



環境に優しいバラスト水処理システム 「ECOMARINE® UV」

Ecological Ballast Water Treatment System “ECOMARINE® UV”

宮武 健一郎*

Kenichiro Miyatake

井上 博揮

Hiroki Inoue

上山 宗譜

Munetsugu Ueyama

中井 龍資

Ryusuke Nakai

母倉 修司

Shuji Hahakura

谷田 和尋

Kazuhiro Tanida

当社は処理時に薬剤を使用しない環境に優しいシステムである、濾過-紫外線方式によるバラスト水処理装置「ECOMARINE® UV」を開発した。独自開発の高性能濾過フィルタを採用することにより、高い生物除去性能と、紫外線方式としては世界トップレベルの低消費電力運用の両立を可能とした。要素技術開発、プロトタイプでの実証試験を経て、処理能力が200 m³/hのバラスト水処理装置実機を開発し、郵船クルーズ(株)の客船「飛鳥II」に搭載した。2014年1月に全ての性能試験が完了し、2014年6月に国土交通省より型式承認を取得した。本稿では開発の背景、装置の特長および各種試験の状況について報告する。

Sumitomo Electric Industries, Ltd. has developed a chemical-free and eco-friendly ballast water treatment system “ECOMARINE® UV” that utilizes filtration and UV disinfection. With the unique high-efficiency filter unit, ECOMARINE® UV ensures high efficiency organism removal and the lowest power consumption among UV technology-based water treatment systems worldwide. Following element technology development and verification tests with a prototype system, the water treatment system with treatment capacity of 200 m³/h was developed and installed into the cruise ship ASUKA II operated NYK CRUISES CO., LTD. The system passed a series of performance tests in January 2014 and obtained the Type Approval of the Japanese government in June 2014. The following is a report on the development background, system features, and test results of ECOMARINE® UV.

キーワード：バラスト水、フィルタ、紫外線、水処理

1. 緒言

船舶の荷役等の際に船体姿勢や喫水を安全な状態に維持するため、バラスト水の漲排水が行われる。しかしながら世界各港で排出されるバラスト水の総量は年間50億トンともいわれており、外航船が輸送するバラスト水を介した外来生物の移動が環境、特に生態系に及ぼす影響について、1980年代から対策が議論されてきた。加えて世界的な環境意識の高まりもあり、国際海事機関（IMO; International Maritime Organization）において「船舶バラスト水及び沈殿物の制御及び管理のための国際条約（以下、管理条約）⁽¹⁾」が2004年に採択された。

管理条約では排出されるバラスト水中の生物量を極めて低い水準とすることが求められている。現状は、バラストタンクに海水を取り込む際には目合い5~10mm程度のストレーナーにより、魚類、貝などの生物や異物のバラストタンクへの取り込みを防いでいるが、これより小さい生物であるプランクトンや成体となっていない生物、バクテリア類は全てバラストタンク内に取り込まれ、荷役の状況により寄港先の港湾で排出されている。管理条約発効後は、新造船のみならず既存船についても、国際航海を行うほぼ全ての船舶で、船舶毎に実施される国際油汚染防止証書の更新検査日までに専用のバラスト水処理装置を搭載するこ

とが義務化される。

この条約は30カ国以上の批准およびその合計船腹量が35%を越えた日から12ヵ月後に発効する。2014年6月時点、40カ国がバラスト水管理条約に批准し、その合計船腹量は全世界の商船全体の30.25%であり、日本やシンガポールなど船腹量の多い国が批准間近である。日本の場合は関連する国内法も衆議院を通過した状態であり、2015年の発効の見込みが極めて高い状況となっている。

我々はこのような状況に鑑み、新規に取り組みを進めている水処理技術開発の一環として、バラスト水処理装置の研究開発を進めてきた。処理方式そのものの得失や各処理方式を実現する要素技術を検討し、不織布を濾材とした独自の濾過方法を採用した濾過装置と、バラスト水処理時に薬剤を使用しない紫外線照射技術を組み合わせた「ECOMARINE® UV」を開発した。2014年1月に全ての性能試験を完了、2014年6月に国土交通省より型式承認を取得した。以下、開発の背景、装置の特徴および型式承認取得に向けた各種試験の状況について報告する。

