

砕氷船について

徳永陽一郎*

Icebreakers and Their Design

Yoichiro TOKUNAGA*

Abstract: From a standpoint of ship design, this paper summarizes development of major polar icebreakers in the world including the new Japanese icebreaker SHIRASE which replaced FUJI.

要旨: 本稿は「ふじ」に替わる日本の新砕氷船「しらせ」を含む世界の極地向け砕氷船の発達を船舶設計の立場から要約したものである。

1. ま え が き

南極地域観測統合推進本部では「ふじ」整備・改善などに関する調査会議を設け、昭和51年と52年にアメリカ、ヨーロッパ諸国およびカナダの砕氷船の実状を調査した。一方、51年3月第56回南極地域観測統合推進本部総会で決定した「南極地域観測事業の将来計画基本方針」を受けて、52年7月上記会議が改組されて南極輸送問題調査会議が発足し、船舶部会では「ふじ」の使用限度と代船建造の技術的調査検討が行われ、輸送計画部会ではそれまでの輸送システムの再検討が行われた。

その結果、リュツォ・ホルム湾の氷状と昭和基地への輸送上の諸制約を考慮して随伴船方式を採らず、1.5mの定着氷を連続砕氷できる排水量12000t、24000馬力規模の単船方式が選ばれた。その後、さらに十分な検討が加えられ、第25次南極地域観測に従事中の「しらせ」の仕様が決定した。

以下、各国砕氷船の発達の歴史の中で我が国の「ふじ」、「しらせ」がどのような位置を占めるかについて述べる。

2. 主要寸法について

世界の砕氷船（排水量2000t以上）を国別にみると、ソ連70隻、カナダ20隻、フィンランド9隻、スウェーデン8隻、アメリカ6隻などとなる。このうち本格的砕氷船に着目すると、ソ連では1959年建造のLENIN、1960年代建造のMOSKVA型（5隻）、1970年代建造のERMAK型（3隻）およびARKTIKA型（2隻）、アメリカでは1955年建造のGLACIER、

* 社団法人日本造船学会. The Society of Naval Architects of Japan, Senpaku Shinko Building, 15-6, Toranomon 1-chome, Minato-ku, Tokyo 105.

表 1 主要寸法表
Table 1. Principal dimension of polar icebreakers.

| 建造年 | 船 名 | L_{WL} (m) | B_{WL} (m) | D (m) | d_D (m) | W_D (t) | $\frac{L_{WL}}{B_{WL}}$ | $\frac{B_{WL}}{d_D}$ | $\frac{D}{d_D}$ | C_b | 用 途 |
|-------------|---------------|-----------------|-----------------|------------|--------------|--------------|-------------------------|----------------------|-----------------|-------|--------------------------------------|
| 1959 | LENIN | 124.0 | 27.6 | 16.1 | 9.60 | 17 280 | 4.50 | 2.88 | 1.68 | 0.512 | 北 極 海 |
| 1960 -69 | MOSKVA | 112.4 | 23.5 | 14.0 | 9.50 | 13 290 | 4.78 | 2.48 | 1.47 | 0.517 | 夏 北極航海 冬 { レニングラード ナガエボ |
| 1974 -76 | ERMAK | 130.0 | 25.8 | 16.6 | 11.0 | 20 000 | 5.05 | 2.34 | 1.51 | 0.528 | 5月-11月ムルマンスク 1月-4月ウラジオスト ク北東航路 |
| 1955 | GLACIER | 94.5 | 22.0 | 11.6 | 8.50 | 8 775 | 4.30 | 2.59 | 1.37 | 0.484 | 北極海・南極海 |
| 1976 -77 | POLAR STAR | 107.3 | 23.7 | 13.18 | 8.53 | 10 863 | 4.52 | 2.78 | 1.54 | 0.486 | 北極海・南極海 |
| 1965 | ふ じ | 90.0 | 21.5 | 11.8 | 8.3 | 8 036 | 4.18 | 2.59 | 1.48 | 0.488 | 南 極 観 測 |
| 1982 | し ら せ | 124.0 | 27.0 | 14.5 | 9.2 | 17 200 | 4.60 | 2.94 | 1.57 | 0.543 | 南 極 観 測 |

L_{WL} : 喫水線長, B_{WL} : 喫水線幅, D : 型深, d_D : 計画喫水, W_D : 計画排水量, C_b : 方形肥瘠係数

1970年代建造の POLAR STAR 型 (2 隻) などがある。これらの砕氷船の主要寸法を表 1 に示す。これによればソ連の 3 隻の砕氷船では建造年次が後になるほど L_{WL}/B_{WL} が大きくなっており、アメリカ、日本においても同じ傾向である。

