

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

正会員 ○伊藤一秀*¹ 同 加藤信介*²
同 村上周三*³ 同 大川 泉*⁴

Visitation Frequency Local Purging Flow Rate Return Air

1. 序 空気調和・衛生工学会で今回提案された HASS102 換気基準²⁾は室内の換気効率(=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。本報では置換換気システムを採用したオフィス空間を対象とし、空調吹出空気に含まれる Return Air の割合を変化させた場合のこの室内の換気効率、すなわち居住域平均濃度の構造を VF(Visitation Frequency: 訪問回数)、L-PFR(Local Purging Flow Rate: 局所排出換気量)の指標^{1), 2)}により詳細に解析する。

2. 解析オフィス空間の概要 2-1. 解析対象オフィス(図 1) 奥行き(X方向)10.0m、幅(Y方向)3.0m のオフィス空間を想定。片側壁面(図 1 左壁面)には窓面(日射負荷及び熱貫流を考慮)を設定。2-2. 解析ケース及び熱負荷設定(表 1) ①夏期冷房負荷、②冬期冷房負荷、③暖房負荷の 3 種の熱負荷条件(解析ケース)を設定。人体負荷(0.2 人/m²)、OA 負荷は床面一様に発熱量を与える。照明負荷(20W/m²)は天井面一様に与える。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/m²)を与える。

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。放射と連成。境界条件及び計算条件は表 2 に示す³⁾。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、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 Return Air の割合は 0~90%まで系統的に変化させて VF 等の変化を解析³⁾。

5. 解析結果 5-1. 気流・温度分布(図 3, 4) 紙面の都合で case1 のみ示す。空調空気を室温より相対的に低温で供給する case1 及び case2 では、吹出気流が対向壁まで到達し室内大循環流を形成する。空調空気を室温より相対的に高温で供給する case3(図省略)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る。また、空調空気を室温より相対的に低温で供給する case1 及び case2 では、室内に温度成層が観察される(図 4)。空調空気を室温より相対的に高温で供給する case3(図省略)では、ショートサーキット流れ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。

5-2. Visitation Frequency(図 5) 吹出空気に含まれる Return Air 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。全てのケースにおいて、Return Air 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

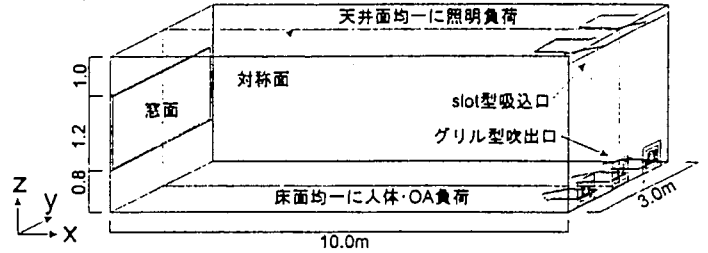


図 1 解析対象オフィス

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) | 660.6 (22.0) | 84.4 (2.8) | - | 2875.0 (95.8) |
| Case2 冬期冷房 | 600 (20) | 330 (11) | 1200 (40) | 1362.6 (45.4) | -504.2 (-16.8) | - | 2988.4 (99.6) |
| Case3 暖房 | - | - | - | 1362.6 (45.4) | -504.2 (-16.8) | -2976 (99.2) | -2117.6 (-70.6) |

(単位は W, ()内の値は床面積当たりの発熱量 W/m²)

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} , ϵ_{out} =free slip |
| 壁面境界 | 速度: 一般化対数則、 温度: 対流熱伝達量は α_c 型壁関数を用いて算出 case1,2 では断熱 放射: 放射率是对称面を 0.0, その他壁面は 0.9 |
| その他 | 吹出風速、即ち吹出風量は $\text{min.O.A.}=30\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{人}$ と仮定し、O.A.導入量を空調風量の 10%として算出。換気回数は 20 回/h 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。 |

