

船舶バラスト水処理システムの性能評価手法構築のための研究

山根 健次* 伊飼 通明* 柴田 俊明** 村岡 英一***
亀山 道弘** 山之内 博**** 上田 浩一***** 柴田 清*****

Study on Performance Evaluation of Ship Ballast Water Treatment System

by

Kenji YAMANE, Michiaki IKAI, Toshiaki SHIBATA, Eiichi MURAOKA,
Michihiro KAMEYAMA, Hiroshi YAMANOUCHI, Koichi UEDA and Kiyoshi SHIBATA

Abstract

To minimize the risk to the environment and to human health arising from the transfer of harmful aquatic organisms and pathogens through the discharge of ship's ballast water, an international treaty has been adopted, February 2004. The installation of a ballast water processing system, which complies with the standard of the treaty, is required for ships constructed after 2009.

In this study, transfer examples of aquatic organisms in a past and the actual circumstances in ballast tank are investigated. Mud precipitating in the ballast tank, and microorganisms in the mud were observed.

Method of processing and development situation were also investigated. Via various methods; such as Ultraviolet irradiation (UV), electrolytic, ozone and specialized pipes have been developed. By developing a test plant to demonstrate of ballast water processing, and using anthracite filtrating, the basic data of characteristics of marine organism filtration were obtained. The unit showed an effective removal of the microorganisms, excepting pathogens, from the natural seawater.

The effect to the coating film and structure steel in using the biocides was investigated and whitening of a part of coating material was observed. In addition, the fundamental burden of the ballast water treatment was also examined. The burden is big since the quantity of the ballast water is abounding.

* 大阪支所 ** エネルギー・環境評価部門 *** 環境エンジン開発プロジェクト **** 運航システム部門
***** 元エネルギー環境影響評価部門

目次

1.	まえがき	2
2.	海洋生物移動による環境問題	2
2.1	バラスト水の排出量	2
2.2	生物移動	3
2.3	被害例	3
2.4	バラストタンク内の状況	12
3.	規則	16
3.1	IMO の規則	16
3.2	型式承認試験の対象として適切な生物 分類及び試験方法	17
3.3	各国のバラスト水排出規制	18
4.	対策技術	20
4.1	処理方法	20
4.2	開発状況	27
5.	アンスラサイト濾過型バラスト水浄化試 験	36
5.1	アンスラサイト濾過型実験プラント	36
5.2	実験プラントの基本性能試験	36
5.3	生物分析試験	37
5.4	生物分析結果に対する考察	40
5.5	熱処理による生物の死滅	40
5.6	まとめ	41
6.	活性物質のタンク塗膜への影響	41
6.1	承認応募での腐食についての記載	41
6.2	バラストタンク塗装への活性物質影響試 験	42
6.2.1	オゾン等の影響試験	42
6.2.2	密閉容器によるバラスト水処理への静置 浸漬試験	46
6.2.3	無塗装鋼板への活性物質の影響試験	52
6.3	活性物質のタンク塗膜への影響まと め	55
7.	基本的な処理負担の検討	56
8.	まとめ	57
9.	参考文献	57

1. まえがき

船舶バラスト水とは積載物を降ろした際の大幅な喫水変化によって航行が困難になることを回避するために船内の特別な区画に漲排水する汽水や海水のことである。船舶運航にとっては重要なこのバラスト水も海洋生物の移動の媒介であるとの問題を抱えている。すなわちバラスト水を介して国際間を移動・拡散する水生生物による海洋生態系の攪乱や病原体の移動による人間の健康被害の問題である。この問題に対して IMO(国際海事機関)はバラスト水管理条約¹⁾を採択(2004 年 2 月)し、現在各国の批准を待っている状態にあるが、加盟国 30 ヶ国が批准し、

かつ合計商船船腹量が世界の 35%以上となった日の 12 ヶ月後に発効する。2008 年 10 月時点²⁾では、モルジブ、セントキットネイビス、シリア、スペイン、ナイジェリア、ツバル、キリバス、ノルウェー、バルパドス、エジプト、シェラレオネ、ケニア、メキシコ、南アフリカ、フランス、リベリアの 16 カ国が締結しており、船腹量で 14.24%になっている。

バラスト水管理条約が発効しバラスト水管理装置の実船適用が始まると、船種が多様であること、バラスト水量が概して大量であることを考慮し、環境への負荷が少なく経済的な処理方式が必要となる。

本研究ではまず海洋生物移動による環境問題を資料調査し、またバラストタンク内の実情を調査した。

また、バラスト水処理方法や処理技術の開発状況について調査した。

バラスト水処理においての種々の殺菌装置(例えば UV)や活性物質(例えば過酢酸)が使用されるが、それらの負担を軽減するために生物を含む固形物の濾過や分離(例えばハイドロサイクロン)が用いられる。そこで基本となる濾過について、陸上施設の水処理で用いられているアンスラサイト濾過装置をバラスト水管理装置の構成要素として採用した場合の基本性能である海洋生物濾過特性データを得た。さらに活性物質を用いた場合の塗膜や構造鋼への影響について調べ、また処理負担について検討した。これらについて報告する。

2. 海洋生物移動による環境問題

2.1 バラスト水の排出量

貨物船など大型船は、空荷のときにバランスを保つために海水を重し代わりに積載、積荷が増えると港に捨てる。これがバラスト水で、平均して積載量の 35%程度³⁾⁴⁾を積載しており、日本海難防止協会の調査⁵⁾⁶⁾によれば、世界では年間百億トンのバラスト水が移動しているといわれている。これらのバラスト水が世界中で毎日 3,000 種の動植物の種を運んでいると推定される。日本から積み出されるバラスト水の年間総量は 3 億トンで 1 番多いのはオーストラリア向けで 8,000 万トン、東南アジアが 6,500 万トン、東アジアが 4,000 万トン、米国及びカナダ西岸が 4,000 万トンとなっている。世界的にも主要な資源輸出国であるオーストラリアでは、年間 1 億 5,000 万トンのバラスト水が外国から運び込まれ、それらの半分は日本からのものであると報告している。また日本に持ち込まれるバラスト水の年間総量は 1,600~1,700 万トンである。そのうち、オーストラリアが 40 万トン、米国及びカナダ西岸が 210 万トン、東アジアが 900 万トン、東南アジアが 270 万トンである。この我が国のバラスト水の積み出し、移入状況を図-1 に示す。

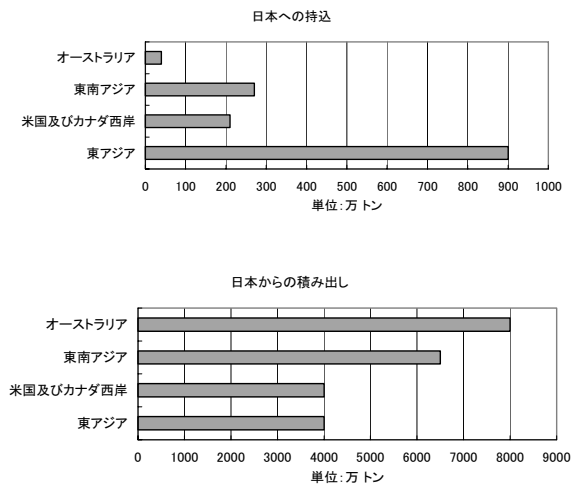


図-1 日本に関するバラスト水移動量

2.2 生物移動

世界規模で過去の調査の非土着種侵入例の生物の分類を表-1に示す。表中種の列のa)はIMO/GESAMPによって報告⁷⁾された1979年から1993年に確認された非土着種海洋生物にリストアップされているもの、b)はクリス・ブライト(Chris Bright)福岡克也監訳、環境文化創造研究所訳、地球環境財団、生態系を破壊する小さなインベーダー⁸⁾、c)は平成13年度に海上技術安全研究所が調査したバラストタンク底泥中の生物、d)は日本海難防止協会(1991):外航船舶のバラスト水に含まれる有害プランクトンによる海洋汚染実態調査⁹⁾における検出生物を示す。生物分類はIMO コレスポンデンスグループの生物分類¹⁰⁾を参考に、脊椎動物、硬殻の無脊椎動物、軟殻の無脊椎動物、軟体の無脊椎動物、植物プランクトン、海藻の6分類と細菌に分類した。

ここで、各生物のバラスト水による移動メカニズムについて整理する。水生生物のバラスト水による移動メカニズムは、この生物分類ではなく、水生生物の生活型と密接に関連する。生物分類と生活型との関係を図-2に示す。図-3～8にはこれら生物の生活別のバラスト水による移動模式図を示した。水生生物のバラスト水による主な移動メカニズムは、海水中に浮遊している生物がバラスト水と共にバラストタンク内に取り込まれ、バラスト水と共に排出されて起こる。つまり、通常浮遊している動植物プランクトンや細菌は移動し易いが、魚類の成体は大型でかつ遊泳力があり、底生・付着動物の成体や海藻は海底等に付着しているために張水時に取り込まれることはほとんどない。日本海難防止協会の調査⁹⁾や当所の調査結果で検出されたのが動植物プランクトンとそのシスト(孢子)がほとんどであることから明らかである。魚類、底生付着動物・海藻の移動は、卵や幼生期および孢子といった浮遊期、つまりプランクトン(浮遊生物)として取り込まれているのである。

2.3 被害例

バラスト水に混入した有害海洋性生物による被害については、これまでに行われてきた種々の調査によりその概要が明らかにされている。そのバラスト水に混入した生物による被害について整理したものを表-2に示す⁸⁾。

ここでは、米国、オーストラリア、ペルーにおける具体的な被害状況等を示す。

米国：

米国では、五大湖で欧州産のカワホトトギスガイが90年代に入って異常繁殖、発電所や工場の取水口をふさいでしまうなどの被害が続出、駆除に約600億円が必要とされる事態となっている¹¹⁾。五大湖だけでも水の大口利用者が被った損失は1994年末までに1億2,000ドルを超えたとの記載もある⁸⁾。

オーストラリア：

1986年、オーストラリア、タスマニア島の南部海域で渦鞭毛藻の*Gymnodinium catenatum*が発生し、ムラサキイガイ、カキなどが毒化して食中毒も発生した。このタスマニアの*G. catenatum*は移入されたとしても日本およびスペインが起源ではないことが明らかにされている¹²⁾。オーストラリアでは海洋生物の移入の24から33%が船舶のバラスト水によるとの報告がある¹³⁾。

ペルー：

1991年、南アジアからペルーの港に入った船のバラスト水から、西半球ではもう一世紀余り絶えてみられなかったコレラ菌が放出されたと考えられている。このため数百万人がコレラに感染し、一万人が死亡したとみられる。オーストラリアやアメリカの港では、ラテンアメリカからの船がコレラ菌を含んだバラスト水を積んでいるのが発見された。1992年、米国ではこの疫病の調査以来、最大数のコレラ患者がでた。コレラ蔓延の主な感染源の一つとして飲料水供給源が適切に消毒が施されていないことがわかっている。塩素消毒の副産物、特にトリハロメタンへの危惧が消毒を止めた理由と言われており、結果的にコレラの蔓延を来した¹⁴⁾。

表-1 過去の調査の非土着種の侵入例と生物分類

分類	種	侵入区域(発見された年)	分類学上の分類群	基本生態特性
脊椎動物	<i>Hypsoblennius ionthas</i> アメリカ産ギンポの仲間 a)	ハドソン川(1984～1998)	硬骨魚類	海産、遊泳(卵・幼生は浮遊)
	<i>Sparidentex hasta</i> インド産タイの仲間 a),b)	豪州(1984～1988)	硬骨魚類	海産、遊泳(卵・幼生は浮遊)
	<i>Butis koilomatodon</i> インド・太平洋産ハゼ類の仲間 a)	ナイジェリア/カメルーン(1979～1983)	硬骨魚類	海産、底生、遊泳(卵・幼生は浮遊)
	<i>Gymnocephalus cernuus</i> ヨーロッパ産スズキの仲間 a)	五大湖(1984～1988)	硬骨魚類	海産、遊泳(卵・幼生は浮遊)
	<i>Mugilogobius parvus</i> フィリピン/台湾産ハゼの仲間 a)	ハワイ州(1984～1988)	硬骨魚類	海産、底生、遊泳(卵・幼生は浮遊)
	<i>Neogobious melanostomus</i> 地中海産ハゼの仲間 a)	五大湖(1989～1993)	硬骨魚類	海産、底生、遊泳(卵・幼生は浮遊)
	<i>Proterorhinus marmoratus</i> 黒海産ハゼの仲間 a)	五大湖(1989～1993)	硬骨魚類	淡水産、底生、遊泳(卵・幼生は浮遊)
	<i>Rhinogobius brunneus</i> 日本産ハゼの仲間 a)	アラビア海(1984～1988)	硬骨魚類	淡水産、底生、遊泳(卵・幼生は浮遊)
	ヨーロッパ産淡水魚アセリナ b)	五大湖	硬骨魚類	淡水産、底生、遊泳(卵・幼生は浮遊)
硬殻の無脊椎動物	地中海産カンザシゴカイ・ケヤリムシ b)	オーストラリア南東部沿岸ポートフィリップ湾	多毛綱	海産、付着性(卵・幼生は浮遊)
	<i>Ostrea edulis</i> ヨーロッパ産カキの仲間 a)	ロードアイランド州(1989～1993)	二枚貝綱	海産、付着性(卵・幼生は浮遊)
	<i>Dreissenabugensis</i> ヨーロッパ産カワホトギスガイ b)	北アメリカ各地の河川	二枚貝綱	淡水産、付着性(卵・幼生は浮遊)
	<i>Dreissenapolymorpha</i> ヨーロッパ産カワホトギスガイ b)	北アメリカ各地の河川	二枚貝綱	淡水産、付着性(卵・幼生は浮遊)
	<i>Musculista senhousia</i> 日本産ホトギスガイ a)	ニュージーランド/豪州(1979～1983)	二枚貝綱	海産、付着性(卵・幼生は浮遊)
	<i>Mytella charruana</i> 南米産ムラサキイガイの仲間 a)	フロリダ州(1984～1988)	二枚貝綱	海産、付着性(卵・幼生は浮遊)
	<i>Mytilus galloprovincialis</i> 地中海産イガイの仲間 a)	香港(1979～1998)	二枚貝綱	海産、付着性(卵・幼生は浮遊)
	<i>Perna perna</i> 南米産ムラサキイガイの仲間 a)	テキサス州(1989～1993)	二枚貝綱	海産、付着性(卵・幼生は浮遊)
	<i>Ensis directus</i> メリカ産フナクイムシの仲間 a)	ドイツ/デンマーク(1979～1983)	二枚貝綱	海産、穿孔性(卵・幼生は浮遊)
	<i>Lyrodus takanoshimensis</i> 日本産フナクイムシの仲間 a)	ブリティッシュコロンビア州(1979～1983)	二枚貝綱	海産、穿孔性(卵・幼生は浮遊)
	<i>Rangia cuneata</i> 大西洋産ハマグリ(の仲間 a)	ハドソン川(1984～1988)	二枚貝綱	海産、底生(卵・幼生は浮遊)
	<i>Scapharca cornea</i> 太平洋産アカガイの仲間 a)	黒海(1979～1983)	二枚貝綱	海産、底生(卵・幼生は浮遊)
	<i>Theora fragilis</i> アジア産シズクガイ a)	サンフランシスコ湾(1979～1983)	二枚貝綱	海産、底生(卵・幼生は浮遊)

軟殻の無脊椎動物	<i>Potamocorbula amurensis</i> アジア産ヌマコダキガイ a)	サンフランシスコ湾(1984~1988)	二枚貝綱	海産、底生(卵・幼生は浮遊)
	北米産アメリカ・マテガイ b)	ヨーロッパ西部・北部沿岸一帯	二枚貝綱	
	東アジア産二枚貝 b)	サンフランシスコ湾	二枚貝綱	
	<i>Bythotrephes cederstroemi</i> ヨーロッパ産ミジンコの仲間 a)	五大湖(1984~1988)	甲殻類	淡水、浮遊
	<i>Carcinus maenas</i> ヨーロッパ産岸ガニの仲間 a)	南アフリカ(1979~1983)	甲殻類	海産、底生(卵・幼生は浮遊)
	<i>Charybdis helleri</i> インド・太平洋産イシガニの仲間 a)	コロンビア(カリブ海)(1984~1988)	甲殻類	海産、底生(卵・幼生は浮遊)
	<i>Hemigrapsus sanguineus</i> 日本産イソガニ a)	ニュージャージー州(1984~1988)	甲殻類	海産、底生(卵・幼生は浮遊)
	<i>Neomysis americana</i> 大西洋産イサガミの仲間 a)	アルゼンチン/ウルグアイ(1979~1983)	甲殻類	海産、底生(卵・幼生は浮遊)
	中国産モクズガニ a)	サンフランシスコ湾	甲殻類	
	<i>Membranipora membranacea</i> ヨーロッパ産キクアミコケムシ a)	メイン州/ニューハンプシャー州(1984~1988)	苔虫綱	海産、付着性(卵・幼生は浮遊)
	<i>Acartia omorii</i> 日本産カイアシ類の仲間 a)	チリ(1979~1983)	甲殻類	海産、浮遊
	<i>Centropages abdominalis</i> 日本産カイアシ類の仲間 a)	チリ(1979~1983)	甲殻類	海産、浮遊
	<i>Centropages typicus</i> 太平洋カイアシ類の仲間	テキサス州(1984~1988)	甲殻類	海産、浮遊
	<i>Limnithona sinensis</i> 中国産カイアシ類 a)	サンフランシスコ湾(1979~1983)	甲殻類	淡水産、浮遊
	<i>Oithona davisae</i> アジア産カイアシ類の仲間 a)	サンフランシスコ湾/チリ(1979~1983)	甲殻類	海産、浮遊
	<i>Pseudodiaptomus marinus</i> アジア産カイアシ類 a)	カリフォルニア州南部(1984~1988)	甲殻類	海産、浮遊
	<i>Pseudodiaptomus forbesi</i> 中国産カイアシ類の仲間 a)	カリフォルニア南部(1984~1988)	甲殻類	淡水産、浮遊
	<i>Pseudodiaptomus inopinus</i> アジア産カイアシ類の仲間 a)	コロンビア川(1989~1993)	甲殻類	淡水産、浮遊
	<i>Hemimysis anomala</i> アミの仲間 a)	バルト海北部(1989~1993)	甲殻類	海産、底生(幼生は浮遊)
	<i>Rhopalophthalmus tattersallae</i> インドネシア産アミ類の仲間 a)	アラビア湾(1979~1983)	甲殻類	海産、底生(幼生は浮遊)
	<i>Nippoleucon hinumensis</i> 日本産クーマの仲間(エビ/カニ類) a)	オレゴン州(1979~1983)	甲殻類	海産、底生(幼生は浮遊)
	<i>Exopalaemon styliferus</i> インドネシア産シタラエビの仲間 a)	イラク/クエート(1979~1983)	甲殻類	海産、底生(幼生は浮遊)
	<i>Hippolyte zostericola</i> 太平洋産モエビの仲間 a)	コロンビア(カリブ海)(1984~1988)	甲殻類	海産、底生(幼生は浮遊)
	<i>Salmonella gracilipes</i> アジア産エビの仲間 a)	カリフォルニア州南部(1984~1988)	甲殻類	海産、底生(幼生は浮遊)
	<i>Ascidella aspersa</i> ヨーロッパ産ホヤの仲間 a)	ニューイングランド地方	ホヤ綱	海産、底生(卵・幼生は浮遊)

軟体の無脊椎動物	<i>Gladonema uchidai</i> 日本/中国産エダアシクラゲ a)	サンフランシスコ湾(1979～1983)	ヒドロ虫綱	海産、浮遊
	<i>Phyllorhiza punctata</i> インド・太平洋産クラゲの仲間 a)	カリフォルニア州南部(1979～1983)	鉢水母綱	海産、浮遊
	<i>Blackfordia virginica</i> サンマチア産イソギンチャクの仲間 a)	サンフランシスコ湾(1989～1993)	花虫綱	海産、付着(卵・幼生は浮遊)
	<i>Mnemniopsis leidy</i> アメリカ産櫛クラゲの仲間 a)a)	黒海(1979～1983)	有触手綱	海産、浮遊
	<i>Namatodac</i>)	バラストタンク(2001)	線虫綱	淡水産、海産、寄生
	<i>marenzelleria viridis</i> アメリカ産紐形動物の仲間 a)	ドイツ(1979～1983)	紐形動物	海産、底生(卵・幼生は浮遊)
	<i>Teneridrillus mastix</i> 中国産線紐動物の仲間 a)	サンフランシスコ湾(1984～1988)	紐形動物	海産、底生(卵・幼生は浮遊)
	<i>Desdemona ornate</i> 南アフリカ/豪州産、紐形動物の仲間 a)	地中海(1984～1988)	紐形動物	海産、底生(卵・幼生は浮遊)
	北アメリカ北西岸産多毛虫 b)	ポーランド ヴイスワ川潟	多毛綱	
	<i>Doridella obscura</i> 米国産ウミウシの仲間 a)	黒海(1979～1983)	腹足綱	海産、底生(卵・幼生は浮遊)
	<i>Exopalaemon carinicauda</i> ニュージーランド産ウミウシの仲間 a)	サンフランシスコ湾(1989～1993)	腹足綱	海産、底生(卵・幼生は浮遊)
	<i>Tritonia plebeia</i> ヨーロッパ産ウミウシの仲間 a)	マサチューセッツ州(1979～1983)	腹足綱	海産、底生(卵・幼生は浮遊)
植物プランクトン	<i>Asterias amurensis</i> 日本産ヒトデ a)b)	豪州(1984～1988)、タスマニア沿岸	ヒトデ綱	海産、底生(卵・幼生は浮遊)
	<i>Gymnodinium catenatum</i> 日本産渦鞭毛藻 a)d)	豪州(1984～1988)、バラストタンク(1991)	渦鞭毛藻綱	海産、浮遊(シストは底生)
	<i>Pheoplykrikos hartmanni</i> c)	バラストタンク(2001)	渦鞭毛藻綱	海産、浮遊(シストは底生)
	<i>Alexandrium affine</i> c)d)	バラストタンク(1991,2001)	渦鞭毛藻綱	海産、浮遊(シストは底生)
	<i>Alexandrium catenella</i> 日本産渦鞭毛藻 a)	豪州(1984～1988)	渦鞭毛藻綱	海産、浮遊(シストは底生)
	<i>Alexandrium minutum</i> (おそらくは) ヨーロッパ産渦鞭毛藻 a)	豪州(1984～1988)	渦鞭毛藻綱	海産、浮遊(シストは底生)
	<i>Alexandrium tamarense</i> c)d)	バラストタンク(1991,2001)	渦鞭毛藻綱	海産、浮遊(シストは底生)
	有毒な渦鞭毛虫 b)	オーストラリア南東部沿岸牡蠣養殖場	渦鞭毛藻綱	海産、浮遊(シストは底生)
	その他の渦鞭毛藻シスト d)	バラストタンク(1991)	渦鞭毛藻綱	海産、浮遊(シストは底生)
	<i>Protoperidinium leonis</i> c)	バラストタンク(2001)	渦鞭毛藻綱	海産、浮遊(シストは底生)
	<i>Protoperidinium pentagonum</i> b)	バラストタンク(2001)	渦鞭毛藻綱	海産、浮遊(シストは底生)
	<i>Thalassiosira</i> 属 c)	バラストタンク(2001)	珪藻綱	海産、浮遊
	<i>Cocinodiscus</i> 属 c)	バラストタンク(2001)	珪藻綱	海産、浮遊
	<i>Actynastrum senarius</i> b)	バラストタンク(2001)	珪藻綱	海産、浮遊

海藻	<i>Caulerpa taxifolia</i> 熱帯産ヒメワツタ a)	地中海(1984～1988)	緑藻綱	海産、付着(胞子は浮遊)
	<i>Undaria prinnatifida</i> 日本産ワカメ a)	豪州(1984～1988)	緑藻綱	海産、付着(胞子は浮遊)
	<i>Sargassum muticum</i> 日本産ホンダワラの仲間 a)	北海(1984～1988)	緑藻綱	海産、付着(胞子は浮遊)
	<i>Antithamnion nipponicum</i> 日本産フタツガサネ a)	フランス(地中海 1984～1988)	緑藻綱	海産、付着(胞子は浮遊)
	<i>Polysiphonia breviarticulata</i> 地中海産イトグサ類の仲間 a)	ノースカロライナ州/ドミニカ(1979～1983)	緑藻綱	海産、付着(胞子は浮遊)
	日本沿岸の様々な海藻 b)	タスマニア、アメリカ大西洋・太平洋沿岸部		海産、付着(胞子は浮遊)
細菌	<i>Vibrio cholera</i> 01 コレラ菌 b)	ペルー(1991)	ブソイドモナス綱	人体等の腸内、浮遊

