

船底塗料の 防汚性能評価手法

(独)海上技術安全研究所: 関 庸之, 小島 隆志, 安藤 裕友
日本エヌ・ユー・エス(株): 小林 聖治, 松村 知明, 勝山 一朗
中国塗料(株): 香西 一樹
日本ペイントマリン(株): 島田 守

船底防汚塗料

船体に生物が付着すると

- 船体摩擦抵抗が増加 ⇒ 燃費の悪化
- 外来水生生物の越境移動 ⇒ 生態系の攪乱

船体への生物付着を防止するための基本的手段として船底防汚塗料を塗布

(船底防汚塗料の種類)

- ✓ Biocide type ⇒ 現在,主として塗装されている
- ✓ Foul release type (Biocide free)

目的

今後, 塗料の防汚性能 (Efficacy) の評価が重要になると考えられるため, 簡便かつ合理的な防汚性能の評価手法を検証する.



防汚性能評価手法の要件

【簡便かつ合理的な防汚性能（Efficacy）の評価手法を検証】

- ①場所や季節に依存しないuniversalな方法
 - 一定環境下で実施するラボ試験
 - 短期間（数週間）の試験で評価可能
- ②船体付着する多様な生物を包含する方法
 - 一般的に生息している動物種及び藻類を使用した試験
 - 生物付着の判定が容易
- ③再現性があり，科学的な根拠を有する方法

■ **ラボ生物付着試験**：タテジマフジツボ，ムラサキイガイ，スジアオノリ



↑ 相関性を検証することで，実海域で必要な防汚性能を判断 ↓

■ **実海域における静置浸漬**性能を併せて検証

- ①試験期間： 沖待ち期間などの最長期間を1ヵ月程度と想定
- ②異なる試験時季： 生物種の活性な時期
- ③異なる試験サイト： 同様の海域であっても付着生物の活性や種，付着量が異なる可能性

塗料サンプルおよび試験片

■ 亜酸化銅 (Cu₂O) 量を系統立てた塗料サンプル

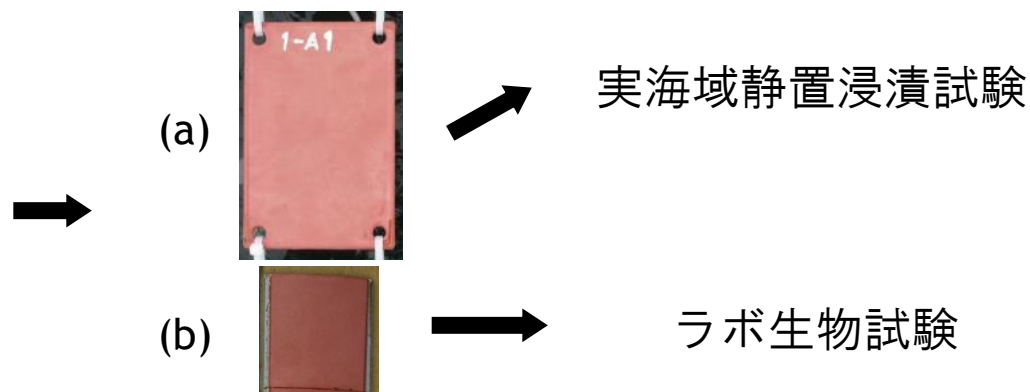
試作サンプルNo.	Control (基準)	CuA-1	CuA-2	CuA-3	CuA-4	CuA-5	CuA-6
Cu ₂ O量	0 (塩ビ)	0	5	10	20	30	40

■ 動的養生： 20°C， 10Knot相当， 45日間， 暗所状態， 天然海水を随時交換

→ 防汚剤の浸漬初期の高濃度溶出を排除し， **実船塗装表面を模擬**。



動的養生時の様子
(一時的に遮蔽シート除去)



