

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”

"NeuroPMV control" Air-Conditioning Control System Prioritizing Comfort

花田 雄一 米沢 憲造

■ HANADA Yuuichi

■ YONEZAWA Kenzo

地球温暖化防止に関する京都議定書の発効や、昨今の世界的なエネルギー需給の逼迫（ひっばく）化などを背景に、業務用ビルに対する省エネ対策が急務となっている。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、居住者に対する快適環境提供へのニーズがある。

東芝はこのようなニーズに応えるため、空調向けに、IT（情報技術）とセンサ技術を活用した“ニューロPMV™制御”を開発した。リアルタイム演算によって、過剰冷房や過剰暖房を防止し、快適なビル生活空間と省エネの両立が可能となった。この制御は、業務用ビルの省エネ対策として導入が進んでいるBEMS (Building Energy Management System) の機能の一つとして活用されている。

There is a pressing need for energy conservation measures for commercial buildings against the background of the entry into force of the Kyoto Protocol for global warming mitigation as well as the present-day worldwide shortage of energy resources. On the other hand, building owners are making demands for the low-cost operation of building facilities together with a comfortable living environment for tenants.

To meet these requirements, Toshiba has developed a new air-conditioning control system called "NeuroPMV control." This system, which operates based on the predicted mean vote (PMV) comfort index, utilizes information technology and advanced sensor technology to prevent excessive cooling and heating in real time. It thus becomes possible to achieve a good balance between a comfortable living environment and energy saving. This technology is positioned as one of the measures of the building energy management system (BEMS), which is being widely introduced into commercial buildings for energy conservation.

1 まえがき

居室における空調環境の快適性確保は、ビルの運営管理として極めて大切な要素である。ビルの一般的な空調管理では、各居室の温度を人（ビル管理センターのオペレータなど）が手動で設定する方式が採られているが、快適性の維持と省エネの両立は難しい。これは、居室内の生活者が感じる快適さが、温度だけではなく湿度や放射などの影響も受けるため、温度設定値が終日一定値となる従来の空調制御方式では、快適さを一定に保つことができないためである。例えば、温度が一定であっても、放射が高いときには暑く感じて快適性の欠如を招き、また、温度設定を低めにしておくと、逆に放射が低いときに、過剰冷房による冷やし過ぎやエネルギーのむだが生じてしまう。

そこで東芝は、ITとセンサ技術を活用して、居室の生活者が感じる暑い、寒いといった温熱感覚を定量的な値としてリアルタイムにとらえ、この値が常に一定となるように、温度設定値を計算し自動設定する“ニューロPMV™制御”を開発した。

ここでは、快適性を保ちながら省エネを図るニューロPMV™制御について、原理や構成、導入効果などを述べる。

2 快適性と省エネを両立する空調制御

快適さを定量化した指標の紹介と、快適性と省エネを両立させるための空調制御の考え方を述べる。

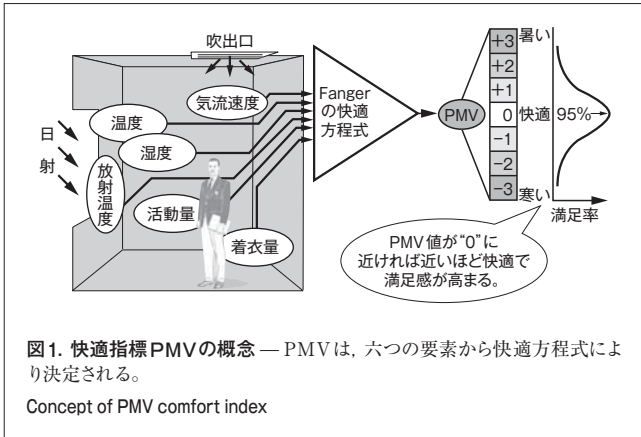
2.1 快適指標

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に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 (ファンガー) 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。PMVの概念を図1に示す。

温熱感覚を左右する要素には、温度、湿度、放射温度、着衣量、活動量、気流速度の計六つがあり、これらを変数とした快適方程式によってPMVが導き出される。PMV=0は“ちょうど快適”のレベルを表し、統計的に95%の人の満足が得られる。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。PMVを大多数の人が快適と感じる値に保つことで、居室に生活者が多数いるビル空間において、不快感の少ない空調制御が実現できる。

