

# 付着生物によるプロペラ汚損の防止に関する研究

|       |   |
|-------|---|
| 誌名    | 水産工学  |
| ISSN  | 09167617  |
| 著者名   | 松下,博<br>横田,源弘<br>田中,辰彦<br>小松,和也<br>渡辺,敏晃<br>平野,尊之 |
| 発行元   | 日本水産工学会   |
| 巻/号   | 35巻1号   |
| 掲載ページ | p. 29-35  |
| 発行年月  | 1998年7月   |

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



【研究論文】

## 付着生物によるプロペラ汚損の防止に関する研究

松下 博<sup>\*1</sup>・横田 源弘<sup>\*2</sup>・田中 辰彦<sup>\*3</sup>  
小松 和也<sup>\*4</sup>・渡辺 敏晃<sup>\*2</sup>・平野 尊之<sup>\*4</sup>

### A Study of Prevention of Fouling on Propeller Caused by Marine Organisms

Hiroshi MATSUSHITA<sup>\*1</sup>, Motohiro YOKOTA<sup>\*2</sup>, Tatsuhiko TANAKA<sup>\*3</sup>  
Kazuya KOMATSU<sup>\*4</sup>, Toshiaki WATANABE<sup>\*2</sup> and Takayuki HIRANO<sup>\*4</sup>

#### Abstract

We tried to investigate three methods to prevent the propeller of the training ship "TENYO-MARU" from being fouled by marine organisms in her home port. As a result, the more effective prevention is to use at the same time both the method of jetting seawater with copper-ion and air on the propeller boss cap, and the method of pouring seawater with the former from the clearance of stern tube to the propeller boss.

#### 1. ま え が き

船舶の効率的運航, いわゆる省エネルギー対策の観点から, 船底およびプロペラ汚損を防止する手法の確立が切望されている。特に, プロペラ汚損が船底の汚損と同程度に燃料消費量に影響することが判明してから<sup>1)~2)</sup>, プロペラ汚損防止対策は緊急の課題である。

プロペラ汚損の主たる要因である海洋生物の付着は, 主に船舶の停泊中に起こると考えられる。そのため比較的停泊期間の長い漁船, 内航タンカーおよび公官庁船等

は特にその被害が著しく, なかでもプロペラは, 船底の様に防汚法が確立されていないため, 海洋生物が付着しやすい。海洋生物の付着は, 物体表面が海水中に浸った初期に付着するスライムが誘因となる<sup>3)~4)</sup>。そこでスライムの着生防止と除去対策として水噴流用ノズル内の低圧部に対し自然または強制的に通気した水中混気水噴流の利用を考えた。この構想は通気により水中水噴流の掘削特性が向上し得るとの知見<sup>5)</sup>によって効果が期待できる。

プロペラの場合, 生物汚損防止対策として防汚塗料により汚損の発生を未然に防ぐ汚損防止対策(塗装法)<sup>2), 6)</sup>や, 潜水して付着生物を除去・清掃する汚損除去対策(除去法)が採られている<sup>7)</sup>。前者の場合は無公害防汚塗料が開発されているが, 航行中には塗料の剥離も起こり, 保守・管理の面から無塗装が望ましい。また後者の場合は, 付着生物の除去作業の安全性, 作業能率および海洋汚染の問題等が伴ってくる。これらの問題点を解決するために, 現在無公害の防汚システムの研究開発が種々の研究機関で精力的に行なわれているが<sup>7)~8)</sup>, 現在のところ効果的な方法は見あたらない。

船舶の新たな生物汚損防止対策を検討するには, 船体に付着する海洋生物の長期的な生態を把握する必要がある。そこで, 前報<sup>4)</sup>では実船を用いて船底に付着する汚損生物の生態調査を, 長期停泊地(下関港)において一年を通じて行なった。その結果, 汚損生物の種組成および付着過程を把握した。また同時に実施した低濃度の銅イオン(飲料水の水質基準1.0ppm<sup>9)</sup>をはるかに下まわる0.012~0.018ppm)による汚損の付着防止実験を行な

1998年2月3日受付, 1998年4月9日受理

キーワード: プロペラ, 汚損, 海洋生物, 防止, 船舶  
Key Words: Propeller, Fouling, Marine organisms, Prevention, Vessel

<sup>\*1</sup> TOKO-MARU, Fisheries Agency, Government of Japan, 1-2-1 Kasumigaseki, Chiyoda, Tokyo 100-8907, Japan (水産庁東光丸 〒100-8907 東京都千代田区霞ヶ関1-2-1)

