

# 排熱を有効利用した冷凍装置の船舶適用

Application of Adsorption Chiller System on the Ship  
as an Effective Energy Saving Solution  
by using the Waste Heat in the Ship



川野 三浩\*<sup>1</sup>  
Mitsuhiro Kawano

小柳 翔\*<sup>2</sup>  
Sho Koyanagi

小松 富士夫\*<sup>3</sup>  
Fujio Komatsu

柳沢 一弘\*<sup>4</sup>  
Kazuhiro Yanagisawa

成沢 平\*<sup>5</sup>  
Taira Narisawa

CO<sub>2</sub> 排出規制, 省エネ気運が高まる中, 船舶の更なる省エネ化が望まれる。当社では, 省エネの一手段として, 船舶の内燃機関により発生する排熱を有効活用する様々な取組みを行っている。本報では, 排熱利用技術の1つとして, 陸上設備にて定着しつつある吸着冷凍装置に着目し, 船舶環境に適した仕様改良を行うとともに, 実機開発モデルでの性能試算結果と, 実船適用に向けた今後の展望についての考察を実施したので, それについて述べる。なお, 本報は, 一般財団法人日本海事協会の「業界要望による共同研究」スキームによる支援を受け, (株)前川製作所と一般財団法人日本海事協会との共同研究により得られた成果に基づくものである。

## 1. はじめに

吸着冷凍装置は, 排熱を有効利用した省エネ冷凍機として検討・開発され, 陸上用では, 発電機のジャケット排熱や工場で発生する低温排熱 (60~80℃) 等を有効利用する機器として定着し, 注目されている装置である。

船舶においては, 排熱を利用した類似の冷凍装置 (吸着冷凍装置とは異なる) が, 過去に試験的に船舶に搭載された実績があるものの, その後の継続的な採用は無く, 定着普及するには至っていない。

当社は, (株)前川製作所の吸着冷凍装置に着目し, 船舶への普及と省エネの実現を目指し, 同社と共同でその課題を洗い出し, 種々の実験・検討を実施した。その結果, 課題を克服し船舶向け試作機製造の準備が整ったので, 共同開発の取組み成果と今後の展望について, ここに紹介する。

## 2. 吸着冷凍装置の船舶適用への課題

### 2.1 吸着冷凍装置の特徴と作動原理

#### (1) 装置の特徴<sup>(1)</sup>

船舶も含め, 一般的に広く採用されている圧縮式の従来型冷凍装置との特徴比較を表1に示す。吸着冷凍装置は, 以下の特徴を有する。

- ① 水を冷媒とするため, 環境にやさしく, 材料にやさしい。
- ② 排熱を利用するため, 大きな動力源 (エネルギー) を必要としない。

\*1 船舶海洋事業本部船海技術総括部 主席技師

\*2 船舶海洋事業本部船海技術総括部

\*3 (株)前川製作所 ユニットプロダクツ部門 商品化設計G サブリーダー 工学博士

\*4 (株)前川製作所 食品・産冷ブロック 船舶グループ サブリーダー

\*5 一般財団法人日本海事協会 業務執行役員 機関部長(当時)

- ③ 吸着材は半永久的に使用可能であり、メンテナンス低減が期待できる。
- ④ 低騒音で人にやさしい。

表1 圧縮式冷凍装置と吸着冷凍装置の特徴比較

	圧縮式冷凍機 (レシプロ・スクルー型)	吸着冷凍装置
冷媒	アンモニア・フロン等	水等
運転圧力	大気圧以上	大気圧以下
駆動源	外部動力 (モータ・エンジン等)	熱(温度差)
サイクル間隔	1500回/分	0.2回/分
騒音	比較的大きい	小さい
メンテナンス		>
サイズ		<

