

船底防汚塗料の防汚性能評価の ためのラボ生物試験法の開発

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所
海上技術安全研究所 小島 隆志



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

講演内容

1. はじめに
2. 流水式ラボ生物試験法の構築
3. 実験結果
4. まとめと今後の予定



船底防汚システム

- 海洋付着生物の越境移動・定着，船舶の効率的な航行の維持



- 防汚技術の重要性（船体付着生物ガイドライン）



防汚技術



海洋環境低負荷



船底防汚システム技術

水中洗浄



MGPS



<http://www.nipponyuka.jp/>

不適切な防汚対策一

Sub-standard

実際の航行・海洋環境の実態に合わない塗料



Unacceptable biofouling

適切な防汚対策一

船底防汚塗料は主要な防汚技術

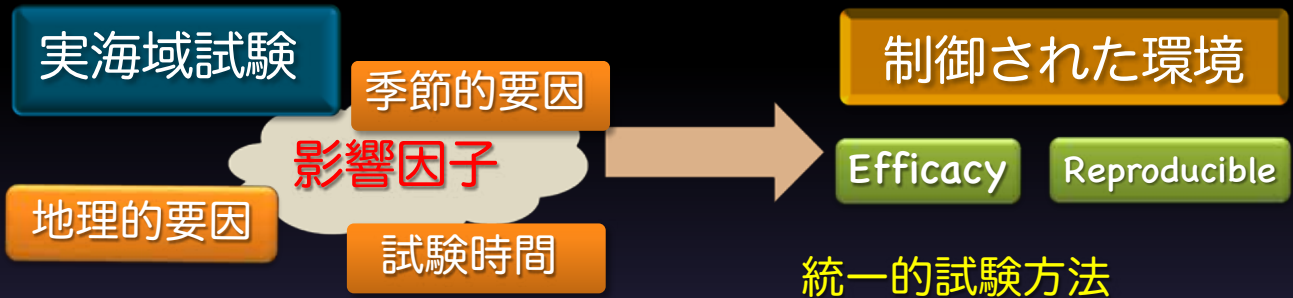


Acceptable biofouling

National Maritime Research Institute

船底防汚塗料の防汚性能

船底防汚塗料：船体付着生物管理の主要な技術



JIS K 5630, 1983 (廃止 2001/10/20)

ASTM D3623-78a, 2004; IPPIC, 2013

既存の試験法

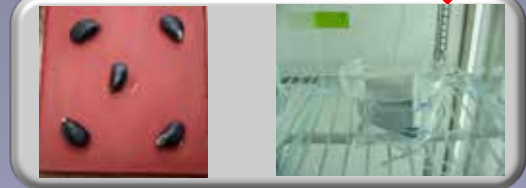


● 新規試験方法

本研究の位置付け

簡易的評価
手法

● 妥当性



NMRI

- ・ 流水式ラボ生物試験法開発
- ・ 作業原案作成, 国際規格発行

供試生物

ラボ生物試験

- ✓ 静水条件
- ✓ 生物毒性試験
- ✓ 試験系内の蓄積

2. 流水式ラボ生物試験法の構築



1. 塗料配合(防汚剤として亜酸化銅の単一配合)

Content [wt.%]/ Run	A-1	A-2	A-3	A-4	A-6
Xylene	23.0	23.6	24.0	25.0	27.0
MIBK	5.0	←	←	←	←
Vinyl copolymer ¹⁾	9.0	8.7	8.5	8.0	7.0
Rosin	9	8.7	8.5	8.0	7.0
Cu₂O	0	5.0	10.0	20.0	40.0
Fe ₂ O ₃ (Bengala)	1.0	←	←	←	←
BaSO ₄	50.0	45.0	40.0	30.0	10.0
Oxidized polyethylene wax	1.0	←	←	←	←
Amide wax	2.0	←	←	←	←

1) 水和型共重合体 (polyvinyl chloride and polyvinyl isobutyl ether)

2. 試験片の仕様

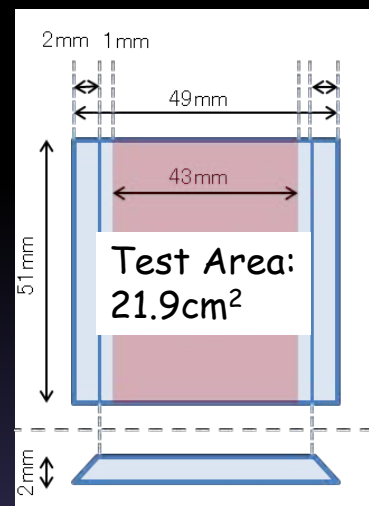
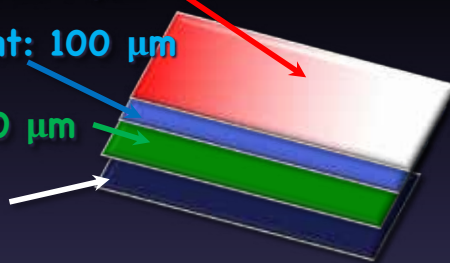
- 単一塗装 (3層) のエアースプレー

