

不完全混合室内の居住域換気効率の評価に関する研究 (その1)

Purging Flow Rate 検討用精密室内気流模型実験

正会員 ○ 小林 光^{*1} 同 村上周三^{*2}
同 加藤信介^{*3} 同 伊藤一秀^{*4}

模型実験 LDV Purging Flow Rate

1. 序 一般に室内の換気性状、汚染質濃度は場所により変化する。我々が特に知りたいのは居住域のそれである。筆者らはこの観点から、不完全混合室内の換気性状を評価する換気効率指標 $SVE1 \sim 6^{x(1-3)}$ を開発してきた。本研究では居住域の汚染質平均濃度を評価するための指標として、新しい換気量の指標である Purging Flow Rate (以降 PFR) を用いる。本研究では PFR の一般的な性質を調べ、換気設計計画の資料として整備することを目的とする。

2. Purging Flow Rate 居住域の汚染質平均濃度の性状は実験、実測や CFD (数値流体力学) により評価することができる。完全混合を仮定する室内で発生する汚染質の室内濃度は換気量で定まる。これに対応して、不完全混合室内における居住域の平均濃度を定める換気量 (居住域の $PFR^{x(4)}$) を考えることができる。PFR (排出換気量) とは、解析対象として局所的に設定された領域内 (室内に仮想的に設定される小又は中の閉空間) に対する実質的な流入量 (又は排出量) を示すもので、以下のように定義される。

$$PFR = \frac{q}{C} \quad (1)$$

但し、PFR: 対象領域の Purging Flow Rate [m³/s],
q: 対象領域内の汚染質発生率 [m³/s],⁽¹⁾
C: 対象領域内の汚染質の平均濃度 [-]

PFR は室内の流れ場と汚染質発生位置で定まる室内の局所領域の汚染質の濃度分布を評価する指標である。PFR 評価対象領域の大きさ・位置及び汚染質発生位置によりその値が変化する。PFR 評価対象領域の汚染質平均濃度は、その領域で発生した汚染質の平均滞在時間に比例する⁽²⁾⁽³⁾。即ち PFR は評価対象領域で発生した汚染質がどの程度その領域に滞在するか、また一度その領域から流出しても再び室内気流により対象領域に還流してくる割合はどの程度かを示す汚染質の排出効率を示す指標になっている。居住域の PFR が与えられれば汚染質の居住域平均濃度はその発生量から容易に算出される。本研究は居住域等における PFR の性状を詳細に解析し、PFR を室内条件から簡易に与える方法の開発を最終の目的とする。

3. 居住域の汚染質濃度変動要因 居住域の PFR に影響を与える要因は、①気流性状の変化、②汚染質発生位置、③居住域の位置・形状、等が考えられる。本研究ではこのような居住域の汚染質平均濃度に影響を与える個々の因子について、精密模型実験と精密 CFD を用いて検討を加える⁽⁴⁾。本報では、第一段階として <①気流性状の変化> が居住域の PFR に与える影響を検討するため、精密室内気流模型を用いて行った、吹出・吸込口位置を変えた 3 ケースの気流測定の結果に関して報告する。

4. 実験概要 (1) 実験目的 PFR の解析は本報注 1. 及び続報で示すように発生汚染質のラグランジェ拡散過程の解析可能性を有する LES (Large Eddy Simulation) によることが期待される。LES による気流解析の検証となり得る、また実験的な PFR 解析の基礎となる精密な気流実験を行う。解析の便宜のためできるだけ単純な流れ性状とするために 2次元の室内気流とし、また居住域の PFR に影響を与える各種要因に対

