

置換換気時の室内温度・換気効率分布に関する研究 (その2) 発熱量が温度・汚染物濃度の鉛直分布に及ぼす影響

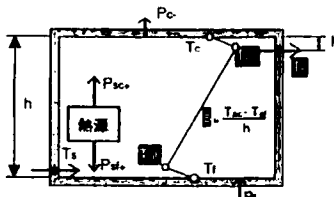
正会員 ○東本文明*1
同 山中俊夫*2
同 甲谷寿史*3
同 徐 鳴*4

置換換気 温度分布 予測モデル

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、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、居住域の空気を清浄に保つ換気方式である。それゆえ、空気清浄度の観点から換気効率の良い換気方式として注目されている¹⁾²⁾。置換換気室内における鉛直温度分布予測モデルとしてMundtのモデルが提唱されており、また簡易な空間分割モデルによって鉛直濃度分布予測が可能である。

本報では、発熱量が置換換気される室の温度・濃度分布に及ぼす影響を見るために、室内発熱量を種々設定した条件下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ースガス濃度分布を測定した結果と、モデルを用いて得た温度・濃度分布とを比較し、実験室内の置換換気性状とモデルとの整合性について検討した結果について報告する。なお、前報³⁾において濃度測定精度が低かったため、本報で示す結果は一部再実験の意味を持つ。また、本報は既報⁴⁾をまとめたものであるがブルーム流量に関する回帰式(図3)が異なっている^{注)}。



Ts: 給気温度 (°C)	Tc: 天井面温度 (°C)
Tm: 平均温度 (°C)	Td: 下向き温度 (°C)
h1: 発熱体から天井面までの高さ (m)	h: 測定高さ (m)
Psc: 発熱体から天井面への移動熱量 (W)	Pdc: 天井面から床面への移動熱量 (W)
Pex: 床面から外壁への移動熱量 (W)	Ple: 外壁から床面への移動熱量 (W)

*白黒文字で示した変数はモデルで未知となるもの

図1 Mundtによる温度分布予測モデル

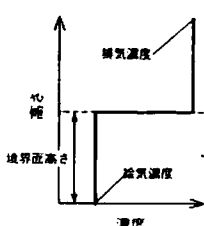


図2 濃度分布モデル

表1 Mundtモデル計算諸量

空気の容積比熱 c_p [Wh/m ³ °C]	0.35
放射熱伝達率 α_r [W/m ² °C]	5
天井面対流熱伝達率 α_c [W/m ² °C]	5
床面対流熱伝達率 α_d [W/m ² °C]	7
天井から排気口までの高さ h_i [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_{dc} [W]	発熱量/2

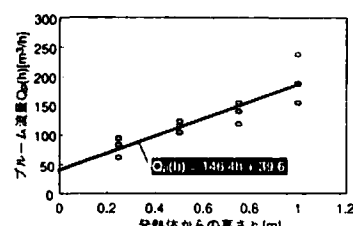


図3 発熱体からの高さとブルーム流量

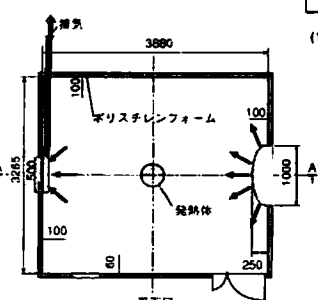
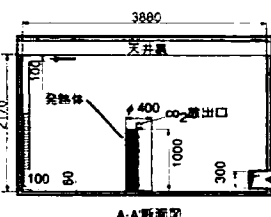


図4 実験装置概要

場合においては発熱体1体あたりのブルーム流量は全て等しいという仮定のもとに計算を行った。

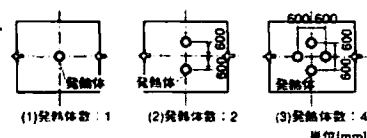


図5 発熱体設置位置

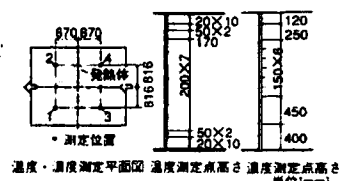


図6 温度・濃度測定点位置

Gradient of Temperature and Ventilation Efficiency in Rooms with Displacement Ventilation

Part 2. Effect of Heat Generation on Vertical Temperature and Contaminant Concentration Distribution

HIGASHIMOTO Takeaki, YAMANAKA Toshio, KOTANI Hisashi and XU Ming

表2 実験条件一覧

発熱体数(個)	1, 2, 4
設定給気温度(℃)	20
設定給気量(m ³ /h)	120

* 1体あたりの発熱量 100W

表3 測定項目および測定機器

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)

表4 換気と貫流熱損失一覧

設定給気温度(℃)	20		
発熱体数(個)	1	2	4
発熱量[W]	100	200	400
換気量[m ³ /h]	103	131	130
給排気温度差(℃)	3.27	4.39	6.75
換気熱損失[W]	118	202	306
貫流熱損失[W]	-18	-2	94