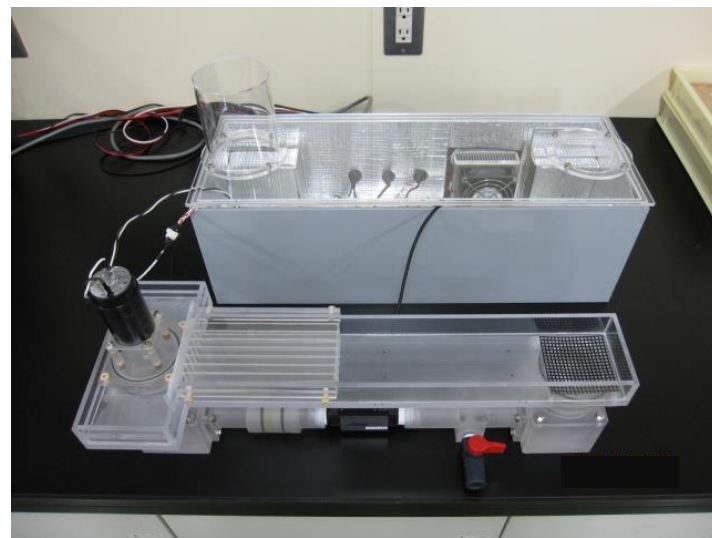
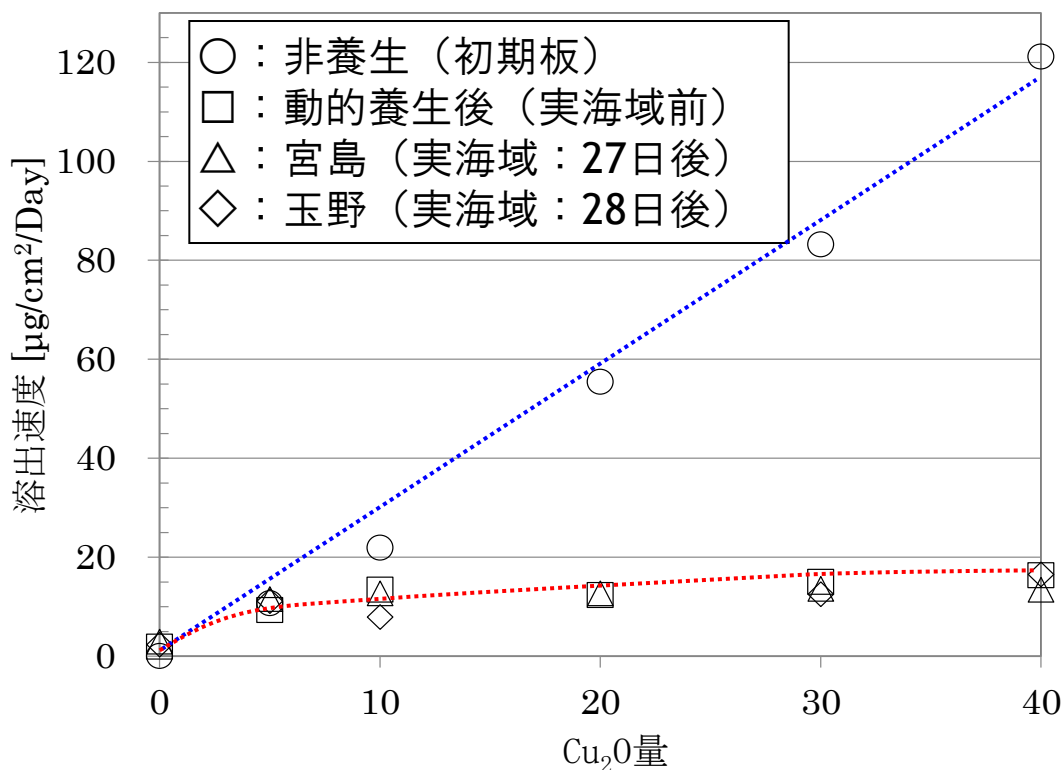
動的養生後の試験片 (例：CuA-1)

(a) 実海域試験： 150×100×1.6^tmm

(b) ラボ生物試験： 50×50×2.0^tmm

動的養生後の溶出速度

Cu₂O量と銅溶出速度 (Round2の例)



【装置概要】

- ・ 装置材質：ポリカーボネート
(* 金属部分はシリコンコーティング)
- ・ 試験水量：1.0~1.4L (人工海水)
- ・ 水温：20°C
- ・ 流路幅：78mm (54, 78, 154mm)
- ・ 流速：0.4m/sec
- ・ Re数： 3.1×10^4

■ 溶出速度

- 非養生試験片の溶出速度は非常に大きく、ほぼ、亜酸化銅量に比例して増加している。
- 実海域浸漬前後の溶出速度はほぼ同程度で、亜酸化銅量に対して緩やかに増加している。
- 生物付着の閾値を溶出速度より現時点で明確に示すことは出来ないが、ある溶出速度から動物種や藻類に対して付着阻害に関する防汚効果があることが予想される。

実海域浸漬における防汚性能の調査

- ・ 宮島沖および玉野沖
- ・ 3季節（夏，秋，冬）
- ・ 浸漬試験を1カ月間

実海域浸漬における防汚性能の調査

■各試験サイトにおける試験時期と試験サイトの海水性状

試験Site (2013年)		水温 [degC]	栄養分		
			COD [mg/L]	T-N [mg/L]	T-P [mg/L]
宮島沖	Round 1 : 夏 08.27~09.24	27.0 → 26.0	3.0	0.28	0.043
	Round 2 : 秋 10.18~11.14	21.4 → 19.2	1.4 - 1.6	0.16 - 0.21	0.042 - 0.045
	Round 3 : 冬 12.10~01.09	14.5 → 11.1	0.8 - 1.3	0.30	0.038 - 0.048
玉野沖	Round 1 : 夏 08.29~09.26	28.2 → 26.3	2.0 - 2.2	0.11 - 0.15	0.032 - 0.033
	Round 2 : 秋 10.21~11.18	23.7 → 18.9	1.8 - 2.0	0.14 - 0.19	0.031 - 0.057
	Round 3 : 冬 12.12~01.09	14.0 → 10.6	0.8 - 1.2	0.08 - 0.12	0.024 - 0.033

