

# 熱源トータル最適制御システムに関する調査報告

財建築コスト管理システム研究所  
新技術調査検討会

## 1 はじめに

環境省の戦略研究開発プロジェクトとして国立環境研究所が中心となってまとめた「2050年日本低炭素社会シナリオ：温室効果ガス70%削減可能性検討」（2008年6月改訂）によりますと、エネルギー消費量の削減がなかなか進まない業務用ビルなどの業務部門においても、高断熱ビルへの建直しと省エネ機器の導入などにより2000年比で40%のエネルギー削減が可能であるとされています。一方、東京都では2008年6月の「東京都環境確保条例」の改正により、2010年4月から原油換算で年間使用量が1,500kℓを超える事業所に対し温室効果ガス排出量について「総量削減義務と排出量取引制度」を導入することになり、オフィスにおける削減義務率は第一計画期（2010年～2014年）において8%となっており、既存建物における省エネルギーも厳しい対応が迫られています。

また、2009年12月に鳩山前首相が国連気候変動枠組み条約第15回締約国会議（COP15：Conference Of the Parties）において2020年までに1990年比25%の温室効果ガスの削減目標を表明し、それを受けて2010年3月には「地球温暖化対策基本法案」が閣議決定されています。この法案では『事業者は、その事業活動に関し、温室効果ガスの排出の抑制等のための措置を講ずるよう努めるとともに、国および地方公共団体が実施する地球温暖化対策に協力しなければならない。』と規定されています。従って、空調設備の省エネルギー対策は、事業者の責務であり温室効果ガス排出の抑制に益々重要なものとなっています（「地球温暖化対策基本法案」は、衆議院を通過しましたが参議院で廃案となっています）。

2006年7月の新技術調査レポート「流量制御による省エネ効果に関する調査報告」で、冷温水ポンプ・冷却水ポンプをインバータ制御することによる省エネ手法を紹介しましたが、今回は更に省エネを図るために冷凍機・冷却塔ファンのインバータ制御も加味し、システム全体の運転効率が最大となるような機能を持つ『熱源トータル最適制御システム』を取り上げました。本システムは平成22年度の第48回空気調和・衛生工学会技術賞（開発部門）を受賞、高い評価を得ており、今後益々利用範囲が広がって汎用システムになっていくと思われます。また、イニシャルコストアップ分の投資費用回収期間も短いので事業者にも受け入れやすく、ESCO事業への展開も期待でき、エネルギーソリューションビジネスの最先端技術と言えますので、新技術調査レポートとして調査報告します。

## 2 従来の制御システムと本システムとの相違

図1に示すとおり、従来の制御システムは、機器ごとにバラバラな制御でしたが、本システムは冷凍機等の単体運転特性だけでなく、冷水ポンプや冷却水ポンプ、冷却塔ファンなどの動力も加味し、システム全体として最高の効率で熱源システムを運転させるものです。従来は冷却水の供給温度は年間を通じて32°Cに固定して運転するのが一般的で、冷却水ポンプは一定の水量で運転され、多大な搬送動力を消費していました。また、熱源機器が種類の異なる複数台の冷凍機で構成されている場合に、負荷に応じた運転順序・台数をあらかじめ決めておき、そのスケジュールに基づいて運転させるのが一般的でした。しかし近年、インバーター turbo 冷凍機のように従来の定速 turbo 冷凍機に比べて、図2に示すように部分負荷運転時の性能が飛躍的に向上した冷凍機が開発され、高負荷での1台運転よりは、複数台を並列運転させて効率の良い部分負荷で運転させた方が、総合的なシステム効率が良くなる場合があることが分かってきました。これにより熱源機器の運転方法が大きく変わってきました。

このようなインバーター turbo 冷凍機の特性を生かし、外気や室内負荷の状態で時々刻々変化する空調負荷に対し、システム全体で最も効率の良い条件で運転をさせる目的で本システムが開発されました。

