室内空気温度分布を考慮した室モデルによる室内混合損失シミュレーション

SIMULATION OF MIXING ENERGY LOSS USING BLOCK MODEL CONSIDERING ROOM AIR TEMPERATURE DISTRIBUTION

小島 昌一*, 渡辺 俊行**, 龍 有 二***, 赤 司 泰 義****

西山 紀 光*****, 高橋 淳 一*****

Shoichi KOJIMA, Toshiyuki WATANABE, Yuji RYU, Yasunori AKASHI,
Norimitsu NISHIYAMA and Jun-ichi TAKAHASHI

To simulate mixing energy loss in an air-conditioned office room, it is necessary to use mathematical model considering room air temperature distribution. In this paper, we suggest new mathematical model 'six blocks model' for air-conditioning load calculation. In this mathematical model, a room is divided into six blocks. It is able to have air movement between blocks and heat distribution of air-conditioner into six blocks. After examination of the heat distribution of air-conditioner into blocks, we investigated the influence of building specification and air-conditioning system on mixing energy loss by simulation.

Keywords: *room air temperature distribution, mixing energy loss, six blocks model, heat distribution coefficient*

室内空気温度分布, 室内混合損失, 6ブロックモデル, 熱量配分係数

1. はじめに

室内混合損失¹⁾は、室内空気温度分布と空調機の制御が複雑に絡んで起きる現象である²⁾。したがって、シミュレーションで室内混合損失を再現するには、空気温度分布を考慮できる室モデルが必要である。筆者らはこれまでに中間季のオフィスビルの室内熱環境実測から、空調機の冷暖房同時運転時に発生する室内混合損失量の推定方法を検討した³⁾。この推定方法は一つの室をペリメータとインテリアに二分割する室モデル「2ブロックモデル」で、ペリメータ・インテリア間の空気・熱移動を考慮することにより、実測データから室内混合損失量を推定するものである。

本論文では、この2ブロックモデルをさらに拡張し、上中下の温度分布を考慮できるように改良した室モデル「6ブロックモデル」を提案し、シミュレーションによる室内混合損失の予測方法と防止策を検討する。まず室内上下温度分布を考慮した熱負荷計算に関する既往の研究と6ブロックモデルの概要および空調機供給熱量の各ブ

ロックへの配分について検討した後に、6ブロックモデルを用いたシミュレーションによる室内混合損失のケーススタディの結果について報告する。

2. 室内の温度分布予測に関する既往の研究

空間を上下方向に複層に分割し、熱負荷計算時の上下温度分布を考慮する研究が従来からいくつか試みられている。浦野・渡辺ら⁴⁾は上下室温分布を表現するため、熱的に同一挙動、瞬時一様拡散を仮定して室を垂直方向に2層から数層に分割するモデル（室温分割モデル）を提案し、各層間の換気回数を仮定した上で室内側対流熱伝達率が室温に与える影響を考察している。このモデルでは層間の換気量をどう設定するかが課題である。

宮川⁵⁾は大空間を対象に、室を上下方向に複層に分割する室温分割モデルを適用し、模型実験により求めた仮想換気回数を実物用に換算して使用する方法を提案している。この方法により上下温度

* 大分大学工学部建設工学科 助手・博士(工学)

** 九州大学大学院人間環境学専攻空間システム専攻 教授・工博

*** 九州大学大学院総合理工学研究科環境エネルギー工学 専攻 助教授・工博

**** 九州大学大学院人間環境学専攻空間システム専攻 助教授・工博

***** 久留米工業大学建築設備工学科 教授・博士(工学)

***** 大成建設株式会社 工修

Research Assoc., Dept. of Architectural Engineering, Faculty of Engineering, Oita Univ., Dr. Eng.

Prof., Dept. of Architecture, Graduate School of Human-Environment Studies, Kyushu Univ., Dr. Eng.

Assoc. Prof., Dept. of Energy and Environmental Engineering, Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu Univ., Dr. Eng.

Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Graduate School of Human-Environment Studies, Kyushu Univ., Dr. Eng.

Prof., Dept. of Architectural Equipment Engineering, Kurume Institute of Technology, Dr. Eng.