<sup>\*2</sup> Department of Ocean Mechanical Engineering, National Fisheries University, Nagata-honmachi 2-7-1, Shimonoseki, Yamaguchi 759-6595, Japan (水産大学校海洋機械工学科 〒759-6595 下関市永田本町2-7-1)

<sup>\*3</sup> Training Ship "KOYO-MARU", National Fisheries University, Nagata-honmachi 2-7-1, Shimonoseki, Yamaguchi 759-6595, Japan (水産大学校練習船耕洋丸 〒759-6595 下関市永田本町2-7-1)

<sup>\*4</sup> Training Ship "TENYO-MARU", National Fisheries University, Nagata-honmachi 2-7-1, Shimonoseki, Yamaguchi 759-6595, Japan (水産大学校練習船天鷹丸 〒759-6595 下関市永田本町2-7-1)

い、その防止効果を明らかにした。

本報では引き続き、プロペラ表面に着生する海洋生物の防除を目的として、無塗装で素肌のプロペラを前提に3種類の手法(1)船尾管内の間隙から銅イオンを流出させる方法、(2)水単独噴流を吹き付ける方法、(3)混気水噴流を吹き付ける方法)に対する防除効果を、実船を用いて調査した。その結果、船尾管内の間隙からプロペラボス側へ銅イオンを流出させる方法と混気水噴流をプロペラボス・キャップ表面に吹き付ける方法との併用は、停泊中の防除法として有効であることを認めたので報告する。

2. 実験の装置と方法

実験は、水中混気水噴流の有効性を確認する水中噴流実験と、その結果を踏まえて、前述の3方法の防除効果を調べるための実船による汚損防止実験の二つに大別される。

1) 水中噴流実験

水中噴流試験水槽は、縦1.5m、横2.0m、高さ1.5mのオーバーフロー式で、水位(1.4mの高さ)が一定に保たれるようになっている(Fig. 1 参照)。ノズルは水槽の中央、水面下30cmの位置に、鉛直下向きに固定している。また、水槽の両側面には縦1.30m、横0.63mの噴流観察用窓が設けてある。供試した混気二流体ノズルは、Fig. 2 に示すように、水ノズルと空気ノズルの間にコーン状のスリットを持つ構造のものである。水ノズル径  $d_w$  は6mm、空気ノズル径  $d_a$  は10mmである。

噴流の任意点における動圧は、三次元移動装置に固定されたL型ピトー管(元管直径3.0mm、全圧口径1.5mm、静圧口径0.5mm および孔数3個)により測定した。水中混気水噴流の可視化観察は、極短時間発光ストロボ光源(株式会社菅原研究所, CUS-711)を利用して、ストロボビジョンスコープ(株式会社菅原研究所, SVS-3E)に画像を取り込んだ。その映像をTVモニターで観察し、カラービデオプリンターを用いて出力した。

実験条件は、噴流吐出圧力  $P_w = 0.4\text{MPa}$ 、通気圧力  $P_a = 0 \sim 0.2\text{MPa}$  である。

2) 実船による汚損防止実験

供試船は、水産大学校練習船天鷹丸を用い、実験は停泊中に行なった。供試船の船体、機関、プロペラおよび海洋生物付着防止装置の主要目を Table 1 に示す。本船の場合、船底防汚塗料として自己研磨型錫フリー船底塗料(中国塗料株式会社, マリンスター20H)を塗布しているが、プロペラは無塗装の状態である。

Fig. 3 には実験装置の配管系統図を示す。海洋生物付着防止装置(CATHELCO SYSTEM)は、本来、機関・機器の海水冷却器内を対象としているが、本実験においてはこの装置を用いて発生させた銅イオンを含んだ海水(以後銅イオン海水という)を噴流装置と船尾管装置に

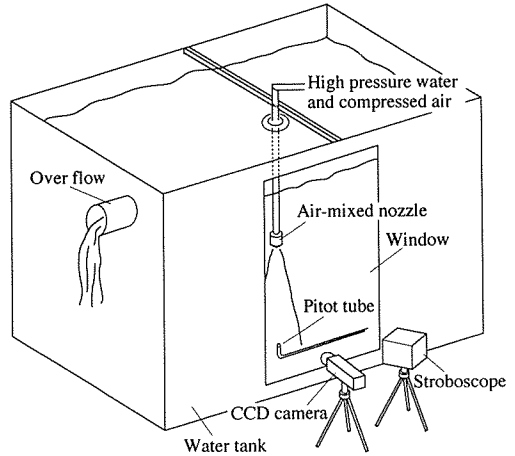


Fig. 1 Schematic diagram of experiment for submerged water-jet with air.

