

オフィスビル空調の省エネ化リニューアル技術

Energy-Saving Technology for Renewal of Air-Conditioning Systems in Office Buildings

花田 雄一 村山 大

■ HANADA Yuuichi ■ MURAYAMA Dai

地球温暖化防止や最近の世界的なエネルギー需給のひっ迫化などを背景に、オフィスビルの省エネ対策が急務となっている。また、1990年ごろの建設ラッシュ時に建てられたビルの設備がリニューアルの時期を迎えており、省エネ化のニーズに加え、より高い快適性やリニューアル工事中の利便性などのニーズが高まっている。

東芝は、このようなニーズに応えるために、快適性と省エネを両立させた空調システムを開発し、ビル入居者への影響を抑えたりリニューアル施工方法を実現した。このシステムを、リニューアル時期を迎えた東芝ビルにファシリティソリューションの一環として導入した。

Energy saving has recently become an urgent issue for office buildings in order to prevent global warming and to respond to the growing imbalance between energy supply and demand. There is an increasing need for the replacement of the old equipment in the buildings that were concentrically constructed in the 1990s with energy-saving equipment.

With this as a background, Toshiba has developed a new air-conditioning system that provides both comfort and energy savings and used it to replace the equipment in the Toshiba building that needed renewal work. We used a renewal method that minimizes the disturbance for the tenants in the building.

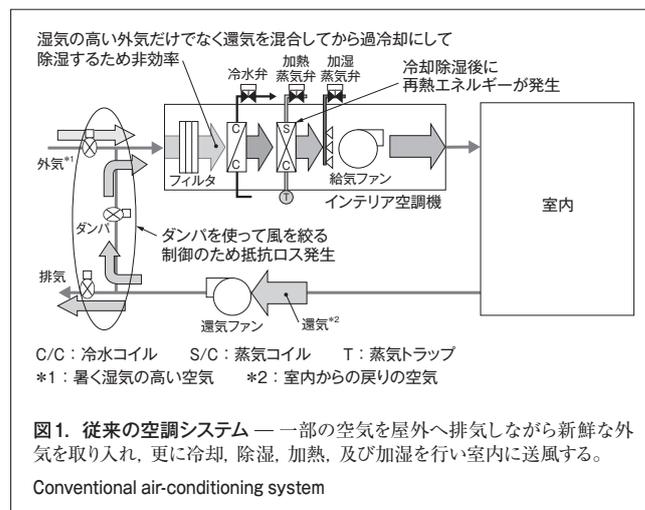
1 まえがき

地球温暖化防止に関する京都議定書の発効や、最近の世界的なエネルギー需給のひっ迫化などを背景に、オフィスビルの省エネ対策が急務となっている。しかし最近、産業部門などに比べて、オフィスビルや、ホテル、百貨店などの民生業務部門の省エネ化があまり進んでいない。そのため、省エネ法の改正や条例の制定など、オフィスビルに対する各種の法的強化が進み、いっそうの省エネ努力が必要となってきている。

これまで東芝は、空調動力や照明へのインバータの全面採用及び快適さと省エネを両立させるニューロPMVTM制御^{1)~3)}の導入など、多くの省エネ対策を東芝ビルに実施してきた。現在、東芝ビルは建設から25年が経過し、空調をはじめとした設備のリニューアル時期を迎え、空調、エレベーター、照明、誘導灯などのリニューアル工事が進行中である。ここでは、ファシリティソリューションの一環として取り組んだ東芝ビルを例に、空調システム省エネ化のリニューアル技術について述べる。

2 従来空調システムの課題

従来の空調システムは一般に図1に示すように、室内の空気をファンで循環させる際、一部の空気を屋外へ排気しながら新鮮な外気を取り入れ、更に冷却、除湿、加熱、及び加湿を行い室内へ送風している。東芝ビルでもこの方式が採用されており、湿度制御（除湿と加湿）や、送風、外気取入れ量の過



多による冷暖房などでエネルギー損失が生じていた。

また東芝ビルでは、3フロア一括して大型の空調機で空調し、更にペリメータ（窓際エリア）用空調機で6フロア一括して空調していたため、フロアごとの熱負荷それぞれに対応するには限界があった。