Antifouling paint: 100 μm

Anticorrosion paint: 100 μm

Epoxy binder: 100 μm

PVC plate



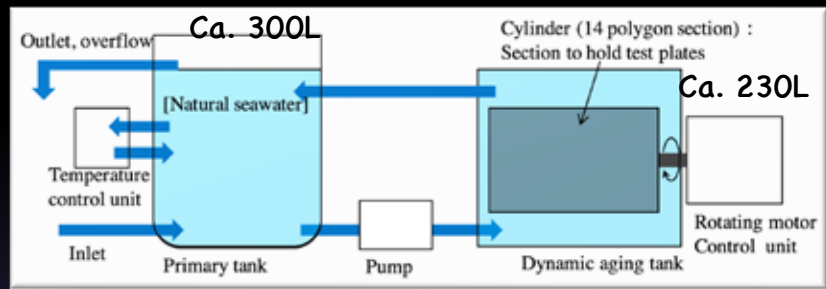
➤ Coated on

✓ 片面塗装

✓ PSPC (Resolution MSC.215(82), IMO) 塗装準拠



3. 試験片養生



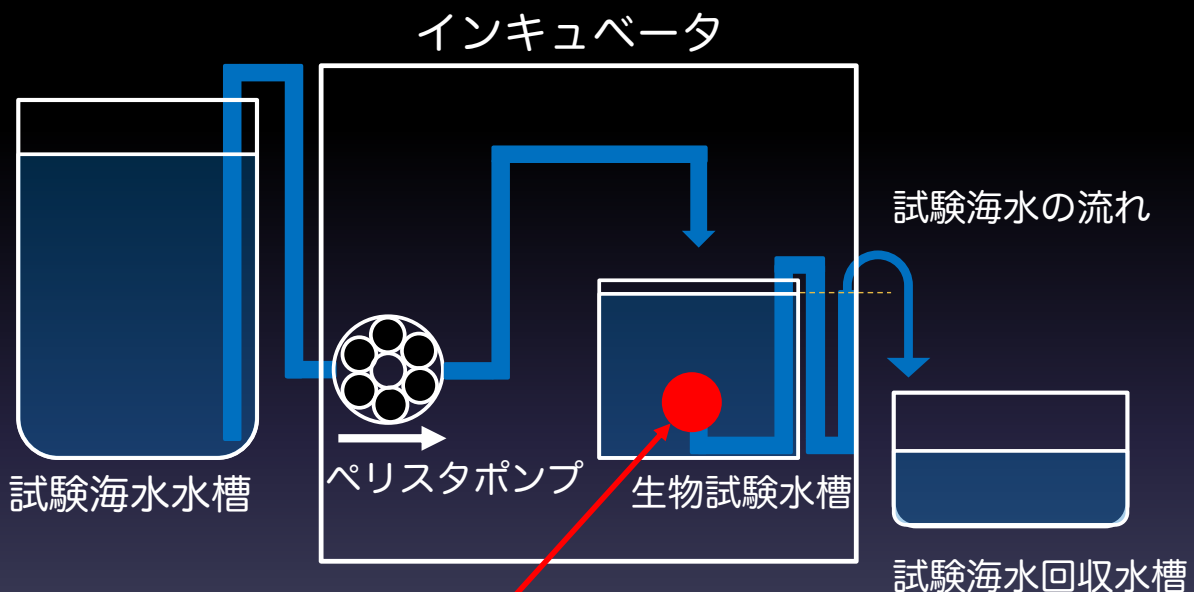
R. Kojima et al., PLOsONE, 2016.

