

置換換気時の室内温度・換気効率の予測に関する研究

(その3) ブロックモデルを用いた置換換気室内の温度分布予測

○東本 丈明 (大阪大学)

山中 俊夫 (大阪大学)

甲谷 寿史 (大阪大学)

徐 鳴 (大阪大学)

1. はじめに

置換換気方式は空気清浄度の観点から換気効率の良い優れた換気方式として注目されている^{1)~3)}。置換換気は、床面近くで低速の給気、天井面近くでの排気を行う室内で、人体やOA機器などの発熱源があり、室内に温度成層が形成されることが条件となる。温度成層形成のために給気温度より排気温度が高いことが必要条件となるが、室内に冷熱源がある場合には十分な温度成層が形成されず、冷却による下降流が境界層を破壊することによって室上部の汚染された空気が室下部に流入し、下部空間の空気質を悪化させることが知られている⁴⁾。本報では、前報⁵⁾で得られた知見を元に、置換換気室内に冷却壁面がある場合に発生する下降流を考慮した温度分布の予測のために、大空間温度分布予測に用いられるブロックモデル⁶⁾を置換換気室内に適用し、測定値との比較を通して検討を行った結果について報告する。なお、ブロックモデル同様、空間を層分割したいわゆるゾーンモデルに熱流ブルームを組み込んだ新田ら⁷⁾の研究や、戸河里ら自身による天井吹出しの一般空調へブロックモデルを適用した例⁸⁾が見られるが、本研究の対象である冷却壁面を持つ置換換気室の温度予測例はこれまでに見られていない。

2. ブロックモデル

戸河里らは大空間温度分布予測モデルを構築しブロックモデルと呼んでいる。これは、壁面温度・換気流量・給排気温度、さらに壁面における対流熱伝達率を代入することにより、水平方向に温度分布が生じにくい大空間における上下温度分布を予測するモデルである。このモデルでは熱的に弱い壁面に発生する下降流・上昇流、空調吹出し気流等が考慮でき、空間を鉛直方向に等分割することで室内気流性状を簡易に予測し、それに基づいて温度分布を予測するものである。ブロックモデルの詳細については文献⁶⁾を参照されたい。

置換換気室内における気流性状が大空間のそれと比較的近いことに基づいて、ブロックモデルを置換換気室内に適用した。図1にモデルの概要図を、図2にモデルの計算フローを示す。①室内を鉛直方向にブロック分割した上で、上部ブロックから順に、仮定した室内ブロック空気温度と壁面温度・壁面面積・壁面近傍対流熱伝達率をもとに各壁面ごとに壁面に発生する下降流の流量を計算する。②次に文献⁶⁾では空調