Taisei Corporation, M. Eng.

分布、居住域の冷房負荷を算出することができ、実測からその有効性を確認している。しかし、模型実験で得られた仮想換気回数は上下方向2～3分割の場合に限られていること、吹出し方式が限定されていることなどの課題が残されている。

同様に仮想室間の換気量を仮定したモデルの研究では、絵内ら⁶⁾が大規模吹抜け空間の上下の温度積層を考慮した1室3温モデルを提案している。このモデルは空間を上中下に3分割し、温度差換気による室内の熱対流の到達域と量を気流の温度と空間の温度分布から算定するものである。

戸河里ら⁷⁾は大空間の上下温度分布を簡易に予測するためのマクロモデルを作成し、周壁の熱系と連成させた非定常計算モデルを提示している。このマクロモデル（ブロックモデル）は、①壁面に沿う下降流または上昇流を表現する「壁面流モデル」、②空調機吹出し気流を自由噴流として扱い、その影響を評価する「非等温噴流モデル」、③空間内の上部と下部の温度差に起因する熱移動を評価する「熱移動係数 C_B 」の3つのモデルからなる。このマクロモデルの特徴は、空調吹出し方法や吸込み位置が上下温度分布形成に及ぼす影響を定量的に評価できることと、空調停止中の夜間のように自然対流によって形成される上下温度分布も予測することができることである。しかし、層分割数を変えると熱移動係数 C_B も変化することから実測との比較によりその妥当性を検討することが課題として残されている。

伊藤・中原ら⁸⁾は、室上部吹出し、下部吸い込みの空気分配システムを有する空調室の温風暖房時を対象に上下温度分布を簡易に予測する計算モデルを提案している。このモデルは室内を吹き出し温風がよく混合拡散する上部完全混合域とそれ以外の下部ピストンフロー域に分け、上下温度分布を予測するものである。実験結果ともよく一致しているが、天井吹き出し・天井吸い込み方式、床置きファンコイルユニット方式などの他の空調システムについての有効性は今後の検討課題である。

戸河里ら⁷⁾のブロックモデルにおいて、空調機吹き出し噴流は周囲の空気を噴流内部に誘引しながら空間全体に拡散するように取り扱われている。したがって、吹き出し空気によって供給された熱量は、ある比率で各層に配分されると考えられるので、空調機吹き出し熱量の各層への配分が設定できれば吹き出し噴流の計算を省略できる。以上のことから、石田・松本・宇田川ら⁹⁾は、ブロックモデルにおける吹き出し噴流による空間内への熱供給モデル（非等温噴流モデル）を熱量配分係数に置き換えて上下温度分布を考慮した熱負荷を求める方法を提案している。この方法は、空調機器や制御方法が熱量配分係数に含まれるために、冷温風の風量、吹き出し温度などの空調システム仕様が決定される以前に、上下温度分布を考慮した計算が行えることが特徴である。住宅の暖房時の実測値と比較した結果、適切な熱量配分係数を与えれば、熱負荷変動、室温上下温度分布ともによく再現できると報告している。

村田・松本・宇田川ら¹⁰⁾は空気調和・衛生工学会熱負荷小委員会作成のプログラムを用いて住宅の吹抜けを想定し、層分割数の熱負荷への影響を検討している。層の分割なしから5分割まで比較した結果、3分割以上にしたときの負荷の差は少ないと報告している。

戸河里・武政ら¹¹⁾はアトリウムなどの大空間の熱環境を予測するブロックモデルをそのままオフィス空間に適用した場合の問題点

について考察している。その結果、ブロックモデルは冷房時・暖房時ともにオフィス空間の上下温度分布をある程度再現できることを示している。ただし、下向きの温風が床に衝突する場合の再現性に課題が残っている。

また、戸河里・武政ら¹²⁾はブロックモデルを用いて室内混合損失のケーススタディを行っている。このブロックモデルはペリメータとインテリアを上下方向に複数のブロックに分割するもので、上下方向の温度分布の予測にはブロックモデルを用い、各ブロック間の水平方向の熱・空気の混合は温度差換気で評価している。このモデルでは、ペリメータとインテリアの両ゾーンにまたがる吹き出し気流の挙動を考慮しないこと、ペリメータとインテリア間の大きな対流を取り扱わないことなど、室内空気移動の面からみて不十分な点を有しており、実測値との比較が必要である。

