

パーティション有無の違いによる置換換気されるオフィスの居住域平均濃度と VF の解析

学生会員 ○伊藤一秀 (東京大学 大学院)  
 正会員 加藤信介 (東京大学生産技術研究所)  
 正会員 村上周三 (東京大学生産技術研究所)

1. 序

空気調和・衛生工学会で今回提案されたHASS102換気基準<sup>1)</sup>は室内の換気効率(=平均排気濃度で無次元化された居住域平均濃度)を加味した換気設計を行うことを推奨している。本報を含む一連の研究は、この室内の換気効率、即ち居住域濃度分布形成の構造を Visitation Frequency (VF: 訪問回数)、Local Purging Flow Rate (L-PFR: 局所排出換気量)の指標<sup>2)</sup>により詳細に解析することを目的としている<sup>2,3)</sup>。本報では置換換気吹出方式空調されるオフィス空間を対象とし、居住域パーティションの有無、及び空調吹出空気に含まれる再循環空気(Return Air)の割合を変化させた場合の居住域平均濃度の構造を系統的に解析する。

2. 解析オフィス空間の概要

2-1. 解析対象オフィス(図1)<sup>2)</sup> 奥行き(X方向)10.0m、幅(Y方向)3.0mのオフィス空間を想定する。片側壁面(図1左壁面)には窓面を設置し、日射負荷及び熱貫流を考慮する。

2-2. 解析ケース及び熱負荷設定(表1) ①夏期冷房負荷(パーティション無しの場合 case1-1、有りの場合 case1-2)、②冬期冷房負荷(同 case2-1、case2-2)、③暖房負荷(同 case3-1、case3-2)の3種の熱負荷条件(解析ケース)を設定。人体は人員密度 0.2 人/m<sup>2</sup>、及び 1 人当たり 1 台の OA(PC)を仮定し、床面一様に発熱量を与える。照明負荷(20W/m<sup>2</sup>)は天井面一様に与える。窓面への日射熱量は、夏期冷房時には367W/m<sup>2</sup>(東京 8 月南面全天日射)、冬期冷房時及び暖房時には757W/m<sup>2</sup>(東京 2 月南面全天日射)と仮定し、その 1/2 を室内発熱量とする。窓ガラスは1枚ガラスとし、熱貫流率 6.17W/m<sup>2</sup>・°Cと仮定する。外気温は夏期冷房時 29.8°C、冬期冷房時及び暖房時 1.3°Cと仮定する。また暖房時はインテリア負荷を無視し、内壁面に夜間冷却による蓄冷を想定した暖房負荷(40W/m<sup>2</sup>)を与える。全てのケースにおいてパーティションなしと居住域にパーティションを設置したケースの検討を行う(図1)。

3. 放射・対流連成解析

3-1. 室内流れ場の解析 標準 k-ε model に基づく 3 次元解析を行う。放射解析と連成して行う。境界条件及

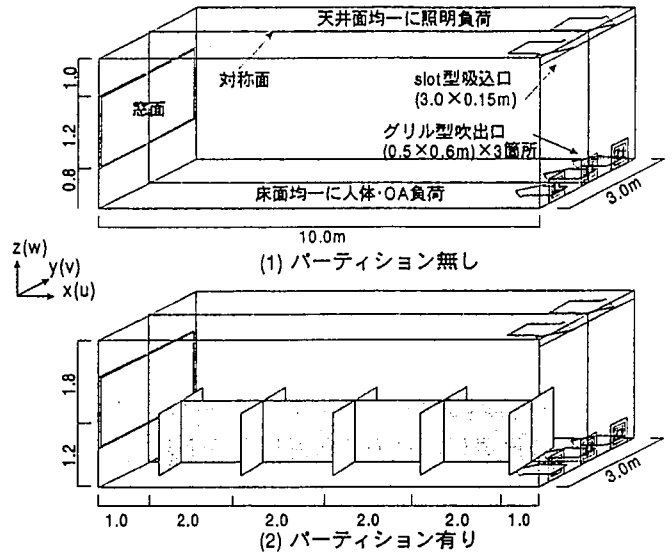


図1 解析対象オフィス

表1 解析ケース及び熱負荷条件

	照明	人体	OA	日射	熱貫流 (窓)	壁面冷熱負荷	合計
Case1 夏期冷房	600 (20)	330 (11)	1200 (40)	660 (22)	84 (2.8)	-	2880 (96)
Case2 冬期冷房	600 (20)	330 (11)	1200 (40)	1360 (45)	-500 (-17)	-	2990 (100)
Case3 暖房	-	-	-	1360 (45)	-500 (-17)	-2980 (-99)	-2120 (-71)