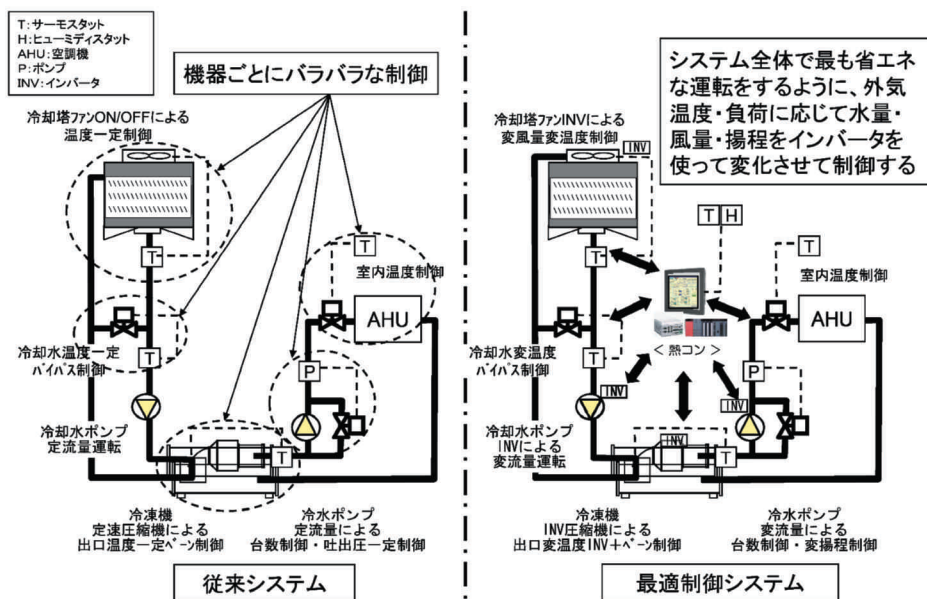


図1 従来システムと本システムとの相違

注：図中ではインバータのことを「INV」と表記しています（以下同様）。

(注) 本レポートではCOP（成績係数）を以下のように使い分けています。

COP（成績係数）：エアコン、冷凍機などのエネルギー消費効率を表すもの

COP（成績係数）＝生産熱量（kW）／消費エネルギー（kW）

機器単体COP：冷凍機単体のCOP

システムCOP：冷凍機以外に冷却塔・ポンプなどを含めたシステムとしてのCOP

年間システムCOP：システムCOPは季節変動があるので、年間のCOPによりエネルギー消費効率を比較する。

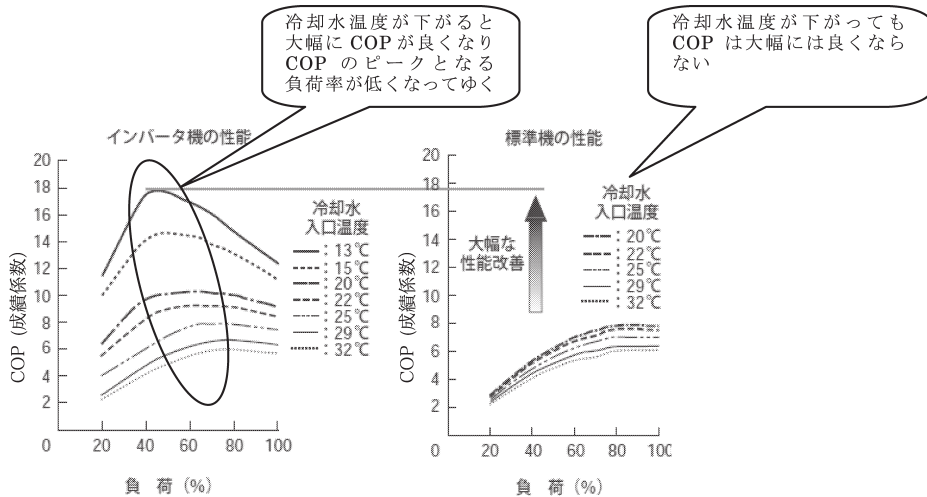


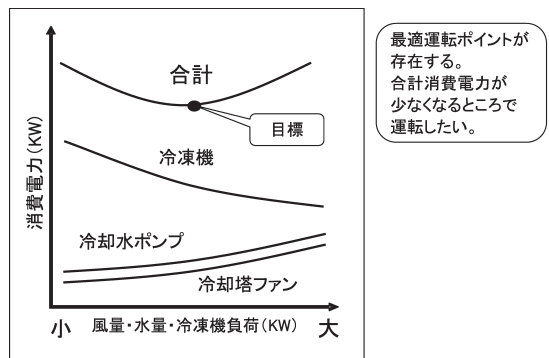
図2 ターボ冷凍機のインバータ機と標準機の性能の違い

### 3 熱源トータル最適制御システム

本システムは、大きく分けて『冷却水最適制御』、『熱源台数・出力分配最適制御』、及び『冷温水最適制御』で構成されており、これらを最高の効率で運転できるようにロジックを組み込んだ『熱源コントローラ』を使用してトータル制御するものです。

#### (1) 冷却水最適制御

図3に示すように、冷却水ポンプや冷却塔ファンと冷凍機のトータルの消費電力が一番小さくなるように運転させるシステムです。冷凍機の効率を上げるためには冷却水の温度は低い方が良いのですが、冷却水の温度を下げるためには冷却塔ファンの風量を増やす必要があります。従って、冷却水の温度を下げると冷凍機の消費電力は小さくなりますが、冷却塔ファンの消費電力は大きくなります。