

# スマートBEMSのモデルベース空調制御による ビルの省エネ効果検証

Verification of Energy-Saving Effect Achieved by Model-Based Air-Conditioning Control Function of "Smart BEMS"

田丸 慎悟 朝妻 智裕

■ TAMARU Shingo

■ ASAZUMA Tomohiro

東芝のスマートBEMS (Building Energy Management System) は、ビルの設備を統合管理・制御することで、快適性と省エネを高レベルで両立させるだけでなく、災害時には限りあるエネルギーを有効活用してビル機能の維持を図る。

スマートBEMSの機能の一つに、快適性を維持しながら熱源・空調システムの消費エネルギーを削減するモデルベース空調制御がある。当社のスマートコミュニティセンターで実証実験を行った結果、モデルベース空調制御を導入しない場合に比べ、快適性はほとんど変わらず、冬季平均13.1%、夏季平均8.6%の省エネを実現した。

Toshiba has developed "Smart BEMS," which provides the optimal building energy management system (BEMS) technology through integrated management of each building facility. Smart BEMS makes it possible not only to achieve high levels of comfort and energy saving but also to maintain building functions by making full use of limited electricity supplies in the event of a disaster.

Model-based air-conditioning control, which is one of the functions of Smart BEMS, can reduce the energy consumption of heat-source and air-conditioning systems while maintaining comfort. We have conducted demonstration tests at the Smart Community Center, the base for Toshiba's smart community business, and confirmed that the model-based air-conditioning control function can reduce the energy consumption of heat-source and air-conditioning systems by an average of 13.1% and 8.6% in the winter and summer seasons, respectively, compared with a system that is not equipped with model-based air-conditioning control, without sacrificing comfort.

## 1 まえがき

スマートコミュニティが求められる背景として、新興国を中心としたエネルギー需要の拡大と地球温暖化の進行がある。また、2011年3月11日に発生した東日本大震災を契機に、電力を大量に消費するオフィスビルや工場などで、がまんする省エネから快適に省エネする意識が高まっている。

東芝は、スマートコミュニティの実現に向け、ビルの設備を統合管理・制御することで、快適性と省エネを両立させるだけでなく、災害時には限りあるエネルギーを有効活用してビル機能の維持を図るスマートBEMS<sup>(1)</sup>の開発を進めている。

ビルで消費されるエネルギーのうち、熱源・空調システムの消費エネルギーは約43%<sup>(2)</sup>を占めるため、これの省エネが重要となる。当社のスマートBEMSが持つ機能の一つとして、快適性を維持しながら熱源・空調システムの消費エネルギーを削減するモデルベース空調制御がある。モデルベース空調制御は、熱源・空調システム全体のエネルギー特性をあらかじめモデル化し、そのモデルに基づいて執務者の快適性を維持しながら消費エネルギーを削減するように熱源設備と空調設備の温度設定値を決定する。

当社のスマートコミュニティセンターでは、2013年10月の開所と同時にモデルベース空調制御の運用を開始した。実ビルでのモデルベース空調制御の効果を実証するため、一律に設計値などを設定温度にする制御（以下、従来制御と呼ぶ）とモ

デルベース空調制御を交互に運転し、快適性と消費エネルギーを比較した。

モデルベース空調制御は、冬季と夏季で制御方式が異なるため、2013年12月からの約2か月間を対象期間として冬季実証を、2014年8月からの約1か月間を対象期間として夏季実証を行った。

