

平成23年度  
熱回収型バラスト水処理装置( TAF System )の  
実用化研究

報告書

## 1. TAF System の実用化研究

### 1.1 TAF System の試験目的

- 新処理条件(70℃-1分間)におけるTAF (Thermal Aqua Filtration) System の搭載スペースを検討し、実用化に向けて、更なる小型化の実現。
- 従来、D-2基準を満たすために、70℃-5分間の条件で開発してきたが、より小型化(造船所要求)を目指すため、殺滅タンクが1/5となる70℃-1分間でも可能であることを示す実証試験の実施。
- TAF System は、活性物質及び薬品を使用しないため、G9非適用を証明するため、G9基本承認に必要な TAF System による副生成物試験及び水生生物毒性試験を実施。
- TAF System では、熱回収の目的でプレート式熱交換器を使用しているため、高温部分での懸案事項であったスケール等の影響によるプレート式熱交換器の伝熱性能の低下調査。

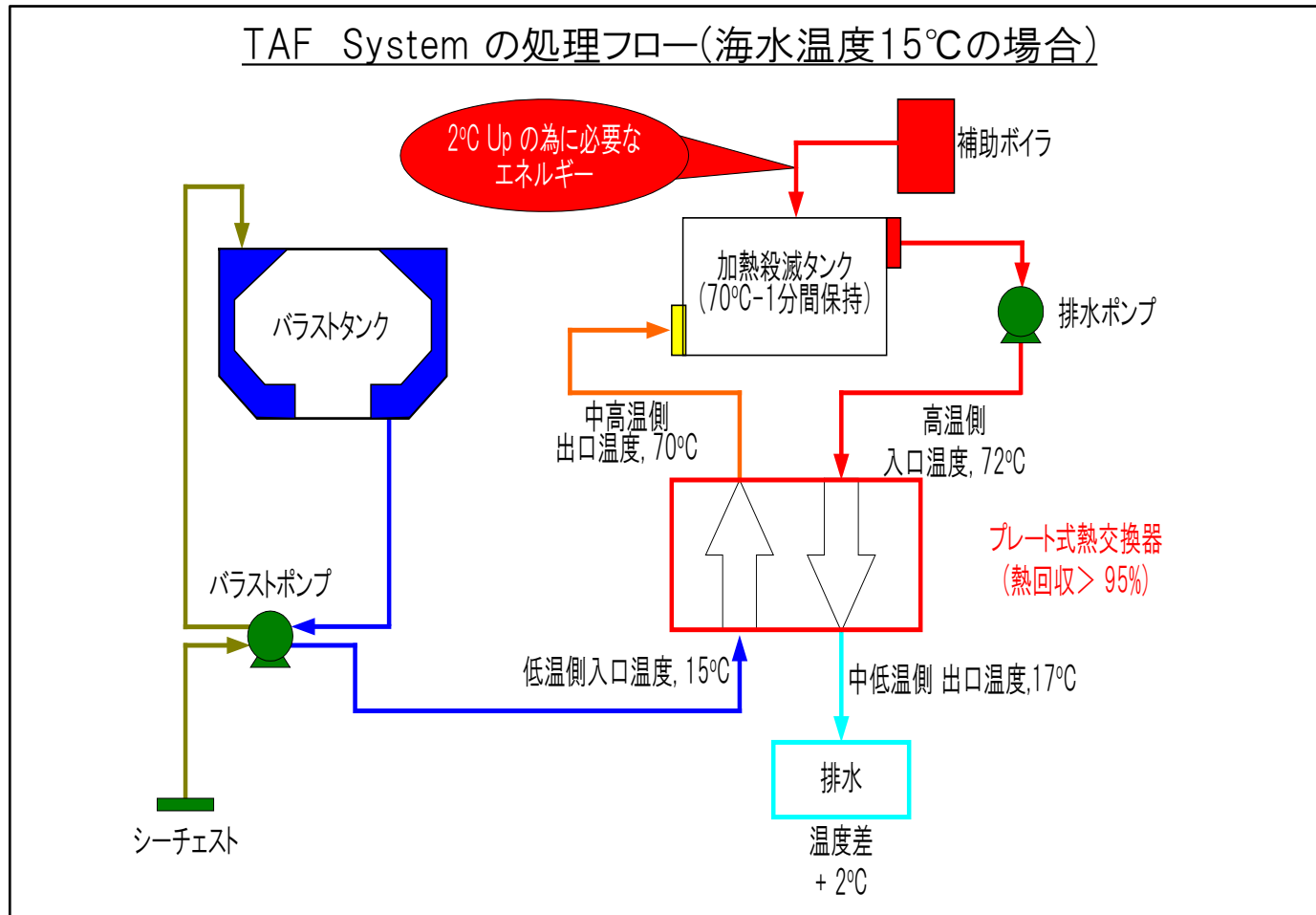
## 1.2 TAF System の原理

- TAF System は、熱で水生生物を殺滅する。即ち、TAF System は、前処理( Preparations )および活性物質( Active substance )を利用しないBWMS である。
- TAF System は、海水/汽水/淡水のいずれのバラスト水に対しても機能する。
- TAF System は、バラスト水排水時でバラスト水を処理するため、バラスト水漲水時の処理工程はない。
- 排水時の処理工程は、下記の通りである( Fig.1.1 参照)。
  - ① プレート式熱交換器と補助熱源で70℃まで加熱。
  - ② 加熱殺滅タンクで70℃-1分間の熱処理で生物を殺滅。  
(従来の5分間処理から1分間処理 → 殺滅タンク容積が1/5)
  - ③ プレート式熱交換器に戻り、排出海域水温+2℃に冷却した後に排出。
- 排水時に処理することで、水生生物が再増殖した場合など、いかなる状況においても排出バラスト水中の水生生物数をD-2基準未満にする。

## 1.3 TAF System の特徴

- 熱回収方式を採用。
  - 処理に使用した熱エネルギーを回収し、次のバラスト水加熱処理に利用。  
→ 熱エネルギーの95%超の節約。
