

# 近年の船底防汚塗料の技術の動向

中国塗料株式会社  
技術本部 防汚技術部 防汚第一グループ  
三重野 紘央



海上技術安全研究所 環境・動力系講演会 「船体防汚と船体付着生物の越境移動防止に関する話題提供」 令和3年3月24日

1

## 近年の船底防汚塗料の技術の動向

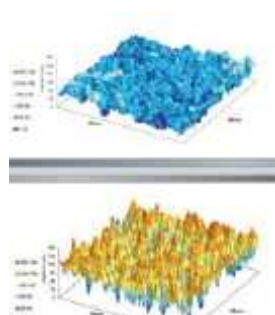
現在、地球温暖化の原因であるCO<sub>2</sub>の排出量削減の要求により効率的な船舶運航が求められています。

船底防汚塗料は船体性能悪化の要因の一つである生物付着を防止する機能により、効率的な船舶運航に重要な役割を果たしています。

近年では、塗装時や経年変化で発生する船体粗度の管理や粗度低減による性能向上を目指し粗度低減型の低摩擦型防汚塗料等が販売・上市されています。

さらに情報技術の進化により、防汚塗料に関わる船体性能モニタリング技術は重要な技術となっています。

船体粗度



スライム



リ・アオサ



フジツボ

2

# 船底防汚塗料の歴史と近年の動向

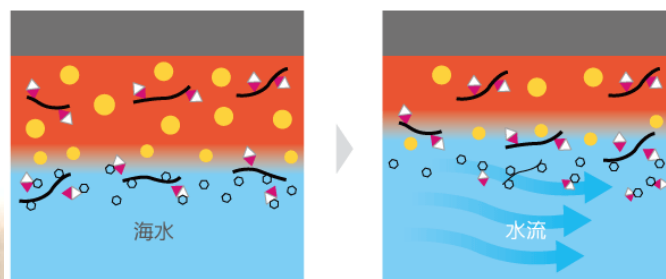
船舶の塗料と塗装 (1998) 中尾 学 を抜粋加筆

BC412	砒素・硫黄・油の混合物を木船に塗付
1625	銅化合物・セメント系防汚塗料(英国特許)
19世紀中頃	ホットプラスチックペイント(ロジン-銅化合物)
1800～1960	銅、水銀、砒素、PCB
1863	亜酸化銅, タールに溶かした防汚塗料(特許)
1885	船底塗料特許(日本特許第1号)
20世紀初期	米海軍、各種防汚塗料をテスト 防汚剤は亜酸化銅、酸化水銀
1960～1990	有機錫化合物に銅化合物の加水分解防汚塗料
1980頃	有機錫の環境汚染問題 →代替防汚塗料開発
2000	IMO(国際海事機関)TBT化合物禁止決定
2008	IMO有機錫化合物塗装船舶使用禁止 低摩擦型(超平滑型)防汚塗料の開発・上市 情報技術の活用