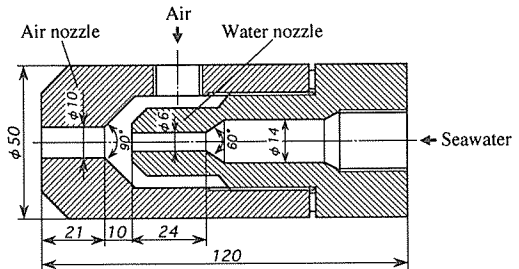
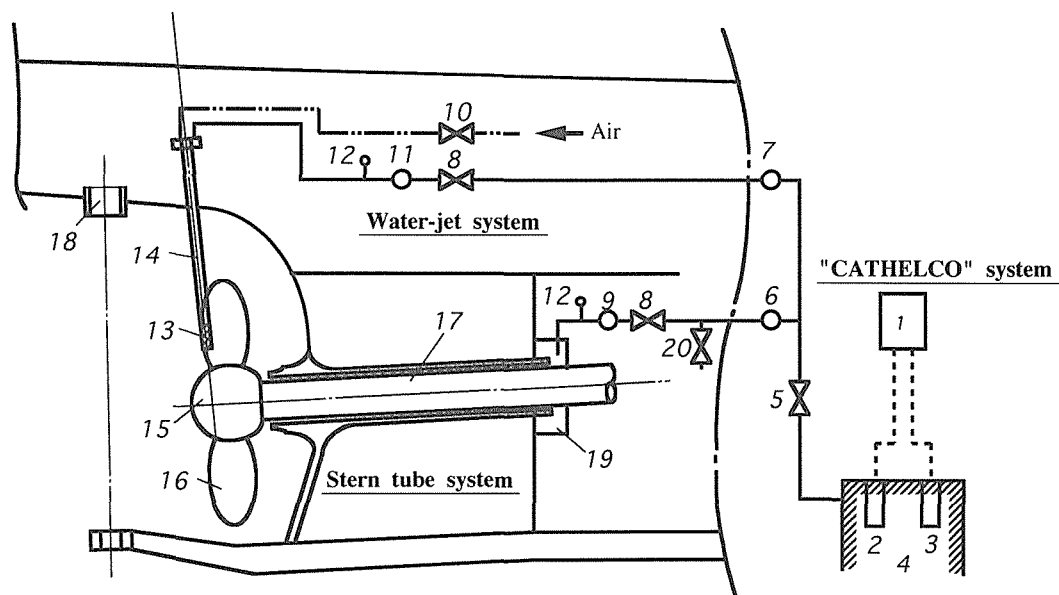


Fig. 2 Section of air-mixed nozzle.

Table 1 Principal particulars.

| Hull                  |          | Propeller                                   |                   |
|-----------------------|----------|---|-------------------|
| Lpp (m)               | 52.70    | 4-blade controllable pitch skewed propeller |                   |
| B (m)                 | 10.40    | Dia. (mm)                                   | 2700              |
| D (m)                 | 6.45     | Material                                    |                   |
| G. T (t)              | 603      | Blade                                       | AIBc <sub>3</sub> |
|                       |          | Boss  | HBsCl             |
| Main engine           |          | Preventing system                           |                   |
| 4-cycle diesel engine |          | Cathelco System                             |                   |
| Type                  | 6ELS-32  | Japan Tratec                                |                   |
| Output (ps/rpm)       | 2200/280 | Anode : Copper alloy                        | MG-458            |
|                       |          | Anode : Aluminum alloy                      | TC-458            |

供給した。前者は主にプロペラボス・キャップ側、後者は主にプロペラ軸側の汚損防止を計るものである。噴流装置は既設の冷却水ポンプ(横型渦巻型, 5m<sup>3</sup>/h×20mAq)、流量制御弁、海水流量計、海水用と空気用の噴流用導管(海水用は塩ビ管で内径は25mm、空気用はビニールホース内径10mm)および混気二流体ノズルから構成されている。ノズルは噴流用導管の先端に取り付け、これをプロペラ直上のラダートランク内に設けた補助管内に差込み、プロペラボス直上20cm(水面下約2.2m)の位置



