

冷却・加熱壁面を有する室における置換換気の成立条件

—給気温度及び仮想外気温度が温度・汚染物濃度分布に及ぼす影響—

正会員 ○徐 鳴*1

同 山中俊夫*2

同 甲谷寿史*3

同 東本文明*4

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⁾²⁾。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。温度成層が形成されるためには、給気温度より排気温度の方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、室内に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てしまうことが知られている³⁾⁴⁾。

このような冷熱源として最も代表的なものは、冬期での外気に面する壁面と窓面であり、断熱性が不十分な場合、貫流熱損失が原因となって壁面に沿った下降流が形成され、室内の鉛直方向の温度分布、濃度分布を均一化

し、置換換気が達成されなくなると考えられる。また断熱性が不十分な壁面は、夏期には加熱面となり、室内の発熱源と同様に上昇気流を生じることから、置換換気の境界面の下降を招き、居住域を小さくすることが予想される。

本報告では、良好な断熱性を有する置換換気室の壁面の一部に断熱性の低い領域を作成し、冬季及び夏季の外気を想定したチャンバーの温度（以下「仮想外気温度」と呼ぶ）を制御しながら、仮想外気温度、室内発熱量、給気温度をパラメータとした実験を行い、冷却壁面及び加熱壁面が室内の温度と人体から発生する汚染物濃度の鉛直分布に及ぼす影響について検討を行い、冷却・加熱壁面を有する室内における置換換気の成立条件について考察を行った結果について報告する。給気温度は通常20℃前後に設定されるが、本研究では、給気温度を変化させることで外気温度と給気温度との差を相対的に変化させ、より広範囲な外気条件の下での検討と等価な結果を得ることを試みた。

