feature article

海洋保全に貢献するバラスト水浄化システム

Ballast Water Purification System to Contribute to Conservation of Ocean

武村 清和 Kiyokazu Takemura　小林 茂樹 Shigeki Kobayashi
篠村 知子 Tomoko Shinomura　湯本 聡 Satoshi Yumoto

**船舶のバラスト水の移動に伴う生態系破壊や病原菌の拡散を防止するために
国際海事機関はバラスト水管理条約を採択し，未処理のバラスト水の国外移動を禁止した。
日立グループは,「凝集」,「磁気分離」,「フィルタ分離」を組み合わせ,
船舶上において規制生物を高速に分離除去することが可能なバラスト水浄化システム「Clear Ballast」を開発した。
「環境」,「船舶」,「人」に配慮し，殺菌剤を使用しないこのシステムは,
バラスト水処理以外にも油濁水処理，濁質処理など，さまざまな分野にも適用が可能であり,
水処理システムにおけるグローバル展開の一翼を担う技術として期待される。**

1. はじめに

バラスト水は，船舶のバランスを保つために搭載する海水，汽水または淡水のことである。世界中では1年間に100億m^3を超えるバラスト水が船舶によって運ばれていると言われている。バラスト水には，プランクトンや細菌類が含まれることがあり，他国の港でバラスト水が排出される際に，これらの生物も含めて放出されることで，生態系破壊や病原菌蔓（まん）延の原因になり，世界の海事関係者にとって大きな問題になっていた。

国際海事機関（世界168か国加盟）は，2004年2月に「船舶のバラスト水及び沈殿物の規制及び管理のための国際条約（通称：バラスト水管理条約）」を採択し，2010年から段階的に，2017年にはすべての船舶に対してバラスト水浄化装置の搭載を義務づけた。バラスト水浄化装置に関する事業規模は数兆円と言われており，現在，世界中で開発競争が繰り広げられている。

日立グループは,「凝集」,「磁気分離」,「フィルタ分離」を組み合わせ，船舶上において生物を高速に分離除去することができる画期的なシステムを開発した。このシステムは，殺菌剤を使用しないため，バラスト水排出時に残留薬剤による海洋汚染の心配がなく，環境にも配慮したシステムとなっている。

ここでは，水処理システムのグローバル展開の一翼を担う技術として期待されている日立グループのバラスト水浄化システム「Clear Ballast」について述べる[1), 2)]。

2. 開発のコンセプトおよび除去原理

2.1 開発のコンセプト

バラスト水管理条約が定めた管理基準は，非常に厳しく，50 μm以上の水生生物（プランクトン）は1 m^3当たり10個体未満，大腸菌は100 mL当たり250個体未満で，その水質レベルは海水浴場に匹敵する。菌類の除去は，浄水場や下水処理場に代表されるように，次亜塩素酸ナトリウムなどの殺菌剤を用いる方法が一般的である。しかし，この条約では菌類と比較し，殺菌剤に耐性を持つと考えられるプランクトンも除去対象であるため，添加する殺菌剤濃度が高くなることが懸念され，殺菌剤の使用は必ずしも効率的とは言えない。処理方法の選定において，バラスト水管理基準の順守だけでなく，バラスト水排出時に，その海域に生息している生物に影響を与えない処理方法を選定することも大切な事項である。

日立グループは，環境面への配慮を重視し，殺菌剤を使用しない処理方式を考案した。このシステムは,「凝集」と「磁気分離」,「フィルタ分離」技術を組み合わせ，対象となる生物を高速で分離除去することが可能な方式である。また，殺菌剤を使用する方式と異なり，発がん性物質などの副生成物質の生成や，殺菌剤の薬効が残存して海洋汚染を起こす心配もない。さらに，殺菌剤（酸化剤）による船舶の塗装に対する悪影響もないため，環境だけでなく船舶に対しても配慮した処理方式と言える。