3. 6ブロックモデルの概要

室内混合損失をシミュレーションで再現するには、室の奥行き方向と上下方向の温度分布を考慮できる室モデルが必要であり、従来から提案されている室モデルでは垂直方向の温度分布しか考慮しないので限界がある。本研究では、ペリメータとインテリアをそれぞれ上中下に分割し、1室を6分割する室モデルを新たに提案する。図-1に6ブロックモデルにおけるブロック間の空気移動経路を、式(1)に風量バランスを示す。このモデルでは基本的にブロックの境界面を通して隣室ブロックのみと空気移動があるものとし、ブロック間の空気移動量は対象ゾーン内の空調機の吹き出し風量の合計値以下とする。また、実現象を厳密に見れば、ブロック境界面においてブロック空気の相互移動があるが、本論では室全体での大きな流れ場を想定する。したがって、ブロック境界面における空気移動は

図-1 空気移動経路

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= aV_p, V_2 = bV_p, V_3 = (n_1 - a - b)V_p \\ V_4 &= (a + n_2 + n_3)V_p + (m_1 - 1)V_i \\ V_5 &= (a + b + n_2 + n_3 + n_4)V_p + (m_1 + m_2 - 1)V_i \\ V_6 &= (a + b + 1 - n_1 - n_6)V_p \\ V_7 &= (a + n_2)V_p \\ -(V_p + V_i) &\leq V_3 \sim V_7 \leq V_p + V_i \\ |a| &\leq 1, |b| \leq 1, a + b = 1 \end{aligned} \right\} \text{式(1)}$$

V : ブロック間風量,

n, m : 空調機熱量配分係数 ($\sum n = 1.0, \sum m = 1.0$)

V_p : ペリメータ空調機吹き出し風量,

V_i : インテリア空調機吹き出し風量

空気がブロック間で相互に入れ替わる換気ではなく、一方向にのみ移動するものとした。

空調時の実際の流れ場においては、空調機吹き出し空気がいくつかのブロックを通過して離れたブロックに流入する状態が起きている。また、ブロックモデルではブロックに空気とともに流入した熱は瞬時一様拡散するものとしているので、熱の流入先を適切に決定しないと実際の流れ場と大きく異なる結果となってしまう。したがって、空調機供給熱量の配分先もブロック間の空気移動量と同時に同定する。本研究では、空調機供給熱量の各ブロックへの配分を石田・宇田川の熱量配分係数⁹⁾ にならって取り扱う。

既報²⁾の解析の結果、ペリメータ空調機吹き出し風はペリメータの各ブロックだけではなくインテリアの奥深くまで到達していたので、ペリメータ空調機供給熱量は室内の全ブロックに配分される可能性を考えた。一方、インテリア空調機の供給熱量は、インテリア奥行きがペリメータ奥行きに対して大きいことから、直接ペリメータの各ブロックに配分されることはないものとした。

4. 空調機熱量配分係数の同定

空調機熱量配分係数は、本来空調機吹き出し空気の噴流計算を行って求められるが、本論で対象としているゾーンに関しては、詳細な秋季室内熱環境実測データに基づいて空調機熱量配分係数を同定する。対象ゾーンと空調システムを図-2、図-3に示す。実測時の対象ゾーンは、ビニールシートによる間仕切りにより隣接ゾーンとの空気移動はないものとしていた。したがって、計算においても隣接ゾーンとの空気移動はなく、ペリメータ・インテリア間の空気移動に重点を置くものとする。秋季の室内熱環境実測の詳細については既報²⁾を参照されたい。

各ブロック境界面での空気移動量および移動方向は、図-1と式(1)に示した条件により、各ブロックごとに空気温度の計算値と実測値の差を求め、その二乗和が最小になるように計算により決定する。計算方法は内部発熱量、空調機除去（供給）熱量、壁体各部位の表面温度の実測値を基に室温を計算するもので、窓面からの透過日射および室内表面間の短波・長波域の多重反射・吸収の影響は表面温度の実測値に含まれるものとした。各ブロックの空気の熱収支は壁体表面との対流熱伝達、内部発熱、空調機除去（供給）熱量および隣接するブロックから流入する熱量が関与するものとした。

