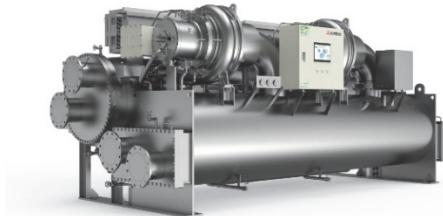


# 省エネ性及びコンパクト性を重視した 地球温暖化係数 1 の高性能ターボ冷凍機の開発

Development of a High-Performance Centrifugal Chiller  
with a Global-Warming-Potential of 1, Focusing on Energy-Saving and Miniaturization



松倉 紀行\*<sup>1</sup>  
Noriyuki Matsukura

三吉 直也\*<sup>2</sup>  
Naoya Miyoshi

伊良 勇亮\*<sup>2</sup>  
Yusuke Ira

大屋 慶季\*<sup>2</sup>  
Yoshiki Oya

新田 智徳\*<sup>2</sup>  
Tomonori Nitta

環境負荷が小さい冷媒 HFO-1233zd(E)を使用したターボ冷凍機 ETI-Z<sup>(1)</sup>は販売開始以降、産業用途のみならず、ビル空調などの一般空調用途にも幅広く採用され国内で最も導入されているターボ冷凍機である。

近年、パリ協定に始まる環境意識の高まりにより、機器の低環境負荷性や省エネ性が求められるている。同時に AI 産業の登場によるデータセンタ増築や半導体需要が加わり、産業発展とともに更に伸び続けている冷熱需要に対して、従来から冷熱ソリューションを提供している三菱重工サーマルシステムズ株式会社のターボ冷凍機においても更なる省エネ性が求められるようになった。そこで、高性能・コンパクトをコンセプトとしている ETI-Z において、市場機に対するコンパクト性の優位を残しつつ、更に省エネ性を高めた高性能機を開発し、従来機から大幅な性能向上を実現した。

## 1. はじめに

ターボ冷凍機は熱交換により冷温水を生成する冷凍空調機器の一つで、地域熱供給、大規模建物、半導体製造、製薬や食品産業に使用されてきた。三菱重工サーマルシステムズ株式会社（以下、当社）はオゾン層破壊係数 (ODP: Ozone Depletion Potential) がゼロ、且つ地球温暖化係数 (GWP: Global Warming Potential) が二酸化炭素と同等である、冷媒 HFO-1233zd(E)を用いたターボ冷凍機 ETI-Z シリーズを開発した。ETI-Z は高圧ガス保安法対象外で有資格者による管理が不要であり、その取り扱いやすさや高性能・コンパクト性から、国内業界トップシェアの評価を頂いた。

近年、環境意識が急激に高まっている一方、産業の発展によって冷熱需要は増々伸び続けている。そこで当社は、多くの納入実績を持つ ETI-Z の豊富な運転データを設計データベース化し、ETI-Z のコンパクト性を維持しながらも省エネ性を両立し、従来機対比最大 12%性能を向上した高性能機を開発した（以下、開発機）。本報では、開発に当たり採用した技術、及び従来機との比較を以て開発機を紹介する。

## 2. 低 GWP 冷媒仕様に最適化した高性能・コンパクト設計

開発機は、低GWP冷媒 HFO-1233zd(E)を使用しており、これは使用圧力帯が負圧となる低压冷媒に分類される。低压冷媒は有資格者による取扱いが不要なことから導入ハードルが低い。一方、ターボ冷凍機で使用する温度帯ではガス体積が大きいという特徴を有しており、機械が大型化する技術的問題がある。開発機では、従来機データから設計データをアップデートすることで、

\*1 三菱重工サーマルシステムズ株式会社 大型冷凍機技術部 課長 技術士(機械部門)

\*2 三菱重工サーマルシステムズ株式会社 大型冷凍機技術部

従来機のコンパクト性を維持しつつ、更なる高性能化を達成した。その際に採用した技術概要を以下に示す。

## 2.1 冷媒流路の最適化による性能向上

ターボ冷凍機の性能を向上させるにはいくつか重要な要素があるが、熱交換器では、冷媒を熱交換器内へ均等に分配することや冷媒流路の圧力損失低減が、低コストで高性能を実現する手法となる。

ターボ冷凍機は冷媒の潜熱を利用するため、機内で気液二相状態になっている領域が多く存在する。低压冷媒はガスの体積が大きく、即ちガスの密度が小さいため、気液二相流れでは気相部と液相部にはたらく慣性力に大きな差が生じ、流れの偏りが発生する。例えば、蒸発器へ冷媒を供給しようとする時、慣性力の大きい液相と小さい気相が偏って分布するため、均等にならない。そこで従来機の構造と流況を再分析し運転実績データと比較することで、液相の慣性力を均すクッションの役割を担う部品の形状と配置を最適化した。これにより、蒸発器の熱交換効率を向上させることができた。

