

除去性能に優れたバラスト水処理用濾過装置

Rotational Cleaning Filter for Ballast Water Treatment System

金澤 進一*
Shinichi Kanazawa

上山 宗譜
Munetsugu Ueyama

矢萩 聡
Satoshi Yahagi

谷田 和尋
Kazuhiro Tanida

生物多様性維持の国際的な取り組みとしてバラスト水管理条約の発効が2016年度に迫っている。これに対応した船舶のバラスト水中の生物を除去殺滅するバラスト水処理装置エコマリン®の前段の濾過装置として、回転洗浄方式の濾過フィルターを開発した。本フィルターは99.999%以上の高いLサイズプランクトン除去性能と安定した濾過性能で、後段の紫外線照射装置や電解塩素発生装置の負担を大きく低減する。これらを実現する回転洗浄 (Rotational Cleaning : RC) の作用とフィルター特性について述べる。

Our ballast water treatment system, ECOMARINE™, has a unique rotational cleaning (RC) filter for pretreatment followed by treatment with ultra-violet or electrolysis chlorine. The RC filter can remove above 99.999% of large planktons from sea water and make constant flow-rate filtration over 100 hours without differential pressure increases. This paper explains the RC mechanism and effect of cost-cutting for sterilizers.

キーワード：バラスト水管理条約、バラスト水処理、フィルター、プランクトン除去、回転洗浄

1. 緒言

船舶からの外来生物を含むバラスト水の排出を規制する「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」⁽¹⁾は、2004年2月国際海事機関IMOで採択され、2016年度中に発効の見通しである。海洋環境に影響を及ぼす水生生物の越境移動の防止を目的とするこの国際条約によって、複数の海域間を航行する全ての船舶はバラスト排水に際して他の海域で取り込んだ海水から生物を除去あるいは殺滅する義務を負う。

当社のバラスト水処理装置 (Ballast Water Treatment System / BWTS) エコマリン®は、フィルター濾過と、紫外線照射又は電解塩素発生によってバラスト水中の生物を効率的に取り除く船載装置である。

本稿ではエコマリン®の特長とその技術的優位性を支えるプランクトン除去性能に優れた回転洗浄方式の濾過フィルターの開発について述べる。

2. プランクトンサイズとUV殺滅効率

同条約に則ってバラスト水を排出するには、海水1m³当たり数万から数百万存在するプランクトンを表1のように10個以下まで除去、或いは殺滅する必要がある。

プランクトン類は便宜的に50μmを境にLサイズとSサイズに分類されるが、典型的なBWTS装置は、まず前段のフィルターでLサイズの多くを除去し、後段の処理で残りの生物を殺滅する方法が取られる。

図1はLサイズ、Sサイズのプランクトンの紫外線 (UV) 照射前後の生存率を示すグラフである。UV光は中圧UVランプを使用、テスト海水は伊万里湾から取水した海水を用い、プランクトン数の測定は定法^{(3)~(5)}に従った。

表1 バラスト水排出D-2基準⁽²⁾

対象生物	基準
Lサイズプランクトン 最小部位が50μm以上	10 ind./m ³ 未満
Sサイズプランクトン 同上が10μm以上50μm未満	10 cell/ml未満
大腸菌 学名: <i>Escherichia coli</i>	250 cfu/100ml未満
腸球菌 学名: <i>Interstinal Enterococci</i>	100 cfu/100ml未満
病原性コレラ菌 (O1 and 139)	1 cfu/100ml未満

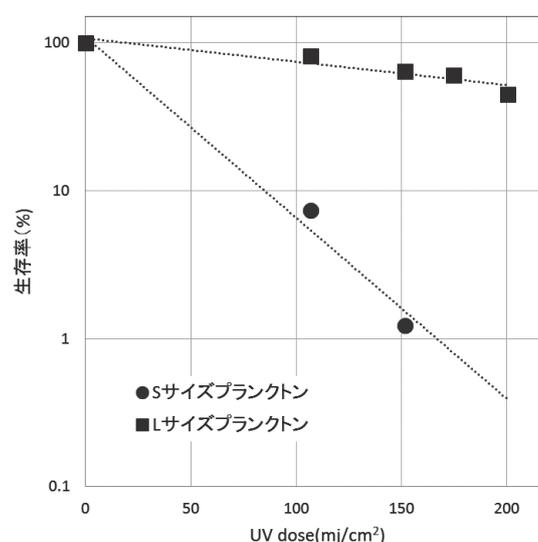


図1 UV照射前後のプランクトンの生存率

UV照射量に応じて効率よく殺滅されるSサイズプランクトンに対して、大型のLサイズプランクトンは照射量を上げてもなかなか殺滅できない。

BWTSにおいて前段のフィルターでLサイズプランクトンを除去するのは、Lサイズプランクトンを後段のUV照射等の殺菌処理で殺菌処理するには非常に多くの処理エネルギーが必要となって効率が悪いからである。

