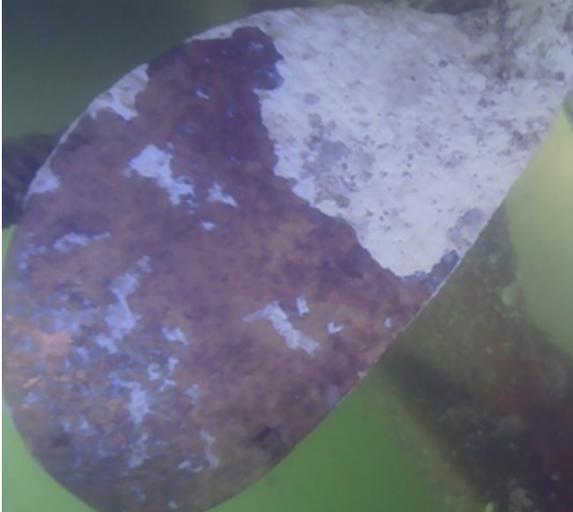


# 微弱電流を用いた船用プロペラ生物付着防止装置の技術開発

— 日本財団新製品開発助成事業 —

Development of an anti-fouling system for marine propellers using weak electric currents



ジャパンマリユナイテッド(株) 技術研究所 流体研究 G

天谷 一郎 AMAYA Ichiro

(株)IHI 技術開発本部 技術基盤センター生産プロセス G

井合 雄一 IAI Yuichi

赤嶺 健一 AKAMINE Kenichi

## 概要

船体やプロペラが汚損することにより必要馬力が大幅に増加することは広く知られた現象である。一般的に、船体は防汚塗料により生物の付着等による汚損は軽減されているものの、プロペラに対しては汚損を防止する有効な手段はなく、ダイバーによるプロペラの水中研磨や入渠時のプロペラ清掃等の対症療法にとどまっているのが現状である。そこで、プロペラの防汚を実現するため、防汚対象に微弱な電流を流すことで生物の付着を抑制する技術をプロペラへ適用した。その結果、プロペラへの生物付着を抑制できるとともに、汚損による性能の悪化を大幅に低減することが可能となった。

## Summary

It is a well-known phenomenon that the required horsepower increases significantly due to fouling of the hull and propellers. The use of antifouling paint is effective in suppressing biofouling on the hull, but there is no effective means to prevent fouling of the propeller, and only symptomatic treatments such as underwater polishing by divers and cleaning of the propeller in the dock are used. Therefore, in order to achieve antifouling of the propeller, we applied a technology to the propeller that suppresses the adhesion of living organisms by passing a weak electric current through the antifouling target. As a result, it was possible to suppress biofouling on the propeller and greatly suppress the deterioration of performance due to biofouling.

## 1. 緒言

昨今の海事産業分野における GHG 排出規制の強化に加え、今後 LNG やメタノール、水素、アンモニア等の代替燃料の普及に伴い燃料費の高騰が予想される中で、推進性能向上のニーズはますます高まってくるものと考えられる。その中で、重要なテーマとなるものが汚損による経年劣化の防止である。荷役やバンカリングに伴う停泊時に船体やプロペラに生物が付着することで、燃費性能の悪化が起こることがよく知られ

ている。一般的に、防汚塗料により船体の汚損の進行は大きく抑制されるものの、プロペラの汚損防止に有効な手段はなく、汚損し性能が低下したことを確認してから初めてプロペラ研磨を行い、性能を回復させるなどの対症療法がとられているのみである。プロペラ専用の塗料も存在しているものの、一般的に広く利用されているものではない。

そこで、株式会社 IHI 技術開発本部で研究開発が進められている水門向けの防汚技術である微弱電流による防汚技術をプロペラの防汚に応用することを考

え、防汚効果の検証を行った。

## 2. 防汚原理と要素試験

### 2.1 防汚原理

図 1 に防汚効果原理の模式図を示す。防汚対象（陰極）と電極（陽極）間に微弱な電流を流すことにより、陰極極表面で酸素消費反応が発生する。酸素消費反応により陰極極表面が低酸素環境となり、海生生物が防汚対象に近寄りづらくなるという効果を利用したものである。