空調運転に関するヒアリングやアンケート調査の結果、夏場の冷房や冬場の加湿について能力不足やばらつきが認められた。

3 空調システム省エネ化のリニューアル

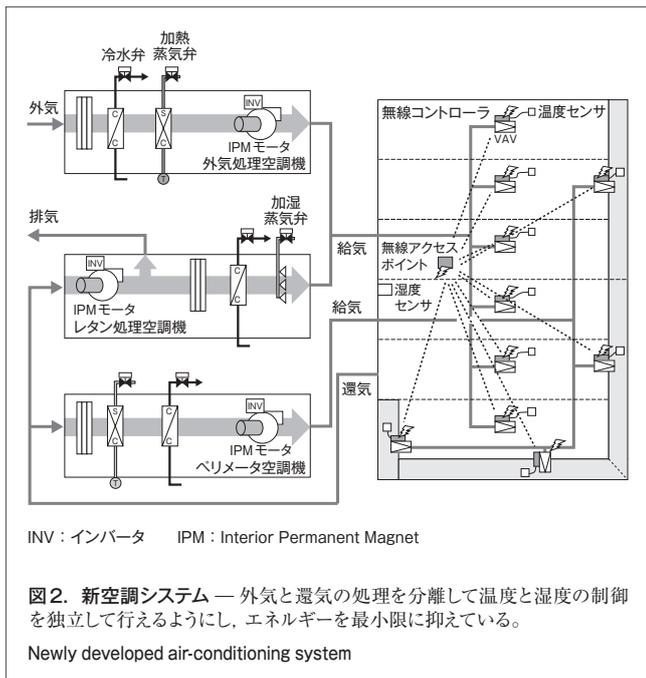
今回、快適性向上の課題を解決しながら省エネ化を図る空

調システムを、入居者への影響を最小限に抑えてビルを使用し続けるといった制約のなかで、低コストのリニューアル工事で導入した。導入した空調システムの特長及び省エネ効果と、リニューアル工事面での工夫について以下に述べる。

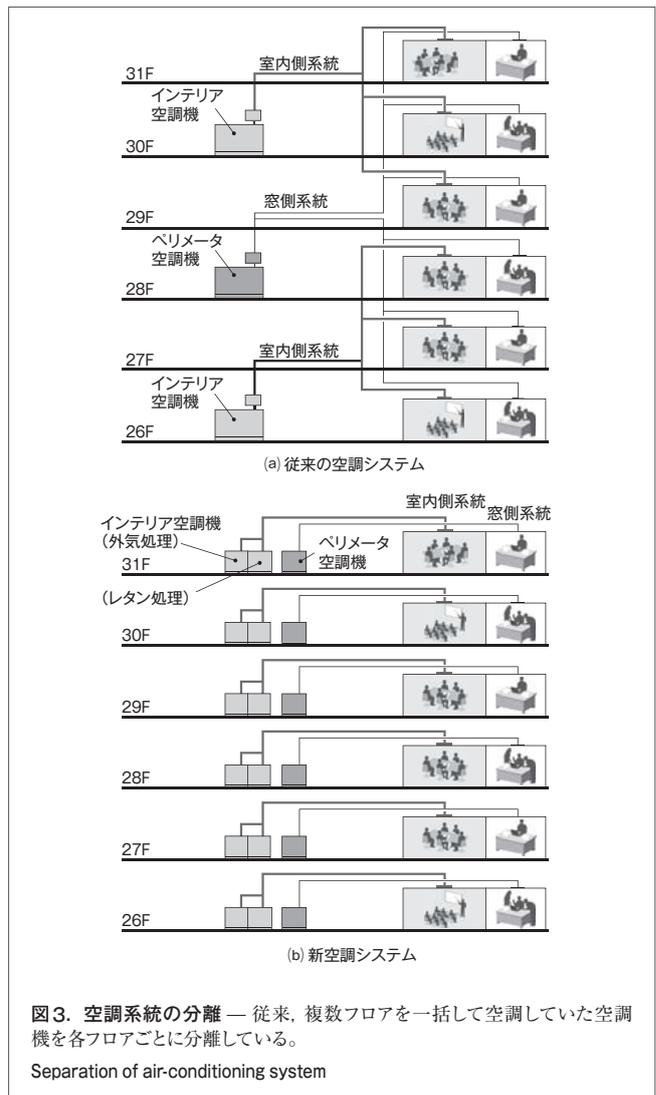
3.1 新空調システムの特長

従来のシステムの課題を解決するために、快適性を維持するうえで必要となる温度と湿度の制御を独立して行うことができるように外気処理を分離した構成とし、それぞれのプロセスでエネルギーを最小限に抑えるための制御を構築した。また、複数のフロアを一括して空調していたのを、各フロアごとに空調できるように空調システムを分離した。新空調システムの構成を図2に、空調システムの分離を図3に示す。

