

船舶用バラスト水処理システムの実用化

JFE Ballast Water Management System

岡本 幸彦 OKAMOTO Yukihiko JFE エンジニアリング 船舶機器システム事業部 経営スタッフ・工博
青木 悟 AOKI Satoru JFE エンジニアリング 制御技術センター 経営スタッフ
測上 浩司 FUCHIGAMI Koji JFE エンジニアリング 技術研究所 主任研究員

要旨

JFE エンジニアリングは、船舶のバラスト水処理システムとしてフィルタ、薬剤およびベンチュリ管を用いた独自のシステム（以下、JFE-BWMS と呼ぶ。「JFE バラストエース」として商標登録申請中。）を開発した。JFE-BWMS の実用化のため、基礎実験から実用試験を実施して、水生生物に対して高い処理効果を発揮する条件を特定した^{1,2)}。本報告では、本システムの実用化を企図して、IMO(国際海事機関)が制定したガイドライン^{3,4)}に準拠した陸上試験（処理規模 350 m³/h）と船上試験（47 000 DWT 型ばら積み船に処理規模 1 000 m³/h の実用機を搭載）を実施して、処理性能の実証、および排出バラスト水の環境影響評価を行った結果について示す。これらの試験から、所定の排水基準⁵⁾を常に満足する良好な処理成績が得られ、また、船内環境や海域環境にも影響を及ぼさないものと評価できたことから、JFE-BWMS が高いレベルで処理性能と安全性を両立できるシステムであることが実証できた。

Abstract:

The practical application of the composite ballast water management system which comprises filtration, active substance and Venturi tubes ("JFE Ballast Ace," hereafter called JFE-BWMS : "JFE Ballast Ace" or "JFE-BWMS" as its trade name) is discussed. The system has been applied for the land based tests in accordance with the IMO guidelines^{3,4)} using the system with the treatment capacity 350 m³/h. Onboard tests has also been conducted using the system with the treatment capacity of 1 000 m³/h. The treatment performance of both systems cleared the biological standard for discharged ballast water defined as D2⁵⁾ by IMO and the safety of the discharged ballast water treated by JFE-BWMS has also been confirmed.

1. はじめに

近年、船舶のバラスト水を媒体として、プランクトンや細菌などの水生微生物が世界的な規模で移動・拡散する現象が顕在化しており、海洋環境や漁業などの産業から、人間の健康被害にまで及ぶ問題が報告されている⁶⁾。

この問題に対し、2004年2月IMO(国際海事機関)は「船舶のバラスト水および沈殿物の管理と取り扱いに関する国際条約」⁷⁾を採択し、バラスト水の排水基準としてD-2基準⁵⁾を制定した。さらに、2005年6月には、「バラスト水管理システムの承認に関するガイドライン」(G8)³⁾と「活性物質を使用するバラスト水管理システムの承認方法」(G9)⁴⁾が、第53回海洋環境保護委員会(MEPC53)で制定された。

これらのガイドラインは、バラスト水管理システムがD-2基準を満足することのみならず、船員と船内環境、およびバ

ラスト水排出時に海洋環境に与える影響を最小化することを求めている。具体的には、活性物質（薬剤など環境に影響を及ぼす可能性のある化学物質）を用いる処理システムは、JFE-BWMS（JFE エンジニアリングが開発した、船舶のバラスト水処理システムとしてフィルタ、薬剤およびベンチュリ管を用いた独自のシステム。「JFE バラストエース」として商標登録中。）を含めてこれらのガイドラインに示された方法で、陸上試験と船上試験を実施して、環境影響に関するIMOの最終認証^{8,9)}を受けたのち、各国政府から型式承認を得なければならない。