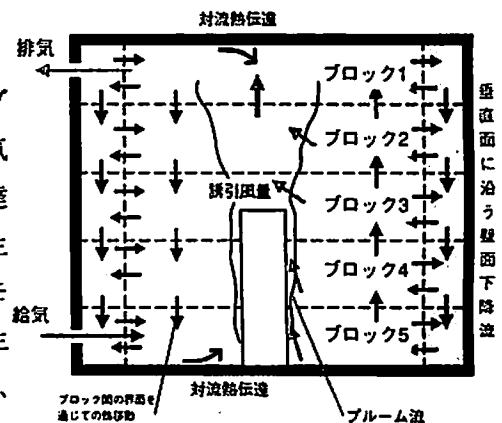


図1 置換換気室でのブロックモデル

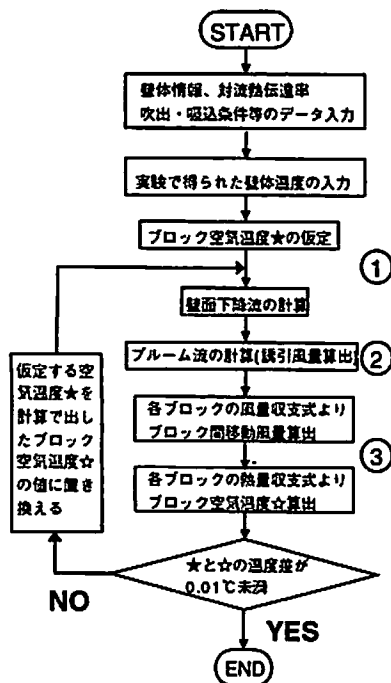


図2 ブロックモデル計算フロー

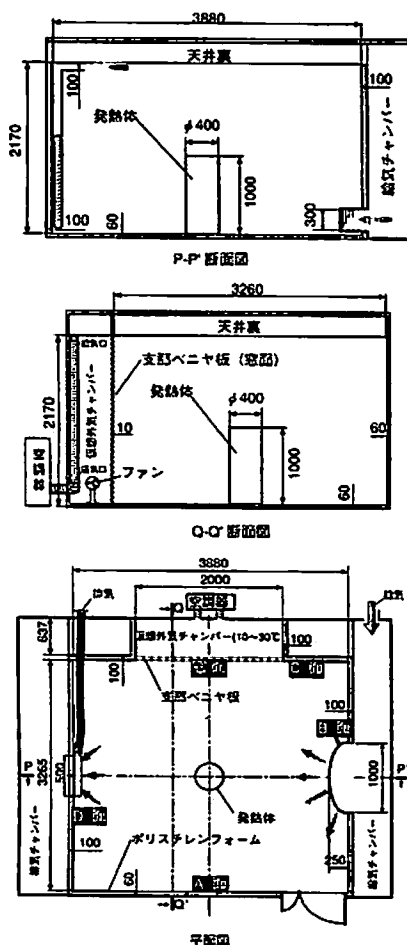


図3 実験装置概要

吹き出しの影響を考慮しているが、置換換気室内においては吹き出し気流による影響が小さいかわりに、人体などの発熱体から生じるブルームによる影響が大きいため、「空調吹き出し」のかわりに「ブルームにより生じる影響」を考慮し、ブルームによりブロックごとに誘引される風量を算出する。③最後に上下ブロック間と壁面近傍・室内間における風量収支および熱収支を計算した上で室内ブロック温度を求める。熱収支計算の上では空気移動による熱移動以外にブロック間の乱流拡散によって生じる熱移動について考慮するため、熱移動係数を導入して計算する。この手順で収束計算を行い温度分布を得る。

3. 実験概要

図3に示すように、壁面の一つがチャンバーに接するような置換換気を行う室で発熱体数・給気温度及びチャンバー内の空気温度（以下仮想外気温度と呼ぶ）を組み合わせた条件（表1参照）において壁面・室内温度および換気量を測定した。チャンバーに接する壁面には厚さ10mmの支那ベニヤ板（以下、窓面と表記）をはめ込み、それ以外の壁面と床は断熱材からなるが、天井面は上部にチャンバーを有するため断熱は行っていない。給気は床面付近から低速で行い、天井面付近で排気を行っている。発熱体は1体当たりの発熱量100Wの円柱を用いた。図4に室内及び天井面・床面温度の測定位置と室内鉛直測定位置を示す。壁面温度は図5に示すとおり、どの面も鉛直方向に1列5点、A面は3列、B面及びD面は5列、C面のうち断熱壁を有する面2列、窓面3列を測定した。換気量はトレーサーガス法により求めた。