  - 排出バラスト水温度が現場海水の+2℃。  
→ 温排水の問題はない。
- 活性物質・薬品を使用しない。
  - 環境/人体/船体に全く影響がない。
  - 薬品等の積込/ストック場所の確保不要。
  - 排出時「中和」等の作業が不要。
- バラスト水排出時処理。
  - バラストタンク内でのプランクトン及びバクテリアの増殖には無関係。
- 取扱い
  - 取扱いが簡単。
- 加熱殺滅タンク及び熱交換器が必要なため、設置スペースが必要。
- 補助加熱に蒸気を使用するため、熱源(補助ボイラのサイズ UP )が必要。
- 薬品等を使用しないため、緊急時のバラスト排出についても、問題はない。
- 取水時のみの処理装置(排出時は中和を含めて無処理)に比べて容量的に大きくなる。

## 1.4 TAF System の構成



注: バラストポンプから下流側が TAF System を構成する装置

Fig.1.1 TAF System の構成とバラスト水漲・排水時のフロー

## 1.5 TAF System の試験装置



Fig.1.2 TAF System の試験装置(毒性試験時風景)

## 2.副生成物( Relevant Chemicals )確認試験

### 2.1 試験目的

TAF System で処理したバラスト水中に、副生成物が溶出及び生成されていないことを確認するため。

### 2.2 試験方法

IMO ガイドラインG8 に規定された水質要件を満たすために、塩分調整し、コーンスターチ及び砂糖を、また、生物量要件を満たすためにテトラセルミス及びワムシを添加し、試験水(海水あるいは汽水要件)を調整した。

上記調整した試験水を、流量15m<sup>3</sup>/h で TAF System に供給し、処理前の原水及び処理後の排水を採取した。

採取・分析等は、(株)水圏科学コンサルタントに依頼した。

### 2.3 試験結果

海水要件および汽水要件共に、有害な副生成物は検出されなかった。従って、TAF System による処理装置では、副生成物を生成しないと考えられる。

## 3.水生生物毒性試験( Land-based WET tests )

### 3.1 試験目的

IMO ガイドラインG8に規定された陸上試験の海水要件で実施された処理水にて、藻類、甲殻類および魚類の3種の水生生物に対する急性毒性試験を実施し、試験生物に対する致死及び亜致死的な毒性影響を確認するため。