実際の船底を模擬するために、流水環境中にて試験片を養生

養生条件

- Exchange NSW, < 30ppb
- 20°C, Ca. 10 knot, 45 days

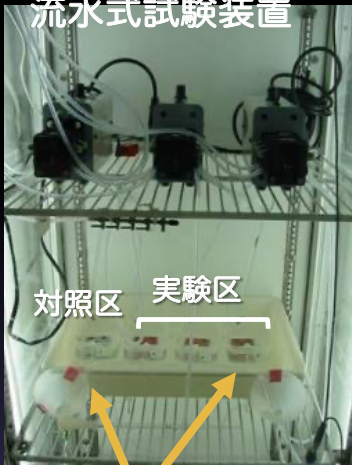
流水式生物試験装置の構成



- 供試体 (供試生物 + 供試試験片)
- 試験面への適切な配置

イガイを用いた生物試験方法

流水式試験装置



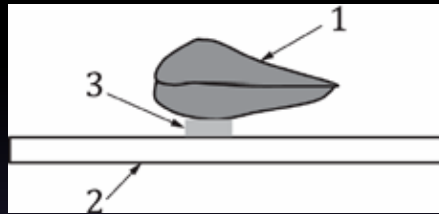
対照区 実験区

Spout



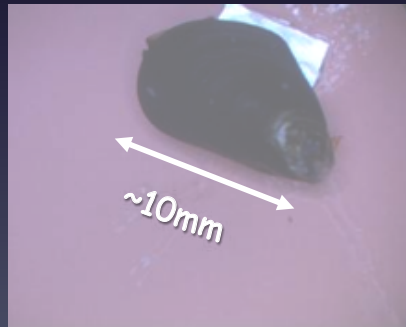
5 mussels / plate

供試生物の固定化方法



1. *M. galloprovincialis*
2. Test plate
3. Spacer

足糸およびプラーク形成

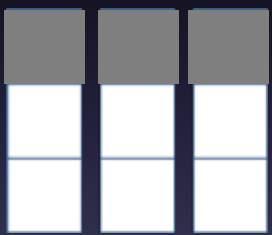


R. Kojima et al., PLoS ONE, 2016.

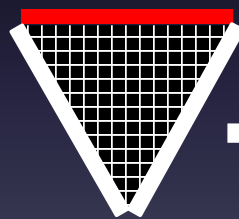
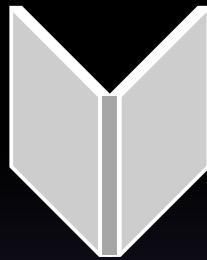
National Maritime Research Institute

12

キプリス幼生を収容する試験体作成



実験区 対照区 アクリル樹脂
対照区 (PVC) : blasted with F-20



Double-sided carbon adhesive tape

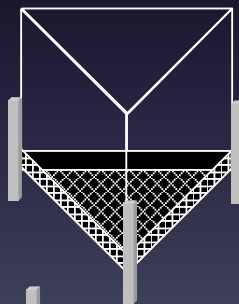
100 μm plankton net



供試体

アクリル樹脂

アクリル樹脂

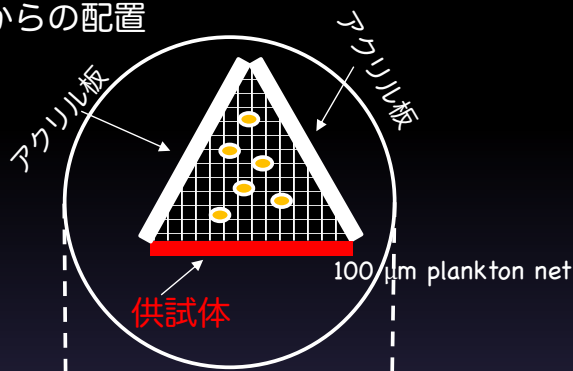


Plastic rod

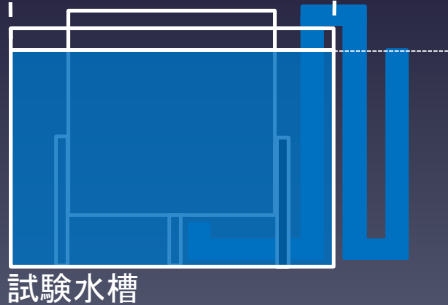
National Maritime Research Institute

13

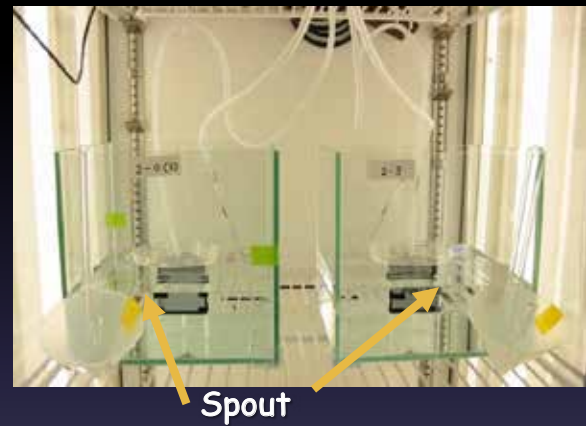
上面からの配置



試験水槽内の配置



流水式試験装置



R. Kojima et al., Coatings, 2019.

- 対照区・実験区の試験面への付着個体数（付着率）

14

生物試験条件

Test condition	イガイ ^{1,2)}	キプリス幼生 ³⁾
Volume:	2.3L	0.3L
Temp., salinity:	20°C, 28‰	25 °C, 28‰
Light intensity ⁴⁾ :	2000 lux	3000 lux
Number of assay:	5 mussels/plate	100
Exposure :	24 hrs.	48 hrs.
Flow rate:	14ml/min.	7ml/min.

