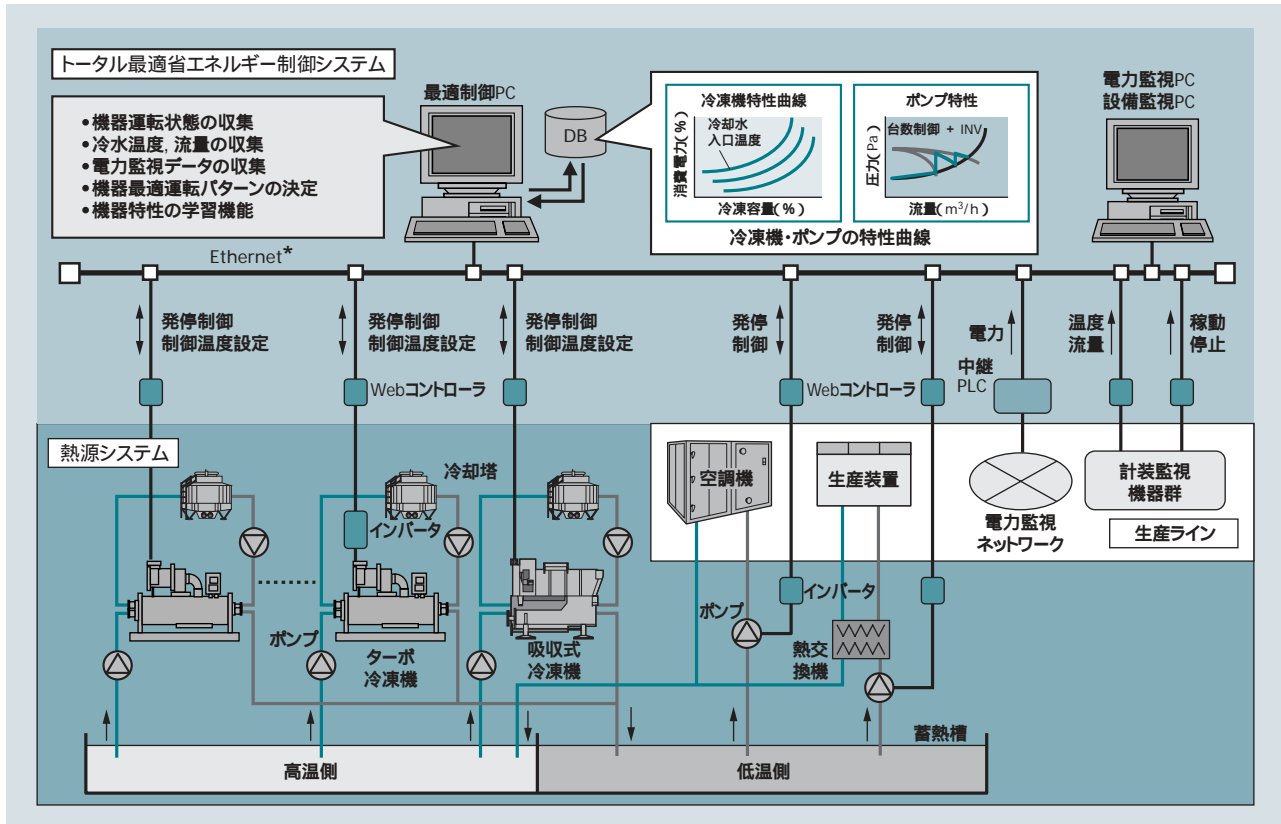


熱源機器のトータル最適省エネルギー制御システム

Total Optimal Energy Saving System for Air-conditioning and Refrigeration Equipment

浜田 裕大 Yasuhiro Hamada
大畠 克徳 Katsunori Obatake

松本 修 Osamu Matsumoto
寺崎 政敏 Masatoshi Terasaki



注:略語説明は PC(Personal Computer), DB(Database), PLC(Programmable Logic Controller)
* Ethernetは、米国Xerox Corp.の商品名称である。

図1 トータル最適省エネルギー制御システムの概要

トータル最適省エネルギー制御システムは、Webコントローラで収集した冷水温度や流量、各機器の運転状態の情報を基に、最適制御PCのシミュレータが冷凍機・ポンプなど熱源機器の最適運転条件を決定し、各機器に対する運転制御や運転のためのガイダンスを行う。