* 海水pH : 8.2 ± 0.2

* 塩分[%] : 宮島沖 28.5~31.0, 玉野沖 27.0~28.8

実海域浸漬における防汚性能の調査

■ 生物付着が起こった試験塗料のCu₂O量

Site	(2013年)	動物種	藻類	スライム
宮島沖	Round 1 : 夏	Control Cu ₂ O量: 0, 5, 10%	Control Cu ₂ O量: 0%	全て付着 (Cu ₂ O量により スライムの色味 には変化あり)
	Round 2 : 秋	Control Cu ₂ O量: 0, 5%	Control Cu ₂ O: 0%	
	Round 3 : 冬	付着なし	Control Cu ₂ O量: 0%	
玉野沖	Round 1 : 夏	Control Cu ₂ O量: 0, 5, 10%	Control Cu ₂ O量: 0%	全て付着 (Cu ₂ O量により スライムの色味 には変化あり)
	Round 2 : 秋	Control Cu ₂ O量: 0, 5%	Control Cu ₂ O量: 0, (5~20)%	
	Round 3 : 冬	付着なし	付着なし	

* 付着生物種：管棲多毛類，フジツボ，コケムシ，緑色藻類

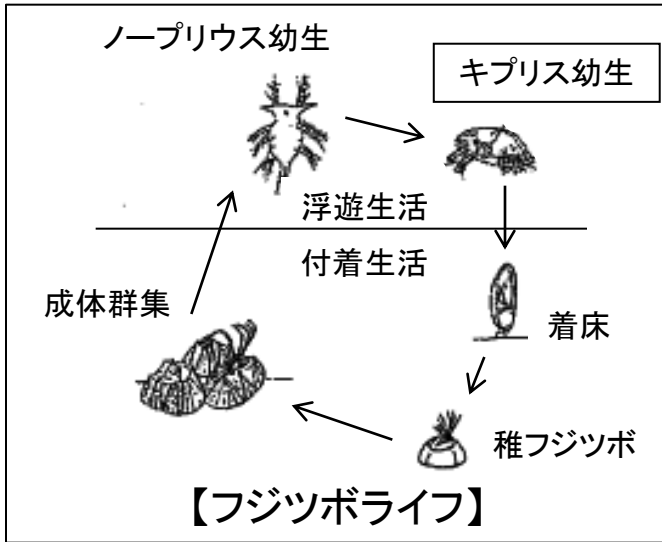
■ 生物付着(目視評価)(追加試験を踏まえて通年性能を検討中)

- Cu₂O量に対する動物種，藻類，スライムの付着閾はほぼ同傾向，試験を通じて
 - ・動物種: 26~28℃の水温時期がもっとも汚損しやすい。
 - ・藻類: 年間を通じて閾の変動なし。ただし，一部でごく僅かな量の汚損の突出あり。
 - ・スライム: 無汚損サンプルはなし(ルーズ付着で，水流によってある程度は除去可能)

ラボ生物付着試験

1. タテジマフジツボ試験
2. ムラサキイガイ試験
3. スジアオノリ試験

ラボ生物付着試験：タテジマフジツボ

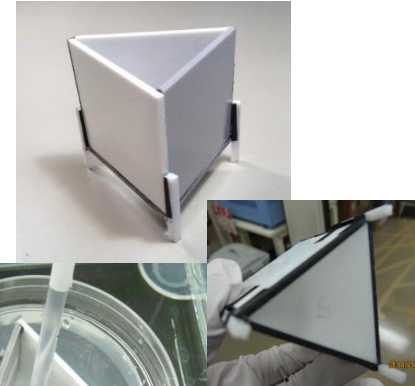


タテジマフジツボ
成体を採集し、
キプリス幼生を
室内育成

3日齢
キプリス幼生

三角試験体
(1辺：5×5cm)