1) 採取地（横須賀）から供試生物を採取後，実験室にて供試生物を馴致。

2) 馴致期間中，生存率95%以上の生物群を供試。

3) 採取地（浜名湖）から成体採取，実験室で孵化させ幼生を採取・飼育後，生物活性試験により，付着率70%以上の生物群を供試。

4) 12時間明/12時間暗の照射条件

3. 実験結果



ラボ試験での生物暴露濃度

試験水槽内の亜酸化銅濃度測定 → SPE-ICP/MS

イガイ

Content Conc. [as Cu, mg/L]

足糸形成阻害 250

死亡率 (68%) 500

足糸無形成 (30%) 400

(90%) 500

本研究 **< 0.04**

Harada et al., 1984.

キプリス幼生

Content Conc. [as Cu, mg/L]

死亡率 (10%) 1.00

(50%) 3.00

付着阻害率 (20%) 0.10

(90%) 1.00

EC₅₀ 0.30

本研究 **< 0.03**

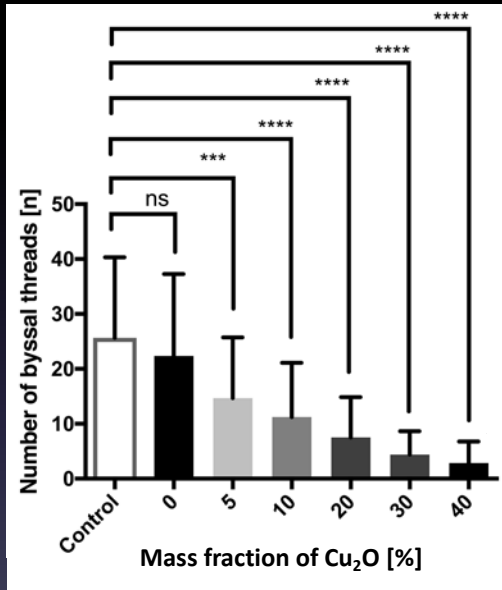
Kitano et al., 2003.

- 10^{-4} ~ 10^{-1} の濃度, sub ppb ($\mu\text{g/L}$)を維持.
- 効率的な試験水交換の達成を確認.

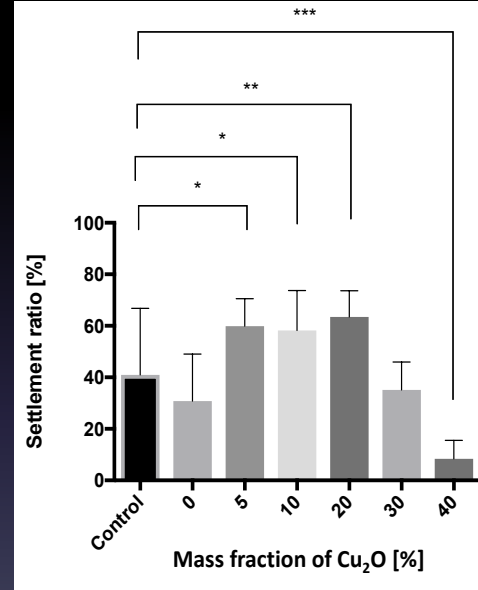


生物指標による防汚性能評価

- 統計解析手法：One-way ANOVA followed by Dunnett test (Prism 9)