本論文では、陸上試験および船上試験を中心にJFE-BWMSの実用化に関する検討結果について報告する。

2. システムの概要

2.1 システムの原理

JFE-BWMS で用いる薬剤は、微生物の殺滅処理を目的と

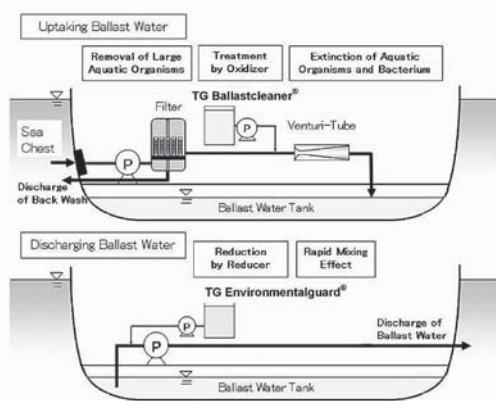


図1 JFE-BWMSの基本概念

Fig.1 Basic concept of JFE-BWMS

した塩素剤のTG Ballastcleaner[®]（東亜合成株式会社の登録商標）、およびバラスト水排出時における残留薬剤の中和を目的とした還元剤のTG Environmentalguard[®]（東亜合成株式会社の登録商標）の2種類である。

図1にJFE-BWMSのフローを示す。バラスト水ポンプによってシーチェストから取り込まれた海水は、こし器を通過したのち、フィルタを通過する。この操作で50 μ m以上のプランクトンや粒子状物質の大部分は除去され、逆洗水とともに、もともと生息していた海域に放出される。TG Ballastcleaner[®]はろ過工程の後で注入されるため、フィルタの逆洗水はTG Ballastcleaner[®]を含まず、海洋環境には影響を与えない。

ろ過後の海水に注入されたTG Ballastcleaner[®]は、主に溶解性の有機物や無機物質と反応するとともにフィルタを通過したプランクトン、細菌に作用する。この海水はベンチュリ管を通過し、その際に生じる強い渦でTG Ballastcleaner[®]を含む海水は、強い攪拌・混合作用を受けるので、TG Ballastcleaner[®]がより確実にプランクトン、細菌に対して死滅効果を発揮する。

ベンチュリ管を通過した処理水は、バラスト水タンクに注水される。処理水にはTG Ballastcleaner[®]の注入にともない、残留塩素やその他の総残留オキシダント（以下、TRO）が残留し、その濃度は自己分解や有機物などとの反応によって、経時的に減少する。TROは航海期間中におけるバラストタンク内の生物の再増殖やプランクトンなどの卵のふ化を防止する役目を担っている。

バラスト水排出時には、TROを含むバラスト水にTG Environmentalguard[®]を注入し、バラストポンプで強い攪拌を加えて完全に中和・無害化したのちに船外へ排出する。

2.2 システムの実際

JFE-BWMSの運転においては、薬剤の効果的な作用と環境への影響を避けるため、最適なシステムパラメータ設定を行っており、オペレータは注水および排水の起動・停止のボタン操作のみで運転操作が可能である。

2.2.1 バラスト水注水時のシステムの動作

バラスト水の注水時には、バラストポンプあるいはブースターポンプの起動に連動してフィルタ入口、出口および逆洗水配管の電動弁が開き、同時にフィルタの逆洗アームが回転し始める。これらの動作によってバラスト水が本システムの配管系に導入される。フィルタの閉塞状況はフィルタの出入口に設けた圧力センサー（Pressure transmitter）と差圧計（Diff. press. transmitter）によりモニターされ、あらかじめ設定された差圧を超えると逆洗配管に設けられたもう一つの電動弁が開き逆洗流量を増加させて洗浄能力を増す。

フィルタで主に50 μ mより大型の生物や固形物がろ過されたのち、ろ過水に対して管内での急速拡散を実現するために設けられたインジェクターを介してTG Ballastcleaner[®]が多分散注入される。なお、TG Ballastcleaner[®]注入ポンプは処理水のTRO濃度が設定値になるように流量をインバータにより制御している。