4. モデル計算概要

図1に示すように、室内鉛直方向を等間隔に5分割して図2のフローに従い計算を行った。境界条件としては、

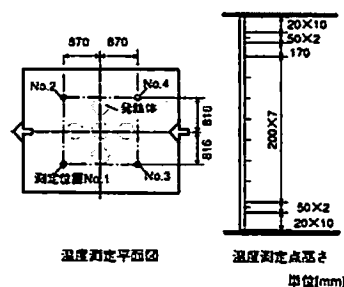


図4 室内温度測定点

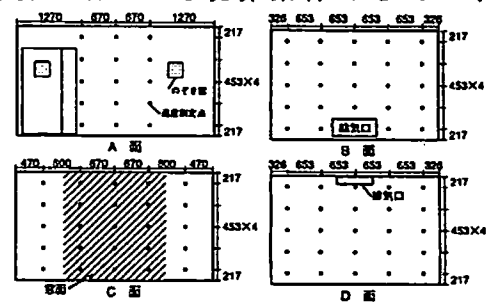


図5 壁面温度測定点

実験で測定した天井・床・壁面の温度を入力として与えている。壁面近傍の対流熱伝達率については、乱流時の $Nu_x = 0.13 \cdot Gr_x^{1/3}$ から⁹⁾ $\alpha_c = 0.13\lambda \left(\frac{g\beta\Delta t}{\nu^2} \right)^{1/3}$ を用いて算出した¹¹⁾。下降流計算については断熱壁面A～Dおよび窓面の計5面において別々に行い、各壁面の同じ高さの平均値をブロックごとの壁面の温度として代入した。発熱体からのブルーム流量については文献²³⁾から発熱体1体当たりの誘引風量を図6に示すとおり、ブロックごとに算出した値を用いた。熱移動係数 C_B については文献⁶⁾を参考として $C_B = 2.3$ を用いた¹²⁾。

5. 測定値と計算値の比較

図7に対流熱伝達率およびモデル計算結果の一例として、給気20℃・仮想外気10℃・発熱体2体のものを示す。窓面の対流熱伝達率が大きくなり、断熱面に比べて下降流が大きく発生することがわかる。

図8に各条件における温度の鉛直分布の測定結果とブロックモデルを用いて室内温度分布を計算した結果を重ねて示す。測定値は、それぞれの高さの4点の水平面平均値で表している。モデルの床面・天井面温度には測定値を代入している。いずれの条件においても、測定値と計算値の温度分布形状は良い一致が見られる。発熱量が大きいほど温度勾配は大きい傾向、及び同一仮想外気温度でも給気温度が高くなることにより下降流が発生し、上下混合がより活発になり温度勾配が小さくなる傾向が測定値からも計算値からもうかがえる。

6. おわりに

今後は外気温を境界条件とできるよう、壁体の貫流熱損失と室内の放射熱移動を考慮した計算を試みるとともに、ブロックモデルの計算で得られる室内流量を用いた濃度分布予測モデルの検討を行う所存である。

表1 実験条件一覧

給気温度[℃] 発熱体数[個]	20			25		30
	1	2	4	2	2	
仮想外気温度[℃]	1	2	4	2	2	
10	○	○	○	○	○	
15	○	○	○	○	○	
20	○	○	○	○	○	
25				○	○	
30					○	
設定換気量[m³/h]	100	160	300	160	160	