一方、冷凍機の凝縮温度を下げると冷凍機の効率が上がりますが、そのためには冷却水温度を下げるだけでなく、冷却水ポンプの水量を増やすことも有効です。しかし、冷却水量を増やすと冷却水ポンプの動力が上昇してしまいます。冷却水温度・水量と冷凍機効率の関係にはこのように一方を改善すれば他方が悪くなるというトレードオフの関係があります。



機器出力と合計消費電力

図3 冷却水最適制御の考え方

#### (2) 熱源台数・出力分配最適制御

ターボ冷凍機や冷温水発生機など種類が違う、あるいは容量が違う冷凍機を組み合わせ使用し

ている熱源システムにおいて、どの冷凍機を運転させると一番効率が良いのか、どの順番で冷凍機を運転させるのが良いのか、あるいは熱負荷に応じて冷凍機を何台運転させたら良いのか、などの運転指令を出すシステムです。

図2の右図に示すように従来の定速ターボ冷凍機は、冷却水温度をせいぜい20°C程度までしか下げることができず、冷凍機は100%近い高負荷での運転の方が効率が良いため、従来はなるべく運転台数を減らして、負荷率の高い状態で運転させることが省エネルギーな運転方法でした。それに対して、近年登場したインバーターターボ冷凍機は図2の左図に示すように冷却水温度は13°C程度まで下げることが可能で、冷却水温度が下がっていくと部分負荷での運転の方が効率の良くなる特性を持っています。従って冷却水温度を低くできる中間期や冬期においては、1台の冷凍機を高負荷で運転するよりは、複数台の冷凍機を並列運転させて低負荷で運転させた方が効率の良い運転ができる場合があります。例えば、熱負荷がピークの80%の時で、冷却水温度が低い場合は、定速ターボ冷凍機1台を80%の負荷で運転するより、インバーターターボ冷凍機2台を40%で運転した方がシステムとしてのCOP（成績係数）は高くなります。