- (1) 外気処理を分けることで除湿を効率化 従来は外気と還気(室内からの戻りの空気)を混合して冷却、除湿、再熱していたが、還気は既に空気調和された空気であるため、外気だけを除湿することで効率化を図った。
- (2) 除湿後の再熱エネルギーが不要 除湿は過冷却により行うため、従来システムでは再熱エネルギーを必要としたが、新システムでは除湿された外気を再熱しないで送り出し、還気空気との混合により送風温度の調節を行うことで、再熱するためのエネルギーを不要にした。このため高めめの温度設定でも快適さを確保でき、省エネと快適環境を両立できる。
- (3) 適正な換気量を維持 換気のための新鮮な外気取入れは空調の熱負荷となるため、室内の二酸化炭素(CO₂)濃度をセンサでとらえて換気量を適正に制御することで負荷を軽減した。



- (4) 換気量を最小限の動力で制御 室内のCO₂濃度により換気量を制御する際、従来のシステムではダンパ開度による制御で抵抗ロス(ブレーキ)が生じていた。しかし、新システムでは単独の外気ファンをインバータで制御することでアクセルだけの制御が可能となり、最小限の動力で外気取入れ量を適正に制御できるようになった。
- (5) 還気に加湿を行うことで効率化 特に冬などは冷たい外気に加湿すると効率が悪いので、室内から戻ってきた暖かい還気に優先的に加湿を行うことで、加湿の効率化を図った。
- (6) 温度制御の細分化と送風圧の最適化 室内の温度はVAV (Variable Air Volume) によって風量を調節することで制御される。従来システムでは複数台のVAVを一つの温度センサで制御していたため、場所ごとの負荷のばらつきに対応できなかった。このためVAV 1台ごとに温度センサを取り付け制御を細分化した。また、VAVは開度を絞った状態では抵抗ロスが生じてしまう。そこで



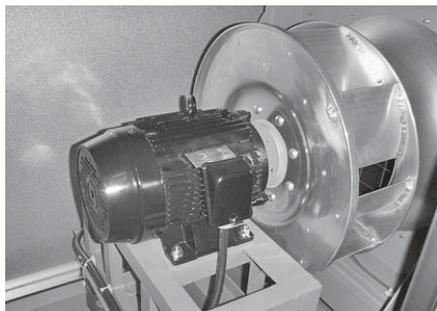


図4. IPMモータとプラグファン—永久磁石を用いたIPMモータとプラグファンを組み合わせると高効率化した。

Interior permanent magnet (IPM) motor and plug fan

VAVの開度が常に全開近くなるように送風機インバータを制御し、送風圧を必要最小限に抑えることで、送風動力の最小化を図った。

(7) 温度・湿度設定値の最適化 一般に、送風温度を下げると冷房熱源の消費エネルギーが増加し、また送風温度を上げるには送風量を増加させる必要があるためファンによる送風動力が増加する。そこで外気温度や室内負荷などの条件に対する空調システムのエネルギー特性を最適関数として定義し、室内が快適範囲内で冷水熱量、ポンプ動力、空調機動力の合計エネルギーが常に最小となるような室内の温度と湿度、送風温度を計算し自動設定するシステムを開発した。東芝ビルはDHC (District Heating and Cooling) 方式を採用し、冷暖房熱源を持たず近隣の地域冷暖房センターから7℃の空調用冷水の供給を受けているため、冷水温度一定条件下で送風温度の最適化を行うモデルベース省エネ制御システムを適用している。

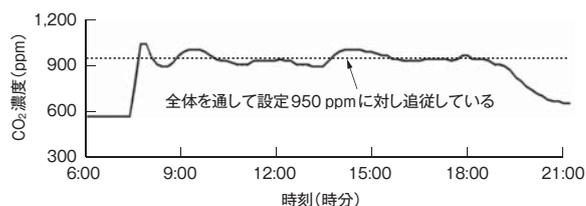
(8) 送風用モータとファンの高効率化 従来の誘導モータでなく、永久磁石を用いたIPM (Interior Permanent Magnet) モータを採用し、プラグファンを組み合わせることによって高効率化を図った(図4)。モータ容量は5.5 kW、送風量は11,000 m³/hである。

3.2 省エネ効果

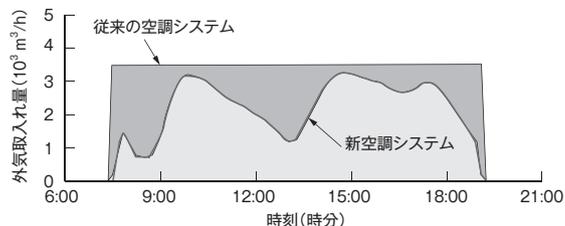
2009年8月に行った検証で、リニューアルした空調機の空調動力について、対前年同月比で平均42%の省エネ効果が得られた。

