

## 結果

### 船舶の見直し

テストしたバイオサイドフリー塗料の性能は、船舶が運航する条件に左右されます。運航速度、運航頻度、航路が重要な要素です。高速船（温暖域、亜熱帯域、熱帯域を航行するコンテナ船2隻、クルーザー2隻、フリゲート船1隻）については、シリコン系塗料とバイオサイドを含まない侵食型塗料が高い防汚効果をあげました。停泊時間が短く、高速（18～20ノット）で航行する船舶は、付着が明らかに減少しました。バイオサイドフリー塗料は損傷を受けないように適切に管理すれば、塗布から60ヶ月まで防汚性能が保たれました。

バイオサイドフリー塗料が高速艇に有利であるという事実は、定期的に超高速で航行し、しかも長期間停泊する沿岸警備艇で実証されました。藻類は高速航行により剥がれ落ちましたが、フジツボ類は除去できませんでした。一方、低速でも、温帯、亜熱帯、熱帯地域を頻繁に航行する貨物船（12ノット）ではかなり良い成果をあげました。繊維系塗装と自己研磨型塗装はフジツボ類の付着に効果がありましたが、短茎の大型藻類が10～12ヶ月で付着しました。湾内での停泊時間が長く、沿岸を低速で航行する船舶（調査船8隻、旅客フェリー、漁船）については、使用に適した塗料の研究をさらに続けることが必要です。

### 化学物質の調査と生態毒性

代替塗料が有害な生態影響を有さないことを確かめるために、塗料の溶出液を用いて生態毒性試験を実施しました。その結果、どの試料にも急性毒性はないことが分かりましたが、重金属や多環芳香族炭化水素（PAHs）を含む不純物が高濃度で検出された試料がありました。バイオサイドフリー塗料には、海洋環境への曝露を通じてリスクをもたらすビスフェノールAのような化学物質が含まれてはなりません。

### 結論と見直し

バイオサイドフリー防汚塗料の中には、バイオサイドを含んだ船底塗料の代替品として有望なものがあることが分かりました。その性能は船舶の運航条件によって変わるので、船舶毎に適した方法を考慮する必要があります。船主と塗料メーカーは近い将来、特性が

異なる船舶にそれぞれ最も適した塗料を見つけだすでしょう。稼働率の低い船舶用の塗装については研究がまだまだ必要です。バイオサイドフリー塗料の作用機構は様々ですので、生物が付着することもあり得ます。ドック入りしないで、付着生物を除去する特別な洗浄技術を向上させることが欠かせません。

長く使われてきたTBTや有害なバイオサイドを含んだ防汚塗料の使用量が増え続けていることから、バイオサイドフリー塗料の有効性を示すことは重要な課題でした。このプロジェクトを進める過程で、多くの塗料メーカー、船主、当局間が協力した結果、代替品としてのバイオサイドフリー塗料への理解が深まりました。実際、より効率的な成果が得られるように塗料配合を変えてこのプロジェクトを活用した塗料メーカーもありました。今回の協力関係は、多くの利害関係者が複雑に入り組んだ環境問題に取り組み、解決策を探るよい例です。防汚システムの製造者とユーザーが協力したことが、今回のプロジェクトの成功の鍵でした。

WWFは、有機スズ化合物の使用を国際的に禁止するIMO条約を他国も早急に批准することが重要であると考えています。さらに、有機スズ化合物を他の有害なバイオサイドに置き換えるのではなく、過去の教訓に学ぶことが極めて重要です。予防原則を適用することが欠かせません。

このプロジェクトの結果、バイオサイドフリー塗料はすでに存在し、有機スズ化合物の代替品として有用であることを実証できました。海洋環境に意図的に放出されている極めて有毒な物質と考えられている有機スズ化合物の使用を減らしていくことは、海洋に生息する野生生物にも恩恵をもたらします。防汚効果が高く、しかも海洋環境への影響を最小化する経済的に有効な防汚システムを確立すること、これがこれからの課題です。