(2) 装置の作動原理<sup>(1)</sup>

吸着冷凍装置の概要と作動原理を図1に示す。

- ① 装置本体の内部は、差圧作動のダンパで4つの部屋(蒸発室、凝縮室、2つの吸脱着室)に仕切られており、内部は真空状態に保たれている。
- ② 蒸発室に散水された水の蒸発潜熱および顕熱により、冷却目的に利用するための冷水を取り出すことができる。
- ③ 蒸発した水は吸着材に吸着される。水が吸着されると吸着材の温度が上昇し、吸着能力が低下するため、冷却水を供給することで高い吸着効果を維持する(図1左)。
- ④ 吸着過程が完了すると、冷却水の供給を温水に切り替えることにより、吸着過程から脱着過程に切り替わる。温水の熱により脱着された水蒸気は、凝縮器室内にて凝縮され、蒸発器室内に戻される(図1右)。
- ⑤ 2つの吸着室が吸着工程と脱着工程を繰り返す冷凍サイクル(吸着-蒸発⇔脱着-凝縮)により継続的に冷凍能力を発揮することができる。

船舶に適用する場合、図中の温水部分が排熱の供給に該当し、冷却水部分がセントラル冷却装置などにより供給される冷却水に該当する。

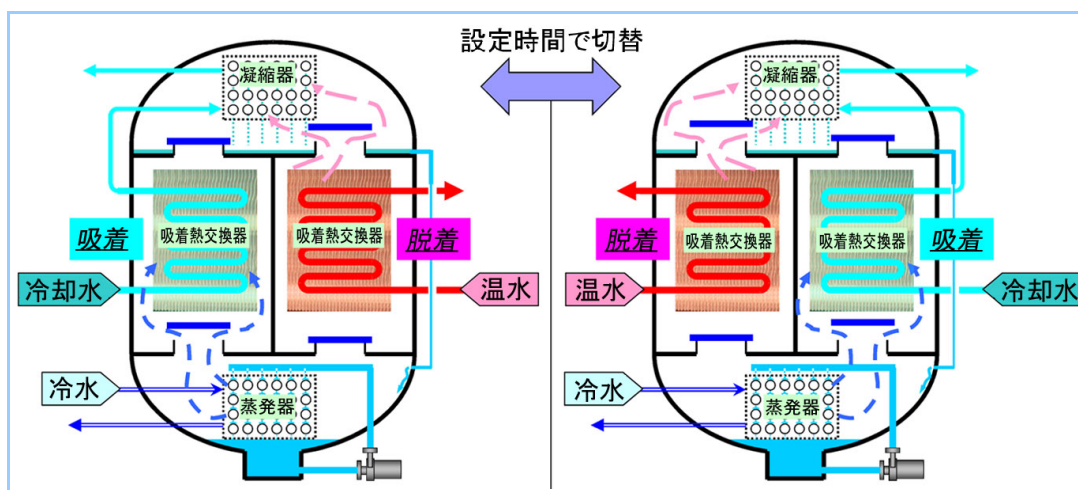


図1 吸着式冷凍装置の概要と作動原理

2.2 船舶適用への課題

吸着冷凍装置の船舶への適用を実現する上で、既に実用化されている陸上機の使用環境と、船舶環境との相違に着目する必要がある。環境の相違による注意すべき主な点を以下に示す。

① 利用できる熱源温度範囲の相違

吸着材は、その特徴(性質)として、吸脱着を効率よく実現できる温度域が限定されてい

る。陸上機に採用されている吸着材は、陸上の温水熱源及び冷却水熱源の温度領域に適したものとなっており、船舶にて利用できる温度領域と整合しない可能性が高い。特に、船舶で利用できる冷却清水の温度領域は、冷却塔を利用することで 30℃程度の冷却水を得られる陸上と異なるため注意が必要である。

② 設置スペースの制限

当該機器の船舶への設置を考えた場合、熱源の存在する区画と冷熱を使用する場所の位置関係により、機関室あるいは居住区画の一面に装備される可能性が高い。このような区画は、既に存在する機器との関係、天井高さ(クリアハイト)の制限等、陸上に比べて設置スペースに厳しい制約がある。したがって機器の小型化は、船舶への適用を考える上で、重要なポイントといえる。

