

置換換気される室において発熱量および給気温度が
室内温度及び濃度分布に及ぼす影響正会員 ○ 東本文明*¹同 山中俊夫*²同 甲谷寿史*³同 徐 鳴*⁴

1 はじめに

置換換気方式は、床面近くで低速の給気、天井面近くでの排気を行う室内において、人体などの発熱体によって室内に形成される温度成層を利用して、室上部に汚染物を滞留させて、室下部の居住域空間との間に境界面を形成することにより、居住域の汚染物濃度分布の上昇を防ぐ。そのため、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。この置換換気される室内において温度・濃度分布に影響を与える要因としては室内における発熱量と共に、壁面からの貫流熱損失の大小があることが知られている¹⁾²⁾³⁾。一方、置換換

気室内における鉛直温度分布を予測するモデルとして提唱されたMundt⁴⁾のモデルがあり、また既往の研究結果を利用することによって簡易な鉛直濃度分布予測が可能となっている。

本報では、発熱量・給気温度が置換換気される室の温度および濃度分布に及ぼす影響を把握するために、給気温度あるいは室内発熱量を種々設定した条件で室内温度分布および発熱体上部から発生させたトレーサガス濃度分布を測定した結果について報告すると共に、モデルを用いて、実験で得た結果と比較することによりモデルの整合性についても検討する。なお、給気温度は本来な

ら20℃前後に設定すべきであるが、貫流熱損失量を異なるものにしてその影響を見るために給気温度を変化させている。

2 実験概要

図1に示す様に、大阪大学工学部建設棟2階室内に設置されている水平層流型人工気候室を置換換気される室に改造した。給気口は放射状の給気が行えるよう楕円形とし、排気口は天井面近くでの排気が行えるようにした。壁面および床面には断熱材(60～100mmのポリスチレンフォーム)を使用した。天井面は上部に天井裏チャンバーを有するため断熱は行っていない。この実験装置において、人体を模擬した発熱体(発熱量100W、高さ1m、直径40cm円柱)の個数と給気温度を組み合わせた条件下(表1参照)において、室内の温度を測定するとともに、発熱体上部にお

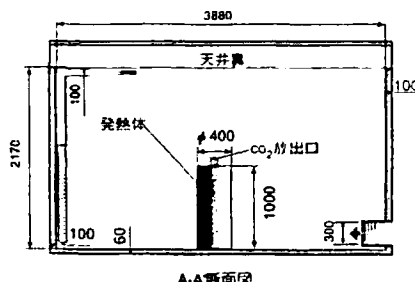
表1 実験条件一覧

発熱体数(個)	1	2	4
設定給気温度(℃)			
20	○	○	○
25		○	
30		○	

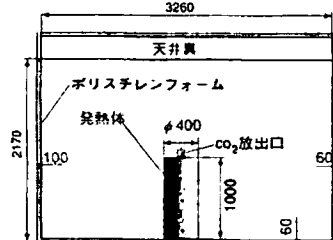
* 一つあたりの発熱量 100W

表2 測定項目及び測定機器

測定項目	測定機器
温度	T型熱電対(φ=0.3mm)
CO ₂ 濃度	赤外線吸収式ガス濃度分析器 (URA 107,島津製作所)