単位は W, ( )内の値は床面積当たりの発熱量 W/m<sup>2</sup>

表2 境界条件及び計算条件

解析メッシュ	73(x)×21(y)×23(z)
差分スキーム	移流・拡散項共に Hybrid
流入境界	$U_{in}=0.56\text{m/s}$ , $k_{in}=3/2 \cdot (U_{in} \times 0.05)^2$ , $\epsilon_{in}=C_{\mu} \cdot k_{in}^{3/2} / l_{in}$ , $l_{in}$ =吹出幅の 1/7, $C_{\mu}=0.09$
流出境界	$U_{out}$ (質量保存による), $k_{out}$ , $\epsilon_{out}$ =free slip
壁面境界	速度: 一般化対数則、 温度: 対流熱伝達量は $\alpha_c$ 型壁関数を用いて算出 case1,2 では断熱、全ての面で $\alpha_c=4.0$ と仮定 放射: 放射率は対称面を 0.0, その他壁面は 0.9
その他	吹出風速、即ち吹出風量は $\text{min.O.A.}=30\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{人}$ を仮定し、O.A.導入量を空調風量の 10%とした場合の換気回数 20 回/h に基づいて定めた。 流れ場を解析した後、居住域・呼吸域内で passive contaminant を一様発生させ拡散場解析を行う。

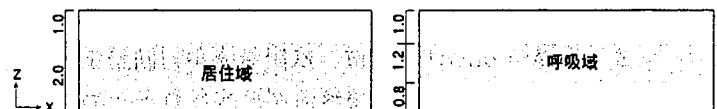


図2 居住域・呼吸域の設定

び計算条件は表 2 に示す<sup>注3)</sup>。

3-2. 壁間相互放射熱伝達 discrete beam 法により形態係数を算出し、radiosity 法による緩和計算により室内の相互放射性状を解析。

#### 4. Visitation Frequency の解析

流れ場の解析を行った後、図 2 に示す居住域及び呼吸域内で汚染質(Passive Contaminant)を一様発生させ、平均排気濃度により無次元化した領域内の平均濃度(HASSで定義する換気効率)及びVF、L-PFRを解析する。なお、空調吹出空気に含まれる再循環空気の割合を0~90%まで変化させた場合のVF等の変化を併せて解析する。注 1 にVF、L-PFRの定義を示す。

#### 5. 解析結果

5-1. 気流分布(図 4) 空調空気を室温より相対的に低温で供給する case1-1 及び case2-1 では、吹出気流が対向壁まで到達し、右回りの室内大循環流を形成している(図 4(1))。床面近傍に低速で導入された吹出気流が室内低部に停滞し、室内熱負荷による全般的な上昇流により上部に輸送されて排気されることを想定するいわゆる置換換気システムは充分には成立していない。空調空気を室温より相対的に高温で供給する case3-1 では、吹出空気が吹出直後に浮力の効果で上昇し、吹出口側壁面付近でショートサーキットが生じている(図 4(2))。また居住域にパーティションを設置した case1-2 及び case2-2 では、床面に沿って吹き出した空調空気が各パーティションに衝突し、パーティションで囲まれた空間内には上向きの流れが生じている(図 4(3))。case3-2 では吹出直後のパーティションへの衝突、及び浮力の効果により、空調吹出空気は吹出直後に上昇し、case3-1 と比較し、更に小さなショートサーキットを形成している(図 4(4))。

5-2. 温度分布(図 5) 空調空気を室温より相対的に低温で供給する case1-1 及び case2-1 では、室内に温度成層が観察される(図 5(1))。空調空気を室温より相対的に高温で供給する case3-1 では、ショートサーキットが生じているために、高温で供給された空調空気は室内に拡散する前に吸込口より排出される。パーティションを設置することで温度分布はより複雑に分布するが、全般的な傾向は同様である。

