

日本冷凍空調学会賞 技術賞

# 高効率ターボ冷凍機 GART, GART-I シリーズ

High Efficiency Centrifugal Chiller GART, GART-I Series

## 1. はじめに

近年、ターボ冷凍機は地球温暖化問題への対策のため、HFO系の低GWP<sup>1</sup>冷媒を適用した新しい機種が開発・提案されている。しかし、冷媒価格が高く供給体制が十分でないなど、全面的にHFC冷媒の代替となるに至っていない。

また、微燃性を有する冷媒は、リスクアセスメントによる安全性評価が欠かせない。さらに、冷媒転換するためには各構成機器の基本設計からの見直し、エラストマー材料や潤滑油との適合性、設計変更に伴う製造手法の確立、検証などが多岐にわたり、市場全体に代替機種が供給されるには時間が必要である。

当社もここ数年、低GWP冷媒に対応した製品開発、安全性評価に取り組んでいるが、並行して今まさにあるターボ冷凍機市場の高性能・高機能・コンパクト化へのニーズに対応した現行冷媒HFC-134aを採用した機種の開発が必要であると考えた。そこで、最新技術とアイデアを盛り込み、高性能・コンパクトなGART, GART-Iシリーズを製品化した。

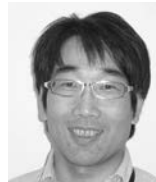
## 2. 高効率化とコンパクト化を両立するための技術

### 2.1 圧縮機

圧縮機はターボ冷凍機の性能を決定する重要な要素である。GARTシリーズでは機械加工オープンインペラ(羽根車)を2枚採用しているが、圧縮機の高効率化およびコンパクト化を図るため、羽根車は前縁形状などの翼形状を見直し、大風量・小径化したより高効率な空力形状とした。また、1段入口ガイドベーンのリンク形状を改良し、稼働域を従来シリーズ機対比で増加させることにより、良好な制御性と大風量特性を両立した。さらに、増速歯車周速の抑制と軸受の小径化による機械損失低減、シール部の軸径小径化による漏れ損失低減を図った(図1)。以上より、高効率化を図りながら、30%小型化と35%の軽量化を達成した。

### 2.2 熱交換器

シェル&チューブ型熱交換器である蒸発器、凝縮器のチューブには高性能薄肉の伝熱管を採用するとともに、伝



上田憲治\*  
Kenji UEDA



和島一喜\*  
Kazuki WAJIMA



八幡直樹\*  
Naoki YAWATA



長谷川泰士\*  
Yasushi HASEGAWA



宮本 潤\*  
Jun MIYAMOTO

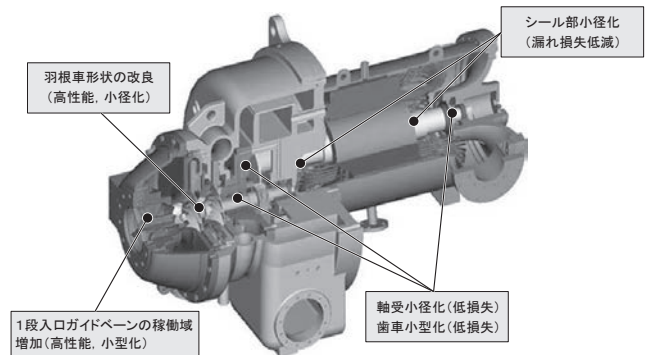


図1 高効率化・コンパクト化のポイント

熱管本数、伝熱管長さ、伝熱管径の組合せを見直して伝熱面積を最小化するように設定し、従来機対比で伝熱管本数の低減、円筒シェルの径の小径化を可能とした。また、サブクーラ、エコノマイザには高性能のブレイジング型プレート熱交換器を採用し、特にエコノマイザは自然膨張式のフラッシュタンクからプレート熱交換器に変更したことにより、その容積を50%以上削減し、充填冷媒量を低減した。

### 2.3 操作パネル

操作パネルは機器配置上操作しやすい位置となるよう、要望に応じて設置されるが、配置設計は最適とならない場合があった。これは、従来の操作パネルは制御部(ボックス)と一体であり、非常に大きなものであるため、容易に配置変更できなかったからである。そこで、操作パネルと制御部を分離し、寸法の大きくなる制御部は機器構成上都合の良い位置へ固定し、顧客の要望に応じて配置を変更する小さな操作パネルは従来に比べて自由に配置できるようにした(図2)。

\*三菱重工業㈱

Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

原稿受理 2016年3月8日

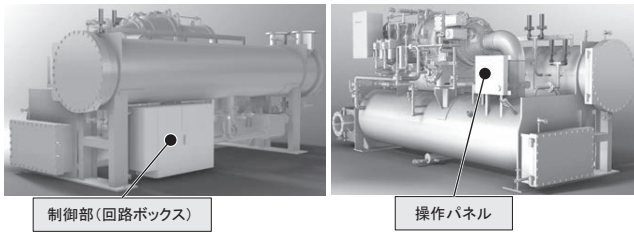


図2 制御部と操作パネル

### 2.4 ユニットのコンパクト設計

各構成機器のコンパクト化を行うとともに、構成機器を配置する際の上下方向の空間を活用し、主要構成機器の空間占有率（＝主要構成機器が占める容積÷冷凍機全体の空間容積）を大きくするコンパクト設計を行った。従来機は、蒸発器、凝縮器を下部に設置し、圧縮機を凝縮器上に、サブクーラ、エコマイザおよび操作盤は蒸発器、凝縮器から外寸がはみ出る位置に配置されていたが、GARTシリーズでは蒸発器上に圧縮機を設置し、凝縮器を圧縮機横に、凝縮器の下にサブクーラ、エコマイザ、制御部を設置することにより、主要構成機器の空間占有率を向上させた。この結果、ユニットは容積で最大約40%小型化した（表1）。