- |                     |                            |                       |                      |
|---------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------|
| ① Auto control unit | ⑥ Stern tube seawater pump | ⑪ Flow meter          | ⑬ Blade              |
| ② Anode (MG)        | ⑦ Cooling seawater pump    | ⑫ Pressure gauge      | ⑭ Propeller shaft    |
| ③ Anode (TC)        | ⑧ Flow control valve       | ⑬ Air-mixed nozzle    | ⑮ Top gudgeon        |
| ④ Sea chest         | ⑨ Flow meter               | ⑭ Seawater & air pipe | ⑯ Stern tube sealing |
| ⑤ Kingston valve    | ⑩ Stop valve               | ⑮ Propeller boss cap  | ⑰ Sampling valve     |

Fig. 3 Schematic diagram of experimental apparatus.

で固定した。船尾管装置への銅イオン海水の供給は船尾管海水ポンプ（横型渦巻型、 $5\text{m}^3/\text{h} \times 20\text{mAq}$ ）を用いて行なわれ、銅イオン海水をプロペラボス側へ流出させる。

実験は供試船の母港である下関港において、1992年4月より1995年11月までの3.5年間にわたり実施した。この間、後述の3種類の実験方法を用いて、各年度ごとに目的を変更して実験を行なった。各実験とも出渠直後から実験・観察を開始したが、実質期間は実験Ⅰおよび実験Ⅲは10月初旬から11月初旬の約1か月、実験Ⅱは11月下旬から翌年の1月中旬に至る約1.5か月である。

各実験の防除効果を確認するため、各航海の入港直後と出港直前にプロペラ表面の状況を写真撮影した。水中の撮影は専門の潜水夫に依頼した。また、銅イオン濃度は下関理化学分析センターに依頼し、MIBK抽出-原子吸光法により測定した。

(1) 実験Ⅰ (1992年度)

銅イオンによる付着防止技術がプロペラ付着生物の防止に適用可能であるか否かについて確かめる実験を行なった。海洋生物付着防止方法は、Fig. 3に示すポンプ⑥を実験期間中連続運転し、定流量弁を介して毎時 $6\text{m}^3$ の銅イオン海水をプロペラボス側へ送り続けた。この間、銅イオン濃度は $0.015\text{ppm}$ に調整した。なお、銅イオン海水がプロペラボス側へ流出することを確認している。

(2) 実験Ⅱ (1994年度)

実験Ⅰを引き続き実施すると共に、実験Ⅰで効果が無かったプロペラボス・キャップ表面に、新たにFig. 3に示す噴流装置で銅イオン海水（銅イオン濃度 $0.023\text{ppm}$ ）を単独噴流として吹き付け、防除効果を確認した。実験期間中はポンプ⑦を連続運転し、噴流吐出圧力 $P_w$ は $0.3\text{MPa}$ 一定とした。実験中はプロペラを隔日に30分間ターニングを行ない、プロペラボス・キャップの全周に吹き付けた。

(3) 実験Ⅲ (1995年度)

新たな防除方法として、水単独噴流に比べて洗浄効果が期待される混気水噴流を試みた。すなわち、Fig. 3に示す噴流装置を用いて、混気水噴流としてプロペラボス・キャップ表面に吹き付ける方法および実験Ⅰの方法を併用して、防除効果を確認した。実験Ⅱと同様に、実験期間中はポンプ⑦を連続運転し、銅イオン海水を噴流吐出圧力 $P_w$ は $0.3\text{MPa}$ 一定とし、通気圧力 $P_a$ は $0.1\text{MPa}$ で自然通気を用いて吹き付けた。実験中はプロペラを隔日に30分間ターニングを行なった。本研究では、汎用性も追求するため可能な限り特別な装置は用いず、既設の設備で実験することを前提とした。従って通気は自然通気（ $P_a=0.1\text{MPa}$ ）を採用した。

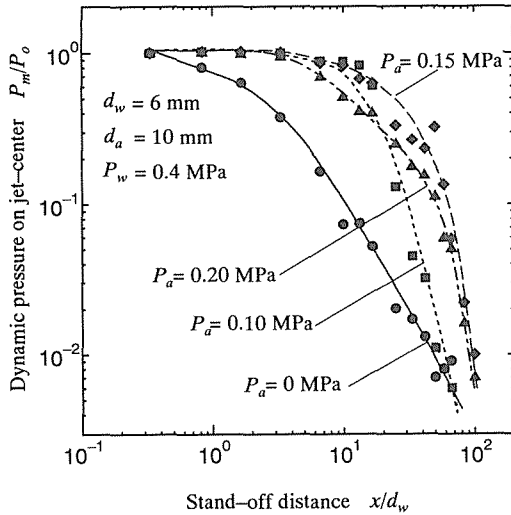


Fig. 4 Relationship between dynamic pressure on jet-center and stand-off distance according to different draft pressures.