2. バラスト水管理条約における処理規定

バラストタンクから排出される生存可能な生物数については、管理条約付則（D-2基準⁽²⁾）に表1の通り規定されている。

表1 バラスト水排出基準

生物	排出基準
Lサイズ生物 ≥50um	>10/m ³
Sサイズ生物 <50um、≥10um	>10/ml
大腸菌 Escherichia coli	>250 cfu/100ml
腸球菌 Intestinal Enterococci	>100 cfu/100ml
病毒性コレラ菌 (O1 and O139)	>1cfu/100ml

cfu : colony forming unit

Lサイズ生物（最小部位サイズが50μm以上の生物）については、例えば日本近海では少ない場合でも数千個体/m³、多いケースでは数十万個体/m³となることから、上記規定を満足するには、Lサイズ生物数を確実に十万分の一のレベルまで低減させることが必要である。また、バラスト水の漲水は非常に速く、大型船では毎時数千トンにも及ぶ。このように、バラスト水処理装置には非常に高い生物処理性能と海水処理能力が要求される。

このような要求に対応するため、様々なバラスト水処理方式が提案され、装置開発が進められている。代表的な処理方式としては、物理的な除去手法（フィルタによる濾過など）、紫外線照射（UV）、電解による塩素生成、薬剤注入、オゾン処理、ガス注入、凝集分離、熱処理などがある。特に現在主流となっているのは紫外線照射、電解、薬剤注入方式である。これらに加え、処理効率を高めるため、フィルタなど物理的な除去手法を適宜組み合わせるケースも多い。また、これらの処理については、バラストタンクへの漲水時に行うのが一般的であるが、薬剤などを使用する場合の中和（無毒化）処理のように排出時に再処理が必要となる方式もある。

各バラスト水処理方式ともに、長所・短所があり、全てのケースについて万能なものは存在しないのが現状であり、個々の船舶の特徴や航海域により適切な設備を採用していくことになると思われる。

3. ECOMARINE® UVの特徴

3-1 原理と特長

当社が開発したバラスト水処理装置「ECOMARINE® UV」は、濾過-UV方式によるバラスト水処理装置である。独自に開発した高性能フィルタとUV方式を組み合わせる

ことにより、処理性能、コスト面を高い次元で両立させることに成功した。

ECOMARINE® UVの処理原理および装置構成例、漲水時のフローを図1~3に示す。フィルタによりLサイズ生物など大型の生物を濾過により除去し、そのまま海水中に戻す。濾過装置を通過したSサイズの一部およびバクテリア類はUV照射部で殺滅する。

ECOMARINE® UVは、次のような特徴を有する。

- (1) 濾過性能が高く、UV消費電力が少ない。船内電力に制限がある中小船舶に特に有利である。
- (2) 化学物質を利用せず、濾過装置およびUV装置で水生生物を除去および殺滅するため、環境に優しい。
- (3) 薬剤を使用しないため、運用コストが低く、薬剤の管理や保管場所の確保、寄港地での搬入などの作業が不要である。
- (4) 電解方法と異なり、淡水域でも使用が可能であり、また海水温度の制限が特にはない。

