

## 船底防汚塗料の防汚性能評価試験法に関する 国際規格化への取り組み

小島 隆志\*, 千葉 知義\*\*, 安藤 裕友\*

### **Efforts toward an international-standardization on bioassay methods for screening anti-fouling paints**

by

Ryuji KOJIMA\*, Tomoyoshi CHIBA\*\* and Hirotomo ANDO\*

#### Abstract

Translocation of marine organisms caused by ships' hull fouling has been one of the major agendas of International Maritime Organization (IMO). Recommendations of action against ships' biofouling have been summarized in Resolution MEPC. 207 (62) as the guidelines adopted in 2011. The guidelines note that anti-fouling system is the primary means of biofouling prevention and control for existing ships' submerged surfaces, including the hull and niche areas, and also recommend that the shipping industries obtain appropriate technical advice to ensure an appropriate system being applied or installed. Since fouling behavior exhibits a wide variety, it should be more realistic and effective to apply a voluntary scheme to recommend the employment of the best available technology based on appropriate technical advice, rather than apply a mandatory framework with numerical restrictions. As one of the tools to develop preferable systems, establishing assessment methods for anti-fouling paints independent of geological and seasonal variation of the tests is essential. However, there are no assessment methods yielding objective results available. Thus, Japan has proposed an international standard of bioassay methods for screening anti-fouling paints that consists of three parts; Part 1 on general requirement, Part 2 on using barnacles and Part 3 on using mussels that are currently under consideration in ISO/TC8/SC2/WG5.

---

\* 環境・動力系, \*\* 中国塗料株式会社

原稿受付 令和元年 7 月 22 日

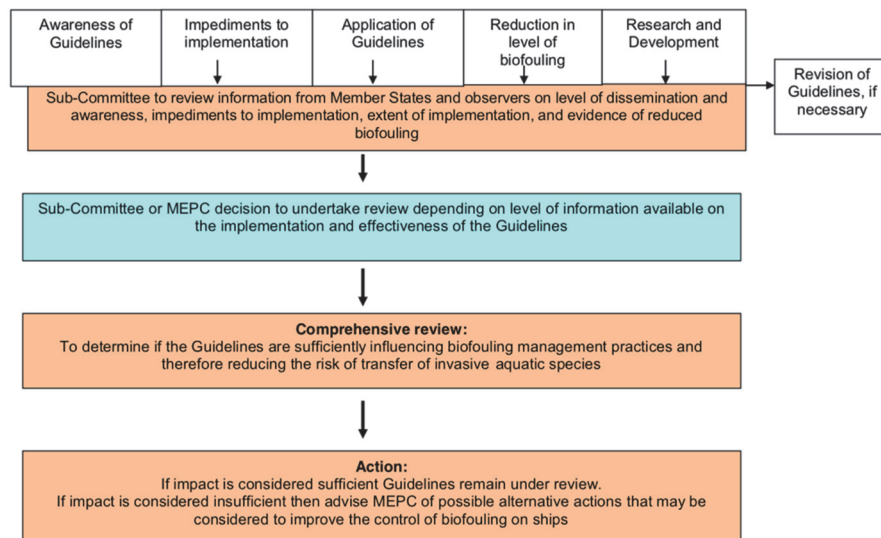
審査日 令和元年 8 月 14 日

## 目 次

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 1. はじめに .....                        | 34 |
| 2. ISO 21716 シリーズの提案と審議 .....        | 35 |
| 2.1 国際標準化の必要性 .....                  | 35 |
| 2.1.1 ガイドラインの背景 .....                | 35 |
| 2.1.2 最適な防汚技術を用いた枠組み .....           | 35 |
| 2.1.3 従来の船底防汚塗料の防汚性能評価方法 .....       | 36 |
| 2.1.4 ラボ生物試験による船底防汚塗料の防汚性能評価方法 ..... | 36 |
| 2.2 国際標準化の趣旨 .....                   | 37 |
| 2.2.1 国際標準化の内容 .....                 | 37 |
| 2.2.2 審議に至るまでの準備および状況 .....          | 39 |
| 3. まとめおよび今後の予定 .....                 | 40 |
| 謝辞 .....                             | 40 |
| 参考文献 .....                           | 40 |