A-A断面図



B-B断面図

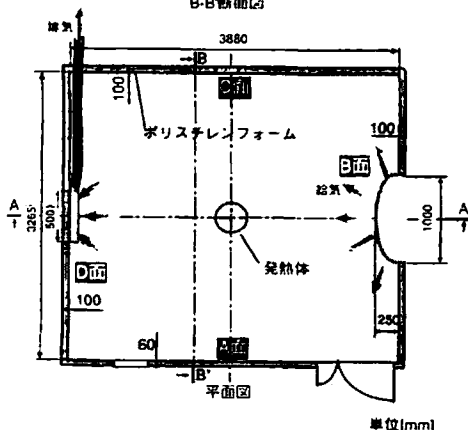


図1 実験装置概要

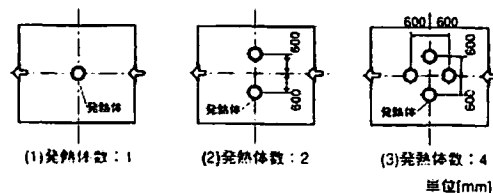


図2 発熱体設置位置

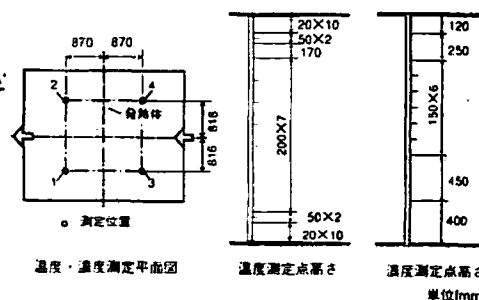


図3 温度・濃度測定点位置

いてトレーサースガスとしてCO₂をパッシブに発生させ、室内のCO₂濃度を測定した。使用した測定機器は表2に示す通りである。発熱体の設置位置を図2に示す。図3に示す測定点において、鉛直方向31点の空気温と天井面・床面の計33点の温度測定を行うとともに、鉛直方向9点のCO₂濃度を測定した。CO₂の発生量は発熱体1体当たり0.6 l /分とし、発生量の違いが規準化濃度分布に影響を与えないことを確認したうえで実験を行った。また、壁面の温度を調べるために図4に示す各点において温度測定を行った。設定換気量はどの条件においても120(m³/h)となるようにした。

- 3 置換換気室内での温度・濃度鉛直分布予測モデル
- 3.1 鉛直温度分布予測モデル
- Mundt⁴⁾のモデルでは、図5に示す諸量がわかれば、排気温度 T_e 、天井面付近温度 T_{sc} 、床面付近温度 T_{sf} 、そして室の温度勾配 s を求めることができる。Mundtモデルの概略は図5に示す通りであり、床面及び天井面付近の対流、放射、貫流、換気熱移動量の収支が0になるように計算することで排気温度や温度勾配を求めるものである。モデルでの計算に利用する諸量は表3の様に設定した。モデルの詳細については参考文献4)を参照されたい。
- 3.2 鉛直濃度分布予測モデル
- 置換換気室内では発熱源から汚染物の発生する場合、鉛直濃度分布は境界面高

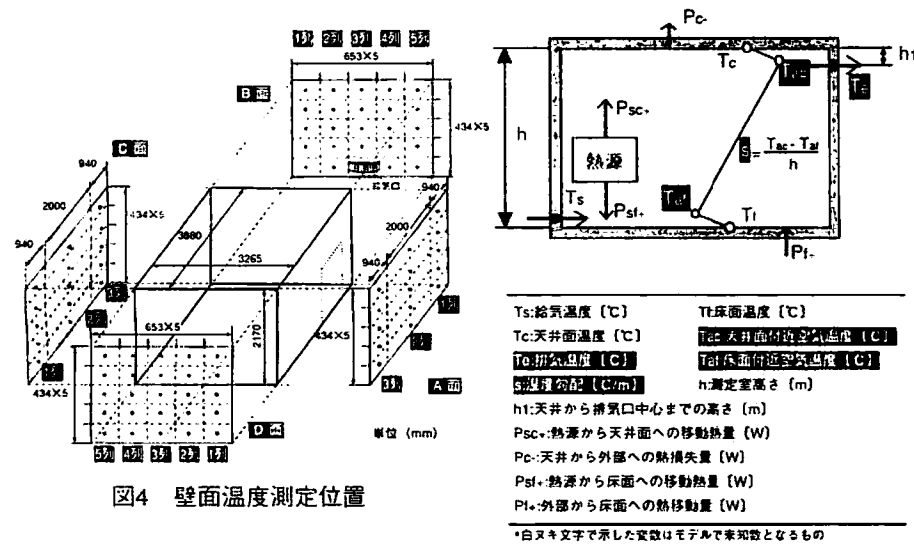


図4 壁面温度測定位置

図5 Mundtモデル

表3 Mundtモデル計算に用いた諸量

空気の容積比熱 $c_p \rho$ [Wh/m ³ °C]	0.35
放射熱伝達率 α_r [W/m ² °C]	5
天井対流熱伝達率 α_{ce} [W/m ² °C]	5
床対流熱伝達率 α_{cf} [W/m ² °C]	7
天井から排気口までの高さ h_l [m]	0.05
発熱体から天井への熱移動量 P_{sc} [W]	発熱量/2
発熱体から床への熱移動量 P_{st} [W]	発熱量/2

