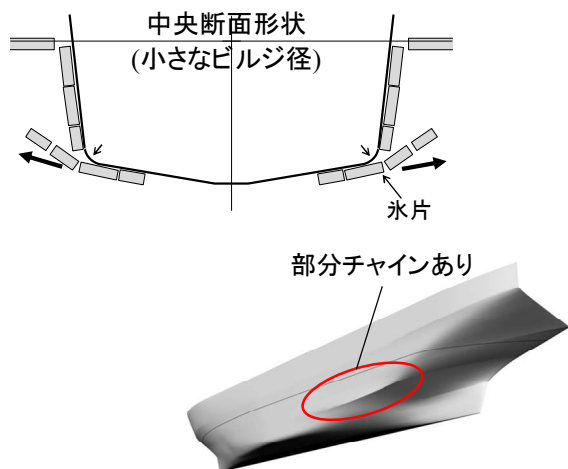


砕氷船の氷片挙動制御技術

Ice pieces behavior control technology for icebreakers



技術研究所

GREEN & SMART WORKS LABORATORY

氷海研究 G

水野 滋也

MIZUNO Shigeya

概 要

砕氷船が割った氷の欠片（氷片）は船体に沿って流れる過程で推進システムに悪影響を及ぼす恐れがあることから、船体表面上における氷片の挙動を把握することは砕氷船の船型開発において重要である。当社では氷海水槽試験の観察結果から得られた情報より船体形状を介して氷片の挙動を制御する技術を開発してきた。本稿では、この氷片挙動制御技術で当社開発の砕氷船に適用された「排水促進中央断面」及び「船尾部分チェーン」について解説する。「排水促進中央断面」は主に砕氷船の船底に潜り込んだ氷片を排除する技術であり、「船尾部分チェーン」はプロペラに誘導される氷片を抑制する技術である。

1. 緒 言

南極観測船の名称で親しまれている砕氷艦「しらせ（Ⅱ）」をはじめとする砕氷船が氷を割りながら航行するとき、砕氷船が割った氷の欠片（氷片）は船体に沿って後方に流れていく。これらの氷片は、様々な形で推進システムに悪影響を及ぼす恐れがある。これを回避するためには、その船体表面上における氷片の挙動を制御する必要がある。加えて、その制御技術には、当社砕氷船の開発指標である「氷のない通常海域での推進性能にも優れていること」に反しないものが求められる。

本稿では、砕氷船の氷片挙動制御技術として当社が開発した「排水促進中央断面」及び「船尾部分チェーン」について適用事例を交えて解説する。氷片流れを突起物のような付加物の類で直接的に制御すると、砕氷船の通常海域における推進性能に悪影響を及ぼす恐れがある。その影響を回避するため、本技術は船型に特徴を持たせて氷片流れを制御するものである。

2. 排水促進中央断面

2.1 開発の動機

先代「しらせ」までの当社で建造された砕氷船の船体中央部は、旧来の砕氷船に見られる、大きなビルジ径を有するお椀のような断面形状であった。これは、砕氷船が氷に閉じ込められた時に船側の傾斜面或いは曲面によって船体に押し寄せる氷を下曲げで破壊することで氷から受ける荷重を軽減させて船体を守る、という考えに基づく。一方、砕氷船の船側と底面が滑らかに接続されていることから、時に、その船体は氷片に覆われてしまう（図1参照）。

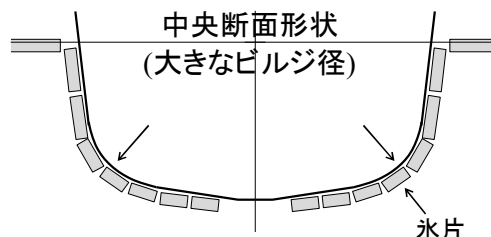


図1 旧来の砕氷船の中央断面形状

Fig.1 Classical mid-ship section of an icebreaker

船底には、推進システムをはじめとする機器類を冷却するための海水を取込む開口部が設置されている。旧来の中央断面形状を有する砕氷船の場合、船体を覆った氷片が開口部を塞いでしまうことで推進システムを十分に冷却できず、砕氷船の運行に支障をきたすこともあった。

2.2 コンセプト

先代「しらせ」開発当時にはなかった氷海水槽¹⁾ (1982 年建設) を当社が所有したことにより、氷海水槽の底面に配した観測窓を通して、砕氷船が割った氷がどのように流れているかを氷海水槽試験で把握することができるようになった。その結果、船体中央部の断面形状を図 2 とするアイデアが生まれた。すなわち、船側と船底の「境界」にナックルライン又は小さな径のビルジを設け (前者は所謂「チェーン型」であり、後者は「ソフトチェーン型」と称する)、船底に傾斜をつけた「排水促進中央断面」²⁾ である。この形状により、旧来の断面形状では船体を覆って連なっていた氷片群の縁が「境界」で切れること、そして船底に傾斜があることで氷の浮力が船側方向に働くことで、船底の氷片が排除されやすくなる。なお、「排水促進中央断面」の実現には、船体構造設計の技術の進展も大きく寄与している。