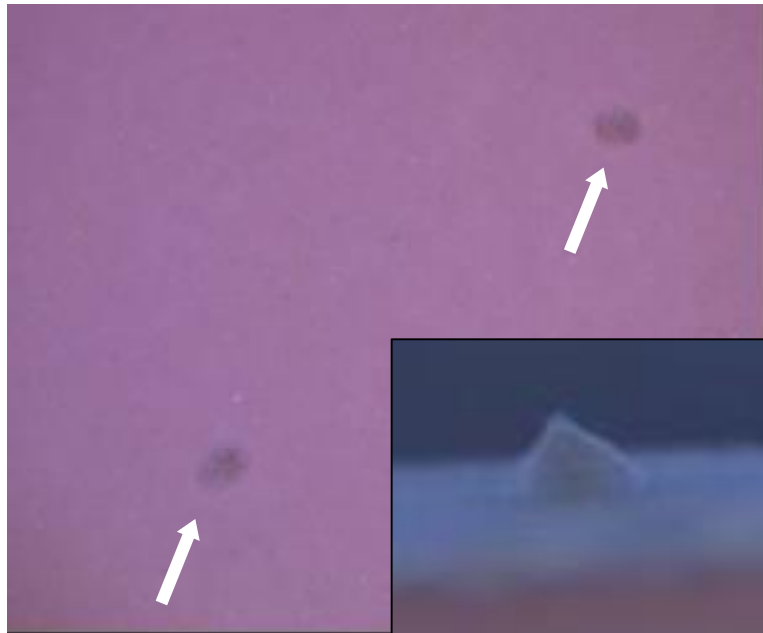
100個又は200個
体を内側に投入



- ①試験水：天然海水(ろ過)
- ②換水率：14ml/min
- ③試験期間：48hrs
(1day: 12hrs明 + 12hrs暗)



着床変態したフジツボ個体
数を顕微鏡でカウント。



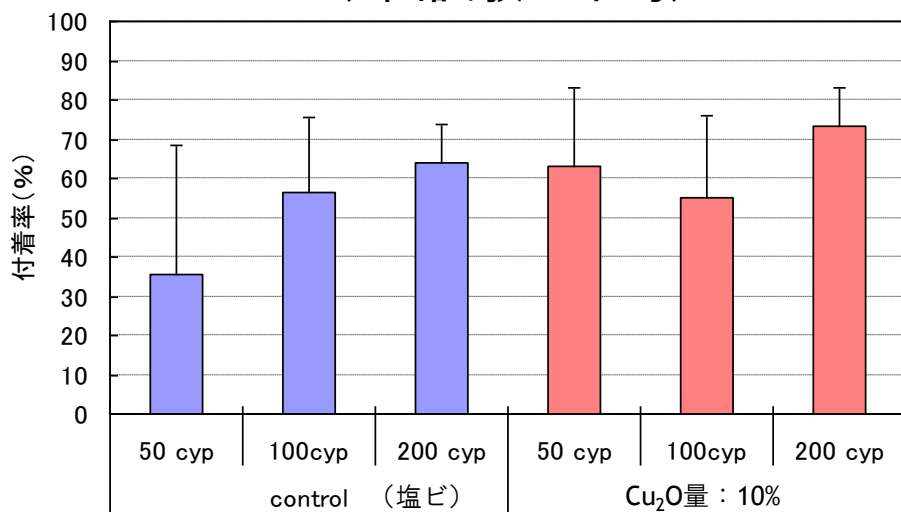
着床変態した稚フジツボ(0.5mm程度)

ラボ生物付着試験：タテジマフジツボ

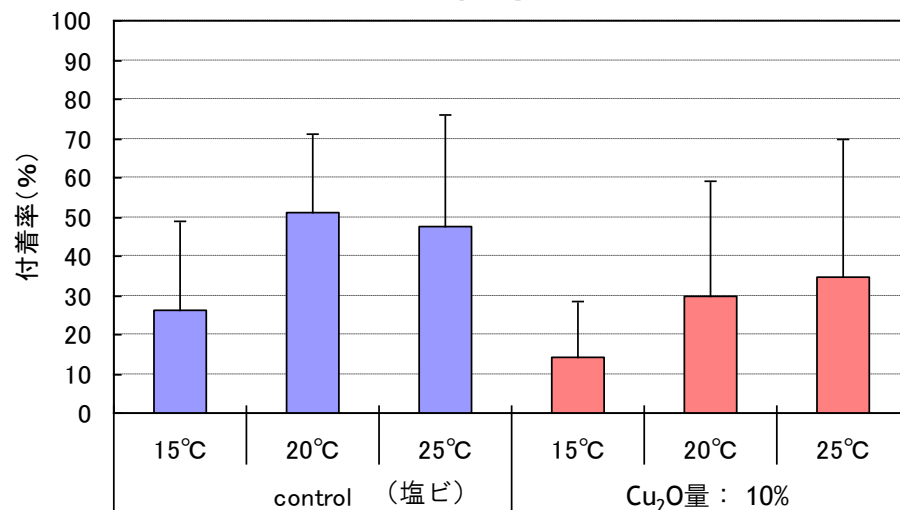


■ 生物の投入量及び水温による付着率の変化を確認

試験に投入した幼生数による付着率
(3回試験の平均)



試験水温による付着率
(3回試験の平均)



