

- (1) 支援基地と人工島間の人員や小型軽量貨物の輸送艇並びに資材運搬用そり及びホーバーバージのトラクタ。
- (2) 港湾・航路の砕氷（アイスマネジメント）を行う砕氷

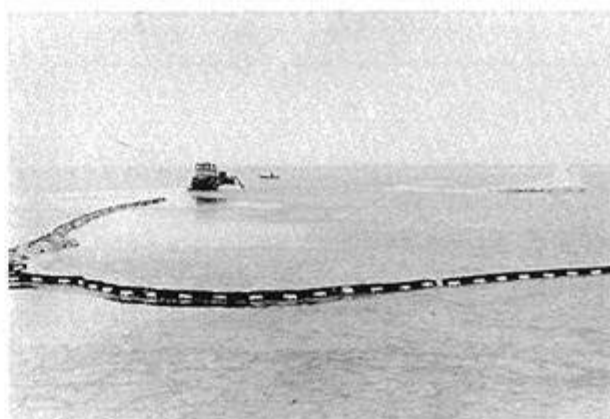


Photo 11 AST-002 Deploying Oil Boom in Prudhoe Bay  
(オイルフェンス展開中の AST-002 号 (ブルドーベイ))

艇。

- (3) 漏油回収艇。
- (4) 氷海リグ、砕氷船及び人工島からの緊急脱出艇。
- (5) アイスロードの建設、物理探査及びオイルフェンスの展張等の各種の作業艇。

緊急脱出艇として使われる AST の概念図を Fig. 2 に、オイルフェンスの展張作業を行ったときの様子を Photo 11 に示す。

なお、三井造船が開発した AST 関連の各種技術については特許申請済みである。

(執筆者 船舶・海洋プロジェクト事業本部 大島正直、  
基本設計部 三川克彦・田淵 寛・松尾 正・中村雅俊・  
佐藤茂巳、三井造船アラスカ(株) 高本幹永)

# 流水観光船ガリンコ号2 —新形式アルキメディアンスクリュウ砕氷船—

播田 安弘\* 大田 盛保\*\*

## Icebreaking Sightseeing Vessel GARINKO-GO 2 —A New Type Archimedean Screw Icebreaker—

Yasuhiro HARITA, Moriyasu OHTA

"Garinko-go 2" is a new type icebreaking vessel with Archimedean cylindrical screw-rotors at the bow as a means for breaking ice floes, and has such features as larger icebreaking capability as compared with conventional ones. In the ice sea, by rotating the icebreaking rotors, spiral blades arranged around them dig into ice surfaces, and thus, their rotational motion enables the vessel to move ahead while breaking ice. This vessel can break 0.4 m-thick ice floes at a speed of 2 knots, and maximum breakable ice thickness is about 0.6 m.

Main particulars of this vessel are as follow: 150 gross tons, length overall 35 m, width 7 m, depth 2.7 m, draft 1.9 m, 195 passengers, and cruising speed 10 knots. Two Archimedean cylindrical screw-rotors are driven by hydraulic motors with a 500 ps diesel engine.

This vessel was built in October 1996 for full-fledged commercial navigation to succeed her predecessor "Garinko-go" which had been in operation since 1987 until 1996, and then put into operation in February 1997 off the Monbetsu coast in the Sea of Okhotsk to where lots of ice floes drift from Siberia.

ガリンコ号2は砕氷手段として船首にアルキメディアンスクリュウロータを備えた新形式の砕氷船で、在来型砕氷船に比較して砕氷能力は大きい。本船は、流水中では砕氷ロータを回転させることにより、スパイラル状に配置した螺旋ブレードが氷盤上に食い込み、その回転運動により船は前進し、砕氷する。氷厚40cmの時2ノットの速度で航行でき、また最大60cmまで砕氷可能である。

本船は総トン数150トン、全長35m、幅7.0m、深さ2.7m、喫水1.9mで乗客搭載数は195名である。平水航行時の速力は10ノットである。

砕氷用2本のアルキメディアンスクリュウロータは500馬力のディーゼルエンジンの油圧モータで駆動する。

なお、本船は、1987年から1997年まで運航されたガリンコ号の代替で本格的な商用として1996年10月に建造され、シベリヤからの流水が流れ着く北海道紋別沖にて1997年2月から運行を開始した。

### 1. はじめに

本船は北海道オホーツク海沿岸の紋別市で流水観光で人気のあるガリンコ号の老朽化に伴う代替船として、船舶整備公団殿、オホーツクガリンコ観光汽船殿より当社が受注、基本設計を実施し、(株)ヤマニシにて建造、1996年10月に完成した。本船はガリンコ号2と命名され、1997年2月の流水シーズンより運航を開始している。