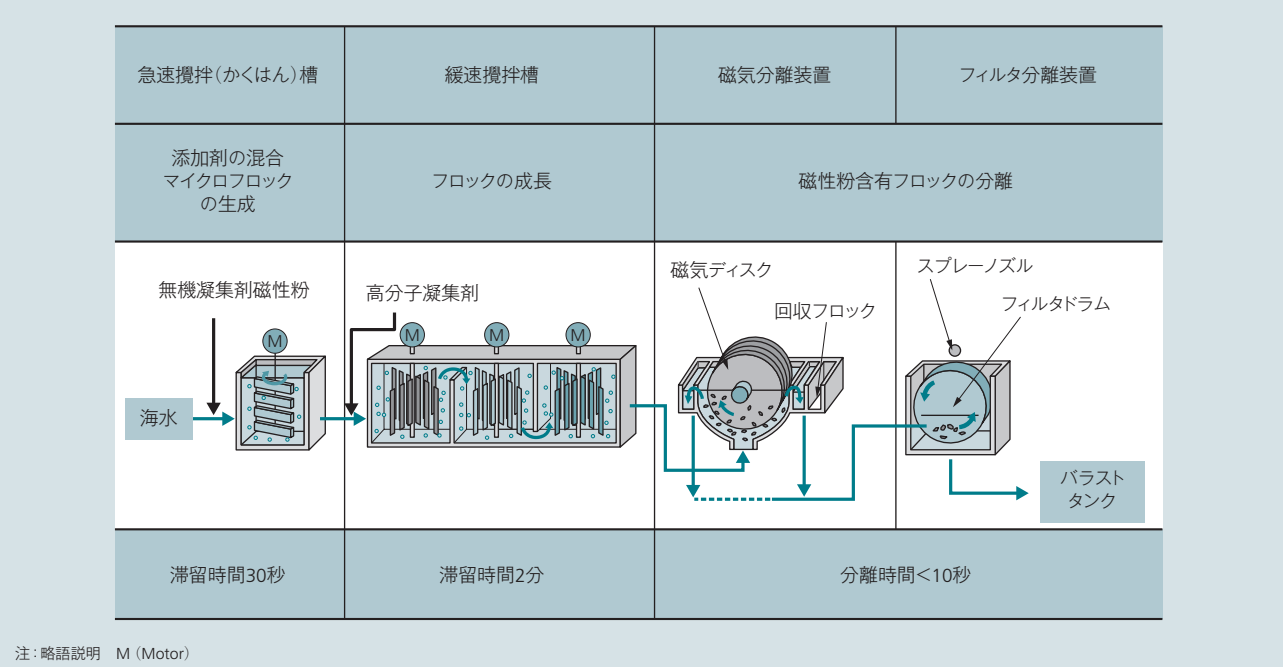

図1　システムフロー概念図
水処理系のシステムフローを示す。永久磁石を埋め込んだ磁気ディスクを積層した磁気分離装置を開発した。

2.2　除去原理

この方式は，海水に磁性粉および凝集剤を添加し，海水中に含まれるプランクトン，細菌，砂などを，1 mm程度のフロックと呼ばれる小さな塊にし，フロックを分離除去するもので，バラスト水排出基準を達成することができる。

フロックは，一般的に重力による沈降操作や気泡を利用した浮上操作で分離することが多い。しかし，バラスト水処理の場合，設備の設置スペースが限られているためフロックの高速分離が求められ，かつバラスト水排出基準を満たすためにはフロックをほぼ完全に除去しなければならない。したがって，長い時間（30分から1時間）を要する「沈降分離」や気泡による「浮上分離」の採用は難しい。そこで，日立グループは，フロック内に磁性粉を取り込ませ，磁力によってフロックを除去する方法（磁気分離）を考案した。磁気分離は，数秒でフロック除去が可能であり，除去精度もきわめて優れているため，バラスト水処理に適していると考える。

3.　システムフロー

システムのフローを**図1**に示す。

システムは，大きく分けて，「急速攪拌（かくはん）槽」，「緩速攪拌槽」，「磁気分離装置」，「フィルタ分離装置」の四つの設備で構成されている。

「急速攪拌槽」と「緩速攪拌槽」は，海水中に含まれるプランクトン，細菌，砂などを凝集剤でフロック化する装置であり，攪拌翼と槽形状の検討を重ね，必要滞留時間を大幅に短縮した。また，この工程で，フロック内に磁性粉を取り込ませている。フロックの除去は，磁気分離だけでなく，孔径数十マイクロメートルのフィルタ分離でも行う。これにより，水質が安定するだけでなく，分離効率も向上し，装置の小型化を可能とした。さらに，このフローで使用している凝集剤は，日本をはじめ世界中の浄水処理（日本は飲用）に使用されている添加剤と同等のものであり，安全性が高い。

