

特 集 論 文

マイクロターボ冷凍機を用いた
工場空調設備の省エネルギー

Energy Saving Technology for Factory Air-conditioning System by Micro-Turbo Chiller

西 崎 太 真^{*1}
Futoshi Nishizaki西 井 健 一 朗^{*2}
Kenichiro Nishii松 尾 実^{*3}
Minoru Matsuo

年間を通じて温度、湿度を一定に維持する必要がある工場の空調・冷水製造設備に対して、マイクロターボ冷凍機の導入を含む、省エネ改修工事を行った。マイクロターボ冷凍機は部分負荷運転時及び中間期、冬期の低冷却水時にインバータによる主電動機の回転数制御を利用することで消費電力を大幅に削減できる。当社は、本工事の計画から設計、施工、試運転まで一括して受注し、冷凍機の更新以外にも、外気冷房制御や隣接する他棟の冷凍機設備との冷水の共有化等の施策を実施し、年間を通じて大幅な省エネルギーの実績を得た。

1. は じ め に

京都議定書に基づく CO₂ 排出量の削減目標に対して、クリーンルームなど年間を通じて温度、湿度の管理を必要とする設備を持つ工場では、エネルギーコストの多くを占める空気調和設備を省エネルギー化することが重要な課題となっている。

多くの工場では設備の老朽化更新に際して、高効率機器の採用や容量の見直し、制御方法の見直しなどの改良を同時に行うことで省エネルギー化を図っている。通常、これらの工事は“省エネ改修工事”⁽¹⁾と呼ばれ、コスト削減と CO₂ 排出量の削減のための重要な施策の一つとなっている。

本稿では、老朽化した冷凍機設備をインバータ駆動のマイクロターボ冷凍機へ更新すると同時に、配管系統や制御方法の見直しなどの改良工事も並行して実施し、大幅な省エネルギー化を実現した事例を紹介し、その具体的手法及び効果について報告する。

2. 設備の概要

今回対象とした工場では、製品の品質を確保するため年間を通じて室内の温度、湿度を一定値に維持する必要がある。そのために空気調和設備が導入されている。設備は工場の A～D の各棟毎に設置されており、今回省エネ改修工事を実施した B 棟設備は、冷水を生成するためのチラー設備、温水を生成するための蒸気ボイラーと熱交換器設備、温湿度一定の空調空気を

生成するエアハンドリングユニット、それらの機器をつなぐ冷水、温水配管設備とダクト設備から構成されている。設備の概要を図 1 に、主な機器の仕様を表 1 に示す。既存の設備は 45 USRt (1 USRt は約 3.5 kW) の直膨式レシプロチラー 2 台と冷却水設備及びエアハンドリングユニットで構成されていた。今回の工事ではこれらの機器を 100 USRt のマイクロターボ冷凍機 1 台と冷水仕様のエアハンドリングユニット 1 台へ更

表 1 マイクロターボ冷凍機仕様

機器名称	型 式	仕 様	動 力
冷 凍 機	水冷“マイクロターボ冷凍機” MTWC-350	100 USRt 冷 水：7/12℃ 60.5 m ³ /h 圧 損：79.9 kPa 冷却水：32/37℃ 71.9 m ³ /h 圧 損：80 kPa ノズル口径：100 A	61.4 kW 3φ, 200 V インバータ駆動
冷 却 塔	丸型低騒音	100 冷却トン	1.1 kW×2 インバータ駆動
冷水一次ポンプ	片吸込渦巻型	流量：60.5 m ³ /h 揚程：16 mAq	5.5 kW 3φ, 200 V
冷水二次ポンプ	片吸込渦巻型	流量：31.8 m ³ /h 揚程：22 mAq	5.5 kW 3φ, 200 V インバータ駆動
冷却水ポンプ	片吸込渦巻型	流量：71.9 m ³ /h 揚程：19 mAq	5.5 kW 3φ, 200 V インバータ駆動
エアハンドリングユニット	水平型	風量：540 m ³ /min 圧損：10.44 Pa 中性能フィルター	18.5 kW 3φ, 200 V
還気ファン	片吸込シロッコ	風量：540 m ³ /min 圧損：300 Pa	7.5 kW 3φ, 200 V

