

中規模空調の大幅な省エネを可能とするマイクロターボシリーズ

"Micro Turbo Series" Vastly Saves Energy to Midle Sized Central Air-Conditioning

関 亘^{*1}
Wataru Seki

上田 憲 治^{*2}
Kenji Ueda

市岡 丈 彦^{*3}
Takehiko Ichioka



セントラル空調用熱源機として大型機で実績のあるターボ冷凍機の最新高性能技術を適用し、小型高性能ターボ冷凍機マイクロターボシリーズを開発した。水冷冷房専用シリーズと空冷ヒートポンプシリーズをラインアップし、スクリーチャー及び吸収冷凍機では達成できなかった高性能特性により、大幅な省エネルギー、CO₂排出量削減を可能とした。

1. はじめに

大規模セントラル空調の熱源機であるターボ冷凍機は、製品ニーズに2つの傾向がある。大型化と高性能化である。半導体や液晶、CCDといった特定産業の設備投資に牽引される形で工場用途の大型容量機の需要が大きく伸び、平成12年以降に平均容量は500 Rtを超えるレベルに達した。さらに環境面で数値化し削減が必要となったCO₂排出量やランニングコストの低減が両輪となり高性能化のニーズが顕著になった。そこで1999年より大型ターボ冷凍機は高性能化に全力で取り組み、AARTシリーズやNART-Iシリーズなどを商品化、世界最高レベルの性能を達成した。一方、中小規模セントラル空調の熱源機の主流は、スクリーチャーと吸収式冷温水器である。これまで事務所ビルや病院、学校を中心にヒートポンプが、工場、商業施設などを中心に冷房専用チラーが導入されてきた。

しかし大型ターボ冷凍機との性能格差は著しいものがあり満足のいく性能を提供できていない状況であった(図1)。中小規模のセントラル空調の中でも、ユーザにより求められているものは2分される。事業主と管理するユーザが同一である病院、工場、商業施設、自社ビルは大規模セントラル空調と同様、ランニングコスト低減とCO₂削減が可能な高性能化が重要である。一方事務所ビルや学校などは、パッケージエアコンやガスヒートポンプなどの個別分散方式の空調と同様に利便性に重きがおかれている。そこで当社が得意とするターボ冷凍機の高性能化技術を導入し、画期的な超小型高効率ターボ圧縮機を開発し、高性能小型熱源機“マイクロターボ”として商品化した。また当社パッケージエアコンなどの経験をいかし、操作のしやすさを制御面に反映し利便性も追求した。

さらにマイクロターボは冷媒にオゾン層破壊係数(ODP)がゼロのHFC134aを使用しており、地球環

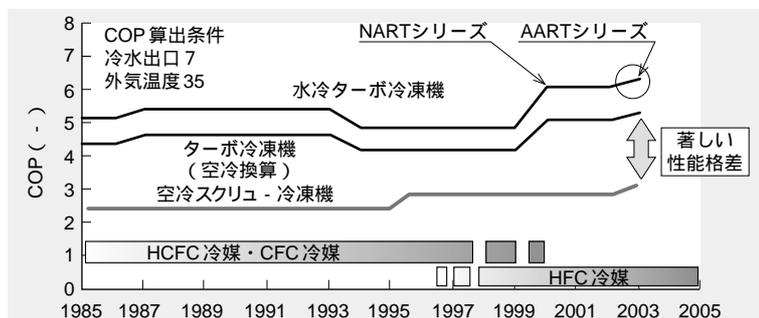


図1 ターボ冷凍機とスクリーチャーのCOPの変遷 大型ターボ冷凍機と、スクリーチャーのCOPの変遷を示した。機器が異なるため、ターボ冷凍機をスクリーと同等の条件(冷却塔や冷却水ポンプなどの補機動力を含めた)に換算し比較している。



図2 小型高効率ターボ圧縮機の外観 すべてのマイクロターボシリーズに適用するターボ圧縮機のユニット外観。

^{*1} 冷熱事業本部大型冷凍機部設計課長

^{*2} 冷熱事業本部大型冷凍機部設計課

^{*3} 技術本部高砂研究所流体研究室

境の保護にも配慮している。

2. マイクロターボの特徴

マイクロターボシリーズは、水冷冷房専用機Wシリーズ、空冷冷房専用機Aシリーズ、ヒートポンプSシリーズなどのラインアップとし、いずれも小型高効率ターボ圧縮機を採用している（図2）。