### 3. 実験の結果と考察

#### 1) 水中混気水噴流の有効性の確認

鉛直下向き水中混気水噴流の動圧減衰特性を知る目的で、Fig. 4には噴流吐出圧力  $P_w = 0.4$  MPaの代表的な場合を取り上げた。この図において噴流軸上の動圧  $P_m$  を水単独噴流の通気なし ( $P_a = 0$  MPa)、自然通気 ( $P_a = 0.10$  MPa)、強制通気 ( $P_a = 0.15$  および  $0.20$  MPa) の

場合の種々のスタンドオフ距離  $x/d_w$  について対比した。以下では、このような曲線を噴流減衰曲線という。ここで、 $P_0$  はノズル出口 (すなわち、空気ノズル出口) の動圧、 $x$  はノズル出口からの距離である。

まず通気なしの場合、周囲の水による激しい減衰効果により水噴流が急速に減勢されていることが分かる。これに比べ、自然通気の場合の動圧減衰曲線が大幅に改善されている事実がみてとれる。これは明らかに、自然通気により噴流界面上に多量の空気が供給され、粘性摩擦力を大幅に低減しているのである。しかしながら、強制通気では、通気圧力  $P_a$  が増す (すなわち、供給空気量が増す) ほど浮力による動圧減勢効果が現れるため、いたずらに通気を強めるのは必ずしも得策ではない。

次に、種々の通気圧力  $P_a$  における混気水噴流の様相を明らかにするために、Fig. 5には噴流の可視化観察の写真を示す。これを見ると、 $P_a = 0$  MPaの通気なしの状態と  $P_a = 0.1$  MPaの自然通気の状態、さらに  $P_a = 0.2$  MPaの強制通気の状態とは著しく異なっている。通気なしの場合では噴流の到達距離は短く、通気圧力  $P_a$  の増加とともに到達距離は長くなる。但し、通気圧力を上げすぎると上述した通り、到達距離は減少することが分かる。また、通気なしの場合には、噴流せん断層内に発生したキャビテーション気泡が観察される。自然通気、強制通気へと移るにつれて、主噴流と通気空気との混合によって曝気・攪拌が激しく発生すると共に、周囲流体の巻き込みも加わり、噴流幅、到達距離、浮上空気の数が増大している。

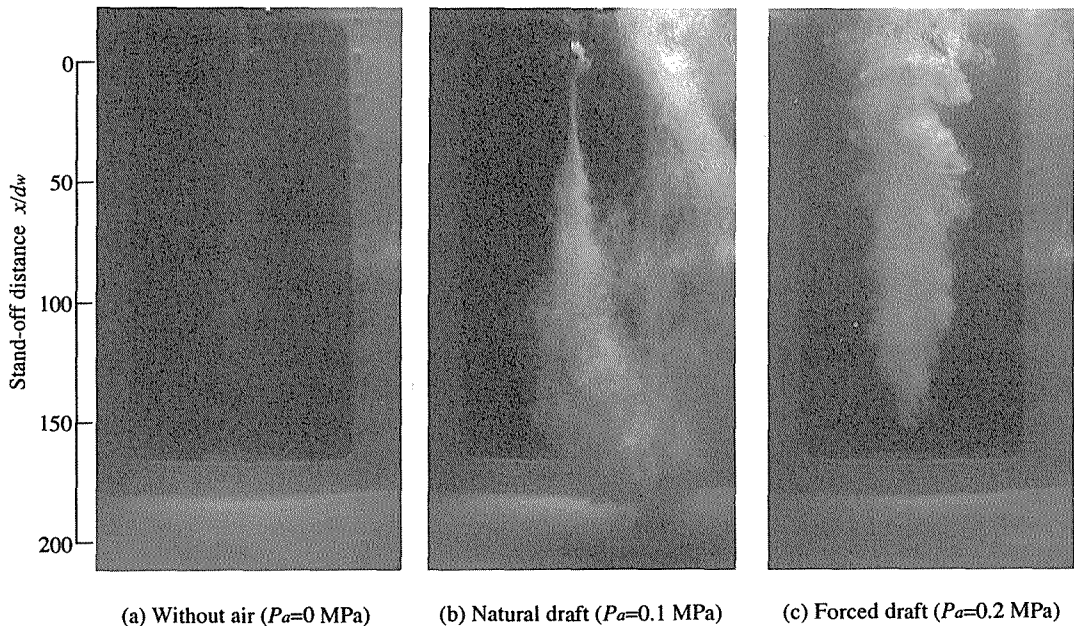


Fig. 5 Aspects of submerged water-jets ( $P_w = 0.4$  MPa).