図 1 に 4 隻の砕氷船の船首形状を示す。船首材の喫水線に対する傾斜角 ϕ は多くの砕氷船で $30-33^\circ$ が採用されてきたが、近年 POLAR STAR のように $15-18^\circ$ とするものが出現した。

「しらせ」ではハンブルグ氷海船舶試験水槽における模型試験に基づく研究の結果 21° を採用した。

中央横断面形状はアメリカの砕氷船 WIND 型, GLACIER および「ふじ」では円弧状であ

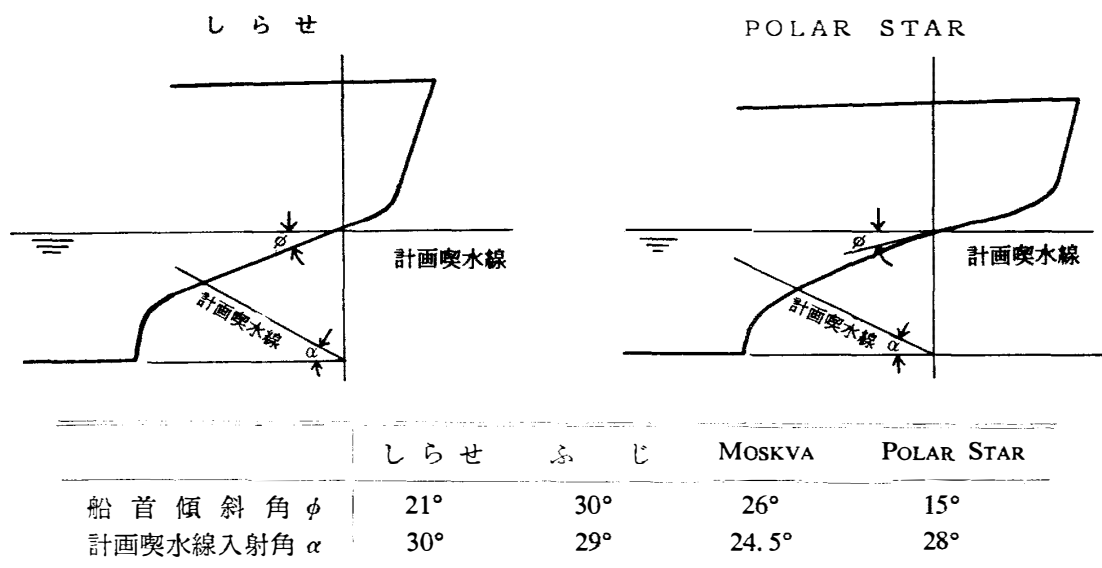


図 1 「しらせ」と POLAR STAR の船首比較
Fig. 1. Comparison of bow shape in SHIRASE and POLAR STAR.

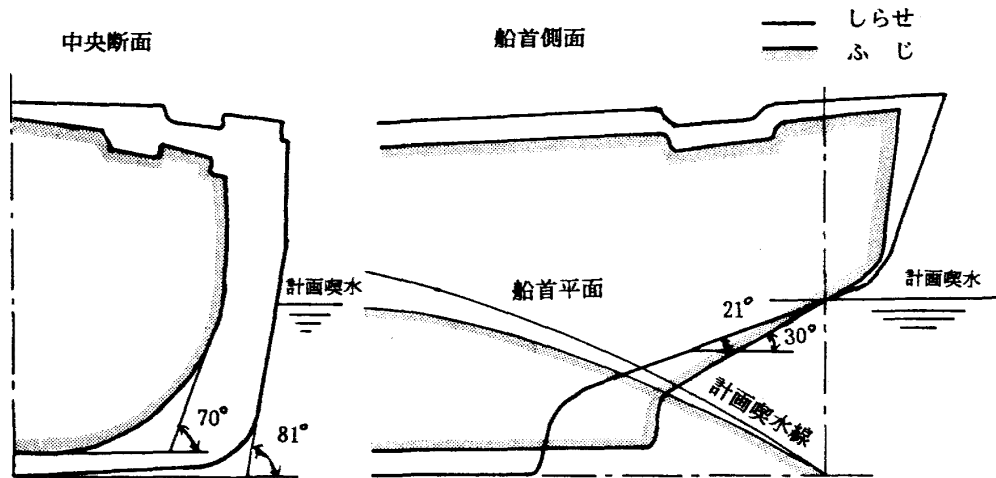


図 2 「しらせ」と「ふじ」の船型比較

Fig. 2. Comparison of bow and midship section shape in SHIRASE and FUJI.