### (3) 冷温水最適制御

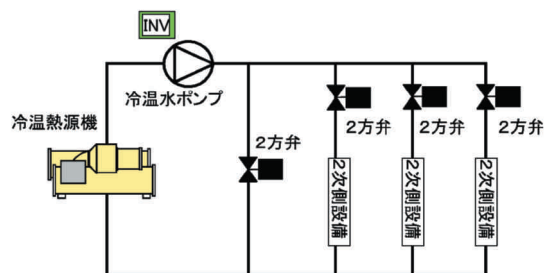
従来の冷温水制御は、図4に示すように空調機側への冷温水供給に2方弁を用いた変流量制御が多く用いられており、空調機などの2次側設備の熱負荷が小さい時に2方弁が絞られてくると、空調配管系の圧力が上昇するため、冷温水ポンプのインバータを制御して回転数を下げるか、バイパス2方弁を開くかして冷温水配管系の圧力を一定圧力以下に維持するように制御する末端差圧制御などが用いられてきました。この末端差圧制御方法は効率の良い制御方法として用いられてきましたが、負荷が小さい時には空調機などの2次側設備に設けられている全ての2方弁は絞られた状態で運転されることになり、不要なポンプ動力が浪費されていました。

『冷温水最適制御』は、空調機などの2次側設備に設けられている2方弁の開度を検知し、開度が一番大きい2方弁を全開にしてもその系統の流量が変わらないようにポンプをインバータで制御して、無駄な圧力の上昇に伴うポンプ動力の浪費を排除しています。また、この制御には上記の制御に連動して、2次側設備の熱負荷が小さい時に冷水の送水温度を上げる（温水の場合は下げる）変温度制御も組み込まれています。

### (4) 熱源コントローラ

本システムの心臓部に当たるのが『熱源コントローラ』で、「冷却水最適制御」・「熱源台数・出力分配最適制御」・「冷温水最適制御」が、トータルでシステムとして最高の効率で熱源を運転させるプログラムが組み込まれています。そのため、図5に示すように制御系の最上位に配置します。

熱源システムを構成する冷凍機の種類、冷凍機ごとの容量、台数、負荷側要求条件、配管系統分けなどのそれぞれの物件ごとの条件に基づいて、年間を



ポイント：2次側設備の最大開度の2方弁を全開にし、ポンプをインバータで制御する

図4 冷温水最適制御の考え方

通して最高のシステム効率を得られるように組まれますので、制御ロジックは物件ごとに異なります。刻々と変化する外気条件、負荷側条件からそのロジックが計算して導き出した運転指令は中央監視盤あるいは冷凍機動力盤などへ伝達され、熱源システムとして最高の効率での運転が行われます。

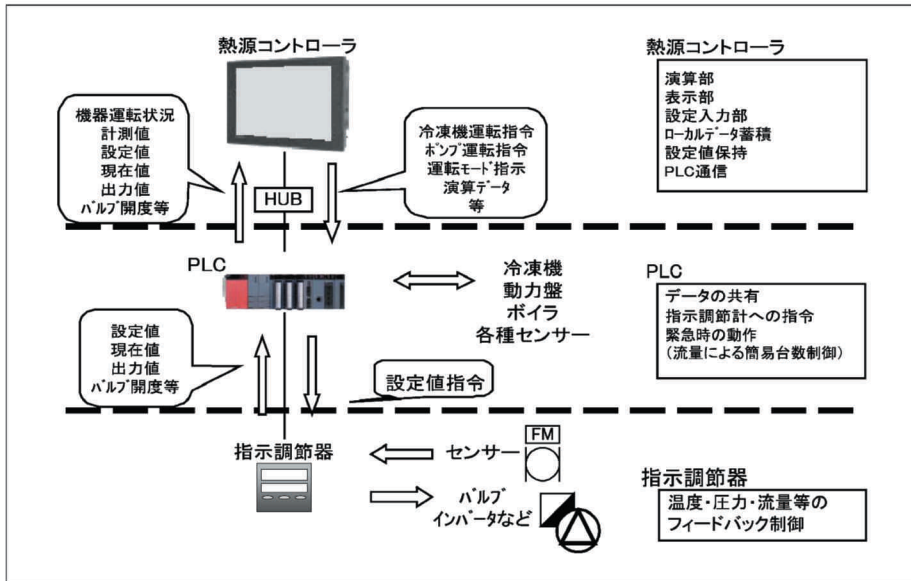


図5 熱源コントローラの構成と機能

## 4 採用検討事例

以下に、工場及びデータセンターでの採用検討事例を紹介します。本システムのインシャルコストアップ分の投資費用回収年数（以下、アップ分の投資回収年数という）は3～5年を想定していますが、建物によっては1年以内に回収できる可能性もあります。