初代ガリンコ号は元々1981年三井造船にて北極海の石油掘削用に新規開発された、三井アルキメディアンスクリュウベッセル(三井ASV)と称する砕氷効率の高い画期的な砕氷実験船であった。紋別沖で流水砕氷実験を行い成功裡に終了後、紋別市の要望にて世界初の流水砕氷観光船に改造された。本船は1987年1月就航し、冬季の紋別港域内に限っての運航であったが、一躍大人気となり冬季オホーツク海の流水観光の火付け役となった。

ガリンコ号2はさらに多くの観光客を乗せ紋別沖10kmまで流水観光が可能となるように、初代ガリンコ号の船速5ノットから10ノットへと高速化し、また総トン数を39トンから150トンへと大型

化している。

### 2. 本船の概要

#### 2.1 砕氷方式

三井ASV型は、円筒に連続螺旋ブレードが装着された砕氷用アルキメディアンスクリュウ(以後砕氷ロータと呼ぶ)を船首に装備したもので砕氷原理が在来型と全く異なる。

図1に三井ASV型と在来型スプーンバウ船型の比較図を示し、表1に三井ASV型と在来型砕氷船の特性比較表を示す。

#### 2.2 船型

流水中を航行している本船を写真1に示す。

- 1) 船型は、船首に1対の砕氷ロータ、船尾に推進用プロペラを有する三井ASV船型とし、船首部の砕氷ロータ上部に開口(写真3)を設け乗客から砕氷状況が良く見える配置とした。写真2に砕氷ロータを示す。
- 2) 港内の広さより、操船上船の全長は35m程度にし、砕氷船としての復原性を確保するため垂線間長/船幅比を4とし船幅は7mとした。
- 3) 船型的には幅広型で船首肥大型、高フルード数(0.31)と造波抵

\* 三井造船千葉機工 設計エンジニアリング本部

\*\* 船舶・艦艇事業本部 技術開発部



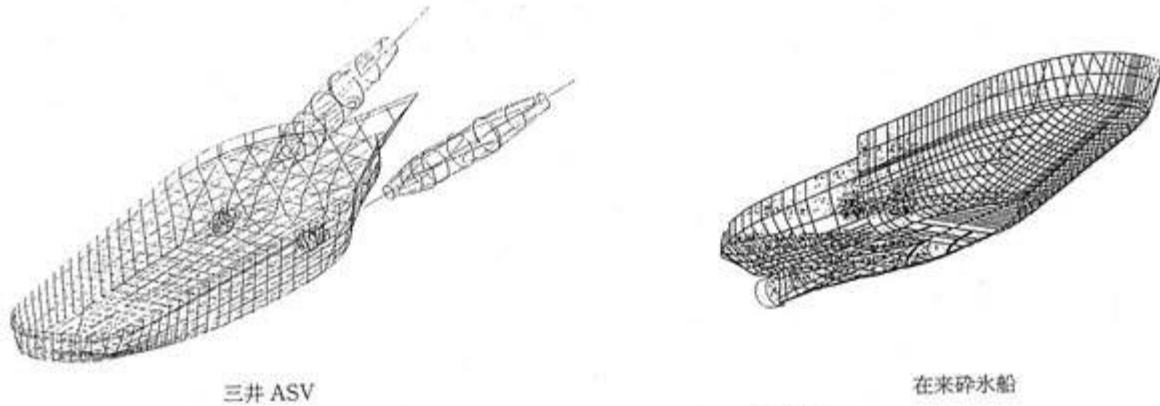


図1 三井 ASV 型と在来砕氷船との船型比較  
Comparison of Hull Form between MITSUI ASV and Conventional Icebreaker

表1 三井 ASV 型と在来砕氷船との比較表  
Comparison between MITSUI ASV and Conventional Icebreaker