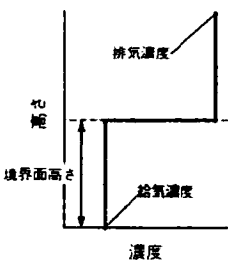


図6 置換換気室内濃度分布モデル

さを境に室上部と室下部の濃度は一定になり、室上部濃度が排気濃度と、そして室下部濃度が排気濃度と等しくなることが知られている⁴⁾(図6)。従って、境界面の高さを知ることができれば簡易に鉛直濃度分布を知ることができる。境界面は換気流量 Q と室内で発生するブルーム流量 $Q_p(h)$ が等しい高さに形成されることが知られている。発熱体発熱量が100 Wで、高さ1 m、直径40 cmの場合、発熱体からのブルーム流量の測定値としては、Kofoed⁹⁾によって測定されMundt⁴⁾によってまとめられたものがある。発熱体からの高さとその高さにおけるブルーム流量との関係を図7に示す。これらの測定結果を近似して、図7に示す関係式を得た。この式を用いれば、置換換気室内における境界面高さを計算することができる。

4 結果と考察

4.1 壁・床・天井面を通しての貫流熱損失量

室内での発熱量(100W~400W)から、排気温度と給気温度の差から算定される換気による熱損失量を差し引き、壁・床・天井などの構造部材を介しての貫流熱損失を計算した。結果を表4に示す。貫流熱損失量は発熱量が大きく、給気温度が高いほど大きいことがわかる。これは室内温度が高いほど室内外の温度差が大きいことに起因していると考えられる。一方、給排気の温度差に比例する

表4 換気熱損失と貫流熱損失一覧

設定給気温度 (°C)	20			25	30
発熱体数 (個)	1	2	4	2	
発熱量 (W)	100	200	400	200	
換気量 (m ³ /h)	103	131	130	124	130
給排気温度差 (°C)	3.27	4.39	6.75	3.52	2.66
換気熱損失 (W)	118	202	306	152	121
貫流熱損失 (W)	-18	-2	94	48	79

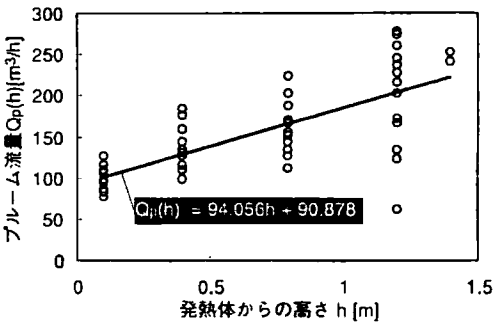


図7 発熱体からの高さとブルーム流量の関係

換気による熱損失は発熱量が多いほど、給気温度が低いほど大きいことがわかる。

4.2 室内および室内壁面における温度分布 図8に給気温度20℃で発熱体数が2個の場合の各平面測定点位置、及びそれらの平均温度分布を給気温度基準として重ねて示す。どの位置においても鉛直温度差がおよそ2℃ほどある。高さ1m以下については上部と比べて鉛直温度差が比較的小さいが、これは給気風速が速く、室下部において空気がよく混合されているためと考えられる。また、各平面位置での鉛直温度分布を比較すると水平方向の分布はあまり見られず、鉛直温度分布性状についてはほぼ等しいものであると考えられる。従って、同じ高さの測定値の水平面平均を用いて各条件の比較を行うことが有効であるといえる。