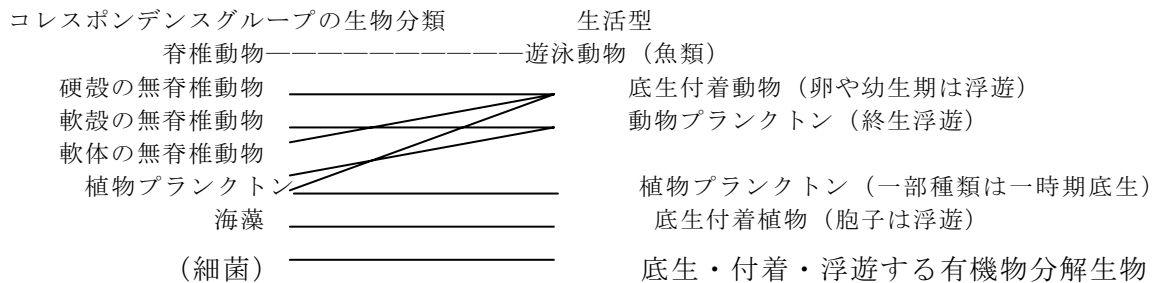


図-2 生物分類と生活型

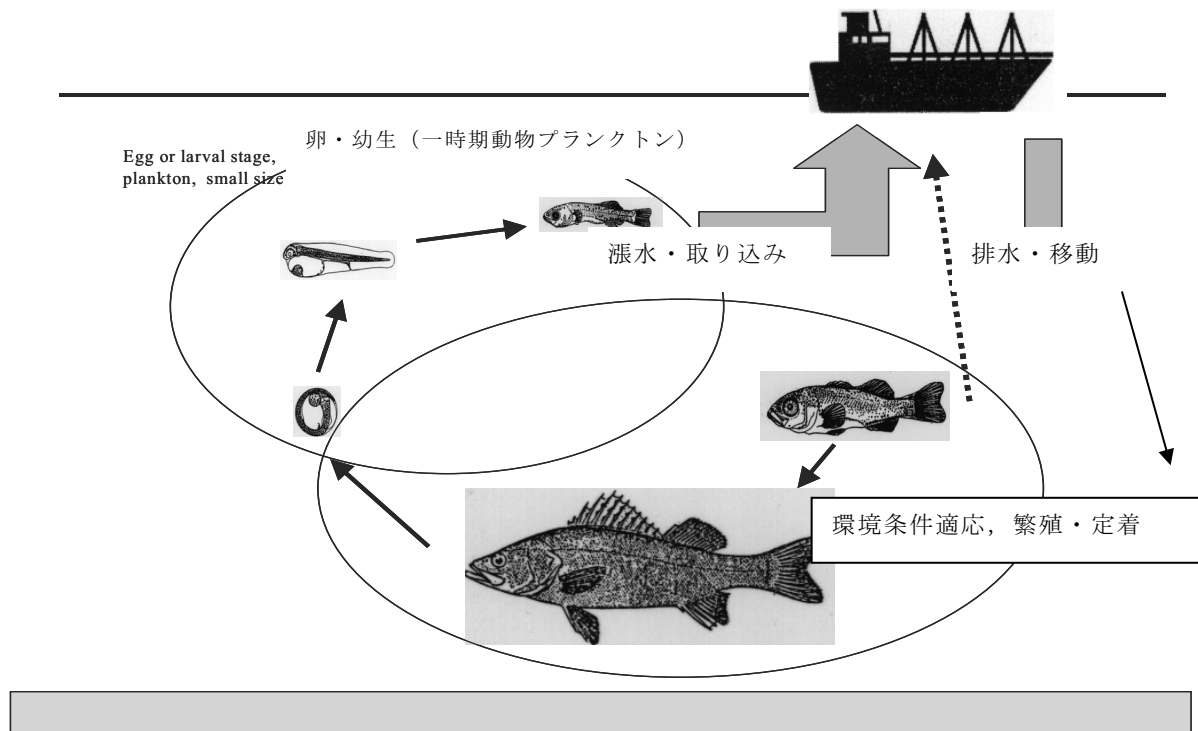


図-3 遊泳動物 (魚類) のバラスト水による分布移動メカニズムの模式図

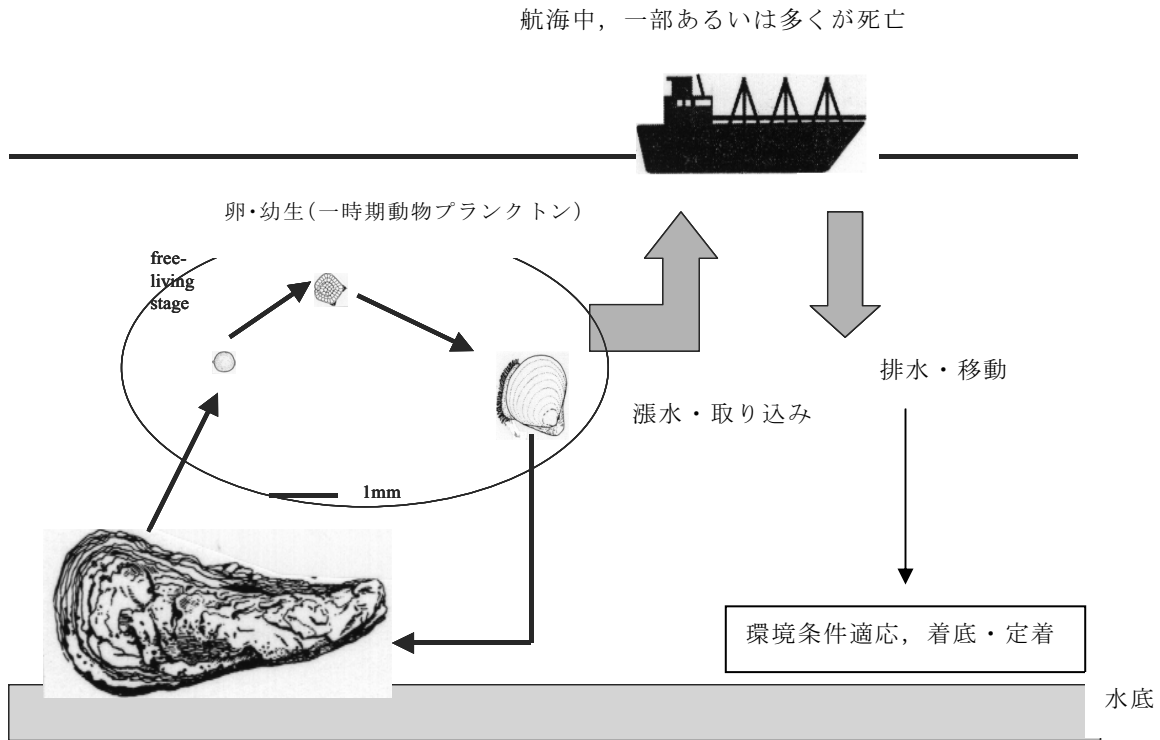


図-4 底生付着動物のバラスト水による分布移動メカニズムの模式図

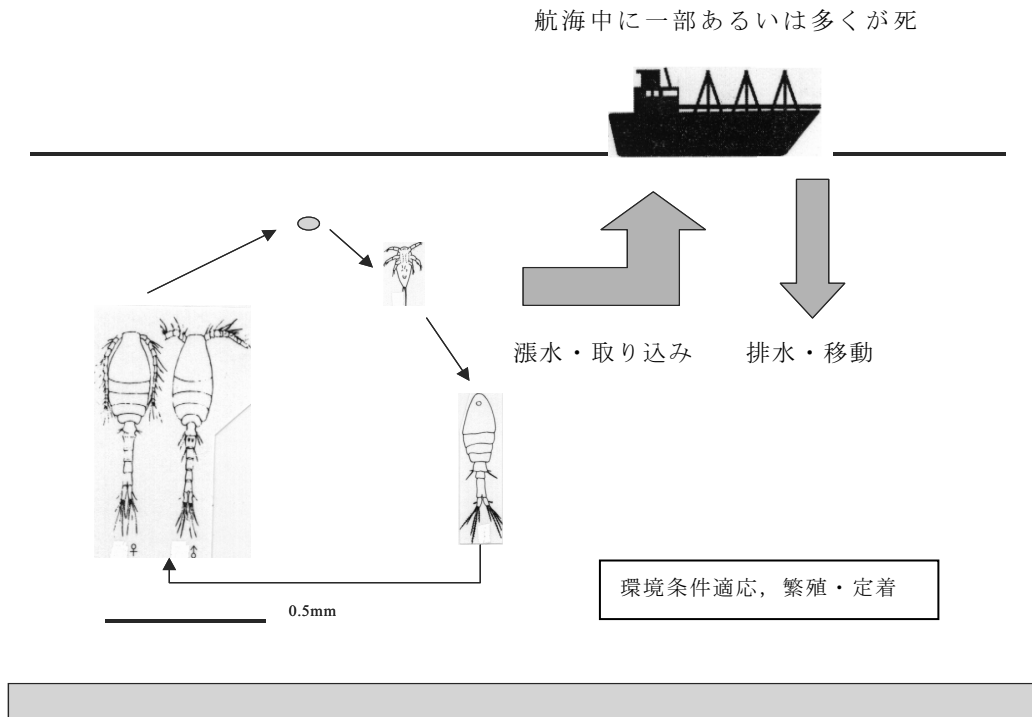


図-5 動物プランクトンのバラスト水による分布移動メカニズムの模式図

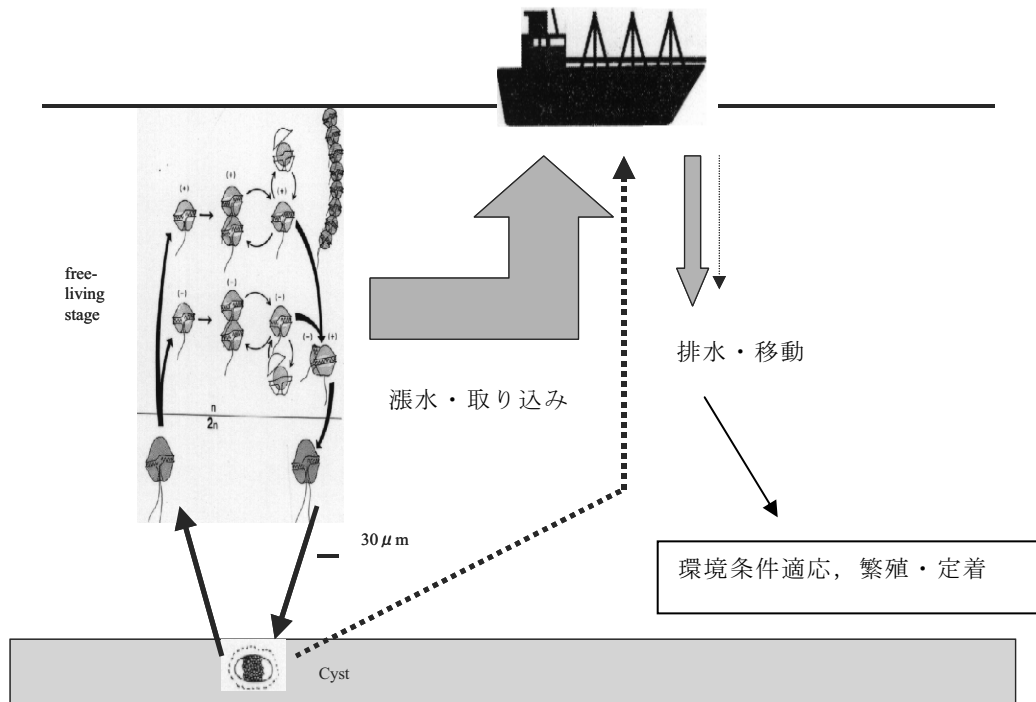


図-6 植物プランクトンのバラスト水による分布移動メカニズムの模式図

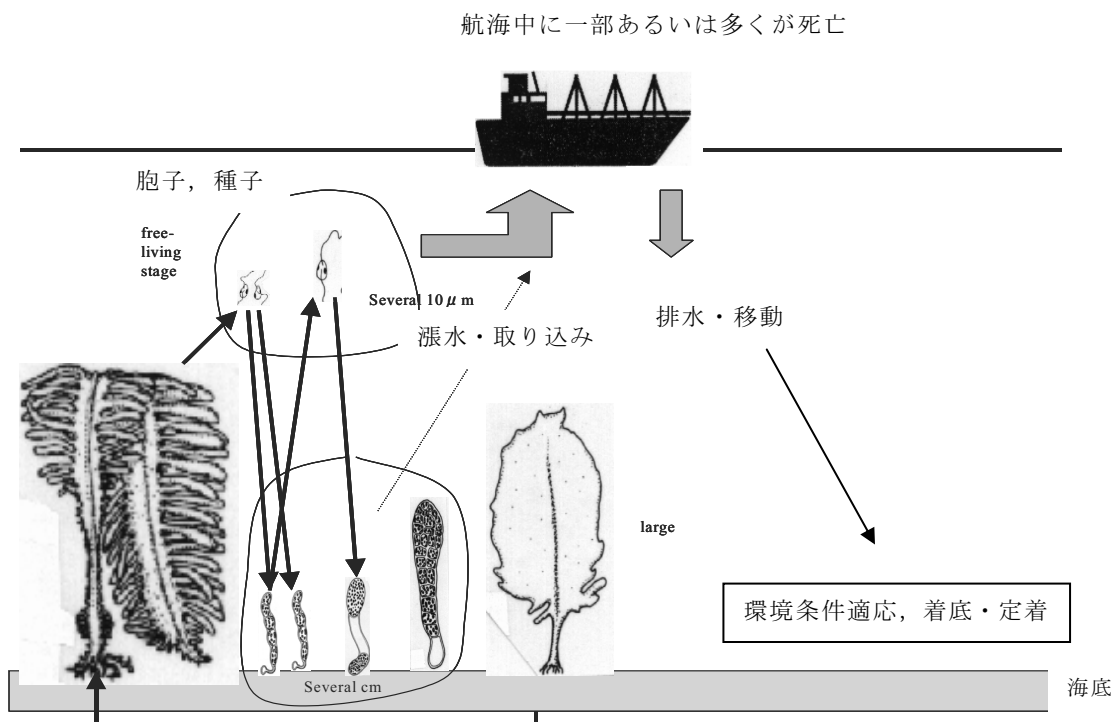


図-7 底生付着植物（海藻）のバラスト水による分布移動メカニズムの模式図

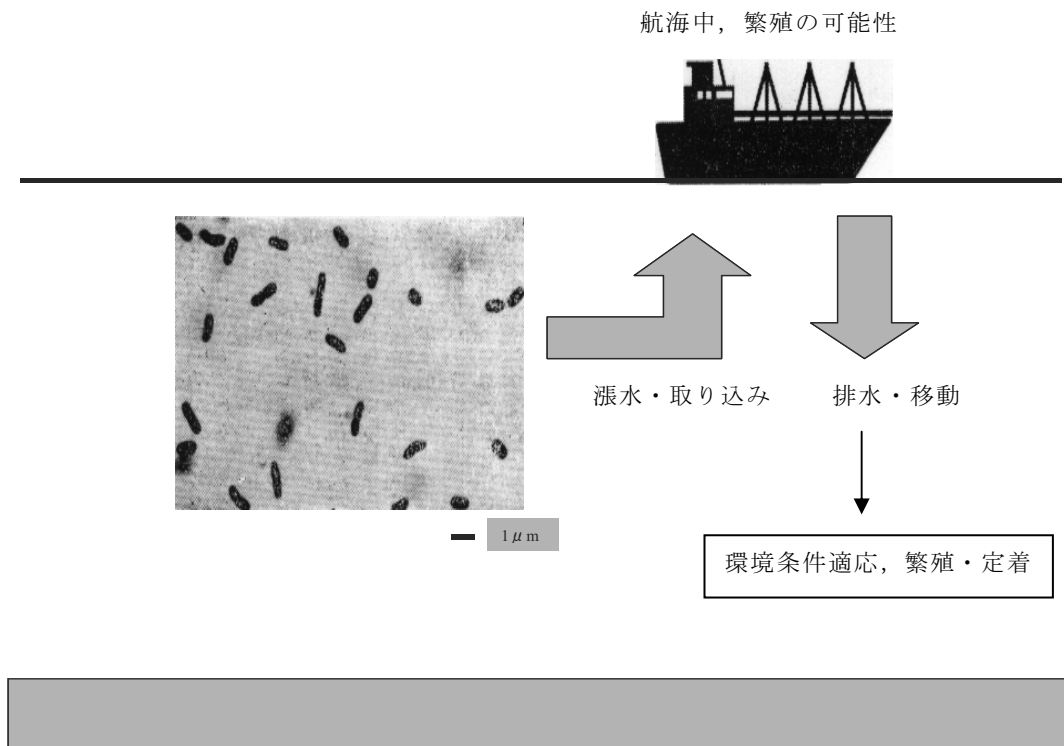


図-8 細菌のバラスト水による分布移動メカニズムの模式図

表-2 バラスト水に混入した生物による被害

移動元	被害の状況
ヨーロッパから	カスピ海地域原産のカワホトトギスガイが、北アメリカ各地の河川の生態系を攪乱している。
	ヨーロッパ産の淡水魚アセリナが五大湖に住みつき、年間 9,000 万ドルの経済価値のある在来種のアメリカパーチやウォールアイ（*北米淡水産スズキ目パーチ科の食用魚）を駆逐しはじめている。
	地中海産のケヤリムシ（カンザシゴカイ）が生きたカーペットと化してオーストラリア南東部沿岸ポートフィリップ湾の海底を覆い、地元のホタテガイ漁業に被害を与えている。
南北アメリカ大陸から	南北アメリカ大西洋岸原産のクシクラゲの一種が、黒海の漁業に壊滅的な被害を与えた。
	北アメリカ大西洋岸産のアメリカ・マテガイが、ヨーロッパ西部・北部沿岸一帯に定着した。
	同じく北アメリカ大西洋岸原産の多毛虫がポーランド沿岸の広大なヴィスワ川の渦にすみつき、現在では湖底に住む大型種の生物量の 97 パーセントを占めている。
東アジアから	中国原産のモズクガニとアジア産の 2 枚貝の 1 種がサンフランシスコ湾に侵入した。
	東アジア原産の 8 割以上のカイアシ類が、南北アメリカ太平洋岸に定着した。
	太平洋北西部からヒトデ (<i>Asterias amurensis</i>) がタスマニア沿岸に侵入して、地元の貝産業を脅かしている。また在来種のスポッテッド・ハンドフイッシュが危機に瀕している。これは歴史始まって以来の最初の絶滅海洋魚となるかもしれない（もっとも、記録に残されていない絶滅の例は、ほかにあるだろうが）。
	日本の沖合いに生息する有毒な渦鞭毛虫—“赤潮”プランクトンが、しばしばオーストラリア南東部沿岸のカキ養殖場に大きな被害を与えている。（すでに述べたようにこれは日本からの移入でないとする文献がある。）
	日本沿岸に自生するさまざまな種類の海藻が、タスマニア沖とアメリカの大西洋・太平洋沿岸部に定着した。
南アジアから	インド原産の魚ブリームが、オーストラリア西部に定着した。
	インド・太平洋産のハゼが、ナイジェリア、カメルーン、パナマ運河に定着した。
	インド・太平洋原産で地中海東部にすみついたカニ (<i>Charybdis helleri</i>) が、今度はキューバ、ベネズエラ、コロンビア、フロリダ沖に現れた。
オーストラリアから	ヨーロッパ沿岸部の広い地域で、オーストラリア産の蔓脚類甲殻動物が在来種より優勢になっている。

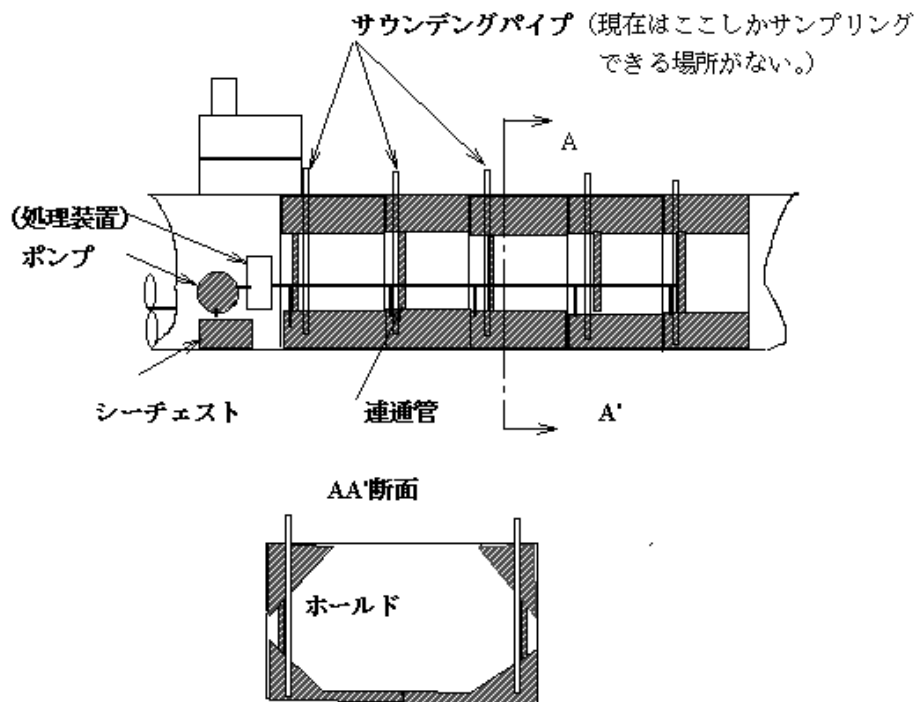


図-9 バルカーのバラストタンク

2.4 バラストタンク内の状況

バルカーのバラストタンクは図-9 に示すような構造になっている。

5万トンクラスバルカーのおおよその大きさ

バラストタンク全長：220m

タンク容量： $2,000\text{m}^3 \times 2$ （右舷、左舷） $\times 5$ （区画）
 $=20,000\text{m}^3$

ポンプ容量：通常 $600\text{m}^3/\text{h} \times 2$ 基
 $=1,200\text{m}^3/\text{h}$ （1基のものもある）

荷役時間は $20,000/1,200=16.7$ 時間となり、前後作業時間と合わせて約24時間で出航できるように設計されている。

15 万トンクラスではポンプ容量はおおよそ $2,500\text{m}^3/\text{h} \times 2$ 基である。ハンディーバルカーのシーチェスト、ストレーナー、バラスト水用ポンプ、バラストタンク、フロースルー時に排水される排気孔の写真を図-10～17 に示す。バラスト水はまず図-10 のシーチェストから海水を取り込む。内部は大きなタンク構造である。次に図-11 のストレーナーを通り、図-12 のポンプにより各タンクに送られる。図-13 はホールドからバラストタンクへの入り口。バラストタンクの内部構造は図-14 のように 1 つのタンク内にも補強用鋼板材が多い。船底の側壁側は図-15 のような補強材がある。この補強材の底部には水等が流れるように穴があけられており、この穴は



図-10 シーチェスト（ここから海水を吸い込む。内部は大きなタンクになっている。5 万トンバルカー）



図-11 ストレーナー（海水はストレーナーを通してポンプへ）



図-12 バラスト水用ポンプ（5万トンクラスで600m³/hのポンプ1～2台、15万トンクラスでは2,500m³/h, 2台）



図-15 バラストタンク内部の補強材



図-13 バラストタンク出入り口



図-16 バラストタンクをホールドから見たところ（バルカーのバラストタンクは船底部と甲板近くの2カ所に分割されておりパイプで連通している。）



図-14 バラストタンク出入り口



図-17 甲板上のエア抜き



図-18 沈殿物の採集 (5mm 程度以下の厚さのところが多く、厚いところで 10mm 程度であった。)

塞がらないようにする必要がある。バラストタンク内の沈殿物を除去したり、修理するときは、側壁を解放し、終了後再び溶接する。バルカーでは 1 つのタンクは底部と上部の甲板下側に分かれており、図-16 に示すように上下方向のパイプで連通している。図-17 に甲板上のバラストタンクのエア抜きを示す。フロースルーでバラスト水交換を行う場合にはこのエア抜きから排水されている。

木村らのバラストタンク中の調査¹⁵⁾では、動物プランクトンの個体数密度は初期において 100 L 当たり 160~4,200 個体で、約 5 日後の排出直前までに 1 割以下になっていたと報告されている。

当研究所で 2001 年にハンディーバルカー (4.3 万 G.T.) とコンテナ (6 万 G.T.) の調査を行った。ハンディーバルカーのバラストタンク内には図-18 に示すように少量ではあるが、泥 (セディメント) が沈殿していた。この泥の厚さは 5 ~ 10 mm 程度であった。泥をサンプルし開口径 37 μ m のステンレスメッシュで濾過処理し、光学顕微鏡で植物プランクトンの休眠孢子等 (渦鞭毛藻のシスト、珪藻の孢子等) の写真撮影を行った。その中には図-19 に示すように休眠孢子等は全体的に少なく、渦鞭毛藻類の *Protoperridinium pentagonum* のシストが見受けられた。*Protoperridinium pentagonum* は世界中に広く分布しており、日本沿岸域にも普通に分布する。図-20 では休眠孢子等は全体的に少なく、渦鞭毛藻類の *Pheopolykrikos hartmanni* のシストが見受けられた。*Pheopolykrikos hartmanni* は日本沿岸域に普通に分布する。図-21 には珪藻の殻が多く認められるなかで、珪藻類 *Thalassiosira* 属の細胞が少数認められた。*Thalassiosira* 属は世界中に分布しており、一部は赤潮を形成することが知られている。図-22 には珪藻の殻が多く認められるなかで、休眠した状態で泥中に生存する (厳密にはシストとは呼ばない)。そのような珪藻類 *Coscinodiscus* 属の細胞が少数認められた。*Coscinodiscus* 属は世界中に分布している。

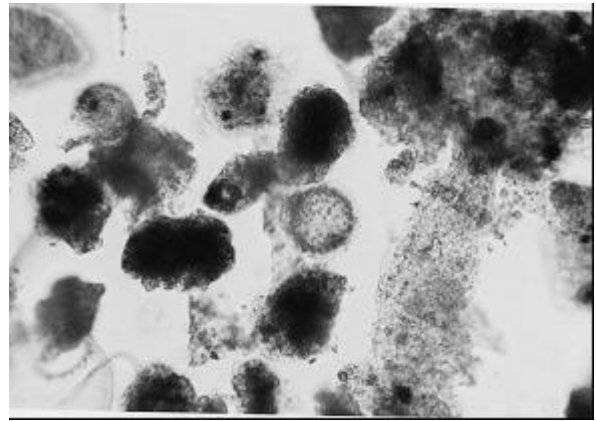


図-19 渦鞭毛藻類 *Protoperridinium pentagonum* シスト (北米・オーストラリア航路、4.3 万 G.T. ハンディーバルカー)

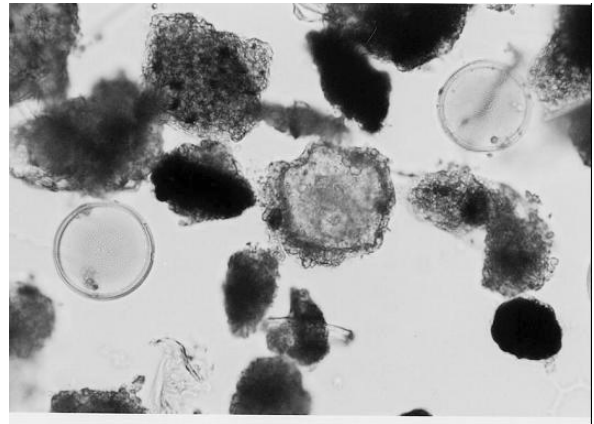


図-20 渦鞭毛藻類 *Pheopolykrikos hartmanni* シスト (北米・オーストラリア航路、4.3 万 G.T. ハンディーバルカー)

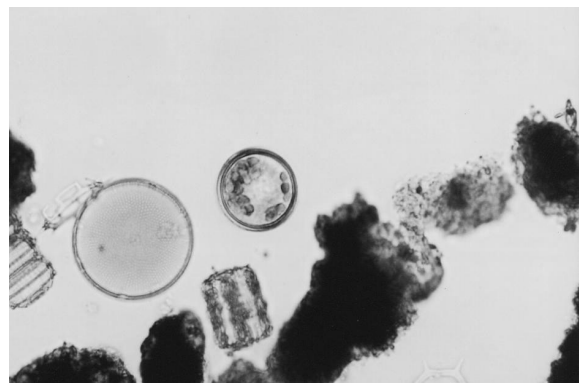


図-21 珪藻類 *Thalassiosira* 属、休眠細胞

調査した船では、太平洋上でバラスト水交換を行っているため、バラストタンク内に沈殿した泥は少

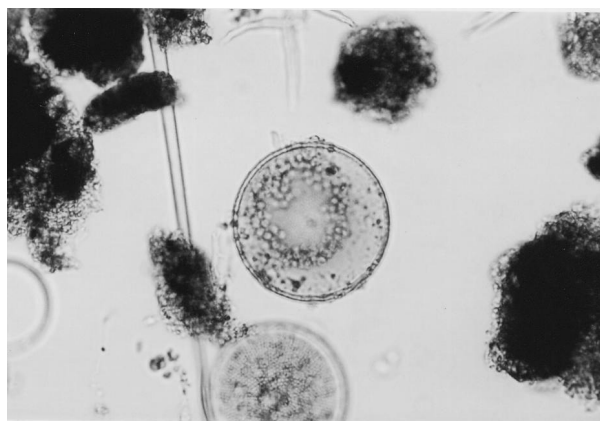
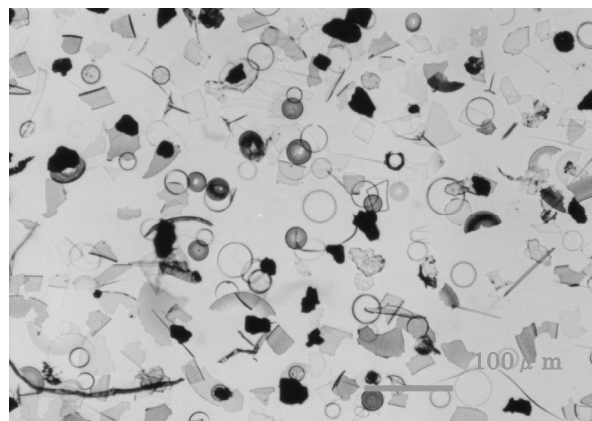
図-22 珪藻類 *Coscinodiscus* 属、休眠細胞

図-23 フルイ処理等を実施した底泥の概観

なかったが、沈殿物の中には少数ながら渦鞭毛藻類のシスト及び珪藻類の細胞が存在することが確認された。これらのシストや細胞が存在していることは、オーストラリア等有害海洋生物として注目している有毒渦鞭毛藻類のシストについても可能性があることを意味している。なお、オーストラリア航路のバルクキャリア調査時の聴聞では、最初のバラスト水のサンプリング調査の結果、有害海洋性生物が認められなかった場合、次回以後のサンプリングの記録は船長のサインで認められるとの証言があった。

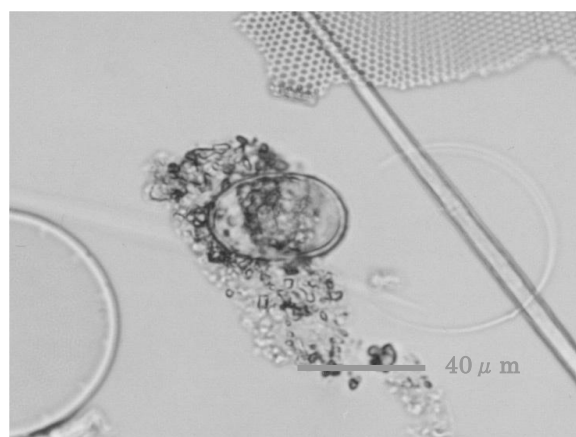
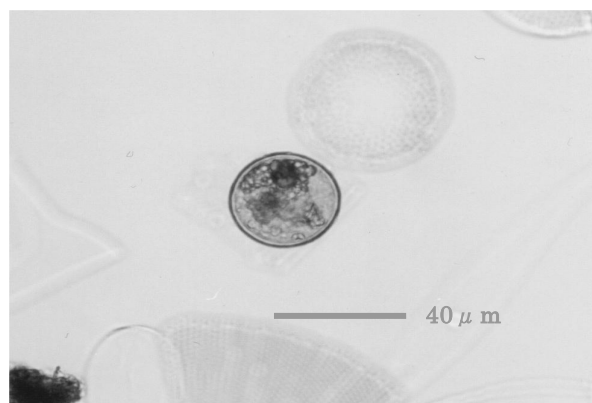
2002 年度に鉱石運搬船(20 万 G.T.)のバラストタンク内の沈殿泥中のプランクトンの調査を行った。図-23 には、フルイ処理等を実施した底泥の概観(顕微鏡画像)を示した。

画像に写っているのは、珪藻の殻(死んで内容物が無い状態)がほとんどである。

これら珪藻の殻は、分解され難い珪酸質の細胞壁である。よって、バラスト水と共にバラストタンク内に取り込まれる珪藻の多くは、暗黒環境下で死滅してバラストタンク底に沈降し、細胞の有機成分は分解され、分解されにくい殻が残存することを示している。

図-24～26 は、渦鞭毛藻のシスト(休眠孢子)であり、極少数であるものの生存が確認された。そのうち、図-24 と図-25 は有毒種の可能性がある *Alexandrium* 属のシストである。

これら渦鞭毛藻のシストは、遊泳細胞としてバラスト水と共に取り込まれた細胞がシストを形成して沈降したか、シストとして取り込まれ沈降したものと考えられる。シストは、環境が整えば発芽し、発芽した遊泳細胞は繁殖する可能性がある。つまり、このような底泥が排出されれば、渦鞭毛藻の拡散につながることになる。

図-24 観察された渦鞭毛藻 *Alexandrium* 属のシスト図-25 観察された渦鞭毛藻 *Alexandrium* 属のシスト

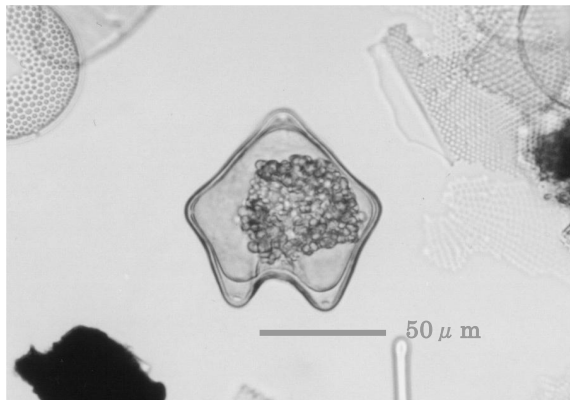


図-26 観察された渦鞭毛藻 *Protoperidinium leonis* のシスト

図-27、28 は、珪藻の生細胞であり、渦鞭毛藻のシスト同様に極少数であるものの生存が確認された。

前記したように、底泥中に存在する珪藻のほとんどは死骸の殻であるが、極少数でも生細胞が観察されたことは、一部は死滅せずに生細胞の状態でバラストタンク底に沈降することを意味している。よって、渦鞭毛藻同様に、このような底泥が排出されれば、排出海域で再生産する可能性があり、珪藻の拡散につながることになる。

その他の観察された生物としては、図-29 に示したのは、線虫である。一般に線虫は、底泥中の微細な有機泥（プランクトン等生物の腐食物等）を餌料として生活している。本生物のような有機泥捕食生物にとっては、バラストタンク底は生息環境として適していることを示している。よって、このような生物も、底泥が排出されれば排出海域で再生産する可能性があり、拡散につながることになる。

2007年に進水後1年あまりでオーストラリアから瀬戸内海に入港した新造鉄石運搬船(20万G.T.)のバラストタンク内調査を行った。大型船のバラストタンク内調査は強制換気と酸素濃度チェックの後、デッキのマンホールから暗黒環境の中に何十メートルもの垂直梯子を下る危険な作業であり、頻繁に行える調査ではない。また、泥を持ち帰っての分析作業には検疫の壁もある。

3. 規則

3.1 IMOの規則

船舶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では、船舶のサイズにより順次2009年から建造される船舶に対して、バラスト水管理装置によるバラスト水処理を義務づけており、処理されたバラスト水は、その排出時に条約付属書の規則D-2項のバラスト水排出基準（以下D-2基準）を満たすことが要求されている。D-2基準の抜粋を表-3に示す。