項目	三井 ASV 型	在来型砕氷船
砕氷方式	砕氷ロータの回転より、ブレードが氷盤に食込み、船体を氷盤上に引き上げ、船体の下向き荷重を氷盤に集中的に加え、一番効率の良い曲げの力で割る。船首衝撃は小さく、船首補強の必要がない。	プロペラ推力により、傾斜船首を氷盤に衝突させ、氷盤へ乗り上げ時の荷重や圧縮力で氷盤を割る。このため船首構造は非常に強固にする必要がある。
砕氷能力	実績値では排水量の8-15%の下向き集中荷重を砕氷荷重として氷盤に加えられるので小型でも砕氷能力が大きい。	排水量の割りには、船首部の下向き砕氷荷重が小さい、このため船体を大型化の必要がある。
砕氷時推力	推力は船尾プロペラと砕氷ロータの併用であるが、砕氷ロータを回転することにより氷盤から得られるので、船尾プロペラがなくとも砕氷前進可能である。	推力は船尾プロペラにより砕氷時の運動量に等しい海水をプロペラで後方に蹴り出して推力を得る。砕氷時の低速ではスリップ比が大きくプロペラ効率が高い。このため大馬力が必要となる。
プロペラ損傷時	ロータのみで砕氷航行および低速での平水中航行が可能である。	1軸船では航行不能となる。
氷盤乗り上げ時の後進	砕氷ロータの逆転により、容易に短時間で後進離脱可能。	船尾プロペラの逆回転による後進離脱であるが時間がかかる。
操船性	両舷の砕氷ロータを同方向へ回転させることにより、バウスラスタ代わりとなる。	1軸船では操船性向上のためバウスラスタの装備が必要である。
適した領域	中小型の砕氷船、水路や港内砕氷時護岸に損傷を与えない利点がある	中型、大型砕氷船

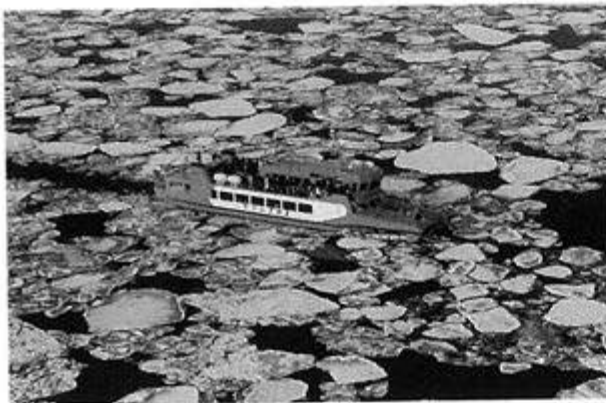


写真1 砕氷航行中のガリンコ号2  
GARINNKO-GO 2 Operating in the Ice Floe



写真2 船首ロータ部  
Archimedean Screw Roter

抗の大きい領域で航走するため、砕氷ロータの抵抗を少なくする必要があり、砕氷ロータを初代ガリンコ号の4本から2本へと減らし10ノットを実現した。

- 4) 復原性確保のために上部構造の風圧面積を小さくし、重心を下げる必要があることから、機関高さを低い高速ディーゼル機関を採用した。

### 2.3 流水内航行能力

紋別沖10 kmまでの軽度な流水内航行を行うため砕氷、耐氷能力を下記のように設定した。

- 1) 連続砕氷能力：氷厚40 cm×2ノット
- 2) 最大砕氷能力：氷厚約60 cm



写真3 砕氷中の砕氷ロータ  
Icebreaking by Archimedean Screw Roter

- 3) 耐氷級：主機、軸系、プロペラ、舵はNKIB級、船体構造はNKIA級に準拠とした。

- 4) 砕氷ロータは、主機とは別の独立したディーゼル機関駆動の油圧ポンプによる油圧モータ駆動とし、砕氷中では高トルク低回転、平水中では低トルク高回転の2段切り換え型を採用した。

- 5) 本船は砕氷中では砕氷ロータと船尾プロペラを併用して砕氷を行うが、主機が停止しても砕氷ロータのみでも砕氷航行可能である。

また平水航行時には主機が停止しても砕氷ロータのみで約3.5ノットで航走可能であり、かつ着岸時には砕氷ロータを同方向に回転させ、バウスラストとしても使用可能である。

- 6) プロペラの損傷対策および砕氷時の推力増加のため、ダクトプロペラを採用、また後進時の舵保護用として舵後部にはアイスホーンを設けた。

- 7) ヒーリング、トリミング用としてバラストポンプを設けた。

また主機、補機冷却海水の吸水口のシャーベット氷や泥水の目詰まり対策として主機、補機冷却排水をシーチェスト部にて再循環可能な配管とした。

### 2.4 主要目表

ガリンコ号2および初代ガリンコ号の主要目表を表2に示す。

### 3. 紋別沖の流水

オホーツク海の流水は、以前はシベリヤのアムール川の結氷がオホーツク海に流れ込むと言われていたが、最近の観測ではアムール川の真水がオホーツク海に流れ込み、水深が浅いため対流が起らず外気温によって海表面が結氷し、これらが海流により冬季の1～3月の間北海道のオホーツク沿岸に流れ着くことがわかっている。