4.　システムの特長

4.1　環境への安全性

環境への安全性を確認するため，OECD（Organisation for Economic Co-operation and Development：経済協力開発機構）が定める生物毒性試験〔処理水を用いたスケレトネマ（藻類）・フサゲモクズ（無せきつい動物），ジャワメダカ（魚類）の飼育試験〕を実施した。その結果，処理水100％の環境で生物を飼育した場合でも成長阻害および奇形などの影響は確認されず，処理水は無希釈で排出しても安全であると言える。

殺菌剤や添加剤を使用するシステムは，これらが環境・船舶・人体へ与える影響を評価し，国際海事機関の承認を取得する必要がある。日立グループのシステムは，2008年4月に基本承認取得済みであり，2009年7月に開催されたMEPC59（59th Marine Environment Protection Committee）で日本初となる最終承認を取得した。

4.2 マッド対策

このシステムは，海水中のプランクトンや菌類だけでなく，凝集操作により，海底の砂，泥，固形の浮遊物も除去可能であることから，バラストタンク内のマッド〔生物の死骸（がい）など汚泥状の沈殿物〕の堆（たい）積を抑制できる。

4.3 バラスト水タンク内での菌類や藻類の増殖抑制

バラスト水処理は一般的に取水時に行うことが多いため，航海中の菌類や藻類の増殖が大きな問題になる。このシステムは，マッド内の菌類の繁殖抑制効果だけでなく，凝集操作によって海水中の生物必須元素のリンも除去できるため，藻類の増殖を大幅に抑制することができる。

4.4 船舶への安全性

使用添加剤の磁性粉，無機凝集剤，高分子凝集剤が船舶に与える影響についても評価を行った。添加薬剤は，タンクや配管などの部材との反応性・自然発火性・揮発性・酸化作用を検討し，貯蔵中および装置の運転中に船体および船体内部構造の腐食や発火，爆発を引き起こす可能性は原則的にない。さらに，磁性粉に対する塩水噴霧試験を実施し，磁性粉自体が赤錆（さび）化しないことを確認しており，もらい錆の原因にならないと考えている。

4.5 人体への安全性

このシステムで使用する添加剤の成分および性状評価の結果，使用添加剤（磁性粉・無機凝集剤・高分子凝集剤）は毒性物質ではないため，人体へ悪影響を与える可能性は原則的にない。

5. 実証試験

5.1 陸上試験

東京湾試験場に処理規模200m^3/hの試験装置を設置し，実証運転を行っている。ここは，外航船の港が近く，実バラスト水に近い海水を取水可能であるため，きわめて有益なデータを取得することができる。

このシステムは，海水が浮遊物質（SS：Suspended Solids）などで濁りを生じている場合であっても，凝集によって濁質成分を効率よく除去できるため，透明度が高く清澄な処理水を得ることができる。また，動物プランクトン，植物プランクトン，大腸菌群を良好に除去しており，バラスト水管理基準を十分満足するものである。なお，型式承認試験は，全10回（汽水域5回・海水域5回）すべて終了しており，国際海事機関が規定した調整原水を用いても水質はすべてバラスト水管理基準を満足した（**図2**，**表1**参照）。

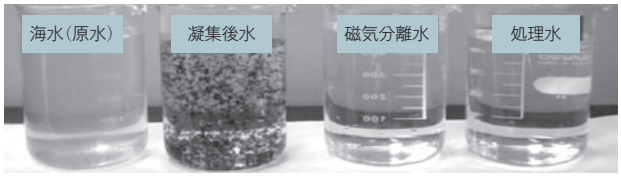

図2 処理水の外観
海水の濁りは，赤潮を発生させる植物プランクトンによるものである。このシステムは処理水の透明度の高いことが特長である。

表1 処理水質の一例
国際海事機関が規定した調整原水を用いても水質はすべてバラスト水管理基準を満足する。

分析項目	原水	処理水	対象水（未処理）
Lサイズ水生生物（個/m^3）	5.7×10^6（基準値>10^5）	0（基準値<10）	7.2×10^6（基準値>100）
Sサイズ水生生物（個/mL）	1.5×10^4（基準値>10^3）	<1（基準値<10）	1.1×10^3（基準値>100）
大腸菌群（cfu/100 mL）	1.8×10^4	<1（基準値<250）	1.6×10^3
腸球菌（cfu/100 mL）	<1	<1（基準値<100）	<1
コレラ菌（cfu/100 mL）	<1	<1（基準値<1）	<1