③ 動揺に対する配慮

船舶に搭載する機器は、動揺・傾斜に対する信頼性を確保する必要がある。吸着冷凍装置の場合、冷媒として使用する水の流れに対する影響、吸脱着を切り替えるための切替弁(ダンパ)への影響等が懸念される。

### 3. 船舶利用に適した装置の改良

前項にて船舶適用における主な課題について述べたが、本項では、課題克服の具体的取組みとその成果について紹介する。

#### 3.1 船舶の熱源温度領域に適した吸着材の選定と性能評価<sup>(1)</sup>

図2に吸着材の性能領域と船舶にて利用できる熱源の温度領域の相関を示す。この図からも分かるとおり、陸上機に使用されている従来の吸着材の運転範囲(図中水色の範囲)と、冷却清水温度範囲が整合しておらず、そのまま使用することができない。

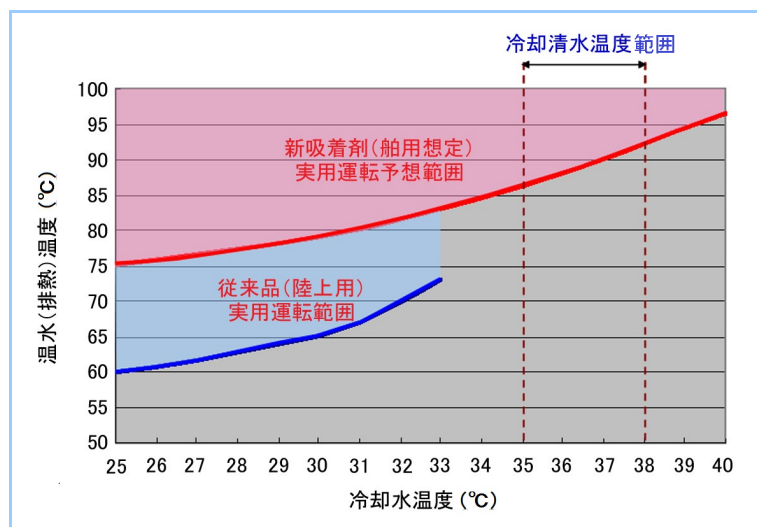


図2 新旧吸着材性能と船舶熱源利用可能域の相関

そこで、船舶にて利用可能な温度領域に適した吸着材を調査検討し、新しい吸着材を選定した。新しく選定した吸着材の予想性能範囲(図中紫色)であれば、船舶にて利用可能な熱源の温度範囲内と整合しているため、本吸着材を使用することで、船舶環境下でも冷熱を取り出せるものと予想した。

予想を裏付けるために、選定した新吸着材の性能検証試験を実施した。試験装置の概要を図3に示す。試験の結果、船舶の利用可能な熱源温度範囲内にて効果的に冷水出力を取り出せることを確認した。試験結果を図4(a)及び図4(b)に示す。