\*本研究プロジェクトの詳細は、報告書  
“Performance of biocide-free antifouling paints -  
Trials on deep-sea going vessels”  
Vol. I ~ IIIにまとめられています。  
([http://www.limnomar.de/conthtml/eng/mp2\\_publications\\_af.htm](http://www.limnomar.de/conthtml/eng/mp2_publications_af.htm) よりダウンロード可)



#### German coast ship trials testing biocide-free anti-fouling systems

WWF-UK Panda House, Weyside Park Godalming, Surrey GU7 1XR  
Tel: +44 (0)1483 426444  
Fax: +44 (0)1483 426409  
www.wwf-uk.org

WWF Germany Marine and Coastal Division Am Guthpol 11 D-28757 Bremen  
Tel: +49 421 65846 10  
Fax: +49 421 65846 12  
www.wwf.de

November 2003

#### <研究プロジェクトの協力者>

行政：  
Ministry of Environment Lower-Saxony, Ministry of Environment Hamburg, Ministry of Environment Schleswig-Holstein

塗料会社：  
CHUGOKU Germany, Colloid, Hempel Germany, Akzo Nobel (International Farbenwerke Akzonobel), Relius Coatings, SIGMA Coatings, SealCoat, Tenax Marine Paints, NorAgent (Lotrec), Wllickens Farben/Kansai, CK Witco

船舶オーナー：  
AG Ems, AG Norden-Frisia, Wyker Dampfschiffs- Reederei, Insel und Halligreederei Kurt Paulsen, HADAG, Manfred Friedhoff, Coastal guard Lower-Saxony, Coastal Research station of Lower-Saxony

研究所：  
Laboratory for Freshwater/ Marine Research and Comparative Pathology (LimnoMar), Coastal Research station of Lower-Saxony, Ministry of Environment Hamburg, Department of Conservation - Environmental Analysis

日本語監訳：  
神戸大学海事科学部 岡村秀雄  
海洋防汚・環境コンサルタント 高橋一暢



発行：WWFジャパン

〒105-0014

東京都港区芝3-1-14日本生命赤羽橋6F

Tel:03-3769-1713 Fax:03-3769-1717

www.wwf.or.jp/

(2006年9月)

このパンフレットは2006年度三井物産環境基金の助成により作成しました。



## 毒物を使用しない 船底塗料の実証試験 ドイツ沿岸域での試み

German coast ship trials testing  
**biocide-free**  
anti-fouling systems

## 背景

WWFは1998年から2003年の5年に渡り、行政や塗料メーカーや船主などと協力してバイオサイドを含まない防汚システムに関する研究プロジェクトを実施しました。その結果、有機スズ化合物およびその他のバイオサイドを含んだ防汚塗料に対して代替可能なシステムがあると分かりました。有機スズは海洋環境に意図的に放出される最も有害性の高い物質ですが、その代替の可能性が確かめられたのです。

バイオサイドを含んだ船底防汚塗料は、船底に生物が付着するのを防ぐために船体に用いられています。付着生物には、動物（フジツボ、イガイ、ゴカイ、ヒドロ虫、コケムシ、ホヤなど）と植物（緑藻、紅藻、褐藻、珪藻など）があります。こうした付着生物が船体に付着することにより船体抵抗が増し、燃料消費量が増える他、船の耐久性や性能も低下させます。トリブチルスズ（TBT）は、強い毒性および内分泌攪乱性（環境ホルモン作用）を有することが分かっており、この30年間で最も頻繁に利用されてきた船底塗料に含まれるバイオサイドです。

TBTはその有害性のために使用が規制されており、例えばEU（欧州連合）は海洋を航行する船長25m以下の船舶（主にレジャーボート）への使用を1989年に禁止しました。禁止措置を講じている国々ではその沿岸域でのTBTの排出量は減少しましたが、有機スズ防汚塗料の使用を続けているとこ