り、氷海でビセットされた時、氷圧により船体が浮き上がって氷圧をかわすようになっている。これに対しソ連の砕氷船では昔から台形断面であり、「しらせ」ではこの形が採られた(図 2 参照)。これは横揺れ減少にも役立つ。

船尾形状では氷海航行中はプロペラの損傷防止が最重要であるので、プロペラの没水深度を十分にとり(「ふじ」ではプロペラ上端は水面下 2.85 m, 「しらせ」では舷側プロペラで 3.9 m, 中央プロペラで 3.53 m), 船体とプロペラの間隔を 20-25% とする(一般船舶では 7-10%)。また氷海では前進・後進を頻繁に繰り返すので、アイスホーンを船尾に設けて舵頭を氷塊から防ぐようにし、後進のとき砕かれた浮氷が舷側に沿って流れるよう船尾形状に注意する。

3. 砕氷能力について

砕氷船の連続砕氷抵抗の予測技術は次第に発達してきている。近年、我が国でも運輸省船舶技術研究所および日本鋼管(株)津研究所に氷海試験水槽が設けられたが、「しらせ」の計画段階では日本鋼管(株)はハンブルグ氷海船舶水槽で模型試験を行った。そしてソ連砕氷船 ERMAK の模型試験結果と実船試験結果を基にして導かれた Kashtelyan の下記計算式が本船の試験結果とよく一致することを確認した。「ふじ」の実績では厚さ 0.85 m の氷を 3 kn の船速で連続砕氷が可能であるのに対し、「しらせ」では氷の曲げ強度が 50 t/m² のとき、氷厚 1.5 m を 3 kn の船速で連続砕氷可能と推定した。

$$R_T = 0.004 B_{WL} \sigma_f h \mu_0 + 3.6 \rho_1 B_{WL} h^2 \mu_0 + 0.25 B_{WL}^{1.65} h V \frac{1}{\eta_2} + R_W$$

R_T = 密接氷域内砕氷船の全抵抗 (t)

R_W = 水の摩擦および造波抵抗 (t)

- h = 氷の厚さ (m)
 ρ_f = 氷の曲げ強度 (t/m^2) 海氷 (北極冬期 80 t/m^2)
 ρ_i = 氷の密度 (0.9 t/m^3)
 B_{WL} = 砕氷船の喫水線幅 (m)
 V = 砕氷船の運動速度 (m/s)
 μ_0, η_2 = Schimansky 係数 (船首形状を表す)
 $\mu_0 = 1.4-1.5, \eta_2 = 3.0$ がよいとされる.

4. 船体構造について

砕氷船が砕氷行動中に受ける氷の衝撃力およびビセット時の氷の圧縮荷重によって船体が損傷を受けないように、船体構造方式、構造部材寸法の決定、構造材料の選定には特別な配慮が必要となる。「しらせ」では「ふじ」の使用実績および POLAR STAR の構造、ノルウェーやカナダの構造規則を参考にして鋼種、板厚、寸法を決定した。

船体外板には耐氷帯という特別に補強された構造部分を設ける。耐氷帯の下縁は軽荷喫水線下想定される最大氷厚に等しい所とし、上縁は満載喫水線上最大氷厚の半分程度の所までとする。耐氷帯の肋骨心巨は 400 mm が多く、一般船舶の半分であるため建造工作上困難を伴う。また、この耐氷帯は甲板、肋骨および船側縦通材よりなる格子構造によって船内より支えられる。ERMAK では耐氷帯は低温用鋼材 54 mm であり、「しらせ」では「ふじ」の良好な使用実績を基にして JIS E 級鋼船首部 45 mm、中央部 35 mm、船尾部 38.5 mm である。

次に、本格的砕氷船では船側部および船底部は、ほぼ全長にわたって二重船殻構造にして船体の安全を図っている。

5. 推進方式・推進機関・軸系について

砕氷船の推進装置が備えるべき要件は、負荷の急激な変動に対応できること、常に最大出力が出せること、推進軸トルクは短時間定格トルクの 200% 程度出せること、機器が異常トルクに対し十分安定であること、などである。この要件を満たすものとして、砕氷船では表 2 に示すとおり、電気推進方式が最も多く採用されている。「ふじ」では直流発電機と直流電動機の組み合わせであったが、「しらせ」では高出力となったため、交流発電機が発生する電流を整流器で直流とし、直流電動機を駆動する方式とした。なお、「ふじ」の多年にわたるチャージング砕氷の実績と機関修理の経験により、「しらせ」では発電機関の定格出力と電動機の常用出力の間に十分な余裕をとった。

最近の大型砕氷船は高出力となったため、操縦性および信頼性の見地から 3 軸推進が多い。その場合、出力配分はソ連では舷側軸 1 に対し中央軸 2 の配分方式が採られてきたが、近年

表 2 代表的砕氷船の推進機関
Table 2. Propulsive power plant of typical icebreakers.

