

ビル省エネルギーに貢献する快適空調制御

Comfort Air-conditioning Control for Building Energy Saving

山田 富美夫

■ YAMADA Fumio

米沢 憲造

■ YONEZAWA Kenzo

花田 雄一

■ HANADA Yuuichi

民生分野のエネルギーは年々増加傾向にあり、建築設備においても省エネルギー（以下、省エネと略記）対策が急務になっている。特に大規模な業務用ビルに対しては、省エネ法の改正で空調などに厳しいエネルギー管理が求められる。ビルオーナーからは、低コストな設備運営へのニーズとともに、居住者に快適な空調空間管理へのニーズがある。

東芝はこのようなニーズに応えるために、暑い寒いといった温熱感覚に基づく快適性指標を導入し、快適性を確保しつつ省エネも同時に実現する快適空調制御システムを開発した。このシステムは、ビルエネルギー管理システムを生かした新しい省エネ技術として期待がかかっている。

General energy consumption is increasing year by year and countermeasures for energy saving need to be implemented immediately. In particular, strict energy management of air conditioning is necessary for large-scale office buildings in order to conform with energy-saving regulations. Building owners require not only low-cost facility operation but also air-conditioned space management to satisfy the thermal needs of occupants.

To meet these requirements, Toshiba has developed an automated comfortable air-conditioning system that provides both comfort and energy saving at the same time by introducing a thermal comfort index based on the occupants' thermal sensations such as hot and cold. There are expectations for this system as a new energy-saving technology utilizing building energy management systems.

1 まえがき

ビルの空調設備関連エネルギーは建物全体の約半分を占めており、空調制御によって冷やしすぎや暖めすぎなどによるむだなエネルギーを排除すれば、大幅な省エネ効果が期待できる。従来のビルの空調制御では、室温は終日一定値に設定されるため、湿度や輻射（ふくしゃ）などの影響によって快適性が変化しても、室温に反映されないうえに。また、ビル管理センターのオペレーターは、居住者からのクレーム連絡を受けて初めて設定温度を変更する処置を取っていた。

元来、暑い寒いといった温熱感覚は居住者ひとりひとり差があるが、大多数の人が満足する温熱指標はISO（国際標準化機構）で規定されている。そこで東芝は、この快適性の指標を用いて、時々刻々変化する温熱環境に対して、常に快適性が維持されるような空調温度の設定を自動的に行う制御方式を開発し、事務所ビルで効果を検証した。

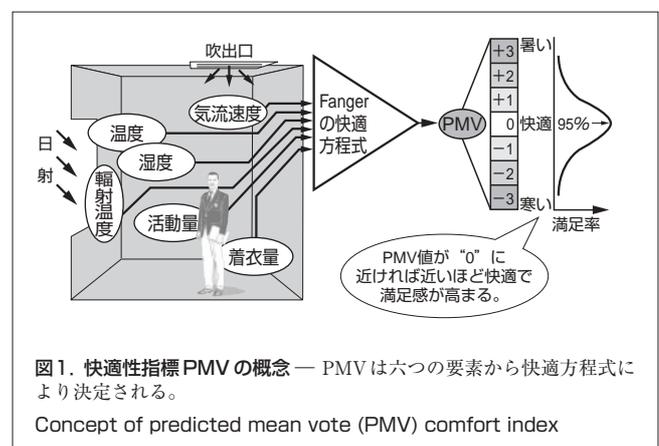
ここでは、快適性指標の考え方や空調制御システムの構成、省エネ効果の検証結果について述べる。

2 快適空調の概要

2.1 快適性の指標

空調空間の温熱感覚を暑い寒いといったわかりやすい表

現で定量的に取り扱うことを可能にした画期的な温熱指標にPMV（Predicted Mean Vote：予測平均申告）があり、ISO7730に規定されている。PMVの概念を図1に示す。これは、デンマーク工科大学のFanger（ファンガー）教授が提唱した指標で、人の快適さを暑い～寒いまでを7分割して+3～-3の数値を割り振ったものである。快適さを左右する六つの変数（温度、湿度、平均輻射温度、気流速度、着衣量、活動量）とPMVの対応を、快適方程式と呼ばれる実験式で関係付けている。PMV=0は“ちょうど快適”のレベルを表し、統計的に居住者の95%の満足が得られる。また、PMV