3

海上技術安全研究所 環境・動力系講演会「船体防汚と船体付着生物の越境移動防止に関する話題提供」令和3年3月24日

## 主流の防汚塗料 (加水分解型防汚塗料)

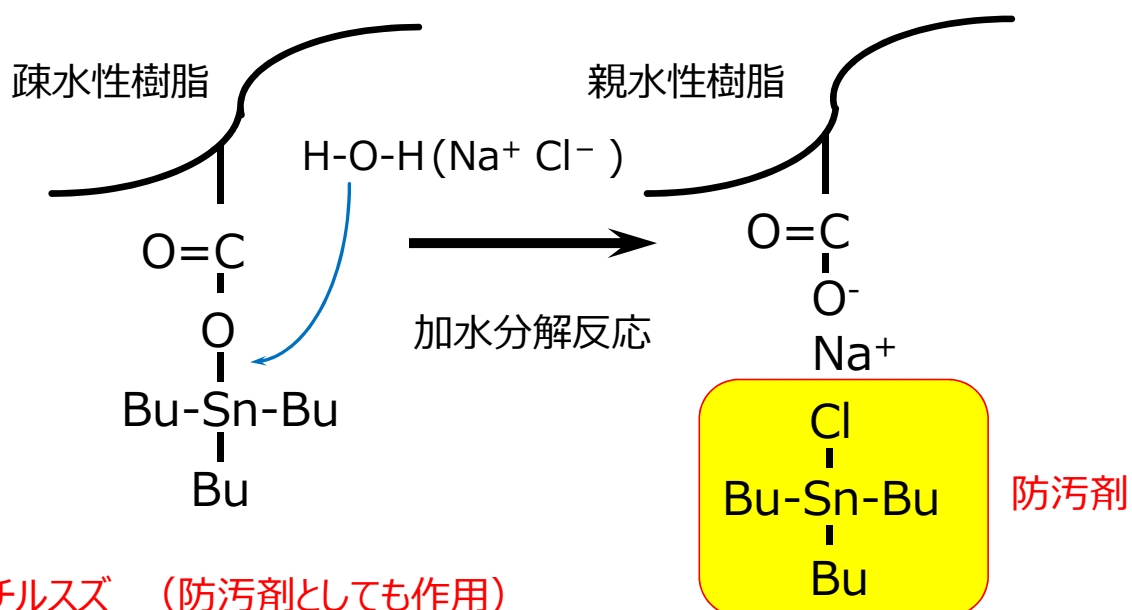


加水分解による塗膜表面更新とともに適切量の防汚剤を溶出、  
生物の付着を防ぎ、経時での過膜厚蓄積ならびに、粗度の増大を抑制

4

海上技術安全研究所 環境・動力系講演会「船体防汚と船体付着生物の越境移動防止に関する話題提供」令和3年3月24日

## 有機錫ポリマーの加水分解反応



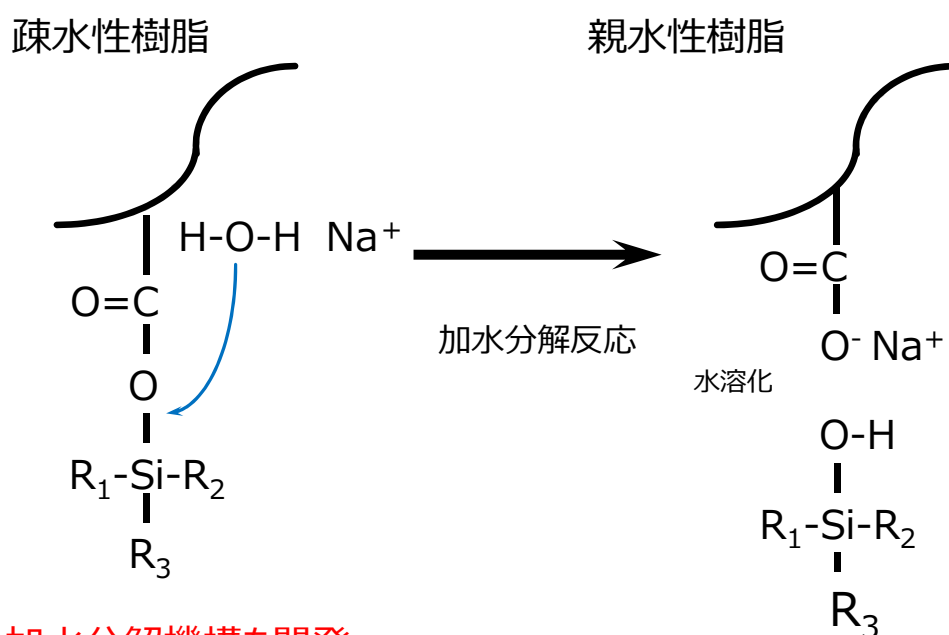
TBT：トリブチルスズ（防汚剤としても作用）

生態影響問題（内分泌攪乱作用）により、環境ホルモンに指定、  
難分解性、生態影響、環境への蓄積が問題になり、2008年 全世界で禁止。

海上技術安全研究所 環境・動力系講演会「船体防汚と船体付着生物の越境移動防止に関する話題提供」令和3年3月24日

5

## シリルポリマーの加水分解機構（有機錫代替）

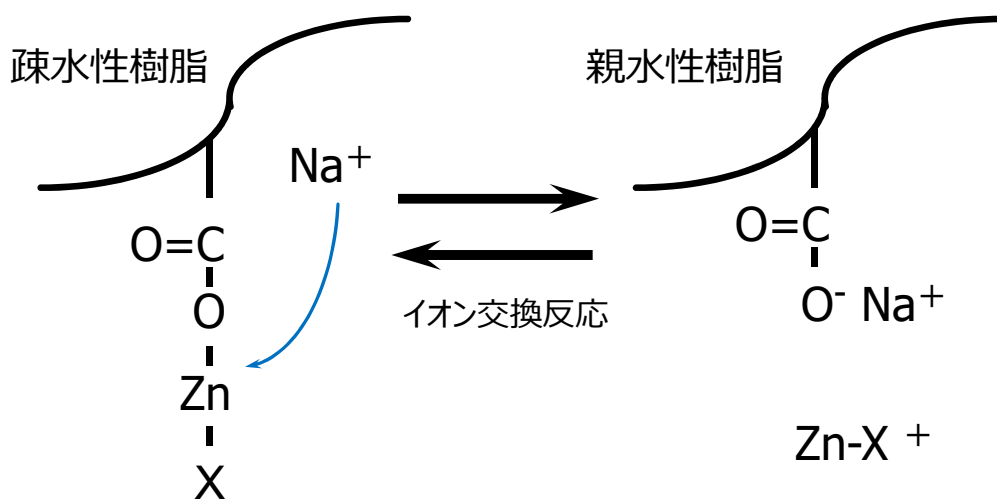


有機錫代替の加水分解機構を開発。

海上技術安全研究所 環境・動力系講演会「船体防汚と船体付着生物の越境移動防止に関する話題提供」令和3年3月24日

6

# 亜鉛ポリマーの加水分解機構（有機錫代替）



X : 配位子

## 有機錫代替の加水分解機構を開発。

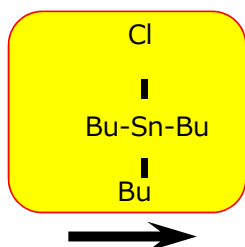
海上技術安全研究所 環境・動力系講演会「船体防汚と船体付着生物の越境移動防止に関する話題提供」令和3年3月24日

7

# 代替防汚剤の動向

三重野、岡村（2003）, 三重野、岡村、勝井、沖本（2018）日本で使用される防汚システムの現状  
 recognised tbt-free anti-fouling coatings - Lloyd's Register  
<https://www.cdinfo.lr.org/information/Documents/Approvals/PaintsResinsReinforcements/paint15.pdf>

Abbr.	Name	CAS No	Abbr.	Name	CAS No
CN	Copper Naphthenate	1338-02-9	PTB	Pyridine-triphenyl-boron	971-66-4
