

船底防汚塗料の環境問題に関する国際貢献

千田 哲也*

Contribution of NMRI to the Environmental Issues on Anti-Fouling Paints in International Communities

by

Tetsuya SENDA

1. はじめに

船体外板にフジツボやアオノリ等の生物が付着すると、船舶の推進抵抗を著しく増大させるだけでなく、海生生物の越境移動の加速等の問題を生じる。このため、船体表面には生物に対して活性を有する化学物質（防汚物質）を含む塗料を塗布して、付着を防止している。防汚塗装は、有毒な防汚物質を徐々に海水に溶出して効果を持続させるため、周辺の海域の生態系に影響を与える。有機スズ問題を契機として、船底防汚塗料の海洋環境への影響が注目されている。海上技術安全研究所（及び前身の船舶技術研究所）は、有機スズの禁止及び非スズ系防汚塗料の環境問題について、わが国の中心的機関として関わってきた。本稿では、有機スズを禁止する条約の採択（2001年）以降の当所における防汚塗料問題に関する国際機関での活動を紹介する。

2. 防汚塗料の環境問題

船舶の防汚には、かつて、水銀、ヒ素、鉛、銅等の重金属やその化合物のバイオサイド（殺生物性物質）が防汚剤として用いられてきた。しかし、

これらの物質は、環境影響以前に、施工時の作業者への影響が懸念されるものが多い。一方、有機金属には、付着生物に対するバイオサイドとして高い効果を示す一方で、人体への影響が軽微なものがあり、そのなかでもトリブチルスズ（TBT）等の有機スズ化合物が高い防汚効果を示した。特に、1970年代に開発されたアクリル系の共重合体（co-polymer）による加水分解樹脂が画期的であった。これにより、防汚物質が分子レベルで分散配合されるとともに、加水分解による塗装表面の更新が行われ、長期間安定した防汚効果の維持が達成され、亜酸化銅（ Cu_2O ）との併用で有機スズ塗料は広く使用されるようになった。

しかし、1980年代に入り、養殖カキの収穫が激減するなど、有機スズの影響とされる漁業被害が発生し、さらに海水及び底泥への残存や生物体内の蓄積が報告されたことから、日本や欧米諸国で禁止措置がとられた。一方、船舶の航海は国際的であり、各国個別の規制では十分な効果が得られないため、1988年に、国際海事機関（IMO）の海洋環境保護委員会（MEPC）に対してTBT問題検討の要請が提出された。要請を受けたMEPCで審議が進められ、2001年10月の外交会議で有機スズの使用を禁止する「船舶の有害な防汚方法の規制に関する国際条約」（AFS条約）

* 海洋環境評価系

原稿受付 平成25年1月8日

審査日 平成25年3月4日

が採択された¹⁾。条約は 2008 年に発効し、有機スズ系塗料の使用は全面禁止となった。

AFS 条約は有機スズによる環境汚染への対策を主目的として制定されたが、その審議中に、関連するいくつかの問題点が指摘されていた。その一つは有機スズの禁止による代替塗料への懸念であり、有機スズほど高性能の塗料が得難いことから、推進抵抗の増大（燃費の増大）や生物越境移動の加速が懸念されるとともに、代替防汚物質による新たな環境問題の可能性が指摘されていた。また、禁止物質を使用した場合に、検査・監督の現場でこれを検出する方法がないことが、条約の実効性の観点から懸念が表明されていた。

これらに関しては、条約採択と同時に採択された決議（Resolution）として、各国に対処を要請している。検査方法については、決議 2 において、ガイドラインとして検査やサンプリングの方法の規定を設けるよう要請している。また、非スズ系防汚塗料の環境影響に関しては、決議 3 において附属書（Annex 3）に規定する新規対象物質追加の際の詳細検討の内容を考慮し、防汚方法の承認等に努めること、及び防汚方法の試験・評価方法の調和のための作業を締約国に要請している。

海上技術安全研究所（海技研）では、これらの問題に対して、サンプリングと分析の方法の開発と非スズ系防汚塗料の海洋環境影響評価手法の確立の研究を実施し、その成果を国際機関の活動に反映させてきた。

3. 有機スズ塗料の検査方法

3.1 検査方法の開発

AFS 条約採択に伴い、条約の実効性の確保に重要な、検査・監督における試験方法及びそれに伴うサンプリング方法を確立することが、条約の円滑な実施に必須であるとの認識から、2001 年度から、日本造船研究協会（現在の日本船舶技術研究協会）の第 76 基準部会（RR76、2002 年度から RR-E102 に改称）では、日本財団の助成を得て検査方法の検討に着手した。