以上の結果から、水中下で生物付着を防止・除去するに好適な噴流として、水中混気水噴流が極めて有効であることが確認される。

ることが確認される。

2) 実船における付着防止効果

プロペラに海洋生物が付着すると、プロペラ効率は著しく下がる。典型的な実例として、Fig.6には練習船耕洋丸のプロペラ効率  $K_p$  および前進係数  $J$  の経時変化を示す。明らかに海洋生物が付着して  $K_p$  および  $J$  が著しく低下した様子が、また潜水により付着生物を除去した直後に、それらが回復した様子が分かる。特にプロペラ効率の低下割合は、前進係数のそれに比べて1.5倍も大きい。つまり海洋生物がプロペラに付着した場合、船底の付着に比べてその影響が大きいから、プロペラ汚損防止対策は是非必要である。

Fig.7は停泊期間中にプロペラ汚損防止対策を施さなかった場合の、出渠8か月後のプロペラ表面である。汚損付着生物はフジツボ類、管棲多毛類、ヒドロ虫類、および苔虫類が主である。その付着状況はプロペラボス付近を中心に、翼の付け根から翼先端に広がっている様子が分かる。このことはプロペラ汚損防止対策の指針を与えている。すなわち付着を防止するには付着対象物（こ

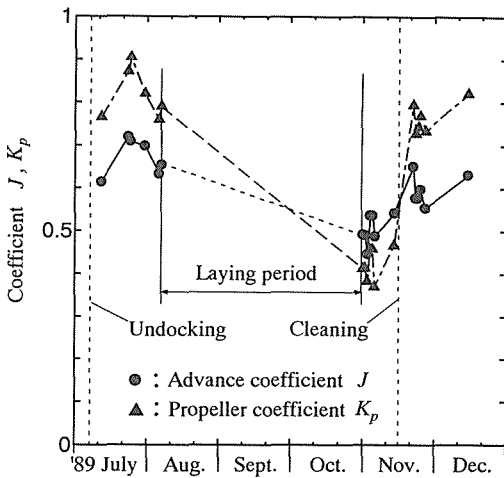
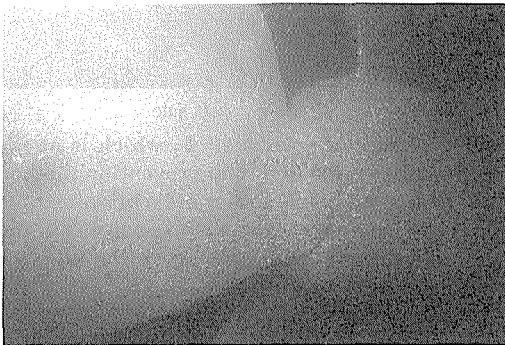
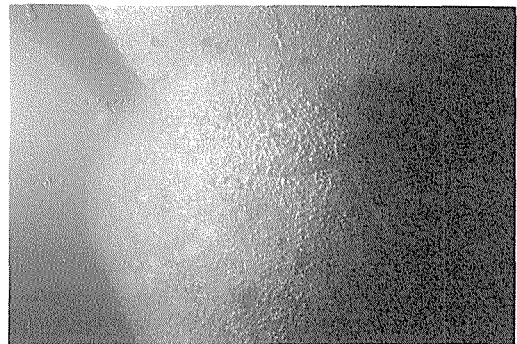


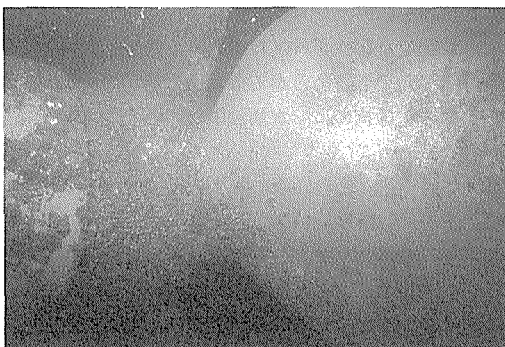
Fig. 6 Recovery of propulsion performance of the KOYO-MARU by cleaning the propeller.



