

省CO₂・省エネルギーを図る 熱源設備の最適化制御システム

菊池 宏成
Kikuchi Hiroshige

宮島 裕二
Miyajima Yuji

伊東 文博
Ito Fumihito

前山 昭
Maeyama Akira

日立グループは、熱源設備全体の消費エネルギーが最小となるように最適化制御する熱源設備最適化制御システムを製品化している。これは、熱源機、冷却塔、ポンプなどから成る熱源設備全体の最適化制御システムであり、外気、負荷の状態に応じて、制御目標値、運転台数の最適な組み合わせを求め、制御するシステムである。この

制御システムは高さ日本一の超高層複合ビル「あべのハルカス」の熱源設備の最適化制御システムとして納入され、現在稼働中である。また、開発した制御技術は、統合エネルギー・設備マネジメントサービスEMiliaの機能の一つとして組み込まれている。

1. はじめに

ビルや工場などで消費する電力、ガスなどのランニングコストの削減、および地球温暖化防止に関するニーズが高まっており、熱源設備についても省エネルギー化、省CO₂化が求められている。日立グループは、省エネルギーシステムソリューションに取り組んでおり、熱源設備全体の消費エネルギーが最小となるように最適化制御する熱源設備最適化制御システムを製品化している。この制御システムは、熱源機、ポンプ、冷却塔などから成る熱源設備を対象としており、制御目標値、運転台数の最適な組み合わせを、センサデータでチューニングして高精度化したシミュレータを用いて求め、最適化制御している。

ここでは、この熱源設備最適化制御システムの概要と適用事例について紹介する。

2. 熱源設備最適化制御システムの概要

熱源設備最適化制御システムの概要を図1に示す。熱源設備最適化制御システムは、冷温水機、冷凍機、冷却塔、ポンプなどから成る熱源設備の最適化制御システムである。この制御システムは、センサーで計測した外気情報や負荷情報を基に、評価関数が最小になるような制御目標値、運転台数の組み合わせを選び出し、熱源設備に出力する。なお、評価関数としては、一次エネルギー、CO₂排出量、ランニングコストなど、ユーザーが選択できるよう

になっている。また、ガスエンジン発電機などの排熱があるコジェネレーションシステムの場合、熱源機のガス消費量から排熱利用によって削減される量を加味して最適値を求めることも可能である。

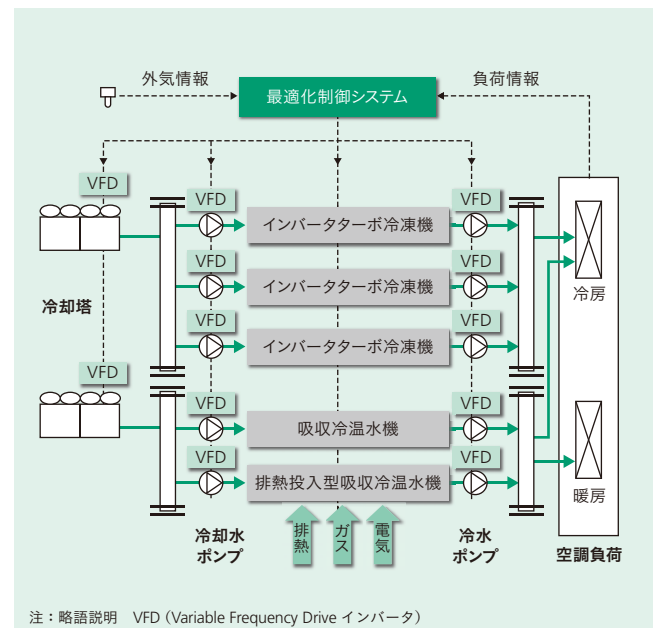


図1 熱源設備最適化制御システムの概要

熱源設備最適化制御システムは、冷温水機、冷凍機、冷却塔、ポンプなどから成る熱源設備の最適化制御システムであり、センサーで計測した外気情報や負荷情報を基に、熱源システム全体の消費エネルギーが最小になる制御目標値、運転台数の最適値の組み合わせを求め、熱源設備に出力する。