### (1) 工場における採用検討事例1

図6に示すように、この事例では既存工場に定速ターボ冷凍機800RT×1台が設置されていましたが、工場の拡張により、800RT×2台の増設が必要となりました。当初の計画では、増設するターボ冷凍機は2台とも定速ターボ冷凍機、制御は従来の制御を予定していましたが、増設する予定のターボ冷凍機の中の1台をインバータターボ冷凍機に替え、熱源トータル最適制御システムを採用した場合の検討を行いました。その結果、インシャルコストのアップ分が67,400千円となりますが、ランニングコストの削減が年間25,500千円となり、アップ分の投資回収年数は2.6年と試算され、CO<sub>2</sub>の削減量は1,600t-CO<sub>2</sub>/年となります。

### (2) 工場における採用検討事例2

図7に示すように、この事例では既設の熱源が吸収冷凍機900RT×1台、680RT×2台の工場において、CO<sub>2</sub>削減のためターボ冷凍機への熱源変更及び本システムの採用を計画したものです。その際、



熱源容量の見直しを行ったところ、既設のものより700RT小さい容量で良いことが分かり、さらに負荷特性を検討した結果、常に給湯負荷等の加熱負荷があることが分かったため、インバーターボ冷凍機650RT×1台、定速ターボ冷凍機650RT×1台、熱回収チラー260RT×1台を採用する計画が一番経済的であるとの結論を得ました。

このケースでは冷凍機更新及び本システムのためのインシヤルコストアップ分が420,000千円となりますが、ランニングコストの削減が年間124,800千円となり、アップ分の投資回収年数は3.4年と試算され、CO<sub>2</sub>の削減量は3,500 t-CO<sub>2</sub>/年となります。