### 2.2 要素試験

微弱通電防汚システムをプロペラに適用するにあたり、プロペラ材料（アルミ青銅鑄物第 3 種：ALBC3）試験片を用いて、酸素消費反応が発生し生物付着抑制効果が発揮される通電電流量の特定、浸漬試験による生物付着抑制効果の確認、通電によりプロペラ材料強度低下等の悪影響を及ぼさないことを事前に確認した。

要素試験の一つとして夏季期間中に実施した浸漬試験の結果を図 2 に示す。通電電流量は、先だって行った生物付着抑制効果が発揮される通電電流量の特定試験により得られた  $0.25A/m^2$  とし、浸漬期間は約 1 ヶ月とした。通電しない場合、表面は黒く変色し金属光沢が失われていることに加え、フジツボやフジツボの付着痕が多くみられる。一方で、通電した場合はフジツボの付着は見られず金属光沢も保たれており、試験片レベルでは通電による生物付着抑制効果を確認できた。

## 3. 小型船舶を利用した通電効果確認試験

### 3.1 試験概要

試験片を用いた要素試験により通電効果が確認できたため、通電による生物付着抑制効果ならびに生物付着抑制効果が燃料消費量に与える影響度を、実船試験を通じて把握することとした。

具体的には、プロペラへの通電なし/ありで各 1 年間特定の航路を毎月航行、船速および燃料消費量を計測し、計測値の変化度合いをもとに通電効果を評価する。

航路は相生湾内とし、略南北に 2 海里を 2 往復することとした。船位および船速の計測には DGPS を、燃料消費量の計測には燃料流量計を用いた。なお、荒天海象での計測は避けることとし、風波による補正は行っていない。

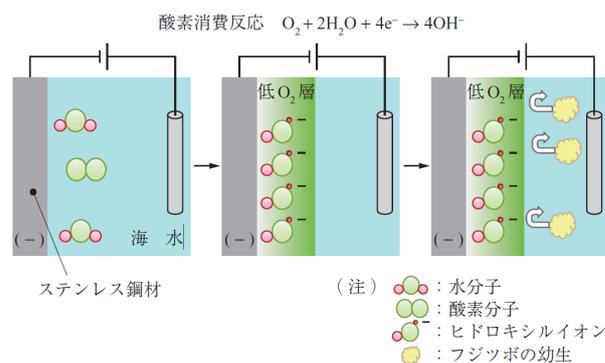


図 1 微弱通電防汚システムの生物付着防止原理<sup>1)</sup>  
Fig.1 Principle of weak electric current anti-fouling method<sup>1)</sup>

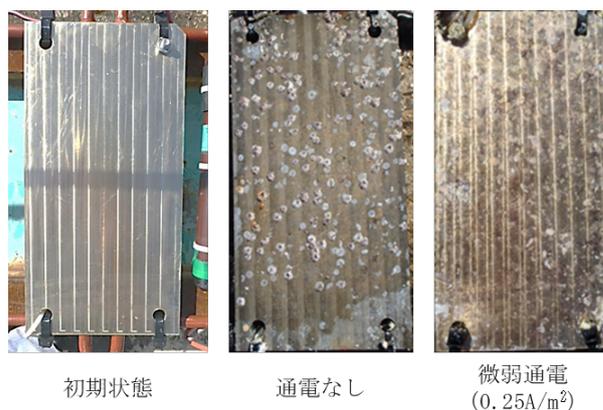


図 2 プロペラ試験片の浸漬試験結果  
Fig.2 Immersion test results of propeller material specimens



図 3 供試船舶およびプロペラ周りの様子  
Fig.3 Overview of test boat and propeller

汚損影響のない状態から試験を開始するため、実船試験開始前に船体の再塗装およびプロペラ研磨を実施した。

### 3.2 供試船舶

試験には図 3 に示す (株) JMU アムテック所有の作業船「椿」を使用した。作業船の主要目は、全長約 10m、全幅約 2.5m、喫水約 1.1m、プロペラ直径約 0.7m である。



○ 通電用電極 (陽極)