図9に給気温度20℃、発熱体数2の条件における測定室内各壁面の3あるいは5列の鉛直温度分布の平均値と同条件での室内平均鉛直温度分布を給気温度基準にして重ねて示す。壁面Aにおいては鉛直温度差が小さいとともに給気温度との温度差も小さいが、この壁面の断熱材厚さが他の壁面と比べて薄く、さらに測定室の扉や窓が影響している可能性がある。また、給気側（壁面B）よりも排気側（壁面D）において温度がやや高いが、これは給排気の流れの影響で、発熱体から発生する発熱量が排気方向に流れて排気面温度を上げるためと考えられる。

室内と壁面の温度分布を比較すれば壁面温度のほうが室内温度と比べて給気温度との温度差が高い。これは外気温度が室内温度よりも高いことに起因し、室内壁面に沿って上昇流が発生していることになる。また、壁面温度のほうが室内温度と比べて鉛直温度差が小さい。これは壁面においては鉛直温度差のある室内温度分布と鉛直

温度差の少ない外気温度の両方の影響を受けるために、室内と比べると鉛直温度差が小さくなるためである。

4.3 室内におけるトレーサーガス濃度分布 図10に給気温度20℃で発熱体数が2個の場合の測定室内の鉛直方向の規準化濃度（給気濃度を基準とした測定濃度を排気濃度（給気濃度基準）で規準化）分布を示す。これからもある高さ以下において規準化濃度がほぼ0に近い値を示し、床上高さ1.5m以上においては1あるいはそれ以上の値ではほぼ均一となっており、床上1.3～1.6mの高さにおいて境界面が形成されていることがわかる。また室内温度分布同様に水平面方向の分布はあまり無いものといえる。

4.4 発熱量が温度・濃度分布に及ぼす影響 図11は発熱量が温度分布に及ぼす影響を検討するために給気温度が20℃の条件について、発熱体数の異なるものを重ねて示したものである。どの条件も同じ高さでの水平面平均値で表している。図中には3.1で述べた Mundt モデルを用いて計算した結果を併記している。測定値に関しては発熱体数（発熱量）が多いほど鉛直温度差が大きく温度も高くなっていることがわかる。すなわち発熱量が大きいほど安定した温度成層が形成されるといえる。モデルに関しては温度勾配が測定値よりもやや大きな値を示しており、測定値と比べるとあまり一致していない。この原因としては対流や放射熱伝達率の設定値が原因となっている可能性がある。また、このモデルにおいては室上部から下部まで等しい温度勾配になると考えているために、今回測定において室下部であり鉛直温度差が無かったことがモデルに表れず分布形状という点で見ても差異が生じている。それでも、発熱体数が増加するほど鉛直温度差が大きくなるという傾向に関しては再現でき