TG Ballastcleaner[®]注入点の下流に設けられた多筒並列型ベンチュリ管を通過する際に、のど部から拡張部にかけて発生する強い渦によって強い攪拌を受け、TG Ballastcleaner[®]が着実に微生物に作用する。これらの処理の後に処理水はバラスト水としてバラストタンクへ送水される。

2.2.2 バラスト水排出時のシステムの動作

バラスト水排出時には、電動弁により注水時に用いた処理系統からバイパス系統へ切り替えられる。バイパス系統では、まずバラスト水のTRO濃度を計測し、これを完全に中和できる量のTG Environmentalguard[®]をインバータ制御されたポンプにより注入する。TG Environmentalguard[®]の注入点はバラストポンプの上流側であり、高速回転するポンプの羽根が発生する強い乱流の攪拌効果で中和反応を促進し、船外に排出される前に配管内でTROを完全に消滅させる。バラストポンプ下流では還元状態も計測できる高精度TRO計によって処理水をモニタリングしており、常に還元状態であることを把握することによって、処理水が確実に中和されていることを確認する。万が一TROが一定時間検出された場合には、システムが停止するようになっている。

注水時に行うプランクトン、細菌の殺滅処理を一次処理、前記の中和処理を二次処理と呼び、船外に排出される二次処理水の性状が、処理システムの性能および安全性の評価において重要になる。

2.3 薬剤注入制御

2.3.1 制御の考え方

港湾部の海水の水質は、周辺の地形や河川の有無と水量などの諸条件によって影響を受け、その塩素消費量は海域によって異なる。したがって、さまざまな水質の海水に対して塩素剤であるTG Ballastcleaner[®]を過不足なく注入するためには、塩素消費反応がある程度終了した後のTRO濃度を用いて注入率を制御することが有効である。

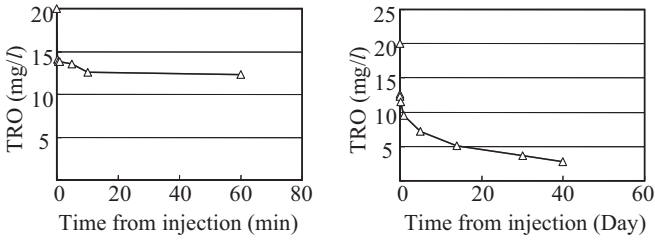


図2 TG Ballastcleaner®注入後のTRO濃度の変化
Fig.2 Change of TRO after injection of TG Ballastcleaner®

海水に TG Ballastcleaner® を注入した場合のTRO 濃度の経時変化を図2に示す。図2からTRO 濃度は数十日間にわたって緩やかに低減するが、注入直後に注目すると、初期の急激な消費反応は短時間で完了することが分かった。この実験結果から、TG Ballastcleaner® の注入は、初期消費反応がほぼ完了する時点のTRO 濃度を入力信号としてフィードバック制御することにした。

また、バラスト水排出時のTG Environmentalguard® 注入に際しては、これが還元剤であるために、排水のTROのみならず溶存酸素とも反応するものと考えられる。そこで、溶存酸素が約7mg/lである海水を対象とした基礎実験によってTG Environmentalguard® 注入率とTRO 濃度の関係を求めた。この結果を基に、検出されたTRO 濃度を中和するために必要なTG Environmentalguard® 当量に対して、一定の余裕率を設定しTG Environmentalguard® 注入率をフィードフォワード制御することにした。

2.3.2 バラスト水注水時の処理、制御

バラスト水注水時におけるTG Ballastcleaner® の注入制御フローを図3に示す。

注水運転開始初期の一定時間は注入量を固定値とし、その後、処理水中のTRO 濃度を計測して、制御装置(PLC)にフィードバックする。PLCは所定時間のTRO 平均濃度を制御目標範囲内に調整するように、インバータによりTG Ballastcleaner® 注入ポンプを制御する。

