

床吹出し型置換換気システムに関する基礎的研究 (その5) 旋回流型吹出し口を有する室における汚染物濃度の計算

○小寺 啓滋 (大阪大学)
甲谷 寿史 (大阪大学)

山中 俊夫 (大阪大学)
村山 順子 (大阪大学)

1. はじめに

室の上下に上部空間ほど高濃度の汚染物濃度分布を形成させ、高い換気効率を実現する床吹出し空調方式の換気システムを筆者らは床吹出し型置換換気と呼んでいる。中でも吹出し条件（給気量、吹出し口直径、吹出し風速）を適切に制御することで快適な温熱環境と換気効率の高い室内空間を両立できる換気システムとして準置換換気を定義し、置換換気と混合型の換気の中間的なものと位置づけている。床吹出し空調方式における換気効率は、従来より実測結果が報告されているが、換気効率の定量的な予測に基づく設計法は未だ確立されていない。本研究では、空調システムの換気性能を評価する上で必要不可欠な規準化濃度の計算法の確立を最終目的とし、既報²⁾で単純開口を有する模型室における汚染物濃度の測定実験結果に基づいて、ゾーンモデルを用いた濃度計算法を提案した。しかし、実際の建物では誘因性の高い旋回流型の吹出し口が多く用いられている。そこで本報では、旋回流型吹出し口を有する模型室における汚染物濃度の測定実験を行い、濃度計算法の旋回流型吹出し口を有する室への適用性を検証した結果について報告する。

2. ゾーンモデルを用いた濃度計算法

既報²⁾で報告したモデルは、発熱源として人体、汚染物として人体からの呼気・体臭を対象としている。吹出し条件を入力として、図1に示す空気移動及び濃度分布の形状を考え、汚染物収支から濃度分布を算出するものである。空気移動は濃度分布の形状から室内を室内上部領域、境界領域、室内下部領域に3分割し、それらと吹出し気流域、熱ブルーム域との間の空気移動を考えている。ここで、境界領域の上端は絶対到達距離（「吹出し

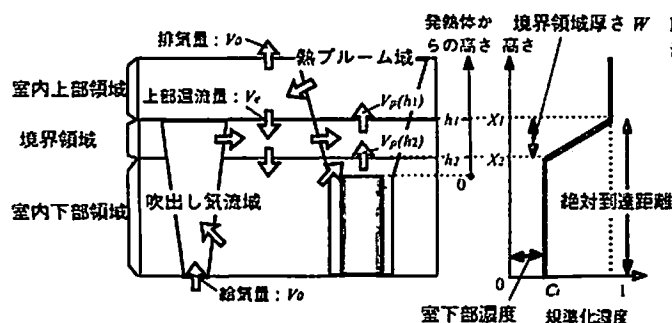


図1 空気移動モデルと室内鉛直濃度分布

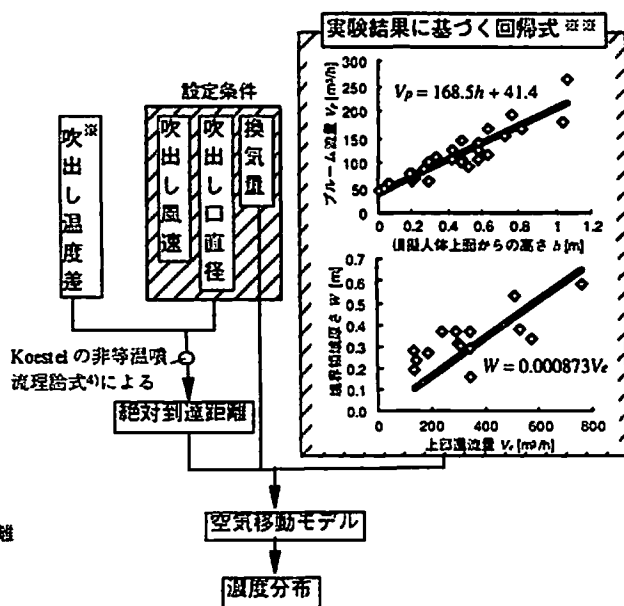


図2 濃度計算法の要素間関係図

※ 吹出し温度差: 吹出し温度と室内下部領域温度との差
※ ※ 模型室寸法で表記

口から風速が 0m/s になるまでの距離」
と定義) に一致するものと仮定してい
る。濃度分布算出の詳細は既報²⁾³⁾ に詳
しいが、図 2 に濃度計算モデルの要素
間関係図を、図 3 に濃度の計算手順を
それぞれ示す。濃度の算出に際して、発
熱体からの高さ、熱ブルーム流量の関
係及び上部還流量(図 1 参照)と境界領
域厚さの関係をそれぞれ線形関係、比
例関係にあると仮定し、実験結果に基
づいて回帰した関係式を用いている。
本報では、旋回流型吹出し口を有する
室において、絶対到達距離を既知とし
て本計算法を適用し、測定データと比
較することでその実用性を検討した。