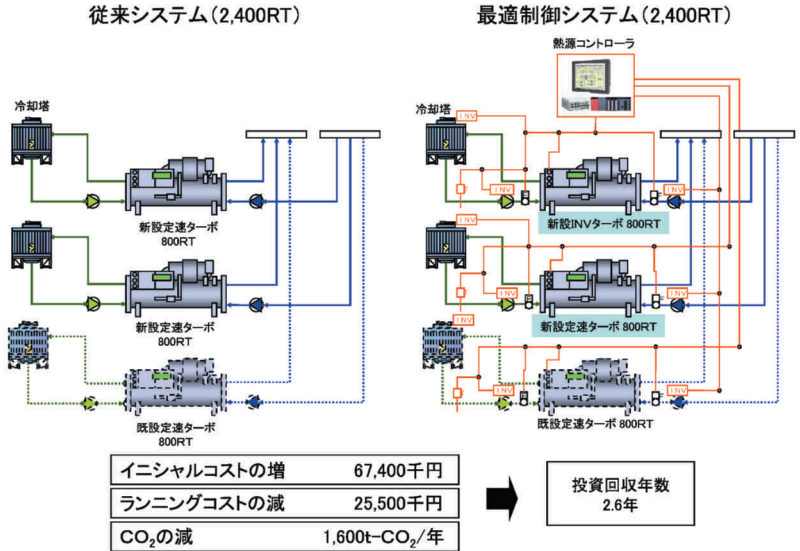


図6 工場における採用検討事例1

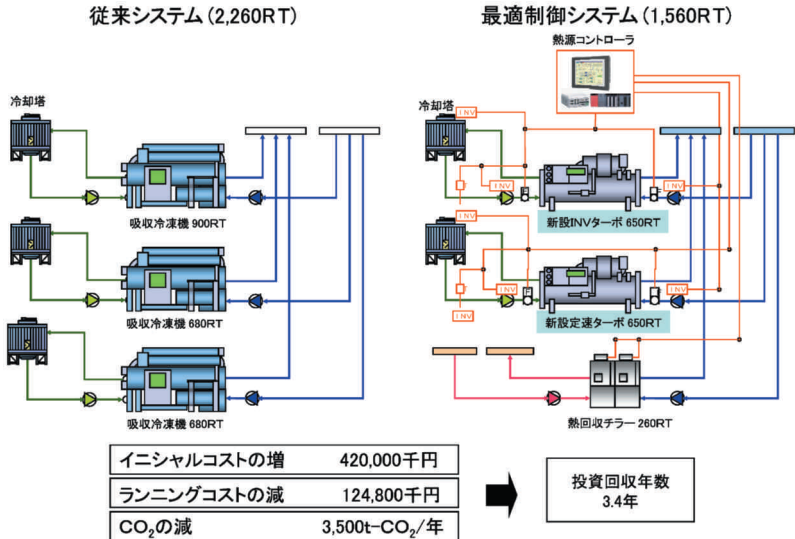


図7 工場における採用検討事例2

(3) データセンターにおける採用検討事例

図8に示すように、この事例ではデータセンターの新設計画時に定速ターボ冷凍機650RT×4台で計画していましたが、そのうちの2台をインバータターボ冷凍機に変更し、残りの2台は定速ターボ冷凍機として本システムを採用した場合について検討したものです。

その結果、定速ターボ冷凍機をインバータターボ冷凍機に変更する分と本システム採用のインシヤルコストアップ分が104,000千円となりますが、ランニングコストの削減が年間42,300千円となり、アップ分の投資費用回収年数は2.5年と試算され、CO<sub>2</sub>の削減量は1,200t-CO<sub>2</sub>/年となります。

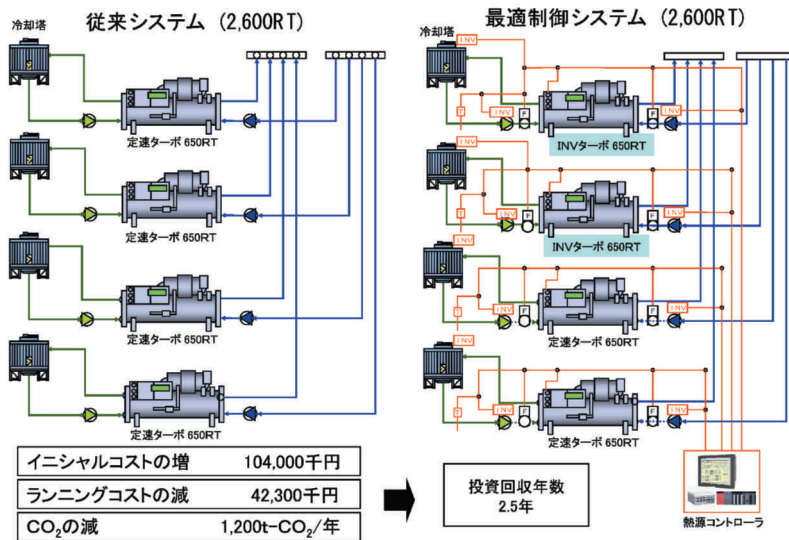


図8 データセンターにおける採用検討事例

## 5 運用実績

本システムを某電子機器工場（熱源の冷房能力12,000RT）に採用し、年間のエネルギーシステム効率評価を第三者機関により実施した結果、平成19年8月～平成20年7月までの1年間の実績評価では、図9に示すように年間システム COP（成績係数）が8.0になりました。システム COP（成績係数）は前記のように生産熱量（kW）／消費エネルギー（kW）ですので、システム COP（成績係数）が2倍になると、消費エネルギーは1/2になることを意味します。本システムの COP（成績係数）は、一般的な電動式の熱源システムの年間平均 COP（成績係数）が3.0～3.3程度であるのと比較して約2.5倍となり、ランニングコストは約1/2になります。また、一般的な燃料系冷熱源システムに比べるとCO<sub>2</sub>排出量を70～80%削減することができます。