ここでは、スマートコミュニティセンターにおけるモデルベース空調制御の概要と、冬季実証と夏季実証の結果について述べる。

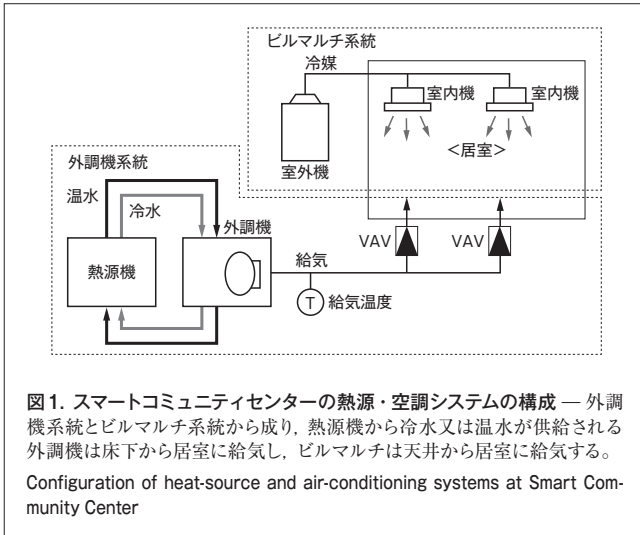
## 2 快適性と省エネを両立させる空調制御

モデルベース空調制御は、熱源設備と空調設備を適切な温度設定値に変化させ、快適性を維持しながら熱源・空調システムの消費エネルギーを削減する。

### 2.1 対象システム

スマートコミュニティセンターの熱源・空調システムは、外調機系統とビルマルチエアコン（以下、ビルマルチと略記）系統から構成される（図1）。

外調機系統は、熱源機から外調機に冷水又は温水が供給され、外気を冷却又は加熱して居室に給気する。ここで、外調機は居室の二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）濃度が基準値を超えないように、VAV（可変風量制御装置）により給気風量を変えることで換気を行う。



ビルマルチシステムは、室外機から室内機に冷媒が供給され、居室からの空気を冷却又は加熱して居室に給気する。

モデルベース空調制御は、熱源機の冷水又は温水の温度設定値、外調機の給気温度設定値、及びビルマルチの室内温度設定値をそれぞれ変化させ、外調機システムとビルマルチシステムの負荷分担を調整し、消費エネルギーを削減する。

## 2.2 快適指標

暑い、寒いといった温熱感覚を定量的に扱うことを可能にした指標の一つに、ISO 7730 (国際標準化機構規格 7730) で規定されているPMV (Predicted Mean Vote: 予測平均申告) がある。

PMVは、デンマーク工科大学のFanger教授が提唱した指標で、人の感じる温熱感覚を-3 (寒い) ~ +3 (暑い) の値で表している。温熱感覚を左右する要素には、温度、湿度、輻射 (ふくしゃ) 温度、着衣量、活動量、及び気流速度の六つがあり、これらを変数とした関数によってPMVが導き出される。

PMV=0では統計的に95%の人の満足が得られる。また、PMVが±0.5以内では90%の人が快適と感じることから、ISO 7730ではPMVが±0.5以内となるような室内環境を推奨している。PMVを利用することで不快感の少ない空調制御が実現できる。

## 2.3 省エネとなる空調設定の演算法

スマートコミュニティセンターに導入しているモデルベース空調制御は、冬季と夏季で制御方式が異なる。外気温湿度などの現在値から、外気などのエンタルピーを計算し、冬季モードと夏季モードの切替えを行う。また、冬季モードと夏季モードの他に中間季モードがある。中間季モードは、制御パラメータは異なるものの冬季モードと同様の制御方式となる。中間季は外気が涼しく、熱源機の冷温水を利用する機会が少ないなどの理由で省エネ効果が比較的小さいため、今回の実証では対象外とした。

冬季モードでは、外調機は暖房で運転するが、ビルマルチは居室の発熱量によっては冷房で運転することがある。このため、熱源機、外調機、及びビルマルチの設定値を別々に演算する。

熱源機では、外気の温湿度と、冷水側又は温水側の負荷に伴って冷水温度設定値及び温水温度設定値を変化させ、熱源機を効率のよいところで運転させることで消費エネルギーを削減する。