CO	Cuprous Oxide	1317-39-1	TC	Tetrachloroisophthalonitrile	1897-45-6
CP	Cuprous Pyrrhione	14915-37-8	TCM	N-(2,4,6-trichlorophenyl) maleimide	13167-25-4
CT	Cuprous Thiocyanate	1111-67-7	TH	Thiram	137-26-8
CY	N-cyclopropyl-N'-(1,1-dimethylethyl)-6-(methylthio)-1,3,5-Triazine-2,4-diamine	28159-98-0	TO	Tolyfluamid	731-27-1
Di	Diuron	330-54-1	TR	Tralopyril	122454-29-9
Dich	Dichlofluamid	1085-98-9	ZED	Zinc Ethylene Bis-dithiocarbamate	12122-67-7
DO	4,5-dichloro-2-octyl-3(2H)-isothiazolone	64359-81-5	ZP	Zinc Pyrrhione	13463-41-7
ME	Medetomidine (Selektep <sup>TM</sup> )	86347-14-0	ZR	Ziram	137-30-4
OIT	2-Octyl-2H-isothiazol-3-one	26530-20-1			



2017年頃よりIMOで防汚剤シブトリンを新たに禁止物質に加える改正案が審議され、  
 2003年と比較すると(メデトミジン),(トラロピリル)が新たに使用。

予測環境濃度が予測無影響濃度を上回らないように、  
 毒性、環境への放出量、易分解性等を評価し、管理、規制を判断。

海上技術安全研究所 環境・動力系講演会「船体防汚と船体付着生物の越境移動防止に関する話題提供」令和3年3月24日

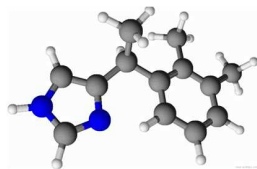
8



## 最新の防汚塗料技術 (新規防汚剤 メデトミジン)

### 新たに導入された“新規防汚剤”

(一般名：メデトミジン)



フジツボに対し抜群の効果を発揮



極微量にて優秀な耐フジツボ性

(塗料20kgに対し、わずか数10gの添加量)

ヨーロッパ防汚剤規制 (BPR) にも登録。

The Biocidal Products Regulation (BPR, Regulation (EU) 528/2012)