## 1. はじめに

船舶による生物越境移動は、海洋環境に大きな影響を及ぼすことが問題となっている。生物越境移動による海洋環境への影響を抑制するために、国際海事機関（IMO）において具体的な取り組みが始まっている。船舶のバラスト水を介した水生生物の越境移動防止に関して IMO は、「バラスト水及び沈殿物の管制及び管理のための国際条約（バラスト水管理条約）」を 2004 年に採択し、2017 年 9 月 8 日に発効した。この条約により、バラスト水起因の生物越境移動への規制・管理に関して、具体的な措置が取られるようになった。一方、船舶の外板等に付着した生物の移動は、海洋生態系の攪乱を促進する点で、バラスト水に取って代わり、海洋環境にとって大きな問題となっている。そのような中で、生物越境移動防止対策について IMO で審議され、第 62 回海洋環境保護委員会（MEPC 62）において IMO は、非強制の船体生物付着管理に関するガイドライン（以下ガイドラインと記す）を 2011 年 7 月 15 日に採択した<sup>[1]</sup>。IMO では、ガイドラインの順守等の規制強化や、ガイドラインの実行性について議論が活発化しており、ガイドラインのレビューに関する新規作業計画が MEPC に提案されたため、図 1 に示すガイドライン実施の効果について現在検証が行われている<sup>[2,3]</sup>。

図 1 ガイドラインのレビュープロセスの概要<sup>[2]</sup>

これらの検証結果により、IMO はガイドラインに対する包括的なレビューを実施することとなっており、その内容によっては我が国の海事産業にとって大きな影響を及ぼすことが予想される。

現在最も効果的な防汚技術として、船底防汚塗料(anti-fouling paint)がある。防汚塗料は、船舶の没水部表面への生物付着を防止する塗料であり、塗料中の防汚機能を示す成分、すなわち防汚剤(biocide)を非常に緩やかな速度（1日あたりの1cm<sup>2</sup>の面積からの防汚剤の溶出量は数十μg以下）で海水中に溶出させ、塗料表面近傍で防汚剤の忌避・殺生物効果により生物の付着を防止する。従って、船舶に防汚効果の高い防汚塗料を導入することで、効果的な船体付着生物管理を達成できる。ガイドラインの観点から、船舶に導入する船底防汚塗料については、性能を評価し防汚効果が高いことを事前に確認し、使用が認証される枠組みを構築することが必要である。そのためには、船底防汚塗料の防汚性能を適切に評価する国際的に標準化された手法が必要である。

## 2. ISO 21716 シリーズの提案と審議

### 2.1 国際標準化の必要性

#### 2.1.1 ガイドラインの背景

船体への生物付着防止に対する取り組みは、海運業者にとっては船舶の推進抵抗を低減することによる燃費向上、および排ガスの排出低減に繋がることから、経済性および環境対策の観点から効果が大きい<sup>[4]</sup>。ガイドラインは現時点では義務化はされていないが、海運業者は自主的努力により船体の汚損管理を実施している。しかしながら、海運業者が自主的に実施している防汚対策だけでは、ガイドラインの勧告事項を十分に達成できないと、IMO に判断される可能性がある。ガイドラインの実施の効果については、IMO にて 2019 年度内に包括的なレビューが実施されることとなっている<sup>[3]</sup>。包括的なレビューにおいて、現在の防汚対策だけではガイドラインの勧告事項を十分に達成できないと IMO が判断した場合、ガイドラインの義務化を含む防汚対策の規制強化に、IMO での審議が進む可能性がある。そのため、今後ガイドラインの義務化を含む船体の防汚対策の規制強化に向けては、具体的にはバラスト水管理条約で実施されているような、数値的な規制による管理（例えば、防汚範囲の数値的規制、汚損船舶の判断基準および許容される汚損状況の閾値の設定）が予想される。

船舶の汚損管理においては、没水表面に生物付着を防止する船底防汚塗料の塗布や、シーチェストへの海生生物付着防止装置(Marine Growth Prevention System: MGPS)の設置、船底および船体の水中洗浄 (in-water cleaning) や乾ドック等を実施している。この中で、船底防汚塗料は生物の船体付着防止にとって第一の方策 (the primary means of biofouling) であることが、ガイドライン 6.3 に明確に記載されており<sup>[1]</sup>、そのため、最適な防汚方法の選定方法等、生物越境移動防止策を示すための対応策を検討し準備しておくことは重要である。

特にガイドラインでは、防汚方法の選定や施工については、専門家からの適切なアドバイスや勧告に従うとされている<sup>[1]</sup>。従って、船底防汚塗料および塗料に関連する事業者は、船底防汚塗料の選択について責任のある対応が必要となってくる。そのための対策は、船主や造船所ではなく、全て塗料製造業者の責任にされる可能性が高い。その結果、塗料製造業者は、そのためにかかる、非常に大きなコスト的な負担を強いられることになる。従って、その負担を避けるためには、現状の範囲で利用可能な最高の (Best Available Technology: BAT)、そして経済的に実現可能性のある(economical feasibility)技術により、防汚管理が実施されていれば、ガイドラインにおいて船舶の防汚管理は許容される枠組みに収まると考えられる。