蒸発器から圧縮機への冷媒流路では、同様に解析と実績データの比較により冷媒流れに沿うよう流路形状を修正、圧力損失を約 78% 低減し性能を向上した。

## 2.2 運転データベースを基にした機体のコンパクト化

ターボ冷凍機をコンパクトにするために最も容積の大きい蒸発器に着目した。コンパクト化に伴い容積や流路が小さくなるため、機内の冷媒流速が大きくなる。蒸発器を小さくしすぎると冷媒が液滴として圧縮機に吸い込まれ、圧縮機が損傷する危険性がある。そこで、蓄積した運転データから圧縮機に液滴が吸い込まれないためのクライテリアを精査することで、より高い流速での液滴抑制を実現した。具体的には蒸発器上部に空間を設け、流れを均質にする内部品の配置及び構造を工夫することで、蒸発器全体を最小化できた。その他の主要な構成要素を従来機から引き続き採用することで、信頼性を保ちつつコンパクトに仕上げている。

# 3. 従来機・市場機との比較

## 3.1 従来機 ETI-Z との比較

開発機は従来機 ETI-Z のコンパクト性を維持しつつ高性能化を実現している(表 1)。JIS 条件(冷水入口 12℃/出口 7℃, 冷却水入口 32℃/出口 37℃)における成績係数<sup>\*1</sup>(COP: Coefficient of Performance)は、従来機 ETI-Z と比較して最大 12% の性能向上を達成した。開発機シリーズにおける最高 COP は 6.52 となる(図 1)。

表1 最大能力における従来機との性能比較

	従来機	開発機
冷凍機型式	ETI-Z70	ETI-Z73
冷媒	HFO-1233zd(E)	
冷凍能力	700 USRt (2461 kW)	730 USRt (2567 kW)
冷水温度	in 12℃ ⇒ out 7℃	
冷水流量	422.3 m <sup>3</sup> /h	440.4 m <sup>3</sup> /h
冷却水温度	in 32℃ ⇒ out 37℃	
冷却水流量	502.3 m <sup>3</sup> /h	517.8 m <sup>3</sup> /h
消費電力(圧縮機 1 台当たり)	222.6 kW	214.2 kW
COP(圧縮機 2 台分)	5.52	5.99
IPLV <sup>*2</sup>	8.410	8.663
長さ×幅×高さ	4.3 m×2.0 m×2.1 m	4.9 m×2.0 m×2.1 m
(参考)シリーズ能力範囲	圧縮機 1 台機:150~350 USRt 圧縮機 2 台機:350~700 USRt	圧縮機 1 台機:150~370 USRt 圧縮機 2 台機:370~730 USRt

※両者の最大冷凍能力で比較

※1: 冷凍能力を消費電力で割った値。COP が大きい程消費電力が小さく性能が良い。

※2: 負荷の異なる 4 点の COP に年間での発生頻度を重み付けして加算した値。値が大きい程ランニングコストが小さい。

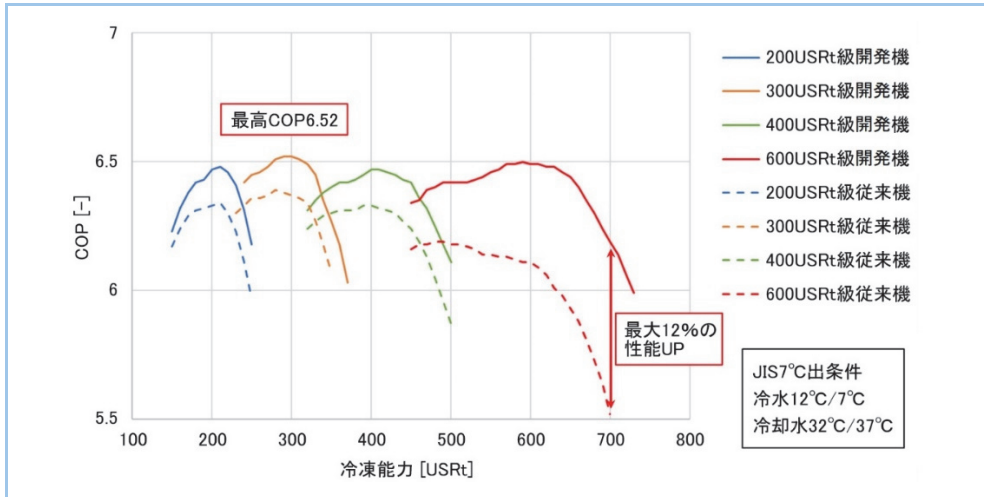


図1 従来機との定格性能(COP)比較

### 3.2 市場機との比較

一般的にターボ冷凍機の性能を向上させるには、圧縮機の効率向上や機械損失低減、熱交換器の伝熱面積拡大が必要となり機械の設置面積が大きくなる。しかし開発機では、2章で示した当社技術を用いて、高い性能と小さな設置面積を両立した(図2)。市場機と比較すると最大約60%コンパクトに設計している(図3)。