*¹ 冷熱事業本部大型冷凍機部熱源ソリューショングループ長*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制御システム研究室

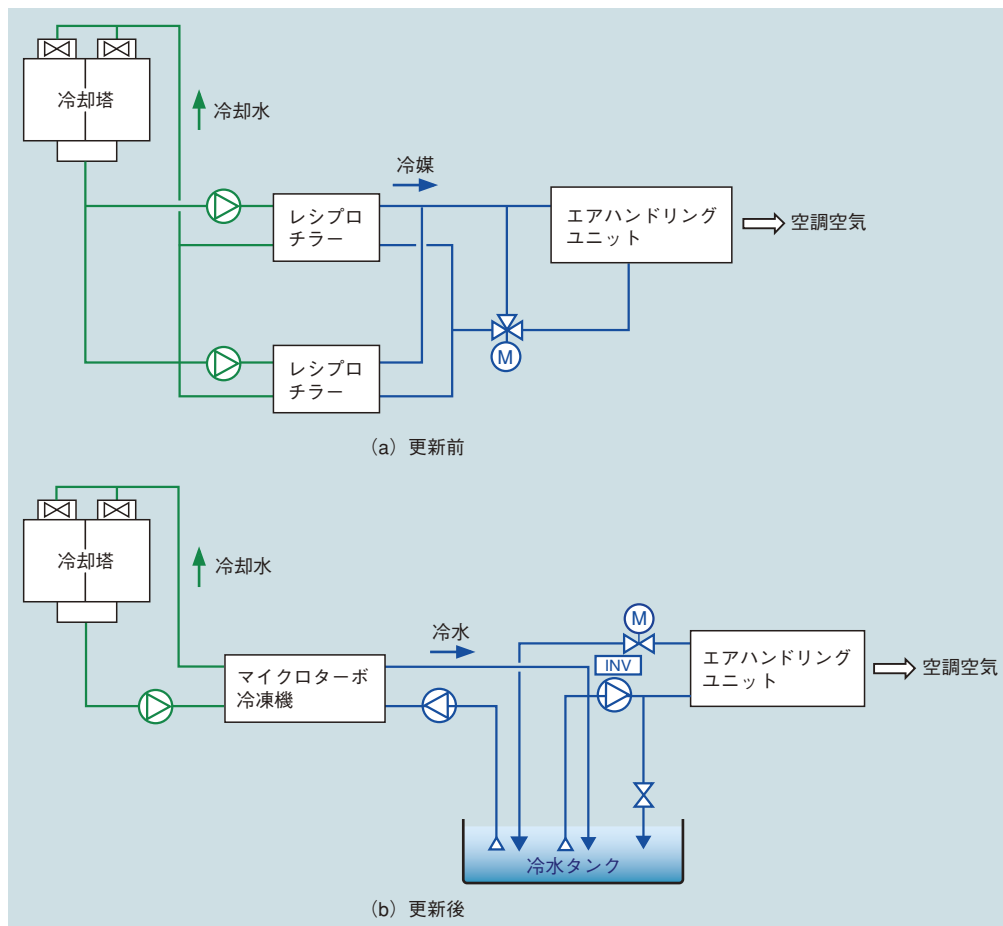


図1 設備の概要
冷水を生成するチラー設備、空調空気を生成するエアハンドリングユニットなどから構成されている。

新し、さらにそれらに付帯する配管設備の改造を実施した。

今回対象とした設備の冷水熱源機器は、従来、ターボ冷凍機を導入するには容量が少なすぎるためスクリーチャーへの更新が一般的であった。当社が開発したマイクロターボ冷凍機はこの容量域をカバーでき、しかもスクリーチャーより高効率であり、回転数制御によって部分負荷時も高効率な運転が可能であることが今回の採用のポイントとなった。