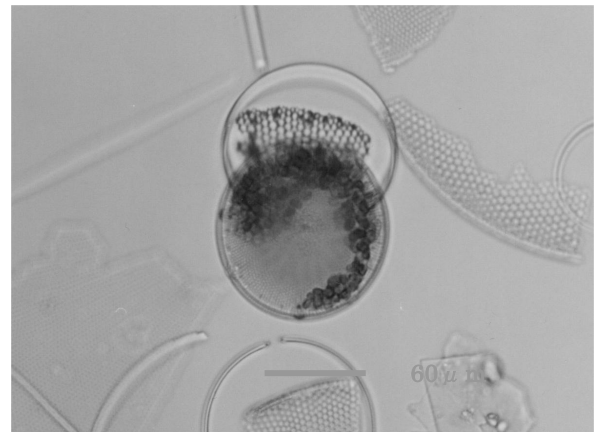


図-27 観察された珪藻 *Thalassiosira* 属の生細胞

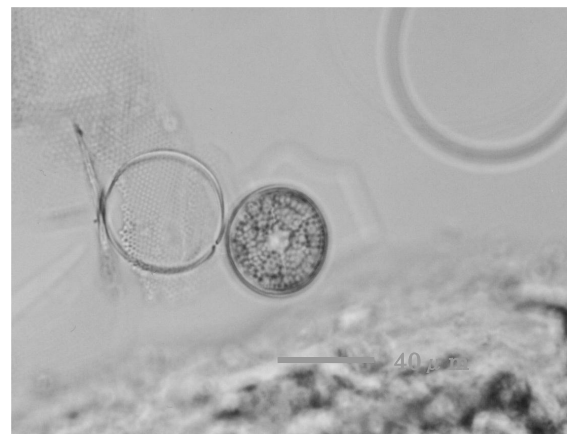


図-28 観察された珪藻 *Actinopterychus senarius* 生細胞



図-29 観察された線虫

また IMO では同条約の円滑な実施のガイドライン(G1～G14)が検討されている。中でもバラスト水処理に特定の活性物質(薬剤)を使用する場合の環境影響評価等 IMO の承認を得るために必要な指針が G9 に、開発バラスト水管理装置の適合判定試験方法等が G8 に記述されている。条約が発効されると、バラスト水は洋上交換、または D-2 基準に適合した処理を行わなければならない。バラスト水洋上交換方法は G6 に定められており、95%以上の容積を交換するものとし、95%以上の交換と同等であれば3倍量未満のポンピングスルー方式で良いと規定されている。しかし洋上交換での対応には、船舶の建造時期とバラスト水容量に応じて時限が決められており、最終的には全船が D-2 基準に従った処理をしなければならない。現在各国では処理後の排出バラスト水が D-2 基準を満足させることを前提に G9 の承認や G8 の試験に適合するバラスト水管理装置の開発が進められている。

3.2 型式承認試験の対象として適切な生物分類及び試験方法

バラスト水及び沈殿物の管制及び管理規則(条約の付属書)および型式承認試験(バラスト水管理システムの承認のためのガイドライン: G8)の対象として、動物プランクトン(魚類の卵・稚仔、底生付着動物の卵・幼生を含む)、植物プランクトン、病原菌がある。型式承認試験は、実船航海での試験が必要となっている。

試験生物には、研究施設等で培養した生物と自然海水中の生物が考えられている。実船での試験には、莫大な数の水生生物が内在するバラスト水として、多量の海水を処理することになる。このような試験において、培養生物を用いるのは、多くの培養生物をあらかじめ準備しておく必要があり、膨大な培養作業と費用が必要となり非現実的である。したがって、試験生物は、自然の水域に発生する自然海水中の生物であることが基本条件となると考えられる。

次いで、自然海水中の生物には、世界中に常時発生する生物群と、限られた水域および季節に発生する生物群がある。試験は、同じ生物群で行わなければ再現性のある評価ができないため、自然海水中の生物の中でも世界中いたるところで常時発生している生物群であることも基本条件となる。また、陸上試験と実船試験の両方を実施するには、世界中で常時発生している自然海水中の生物の中でも、沿岸および沖合の両海域で発生する生物群であることも必要となる。以上の条件をまとめると、試験生物に用いる対象生物は世界中の沿岸域および沖合域に常時発生し、運動性があるなど正常な状態の判別が容易である自然海水中の生物とすべきであると考えられる。

表-3 D-2 基準(抜粋)

最小サイズ (minimum dimension)が 50 μm より大きい増殖可能な生物(略称 L グループ)	排出バラスト水 1 m ³ あたり 10 個未満
最小サイズが 10 μm より大きく 50 μm より小さい増殖可能な生物 (略称 S グループ)	排出バラスト水 1 ml あたり 10 個未満
人間の健康基準となる指標病原菌	病毒性コレラ菌 O-1 及び O-139 が 100 ml 中 1 cfu 未満、 大腸菌 100 ml 中 250 cfu 未満、 腸球菌 100 ml 中 100 cfu 未満

上述の理由により、型式承認試験に適切な生物は、植物プランクトンの *Dinophyceae* (渦鞭毛藻綱)、動物プランクトンの *Maxillopoda* (Copepoda、カイアシ類) が該当する。両生物類は、IMO/MEPC バラスト水基準コレスポンデンスグループが検討した (IMO/MEPC48/2/1) 生物分類の軟殻の無脊椎動物と植物プランクトンに属し、IMO がバラスト水によって世界的に移動している生物種リストおよび海上技術安全技術研究所と日本海難防止協会の調査結果のうち、以下の 16 種が該当する。

渦鞭毛藻類

Gymnodinium catenatum, *Pheopolykrikos hartmanni*,
Alexandrium affine, *Alexandrium catenella*,
Alexandrium minutum, *Alexandrium tamarense*,
Protoperidinium leonis, *Protoperidinium pentagonum*

カイアシ類

Acartia omorii, *Centropages abdominalis*,
Centropages typicus, *Limnoithona sinensis*,
Oithona davisae, *Pseudodiaptomus marinus*,
Pseudodiaptomus forbesi, *Pseudodiaptomus inopinus*

なお、底生付着生物の成体やそれらの浮遊幼生および海藻の胞子は沿岸域で発生するが、その浮遊期は産卵時期等を中心とする一時期であり、また、沖合ではほとんど発生しない。つまり、常時世界中の海域で試験することが困難な生物である。したがって、これら生物群に関しては、試験時に出現した場合に処理効果を付記する生物と位置づけるのが適切であると考えられる。

実際の試験方法では処理装置運用時の処理装置の入口及び出口における自然海水中生物をサンプリングして、正常な状態の生物個体数を顕微鏡下で計数

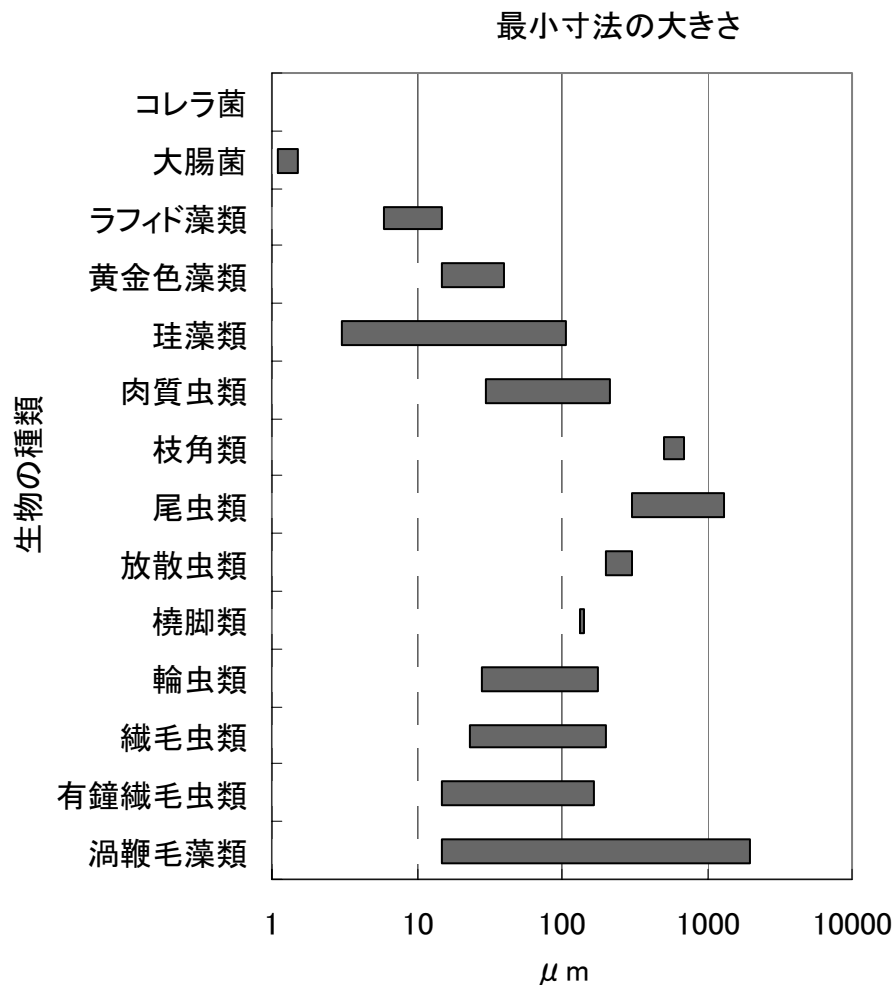


図-30 生物の種の最小サイズの大きさ

することになる。試験においては、対象生物の除去、殺滅または不活性化を測定することになる。この計数作業においては、これら生物の損傷状態や運動性の観測による処理された生物か、又は正常である生物かの判別が、短時間で容易にできることも必要となる。

実際には $50\mu\text{m}$ よりはるかに大きい生物はストレーナー等で除去されるので、 $50\mu\text{m}$ 程度の大きさの生物と $10\mu\text{m}$ 程度の大きさの生物除去、殺傷がポイントになると考えられる。最小寸法がそのような大きさである生物を図示すると図-30 のようになる。バラスト水管理システムの承認の際の生物分析方法等マニュアル(二次案)、(財)日本舶用品検定協会、平成 18 年 3 月の資料¹⁶⁾を基にこの図を作成した。

試験方法については、 $50\mu\text{m}$ 以上の正常な状態の生物と $10\mu\text{m}$ ~ $50\mu\text{m}$ 正常な状態の生物の数を計数することになる。

3.3 各国のバラスト水排出規制

各国で実施されているバラスト水排出管理に関する規制を表-4 にまとめて示す⁵⁾。バラスト水排出管理方法としては、洋上におけるバラスト水交換を要求している国が多いが、実施海域やバラスト水交換が実施できなかった場合の代替方法に関しては、規制する国によって違いがある。なお、化学薬品による消毒を強制している国(チリ、アルゼンチン)もあるが、これはコレラ菌等伝染病を防ぐ目的で規制が行われている。

ここでは、米国、オーストラリア、カナダにおける具体的な規制内容について説明する。

米国：

経済水域を越えて航海した後に米国にバラスト水を持ち込む場合には米国入国前に岸から 200 海里または水深 2,000m 以上のところで交換する必要がある。

オーストラリア：

洋上バラスト交換が強制されている。バラスト水が生物学的に問題ないと豪州が判断すればバラスト水交換実施が免除される。

カナダ：

バンクーバー港に入港する船は洋上バラスト交換

が強制される。

現在各国で要求されているバラスト水排出管理は、洋上におけるバラスト水交換が主であるが、実施海域やバラスト水交換が実施できなかった場合の処理方法に関しては、規制する国によって違いがある。

表-4 各国で実施されているバラスト水排出管理に関する規制

国	バラスト水ルール
豪 州	1992 年から、オーストラリア水域に入域する船舶への、バラスト水交換自主規制適用 1998 年 8 月 1 日から、管理実施記録・報告を強制化 2001 年 7 月 1 日から、洋上バラスト水交換（95%）強制化、Decision Support System 導入（バラスト水漲水状況等をその都度インターネット等で連絡し、豪州が生物学的に問題ないと判断すればバラスト水交換実施免除）
ニュージーランド	1992 年から、バラスト水交換任意（報告強制） 船舶は、バラスト水オリジンの証拠及び有毒渦鞭毛藻類の不存在証明書、又は洋上バラスト水交換の証拠、又はバラスト水を消毒した証拠提供強制
米 国	1993 年から、五大湖及びハドソン河入域船舶に対する、バラスト水交換強制（離岸 200 海里以上、水深 2,000 呔以上海域） 1999 年 7 月 1 日から、管理実施記録・保持を強制化（バラスト水交換は任意） 2000 年 1 月 1 日から、カルフォルニア州、同州入港船にバラスト水交換強制（離岸 200 海里以上） 2000 年 9 月 22 日から、ワシントン州、同州入港船にバラスト水交換強制（離岸 50 海里以上）
カ ナ ダ	1998 年 1 月 1 日から、バンクーバー港入港船は洋上バラスト水交換強制
英 国	1998 年から、スカパフロー港、受入施設へのバラスト水排出強制
イスラエル	1994 年から、イスラエル諸港に寄航予定のすべての船舶に対する、大陸棚又は清水流影響水域から離れた外洋でのバラスト水交換強制 Eilat 寄港船は、紅海の外側でのバラスト水交換、地中海側諸港寄港船は、大西洋での交換強制
チ リ	1995 年から、バラスト水についての強制要件導入 コレラ又は同様の伝染病流行の影響区域から来航するいかなる船舶も、海岸から 12 海里以上離れたバラスト水交換強制 バラスト水交換の証拠が有効でない場合、港内でのバラスト水排水の前に、化学薬品（粉末次亜塩素酸塩ナトリウム（sodium hypochlorite）または粉末次亜塩素酸カルシウム）をバラスト水に添加強制
エクアドル	外部からの船舶に対しバラスト水交換強制 コレラ発生地域からの船舶に対し、バラスト水交換または薬剤による事前処理強制
アルゼンチン	1990 年から、ブエノスアイレス港は、コレラ発生地域からの当港寄港船に対し、バラスト水の塩素消毒強制 （塩素は、バラストタンクの通気管を通じてバラスト水に添加）
パ ナ マ	パナマ運河内でのバラスト水排出禁止
中 国	1996 年から、検疫伝染病区域（主に O-157）からの船舶、薬剤殺菌強制

4. 対策技術

4.1 処理方法

バラスト水の処理方法として、機械的破壊、熱処理、化学処理、紫外線、酸素除去等の方法が研究されているが、どの方法にも一長一短があり D-2 基準達成と実船への適用は容易なものではない。

バラスト水処理技術については Oemcke, D が調査している¹⁷⁾。バラスト水処理技術としては UV (紫外線) 照射、超音波、磁場、電場、機械的破壊、ろ過、遠心分離、熱処理、化学殺菌剤 (活性物質)、ガンマ線照射、高エネルギー電子ビーム照射、光化学、酸素の除去、pH 調整、塩分濃度、タンクコーティングの方法等が考えられる。化学殺菌剤としては塩素、ヨウ素、モノクロアミン、二酸化塩素、オゾン、臭素、過酸化水素、グルタルアルデヒド、グルコール酸、過酢酸、商標や特許による殺生物剤、銅イオン、銅と銀等がある。これらの個別のまとめられた概要に一部加筆して以下に示す。

(1) UV (紫外線) 照射

UV 照射は適応暴露量によるが、表-5 に示されるように広範囲の微生物処理に効果がある。これは顕著な毒物を生成しない。

1) ウイルス、バクテリア等菌類

海洋バクテリアのある種では、低温においてほんのわずかの照射効果の減少が観察されているが、ほとんどのバクテリアとウイルスの不活性化に温度の影響はない。UV を照射されたいくつかの生物は、光回復や暗回復で知られるような回復変化を示し、それが通常の照射感度である。

表-6 の結果は、照射は暗回復と光回復を考慮して増加されなければならないことを示す¹⁸⁾。暗回復はゆっくりとした反応で温度を上げることによって強められる。Fitt et al.¹⁹⁾によると E.coli (大腸菌) や halophilic bacterium (好塩菌) NRC 41227 は顕著に暗回復し (3log in 24hr)、4 時間の暗闇で止まった後の光回復でただちに光にさらされた時は、部分的に光回復する。

適当な酵素の機構がない多くのウイルスは、光回復とか暗回復はないが、Anabaena spp. Cyanophages は Cyanobacterium と育ったときは光回復する²⁰⁾。

約 60mW.s/cm² の UV 照射はバクテリア、多くのウイルス及び多くの原生生物に効果があり、120mW.s/cm² の照射では特に抵抗力のあるシストやウイルスを除いたほとんどの微生物に効果があることを示唆している¹⁷⁾。

2) 藻類

UV 照射の効果を上げるためにはバラスト水の透過度を上げる必要があり、濁りを除去する対処により、シストに効果を上げている。青緑藻類 Anabaena spp. (一属複数種) は顕著な光回復があり、照射が増えるに従って減る。

Oemcke(1998)²¹⁾は、UV が dinoflagellate alga Amphidinium sp. (一属一種) と渦鞭毛藻綱の成長

配偶子の不活性化に有効であることを示した。照射後バラストタンク内貯蔵によって光復活力を無力にできる。少し孵化温度を上げることは不活性化を増す。休眠シストは UV 照射では不活性化されない。効果的な渦鞭毛藻の休眠シストの処理のためには、遠心分離か 20 μ m 程度のろ過が要求される。UV パルスのシステムは渦鞭毛藻シストには有効でないと予想される。多くの試験がアンフィディニウム属 (*Amphidinium* sp.) 及び有毒渦鞭毛藻 (*G. catenatum*) の生長力のある配偶子とシストで行われた。Amphidinium sp. をコントロールするために、UV 照射後 3 日から 5 日暗闇 (バラスト水中と同様に起きる) での生物貯蔵は、約 100mW $\cdot$ s/cm² の照射量の使用で十分な殺菌効果がある。この生物の暗闇貯蔵での反応は広く試験された。処理前の 20 μ m フィルターは UV 照射の効能を増進した。おそらく藻類のフロックや有機ゴミを除き、個々生物への UV の透過を促進する。上げられた温度 (32°C) は不活性化を増加した。Amphidinium sp. は、バラスト水中に関係した生物ではないが、非常に耐久力があるので UV の効果の試験に使用された。この研究結果はバラスト水中に関係する他の生物に広げる必要がある。G. catenatum の生長力のある細胞は、暗闇での貯蔵に対して Amphidinium sp. と同じように反応し、完全な不活性化 (>99.98%) に必要な 50mW $\cdot$ s/cm² 以下の照射で温度を上げた。G. catenatum シストは 1,600mW $\cdot$ s/cm² の UV 照射まで全く影響を受けなかった。シストのコントロールのため、フィルター又は遠心分離が UV の前処理として必要とされる。25 μ m までフィルターが有毒渦鞭毛藻に必要であり、20 μ m のものが単細胞性藻類 (dinoflagellate) を生成する他の種のシストに必要である。単細胞性藻類 (dinoflagellate) のシストの比重は、遠心分離が効果的であることを示唆している。

3) UV システムの課題

UV ランプは水晶のスリーブを通して水を照射するが、水中の浮遊物の沈殿により汚れる。これは炭酸カルシウムによるもので、バラスト水では問題ないだろう。しかし排出するバラスト水中の鉄の存在 (特に iron(II)) は、ランプのスリーブの上に沈殿し、沿岸での処理プラントは UV 照射の前に鉄の処理が必要であろう。バラスト水の処理では UV 照射は比較的潜在能力があり、その能力を明らかにするために広範囲の生物について多くのデータが必要である。バラスト UV システムの限界パイロット試験設計には、前スクリーンやハイドロサイクロンをもったものが推薦される。

実験では、UV が費用対効果のある照射量でバラスト水に効果がある可能性を示している。一連の試験結果を踏まえた新しくそして改良された UV システムが開発されれば、そのシステムによって、濁った水中や抵抗力のある生物の不活性化を増す可能性がある。さらに、バラストタンク内の実際の状況は UV により損傷を受けた後の生物の不活性を増す

表-5 UV照射の微生物処理効果

微生物	放射量	除去率	資料 ¹⁷⁾
	mW・s/cm ²	log	
淡水ウイルス			
Adenovirus 40	30,124	1,4	Meng&Gerba(1996)
MS-2 coliphage	14,65.2	1,4	Meng&Gerba(1996)
Poliovirus 1	4-6	1	Meng&Gerba(1996),Harris et al.(1987)
	22-31	4	Meng&Gerba(1996),Harris et al.(1987)
Bacteria			
E. coli	3-12	2-3	Jarroll(1988) ,Sobsey(1989) , Severin et al.(1983)
Bacillus subtilis spores	24-60	3	Sommer et al. (1995) , Sobsey(1989)
Yeast			
Candida parapsilosis	2831	2	Severin et al.(1983)
Cyanobacteria			
Anabaena spp.	100	3.2-3.7	Levine & Thiel(1987)
Protozoa (原虫、原生動物)			
Giardia lamblia	43-63	0.8	Jarroll(1988)
Acanthamoeba castellanii	100	3	Sobsey(1989)
Cryptosporidium parvum	80,120	1,2	Campbell et al.(1995)
海洋ウイルス			
Infectious Pancreatic Necrosis Virus	122-200	3	Liltved et al.(1995)
baculoviruses	>460	1	Chang et al.(1998)
Bacteria			
Streptococcus. sp.	21.1	4.43	Sugita et al.(1992)
Vibrio anguillarum	22	6.8	Sugita et al.(1992)
Pasteurella piscicida	10.8	>6.5	Sugita et al.(1992)
Vibrio salmonicida	1.8	5	Liltved et al.(1995)
除去率 log の説明：1 log は 90%除去、2 log は 99%除去、3 log は 99.9%除去を意味する。			

表-6 種々回復病原菌の不活性 3log の UV 照射 (mW. s/cm²)

微生物	処理直後	暗回復 ⁽¹⁾	光回復処理	照明+暗闇 ⁽³⁾	資料 ¹⁷⁾
淡水					
Escherichia coli	4		10.6 ⁽⁴⁾		Harris et al.(1987)
Streptococcus faecalis	8		15 ⁽⁴⁾		Harris et al.(1987)
海水					
Aeromonas salmonicida	3.2	8.1	9.5 ⁽²⁾	10.6	Liltved & Landfald(1996)
Vibrio anguillarum	2.8	8.1	6.3 ⁽²⁾	13.4	Liltved & Landfald(1996)
Yersinia ruckeri	1.2	5.3	4.9 ⁽²⁾	8.5	Liltved & Landfald(1996)
Notes(1)48 hours in dark in nutrient free phosphate buffered saline(PBS); (2)1,500Lux;(3)8 hours 1,500 lux followed by 48 hr in dark in nutrient free PBS;(4) 2 hours at 5cm below Duro Test Vitalite (自然光) lamps					

あろう。主な結論を以下に要約する。

- i) 実験室での UV 実験はバラスト水中の対象生物のより広い分布範囲に拡張する必要がある。
- ii) UV やフィルター/遠心分離のパイロットスケール試験は藻類や動物プランクトンの再生するブルーム（水面付近に発生する藻類やプランクトンの集まり）や沈殿した集まりのような系に挑む状況で試験する目的を持ってなされる必要がある。それはまた処理後バラストタンク内で起きる過程を実際的に反映した状況下でなされる必要がある。

(2) 超音波

音響技術調査では超音波は高等生物に対して効果が低いため、バラスト水処理システムから排除している。水消毒への現在の応用の実験的特質は非常に重要な論点であるが、前浄化処理がこの問題を有効的に支配するであろう。超音波には2つの方法がある。低強度超音波とパワー超音波である。低強度超音波は殺菌には使用されない。パワー超音波は1989年頃開始した研究で比較的新しい技術であり、20～100kHzの周波数を使用し、水の殺菌に適用出来るかもしれない。パワー超音波は水中にキャビテーション(低圧気泡)を作り、バブル崩壊時に局所的に高、低圧領域や極端な温度変化(約1000℃)領域を作る。*Giardia* (ジアルジア属)と*Cryptosporidium* (クリプトスポリジウム)のコントロールに使われてきた。これらのシステムはすべて実験であり、効果があったと言うデータは科学的文献には見られない。

大きくない規模でパワー超音波を使用した殺菌の試験実証プラントの運転が記録されている²²⁾。いくつかの情報は独占権があるが、殺菌方法が大型の工業的な応用へ進むだろうと述べている。しかし、連続流体への音響エネルギーの分配や、エネルギー入力最適化装置の耐久性が、信頼できる大型スケールへの応用への大きなハードルである。

Cryptosporidium oocysts (クリプトスポリジウム接合子嚢) 連続流試験システムで20秒の暴露で93～98.6%の不活性化を得ている。研究室のバッチ試験において10秒の暴露で4logの低減を示している。Drama & O'Dette(1998)は、20秒の超音波により、*Cryptosporidium parvum* (腸管寄生の原虫)、*helminth ova* (腸管寄生虫卵)、*poliovirus* (ポリオウイルス)、*Salmonella* sp.(サルモネラ菌)、*E coli* (大腸菌)の不活性化は、それぞれ

7log(99.99999%)、4.2log(99.994%)、
8log(99.99999%)、9log(99.999999%)、
9log(99.999999%)

を報告している。超音波処理はバラスト水中の生物の効果的な処理として発展させられる可能性があり、コスト的にも有効であるかもしれない。

(3) Magnetic fields(磁場)

燃料中の他給栄養バクテリアのコントロールに磁気処理が使用された。ワンパスシステムが *B.*

subtilis spores のコントロールに推奨された条件で試験されたが効果はなかった。この方法についてのデータは文献では見られない。

(4) Electric fields 電場

電気分解と対照的に、電気技術が文献に見られるが、しかしながらシステムの方法や作動に関する詳細が示されているものは少ない。もし塩化物があれば塩素、オゾン、酸素基、水酸基、加熱、細胞上の電場効果、酸化炭酸塩、硫酸塩類を発生させ、その効果は主に細胞内の酸化作用によると示唆されている。しかし、それらの混合は複雑である。電場 30 volt/cm DC で *E. coli* と *Staphylococcus aureus* に成功したが *B. anthracoides* には成功しなかった。電氣的ショックは渦鞭毛藻のシストの不活性化に適用された。AC100V、5秒の暴露で試験された6種類すべてのシストの細胞を不活性化させた。付加電圧の効果は塩素の発生や温度上昇によるもので、ショックによるものではない。UV とプラズマの殺菌効果として電気パルスはバクテリアの不活性化に効果があると報告されている。現在実験中でバラスト水の技術と評価に関し十分な情報はない。水からコロイド物質(水中微粒子)を効果的に除去するためには、電氣的凝固が必要とされ、バクテリア細胞をフロック化(綿状沈殿)する電化的不安定化過程によるものと思われる。水からバクテリアや藻類を除くのに成功したとの報告がある。この技術や、凝固やフロック化を基にした作動するプロセスに関した十分な情報はないので、船舶への応用はできそうにない。

(5) 機械的破壊の強化

バラストポンプに装置を取り付けポンプでの圧力効果やせん断力を高め微生物の除去の効果を高めるかも知れない。これは進める価値があるかもしれない。

(6) 濾過技術

バラスト水に適したフィルター；

直接ろ過には、急速砂ろ過、ふるい、布のふるいやフィルター、メッキしたフィルター、膜フィルターがある。50 μm のフィルターは大部分の動物プランクトンに有効であり、20 μm のフィルターは *dinoflagellate* (渦鞭毛藻) シストを取り除くことができる。40 μm のフィルターは比較的多く含まれる浮遊固体を処理すればムラサキガイ、*Dreissena polymorpha* (ゼブラガイ(カワホトトギス)) を全成長状態で除去できる。冷却水口のムラサキガイの除去には100 μm メッシュを示唆している。これらサイズは *Undaria pinnatifida* (ワカメ)、いくつか重要な *microalgae* (微小な藻)、*protozoans* (原生動物)、バクテリア、ウイルスの除去には役立ちそうにない。表-7におおよその対象物の大きさとフィルターのメッシュを示す。

1) 急速砂ろ過

細菌の汚濁低減の前処理として排水の浄化、有機体の除去のための下水処理として重い砂をベースとした濾過がなされてきた。パーティクルの除去メカニズムには次のようなものがある。

・フィルターの穴のサイズより大きいものを機械的に濾す。

- ・いくらか小さいパーティクルを穴の中に取り込む。
- ・フィルター内部の媒体内に留まらせる。
- ・重いパーティクルを死水域に入れる。
- ・フィルターの媒体に吸着や付着させる。
- ・フロックを成長させる。
- ・生物的分解を行う。

急速砂ろ過の速度 5~30m/h、1,000t/h のバラスト水処理において 33~200m² の表面積が必要となる。これらのフィルターは 1.5~60 μm の粒子の数を低減するがこの範囲の粒子の一部は通過する。より固く締まったフィルターはろ過効率が低下するが、フィルターが性能を発揮するには、粒子は凝結や綿状の塊になることを必要とする。

2) スクリーン (Screens)

原水にもよるがフロック剤を添加しないで、自己洗浄ステンレスのスクリーンは、約 10~20 μm までろ過することができる。自己洗浄の布フィルターは 3 μm までクリーンにすることができる。布フィルターは劣化を防ぐため前ろ過が必要である。

3) 珪藻土コーティングフィルター (DE: Diatomaceous earth precoat filtration)

珪藻土コーティングフィルターは、化石珪藻土 (DE) を水中に噴射し、隔膜の表面に DE を保持し、パーティクル間の穴の中に生物を捕らえるために使用する。DE フィルターは 5~17 μm まで取り除くことができ、1 μm まで除去できるものもある。フィルター材質の効果的な直径が小さくなるにつれて、操作のための経費やメンテナンスのコストが増加しがちである。高速流で取り扱うためには、プランクトンサイズが大きくなる。

4) 膜フィルター (Membrane filters)

バクテリアを水から除く典型的な膜フィルターユニットは、0.2 μm の穴サイズが効果的であり、さらに小さいものがウイルス除去に使用される。0.2 μm の膜はバクテリア、原生動物のシストや oocysts を除くのに使用される。膜への吸着、膜上に保持された塊としてウイルスが吸着した微生物の捕獲、保持層上にとりこみウイルスを除くことができる。浮遊固体からの保護、汚れの防止のため、前フィルターとして 50~200 μm のフィルターが必要であり、操作範囲で重合体を保持するために、pH 調整が必要である。設備費と操作コストがかかるため、特殊な応用や小規模処理に限られている。この方法は、下水 2 次処理でのバクテリア除去の UV や塩素処理より、おおよそ 12 倍と 22 倍高くなる。コストは表層からの飲料水処理において 0.35~0.49 US\$/m³ のコストがかかる。しかしながら最近の製造技術が

表-7 対処生物の大きさとフィルターのメッシュ

対象物	大きさ
浮遊固形物	1 ~ 100 μm
動物プランクトン	50 ~ 1,000 μm
Dinoflagellate hypnocyts	20 ~ 80 μm
Protozoa(原生動物)	2 ~ 1,000 μm
バクテリア	0.1 ~ 30 μm
ウイルス	0.02 ~ 1.5 μm
フィルター	メッシュ
スクリーン	20 ~ 1,000 μm
布フィルター	5 ~ 100 μm
Pre-coat filters	5 ~ 1000 μm
Membrane filters	0.01 ~ 10 μm

進歩したことと、現在自治体のプラントでユニットが使われるようになりマーケットが拡大したことで、この方法のコストは着実に下がっており、最近では、膜フィルターと塩素を組み合わせたバラスト水処理は、クルーザのような船には推奨している。

(7) Cyclonic separation (遠心分離)