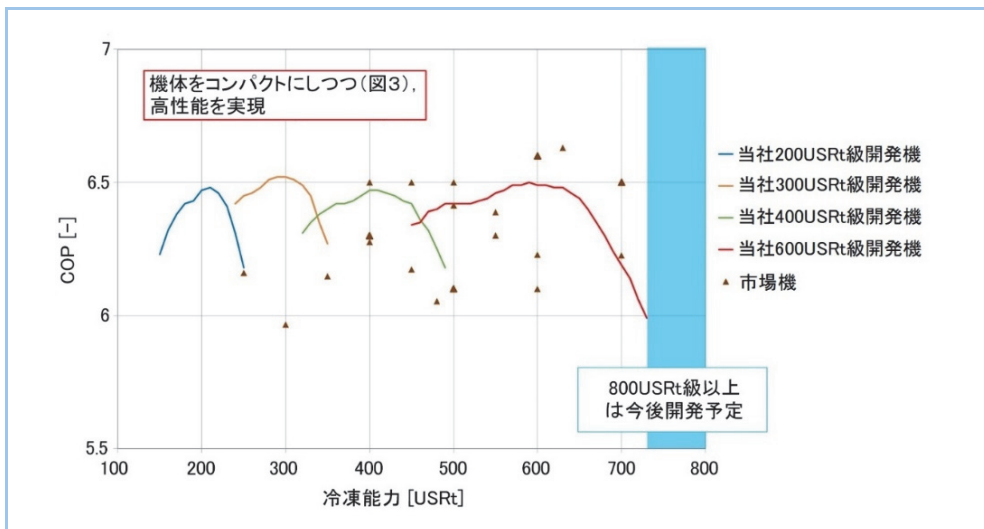


図2 R1233zd(E)適用市場機と当社開発機定格性能(COP)比較

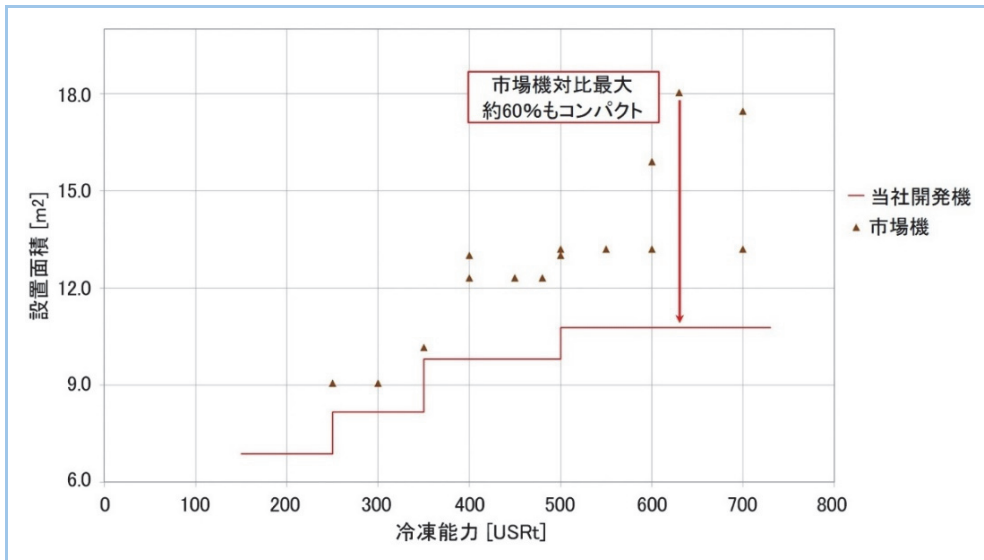


図3 R1233zd(E)適用市場機と当社開発機の設置面積比較

## 4. まとめ

近年大きく注目されている環境諸問題に対応すべく、当社は本報で紹介した開発機でより省エネ性を重視した冷熱ソリューションを提示する。開発機は市場機と比較してコンパクトな設置面積と、当社従来機からの大幅な性能向上を実現した。限られたスペースで最大限の冷熱需要を満たすことができ、どのような市場にもマッチするターボ冷凍機である。

開発機は現状 150～730 USRt (1 USRt = 3.516 kW) までの容量ラインアップだが、今後より大容量へ展開し、国内外の様々な市場ニーズに対応できるよう、開発を推進していく。

## 参考文献

- (1) 上田憲治ほか, 地球温暖化防止に貢献する低 GWP 冷媒適用ターボ冷凍機“ETI-Z シリーズ”, 三菱重工技報, Vol.52 No.4(2015) p.87～91