検証結果の一例を図5に示す。CO₂センサを用いて外気取入れ量を制御することにより、CO₂濃度を1,000 ppm以下に保ちながら外気取入れ量を削減できた。これは外気導入のためのファン動力と暑い外気を冷却するための冷房負荷の軽減につながる。

更に、空調全体のエネルギーが最小となるような温度・湿度設定を行うモデルベース省エネ制御システムについて、リ



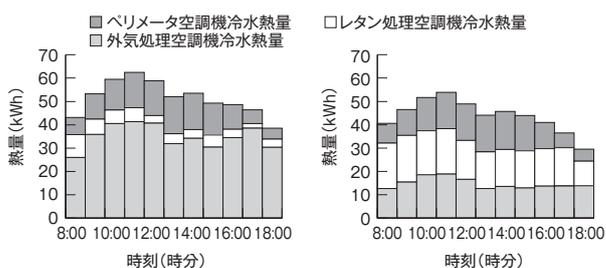
(a) CO₂濃度の変化



(b) 外気取入れ量の変化

図5. CO₂センサによる外気取入れ制御の検証結果—CO₂濃度を1,000 ppm以下に維持しながら外気取入れ量を削減でき、冷房負荷の軽減につながる。

Verification of ventilation control by carbon dioxide (CO₂) sensor



(a) 2009年7月30日の運転実績データ
冷水熱量 : 564.3 kWh
ファン電力量 : 22.5 kWh
合計エネルギー : 586.8 kWh

(b) モデルベース省エネ制御システムのシミュレーション結果
冷水熱量 : 483.7 kWh
ファン電力量 : 40.5 kWh
合計エネルギー : 524.2 kWh

図6. 冷水熱量のモデルベース省エネ制御システムシミュレーション結果—ファン電力量は大きくなるが冷水熱量が下がることで合計エネルギーが低く抑えられている。

Results of simulation of chilled water thermal quantity controlled by constant water air variable method

ニューアル前後の機器特性データを基にソフトウェアにて空調モデルを作成し、夏の運転実績データを基にシミュレーションを行った。代表日として2009年7月30日のデータによるシミュレーション結果を図6に示す。冷水と動力の消費エネルギーの合計が最小になるように温度と湿度を制御した結果、ファン電力量は大きくなるが冷水熱量が下がり、合計エネルギーが低く抑えられている。最適制御は代表ゾーンによる検証を経て、リニューアル完了フロア全体に展開する予定である。

この新空調システムを東芝ビルに導入することで、年間の省エネ効果の見込みは空調エネルギーの約22%となり(図7)、エネルギーコストの削減は約3,600万円/年、CO₂排出量の削減は約1,200 t-CO₂/年が見込まれる。

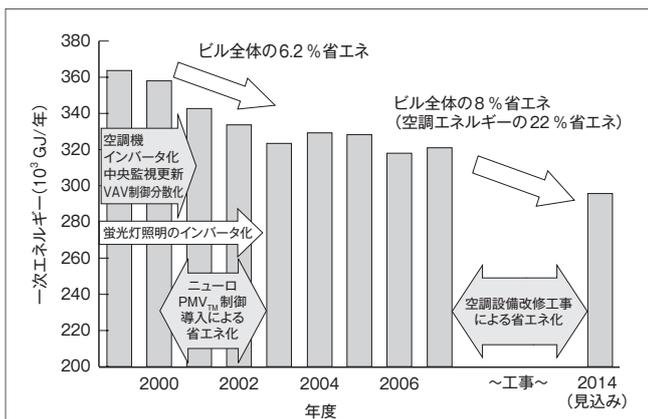


図7. 東芝ビルのエネルギー推移 — 6年間のリニューアル計画の中で、新空調システム導入により空調について約22%のエネルギー削減を見込んでいる。

Trends of energy conservation in Toshiba building

3.3 リニューアル施工における入居者への影響軽減

3.3.1 引越し不要の工事の実現

空調リニューアルの場合、機械室内の空調機器をすべて撤去した後、新システムを設置することになるため、通常、工事期間中は空調ができなくなる。更に、前述のとおりまったく新しいシステムを導入するには、既存と同一の空調機を単純更新する場合と異なり相当の工事期間が必要となる。この場合、入居者に別のフロアなどに一定期間引っ越してもらうのが一般的であるが、入居者への影響が極めて大きい。そこでリニューアル前の劣化調査の結果、天井内ダクトは劣化の問題がないことがわかったため、仮空調機を設置して既存ダクトに接続し送風することで、入居者が日常業務を継続しながら工事を実施できた。