3. 実験概要

縮尺 0.731 の模型室(図 4 参照)にお
いて温度及び濃度の測定を行った。床
面に設置した旋回流型吹出し口より室
内に給気し、天井近くより排気する状
況下で、熱源として模擬人体を均等に
配置し、その上面より汚染物を模擬

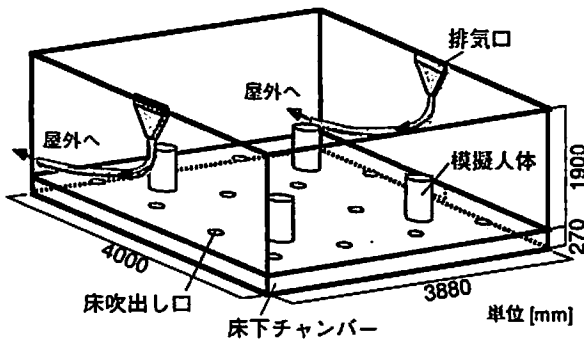


図 4 模型室概要

表 1 実験条件

条件番号	①	②	③	④	⑤	⑥
換気量 [m³/h]	146	219	292	366	439	146
吹出し口個数 [個]	8					16
*吹出し温度 [°C]	19.1	16.3	17.4	13.1	10.9	16.7
発熱量 [W]	187×4					

*測定値

標準化濃度分布の計算手順

1. 設計条件の設定 設計条件として給気量、吹出し口直径、吹出し温度差を設定する。
2. 絶対到達距離の算出 Koestel の噴流理論⁴⁾から誘導した次式より絶対到達距離 X_1 を算出する。

$$X_1 = D_o \left(\frac{K}{1.9 A_r} \right) \quad X_1: \text{絶対到達距離 [m]} \quad K: \text{スロー定数 [-]} \quad D_o: \text{吹出し口直径 [m]} \quad A_r: \text{アルキメデス数 [-]}$$

ただし、本式が適用できるのは単純開口からの吹出し気流の場合であり、本報では旋回流型吹出し口を用いているため、濃度計算においては測定値を入力している。

3. 想定境界面高さの算出 発熱体高さ、熱ブルーム流量との関係式(図 2 参照)より給気量とブルーム流量が等しくなる想定境界面高さ X_2 を算出する。
4. 気流性状の判定 X_1 と X_2 との大小関係より気流性状が置換換気型 ($X_1 < X_2$) か準置換換気型 ($X_1 > X_2$) かを判定する。ただし、 X_1 が天井高さより大きいときは本モデルは適用できない。

5. 標準化濃度分布の算出 置換換気の場合、 X_1 が境界面高さとなり、標準化濃度は室内下部領域で 0、室内上部領域で 1 となる。

準置換換気の場合、 X_1 が境界領域上面の高さとなり、境界領域厚さ W を 2 つの回帰式(図 2 参照)を用いて算出する。室上部領域の標準化濃度は 1 となり、室下部領域の標準化濃度 C_i は汚染物収支から得られる次式より算出する。

$$C_i = \frac{2V_e - V_p(h_1) + V_p(h_2)}{V_p(h_1) + V_p(h_2)}$$

V_e : 上部還流量 [m³/h] h_1 : 発熱体から境界領域上端までの高さ [m]

$V_p(h)$: ブルーム流量 [m³/h] h_2 : 発熱体から境界領域下端までの高さ [m]

注) 吹出し温度差は本来、予測して入力すべきであり、温度分布予測モデルによる算出を既報²⁾で検討しているが、本報は回帰式に着目した検討を行っているため、測定した吹出し温度と居住域温度の差を用いた。

図 3 標準化濃度分布の計算手順

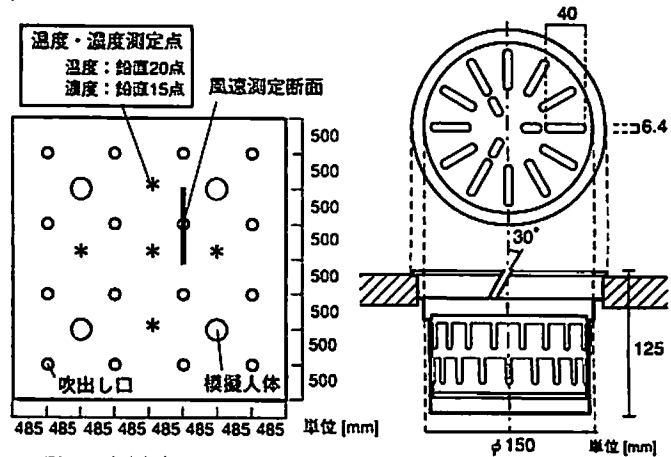


図 5 測定位置(平面図)