ブロックの分割方法については、図-4に示す空調時の上下温度分布において、ペリメータ奥行き4mから8mの間にインテリアとペリメータの熱的緩衝空間が見られることから、その中間点の6mの位置でペリメータとインテリアを分割した。また、高さ方向に関しては、図-3に示すように垂れ壁、窓、腰壁の高さに対応して上、中、下のブロックに3分割¹⁰⁾した。

計算対象期間は実測期間中の1993年10月25～26日の2日間である。計算時間間隔は10分とした。照明機器などの内部発熱については、放射成分は天井・床などの表面温度の実測値に含まれるとし、対流成分のみ空気に入るものとした。また、非空調時は2ブロックによる計算とし、ペリメータとインテリアの空気移動は、ペリメータ容積基準で換気回数20回/hとした。

図-5に同定したペリメータとインテリアの空調機熱量配分係数を暖房、冷房、送風の3つの空調機運転状況別に示す。図中に示し

図-2 対象ゾーン (単位: mm)

図-3 空調システム (単位: mm)

図-4 空気温度分布 (10月27日8:20, 単位: °C)

(a) ペリメータ空調機の熱量配分係数

(b) インテリア空調機の熱量配分係数

(c) ペリメータ空調機空調立ち上がり時 (暖房) の熱量配分係数

図-5 空調機熱量配分係数

た空調機熱量配分係数は同定で得られた各時刻毎の空調機熱量配分係数の平均値である。ただし、インテリア暖房時の空調機熱量配分係数については、実測時にインテリア暖房がなかったのでインテリア送風時の熱量配分係数と同じ値とした。また、ペリメータ空調機の立ち上がり時 (暖房) の空調機熱量配分係数は他の暖房時の値と大きく異なったので、ペリメータ空調機の立ち上がり時が暖房の場合は、ペリメータ空調立ち上がり用の熱量配分係数を用いることにした。なお、各空調機の熱量配分係数の合計値は1.0である。

ペリメータ空調機が暖房時と冷房時では各ブロックへの熱量配分係数が全く異なるのがわかる。ペリメータ空調機が暖房運転の場合、空調機吹き出し温風はペリメータよりもむしろインテリアの上、中ブロックに多く配分されている。また、ペリメータ空調機が冷房運転の場合、空調機吹き出し冷風が最も多く流入するのはペリメータおよびインテリアの下ブロックであった。

インテリア空調機については、送風時は大半がインテリア上ブロックに配分され、インテリア空調機が冷房運転の場合は大部分の吹き出し冷風がインテリア中、下ブロックに配分される。

5. シミュレーションの概要

5.1 シミュレーション方法

シミュレーション項目を表-1に示す。本シミュレーションでは建物仕様と空調設定条件の二つが室内混合損失の発生に与える影響を検討した。建物仕様の検討については、外壁壁面方位と外壁断熱性能の影響を検討した。空調設定条件の検討については、空調設定温度、空気温度センサ位置の影響を検討した。本シミュレーションの計算方法は、同定した空調機熱量配分係数を用いて、標準気象データ、建物仕様、空調機設定条件から各ブロックの空気温度の変動と空調機除去熱量を求めるもので、壁体および室内空気熱収支は逐次状態遷移の概念¹³⁾に基づいて計算した。また、空調時は6ブロックで計算するが、非空調時は上下温度分布を考慮しない2ブ

表-1 シミュレーション項目

外壁壁面方位	東西南北の4方位
外壁断熱性能	基準壁体、高断熱壁体
空調設定温度	ペリメータとインテリアの設定温度、24℃を基準に±2℃の6つの組合せ
空気温度センサ位置	ペリメータ、インテリアの上中下の3ブロックについて9つの組合せ