ろでは、膨大な量の汚染物質が海洋環境に放出されています。TBTは世界中の海鳥、海棲哺乳類や魚から検出されています。

国際海事機関（IMO）は1999年11月の総会において、有機スズ船舶用塗料を2003年以降は船舶に新たに塗布すること、2008年以降は船舶に塗布されていることを、国際的に禁止する総会決議を採択しました。IMOは「防汚効果があり、かつ環境負荷も少ない防汚方法を継続的に開発していく必要がある」としています。また、IMOは加盟国に対して、非標的生物に悪影響を及ぼさず、海洋環境を汚染しない防汚方法を優先度を高くして開発、試験、運用するよう産業界に促すことを求めています。

IMOは25ヶ国以上が批准し、さらにそれらの国の船腹量の合計が世界の船腹量の25%以上に達した日から一年後に発効する国際条約を2001年に採択しました。今日まで条約を批准したのは、5カ国にとどまっています（訳注：2006年5月末現在で16カ国、17%）。EUは、IMOの条約に併せて、欧州が旗国の船舶について、2003年6月1日以降は有機スズ含有船底塗料の塗布禁止、2008年以降は船体への使用の完全禁止を定めた法律を採択しました。この法律ではまた、欧州での有機スズの流通ならびに船底への使用を禁止しています。



TBTは、海鳥、海棲哺乳類、私たちが消費している魚、世界中のあらゆるところから検出されています。



## プロジェクト —バイオサイドを含まない代替品を探索する

TBTの国際的な禁止が時間の問題であることが明らかになると、多くの塗料メーカーはイルガロールやジウロンなど、多くは銅や合成有機化合物などのバイオサイドを含む新製品の開発に着手しました。自然界で見られる付着阻害の機構からアイデアを得ようと試みる革新的な企業もありました。これらは有害化学物質ではなく、物理的なメカニズムを利用しようとしたものです。イルカの体表面を覆うゲル状の物質は付着生物の定着を妨げる平滑な非付着性（non-stick）塗装に応用できるかも知れません。オットセイの体表面を模した繊維系塗装（Fiber-flock）システムもその一例です。

1998年、WWFは複数の利害関係者と共に、バイオサイドを含まない防汚塗料（バイオサイドフリー塗料）の効果を試験するプロジェクトを開始しました。1998年から2001年にかけて様々な塗料を海域、汽水域において調査しました。期待できる成果をいくつかあげた後、調査対象を世界中で操業している船舶にまで広げました。このプロジェクトには、行政当局や船主（国有及び民間）、塗料メーカー、ドイツ塗料製造協会、WWFドイツなどの多様な関係者が参加しました。科学的な調査は、淡水／海洋研究・比較病理研究所（LimnoMar）、ニーダーザクセン沿岸研究所、ハンブルグ州環境局により行われました。プロジェクトの資金は、環境省、船舶会社、塗料メーカー、WWFが共同で調達しました。プロジェクトの初期にはニーダーザクセン州のWaddensee財団とEnvironmental Lottery Bingo-Lottoから、第2期にはドイツ連邦環境財団から資金提供を受けました。

塗料メーカーは試験に用いる塗料を無償で提供し、製造者の監督のもとで1船体当たり数種類の試験塗料が塗布されました。試験塗料を塗布した船舶は通常と同じ条件で運航し、調査グループがその船舶を頻繁に調べました。調査では、付着物の種類と被覆率、付着生物群集の乾燥重量、付着強度、塗料の状態が集中的に調べられました。

プロジェクトに参加した船舶は世界中で運航していたため、水温や塩分濃度、速度の違いなど様々な条件下で調査を実施することができました。

## 結果

1998年から2003年の間に、合計117種類の船底塗料が20隻の船舶で試されました。船舶は、コンテナ船、タンカー、ばら積貨物船、クルーザー、フェリー、調査船、漁船など多岐にわたり、調査は45回に及びました。船舶には試験塗料を部分的に塗布したものと全体に塗布したものがありました。試験塗料は、16種の非付着性塗料（シリコン、準シリコン、テフロンコーティング）、16種の侵食型／自己研磨