図 4 通電用電極配置

Fig.4 Placement of electric anodes

### 3.3 プロペラ通電用機器配置

一年間の通電なし試験実施後、船尾外板への通電用電極および直流安定化電源の設置を行った。プロペラ側の接点はプロペラシャフトに設けた。

図 4 に電極の配置を示す。図では左舷を示しているが、右舷の配置も同様である。

### 3.4 船速、燃料消費量の比較

図 5 に一年間の通電なし試験および通電あり試験で計測した船速および燃料消費量の推移を示す。各プロットは 2 海里を往復した平均値を示す。まず、通電なし試験に関しては、試験開始後から 2021 年 4 月の計測までは明確な性能の悪化は見られず、船速および燃料消費量はおおむね一定を保っていた。その後 2021 年 5 月から 9 月にかけて急速に性能が悪化し、9 月以降も傾きは緩やかになるものの、引き続き性能の悪化が進行した。

一年間の通電なし試験後、2021 年 11 月から通電あり試験を開始するにあたり、船体は図 4 に示すように生物が付着したままとし、プロペラのみ研磨を行った。プロペラ研磨の結果、悪化していた船速および燃料消費量は大幅に改善しており、特に燃料消費量に対してはプロペラの汚損に起因する性能悪化の割合が非常に大きいことが確認できた。

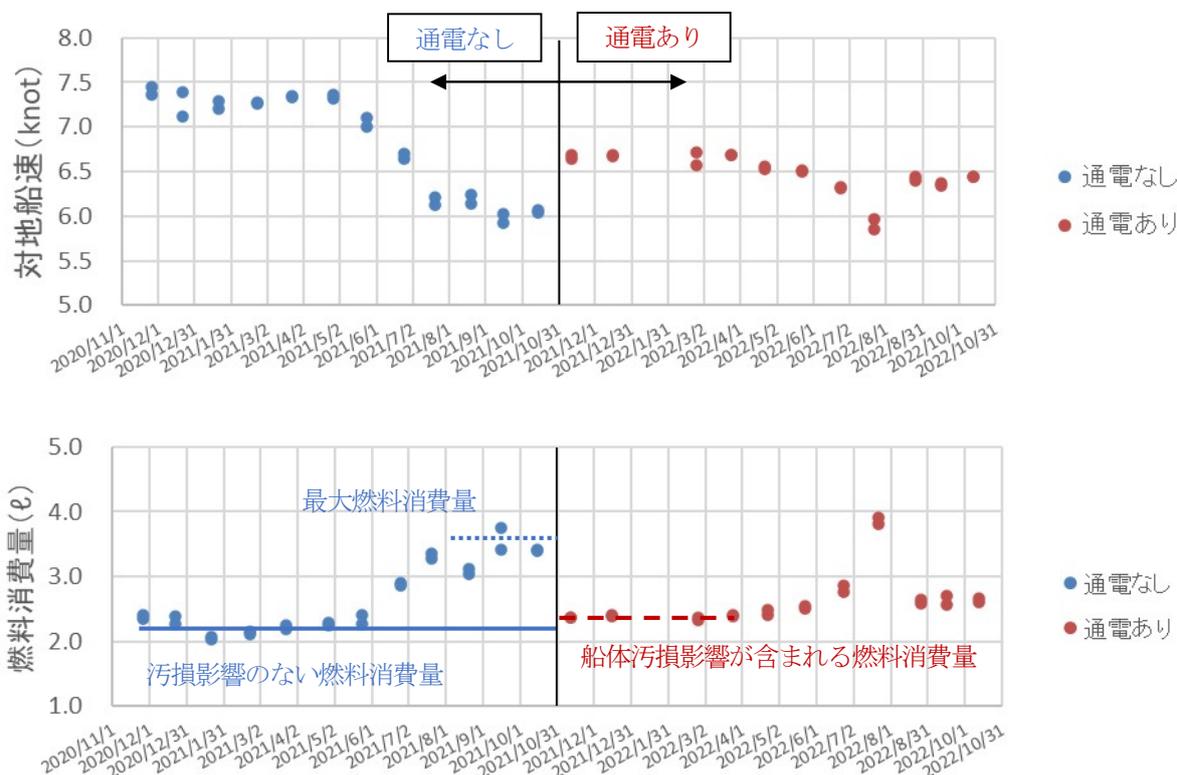


図 5 通電なし/ありの船速および燃料消費量の経年変化

Fig.5 Changes in vessel speed and fuel consumption with and without weak electric currents