#### 2.1.2 最適な防汚技術を用いた枠組み

BAT を用いた枠組みの構築には、船底防汚塗料であれば塗料の客観的な防汚性能 (efficacy) を判定できる枠組み、すなわち、第三者機関の専門家による認証スキームが必要となる。この認証スキームの方法には、一般に公開され入手可能であり、客観的かつ再現性のある防汚性能を評価する方法およびデータが必要となる。ガイドラインの別の問題としては、船底防汚塗料を認証する方法やスキームが曖昧なことから、防汚性能の低い船底防汚塗料が市場に流通している点がある。現状では、当事者（塗料製造業者と船主または造船所）同士が船底防汚塗料の導入・施工に合意していても、ガイドラインの強制化・条約化では、ガイドライン 6.3 に記載してある”appropriate advice”<sup>[1]</sup>が何を示すのかが、大変曖昧であるために、その内容についての具体的な記述や詳細化が

必要となる。従って、船底防汚塗料の導入が現状の当事者間の合意上のスキームであっても、将来的に船底防汚塗料の選定・施工に、第三者機関の専門家からの認証が必要であろう。

### 2.1.3 従来の船底防汚塗料の防汚性能評価方法

2001 年の船舶の有害な防汚方法の規制に関する国際条約（International Convention on the Control of Harmful Anti-fouling Systems on Ships, 2001 ; AFS 条約）採択に始まった防汚塗料の環境規制は次第に強化され、欧州の BPD/BPR（Biocidal Products Directive/ Biocidal Products Regulation）の制定等、船底防汚塗料の海洋環境リスク評価による記載が一部の国で実施されている<sup>[5]</sup>。防汚剤を用いる船底防汚塗料は、海洋環境に対して何らかのリスクを伴うものであり、その評価において利点があることを示す必要がある。このためリスク評価においては、一般に防汚性能のデータが求められる。この場合の防汚性能データは、生物越境移動問題とは異なり、船底防汚塗料がある程度の防汚性能を持つことが示されればよい。しかし、生物越境移動防止のための船底防汚塗料では、BAT であることを裏付ける防汚性能が必要であり、客観性が求められる。

生物汚損は生物種や季節により異なる複雑な現象であることから、単一の試験で評価することは困難である。船底防汚塗料の防汚性能は、各塗料製造業者が独自の試験（in-house）で実施され評価されている。評価方法は、実海域に長期的に浸漬（最低 1 ヶ月以上）する raft 試験や、実船の船底や船体外板に試験片を取り付ける patch test 等であり、対照区（船底防汚塗料を塗布していない試験片）に対する実験区（船底防汚塗料を塗布した試験片）の汚損状態を比較するものである。これらの方法は、何種類もの試験片や、非常に長期間の防汚効果の発現する時間が必要となるなど、コスト的に高価となる<sup>[6]</sup>。さらに実海域試験においては、生物汚損に影響を与える海水性状、試験の地理的および季節的な変動が大きく、汚損が生じる対照区および実験区の状態が試験毎に大きく異なる。このため、同一船底塗料の汚損状態を比較・検証することは困難であり、これらの試験には、再現性や客観性が不足している。従って、船底防汚塗料の防汚性能評価においては、安定した試験環境下で試験条件を一定に保つことにより、試験結果の再現性が担保されることが重要である。

防汚性能に関しては、欧州化学機関（ECHA : European Chemical Agency）のガイドライン<sup>[7]</sup>やガイダンス<sup>[8]</sup>に項目があるが、その内容は一般的なものであり、防汚性能に関する試験法や条件など詳細な記述はない。さらに、欧州塗料工業会(the European Council of the paint, printing ink and artists' colours industry)の防汚作業部会のテクニカルレポート<sup>[9]</sup>や、米国試験材料協会(American Society for Testing and Materials: ASTM)<sup>[10]</sup>にも標準試験方法の記載はあるが、実海域試験の raft 試験に関する記述であり、試験概要（コンセプト）のみで、具体的な方法（ラボ試験）についての記載はない。このように、efficacy に関する記述はあるものの、試験の詳細についての記載はなく、主に実海域試験（raft 試験）の記述にとどまっている。