吸着冷凍装置の性能特徴(温水温度が高ければ高いほど、冷却水温度が低ければ低いほど、冷却能力が高くなる)ことが確認され、良好な結果であるといえる。

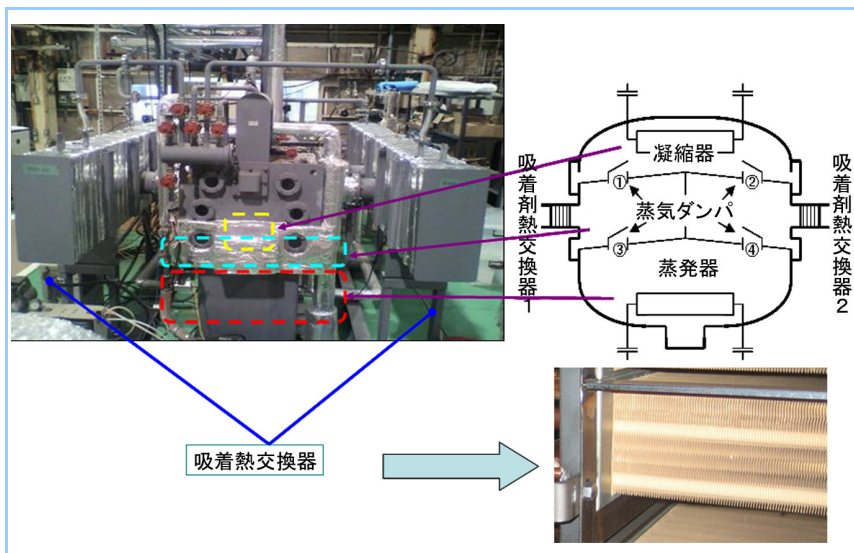


図3 新吸着材性能試験装置の概要

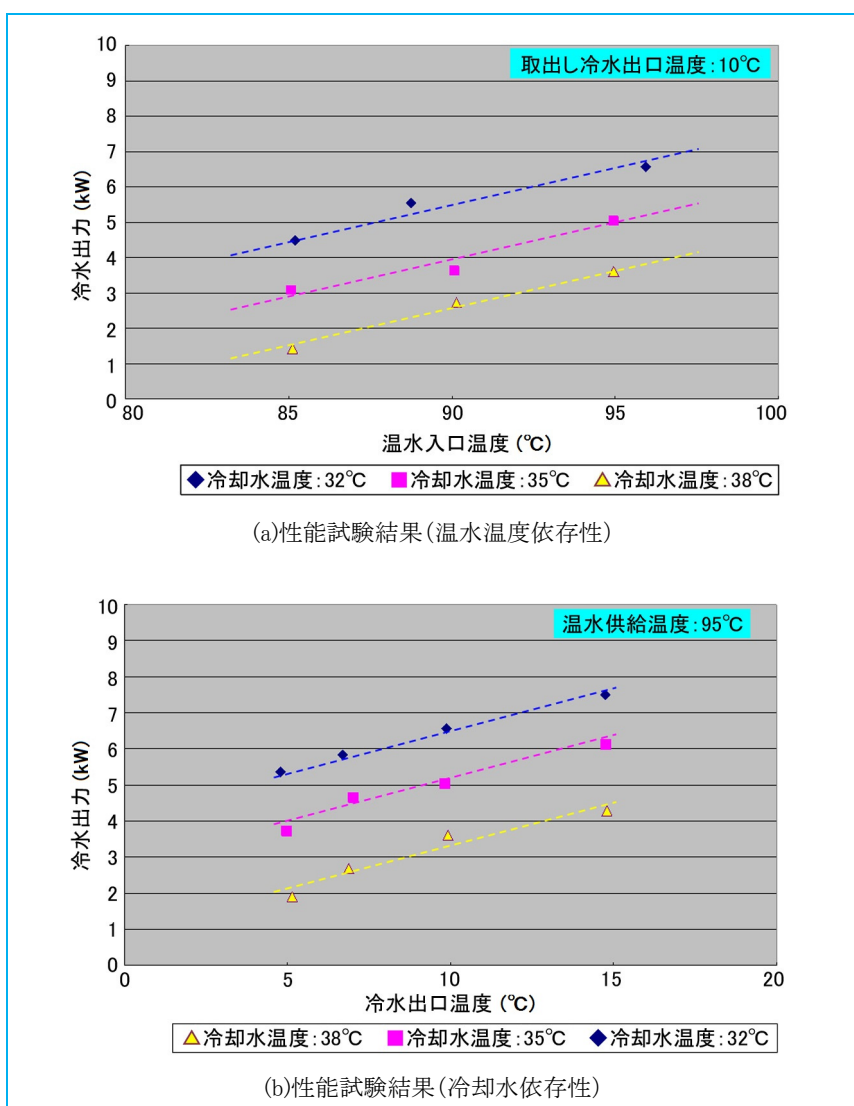


図4 新吸着材性能試験結果

### 3.2 装置小型化への対応

本装置は、吸脱着室の空間占有率が大きく、本装置の小型化を実現するためにはこの部分を小さくすることがなにより近道である。その手段として、単位体積あたりの吸着材量を見直すことで、冷凍機としての性能を維持したまま、設置面積で従来比 70%、装置体積で従来比 40%の小型化実現のめどがたった。図5に対策前後の吸着材を塗布した熱交換器を示す。