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改造し、床面近く

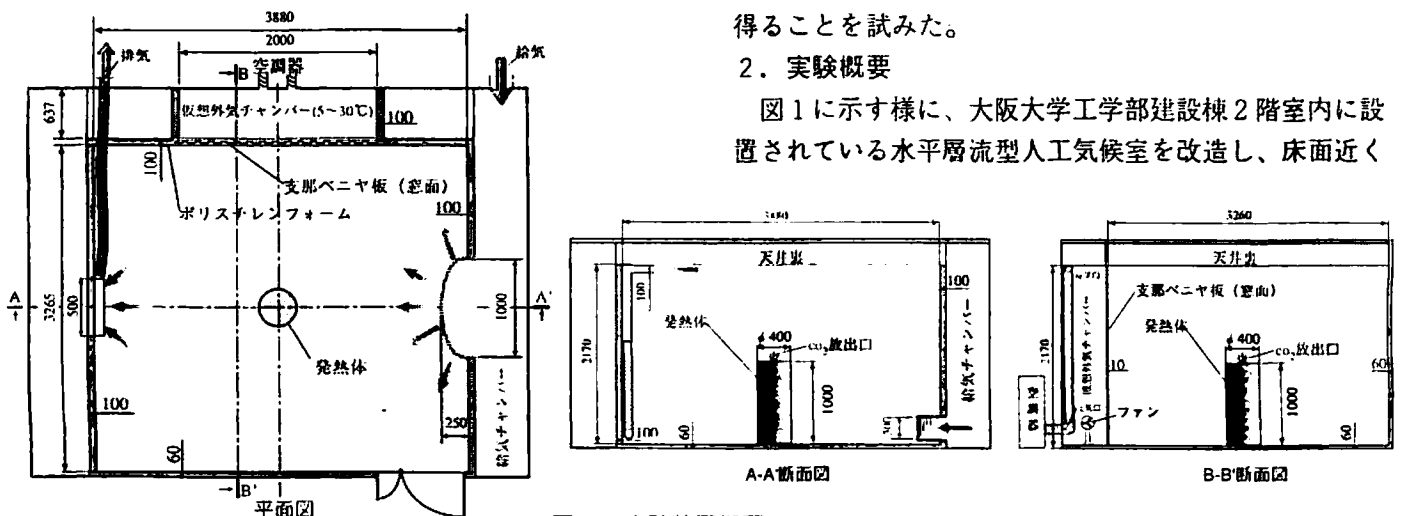


図1 実験装置概要

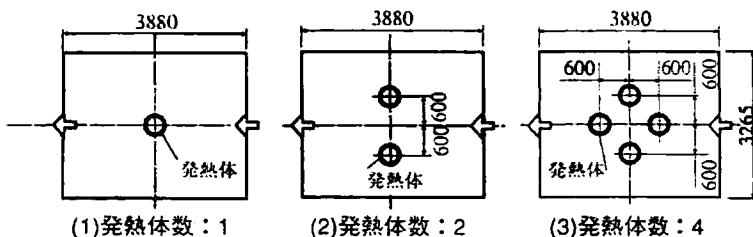


図2 発熱体設置位置

*単位[mm]

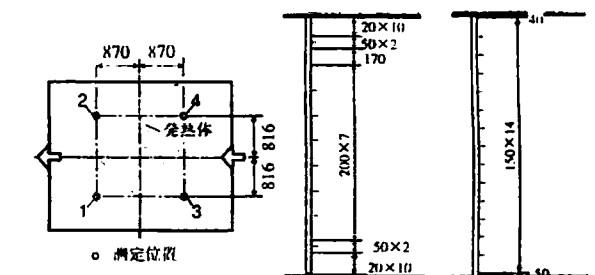


図3 温度・濃度の鉛直分布測定位置

Conditions to Accomplish Displacement Ventilation in Room with Cooled or Heated Wall

---Effect of Supply Air Temperature and Outside Temperature on Vertical Profile of Temperature and Contaminant Concentration

XU Ming, YAMANAKA Toshio, KOTANI Hisashi and HIGASHIMOTO Takeaki

での放射状の給気、天井面近くでの排気を行う置換換気室を作成した。同室の壁面の一つに接するようにチャンバーを作成し、チャンバー内の温度を循環型温湿度制御装置（AP-750M-C、ORION社製）によって制御した。チャンバー内は温度を均一にするためにファンによって攪拌した。置換換気室とチャンバー間の壁面には、2000mm×2170mm、厚さ10mmのベニヤ板（本研究では便宜上この面を「窓面」と称する。）をはめ込んでおり、それ以外の壁面と床は断熱材（60～100mmのポリスチレンフォーム）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。この実験室内において、人体を模擬した発熱体（径400mm、高さ1000mmの円筒形、発熱量100W）の個数と給気温度及び仮想外気温度を組み合わせた条件下（表1、表2参照）において、室内の鉛直温度を測定すると共に、発熱体上部においてトレーサーガスとしてCO₂をパッシブに発生させ（CO₂の発生量は1体当たり0.6ℓ/min）、室内のCO₂濃度分布を測定した。発熱体の設置位置を図2に、温度・濃度の鉛直測定位置を図3に示す。実験期間は1999年9月下旬～11月中旬で、使用した測定機器は表3の通りである。

3. 結果と考察

3.1 換気熱損失量及び貫流熱損失量

排気温度と給気温度の差（表4）から換気熱損失量を計算し、室内での発熱量から換気熱損失量を差し引くことで貫流熱損失量を算出した。その結果を表5に示す。貫流熱損失は実験室を構成する天井、床、壁面から流出する総熱量を意味する。

表5より、仮想外気温度が給気温度より低い場合には、仮想外気温度が低いほど貫流熱損失が大きくなり、換気熱損失が大きいことがわかる。また、給気温度、仮想外気温が同じ場合には、温度発熱量が大きいほど貫流熱損失、換気熱損失ともに大きいことがわかる。一方、仮想外気温が給気温度よりも高い場合（給気温：20℃、仮想外気温：25℃及び30℃）には、仮想外気温度が給気温度と等しい場合（20℃）よりも貫流熱損失は大きく、換気熱損失は小さいことがわかる。