また、TG Ballastcleaner® 注入ポンプの注入量制御には、処理水の流量変動に対する補正も含まれる。

2.3.3 バラスト水排出時の処理、制御

バラスト水排出時におけるTG Environmentalguard® の注

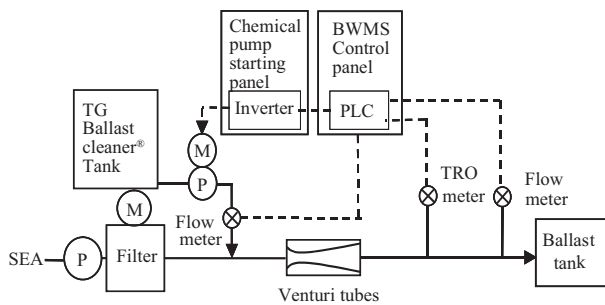


図3 バラスト水取入時の制御フロー図
Fig.3 Control flow diagram for uptaking of JFE-BWMS

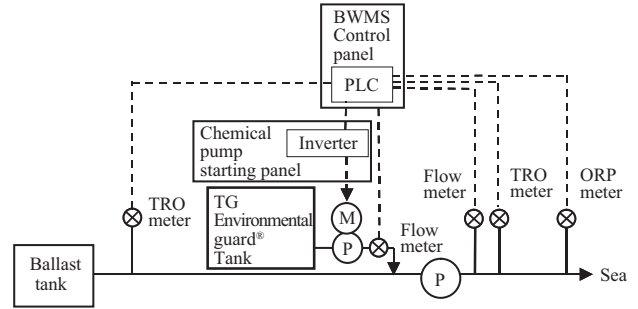


図4 バラスト水排出時の制御フロー図
Fig.4 Control flow diagram for discharge of JFE-BWMS

入制御フローを図4に示す。排出運転開始初期の一定時間は注入量を固定値とし、その後バラスト水のTRO 濃度を計測してPLCに入力する。PLCは所定時間のTRO 平均濃度から中和処理の所要TG Environmentalguard® 量を演算しインバータによりTG Environmentalguard® 注入ポンプを制御する。この際、バラスト水が還元状態になっていることを高精度TRO 計で監視する。また、TG Environmentalguard® 注入ポンプの注入量制御には、排水の流量変動に対する補正も含まれる。

3. 性能試験

3.1 陸上試験

陸上試験の方法はIMOが定めたガイドラインG8³⁾およびG9⁴⁾に規定されている。その要件は、(1)処理規模が200 m³/h以上であること、(2)対象水の水質が規定されていること、(3)処理水の評価はバラストタンクを模擬した水槽で5日間貯留した後で行うこと、(4)淡水・汽水・海水のうち2種類の水で所定回数実施することである。

本試験では、処理規模350 m³/hのJFE-BWMS試験プラントを20 feetコンテナに組み込んだ設備を用いた。試験場所はノルウェーの試験機関であるBallast Tech NIVA ASであり、G8³⁾およびG9⁴⁾に定められた方法に則って実施した。

写真1に陸上試験用試験水の準備作業の様子を示す。こ



写真1 陸上試験用試験水の準備作業
Photo 1 Preparation work for test water

のタンクを用いて 500 m³ の試験水を作成し、200 m³ 以上の処理水およびコントロール水をタンクに保管できる。以下に陸上試験の概要とその結果を示す。

3.1.1 薬剤注入制御結果

バラスト水注水運転時の時系列データを図5に示す。運転開始と同時に TG Ballastcleaner[®] が一定量で注入されTRO 値が上昇し、いったん目標値よりやや高い値となるが、数分後にフィードバック制御が開始され、TG Ballastcleaner[®] 注入量が減少した結果、短時間で処理水のTRO 濃度は目標範囲内に制御され、その後、安定して制御範囲内の値で推移した。