海技研では、同協会からの委託を受けて、蛍光 X 線分析によるスズの検出を核とする検査方法の開発を行った。まず、船体からのサンプリングのために、研磨紙を貼付した治具を用いることで船体表面を毀損することなく微量の試料を採取する方法を考案した（図-1 に試作した採取機を示す）。この試料を、検査現場で可搬式の蛍光 X 線分析装置でスズ元素を分析し、スズが検出された場合は、試料を分析機関に送付して条約で禁止



図-1 試作したサンプリング装置による試料採取実験

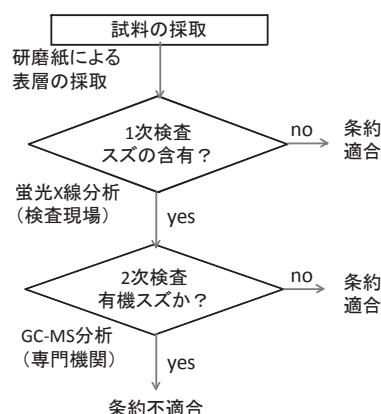


図-2 塗装検査のフロー

された有機スズであるかどうかを分析するという 2 段階の分析による検査手順を構築した（図-2 に手順のフローを示す）。検査手法については既報に詳述している^{2), 3)}。

3.2 IMO におけるガイドラインの策定

外交会議の決議 2 では、次の 3 つのガイドラインを作成するよう IMO に要請している。

- (a) 防汚方法の簡単なサンプリング（brief sampling）のガイドライン
- (b) 船舶の監督（inspection）ガイドライン
- (c) 船舶の検査（survey）ガイドライン

第 47 回海洋環境保護委員会（MEPC 47、2002 年 3 月）では、これらの審議を旗国小委員会（FSI）に付託した。防汚塗装の検査、監督及びサンプリングに関する審議は、FSI の第 10 回会合（FSI 10、2002 年 4 月）及び第 11 回会合（FSI 11、2003 年 4 月）で行われた。各会合では作業部会（WG）が設置され、3 つのガイドライン案の集中審議が行われ、ドラフトが作成された。

サンプリングガイドラインの審議に対して、海技研では、まず、開発中の検査方法の概要をまとめ、RR 76 部会の検討を経て、MEPC 47 への情報文書（MEPC 47/INF.16）として提出した⁴⁾。

また、FSI 10 では、海技研で開発した検査方法についてのプレゼンテーションを行った⁵⁾。FSI 11 でのサンプリングガイドラインのドラフト作成審議では、MEPC 47/INF.16 をもとにわが国提案の方法の詳細説明を行うとともに、サンプリング装置の試作機を会場に持ち込み検査現場での有効性を説明した。

FSI 11 で採択されたドラフトでは、本文に検査方法の要件が記され、検査方法の例としてドイツ提案の手順書が附属書に採録された。しかし、方法は多様であることから、海技研の提案した検査方法についても同様の手順書を作成するよう要請があった。これを受けて、手順書を作成して、2003 年 7 月の MEPC 49 に提出した（MEPC 49/6/1）⁶⁾。MEPC 49 では、FSI から報告されたドラフトに、この日本提案の方法を追加等の修正を行って採択された（船舶の防汚方法の簡単なサンプリング採取に関するガイドライン；MEPC.104(49)）⁷⁾。

例として記載された方法は、いずれも第1次検査でスズ元素の検出を行い、検出された場合に、第2次検査として禁止対象である有機スズかどうかを確認する分析を実施する方式である。有機スズの分析には時間を要すること、塗料に一定以上の量で含まれるスズは有機スズである可能性が極めて高いことから、合理的な方法といえる。

3.3 有機スズ塗装の定義

AFS 条約の附属書1に示す使用禁止物質は「殺生物性物質として機能する有機スズ化合物（organotin compounds which act as biocides）」であり、許容値は示されていない。しかし、防汚塗料自体に有機スズが含まれていなくても、周辺海水に有機スズが存在すれば、サンプリングされた塗装片から付着海水起源の有機スズが検出される可能性があり、厳密な解釈をすれば混乱が起きる。また、第1次検査でのスズ元素の分析では、亜酸化銅の不純物として含まれる微量のスズ（無機スズ）が検出される可能性があり、やはり混乱をまねくことが想定される。