5-3. 濃度分布(図 6) 居住域で汚染質を一様発生させた場合の平均濃度分布(再循環空気 0%の場合。濃度は平均排気濃度で無次元化)を示す。夏期冷房時でパーティションの無い case1-1 では、吹出気流が対向壁まで到達し、時計回りの室内大循環流が形成されるために、吹出口上部に低風速域(滞流域)が生じ、無次元濃度が 1.0 以上の高濃度域が生じている。この高濃度域の影響で、居住域平均濃度は高くなる(図 6(1))。今回検討した

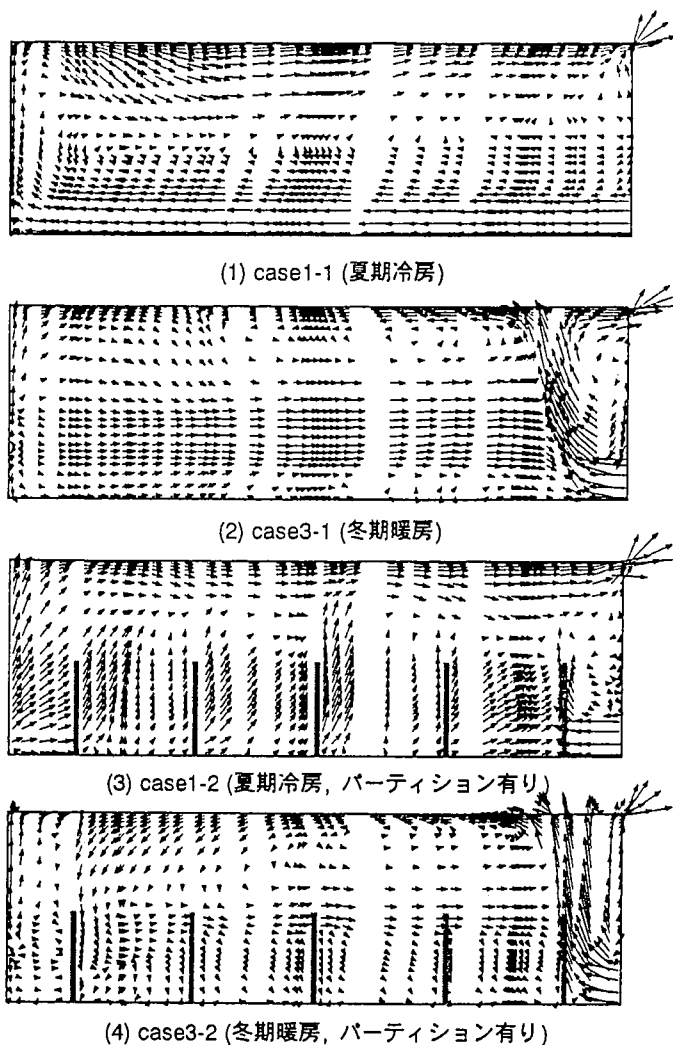


図 4 平均風速分布 (図 1 対称面より Y 方向に 0.05m 位置)

条件では本来の置換換気空調方式の特徴が発揮されず、室内滞流域での換気効率が顕著に悪くなっている。パーティションを設置した case1-2 では、各パーティションに衝突した吹出気流が居住域で上昇流を形成するため、発生汚染質を効率的に居住域外に排出する。そのため case1-1 と比較し、相対的に平均濃度が低くなる(図 6(2))。冬期暖房 case3-1、case3-2 では吹出口側壁面付近でショートサーキットが生じているために、居住域に十分な空調空気が供給されず、高濃度域が生じる。

5-4. Visitation Frequency(図 7) 吹出空気に含まれる再循環空気の割合を 0%~90%まで順次変化させた場合の居住域・呼吸域に対する VF を示す<sup>注 4,5)</sup>。全てのケースにおいて、再循環空気の割合が 50%を越えると VF の増加率が大きくなる。居住域を対象とした場合、夏期冷房 case1-1 及び冬期冷房 case2-1 では、再循環空気の増加に対する VF の増加の程度は比較的小さいが、新鮮空気のみを供給した場合の VF の値(VF=2)に対し、再循環 50%の場合には VF が約 1.7 倍、再循環 90%の場合には約 7 倍(VF=13.5)に増加する(図 7(1))。居住域にパーティションを設置した場合も VF が再循環の増