図9に示すとおり冷房負荷がピークの7月～8月は冷凍機、1次冷水ポンプ、冷却塔ファンなどの熱源機器は、ほぼ100%近い状態で運転されるため、COP（成績係数）は5.4程度と従来のシステムとあまり変わりませんが、10月～4月の中間期や冬期においては、冷房は部分負荷となりますので、本シス

テムが有効に働き、**図9**の例では1月にシステム COP（成績係数）15.9を記録しました。  
 本システムの導入実績は以下のとおりです。  
 平成21年度：電子工場の改修2件，ホテルの熱源改修1件，商業施設の熱源改修1件  
 平成22年度：新築事務所ビル1件

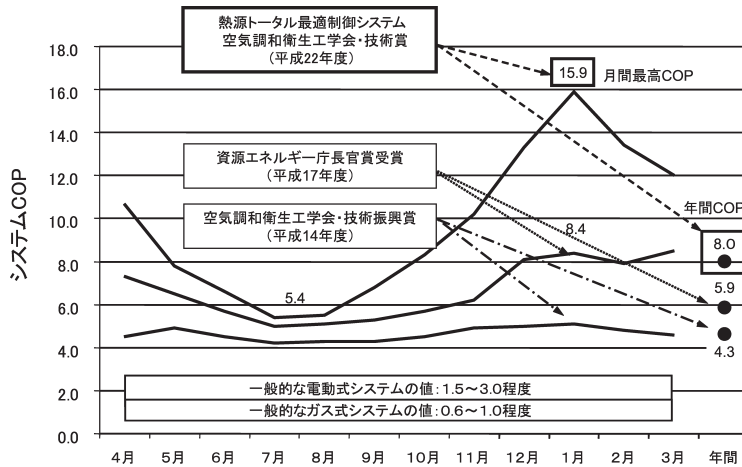


図9 システム COP (成績係数) の実績

## 6 まとめ

本システムは、新築工事はもちろん既設設備の更新にも適用できるため、その対象としては、冷凍機を持った中央熱源システムで冷房負荷の大きい1万㎡以上の建物や築15年以上経過した冷凍機などの更新計画のある建物などで、工場や病院、大学、ショッピングセンター、データセンター等と幅広いものとなっています。

2006年7月の新技術調査レポート「流量制御による省エネ効果に関する調査報告」によるエネルギー削減効果はポンプの動力を約60%削減できるものでしたが、建物全体で捉えると約3%程度でした。今回紹介した『熱源トータル最適制御システム』では、熱源の消費エネルギーを1/3～1/2に減らすことができますので、建物の全消費エネルギーの15%～27%が削減できることとなります（熱源システムで消費するエネルギーは建物全体の30%～40%とされています）。冒頭でも述べたとおり、既存建物における省エネルギーも厳しい対応が迫られている折から、本システムが、COP15で我が国が表明した1990年比25%の温室効果ガスの削減目標に大いに貢献できるものと期待しています。

本調査にあたりましては、東洋熱工業株式会社殿のご協力により技術資料を提供していただき、その一部を引用していることを付記します。

〔訂正〕本誌第69号掲載の「新技術調査レポート『高強度コンクリート』の調査報告」, 83pの「別表 指定性能評価機関一覧」中、「(財)建材試験センター性能評価本部性能評定課」の住所、電話番号を下記のとおり、訂正します。  
 〒340-0015 埼玉県草加市高砂2-9-2 アコス北館Nビル 電話番号：048-920-3816