### 2.1.4 ラボ生物試験による船底防汚塗料の防汚性能評価方法

ラボ試験では、条件を制御することで比較的再現性のあるデータを得ることができる。生物汚損に影響を与える因子を排除し、客観性および再現性のある船底防汚塗料の性能評価に関する試験データを取得するためには、試験水や試験条件等が厳密に管理された試験方法を構築し、試験場所や季節に依存しないラボ試験を実施する必要がある。このような試験を組み合わせることで、客観性を保持しながら実船での防汚性能を推定することができる。天然物由来成分や有機合成手法による新規化学物質の防汚性能は、汚損生物に対する忌避行動研究、毒性試験等、止水条件（static）でのプレート等を用いた生物試験による、化学物質そのもの（評価対象となる防汚物質のみ）の評価試験が多く実施されてきた<sup>[11]</sup>。この方法を船底防汚塗料の塗装面に対して適用する場合、二つの大きな問題点がある。一つは、船舶の船底塗料は塗装直後から塗膜性状が大きく変化し、一般に塗装直後の防汚剤溶出速度が高く、塗料種にも依るが一定期間の海水浸漬後（通常は 45 日程度）でないと安定的な溶出挙動を示さない点である<sup>[12-15]</sup>。供試生物を用いたラボ付着試験においても、このような塗装面の変化を考慮する必要がある。もう一つは、塗装面から溶出する防汚剤およびその分解（または代謝）物が、試験容器内の試験海水に蓄積されることによる、供試生物への影響である。防汚剤が溶出することで防汚効果を発現する船底防汚塗料に対する、その塗膜面の効果を評価するためには、試験容器内の防汚剤の濃度を供試生物への影響が及ばない一定範囲で、例えば生物無影響濃度（NOEC: Non Observed Effect Concentration）以下に制御する必要がある。これらの二つの問題を解決することができれば、ラボ試験は試験場所や季節に依存しない再現性のある試験となる。また、この試験から得られる客観性のある試験データは、さらに高次の Tier 試験、すなわち raft 試験や実船試験に向け



た船底防汚塗料の選定に、合理的な科学的知見を有するツールとなり得る。従って、ラボ試験は単独で実施されるものではなく、従来の試験法と組み合わせることで、実際の船底防汚塗料の性能を推定することができる。

## 2.2 国際標準化の趣旨

再現性の良いラボ生物試験方法を我が国が開発したことから<sup>[16, 17]</sup>、国際標準化機構／船舶および海洋技術専門委員会／海洋環境保護分科委員会／船底防汚システム作業委員会（ISO/TC8/SC2/WG5）において、船底防汚塗料の性能評価試験法を国際標準化する審議が開始されている。ラボ生物試験は、試験データのばらつきを抑制するために単一の供試生物毎に試験を実施する。一方、供試生物の付着挙動は生物種により異なるため、汎用性を持たせるためには、複数の生物種に対する試験方法を準備する必要がある。このため、開発した試験方法は、生物種毎に複数のパートに分け、それに共通事項を定めたパートを加えた構成となっている。ISO は科学者・技術者の国際的な共同体であり、合理的な議論により結論を得ることに適した機関である。また、このような標準試験法が制定されれば、技術が正当に評価されるようになり、さらには防汚対策の基準に満たない製品（sub-standard）を市場から排除するための方法となり得る。

### 2.2.1 国際標準化の内容

ISO/TC8/SC2/WG5 で審議中の本標準案は、防汚剤を含む船底防汚塗料のスクリーニングに用いられるラボ生物試験方法であり、塗膜表面の物理的性質により生物付着を防止する FRC 塗料（foul release coatings, 船舶の航行中等の外部流れ場により付着した生物を剥離し防汚機能を保持する塗料で、シリコン系やテフロン系塗料等がある）や、バラスト水管理条約に用いられる防汚方法には適用しない。また、本標準案は、殺生物剤（pesticide）や防汚剤の製品登録、その他規制または管理には使用しないことや、船底防汚塗料製品間の優劣や比較には用いないこととしている。本標準案は、船底防汚塗料の性能評価に関する試験法であり、4つのパートに分けられる。

ISO 21716-1 は、試験片の調製および試験法に関する一般要件である。試験片の調製は図2に示す手順の通りであり、塗膜を安定化させるための養生を含む。養生は、試験者により、動的（dynamic）方法、静的（static）方法、または動的/静的方法を組み合わせた方法が推奨される。また、ラボ生物試験に重要な流水式試験装置については、図2に示すような構成となるが、その方法については各パートで個別に定義することとなっている。