バラスト水中の多くの生物は、水に近い比重であり、多くは自分で移動するので、それらは補助なしでは沈殿しない。これは比重の大きい多くの固形物や比重の軽い油の分離技術の設計と対象的である。渦鞭毛虫の比重は 1.05 より大きく、時には 1.1 より大きいので遠心分離でバラスト水から除去できる。バラスト水処理用の水流遠心分離装置は研究されている。

(8) 熱処理

熱によるバラスト水処理も注目すべき研究の 1 つである。エンジンの廃熱利用で 45℃まで到達できるモデリングはあるが、実船調査では結論に達していない (日本)。オーストラリア (Broken Hill Propriety 会社) ではエンジンの冷却水による過熱された水をポンプでバラストタンクに入れ、バラスト水を希釈する方法の船上試験が行われた。3 タンクの容積分が、バラストタンク内の到達ピーク温度 38℃までポンプ移送され、35℃以上で 20 時間保持された。動物プランクトンは死んでいるのが観察されたが、小さい珪藻(5 μm)と繊毛虫は最初の船上実験では生きていた。廃熱利用しバラスト水を希釈方法により循環させる方法が検討されている。熱処理の効率が向上するかも知れない。

ポーランドでは 100 μm のフィルターと 60~70℃の船上処理を研究しているが、データは得られない。

オーストラリアの民間の開発システムは、ホール

ディングタンクで 50℃、30 秒を達成するためにエンジン冷却水に追加の熱交換器を付け加えて、バラストタンクへ 35℃で排出している。このシステムは処理ループの接触時間に依存し、残留物がない処理システムであり、システムを通してすべての水をポンプ移送できる能力に依存する。これは殺菌した水で連続的にタンク内を希釈することになる。処理ユニットを通して個々のユニットの水を得る仕組みで欠点があるが、温度層の利用がこの問題を克服し、バラスト中の内配管処理システムが開発されている。

渦鞭毛虫の休眠シストに関してはいくらかの熱処理の方法が可能である。温度は 45℃で 0.5～3 分である。35～40℃で 7 時間、32℃で 3 日以上である。35.5℃で渦鞭毛藻綱 *minitum* の成長配偶子を不活性にするには数日必要とされる。長期の 38℃での暴露は廃熱利用がベースになっている。この暴露は植物プランクトン、浸入した大型藻類 *Undaria pinnatifida* (ワカメ)、浸入したヒトデ *Asterias amurensis*、ムラサキイガイ *Dreissena polymorpha* の成体に効くと予想される。しかし藻類のいくらかの種は熱に耐性がある。タンク内をより高温に上げたり保持することは、加熱や熱のタンクへの出入りによって制限がある。抑制する温度はより高く、長い接触時間が要求されるので、45℃以下では多くの病原菌には効果がない。例としては海水魚の病原菌 *Aeromonas salmonicida*、*Yersinia ruckeri*、*Renibacterium salmoninarum*、*infectious pancreatic necrosis virus*、*viral haemorrhagic septicaemia virus* およびバクテリアの芽胞がある。単純に人間の病原菌は 45℃以下では効果がない。

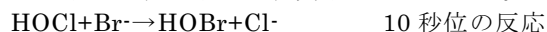
現在、熱回収型バラスト水処理装置の開発が行われている。

(9) 塩素 (Chlorine : Cl)

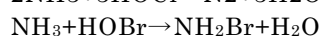
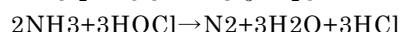
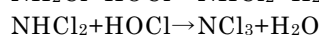
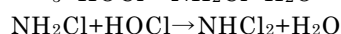
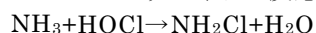
バクテリア、ウイルス、バクテリア胞子、菌、原生動物に有効であるが、高い投薬量が要求される。渦鞭毛藻綱 (*Gymnodinium catenatum*) のシスト (Temporary cyst 35～40 μm diameter) に効かない。

海水中での塩素殺菌の公表データは少ない。

臭化物の濃度より塩素暴露が多い塩気のある海では亜塩素酸塩、塩素酸塩、臭素酸塩ができる。



塩素は硫化物、窒化物、鉄とはすばやく反応し、マンガンとはゆっくりと反応する。



Monochloramine (NH_2Cl) は 10 μg/L 以上のレベルで魚に有毒である。渦鞭毛藻シストに効果がないこと、副産物の毒及び厄介な化学作用を組み合わせると船上での広範な使用には不適當である。

(10) 臭素 (Bromine : Br)

酸の解離中の差により、高 pH で塩素より効果のある二次下水排水に使用されてきた。

(11) ヨウ素 (Iodine : I)

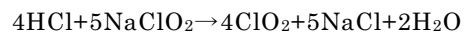
病院や救急の専門家が使用する。pH が 8 より大きい時は効果なし。バクテリア、バクテリア胞子、ウイルス、原生動物のシスト除去に有効。有機質に富んだ海に應用できるが、塩素に比べて経済的でない。大量使用は好ましくない。

(12) モノクロルアミン (Monochloramine : HH_2Cl)

モノクロルアミンは塩素やオゾンのように有機物と反応しないので、高濃度の塩素が必要な飲み水にしばしば使用される。モノクロルアミンの接触濃度時間 (C.t = 濃度 × 時間) が 500 ～ 3,000 mg.min/L で *Giardia muris* (消化管内原虫) シスト (5～15℃、7.5～9pH) を 2logs (99%) で除去する。また、9,600 mg.min/L で *Cryptosporidium parvum* (クリプトスポリジウム) oocysts (接合子嚢) を 1.7logs (98%) で除去する。細胞内ロタウイルス SA11 の除去には 6,100 mg.min/L の C.t が必要である。これらの暴露は poliovirus や E.coli に必要とされるより高い。C.t を 10,000 mg.min/L と仮定するとバラスト水殺菌に使用される濃度は 3～4 mg/L の暴露である。Chloramine の持続性と毒性は環境的に受け入れられない殺菌剤である。特に淡水港では Chloramine の安定性は問題である。

(13) 二酸化塩素 (Chlorine dioxide : ClO_2)

二酸化塩素は、次式に示されるように塩酸と亜塩素酸ナトリウムを反応させることにより生成される。



塩素殺菌と比べてコスト的に合わないの下水の殺菌には使用されない。 ClO_2 はマイナーな反応はあるが特に有機物とは反応しない。飲料水の殺菌において trihalomethane は発生しない。臭化物やアンモニアと反応しない。二酸化塩素殺菌は、表-8 の poliovirus や *Giardia muris* のデータに見られるように温度の影響が少しある。pH を上げることによって効果が高められる (例えば表-8 の rotavirus)。二酸化塩素は胞子、包のう、バクテリア、ウイルスに有効である。冷却水のシステムにおいて 5 mg/L で *zebra mussel veliger* (ムラサキイガイ) の死亡率は 70% であり、C.t (濃度 × 時間) は得られていない。 ClO_2 は副産物として chlorate (塩素酸塩) と chlorite (亜塩素酸塩) を発生させる。高レベルでは ClO_2 はムラサキイガイの分割を抑制する。硝酸塩の存在下で毒性を低下させる。塩素酸塩は褐色藻類の成長を抑制するが、1 mg/L レベル以下では毒性は観察されなかった。無脊椎動物や魚には毒性が少なく、新しい ClO_2 発生装置は塩素酸塩を生じない。

表-8 選択された淡水生物に対する二酸化塩素効果

生物	服用量 mg/L	pH	温度 °C	時間 min	除去率 log	濃度・時間 ng.min/L	資料*)
ウイルス							
Poliovirus		7	5		2	2	3
		7	15		2	0.8-1.3	3,4
		7	20		2	1.9-5	3,4
Rotavirus SA11 cell associated	0.45-1.0	6	5	1.2-4.8	2	1.0-2.1	5
	0.46-0.52	10	5	0.3-0.4	2	0.16-0.2	5
バクテリア							
Clostridium perfringens spores		7	20		2	33	3
原生動物							
Cryptosporidium parvum	1.3	7	25	60	1	78	1
oocysts	2	8	22	30	1	60未満	6
Giardia muris cysts	0.22-1.13	7	25	3.3-28.8	2	3.7-6.4	2
	0.11-5.55	7	5	1.3-168	2	7.2-18.5	2
Giardia lamblia cysts		7.8	15		2	70	3
資料*) (1)Korich et.al.(1990); (2)Jaroll(1988); (3)Dernat&Pouillot(1992); (4)Straub(1989); (5)Sobsey(1989); (6)Livanage et.al.(1997)							

亜塩素酸塩の淡水藻類への毒性レベルは 20mg/L である。このレベルは ClO_2 の 60~70%が亜塩素酸塩に変えられるとした処理から予想されるより高い。有機物質は亜塩素酸塩分解のカーボンの効果を低減するが、 ClO_2 と亜塩素酸塩は活性化した炭素が亜硫酸塩によって除かれる。 ClO_2 は水生生物には有毒であるが、通常の下水への暴露下では放出前に水中の有機物質との反応により非常に低いレベルまで低下する。水取込み中のバラスト水へ暴露すれば、排出前に非常に低レベルまで減衰すると予想され、排出する前に除かれるかも知れない。シストに対する高い消毒効果からバラスト水処理への可能性はある。

(14) O_3 オゾン

淡水中で O_3 は生物をコントロールするのに優れた殺菌剤である。適度の温度と pH で、C.t の値が 4~10mg.min/L で *Cryptosporidium parvum* oocysts の 2log(99%)が除去され、*Giardia muris* cysts が 2mg.min/L 以下で除去される。海水では O_3 はバクテリアとウイルスのコントロールのために使用される。

塩素処理と比較してオゾン処理の優れている点は以下のとおりである。

- (a) オゾンは現場で空気から安全に製造されるのでケミカルにさらされない。
- (b) 塩素と化合した副産物（例えば chloramine）を生じない。ただし、臭化有機物、臭素酸塩や bromoamines は生じる。
- (c) オゾンは臭化物と反応するが、海水中で殺菌作用がある。
- (d) 残存塩素の安定化が可能である。
- (e) 淡水中で良く効く。

海水中では臭化物の存在によりオゾン分子の殺菌作用がなくなるが、hypobromous acid によって殺菌効果を生じる。海水中の臭素とオゾンの反応はオゾンの半減期を 5.3 秒にする。オゾンは溶解してい

る有機物、鉄、マンガン、亜硫酸塩と素早く反応し、未処理の水は多くのオゾンが必要とする。殺菌剤として発生させる濃度より有機体に要する濃度は非常に高いけれども、臭化有機体や臭素酸塩は低い濃度でも現場にネガティブな影響がある。オゾンはバラスト水の一般的に適した殺菌剤ではないであろうが、しかし膜フィルター(0.2 μm)処理後塩素殺菌する方法と似た専門的な応用となるであろう。淡水中航行には推奨される。

バラスト水処理のオゾンの可能性を裁定するために、運送中の処理についての 2 セットの実験と処理のモデリングがなされた。最初のセットの実験は枯草菌(*B. subtilis*)の不活性について投薬の効果、pH、鉄の存在及び生物の種類について調査した。2 番目の実験ではアンフィディニウム属(*Amphidinium sp.*)へのオゾンの投薬効果を調査した。枯草菌(*B. subtilis*)での実験は、14mg/L までの投薬が pH8 で 24 時間の接触時間で十分な殺菌(99.99%の不活性化)をなしとげるために必要であった。pH を 7 に下げるとは、24 時間の接触時間で 99.99%不活性化に要求される投薬量を 9mg/L に低減した。腐食からの鉄は顕著にオゾンの有効性を低下させた。アンフィディニウム属(*Amphidinium sp.*)の 99.99%不活性化には、オゾンの投薬量は 8mg/L までが必要であった。これらの投薬量は高く、海岸の水からは追加のオゾン、10mg/L より多い投薬量が必要のようである。これらの結果に基づくコストモデリング方法は、水から生物を除くオゾン処理のコストは非常に高いことを示した。有毒渦鞭毛藻(*G. catenatum* cysts)の塩素処理データに基づくと、不活性化の投薬量はさらに高くなり、それらを処理前にフィルター又は水遠心分離で除去の可能性があるが、試験はされなかった。この殺菌効果データに加えて、バラスト水のセディメントは、セディメント（高レベル有機物や腐食生成物を含んでいる）により起こされる化学的に還元的な状態の領域を含むようである。

これらの領域でオゾンの残留は影響なさそうである。実験は、オゾンが腐食や犠牲陽極の消耗を増しうること示した。これらの実験の主な結論は以下に要約される。

(i) 全ての生物、特に単細胞性藻類(dinoflagellate)シストを不活性にするのに要するオゾン投与量を効果的コストで適用することは不可能であり、オゾンは輸送中の処理システムとして適しない。水取込み中に行われるのでなければフィルター又は水遠心分離は輸送中の処理システムの前処理として使用することはできない。

(ii) 水取込み時のフィルター後又は陸上処理システムにおいてオゾンはウイルス、バクテリア、原生動物及び藻類を除く処理の役割を有している。しかしながら、バクテリア孢子や他の $5\sim 10\mu\text{m}$ より小さい生物は、オゾンに抵抗力があるか又は長期接触時間を要するのでフィルターシステムの選択は重要である。

(15) 過酸化水素 (Hydrogen peroxide : H_2O_2)

過酸化水素は研究室や医療、缶詰工場で使用される。過酸化水素はpHが4~7の間では変化しないが、高暴露が必要とされる。バクテリアの芽胞の処理には、24時間 $13,000\sim 14,000\text{mg/L}$ の投与量が必要である。過酸化水素は、ゼブラ貝 *Dreissena polymorpha* の生体やベリジャー幼生には効果の少ない方の選択肢であり、ベリジャー幼生では 9mg/L の暴露で95.9%の死亡率である(バラスト水処理には除去率が小さいと考えられる)。 1.4mg/L の投与量は魚の卵への菌の伝染の防止効果がある。しかし 8.2mg/L の暴露は大部分の魚の卵を不活発にする。バラスト水処理に実施する価値はない。

(16) グルタルアルデヒド (Glutaraldehyde : $\text{OHC}(\text{CH}_2)_3\text{CHO}$)

グルタルアルデヒドは研究室や病院の殺菌剤として使用される。生物学的固定剤や、なめし皮法に使用される。五大湖へバラスト水が入らないようにタンク残渣の生物の抑制に提案された。強い芽胞殺しで、一般に有機物の影響を受けず、腐食性がなく、ホルムアルデヒドより効果がよい。pHが高いと重合による変化のため効果よく、温度が上がるにつれて良く効く。Poliovirusには 500mg/L の投与量が、 $20,000\text{mg/L}$ がバクテリアの芽胞に必要とされる。海洋生物の耐えられる状態のデータはない。Glutaraldehydeを使用するシステムはバラスト水のpHが4.2~8.6に変化し、強いpH対応が必要である。バラスト中の残渣との混合は難しく、 $20,000\text{mg/L}$ の暴露は高価である。

(17) グリコール酸 (Glycolic acid : HOCH_2COOH)

グリコール酸は五大湖に入るNOBOB(No Ballast on Board)船での使用が推奨されている。約 $2,000\text{mg/L}$ までの投与量がE.coliに必要とされ、

Daphnia spp.、zebra と鱒の LC_{50} は 100mg/L である。

(18) 過酢酸 (Peracetic acid(PAA) : $\text{CH}_3\text{CO}(\text{O}_2)\text{H}$)

過酢酸は研究室や病院、イギリスやフランスの下水の殺菌処理に使用されている。

PAAは過酸化水素(H_2O_2)と酢酸(CH_3COOH)反応から10%PAAが生産される。これは浮遊物の影響を受けないが、pHの影響を受ける。下水処理では、生きたバクテリアへの投与量は約 11mg/L で、バクテリアの芽胞にはpH3で約 300mg/L の投与量である。pH8.4では効果はない。データは少ない。

(19) 商標や特許の殺菌剤 (Proprietary biocides)

多くの特殊用途に殺虫、殺菌剤が開発されている。特殊な取り扱い、貯蔵を必要とし、特殊な毒性、有効期限、好ましくない副作用がある。冷却塔の硫酸塩還元やスライムを形成しているバクテリアの抑制に使用されるイソチアゾロ化合物(Kathon WT)は、 $10,000\text{ppm}$ の濃度で有毒渦鞭毛藻 *Gymnodinium catenatum* cystsには効かなかった。

他の化学物質についてもバラスト水に検討する前に海洋生物や病原菌の効能を立証する必要がある。

(20) 銅イオン (Copper ions)

銅は除藻剤であり、他給栄養の水中のバクテリアに毒性があり、ポリオウイルスの抑制に使用されてきた。リン酸塩存在下で不溶な銅リン酸塩が生成され、アンモニアや腐食性の酸や、他の有機物と化合物や金属化合物を作り、生物への有効性を減じる。銅(II)は低濃度で海洋の藻類の成長を抑制し、淡水、雄親のザリガニへの毒性の LC_{50} は、 0.83mg/L (96hours)、 4.07mg/L (24hours)である。 200mg/L の投与量は有毒渦鞭毛藻のシストの不活性化に効果がなかった。バラスト水での評価のデータは不十分であり、化学者は銅のバラスト水処理への使用は難しいことを示唆している。

(21) 銅+銀システム (Copper+Silver systems : Cu/Ag)

銅と銀の相乗作用の組み合わせは病院の給水システムのバクテリア、レジオネラ・ニューモフィラ (*Legionella pneumophila*) やトリ結核菌 *Mycobacterium avium* の抑制に使用されてきた。電氣的に発生した銅や銀に低レベルの塩素を加えたものはバクテリア、レジオネラ・ニューモフィラやブドウ球菌 (*Staphylococcus* spp.) の抑制に効果がある。井戸水処理のために研究されてきた。スイミングプールへの応用が提言された。ウイルスに対して塩素単独と同じ程度の効果である。銅と銀とヨウ素は *Pseudomonas cepacia* の予防に使用されてきた。銀は塩素や臭素と素早く反応し、溶けないAgClやAgBrを発生させる。海水中に溶ける銀の濃度は単一製品反応に基づいて、 $3.14 \times 10^{-2} \mu\text{g/L}$ である。

最終濃度で銅が 3,000 $\mu\text{g/L}$ 、銀が 1,300 $\mu\text{g/L}$ である。電氣的に発生する銀/銅が海水バラスト水処理に研究された。しかし、溶解した銀は実験では検出されず、このシステムは殺菌剤としては否定された。このシステムのバラスト水処理への可能性はない。

(22) ガンマー線照射 (Gamma irradiation)

Caesium 137 または Cobalt 60 がガンマー線源として使用される。暴露量を調整できるチャンパーに水を通し、シールドされたチャンパー内に格子にして設置する。500krad が下水のバクテリア処理に必要であり、下水の殺菌剤として使用されてきた。このシステムはバラスト水処理には可能性がない。

(23) 高エネルギー電子ビーム照射 (High energy electron beam irradiation)

電子ビーム照射は高エネルギーの電子を処理水に打ち込む加速機によって行われる。電子照射は効率的に集団や土に吸着したウイルスを除去できる。照射効果は塩素や pH を下げる、凝集剤の添加によって顕著に高められる。それは進行中の研究課題である。現在のシステムは、薄い水膜への照射によるので、バラスト水は流量が多いため、大きな施設を要する。コスト高や現在の設計ではバラスト水処理には不適當である。

(24) 光化学 (Photochemistry)

光化学による殺菌は反応性の高い酸素基を作るために太陽光や蛍光を使用する。メチレンブルーや過酸化チタンのような媒介を高 pH 状態で使用する。研究では高められた電界場の光触媒が試みられている。商業上は使用されていない。ポリオウイルスや腸内細菌に効果があるとの研究がある。他の殺菌剤に比べて長い接触時間を要し、不活性化も低くバラスト水処理には不適當であろう。

(25) 酸素の排除 (Oxygen deprivation)

硫化物や容易に利用できる炭素源、例えば砂糖のような酸素を求める物質を添加し呼吸する生物から酸素を奪う。ヒトデの幼生に効果があるが、*Undaria pinnatifida* spores の殺滅には成功しなかった。*Carcinus maenas* zoea にも効果がないであろう。海藻、藻類、シスト、芽胞、嫌気性バクテリアやウイルスに効果はなさそうである。嫌気槽は渦鞭毛藻シストには影響しない。効果的なバラスト水処理はできないであろうし、腐食性嫌気性バクテリアを活気づける高いリスクがある。バラスト水処理には役立ちそうにない。

(26) pH 調整 (pH adjustment)

多くの生物は両極端の酸性・アルカリ性(pH)では生きられない。有毒渦鞭毛藻 (*Gymnodinium catenatum*) シストは pH2~10 で生きていける。pH を低くすることは腐蝕への影響が大きく、pH を上

げることは化学的に不安定な水になる。

金属精錬スラグまたはコンクリート廃材の利用が提案されている。

(27) 塩分濃度による方法

1.5 ~ 4.2% の塩分から外れると *Asterias amurensis* の幼生は耐えることができない。塩分調整は *Gymnodinium catenatum*(渦鞭毛藻綱) では 0 ~ 10% まで効果がない。*Undaria pinnatifida* は淡水中で生きることができ、淡水は多くの病原菌や休眠状態の生物に有効でない。塩分を下げることは難しく、バラスト水交換の時塩分を上げることは実用的である。

(28) タンクコーティング (Tank coatings)

タンクコーティングはバラスト水による浸入を低減するための長期間の代替方法として推奨される。付着した生物はバラストタンク内では見られないことや付着する生物は重要でないことから、生物殺滅のタンクコーティングは顕著な効果がないとも言われている。バラスト水の滞留期間より生物生活史期間の方が短い。バラストタンクのセディメントや成長した遊泳生物はバラストタンク内の主な根源であり、タンクコーティングは効果なく、タンク内再生の抑制のためのコーティングの効果は疑問である。コーティングは 2~3 年毎にしなければならない。結局これは魅力ある方法とは思えない。

(29) その他

他の殺虫剤も文献には書かれているが、広範囲の応用は見られない。銅と塩素の相乗作用の組み合わせは *E. coli* や MS-2 coliphage に使用されてきた。

鉄酸塩、 FeO_4^{2-} は約 10~20mg/L の投与量でウイルスや下水排水の腸内細菌の不活性化に使用されてきた。ナトリウムアジ化物、 NaN_3 は 500mg/L までの投与量まで渦鞭毛藻シストに効果がなかった。マイクロ波やイオン交換もバクテリア処理には使用されてきた。過マンガン酸カリも用いられ、成長したムラサキイガイの不活性化はできるが、2.5mg/L でベリジャー幼生の 60% の抑制の達成にすぎない。

細菌の指標としてコレラ菌、大腸菌、腸球菌が用いられるが、これらの生存環境、殺菌方法等について調査し、整理したものを表-9 に示す²³⁾²⁴⁾²⁵⁾。

4.2 開発状況

各国から GloBallast/IMO に報告されていたバラスト水処理技術を中心に、前記、コレスポンデンスグループの各生物分類に対する効果を表-10 にとりまとめた。なお、効果に関しては、参考文献の記述をそのまま引用することを基本としたが、参考文献に該当する記述が無いものに対しては、他国の実験事例や生物の一般的な知見を基に示した。

いずれの技術においても、基本的には生物を除去、

殺滅、不活性化するいずれかの効果、あるいは複数の効果を持っている。ただし、バラスト水の処理技術としては、船舶への適用条件となる二次汚染の心配が無く、導入および運用が容易で、かつ経済性の面で適正であることが必要となる。

バラスト水処理装置に関しては、各国で多くの技術が開発中である。基本的には、どの方法でも生物を除去、殺滅、不活性化することは可能である。しかし、海運界が受け入れられる条件である船舶への導入性、運用性、経済性に優れ、二次汚染の心配のない方法でなければならない。また、現在は外洋上でのバラスト水交換が行われているが、このバラスト水交換法が管理技術の選択肢として残る場合には、運用性、経済性と二次汚染の危険性に対して優位であることが適用の条件となる。このような適用条件を満足する処理技術開発が目標になると考えられる。

表-9 細菌

細菌	大きさ、形	生存環境	殺滅方法	備考
コレラ菌 (O-1 及び O-139)	(0.4 ～ 1.0) × (1.0 ～ 5.0) μm のかん菌(棒の形や円筒形をした細菌)	好アルカリ性、比較的好塩性、至適 pH7.8～8.6、発育温度 18 ～ 37℃、37℃以上で死滅しやすい、淡水から高い塩濃度の水系、海洋動物表面や腸管に生息している。	55～56℃で加熱 5 分、0.1% ショウコウ水、1% 石炭酸水中で約 5 分、酸に弱く、1 万倍の鉍酸中で数秒で死滅。低温、乾燥にも弱い。蒸留水 1 日、下水約 9 日、海水約 3 週間 (20 ～ 37℃で 40～60 日、0℃～10℃で 5～10 日)、ビール/酒 20～60 分)	
大腸菌	(1.1 ～ 1.5) × (2.0 ～ 6.0) μm のかん菌	好気性または通性嫌気性菌、適温度 37℃。培養は室温で数週間、土中、水中にて数ヶ月生存する。55℃1 時間、60℃15 分位で死滅する。	加熱(60℃20 分間)で殺菌。飲料水 0.5～1.0ppm 程度の塩素の添加で殺菌できる。	衛生学的見地から哺乳動物の糞便による汚染の指標として大腸菌群の定量的検査が行われる。食品衛生法の規格基準にある検査法 (EC 培地において 44.5℃で増殖し、ガスを産生する菌)
腸球菌	腸管に居る連鎖状の球菌。連鎖球菌属は径 0.5 ～ 1.0 μm である。	45℃で増殖し、60℃でも生存可能。60℃で 30 分加熱に耐える細菌も含む。		糞便中の常在菌で、外界で増殖しにくい。自然界水、土壌などの分布が希薄で、加熱や冷凍しても大腸菌群のように容易に損傷したり死滅しないところから、粗悪な原料素材の使用や粗雑な製造環境で生産された製品のチェックの際などに有効な汚染指標菌となる。

表-10 バラスト水処理技術の水生生物に対する効果(1)

技術名称	開発国	原理	水生生物に対する効果・条件							
			脊椎動物	硬殻の無脊椎動物	軟殻の無脊椎動物	軟体の無脊椎動物	植物プランクトン	海藻	その他細菌等	
スクリーン・ろ過システム	シンガポール	漲水時に40μm以上の水生生物をスクリーンによる除去。	卵を含めて大きさが1mm以上であり、ほとんど除去する。	40μm以下の卵・幼生には低効果。			多くの植物プランクトンは40μm以下であり、効果は低い。	胞子に対しては効果なし。	効果なし	
熱処理	オーストラリア	航行時にエンジンの廃熱を利用して有毒渦鞭毛藻の有害生物を殺滅。	岸での実験では80℃、60秒の処理ですべてを殺滅。	○実船実験では、加熱30時間後に全てのバラストタンクが38℃以上になり、動物プランクトンを殺滅。○岸での実験では80℃、60秒の処理ですべてを殺滅。			岸での実験では、80℃、60秒の処理ですべてを殺滅。	○室内実験では、38℃、4.5時間後に有害渦鞭毛藻のシストが死亡。○実船実験では、50℃、45分で80～90%のGymnodinium catenatumを殺滅。○実船実験では、加熱30時間後に全てのバラストタンクが38℃以上になり、植物プランクトンを殺滅。○岸での実験では80℃、60秒の処理ですべてを殺滅し、90℃の場合でもClostridium perfringensのシストには効果なし。	通常の海水温度にはない40℃以上では効果が期待できる。	90℃の場合では病原体も100%殺滅。
熱処理	ニュージーランド	航行時にエンジンの廃熱を利用して有毒渦鞭毛藻を殺滅。	通常の海水温度にはない40℃以上では効果が期待できる。					36～38℃、6～10時間の処理で有毒渦鞭毛藻を完全に殺滅。	通常の海水温度にはない40℃以上では効果が期待できる。	90℃の場合では病原体も100%殺滅。
熱処理	中国	航行時にエンジンの廃熱利用で50℃近くにバラスト水を上昇させ、病原体や有毒水生生物を殺滅。	通常の海水温度にはない40℃以上では効果が期待できる。							90℃の場合では病原体も100%殺滅。
熱処理	英国	航行時にボイラーの2段階加熱処理を行い生物殺滅。	通常の海水温度にはない40℃以上では効果が期待できる。							90℃の場合では病原体も100%殺滅。

注：表中の表現は、参考文献の記載内容を基本的に転記した。ただし、斜字は他の実験事例や一般的な生物知見より記載した。

表-10 バラスト水処理技術の水生生物に対する効果(2)

技術名称	開発国	原理	水生生物に対する効果・条件						
			脊椎動物	硬殻の無脊椎動物	軟殻の無脊椎動物	軟体の無脊椎動物	植物プランクトン	海藻	その他細菌等
紫外線法	オーストラリア	UVによる生物不活性化。	大型の生物を処理するのは、ろ過法との組み合わせが必要。				○渦鞭毛藻のAmphidinium sp. Gymnodinium catenatumの遊泳細胞は、不活性化。○Gymnodinium catenatumのシストに対しては効果無し。○渦鞭毛藻のシストを処理するのは、ろ過法との組み合わせが必要。	海藻の胞子に効果あり。	細菌、ウイルスに効果あり。
マルチウェイブ	オランダ	紫外線ランプ照射による水生生物の殺滅。	紫外線が有る程度長時間直接照射される条件でなければ効果は期待できない(通常の海水は多くの生物や懸濁物質があり、生物に直接照射するのは困難)。						微小生物のD.N.A.、タンパク質、酵素等に対して機能障害効果があり、大腸菌、クリプトスポリジウム、Bacillus subtilisに対して効果が確認されている。
オゾン法	ノルウェー	オゾンによる殺菌	卵に対しては、1mg/L以上で不活化が期待できる。	1mg/L以上で不活性化。	卵・幼生に対しては、1mg/L以上で不活性化が期待できる。	○1mg/L以上で不活性化。○シストは20mg/Lで不活性化。	胞子に対しては1mg/L以上で効化が期待できる。	10mg/L以上で殺滅。	
無酸素処理法(the AquaHabit™ System)	米国	航行中のバラストタンクやホールド内のバラスト水から吸引チャンパーを用いて溶存酸素を除去し、動物性水生生物を殺滅する。	無酸素状態は効果が期待できる。	○溶存酸素は、5日間で0.5～1ppmに減少し、10日間で0になる。○2日の処理で、動物プランクトンの50～75%を処理。	無酸素状態は効果が期待できる。	植物に対しては直接的な効果は期待できない。	○10日間の処理で、10μm以下のATP活性の86%を減少。ただし、嫌気性細菌に対する効果は期待できない。		
ガス超飽和法	ノルウェー	水生動物をガスが超過飽和状態の水にさらし、減圧させることにより、閉塞や大出血を起こさせ殺滅する。	原理的には効果が期待できるが、長時間の超過飽和と急激な減圧が必要。	空気及び窒素＋空気の超過飽和水に関しては、二枚貝のMytilus edulisの幼生に対する効果が確認されている。	空気及び窒素＋空気の超過飽和水に関しては、エビ類Artemia sp.の幼生に対する効果が確認されている。	原理的には効果が期待できるが、長時間の超過飽和と急激な減圧が必要。			