が-0.5～+0.5の範囲では10人中9人までが快適と感じる。
 このように、大多数の人が快適と感じる温熱条件を示したPMV指標を管理することで、居住者が多数いるビル空間において、クレームの少ない空調制御が実現できる。

2.2 平均輻射温度の快適性への影響

PMVは温度と湿度で規定されるそれまでの温熱指標と異なり、建物内部壁面から人体への輻射伝熱による熱交換が平均輻射温度を介して取り込まれていることが特徴である。快適方程式から算出した平均輻射温度とPMVの関係を図2に示す。図2から、平均輻射温度はPMVに対して正

の相関を持ち、温度や湿度と並び快適性を左右する重要な因子となっている。

2.3 快適性指標と省エネの実現

快適空調制御では、図3に示すようにPMVの快適な範囲に幅があることに注目して、冷房や暖房時の設定温度をそれぞれ上限値(+0.5)、下限値(-0.5)に近くなるように選んでいる。このように、快適な範囲ぎりぎりの空調を維持することで不快によるクレームを回避し、かつ、空調負荷低減による空調ファンや熱源の省エネが実現できる。

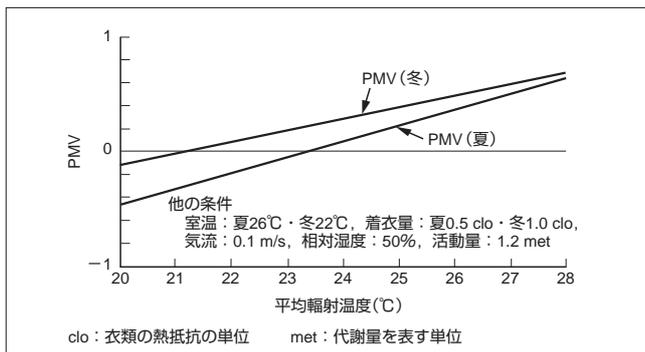


図2. 平均輻射温度とPMVの関係 — 平均輻射温度は快適性を左右する因子である。
 Relationship between mean radiation temperature and PMV

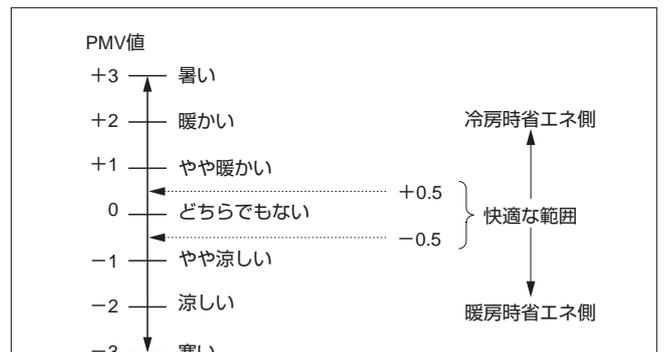


図3. PMVと省エネの関係 — 快適な範囲のぎりぎりの空調をすることで省エネが図れる。
 Relationship between PMV and energy saving