| 船 名 | MOSKVA | ERMAK | GLACIER | POLAR STAR | ふ じ | し ら せ |
|---------------|-----------------|---------------------|---------------------|---------------------------|---------------|----------------|
| 推進方式 | D-E | D-E | D-E | D-E, GT | D-E | D-E |
| 主機型式 | Sulzer 9MH51 | Sulzer 12ZH40/48 | Fairbanks- Morse | Alco251V16 P&W FT-4A12 | 横浜 MAN V8V | 三 井 12V-42M |
| 主機出力 (PS) | 3 250×8 | 4 600×9 | 2 400×10 | 3 560×6 20 000×3 | 3 500×4 | 5 750×6 |
| 発電機出力 (kW) | 2 160×8 | 3 080×9 | 1 700×10 | 2 610×6 | 2 420×4 | 4 050×6 |
| 軸 馬 力 (PS) | 22 000 | 36 000 | 21 000 | 18 000 60 000 | 12 000 | 30 000 |
| 軸 回 転 数 | 105/120 | 105/180 | 120/175 | 105/130 160/175 | 110/150 | 120/160 |
| 軸 数 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 |
| 最大速力 (kn) | 18.0 | 19.5 | 17.6 | 21.0 | 16.0 | 19.0 |
| 巡航速力 (kn) | | 15.0 | 12.0 | 13.0 | 12.0 | 15.0 |
| SHP/ W_D | 1.65 | 1.80 | 2.39 | 1.65, 5.52 | 1.49 | 1.74 |
| SHP/ B_{WL} | 936 | 1 395 | 954 | 2 531 | 558 | 1 111 |

は ERMAK, POLAR STAR, 「しらせ」のように3軸均等配分方式が現れた。

砕氷船のプロペラ軸とプロペラはプロペラが氷塊に接触するときに生ずる大きなトルクに十分耐えなければならない。また、プロペラ軸および翼取り付けボルトはプロペラ翼より大きな強度をもたせる。プロペラ翼の肉厚は特に厚いものとし、材質も「しらせ」では 13Cr 高強度ステンレス鋳鋼を採用している。

6. 特殊設備について

多くの砕氷船は氷状偵察や基地との連絡用として小型ヘリコプターを搭載しているが、氷縁から基地までの距離が遠いという悪条件に対処するため、「ふじ」、「しらせ」では輸送用大型ヘリコプター2機と偵察用小型ヘリコプター1機を収容できる格納庫、発着甲板および給油装置を有する。

「ふじ」では第7次より第24次観測まで毎次 400t の資材を S-61A 型ヘリコプター2機によって空輸した。「しらせ」では初めの数年間は S-61A 型ヘリコプター2機による空輸を行うが、その後は約5倍の貨物積載が可能な CH-53 型ヘリコプター2機を搭載して今後増加する観測資材などの輸送を行う予定である。載貨設備として、POLAR STAR では 400t, 「ふじ」では 500t, 「しらせ」では 1 000t の貨物を積載できる船倉を有する。また、「しらせ」の荷役装置は「ふじ」よりも一層の能力向上が図られている。

洋上観測設備としては、「しらせ」では「ふじ」に引き続き、気象、宙空、地学、海洋および生物の諸観測のための実験室および関連設備を備えている。

7. あとがき

前述のとおり、「しらせ」は事前の慎重な調査検討の後、防衛庁技術研究本部によって基本計画がなされ、南極輸送問題調査会議の審議を経て最終仕様が決定された。そして南極観測事業に対する関係者の熱心な支援を受けて昭和54年度に建造の運びとなった。その後担当造船所、機関・電機メーカーの周到な工事により昭和57年11月に規模、性能共に世界第一級の砕氷船として完成したのである。本船が第25次観測を初回として、「ふじ」に比べ倍増した砕氷能力、輸送能力を十分に発揮して南極観測事業発展の原動力となることを期待してやまない。

文 献

- 本多一郎 (1981): 11,000トン型新砕氷艦について. 南極資料, **73**, 178-188.
井上 馨 (1984): 電気推進の各種方式の特質と動向. 日本船用機関学会誌, **19**(2), 22-42.
文部省編 (1982): 南極観測25年史. 東京, 大蔵省印刷局, 532 p.
日本造船研究協会第160研究部会 (1977): 氷海商船に関する研究報告書.
佐々木寛・矢吹捷一・佐藤 守 (1978): 砕氷艦「ふじ」の氷海航行と軸系耐氷強度について. 日本船用機関学会誌, **13**(9), 108-117.
矢吹捷一 (1976): 世界の氷海用船舶. 船舶, **49**(11), 19-32.
山川健郎 (1966): 南極観測船「ふじ」について. 日本造船協会誌, **438**, 2-7.
吉原栄一 (1983): 新造砕氷艦「しらせ」のすべて. 世界の艦船, **318**, 80-89.

(1984年7月21日受理)