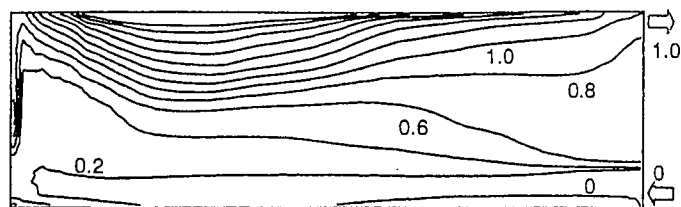
加に伴い増加する傾向は同様である(図7(2))。呼吸域の場合、冬期暖房 case3-1 において新鮮空気のみを供給した場合のVFの値(VF=11)に対し、再循環50%の場合にはVFが約2倍(VF=20)、再循環90%の場合には約10倍(VF=90)に増加する(図7(3))。パーティションを設置したケースでは、設置しないケースと比較し、夏期冷房 case1-2 及び冬期冷房 case2-2 においてはVFが増加し、冬期暖房 case3-2 においてはVFが若干減少する傾向を示す(図7(4))。

5-5. 居住域・呼吸域平均濃度(図8) 吹出空気に含まれる再循環空気の割合を0%~90%まで順次変化させた場合の居住域・呼吸域平均濃度を示す。図8(1)~(4)は排気口での平均濃度で基準化している。case1-1、case2-1では居住域・呼吸域平均濃度の両者とも再循環空気の割合が増加すると室内完全混合仮定濃度に近づき、HASSで定義する換気効率に1に近づく。case3-1ではショートカットが生じているため、平均濃度は高くなる。再循環空気を増加させた場合のこれら平均濃度の変化の傾向は、居住域にパーティションを設置したケースでも同様であるが、平均濃度の絶対値はパーティションを設置しないケースに比べ、相対的に小さくなっている。これは、床面に沿って吹き出した空調空気がパーティションで囲まれた空間内に回り込んで上昇流を形成しているために、汚染質が居住域から効果的に排出されているためである。

5-5. L-PFR(図9) 汚染質発生率を1としているため、平均濃度とL-PFRは逆数の関係となる<sup>注1)</sup>。居住域・呼吸域平均濃度の両者とも再循環空気の割合が増加すると室内完全混合仮定濃度即ち排気濃度で無次元化した平均濃度は1に近づくため、L-PFRの値も1に近づく。

## 6. 結論

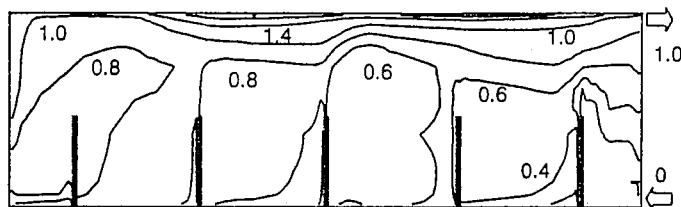
(1) 置換換気を意図した吹出方式の空調は、換気回数(吹出風量)が多く、室内に大きな循環流が形成される場合には、循環流に取り残された滞流域で換気効率が悪化し、総合的な居住域換気効率は低下する。(2) 本解析では夏期・冬期冷房条件下でパーティションを設置した場合、吹出空気が各パーティションに衝突して回り込み、その中で上昇流を形成するために、発生汚染質が効率的に居住域外に排出され、相対的に居住域平均濃度は低くなる。再循環を許さない場合、完全混合仮定濃度に比べ、居住域平均濃度が2割程度低下する良好な換気効率を示す。(3) 吹出空気に含まれる再循環空気の割合が50%を越えると急激にVFの値が増加し、特に呼吸域では、新鮮空気のみを供給した場合のVFの値に対し、50%再循環の場合にはVFが約2倍、90%再循環の場合には約10倍に増加する。