2.1 小型高効率ターボ圧縮機

(1) 高性能羽根車

ターボ圧縮機の適用できる範囲は従来100 Rt以上とされていた。小容量化に際してはターボ圧縮機の主要部品の小型化が必須となる。例えば羽根車、軸受や入口ベーンなどで、とくに羽根車や羽根車と組み合わされる静止側部品の形状は空力性能、漏れ損失に大きく影響し、形状精度確保が必要不可欠である。そこでNC 5軸加工機による全面削り出し加工を採用し各部の形状や寸法精度を確保した。機械加工は精密鋳造と比較し高コストとなるが、素材に加工性のよい高強度アルミ合金を採用し、加工プログラムを最適化することで切削時間短縮とコスト低減を図った（図3）。

(2) 低損失・長寿命軸受

従来大型ターボ圧縮機のオーバホールインターバルは50,000時間又は7年のいずれか短い間隔で推奨しており、これは消耗部品である転がり軸受の寿命から決定されていた。本圧縮機では、軸受荷重や軸受作動環境に配慮した長寿命設計、検証要素試験を実施することにより軸受寿命はユニット機器寿命を超えオーバホール不要とした。毎年の油とフィルタの交換点検は必要となるが、高価なオーバホールが不要となることによりLCC（ライフサイクルコスト）の低減が可能となった。

さらに大型ターボ圧縮機の潤滑設計を適用し、損失の低減を図った。

(3) 可変速制御

ターボ冷凍機の大きな特徴として、羽根車の回転数制御による圧縮比の可変制御がある。これは圧縮



図3 小型高効率羽根車 小型高性能ターボ圧縮機の主要部品である、1段羽根車（左）及び2段羽根車（右）の外観。

比の固定された容積式圧縮機であるスクルー式やレシプロ式にない特徴であり、外気温度追従型高性能機となる特性である。

空気熱交換器を備える空冷冷房専用機Aシリーズや、ヒートポンプSシリーズなどでは、冷却塔を介さず直接外気と熱交換するため、外気温度の変動に伴う圧縮比の変動が大きい。従来機種であるスクルーチラーが外気温度に十分追従できないのに比べ、可変速制御によるターボ圧縮機のランニングコスト低減効果は大きい。可変速制御技術はNART-Iシリーズで実績のあるものを転用し、マイクロターボシリーズに標準装備した。

(4) 静音設計

水冷冷房専用機Wシリーズでは、機側で会話が可能レベルである72dB以下（175 kW機）を圧縮機の防音なしで達成した。

これは従来スクルーチラーでは達成しえないレベルであり、高価な機械室の騒音対策コストの低減に有効である。

2.2 水冷冷房専用機Wシリーズ

大型ターボ冷凍機と同様に冷却水を使用した冷房専用機の小容量機種としてWシリーズをラインアップした。

冷凍能力は単機で175 kW、250 kW、350 kW、500 kWの4機種を準備し順次発売する。それぞれは4台まで台数制御が可能である。350 kW機の外観を示す（図4）。

性能は定格条件^(注1)にてCOP 5.7（175 kW機）を達成し当社従来スクルーチラーに対し41%性能向上している。

さらにNART-Iシリーズで実績のあるインバータによる可変速制御を標準装備し、部分負荷領域では最高COP 14.1を達成している（図5）。インバータは機器付属盤となっており省設置スペース設計とした。