3.3.2 現地配線工事の軽減化

空調工事では、空調機本体の設置とダクトや配管などの設備工事のほかに、自動制御工事が大きな作業量を占めている。特に作業時間の制約が多いリニューアルでは自動制御工事の軽減が求められる。そこで、制御・動力回路をあらかじめ空調機本体に内蔵する

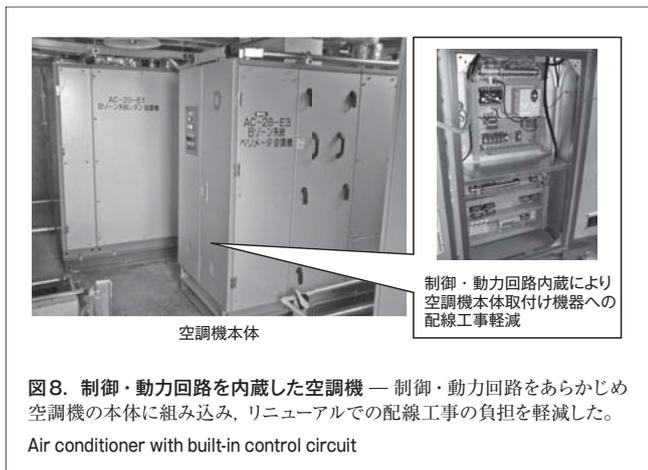


図8. 制御・動力回路を内蔵した空調機 — 制御・動力回路をあらかじめ空調機の本体に組み込み、リニューアルでの配線工事の負担を軽減した。

Air conditioner with built-in control circuit

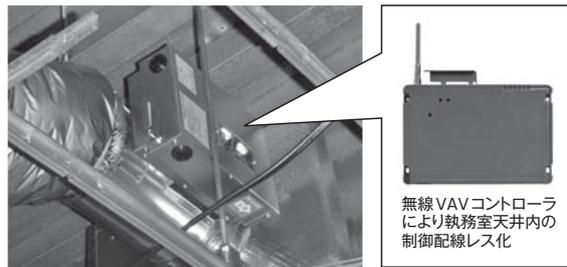


図9. 無線 VAV コントローラ — 無線 VAV コントローラを採用することで、執務室内の天井に分散設置されている VAV への制御配線が不要になった。

Wireless variable air volume (VAV) controller

ことで、現地での空調機械室内配線工事の軽減を行った(図8)。また執務室の天井内に分散設置するVAVに対して、無線VAVコントローラを採用することで執務室天井内の制御配線を不要にした(図9)。

4 あとがき

当社は、快適性の向上を図りながら高い省エネ効果を実現できる空調システムを開発するとともに、入居者への影響を最小限に抑えられるリニューアル工事を実現できた。1990年ごろの建設ラッシュ時に建設された多くのビルがリニューアル時期を迎えている。これらのビルオーナーは東芝ビルと同様の課題を抱えており、今後この省エネ化へのリニューアル技術をファシリティソリューションの一環として提供していく。

文 献

- (1) 山田富美夫, ほか. 快適性指標による省エネルギー型ビル空調制御システムの実用化技術. 電気学会論文誌 D. 119-D, 11, 1999, p.1377-1385.
- (2) 花田雄一. “BEMSを使った業務用ビルの空調省エネルギー「快適空調制御」”. 省エネルギー実施事例発表 関東地区大会事例集. 東京, 2003-09, 省エネルギーセンター. 2003, p.125-132.
- (3) 木下朋行. IT時代の計測・制御技術の動向(2) PMV制御による室内環境最適化制御. 空気調和衛生工学. 80, 3, 2006, p.35-42.
- (4) 米澤憲造, ほか. “ビル快適空調制御システムの開発と実用化”. 計測自動制御学会産業論文集. 4, 3, 2005, p.17-24.



花田 雄一 HANADA Yuuichi

社会システム社 社会システム事業部 施設システム技術第二部グループ長。ファシリティソリューション業務に従事。電気設備学会会員。技術士(電気電子部門)。Infrastructure Systems Div.



村山 大 MURAYAMA Dai

電力システム社 電力・社会システム技術開発センター 制御システム開発部主務。ビルエネルギーソリューション業務に従事。電気学会会員。Power and Industrial Systems Research and Development Center