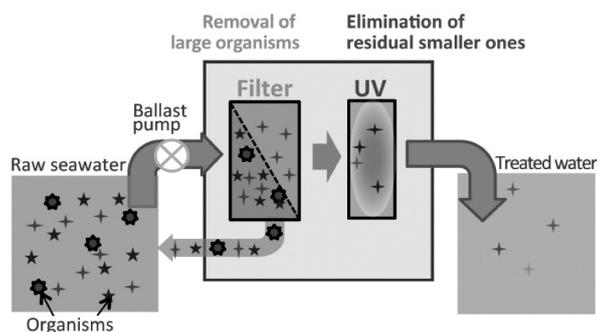


図1 ECOMARINE® UVの処理原理

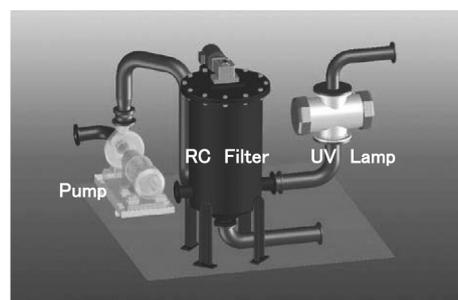


図2 ECOMARINE® UVの装置構成図

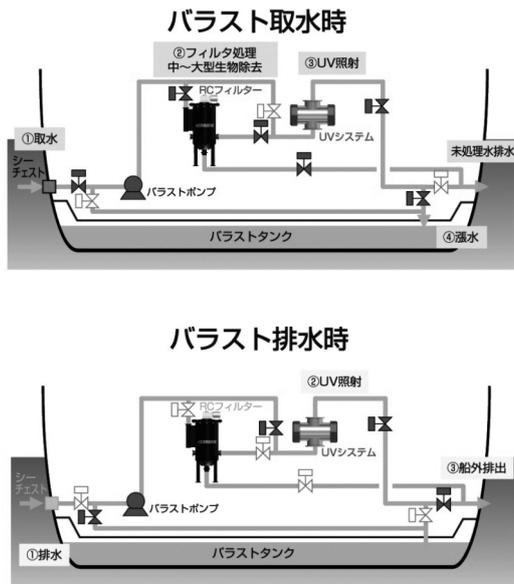


図3 漲水時、排水時の処理フロー

3-2 RC (Rotational Cleaning) フィルタ

パラスト水処理におけるフィルタ濾過材は、Lサイズ生物を除去可能なメッシュタイプの金属製フィルタが用いられることが多い。しかしながら、この場合はSサイズ生物（最小部位サイズが10 μ m以上50 μ m未満の生物）の大半は濾過されない。さらに、生物は不定形且つ柔軟な構造を持つものも多いため、一層もしくは数層しかない金属フィルタの場合、50 μ m以下の目開きのフィルタを用いても、Lサイズ生物の一部も濾過されずフィルタを通過してしまう。そこで、当社は図4に示すように濾過材として厚み方向に繊維が複雑に絡み合った構造を持つ不織布を採用した。当社が採用した不織布を用いたフィルタでは、濾過のプロセスだけでLサイズ生物はもとより、Sサイズ生物についても30 μ m以上の生物は全て除去することが可能である。

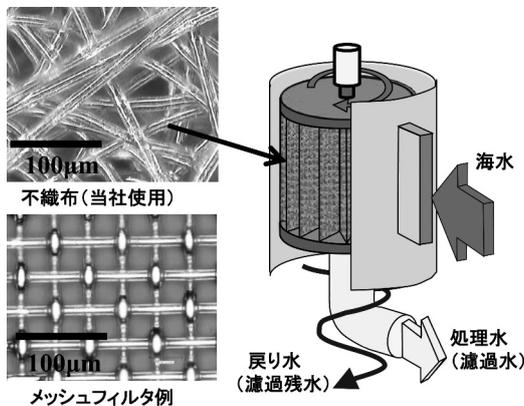


図4 RC (Rotational Cleaning) フィルタの原理

一方、濾過性能が高いフィルタでは詰まりに対する対策が重要となる。通常はフィルタ濾過材の膜間差圧をモニタし、差圧が一定値以上になると一旦濾過を中断し、濾過水による逆洗を実施するケースが多い。

当社が開発したRCフィルタは、濾過とフィルタ洗浄を同時に実施し、濾過流量を一定に維持しつつ高い洗浄効果を実現可能である。図4のようにプリーツ状に形成した円筒型濾過材からなるフィルタカートリッジを回転させ、スリット状の流入口を通してカートリッジ外周から原水（海水）を導入することにより、濾過と濾過材表面の洗浄を同時に行う。従って、運転中の逆洗が不要となり、漲水中は設備を停止することなく連続運転が可能である。なお、濾過により除去された生物や粒子などは濾過材外周から取水した海域へその場で戻り水として排出される。このため、濾過された生物は殺滅されることなく元の海域に戻される。