3. 当社製BWTS装置エコマリン®

当社製のバラスト水処理装置 (BWTS) エコマリン®には、濾過フィルターとその後段処理装置として、電解塩素発生装置と組み合わせたEcomarine® ECと、紫外線 (UV) 装置を配したEcomarine® UVの2製品がラインアップされている^{(6)~(8)}。いずれも塩素濃度およびUV照射量が低いレベルでの殺菌処理を実現しており、消費電力、環境への影響が小さいことを特長としている。

これを実現しているのが、当社独自開発の回転洗浄 (Rotational Cleaning) 方式のフィルター (以降、RCフィルターと記す) である。

RCフィルターは、99.999%以上のLサイズプランクトンの除去性能による後段の処理装置の負担の大幅軽減と、目詰まりによる差圧上昇や逆洗浄等による処理海水の流量低下がない連続濾過処理の両立を実現している。

4. 回転洗浄 (RC) 濾過フィルター

4-1 プランクトン除去性能

RCフィルターは濾材としてポリエステル製不織布を採用している。図2はフィルター濾過前後の液中の粒度分布変化を測定した結果である。

試験海水の最頻値粒度25 μ mを10 μ m以下にまで下げる分離能を持つことから50 μ m以上のLサイズプランクトンをほぼ100%カットするだけでなく10~30 μ mの比較的小さいSサイズプランクトンも50~90%除去することが可能である。

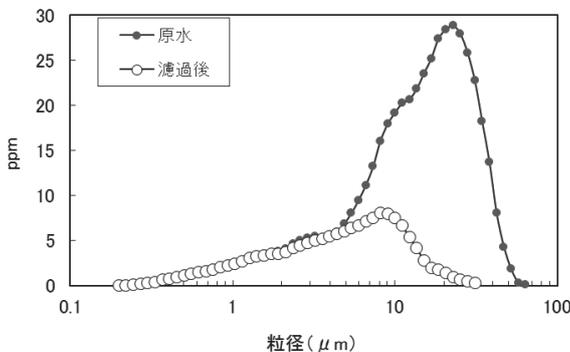


図2 RCフィルターの分離性能

0.1%コーンスターチ分散海水を使ったこの濾材の模擬濾過試験 (写真1) では、目開き40 μ mの一般的なステンレス製網フィルターの濾液が白濁しているのに対して、RCフィルター使用の不織布は濾液が透明になるまでコーンスターチを除去可能であった。



写真1 ステンレス網およびRCフィルター濾材の分離能

図3はエコマリン®の濾過装置の構造を示す模式図である。容易に交換可能な樹脂製カートリッジ式のRCフィルター3段で構成されており、カートリッジサイズによって1台当たり100m³/hから500m³/hの濾過能力がある。

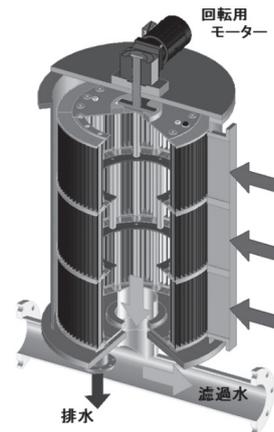


図3 RCフィルターの構成例

実際にこの濾過装置を用いて海水の濾過性能試験を実施した結果を表2に示す。実験の条件は以下である。

実験地：佐賀県伊万里市、施行日：2015年4～5月
 濾過器：回転洗浄方式フィルター（大型1号機）
 流量：濾過250m³/時、排水50m³/時
 プラントン検査：濾過水1m³をプラントンネットで濃縮しX200倍顕微鏡観察にてLサイズを計数

原海水1m³当たり数10万個体のLサイズプラントンの除去率は99.999%以上であり（表2）、Lサイズプラントンの除去に関しては、RCフィルター濾過だけで表1で示したD-2基準を十分満たすことが可能であることがわかる。