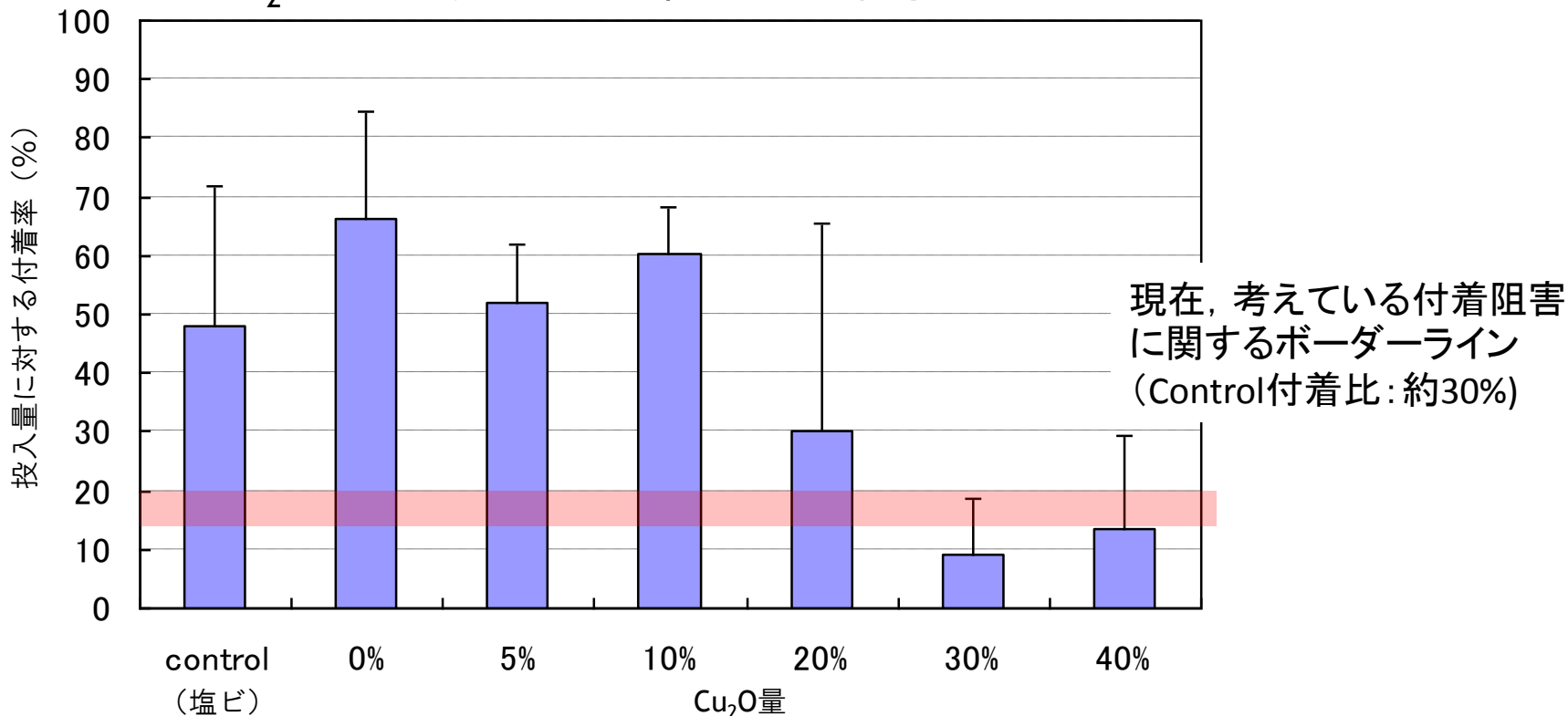
■ 試験に投入した幼生数による付着率

- Control(未塗装塩ビ板)では、幼生数が多くなるほど付着率が高く、Cu₂O量10%では付着率変化の傾向は見られない。
- 幼生数は、**100個体以上／試験区が適している**と考えられる。

■ 試験水温による付着率

- Control及びCu₂O量10%ともに、付着率は温度依存性がみられる。
- 20°Cと25°Cでは、付着率に大きな違いは見られなかったが、タテジマフジツボの生息域における付着時期の水温、幼生飼育条件、過去の報告などを考慮すると、**25°Cで試験することが適している**と考えられる。

Cu₂O量に対する幼生付着率（3回試験の平均）



■ 亜酸化銅量に対する幼生付着率の評価

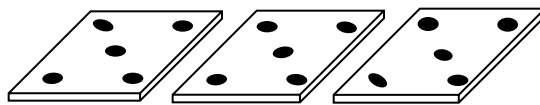
- Control(未塗装塩ビ板)での幼生付着率を50%程度に上げた実験系について、Cu₂O量20%以上で付着率の低下が見られる。
- 実海域性能を加味して付着阻害効果ありとするControlに対する割合を追加試験を踏まえて検討中。