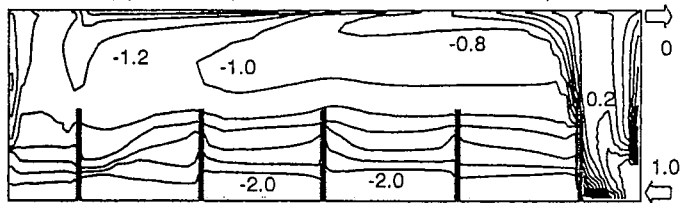
(1) case1-1 (夏期冷房)



(2) case3-1 (冬期暖房)



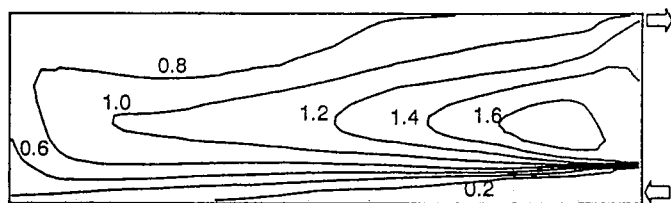
(3) case1-2 (夏期冷房, パーティション有り)



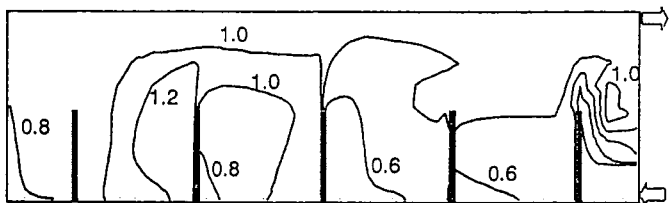
(4) case3-2 (冬期暖房, パーティション有り)

(図1対称面よりY方向に0.05m位置、吹出・吸込温度差で無次元化)

図5 平均温度分布



(1) case1-1 (夏期冷房)



(2) case1-2 (夏期冷房, パーティション有り)

(図1対称面よりY方向に0.05m位置、吸込口濃度で無次元化)

図6 平均濃度分布

[注] [1] VF及びL-PFRは次式で示される。VFは局所領域に対する汚染質の訪問回数を、L-PFRは局所領域の汚染質排出効率を示す。詳細は既報<sup>\*)</sup>参照。

$$VF = 1 + (\Delta q_p / q_p) \quad (1)$$

$$L-PFR = V_p / (VF \times T_p) = q_p / C_p \quad (2)$$

$\Delta q_p$ : 単位時間当たり対象領域Pに流入(再帰)する汚染質量 [流入 flux,  $m^3/s$ ] 但し汚染質はP内で発生

$q_p$ : 単位時間当たり対象領域P内で発生する汚染質量 [ $m^3/s$ ]

$V_p$ : 対象領域Pの体積 [ $m^3$ ]

$T_p$ : 対象領域Pの平均滞在時間 [sec/1回の滞在]

$C_p$ : 単位時間当たり対象領域P内で発生する汚染質量 [ $m^3/s$ ]

$C_p$ : 対象領域Pの平均濃度 [-]

