



日本冷凍空調学会賞 技術賞

低 GWP の HFO-1234yf を採用した 大容量ターボ冷凍機 JHT-Y/JHT-YI シリーズ

JHT-Y/JHT-YI Series of Centrifugal Chillers using HFO-1234yf Refrigerant with Low-GWP

1. はじめに

ターボ冷凍機はオフィスビル、空港、地域冷暖房などの大空間の空調用途や製薬、食品などの工場空調に加え、昨今の IT 化・DX 化を牽引する半導体工場の空調、データセンターの冷却源などにも使用される。しかし、従来のターボ冷凍機に使用されてきた HFC-134a は地球温暖化係数 (GWP) が 1430 と高いため、日本国内においてはフロン排出抑制法の施行により、2025 (令和 7) 年度から HFC 冷媒を使用したターボ冷凍機は出荷規制される。一方、HFO-1234yf は GWP が 1 未満でフロン排出抑制法対象外であり、カーエアコンや自動販売機といった製品に採用されている冷媒のため、環境面と流通性に優れている。また、HFO-1234yf は飽和圧力が HFC-134a ときわめて近いことから、HFC-134a 採用機と機器設計圧力を維持することができるという利点がある。以上の理由から、HFO-1234yf を採用した JHT-Y/JHT-YI シリーズを新たに製品化した (図 1)。

2. 適用技術

2.1 圧縮機

2.1.1 圧縮機の小型化・高性能化

HFO-1234yf は潜熱が HFC-134a と比較して約 80%、飽和ガス比体積が約 85% であり、冷凍能力当たりのガス体積循環量は HFC-134a の約 106% となることから、従来機の運転範囲を維持するためには、より大風量の圧縮機が必要となる。羽根車設計においては大風量化するほど効率が低下する傾向があるが、CFD 解析を用いて最



松倉紀行*
Noriyuki MATSUKURA



下川真琴*
Makoto SHIMOKAWA



深澤和馬*
Kazuma FUKASAWA

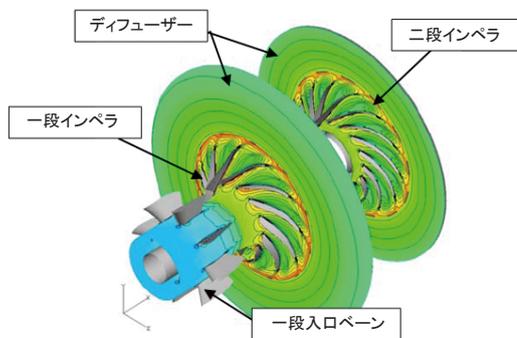


図 2 圧縮機の CFD 解析例

適な空力形状を検討し、従来の羽根車から効率を維持したまま大風量化を実現した (図 2)。結果として、従来の圧縮機から 1 型式小さいケーシング、駆動系で従来機同等の流量を確保することが可能な新型圧縮機を開発した。

2.1.2 圧縮機の最適選定

ターボ冷凍機に採用される遠心圧縮機は設計点風量付近の効率がもっとも良く、設計点から離れるほど効率が低下する。従来機に採用していた圧縮機は 300 ~ 2700 冷凍トン (1050 ~ 9500 kW) の冷凍能力範囲を 5 型式の圧縮機でカバーしており、最適な圧縮機が切り替わる冷凍能力帯では最適な設計点風量から離れた選定となる。JHT-Y シリーズに新規採用した圧縮機では翼形状などの空力部品構成の最適化を実施し、従来機と同じ能力をカバーする圧縮機を、体格としては 5 型式に抑えつつ、性能上のラインナップは 12 型式に拡充させることにより、広い能力帯で高性能機種を選定することが可能となった。

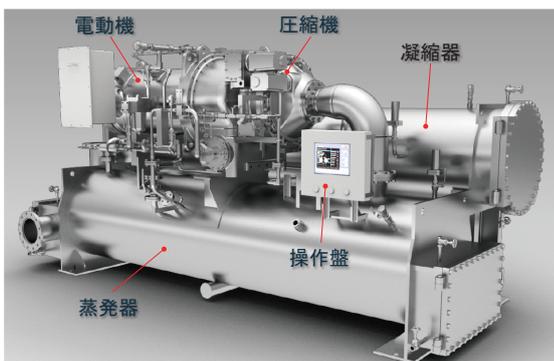


図 1 JHT-Y シリーズ外観

*三菱重工サーマルシステムズ株

Mitsubishi Heavy Industries Thermal Systems, Ltd.