図4 水冷冷房専用機Wシリーズ（MTWC350）の外観 冷凍能力350 kWが出力可能な型。

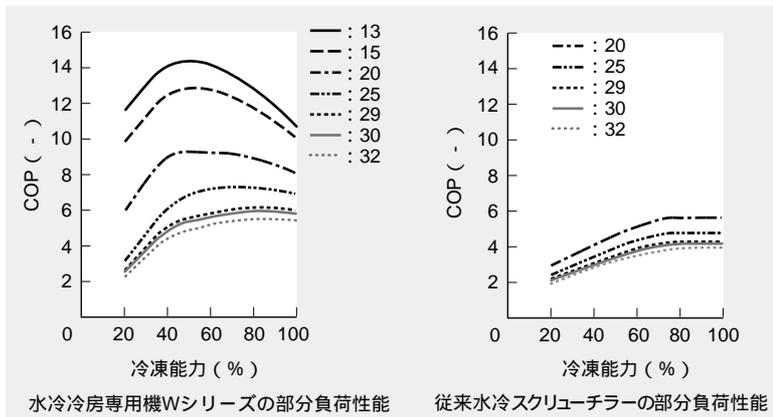


図5 水冷冷房専用機Wシリーズの性能曲線 水冷冷房専用機Wシリーズの性能曲線(左)を従来水冷スクルーチラーの性能曲線(右)と比較。

2.3 ヒートポンプSシリーズ

Sシリーズは冷房運転時に使用する空気熱交換器に東京電力(株)、中部電力(株)、関西電力(株)と共同開発した成果を適用したヒートポンプである(図6)。

(1) 高性能ユニット

冷房時、空気熱交換器の空気と接するフィン表面に冷却水を散布することにより熱交換器性能を飛躍的に向上させている。小型圧縮機の高性能化とあいまって、冷房COP 5.0^(注2)を達成した。これは2003年の業界トップランナをさらに47%上回る性能である。

空冷ユニット高性能化では、補機消費電力低減も重要である。そこでSシリーズに代表される空冷マイクロターボシリーズでは、ファンの翼設計の最適化と、ファン駆動用モータのDCブラシレス化を行い、消費電力の低減を可能とした。部分負荷性能線を当社従来ヒートポンプと比較したものを示す(図7)。

(2) 耐久性能

耐久性能は、主に圧縮機のオーバーホール、ファン駆動モータなどの補機交換、ユニットの発錆を指している。圧縮機のオーバーホールは前述した。ファン駆動用モータの耐久性能は冷却水散布とすることにより必要空気風量を60%程度に減少させ、所要回転数を抑制することによりモータ寿命を実質2倍以上とした。

ユニットの発錆では空気熱交換器に散布する冷却水管に注意を払い、カルシウム成分やシリカ成分の析出物の防止や、防錆を図った。

3. 経済性の評価

(1) 水冷冷房専用機Wシリーズの評価

冷房専用機的主要な用途である年間冷房運転の工場



図6 ヒートポンプSシリーズの外観 ヒートポンプSシリーズのMTSH175の単機外観。

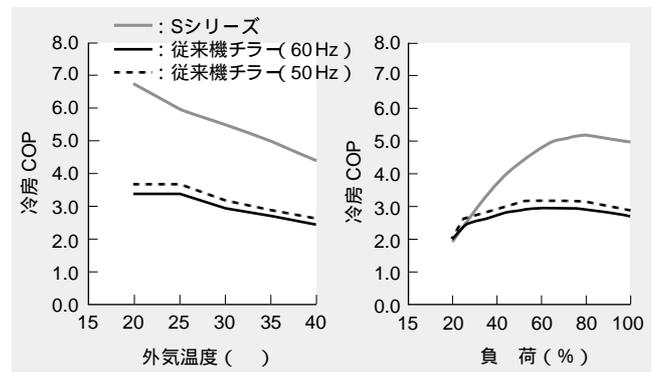


図7 ヒートポンプSシリーズの性能曲線 ヒートポンプSシリーズの冷房性能曲線を従来空冷スクルーチラーの冷房性能曲線との比較。

空調負荷について、経済性の比較を実施した。

COP 5.7^(注1)の本機と同容量の従来スクルーチラーCOP 4.1^(注1)の比較である。外気温度は東京地区の気象データを採用した。

評価の結果、年間37%の電気料金の低減が可能となる(図8)。CO₂排出量に直結するエネルギー消費量は、夏期約30%、中間期から冬期にかけて約50%を上回る大幅な低減効果が得られる。

(2) ヒートポンプSシリーズの評価

ヒートポンプは従来のスクルーチラーの代替需要だけでなく、吸収式冷温水器との代替が期待されるため、3者の比較とした。

ヒートポンプでは冷暖房が必要とされる事務所ビルを主とする負荷パターンについて経済性評価を実施した。電気料金(基本料金と従量料金)と水道料金(上水・下水)と消費する薬品料金を対象に比較した。外気温度は東京地区の気象データを使用した。