表2 ガリンコ号2と初代ガリンコ号主要目表  
Principal Particulars of GARINKO-GO2 & GARINKO-GO

		ガリンコ号2	初代ガリンコ号
船体寸法	全長	35.00 m	24.90 m
	垂線間長	28.17 m	18.87 m
	巾	7.00 m	3.60/7.60 m
	深さ	2.70 m	2.30 m
	喫水	1.90 m	1.82 m
総トン数		150 t	39 t
乗客数		195 名	70 名
推進用主機		1 010 ps×2 325 rpm×1 基	160 ps×1 基
砕氷用補機		500 ps×2 100 rpm×1 基	中央ロータ 245 ps×2 基 側部ロータ 405 ps×1 基
砕氷ロータ		長さ×外形 5.9 m×1.2 m×2 本	中央ロータ 2 本 側部ロータ 2 本
砕氷能力	連続	氷厚40 cm×2ノット	氷厚30 cm×3ノット
	最大	氷厚約60 cm	氷厚約60 cm
プロペラ		ダクト付き固定ピッチ	固定ピッチ
平水速力		10ノット	5ノット
航行区域		限定沿海	平水区域
運航海域		紋別沖10 km	紋別港域内
耐氷構造		基本はNKIB級準拠 構造はNKIA級準拠	JG耐氷

結氷の厚さは積算寒度の平方根に比例し、流水は結氷しながら波や風により割れたり、再結氷を繰り返し成長する。このために紋別沖流水は厚さ20~60cmの単板がブロック状に割れたまま漂っている浮遊氷やこれらが再結氷した平板氷、またブロックが折り重なった筏氷や大小の水脈等を形成しながらオホーツク沿岸に流れ着いている。これらの大氷脈では海中や海上に2~3m突出しているものも観察される。

3.1 流水の強度、物性

本船の検討に用いた流水単板の物性値は観測値、実測値により下記とした。

- 厚さ  $h$  : 30~60 cm
- 曲げ強度  $\sigma_f$  : 約 3 kgf/cm<sup>2</sup>
- ヤング率  $E$  : 約 3000 kgf/cm<sup>2</sup>

4. 砕氷能力

本船は前記のごとく、在来型砕氷船と砕氷方式が全く異なるため、砕氷能力の算定、所要馬力の決定については、当社の実験値に基づき算定した。

4.1 砕氷荷重と氷厚

当社の実験値や弾性基礎上（海上）氷盤に加わる荷重理論により（1）式で推定した。

$$P(\text{kgf}) = K_w \cdot \sigma_f \cdot h^2 \dots\dots\dots (1)$$

$\sigma_f$ : 海水の曲げ強度 (kgf/cm<sup>2</sup>),  $h$ : 氷厚 (cm)  
 $K_w$ : 氷盤の形状による荷重係数(半無限氷盤の時 0.52, ガリニコ号での計測値 0.6~0.8)

図2に本船の計画値,  $K_w=1$ の時のロータ1本当たりの砕氷荷重を示す。海水の曲げ強度が3 kgf/cm<sup>2</sup>の時、氷厚40cmでは砕氷荷重が約5トン、氷厚60cmでは約11トンとなることを示す。

4.2 砕氷半径

前記砕氷荷重が加わった時海水にクラックが入る半径は特性長  $L$  と呼ばれ砕氷荷重、撓みと共に砕氷ロータ配置に重要である。

砕氷ロータによる砕氷半径は、計測値では特性長の1/2であり、砕氷半径は（2）式で示される。

$$r(\text{cm}) = (0.5) \cdot (3.093) \cdot (E \cdot h^3)^{0.25} \dots\dots\dots (2)$$

$h$ : 氷厚 (cm),  $E$ : ヤング率 (kgf/cm<sup>2</sup>)