ラボ生物付着試験：ムラサキイガイ

ムラサキイガイを採集

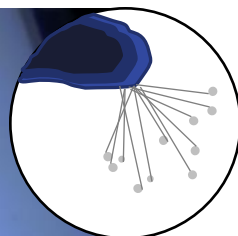
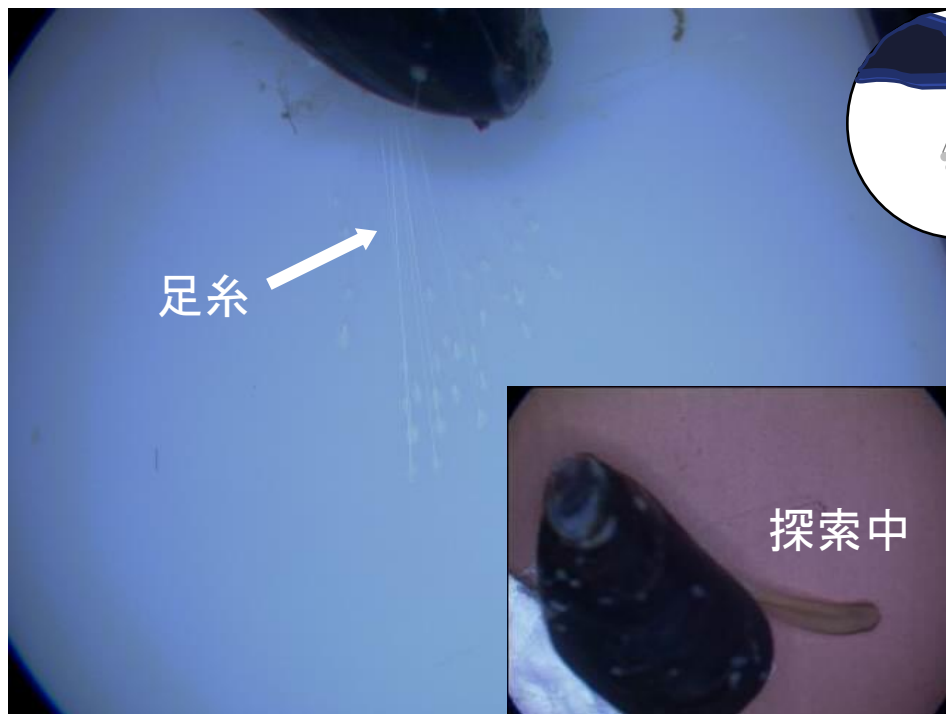
室内飼育1~2週間

試験片 (5×5cm)



3枚が1セット

ムラサキイガイ幼貝(6-10mm)
を試験片の5カ所に接着固定

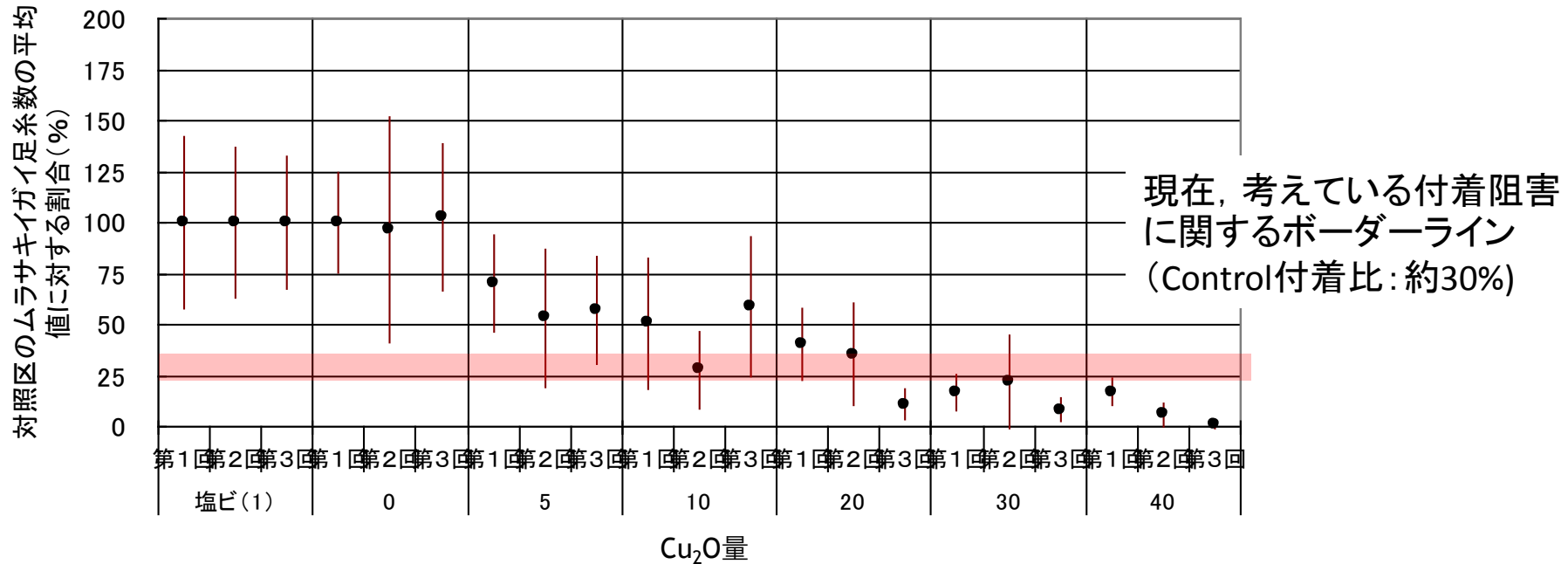


- ①試験水:天然海水(ろ過)
- ②換水率:14ml/min
- ③試験期間:24hrs
(1day: 12hrs明 + 12hrs暗)