表2 海水*を用いた濾過性能試験

累積運転時間 (時間)	Lサイズプラントン数 (/m ³)		除去率 (%)
	原海水	濾過水	
58	135,500	0	>99.9993
94	209,000	0	>99.9995
137	347,500	0	>99.9997
273	225,500	0	>99.9996

*伊万里湾海水使用

4-2 回転洗浄 (RC) の動作原理

RCフィルター装置は、図4のように海水を回転する不織布プリーツフィルタに向かって連続的に噴射して洗浄する、回転洗浄 (Rotation Cleaning = RC) を動作原理としている。噴射する海水は濾過対象水そのものであるため、洗浄は濾過と同時に連続的に行われる。

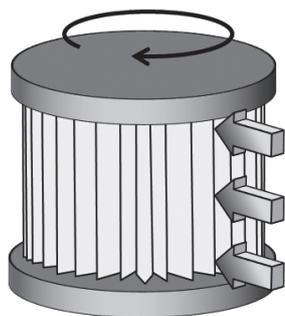


図4 Rotation Cleaningの動作原理

洗浄されるのは海水が噴射される海水流入口のすぐ前のプリーツのみ（図4矢印部）であるため、他のほとんどのプリーツは濾過によってフィルター面に濾過物が堆積する。カートリッジは回転しているので洗浄されるプリーツは次々に交代していき、1回転して溜まった堆積物は順番に海水流入口の前を通る際に噴射洗浄で洗い流される。つまり、回転洗浄

は、フィルターを回転させることによって濾過運転を止めることなく連続的な運転を可能にしている。

この回転洗浄による洗浄効果を調べるために、表2と同じフィルターと海水濾過条件で、カートリッジを回転 (50rpm) させた場合と回転させない場合のフィルター差圧の変化を調べた（図5）。

回転をさせない場合（図5中a）は、濾過に伴うフィルター面への濾過物の堆積が進むためにフィルターの差圧は単調に増加する。

図5には同規模の一般的な逆洗方式メッシュフィルターによる濾過曲線も例示しているが、逆洗方式の場合も通常濾過時には洗浄が行われなため図5cのように回転洗浄のない図5aと同様の差圧上昇が起こる。

逆洗方式のフィルターでは差圧が一定値（この例では50kPa）になると逆洗浄が行われる。濾過運転を継続するとこれが繰り返されるが、図5cの例のように逆洗直後にはいったん差圧は回復するが、逆洗から次の逆洗までの時間間隔は徐々に短くなっていくのが一般的である。

これらに対して回転洗浄（図5b）は、濾過装置全体の差圧を20kPa前後で一定値に維持していることがわかる。回転しない場合（図5a）に見られるフィルター面への堆積物を回転洗浄によって連続的に洗浄・除去し、差圧が上昇することを抑制して常に一定の状態安定な濾過運転が可能となっている。

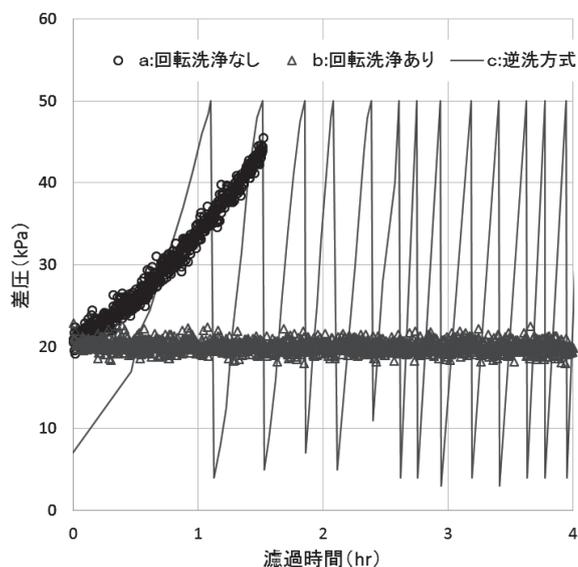


図5 回転洗浄による差圧上昇抑制効果

4-3 連続濾過処理能力

次にRCフィルターの連続濾過処理能力を調べるために、一日8～10時間の濾過処理を繰り返す実験を行った。その時の濾過流量および差圧の変化を図6に示す。実験条件は以下である。