図5に当社RCフィルタと各種メッシュタイプフィルタ（目開き6、25、30 μ m相当）の濾過性能比較例を示す。原水10万個体/ m^3 に対し、RCフィルタ処理後は濾過水中のLサイズ生物数が0個体/ m^3 となっているのに対し、メッシュタイプでは1000個体/ m^3 以上が濾過水中に残存していることがわかる。さらにSサイズ生物についても、RCフィルタでは30 μ m以上の生物は全て、10~30 μ mの生物も90%以上除去することが可能であり、非常に優れた生物除去性能を有することが確認できる。

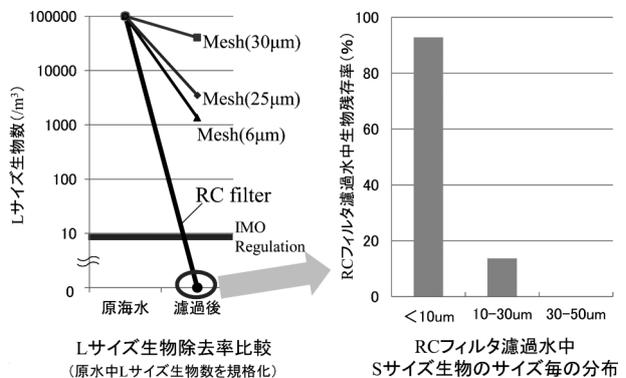


図5 当社RCフィルタとメッシュタイプフィルタの生物除去性能比較

3-3 UV装置

UV装置は省スペースで高い照度を得ることができる中圧UVランプを使用している。前述の通り、RCフィルタを通過した濾過水中には、Lサイズ生物は存在せず、Sサイズ生物についても大半が除去されている。従って、UV装置ではSサイズ生物の一部およびSサイズ生物より小さいバクテリア類の殺滅に必要な照射量を確保できればよく、UVランプの消費電力も低く抑えることが可能である。

また、動物性生物のほとんどがLサイズ生物に分類される。以下、今後の一層の調査が必要ではあるが、動物性生物は植物性生物と比較して紫外線での完全な除去が困難で、暗所のバラストタンク内でも生存し、増殖のリスクが高いと言われている。ECOMARINE® UVではLサイズ生物を漲水時に完全に除去するため、これらバラストタンク内での増殖の可能性が極めて低いという特長も有している。

4. 型式承認

4-1 型式承認取得の流れ

バラスト水処理システムは、管理条約順守のためのガイドラインの一つであるG8（バラスト水管理システムの承認に関するガイドライン⁽³⁾）に従い各国の主官庁が承認する。なお、環境に影響を及ぼす恐れのある薬剤方式や電解方式によるシステムでは、G8に先立ちG9（活性物質を使用するバラスト水管理システムの承認手順⁽⁴⁾）に従いIMOの承認を得る必要があるが、ECOMARINE® UVは活性物質を使用しないため、この手続きは不要である。

日本の場合、現状では国土交通省が定めるバラスト水管理システム施工前試験に基づき、環境試験、定格レベルでの試験機による陸上での性能試験（陸上試験）、および船上での性能および運用状況の確認試験（船上試験）に合格する必要がある。

定格200 m³/hの当社バラスト水処理装置に関して、上記の型式承認に必要な全ての試験は完了し、型式承認を取得した。以下、陸上試験、船上試験の実施内容について説明する。

4-2 陸上試験

陸上試験は、所定数量の生物を含み、必要な水質を満たす試験水に対し、型式承認を申請する定格以上の処理能力を有する装置を陸上に設置して実施する性能試験である。

1回の試験手順は以下の通りとなる。

- ① 原水の作成（処理水、対照水）
- ② 漲水運転（処理水、対照水）および水質、生物分析
- ③ 5日間の保管（航海中を模擬）
- ④ 排水運転（処理水、対照水）および水質、生物分析

上記試験サイクルを、異なる塩分濃度（海水、汽水、淡水）から2種類を選定し、各5回、計10回の試験を連続して成立させる必要がある。

今回行った定格200 m³/hの試験では、海水と汽水を選定し、原海水に必要な濁質、生物を添加して試験水を作成して試験に供した。試験水は処理水用、対照水用でそれぞれ約300 m³準備した。なお対照水は装置をバイパスして漲水、排水を行うことにより、生物処理がECOMARINE® UVによって達成されたことを判断するために使用するものである。試験は株式会社海洋開発技術研究所（佐賀県伊万里市）にて、バラストタンクを模擬したバースタンクを準備し、試験水の準備および漲水、排水運転を実施した。