バラスト水排出運転時の時系列データを図6に示す。運転開始と同時に、TG Environmentalguard[®] が一定量で注入された結果、直ちに処理水のTRO 濃度が0 mg/l以下になった。TRO 濃度フィードフォワード制御移行後も処理水TRO 濃度は0 mg/l以下で推移しており、本制御によって処理水が還元雰囲気維持されたものと判断された。

3.1.2 生物処理性能

G8³⁾ で定められた陸上試験用水の水質を、本陸上試験に用いた試験水のデータと合わせて表1に示す。

通常、これらの条件を満たすためには人工的に物質やプランクトンを加える必要があり、今回の試験でも写真1に示

表1 G8陸上試験における試験水の水質基準

Table1 G8³⁾ land-based test specifications for test water quality

Test water	Brackish water		Seawater	
Test Cycle	2, 3, 4, 5, 6 (mg/l)	G8 Guideline (mg/l)	1, 7, 8, 9, 10 (mg/l)	G8 Guideline (mg/l)
Salinity (PSU)	20.6–21.5	3-32	32.1–33.6	>32
Dissolved organic carbon (DOC)	5.4–7.1	>5	1.5–1.8	>1
Particulate organic carbon (POC)	5.6–7.2	>5	1.5–2.0	>1
Total suspended solids (TSS)	75.7–81.5	>50	12.5–14.4	>1

すように、化学的水質を満足させるためにSS(浮遊性固形物)、POC(粒子状有機炭素)、DOC(溶解性有機炭素)を、また生物学的水質を満足させるため大型および小型のプランクトンと必要な場合には従属栄養細菌を添加した。なお、試験には汽水および海水の条件を選定した。

各試験においては200 m³ 以上の一次処理水を作成して5日間遮光された模擬バラストタンクに貯留し、その後中和処理を行って得られた二次処理水を対象として生物の分析を行い処理性能を評価した。

今回の陸上試験では、G8³⁾ ガイドラインで要求されている汽水5サイクル、海水5サイクルの合計10サイクルの試験を実施した。表2にプランクトンに関する処理性能の結果を示す。これらの結果からすべての試験サイクルにおいて二次処理水に含まれるプランクトンはD2基準⁵⁾を満足していることを確認した。また、細菌類の分析結果も、D2基準⁵⁾で規定されている大腸菌、腸球菌、コレラ菌のすべてについてD2基準⁵⁾を満たしていることが確認された。

本試験で得られた二次処理水を用いて水生生物に関する毒性試験および副生化学物質の分析とともに、副生化学物質のデータを用いて環境アセスメントを実施した。以下に、その結果を示す。