注: 表中の表現は、参考文献の記載内容を基本的に転記した。ただし、斜字は他の実験事例や一般的な生物知見より記載した。

表-10 バラスト水処理技術の水生生物に対する効果(3)

技術名称	開発国	原理	水生生物に対する効果・条件						
			脊椎動物	硬殻の無脊椎動物	軟殻の無脊椎動物	軟体の無脊椎動物	植物プランクトン	海藻	その他細菌等
電気イオン化法 (Clorinoxyl™)	米国	Clorinoxyl™で製作したmixed oxidant gases (O, N and Cl) を注入して殺滅。	Chemicalの効果なので、大型の生物やシストに関しては、長時間、高濃度の条件が必要。					2分間の処理で300Lのバクテリアの90%を殺滅、15分間でバクテリアを完全に殺滅。	
電気化学処理法	スイス	漲水時あるいは航行中に電気処理装置(25μmの前ろ過装置付)に通電することで水酸基ラジカル等の強い酸化物質を生成し細菌、ウイルス等の病原菌を殺滅・不活性化。	ほとんどの個体が25μmのろ過装置のろ過効果で除去される。				細菌類および原生動物等と同様の効果が期待できる。	細菌類、ウイルスを8分以内、原生動物を30～100分程度の処理でほぼ100%殺滅。	
電気化学処理	中国	漲水時に海水への通電で発生する塩素による水生生物殺滅。	Chemicalの効果なので、大型の生物やシストに関しては、長時間、高濃度の条件が必要。				20mg/Lで植物プランクトンのほとんどを殺滅。	植物プランクトンと同様の効果が期待できる。	20mg/Lで原生動物のほとんどを殺滅。
Seakleen [®] 法 (化学処理)	米国	漲水時に化学薬品SeakleenRを投入し、毒性で全ての水生生物を殺滅。	魚卵稚仔に対し、1ppmで効果を発揮。	ゼブラマスを含む二枚貝幼生に対して1ppmで効果を発揮。	オトゲミジンコを含む浮遊性甲殻類に対して1ppmで効果を発揮。 ○Seakleen [®] でセディメント中に生息する端脚類Amphipod Leptocheirus plumulosusも殺滅。	他の生物同様1ppmで効果が期待できる。	シストを含む渦鞭毛藻に対しては2時間1ppmで完全に葉緑体色素が消滅。	他の生物同様1ppmで効果が期待できる。	コレラ菌を含むビブリオ菌に対して1ppmで効果を発揮。
PERACLEAN OCEAN法 (化学処理)	ドイツ	漲水時にPERACLEAN OCEANを投入し、プロキシ酢酸および過酸化水素の酸化力で全水生生物を殺滅。	Chemicalの効果なので、大型の生物やシストに関しては、長時間、高濃度の条件が必要。		350ppm以上で遊泳期のAltemia salinaの100%を殺滅。	Chemicalの効果なので、大型の生物やシストに関しては、長時間、高濃度の条件が必要。			
粒子分離＋UV法	米国	漲水時に粒子分離器で大型の生物を除去し、UVで小型の生物を殺滅・不活性化。	特定技術なので推定不可能。						

注：表中の表現は、参考文献の記載内容を基本的に転記した。ただし、斜字は他の実験事例や一般的な生物知見より記載した。

表-10 バラスト水処理技術の水生生物に対する効果(4)

技術名称	開発国	原理	水生生物に対する効果・条件						
			脊椎動物	硬殻の無脊椎動物	軟殻の無脊椎動物	軟体の無脊椎動物	植物プランクトン	海藻	その他細菌等
ろ過法+紫外線法、遠心分離+紫外線法	米国	漲水時にろ過及び遠心分離によって大きな動物プランクトンと植物プランクトンを除去し、バクテリア、植物プランクトン、微小動物プランクトンに対してはUVで殺滅。	50 μ mのフルイでほとんどの除去が期待できる。	25 μ mのフルイでほとんどの除去が期待できる。	○25 μ mフィルターの動物プランクトン除去率は85%。○50 μ mフィルターでは78%。○UVは微小動物プランクトンを殺す。	25 μ mのフルイでほとんどの除去が期待できる。	○25 μ mフィルターの植物プランクトンの除去率は55%。○50 μ mフィルターでは43%。○UVは植物プランクトンの不活性化。	植物プランクトンと同様の効果が期待できる。	○UVはバクテリアを殺す。
機械的処理+紫外線法	米国	漲水時に自動洗浄ろ過(50 μ mのステンレス製メッシュを装着した炭素鋼とステンレス製)で大型の動物プランクトン等を除去+UVで微小生物を殺滅、遠心分離(Krebs Model KSH-20)で生物除去+UVで生物殺滅。	50 μ mのフルイでほとんどの除去が期待できる。	○遠心分離(Krebs Model KSH-20)はゼブラマスの幼生に対する効果が確認されている。	○50 μ mのフルイで多くの除去が期待できる。○UVの効果は直接照射時間による。		○50 μ mのフルイでは、多くの除去は期待できない。○UVの効果は直接照射時間による。	○50 μ mのフルイでの除去はほとんど期待できない。○UVの効果は直接照射時間による。	○50 μ mのフルイでの除去は期待できない。○UVの効果は直接照射時間による。
分離器(patented 'voraxial')+紫外線 or Chemical (SeaKleen or Peraclean Ocean)法	米国	漲水時に分離器で大型の水生生物を除去し、UV or Chemical で小型の水生生物を殺滅・不活性化。	特定技術なので推定不可能。						
遠心分離+UV法	カナダ	漲水時に遠心分離器で大型の水生生物を除去し、UVで小型の水生生物を殺滅・不活性化。	特定技術なので推定不可能。						

注:表中の表現は、参考文献の記載内容を基本的に転記した。ただし、斜字は他の実験事例や一般的な生物知見より記載した。

表-10 バラスト水処理技術の水生生物に対する効果(5)

技術名称	開発国	原理	水生生物に対する効果・条件						
			脊椎動物	硬殻の無脊椎動物	軟殻の無脊椎動物	軟体の無脊椎動物	植物プランクトン	海藻	その他細菌等
OptiMarin法	ノルウェー/米国	漲水時にろ過及び遠心分離で大型の動物プランクトン等を除去し、UV(将来のオプションとして Seacleen)で微小生物を殺滅。	特定技術なので推定不可能。		○動物プランクトンの組織を破壊もしくは不活性化した。	特定技術なので推定不可能。	珪藻組織を破壊もしくは不活性化した。	特定技術なので推定不可能。	バクテリア、病原体の組織を破壊もしくは不活性化した。
機械的殺滅法	日本	剪断力とキャビテーションで動植物プランクトンを破壊、不活性化。	原理的には、かなりの効果が期待できる。		0.5mmスリット使用で流速30mのケースで、剪断力だけの効果は浮遊性甲殻類の約90%を破壊。	原理的には、かなりの効果が期待できる。	原理的には、かなりの効果が期待できるが、システムには効果なし。	原理的には、かなりの効果が期待できる。	高い効果は得られない。
その他、アルカリ処理(pH)		アルカリによる殺滅。	通常の海域はpH7.8~8.3の範囲である。しかし、赤潮状態ではpH10程度になることがあり、アルカリ処理で水生生物を殺滅するには、pH10以上にすることが必要であると考えられる。						

注:表中の表現は、参考文献の記載内容を基本的に転記した。ただし、斜字は他の実験事例や一般的な生物知見より記載した。アルカリ処理に関しては、直接の実験事例は無いが、原理的に殺滅可能なので、参考として海域における一般的な性状を記した。

最近のバラスト水処理技術については、Lloyd's Register により報告されている²⁶⁾。最近の開発事例には表-11 に示すシステムがある^{2),27)}。IMO での活性物質を利用するバラスト水管理システム承認(G9)関連応募承認状況を表-12 に示す²⁾。日本からはスペシャルパイプとオゾンによる処理²⁸⁾、凝集磁気分離方式²⁾及び TG Ballastcleaner and TG Environmentalguard (次亜塩素酸ナトリウムとチオ硫酸ナトリウムを使用)が基本承認を得ている。これらの資料を基にそれぞれのシステムの概要を述べる。

(1) 船上で活性化物質を生成するシステム

1) UV を使用しているシステム

(i) PureBallast システム[スウェーデン/アルファ・ラバル] :

このシステムはバラスト水注入時にプレフィルターを通し大きな粒子や生物を除去する。プレフィルターの逆洗浄水は注入地点で直接海に戻される。高度酸化技術(AOT)をベースにしたものであり、光触媒である二酸化チタン(TiO₂)に光エネルギー(UV)が加えられた時に発生するフリーラジカル(遊離基:・OH)により微生物の細胞膜を破壊する。バラスト水排出時には、航海中タンク内で再び成長した生物

を死滅させるために、再度 AOT ユニットを通す。このときバイパスによりフィルターの逆流を避け、バラスト水の排出地点におけるフィルター経由のリスクを排除している。化学薬品の注入はない。G9の基本承認及び最終承認は MEPC56 で承認されている。G8の型式承認はノルウェーから2008年6月に得ている。

(ii) CloEn-PatrolTM システム[韓国/PANASIA Co., LTD] :

このシステムは50μm濾過とUV照射処理によって構成されている。MEPC57でG9の基本承認が認められている。

2) 電気分解によるシステム

(i) Electro Clean システム(ECS)[韓国/Techcross Ltd.] :

バラスト水はポンプによりシーチェストを通して船の配管内へポンピングされる。淡水では残留塩素0.2~2.5mg/L程度、海水は緩衝力があるため残留塩素10~30mg/Lで処理調査が行われている。このとき、このバラスト水の電導率が感知され、このデータがコントロールPCより集められる。このデータに基づき、コントロールPCは電解モジュールがTRO(全残留オキシダント)10mg/Lを発生する供給電流を決定する。バラスト水はElectro-Cleanモ

ジュール (ECM) により殺菌され、排出されるまでバラストタンク内に保たれる。この殺菌プロセスは ECM の電極、整流器、動力分電盤及び熱交換器への電流供給部を含み、それらはオンラインの TRO センサー及びコントロール PC より制御される。水漏れ検知も ECM に設置される。もし漏れが検知されると、警報装置が作動し、システムは自動的に停止する。ECS 操作中、 H_2 ガスと Cl_2 ガスが発生する。発生するガスは非常に少量であるが、より安全のため、ガス低減通気装置がバラスト配管に設置されている。さらに、オンラインのガス検知器が設置され、警報システムが H_2 と Cl_2 がそれぞれ 3% 及び 0.8ppm を超えた時停止のために作動する。ECS は H_2 と Cl_2 がそれぞれ 4% 及び 1ppm を超えた時停止する。タンク内の殺菌されたバラスト水はポンプにより船外に排出される。排出時、処理水はチオ硫酸ナトリウムにより中和され、中和された水の TRO 濃度は再びオンラインの TRO センサーを使用してチェックされる。このように中和システムは TRO の毒性影響を低減する。G9 の基本承認が MEPC54 で、G9 の最終承認が MEPC58 で承認されている。中和剤の搬入が必要と思われる。

(ii) EctoSys™ システム[スウェーデン/Permascand AB] :

このシステムは $50\mu m$ ディスクフィルター濾過とそれに続く電気化学殺菌により構成される。G9 の基本承認は MEPC55 で承認されているが、G9 最終承認は MEPC57 で認められていない。

(iii) Hybrid BWTS[日本/三菱重工(株)] :

このシステムは $50\mu m$ 以上の生物を機械的に取り除くか殺滅し、海水電解塩素によりプランクトンを殺滅しバクテリアを殺菌する。MEPC56 で G9 の基本承認が認められていない。

(iv) Greenship BWMS[オランダ/Greenship Ltd] :

このシステムは回転遠心分離で $10\mu m$ 以上のセディメントと動植物を除去し、電解塩素によりバクテリアと微生物を殺滅する。MEPC58 で G9 の基本承認が認められている。

(v) OceanSaver® BEMS[ノルウェー/Ocean Saver] :

このシステムは取り込むバラスト水をフィルター濾過し、次にキャビテーションを発生させ浮遊物を破壊する。そのキャビテーションの次に窒素ガスを注入し脱酸素状態にする。その後電気化学的活性化により殺菌剤を生成し注入しバラストタンクに入れる。バラスト水排出時にはキャビテーションを通して排出する。G9 の基本承認は MEPC57 で、G9 の最終承認は MEPC58 で認められている。

3) オゾンによるシステム

(i) Special Pipe BWMS[日本/日本海難防止協会] :

このシステムは、取り込むバラスト水を前処理フィルターを通しオゾンを注入する。その後スリットノズルを通した後、ガスを分離しバラストタンクに

入れる。排出時には後処理をして排出する。最大オゾン供給量は $4mg/L$ である。MEPC55 で G9 の基本承認が認められている。

(ii) NKO3 Blue Ballast システム[韓国/NK Co. LTd] :

このシステムは酸素発生器、オゾン発生器、オゾン注入機及びモニターとコントロールシステムにより構成される。G9 の基本承認は MEPC55 では認められなかったが MEPC56 で認められている。G9 の最終承認は MEPC58 で認められていない。

(iii) Resource Ballast Technology システム[南アフリカ/RWO GmbH Marine Water Technology, Veolia Water Solutions & Technology] :

このシステムではキャビテーションで微生物を殺滅する。その効果を上げるために電解塩素やオゾン注入する。処理されたバラスト水をバラストタンクに入れる前に $40\mu m$ フィルターで濾過する。MEPC57 で G9 の基本承認が認められている。

(2) 化学薬品を搬入するシステム

(i) PERACLEAN® Oceanを用いた SEDNA® システム[ドイツ/Degussa GmbH] :

SEDNA® システムはバラスト水取り込み中にライン内で働く。それは 2 段階の物理的分離と酸化殺菌剤 PERACLEAN® Ocean (過酢酸; 14~17%、過酸化水素; 13~17%、酢酸; 24~29%、水 39~49%) による 2 次処理を含むモジュールに基づいている。物理的分離の最初の段階は、バラスト水への適用のために特別に設計された、新しく開発したハイドロサイクロンである。2 次の物理的分離はコンパクトな $50\mu m$ メッシュの自己洗浄フィルターである。フィルターの逆洗浄は差圧によって起こされる (最大 100mbar)、そしてフィルターエレメントは洗浄剤を添加せずに海水で 1 つずつ洗浄される。システムが船上で働いている時、ハイドロサイクロンから濃縮したもの (主にセディメント) 及び細かいフィルターからの廃棄物はそれらの発生場所に留まり、新しい廃棄ラインは造られない。2 次処理は PERACLEAN® Ocean で塩素フリーの処理である。過酢酸が主に殺菌剤や殺ウイルス剤として使用されるが、それはまたアメーバーや藻類にも効果がある。PERACLEAN® Ocean は物理的処理後バラスト水に自動的に投与される。投与は常に制御されバラストポンプの実際の流量に従って調整される。MEPC54 で G9 の基本承認、MEPC57 で G9 の最終承認がされている。2008 年 6 月にドイツで型式承認を得ている。

(ii) ClearBallast システム[日本/日立プラントテクノロジー] :

このシステムは凝集剤により生物や他の対象物を捕捉し凝集フロックにして分離する。磁気分離は磁性粉を用いて凝集フロックを分離し易くしている。MEPC57 で G9 の基本承認が認められている。

(iii) TG Ballastcleaner and TG エンジニアリング

表-11 開発事例

システム	概要	開発会社等
スペシャルパイプ方式によるバラスト水処理システム	バラスト水積み込み時：フィルター→オゾン注入→ガス分離→バラストタンク 排出時：臭化物イオンによるオキシダント処理	(社)日本海難防止協会
フィルター/薬剤/キャビテーション方式によるバラスト水処理システム	バラスト水積み込み時：フィルター→薬剤処理($\text{NaClO} + \text{H}_2\text{O}_2$)→ベンチュリーによるキャビテーション処理→バラストタンク 排出時： Na_2SO_3 による中和処理→ベンチュリーによるキャビテーション処理→排水	JFE エンジニアリング (株)
イナーートガス方式によるバラスト水処理システム	イナーートガスを注入し、pHの低下と低酸素濃度による処理。	Ocean Saver、三菱化工機 (株)
凝集磁気分離方式によるバラスト水処理システム	微細粒子の凝集時に磁性粉を添加し、分離スピードを向上。	(株)日立プラントテクノロジー
フィルター/紫外線方式によるバラスト水処理システム	フィルターによる固形物分離と UV 照射	OptiMarin/(株)トリオマリンテック
二酸化チタン光触媒方式によるバラスト水処理システム(Pure Ballast)	フィルター及び高度酸化技術処理。触媒表面に光が当たるとラジカル(OH)が発生し、ラジカルが細胞膜を破壊。	アルファ・ラバル (株)
二酸化塩素によるバラスト水処理システム	バラスト水中の ClO_2 濃度を 5mg/L で処理。年 2 回薬剤 (Purate($\text{NaClO}_3 + 1/2\text{H}_2\text{O}_2$ の補充)と硫酸。	(株)エース・クリーン
薬剤(PERACLEAN Ocean)によるバラスト水処理システム	PERACLEAN：過酢酸＋過酸化水素＋酢酸＋水。遠心分離機、フィルター(50 μm)+PERACLEAN またはキャビテーション＋剪断力＋PERACLEAN.	(株)片山化学工業
濾過/熱処理 (熱回収方式)によるバラスト水処理システム	遠心こしき→アンスラサイト濾過器→バラストタンク→排出時に熱処理 (熱回収方式)。	(株)太晃産業
バラスト水処理システム	50 μm フィルター、キャビテーション、窒素ガス、電気処理	オーシャンセイバー

Environmentalguard[日本/東亜合成グループ (JFE (株))]:

このシステムはバラスト注入時に精密フィルターによって多くの生物を元の生息海域にもどす。小型プランクトンおよび大腸菌などの細菌を薬剤 (次亜塩素酸ナトリウム) とキャビテーションにより処理する。バラスト水排出時に処理バラスト水に残る残留薬剤を還元剤 (亜硫酸ソーダ) により中和無害化してから海へ排出する。G9 の基本承認が MEPC58 で認められている。

(iv) Ecochlor[®] バラスト水処理システム [ドイツ/Ecochlor[®]]

このシステムは 2 つの化学物質 Purate[®](NaClO_3 40%、 H_2O_2 8%)と硫酸を用いて二酸化塩素を生成して殺菌する。二酸化塩素の処理濃度は約 5.0mg/L である。G9 の基本承認が MEPC58 で認められている。

(3)活性物質を使用しないとしているシステム

Mitsubishi VOS(Venturi Oxygen Stripping)システム [アメリカ/N.E.I(三菱化工機 (株))]:

このシステムは燃焼ガスから不活性ガスを生成し、バラスト水に注入し pH を低下させ、低酸素濃度にして処理する。リベリア共和国より 2007 年 10 月に型式承認を受けている。

表-12 IMOでの活性物質使用処理承認状況

活性物質	システム(国、メーカー)	承認		
		G9基本	G9最終	G8
過酢酸	Peraclean Ocean(ドイツ、Degussa GmbH): 過酢酸:14~17% 過酸化水素:13~17% 酢酸:24~29% 水:39~49%	○Peraclean Ocean(2006.1第1回 GESAMP WG. MEPC54/2/12,MEPC53/2/12):基本承認で薬品の承認。	○SEDNA+Peraclean Oceanで承認(2008.1第5回GESAMP WG. MEPC57/2/10, 57/2/5) hydro cyclone+50 μ m濾過+Peraclean Ocean(ドイツ、Hamann AG +Degussa GmbH):最終承認でシステムの承認。	承認済(ドイツ) 2008年6月
海水電解	Electro Clean BWMS (ECS) (韓国、Techcoss Ltd.及びKorea Ocean Research and Development Institute(KORDI))	○(2006.1第1回 GESAMP WG. MEPC54/2/12,MEPC54/2/3)	×(2007.11第4回 GESAMP WG.,MEPC57/2,MEPC57/2/1) OMEPC58/2	
	EctoSys(TM)TM(スウェーデン Permascand AB)	○(2006.5第2回 GESAMP WG. MEPC55/2/1, MEPC55/2/4)(スウェーデン Permascand AB)	×(2007.11第4回 GESAMP WG.,MEPC57/2,MEPC57/2/3), CleanBallast System (ドイツ、ROW GmbH Marine Water Technology+Veolia Water Solutions & Technologies 50 μ m濾過+EctoSys®)	
	Hybrid BWTS(日本、三菱重工)	×(2007.2第3回 GESAMP WG. MEPC56/2/2,MEPC56/2) 50 μ m以上生物の機械的除去+海水電解塩素		
	Greenship BWMS (オランダ、Greenship Ltd.)	MEPC57/2/7, OMEPC58/2/7		
	OceanSaver® BWMS(OS BWMS)(ノルウェー、Ocean Saver AS)	○(2008.1第5回 GESAMP WG, MEPC57/2/10,MEPC 57/2/6) 濾過+脱酸素(N2)+キャビテーション+電気分解	OMEPC58/2/1	
オゾン	Special Pipe BWMS:スペシャルパイプ+オゾン(日本、日海防) NK03 BWMS(韓国、NK03 Corporation, NK Company Ltd.(米国、Nutech共同licenseの下)	○(2006.5第2回 GESAMP WG. MEPC55/2/16,MEPC55/2) ×(2006.5第2回 GESAMP WG. MEPC55/2/16,MEPC55/2/3) ○(2007.2第3回 GESAMP WG. MEPC56/2/2,MEPC55/2/3)	×MEPC58/2/3	
電気塩素+オゾン	Resource Ballast Technologies System(南ア、RWO GmbH Marine Water Technology+Veolia Water Solutions & Technologies (pty) Ltd.	○(2008.1第5回 GESAMP WG, MEPC57/2/10,MEPC 56/2/3) キャビテーション+電気塩素+オゾン+40 μ m濾過		
UV/TiO ₂	Pure Ballast System(スウェーデン・ノルウェー、Alfa Labal+Wallenius Water GloEn-Patrol™ BWMS(韓国、PANASIA CO., LTD)	○(2007.2第3回GESAMP WG., MEPC56/2/2,MEPC55/2/5,MEPC56/2/1) ○(2008.1第5回 GESAMP WG, MEPC57/2/10,MEPC 57/2/4) 50 μ m濾過+UV	○(2007.2第3回GESAMP WG.,MEPC56/2/2,MEPC55/2/5,MEPC56/2/1)	承認済(ノルウェー)2008年6月
凝集剤	ClearBallast System(日本、日立製作所)	○(2007.11第4回 GESAMP WG., MEPC57/2, MEPC57/2/2)		
次亜塩素酸ナトリウム	TG Ballastcleaner and TG Environmentalguard(日本、東亜合成グループ(JFEエンジニアリング))	MEPC57/2/8, OMEPC58/2/7		
二酸化塩素	Ecochlor [®] (ドイツ、Echoclhor)	MEPC58/2/2, OMEPC58/2/8		
活性物質なし	ベンチュリ=オキシジェン=ストリップングシステム(米国 NEI(三菱化工機))	—	—	承認済(リベリア)

○:承認、×:未承認

5. アンスラサイト濾過型バラスト水浄化試験

バラスト水の処理において UV や薬剤等を使用する場合でも、その効果を上げるために暴露量や投薬量を小さくするためには濾過が必要である。濾過は基本的な要素であり、濾過方式の1つとしてアンスラサイト濾過方式によるプランクトンの濾過について実験により調べた。

5.1 アンスラサイト濾過型実験プラント

広島大学大学院理学研究科附属臨海実験所(尾道市向島町)に設置した実験プラントの全景を図-31に示す。このプラントは2005年9月に完成し、現在に至っている。主な仕様は処理定格水量 20 m³/h、アンスラサイト濾過塔内径 1.3 m となっている。その他に、処理海水槽 8.0 m³、処理水検査槽 2.0 m³、逆洗水検査槽 0.5 m³、熱殺滅加熱槽 3.0 m³(45 kW 電熱付)、セディメント前処理塔、各種用途ポンプ(5.5 kW×2基、0.75 kW×1基)を一体のユニット上に備え、隣接する海岸の海底近くから海水取水管によって自然海水を導入する構造となっており、基礎データを取得するには十分な規模のプラントとなっている。

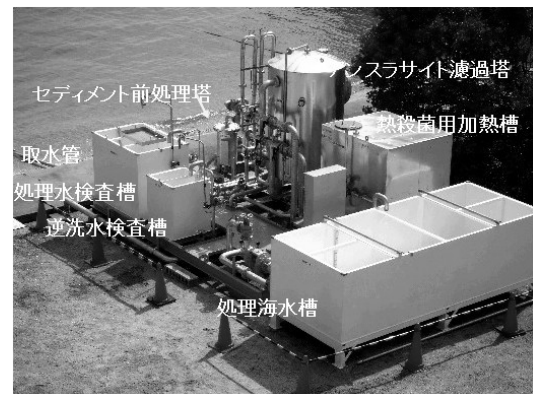


図-31 実海域実験プラント

5.2 実験プラントの基本性能試験

実際の海水を使用し、60日間(約190時間)にわたり下記の性能試験を行った。

(1) 濾過装置の処理流量試験(アンスラサイト濾過のみ)

計画流量 20 m³/h に対して、10~40 m³/h の範囲にて性能を確認した結果を図-32に示す。

処理流量に対して濾過装置の性能(生物の除去率)は、 $50\ \mu\text{m}$ 以上及び $10\sim 50\ \mu\text{m}$ 共、大きな差はなく $96.5\sim 99.0\%$ の範囲となっている。除去率は流量の増加によってもほとんど変わらないことから計画流量の2倍程度の処理流量増大の可能性を示唆している。

(2) 濾過装置の目詰まり(差圧)の確認試験

濾過装置の目詰まりによる差圧は180時間の運転後、 $0.03\ \text{MPa}$ 程度(逆洗差圧: $0.07\ \text{MPa}$)の上昇に留まった。

(3) 遠心濾し器の差圧確認試験

遠心式濾し器の差圧は180時間の使用に対して $0.01\ \text{MPa}$ の上昇に留まり、海水の取水時に混入する泥または砂等の比重の大きいものの除去に対して有効であった。

5.3 生物分析試験

海水(原水)及び遠心式濾し器、アンスラサイト濾過装置、吐出濾し器出口の海水をサンプリングし生物分析試験を施行した。これらの最終的な分析は株式会社東京久栄に依頼した。以下は同社の報告書からの抜粋である。

(1) 分析サンプル採取方法:

(i) $50\ \mu\text{m}$ 以上

$35\ \mu\text{m}$ (対角 $50\ \mu\text{m}$) プランクトンネットを用いて濾し採り、ホルマリン固定(10%)した。

①原水・濾水量: $20\ \text{L}$

②濾過装置出口・濾水量: $1\ \text{m}^3$

③M社製新2次濾し器($10\ \mu\text{m}$ メッシュ)出口
・濾水量: $1\ \text{m}^3$

(ii) $10\ \mu\text{m}$ 以上 $50\ \mu\text{m}$ 未満

$35\ \mu\text{m}$ (対角 $50\ \mu\text{m}$) プランクトンネットを通して水を更に $10\ \mu\text{m}$ アイスポアメンブレンフィルターを用いて濾し採り、ホルマリン固定(10%)した。

①原水・濾水量: $0.5\ \text{L}$

②濾過装置出口・濾水量: $1\ \text{L}$

③M社製新2次濾し器出口・濾水量: $1\ \text{L}$

(2) 分析方法

(i) $50\ \mu\text{m}$ 以上

- ・生物顕微鏡を用いて動植物プランクトンの同定・計数を行った。
- ・動物は個体数、植物は細胞数(群体性のものは群体数)を計数した。
- ・プランクトンのサイズのうち、縦・横・厚みのいずれかが $50\ \mu\text{m}$ 未満のものがあった場合は分けて計数した。

動物プランクトン分析時分割率 (分割率: サンプル量に分割率を掛けた量を採り、その中のプランク

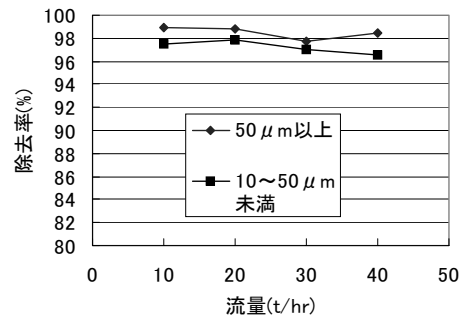


図-32 アンスラサイト濾過プランクトン除去率

表-13 生物分析結果(濾過装置流量は、 $10\ \text{m}^3/\text{h}$ 時にての分析値を示す。二次濾し器付き)

	採取 年月日	生物量(個数)		除去率 %
		原水	出口	
$50\ \mu\text{m}$ 以上 (Lグループ)	06.1.24	1,346,350 個体/ m^3	160 個体/ m^3	99.998
	06.2.16	289,200 個体/ m^3	88 個体/ m^3	99.970
$10\ \mu\text{m}$ 以上 $50\ \mu\text{m}$ 未満 (Sグループ)	06.1.24	41.25 個体/ml	0.25 個体/ml	99.394
	06.2.16	42.47 個体/ml	0.038 個体/ml	99.911
<i>Eucampia</i> 属は全て S グループに計数した。群体は1個体として計数した。				

トン数を計数し、その計数値を分割率で割った数をサンプル量中のプランクトン数とした。)

原水: $1/12$ 、濾過装置出口: $1/8$

M社製新2次濾し器出口: $1/2$

植物プランクトン分析時分割率

原水、濾過装置出口: $1/160$

M社製新2次濾し器出口: $1/4$

(ii) $10\ \mu\text{m}$ 以上 $50\ \mu\text{m}$ 未満

- ・生物顕微鏡を用いて動植物プランクトンの同定・計数を行った。
- ・濾過に用いた $10\ \mu\text{m}$ アイスポアメンブレンフィルターは固定液中で十分に洗浄し、固定液(10%ホルマリン海水)中の動植物プランクトンの同定・計数を行った。
- ・動物は個体数、植物は細胞数(群体性のものは群体数)を計数した。