図3に氷厚とヤング率による砕氷半径を示す。1例として氷厚40cmにて海水のヤング率3000 kgf/cm<sup>2</sup>の時、砕氷半径は1.8mとなる。

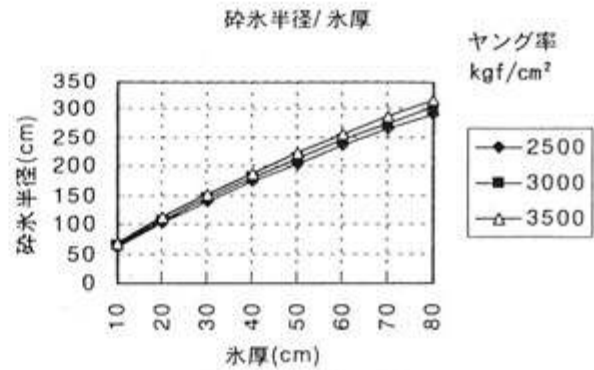


図3 砕氷半径と氷厚  
Icebreaking-radius vs Ice-thickness

る。砕氷船では砕氷時に船幅より広く砕氷しないと旋回ができないため、ガリニコ号2では旋回時を考慮し、船側より外側の氷が割れるように砕氷ロータを外寄りに配置した。

その結果、氷厚が40cmでは前記の砕氷半径から中央部に未砕氷部ができるが、これはすでにクラックの入った幅の細い氷であり、傾斜船首で簡単に砕氷し排除することが可能である。

4.3 砕氷ロータおよび駆動装置

砕氷ロータの形状、寸法、直径、ブレードヘリックス角度、所要トルク、回転数、馬力は砕氷荷重をベースに砕氷速度、砕氷時のロータスリップ比、トルク係数等ガリニコ実績値を用いて決定した。下記に砕氷ロータおよび駆動系要目を示す。

- 砕氷ロータ アルキメディアンスクリュウ 2条型 2基
- 材質 鋼板溶接製
- 寸法 長さ5.9m×外径1.2m
- 油圧モータ ラジアルピストン型 2基
  - 低速 2400 kgf-m×52 rpm
  - 高速 1000 kgf-m×130 rpm
- 油圧ポンプ 可変容量型ピストンポンプ 2基
- 油圧原動機 MTU6L183TE93および減速機 1基
  - 500 ps×2100 rpm

4.4 砕氷時の船尾プロペラ

三井ASV型では前記のごとく砕氷中、砕氷ロータの回転により氷盤から推力を得ることが可能で、船尾プロペラがなくとも砕氷し前進することが可能である。しかしながら砕氷時の操船や、旋回性能上、また現実的には平水航行用として船尾プロペラが必要となるので、砕氷中も船尾プロペラの推力を併用する。

本船の船尾プロペラの砕氷時の必要推力は、基本的にはロータ間

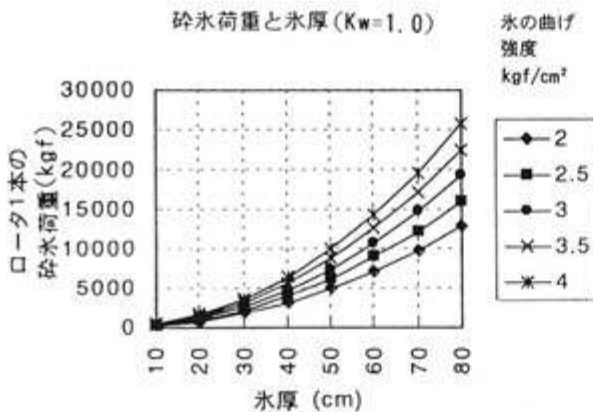


図2 砕氷荷重と氷厚  
Icebreaking-force vs Ice-thickness

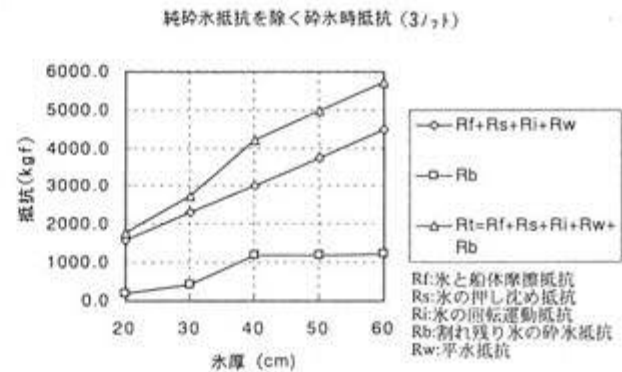


図4 当社実験式による純砕氷抵抗を除く砕氷抵抗推定値  
Resistance Values in Icebreaking Obtained by MES Equation

の割れ残り水を傾斜船首で割る抵抗を考慮すればよいが、砕氷時の余裕のため、上記のロータ間の割れ残り水を割る抵抗の他、砕氷時の全抵抗から純砕氷抵抗を除く、氷と船体の摩擦抵抗、氷を押し沈める抵抗および氷の運動抵抗を考慮するものとする。