通電あり試験は通電なし試験と同様に、冬季期間中は性能に大きな変化は見られなかった。その後 2022 年 4 月から 6 月にかけて徐々に性能の悪化が始まったが、その悪化量は通電なし試験に比べて緩やかになっており、通電による一定の効果が表れたものと考えている。しかし、2022 年 6 月から 7 月にかけて通電なし試験と同程度まで性能が悪化するという想定外の事態が発生した。この問題への対処は次節で詳細に述べる。

### 3.5 通電量増による付着生物剥離

一年間の通電なし試験により、船体の岸壁への接触や生物付着による船体塗装面の劣化により、本来プロペラのみ流れる電流の大部分を船体の塗膜欠陥部に取られてしまい、プロペラに規定の電流が流れていなかった。プロペラの防汚に必要な電流が不足していたため、通電量を増やしたが、プロペラの通電量が不安定であり、通電量が少ない期間や逆に多く流れる期間が存在していた。電流量が多い期間が続くと、防汚対象表面に海水中のカルシウム成分が被膜として析出されることになる。被膜が形成された箇所は抵抗が大きくなるため電流量が少なくなり、防汚に必要な電流を下回ることから生物の付着が始まることになる。

上記のように生物付着が進展するが、生物はプロペラ基材に直接付着しているのではなく、被膜の上に付着していることになる。そのため、被膜を剥離することができれば、付着生物も自動的に取り除くことができるのではないかと考えた。

そこで、電流量をさらに増やし、軟質なマグネシウム由来の被膜を形成し、硬質なカルシウム由来の被膜を押し上げることで、プロペラの回転で被膜を剥離できるか試行した。具体的には、十分に余裕を持って厚いマグネシウム由来の被膜を形成可能な通電量として  $50A/m^2$  を設定し、1 週間通電を行った後に毎月の計測を行った。図 6 に通電量を増やした後および計測後のプロペラ表面の外観を示す。

通電量を増やした後の計測を経たプロペラ表面は、プロペラの根元付近を除いて厚く形成された被膜の大部分が剥離し、かつ生物も取り除くことができていることがわかる。この結果から、今回見られた現象は生物が被膜上に付着したものであることを確認した。

### 3.6 通電量増を考慮した船速、燃料消費量の推移

3.5 節で通電量増による生物剥離効果を確認できたため、通電あり試験で大幅に性能が悪化した 2022 年 7 月の計測後、8 月以降は毎月の計測前に通電量を増

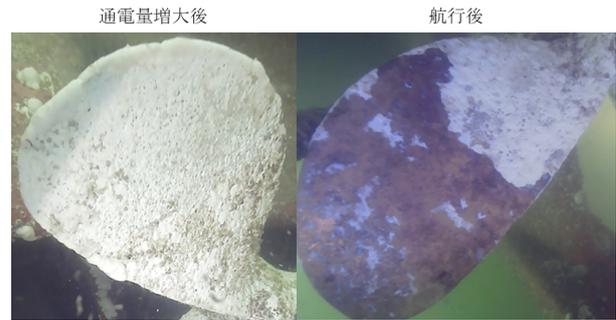


図 6 通電量を増やした後および航行後のプロペラの外観

Fig.6 Appearance of propeller surface with high currents and after propeller rotation

やし、被膜上に付着した生物を取り除く処理を加えた。通電量増による被膜剥離を加えた以降（図 5：2022 年 8～10 月）、大幅に増加した燃料消費量は増加前のレベルまで回復し、かつ海生生物が増殖する夏季期間にも関わらず、ほぼ一定を保っている。

図 7 に通電なし/あり試験それぞれの 7 月から 10 月までのプロペラ表面の比較を示す。

通電なしの場合、月を経るに従い、プロペラ表面はフジツボやゴカイ類の棲管に覆われていき、最終的にはプロペラ全体が生物で覆い隠されている。一方で、通電ありの場合は、被膜が取り切れていないところもあるが、通電なしでは生物付着が進展している期間にも関わらず生物の付着は大きく抑制されていることがわかる。