表-14 プランクトン計数結果[35 μ m プランクトンネット（対角 50 μ m）で漉し採ったサンプル]2006/02/16

単位：個体数（細胞数）/全量

	門	綱	目	科	種名その他	原水	濾過装置	出口
50 μ m より大きい生物	渦鞭毛植物	渦鞭毛藻綱	ペリニディウム目	ペリディニウム科	<i>Protoperidinium</i> 属	3,200	2080	40
	黄色植物門	珪藻綱	円心目	メロシラ科	<i>Stephanopyxis palmeriana</i>	800		
	黄色植物門	珪藻綱	円心目	コスキノディスキス科	<i>Coscinodiscus</i> 属	800	160	
	黄色植物門	珪藻綱	羽状目	ナヒキユラ科	<i>Amphiprora</i> 属		160	16
	黄色植物門	珪藻綱	羽状目	ナヒキユラ科	<i>Amphora</i> 属		160	8
	繊毛虫門	旋毛綱	有鐘繊毛虫目	スナカラムシ科	<i>Tintinnopsis</i> 属	636	8	
	繊毛虫門	旋毛綱	有鐘繊毛虫目	トックリカラムシ科	<i>Stenosemella nivalis</i>	84		
	軟体動物門	ニマイカイ綱			ニマイカイ綱(D 型幼生)	24		8
	軟体動物門	ニマイカイ綱			ニマイカイ綱(アンホ期幼生)	48		
	節足動物門	甲殻綱	カラヌス目	ハラカラヌス科	<i>Paracalanus</i> 属(コヘボダイト期幼生)	36		
	節足動物門	甲殻綱	キクロプス目	コリケウス科	<i>Corycaeus</i> 属(コヘボダイト期幼生)	24	8	
	節足動物門	甲殻綱	ハルバクチクス目	エクティノソマ科	<i>Microsetella norvegica</i>	12		
	節足動物門	甲殻綱	ハルバクチクス目	エクティノソマ科	<i>Microsetella</i> 属(コヘボダイト期幼生)	24		
	節足動物門	甲殻綱			橈脚亜綱(ノブリス期幼生)	96	8	16
メッシュを通過するはずの生物（3次元の minimum dimension を考慮）	渦鞭毛植物	渦鞭毛藻綱	ペリニディウム目	セラチウム科	<i>Ceratium fusus</i>	800		
	渦鞭毛植物	渦鞭毛藻綱	ペリニディウム目	セラチウム科	<i>Ceratium lineatum</i>	480		
	渦鞭毛植物	渦鞭毛藻綱	ペリニディウム目	ペリディニウム科	<i>Protoperidinium</i> 属	320	320	48
	黄色植物門	珪藻綱	円心目	ヒトケツルフィア科	<i>Eucampia zodiacus</i>	407,680	5,920	
	黄色植物門	珪藻綱	円心目	タラシオシラ科	<i>Thalassiosira</i> 属	14,080		52
	黄色植物門	珪藻綱	円心目	コスキノディスキス科	<i>Coscinodiscus</i> 属	640		8
	黄色植物門	珪藻綱	円心目	ハリオヘルタ科	<i>Actinoptychus senarius</i>	320		
	黄色植物門	珪藻綱	円心目	リゾソレニア科	<i>Rhizosolenia setigera</i>	640		
	黄色植物門	珪藻綱	円心目	リゾソレニア科	<i>Rhizosolenia styliiformis</i>	1,440		
	黄色植物門	珪藻綱	円心目	ヒトケツルフィア科	<i>Eucampia zodiacus</i>	139,520	12,960	208
	黄色植物門	珪藻綱	円心目	ヒトケツルフィア科	<i>Hemiaulus sinensis</i>	640		
	黄色植物門	珪藻綱	円心目	キトケロス科	<i>Chaetoceros danicum</i>	2,080		
	黄色植物門	珪藻綱	円心目	キトケロス科	<i>Chaetoceros debile</i>	75,520		
	黄色植物門	珪藻綱	円心目	キトケロス科	<i>Chaetoceros didymum</i>	7,040		
	黄色植物門	珪藻綱	円心目	キトケロス科	<i>Chaetoceros</i> 属	20,480	160	
	黄色植物門	珪藻綱	羽状目	ナヒキユラ科	<i>Pinnularia</i> 属		160	16
	黄色植物門	珪藻綱	羽状目	ナヒキユラ科	<i>Pleurosigma</i> 属	3,200	3,520	60
	黄色植物門	珪藻綱	羽状目	ニッチア科	<i>Bacillaria paxillifer</i>	3,200	1,760	32
	黄色植物門	珪藻綱	羽状目	ニッチア科	<i>Nitzschia</i> 属	480	160	16
	黄色植物門	黄金色藻綱	ディクチオカ目	ディクチオカ科	<i>Dictyocha fibula</i>	160		
	繊毛虫門	旋毛綱	有鐘繊毛虫目	スナカラムシ科	<i>Tintinnopsis</i> 属	228	16	4
	繊毛虫門	旋毛綱	有鐘繊毛虫目	トックリカラムシ科	<i>Stenosemella nivalis</i>	12		
	輪形動物門	ワムシ綱	遊泳目	ネスミワムシ科	<i>Trichocerca</i> 属		16	20
	輪形動物門	ワムシ綱	遊泳目	ハオリワムシ科	<i>Colurella</i> 属			4
	軟体動物門	ニマイカイ綱			ニマイカイ綱(D 型幼生)		232	62
	節足動物門	甲殻綱			橈脚亜綱(ノブリス期幼生)	12	568	94
分割率 1/160			1/12	サンプル量		201	201	1m ³
1/4			1/2	単位 個/m ³				
メッシュを通過するはずの生物（3次元の minimum dimension を考慮）（通過せずネットにかかった生物）						33,948,600		624
50 μ m より大きい生物						289,200		88

表-15 プランクトン計数結果[35 μ mプランクトンネット通過水を10 μ mフィルターで濾し採ったサンプル]
2006/02/16 単位: 細胞数(個体数)/全量

門	綱	目	科	種名	原水	濾過装置	出口
渦鞭毛植物門	渦鞭毛藻綱	ギムノテニウム目		<i>Gymnodiniales</i> 目			2
渦鞭毛植物門	渦鞭毛藻綱	ペリニテニウム目	セラチウム科	<i>Ceratium fusus</i>	380		
渦鞭毛植物門	渦鞭毛藻綱	ペリニテニウム目		<i>Peridinales</i> 目			2
黄色植物門	珪藻綱	円心目	タラシオシラ科	<i>Thalassiosira</i> 属	160	2	4
黄色植物門	珪藻綱	円心目	メロシラ科	<i>Melosira granulata</i>	20		
黄色植物門	珪藻綱	円心目	メロシラ科	<i>Melosira sulcata</i>	60		
黄色植物門	珪藻綱	円心目	コスキノテイスクス科	<i>Coscinodiscus</i> 属	20	2	
黄色植物門	珪藻綱	円心目	リゾソレニア科	<i>Rhizosolenia styliiformis</i>	60		
黄色植物門	珪藻綱	円心目	ヒトウウルフィア科	<i>Eucampia zodiacus</i>	1,580	48	3
黄色植物門	珪藻綱	円心目	ヒトウウルフィア科	<i>Hemiaulus sinensis</i>	160	2	
黄色植物門	珪藻綱	円心目	キートクロス科	<i>Chaetoceros danicum</i>	380		
黄色植物門	珪藻綱	円心目	キートクロス科	<i>Chaetoceros debile</i>	480		
黄色植物門	珪藻綱	円心目	キートクロス科	<i>Chaetoceros didymum</i>	100		
黄色植物門	珪藻綱	円心目	キートクロス科	<i>Chaetoceros</i> 属	360		
黄色植物門	珪藻綱	羽状目	テニアトーマ科	<i>Fragilaria crotonensis</i>	180	16	15
黄色植物門	珪藻綱	羽状目	テニアトーマ科	<i>Grammatophora marina</i>	20		
黄色植物門	珪藻綱	羽状目	テニアトーマ科	<i>Licmophora</i> 属	20	4	
黄色植物門	珪藻綱	羽状目	ナヒキユラ科	<i>Amphiprora</i> 属	20	16	
黄色植物門	珪藻綱	羽状目	ナヒキユラ科	<i>Amphora</i> 属	20		
黄色植物門	珪藻綱	羽状目	ナヒキユラ科	<i>Cymbella</i> 属	20	4	
黄色植物門	珪藻綱	羽状目	ナヒキユラ科	<i>Navicula</i> 属	80	30	3
黄色植物門	珪藻綱	羽状目	ナヒキユラ科	<i>Pinnularia</i> 属		14	1
黄色植物門	珪藻綱	羽状目	ナヒキユラ科	<i>Pleurosigma</i> 属	60	58	1
黄色植物門	珪藻綱	羽状目	ニッチア科	<i>Bacillaria paxillifer</i>		64	1
黄色植物門	珪藻綱	羽状目	ニッチア科	<i>Nitzschia</i> 属		42	
黄色植物門	珪藻綱	羽状目	スリレラ科	<i>Surirella</i> 属	20		
黄色植物門	黄金色藻綱	ディクチオカ目	ディクチオカ科	<i>Distephanus speculum</i>	20	2	
ハプト植物門	ハプト藻綱			<i>Haptophyceae</i> 綱	20		
ミドリムシ植物門	ユーグレナ藻綱			<i>Euglenophyceae</i> 綱	20		
輪形動物門	ワムシ綱	遊泳目	ネズミワムシ科	<i>Trichocerca</i> 属		1	
輪形動物門	ワムシ綱	遊泳目	ホリワムシ科	<i>Colurella</i> 属		5	5
節足動物門	甲殻綱	ミジンコ目	ゾウミジンコ科	<i>Bosmina</i> 属	1	1	
			35 μ m プランクトンネット通過水サンプル量 (L)		0.5	1	1
表 14 の 35 μ m プランクトンネットの分 (3次元の minimum dimension を考慮 33,948,600 個/m ³ 等を単位変換)					33.94		0.000624
10 μ m フィルターのサンプル固定液中の生物 (10 μ m より大きい生物)					8.52		0.037
10-50 μ m (S グループ) の合計					42.46		0.038

- ・プランクトンのサイズのうち、縦・横・厚みのいずれかが $10\ \mu\text{m}$ 未満のものがあつた場合はフィルターを通過するものと見なし、計数しなかった。
- ・動物プランクトンは全量を分析した。
- ・植物プランクトン分析時分割率
原水（固定液中）：1/20、濾過装置出口：1/2
M社製新2次濾し器出口：全量分析

(3) 生物分析結果

表-13に2006年1月24日及び同年2月16日の結果をまとめ、表-14～15に同年2月16日の詳細な試験結果を示している。表-13の生物分析結果より、原水（海水）に対するプラント出口処理水の生物の総合的な除去率は99.394～99.998%となっている。なお代表的な水生生物の顕微鏡写真を図-33～36に示す。表-14では $50\ \mu\text{m}$ 以上の、表-15では $10\sim 50\ \mu\text{m}$ のプランクトンの計数をしているが、生物の最小寸法がメッシュより小さくても引っかかるため、メッシュによる分離や濃縮は難しい。

5.4 生物分析結果に対する考察

表-13の結果をD-2基準に照らし合わせてみると $50\ \mu\text{m}$ 以上の生物量は基準を超えている。また $10\sim 50\ \mu\text{m}$ の生物については、原水（海水）中のプランクトン量がバラスト水管理システム承認のためのガイドライン（G8）では可能であれば 10^4 個体/ml、少なくとも 10^3 個体/ml以上の個体を有していなければならないが、本実験ではこれらの入り口条件より個体数が少なかった。除去率を用いて計算すると 10^3 個/mlではD-2基準を満たすが、 10^4 個体/mlと除去率から計算するとD-2基準を満足していない。しかし、本プラントが生物の殺滅よりも除去に重点をおいているため本生物分析方法では、同定・計数に先立ちホルマリン固定しており、生死判定（増殖可能性判定）は行っていない。死亡していたものは除外しなければならないが生死判定は難しい。

5.5 熱処理による生物の死滅

本開発システムでは計画当初より、濾過装置の逆洗水の処理に、雑用蒸気を熱源とした熱処理による生物の殺滅を計画しており、現在その想定に基づいて予備的な生物死滅試験を実施している。

(1) 熱処理による生物の死滅予備試験

温度 $70\sim 120^\circ\text{C}$ 、保持時間 $0\sim 15$ 分の範囲で、プランクトン、バクテリアに対する殺滅率（不活性化率）を検証したところ、 80°C （5分間処理）でプランクトンと微生物生存率の大幅な減少傾向が認められ、熱処理の有効性が確認できた。今後の試験において詳細なデータの取得とラージスケールでの実証が本装置を開発する上で重要となる。

(2) 5日間静置（暗黒状態）後の自然死滅試験

静置によりプランクトン数は減少するが、バクテ

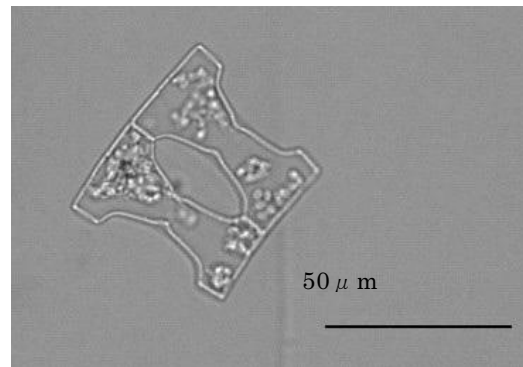


図-33 黄色植物門 *Eucampia zodiacus*

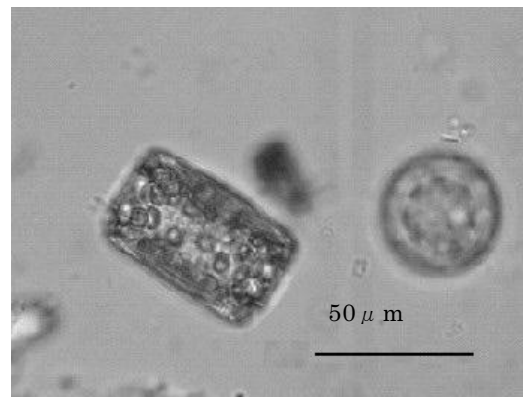


図-34 黄色植物門 *Thalassiosira*

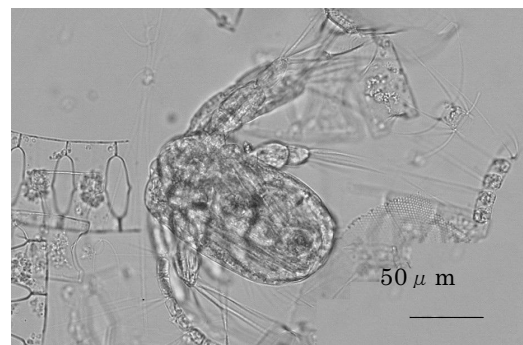


図-35 節足動物門 橈脚亜綱（ノープリウス期幼生）

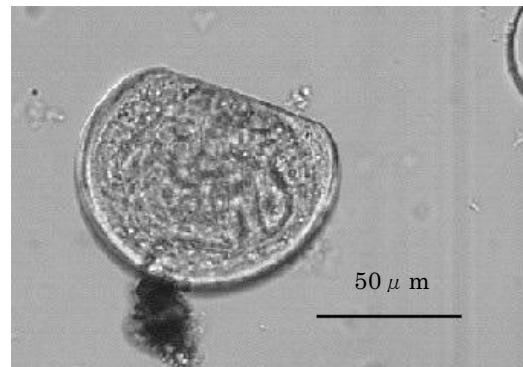


図-36 軟体動物門、ニマイガイ綱（D型幼生）

リア数については熱処理をかけた後でも増殖することが確認された。

現在開発しているシステムは、熱処理による生物の死滅予備試験で得られた結果をもとに、次の1)活性物質(薬剤)使用による新たな環境負荷を無くすることが可能、2)船体や船員への影響が無い、3)ランニングコストを含めたトータルな経済性に優れていること、により、新型熱処理法を第一候補として準備中である。これは、熱回収処理法として、G8の試験に合致する装置としての商品化を目指している。

(3) アンスラサイト濾過装置は、処理流量が計画値の約2倍程度まで増加できる可能性があり、この場合大幅小型化が可能となる。

(4) 吐出濾し器に使用した網目サイズ10 μm より大きいサイズの生物がD-2基準よりも多く通過するため、バクテリアの殺滅も含めた処理の併用が必要である。

(5) 熱処理による生物の死滅予備試験から80℃(5分間処理)でプランクトンと微生物生存率の大幅な減少傾向が確認できた。

5.6 まとめ

本プラントの処理性能(10 μm 以上の生物の除去率)は99.394~99.998%であるが、濾過のみではD-2基準を満たさない。しかし、バクテリア処理能力付加により基準をクリアできる可能性がある。

6. 活性物質のタンク塗装膜への影響

6.1 承認応募での腐食についての記載

IMO 基本承認関連での腐食についての記述には次のようなものがある。

1) EctoSysTM

電気化学的システムに使用される活性物質²⁸⁾(MEPC55/2/4:スウェーデン)EctoSysTM バラスト処理システムにより処理された水の腐食性は未処理の水と大した違いはない。

EctoSysTM による関連した条件で処理された自然海水(35PSU)の酸化還元電位は処理後ただちに最大100mV増加し、そして自然水の化学的多様性と自然活性塩素の低下のため、ただちに再び自然の値にもどり低くなる。

ASTM 基準試験方法に従って腐蝕試験が検討された。船上で使用される電気化学的に処理された海水や塩分を少し含んだ水の場合の最も関連したものは ASTM G31-72: “Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Materials” と ASTM D1654-05: “Standard Test Method for Evaluation of Painted or Coated Specimens Subjected to Corrosive Environments”

である。しかしながら、そのような試験から得られたデータは当然船上の実際にありうる腐蝕の評価には役立たない。応募者は、代わりに陸上型式承認試験段階と検証船上型式承認試験段階の両方で継続する長時間の腐蝕研究に着手することによりこの問題に取り組んだ。EctoSysTM バラスト水処理システムによって処理された水の腐食性は変わらないという主張は、異なった種類の鋼(コートなしまたはスタンダードの保護のコーティング)の短期影響が評価されたドイツブレーマーハーフェン(Bremerhaven)で進められたケーススタディの間に部分的に確認された。腐食に関する物理化学的性質(例えば酸化還元電位と pH)が、関連がある運転中の状態で、連続的に計測された。入りの水と EctoSysTM によって処理された排水に5週間を超えて暴露された配管部品(亜鉛メッキ)についてはドイツ工業規格(DIN EN 12502)に従って一連の試験が行われた。バラスト水の操作をシミュレートして2~7日毎に水は新しくされた。温度や電導率、酸化還元電位、酸化剤の濃度や pH のパラメータにおいて際立った変化は検知されなかった。保護する炭酸亜鉛層の少量の形成のほかには、配管部分に腐食は見られなかった。腐食のバッチテストではシステムの流れの中で起きる侵食と腐食間の複雑な相互作用はなかった。引き続き、新しい長期(>6ヶ月)試験が、陸上での形式承認試験構成にリンクして、バラスト水タンク設計の実寸で計画された。結果は組織内専門家の意見と伴に、2006-08のこれらの試験期間中に引き続き報告される。水中で生成された水酸ラジカルは pH に影響されず、自然水中の pH 値にも影響しない。処理中の断続的な酸化還元について EctoSysTM 電気化学セルの構造は H⁺/OH⁻イオン間のバランスの正味の変化を防ぐ。従って、海水や塩分を含んだ水の EctoSysTM 処理は水の pH 値に影響を与えない。理論的に、小さい影響は自然海水の緩衝能力によって効果的に平衡にされる。海水の腐食性に影響を与える主パラメータは EctoSysTM 処理により実際上変化せずに残っている。

2) Electro Clean System 電気分解殺菌(韓国)

韓国提出の Electro-Clean System(ECS)の最終承認応募³⁰⁾ではコーティングについては書かれていないが、2年以上使用したバラストタンクでの腐食観察について記述がある。自然海水と ECS 処理水で顕著な腐食はない。バラストタンク床では ECS-処理より自然海水中に腐食が多く検出されたと記述されている。

3) 海水電解プロセスを使用したハイブリッドバラスト水処理システムの活性物質³¹⁾(MEPC56/2:三菱)

次亜塩素酸ナトリウムには活性物質に類似の化学的性質があり、金属に対して腐食性がある。したがって、バラストタンクや配管の腐食のリスクを増加することが予想されるかもしれない。バラスト水用の吸い込み/排出ラインやバラストタンクはメッキ

や塗装、ポリマーライニング等により保護されている。金属物質と活性物質の直接の接触は低いと考えられる。腐食のリスクはほとんどなく、しかしながら低濃度(5.0mg/L)の活性物質(自由活性塩素、**FAC : Free active chlorine**)がこのシステム処理中に計測されている。電気分解セルやその周辺配管に使用されるポリスチレンを塗った鉄パイプ、**FRP**パイプ、ゴムライニングパイプ等も高濃度の活性物質($\leq 1,500\text{mg/L}$)に対して抵抗力がある。これらの配管材料は陸上使用の **MGPS** (海洋生物付着防止装置) で長い使用例がある。

4) NK03 バラスト水処理システム(NK03 PWTS 韓国オゾン)³²⁾ GESAMP-BWWG3/9

船舶の構造材に存在するであろう腐蝕の潜在性に関連して、海洋環境保護の科学的側面に関する専門家会合—バラスト水ワーキンググループ(**GESAMP-BWWG**)は、応募者が今回オゾン処理されたバラスト水は腐蝕の割合を増加しない試験結果を報告したことを書き留めた。実際、オゾンは酸を分泌する微生物を殺すことによって腐食率を低減する。**BWWG**は関係する肯定的な試験結果が実際に立証されることを勧告する。

5) スペシャルパイプバラスト水処理システム³³⁾ (オゾン、日本、MEPC55/2、12April 2006)

このシステムが船上に設置された時、腐食を起こすオゾンはまず船体への影響について検討されなければならない。オゾンは強い酸化作用があるので、材質は耐腐食性を考慮して選ばなければならない。このシステムの設計されたオゾン濃度を用いた、電気化学的解析と腐食試験にしたがって、材質を選択しなければならない領域が見極められた。もし海水中のオゾン濃度(酸化剤濃度)が 0.3mg/L であるなら、この濃度は設計処理直後(オゾンが殺菌処理ユニットに供給された直後)の値である。無塗装鋼板や電流を作用させる鋼板への腐食影響は、オゾンを含んでいない海水中的のものとそれ程異ならず、そしてオゾンの腐食影響は無視できる。オゾンの分解速度は速いので、タンクまでの配管内で 0.3mg/L 以下に濃度は低下する。それ故、腐食処置は晒すタンク後の配管やバラストタンク内に要求されない。しかしながら、オゾン入り口の配管からポンプや晒すタンクまではコンスタントにオゾンに晒される。それ故、これらの部品は安全のために、例えばステンレスのようなオゾンに耐腐食性のある物質で作られる必要がある。耐腐食性の効果はエポキシコーティングでも数時間は維持したが、長時間の連続暴露の時はこの効果は急激に低下した。したがってオゾンに長時間暴露される配管にはエポキシコーティングはさけるべきである。上記のように、このシステムが設置される船内では、装置や配管の材料はオゾン腐食を考慮して選ばなければならない、したがって船体はそのようなオゾンの影響を受けてはいけな

この関係では臭素酸塩の酸化性は弱く、オゾンの腐食対策でさけることができる。オゾンの腐食対策が要求されるこのシステムの区域は、このシステムを設置するために付加された区域だけである。晒すタンク後の配管やバラストタンクは従来の海水バラストと同じような方法で取り扱って良いことがわかった。

6) ドイツから提出された活性物質承認応募の報告(**PERACLEAN OCEAN**)³⁴⁾MEPC54/2/12 (28 February 2006) ANNEX1(page55~67)/GESAMP-BWWG1/9 ANNEX5

適合したステンレスが配管、ホースライン、接続金具、シールおよびポンプに使用されるべきである。希釈された **PERACLEAN OCEAN** は標準エポキシ—タンクコーティングに損傷を与えないと述べている。この記述の確認のために腐食影響をモニターすることを勧めている。物質は亜鉛と高い反応性があるので、船のバラストシステム配管が内部で電流を作用させているところでは、この製品の使用が許されるには更なる確認が必要である。

PERACLEAN のバラスト水タンク内での減衰については以下のように述べられている。

PERACLEAN の規定最適投薬は過酢酸 23mg/L 、過酸化水素水 21mg/L 、酢酸 38mg/L の初期濃度である。それに対応して **PERACLEAN** のバラスト水中の初期濃度 **PERACLEAN** 150mg/L である。バラスト水に使用後、peracetic acid の完全な衰亡が暴露後 10~15 時間後に観察された。フィルターでこしたきれいな海水(低濃度の POC/DOC)に **PERACLEAN** 150mg/L を使用した 1 つの実験において、過酸化水素水の濃度は 5~10 時間後で 20mg/L 、約 25% の減少に関して 50 時間暴露後で 15mg/L が計測された。 H_2O_2 17.2mg/L と 30mg/L をドイツキール港(Kiel Harbour)の水に投薬した他の実験において、 H_2O_2 24 時間後の濃度は $1.4\text{--}2.5\text{mg/L}$ (約 92% 減量 24 時間) であった。

6.2 バラストタンク塗装への活性物質影響試験

バラストタンク塗装への活性物質影響評価試験を行った。試験期間が短期間であるがその経過について報告する。

処理技術及び活性物質を利用するバラスト水管理システム承認 (G9) の IMO への申請や審査状況の調査結果を基に実用化の可能性が考えられるオゾン、次亜塩素酸、過酢酸等を用いて試験を行った。濃度については開発途上で幅があるが通常の殺菌処理濃度を基準に考えた。

6.2.1 オゾン等の影響試験

バラスト水管理条約発効に伴う殺菌処理過程で活性化物質が使用される可能性に鑑み、バラストタンク保護塗装への影響を調べた。

(1) 実験

平成18年度に人工海水と次亜塩素30ppm入り海水を使って、変成エポキシ塗料5種類につき6ヶ月の乾湿交番型塗膜劣化促進試験を行った。この影響見積もり調査では、1種類の塗膜で比較的大きな減肉が見られたが、乾湿交番型試験は基本的に試験水が静止しており、必ずしも船舶運行環境を模擬していないことから、平成19年度はこの装置に変えて、図-37のロータリー型塗膜劣化促進試験を使い、活性化物質も次亜塩素に加えて、過酸化水素、オゾンを追加して影響見積もり調査を行った。

装置は、塗料試験片(200×400)が16枚取り付けられ、温度40℃に保持できる浸漬槽(4槽、各200リットル)と木製コントロール槽(4槽、各200リットル)で構成される。図-37は内部が見えるように蓋部分を取り外した状態である。試験片は水の抵抗を考慮して縦方向に1分間20回転で浸漬と空気層を出入りする。

各槽の試験水は、①自然海水：大阪湾の泉佐野漁港から毎月一回交換すべく、満潮時(塩分濃度約3%を確保するため)に取水後タンクローリー輸送し、プラスチック製サービスタンク(5トン)に蓄えたもの。②自然海水を白金-チタン電極で電気分解し次亜塩素の濃度が30ppmになるよう調整したもの。③自然海水に高濃度過酸化水素水(35%)を適量加えて過酸化水素濃度150ppmに調合したもの。④オゾン水発生装置(1~3ppm約20リットル/分)で連続的に供給されるものである。次亜塩素の海水中半減時間は海水中の有機物量にも依存するが約1日であった。同様に過酸化水素の半減時間は約半日であった。オゾンの海水中半減時間は資料³⁰⁾によると6秒程度と短く、オゾン水発生装置から5m程度のホースを使って浸漬槽に直接注入(手前下部から)し、コントロール槽に奥上部パイプによって戻され、循環する間にオゾン濃度は0.5ppm程度に低下していた。

(2) 実験結果

平成19年6月1日~11月30日の間、約6ヶ月間停電もなく連続で劣化促進試験を行うことが出来た。この間に5回の新しい天然海水と交換した。図-38に6ヶ月経過後の写真を示す。ここで、塗料種A~Dはそれぞれ、エポキシ塗料溶剤系、エポキシ樹脂塗料ハイソリッド系、エポキシ樹脂塗料溶剤系、無溶剤系エポキシ樹脂塗料である。白化状態が大きい順に、試験水と塗料の組み合わせは、過酸化水素D、次亜塩素D、過酸化水素C、次亜塩素C、過酸化水素A、次亜塩素Aである。これと図-39の減肉量には似た傾向がある。

減肉評価

塗装試験板は試験の前後で精密電子天秤による試



図-37 四連型活性物質影響試験装置

験片全体の重量測定を行う方法で実施した。図-39に減肉量/表面積(g/m^2)を示す。ここで、試験片の評価には以下の条件を考慮する必要がある。ここでいう減肉は膜厚の減少によるものでなく重量(密度)によるものである。

- ・分母の表面積は評価面側だけの面積であり、裏面の面積が含まれていない。しかしながら分子の減肉量には裏面も含まれている。
- ・塗装試験片の評価対象面のコーティングが塗膜厚さ約 $300\mu\text{m}$ の塗装を行っている。一方、評価対象外の裏面コーティングは塗膜厚さ $500\sim 700\mu\text{m}$ 程度の厚い塗装を行っているため、ブランク(空気中)の減肉量は、この裏面からのVOCの放出等が支配的と考えられる。なお、裏面のコーティング塗装はA~D総て、同質の塗料で行っているため、減肉量の絶対値に大きな意味はなく、自然海水や空気中との比較(減肉量の差)において意味を持つ。

これを勘案すればA、Dはオゾンと自然海水で同じくらいの溶出量で、B、Cはオゾンの方が多く溶け出している。過酸化水素および次亜塩素で塗料溶出が大きい種類があるが(塗膜厚さに影響するほどではなく)保護塗膜としての能力に影響しない値と考えられるが、塗料表面がヌルヌルしており(試験終了後の塗装試験片の乾燥状態では表面に粉が存在し触れると粉が付く状態)、メンテナンス時の障害等の弊害が考えられる。

塗装メンテナンスやPSPC(バラストタンク塗装性能基準)の試験においては、塗膜厚さで評価されるが表-16と図-40に、塗装直後と6ヶ月経過後の塗膜厚さの計測値を示す。表-16及び図-40の中の1はオゾン、2は過酸化水素、3は次亜塩素、4は自然海水、5は空気中である。全体を通じて計測誤差

