

# インバータ標準搭載高効率ターボ冷凍機 “eco ターボ ETI シリーズ”

High Performance Variable Speed Control Centrifugal Chiller “eco Turbo ETI Series”



上田 憲治  
Kenji Ueda

長谷川 泰士  
Yasushi Hasegawa

仁田 雅晴  
Masaharu Nitta

古賀 淳  
Jun Koga

## 1. はじめに

近年省エネルギーや CO<sub>2</sub> 排出量削減への社会的関心が高まり、高効率ターボ冷凍機は工場熱源システムなどの産業用のみならず、ビル空調などの一般空調用においても広く使われるようになってきている。ターボ冷凍機は大容量のヒートポンプ機器であるがゆえにエネルギー消費量が多く、CO<sub>2</sub> 排出量削減の観点から、高性能化を目指した技術開発、製品開発は非常に重要とされてきた。また一方で、多くの熱源設備に対して幅広く導入されるようになると、設置が容易で使いやすい製品を開発することも重要となってきた。

本論文では、最近の熱源機器の動向・ニーズを説明し、2008 年5月に発売を開始した新型のインバータ標準搭載高効率ターボ冷凍機“eco ターボ ETI シリーズ”について紹介する。

## 2. ターボ冷凍機市場と製品コンセプト

空調用途では、第一次石油ショック以降進められた夏期ピーク電力の抑制、電力負荷平準化の観点から大容量熱源機として油・ガスを燃料とする吸収冷凍機が多く用いられてきた。しかし、一次エネルギーに換算し CO<sub>2</sub> 排出量を算定すると吸収冷凍機はターボ冷凍機と比較して約 1.9 倍<sup>注)</sup>に相当することになり、省エネルギーと CO<sub>2</sub> 排出量削減の観点からはこれまでの考え方を見直すことが必要となっていた。一方市場に目を向けると、大型冷凍機全体の国内出荷台数市場がほぼ横ばいであるにもかかわらず吸収冷凍機は減少の傾向にあり、市場は敏感に高効率ターボ冷凍機を選択していることが確認される。ターボ冷凍機のあらたな役割は、吸収冷凍機の代替熱源機であること、つまり、業務用空調用途中心であって冷凍能力で約 200USRt クラスをデザインポイントとした製品である。設置場所も工場建屋から一般建物へ変わり設置面積のコンパクト化、搬入重量の軽量化を一層進めることが必要となる。また、ここ数年の高性能化の考え方は、定格条件における成績係数(以下 COP)ではなく、年間運転の大半を占める部分負荷条件や低冷却水温度条件における性能を考慮した期間効率へと変化している。当社でも、年間のエネルギー消費量を効果的に削減できるインバータによる可変速制御を用いたシリーズを2003年からラインアップしており、現在の AART-I シリーズに至っている。新型のターボ冷凍機においてもインバータを用いた可変速制御を標準で装備する必要があると考えた(図1)。

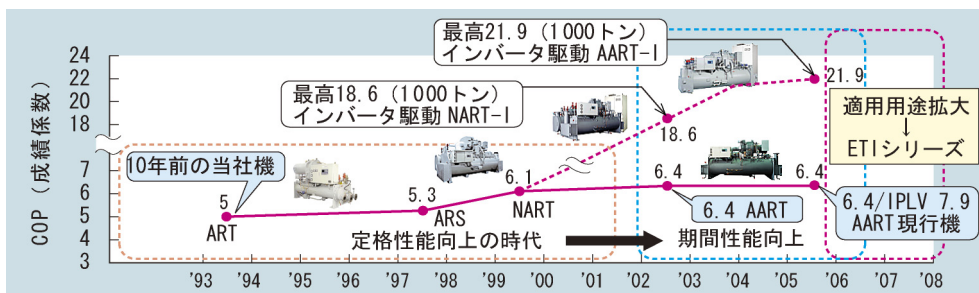


図1 ターボ冷凍機の変遷

以上の市場動向・ユーザーニーズから、①小容量対応(150~500USRt)、②高性能(インバータ標準装備)、③設備導入性向上(コンパクト、軽量化)、を製品コンセプトとした新型冷凍機の開発を行った。