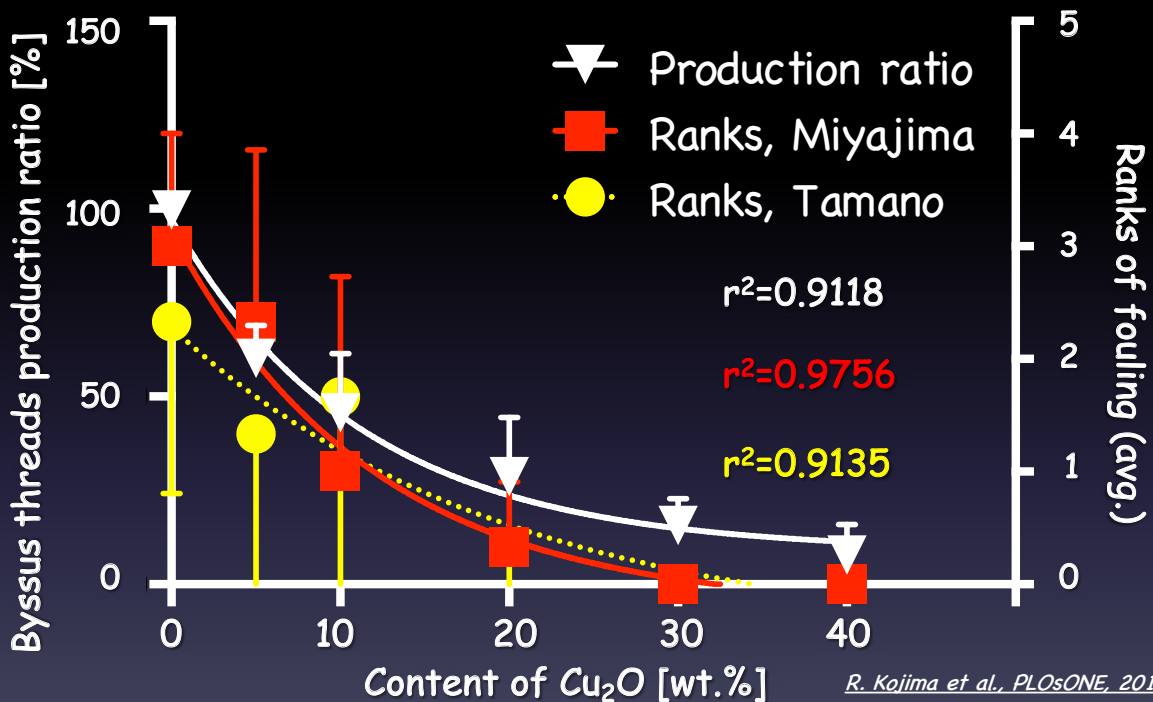
R. Kojima et al., PLoS ONE, 2016.



R. Kojima et al., Coatings, 2019.

- 亜酸化銅—生物指標を統計解析手法を用いて評価
- 有意差
- キブリス幼生の付着：“Physiological shocking”

ラボ生物試験の妥当性評価



R. Kojima et al., PLoS ONE, 2016

- ラボ生物試験での足糸形成率，実海域での汚損度
- 亜酸化銅配合量 \propto 防汚効果

4. まとめおよび今後の予定

◆ 船体付着生物による生物越境移動問題は、IMOにおける大きな議題の一つ（ガイドライン）。

- ・ 専門家のアドバイスに基づく最適技術適用を推奨する方法：船底防汚塗料性能を客観的に評価する試験法の確立が必要。
- ・ 試験条件，供試生物，試験要件：汚損の変動因子に依存しない流水条件下のラボ生物試験法

- 研究成果より国際規格原案作成，ISO/TC8/SC2/WG5審議
- 国際規格発行：ISO 21716シリーズ
- 藻類を用いた試験法開発中。

謝辞

本研究は、（一財）日本船舶技術研究協会の「防汚塗料の性能評価手法に関する調査研究—ラボ生物付着試験に関する試験法案の改良—」（2017年度）及び「日本財団の助成事業」により実施された。ここに感謝の意を表す。

Supported by  日本財団 THE NIPPON FOUNDATION

 一般財団法人 日本船舶技術研究協会

Innovative Solutions for Energy and Environment
JANUS
JAPAN NUS CO., LTD.

国立大学法人
長崎大学
NAGASAKI UNIVERSITY

CMP CHUGOKU

Thank you for your attention.

研究成果

1. R. Kojima, *et al.*, A Method for Evaluating the Efficacy of Antifouling Paints Using *Mytilus galloprovincialis* in the Laboratory in a Flow-Through System. *PLoS ONE*. 2016; 11(12): e0168172. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0168172>
2. R. Kojima, *et al.*, Designing a Laboratory Bioassay for Evaluating the Efficacy of Antifouling Paints on *Amphibalanus amphitrite* Using a Flow-Through System. *Coatings*. 2019, 9 (2), 112; <https://doi.org/10.3390/coatings9020112>
3. ISO 21716-1:2020 Ships and marine technology – Bioassay methods for screening anti-fouling paints – Part 1: General requirements
4. ISO 21716-2:2020 Ships and marine technology – Bioassay methods for screening anti-fouling paints – Part 2: Barnacles
5. ISO 21716-3:2020 Ships and marine technology – Bioassay methods for screening anti-fouling paints – Part 3: Mussels