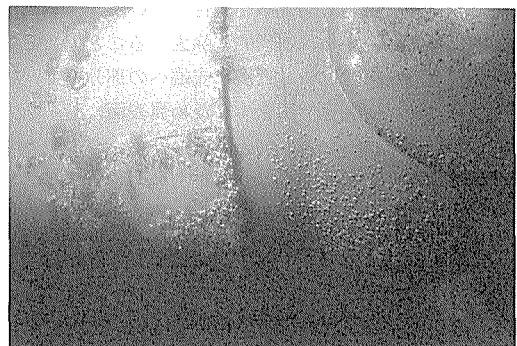
(a) Propeller boss cap side



(a) Propeller boss cap side



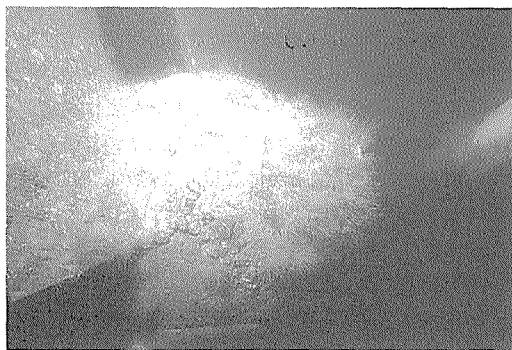
(b) Propeller shaft side



(b) Propeller shaft side

Fig. 7 Marine organisms attached on the propeller without any countermeasure of prevention.

Fig. 8 Result of trial test-I, which is the prevention method of pouring seawater with copper-ion from the clearance of the stern tube to the propeller boss.



Propeller boss cap side

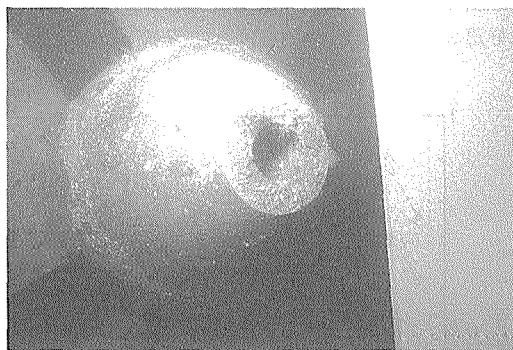
**Fig. 9** Result of trial test-II, which is at the same time both one prevention method of Fig. 8 and another prevention method of jetting seawater with copper-ion on the propeller boss cap ( $P_w=0.3$  MPa,  $P_a=0$ MPa).



**Fig. 10** Visible observation of submerged water-jet with air ( $P_w=0.3$  MPa,  $P_a=0.1$  MPa).

の場合、起点となるプロペラボス・キャップ付近)に浮遊してくる各種生物の幼体類を近付けないか、付着初期に死滅させるか、または物理的に除去することである。一方、プロペラ翼付け根付近から先端への部分では、航行中にプロペラが高速で回転するため翼表面にせん断力が作用し、剥離すること、加えて翼に発生した渦やキャビテーションの衝撃力がやはり翼を洗浄する効果があるため、特に付着力の強いもの以外の生物は、特別な策を用いることなく除去可能と考えられる。

**Fig. 8** には、実験 I の結果を写真で示す。明らかに、船尾管側のプロペラ軸側ボスは銅イオンによる防除効果が認められるが、プロペラボス・キャップは防除対策を施さない状態 (**Fig. 7 (b)** 参照) と変わらない。船尾管側のボスは、銅イオンの毒性効果と水流による洗浄作用のため、海洋生物の付着が減少したものと考えられる。一方、背後にあたるプロペラキャップ側は水流が届かな



(a) Propeller boss cap side



(b) Propeller shaft side

**Fig. 11** Result of trial test-III, which is at the same time both one prevention method of Fig. 8 and another prevention method of jetting seawater with copper-ion and air on the propeller boss cap ( $P_w=0.3$  MPa,  $P_a=0.1$  MPa).