これら抵抗は、当社の氷海中のテストデータや各種の砕氷抵抗算定式から算定したが、氷厚40cmの場合、3ノットにて3~4トン程度の推力があれば十分である。

このためプロペラは平水航行10ノット時と砕氷3ノット時の回転、推力、主機負荷等を総合的に検討した結果、固定ピッチプロペラで問題がないことを確認し、これを採用した。図4に当社実験式による純砕氷抵抗を除いた抵抗推定値を示す。

## 5. 平水航行時の性能

本船の特徴を速力性能の観点から見ると、船尾は通常型であるが、船首部は砕氷ローターを装備し、駆動装置の配置や軸受けのためかなりの肥大度となっている。そこで、本船の静水中速力性能の検討を以下に行った。

船体抵抗は粘性抵抗と造波抵抗に分離される。このうち粘性抵抗は主として船尾形状に依存することから、従来船型のデータベースから十分な精度で推定が可能である。

造波抵抗に関しては、本船の特徴である砕氷ローターの影響も大きいと考え、主船体とローターの造波抵抗を個別に推定し、その合計を本船の造波抵抗として採用する方式をとった。

主船体の造波抵抗はランキンソース法による理論数値計算(CFD)を実施し推定した。ただしこの際本船と類似した要目を持つ当社建造の従来船型の計算結果と実績の比較を参照し、この修正係数を本船の計算結果に適用している。また、この結果は、船首部排水量分布の類似した肥大船のデータベースから推定した結果とも良く一致することを確認した。

ロータ部については、類似のロータ単体のモデルテストの性能曲線より内外挿しての推定に加え、ロータ単体の長さや船速の関係から見ると高速艇の領域に入るため抵抗は高速艇のチャートに基づいた推定を実施した。

一方、プロペラ作動時の自航要素は船尾形状とプロペラに支配されることから、類似船のデータベースより推定した。以上の検討より、船体抵抗及び自航要素を求めた上で、静水中速力性能を推定し、試運転によってその推定が正しいことを確認した。

## 6. 流水砕氷テスト

97年2月5日紋別沖3海里にて流水砕氷テストを行った。

船首喫水：1.7m、船尾喫水：2.0m、流水状況：3海里沖の約1000×100m大の平板氷に進入し砕氷実験を行った。ロータ回転数50rpm、主機回転数1500rpmにて砕氷速度3~4ノット、氷厚は25~40cm、氷の割れ半径は約1.5mでロータ間の割れ残り水も傾斜船首で砕氷排除し、砕氷巾も船側から1mはあり、砕氷中の進路変更も容易であった。砕氷中はガリガリとロータ音、ゴンゴン、ゴンと氷片が船体に当たる音があるが安定感は十分で、在来型の砕氷船に比較し砕氷の臨場感がある。その後砕氷ロータのみによる砕氷テスト、主機のみによるブローンアイス航走テスト、後進テスト等を無事終了、所定の砕氷能力と安全性が確認された。

また、実際の流水中の運航については、流水状況、流水密度、海象、気象状況による運航マニュアル細目を管海官庁の指導のもとに定めている。

## 7. あとがき

ガリンコ号2は下記の体験が可能で大人気となっている。

- 1) 雄大な流水景観や流水上のおじろ鷺、ごまふあざらし等の観察
- 2) 流水がすぐ近くにあり、臨場感のある流水砕氷体験
- 3) 迫力のある砕氷ロータによる砕氷状況の見学
- 4) 流水採取ダビットにより流水を採取し、この流水に触ることができること

ガリンコ号2はまた流水シーズン以外にはオホーツクタワーへのアクセス兼海上遊覧船として年間運航される。

三井ASV船型は小型船でも砕氷能力が大きいばかりでなく、その砕氷原理から砕氷時護岸に損傷を与えない特徴もあるので、中小型砕氷船のみでなく、水路や港内砕氷用にも適していると思われる。このため在来型のタグボートに冬季のみ、船首に砕氷ロータ付きのパウユニット(小型バージ)を装着し、プッシャーとバージ式の砕氷船として使用する三井ASBU船型(三井アルキメディアンスクリュウパウユニット船型)もある。

最後に、本船の設計、建造に御指導戴いた運輸省各局、船舶整備公団、紋別市役所、オホーツクガリンコ観光汽船(株)、(株)ヤマニシの関係各位に対し、心から感謝の意を表する次第である。