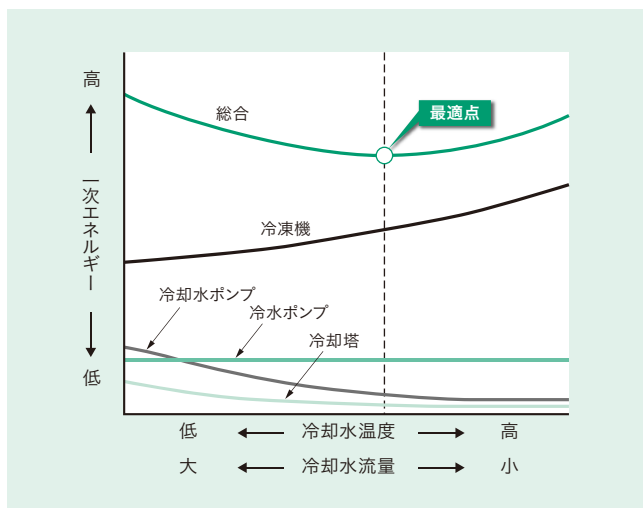


図2 最適化制御の原理

システム全体の一次エネルギーが最小となるように制御目標値の最適値を求めている。

2.1 制御目標値の最適化

開発した制御システムは、外気、負荷の状態に応じて、熱源設備全体の一次エネルギー、CO₂排出量、ランニングコストなどの評価関数が最小になるように最適化した冷温水、冷却水の温度、流量の制御目標値の組み合わせを熱源設備に出力する。

熱源機1台の熱源設備の一次エネルギーを最小化する場合を例とした最適化制御の原理を図2に示す。例えば、冷却水流量を小さくすると冷却水ポンプの一次エネルギーは小さくなるが、冷凍機に供給される冷却水の流量が少なくなるため冷凍機のCOP (Coefficient of Performance) が下がり、冷凍機の一次エネルギーは大きくなる。また、冷却

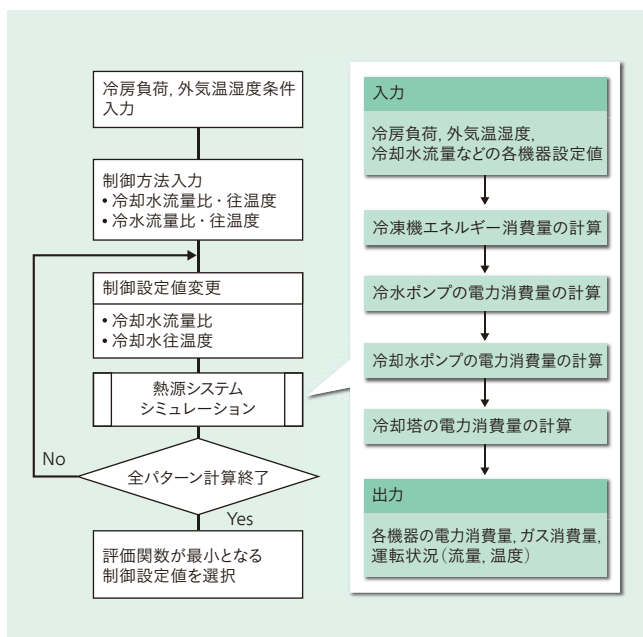


図3 最適化制御のフロー

熱源設備の最適化制御システムでは、シミュレーションを用いて最適な制御目標値の組み合わせを求めている。

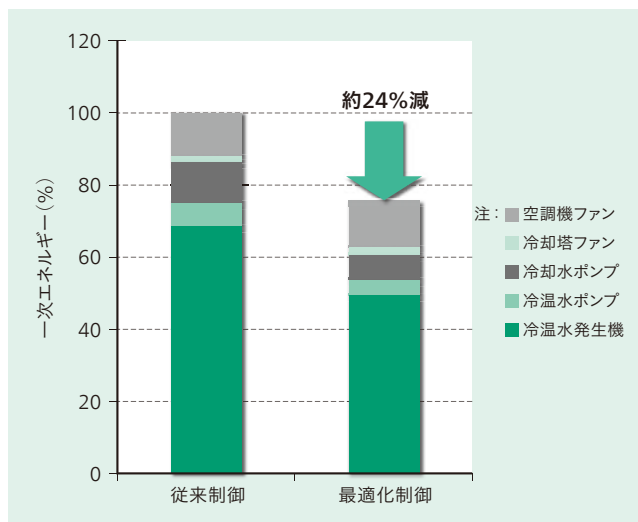


図4 熱源設備最適化制御システムの省エネルギー効果 (冷房)