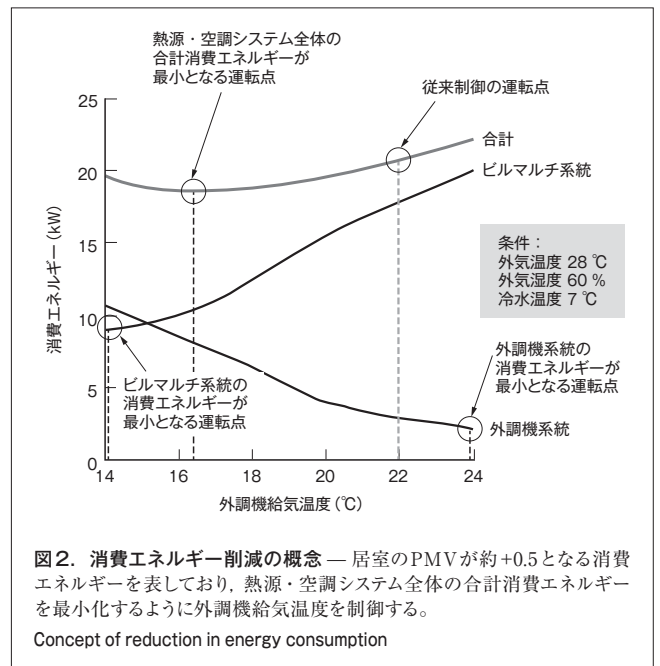
外調機では、外気温度に伴って給気温度設定値を変化させ、外気温度が低い場合は暖かい風を給気することにより、執務者の不快感を軽減する。

ビルマルチでは、室内温度設定値をニューロPMV™制御<sup>3)</sup>により変化させ、冷やしすぎや暖めすぎなどを防止することで消費エネルギーを抑制する。

夏季モードでは、まず、居室に設置されたスマートアイセンサー™で計測した居室の在室人数、照明などを含む居室の消費エネルギー、及び最大室内負荷 (設計値) を用いて室内負荷率の演算を行う。そして、室内負荷率の演算結果や外気温湿度などを用い、外調機システムとビルマルチシステムとの空調負荷の分担を最適化して消費エネルギーを削減するように、それぞれの温度設定値を演算する。

夏季モードで消費エネルギーを削減する概念を図2に示す。この例では、外調機給気温度が14~24℃の範囲において、居室のPMVが約+0.5 (温度約26℃, 湿度約58%) となる消費エネルギーを表している。

従来制御の場合、外調機の給気温度は一律に設計値の22℃に設定しているため、消費エネルギーはこの設定値で決まり、変わらない。



これに対し、モデルベース空調制御の場合、外調機の給気温度を約16.5℃に下げ、外調機系統の負荷分担を増加させる代わりにビルマルチ系統の負荷分担を減少させることで、熱源・空調システム全体の消費エネルギーを削減できる。つまり、外気温湿度や室内負荷率などの状況に従って、外調機系統とビルマルチ系統の効率がよくなるように負荷分担を調整することで、熱源・空調システム全体の効率をもっともよくなるところで運転できる。

### 3 実証結果

前述したように、モデルベース空調制御の実証は、2013年12月上旬から2014年2月上旬までの約2か月間で冬季実証を行い、2014年8月中旬から9月中旬までの約1か月間で夏季実証を行った。

省エネ効果は、スマートコミュニティセンターの1フロアの居室を北側と南側に分け、従来制御とモデルベース空調制御を交互に運転させて得られたデータにより検証した。

このときのモデルベース空調制御と比較する従来制御の設定値は、ビルマルチ室内温度は冷房25℃、暖房22℃とし、外調機は給気温度22℃、及び熱源機は冷水温度7℃、温水温度45℃とした。

#### 3.1 冬季実証結果

冬季実証では、2013年12月9日から2014年2月7日における8時から17時までの平日データのうち、評価対象とした期間(以下、冬季評価期間と呼ぶ)で従来制御とモデルベース空調制御の消費エネルギーを比較した。

スマートコミュニティセンターの1フロアの居室は、複数のゾーンに分割されている。1ゾーン当たりの各消費エネルギーと、モデルベース空調制御の省エネ率を図3(a)に示す。また、冬季評価期間全体での各消費エネルギーを図3(b)に示す。

図3(a)では、同一日の異なるゾーンに対して従来制御とモデルベース空調制御を比較しているため、居室の負荷状況などにより削減量が変化しているが、図3(b)のように、冬季評価期間全体ではモデルベース空調制御により消費エネルギーを平均で13.1%削減できた。このときの各機器における消費エネルギーの削減率は、熱源機で15.0%、外調機で-1.6%、ビルマルチで17.0%であった。

熱源機は温水温度設定値と冷水温度設定値を変化させることで消費エネルギーを削減しており、ビルマルチはニューロPMV™制御により室内温度設定値を変化させることで消費エネルギーを抑制している。外調機の消費エネルギーは、主に給気ファンと排気ファンの消費エネルギーであり、前述したように、その風量は居室のCO<sub>2</sub>濃度基準値に基づく制御により決定されるため、冬季及び夏季ともにモデルベース空調制御の対象外としている。