実験地：佐賀県伊万里市、施行日：2014年8月
 濾過器：回転洗浄方式フィルター（中型試験機）
 流量：濾過100m³/時、排水20m³/時
 プラクトン検査：濾過水1m³をプラクトンネットで濃縮しX200倍顕微鏡観察にてLサイズを計数。

RCフィルターは連続10日間累積100時間の運転にわたって流量変動も差圧上昇もほとんどなかった。この間、抜き取りで行ったプラクトン検査ではLサイズプラクトンは検出されず、99.999%以上の濾過性能を維持していた。

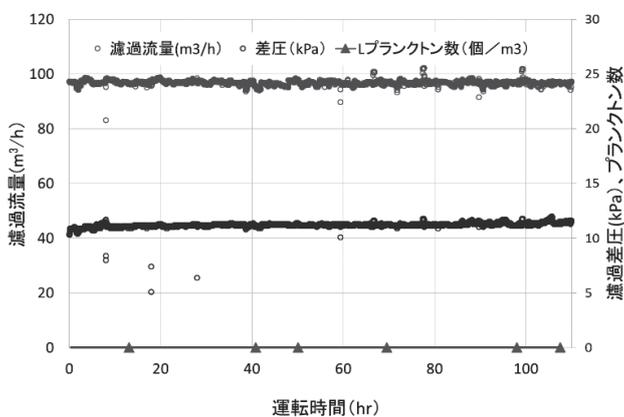


図6 RCフィルターの連続運転

5. エコマリン®UVの消費電力

以上に述べたようにRCフィルターは、バラスト水処理装置の前段として海水中のプラクトンの除去性能に優れ、後段の殺菌装置の処理を軽減することができる特性を持つ濾過措置である。

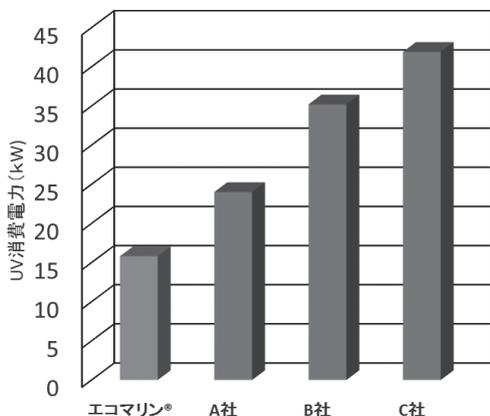


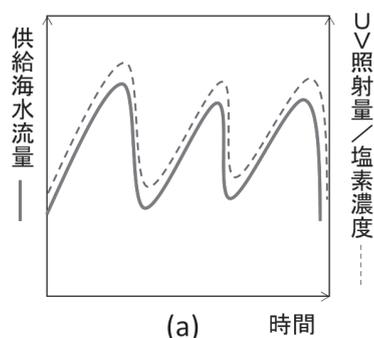
図7 エコマリン®のUV消費電力比較

図7にエコマリン®のUV消費電力の比較例を示す。エコマリン®UVのUV消費電力は他社平均の約半分程度と非常に少なくなっていることがわかる。

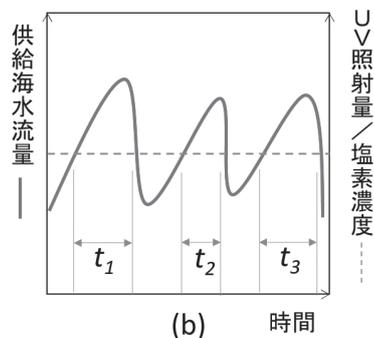
6. 考察

紫外線照射 (UV) 装置や電解塩素 (EC) 発生装置によって海水中の生物を十分に殺滅するには図1に示したように一定量の海水当たりのUV照射量や塩素濃度を閾値以上にする必要がある。したがってUV装置やEC装置に供給される濾過水が差圧の上昇や逆洗処理等の影響によって大きく変動する場合には、図8aのように供給海水量に合わせて照射量を増減させる必要が生じる。

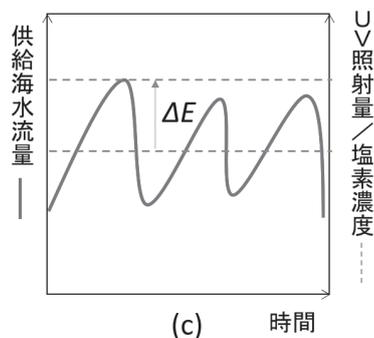
しかし実際には、入力に対する光度や塩素発生が遅延等の問題から濾過流量変動にリアルタイムで合わせて図8aのよ