## 4. 通電による効果

ここでは、通電なし/あり試験で得られた燃料消費量をもとに、通電による燃料消費量の削減効果を求めた。図 8 に 7.5knot 相当に換算した燃料消費量の推移を示す。

図 8 の通電なし試験開始時の燃料消費量（青実線）と通電あり試験開始時の燃料消費量（赤実線）の差が船体汚損による燃料消費量の増加分とみなすことができる。一方、通電あり試験における燃料消費量の増加量は、通電あり試験で被膜上に生物が付着した時期（2022 年 6、7 月）を除外すると緑破線部分に相当し、上述の船体汚損による増加と同等のオーダーとなっていることがわかる。

これらの結果から、通電の有無で船体汚損に違いが出ないとすれば、通電あり試験での燃料消費量の増加の大半は船体汚損に起因しており、通電効果によりプロペラの汚損による燃料消費量の増加を大幅に抑制することができたと言える。



図7 通電なし/ありのプロペラ表面外観比較 (7~10月)

Fig.7 Comparison the propeller surface between with and without weak electric currents from July to October

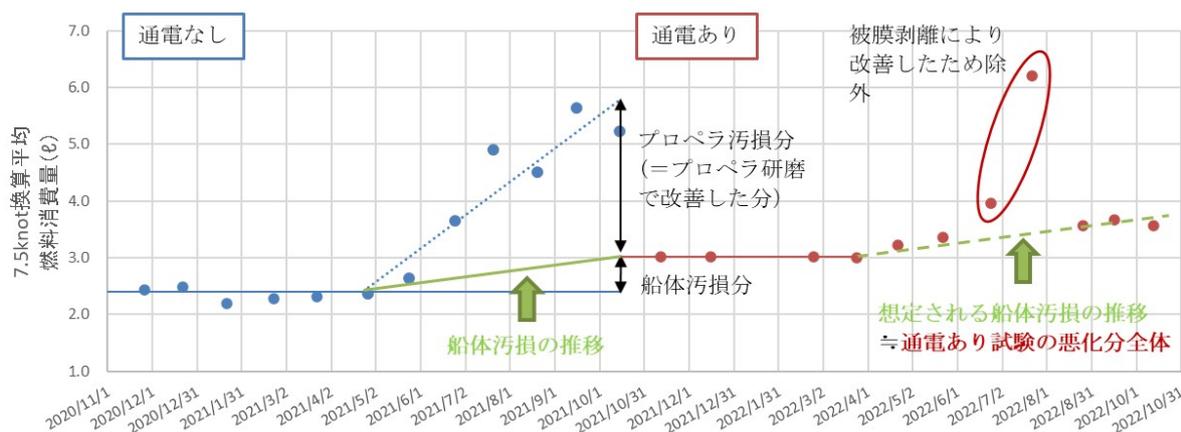


図8 7.5knot 相当に換算した燃料消費量の推移

Fig.8 Trends in fuel consumption converted to 7.5knot equivalent with or without weak electric currents

## 5. 結 言

本稿では、プロペラの汚損による性能の悪化を抑制することを目的として、微弱電流を用いたプロペラ防汚システムの効果を検証した。小型船を用いた通電なし/ありの試験を通じて燃料消費量の推移を計測し、通電量を規定より増やし被膜上に付着した生物を剥離する処置が必要となるものの、プロペラへ通電することで、プロペラへの生物付着を抑制し、プロペラ汚損による燃料消費量の増加を大幅に削減可能な非常に大きな効果を得ることができた。

## 謝辞

小型船舶を利用した通電効果確認試験および通電効果の検証作業は、一般社団法人日本船用工業会ならびに公益財団法人日本財団の助成事業「微弱電流を用いた船用プロペラ生物付着防止装置の技術開発」による

受託開発として行ったものである。

また、小型船舶を利用した通電効果確認試験では、小型船舶の提供、運転、整備・管理の面で株式会社 JMU アムテックに協力いただいた。

ここに謝意を表する。



## 参考文献

- 1) 福島憲明、高遠典宏、福岡麻里、井合雄一、赤嶺健一：水門設備向け海生物付着防止技術の開発、IHI 技報、Vol.53 No.3、(2013)