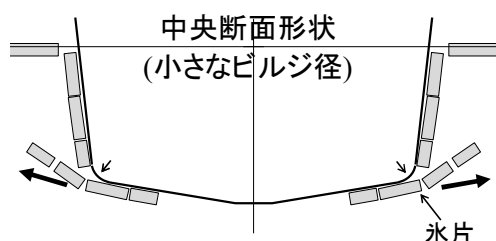


図2 排水促進中央断面 (ソフトチェーン型)

Fig.2 Mid-ship section for accelerating ice clearing

2.3 適用事例

先代「しらせ」以降、1990 年代に建造した砕氷型巡視船「てしお」や流氷観光船「おーろら」に適用した「チェーン型」(特開平 04-078689) を経て、2009 年就航の現「しらせ(II)」以降の砕氷船には「ソフトチェーン型」の「排水促進中央断面」を適用している。

その適用効果の一例として、氷海水槽試験の観察結果による先代「しらせ」と現「しらせ(II)」の氷片排除性能の違いを比較したものを図 3 に示す。先代「しらせ」では氷片が船体中心線付近まで船体を覆っているのに対し、現「しらせ(II)」では船底の氷片が排除されていることがわかる。

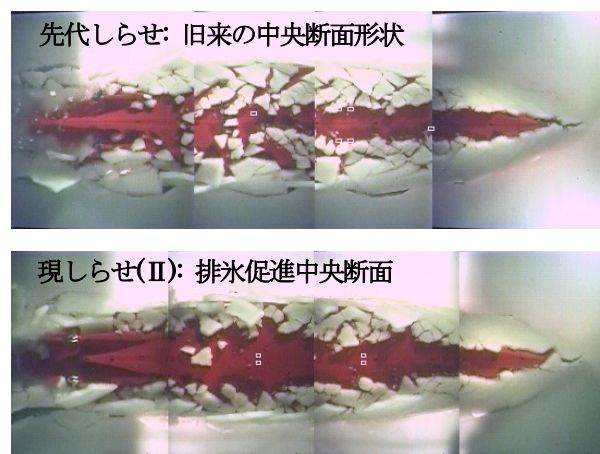


図3 氷片排除性能の比較

Fig.3 Comparison of ice clearing performance

3. 船尾部分チェーン

3.1 開発の動機

前述の「排水促進中央断面」の適用でも排除されずに船体に沿って流れた氷片はプロペラ周辺を通過する。砕氷船は氷を割るときにかかる砕氷抵抗を打ち消すために大きなスラストを必要とし、それによってプロペラ周辺を通過する氷片がプロペラへと誘導され、氷片とプロペラが接触する。このとき、プロペラには大きなトルクが発生し、推進パワーの増加要因となる。特に、プロペラ周辺における船体横断面形状の船側と船底が滑らかに接続されている場合、プロペラへの氷片誘導が顕著になる傾向がある (図 4 参照)。

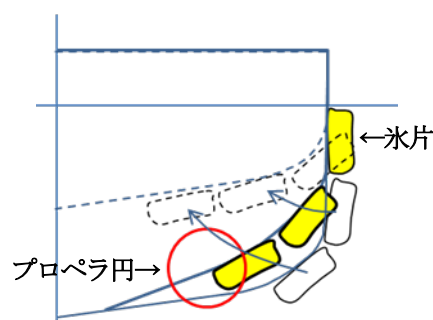


図4 氷片がプロペラに誘導されやすい船型

Fig.4 Hull form of ice pieces tends to flow into propeller

3.2 コンセプト

実のところ、前述の「排水促進中央断面」で「チェーン型」のうち、チェーンを船尾端まで有した船型 (ここでは、「船尾全部チェーン」と称する) では、氷片がプロペラに誘導されにくい。その理由は、「排水促進中央断面」で船体中央部の船底の氷片が排除されていることに加え、船側と船底の間にナックルライ

ンの境界であるチャインによって船側の氷片がプロペラ周辺の船底に回り込みにくくなるためである（図 5 参照）。

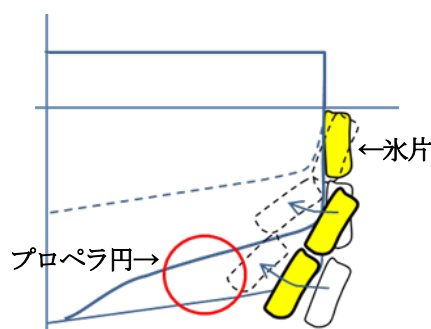


図5 氷片がプロペラに誘導されにくい船型
Fig.5 Hull form that prevents ice pieces from flowing into propeller