表 2 模型室の縮率

物理量	縮率
長さ L	0.731
速度 U	1.37
時間 T	0.534
流量 V	0.731
温度差 $\Delta\theta$	2.56
熱量 Q	1.87

図 6 旋回流型吹出し口

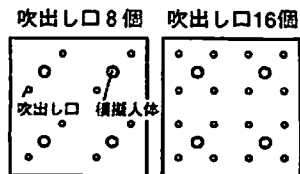


図 7 吹出し口の配置

した二酸化炭素を発生させ、各点（図5参照）での二酸化炭素濃度及び温度の鉛直分布を測定した。また、吹出し気流の絶対到達距離を把握するため、図5に示す吹出し口近傍における鉛直断面で風速測定を行った。巡回流吹出し口としては、クランツ社製のツイストグリルランプ式KB150-OR-C（図6参照）を用いた。実験では、吹出し口の Re 数及び Ar 数が一致するように縮率を決定した（表2参照）。なお、本報に示す物理量は全て模型における値で表記している。実験条件は表1に示す6条件とした。各吹出し口個数における吹出し口の配置を図7に示す。

4. 実験結果と考察

(1) 温度分布 図8に各条件の温度の鉛直分布を測定温度と吹出し温度の差で示す。5点の測定位置で水平方向の分布がほとんどなかったため、各高さの水平面平均値で表す。吹出し口個数の違いによる差異はほとんど見られないが、吹出し口個数が同じ条件では換気量の大きい条件ほど、室内上下温度差が小さく、室下部の温度が低くなっている。いずれの条件においても室の下部と上部に温度の均一な領域が存在している。

(2) 濃度分布 図9に各条件の濃度の鉛直分布を規準化濃度（給気温度基準の濃度を排気濃度で規準化）として示す。温度分布と同様に各高さの水平面平均値で表す。各条件とも室内下部領域及び室内上部領域における濃度分布は均一に近い。また、換気量の大きい条件ほど、室内下部領域の濃度は高く、境界領域の位置も高くなっている。吹出し口個数が16個の条件は室内下部領域の濃度がほぼ0となっていることから、上部還流量が存在せず、ブルーム流量以外に空気移動のない境界面が形成されていると考えられる。