3. 省エネルギー化の手段

3.1 高効率インバータターボ冷凍機の採用

一般に遠心式圧縮機は回転数によって圧縮比が決まる特性を持っているため、負荷の増減に応じて回転数を制御することで動力の削減が可能となる。この特性を利用し、従来の入口ベーン制御にインバータによる圧縮機の回転数制御を組み合わせることで消費動力を大幅に削減できる⁽²⁾⁽³⁾。マイクロターボ冷凍機は50 USRt 相当の能力を持つ遠心式圧縮機2基を搭載し、それぞれをインバータで回転数制御する構成となっている。

マイクロターボ冷凍機と従来のスクリーチャーの部分負荷特性を比較したグラフを図2に示す。従来のチラーでは、部分負荷特性を考慮してCOP (Co-efficiency of Performance: 成績係数) が最高となる定格点に運転点を近づけるよう運転台数を制御していたが、

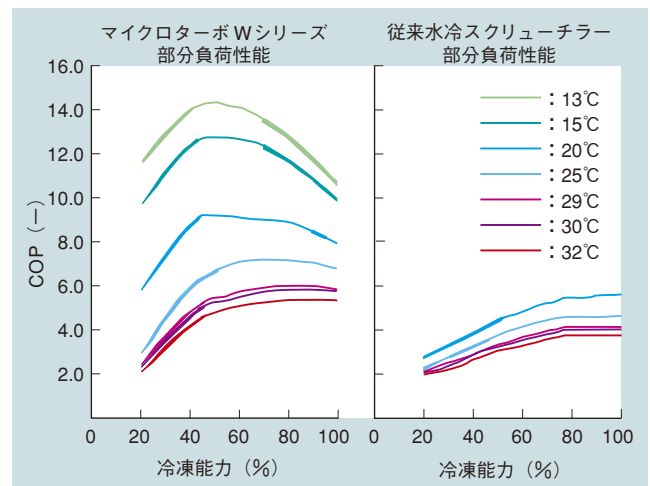


図2 インバータ機と固定速機の部分負荷特性
インバータ機は回転数制御により冷却水温度が低い場合、部分負荷時のCOPが定格点より高くなる。

マイクロターボ冷凍機では、図2に示すように冷却水入口温度によっては部分負荷時にCOPが最高となるため、中間期や冬期など負荷が減少し、冷却水温度も低く調整できる場合には、部分負荷運転時にも大幅な動力の削減が可能となる⁽⁴⁾。

また従来の固定速ターボ冷凍機では、低冷却水条件では高低差圧がつかないために過剰に能力を出してしまい低負荷時に能力を絞りきれずに安定運転ができないことから冷却水入口温度は20℃を下限としていた。しかし、インバータ機では主電動機の回転数を可変にすることで低冷却水条件での能力を減少させることができるため、冷却水入口温度が低くても入口パーンの開度を確保することができるため安定した運転が可能となる。その結果、マイクロターボ冷凍機では冷却水入口温度が13℃の状態、部分負荷時のCOPを14.1まで上げることが可能となった。

3.2 台数制御と熱源設備の共有化

外気の影響で、冬期の冷水負荷は夏場の半分以上になるため各棟の設備の負荷率は低下する。低負荷状態での運転は、製造熱量が減少するのに比べてポンプなどの補機動の減少割合が少ないため、工場全体としてのエネルギー製造効率は低下する。この対策として、今回の工事では更新するB棟の設備と隣接するA棟の設備を共有化することで製造効率の向上を図った。