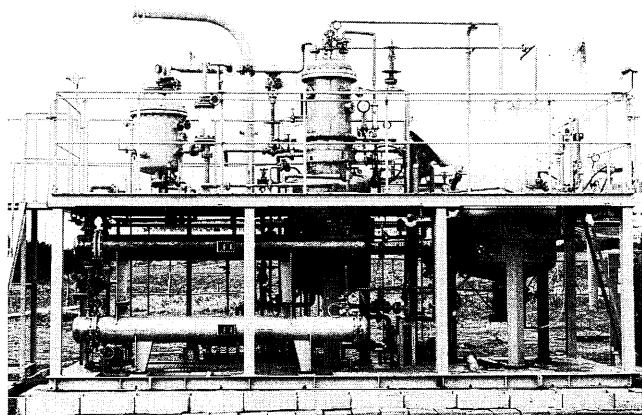
(問い合わせ先)

三井造船千葉機工 設計エンジニアリング本部  
TEL 0436 (42) 6423 播田 安弘

## 製品・技術ニュース

### LNG 冷熱利用冷凍法海水淡水化実験装置

—(財)造水促進センターへ納入—



大気圧実験中の海水淡水化装置

当社は、昭和56年4月、(財)造水促進センター臨海研究所(神奈川県茅ヶ崎市)に、「LNGの冷熱を利用した海水淡水化実験プラント」を納入した。この実験プラントは、海水を氷点以下に冷却すると、塩分を含まない氷の結晶ができることに注目し、これまで海水に廃棄されていた冷熱を利用して、 $-162^{\circ}\text{C}$ のLNGと海水を直接接触させて氷の結晶をつくり、これを洗浄、融解させて淡水を得るとい

う、世界でも初めての試みで、従来の蒸発法、逆浸透法、電気透析法に比べ、コストが格段に安くなり、しかも省エネルギー型というのが大きな特長である。近年の水需給のひっ迫に伴い、水資源の開発、特に海水淡水化への期待が高まっている折から、その実用性が待たれている。当面、液体窒素( $\text{LN}_2$ )で実験を行い、運転特性を把握して、昭和58年度からLNGで実証運転を行う予定である。

#### 主 要 目

製水量	10 t/d
第1結晶缶	(LNG/ $\text{LN}_2$ と海水の直接接触熱交換器) 胴内径 1400 mm 高さ 1564 mm
附属品	6枚タービン型可変速機付攪拌機 1台
第2結晶缶	(過冷却された海水から氷結晶を成長させるための結晶缶) 胴内径 上部600/下部1100 mm 高さ 上部1521/下部1642 mm
附属品	パルセータ型攪拌機 2台
融解槽	胴内径 650 mm 高さ1067 mm
加熱器・予冷却器	Uチューブ式熱交換器(伝熱面積 $11.1\text{m}^2$ )
ポンプ類	ブラインポンプ、スラリーポンプ、淡水ポンプ、 海水フィードポンプ 各1台

(技術開発本部)

### 三井-AST

—“AST-002” アラスカでのフィールドテストに成功—



アラスカにおける三井-AST

三井-AST(アルキメディアン スクリュートラクタ)は、氷上及び海上での走行はもちろんのこと、海上から氷盤へ、また氷盤上から海上への移動も可能であり、更に強力な砕氷能力をも併せもつ当社独自の開発による、全く新しいタイプの氷上・海上両用トラクタである。また、湿地帯の走行にも適している。

当社では、昭和55年冬期、大型化した試作機AST-002を、北海道紋別市付近の流氷でのテストのあと、氷海石油開発で有名なアラス

カのブルドーベィに運び、米国、ソハイオ社(SOHIO Alaska Petroleum Co.)の協力を得て、約40日にわたるフィールドテストを行った。

その結果は極めて好評で、なかでも、自重約200tのホーバページのけん引(表紙写真参照)、及び総重量約70tのソリのけん引テストの成功は、三井-ASTが氷海石油開発における海上の作業基地と陸上の支援基地を結ぶ機材輸送手段として有効であることを証明した。また、氷海プラットホームや氷海船舶からの緊急脱出用、氷海での流出油回収用としても有効である。