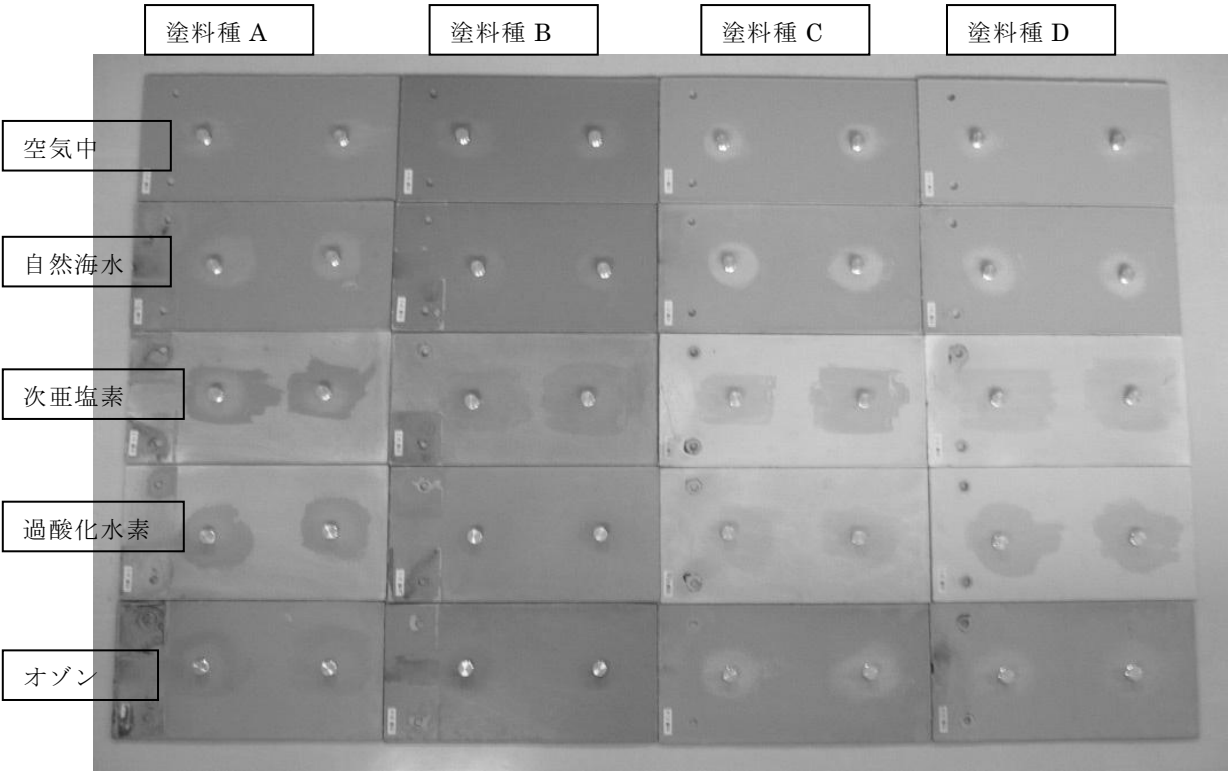


図-38 6ヶ月経過後の表面写真

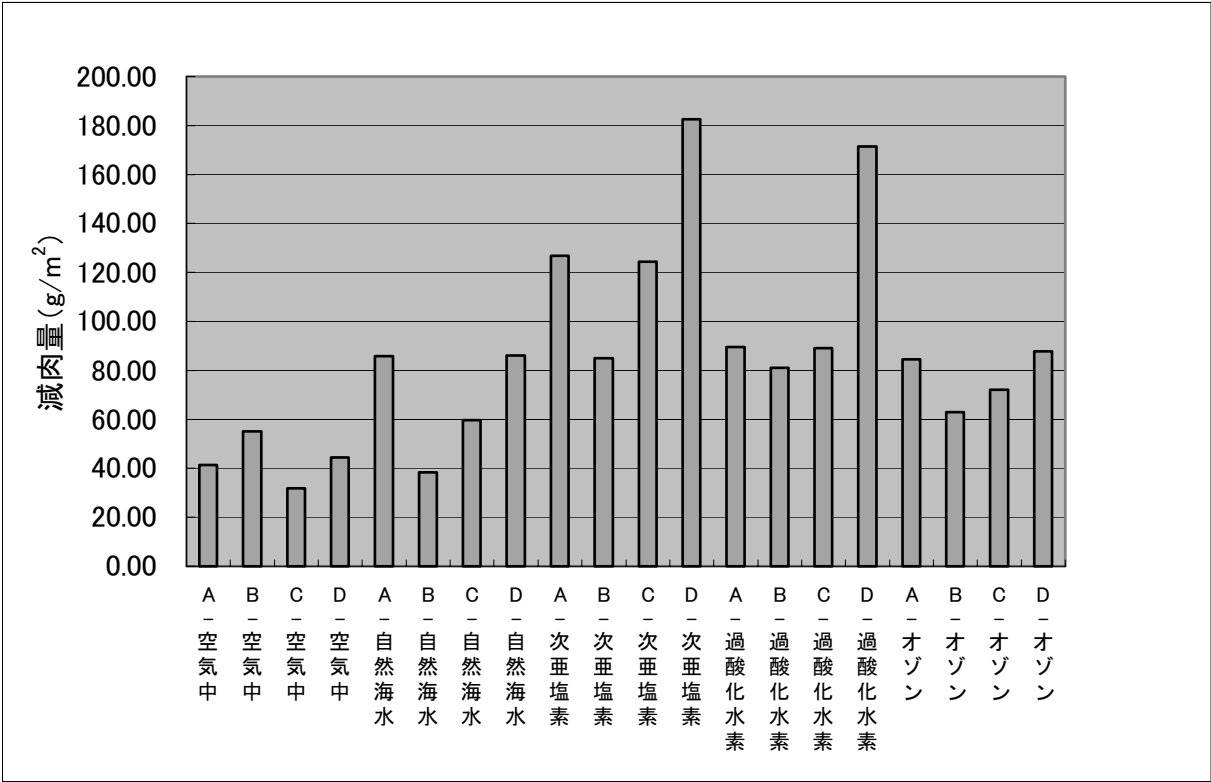


図-39 6ヶ月経過後の減肉量

表-16 膜厚変化（単位：μm）

初期膜厚測定 (2007/5/29) 5点計測						活性物質影響試験後膜厚 (2007/12/4) 3点計測				
	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5		①	②	③	3点平均
①	269	290	276	264	275	A-1	270	279	289	279
②	269	300	243	253	266	A-2	283	282	268	277
③	281	293	242	260	254	A-3	222	248	235	235
④	292	292	286	280	277	A-4	270	278	257	268
⑤	301	312	242	282	303	A-5	287	271	281	280
5点平均	282	297	258	268	275	B-1	297	280	279	285
	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	B-2	310	258	262	277
①	274	322	348	278	287	B-3	317	279	302	299
②	265	335	324	297	301	B-4	287	261	278	275
③	307	259	306	287	268	B-5	290	265	249	268
④	259	265	253	265	253	C-1	262	266	245	258
⑤	254	246	240	283	252	C-2	241	258	243	247
5点平均	272	285	294	282	272	C-3	218	214	187	207
	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-4	217	237	202	219
①	235	240	228	206	207	C-5	216	223	215	218
②	258	260	201	201	208	D-1	371	373	414	386
③	262	241	228	223	216	D-2	407	303	360	357
④	246	235	204	223	201	D-3	337	396	355	363
⑤	249	246	213	212	199	D-4	385	422	412	406
5点平均	250	244	215	213	206	D-5	400	385	312	365
	D-1	D-2	D-3	D-4	D-5					
①	355	367	349	371	351					
②	386	377	366	403	346					
③	367	404	433	372	373					
④	292	414	400	389	398					
⑤	313	394	419	325	372					
5点平均	343	391	393	372	368					

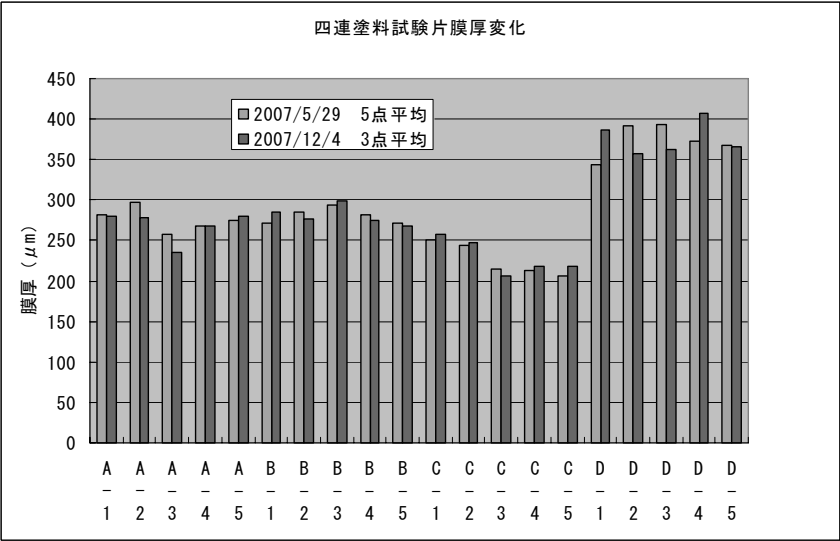


図-40 塗膜試験片の膜厚変化

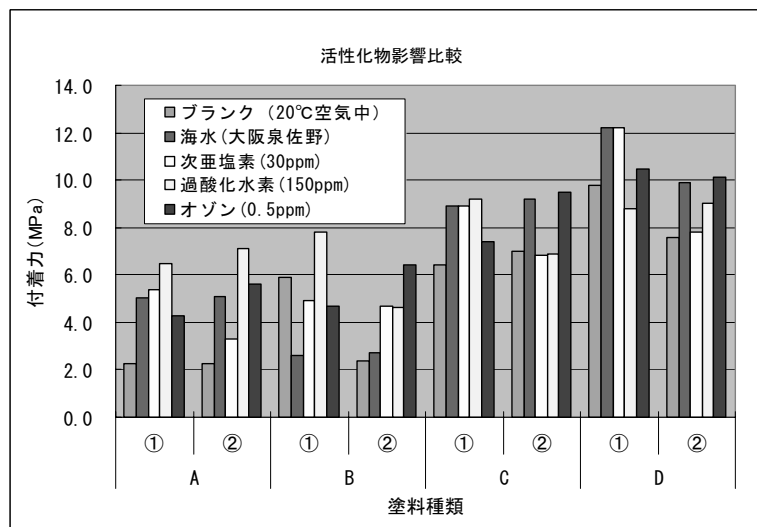


図-41 塗膜引きはがし試験結果 (6ヶ月経過後)

に過ぎない程度の変化であるが、重量変化で求めた減肉評価で大きく減肉していた D の次亜塩素と過酸化水素にやや有意な塗膜厚さ減が見られたものの、D は全体に初期膜厚が大きいので、膜厚による減肉評価には限界がある。

塗膜強さ

図-41 に塗膜引きはがし試験の結果を示す。図中の横軸の①は5月29日、②は12月4日のデータである。塗料種 A では各海水の影響で塗膜強度が大きくなっているが、これは、塗膜内に水分が拡散していく過程で化学変化により硬化が進行したものと考えられる。塗膜強度は6ヶ月のウェーブ試験で5MPaあれば十分と言われており、C、D では、活性化物添加の如何に関わらず十分な値を保っている。

(3) 考察

PSPC では、180 日間の試験により、長期 (15 年程度) の耐久性能を評価しようとするもので、バラストタンク環境を模擬した 5 種類のテストが設定されているが、その基本となるのは 35℃ の海水である。本試験の活性物質の影響には、PSPC を参考にして、よりシビアな条件とし、40℃ と設定し、PSPC のように温度サイクル、温度勾配のような負荷はかけずに単純な浸漬試験ではあるものの、6 ヶ月間の連続運転により劣化が促進された塗膜に対しての活性物質の影響をしらべた。換言すれば長期 (15 年程度) 間の影響を概ね見積もることが可能と考えている。その根拠であるが、一般に、処理水中の活性物質は時間の経過とともにその活性が失われていく。活性物質の種類にもよるが、180 日の浸漬試験は船舶の一生分にも相当する。例えば、次亜塩素の海水中半減期は数日 (海水中の有機物により左右される。大

阪湾泉佐野漁港での海水では 1 日) と過酸化水素の半日～1 日に比較して長い、仮にバラスト航海を年 10 回とすれば年間で 10 日程度の影響、従って 180 日の試験は 18 年間の航海に相当する。オゾンに至っては、半減期は 5 秒以内 (本試験では 6sec 程度) とされており、180 日という浸漬時間はかなり安全サイドの評価を行うこととなる。(ただ、温海水により劣化した塗膜への影響も評価する必要があることから、180 日の試験期間は必要である。常時オゾン注入するのではなく、適当なインターバルで注入する方法も考えられるが、まずは同一条件により評価を行った)。即ち、180 日で減肉が 15% に及ぶケースもあったが、単純な 180 日では無く、15 年強に及ぶ促進試験ということ勘案すれば、次亜塩素、過酸化水素、オゾンの 3 種類の活性物質による影響は、塗料種によって影響の違いがあるものの (塗膜表面の浸食にとどまっておらず) 本質的な船体保護性能への影響はそれほど大きいものではないと考察する。しかし、オゾンについては半減時間が短いため、低濃度の状態での影響調査になっており、バラストタンクに注水する直後においては注意を要すると思われる。

6.2.2 密閉容器によるバラスト水処理への静置浸漬試験

2 リットルのガラス容器に活性物質を添加した人工海水を入れ、塗装試験片を浸漬して密封し影響を調べた。活性物質濃度設定については以下に述べるように濃度を設定した。

1) 次亜塩素酸ナトリウム

塩素濃度は 2mg/L (Lloyd Resister, Ballast Water Treatment Technology) に設定する。

(電解塩素の例では50mg/L発生させ5mg/Lで使用
(GESAMP-BWWG3/9,ANNEX7))

次亜塩素酸ナトリウム

$\text{NaClO}=\text{Na}:23.0+\text{Cl}:35.5+\text{O}:16=74.5$

次亜塩素酸ナトリウム 12%溶液(購入品)を用いる
から、この塩素濃度は

$12(\%) \times 35.5 \div 74.5 = 5.71\%$ である。

塩素を 2mg/L, 2000ml の液にするには 5.7%液を xL
とり、2000mL にすると、

$0.0571 \times x = 2000 \times 0.000002$

$x = 0.07\text{mL}$

12%次亜塩素酸ナトリウム液(塩素:5.7%)を 70
μL とり、海水を加えて 2000mL にする。

2) メナデイオン (ビタミン K)

(David Wright, The use of Seakleen^R as a
treatment for Ballast tank (インターネット) より
2.0mg/L が殺滅効果の信頼できるとある。これにつ
いても 2.0mg/L として実験を行う。

3.0mg をとり、2,000mL とする。

3) 過酢酸

過酢酸(peroxyacetic acid):[出典:日本化学会編化
学便覧及び Wikipedia]

示性式 $\text{CH}_3\text{C}(=\text{O})\text{OOH}$ で表せる過酢酸、分子量
76.05、融点 0.1℃、沸点 35~36℃、別名:ペル
オキシ酸;水溶、110℃で爆発、過カルボン酸のひ
とつ。PAA と略される。鼻を突く酢酸臭がある液体。
消毒薬としての利用:

過酢酸は殺菌消毒剤として使用され、6%溶液がアセ
サイドという商品名で販売されている。主に医療器
具の滅菌、消毒に 0.2%-0.3%の濃度で用いられる。
ほとんど全ての細菌、真菌、芽胞、ウイルスに対し
グルタルアルデヒドと同等かそれ以上の効果を示す
が、グルタルアルデヒドと違い、人体に対する感作
性やアレルギー性、変異原性が低い。分解生成物は
酢酸、過酸化水素で、過酸化水素は最終的に水と酸
素に分解されるため、実質的にほぼ無害である。

過酢酸は、炭疽菌に代表される芽胞にも有効であ
り、グルタルアルデヒド、ホルムアルデヒド、次亜
塩素酸ナトリウム、過酸化水素とともに世界保健機
構(WHO)が炭疽菌の消毒薬として推奨するものの
ひとつとなっている。

有機合成分野での応用:

有機合成の分野では、酸化剤として汎用される。多
くの場合は過酸化水素と無水酢酸から系中で発生さ
せて用いるが、純度の高いものは潜在的に爆発性
があるとされ、危険である。通常の目的には危険性の
低いメタクロロ過安息香酸(mCPBA)を用いるべき
である。

過酢酸には次のような製品例がある。

パラクリン[ドイツ MEPC54/2/12]

PERACLEAN OCEAN は次の要素からなる (お
およその濃度):

・ Peracetic acid(PAA)[79-210-0]

$\text{H}_3\text{C}-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{OH}$ 14-<17%

・ Hydrogen peroxide 過酸化水素[7722-84-1]

$\text{H}-\text{O}-\text{O}-\text{H}$ 13-<15%

・ Acetic acid 酢酸 [64-19-7]

CH_3-COOH 24-<29%

・ Water 水

H_2O <39-49%

Peracetic acid は活性物質であり、使用時のバラ
スト水中及び系統立てた調剤中に過酸化水素水と動
的平衡になる。Peracetic acid は特殊な反応モード
ではないが強い酸化剤である。PERACLEAN
OCEAN は UN No.3109、有機化酸化物タイプ F、
液体、分類 5.2 で IMDG Code 表に記載されている。

過酢酸[三菱瓦斯化学株式会社]

過酢酸 (CAS No.79-21-0) 36~42%

酢酸 (CAS No.64-19-7) 38~45%

過酸化水素(CAS No.7722-84-1) 4~6%

残分は水

過酢酸[メルク株式会社]

過酢酸 (CAS No.79-21-0) 40%

酢酸 (CAS No.64-19-7) 57%

過酸化水素(CAS No.7722-84-1) 3%

ドイツの PERACLEAN のバラスト水処理におけ
る規定最適投薬量は次のとおりである。

過酢酸 $\text{CH}_3-\text{CO}-\text{OOH}$ 23mg/L、過酸化水素 H_2O_2
21mg/L、酢酸 $\text{CH}_3-\text{CO}_2\text{H}$ 38mg/L となっている。

購入した過酢酸(製剤)は

過酢酸 36~42% →39.0%

酢酸 38~45% →41.5%

過酸化水素 4~6% →5%

水残分 14.5%

である。過酢酸濃度を 23mg/L にして実験を行うと
する。この溶液を x mL とり、海水を入れて、23mg/L
液を 2000mL 作るとする。

$x \times 0.39 = 0.000023 \times 2000$

$x = 0.118\text{mL}$

購入した過酢酸(製剤)を 0.118mL とり、海水を入
れて 2,000mL とする。

4) 二酸化塩素の場合(助川化学製酸性亜塩素酸水 「スケビオトーク」)

この場合 ClO_2 濃度を 2mg/L にする。

有効 ClO_2 濃度が 1000ppm である。(塩素 Cl と O_2
とは共に 1,000ppm である。)

この液を x mL とり海水で 2,000mL にすると、
 $0.001000 \times x = 0.000002 \times 2,000$

$x = 4.0\text{mL}$

スケビオトーク 4.0mL を採り、海水を加えて
2000mL とする。

5) 亜塩素酸ナトリウム（助川化学製「ススムちゃん」）

この場合も ClO_2 濃度を 2mg/L とする。

$$\text{NaClO}_2 = \text{Na}:23.0 + \text{Cl}:35.5 + \text{O}:16 \times 2 = 90.5$$

亜塩素酸ナトリウム 6.7%であるので、二酸化塩素の濃度は

$$6.7(\%) \times (35.5 + 16 \times 2) \div 90.5 = 5.00\%$$

この液を $x\text{mL}$ とし塩素 2mg/L の溶液にするには

$$x \times 0.0500 = 0.000002 \times 2,000\text{mL}$$

$$x = 0.08(\text{mL})$$

亜塩素酸ナトリウム液「ススムちゃん」を 0.08mL とし、海水を加えて $2,000\text{mL}$ にする。

(1) 試験方法

人工海水にバラスト水処理剤を添加した液を試験水とした。使用したバラスト水処理剤は以下のとおり。

- 1) 次亜塩素酸ナトリウム（2ppm 相当）
- 2) 過酢酸（23ppm 相当）
- 3) ビタミン K（2ppm 相当）
- 4) 亜塩素酸ナトリウム（2ppm 相当）
- 5) 二酸化塩素（2ppm 相当）

試験片はジンクリッチプライマーを下塗りした銅板に、上塗りとして変性エポキシ樹脂塗料を 1 回塗りで $250\mu\text{m}$ 厚さになるようにした物を使用した。浸漬試験は、各バラスト処理剤を添加した人工海水を 1.5L 入れた容量 2.0L のガラス容器 1 個につき試験片 1 枚を入れて密封し、容器を 25°C の水恒温槽に入れて加熱して行った。試験装置を図-42 に示す。塗膜試験片を図-43 に示す。

(2) 測定項目

試験前後に塗膜表面の FT-IR 計測を行い、表面状態の変化を調べる。測定は試験片 1 枚につき 3 箇所行う。試験後の試験片は流水（水道水）で表面の処理水を流した後蒸留水で洗浄し、 50°C の空気恒温槽で 48 時間乾燥した後デシケータ内で室温冷却した後測定する。

(3) 試験結果

温度 25°C で約 50 日の浸漬試験を行った。試験片を回収して表面を洗浄した後乾燥し、以下の項目について調べた。

1) 塗膜表面の観察

試験後の塗膜表面に、変色・退色などの特徴的な変化は認められなかった。

2) 塗膜表面解析

試験期間において、FT-IR 測定スペクトルに顕著な変化は見られなかった。次亜塩素酸等活性物質を添加した人工海水で浸漬試験を行った試験片の、浸漬前後の FT-IR スペクトルの結果を図-44～図-48 に示す。

(4) 考察

試験期間も短期であり、顕著な変化は見られなかった。引き続き長期の浸漬試験と電気化学的に塗膜の変化を調査する予定である。



図-42 密閉容器浸漬試験状況



図-43 塗膜試験片

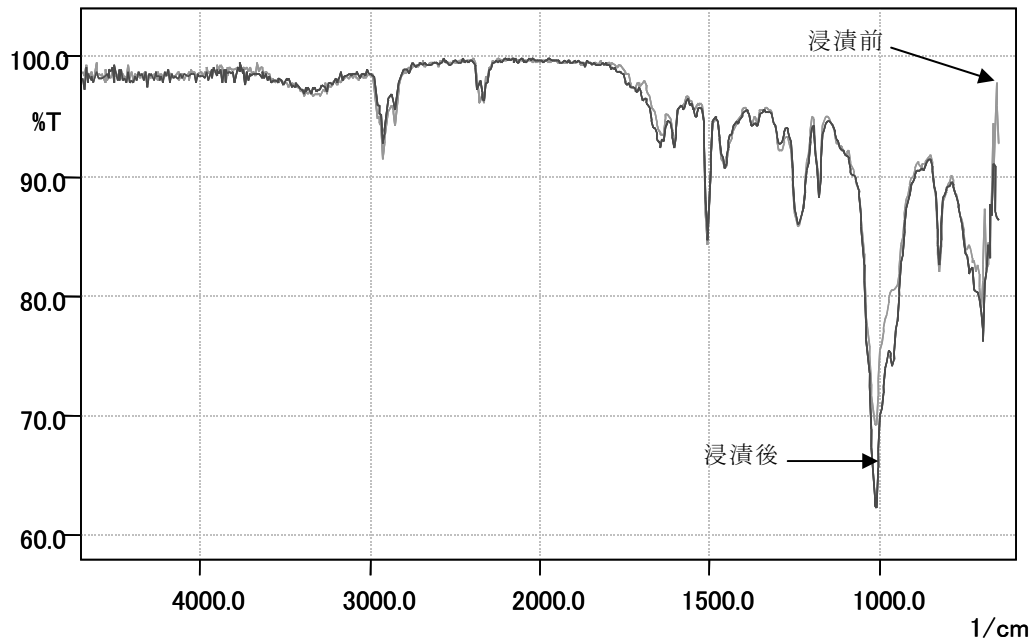


図-44 人工海水＋次亜塩素酸ナトリウム(2ppm相当)浸漬前後のFT-IRスペクトル

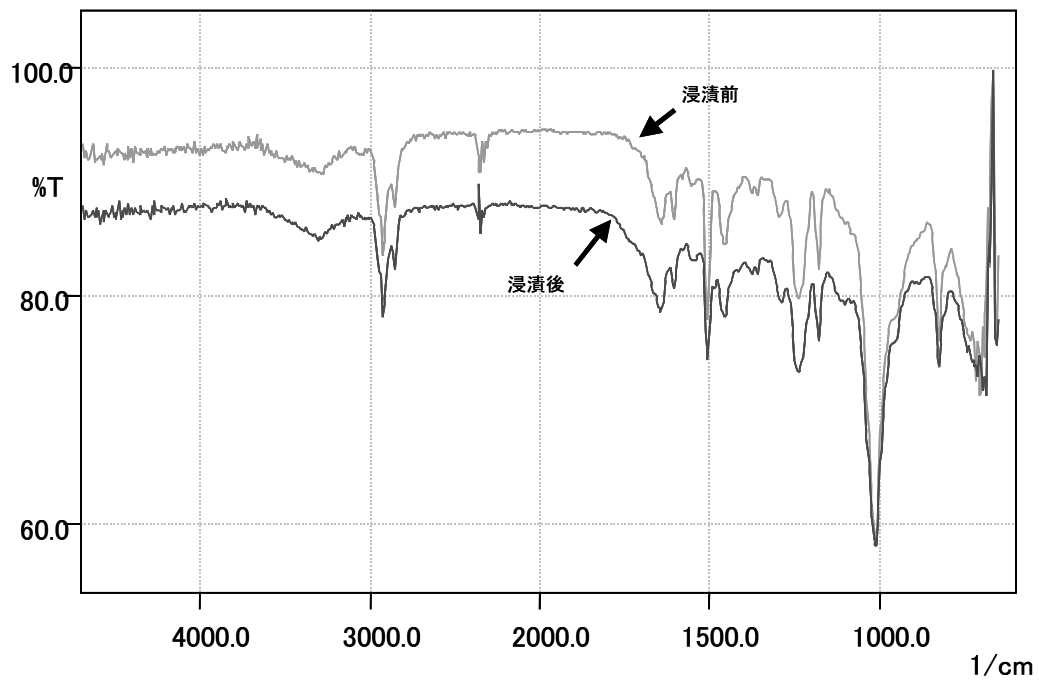


図-45 人工海水＋過酢酸(23ppm相当)浸漬試験後のFT-IRスペクトル

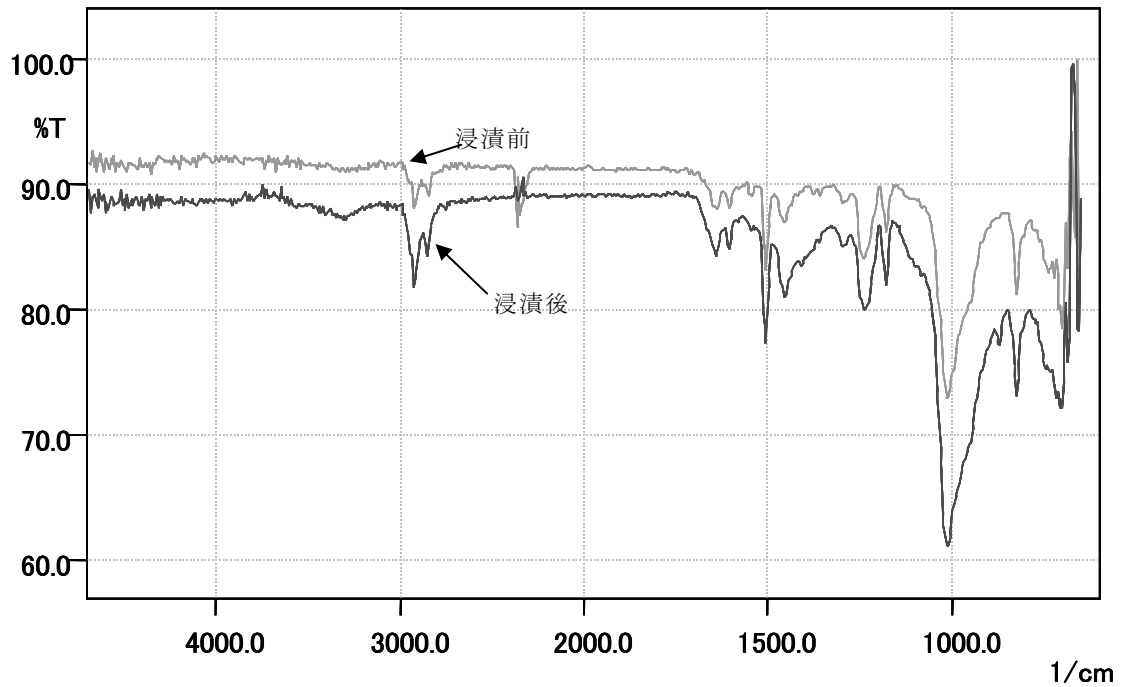


図-46 人工海水+ビタミンK(2ppm相当)浸漬試験前後のFT-IRスペクトル

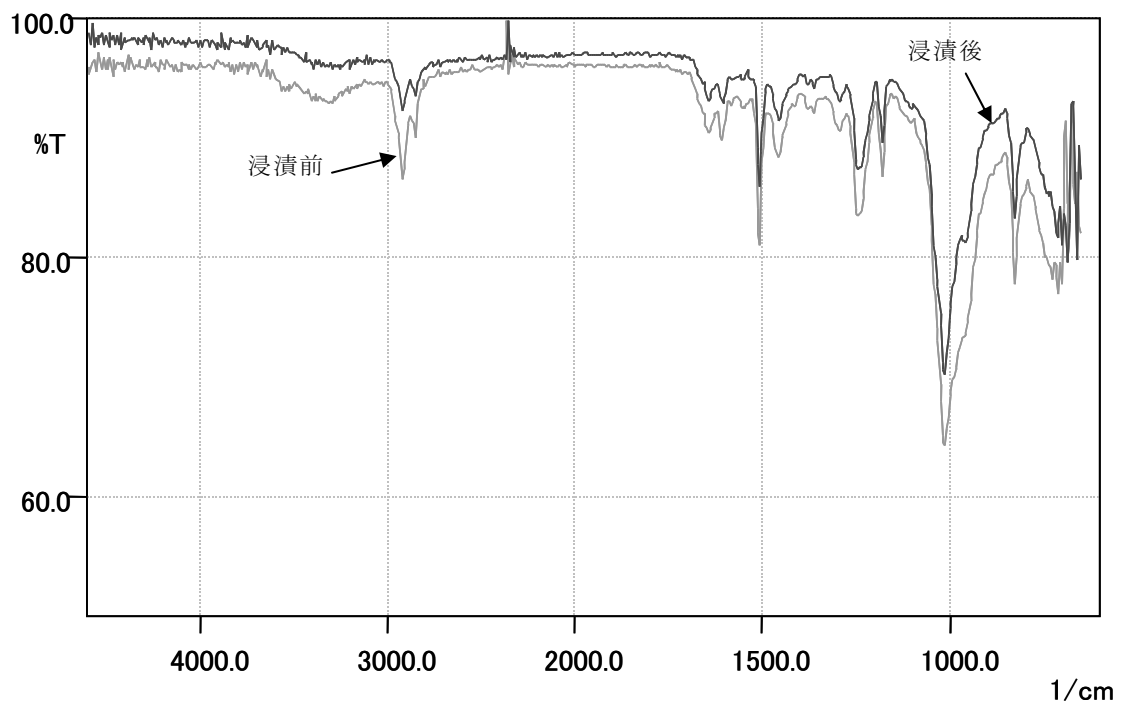


図-47 人工海水+亜塩素酸ナトリウム(2ppm相当)浸漬試験前後のFT-IRスペクトル

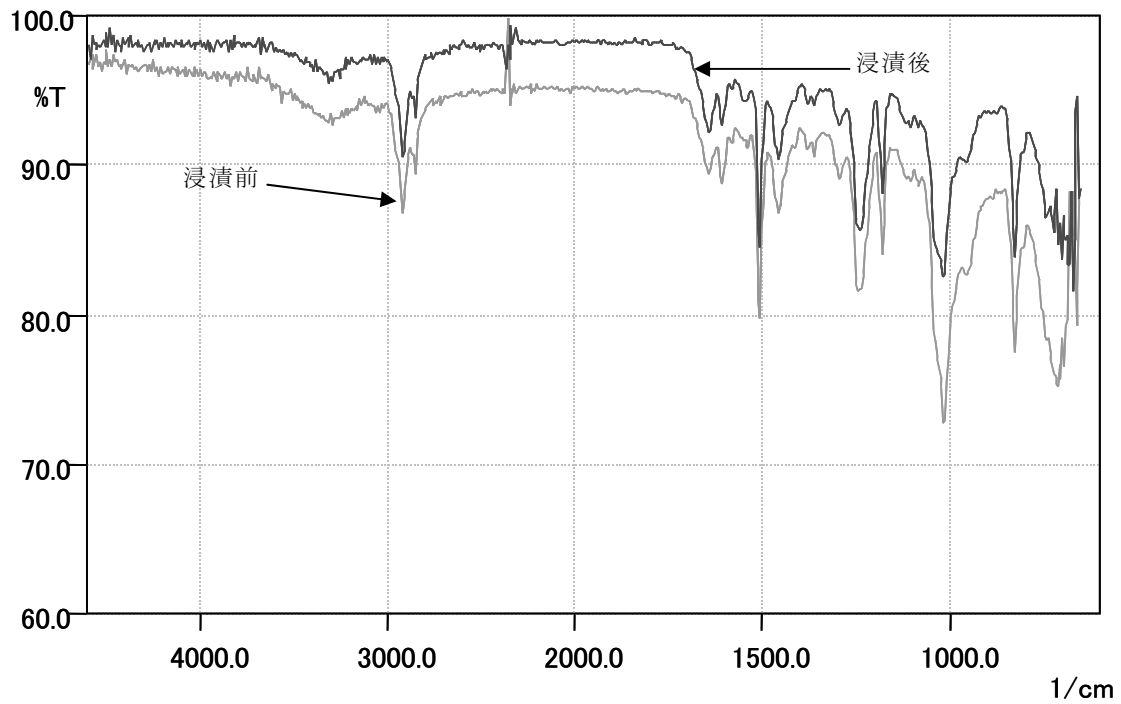


図-48 人工海水＋二酸化塩素(2ppm相当)浸漬試験前後のFT-IRスペクトル

6.2.3 無塗装鋼板への活性物質の影響試験

バラスト水管理条約発効後、殺菌処理に活性物質が使用される可能性があり、バラストタンク塗装に欠陥があった場合等、これらの活性物質が直接生地鋼板に影響を与えることになる。そこで、無塗装鋼板の流水下における浸食実験によって、種々の活性物質が鋼板に与える影響を見積もった。