1.はじめに

電子デバイス業界をはじめ、クリーンルームを利用する多くの製造工場では、年間を通じて空調機や生産装置への冷水供給が必要であり、それを賄う熱源機器の消費電力は工場全体の15～25%を占めている¹⁾。熱源機器の消費電力削減対策として、これまでに冷凍機とポンプの高効率化およびインバータ化、冷却塔の冬期外気利用による冷水製造などが積極的に採用されてきた。しかし、今後さらなる削減を行うためには、熱源機器全体を消費電力が最も少なくなる条件で運転させること以下、最適運転と言う。が必要である。

そこで、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)と、ITを活用し熱源機器全体の消費エネルギーを削減することを目的とした共同研究を行い、その成果をベースに「トータル最適省エネルギー制御システム」(以下、最適制御システムと言う。を)開発した(図1参照)。

ここでは、開発した最適制御システムの基本概念であるエネルギーフローインテグレーション手法、最適制御システムの主要構成機器であるWebコントローラとターボ冷凍機用超小型高圧インバータの特徴、および、この最適制御システムを半導体製造工場に適用した実証結果について述べる。

産業分野を中心とする多くの工場では、地球温暖化防止の観点からさまざまな省エネルギー対策が実施されている。特に電子デバイス業界をはじめとした製造工場では、年間を通じて空調機や生産装置への冷水供給が必要であり、そのための冷水を製造・搬送させる熱源機器の消費電力は工場全体で大きな割合を占めている。従来は、主として熱源機器ごとの消費電力削減対策が実施されてきたが、今後さらなる削減を推進していくためには、冷水温度や流量、各種機器の運転状態をダイナミックに監視してトータルに制御することが必要である。日立グループは、製造工場における熱源機器を対象に「トータル最適省エネルギー制御システム」を開発した。実プラントでの検証では、省エネルギー効果は約10%と想定されている。

2. トータル最適省エネルギー制御技術

2.1 熱源機器の運転の現状と最適化

現在の熱源機器の運用は、オペレータが予測負荷熱量に基づいて機器の台数をあらかじめ選定して運転を行い、生産量の変動はもとより、一日の中でも天候要因による外気温湿度によって負荷熱量が変化した場合は、機器の台数を変更するなどの管理を行っている。

しかし、機器の性能は機種やインバータ制御の有無によっても異なり、同じ台数でも組み合わせによって消費電力が異なるため、単純に台数管理を行うだけでは常時最適な運転を実現することはできない。