2.2 生活者の行動と着衣を加味した空調制御

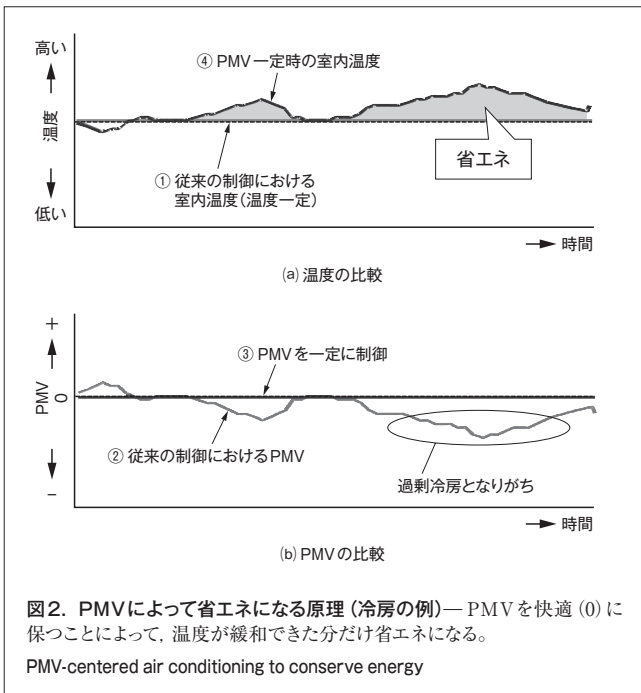
居室内の生活者は温度や湿度、放射温度などによる温熱感覚の変化を体感するが、一方で、季節に応じて着衣量が変



化し、また、部屋の用途に応じて活動量が異なる。PMVでは、着衣量は衣類の熱抵抗として作用し、活動量は人体における代謝量として作用する。空調制御においてPMVを扱うことにより、着衣量や活動量を取り入れ、居室内の生活者の行動によって生じる快適さの違いを加味した制御が可能となる。

2.3 快適さを保つと省エネになる動作原理

PMVをとらえて、一定に制御することによって、どのようにして省エネになるかを図2に示す。例えば、冷房の場合、従来のように温度を一定に制御した(1)としても、PMVは湿度や放射など他の影響を受けるため、常に快適な値に保てるとは限らない(2)。PMVが低くなると過剰冷房となり、エネルギーのむだが生じてしまう。逆に、PMVを一定に制御する(3)と、温度を変化させる必要がある(4)。快適さが保たれているため、温度一定の場合と比べて、温度を高くできた部分が省エネとなる。