Lサイズ、Sサイズ生物の処理性能に関する試験結果を表2に示す。最終的に排水された処理水中のLサイズ生物については平均で0.8個体/m³、Sサイズ生物は全て0個体/mlであり、船載を模擬した使用環境においても規定を十分に満足する結果を得た。またバクテリア、水質などの評価項目についても全て要求基準をクリアしており、ECOMARINE® UVはバラスト水処理装置として十分な性能を確保できていることを確認した。

表2 陸上試験結果

試験内容	生物サイズ	0day(処理前)		5day(処理後)	
		試験値	規定値	試験値	規定値
海水 (5回平均)	≥50μm	333,967	>100,000 (/m ³)	0.7	<10 (/m ³)
	<50μm ≥10μm	2,165	>1,000 (/ml)	0	<10 (/ml)
汽水 (5回平均)	≥50μm	291,850	>100,000 (/m ³)	0.9	<10 (/m ³)
	<50μm ≥10μm	1,946	>1,000 (/ml)	0	<10 (/ml)

4-3 船上試験

船上試験では、バラスト水処理装置を船舶に搭載し、6か月以上の稼働を行うとともにその期間中に性能試験を3回連続で成立させる必要がある。

今回は郵船クルーズ(株)のご協力を得て、豪華客船「飛鳥II」(写真1)に定格200 m³/hの装置を船載、船上試験を実施した。



写真1 船上試験船「飛鳥II」

Lサイズ、Sサイズ生物の処理性能に関する性能試験結果を表3に示す。また、バクテリア、水質などの評価項目についても全て要求基準を満たしていた。陸上試験同様、規定を満たす結果となっており、ECOMARINE® UVは船載時にも十分な性能を発揮することを確認した。

表3 船上試験結果

試験 サイクル	生物 サイズ	漲水時対照水		排水時処理水		排水時対象水	
		試験値	規定値	試験値	規定値	試験値	規定値
No.1	≥50um	293,337	≥100 (/m ³)	0.2	<10 (/m ³)	140,688	≥10 (/m ³)
	<50um ≥10um	142	≥100 (/ml)	0	<10 (/ml)	103	≥10 (/ml)
No.2	≥50um	580,629	≥100 (/m ³)	0	<10 (/m ³)	189,446	≥10 (/m ³)
	<50um ≥10um	287	≥100 (/ml)	0	<10 (/ml)	95	≥10 (/ml)
No.3	≥50um	33,703	≥100 (/m ³)	0	<10 (/m ³)	2,582	≥10 (/m ³)
	<50um ≥10um	763	≥100 (/ml)	0	<10 (/ml)	485	≥10 (/ml)

5. 結 言

当社は濾過－紫外線方式によるバラスト水処理装置「ECOMARINE® UV」を開発した。独自開発の高性能濾過フィルタを採用することにより、高い生物除去性能と、紫外線方式としては世界トップレベルの低消費電力運用の両立を可能とした。また、バラスト水処理時に薬剤を使用せず、生物の殺滅も最小限に抑えることができ、エネルギー消費も少ない環境にも優しい装置である。型式承認取得に必要な全ての性能試験が完了し、十分な性能が発揮できることも確認した。

最後に、型式承認取得に関する各種手続きについてご指導を頂いた国土交通省、環境省、船上試験への機器搭載や試験にご協力を頂いた郵船クルーズ株式会社、各種試験を実施頂いた試験機関のご関係者各位に深く感謝致します。

執 筆 者

宮武健一郎*：新領域技術研究所 グループ長



上山 宗譜：新領域技術研究所 グループ長



母倉 修司：新領域技術研究所 主席



井上 博揮：新領域技術研究所



中井 龍資：新領域技術研究所 主幹



谷田 和尋：新領域技術研究所 部長



*主執筆者

参 考 文 献

- (1) 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
- (2) Regulation D-2, Ballast Water Performance Standard. BWM/CONF/36. ANNEX 2004-02-16, p. 22
- (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), 200-07-22