3.1.3 毒性試験

二次処理水を用いた水生生物に関する毒性試験は、藻類、魚類、甲殻類から5種類の生物を用いて、急性毒性試験、および再生産性試験を含む慢性毒性試験を実施した。その

Uptaking control of BWMS

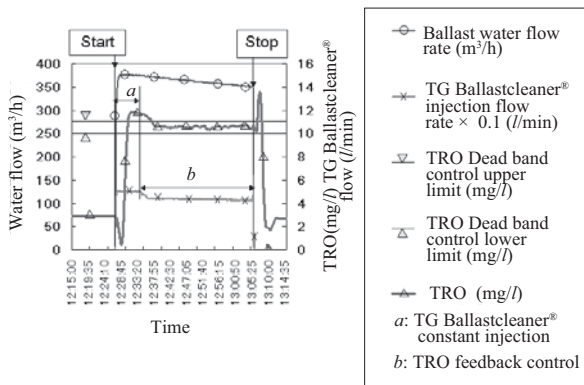


図5 バラスト水注水時の時系列データ

Fig.5 Trend data at uptaking

Discharge control of BWMS

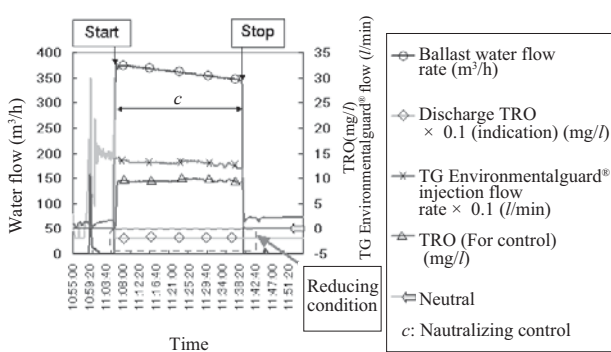


図6 バラスト水排出時の時系列データ

Fig.6 Trend data at discharging

表2 陸上試験における水生生物に関する処理性能

Table2 Treatment efficacy (Aquatic organisms)

Tast cycle	Organisms	Test water			Day 5 (Treated)		
		G8	Mean	Max.	G8	Mean	Max.
2, 3, 4, 5, 6 B.W.*1	≥50µm (ind.m³)	>1×10 ⁵	165 103	208 956	<10	0.32	1.3
	10µm-50µm (ind./ml)	>1×10 ³	1 669	2 014	<10	0.0	0.0
1, 7, 8, 9, 10 S.W.*2	≥50µm (ind.m³)	>1×10 ⁵	143 717	173 787	<10	0.26	1.0
	10µm-50µm (ind./ml)	>1×10 ³	1 898	3 578	<10	0.0	0.0

B.W.*1: Brackish water S.W.*2: Seawater

結果、致死的影响のみならず増殖および生育に関しても悪影響は認められず、中和処理されたバラスト水は、水生生物に影響を与えないことが検証された。

3.1.4 排出バラスト水に関する環境アセスメント

二次処理水に含まれる消毒副生成物に関して、スクリーニングと濃度分析を同時に実施し、検出された副生成物が該当濃度で環境水中に排出された場合における水生生物に対する影響と船の乗組員や一般のヒトに対する影響についてのアセスメントをIMOが指定した方法^{8,9)}に則り実施した。

この結果、JFE-BWMSによって処理されたバラスト水の海域への排出に関しては、水生生物に対しても、船の乗組員や港湾や海岸などの一般人に対しても、安全であることが確認できた。

3.2 船上試験

3.2.1 船上試験の方法

船上試験は、日本郵船（株）のグループ会社であるSAGA Shipholdings社所有の47000 DWT型Box Shape Bulker, SAGA Pioneerの新造時に左舷側のバラスト水配管にバイパスラインを設け、処理規模1000 m³/hのJFE-BWMSを設置して実施した。写真2にSAGA Pioneerを、写真3に船内に配置された構成機器の写真を示す。システムの操作はバラストコントロールルームに設置された



写真2 供試船 SAGA Pioneer
Table 2 Test ship SAGA Pioneer

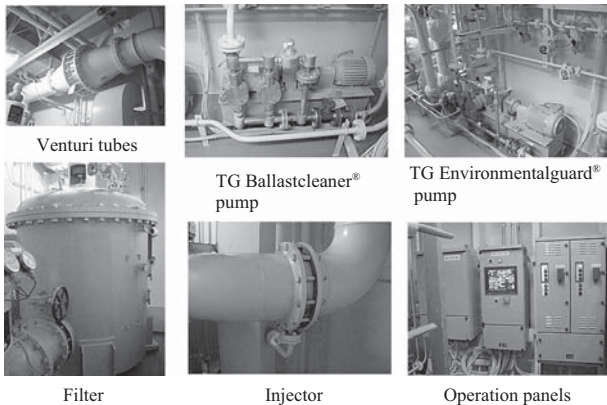


写真3 JFE-BWMSの船上搭載状況
Table 3 Onboard installation of JFE-BWMS

BWMS操作盤から遠隔で行った。

船上試験に当たっては、左舷側の3つのバラストタンクを処理水用に、右舷側の3つのバラストタンクを処理しない対照区用に使用した。処理水と対照水のサンプリングは、バラスト水配管のバラストポンプ下流側に設けた弁付きサンプリング用配管を用いて行った。