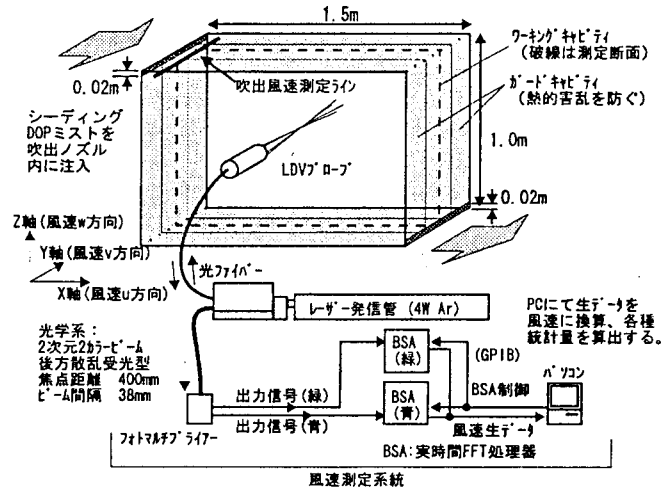


図1 居室模型の構成とLDVシステム

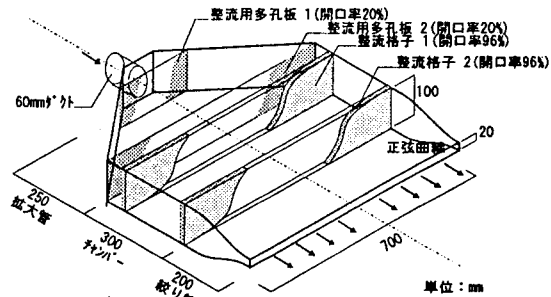


図2 吹出ノズル

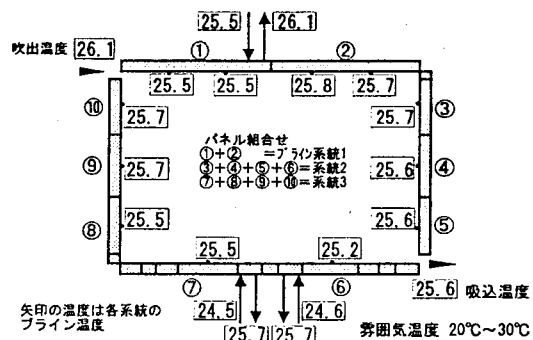


図3 模型内表面温度分布^(注2)

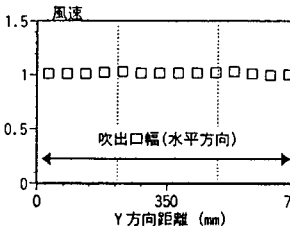


図4 吹出風速(水平横方向) (カードキャビティを含む)

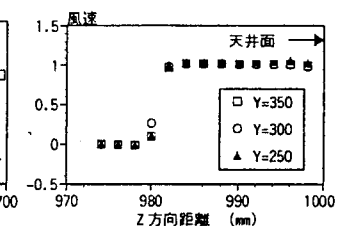


図5 吹出風速(垂直方向) (Y=350 ガワキングキャビティセンターライン)^(注5)

Study on Evaluation of Ventilation Effectiveness of Occupied Space in Room (part 1)

Precise Model Experiment of Airflow in Room for Analyzing PFR

KOBAYASHI HIKARU, MURAKAMI SHUZO and KATO SINSUKE and ITO KAZUhide

処しうる実験システムとする。(2)模型概要(図1参照) 模型は居室をモデル化したもので $X \times Y \times Z = 1.5m \times 0.3m \times 1.0m$ 。Y方向に均一な2次元流れ場を形成することを意図し、キャビティ幅のスロット状吹出口と吸込口を備える。この吹出、吸込口の取り付け位置は変更可能で、様々な換気性状を作ることができる。吹出口、吸込口は共に高さ20mmのスロット状である。測定はこの長方形キャビティで行い、これをワーキングキャビティと称する。ワーキングキャビティを熱的にガードするため、そのY方向両脇に同じ構成のガードキャビティ(但しY方向幅0.2m)を設け、ワーキングキャビティを挟み込む。この構成によって、ワーキングキャビティのY方向の境界において、熱の勾配0の条件を作出する。また、天井・床・壁(2面)の各面は10枚のアルミ製通水パネルにより構成されており、温度をPID制御されたラインを送ることで模型内表面温度を制御する。通水パネルは組み合わせにより3系統でラインを供給する。一系統当たり3l/min、図3参照。