冷却水、冷水の温度、流量を固定した従来制御を100%とした場合の省エネルギー効果であり、最適化制御によって約24%の省エネルギー効果が得られた。

水温度を高くすると、冷却塔の一次エネルギーは小さくなるが、冷凍機の一次エネルギーは大きくなる。このようなトレードオフの関係が、冷温水、冷却水の温度、流量のパラメータにあり、最適値の組み合わせは、外気、負荷の状態によって変化する。

最適化制御のフローを図3に示す。この最適化制御システムでは、シミュレーションを用いて繰り返し計算することにより、最適な制御目標値の組み合わせを計算している。

240 RT (冷凍トン) の吸収冷温水機2台の熱源設備の冷房期間における省エネルギー効果を図4に示す。冷水、冷却水の温度、流量を固定した従来制御に比べて約24%の

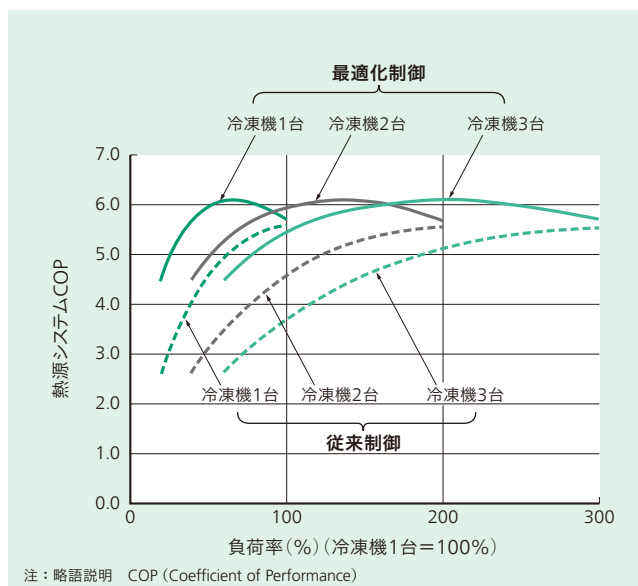


図5 運転台数の最適化

従来制御の場合、最小の運転台数の熱源システムCOPが最も高くなるが、最適化制御の場合、最小の運転台数の熱源システムCOPが最も大きくなる場合がある。最適運転台数制御では、シミュレーションによってシステム全体の消費エネルギーが最小となるように最適な負荷率を求め、台数制御する。

冷房						
	夏期(7~9月)		中間期(5. 6. 10月)		冬期	
運転順位	昼間	夜間	昼間	夜間	昼間	夜間
1	排熱投入型 吸収冷温水機	インバータターボ	排熱投入型 吸収冷温水機	インバータターボ	インバータターボ	インバータターボ
2	インバータターボ	インバータターボ	インバータターボ	インバータターボ	インバータターボ	インバータターボ
3	インバータターボ	インバータターボ	インバータターボ	インバータターボ	インバータターボ	インバータターボ
4	インバータターボ	吸収冷温水機	インバータターボ	吸収冷温水機		
5	吸収冷温水機		吸収冷温水機			
暖房						
運転順位	夏期(7~9月)		中間期(5. 6. 10月)		冬期	
1			吸収冷温水機		排熱投入型吸収冷温水機	
2					吸収冷温水機	

図6 運転順位の最適化

ランニングコストが最小となるように運転順位を最適化している。季節別時間帯別の電力料金のため、季節や時間帯によって運転順位が変動している。

省エネルギー効果が得られた。最適化制御の省エネルギー効果は、システム構成、負荷、外気の状態によって変わるが、10～30%である。

2.2 運転台数、負荷配分の最適化

3台のインバータターボ冷凍機の熱源設備における負荷率と熱源システムCOPの関係を図5に示す。冷水、冷却水の温度、流量を固定した従来の制御システムの場合、熱源設備の熱源システムCOPは、熱源機の最大負荷のときに最大となるものがほとんどであった。そのため、熱源機の運転台数は、個々の冷却負荷ができるだけ大きくなるように、負荷がまかなえる最小の運転台数にして制御すればよかった。これに対し、制御目標値を最適化制御した熱源設備の場合、最小の運転台数のとき、熱源システムCOPが最も大きくならない場合がある。そのため、開発した最適化制御システムでは、シミュレーションによって消費エネルギーを計算し、熱源システム全体の消費エネルギーが最小となる運転台数を計算し、台数最適化制御をしている。