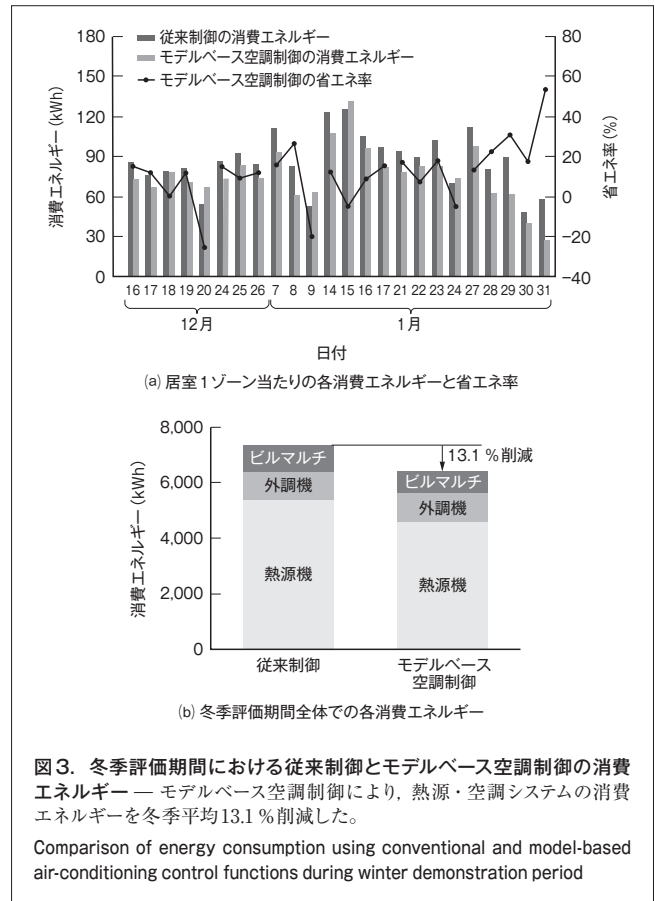


図3. 冬季評価期間における従来制御とモデルベース空調制御の消費エネルギー — モデルベース空調制御により、熱源・空調システムの消費エネルギーを冬季平均13.1%削減した。

Comparison of energy consumption using conventional and model-based air-conditioning control functions during winter demonstration period

このように、冬季評価期間では、モデルベース空調制御により、熱源・空調システムの消費エネルギーを平均で13.1%削減できたことを確認した。

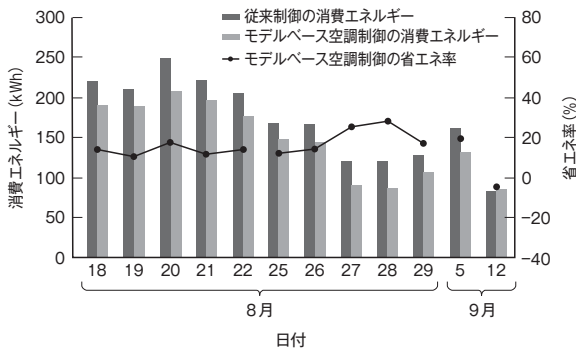
#### 3.2 夏季実証結果

夏季実証では、2014年8月18日から9月12日における8時から17時までの平日データのうち、評価対象とした期間(以下、夏季評価期間と呼ぶ)で省エネ効果を評価した。図3と同様に、1ゾーン当たりの各消費エネルギーと、モデルベース空調制御の省エネ率を図4(a)に示し、夏季評価期間全体での各消費エネルギーを図4(b)に示す。

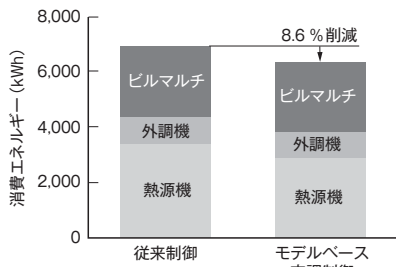
冬季実証と同様に、図4(a)では、同一日の異なるゾーンに対して従来制御とモデルベース空調制御を比較しているため、居室の負荷状況などにより削減量が変化しているが、夏季評価期間全体は、図4(b)に示すように、モデルベース空調制御により消費エネルギーを平均で8.6%削減できた。また、このときの各機器における消費エネルギーの削減率は、熱源機で14.8%、外調機で3.8%、ビルマルチで2.2%という結果を得た。