こうした混乱を防止するために、条約の解釈としてスズ量の閾値を定めることが必要と考えられる。そこで、非スズ塗装の実態調査を行った。実船の非スズ系防汚塗装からサンプリングした試料について、スズ含有量の分析を行い、最大で0.2%程度の不純物としてのスズを含むものがあることを明らかにした。この調査をもとに、スズの含有量に閾値を設けることが適切であり、0.25%が適当であるとの報告を情報文書として提出した（MEPC 49/INF.21）⁸⁾。ガイドライン

の審議では、この調査結果を踏まえて、禁止される有機スズ塗料とは、乾燥塗膜1kg中にスズ量が2,500mg以上（すなわち0.25%以上）の有機スズが含まれる場合であるとする定義が定められた（同ガイドライン6.1項）。

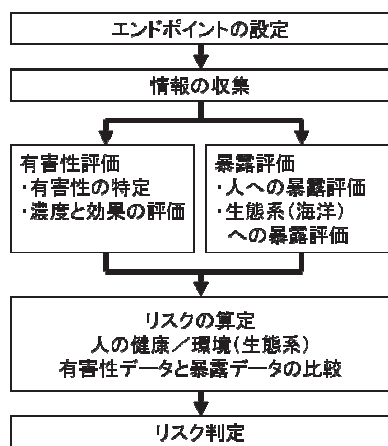
4. 非スズ塗料の環境影響評価

4.1 非スズ系防汚塗料の環境影響

1980年代の防汚塗料の主流は、TBTポリマーに亜酸化銅を配合したものであった。有機スズ禁止以後の防汚塗料の多くは、スズ系と異なりそれ自体は防汚性能をもたない加水分解樹脂（亜鉛ポリマー、銅ポリマー等）に、防汚物質として亜酸化銅を配合している。防汚性能を高めるため、これに補助防汚剤（co-biocide）として有機系活性物質（亜鉛ピリチオン、銅ピリチオン、ピリジントリフェニルボラン等）が添加されている。これらの非スズ系の防汚物質も相当の毒性を有するため、海洋環境への影響が懸念されていた。

AFS 条約では、新たに禁止すべきと判断された物質を附属書1に追加することを提案できるが、そのためには、それらの物質の有害性が高いことを示すことが必要であり、提案に必要なデータのリストが附属書2と3に示されている。提出された情報は、MEPCの下に設けられる技術グループにおいて専門家による検討が行われ、その結果を踏まえてMEPCで附属書1が改訂される。この場合の判断手法に標準的なものがないため、防汚方法の試験・評価方法の国際的な調和のための作業を継続することを決議3で各国に要請している。特に、有機スズのように被害が多数報告された後の措置であれば、因果関係を究明することで評価ができるが、被害が顕在化する前の予防措置として規制する場合は、図-3に示すようなリスク評価手法によらなければならない。

有機スズ禁止以降の防汚塗料の環境問題については、欧米では法制化が進み、環境リスク評価による防汚物質の規制が始まっていた⁹⁾。一方、防汚塗装の大半はアジアの造船所で施工されることから、海洋環境保護のためにはアジアでの規制が必要である。しかしながら、AFS 条約の採択当時、世界的にも非スズ系防汚物質の海洋環境影響評価はほとんど行われておらず、わが国では、防汚塗料の海洋環境リスクを評価して規制をする法的枠組みもなかった（2009年に「化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律」（化審法）が改正され、環境影響が懸念される物質に対してリスク評価を実施する法的根拠ができた）。



図－3 海洋環境リスク評価のフロー

4.2 環境リスク評価手法の ISO 策定

海技研では、2003 年から 7 年にわたり、水産総合研究センター等と共同で、これらの非スズ系防汚物質の海洋環境リスク評価手法の研究を実施していた^{10),11)}。平行して 2005 年度に、日本財団の助成を得て日本船舶技術研究協会に設定されたプロジェクト (SPP) において、国内の塗料及び防汚物質のメーカーや有識者からなる委員会を設置して調査研究を実施した。これらの成果を踏まえ、海技研は、産業界の自主的な認証制度を構築することで、環境保護に関してアジアにおける先進的な地位を確立することを提案した。自主的な制度の客観性と科学的妥当性を確保するために、評価に用いるリスク評価手法を国際標準 (ISO) 化することをあわせて提案した。