## <バイオサイドフリー塗料 日本国内の状況> 2006.9

今後の防汚塗料の開発においては、過去のTBT使用の反省の上に立ち、水生生物と共存でき、しかも自然と調和できる商品を目指していく必要があります。わが国では、バイオサイドを含まない防汚塗装システムとして、シリコーン樹脂をベースとする防汚塗料と導電塗膜電解システムが主に研究開発されています。シリコーン系防汚塗料は表面張力の原理を利用しており、約20年前から発電所の海水導入管の防汚システムとして確立されています。最近では、一部の外航船および観光船（稼働率が高く船速の速い船舶）の船底やプロペラなどに塗装され、高い防汚性能が評価されつつあります。しかし、塗装作業が困難でコストが高い等の欠点があります。一方の導電塗膜電解システムでは、導電塗膜上で海水の電気分解反応により生成した次亜塩素酸イオンにより海産生物の付着を防止します。この技術は現在、小型船舶で実証試験が行われています。

型塗料、2種の繊維系塗装、7種の防錆塗料（エポキシ、ゴム様PU塗装）に分類されます。

5年間の調査結果から、有機スズや他のバイオサイドを含む塗料の代替品として有望なものがいくつかあることが分かりました。全ての塗料の内、“1つで万能”な製品はなく、船舶の運航条件に合わせて、適切な防汚システムを導入するのが良いことが分かりました。

### 非付着性塗料

全てのシリコン系塗料は大変効果的であることが分かりました。あまり効果が上がらなかったケースもありましたが、大半の付着生物は船底にしっかりと固着できなかったため、通常の運航条件により付着生物を迅速に除去することができました。全てのシリコン系塗料上において、フジツボ類の付着力が十分に減少し、藻類の成長も減少しました。

シリコン塗料は1～10気圧の水で容易に洗浄できました。ドック内での日常の作業に支障はありませんでしたが、特別な防護措置と熟練した作業員が必要でした。シリコン塗料は高圧水ブラスト（1,200～1,500気圧）で船体から除去しました。この除去によって、次回の塗装の塗膜形成に問題は生じませんでした。シリコン塗料の性能を十分に発揮させるには、損傷を受けることが少ないところで使用する必要があります。

試験した準シリコン塗料およびテフロン系塗料は海域では望ましい成果が上がりませんでしたが、汽水域のみを航行する場合は洗浄が容易でした。洗浄には、シリコン系塗料と比べると、より高圧の水流が必要でした。

### バイオサイドを含まない侵食型防汚塗料

このタイプの塗装は、塗布、除去、重ね塗りの際に、新たな防護措置が

不要でした。この塗料の作用機作は侵食速度(erosion rate)そのものに左右されるので、最小の乾燥膜厚の計算と塗られた乾燥膜厚の調査が重要です。16種の侵食型塗料のうち、6種は防汚効果が12～24ヶ月間良好な結果でしたが、その効果はバイオサイドを含んだ侵食型塗料には劣りました。侵食型／自己研磨型塗料は短期間で侵食し、効果が落ちてしまうので、バインダーの分解速度を十分に試験する必要があります。

### 繊維系塗装システム

この技術は、繊維の連続した動きにより、自己研磨作用を引き起こすものです。プロジェクトの期間中、この塗装はフジツボ類に対して選択的に効果があり、停泊時間が長い低速の船舶についても良い成果をあげました。しかし、藻類については防汚効果が劣りました。エポキシ剤と長さの異なった繊維を含んだ繊維系塗装は、熟練したスタッフの手で特殊な装置を用いて塗布しなくてはならず、プロジェクト期間中には塗装の質が改善されてゆきました。性能の向上には、繊維の密度と繊維を均一に配列することが重要です。

### 防錆（さび止め）塗料

このプロジェクトで試された防錆塗料には全て防汚効果が認められず、汽水域を航行するパトロール艇などの極めて特殊な運航条件下の船舶では、付着保護システムとして認められました。

### 実験での対照

バイオサイドを含む対照実験では、TBT、銅、有機バイオサイドを用いました。これらの対照塗装上に出現した生物付着は、時として、バイオサイドを含まない塗装よりも高いことがありました。