※発熱体1体当たりの発熱量：100W

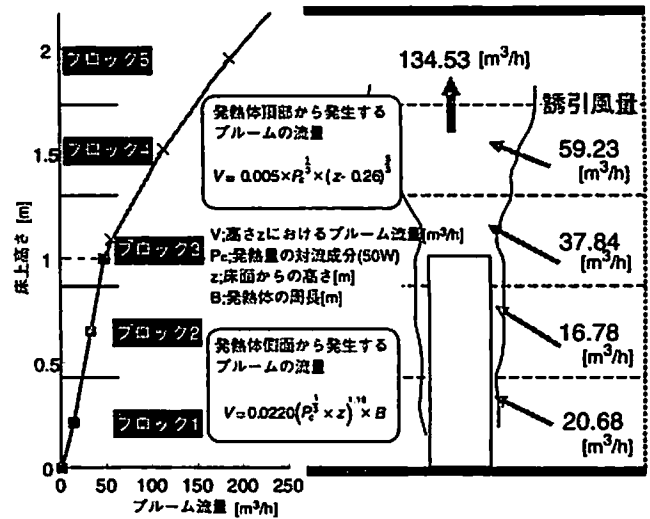


図6 プルームにより誘引される流量

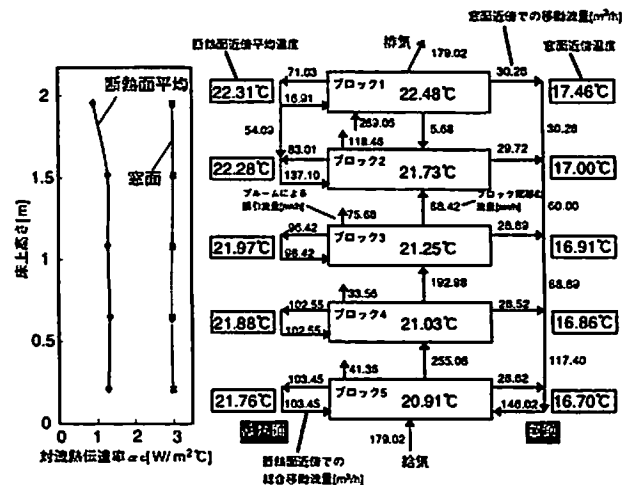


図7 対流熱伝達率およびモデル計算結果
(給気20℃、仮想外気10℃、発熱体2体)