## 最新の防汚塗料技術 (新規防汚剤 メデトミジン 実船成績)



低稼働船・高汚損海域 (東京湾) の厳しい汚損環境において、メデトミジンの微量添加により、耐フジツボ性の大幅な向上を確認。

## ファウルリリース型防汚塗料



シリコンエラストマーの安定構造、撥水性、弾性により防汚性を発現  
防汚剤フリーであり、環境影響が少ない。

## 最新の防汚塗料技術 発展型ファウルリリース型防汚塗料

### ファウルリリース型防汚塗料の防汚性向上機構

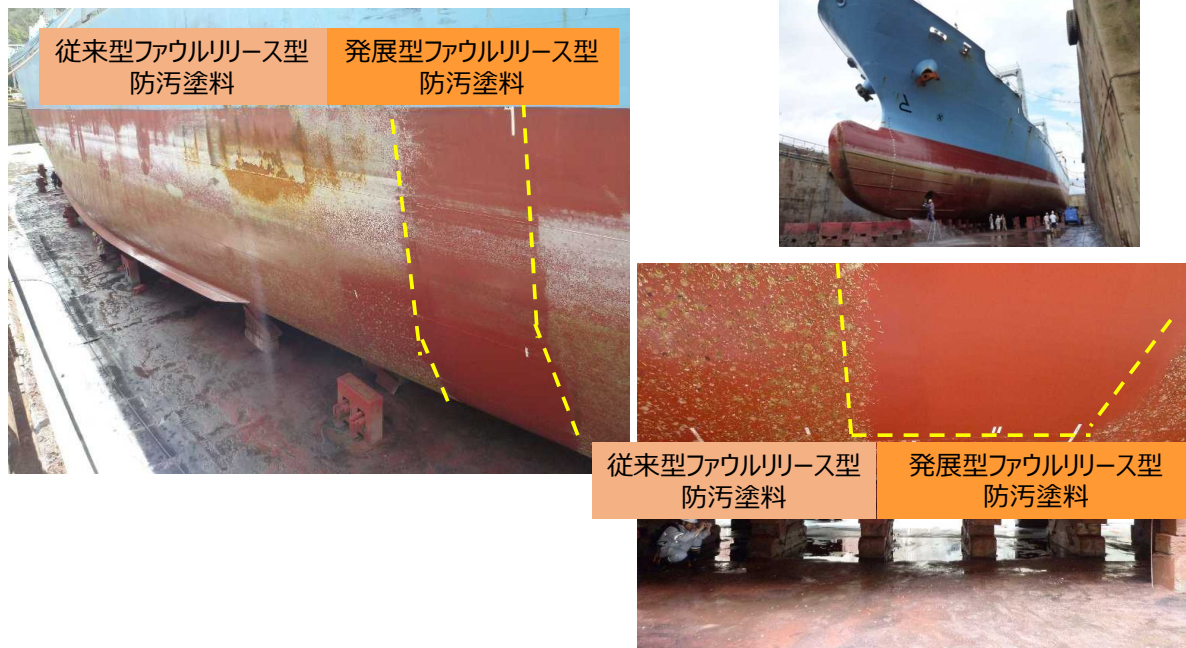
従来型ファウルリリース防汚塗料

発展型ファウルリリース型防汚塗料



# 発展型ファウルリリース型防汚塗料 の実船成績

ワールドワイド冷凍運搬船 / 4,511 DWT/11ヶ月後(地中海での3ヶ月停泊含む)