いためか、または水流の拡散により銅イオンの効果が弱まるためと考えられる。

次に **Fig. 9** には実験 II の結果を写真で示す。実験 I で生物付着を認めたプロペラボス・キャップに銅イオン海水を噴流装置で吹き付けたため、水噴流が衝突する箇所には防除効果を認めるがその範囲は狭い。これは前述した周囲の水抵抗による水単独噴流の減勢の結果であると思われる。

最後に水単独噴流の欠点を補うため、極めて有効な混気水噴流に着目し防除範囲の拡大を試みた。まず、**Fig. 10** にはプロペラボス・キャップに吹き付けた混気水噴流の様相を示す。ただし、空気供給は自然通気 ( $P_a=0.1$ MPa)、水は銅イオン海水である。幸いに気泡で可視化された混気水噴流の流動範囲 (勢力範囲) は、プロペラボス・キャップを包み込んで拡大している様子が分かる。次に **Fig. 11** には混気水噴流を吹き付ける方法と、銅イオンを流出させる方法を併用した実験 III の結果を示す。明ら

かに混気水噴流の当たるプロペラボス・キャップ表面には付着生物は少なく、期待された効果が認められた。プロペラ軸側では銅イオンの効果により付着物はわずかである。

以上の結果から、今回試みた実験Ⅰ～Ⅲでは、実験Ⅲで用いた防除法が極めて有効であることが判明した。この装置は前述したように、導管、ノズルおよび既設機器・装置から成る非常に簡単なもので、通気法も自然通気であるため空気圧縮機など新たな装置を必要としない。難を言えばプロペラの真上にノズルを配置するため、その取り付け場所は限定されるとともに船体に合った位置および角度を最適化する必要がある。それを解決すれば、この方法はプロペラ用海洋生物防除装置として実用できる。

#### 4. ま と め

プロペラに対する海洋生物の付着防止と除去を目的に、長期停泊地（下関港）で実船を用い幾つかの防除法を試行し、その効果を調査した。得たる結果をまとめると次のようになる。

- 1) 通気なしの水単独噴流に比べて、通気を伴う混気水噴流は大きな噴流力と曝気・攪拌作用の相乗効果によって防除範囲が拡大されるため、海洋生物の付着防止に極めて有効である。
- 2) 船尾管内の間隙からプロペラボス側へ銅イオンを流出させる方法と、混気水噴流をプロペラボス・キャップ表面に吹き付ける方法を併用することによって、汚損生物の防除効果が顕著に認められた。
- 3) 今回試した銅イオンによる防汚方法は、プロペラ周辺が開放空間であるため、防汚範囲は銅イオンを含んだ水流に常時接する付近に限定される。

謝辞 本実験の遂行にあたり、長期間にもかかわらず多大な協力を頂いた天鷹丸の機関部乗組員の方々、また耕洋丸推進データの提供を頂いた、耕洋丸専任教官三好佳廣氏並びにプロペラの写真撮影にあたり協力を頂いたジャパンマリン㈱に厚くお礼を申し上げます。

#### 参 考 文 献

- 1) K. Sato, T. Takahashi, H. Akizawa, Y. Saotome, K. Inoue, and Y. Miyazaki : Some Consideration in Energy Conservation of Fishing Boat —Effect of propeller coating—, *Journal of Japan Institute of Navigation*, 71, pp. 11–21, 1984.
- 2) 佐藤 要・井上 清・武田誠一・秋沢速夫・峰 雄二・小池義夫・宮崎芳夫：漁船の省エネルギーに関する船底及びプロペラ汚損防止の実験的研究, 東京水産大研究報告, 74 (2), pp. 115–144, 1987.
- 3) 川辺允志：海生汚損生物による障害とその対策, 電気化学協会・海生生物汚損対策懇談会, pp. 96–99, 1988.
- 4) 長友洪太・松下 博・乾 栄一・三好佳広：船体の生物汚損に関する研究—I, 水大研報, 41 (4), pp. 167–178, 1993.
- 5) 八尋暉夫・吉田 宏・西 謙治：高速噴流水を利用した地下工法の研究, 鹿島建設技研年報, 23, pp. 133–138, 1975.
- 6) 小川量也・松下邦幸：練習船「弓削丸」のプロペラ塗装実験, 日本船用機関学会誌, 25 (8), pp. 519–526, 1990.
- 7) 電気化学協会・海生生物汚損対策懇談会編：海生生物汚損対策マニュアル, 技報堂出版, 東京, pp. 95–135, 1991.
- 8) 川辺允志：生物付着防止対策の進歩, 火力原子力発電, 47 (7), pp. 728–740, 1996.
- 9) 合田 健：水質工学 基礎編, 丸善株式会社, pp. 108–109, 1991.