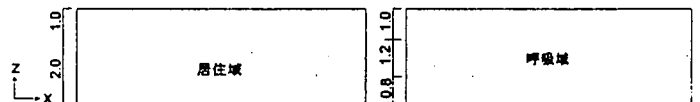


図 2 居住域・呼吸域の設定

象とした場合、夏期冷房 case1 及び冬期冷房 case2 では、Return Air の増加に対する VF の増加が比較的小さいが、新鮮空気のみを供給した場合の VF の値(VF=2)に対し、50% return の場合には VF が約 1.7 倍、90% return の場合には約 7 倍(VF=13.5)に増加する(図 5(1))。呼吸域を対象とした場合、冬期暖房 case3 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、50% return の場合には VF が約 2 倍(VF=20)、90% return の場合には約 10 倍(VF=90)に増加する。(図 5(2))。5-3. 居住域・呼吸域平均濃度(図 6) 吹出空気に含まれる Return Air 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(排気口での平均濃度で基準化)を示す。case1,2 では居住域・呼吸域平均濃度の両者とも Return Air 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 η は1に近づく。case3ではショートカット流れが生じているため、新鮮外気は即座に排出され平均濃度は高くなる。図は割愛するがReturn Air 0%の場合の瞬時一様拡散濃度で基準化した場合、全てのケースで平均濃度は指数関数的に増加しReturn Air 0%の場合の平均濃度の値に対し、90% returnの場合には約10倍の濃度となる。今回の室内平均濃度の算出は汚染質発生源を居住域内で一様としているため居住域の平均濃度は排気濃度より高くなる。汚染質発生が異なれば居住域・呼吸域の平均濃度はこれと異なるものとなる。汚染源位置の想定は居住域平均濃度を評価する上で極めて重要となる。今後、その合理的設定法の検討が望まれる。5-4. L-PFR(図7) 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^{注1)}。居住域・呼吸域平均濃度の両者ともReturn Airの割合が増加すると室内完全混合仮定濃度、即ち排気濃度で基準化した平均濃度は1に近づくため、L-PFRの値も1に近づく。

6. 終わりに (1) Return Airの割合と局所領域に対するVFの関係性を明らかにした。(2) 吹出空気に含まれるReturn Air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% returnの場合にはVFが約2倍、90% returnの場合には約10倍に増加する。(3) 排気濃度で基準化した居住域・呼吸域平均濃度はReturn Airの割合を増加すると1に近づくが、Return Air 0%の場合の瞬時一様拡散濃度で基準化した場合、平均濃度は指数関数的に増加し、Return Air 0%の場合の平均濃度の値に対し、90% returnの場合には約10倍の濃度となる。(4) 居住域平均濃度は汚染質発生源位置に大きく左右される。今後実現象を良くモデル化した汚染質発生源位置の合理的設定法の検討が必要となる。

[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^{*)}参照。

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

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

Δq_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 [-]

[2] 空調吹出温度は以下の熱バランス式より算出。
 $q_{total} = Cp \times \rho \times V \times (t_{out} - t_{in})$, $Cp: 0.24kcal/kgf \cdot ^\circ C$, $\rho: 1.25kg/m^3$, V : 換気量 m^3/h , $t_{out}: ^\circ C$, $1kcal/h = 1.16W$, t_{in} : 夏季 $26^\circ C$, 冬季 $24^\circ C$
 夏季冷房時 $t_{in} = 21.4^\circ C$, 冬季冷房時 $t_{in} = 19.2^\circ C$, 暖房時 $t_{in} = 27.4^\circ C$
 日射負荷: 夏季冷房時 $367 W/m^2$ (東京8月南面全日射), 冬季冷房・暖房時 $757 W/m^2$ (東京2月南面全日射), 6mm厚1枚ガラス(透過率+反射率=0.5, 熱貫流率を $6.17 W/m^2 \cdot ^\circ C$), 外気温は夏季冷房時 $29.8^\circ C$, 冬季冷房・暖房時 $1.3^\circ C$ 。本解析は流体解析ソフト Star-CDを用いている。

[3] Return Air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)してくる汚染質である。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。Return Airを考慮した場合、(1)式中、 q_p は変化せず、流入flux Δq_p のみ変化する。汚染質のreturnを考慮した場合の流入fluxを $\Delta q_p'$ とすると、Return Air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、Return Airを考慮した場合VFの増分 ΔVF は次式となる。
 $\Delta VF = (VF_{(return)} - VF) = (\Delta q_p' - \Delta q_p) / q_p \quad (4)$

[4] 空間内で定常的に発生する汚染質量を q_p 、Return Airの割合を x とすると吹出空気に含まれる汚染質量は $\{x/(1-x)\} \cdot q_p$ となる。
 [参考文献] [1] 空気調和衛生工学 vol.71 no.5, pp418-433, 1997 [2] 伊藤, 村上, 加藤, 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): 日本建築学会関東支部, 1998 [3] 伊藤, 村上, 加藤, 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): 日本建築学会関東支部, 1998