ランニングコストを評価関数とした運転順位を図6に示す。コジェネレーションシステム、インバータターボ冷凍機、吸収冷温水機など、種類の異なる熱源機を組み合わせたシステムの場合、指標となる評価関数が最小となるように運転順位を決めている。図6の場合、評価関数をランニングコストとしたが、このシステムでは、CO₂排出量などに評価関数を変えることが可能であり、評価関数を計算する際の換算係数によっては運転順位が変わる。

また、種類の違う熱源機が同時に運転される場合に、冷温水の流量を変えて負荷配分を最適化する機能も備えている。

3. 適用事例

3.1 あべのハルカス向け熱源設備最適化制御システム

高さ日本一の超高層複合ビル「あべのハルカス」(所在地:大阪府大阪市、地上高300 m)にこの最適化制御システムを納入した。あべのハルカスは、2014年3月に全面開業した複合ビルであり、駅、百貨店、美術館、オフィス、ホテル、展望台など多彩な施設がある。このような施設を集積した先進的な立体都市として、あべのハルカスでは、年間約5,000 tのCO₂削減をめざし、省CO₂や省エネルギーを実現するさまざまなエコ先進技術が取り入れられている。日立の最適化制御システムは、そのエコ先進技術の一つとして活用されている(図7参照)。

日立が納入した最適化制御システムは、熱源設備から稼

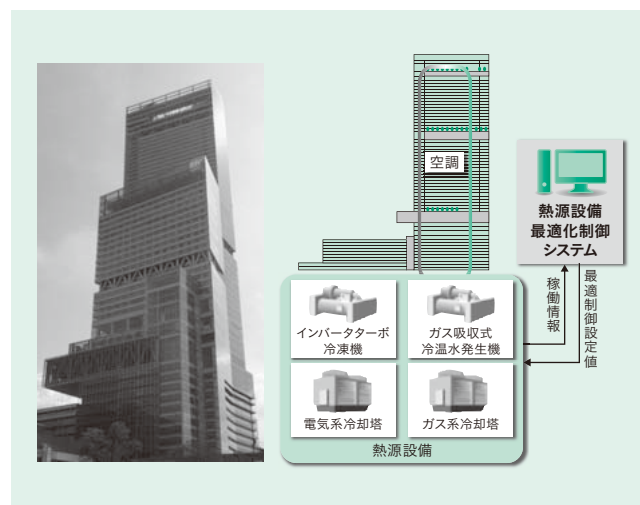


図7 あべのハルカス

高さ日本一の超高層複合ビル「あべのハルカス」へ熱源設備最適化制御システムを納入した。

働情報をリアルタイムに収集して演算することにより、CO₂排出量やランニングコストが最も低くなる熱源機器の組み合わせや制御設定値を算出し、それらを制御目標値として熱源設備に自動で指示を行う役割を果たす。あべのハルカスに用いられている熱源設備は、安定的かつ柔軟な運用が行えるように電気式とガス式を組み合わせた設備構成となっており、その種別によってCO₂排出係数やエネルギー単価が異なる。そのため、どちらの種別の設備を優先運転すべきか、どのような制御設定値で運転すべきかといった熱源設備の最適化制御には、複雑な演算が必要である。熱源設備最適化制御システムを用いることにより、これらの制御が可能となった。

また、あべのハルカスの熱源設備で使用される電気やガスなどのエネルギーデータ、熱源設備から収集される熱量、温度、流量などのアナログデータを活用し、一元管理と見える化を図るシステムも併せて納入している。これにより、熱源設備に用いられる機器単体や設備全体のエネルギー消費効率、CO₂効率、運転コスト効率などに基づく運転管理が可能となる。これらは、あべのハルカス内の専用ネットワークにあるPC (Personal Computer) から、Webブラウザを用いてビジュアルなグラフで閲覧することができるため、施設管理を行う関係者全員での情報共有を図ることができる(図8参照)。