設備の共有化を示すブロック図を図3に示す。冬期の低負荷時には今回更新したマイクロターボ冷凍機で生成した冷水を冷水タンク経由で、隣接するA棟に

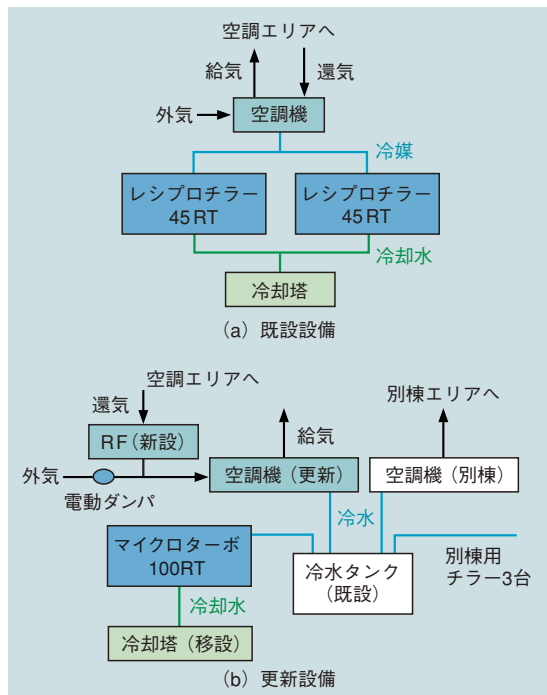


図3 冷水設備の共有化
冷水タンクを介して冷凍機を共有化した。

供給することでA棟の冷水チャラーとその補機を休止させることができる。また負荷が増加した場合にはA棟のチャラーを追加起動できるよう台数制御プログラムを改良し、負荷変動にも対応できるようにした。

この共有化によりA棟の冷水チャラーとB棟のターボ冷凍機がお互いの予備機としての役割を果たすため、設備の信頼性も向上し、機器の保守メンテナンスの計画も容易となった。

高効率ターボ冷凍機の導入と設備の共有化等の施策による冬場の動力削減効果は事前のシミュレーションで約43%と予想されたが、2005年の運転データからこの効果を確認することができた(4章参照)。

3.3 中間期の外気冷房運転

既存設備は年間を通じて外気の取り込み量を一定としていたが、今回の更新工事では外気量を可変とし、中間期と冬期で外気の温度条件が室内条件に近い場合には外気量を増やす外気冷房運転を採用した。外気冷房運転を実現するための外気量制御の概要を図4に示す。外気量制御は、空調機の給気ダクト、排気ダクト、循環ダクトにそれぞれ電動ダンパを取り付け、外気温度が外気冷房に適した温度域になった場合には外気の取り込み量を増やすよう3つのダンパ開度を変更する。外気冷房運転時は空調機の冷水負荷が減るため空調機に流れる冷水量を減らすことができる。外気冷房の適用により4月、11月などで大幅な省エネルギー効果を確認できた。

3.4 空調機の冷水変流量制御への変更

既存の設備は冷水ポンプを固定速とし、空調機側の冷水流量を三方弁で制御していたが、これを二方弁による制御に変更し、冷水ポンプはインバータによる回転数制御を導入した。ポンプの吐出側の圧力を一定にするようポンプの回転数を制御(変流量制御)するこ