上記見直しによる冷却能力の検証も実施済みである。本成果に伴い、船舶向けレトロフィットにも対応すべく、コンテナ内部に収まるサイズも提供できるめどがたった。

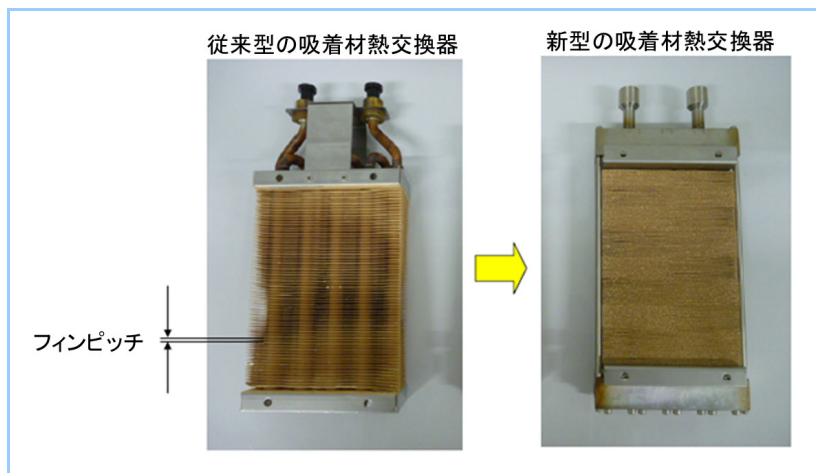


図5 新旧熱交換器(吸着材密度改良)

### 3.3 動揺・傾斜対策

動揺に対する技術的課題の洗い出しと、具体的な対策の立案(ダンパ動作改善等)は完了している。その対策効果を確認すべく、実機モデルを想定した試験機を製造し、船舶環境を想定した実験室レベルでの試験を2013年内に実施する予定である。

上記に加え、船舶向け実機を製造・搭載する上での、材料の審査、構造検査、設備要件に関しても一般財団法人日本海事協会の助言のもと、確認済みである。

## 4. 船舶向け開発実機での省エネ試算と今後の展望

### 4.1 船舶向け開発実機モデルの性能予測

新吸着材の性能確認試験により得られたデータを船舶向け開発実機モデルに当てはめた場合の性能予測を図6に示す。

例えば、冷却用清水温度を37℃とし、主機排熱より得られる温水供給温度が90℃であれば、約60kWの冷水出力を取り出すことができる。これは一般貨物船の居住区用空調設備(船舶の種類、空調設計条件により相違はあるが)に必要な冷水出力の約50%に相当する。

冷却水温度32℃の予想曲線から読みとれる様に、将来的に冷却水の温度を更に低く供給できるようになれば、より大きな冷熱を取り出すことも可能である。また、実機1台当たりの冷水出力を上げたモデルを採用することで、搭載台数を減らすことも可能である。