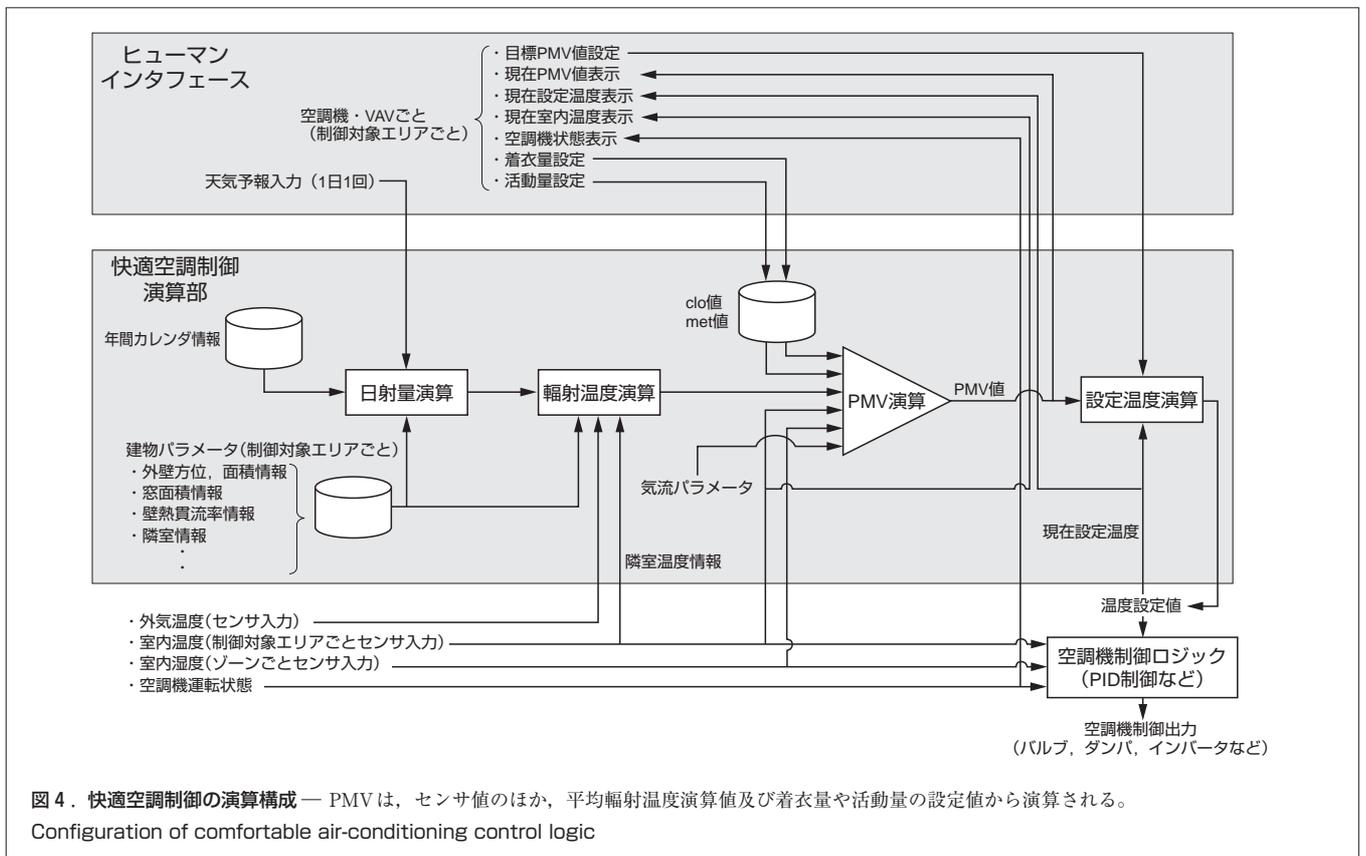


図4. 快適空調制御の演算構成 — PMVは、センサ値のほか、平均輻射温度演算値及び着衣量や活動量の設定値から演算される。
 Configuration of comfortable air-conditioning control logic

3 快適空調制御システムの構成

3.1 快適空調制御の演算構成

快適性指標を一定に保つための快適空調制御の演算構成を図4に示す。PMVの演算では、室内温度や湿度のセンサ計測値が取り込まれるほか、居住者の平均的着衣量や、作業レベルに応じた平均的活動量が画面から設定される。また平均輻射温度は、専用センサを設けることなく、ビルエネルギー管理システム(BEMS^(注1))の特徴を生かして外気温度や日射計、天気予報入力などのデータから演算する方式とすることで、システムの構成機器を減らしイニシャルコストの低減を図っている。

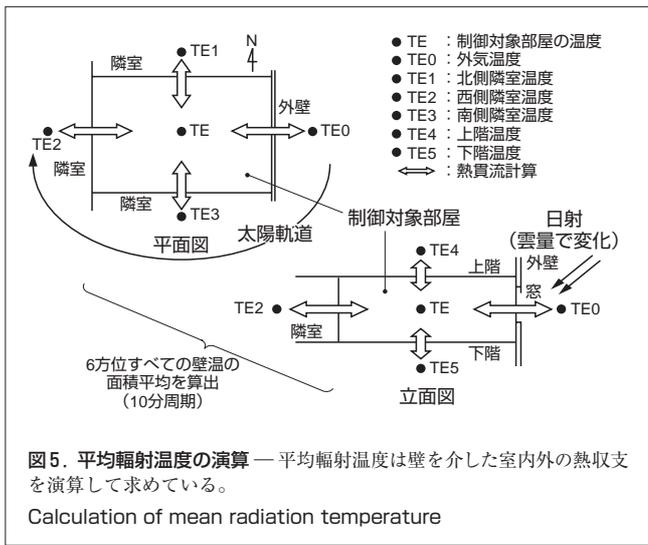
システムの実用化にあたっては、快適方程式の演算による快適性を、ニューラルネットワークを用いて表現する方式(ニューロPMV_{TM})とした。