したがって、負荷熱量が変動する場合でも、常に最適な組み合わせの機器で運転することができれば、熱源機器全体の消費電力の削減が可能となる。

2.2 エネルギーフローインテグレーション手法を用いた

シミュレーション技術

熱源機器全体の最適運転方法を評価・決定するためにシミュレータを開発した。このシミュレータは、エネルギーフローインテグレーション手法を用いている²⁾(図2参照)。

その特徴を以下に示す。

- (1) 機器ごとに電力、冷水、冷却水などの入出力関係を考慮した機器モデルを作成する。

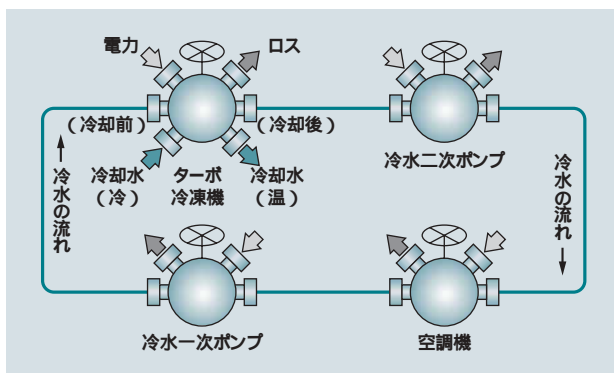


図2 エネルギーフローインテグレーションの概要
モデル化された各機器を冷水の流れに基づいて結合させ、全体モデルで消費電力の最小化を図る。

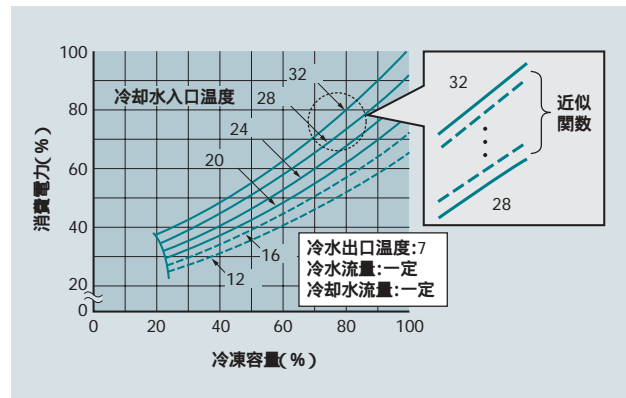


図3 ターボ冷凍機の負荷特性の例
計算で用いる負荷特性は、実際の特性曲線を近似関数で定義している。

- (2) 各機器モデルを冷水の流れに基づいて結合し、機器の全体モデルを作成する。
- (3) 全体モデルで消費電力が最小となる機器の組み合わせをシミュレーションによって求める。

シミュレータで用いる機器の消費エネルギー特性について、ターボ冷凍機を例に述べる。ターボ冷凍機の負荷特性を図3に示す。同図は、冷水および冷却水流量一定の下で、冷水出口温度7 の場合の各冷却水入口温度における冷凍機の特性を示している。実際の計算では、この図の負荷特性を近似関数で定義し、0.1 ごとに設定できるようにしている。

2.3 シミュレータの基本処理フロー

冷凍機と二次ポンプを例に、シミュレータの基本処理フローを以下に示す。

- (1) 冷凍機の冷水出入口温度差と冷水流量から必要とする冷凍容量を計算する。
- (2) 計算された冷凍容量を満足させ、かつ消費電力が最も小さくなる冷凍機の組み合わせパターンを選択する。
- (3) 必要送水量とポンプ定格流量からポンプの必要最低運転台数を求める。
- (4) 算出された必要運転台数以上の組み合わせについて、ポンプの回転数とポンプ消費電力を計算し、消費電力が最小となるポンプの組み合わせを選択する。

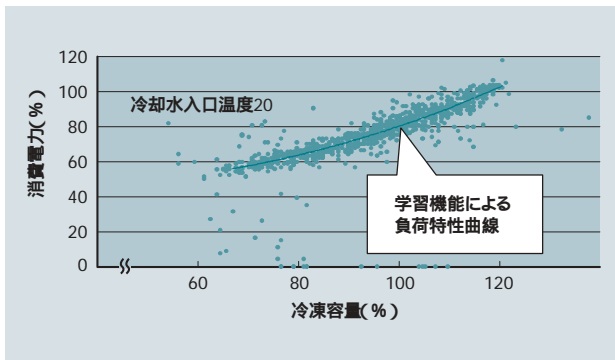


図4 学習機能によって算出したターボ冷凍機の負荷特性例
収集したデータの散布図から負荷特性曲線を作成する。

実際の運用としては、基本処理フローに加え機器の発停頻度や運転時間の均一化など機器の管理条件を考慮しながら運転する機器を決定する。

2.4 負荷特性曲線の学習機能

一般に冷凍機やポンプなどの機器は、経年変化によって性能が劣化し、負荷特性が変化する。そこで、実稼働時の運転データを収集し、そのデータを基に特性曲線を自動作成する学習機能を新たに開発した。

ターボ冷凍機の負荷特性例を図4に示す。また、この機能により、負荷特性がわからない機器の特性曲線も求めることができる。今後、さらに機能や操作性向上に向けた改良を継続していく。

3. 最適制御システムを支える主要機器

3.1 Webコントローラ

最適制御PCと各機器の状態や制御情報を通信するためのインターフェースとして、Webコントローラを開発した(図5参照)。

その主な特徴を以下に示す。

- (1) シリアルインターフェースを持つ機器にも接続でき、容易にネットワーク化が可能
- (2) C言語プログラム組み込み機能搭載
- (3) 従来製品に比べ、体積、消費電力ともに約40%を実現
これにより、既設設備に対しても容易に接続が可能となり、かつコンパクトな利点を生かし、既設制御盤の空きスペースなどを利用した設置が可能である。