(3)吹出ノズル(スロット吹出し) Y方向に均一なプロファイルを得ることを目的に図2に示す構成とした。

(4)風速測定 本研究では主に2次元のLDV(図1)を用いて風速を測定³⁾。データ数は10000個以上を確保しているが、サンプリング間隔は不等間隔である。シーディング粒子にはフタル酸ジオクチル(DOP)ミストを用いた⁴⁾。

(5)測定ケース 吹出口・吸込口の組み合わせにより3ケース設定(図6(1)~(3))。測定位置は何れもワーキングキャビティ中央断面(図1)。(6)実験条件 吹出風速は約3m/sで、模型内は等温である。吹出空気及び模型内表面を約25℃に制御、吹出空気温度、表面温度測定結果のばらつきは最大でも1℃程度(図3)。

5. 実験結果、考察 (1)吹出風速(時間平均)分布(図1, 4, 5)吹出口の中央高さの風速 u の水平分布を図4示す。各測点の風速は、同測線上の平均風速に対し $\pm 1.5\%$ のばらつきに収まり、高い2次元性を示す。図5に吹出口直後の3つの異なる位置における風速 u の鉛直分布を示す。3つの鉛直分布は互いに非常に良く一致し、吹出口面が高い2次元性を示すことを確認した。なお、ここには示さないが、吹出口の下流に向かうにつれてY軸上の風速プロファイルが中央が凸の山形となり、流れが3次元性を示すことを確認している(詳細は次報)。(2)室内中央断面平均風速分布(図6) 各ケースとも右回りの大きな循環が観察された。また、キャビティ隅角部では、大きな循環とは逆向きの二次渦が観察される。(3)ブロック間の流量(図7) 居住域界面の流量を解析するため、キャビティを4つのブロックに分割した。ここでは領域③、④を居住域と想定した。各ブロック間での流量を図7に示す。流量は各測定点の風速を台形則によって積分して求め、これを換気量で基準化した。ブロック間流量は補間誤差、3次元性の影響により表面的には必ずしも質量保存を満たしていない。また、吹出・吸込を有する領域では当然それに対応した流量変化を伴う。各ケースとも居住域に出入りする流量は吹出空気量1に対し3~5倍の流量となった。CASE1では居住域に流入する流量4.1に比べ、居住域を循環する流量は3.6と小さくなる。CASE2では居住域を循環する流量と室上部を循環する流量がほぼ対応する。CASE3では居住域に流入する流量は保存されるが室上部で生じている循環流量に比べ小さくなっている。ブロック間流量とPFRの関係については続報で考察する。