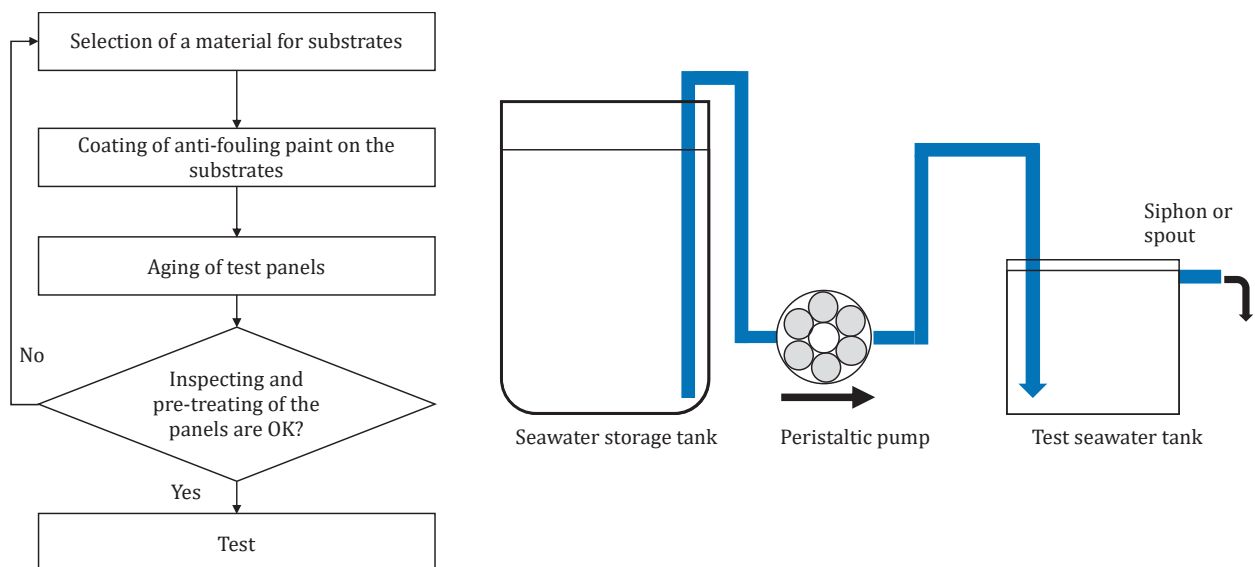


図2 ISO 21716-1 での試験片調製のフロー図（左）および流水式試験装置の概略図（右）

ISO 21716-2 は、フジツボ種（本標準案は、*Amphibalanus amphitrite* を推奨する）のキプリス幼生を用いた流水式ラボ生物試験方法である<sup>[16]</sup>。試験法は、キプリス幼生の飼育および試験海水の調製、キプリス幼生を収容するプリズムの作成、生物試験および試験結果の評価、から構成されている。ISO 21716-2 での実験フロー図を図3に示す。この試験法では、所定の条件で飼育したキプリス幼生の健康状態を評価し生物試験に供することとなっ

ている。生物試験は、流水条件下で、かつ厳密に制御・管理された試験条件下で実施され、実験区または対照区 1 枚につき、白色アクリルプレート 2 枚を用いて構成されるプリズム（図 3）を用いて、実験区または対照区の試験片に付着するキブリス幼生の個体数を計測する。併せて、試験片以外の場所に付着した個体数、死亡個体数、試験片に未付着で生存する個体数も計測する。これらの個体数より、実験区および対照区のキブリス幼生の付着率を求め、これらの付着率を比較することで、船底防汚塗料の性能を評価する。