3.2 窓面冷却時の室内換気性能

3.2.2 室内鉛直温度分布（図4～7） 4点の測定点位置で測定した同じ床上高さの温度を平均し、給気温度との差で表した温度の鉛直分布を図4～7に示す。床上高さ0mは床面の温度、高さ2.17mは天井面温度を示す。
(1) 発熱体数が温度分布に及ぼす影響 図4に、給気温度が20℃の条件について、仮想外気温度別に発熱体数の異なる条件下での温度分布を重ねて示す。いずれの仮想外気温度においても、発熱体数が多いほど温度は高いが、上下の温度差に発熱体数による大きな差異はないことがわかる。完全に断熱された室では、発熱体数が多い

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 [℃]					
10	○	○	○	○	○
15	○	○	○	○	○
20	○	○	○	○	○
25		○		○	○
30		○			○

表2 実験時諸量一覧

給気温度 [℃]	発熱体数 [個]	給気流量 [m ³ /h]	給気風速 [m/s]	排気風速 [m/s]
20	1	100	0.08	0.56
	2	160	0.13	0.89
	4	300	0.24	1.67
25	2	160	0.13	0.89
30	2	160	0.13	0.89

表3 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)

表4 給排気温度差一覧

単位：[℃]

給気温度 [℃] 発熱体数 * [個]	20			25	30
	1	2	4	2	2
仮想外気温度 [℃]					
10	0.79	2.42	2.89	0.09	-1.49
15	1.3	2.56	3.03	0.44	-0.5
20	2.55	3.5	3.6	1.75	-0.13
25		2.87		2.22	0.97
30		3.0			1.67

* 一体あたりの発熱量：100w

表5 換気熱損失量・貫流熱損失量一覧

単位：[W]

給気温度 [℃] 発熱体数 [個]	20			25	30
	1	2	4	2	2
仮想外気温度 [℃]					
10	27 73	134 66	301 99	5 195	-83 283
15	45 55	142 58	316 84	24 176	-28 228
20	89 11	195 5	375 25	97 103	-7 207
25		159 41		123 77	54 156
30		167 33			93 107

上段：換気熱損失量、下段：貫流熱損失量

ほど上下の温度差がそれに比例して増大するので、図4のような傾向を示すのは冷却壁面を含む室の外周部からの貫流熱損失が関係していると考えられる。

(2) 給気温度が温度分布に及ぼす影響 図5は、発熱体数が2個の条件について、仮想外気温度ごとに、給気温度が異なる条件の温度分布を重ねて示したものである。いずれの条件においても室の上部ほど温度が高く、天井近傍と床近傍の温度差は $1.0^{\circ}\text{C} \sim 1.5^{\circ}\text{C}$ 程度である。また、仮想外気温度が同じであれば、給気温度が高いほど温度が低いことがわかる。これは給気温度が高いほど室内外の温度差が大きくなり、壁面を通しての貫流熱損失量が増大することに起因すると考えられる。

(3) 仮想外気温度が温度分布に及ぼす影響 図6は、給気温度が 20°C の条件下での鉛直温度分布を、発熱体数ごとに仮想外気温度の異なる温度分布を重ねて示したものである。いずれの発熱体数においても、仮想外気温度が高いほど温度は低いが、仮想外気温度による差異は発熱体数が少ないほど大きい。この傾向は表5に示した換気熱損失量の大小関係にほぼ対応していると言える。

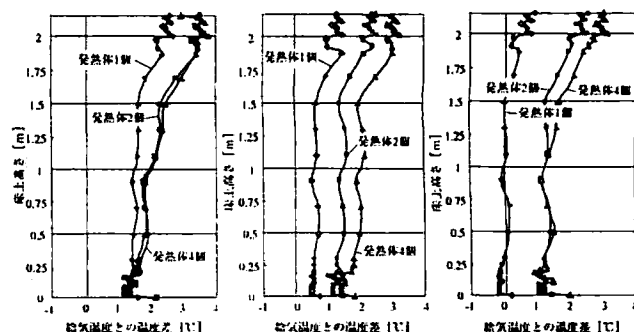
図7は、発熱体数が2個の条件について、給気温度別に仮想外気温度の異なる温度分布を重ねて示したものである。いずれの条件でも温度分布の形状は類似しているが、仮想外気温度が低いほど温度が低いことがわかる。給気温度 25°C で、仮想外気温度が 15°C 及び 10°C の場合、給気温度 30°C で仮想外気温度が 20°C 、 15°C 、 10°C においては、室内温度が給気温度よりも低くなっている。