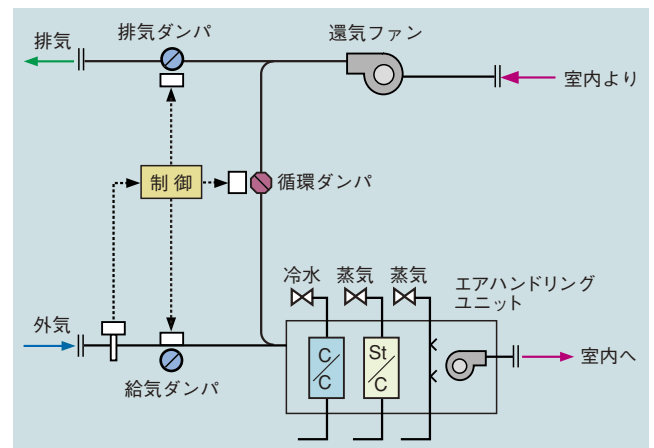


図4 3ダンパー方式
外気条件により給気ダンパと排気ダンパを動作させ、循環ダンパをその逆動作とする。

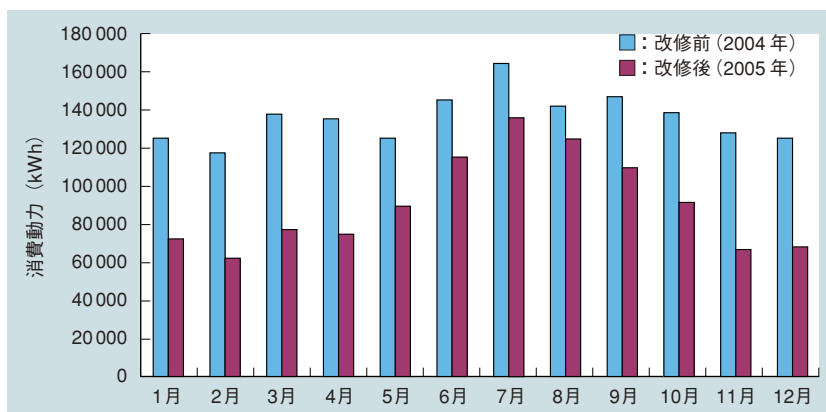


図5 動力削減実績
省エネ改修を実施した2005年の消費動力は前年比で約33%削減できた。

とでポンプ動力の削減を図った。なお、冷水を変流量にしたことで、低負荷時のポンプのミニマムフローを確保する必要が発生したが、これについては冷水ポンプの出口側に定圧弁とバイパス配管を設置することで対応した。

冷水変流量制御は、冬期など冷凍機を部分負荷で運転する場合に動力削減効果がある。本設備ではポンプ動力の個別計測は実施していないが、一般に密閉の配管系統の場合、ポンプ動力は回転数の3乗に、開放系統の場合は回転数の2乗に比例するため、冷水ポンプの回転数制御による動力削減効果が見込まれる。

4. 効果の検証

改修前(2004年)と改修後(2005年)の月別消費電力量を比較した結果を図5に示す。今回の省エネルギー改修工事を実施した2005年1月以降、消費動力が大幅に削減していることがわかる。夏期はマイクロターボ冷凍機の活用により消費動力は削減できたものの、冷水負荷の合計は約200 USRtあるため、既設のスクリーチャーの追起動割合も多く、動力削減率は10%台に留まっている。一方、冬期は冷水負荷の合計が100 USRt以下となりマイクロターボ冷凍機1台でA、B棟の負荷をすべて賄えたため、動力削減率は40%台となった。また中間期は、発生熱量が100 USRtを超えているが、外気冷房運転の効果により動力削減率は30~40%台となっている。これらの結果として、一年間を通じての動力削減は改修前(2004年)対比で33%を達成することができた。

5. ま と め

冷水設備の老朽化更新に際して、高効率なマイクロターボ冷凍機の導入を中心とした省エネ改修を実施し、年間トータルとして動力を33%削減した事例を紹介した。この工場では今後、既設の冷水設備を順次高効率ターボ冷凍機へ更新し、更に省エネルギー化する計画である。

当社としては今後とも本工場の省エネルギー化に積極的に取り組んでいくと同時に、ここで実用化した省エネルギー化の手法を他の企業にも幅広く提案し、各企業の省エネルギー化の実現と地球の温暖化対策に取り組んでいく所存である。

参 考 文 献

- (1) 省エネルギー協会 HP より <http://www.eccj.or.jp/> (2006)
- (2) 関亘ほか, 世界最高効率インバータターボ冷凍機 (NART-I シリーズ), 三菱重工技報 Vol.41 No.1 (2004) p.44
- (3) 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
- (4) 西崎太真, 高効率インバータ駆動ターボ冷凍機, BE 建築設備, 2006年1月号, p.30



西崎太真



西井健一郎



松尾実