3.2.2 船上試験時の運転データ

バラスト水注水時においては、陸上試験と同様にTRO濃度を一定範囲内に制御することができることを確認した。

船上試験におけるバラスト水排出時の排水のTRO中和・還元に関する時系列データを図7に示す。なお、図7の“A”は最大排水流量確認のため、バラスト水流量を増加した時間帯を示す。この図から船上搭載されたJFE-BWMSによってバラスト水排出時においては排水のTRO中和・還元が確実に行われていることを確認できた。

3.2.3 船上試験時の生物処理性能

船上試験において実施した生物処理性能試験のうち、プランクトンの計数結果を表3に示す。表中の数字は、注水および排水時における初期、中期、後期の3サンプルの平均値を示した。細菌についても同時に採取したサンプル水の分析を行い、D2基準を満たしていることが確認できた。

本試験の結果から、すべての船上試験サイクルにおいてもプランクトンおよび細菌の排水の基準であるIMOのD2基準を完全に満たしていることが確認できた。

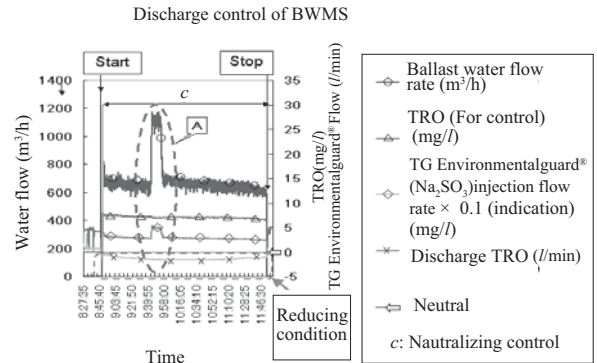


図7 バラスト水排出時の時系列データ
Fig. 7 Trend data of JFE-BWMS during Discharge

表3 船上試験における水生生物の処理性能
Table 3 The treatment performance (Aquatic organisms)

Plankton	Test cycle	1	2	3	G8 (Guideline)
Large ≥50 μm (ind./m ³)	Uptaken	19 741	64 814	27 285	≥100
	Treated	0	0	0	<10
Small 10-50 μm (ind./m ³)	Uptaken	753	1 140	780	≥100
	Treated	0	0	0	<10
	Control	177 304	65 712	52 038	≥10
	Control	627	743	117	≥10

3.3 装置材料の耐食性と

TG Ballastcleaner® 濃度の安定性

3.3.1 材料の次亜塩素酸ナトリウム腐食耐性

TG Ballastcleaner® の主成分が腐食性物質の次亜塩素酸ナトリウムであることから、原液に触れる薬剤タンクからインジェクターまでを次亜塩素酸ナトリウムに耐性のある材料で構成する必要がある。また、バラスト配管、バラストタンク内面などは最大で塩素濃度 20 mg/l の海水に曝されることになる。この濃度における腐食性のデータが存在しないため、TG Ballastcleaner® を 20 mg/l 含む一次処理水を用いて下記項目の腐食試験を実施した。この結果、無塗装鋼板以外のどの項目についても、自然海水の場合と比べて影響が認められないことが分かった。

- (1) 模擬欠陥付きタールエポキシ塗装, 変性エポキシ塗装, 亜鉛めっき鋼板の腐食試験
- (2) 同上の結露試験
- (3) 無塗装鋼板の腐食試験および結露試験
- (4) 電食防止用亜鉛電極の性能に対する影響確認試験
- (5) 配管用パッキンに対する影響確認試験
- (6) バラスト配管用弁構成材料に対する影響確認試験