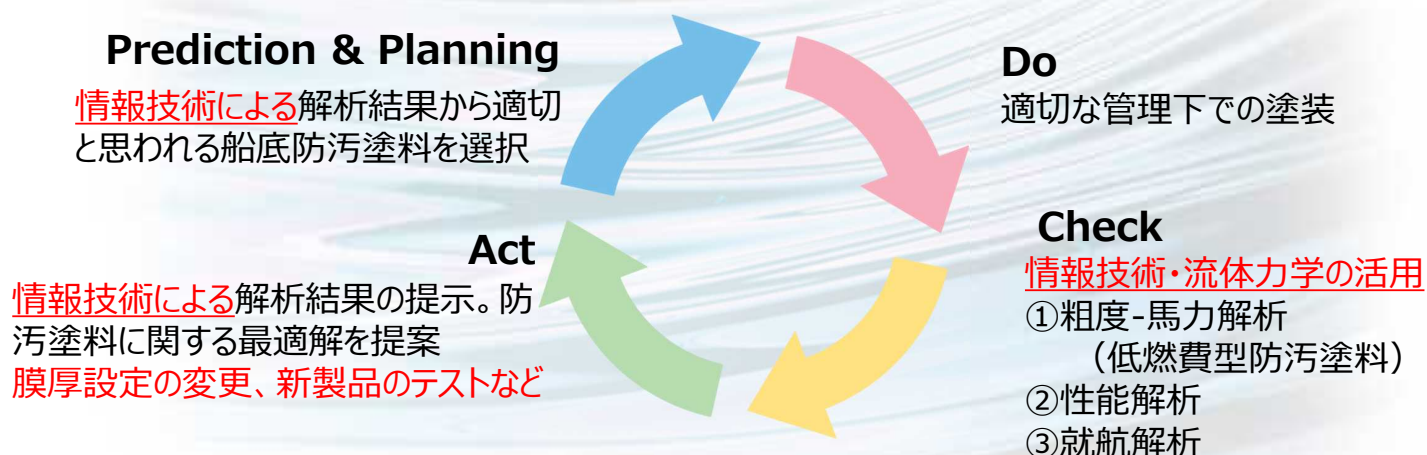


海上技術安全研究所 環境・動力系講演会「船体防汚と船体付着生物の越境移動防止に関する話題提供」令和3年3月24日

13

# 低燃費型防汚塗料／情報技術の活用

## CMP MAP Hull-PDCA cycle



PDCAサイクルとデータ解析によって、船体性能を可視化し、船体性能向上に貢献する、全船舶に適用可能な総合解析サービスを提供。

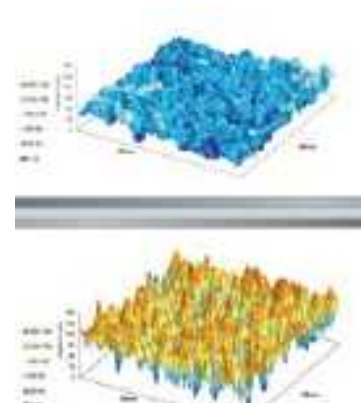
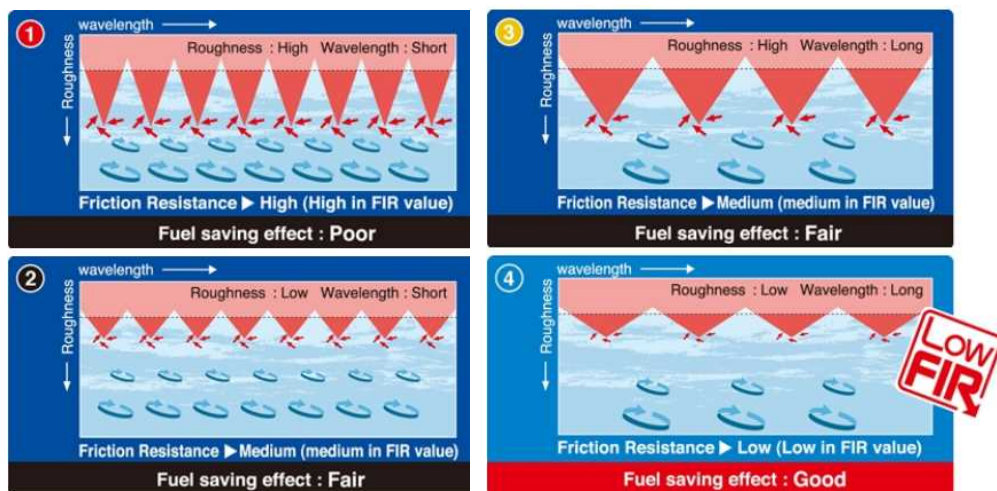
海上技術安全研究所 環境・動力系講演会「船体防汚と船体付着生物の越境移動防止に関する話題提供」令和3年3月24日