表-2 基準計算条件

計算期間	外壁壁面方位別の計算では2月の1ヶ月間。その他の計算では2月13、14日の2日間（助走計算は10日間）
計算時間間隔	10分
気象データ	標準気象データ（福岡、2月）
空調日・時間帯	月～金曜日 8～18時
内部発熱（対流成分）	上7.5W/m ² 、中10.6W/m ² 、下4.6W/m ² 、月～金曜日9～18時
内部発熱（放射成分）	天井：10.2W/m ² 、床8.8W/m ² 、月～金曜日9～18時
非空調時のペリメータ・インテリア間換気回数	20回/h（ペリメータ容積基準） 非空調時は2ブロックモデル ³⁾
空調設定温度	ペリメータ、インテリアともに24℃、温度差を付ける場合は24℃を基準に±2℃
空気温度センサ位置	ペリメータ：下ブロック、インテリア：中ブロック
空調機吹き出し風量	ペリメータ1330m ³ /h、インテリア800m ³ /h
外気導入量	ペリメータ空調機から300m ³ /h 月～金曜日9～18時
外壁壁体構成*	腰壁：外壁1、垂壁：外壁2

*外壁番号は図-7を参照のこと

図-6 空調機運転動作

図-7 外壁壁体構成（単位：mm）

$$Q_i = V_i C \rho (T_i - T_{p0}) \quad \text{式(2)}$$

$$ML = \sum |Q_i|$$

Q_i : 移動熱量, V_i : ブロック容積, ML : 全室内混合損失量,
 T_i : ブロック温度(空気移動あり),
 T_{p0} : ブロック温度(空気移動なし),
 C : 空気の比熱, ρ : 空気の比重
 i : ブロック番号

ックモデル³⁾で計算した。本シミュレーションにおける空調機の制御は、図-6に示すように実測時の空調機の運転動作と同じON/OFF制御とした。

本シミュレーションでのブロック間の空気移動は、ペリメータとインテリアでそれぞれ上下温度勾配が付くことと、ペリメータとインテリア間の温度差が最小になるという2つの条件を与えて風量を同定しながら計算した。

5.2 計算条件

基準計算条件を表-2に示す。計算期間については、外壁壁面方位別の計算では2月の1ヶ月間とし、その他の計算では2月13、14日の2日間とした。各計算の助走計算は10日間とした。計算対象ゾーンは、空調機熱量配分係数を同定したゾーンと同一である（図-2）。ただし、外壁壁面方位の検討に際して外壁壁面方位を変える場合は、フロアに占める対象ゾーンの位置はそのまま、建物自体の方位が変わるものとした。内部発熱については表-2に示すように対流成分と放射成分に分けて計算した。また、本シミュレーションでは内部発熱時間帯にペリメータ空調機を通して外気を導入するものとした。

外壁壁体構成は図-7に示す通りである。室内混合損失量の推定は式(2)に示すように、他ブロックへの熱移動がない場合の空気温度と熱移動がある場合の空気温度の差から移動熱量を求め、その絶

対値の和を全室内混合損失量とした。ただし、室内混合損失量として扱うのは冷暖房同時発生時のみとした。なお、熱移動がない場合の空調機供給熱量の各ブロックへの配分は、ペリメータ空調機はペリメータの各ブロックだけに、インテリア空調機はインテリアの各ブロックだけに容積比率に応じて配分されるものとした。

6. シミュレーション結果

6.1 外壁壁面方位の影響

外壁壁面方位別に室内混合損失発生状況をシミュレーションにより検討した。空気温度センサ位置は表-2の基準計算条件と同じくペリメータは下ブロック、インテリアは中ブロックである。計算対象期間のうち、2月13、14日の外気温度、水平面全天日射量を図-8に、外壁壁面方位別の室内混合損失量の日積算値および月積算値と混合損失率を表-3に例示する。なお、混合損失率とは空調機処理熱量に占める室内混合損失量の割合とする。

外気温が低く、日射量も少ない2月14日はペリメータで暖房運転になりやすい。全ての方位において、空調立ち上がり時は蓄熱負荷の影響によりペリメータ、インテリアともに空調機は暖房運転となった。空調機処理熱量が最も多いのは外壁壁面方位が北向きの場合で、最も少ないのは南向きの場合である。