### 3.2 試験方法

IMO ガイドラインG8 に規定された水質要件を満たすために、副生成物確認試験同様に、試験水(海水要件)を調整し、処理後の排出水を採取し、3種の試験生物による毒性試験(藻類生長阻害試験/ヨコエビ急性毒性試験/魚類急性毒性試験)を IMO G9 に準拠して実施した。

採取・毒性試験等は、(株)水圏科学コンサルタント(いであ株式会社環境創造研究所)に依頼した。

また、試験水採取は2011年11月15日～18日にかけて4日間実施した。



## 3.3 試験結果

以上の各毒性試験の結果から、処理バラスト水の各試験生物に対する影響について以下の通り結論づけられた( Table3.1 参照)。

よって、TAF System で処理したバラスト水には、100%(無希釈)の処理バラスト水でも、いかなる影響も観察されなかったと評価される。

Table3.1 TAF System で処理したバラスト水の急性毒性試験結果(海水)

試験生物	毒性指標	影響濃度 (処理バラスト水濃度v/v%として)
ケイ藻 <i>Skeletonema costatum</i>	72時間の50%生長阻害濃度 72hr-Ecr <sub>50</sub>	>100%
	72時間の最大無影響濃度 72hr-NOEC	100%
フサゲモクズ <i>Hyale barbicornis</i>	96時間の50%致死濃度 96hr-LC <sub>50</sub>	>100%
	96時間の0%致死濃度 96hr-LC <sub>0</sub>	100%
	96時間の最大無影響濃度 96-h NOEC	100%
ジャワメダカ <i>Oryzias javanicus</i>	96時間の50%致死濃度 96hr-LC <sub>50</sub>	>100%
	96時間の0%致死濃度 96hr-LC <sub>0</sub>	100%
	96時間の最大無影響濃度 96-h NOEC	100%

注) Table3.1 中の影響濃度(処理排水濃度v/v%として)は、処理バラスト水と希釈水の比を示している。  
100%とは処理バラスト水(無希釈)のことである。

## 4.殺滅試験(プロタイプ試験装置によるG8準拠試験)

(生物分析:広島大学大学院生物圏科学研究科)

### 4.1 試験目的

D-2基準を満たすために、70°C-5分間の条件で開発してきたが、殺滅タンクが1/5となる70°C-1分間でも可能であることを示す実証試験の実施

### 4.2 試験方法

バラスト水管理システム認証の際の生物分析方法(日本舶用品検定協会 第2回改訂版)に準拠し、IMOスープの水質、細菌・プランクトン密度を調整した試験水(海水要件)にて実施した。

また、試験は2011年10月17日/12月15日の2回実施。

### 4.3 試験結果

2回の試験において、プランクトン群は完全に死滅した。また、一般従属栄養細菌(海洋性)においては99%以上の減少率であり、対象バクテリアについても、すべてD-2基準を満足した。

上記結果より、70°C-1分間の条件を満足したため、殺滅タンク容量は、1/5と小型となる。

## 5.伝熱性能の評価試験(小規模試験装置)

(試験:佐賀大学海洋エネルギー研究センター)

### 5.1 試験目的

TAF System の熱回収用プレート式熱交換器のプレート面の高温海水でのスケール付着による、伝熱性能の変化を確認するため。

### 5.2 試験方法

自然海水を連続通水し、温水による加熱を行い、スケール生成による伝熱性能の変化を以下の方法で確認する。

1. 2週間の連続運転を行い、熱通過係数の経時変化により伝熱性能を評価する。
2. プレート面の目視観察(スケール形成及びバイオフィルムの付着状況)及びプレート面付着物の細菌検査。

## 5.3 試験結果

小規模試験装置を用いて、熱交換器内平均温度を74℃、70℃、66℃で2週間の連続通水試験を実施した結果、以下のことが明らかになった。

1. 2週間の連続通水では熱通過係数の低下はほとんどなく、伝熱性能は維持できることが明らかになった( Fig.5.1 )。
2. プレート面の観察写真( Fig.5.2 )より、TAF System で使用する温度範囲では、生物皮膜の付着やスケール等の形成はなく、バイオフィームの原因となる細菌も検出されなかったため、付着物は海水中の浮遊物と思われる。したがって、連続通水によって伝熱性能への影響はない。