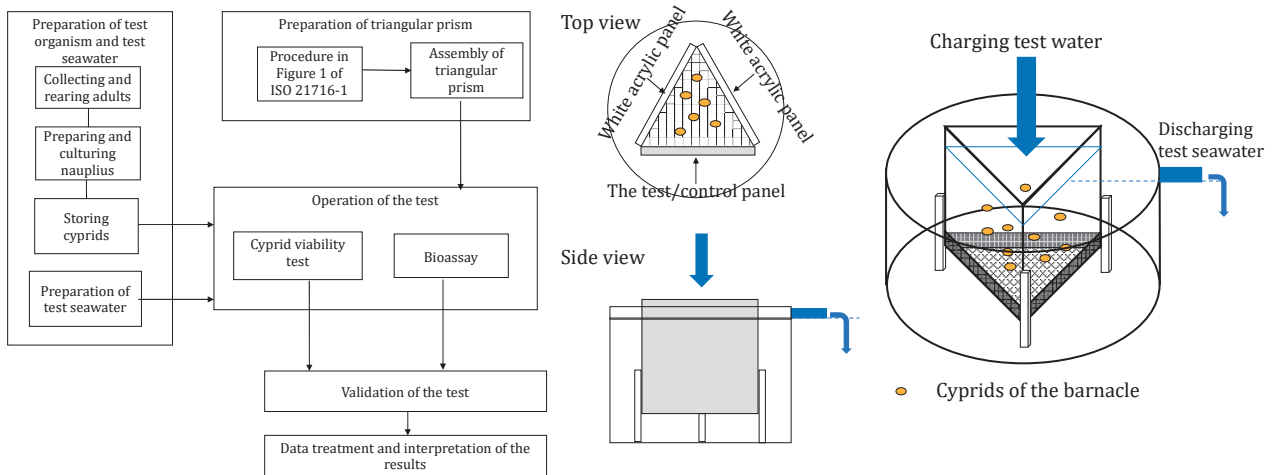


図 3 ISO 21716-2 の生物試験フロー図（左）および用いるプリズムの概略図（右）

ISO 21716-3 は、イガイ種(本標準案は、*Mytilus galloprovincialis* を推奨する)の幼貝を用いた流水式ラボ生物試験方法である<sup>[17]</sup>。試験法は、イガイ幼貝の飼育・馴致および試験海水の調製、イガイの試験片への固定化方法、生物試験および試験結果の評価、から構成されている。ISO 21716-3 での実験フロー図を図 4 に示す。この試験法では、所定の条件で飼育したイガイは、試験環境に馴致させられ、馴致後の個体の生物活性を確認した上で、生物試験に供されることとなっている。生物試験は、流水条件下で、かつ厳密に制御・管理された試験条件下で実施される。イガイは、実験区および対照区の試験片表面に、個体同士の干渉を避けるよう、試験片と個体との間にスペーサーを用いて、1 試験片あたり 5 個体が配置・固定化される（図 4）。イガイは、足糸（高分子状のフィラメント）を用いて付着基盤に固定するが、固定場所の状況により足糸を切断することができ、このため試験者は、付着基盤の表面にブランク（足糸の固定位置に残る高分子状の塊）を観察できる。よって、本試験では、イガイの個体から実験区または対照区の試験片表面に形成・固定化される足糸数に、ブランク形成数を計測することで、付着を評価している。これらの足糸形成数を比較することで、船底防汚塗料の性能を評価する。

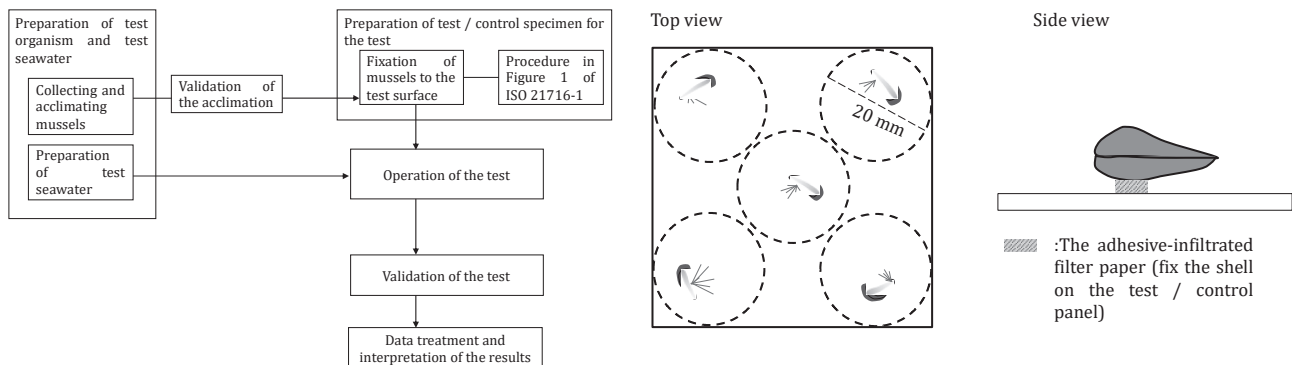


図 4 ISO 21716-3 の生物試験フロー図（左）および試験片へのイガイ固定化方法（右）

ISO 21716-4（追加提案予定）は、藻類（生物種は検討中）を用いた流水式ラゴ生物試験方法であるが、現在開発中である<sup>[18]</sup>。なおこれらの標準案は、試験データの統計解析手法を用いて有意差検定を実施し評価することとしている。

## 2.2.2 審議に至るまでの準備および状況

国際標準化は、図5に示す手順で審議され制定される。



図5 国際標準発行までのプロセスの概要<sup>[19]</sup>

本標準案については、日本塗料工業会および国際塗料印刷インキ協議会(International Paint and Printing Ink Industry Council: IPPIC)の防汚塗料作業部会(IPPIC-AFWG)と2015年度から協議を続けてきた。その後、ISO/TC8/SC2において、NP(新規提案)としての予備検討を開始し、我が国提案としてNP投票プロセスが、2016年5月19日から2016年8月19日までの期間実施された。しかしながらこの投票においては、NP成立条件<sup>[19]</sup>(投票国の2/3以上の賛成と、賛成国のうちPメンバー(participating member)5カ国のエキスパート登録)を満たすことができず承認されなかった。このため、我が国は、海外塗料製造業者への再度の協力依頼、NP内容の説明と必要性、および生物越境移動に対する塗料製造業者への問題喚起のため、2017年3月のIPPIC-AFWG香港会合にてNPに関するプレゼンテーションを実施した。その後、2017年6月にTC8/SC2総会がペイントン(英国)で開催され、我が国は、作業委員会参加予定者に向けて、ガイドラインの塗料業界への影響、NP提案の必要性、ならびに試験法の内容説明を目的としたワークショップを開催し、NP提案を広く周知させた<sup>[20]</sup>。