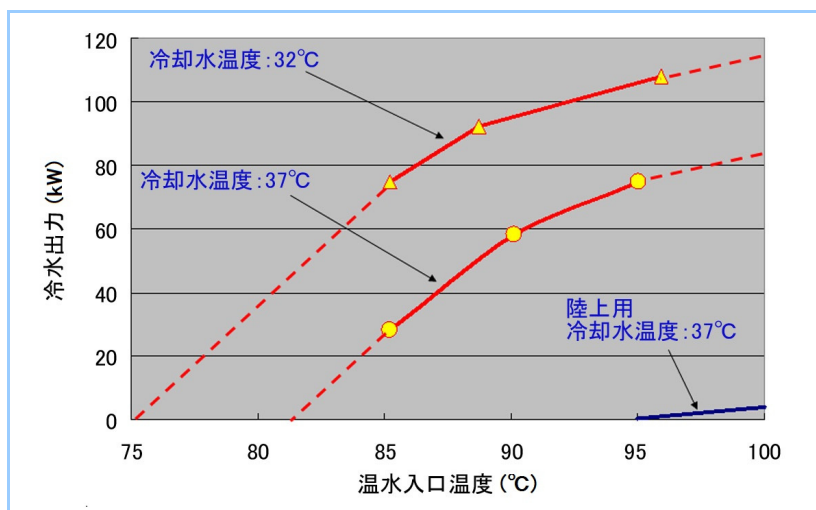


図6 船用向け開発実機モデルの性能予想

## 4.2 省エネ効果試算

当社建造自動車運搬船(積載能力6000台)の空調設備に開発実機を搭載したと仮定し、省エネ効果を試算した。その検討条件と結果を表2に示す。この結果、現在搭載されている圧縮式冷凍装置に消費される電力量より、最大約85%の電力低減が見込めるとの試算結果を得た。これは常用航海中の出力(含む船内消費電力)の約0.3%に相当する。冷却水量の増加に伴う電力増を見込んだとしても、十分な省エネ効果が期待できる。

表2 省エネ効果の試算条件と結果

試算対象船	
空量冷却負荷	150kW
冷水取り出し温度	10℃
冷却清水温度条件	37℃
温水温度 (主機冷却ジャケット温水+蒸気加熱)	90℃
従来機(圧縮機)消費電力	60kW
吸着冷凍機消費電力(真空ポンプ他)	8.6kW
消費電力低減量	51.4kW(Δ85%)

## 4.3 今後の展望

吸着冷凍装置を船舶向けに定着普及させていく上での技術的展望を以下に示す。

### ① 冷熱を活用する用途の拡大

空調設備以外への適用拡大として、低硫黄燃料対策として用いるMGO燃料用クーラーの冷熱源としての活用等、用途拡大を進めることで吸着冷凍装置の普及につながる。

### ② 利用可能熱源の拡大

陸上設備の実績では、太陽光エネルギーにより作り出された温水を利用した設備も存在する。排熱の有効利用に加え、利用できるエネルギーを創出することも、普及の鍵と考えられる。

当社では、吸着冷凍装置の性能を効率よく活用するために、現在の船舶プラントにて供給できる温水熱源温度、冷却水熱源温度の最適化を進めていく。

### ③ 吸着材の性能改良

船舶向け実機開発用として採用した吸着材は、船舶により供給できる熱源に対し利用可能であるが、必ずしも最適な吸着材とは言いがたい。吸着材の改良が更なる冷凍能力の向上につながることから、この分野の開発に期待したい。

## 5. まとめ

(株)前川製作所との吸着冷凍装置の舶用化の検討を通して、船舶に適用することによる省エネ効果を確認するとともに、舶用化への鍵となる主な課題を克服し、船舶向け試験機製造まで到達することができた。船舶においては、排熱の有効活用は、省エネ実現の有効な打ち手であり、吸着冷凍装置の普及は、海運業全体へ与える効果は大きいと考える。

当社は、引き続き(株)前川製作所と協力し、試験機による機能検証を進めるとともに、吸着冷凍装置性能の更なる改良、用途開発、利用熱源の多様化検討等を実施し、船舶への適用を進めていくことで、省エネ技術の普及に貢献していく。

最後に、共同研究のパートナーとして各種検討を実施いただいた(株)前川製作所、研究支援をいただきました一般財団法人日本海事協会に対し、謝意を表します。

## 参考文献

- (1) 小松富士夫, 吸着冷凍機の船舶適用に関する机上検討, マリンエンジニアリング学会月例講演会(2012)