(3) 風速分布 図10に各条件の各高さにおける最大風速の鉛直分布を

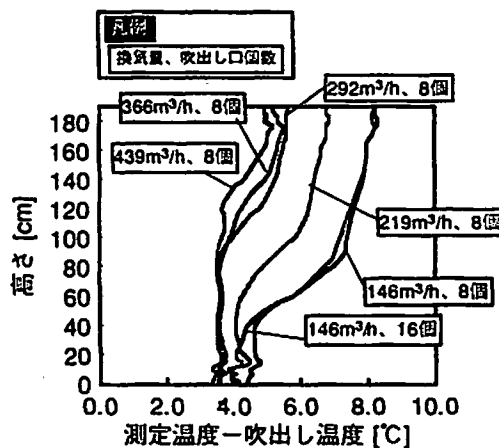


図8 温度（吹出し温度基準）の鉛直分布

表3 各条件における絶対到達距離

条件番号	①	②	③	④	⑤	⑥
絶対到達距離 [m]	0.7	1.0	1.2	1.3	1.4	0.4

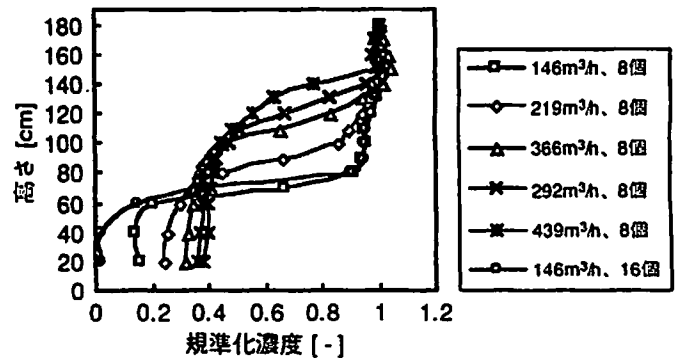


図9 規準化濃度の鉛直分布

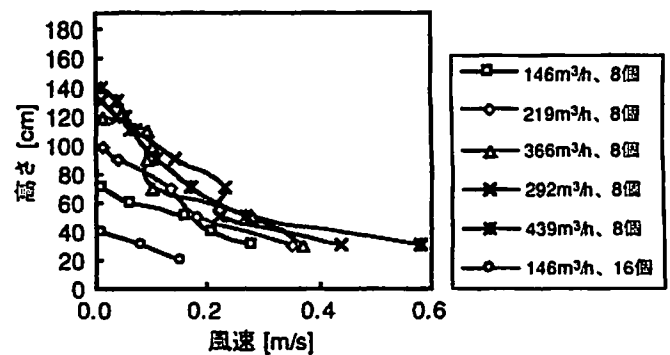


図10 吹出し口近傍における最大風速の鉛直分布

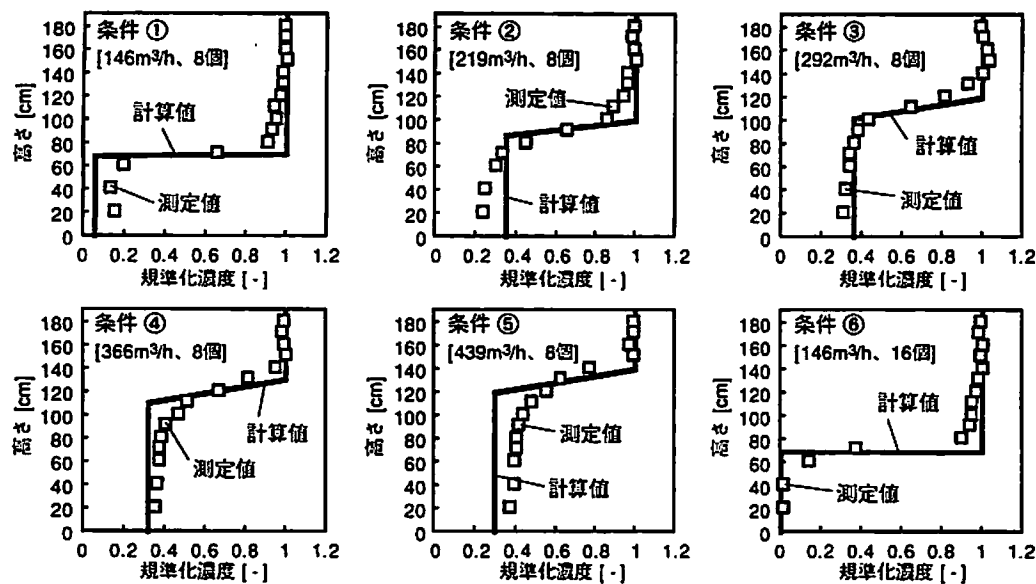


図11 規格化濃度鉛直分布の計算値と測定値

示す。吹出し口1個あたりの流量が大きい条件ほど絶対到達距離が高くなっている。表3に各条件における絶対到達距離を示す。

5. 旋回流型吹出し口を有する室への濃度計算法の適用

表1の各条件について図3の計算手順に従い、濃度計算を行った結果を図11に測定値とともに示す。ただし、濃度計算の際、絶対到達距離は表2に示す測定値を入力した。いずれの条件においても計算値と測定値で良い一致が見られ、筆者らの提案する汚染物濃度の計算法におけるゾーニング手法、濃度分布形状の模式化、熱プルーム流量及び境界領域厚さの算定式が旋回流型吹出し口を有する室においても適用可能であるといえる。

6. おわりに

旋回流型吹出し口を有する室においてゾーンモデルを用いた濃度計算法を適用し、その精度を検討した結果、吹出し気流の絶対到達距離が精度良く予測できれば、実用上十分な精度で鉛直濃度分布を計算できることが明らかになった。今後は、旋回流型の吹出し気流における絶対到達距離の予測が課題であると考えらる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、原田産業(株) 藤塚譲二氏に多くの便宜をお借りいただいた。ここに記して深謝申し上げます。

参考文献

- 1) 例えば、日本建築学会環境工学委員会：床吹出し空調システム研究小委員会報告集、1995年
- 2) 小寺啓滋、佐藤隆二、山中俊夫、甲谷寿史：同題（その2）汚染物濃度予測モデルの構築、空気調和・衛生工学学術講演会講演論文集、pp. 557-560、1999年9月
- 3) 小寺啓滋、佐藤隆二、山中俊夫、甲谷寿史：同題（その4）汚染物濃度計算モデルの種々の吹出し条件への適用、空気調和・衛生工学学術講演会講演論文集、pp. 613-616、2000年9月
- 4) Alfred Koestel : COMPUTING TEMPERATURES AND VELOCITIES IN VERTICAL JETS OF HOT OR COLD AIR, ASHVE Transaction, Vol. 60, pp. 385-410, 1954
- 5) 小寺啓滋、佐藤隆二、山中俊夫、甲谷寿史、加川一郎：同題（その3）汚染物濃度予測モデルに組み込む室内鉛直温度分布予測モデルに関する検討、空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集、pp. 25-28、2000年3月