なお、ブルドーベィでのフィールドテストは、昭和56年の結氷期(10月)と融氷期(12月)にも計画されている。

#### 主 要 目

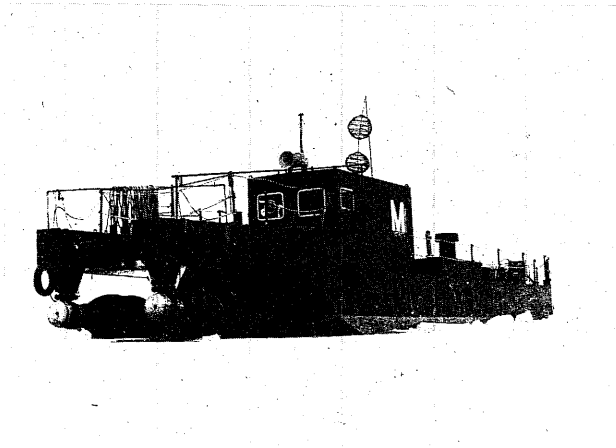
乗員	5人
重量	10.8 t
構造材料	耐食アルミニウム合金
全長×全幅×全高	8.85×4.86×3.73 m
速力	氷上 max. 6.0 kn 水上 max. 4.3 kn
けん引力	氷上 max. 10.0 t 水上 max. 1.0 t
砕氷能力	氷厚 40 cm(海氷) 速力 3 kn
エンジン	空冷4サイクルディーゼル 305 PS×1台
トランスミッション	油圧

(船舶・海洋プロジェクト事業本部)

## 製品・技術ニュース

### 最新鋭アルキメディアン・スクリュー型砕氷船“おほ一つく”

——北海道紋別港でフィールド・テストを実施——



フィールド・テスト中の“おほ一つく”

アルキメディアン・スクリューを船首に2本装備したASV (Archimedean Screw Vessel) は、氷とかみ合ったスクリュー・ロータを回転させることにより、船首部を氷上に引っ張り上げ、その荷重を利用して砕氷を行う新型の砕氷船である。

従来の砕氷船は、水中のプロペラで推力を発生し、その推力で船首部を氷上に乗り上げ、その船体荷重により砕氷しながら

前進する。したがって、スラスト効率が悪く、大馬力を必要としている。ASVの主機出力は、従来型砕氷船に比べ約40%で済むので、高能力、高効率であり、今後の氷海域での水路確保、物資輸送の面で大きく貢献するものと思われる。

本船“おほ一つく”は、運輸省の試験研究補助金により建造され、本年1月より3月まで北海道紋別港でフィールド・テストを行い、30cmの氷海を快調に砕氷航行し、予期した性能を発揮した。将来は北極海向の砕氷能力1.8mの砕氷船の建造が期待される。

#### “おほ一つく”の主要目

全長	21.0 m
幅	3.6 m
深さ	2.3 m
喫水	1.2 m
総トン数	35.46 トン
スクリュー・ロータ用機関	いすゞ製ディーゼル機関2基
出力	245 PS×2 200 rpm×2 基
最大速力	氷海 3 ノット (砕氷能力 35 cm)
	水上 3 ノット
スクリュー・ロータ	直径 0.75 m, 長さ 3.8 m

(船舶・海洋プロジェクト事業本部)

### ラスムッセン・オフショア社向けアコモデーション／サービス・プラットホーム

——“ポリキャッスル号”引渡し——



コーヒー・ロビー

ノルウェー国、ラスムッセン・オフショア社 (Rusmussen Offshore A/S) 向け“ポリキャッスル号” (Polycastle) は、当社玉野事業所において昭和57年3月に完成し船主に引渡された。

本プラットホームは、2基のスラスターによる自航能力を持つベースセッター・タイプのアコモデーション及びサービス・プラットホームで、通称フローテルと呼ばれ、616名の人員を収容できる居住・娯楽設備と、100 ton クレーンに代表される作業設備を備えた世界に数少ない半潜水型プラットホームである。

また、本プラットホームの操業海域は、海象・気象条件の厳しい北

海で風速約50 m/sec.、波高30 mに耐えられる構造となっている。

#### 主要目

ロワーハル	長さ	82.3 m
	全幅	64.6 m
第1デッキ	長さ	72.4 m
	幅	64.6 m
	高さ	32.3 m
喫水	(稼動時)	19.5~20.9 m
速力		6.86 ノット
定員		616 名 (イギリス海域)
規則及び船級等		DEn, NMD, DNV

#### 特色

1. ノルウェー政府の最新の規則に基づき、プラットホームを支える6本のコラムのうち1本が浮力を喪失してもアッパーハルの浮力により転覆しない設計となっており、係留装置についてもノルウェー政府の最新の要求を満足するものとなっている。
2. 居住区内には、居室(253室)、娯楽室(8室)、253人収容の大食堂、映画館、体育館、コーヒー・ロビー、サウナ等北海油田開発作業従事者用の最高級北欧調ホテル設備を持つと共に、居住区及び作業区の騒音及び振動についても十分な配慮がなされている。
3. 100 ton, 40 ton クレーン各1基、工場、専用倉庫、テレスコピックガングウェイ、海上作業支援用設備を持っている。

(船舶・海洋プロジェクト事業本部)