14

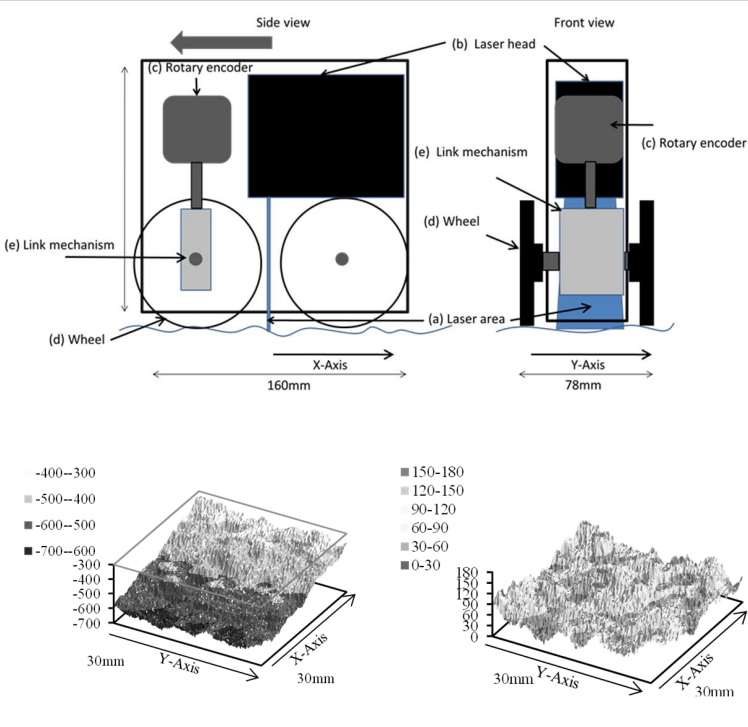


# 流体力学の活用 粗度低減型の低摩擦型防汚塗料

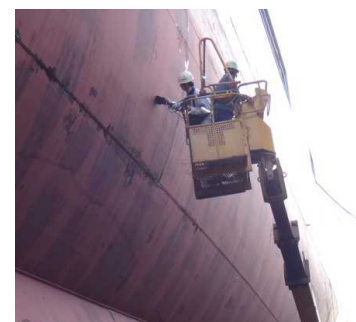
- 船体摩擦を低減するには、塗膜の粗度に起因する抵抗を、低くし、滑面抵抗に近づけることが有効です。例えば、粗度の高さ $Rz$ が低く、波長 $RSm$ が長い程、滑面比の摩擦抵抗増加率FIRが低くなる流体力学的知見が得られています。
- この粗度抵抗低減技術を活用し、低摩擦型の防汚塗料が開発されています。
- ISO22987(2020年8月) 回転円筒を用いた防汚塗料の摩擦抵抗試験法が標準化。



# 情報技術・流体力学の活用 (三次元船体粗度計)



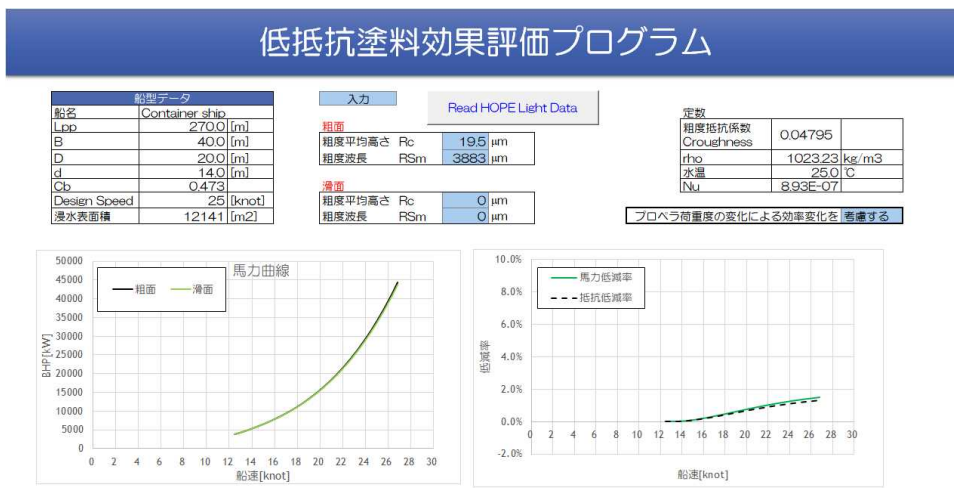
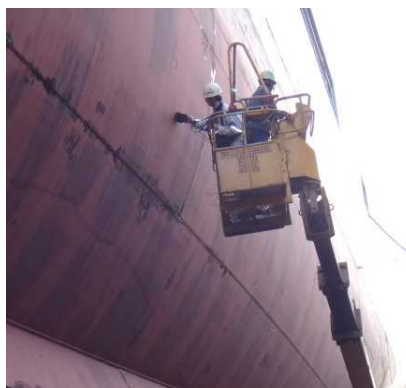
- 低燃費防汚塗料の効果を判定する為、船体粗度の波長 $RSm$ を評価が必要であり、船体の三次元粗度イメージを取得する装置を新たに開発。