3.3 室内規準化濃度分布 (図8～11)

温度分布と同様に室内の4箇所において同じ高さでの濃度を平均し、各濃度と給気濃度との差を排気濃度で規準化した値 (以下「規準化濃度」と呼ぶ) の鉛直方向の分布を図8～11に示す。考察の目的と各図における条件の組み合わせ方は温度の場合 (図4～7) と同じである。

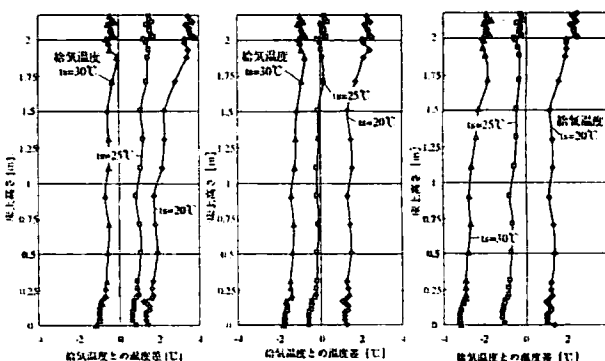
(1) 発熱体数が規準化濃度分布に及ぼす影響 図8より、完全な置換換気が達成されているのは仮想外気温度が 20°C 、即ち給気温度と仮想外気温度に差がない条件のみであるが、どの仮想外気温度でも発熱体数が少ないほど、置換換気の境界面が高い傾向が見られる。

(2) 給気温度が規準化濃度分布に及ぼす影響 図9より、同じ仮想外気温度の条件下では、給気温度が高いほど室下部の濃度が高くなっており、給気温度が高いほど置換換気が壊れることがわかる。その傾向は仮想外気温度 20°C で最も顕著に見られている。給気温度 30°C の場合には、どの仮想外気温度でも濃度が比較的高くなっているため、本報の実験では室内温度と仮想外気温度との差が 10°C 以上になると、室内濃度分布が全体的に高くなり、置換換気が完全に壊れると言うことができよう。これは給気温度の上昇に伴う貫流熱損失量の増大により、



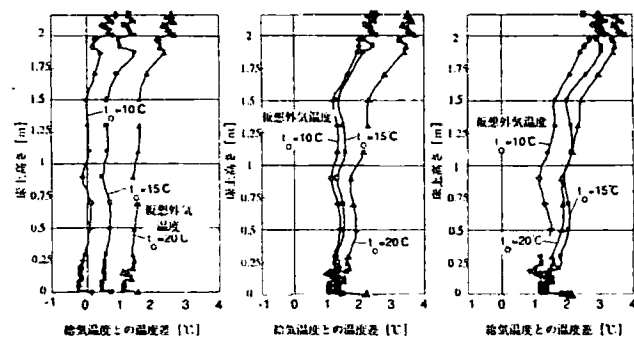
(1) 仮想外気温度: $t_0=20^{\circ}\text{C}$ (2) 仮想外気温度: $t_0=15^{\circ}\text{C}$ (3) 仮想外気温度: $t_0=10^{\circ}\text{C}$

図4 鉛直温度分布 (給気温度規準) (給気温度: 20°C)