3.2 平均輻射温度の演算

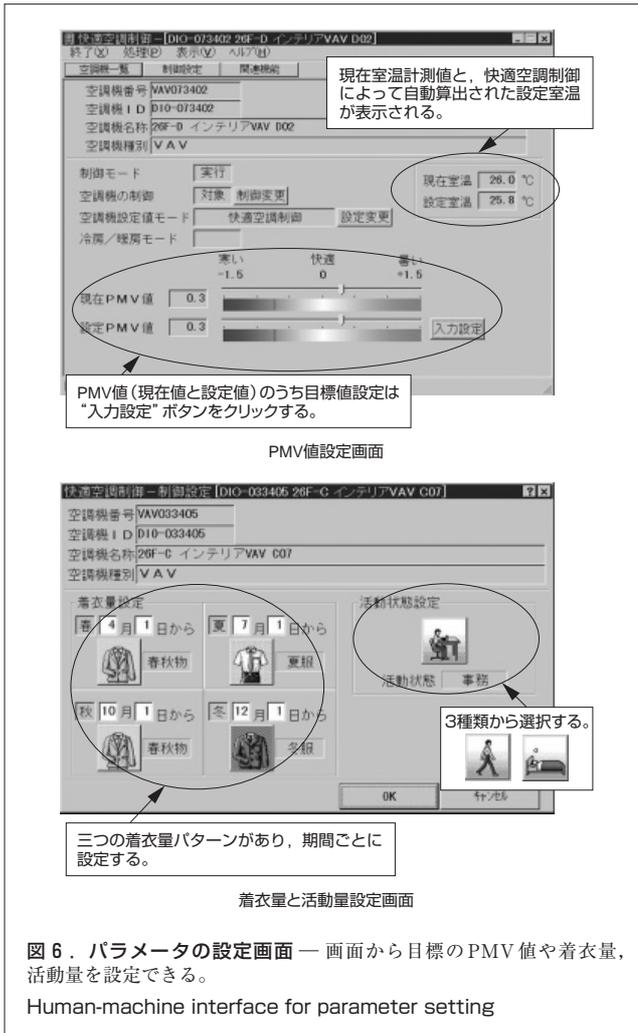
具体的な平均輻射温度の演算を図5に示す。まず室温制御空間ごとに、各方位の壁面積、壁材質、窓面積などの建物情報と、温度計測ポイント情報を定義する。カレンダー情報から、ある月・日・時・分における太陽入射角を求め、これに日射計入力値又は天気予報入力値による雲量補正を掛け、外気温と室温のセンサ入力値をもとに窓や外壁面の輻射温度を計算する。それ以外の床、壁、天井面の輻射温度を、隣接する温度ポイントとの熱貫流計算で算出し、全6方位の面積平均を平均輻射温度として演算している。このような演算処理を、室温制御単位ごとに10分周期で実行させている。

3.3 パラメータの設定

快適空調制御の設定画面例を図6に示す。PMV値設定画面で制御対象部屋の目標PMV値を設定するとともに、その部屋における現在室温、現在PMV値、設定室温が確認でき



(注1) BEMSは、(財)省エネルギーセンターの商標。



る。パラメータ設定画面では、PMVの6要素のうちセンサで測ることのできない着衣量と活動量を設定している。

4 省エネ効果の検証

4.1 夏期の省エネ効果

大規模事務所ビルを対象に、夏期の全館試験で快適空調制御と従来制御の省エネ効果の測定を行った結果を表1に示す。

気温が高い真夏日より気温の低い日のほうが高い省エネ率が得られた。これは、快適空調制御が快適性を保つように温度設定の変更をしているのに対し、従来制御は真夏日の冷房温度設定のまま、気温の低い日に対して冷しぎみになっている状況にあると言える。

4.2 温熱感覚のアンケート調査

夏期試験中、居住者約200人に温熱感覚のアンケート調査を実施した。室温一定の従来制御に対する結果と快適空調制御に対する結果を図7に示す。快適空調制御では、従来制御とほぼ同じ不快の割合で、省エネルギーを図りながら、