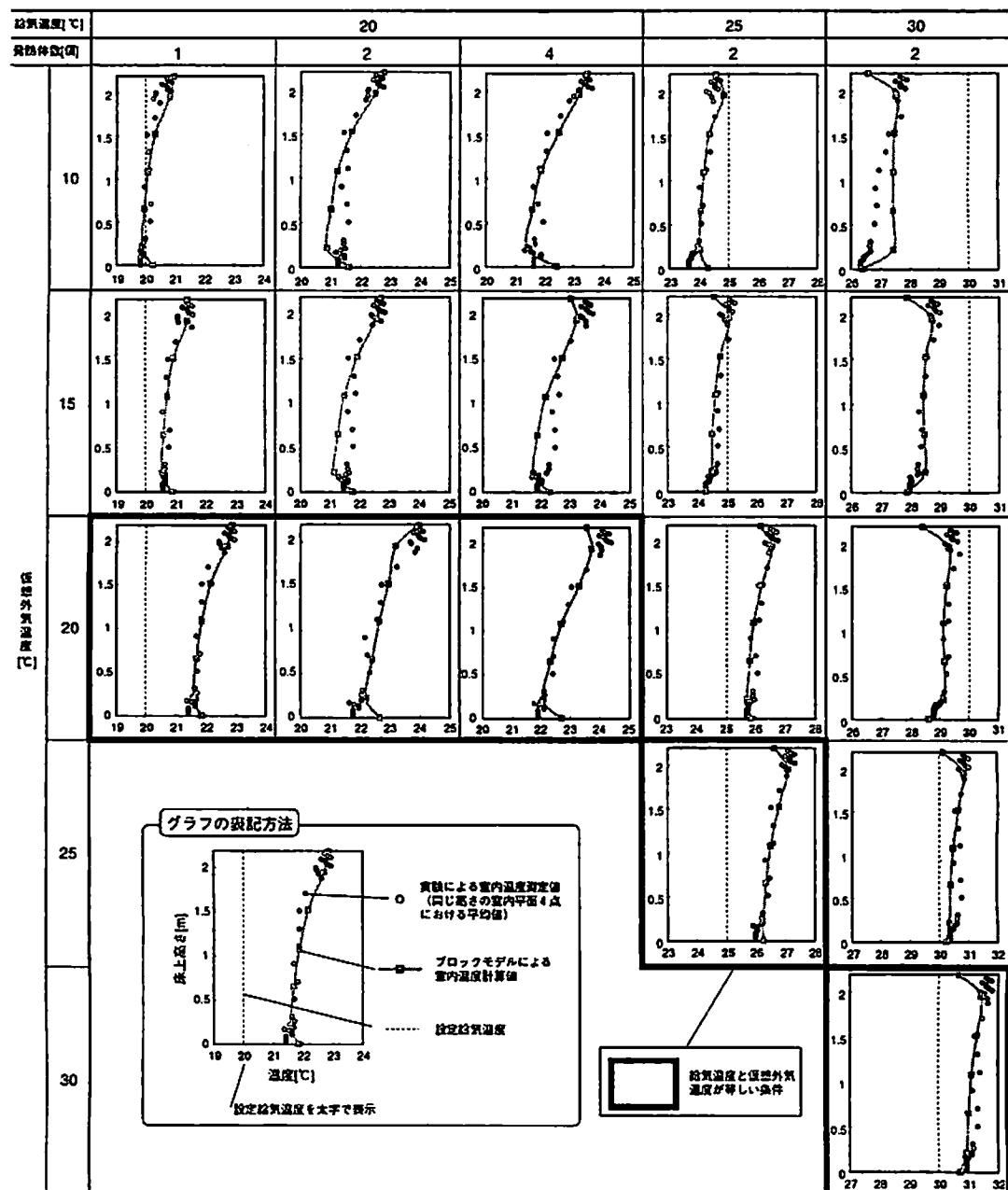


図8 室内温度鉛直分布予測結果および測定結果

注 1) Nu : 壁面近傍における局所ヌッセルト数、 Gr : 局所グラスホフ数、 λ : 熱伝導率、 ν : 動粘性係数、 g : 重力加速度、 β : 体膨張係数、 ΔT : 壁面室内間の温度差。対流熱伝達率の計算に当たってはブロックごとにブロック室内・壁面温度を代入することで計算をしている。
2) 熱移動係数は乱流拡散による影響を考慮するために導入した係数であり、 $C_p = a_p \cdot C \cdot \rho / L_p$ で与えられる。ここで、 a_p : 温度の乱流拡散係数、 C : ρ : 空気容積比熱、 L_p : ブロック厚さである。文献⁹⁾では測定値から $L_p=0.5[m]$ に対して $C_p=2.0$ を与えている。本報の計算では同じ $a_p=3.3$ として $L=0.434$ より $C_p=2.3$ とした。

本研究の一部は、日本学術振興会平成12年度科学研究費補助金(奨励研究(A))12750530、研究代表者: 甲谷寿史) による。

参考文献

- 1) David Etheridge and Mats Sandberg: "BUILDING VENTILATION -Theory and Measurement", JOHN WILEY & SONS, 1996
- 2) Håkon Skistad: "DISPLACEMENT VENTILATION", RESEARCH STUDIES PRESS LTD., 1994
- 3) Elisabeth Mundt: "The performance of displacement ventilation systems", Byggeforskningsradet, 1996
- 4) Peter Hansson, Hans Strymne: "A technique to improve the performance of displacement during cold climate conditions", Proceedings of 17th AIVC Conference, Gothenburg, Sweden, pp.521-528, 1996
- 5) 徐 他: 「置換換気時の室内温度・換気効率の予測に関する研究(その2) 冷却壁面が室内の温度・汚染質分布に及ぼす影響」, 平成11年度空気調和・衛生工学会近畿支部, pp.89-92, 2000年3月
- 6) 戸河里 他: 「大空間における上下温度分布の予測モデル —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
- 7) 新田 他: 「大空間の鉛直温度分布予測法について」 平成5年度空気調和・衛生工学会近畿支部, pp.151-154, 1994年3月
- 8) 戸河里 他: 「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」 日本建築学会大会学術講演集(北陸), pp.637-638, 1992年8月
- 9) 空気調和・衛生工学会: 「空気調和・衛生工学便覧 第12版」, 1巻, p.149, 1995年