# 情報技術・流体力学の活用 (船体粗度の馬力影響の推定)

- 船体主要目から算出した馬力と三次元粗度計測で得られた粗度パラメーター (平均高さRc, 平均波長RSm) から、各船型、各船速での馬力を推定するプログラムを開発。
- 実船の粗度の影響を馬力で数値化する本技術により、低摩擦塗料の効果、メンテナンスの手法・時期等を判定可能となります。



海上技術安全研究所 環境・動力系講演会「船体防汚と船体付着生物の越境移動防止に関する話題提供」令和3年3月24日

# 情報技術の活用(性能解析)

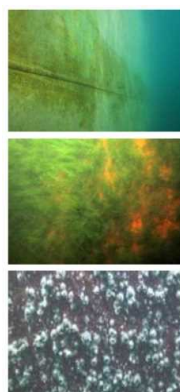
船体生物汚損は、運航プロファイル (船速/稼働率/停泊条件) に対し、防汚塗料の性能が不適合の時に起こります。

生物汚損：

- スライム、
- ノリ、アオサ等の植物系、
- セルプラ、フジツボ、イガイ等の動物系

MEPC 60/4/21文書では、参考文献(※)を基に、汚損状況(生物種)毎の軸馬力増加率が報告されています。

- 劣化塗膜や薄いスライムで 9%
- ヘビースライムで 19%
- 軽度の石灰質(貝類、フジツボ)や大型藻類で 33%
- 中度の石灰質(貝類、フジツボ)で 52%
- 重度の石灰質(貝類、フジツボ)で 84%

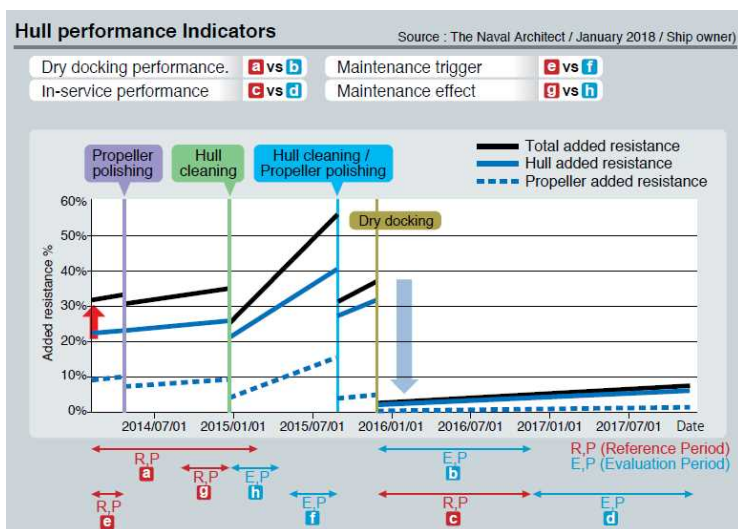


	Additional shaft power (%)
Freshly applied coating	0
Deteriorated coating or thin slime	9
Heavy slime	19
Small calcareous fouling or macroalgae	33
Medium calcareous fouling	52
Heavy calcareous fouling	84

※： Schultz, M.P. (2007): Effects of coating roughness and biofouling on ship resistance and powering. Biofouling23(5), 331-341