夏季の典型的な日の1ゾーンを例として、夏季モードでのモデルベース空調制御の特徴的な部分について述べる。

まず、夏季の典型的な日の従来制御とモデルベース空調制御の消費エネルギーを図5に示す。各時刻の消費エネルギーは、モデルベース空調制御のほうが従来制御より小さいことがわかる。



(a) 居室1ゾーン当たりの各消費エネルギーと省エネ率



(b) 夏季評価期間全体の各消費エネルギー

図4. 夏季評価期間における従来制御とモデルベース空調制御の消費エネルギー — モデルベース空調制御により、熱源・空調システムの消費エネルギーを夏季平均8.6%削減した。

Comparison of energy consumption using conventional and model-based air-conditioning control functions during summer demonstration period

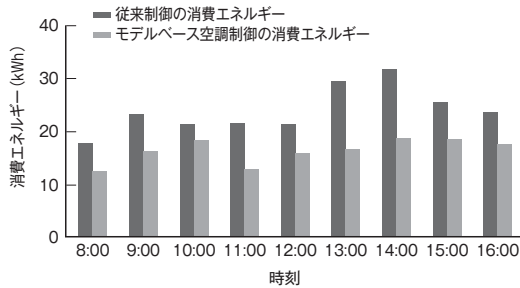
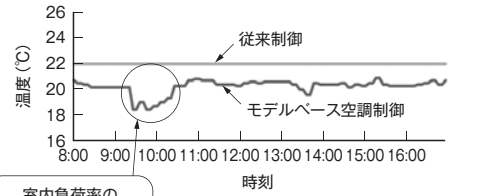


図5. 夏季の典型的な日における消費エネルギー — 各時刻の消費エネルギーは、モデルベース空調制御のほうが従来制御より小さい。

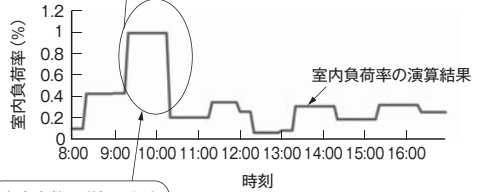
Energy consumption on typical summer day

次に、外調機給気温度設定値の変化を図6に示す。8時から9時にかけて在室人数が増加した影響により、9時以降の室内負荷率が増加し、外調機給気温度設定値が変化している。外調機給気温度設定値を変化させることで、図2で示したように、外調機システムとビルマルチシステムの負荷分担を調整していることがわかる。

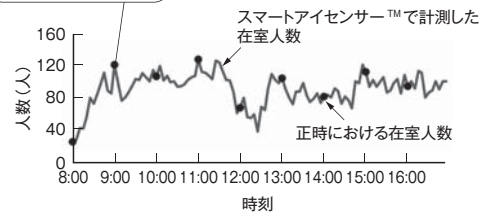
更に、このときの室内のPMV、室内温度、及び室内湿度を図7に示す。室内温度は12時から13時前後でモデルベース空調制御のほうがわずかに高く、室内湿度は8時から17時ま



(a) 外調機給気温度設定値



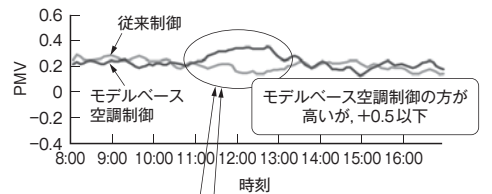
(b) 室内負荷率



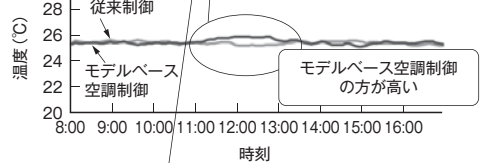
(c) 在室人数

図6. 夏季の典型的な日における外調機給気温度設定値の変化 — 在室人数などにより室内負荷率を演算し、室内負荷率を用いて外調機給気温度設定値を演算している。

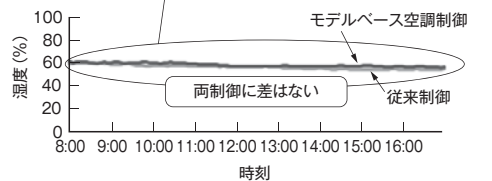
Trends in set temperature value of supply air on typical summer day