3 実験概要

図4に示す様に、水平層流型人工気候室を置換換気可能な室に改造した。壁面および床面には断熱材を貼付したが、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2参照)において、室内の温度を測定するとともに、発熱体上部においてトレーサガスとしてCO₂をパッシブに発生させ(発熱体1体当たり0.6l/分)、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。発熱体設置位置を図5に、温度・濃度測定点位置を図6に示す。

4 実験結果・モデル計算結果と考察

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量を計算した。結果を表4に示す。室内温度の上昇に伴う室内外温度差の増大に起因して、貫流熱損失量は発熱量が多いほど大きくなっている。

4.2 鉛直温度分布に関する考察 図7に発熱体数の異なる場合の温度分布を示す。水平面内4点の分布は小さく、どの条件も同じ高さでの水平面平均で示している。図中にMundtモデルを用いて計算した結果を併記する。測定値を見ると、発熱体数が多いほど鉛直温度差が大きく温度も高くなることがわかる。分布形状は床から天井までほぼ等しい勾配となる一般的な置換換気の場合とは異なり、下層で温度がほぼ均一である。これは吹出風速が十分に低速でなく下層で吹き出し流とブルームとの混合が起こったことによるものと推察される。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、分布形状も一致していない。対流・放射熱伝達率の設定値に原因がある可能性がある。また、このモデルでは室上部から下部まで等しい温度勾配と仮定しているために、室下部でほぼ均一となる測定結果とは差異が生じている。ただし、発熱体数が増加するほど鉛直温度差

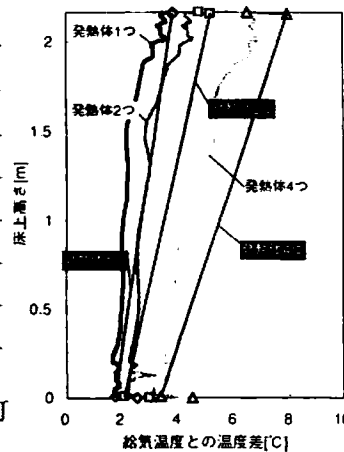


図7 鉛直温度分布

* 白抜き文字の凡例はモデル計算結果

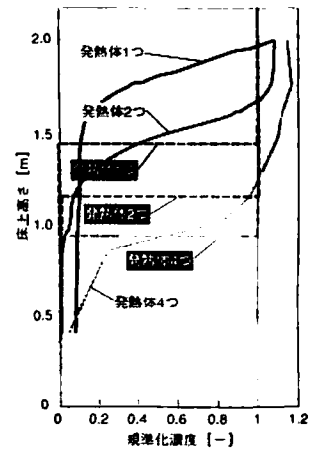


図8 規準化濃度分布

* 白抜き文字の凡例はモデル計算結果

が大きくなる傾向に関しては再現できているといえる。

4.3 鉛直濃度分布に関する考察 図8には発熱量が規準化濃度(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て示している。また、2.2で述べた濃度分布予測モデルを用いて計算した結果を併記する。測定結果から発熱体数が多いほど境界面高さが低くなり、低濃度の領域が小さくなることがわかる。モデル計算値と測定値を比較するとモデルで示される境界面高さが測定値から推測される境界面高さより低くなっており、その傾向は発熱体数が少ないときに顕著である。原因としては、図3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¹⁰⁾。また、壁面を通しての貫流熱移動によって生じる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なっている可能性がある。

5 おわりに

今後は貫流熱損失を考慮した室内温度及び濃度分布の予測モデルに関する検討を行っていく所存である。

[注]ブルーム流量の測定結果については今回参照したKofod¹⁰⁾によるものの他にもMundtが集めた結果等がある。しかし、ブルーム流量の測定は難しく、各々の測定結果にはばらつきが多く見られる。そのためMundtの測定結果で計算した既報³⁾の回帰式と本報の回帰式が異なるため想定される境界面高さに違いが出ており、今後検討を要するものと考えられる。

[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) 徐、佐藤、山中、甲谷: 置換換気時の室内温度・換気効率分布に関する研究—壁面貫流熱がある場合の給気温度と発熱量が室内温度・換気効率分布に及ぼす影響—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.581-582, 1999
- 4) 東本、山中、甲谷、徐: 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および濃度分布に及ぼす影響, 日本建築学会近畿支部研究報告集第40号・環境系, 2000.6
- 5) Elisabeth Mundt: "TEMPERATURE GRADIENT MODELS IN DISPLACEMENT VENTILATED ROOMS", 5th International Conference on Air Distribution in Rooms, ROOMVENT '96, July 17-19, 1996
- 6) Peter Kofod: "THERMAL PLUMES IN VENTILATED ROOMS", Ph.D. Thesis, pp.168-170, 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