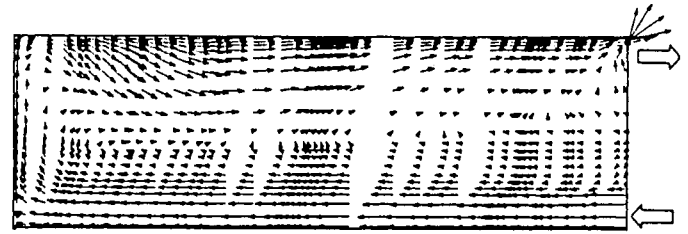


図3 case1 夏期冷房 風速分布 (対称面)

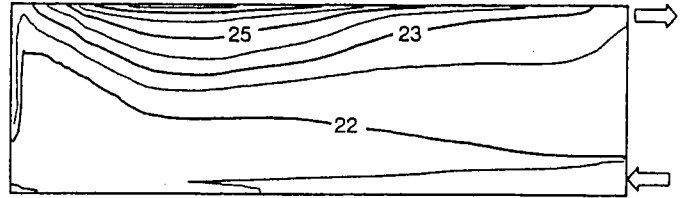
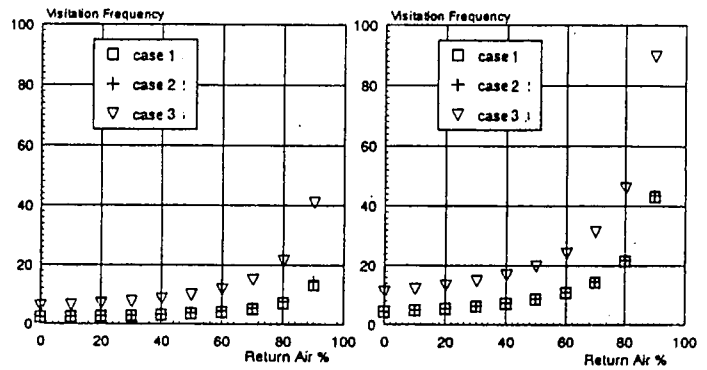
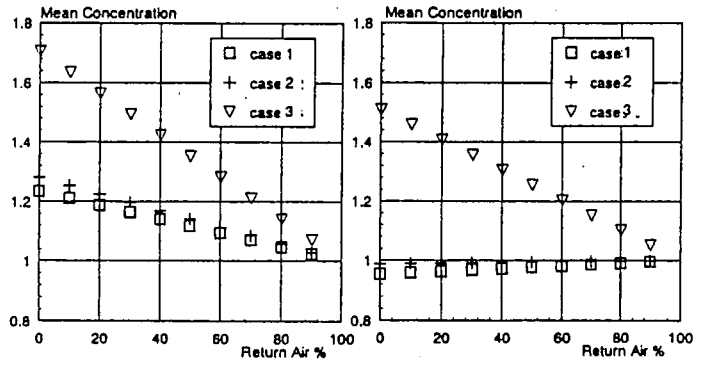


図4 case1 夏期冷房 温度分布 (対称面)



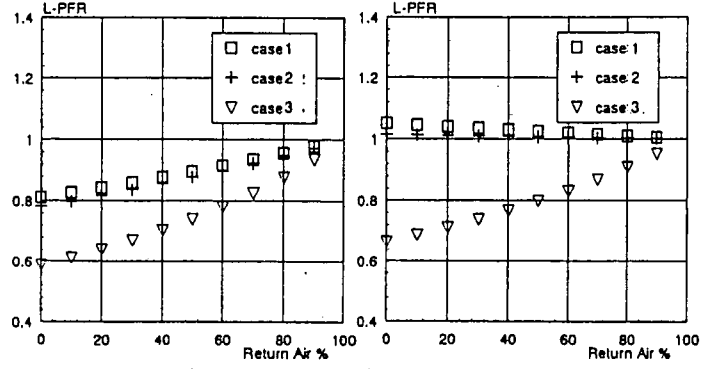
(1) 居住域 (2) 呼吸域
 (横軸は吹出空気に含まれるReturn Airの割合、縦軸はVF)

図5 Visitation Frequency 分布



(1) 居住域 (2) 呼吸域
 (横軸は吹出空気に含まれるReturn Airの割合、縦軸は平均濃度)

図6 平均濃度分布 (排気濃度で基準化)



(1) 居住域 (2) 呼吸域
 (横軸は吹出空気に含まれるReturn Airの割合、縦軸はL-PFR)

図7 L-PFR 分布 (新鮮外気量で基準化)