以上の結果より、高温部分でのスケール等の影響によるプレート式熱交換器の伝熱性能の低下はほとんどないため、TAF System の実用性が確認できた。

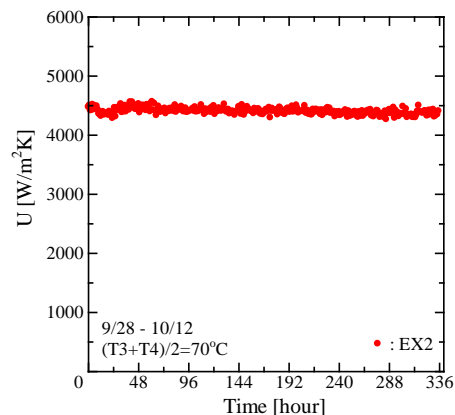


Fig.5.1 熱通過係数の経時変化(70℃)



Fig.5.2 試験終了後のプレート面(T=70℃)

## 6.TAF System (現状)の評価

### 6.1 装置(殺滅タンク)の小型化

殺滅タンクは、現状タンクの1/5と小型化は達成できた。

### 6.2 G9対象外であることの確認

TAF System からの有害な溶出物の検出はなく、無毒性も証明できた。

### 6.3 伝熱性能の評価

熱交換器の高温部分のスケールについては、伝熱性能への影響がないことが確認できた。

## 7. Cool TAF の提案

### 7.1 “Cool TAF”の提案

- 共同開発者の今治造船(株)殿より、大型船用にも適用できる処理装置及び就航船への適用性から、更なるコンパクト化を求められた。
- 活性物質及び薬品を使用しない環境に優しい装置(船体腐食も含め)であり、緊急バラストにも対応可能。
- IMO条約より厳しい基準(米国の提案予定)にも対応可能なバラスト水処理システムが必要。