これらの事前準備を経て、第2回のNP投票が、2017年10月6日から2017年12月31日までの期間実施された。その結果、NPは2018年1月に採択されてTC8/SC2/WG5が発足し、ISO番号の21716が割り振られた。その後、TC8/SC2総会が国際海事大学(マルメ)で開催され、WG5は本格的なWD(作業原案)審議を開始した<sup>[21]</sup>。総会後に、メンバー国からのコメントを反映しWDを修正したが、WG5での審議をさらに加速させるため、WG5は次回TC8/SC2総会までに中間会合を開催することに合意した。そこで、2019年1月にDIN(ドイツ規格協会)ハンブルグ支部にて中間会合を開催した<sup>[22]</sup>。これらの会合を経て、2019年6月にTC8/SC2総会が京都リサーチパークにて開催され、WG5はWDを審議するとともに、CD(委員会原案)投票に向けて準備することに合意し、作業を継続している<sup>[23]</sup>。

### 3. 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となっており、2011 年に採択されたガイドラインにより、生物越境移動の抑制が実施されている。しかし、船体への生物付着を完全に防止することは困難であり、さらに厳格な防汚管理の要求があることは必至の情勢となっている。ガイドラインの条約化による義務要件の制定が求められる可能性があるが、多様な生物の付着挙動に対応するためには、画一的な規制を課するのではなく、専門家のアドバイスに基づく最適技術の適用を推奨する方法が望ましい。このような体制を構築するための手段の一つとして、船底防汚塗料の性能を客観的に評価する試験法の確立が必要である。

実船試験や raft 試験は、実際の船舶の付着実態に近い条件で実施されるが、地理的および季節的因子による汚損への影響が大きく、船底防汚塗料の試験実施毎に得られる試験結果は再現性・客観性を有しない。そのため試験データの客観性を補足するために、汚損への変動因子に依存しないラボ生物試験を構築することで、ガイドラインに関する IMO の枠組みを構成する技術的なツールが整備される。客観性を有する船底防汚塗料の性能評価に関する試験法の確立は、専門家のアドバイスを基本とする枠組みの導入を促進する上で不可欠である。そのため、我が国はラボ生物試験法を確立し、その試験方法を国際標準化するために、ISO/TC8/SC2/WG5 にてメンバー国の協力を得て作業を進めている。今後の本標準案の審議については、WG5 は CD 投票に向けた準備を進めており、その CD 投票を 2019 年 8 月に開始することに合意している。その後、2019 年 11 月頃に第 2 回中間会合を欧州で開催することとし、WD 内容の精査および修正を経て、2019 年 12 月には DIS（国際規格原案）投票案を最終化させ、FDIS（最終国際規格案）を 2020 年度内成立させるために WG5 は作業を進めている。さらに、藻類試験法（Part-4）の追加提案については、WG5 は合意しており、早急な試験法の開発が望まれている。

### 謝 辞

本研究は（一財）日本船舶技術研究協会の「タンカー・バルカー等の構造に関わる基準整備に関する調査研究（2012年度、2013年度、2014年度）」、および「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）（2016年度、2017年度）防汚塗料の性能評価に関する調査研究 - ラボ生物付着試験に関する試験方法案の改良-」及び日本財団の助成事業にて実施された。ここに感謝の意を表す。また、ラボ試験方法の検討においては、日本船舶技術研究協会 千田哲也氏、日本NUS株式会社 小林聖治氏、松村知明氏、永井則安氏、勝山一郎氏、Newcastle大学 Anthony S Clare氏、海洋生物環境研究所 加戸隆介氏、長崎大学 Cyril Glenn Perez Satuito氏、電力中央研究所 野方靖行氏、大阪市立博物館 大谷道夫氏、神戸大学 川井浩史氏、秋田慎吾氏、北里大学 難波信由氏、松村清隆氏、中国塗料株式会社 関庸之氏、友弘智氏、佐藤秀彦氏、日本ペイントマリン株式会社 島田守氏、MECコンサル 吉川榮一氏、および船舶技術研究協会防汚塗料WGメンバーより、ご助言およびご指導を頂いた。さらに防汚剤については、海上技術安全研究所 柴田俊明氏、ならびに筑波大学研究基盤総合センター 小川恵子氏に分析前処理および定量分析で大変お世話になった。これらに対して深く感謝の意を表す。

### 参考文献

- 1) IMO, 2011. The guidelines for the control and management of ships' biofouling to minimize the transfer of invasive species, Resolution MEPC. 207(62).
- 2) IMO, 2013. Guidance for evaluating the 2011 guidelines for the control and management of ships' biofouling to minimize the transfer of invasive aquatic species, MEPC. 1/Circ. 811.
- 3) IMO, 2018. Review of the 2011 Guidelines for the control and management of ships' biofouling to minimize the transfer of invasive aquatic species (resolution MEPC. 207 (62)), MEPC/72/15/1.