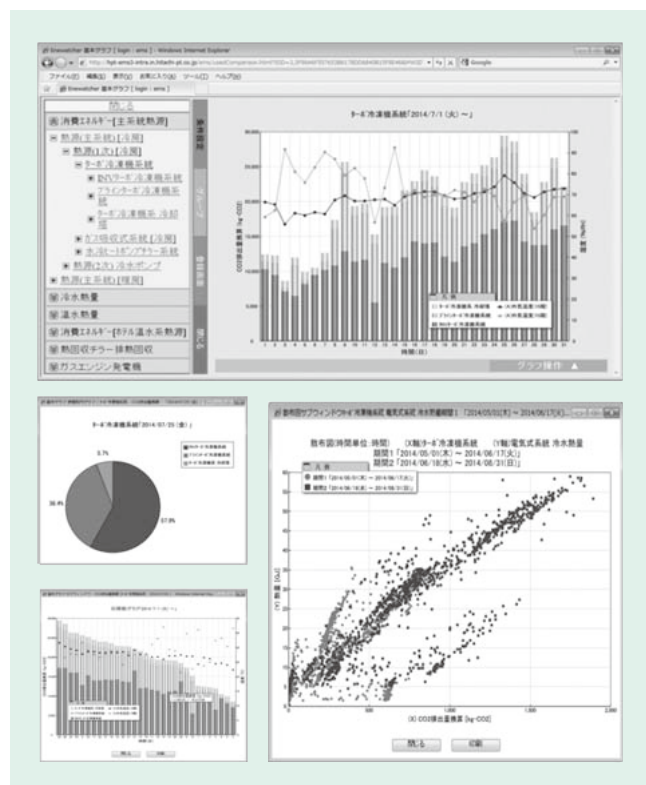


図8 Webブラウザを用いたビジュアルなグラフ

熱源設備で使用される電気やガスなどのエネルギーデータ、熱源設備から収集される熱量、温度、流量などのアナログデータを活用し、一元管理と見える化を図るエネルギー管理システムも併せて納入した。

4. おわりに

ここでは、熱源システムの全体の消費エネルギーを最小化して制御する熱源設備最適化制御システムとその適用事例を述べた。

この最適化制御は、統合エネルギー・設備マネジメントサービスEMiliaの機能の一つとして組み込まれている。日立は、エネルギーマネジメントサービス事業の中核製品と位置づけているEMiliaを、需要家の省エネルギー、業務効率向上、BCP (Business Continuity Plan)などを支援する経営課題解決型サービスとして展開していく予定である。

謝辞

本稿の適用事例で紹介した「あべのハルカス」向け熱源設備最適化制御システムでは、近畿日本鉄道株式会社をはじめとする関係各位より多大なるご指導、ご協力を頂いた。皆様のご指導、ご協力に深く感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 稲田, 外: 災害時BCP・コミュニティ連携をめざしたスマートファクトリー構想, 日立評論, 94, 3, 258~262 (2012.3)
- 2) 谷口, 外: 低炭素化社会に対応した工場・地域省エネルギーシステムソリューション, 日立評論, 94, 12, 834~839 (2012.12)
- 3) 菊池, 外: 空調省エネ最適化制御システムのシミュレータ構築方法の検討, 第42回空調調和・冷凍連合講演会講演論文集, 169~173 (2008.4)

執筆者紹介



菊池 宏成

日立製作所 インフラシステム社 技術開発本部 松戸開発センタ
空調・プラントシステム部 所属
現在、空調の制御システム、エネルギーマネジメントシステムの開発に従事
空気調和・衛生工学会会員、冷凍空調学会会員



宮島 裕二

日立製作所 インフラシステム社 技術開発本部 松戸開発センタ
空調・プラントシステム部 所属
現在、空調の制御システム、エネルギーマネジメントシステムの開発に従事
空気調和・衛生工学会会員



伊東 文博

日立製作所 インフラシステム社 産業プラント・ソリューション事業部
設備エンジニアリング本部 設計部 所属
現在、空調設備の設計に従事



前山 昭

日立製作所 インフラシステム社 産業プラント・ソリューション事業部
設備エンジニアリング本部 設計部 所属
現在、空調設備の設計に従事
空気調和・衛生工学会会員