(a) 時間



(b) 時間



(c) 時間

図8 濾過水供給と殺菌強度の関係

うにUV照射量や塩素の発生量を遅滞なく制御することは難しい。図8bのようにUV照射量/塩素量を対象海水中の生物濃度に合わせて一定の強度で与えた場合は、海水中の生物量の殺菌に十分な $t1\sim t3$ の時間に殺菌装置を通った濾過水は十分な殺菌が行われないことになる。

したがって、バラスト取水中の全ての生物を十分に殺滅するために図8cの上側の点線のように変動する流量の最大値に応じた過剰なUV照射量や塩素濃度を海水に与えると余分なエネルギー ΔE が必要となる。

これに対してRCフィルターは図6のように濾過流量の変動がほとんど無い。このためUVおよびEC装置は必要十分な殺滅強度で処理することが可能となる。つまりRCフィルターは前述のLサイズプランクトンの除去性能以外に、安定した濾過流量を提供できる点でも後段の殺菌処理の負担を低減することが可能で、BWTSの濾過フィルターとして非常に優れた性能と特長を持つと考えられる。

以上に述べたように、Lサイズ以上の大型生物をフィルターで確実に除去し、殺菌効果が高いSサイズ以下の小型生物をUVやECで殺滅するエコマリン[®]は、全体のシステムとして見てもその処理効率の面で対象となる海水中の生物量の変動にも強く対応可能な範囲が大きいシステムである。

その点ではバラスト水管理条約よりもさらに厳しいUSCGによるバラスト水管理規制⁽⁹⁾への対応にも十分な性能を持つシステムと考えられ、今後の普及が期待される。

7. 結 言

バラスト水管理条約に基づくバラスト水処理を効率的に行うバラスト水処理装置エコマリン[®]向けの回転洗浄(RC)方式フィルターを開発した。このRCフィルターは濾過流量低下および差圧上昇なく海水中の大型生物の99.999%除去した濾過液の供給が可能であり、バラスト水処理装置用の濾過フィルターとして最適な特性を持つ高性能フィルターである。

現在エコマリン[®]は、中小型船舶に好適なエコマリンUVは国土交通省の施行前試験合格証明書の授与を経て、処理量100~1000m³/hラインアップで販売を開始しており、電解塩素方式のエコマリンECについても今年度中に型式承認を取得予定である。

参 考 文 献

- (1) APPLICATION OF THE INTERNATIONAL CONVENTION FOR THE CONTROL AND MANAGEMENT OF SHIPS' BALLAST WATER AND SEDIMENTS, 2004 BW/M/CONF/36.ANNEX (2004-02-16)
- (2) Regulation D-2, Ballast Water Performance Standard. BWM/CONF/36. ANNEX 2004-02-16, p.22
- (3) 山田裕, 「FDAを用いたプランクトンの活性測定」、海生研ニュース、No.68, pp.6-8 (Oct. 2000)
- (4) 今井一郎 他, 「和歌山県田辺湾と大阪湾における赤潮藻殺藻微生物の分布」、Vol.63, No.3, pp.23-31 (2013)
- (5) 小田成幸, 「有明海福岡県地先底泥における珪藻休眠期細胞の分布と消長」、福岡水技研報, No.13 (Mar. 2000)
- (6) 日立造船㈱HP, URL <http://www.hitachizosen.co.jp/news/2014/04/001199.html>
- (7) 当社HP, URL <http://www.sei.co.jp/company/press/2015/05/prs037.html>
- (8) 柴田哲弥, 「環境に優しいバラスト水処理装置ECOMARINE[®] UVの技術と特徴」、JETI, Vol.63, No3 (2015)
- (9) United States Coast Guard HP, URL <https://homeport.uscg.mil/mycg/portal/ep/home.do, Environmental > Ballast Water Management Program>

執 筆 者

金澤 進一* : 新領域技術研究所



上山 宗譜 : 新領域技術研究所 グループ長



矢萩 聡 : 新領域技術研究所



谷田 和尋 : 新領域技術研究所 部長



*主執筆者