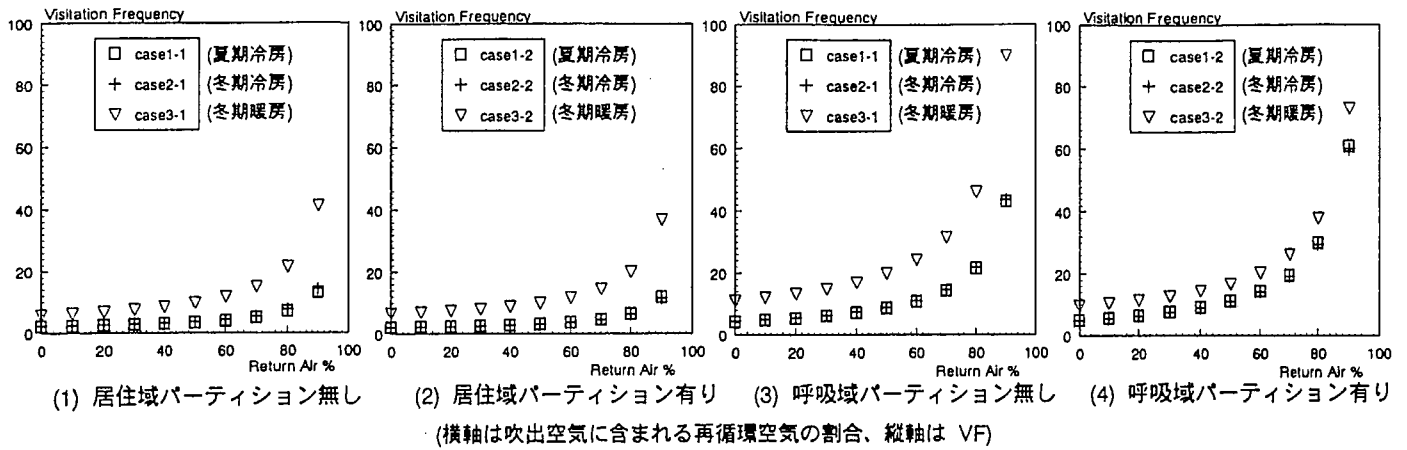


図7 Visitation Frequency 分布

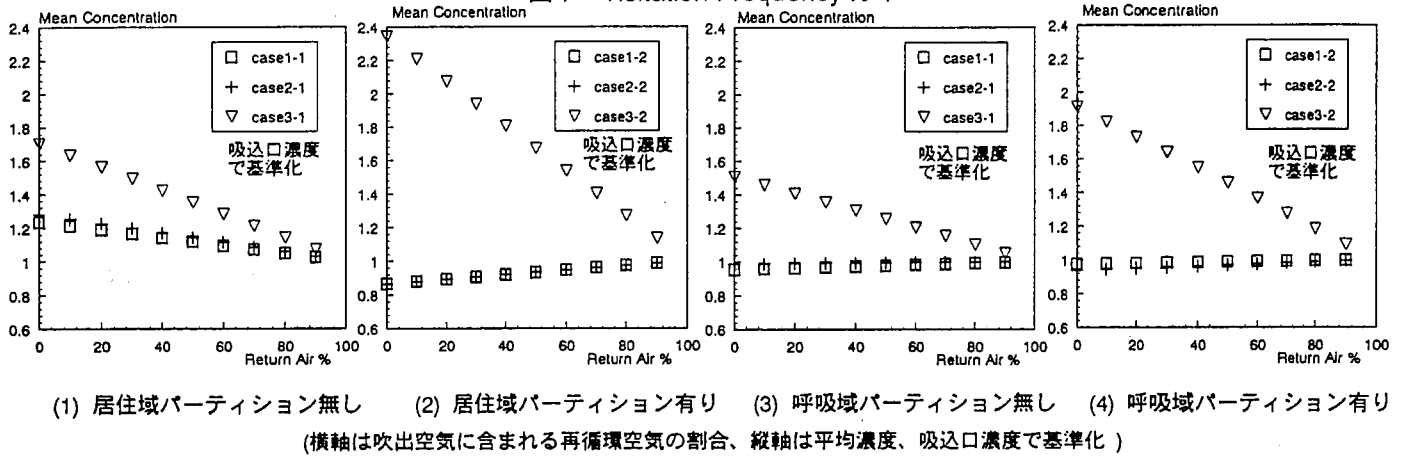


図8 平均濃度分布

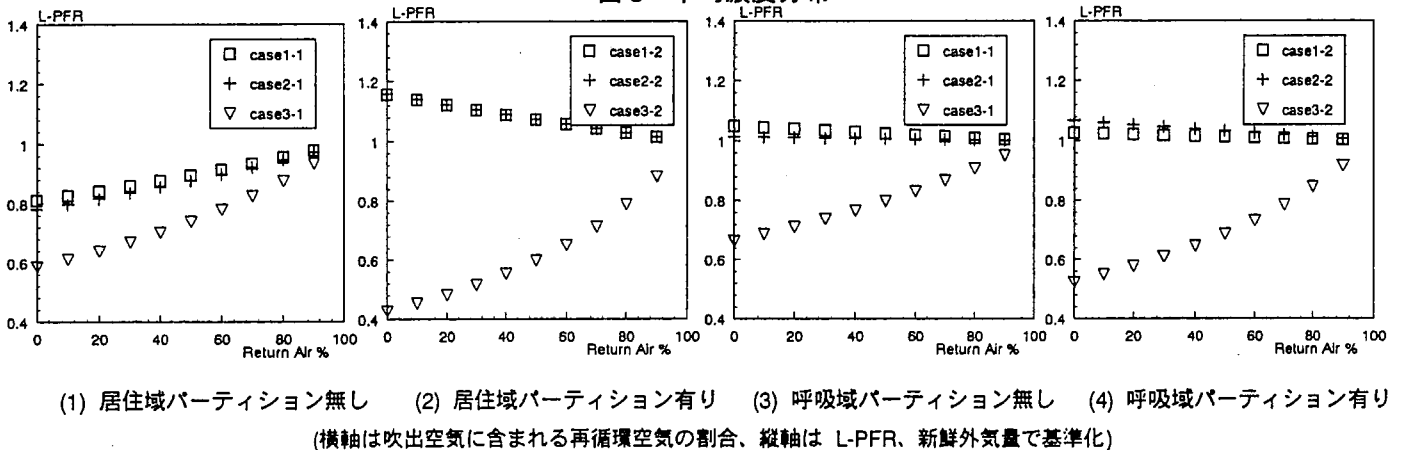


図9 L-PFR 分布

[2] 冷・暖房それぞれ床面積当たり約 70~100W/m<sup>2</sup>の空調熱負荷を与える。なお、置換換気方式は比較的室内の空調熱負荷の小さい場合、一般には 80W/m<sup>2</sup> 以下の場合に有効な方法と考えられており、今回の条件では必ずしも置換換気方式が有効に働くというものではない。

[3] 空調吹出温度 T<sub>in</sub> は以下の熱バランス式より算出。  
 $Q_{total} = C_p \times \gamma \times V \times (t_{ave} - t_{in})$ , C<sub>p</sub>: 0.24kcal/kgf・°C, γ: 1.25kgf/m<sup>3</sup>, V: 換気量 m<sup>3</sup>/h, t<sub>ave</sub>: °C, 1kcal/h = 1.16W, t<sub>ave</sub>: 夏期 26°C, 冬期 24°C (空調目標温度)

夏期冷房時 t<sub>in</sub>=21.4°C、冬期冷房時 t<sub>in</sub>=19.2°C、暖房時 t<sub>in</sub>=27.4°C、本解析は流体解析ソフト Star-CD を用いている。