表1 従来機種との空間容積・空間占有率の比較

	AART-90	GART-110	低減率
主要機器空間容積 (m <sup>3</sup> )	14.8	11.1	25%
冷凍機空間容積 (m <sup>3</sup> )	52.6	31.3	41%
空間占有率	28%	36%	-

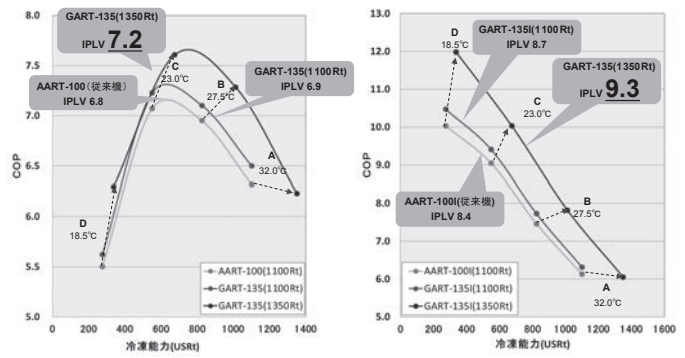
## 3. GARTシリーズの特長

### 3.1 高効率特性

従来機はJIS条件（冷水入口12℃／出口7℃，冷却水入口32℃／出口37℃）で最高COP<sup>2</sup>6.4，GARTシリーズでは最高COP 6.5を達成した。部分負荷性能は，固定速機でIPLV<sup>3</sup> 7.24，インバータ機でIPLV 9.29で，従来機比それぞれ約6%，約11%向上している（図3）。GARTシリーズでは，圧縮機容量制御機構である入口可変ガイドバーンの制御域拡大により，大容量側制御域を拡大し，結果的にピーク効率点を実用域にシフトすることで，実運用上の性能を示すIPLVが大幅に改善できた。

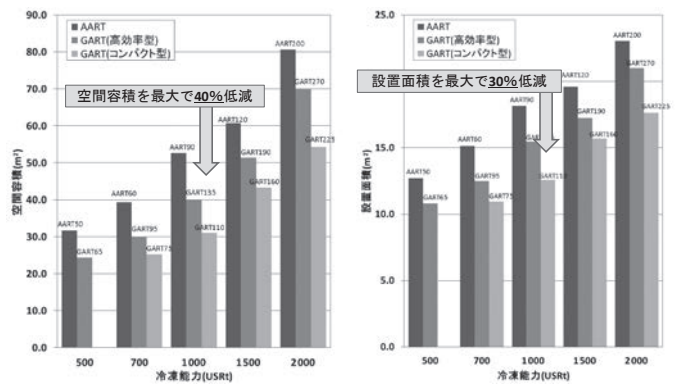
### 3.2 コンパクト化

前述のとおり各構成機器を小さくし，さらに蒸発器，凝縮器を幅方向の最外側として，サブクーラやエコマイザ，制御部である回路ボックスが外側にはみ出さないユニット配置とした。この結果，従来機種との比較で空間容積は最大約40%の低減，全長と全幅の投影面積である設置面積で最大約30%低減した。これらはいずれも業界最小レベルである（図4）。



(a) 固定速機 (b) インバータ機

図3 GARTシリーズのIPLV



(a) 空間容積 (b) 設置面積

図4 従来機種との空間容積・設置面積の比較

### 3.3 軽量化・省資源化

圧縮機・熱交換器などの各構成要素のコンパクト化は，使用部材の低減に大きく寄与した。また，従来機対比で最大26%軽量化を達成した。さらに，冷媒充填量低減を狙い，蒸発器の小型化，エコマイザのプレート熱交換器化，一部冷媒液配管の小径化と配管長の短縮により，冷媒充填量は従来機対比で最大39%低減した。

## 4. まとめ

GARTシリーズでは高効率化，大幅なコンパクト化・軽量化を達成した。高効率化による運用面での省エネ・省コストはもちろんのことながら，軽量化により資材物量，製作時の各種エネルギー資源消費の抑制にも大きく貢献できる。

本シリーズは新冷媒に代替されるまでのリードタイムにおいて，HFC-134aによる環境負荷の少ないソリューション提案ができるものとして，世界市場に高効率とコンパクトを強く訴求していく。現状の機能に満足せず，今後も顧客の役にたてるように，更なる高機能化への追及を行っていく所存である。

- 1 GWP：Global Warming Potential，地球温暖化係数
- 2 COP：Coefficient of Performance，成績係数
- 3 IPLV：Integrated Part Load Value，期間成績係数