足糸(繊維状の接着タンパク質)の
形成数を顕微鏡でカウント。

ラボ生物付着試験：ムラサキイガイ

Cu₂O量に対する足系形成数の割合（3回試験）



■ Cu₂O量に対する足系形成数の評価

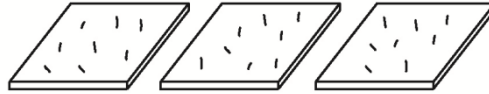
- 統計的に比較した場合、Cu₂O量5%の試験片でも防汚効果がありそうであるが、データのバラツキも大きいため、防汚効果があるとは断定することが困難
- 対照区に対する足系数の割合が25%程度以下であれば、データのバラツキもなく、防汚効果があると判定可能
- 実海域性能およびタテジマフジツボ試験結果を加味して付着阻害効果ありとするControlに対する割合を追加試験を踏まえて検討中

ラボ生物付着試験：スジアオノリ



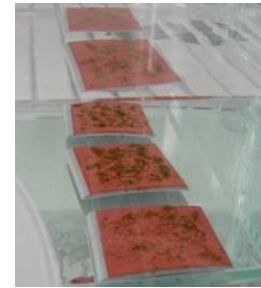
冷蔵保存株を
1~2mmに細断

試験片 (5×5cm)

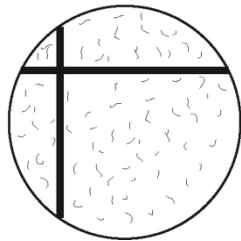


葉片を洗浄後、試験片
3枚にピペットで葉片を
均一に散布

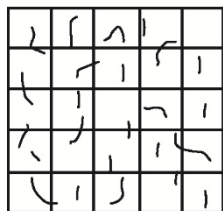
3枚が1セット



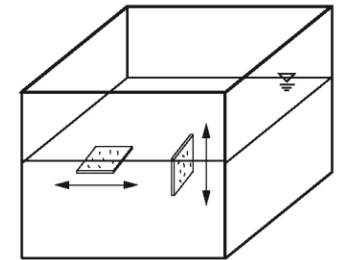
- ①試験水:天然海水(ろ過)
- ②換水率:14ml/min
- ③試験期間:7days
(1day: 12hrs明 + 12hrs暗)