[4] 再循環空気を考慮した場合、空調吹出空気に含まれる汚染質は新たな汚染質発生ではなく、室内に再帰(return)して汚染質である。汚染質を含まない新鮮空気のみを供給する場合の VF は(1)式で示される。再循環空気を考慮した場合、(1)式中、q<sub>p</sub> は変化せず、流入 flux Δq<sub>p</sub> のみ変化する。汚染質の return を考慮した場合の流入 flux を Δq<sub>p</sub>' とすると、再循環空気を考慮した場合の VF は次式で示される。

$$VF_{(return)} = (q_p + \Delta q_p') / q_p \quad (3)$$

従って、再循環空気を考慮した場合 VF の増分 VF' は次式となる。

$$VF' = (VF_{(return)} - VF) = (\Delta q_p' - \Delta q_p) / q_p \quad (4)$$

[5] 空間内で定常的に発生する汚染質量を q<sub>p</sub>、再循環空気の割合を x とすると吹出空気に含まれる汚染質量は x(1-x)・q<sub>p</sub> となる。

【参考文献】

- [1] 空調調和衛生工学 vol.71 no.5, pp418-433, 1997
- [2] 伊藤, 加藤, 村上, 大川: 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 11): 平均拡散場解析による VF, PFR の系統的解析, 日本建築学会関東支部, 1998
- [3] 伊藤, 加藤, 村上, 大川: 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 12): Particle Tracing による VF, PFR の基礎的解析, 日本建築学会関東支部, 1998
- [4] 伊藤, 加藤, 村上, 大川: 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 15): 置換換気システムを用いたオフィス空間を対象とした VF, 居住域平均濃度の系統的解析, 日本建築学会梗概集, 1998, 投稿中