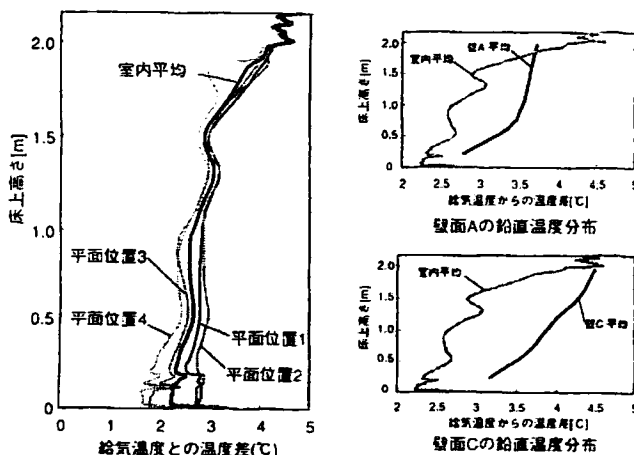


図8 室内鉛直温度分布（給気温度基準）
（給気温度：20℃ 発熱体数：2）

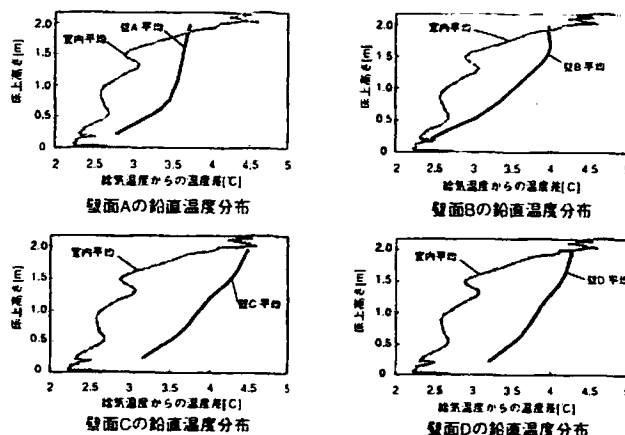


図9 壁面温度鉛直分布（給気温度基準）
（給気温度20℃、発熱体数：2）

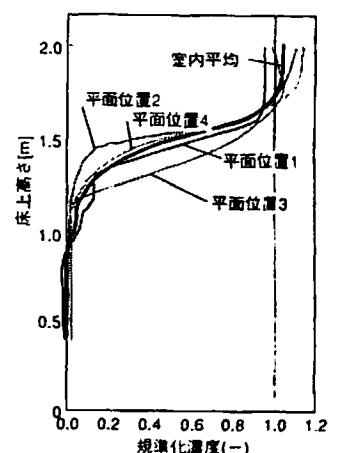


図10 規準化濃度分布
（給気温度：20℃、発熱体数：2）

ているといえる。

図12には発熱量が規準化濃度分布に及ぼす影響を検討するために異なる発熱体数の条件を同様に重ねた示し、3.2で述べたモデルを用いて計算した結果を併記している。測定値から、発熱体数が多いほど境界面高さが低くなっており、低濃度の領域が小さくなることがわかる。モデルと測定値を比較するとモデルで示される境界面高さの方が測定値から推測される境界面高さとは比べるとかなり低くなっている。主な原因としては、図7で示した $h-Q_p(h)$ 回帰式の値と実際の Q_p との値の間に大きな差異があった可能性がある。ブルーム流量に関してはこれまで多数の測定結果が示されているものの、その測定の困難さから、今回近似式を計算するために用いたデータとは離れたブルームが発生していると考えられる。また、壁面を通しての貫流熱移動によって生じる下降流あるいは上昇流の影響を今回のモデルでは考慮していないことも原因と考えられる。

4.5 給気温度が温度・濃度分布に及ぼす影響

図13は給気温度が温度分布に及ぼす影響を検討するために、発熱体数2の条件について給気温度の異なる条件での温度分布を重ねて示している。どの条件も測定値の水平面平均したもの、また、Mundtモデルを用いて計算した結果を重ねて示す。測定値に関しては給気温度が低いほど鉛直温度差が大きく温度も高くなっていることがわかる。これは、表4で見られる貫流熱損失量の大小が影響を与えているものと考えられる。また、モデル計算値に関しては図11と同様の結果が得られている。

給気温度が規準化濃度分布に及ぼす影響を検討するために、図14に異なる給気温度の条件の測定値とモデル計算した結果を重ねて示している。測定値より、給気温度が低いほど若干ではあるが境界面高さが高くなっているのがわかる。発熱量の影響(図12)に比べれば境界面高さへの影響は小さい。モデルによる計算値に関しては、貫流熱損失の影響が考慮されていないため、どの条件でも同じ濃度分布形状となっており、境界面高さが測定値より低いものとなっているがその原因は図12と同様に、ブルームについて $h-Q_p(h)$ 回帰式の値と実際の値とが大きく違ったり、壁面貫流熱移動を考慮に入れていないためと考えられる。

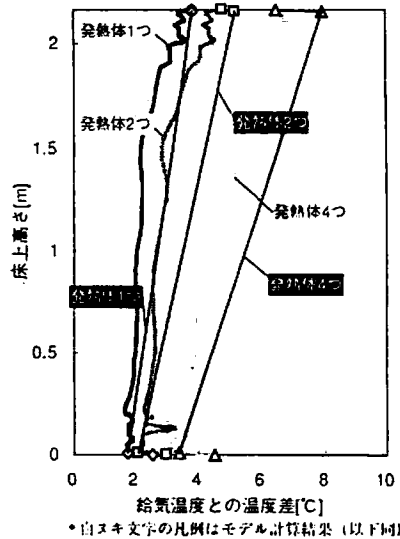


図11 鉛直温度分布
(給気温度基準 給気温度:20°C)