3.2 ターボ冷凍機用超小型高圧インバータ

熱源機器を定格仕様で運転する場合の消費電力削減対策としては、定格運転時の効率向上が重要である。熱源機器全体として対策を考える場合には、機器の部分負荷運転時における消費電力の最小化がポイントとなる。

そこで従来のIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)モ

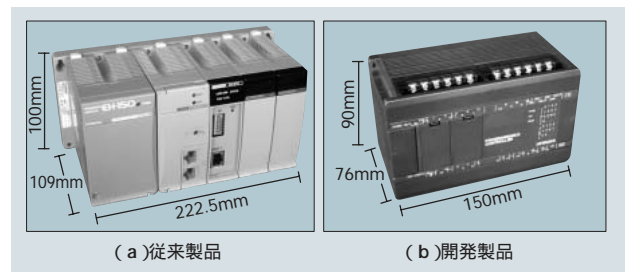


図5 Webコントローラの従来製品と開発製品の比較
小型化により、わずかなスペースを利用して設置することが可能である。

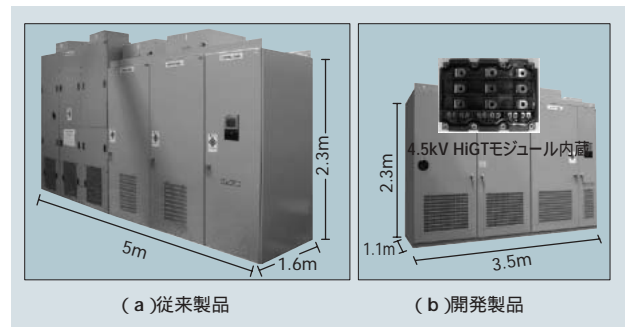


図6 4.5 kV HiGTモジュールを搭載した超小型高圧インバータ
三相一体型で6個の半導体素子一つのモジュールに集積した6 in 1タイプのHiGTモジュールを採用することにより、小型化、効率化を実現した。

ジュールを用いたインバータに対し、耐圧4.5 kVの低損失HiGT(High-Conductivity Insulated Gate Bipolar Transistor)モジュールを用いたトランスレスのターボ冷凍機用超小型高圧インバータを新たに開発した(図6参照)。

その主な特徴を以下に示す。

- (1) トランスレス化により、従来比の約50%に小型化
- (2) 効率は目標の98%を達成

また、開発したインバータとターボ冷凍機の組み合わせ試験により、モータへの影響を評価し、初期劣化や電食の可能性がないことを確認した。

4. 効果検証

4.1 実証対象の熱源システムの概要

開発した最適制御システムを日立グループの半導体製造工場に適用し、効果の検証を行った。

この最適制御システムを適用した熱源システム系統図を図7に示す。

冷凍機は、ターボ冷凍機と吸収式冷凍機を複数台使用している。冷凍機で製造された冷水は、蓄熱槽を経由し冷水二次ポンプによって空調機へ送水されており、冷凍機、ポンプのインバータは設置されていない。