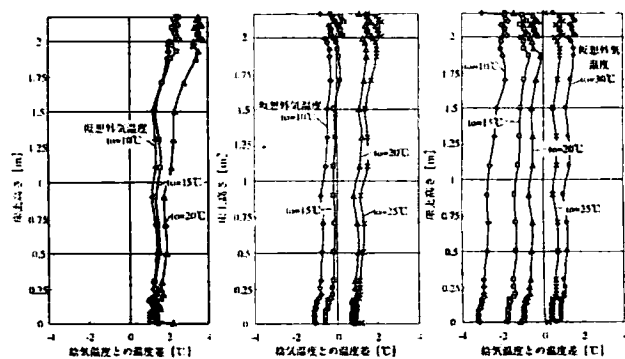
(1) 仮想外気温度: $t_0=20^{\circ}\text{C}$ (2) 仮想外気温度: $t_0=15^{\circ}\text{C}$ (3) 仮想外気温度: $t_0=10^{\circ}\text{C}$

図5 鉛直温度分布 (給気温度規準) (発熱体数: 2)



(1) 発熱体数: 1個 (2) 発熱体数: 2個 (3) 発熱体数: 4個

図6 鉛直温度分布 (給気温度規準) (給気温度: 20°C)



(1) 給気温度: $t_s=20^{\circ}\text{C}$ (2) 給気温度: $t_s=25^{\circ}\text{C}$ (3) 給気温度: $t_s=30^{\circ}\text{C}$

図7 鉛直温度分布 (給気温度規準) (発熱体数: 2)

窓面及び壁面で生じる下降流の影響と考えられる。

(3) 仮想外気温度が規準化濃度分布に及ぼす影響 図10より、いずれの発熱体数条件でも仮想外気温度が低いほど (室内温度と仮想外気温度との差が大きいほど)、室下部空間の規準化濃度が高くなっている傾向が見られ

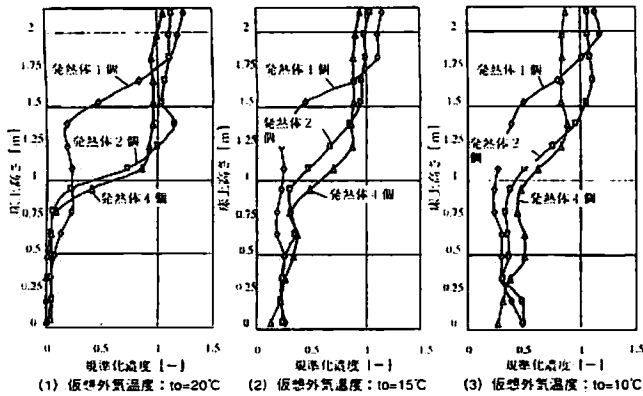


図8 標準化濃度鉛直分布 (給気温度: 20°C)

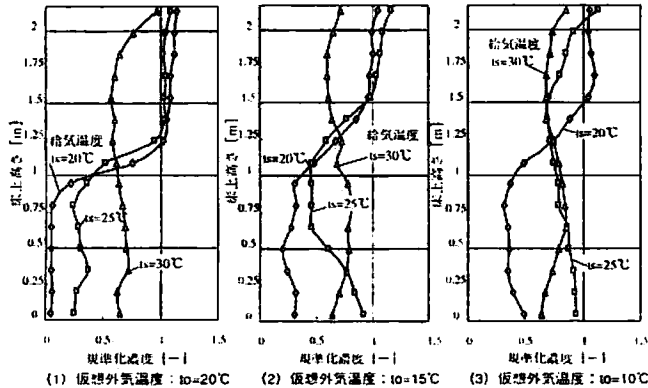


図9 標準化濃度鉛直分布 (発熱体数: 2)

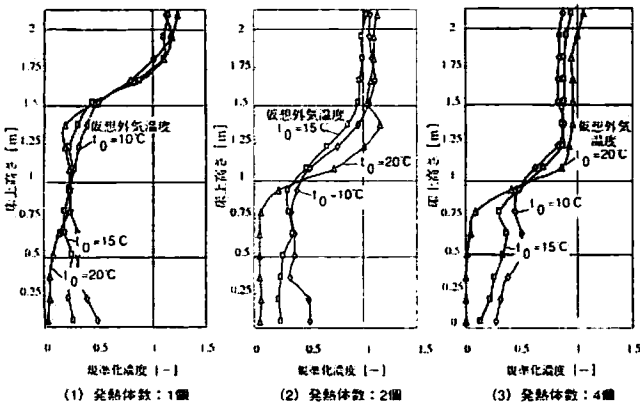


図10 標準化濃度鉛直分布 (給気温度: 20°C)