表1. 夏期の省エネ効果
Energy-saving effect in summer

項目		① 快適空調制御	② 従来制御	③ 削減量 (②-①)	削減率 (③/②)
期間全体 (1日当たり平均)	電力量 (kWh)	6,714	6,996	282	4.0%
	冷水熱量 (MJ)	293,493	323,564	30,070	9.3%
	エネルギー料金 (千円)	1,023.2	1,121.9	98.7	8.8%
やや涼しい日 のみの比較 (最高気温31℃未満の日)	電力量 (kWh)	6,405	6,902	497	7.2%
	冷水熱量 (MJ)	263,934	311,687	47,752	15.3%
	エネルギー料金 (千円)	925.6	1,083.2	157.5	14.5%

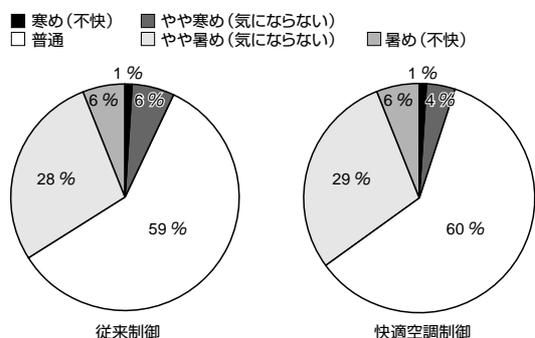


図7. 温熱感覚のアンケート結果—快適空調制御に対する不快の割合は従来制御とほぼ同じである。

Results of questionnaire on occupant thermal comfort

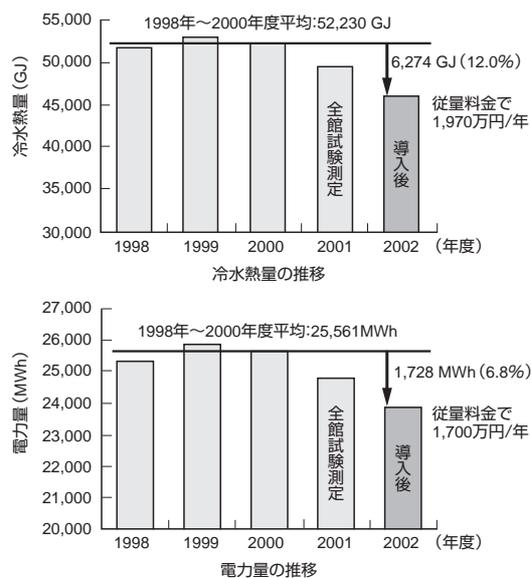


図8. 年間の省エネ効果—快適空調制御により短期間で投資回収可能な省エネが図られた。

Annual energy-saving effect

なおかつ、大多数の人の快適性を維持できている。

4.3 年間の省エネ効果

夏期全館試験後、快適空調制御を本格導入して年間のエネルギー消費量を測定した結果を図8に示す。全館試験測定年度を除いて、導入前の年度平均と比較して冷水熱量で12.0%の削減が得られた。また、電力量はVAV(変風量ユニット)システムのため、インバータにより送風量が絞られた結果、6.8%の削減ができた。

ビル全体における省エネ効果は熱量換算で6.2%となり、低コストでシステム導入したこのケースでは、短期間で投資回収が達成された。

5 あとがき

快適性と省エネを両立させるビルの空調制御システムを開発した。この技術は、事務所ビル以外にもデパートなど多くのビルで省エネ効果を検証済みで、低コストで快適性を重視するビルオーナーズに役立てていけるものと期待している。

今後は更に、コンビニエンスストアなど小店舗向けの空調にも適用し、多方面の建築設備分野において省エネ対策に貢献していきたい。

なお、この技術の適用事例は、(財)省エネルギーセンターの2003年度省エネルギー優秀事例として、経済産業大臣表彰を受けた。

文献

- 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.
- 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」(財)省エネルギーセンター. 省エネルギー実施事例発表, 2003, p.125 - 132.
- 特許第3049266号, 第3361017号.



山田 富美夫 YAMADA Fumio, D.Eng

電力・社会システム社 電力・社会システム技術開発センター エネルギーソリューション開発部主幹, 工博。ビル省エネルギーの研究・開発に従事。電気学会会員。

Power and Industrial Systems Research and Development Center



米沢 憲造 YONEZAWA Kenzo

電力・社会システム社 電力・社会システム技術開発センター エネルギーソリューション開発部主幹。ビル省エネルギーの研究・開発に従事。電気学会会員。

Power and Industrial Systems Research and Development Center



花田 雄一 HANADA Yuuichi

電力・社会システム社 社会システム事業部 ビルシステム技術部主幹。ビル省エネルギー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.