3.3.2 TG Ballastcleaner® 濃度の安定性

TG Ballastcleaner® の主成分である次亜塩素酸ナトリウムは、高温において自己分解して、徐々に有効塩素濃度が低下する。その対策として、船上の貯蔵タンクに冷却機能を設け 20℃以下に保つことで自己分解を抑制し、長期間の使用に耐えることができる。このことは、船上試験においても確認されている。

4. 結論

JFE-BWMS の実用化を企図して、陸上試験と船上試験を実施し、以下の結果を得た。

- (1) 陸上試験 (350 m³/h) と船上試験 (1 000 m³/h) におけるすべての試験サイクルにおいて、処理水質は IMO で規定された D2 基準⁵⁾ を満足し、高い処理性能を実証した。
- (2) 陸上試験における中和後の二次処理水 (放出海水) について実施した急性・慢性毒性試験の結果から、藻類、甲殻類および魚類の水生生物に対する安全性を確認した。
- (3) 中和後の二次処理水中に含まれる消毒副生成物についてアセスメントを行った結果、水生生物および乗組員や港湾や海岸における一般人に対しても安全であることを確認した。
- (4) 次亜塩素酸ナトリウムを主成分とする TG Ballastcleaner® が、バラスト配管やタンクの腐食に及ぼす影響を調査し、無塗装鋼板を除き顕著な影響を及ぼさないことを確認した。

なお、TG Ballastcleaner® および TG Environmentalguard®

の船への補給は、薬剤供給を行う東亜合成グループが品質管理を含む現地企業による OEM 供給体制を整備して、各船に遅滞無く供給できる体制を構築中である。

5. おわりに

以上述べた陸上試験および船上試験の各種試験結果から、JFE-BWMS は、生物に関する排水基準 (D2) を常に満足し、さらに、環境アセスメントを実施した結果、排出バラスト水は環境および乗組員や一般人に対しても、安全であることが確認できた。

以上の諸検討結果から、JFE-BWMS は、問題なく、船舶に搭載して運転できるバラスト水処理装置であることが実証できた。

最後に、IMO 関係の条約や試験方法に関するガイドラインの解釈、型式証明取得方法などについて、多岐にわたりご指導頂いた国土交通省海事局、および、(財)日本舶用品検定協会の皆様、また、船上への機器搭載と船上試験について多大なご支援を頂いた株式会社 MTI および SAGA Shipholdings の関係者各位に心から謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) Okamoto, Y.; Inoko, M. Development of a Ballast Water Management System Using Filtration, Cavitation and Chemicals. 3rd. Int. Conference and Exhibition on Ballast Water Management. 2006-09. p. 25-26.
- 2) Okamoto, Y.; Inoko, M. Development of a Ballast Water Management System Using Filtration, Cavitation and Chemicals - Second Report. 4th. Int. Conference and Exhibition on Ballast Water Management. 2008-10. p. 16-17.
- 3) Guidelines for Approval of Ballast Water Management Systems(G8), MEPC53/24/Add. 1, ANNEX3 Resolution MEPC. 125(53), 2005-07-22.
- 4) Procedure for Approval of Ballast Water Management Systems That Make Use of Active Substances(G9). MEPC53/24/Add. 1. ANNEX4 Resolution MEPC. 126(53), 2007-07-22.
- 5) Regulation D-2, Ballast Water Performance Standard. BWM/CONF/36. ANNEX 2004-02-16, p. 22.
- 6) Ten of the Most Unwanted. http://globallast.imo.org/poster4_english.pdf
- 7) Adoption of the Final Act and Any Instruments. Recommendations and Resolutions Resulting from the Work of the Conference – International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments. 2004-02-16, BWM/CONF/36.
- 8) ANNEX 5, GESAMP-BWWG 6/9, MEPC 58/2/7, 2008-07-14.
- 9) Methodology for information gathering and conduct of work of the GESAMP-BWWG. BWM. 2/Circ. 13, 2008-06-10.



岡本 幸彦



青木 悟



瀬上 浩司