一方で課題もある。それは、氷のない通常海域における推進性能への悪影響である。砕氷船は通常海域における推進性能が劣るのが通説であるが、当社では、通常海域における推進性能にも優れた砕氷船を開発することを指標としている。したがって、この指標に合致した砕氷船を開発するには「船尾全部チャイン」以外の船型を考案する必要があった。

そこで、プロペラへの氷片誘導がされにくくなるナックルラインの「境界」をプロペラ周辺のやや前方のみに付けるアイデアである「船尾部分チャイン」を考案した。これにより、通常海域における推進性能への悪影響を極力抑えたうえでプロペラへの氷片誘導を抑制することが期待できる。

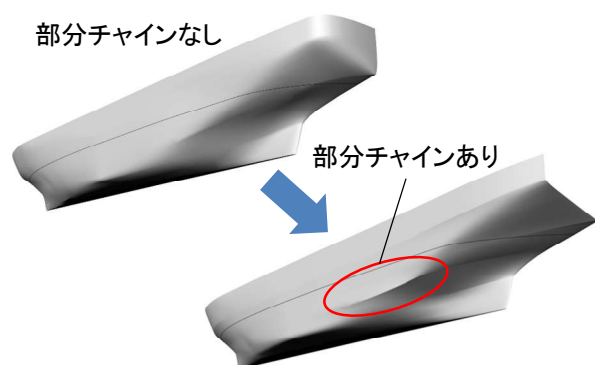


図6 船尾部分チャイン

Fig.6 Partial chine for influx suppression of ice pieces

3.3 適用事例

「船尾部分チャイン」の適用効果の一例として、氷海水槽試験の観察結果を図 7 に示す。「部分チャイン

なし」では氷片がプロペラ側に寄って流れているのに対し、「部分チャインあり」では氷片のプロペラ側への寄りが抑制されていることがわかる。氷海水槽試験では、この「船尾部分チャイン」の効果によって氷海域における推進パワーを約 5%低減できると評価している。もちろん、通常海域における推進パワーへの影響はほぼないことを付け加えておく。本技術は特許取得済（特開 2022-177987 [P2022-177987A]）である。

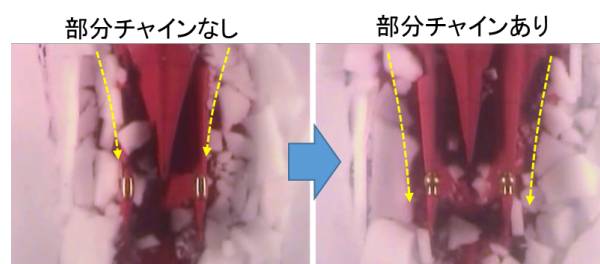


図7 船尾部分チャインの有無による比較
Fig.7 Comparison with and without partial chine for influx suppression of ice pieces

「船尾部分チャイン」は、2026 年度就航予定の北極域研究船「みらいⅡ」に適用されている。本船には、本技術も含め、当社の様々な砕氷船に関する技術が投入されている。客先に対する性能評価試験として実施された水槽試験において計画された性能を本船が有することを確認できた³⁾。

4. 結 言

当社が開発した氷片挙動制御技術について解説した。本技術は、当社が指標としている「氷のない通常海域における推進性能にも優れた砕氷船」の開発を支えるものである。また、このような技術を開発するうえで欠かせないのが氷海水槽である。

本技術は氷海水槽試験の観察結果から生まれたものである。この観察に関して当社では、現在、旧来の目視による主観的な評価ではなく、客観的且つ定量的に評価できるよう、画像解析技術の適用を進めている⁴⁾。さらには、数値計算によって砕氷船の船体表面上の氷片挙動をシミュレーションする技術にも取り組んでいる⁵⁾。これらの新しい評価技術を駆使することで、砕氷船の性能を向上させる新たな技術を開発する所存である。

参考文献

- 1) 増子章、増田聖始、正司公一、尾崎伯哉、水野滋也：ジャパン マリンユナイテッドの船舶用試験水槽設備、日本マリンエンジニアリング学会誌、第 49 巻 3 号、pp373-380、(2014)
- 2) 山内豊、砕氷船の氷中性能向上技術、混相流、27 巻 1 号、pp11-17、(2013)
- 3) 田中隆太他：北極域研究船の概要と特徴、日本船舶海洋工学会講演会論文集、第 37 号、pp221-226、(2023)
- 4) 安齋圭祐、水野滋也、山内豊：画像解析技術を用いた船体表面上の氷片流れの解析、日本船舶海洋工学会論文集、第 39 号に掲載予定、(2024)
- 5) A. Konno, S. Mizuno : Numerical Estimation of Ice Clearing Performance of Ships and Its Validation With Model Tests 、 International Society of Offshore and Polar Engineers (ISOPE)、Proc. ISOPE'18 Vol. I、 pp1679-1683、(2018)



水野 滋也