試算結果では、Sシリーズは従来スクルーチラーに比べランニングコストで約30%低減が可能となった。吸収冷温水器と比較しても約22%の低減が可能となった(図9)。

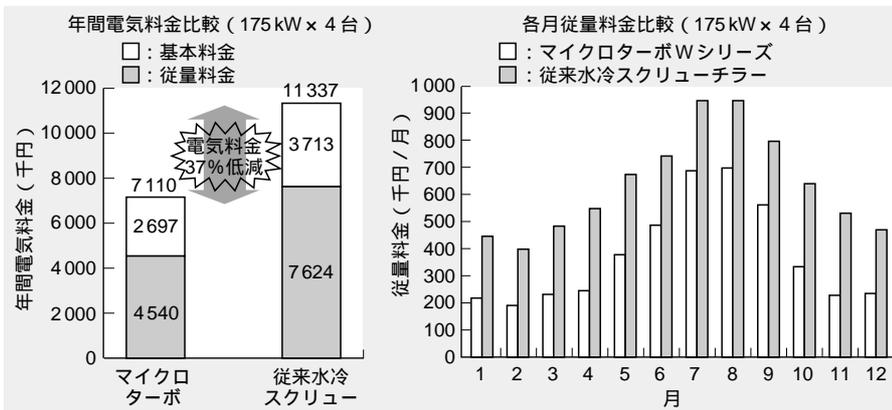


図8 水冷冷房専用機Wシリーズのランニングコスト 700 kWピークの工場熱源を想定した冷房負荷に対して、東京地区外気温度にてランニングコストを評価。

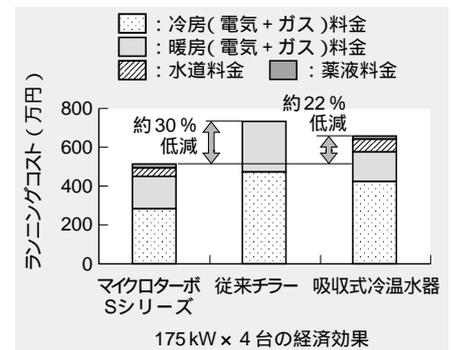


図9 ヒートポンプSシリーズのランニングコスト 4～10月までを冷房、11～3月までを暖房とした一般空調を想定した冷暖負荷に対して、東京地区外気温度にてランニングコストを評価。算定対象は電気料金、上下水道料金、薬液料金。



図10 専用リモコンの外観 標準装備されるリモコンの外観。

4. 高機能制御と利便性の確保

個別分散型空調が伸びた理由に高機能制御と利便性が挙げられる。そこでマイクロターボでも、熱源機操作の利便性を追求した。

(1) マイコン制御盤の採用

マイクロターボシリーズでは、専用の制御基板に、回転数制御などのターボ圧縮機特有の高度な数値演算制御を実装し、運転ボタンだけで省エネルギー運転を可能とした。

(2) リモコンの採用

屋外や機械室に配置されるユニットを屋内から操作・監視ができるように専用リモコンを開発した。リモコンでは起動停止、スケジュール運転設定、冷温水温度設定が可能であり平易な運転が可能である。また圧力・温度などの各種状態量監視、積算記録、故障履歴などを液晶表示させ日々の運転管理や利便性を改善した(図10)。

(3) 台数制御

空冷ユニットは単体機器を追加設置する“モジュール設計”としている。ユニットは複数台となるが、リモコンから見た操作性は1台ユニットとして運転制御され、ユニットごとに冷温水の弁やポンプなどをユニット機器側から制御することを可能としている。

5. ま と め

- (1) HFC134aを採用した高性能小型ターボ圧縮機を開発した。
- (2) 水冷冷房専用機Wシリーズ、空冷冷房専用機Aシリーズ、空冷ヒートポンプSシリーズを開発した。
- (3) 水冷冷房専用機Wシリーズは定格COP 5.7^(注1)を達成し、年間冷房工場負荷で従来機比約37%のランニングコストの低減が可能となった。
- (4) 空冷ヒートポンプSシリーズでは定格冷房COP 5.0^(注2)を達成し、年間冷暖房空調負荷で従来機比約30%のランニングコストの低減が可能となった。
- (5) マイクロターボ専用マイコン制御盤を開発し、大型ターボ冷凍機の高機能制御の実現と、リモコンの標準装備による利便性の向上を図った。

(注1) JIS条件 冷水条件 7 /12 冷却水条件 30 /35

(注2) JIS条件 冷水条件 7 /12 外気乾球温度 35

参 考 文 献

- (1) 関亘ほか、世界最高効率インバーターターボ冷凍機(NART-Iシリーズ)、三菱重工技報 Vol.41 No.1 (2004) p.44
- (2) 上田憲治、超省エネ インバータ駆動ターボ冷凍機、クリーンテクノロジー、日本工業出版(株) Vol.14 No.2 (2004) p.79
- (3) 関亘ほか、超省エネ・高効率インバーターターボ冷凍機 Vol.42 No.2 (2004) p.50
- (4) 川上孝 エネルギーフォーラム、(株)エネルギーフォーラム No.8 (2003) p.106



関亘



上田憲治



市岡丈彦