2月の混合損失率は約26~37%となった。また、4方位の中で最も室内混合損失の発生量が多いのは外壁壁面方位が北向きの場合であり、室内混合損失量、混合損失率ともに他の方位より大きい。これは、北に面したペリメータにおいて暖房となる時間が長いことにより、冷房状態のインテリアとの間での室内混合損失も多くなったものと考えられる。

外壁壁面方位が東向きの場合、一日を通して冷暖房併存状態となりやすく室内混合損失量も多いが、特に空調立ち上がりから午前10時頃までと外壁面への日射が少なくなる午後15時以降はペリメータで暖房となることが多いため、冷房状態のインテリアとの間で室内混合損失が発生する。

外壁壁面方位が西向きの場合、午前中はペリメータが暖房となることにより冷房状態のインテリアとの間で室内混合損失が発生するが、午後から日射の影響によりペリメータ空調機が送風運転となるため室内混合損失は解消されることが多い。また、日射量が少ない日でも、外気温が高ければペリメータで送風となるので室内混合損失は発生しにくい。

外壁壁面方位が南向きの場合、日射の影響によりペリメータの暖房負荷が少ないので、他の方位に比べて室内混合損失量も少ない。

6.2 外壁断熱性能の影響

表-4に壁体の組み合わせを示す。基準壁体と、基準壁体より断

図-8 外界気象（外気温度、水平面全天日射量）

表-3 外壁壁面方位別室内混合損失量、混合損失率

方位	計算月日	混合損失量*	空調機処理熱量*	混合損失率
東	2月13日	131	306	43%
	2月14日	125	313	40%
	2月積算	1385	3892	36%
西	2月13日	101	269	38%
	2月14日	118	296	40%
	2月積算	1292	3810	34%
南	2月13日	51	174	29%
	2月14日	88	238	37%
	2月積算	776	3006	26%
北	2月13日	135	330	41%
	2月14日	120	313	38%
	2月積算	1589	4338	37%

* 熱量単位はMJ/day またはMJ/month

図-9 空調機処理熱量と室内混合損失量

熱性能が高い高断熱壁体について検討した。高断熱壁体で使用するペアガラスについては、ガラス間の空気層の熱収支および放射は考慮せず、ペアガラス全体の熱貫流率と日射透過率を与えて簡易的に計算した。計算対象ゾーンは図-2に示す通りで、計算期間は2月13、14日の2日間とした。また、空気温度センサ位置、空調設定

表-4 壁体の組合わせ

断熱性能	腰壁*	垂壁*	窓ガラス
高	外壁3	外壁4	ペアガラス** 26mm
基準	外壁1	外壁2	吸熱ガラス 10mm

* 外壁番号は図-6を参照のこと

** ペアガラスの構成は、吸熱10mm+空気層6mm+透明10mm

表-5 断熱性能別室内混合損失量, 混合損失率

ケース	混合損失量*	空調機処理熱量*	混合損失率
2月13日			
高	52	175	29%
基準	105	282	37%
2月14日			
高	81	204	40%
基準	122	306	40%

*熱量単位はMJ/day

温度は表-2の基準計算条件に示す通りである。

表-5に室内混合損失量の日積算値と混合損失率を示す。高断熱壁体の方が基準壁体より室内混合損失量が少ないことから、断熱性能が高いほど暖房負荷が低減され、空調機処理熱量、室内混合損失量ともに減少するものと考えられる。

2月13日と14日では昼間の外気温に大差はないが、2月14日は日射量が少ないため2月13日よりペリメータの暖房負荷が大きくなり、室内混合損失量も増えたものと考えられる。

6.3 空調設定温度の影響

計算対象ゾーン、建物仕様、空気温度センサ位置は基準計算条件の通りである。表-6に2月14日の室内混合損失量の日積算値と混合損失率を例示する。ペリメータ設定温度をインテリアより低くしたケース1とケース3は室内混合損失量が少なく、ペリメータ設定温度がインテリアより高いケース2が最も室内混合損失量が多い結果となった。ケース1と2の空気温度と空調機処理熱量および室内混合損失量の経時変化を図-10に示す。