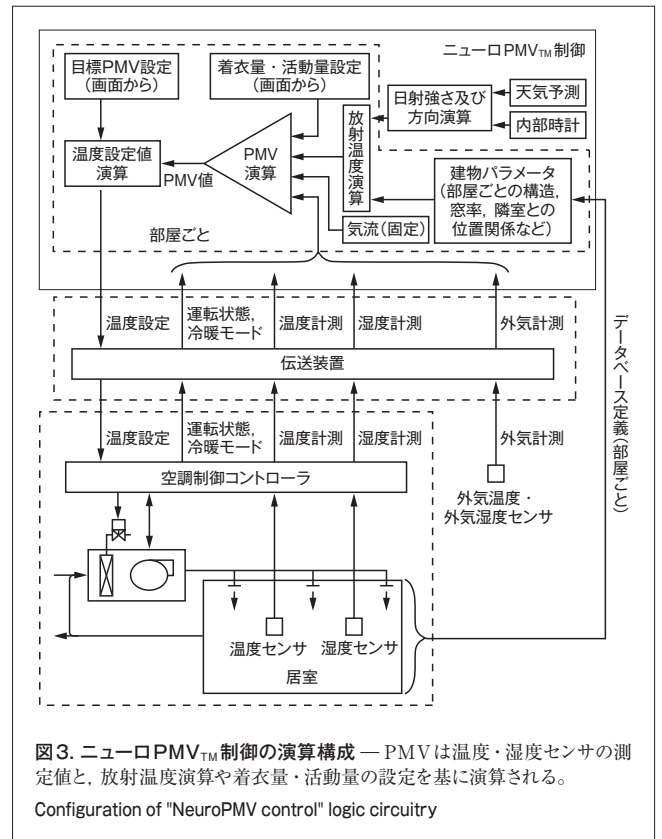
3 ニューロPMV_{TM}制御の構成

ニューロPMV_{TM}制御の各種演算の仕組みを述べる。

3.1 ニューロPMV_{TM}制御の演算構成

ニューロPMV_{TM}制御は、快適指標PMVの理論を取り入れ、これをニューラルネットワークを使ってリアルタイムにとらえ、このPMVを一定に保つように、空調の温度設定値を随時算出し更新する制御である。この制御によって、居室の快適性を損なうことなくエネルギーのむだを省くことができるほか、ビルの空調運用管理面において、あらかじめPMVの目標値を設定しておくだけで、常に最適な設定温度を計算し自動設定されるため、日常の温度設定値変更の手間も省くことができる。

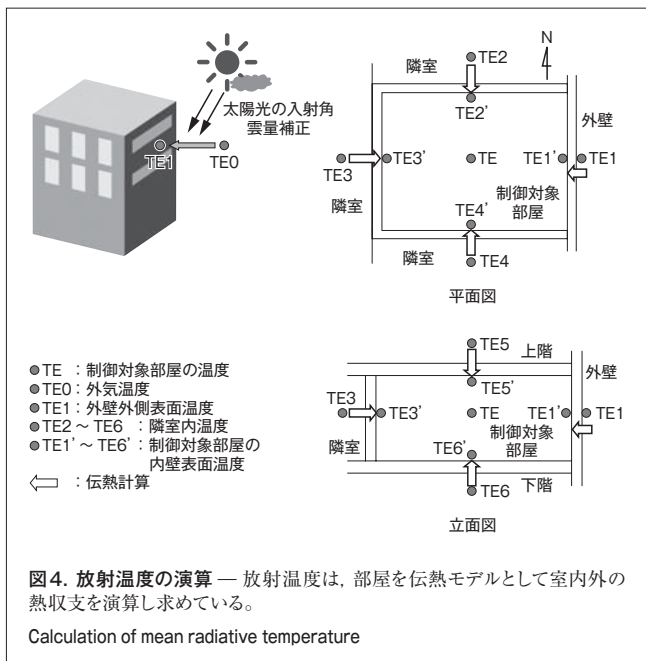
ニューロPMV_{TM}制御の演算構成を図3に示す。室内に設置された温度・湿度センサの測定値と、放射温度、気流速度、活動量、及び着衣量の計六つの要素を基に、ニューロ演算部で居室のPMVを求め、このPMVを一定にするための空調の温度設定値を決定する。



3.2 放射温度の演算

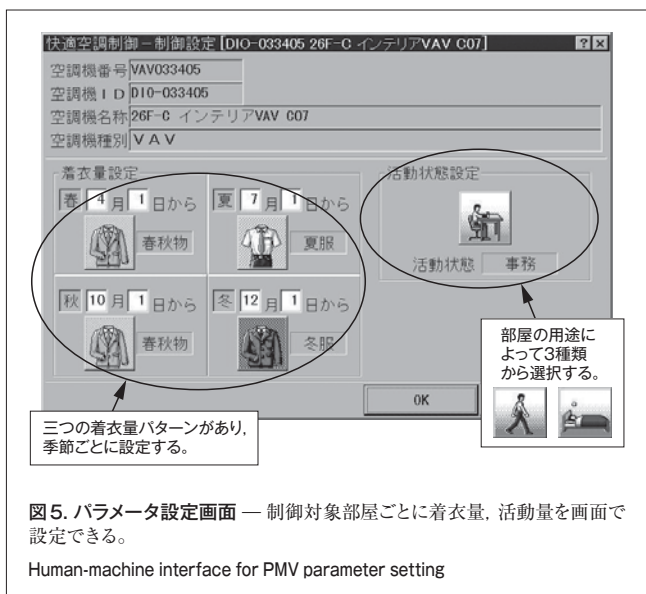
PMVの入力要素の一つである放射温度を得るには、一般的には部屋ごとに専用のセンサを設置する必要があるため、工事コストが掛かる。そこで当社は、部屋を一つの伝熱モデルとしてとらえ、放射温度を計算で得る方法を開発し、専用のセンサ設置工事を不要とした。