防汚塗料の海洋環境リスク評価手法の ISO 化に着手するために、まず 2006 年に海技研で開催された ISO TC8 (船舶海洋技術委員会) SC2 (海洋環境保護小委員会) において、将来テーマとしての予備検討を始めることを提案して SC2 の支持を得た。一方、ISO 化のためには、海外の関係者 (塗料及び防汚物質メーカー等) の合意が必要であるため、2008 年 7 月に、神戸で開催された付着生物に関する国際会議 (14th International Congress on Marine Corrosion and Fouling) のなかで作業部会参加予定者の予備会合を開催した。欧米の参加者からは、本来、法的な規制として実施されるべき問題に対して、自主的な制度として運用することの有効性への疑問が示されたが、アジアの状況を説明することで、可及的速やかに適切な規制を導入するには、業界の自主的な取り組みが必要との認識が共有され、ISO 化への基本的な合意が得られた。

これらの事前準備を経て、2008 年 9 月に防汚

物質 (活性物質) の海洋環境リスク評価手法 (Part 1)¹²⁾ の新規作業項目提案 (NWIP) を行い、TC8 SC2 メンバーによる投票で承認・採択されて 12 月に作業グループ (TC8 SC2 WG5) が発足した。ISO 番号は 13073-1 が割り振られた。防汚塗料の海洋環境リスク評価については、Part 2 (13073-2) として新規作業項目として提案し、承認された¹³⁾。

この標準化は、日本財団の助成により財団法人日本船舶技術研究協会の支援を受け、協会に設置された国内作業グループを中心に日本側の意見のとりまとめを行い、塗料工業の国際団体である国際塗料印刷インキ協議会 (International Paint & Printing Ink Industry Council) の防汚塗料作業部会 (Anti-Fouling Working Group) の協力を得て、作業を進めることになった。ISO での審議において、海技研は SC2 の議長 (Chair) と WG5 の主査 (Convener) を務めるとともに、ドラフトの作成と改訂作業、意見の調整等を行い、審議を推進してきた (図－4 に会議の様子を示す)。この間、2011 年 5 月の MEPC 62 において、ISO 制定の趣旨と活動の進捗の報告を行っている¹⁴⁾。

防汚物質の海洋環境リスク評価手法を定める Part 1 (13073-1) は、2009 年 11 月の CD 投票を経て、DIS 投票が 2011 年 1 月に開始され 6 月に承認された。2012 年 7 月に FDIS 投票で最終承認され、2012 年 8 月に ISO として発行された。一方、防汚塗料の海洋環境リスク評価手法 (Part 2) は、2010 年 5 月に新規作業項目採択の投票に付された。投票の結果、SC2 メンバーの賛成を得て 2010 年 11 月に WD 登録され、CD 投票を経て DIS 投票において反対票なしで承認された。これを受けて、FDIS 投票を省略して制定に向けた ISO 中央事務局における最終作業中である。ISO の規定の詳細は、既に報告している¹⁵⁾。



図－4 ISO TC8 SC2 会議 (2011 年 7 月)

4.3 工業会における自主登録制度

日本塗料工業会では、非スズ系防汚塗料及び塗料に使用される防汚物質の海洋環境リスク評価を自主的に行い、工業会に登録する自主登録制度を発足させることを決め、2013年4月からの運用を目指して制度を構築しつつある¹⁶⁾。この制度は、AFS条約の趣旨に沿って、海洋環境の保全のために、申請される防汚剤及び防汚塗料製品を対象に、許容できる環境リスクレベルであるかを評価することとともに、化審法で要求される環境リスク評価に利用できる情報を整備することを目的とするきわめて先進的な試みである。この制度では、防汚塗料及び防汚物質のメーカー等が、制定された国際標準（ISO 13073 シリーズ）の方法にしたがって自主的な評価を行い、工業会に設置される評価委員会の審査を経て工業会に登録されるというスキームが検討されている。

5. 今後の課題（むすびにかえて）

IMOにおけるAFS条約の採択により世界的な有機スズの禁止が促進された。非スズ系防汚塗料の評価・認証は、欧米とともにわが国でも始まっている。一方、環境影響というネガティブな効果ではなく、生物付着防止という防汚塗料の本来の性能に対する関心が高まっている。

船舶の推進抵抗は、生物の付着により著しく増大する。このため、船舶のエネルギー効率を評価する上で、付着防止性能の良否が強く影響する。さらに、塗装面の摩擦抵抗自体を低減する塗料の開発が進んでおり、摩擦特性を適切に評価することも、エネルギー効率設計指標（EEDI）を導出する上で重要になっている。