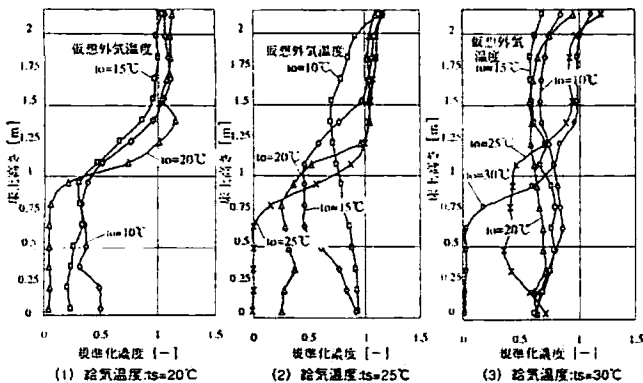


図11 標準化濃度鉛直分布 (発熱体数: 2)

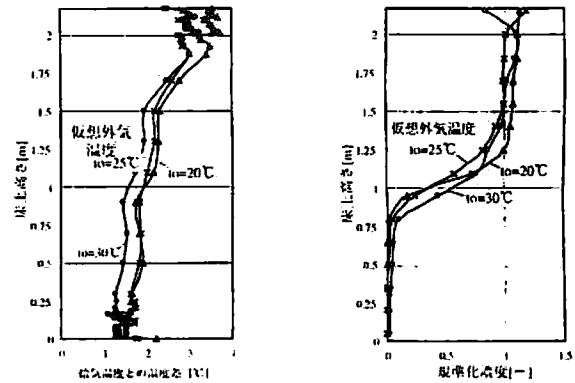


図12 鉛直温度分布
(給気温度基準, 発熱体数: 2)

図13 標準化濃度分布
(発熱体数: 2)

る。これは、仮想外気温が低くなることによって、窓面室内側に下降流が生じ、上部空間から下部空間に CO_2 が運ばれることが原因と考えられる。

図11より、給気温度が同じであれば、仮想外気温が低いほど室下部での濃度は高く、置換換気が壊れることがわかる。その傾向は給気温度が高い場合ほど顕著である。

3.3 窓面加熱時の室内換気性能

3.3.1 室内鉛直温度分布

図12は、発熱体数が2個、給気温度が20°Cの場合について、仮想外気温が20°C、25°C、30°Cの場合の鉛直温度分布を重ねて示したものである。仮想外気温の差による、鉛直温度分布の差は非常に小さく、これは表5に示した換気熱損失が大きく異ならないことに起因していると考えられる。

3.3.2 室内標準化濃度分布

図13は、図12と同じ条件下での鉛直濃度分布を示したものである。いずれの仮想外気温条件においても、室下部空間での濃度は0となり完全な置換換気が達成されていることがわかる。仮想外気温が高いほどわずかながら境界面高さの低下が伺えるが、これは同じ高さでの上昇気流量の増大が原因の一つになっているとすることができよう。

4. おわりに

今後は温度及び濃度分布の予測モデルに関する検討を行う予定である。

【参考文献】

- David Etheridge and Mats Sandberg: "BUILDING VENTILATION - Theory and Measurement", JOHN WILEY & SONS, 1996
- Håkon Skistad: "DISPLACEMENT VENTILATION", RESEARCH STUDIES PRESS LTD., p.40, 1994
- Peter Hansson, Hans Stymne: "A technique to improve the performance of displacement during cold climate conditions", Proceedings of 17th AIVC Conference, Gothenburg, Sweden, pp.521-528, 1996

* 1 大阪大学大学院工学研究科建築工学専攻博士後期課程
* 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前期課程

Graduate Student, Department of Architectural Engineering, Graduate School of Engineering, Osaka University
Associate Professor, 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