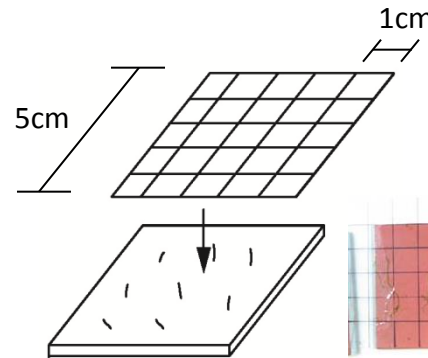
発芽した個体の付着
箇所数(区画数)を顕
微鏡でカウント



葉片の付着箇所数
(区画数)を目視で
カウント



7日後に試験
片を水槽内で
上下左右にゆ
すった後、取り
出し

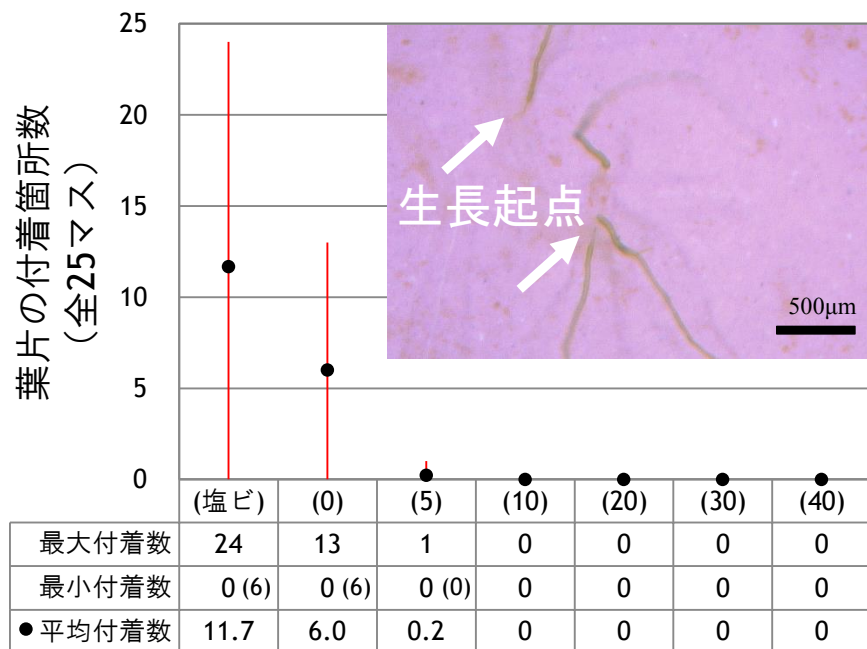


試験片の上に25区
割りした透明な枠
(1cm四方に区分)を
かぶせる。

ラボ生物付着試験：スジアオノリ

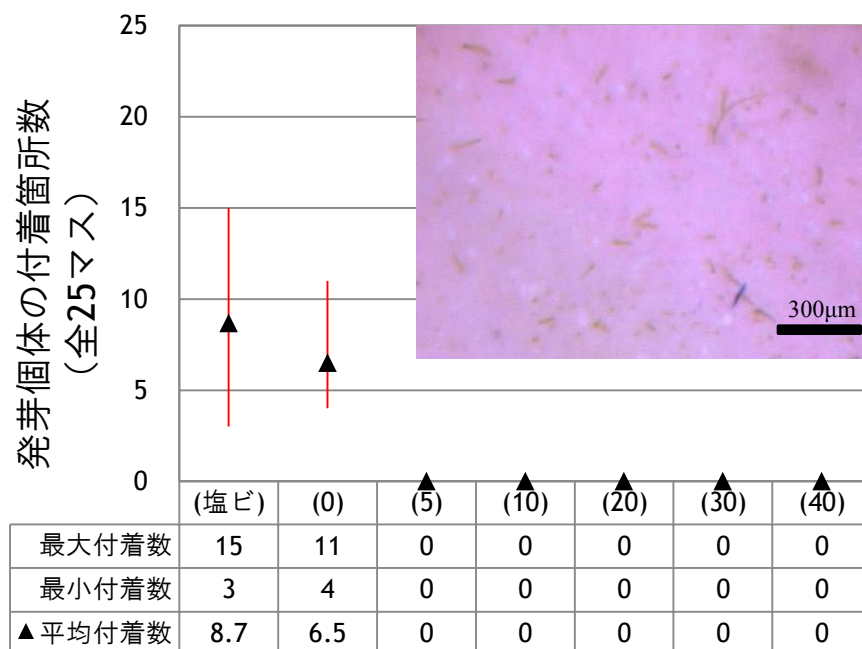
- ・発芽個体の付着は，水温20，25℃では観察できたが，水温15℃ではできなかった。
- ・葉片の生長は，低温での試験条件が良好であり，試験水温は20℃が望ましい。

葉片の付着マス数（3回平均）



*2回目以降，葉片の投入量を増量
() 内は増量後の結果

発芽個体の付着マス数（2回平均*）



*1回目は有無のみ評価
有り：塩ビ，0，5%

■ 葉片付着数および発芽個体数の評価

- Cu₂O量5%以上の試験片で付着阻害効果ありと判定（ごく僅かな結果を踏まえると，Cu₂O量10%以上の試験片で付着阻害効果あり）。

試験結果の相関（暫定）

	付着時期	Control (塩ビ)	Cu ₂ O量						
			0	5	10	20	30	40	
実海域 静置 浸漬	動物種 (成体付着を目視)	夏~秋	×	×	×	×	○	○	○
	藻類 (目視)	ほぼ通 年	×	×	○ ^[1]	○ ^[1]	○ ^[1]	○	○
	溶出速度 (Round2抜粋)	—	—	—	9.3 - 11.5	7.9 - 13.4	12.3 - 12.7	12.5 - 15.0	13.4 - 16.5
ラボ 生物 評価 ^[2]	タテジマフジツボの 付着変態数 (割合)	—	100% (基準)	151%	122%	149%	56%	16%	26%
	ムラサキイガイの 足糸形成数 (割合)	—	100% (基準)	109%	65%	51%	30%	16%	10%
	スジオアノリ葉片の 付着マス数 (割合)	—	100% (基準)	66%	33% ^[3]	0%	0%	0%	0%

[1]一部の試験で、ごく僅かな付着を確認している (Page 6) .

[2]ラボ生物試験は試験方法の改良過程の試験結果を含んでいる.

[3]Round1試験のみで付着. Control板の付着数が非常に小さかったことを要考慮.

まとめ

- 異なる量の亜酸化銅（防汚剤）を有する試験塗料を用いることで、実海域浸漬試験とラボ生物試験（タテジマフジツボ，ムラサキイガイ，スジアオノリ）で生物付着の違いを確認することが出来た。
- また、実海域浸漬試験とラボ生物試験の生物付着傾向は、概ね等しい結果になることを確認することが出来た。
 - 実海域浸漬1ヵ月で確認された管棲多毛類，フジツボやコケムシの動物種及び藻類の付着に関する年間で付着しやすい時期に必要な防汚性能として，ラボ生物試験でControl（塩ビ板）比30%程度以下の付着率であれば，実海域でも生物付着のリスクが小さい相関結果を得た。

謝辞

本研究は日本財団の助成事業「船舶関係諸基準に関する調査研究」の一環として、（一財）日本船舶技術研究協会の「2013年度，船体付着生物管理に関する調査研究（船体付着生物管理プロジェクト）」において実施された。ここに感謝の意を表す。