注：略語説明　cfu（Colony Forming Unit）

5.2 船上試験

三菱重工業株式会社長崎造船所で建造された雄洋海運株式会社所有の新造LPG（Liquefied Petroleum Gas）船に試験搭載を行った（**図3**参照）。

試験はこの船の就航と同時（2008年4月）に開始し，約1年間実施した。試験装置（処理規模50 m^3/h）は舵（かじ）取り機室に中間デッキを張って船内に搭載した（**図4**参照）。この試験では，処理性能の評価だけでなく，装置の耐環境性評価や維持管理を含めた総合的な評価を実施した。

処理性能は良好でバラスト水管理基準を十分に満足するものであった。なお，型式承認試験は，3回の性能評価試験および6か月以上の耐久試験をすべて終了しており，水

図3 雄洋海運株式会社が所有する試験機搭載の同型船
船種はLPG（Liquefied Petroleum Gas）船（7万8,500 m^3）で，主に中東と極東アジアの航路に就航中である。

図4　船内に設置した試験装置の外観
試験装置は舵（かじ）取り機室内に設置した。

質はすべてバラスト水管理基準を満足した。さらに，航海中，バラストタンクに貯留した処理水は生物の増殖が無く，このシステムは，バラスト水注水時の処理だけを行えばよいことが確認できた。したがって，バラスト水の注水量が少ない場合や，注水時間が十分確保できるケースでは，バラスト水浄化システムの処理能力をバラストポンプ容量よりも小さくできる可能性があり，装置搭載時の船舶へのインパクトを最小限に抑えることができると考えている。

6. 製品化

6.1 処理規模

このシステムは，200 m^3/h，400 m^3/h，800 m^3/h，1,200 m^3/h，1,600 m^3/hで標準化を計画中であり，ユニットを組み合わせて設置することで，さまざまな処理規模に対応可能となる。2009年度中には型式承認を取得し，基本ユニットの製品化をめざす。また，このシステムは，他社のシステムと比較して，必要電気容量が小さく，防爆対応が容易であるという特長がある。

6.2 既存船対応

2015年以降は段階的に既存船へもバラスト水管理条約が適用され，装置の搭載が義務づけられる。既存船は，設置スペースの確保が困難なだけでなく，改修工事を行うドックが大幅に不足することが予想されている。したがって，短期間で搭載工事を行う手法を造船所，船主，装置メーカーが一体となって取り組む必要があると考えている。日立グループは，設置工事の省力化を考慮し，一つの解決策としてコンテナ収納タイプを提案している。コンテナ内に収納した機器はすでに配管，配線作業を完了しているため，造船所内作業の低減が期待できる。処理規模200 m^3/hで20フィートコンテナ1台，400 m^3/hで40フィートコンテナ1台に収納可能である。

7. おわりに

ここでは，水処理システムのグローバル展開の一翼を担う技術として期待されている日立グループのバラスト水浄化システム「Clear Ballast」について述べた。

今回開発した凝集磁気分離システムは，バラスト水処理だけでなく，「油濁水処理」，「濁質処理」などさまざまな分野に適用可能であり，既存の水処理技術と比較し，高速化・省スペース化を実現できる。

このシステムが，日立グループの水処理システムのグローバル展開において一翼を担い，地球規模の環境保全に貢献できるよう開発を推進していく。

参考文献

1）南：バラスト水処理についての考察，Journal of the JIME，Vol.41，No.2，p.65～67（2006）
2）久野：バラスト水規制関係について，Journal of the JIME，Vol.41，No.2，p.81～86（2006）

執筆者紹介

武村 清和
1998年日立プラント建設株式会社（現 株式会社日立プラントテクノロジー）入社，研究開発本部 松戸研究所 水環境システム部 所属
現在，バラスト水浄化システムの研究開発に従事

小林 茂樹
1980年日立プラント建設株式会社（現 株式会社日立プラントテクノロジー）入社，環境システム事業本部 環境ソリューション本部 新事業推進室 所属
現在，バラスト水浄化システムの研究開発および水処理システムの新事業開発に従事

篠村 知子
1984年日立製作所入社，株式会社日立プラントテクノロジー 研究開発本部 松戸研究所 企画部 所属
現在，新規事業の探索業務に従事

湯本 聡
2008年株式会社日立プラントテクノロジー入社，環境システム事業本部 環境ソリューション本部 新事業推進室 所属
現在，水処理システムの新事業開発に従事