ケース1では空調立ち上がり時以外は送風運転であり、空気温度も送風運転による成り行き温度となった。また、ケース1の方がケース3より室内混合損失量が少ないことから、ペリメータ空調機が冷房運転にならない程度にペリメータ設定温度が低いほど室内混合損失量は減少するであろう。逆に、ケース2、4の結果から、ペリメータ設定温度が高いほど、空調機処理熱量も増え、室内混合損失量も増えると考えられる。

図-11にケース1とケース2のPMVを示す。ここで示すPMVは、ペリメータ、インテリアともに中ブロックの空気温度を基準とし、着衣量1clo、代謝量1.2met、相対湿度60%、気流速度0.15m/sで計算したものである。ケース1のペリメータのPMVは0~0.4、インテリアのPMVは0.3~0.7で推移している。したがって、空調設定温度をペリメータ22℃、インテリア24℃にしてもペリメータの熱的快適性が大きく損なわれることはないと考えられる。

6.4 空気温度センサ位置の影響

空気温度センサの位置は、ペリメータ、インテリアともに上中下の3点の組み合わせで計9ケースについて検討した。計算対象ゾーン、建物仕様、空調設定温度は前節までの基準の仕様とし、空気温

表-6 空調機設定温度別室内混合損失量, 混合損失率

ケース	P設定	I設定	混合損失量*	空調機処理熱量*	混合損失率
1	22℃	24℃	0	31	0%
2	26℃	24℃	154	375	41%
3	24℃	26℃	16	82	20%
4	24℃	22℃	146	338	43%

*熱量単位はMJ/day

図-10 空気温度と室内混合損失量の経時変化

図-11 空調設定温度別PMV経時変化

度センサの位置のみを変えた。

表-7に2月14日の室内混合損失量の日積算値と混合損失率を例示する。最も室内混合損失量が少なかったのは、ペリメータの空気温度センサが中ブロック、インテリアの空気温度センサが下ブロックのケース6である。ペリメータの空気温度センサが中ブロックまたは下ブロックにある場合、ペリメータ空調機は暖房運転あるいは送風運転になりやすいことから、インテリアの空気温度センサは

表-7 空調機センサ位置別室内混合損失量, 混合損失率

ケース	P位置	I位置	混合損失量*	空調機処理熱量*	混合損失率
1	上	上	11	51	22%
2		中	243	256	95%
3		下	191	231	83%
4	中	上	134	306	44%
5		中	42	188	22%
6		下	3	99	3%
7	下	上	163	347	47%
8		中	122	306	40%
9		下	78	246	32%

*熱量単位はMJ/day

ペリメータ空調機の温風の影響を受けにくい下ブロックにある場合が最も室内混合損失が少なくなった。

図-12 にケース6 (ペリメータ中、インテリア下で制御) とケース8 (ペリメータ下、インテリア中で制御) のPMVを示す。ケース8のペリメータのPMVは0.4~1.2、インテリアのPMVは0.6~1.3で推移している。室内混合損失量の最も少なかったケース6では、ペリメータのPMVは0.3~0.7、インテリアのPMVは0.6~0.9で推移している。したがって、ケース6のようにペリメータ中ブロック、インテリア下ブロックに空気温度センサを設置すれば、基準となるケース8よりも室内混合損失を防止できるだけでなく、熱的快適性も損なわれないであろう。

7. おわりに

室内空気温度分布を考慮できる室モデル「6ブロックモデル」の概要と6ブロックモデルにおける空調機供給熱量の各ブロックへの配分について検討した。また、同定した空調機熱量配分係数を用いて室内混合損失に関するシミュレーションを行った。以下に本論文で得られた知見を列記する。

- (1) 本論文で想定した建物および空調システムでは、福岡における2月の混合損失率は約26~37%であった。4方位の中で最も室内混合損失が多く発生したのは外壁壁面方位が北向きの場合で、最も少なかったのは南向きの場合であった。
- (2) 外壁の断熱化を図ることによりペリメータ暖房負荷を軽減すれば室内混合損失は低減される。
- (3) ペリメータ空調温度をインテリアより低く設定することにより室内混合損失を防止できる。また、この場合の室内熱環境の悪化は見られず、むしろ室内混合損失が発生しないことにより良好な熱環境が得られる。
- (4) 本論文で想定した空調システムでは、ペリメータの空気温度センサは部屋の高さ方向の中間点、インテリアの空気温度センサは部屋の下部に設置する組み合わせが最も室内混合損失防止効果があるだけでなく、上記(3)と同様に室内熱環境も良好であった。
- (5) 空調機設定条件の改良による室内混合損失防止効果を確認できたことから、空気温度センサ取り付け位置を含めた空調機制御方法の改良は今後の室内混合損失防止策として重要な課題と考えられる。
- (6) 本論文のシミュレーションで用いた空調機熱量配分係数は、ペリメータ空調機は床置き型、インテリア空調機は天井カセット