原稿受理 2025 年 2 月 28 日

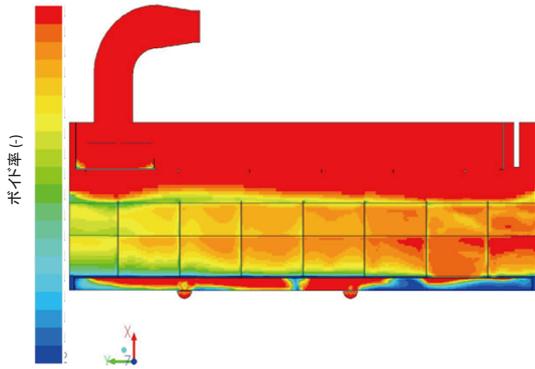


図3 蒸発器のCFD解析例（ボイド率評価）

表1 従来機との比較（シリーズ性能）

	GART	JHT-Y
冷媒	HFC-134a	HFO-1234yf
シリーズ能力範囲	400~5 400 USRt*	300~5 400 USRt*
最高定格COP（固定速機）	6.5	6.4
IPLV（固定速機）	8.2	7.2
部分負荷最高COP（インバータ機）	25.3	24.9
IPLV（インバータ機）	9.3	8.8

*2700 USRt以上の能力範囲はパラレルタイプ（圧縮機2台）の仕様

2.2 熱交換器

蒸発器、凝縮器はシェル&チューブ型を採用しており、内部構造の検討はCFD解析を用いている。蒸発器については局所的なドライアウトや液吸込みがなされないような構造にした（図3）。また、凝縮器のチューブ周りは一般的に冷媒の表面張力が小さく、粘度が小さいほど濡れ性が高いため、HFO-1234yfは液切れが悪くなる傾向だが、最適なチューブ配置を検討することでユニット全体の性能を従来機同等に維持するように設計している。

なお、従来機シリーズの型式提案では圧縮機に対して一意に熱交換器を割り当てていたため、オーバースペックの熱交換器が選ばれることがあった。JHT-Yシリーズでは、拡充した圧縮機に合わせて熱交換器のラインナップも一新することで、仕様条件に応じた最適の熱交換器が選択されるようにした。

3. JHT-Yシリーズの特長

3.1 高性能、コンパクト化

当社が販売した従来のHFC-134a採用機との比較を表1に示す。JHT-YシリーズのJIS条件（冷水入口12℃/出口7℃、冷却水入口32℃/出口37℃）における最高COPは6.4、インバータ機の部分負荷時最高COPは24.9、IPLVは8.8となり、本シリーズは従来機シリーズと同等の高性能を発揮する。

また、本シリーズでは、HFC-134a採用機と同等の能力範囲である300～2700冷凍トン（1050～9500kW）

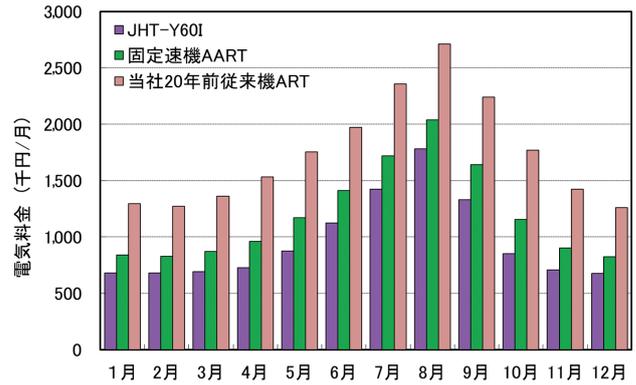


図4 リプレース対象の旧型冷凍機との電力料金比較

表2 従来機との比較（代表型式）

冷凍能力	1 850 USRt (6 506 kW)	
冷水温度	12.0℃ → 7.0℃	
冷却水温度	32.0℃ → 37.0℃	
型式	GART-270	JHT-Y245
COP (GART-270対比)	-	1.00
L × W × H	6.2 × 3.4 × 3.4 m	6.2 × 3.5 × 3.3 m
設置面積	21.08 m ²	21.70 m ²
機器質量	33.0 ton	31.4 ton
運転質量	43.4 ton	40.8 ton

を維持している。さらに、空調用途以外にも従来機同様に低温、熱回収、ヒートポンプに対応しており、全温度、全能力範囲で低GWP冷媒への置き換えを実現している。

3.2 地球温暖化防止への貢献

本シリーズは、低GWP冷媒を使用しながらHFC冷媒採用の高性能機と同等の性能を発揮するため、既設機からリプレースすると消費電力の削減が期待できる。リプレース対象となる二十年前のHFC-134a採用ターボ冷凍機と比較した場合の年間の電力料金（従量料金）を図4に示す。電力料金は約65%削減可能となり、既設機のリプレースによってさらなる環境負荷低減が期待できる。

また、当社ターボ冷凍機の代表型式における比較を表2に示す。本シリーズは従来機のコンパクト設計に加えて、圧縮機の小型化、熱交換器の最適選定によって、冷凍機ユニット全体として高さ方向に最大約4%、機器質量として約10%削減しており、輸送コスト、材料コストの削減も図っている。

4. おわりに

GWPが1未満であり、流通性にも優れる冷媒HFO-1234yfをターボ冷凍機に採用し、従来冷媒からの性能、能力範囲を維持したまま環境負荷を低減させる製品を開発した。今後はさらなる性能向上などによって、環境負荷の低減へアプローチしていく所存である。