(a) PMV



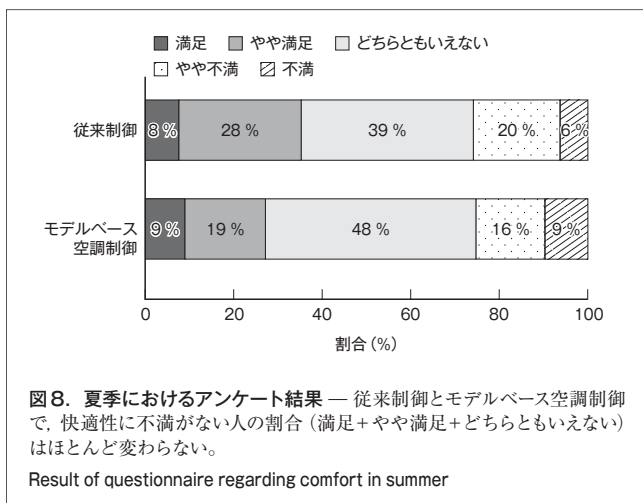
(b) 室内温度



(c) 室内湿度

図7. 夏季評価期間における室内環境 — 室内温度が高くなることで室内のPMVも高くなるが、その値は+0.5以下に抑えられており、快適性は維持できている。

Indoor environment on typical summer day



でほぼ同じである。このため、室内のPMVは12時から13時前後でモデルベース空調制御のほうがやや高くなっているが、その値は+0.5以下に抑えられており、快適性は維持できていることがわかる。

このように、在室人数から演算した室内負荷率を用いた外調機系統とビルマルチ系統の負荷分担の調整、及びPMVを用いた室内温度の調整により、夏季の消費エネルギーを削減できた。夏季評価期間では、快適性を維持しながら熱源・空調システムの消費エネルギーを平均で8.6%削減できたことを確認した。

### 3.3 快適性に関するアンケート結果

夏季評価期間に対して実施した快適性に関するアンケート結果を図8に示す。アンケート結果から、快適性に不満がない人の割合（満足+やや満足+どちらともいえない）はほとんど変わらない結果を得た。また、冬季評価期間についてもアンケート調査を実施し、同様の結果を得た。

これらにより、居室の快適性はほとんど変わらないにも関わらず、省エネを実現できていることがわかる。

## 4 あとがき

スマートコミュニティセンターにおいて、モデルベース空調制御の効果を実証した結果、快適性は変わらないにも関わらず、熱源・空調システムの消費エネルギーを冬季平均13.1%、夏季平均8.6%削減できたことを確認した。

今後、スマートBEMSの一機能として、モデルベース空調制御によるビルの省エネを実現するとともに、地球温暖化防止に寄与していく。

## 文献

- (1) 朝妻智裕. ビルの快適性と省エネを両立させ安全・安心を支えるスマートBEMS. 東芝レビュー. 68, 12, 2013, p.26-29.
- (2) 省エネルギーセンター (ECCJ). “オフィスビルの用途別エネルギー消費”. ECCJホームページ. <[http://www.eccj.or.jp/office\\_bldg/01.html#01\\_02](http://www.eccj.or.jp/office_bldg/01.html#01_02)>. (参照 2014-10-22).
- (3) 花田雄一 他. 生活者の行動を優先した快適空調制御システム“ニューロPMV™制御”. 東芝レビュー. 62, 6, 2007, p.24-27.



田丸 慎悟 TAMARU Shingo

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。システム制御技術の開発に従事。  
Power and Industrial Systems Research and Development Center



朝妻 智裕 ASAZUMA Tomohiro

コミュニティ・ソリューション社 コミュニティ・ソリューション事業部 技術第一部 参事。ビル監視制御システムの開発、企画、及びエンジニアリング業務に従事。  
Community Solutions Div.