(1) 無塗装鋼板実験

1) 実験用活性物質

5種類の活性物質を含む海水

No.1 海水

No.2 次亜塩素酸ナトリウム30ppm+海水

No.3 過酸化水素150ppm+海水

No.4 オゾン約0.5ppm+海水

No.5 オゾン約1.0～3.0ppm+海水

2) 実験に用いた鋼板（鉄片：造船用構造鋼板）

5枚の鋼板

No.1 19.7×9×4.7mm 6.27762g

No.2 20.6×9×4.7mm 6.4792g

No.3 19.9×9×4.7mm 6.27923g

No.4 20.6×9×4.8mm 6.6775g

No.5 — 8.165g

3) 実験期間

2007.6.19～2007.11.29

4) 実験方法

実験は、活性物質を含んだ流れの中に実験用鋼板をSUS316の針金で吊るし、毎日の午後1時過ぎに実験用鋼板パイプから取り出して、水分を拭き取ってから、鋼板の表面と裏面を写真撮影し、その後質量の計測を行った。

5) 実験の状態

図-49 のパイプ 4 本の中にそれぞれの鋼板を入れて、活性物質を含んだ海水が流れる状態に鋼板を浸漬して実験を行った。

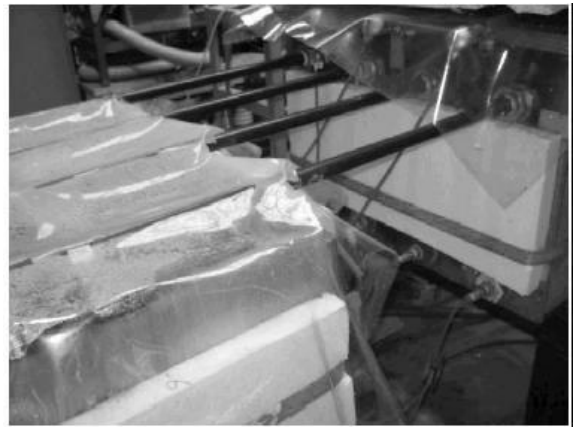


図-49 実験装置の実験用鋼板（鉄片）を入れたパイプ

(2) 無塗装鋼板実験結果

1) 4種類の活性物質+海水による鋼板の質量の減量率

実験による結果を図-50に示す。表-17に実験開始から鋼板の質量低減率を示す。実験結果から過酸化水素+海水が最も鋼板に対して腐食の進む度合いが大きく、オゾン+海水がもっとも腐食が進行していないことが解った。

無塗装鋼板の表面観察

無塗装鋼板の1ヶ月ごとの表面写真を図-51に示す。海水+過酸化水素の場合は鋼板を吊るす穴まで腐食されていることがわかる。

2) 塗装鋼板の実験終了後の表面観察

観察された錆びの発生状態

鋼板の腐食実験と並行して、4種類の塗装鋼板（A～D、p42～46参照）について浸漬を繰り返す鋼板実験を行っていた。それぞれの塗装実験板について、表面に錆等がないか目視観察を行った。その結果が表-18である。表-18は、実験用塗装がされた実験面と保護用に塗装された裏面についても示してある。塗装された実験面では、A-2とC-2にそれぞれ1ヶ所の塗装不具合箇所より錆の発生が確認された。その様子を図-52と図-53に示す。

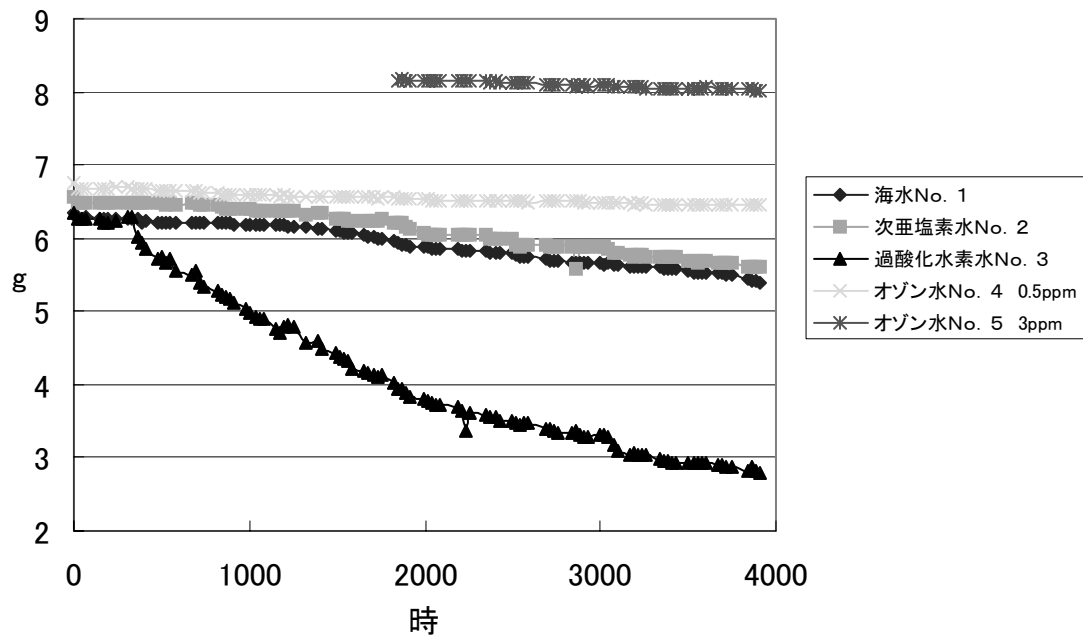


図-50 各活性物質による鉄片の質量計測

表-17 各活性物質入り海水による鋼板の質量低減率(%)

月日	海水	次亜塩素酸	過酸化水素	オゾン
6.20	100	100	100	100
7.20	98.77	99.68	84.88	99.17
8.20	97.38	96.51	70.61	98.43
9.20	92.94	93.38	53.59	97.44
10.19	90.11	90.59	52.27	97.03
11.20	87.99	87.46	46.16	96.84
11.29	86.06	86.46	44.69	96.71

表-18 錆の観察された実験塗装鋼板名

	海水 1	次亜塩素酸 2	過酸化水素 3	オゾン 4
実験面	無し	A-2,C-2	無し	無し
裏面	A-1	無し	A-3,B-3	無し

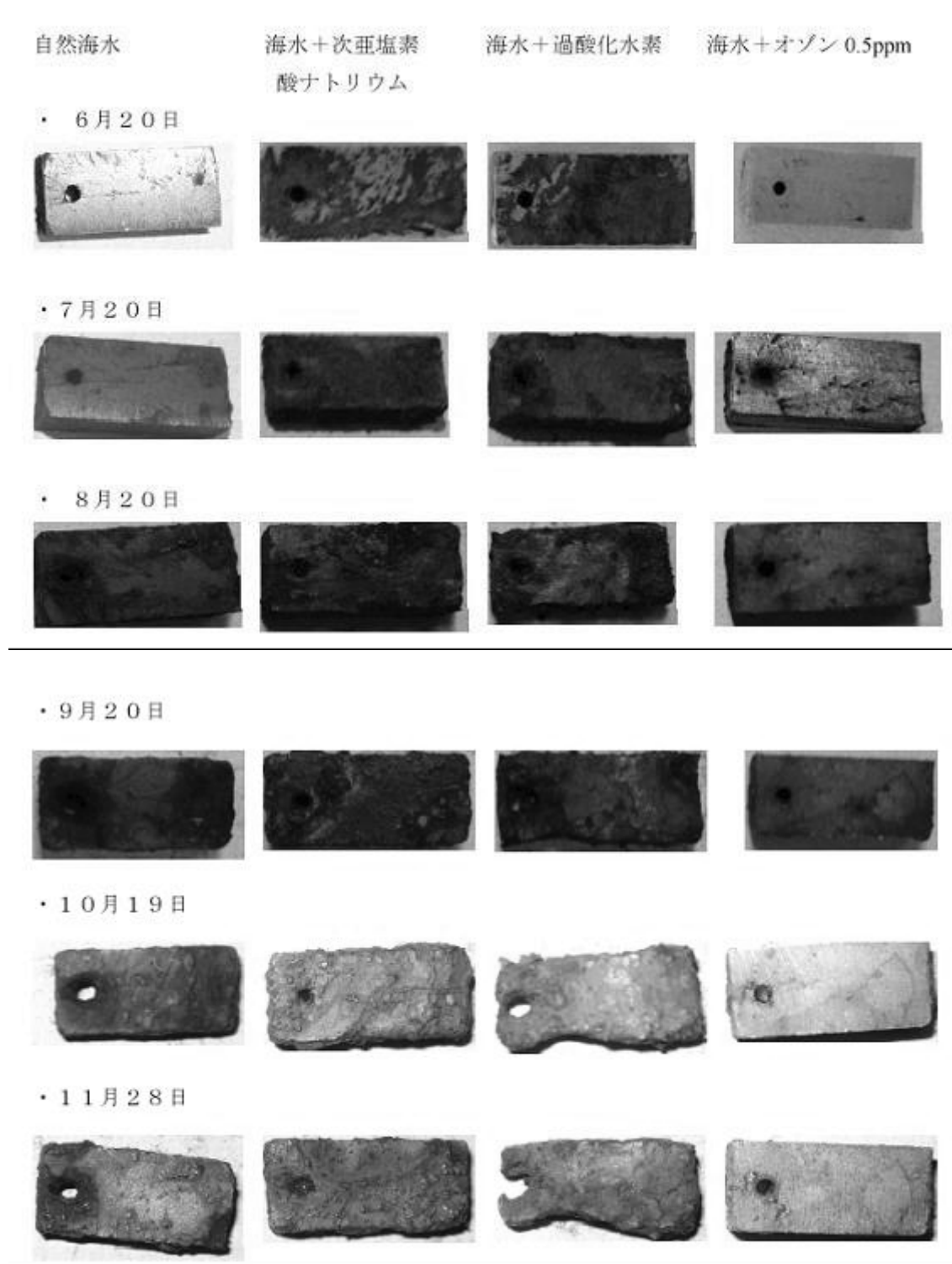


図-51 無塗装鋼板の1ヶ月毎の写真

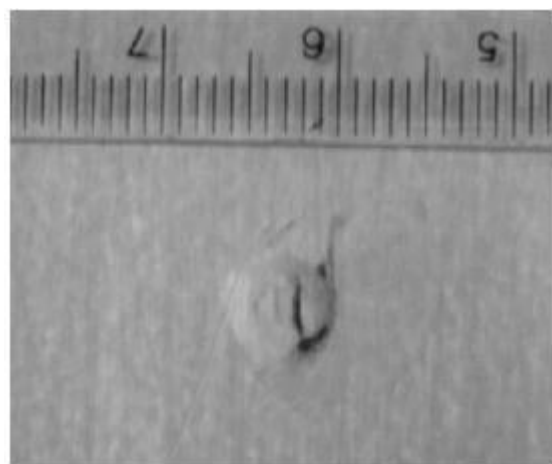


図-52 A-2 の表面に発生した錆部分

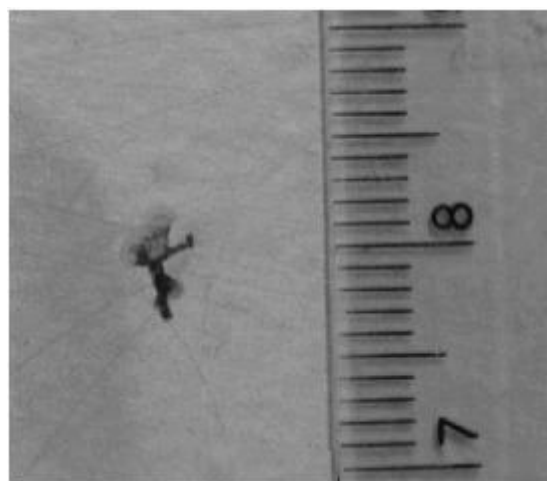


図-53 C-2 の表面に発生した錆部分

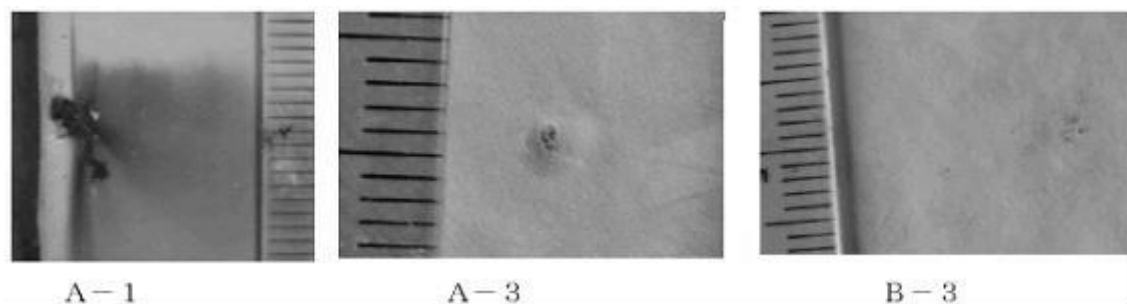


図-54 裏面からの塗装不具合箇所からの錆の発生写真

裏面からの塗装不具合箇所からの錆の発生写真を図-54に示す。

(3) 無塗装鋼板試験まとめ

塗膜に与える活性物質の影響を調べる実験に付随して、無塗装の鋼板そのものに活性物質が与える影響を調べた。実験で使用した3物質は何れも腐食性を持つことから、自然海水と比較し腐食をより進行させるものと予想していたが、減量率でみると、過酸化水素に顕著な影響がみられるのみで、次亜鉛素酸が同程度、オゾンに至っては逆に進行が遅くなるという結果が得られた。また、表面観察でも、過酸化水素の腐食が最も著しく、次いで次亜鉛素及び自然海水、最後にオゾンという順で、オゾンでは表面の凹凸が殆ど生じていなかった。

また、2枚の塗装実験板からそれぞれ1ヶ所、錆の発生が確認された。実船のバラスタックにおいても何らかの要因で塗装不具合が生じる可能性は十分にあり、オゾンによる処理方法はそうした場合に腐食の進行を抑制する効果が期待され、一方、過

酸化水素は腐食の加速化が懸念される。

もちろんこれだけの実験で結論づけるのは早計である。事実、オゾンは腐食を進行しうるとの報告もある。

今回は低濃度オゾンで実験を行ったが、今後予定している浸漬実験では高濃度オゾンなども対象としており、さらなる検証を行うこととしている。

6.3 活性物質のタンク塗膜への影響まとめ

次亜塩素、過酸化水素、オゾンの3種類の活性物質による6カ月の影響は、塗料種によって影響の違いがあるものの、塗膜表面の浸食にとどまっており、本質的な船体保護性能を失ってはなかった。活性物質の無塗装鋼板実験で得られた結果が海水+オゾン0.5ppmの場合、鋼板に対する影響が少なかった。しかし、オゾンについては半減時間が短いため、低濃度の状態での影響調査になっており、バラスタックに注水する直下においては注意を要すると考えられる。

7. 基本的な処理負担の検討

バラスト水処理は処理する水量が多いため、その処理負担も大きい。そこで基本的な処理方法についておおよその処理負担を単純な計算により検討した。5万 ton クラスバルカーのバラスト水処理に必要な動力等による燃料の負担を、バラスト水交換、スペシャルパイプによる処理、熱処理について検討した。薬剤については次亜塩素酸処理を代表例として費用を計算した。ここでバラスト水交換のシーケンシャル法は 20,000 ton の水を空にしてから注水するため、40,000 ton の水を水頭 23 m で注排水するものとして計算した。ポンピングスルー（フロースルー）では 95%の水交換で 20,000 ton×3 回=60,000 ton の水、99%交換では 20,000 ton×4.6 回=92,000 ton の水を流すものとした。スペシャルパイプ処理は 45 m の水頭損失³²⁾とした。加熱処理は 20,000 ton の水を 11℃から 45℃³³⁾に加熱するものとして計算した。

処理方法の所要動力等の計算例

(1) バラスト水交換の場合

・シーケンシャル：

バラスト水 20,000ton を一回交換する。ポンプの出力は γQH は、

γ ：水の密度 1,000kg/m³

Q ：ポンプの吐き出し量 600m³/h

H ：水頭 23m

$\gamma QH=1.38 \times 10^7 \text{kgm/h}=3.83 \text{kgm/s}=37.5 \text{kW}$

(1kgm/s=9.8W) となる。

ポンプ出力がこのクラスの場合、モーターの動力は 65kW のものが使用されている。

$20,000 \text{m}^3 \div 600 \text{m}^3/\text{h}=33.3 \text{h}$

$65 \text{kW} \times 33.3=2.1 \times 10^3 \text{kWh}$

$2.1 \times 10^3 \text{kWh} \times 2 \text{ 倍}=4.2 \times 10^3 \text{kWh}$ (空にしてから注水するために 2 倍) のエネルギーが必要となる。

・フロースルー（連続的に水を取り込みながら排水して交換する）：

常に均一に混合されていると仮定すると、濃度 C とタンク容量 Q_0 と交換水量 Q の関係は、

$$C = e^{-\frac{Q}{Q_0}}$$

となる。95%交換とすると $C=0.05$ で置換回数 $Q/Q_0=3$ となる。

99%交換とすると、 $C=0.01$ で $Q/Q_0=4.6$ となる。

従って 95%除去では $2.1 \times 10^3 \text{kWh} \times 3=6.3 \times 10^3 \text{kWh}$ の動力が必要となり、

99%除去では $2.1 \times 10^3 \text{kWh} \times 4.6=9.7 \times 10^3 \text{kWh}$ の動力が必要となる。

(2) スペシャルパイプ処理

スペシャルパイプ処理の場合の損失水頭は 45m³⁵⁾であるから、

$\gamma QH=2.7 \times 10^7 \text{kgm/h}=74 \text{kW}$

$74.4 \text{kW} \times 33.3 \text{h}=2.5 \times 10^3 \text{kWh}$

ポンプ・モーターの効率を 57%として、

$2.5 \times 10^3 \text{kWh} \div 0.57=4.4 \times 10^3 \text{kWh}$ の動力が必要となる。

(3) 加熱処理

加熱処理では、20,000m³の水を 11℃から 45℃に加熱した場合の熱量から必要なエネルギーを求めた。

$20,000 \text{m}^3 \times (45^\circ\text{C}-11^\circ\text{C})=6.8 \times 10^8 \text{kcal}$

$=7.9 \times 10^5 \text{kWh}$

(45℃と 11℃は Makoto Yoshida ら³⁶⁾の ON-BOARD OBSERVATIONS OF PHYTOPLANKTON VIABILITY IN SHIP' BALLAST TANKS UNDER CRITICAL LIGHT AND TEMPERATURE CONDITIONS から仮定した。)

ヒーター関係の効率を 50%として

$7.9 \times 10^5 \text{kWh} \div 0.5=1.6 \times 10^6 \text{kWh}$ の動力が必要となる。

(4) 薬品処理

化学物質の使用は機関(IMO)の承認がいる。ここでは仮に塩素を使用する場合を検討してみる。例えば、水道水の残留塩素は 1L に 0.1mg 以上必要であるため、

$20,000 \text{ton} \times 10^{-7}=2 \text{kg}$ の塩素が必用となる。

次亜塩素酸ナトリウム NaClO を用いるとすると、 $\text{NaClO}=(\text{Na}:23.0+\text{Cl}:35.5+\text{O}:16)=74.5$ であるから、 $2.0 \text{kg} \times (74.5/35.5)=4.2 \text{kg}$ の次亜塩素酸ナトリウムが必要となる。

市販されている次亜塩素酸ナトリウム水溶液は 20kg ポリ缶で 2,200 円、この水溶液中の有効塩素は 12%であるため、ポリタンクの数と費用は、それぞれ、 $2 \text{kg} \div (20 \text{kg} \times 0.12)=0.833$ ポリ缶、 $2,200 \text{円} \times 0.833=1,832$ 円である。海水は緩衝性があるため、塩素 20mg/L が必要³⁷⁾とすると、コストはこの 200 倍程度となる。

処理方法の比較

以上の 5 万トンクラスバルカーのバラスト水処理方法に必要な動力等を比較すると表-19 のようになる。

バラスト水の処理を日本及び世界規模で処理する時の負担

世界規模では約 30 億トンのバラスト水を処理するとする。

これを 5 万トンクラスフロースルーでバラスト水交換を 95%すると仮定すると、世界規模での必要動力は：

$$6.3 \times 10^3 \text{kWh} \times \frac{3,000,000,000}{20,000}=9.6 \times 10^8 \text{kWh}$$

(A 重油約 170,000ton)

となる。

日本では1,700万トン持ち込み、3億トン輸出しているとされているから、これも5万トンクラスのフローズルーでバラスト水を95%交換すると仮定すると、日本での必要な動力は:

$$6.3 \times 10^3 \text{kwh} \times \frac{300,000,000}{20,000} = 9.6 \times 10^7 \text{kwh}$$

(A 重油約 17,000ton)
となる。

表-19 バラスト水処理負担の目安(5万 ton クラス)

処理方法	必要な動力等
シーケンスバラスト水交換	4.2×10 ³ kwh (A 重油約 0.74ton)
フローズルーバラスト水交換 95%	6.3×10 ³ kwh (A 重油約 1.1ton)
フローズルーバラスト水交換 99%	9.7×10 ³ kwh (A 重油約 1.7ton)
特殊パイプによる処理	4.4×10 ³ kwh (A 重油約 0.77ton)
熱処理	1,600×10 ³ kwh (A 重油約 280ton)
薬品処理	塩素: 1L に 0.1mg (水道水相当)で 1,800 円 塩素: 1L に 0.2mg (防汚装置相当)で 3,700 円 塩素: 1L に 0.7mg (水泳プール相当)で 12,000 円 塩素: 1L に 20mg (海水殺菌) で 360,000 円

(A 重油への換算は燃費を 128.8g/PS・h とした。)

8. まとめ

バラスト水条約の発効要件は 30 ケ国、合計船腹量が 35%以上であるが現在のところ 14 ケ国、船腹量が 3.55%であり、発効にはまだ時間がかかると思われるが、各国が独自の規制を行っている例もある。

バラストタンク底部の沈殿したセディメント中には渦鞭毛藻、珪藻、線虫が観察され、このようなセディメントが排出されれば拡散の可能性がある。

処理装置では紫外線とチタン等による処理、過酢酸等による処理、電解塩素等による処理が進んでいる。

アンスラサイト濾過処理性能は(10 μm 超生物の除去率)、99.394~99.998%で、濾過のみでは D・2 基準を満たさない。しかし、バクテリア処理能力付加により基準をクリアできる可能性がある。

活性物質のタンク塗膜への影響については次亜塩素、過酸化水素、オゾンの3種類の活性化物質による6カ月の影響は、塗料種によって影響の違いがあるものの、塗膜表面の浸食にとどまっており、本質的な船体保護性能を失ってはいなかった。活性物質の無塗装鋼板実験で得られた結果が海水+オゾン

0.5ppm の場合、鋼板に対する影響が少なかった。しかし、オゾンについては半減時間が短いため、低濃度の状態での影響調査になっており、バラストタンクに注水する直下においては注意を要すると考えられる。

世界では1年間に百億トンのバラスト水が移動していると言われており、日本からは積み出される年間のバラスト水量は3億トン、年間1,700万トンが持ち込まれていると推定されている。このように処理量が多く、膨大な負担となるため、センサーの開発等により必要時のみに処理し負担を軽減することが望まれる。

謝辞

バラストタンク塗装への活性物質影響試験は、日本財団の助成により(財)日本船舶技術研究協会が設立したプロジェクト「船舶の構造破壊防止に係る基準に関する研究」(構造破壊防止プロジェクト)の一環として平成19年度の受託研究として実施しました。

プランクトンの分類分析処理等の調査には(株)水圏科学コンサルタントに、アンスラサイト濾過実験は株式会社太晃産業及び広島大学大学院研究科附属臨海実験所の協力の下に行いました。多大のご協力に謝意を表します。

参考文献

- 1) IMO, BWM/CONF/36, 16 February 2004
- 2) 日本船用工業会、第13回技術フォーラム資料、2008年7月17日
- 3) 日本経済新聞 2002年2月16日
- 4) 日本海事通信/増刊、平成16年10月12日
- 5) 日本海難防止協会、海と安全、海洋汚染21世紀の課題、バラスト水問題の動き、2001年6月
- 6) 池上武雄、船舶バラスト水問題とは、NAVIGATION、平成12年9月)
- 7) 日和見移住者及び櫛クラゲ類 *Mnemiopsis leidyi* の黒海への侵入。GESAMP 報告書及び研究 No.58.
IMO/FAO/UNESCO-IOC/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on Scientific Aspects of Marine Environmental Protection (GESAMP). ISSN 1020-4873:ISBN 92-801-1436-4
- 8) (クリス・ブライト (Chris Bright) (福岡克也 監訳、環境文化創造研究所訳、地球環境財団)、生態系を破壊する小さなインベーダー (LIFE OUT OF BOUNDS Bioinvasion in a Borderless Word)、社団法人家の光教会 1999.10.1)
- 9) 日本海難防止協会、外航船舶のバラスト水に含まれる有害プランクトンによる海洋汚染実態調査、1991
- 10) IMO, MEPC48/2/1, 28 June 2002
- 11) 読売新聞 2001年5月28日

- 12) (大島泰克、日本は赤潮の輸出国かー船舶のバラスト水による伝搬、安元健編、化学で探る海洋生物の謎、化学増刊 121 号、平成 4 年 6 月)
- 13) The Treatment of Ship's Ballast Water, EcoPorts Monograph No.18, PORTS CORPORATION QUEENSLAND
- 14) IUPAC 編 (宮本純之監訳) 塩素白書、化学工業日報社、2000.10.23
- 15) 木村、伊勢田、大塚、バラストタンク内における動物プランクトンの季節及び日変動、2006 年度日本プランクトン学会シンポジウム「プランクトン広域化とバラスト水」、2006 年 3 月 30 日
- 16) (財)日本船用検定協会、バラスト水管理システム承認の際の生物分析方法等マニュアル、平成 18 年 3 月
- 17) Oemcke, D. The Treatment of Ships' Ballast Water, Ecoports Monograph Series No.18 March 1999
- 18) Liltved, H. & Landfald, B. (1996) Influence of Liquid Holding Recovery and Photoreactivation on Survival of Ultraviolet-Irradiated Fish Pathogenic Bacteria. Water Research30(8): 1905-1913
- 19) Fitt, P.S., Sharma, N. Castellanos, G. (1983) A Comparison of Liquid-Holding Recovery and Photoreactivation in Halophilic and Non-Halophilic Bacteria. Biochimica et Biophysica Acta 739: 73-78
- 20) Levine, E. & Thiel, T. (1987) UV-Inducible RNA Repair in the Cyanobacteria Anabaena spp. Journal of Bacteriology 169(9): 3988-3993.
- 21) Oemcke, D.J. (1998) Roles for Ultraviolet Disinfection inBallast Water Treatment:In: Engineering Solution for the Real Word, 2nd Queens land Environmental Coffference, 28-29 May, Brisbane, Australia pp92-99
- 22) Shankie, T.C. & Riach, A.B. Applications of Ultrasonics in the Water Industry. Foundation for Water Research, Report No. FR/INV 0001
- 23) 戸田忠雄編、戸田新細菌学、南山堂、1969
- 24) 東匡伸、小熊恵二編、シンプル微生物学、2001
- 25) 柳原保武、多村寛編、微生物学、古江堂、2006
- 26) Lyoyd's Register, BALLAST WATER TREATMENT TECHNOLOGY, June 2007
- 27) バラスト水規制とバラスト水処理装置の開発事例、株式会社エヌ・ティー・エス、20008.1.29/30
- 28) 菊池、バラスト水処理法の開発-スペシャルパイプ・ハイブリッド法、日本プランクトン学会報第 54 巻第 1 号(2007)
- 29) IMO, MEPC55/2/4
- 30) IMO, MEPC58/2, 20 March 2008/07/29
- 31) IMO, MEPC56/2
- 32) IMO, GESAMP-BWW3/9
- 33) IMO, MEPC55/2, 12 April 2006
- 34) IMO, MEPC54/2/12, 28 February, 2006
- 35) 日本海難防止協会、船舶バラスト水等処理技術調査研究、平成 15 年 4 月、20 頁
- 36) Makoto Yoshida, Yasuwo Fukuyo, Takaaki Murase and Takeo Ikegami, ON-BOARD OBSERVATIONS OF PHYTOPLANKTON VIABILITY IN SHIP'S BALLAST TANKS UNDER CRITICAL LIGHT AND TEMPERATURE CONDITIONS, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO 1996, 205-208pp
- 37) IMO, MEPC58/2/7 Annex5