4.2 インバータと最適制御システム導入による予測効果と

シミュレータの精度検証

対象機器の年間消費電力量の実績値と、このシステム導

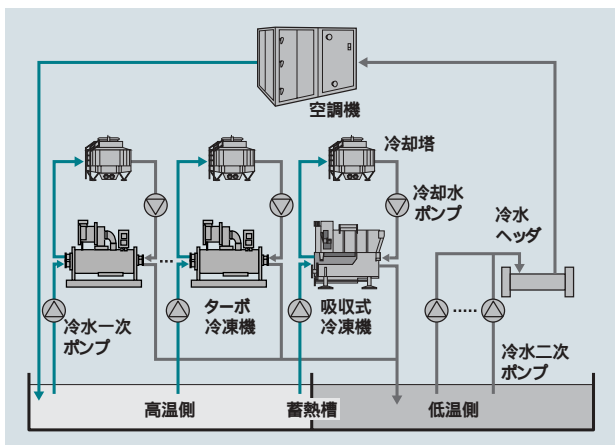


図7 最適制御システムの対象設備
社内半導体工場の蓄熱槽を用いた熱源システムの概要を示す。

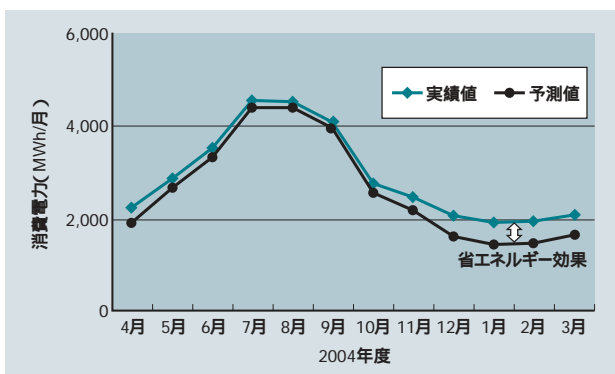


図8 インバータと最適制御システム導入による予測効果
2004年度における消費電力量の実績値とインバータ、および最適制御システムを導入したと仮定した場合の予測値を示す。

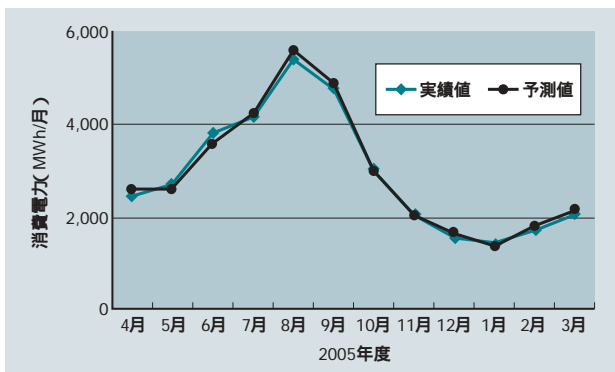


図9 シミュレータの精度の検証
2005年度における消費電力量の実績値とシミュレータによる予測値がよく一致していることがわかる。

執筆者紹介



浜田 裕大
2000年日立製作所入社、トータルソリューション事業部 産業・流通システム本部 産業システム部 所属
現在、電子デバイス分野のソリューションビジネスに従事



大島 克徳
1992年株式会社日立システムテクノロジー入社、日立製作所 都市開発システムグループ 都市開発ソリューション本部 エネルギーソリューション第二部 所属
現在、省エネルギーシステムのエンジニアリング業務に従事

入による予測値を図8にそれぞれ示す。実績値は最適制御システムを導入する前の値で、予測値はターボ冷凍機と二次ポンプおののにおにインバータを設置し、このシステムを導入したと仮定して、シミュレーションによって求めた値である。実績値について各月の効果を平均すると、年間を通じて約11%の省エネルギー効果となった。

このシミュレータの精度を検証するために、インバータおよび最適制御システム導入後の実績電力量とシミュレーション結果の比較を行った(図9参照)。

実績値と予測値を比較すると、年間を通じて約1%の誤差であり、シミュレータは高い精度を実現できている。したがって、インバータと最適制御システム導入による省エネルギー効果としては、2004年度の省エネルギー予想効果11%とシミュレータの誤差1%を考慮して約10%と考えられる。

5. おわりに

ここでは、NEDOとの共同研究の成果を基に開発した「トータル最適省エネルギー制御システム」の内容と、実稼働している半導体製造工場にこのシステムを導入して効果検証した結果について述べた。

トータル最適省エネルギー制御システムは、半導体製造工場に限らず、冷水を供給する熱源機器を有する工場であれば、幅広く適用していくことが可能である。

日立グループは、今後も、製造工場の省エネルギー推進に取り組み、積極的にユーザーに提案していく考えである。

参考文献

- 1) 渡辺:クリーンルームにおける高効率熱源システムの構築とCO₂削減対策、クリーンテクノロジー、Vol.15(2005.7)
- 2) 酒井,外:エネルギーマネジメントによる工場設備動力の省エネルギー、日立評論、86, 12, 835~838(2004.12)



松本 修
1980年日立製作所入社、株式会社日立産機システム 事業統括本部 システム技術センタ 所属
現在、ドライブシステムのエンジニアリング業務に従事



寺崎 政敏
1977年日立製作所入社、日立アプライアンス株式会社 空調事業部 大型冷熱本部 土浦事業所 設計部 所属
現在、ターボ冷凍機の設計に従事
日本機械学会会員