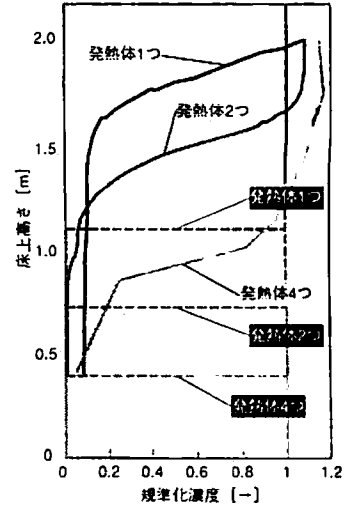


図12 規準化濃度分布
(給気温度:20°C)

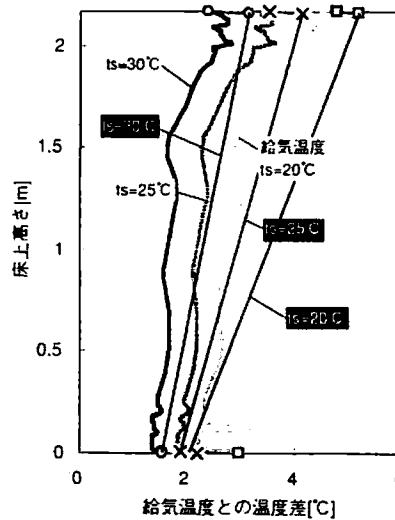


図13 鉛直温度分布
(給気温度基準 発熱体数:2)

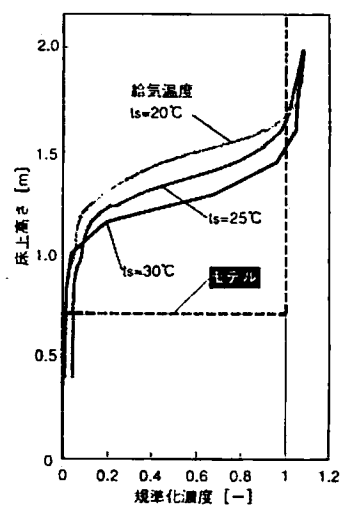


図14 規準化濃度分布
(発熱体数:2)

5 おわりに 今後は貫流熱損失が大きくなった場合に、それを考慮できる濃度分布モデルについての検討をおこなう所存である。

参考文献)

- 1) David Etheridge & Mats Sandberg : BUILDING VENTILATION—Theory and Measurement—, JOHN WILEY & SONS, pp.446-469, 1996
- 2) Peter V. Nielsen : DISPLACEMENT VENTILATION — theory and design —, Ph.D. Thesis, Aalborg University, 1993
- 3) Hakon Skistad: "Displacement Ventilation", RESEARCH STUDIES PRESS LTD, JOHN WILEY & SONS, 1994
- 4) Elisabeth Mundt : THE PERFORMANCE OF DISPLACEMENT VENTILATION SYSTEMS — Experimental and Theoretical Studies —, Ph.D. Thesis, Royal Institute of Technology, 1996
- 5) Peter Kofoed: THERMAL PLUMES IN VENTILATED ROOMS, pp.122-140, 1991

* 1 大阪大学大学院工学研究科建築工学専攻博士前期課程
* 2 大阪大学大学院工学研究科建築工学専攻 助教授 博士(工学)
* 3 大阪大学大学院工学研究科建築工学専攻 助手
* 4 大阪大学大学院工学研究科建築工学専攻博士後期課程

Graduate Student, Department of Architectural Engineering, Graduate School of Engineering, Osaka University
Associate Prof., Department of Architectural Engineering, Graduate School of Engineering, Osaka University, Dr. Eng.
Research Associate, Department of Architectural Engineering, Graduate School of Engineering, Osaka University
Graduate Student, Department of Architectural Engineering, Graduate School of Engineering, Osaka University