# 情報技術の活用(性能解析)

ISO19030(船体及びプロペラの性能変化の測定方法)実船データを用いた就航解析により、塗料性能（汚損による抵抗増加の程度）の評価を行っています。



## 性能指標

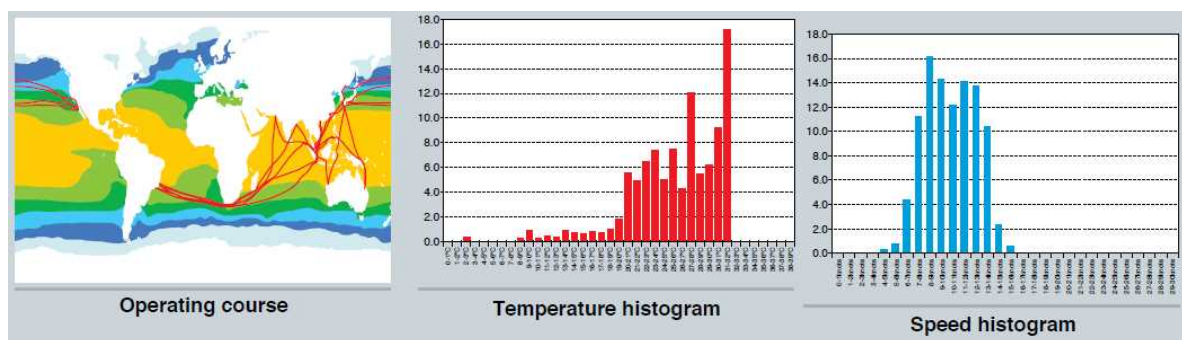
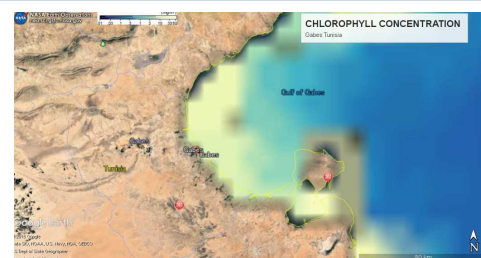
- ① ドライドック性能
- ② 就航性能
- ③ メンテナストリガー
- ④ メンテナンス効能

# 情報技術の活用(就航解析)

- ・加水分解型防汚塗料の仕様選定
- ・汚損原因の推定

には、各船の就航プロファイルの解析が有効です。

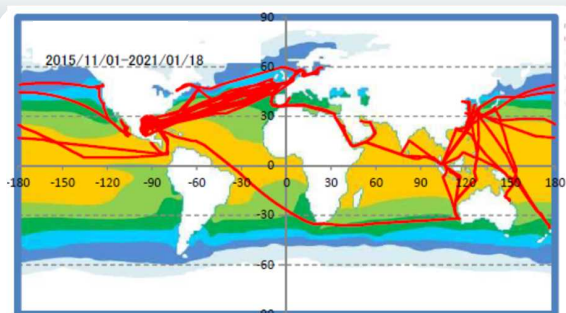
AISデータ等を活用して、航路、温度分布、船速分布、停泊位置のクロロフィル濃度等を解析し、汚損原因の推定・最適塗装仕様の提案などが行われています。



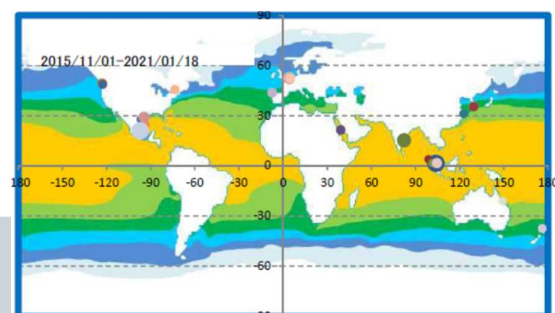
# 情報技術の活用(就航解析)

## ケミカルタンカー (46,067DWT) / 60ヶ月仕様

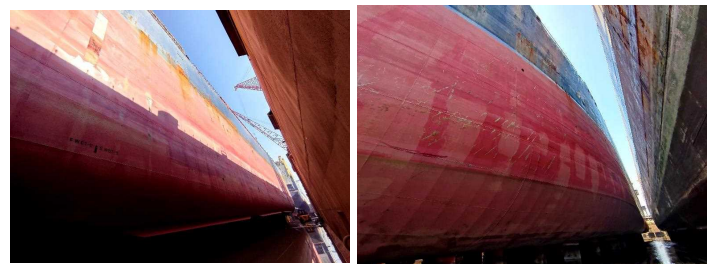
航路



停泊場所



運航解析結果と、運航後の残存膜厚、成績（写真例：63ヶ月運航後）を比較し、想定通りの結果が得られたか評価します。



## まとめ

防汚塗料には生物付着を防ぐ機能により船体の抵抗増加を防ぎ、結果的にCO<sub>2</sub>低減に貢献しておりより環境に優しく、効果の高い防汚塗料の開発が求められてきました。

現在も

最新ポリマー・防汚剤技術を用いた防汚塗料組成の改良  
流体力学による摩擦抵抗に関する知見の活用

情報技術の活用により、

総合的に環境負荷を低減する防汚塗料や解析サービスの開発が行われています。

ご清聴ありがとうございました