以上を踏まえて、後述の“Cool TAF”を提案/実施したい。

## 7.2 Cool TAF の特徴

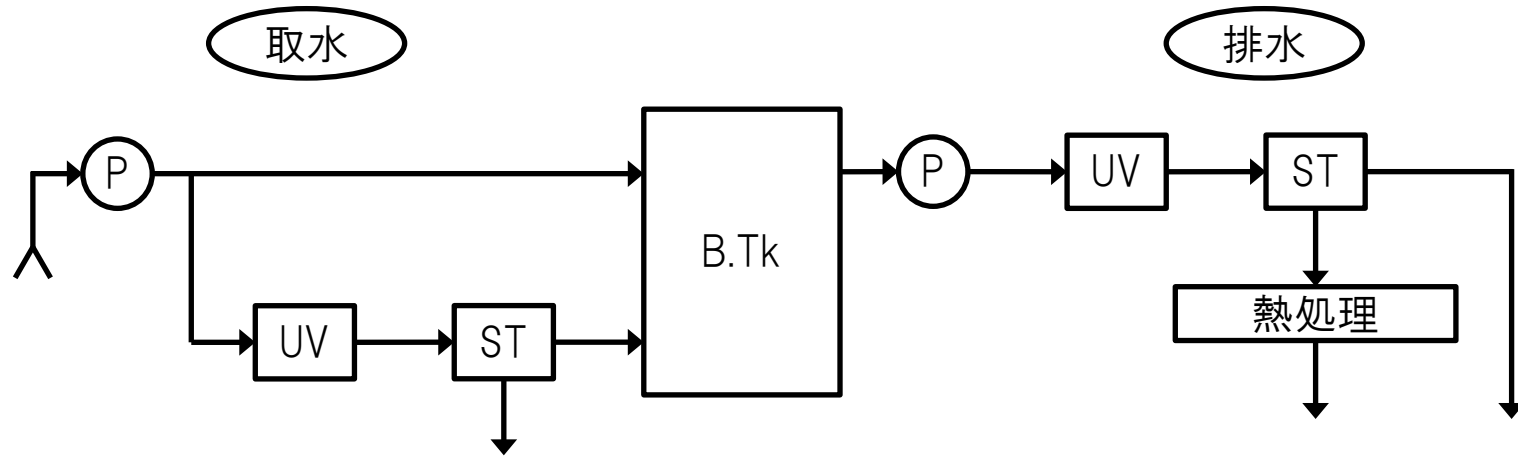


Fig.7.1 Cool TAFの概念

- TAFをST(スレーナ)の逆洗水処理に限定(逆洗水は全処理量の約1/30)。
- 取水時、汚泥等異物が多量にバラストタンク内に入る可能性を減らすため、取水時にも、UV/STを通す。その必要がない海域では、ただちに取水。
- UVの後にSTにすることで、バイオフィーム等による目詰まりを緩和。
- Lサイズ除去のため、STのメッシュは、 $30\mu$ 程度が適当。
- STは、バイオフィーム等のヌメリにより著しい機能低下を起こすため、連続逆洗を考えている。
- UVでは、Lサイズを殺滅できないため、STの逆洗水は、そのまま排水できない。
- STの逆洗水は、プランクトン殺滅条件である、 $50^{\circ}\text{C}$ -1分間の熱処理で、排出可能。

## 7.3 Cool TAF の必要スペース

Table 7.1 必要スペースの比較

	Cool TAF		現 TAF System
処理水量	逆洗水(バラスト水量の1/30)		バラスト水全量
処理温度	50°C-1分間		70°C-1分間
$\Delta t(^{\circ}\text{C})$	2	4	4
バラスト水(m <sup>3</sup> )	30,000	30,000	30,000
排水流量(m <sup>3</sup> /h)	800(×2台)	800(×2台)	800(×2台)
逆洗流量(m <sup>3</sup> /h)	27(×2台)	27(×2台)	-
排水時間(H)	約19		約19
殺滅タンク寸法	1.1m×0.7m×0.6m(0.45m <sup>3</sup> ×2)		3.5m×2m×2m(14m <sup>3</sup> ×2)
プレート式熱交換器寸法	1313mm×805mm×2106mm(×2)	950mm×805mm×2106mm(×2)	4225mm×970mm×3436mm(×2)
補助加熱に必要な熱量 蒸気換算(kg/h)	約185	約370	約11,000

※ 記載寸法:縦×横×高さ



## 7.4 Cool TAF の評価

- 大型船用としては、全量処理する現TAFは、加熱殺滅タンクと熱交換器の設置寸法が大きく、バラスト水処理装置としては、STの逆洗水の処理に熱を利用した、Cool TAF が設置寸法・機能から見てベストな装置。
- Cool TAF では熱処理量(逆洗水)がこれまでの1/30となるため、熱交換器が小型化となる。
- $\Delta t=2^{\circ}\text{C}$ 時の補助加熱の必要熱量は蒸気換算で約185kg/h となり、別途開発中の排熱回収型サイレンサ(回収熱量:蒸気換算200kg/h)から供給可能で、ランニングコストも小さくなる。
- Cool TAF は、後処理のため取水後の微生物の regrowth も問題ないため、PSCへの対応についても問題ない。

## 8.総括

### 8.1 総括

- TAF System の実用性
  - TAF System における70°C-1分間加熱にて、D-2基準を満足し、殺滅タンクの小型化が達成できた。
  - 熱処理による、有害な溶出物は検出されず、毒性についても無害であることが証明でき、G9 は非適用と考えられる結果を得た。
  - TAF System 高温部分でのスケールによる伝熱性能の低下はほとんどなく、実用性が確認できた。
- Cool TAFの提案
  - TAF System の特徴を最大限活かした、新提案の Cool TAF では、ストレーナー逆洗水のための熱処理となるため、処理量は、全バラスト水の約1/30となる。
  - これにより、設置寸法・初期コスト・ランニングコストが大幅に低下し、更に実用化に近づくことが期待できる。

本調査研究は、日本海事協会の「業界要望による共同研究」のスキームにより研究支援を受けて実施しました。

＜共同研究参加社＞

- 今治造船株式会社
- 国立研究開発法人 海上技術安全研究所
- 広島大学
- 佐賀大学
- 一般財団法人日本海事協会
- 一般社団法人日本中小型造船工業会