放射温度の演算を図4に示す。制御対象部屋ごとに、各方位の壁面積、壁材質、窓面積などの建物情報を定義しておく。外気温と室温のセンサ計測値を基に各方位の窓や壁面の放射温度を計算し、面積平均をとっている。日射の影響については、コンピュータのカレンダーと時刻から太陽光の入射角を求め、これに天候予測による雲量補正を掛けている。このような演算を、制御対象部屋ごとに10分周期で実行させている。



3.3 居室内の生活者に関するパラメータ

PMVの入力要素のうち、着衣量と活動量は居室内の生活者に関する値であり、センサなどで測ることができない。ニューロPMV_{TM}制御ではこれを、制御対象部屋ごとに図5に示すパラ



メータ設定画面で、着衣量は季節に応じて、活動量は部屋の用途に応じて適したものを選択することで設定している。

4 導入効果

ニューロPMV_{TM}制御の導入効果について述べる。

4.1 試験導入による検証結果

大規模事務所ビルの空調システムで、検証のためにニューロPMV_{TM}制御と従来の制御を1週間交代で切り替えて実施し、データを収集した。

冷房期にエネルギーを比較した結果を表1に示す。気温の高い真夏日よりも、涼しい日のほうが高い省エネ効果が得られている。従来の制御では、涼しい日のほうが冷やしすぎによるむだが多く生じていたことがわかる。

表1. 省エネルギー効果

Energy-saving performance achieved by "NeuroPMV control"

(a) 期間全体 (1日当たりの平均)

| 項目 | 電力量 (kWh) | 冷水熱量 (MJ) | エネルギー料金 (千円) |
|----------------------------|-----------|-----------|--------------|
| ① ニューロPMV _{TM} 制御 | 6,714 | 293,493 | 1,023.2 |
| ② 従来制御 | 6,996 | 323,564 | 1,121.9 |
| ③ 削減量 (②-①) | 282 | 30,071 | 98.7 |
| ④ 削減率 (③/②) (%) | 4.0 | 9.3 | 8.8 |

(b) やや涼しい日だけの比較 (最高気温31℃未満の日)

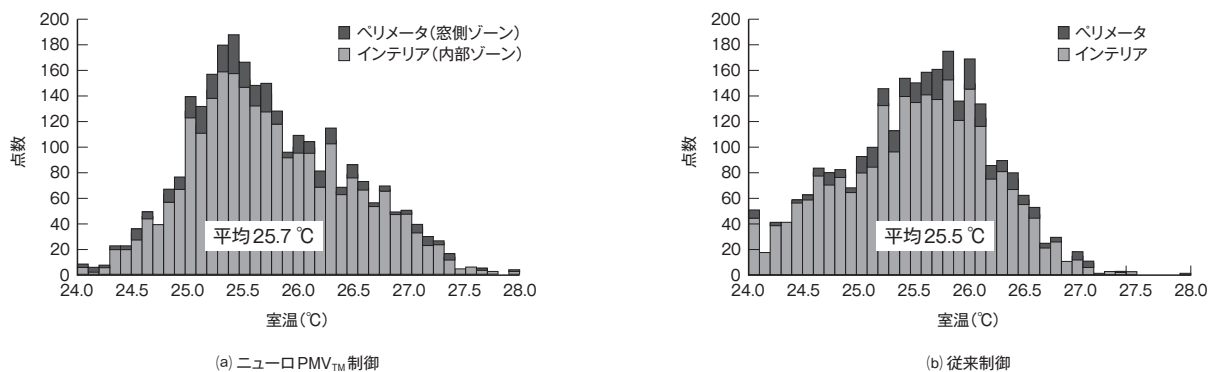
| 項目 | 電力量 (kWh) | 冷水熱量 (MJ) | エネルギー料金 (千円) |
|----------------------------|-----------|-----------|--------------|
| ① ニューロPMV _{TM} 制御 | 6,405 | 263,934 | 925.6 |
| ② 従来制御 | 6,902 | 311,687 | 1,083.2 |
| ③ 削減量 (②-①) | 497 | 47,753 | 157.6 |
| ④ 削減率 (③/②) (%) | 7.2 | 15.3 | 14.5 |