海生生物が船舶の移動に伴って本来の活動域ではない海域に移動する越境移動問題では、バラスト水経由のものに対処する条約が2004年にIMOで採択された。さらに、船体付着も無視できない越境移動の経路であるとして、2007年にオーストラリア等から規制検討の提案がIMOに対して出された。2011年に、付着による越境移動防止のためのガイドラインが採択され、付着防止への努力が求められている。付着による越境移動では、シーチェスト等のニッチエリアと呼ばれる複雑部位への大量の付着が大きな問題である。一方、船体表面への付着では防汚塗装が対策技術としてほぼ唯一の手段である。このため、塗料の防汚性能を適切に評価する方法が、必要となっている。

より防汚性能の高い防汚塗料が求められると、

一方でその環境影響が適切に評価される必要が高まる。こうした状況の中で、海上技術安全研究所としては、環境影響の評価を推進するとともに、防汚性能の評価手法の研究にも着手している。これらの課題では、技術的な詳細をISOで標準化し、それらの標準を使って規制の枠組みを構築するという構想で、IMO及びISOに対する戦略的な取り組みを平行して続けていくことが必要である。

参考文献

- 1) Anti-fouling systems moving towards the non-toxic solution, *Focus on IMO*, IMO, 24p. 1999.
- 2) T. Senda, O. Miyata, T. Kihara and Y. Yamada, "Inspection method for identification of TBT-containing antifouling paints", *Biofouling*. 19, Suppl. (2003.4) 231-237.
- 3) 千田哲也、柴田清、宮田修、山田康治郎、河野久征、木原洸、長澤進、"有機スズ系防汚塗料の検査技術の開発"、海上技術安全研究所報告、第6巻第4号、401-435 (2007.3).
- 4) MEPC 47/INF.16 Harmful Anti-Fouling Systems for Ships "Introduction of Methods for the Identification of Organotin Containing Anti-Fouling Paints" submitted by Japan, 3p. (2001.12.28)
- 5) T. Senda, "Methodology of Sampling and Analysis of Anti-fouling Systems on Ships", 日本造船研究協会 RR-E102 平成14年度報告書「有機スズ系防汚剤の使用規制に関する調査研究」に収載、pp. 59-62 (2003)
- 6) MEPC 49/6/1 Harmful Anti-Fouling Systems for Ships "Methodology of Sampling and Analysis of Anti-Fouling Systems on Ships" submitted by Japan, 5p. (2003.5.9)
- 7) MEPC.104(49) Guidelines for Brief Sampling of Anti-Fouling Systems on Ships (2001)
- 8) MEPC 49/INF.21 Harmful Anti-Fouling Systems for Ships "Comments on the Tin Content in the Anti-Fouling Paints of Ships" submitted by Japan, 4p (2003.5.9)
- 9) T. Senda, International Trends in Regulatory Aspects, pp. 23-34 in *Ecotoxicology of Antifouling Biocides*, Ed. T. Arai, M. Ohji and W.J. Langston, Springer

- 2009.
- 10) 千田哲也、柴田清、柴田俊明、山口良隆、宮田修、菅澤忍、高橋千織、原正一、森義明、張野宏也、” 船底塗料用防汚物質の海水中挙動に関する研究”、海上技術安全研究所報告、第5巻第1号、1-37 (2005.4) .
 - 11) 柴田清、千田哲也、柴田俊明、宮田修、高橋千織、菅澤忍、山口良隆、小島隆志、張野宏也、” 海洋における防汚物質の環境動態”、海上技術安全研究所報告、第6巻第4号、477-482 (2007.3).
 - 12) ISO 13073-1 Marine environment protection - Risk assessment on anti-fouling systems on ships - Part 1: Marine environmental risk assessment method of biocidally active substances used for anti-fouling systems on ships, International Organization for Standardization (ISO) (2012.8.1)
 - 13) ISO 13073-2 Marine environment protection - Risk assessment on anti-fouling systems on ships - Part 2: Marine environmental risk assessment method for anti-fouling systems using biocidally active substances on ships, International Organization for Standardization (ISO) (制定準備中)
 - 14) MEPC 62/14 Harmful Anti-Fouling Systems for Ships "Development of international standards on risk assessment of anti-fouling systems on ships" submitted by the International Organization for Standardization (ISO) (2011.5.6)
 - 15) 千田哲也、” 船底防汚塗料の海洋環境リスク評価手法の国際標準化”、海上技術安全研究所報告、第11巻第2号、127-139 (2011).
 - 16) <http://www.toryo.or.jp/jp/anzen/af/index.html> (日本塗料工業会ホームページ)