- 4) M. P. Schultz, J. A. Bendick, E. R. Holm and W. M. Hertel, 2010. Economic impact of biofouling on a naval surface ship, *Biofouling*, pp. 87-98; doi: 10.1080/08927014.2010.542809.
- 5) European Commission, 2003. Technical guidance document on risk assessment in support of Commission Directive 93/67/EEC on risk assessment for new notified substances, Commission Regulation (EC) No. 1488/94 on Risk Assessment for existing substances, Directive 98/8/EC of the European Parliament and of the Council concerning the placing of biocidal products on the market (Part II), Institute for Health and Consumer Protection, European Chemicals Bureau. EUR 20418 EN/2.
- 6) B. AP. Da Gama, R.C. Pereira, A. R. Soares, V. L. Teixeira and Y. Yoneshigue-Valentin, 2003. Is the Mussel Test a good Indicator of Antifouling Activity? A Comparison Between Laboratory and Field Assays. *Biofouling*, 9, pp. 161-169; doi: 10.1080/0892701031000089534.
- 7) ECHA, 2014. Transitional Guidance on the Biocidal Products Regulation- Transitional Guidance on Efficacy Assessment for Product Type 21 Antifouling Products.
- 8) ECHA, 2017. Guidance on the BPR, Volume II Parts B+C, version 2.0.
- 9) CEPE, 2012. Efficacy evaluation of antifouling products. Conduct and reporting of antifouling efficacy evaluation trials, CEPE Antifouling Working Group.
- 10) ASTM, 2004. ASTM D3623-78a, Standard Test Method for Testing Antifouling Panels in Shallow Submergence. (which is linked to ASTM D 6990-5 (2011): Standard Practice for Evaluating Biofouling Resistance and Physical Performance of Marine Coating Systems.
- 11) J. F. Briand, 2009. Marine biofouling laboratory bioassay: an overview of their diversity. *Biofouling*, 25, pp. 297-311; doi: 10.1080/08927010902745316.
- 12) A. A. Finnie, 2006. Improved estimates of environmental copper release rates from antifouling products, *Biofouling*, 22, pp. 279-291.
- 13) R. Kojima, T. Shibata and K. Ueda, 2016. Leaching Phenomena of Antifouling Agents from Ships' Hull Paints, *Jour. Shipping and Ocean Engineering*, 6, pp. 269-278.
- 14) E. R. Holm, M. P. Schultz, E. G. Haslbeck, W. J. Talboti and A. J. Field, 2004. Evaluation of Hydrodynamic Drag on Experimental Fouling release Surfaces, using Rotating Disks, *Biofouling*, 20, pp. 219-226; doi: 10.1080/089270104000011245.
- 15) ISO, 2007. Paints and varnishes. Determination of release rate of biocides from antifouling paints. Determination of copper-ion concentration in the extract and calculation of the release rate, ISO 15181-2: 2007.
- 16) R. Kojima, S. Kobayashi, K. Matsumura, C. G. P. Satuito, Y. Seki, H. Ando and I. Katsuyama, 2019. Designing a Laboratory Bioassay for Evaluating the Efficacy of Antifouling Paints on *Amphibalanus amphitrite* Using a Flow-through System. *MDPI Coatings*, 9 (2), 112; doi: 10.3390/coatings9020112.
- 17) R. Kojima, S. Kobayashi, C. G. P. Satuito, I. Katsuyama, Y. Seki, H. Ando and T. Senda, 2016. A Method for Evaluating the Efficacy of Antifouling Paints Using *Mytilus galloprovincialis* in the Laboratory in a Flow-through System, *PLoS ONE*, 11 (12), e0168172; doi: 10.1371/journal.pone.0168172.
- 18) R. Kojima, T. Shibata, H. Ando and H. Kawai, 2018. A preliminary approach of laboratory bioassay for the efficacy of antifouling paints using *Ectocarpus siliculosus*, *Proceedings of the 19th International Congress on Marine Corrosion and Fouling (ICMCF 2018)*.
- 19) 日本船舶技術研究協会, 標準化研修講演資料, 2016年8月.
- 20) [https://www.nmri.go.jp/\\_src/7632/koken20170627\\_isotc8sc2\\_paignton17.pdf](https://www.nmri.go.jp/_src/7632/koken20170627_isotc8sc2_paignton17.pdf)
- 21) [https://www.nmri.go.jp/study/contribution/ISO2018/koken20180612\\_isotc8sc2\\_malmo18.pdf](https://www.nmri.go.jp/study/contribution/ISO2018/koken20180612_isotc8sc2_malmo18.pdf)
- 22) [https://www.nmri.go.jp/study/contribution/ISO2019/koken20190121\\_isotc8sc2wg5\\_hamburg19.pdf](https://www.nmri.go.jp/study/contribution/ISO2019/koken20190121_isotc8sc2wg5_hamburg19.pdf)
- 23) [https://www.nmri.go.jp/study/contribution/ISO2019/koken20190529\\_isotc8sc2\\_kyoto19.pdf](https://www.nmri.go.jp/study/contribution/ISO2019/koken20190529_isotc8sc2_kyoto19.pdf)