6. 結論 (1)PFRの概念を説明し、居住域PFRによる室内換気性状評価の有効性について論じた。

*1 大成建設(株)・工博
*2 東京大学生産技術研究所教授・工博
*3 東京大学生産技術研究所助教授・工博
*4 東京大学大学院

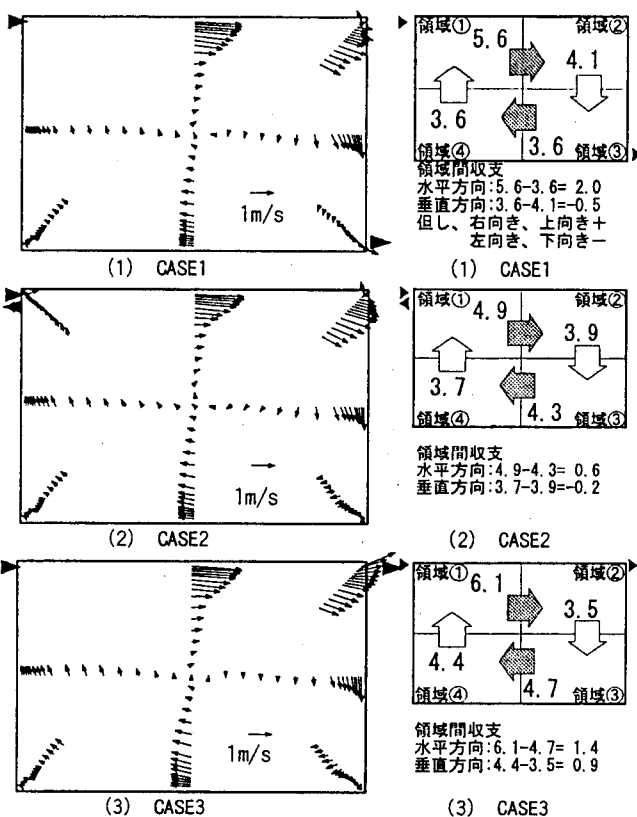


図6 室内中央断面風速分布³⁾
(吹出・吸込口の位置に注目)

図7 ブロック間流量³⁾
(領域③、④を居住域と想定)

(2)2次元性を意図した室内気流に関する模型実験を行った結果、吹出気流は完全な2次元風速プロファイルを得ることが出来た。(3)換気流量に対する模型室内の各領域の循環流量は各ケースとも3~4倍となった。(4)2次元性の問題は次報でさらに検討する。

[注] 注1:PFRは対象領域内の汚染質発生方法を問題としない。汚染質発生量は純粋にその場所で発生したもの他に、他の場所で発生し移流により流入する量と考えることができる。但し移流により流入する汚染質を発生量と考える場合、対象領域で一度流入して排出された後、再び流入する汚染質は滞在時間の延長に寄与するもので発生に寄与するものではないので除外することになる。汚染質の滞在時間や運流確率を通常の実験やRANSモデルによるCFDで解析することは困難である。精密な模型実験との比較により信頼性を確保されたLESによる解析が有効になる。注2:模型内表面温度は各通水パネル上の代表点1点をT型熱電対により測定。また、パネル④については供給水温度25.6℃、雰囲気温度46.2℃の条件で表面温度を測定した結果、最大温度差は1℃以内となった。測定には赤外線放射温度計を使用。注3:LDV「ローフ」は「トラ」装置で測定点を確保(0.1mmの精度)注4:DOPミストの発生には「プロ」発生装置を用いた。注5:Y=350mmはワーキングキャビティ中央断面で、50mm「づつ」キャビティ側にシフトして測定。また、Z=0は床面、Z=1000が天井。注6:何れのケースも吹出風速:3.15m/s注7:値は換気量(吹出風速)で基準化

[参考文献] 1)村上周三,加藤信介:新たな換気効率指標と三次元乱流数値シミュレーションによる算出法 換気効率の評価モデルに関する研究、空気調和・衛生工学会論文集, No. 32, 1986. 10 2)小林 光,村上周三,加藤信介:不完全混合室内における局所領域に換気効率の同定に関する研究(その1)、室内における空調吹出口と排気口の勢力範囲の同定、建築学会年次大会,1992. 8 3)Standard Method of Measuring Air Change Efficiency: ASHRAE SPC129P Second Public Review, 1995. 2 4)Sandberg and Sjoberg: The use of moments for assessing air quality in ventilated rooms, Building and Environment, 18, pp. 181-197, 1983 5)M.Sandberg "Ventilation Effectiveness and Purging Flow Rate ISRAECVE ASHRAE pp-17, 1992. 7

[謝辞] 本研究は Sandberg 氏との共同研究の一環として行われている。同氏のご助言に対して記して謝意を表する。

Taisei Corporation, Dr.Eng.
Prof., Institute of Industrial Science, University of Tokyo, Dr.Eng.
Assoc., Prof., Institute of Industrial Science, University of Tokyo, Dr.Eng.
Graduate School, University of Tokyo