図-12 空調機センサ位置別PMV経時変化

型で、空調機吹出し風速も一定の場合の値である。したがって、今後他の空調システム、室形態における室内混合損失について検討する場合、その空調システムと室形態に応じた空調機熱量配分係数が必要である。

謝辞

本研究の一部は平成8年度文部省科学研究費補助金によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 中原信生, 梶原豊久, 伊藤尚寛: 空気調和における室内混合損失の防止に関する研究, 第1, 2報, 空気調和・衛生工学会論文集, No.33, pp. 1~22, 1987年2月; 同題 第3報, 空気調和・衛生工学会論文集, No.41, pp. 51~60, 1989年10月
- 2) 小島昌一, 渡辺俊行, 他: オフィスビル空調における室内混合損失の影響, 日本建築学会計画系論文集, 第473号, pp. 25~34, 1995年7月
- 3) 小島昌一, 渡辺俊行, 他: 2室モデルによる室内混合損失量の推定, 日本建築学会中国・九州支部研究報告, 第10号, pp. 389~392, 1996年3月
- 4) 浦野良美, 渡辺俊行: 室温変動における室内側熱伝達率の影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 303~304, 1973年10月
- 5) 宮川保之: 大空間の上下室温分布算定に関する実験的研究, 日本建築学会論文報告集, 第286号, pp. 75~82, 1979年12月
- 6) 絵内正道, 荒谷 登, 他: 温度積層空間を上中下の3仮想室に分割した非定常熱解析手法と大規模吹抜け空間への適用結果, 日本建築学会計画系論文報告集, 第419号, pp. 21~29, 1991年1月
- 7) 戸河 敏, 他: 大空間における上下温度分布予測モデル 大空間の空調・熱環境計画手法の研究 その1, 日本建築学会計画系論文報告集, 第427号, pp. 9~19, 1991年9月; 同題 その2, 第435号, pp. 11~21, 1992年5月; 同題 その3, 第455号, pp. 23~30, 1994年1月
- 8) 伊藤尚寛, 中原信生: 温風暖房空間の上下温度分布の簡易計算モデル 空調空間の熱的特性に関する研究 第2報, 日本建築学会計画系論文報告集, 第398号, pp. 59~67, 1989年4月
- 9) 石田建一, 松本 雄, 宇田川光弘: 上下温度分布を考慮した熱負荷計算 その1 熱量配分係数を用いた計算法, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp. 77~80, 1992年7月; 同題 その2 住宅の実測値を用いた検証, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp. 81~84, 1992年7月
- 10) 村田太市, 松本 雄, 宇田川光弘: 垂直温度分布を考慮した熱負荷計算における層分割数の影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 1403~1404, 1993年9月
- 11) 戸河 敏, 武政祐一: オフィス空間の空調・熱環境計画手法の研究 その1 空調空気鉛直吹出時の上下温度分布予測, pp. 637~638, 1992年8月; 同題 その2 天井アネモ吹出時の室内熱環境計算結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 639~640, 1992年8月
- 12) 戸河 敏, 武政祐一: オフィス空間の空調・熱環境計画手法の研究 その7 ペリメータとインテリアの熱・空気の混合評価モデル, pp. 738~739, 1995年8月; 同題 その8 ペリメータとインテリアの熱混合問題のケーススタディと対策, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 739~740, 1995年8月
- 13) 渡辺俊行: 室温変動系の理論構成と動的挙動に関する研究, 学位論文(九州大学), 1982年6月

(1997年6月23日原稿受理, 1998年2月2日採用決定)