注)ターボ冷凍機COP6.4, 吸収冷凍機COP1.35 東京電力㈱2004年実績より発電効率 41.9%送電ロス 4.7%にて算定

### 3. ETI シリーズ詳細仕様

#### 3.1 高性能設計

高効率大型ターボ冷凍機で実績のある高性能化を実現する技術要素をすべて採用し、さらにそれぞれを精査することで小型化と高性能化を両立させた。以下代表的な要素を示す。

- ・2段圧縮2段膨張サブクールサイクル
- ・高精度機械加工羽根車
- ・低損失増速歯車, 低損失軸受
- ・1段+2段ベーン制御機構, インバータによる圧縮機可変速制御を含む6要素数値演算制御による負荷追従制御と冷却水温度追従制御
- ・能力 10%以下の超低負荷制御オプション対応

一般的に冷凍機は小容量になると部品精度や組立て精度の相対的低下などに起因する性能低下が生じるが、以下の技術的アプローチにより性能低下幅を最小化した。

- ・各空力要素部品の加工精度の再評価と公差の見直し, 表面粗度の基準の見直し
- ・部品組み合わせ時に生じる基準隙間の見直し
- ・各補機の仕様・容量の見直し

型式 ETI-20 (タイトル欄の写真) 及び ETI-40 (図2) の仕様を表1に示す。定格 COP はインバータの入力電力と油ポンプ, 制御電源を含んだ消費電力基準で COP6.0 と 200USRt クラスでは当社従来機と比較して、最も高性能を有する。さらに実質的な年間消費電力の基準となる期間効率では IPLV10.2, 年間冷熱用途の目安となる部分負荷時の最高 COP は 19.1 といずれも高い性能となっている (図3)。



図2 ETI-40 の外観

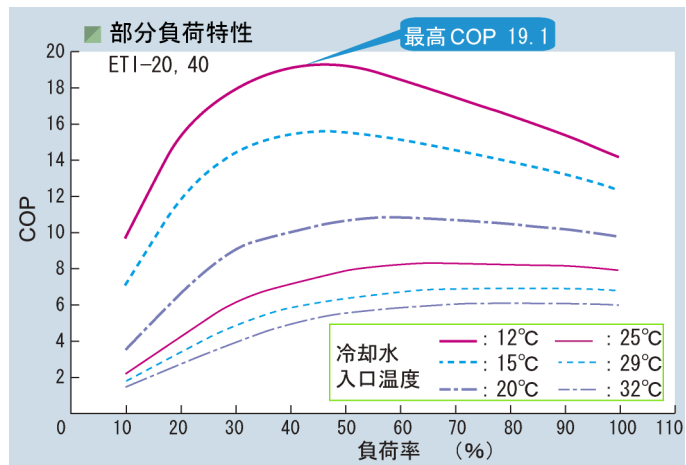


図3 ETI-20, 40 部分負荷特性

表1 ETI-20, ETI-40 の仕様値

型式		ETI-20	ETI-40
冷凍能力	(USRt)	200	400
	(kW)	703	1 407
冷水温度 (°C)		12 in/7 out	12 in/7 out
冷水流量 (m³/h)		120.7	241.3
冷却水温度 (°C)		32 in/37 out	32 in/37 out
冷却水流量 (m³/h)		142.6	285.2
消費電力 (kW)		116.6	233.7
法定冷凍トン		87.3	174.6
COP		6.0	6.0
寸法 (mm)		長さ 3 700×幅 1 500×高さ 1 800	長さ 4 500×幅 2 000×高さ 2 200
冷媒		HFC-134a	

### 3.2 コンパクト・軽量設計

ETI-20 に代表される型式では圧縮機1台を用いて 150USRt~250USRt の能力範囲に対応しており、能力に応じた部品構成により型式ETI-15, 20, 25 としている。ETI-40 では圧縮機2台を用いて、同様に 300USRt~500USRt に対応しており、型式ETI-30, 40, 50 としている。どちらも同じ圧縮機を使用しコンパクト化を図った。

(1) コンパクト・軽量の圧縮機

- ・インバータ専用高速モータを採用して電動機と歯車を小型化した。
- ・圧縮機から油タンク、油ポンプを別置とし、圧縮機の重量・体積を小さくした。

(2) コンパクト・軽量のユニット

- ・インバータユニットを冷凍機本体に組み込み、別置インバータ盤を不要とした。
- ・補機や小型容器を凝縮器の下部に配置した。
- ・熱交換器は小容量 250USRt, 500USRt クラスにあわせた最適設計とした。

以上の最適設計により当社同容量現行機と比較して ETI-20, ETI-40 の設置面積をそれぞれ約 40%, 約 20% 低減し、機器重量もそれぞれ 49%, 27% 低減することができ大幅に導入しやすいものとなっている。