居室内の温度分布を測定し集計した結果を図6に示す。ニューロPMV_{TM}制御では、従来制御と比べて平均温度はさほど変わらないが、24.5℃付近の低めの温度が検出された場所数が減少した。冷やしすぎによるエネルギーのむだが改善されている。

また、快適さに関するアンケートを在室者に実施し集計した結果を図7に示す。ニューロPMV_{TM}制御と従来制御でほぼ同じ結果が得られた。在室者に影響を与えることなく省エネが実現されている。

4.2 全館導入後のエネルギー推移

試験導入による効果の確認を経て、全館に本格導入した。年間エネルギー消費量の推移を図8に示す。本格導入の初年度における省エネ効果はビル全体の消費エネルギーの6.2%となり、継続して効果が得られている。



測定場所数：704か所(1ゾーン当たり30～50か所)

図6. 温度分布の測定結果 — ニューロPMV™制御では冷やしすぎが改善された。
Measured results of temperature distribution by "NeuroPMV control" showing reduction in overcooling

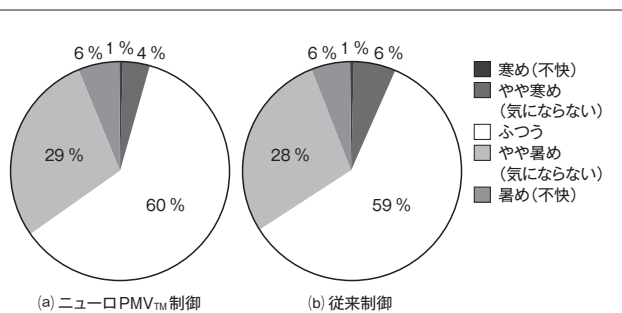


図7. 快適アンケート結果 — ニューロPMV™制御と従来制御ではほぼ同じ結果が得られた。
Results of questionnaire on comfortable living environment by "NeuroPMV control"

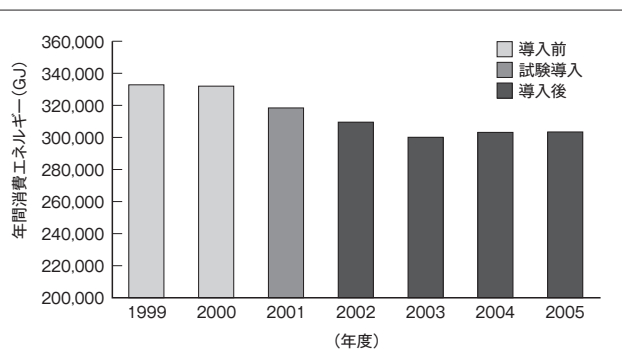


図8. 年間の省エネ効果 — ニューロPMV™制御導入後、継続して省エネ効果が得られている。
Annual energy saving achieved by "NeuroPMV control"

5 あとがき

ITとセンサ技術を活用して、居室の快適性維持と省エネを両立させる“ニューロPMV™制御”を開発した。快適性を重視するビルにおいて低コストで省エネが行えるため、ビルオーナーの

ニーズに合致した技術である。最近では、環境負荷低減と快適性向上の両面からビルを評価する仕組みとして、建築物総合環境性能評価システム“CASBEE (Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency)”が制定され、自治体で採用されてきている。この技術はこの方向性にも合致しており、普及に期待がかかる。

なお、この技術の適用事例は、(財)省エネルギーセンターによる平成15(2003)年度省エネルギー優秀事例として、経済産業大臣賞を受賞した。また、当社は基本特許(第3049266号)及び基本特許を具体化した特許(第3361017号、第3751830号)を権利化しており、第3361017号は平成16(2004)年度関東地方発明表彰の都知事賞を受賞した。

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, (財)省エネルギーセンター. 東京, (財)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.



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2部 主務。ビルエネルギー 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.



米沢 憲造 YONEZAWA Kenzo

電力システム社 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。ビル省エネルギーの研究・開発に従事。電気学会会員。計測自動制御学会会員。Power and Industrial Systems Research and Development Center