### 3.3 制御性・操作性の向上

ETI シリーズでは主に操作性・視認性の向上と基本機能の充実を図った当社ターボ冷凍機用の最新操作パネルを採用した。

(1) 操作性・視認性の向上

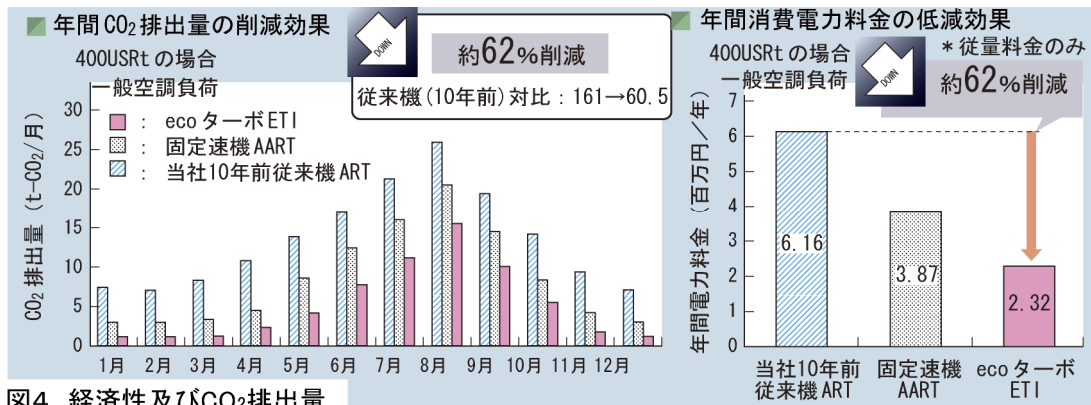
- ・ 10.4 インチ大型カラー液晶表示を採用し、明るく鮮やかなデジタル表示と大きな文字を実現し視認性を向上させた。
- ・ 表示専用 CPU を設け滑らかな描画を実現し、操作時のストレスを低減した。
- ・ 自動液晶消灯モードに加え、人感センサーによる自動液晶点灯機能を設け、操作開始時にパネルに触れることなく液晶を表示することにより、誤操作の可能性を最小化し、オペレータの操作時ストレスを低減した。

(2) 基本機能の充実

- ・ 主制御 CPU を高速化し、液晶表示負荷を表示専用 CPU に移すことにより、更に高度な演算処理を可能とした。
- ・ RoHS 指令、鉛フリーの環境規制に対応した。

## 4. 経済性と CO<sub>2</sub> 排出量評価

ETI シリーズと当社の AART シリーズ (現行固定速機)、ART シリーズ (約 10 年前に設置された当社機) について比較した結果を図 4 に示す。年間の CO<sub>2</sub> 排出量、電力料金の試算では、一般空調負荷で既設機と比べ 62% 削減が見込まれる。ここで注目すべきは現行高性能機 AART シリーズ (固定速機) と比べても一般空調負荷において年間消費電力で大きく下回る点であり、インバータを標準装備した有効性が確認できる。



## 5. まとめ

ETI シリーズは市場ニーズを反映し、小容量・コンパクト化を実現した高性能ターボ冷凍機である。これまでとは異なる概念で小容量かつインバータを標準装備する設計とするとともに、実績のある高性能化技術を高度にバランスさせ小容量領域に最適設計を行ったことで信頼性の高いシリーズとなっている。性能特性は大容量の高性能ターボ冷凍機と比べ同等又はそれ以上であり、従来の産業用用途や大容量の業務用用途の空調に加え、小規模の空調システムを持つお客様や小容量機を必要とするお客様に対しても、大幅な省エネルギーと CO<sub>2</sub> 排出量削減を提供できる熱源機になっている。

今後一層インバータターボ冷凍機は導入しやすく使いやすい機種として汎用化してくると思っている。ETIシリーズはお客様のニーズにあった第一弾であり、市場の求める製品開発を推進してゆく所存である。

## 参考文献

- (1) 期間効率を最大化する新型ターボ冷凍機, P35~39, 三菱重工技報 Vol. 45 No. 2 (2008)

## 執筆者紹介



上田憲治  
冷熱事業本部  
大型冷凍機部  
設計課  
主席



長谷川泰士  
冷熱事業本部  
大型冷凍機部  
設計課



仁田雅晴  
冷熱事業本部  
大型冷凍機部  
設計課



古賀淳  
㈱菱友システム技術  
研究システム2部  
専門主務