

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8)

Particle Tracing による Visitation Frequency, PFR の解析

正会員 ○伊藤一秀<sup>1</sup>  
同 村上周三<sup>2</sup>  
同 加藤信介<sup>3</sup>  
同 小林 光<sup>4</sup>  
同 富永禎秀<sup>5</sup>

Particle Tracing Visitation Frequency Purging Flow Rate

1. 序 前報<sup>1,2)</sup>までに局所領域換気性状を評価するための指標として Purging Flow Rate(以降 PFR)の概念を導入し、その構造を精密模型実験及び k-ε モデルを用いた数値解析により検討した結果を示した。本報では局所領域の流れ・濃度分布の構造を評価するためのパラメータとして新たに Visitation Frequency(以降 V.F.)を導入し、V.F.を用いた PFR の定義を示すと共に、LES による詳細な解析結果を報告する。

2. Visitation Frequency

2-1. 局所領域 V.F.の定義 V.F.(訪問回数)とは、解析対象として局所的に設定された領域内(以降、局所領域)で発生した汚染質が、一度領域から排出された後、再び領域内に移流されてくる回数で定義される。V.F.=1とは1回だけその領域に滞在し、そのまま排出され、再び帰還する事が無いことを意味する。V.F.=2とは一度滞在し、領域外に出た後、再び帰還した後排出される。本稿では単に V.F.と記述する場合、個々の Particle の挙動を意味し、平均 V.F.と区別する。

2-2. 平均 V.F. 局所領域の平均 V.F.は室内の換気設計上、重要なパラメータとなる。平均 V.F.が高い場合、局所領域から排出された汚染質が室内から円滑に排出されず、再度還流することを示し、局所領域の下流側の換気設計に問題があることを意味する。逆に平均 V.F.が低い場合、汚染質の再循環の少ない好ましい設計であることを示す。

2-3. 局所領域 平均滞在時間 局所領域の平均滞在時間は局所領域に流入した汚染質が局所領域から流出するまでの平均的時間を示す。局所領域に対する Particle の挙動は、局所領域内での平均滞在時間と局所領域と室全体との関係を示す平均 V.F.により記述される。平均滞在時間(Tp)に平均 V.F.を乗じたものが対象領域での1個の Particle の合計平均滞在時間即ち平均寿命(Tp(total))となる。室全体では一度室外に排出された汚染質の漏入が無いと仮定すると V.F.=1の為、室内の汚染質平均滞在時間は即ち汚染質平均寿命となる。

3. Purging Flow Rate V.F.は局所領域の濃度分布、汚染質の排出特性(即ち PFR)と密接に結びついている。PFR は、局所領域に対する実質的な換気空気の入流量(又は排出量)を示すもので、局所領域に対する Particle の平均 V.F.と平均滞在時間により次のように定義される<sup>3)</sup>。

$$PFR = \frac{V}{(\text{平均V.F.}) \times T_p} \quad (1)$$

PFR : 局所領域の Purging Flow Rate[m<sup>3</sup>/s]  
V : 局所領域の容積[m<sup>3</sup>]  
平均 V.F. : Particle の平均 Visitation Frequency [-]  
T<sub>p</sub> : 局所領域内での Particle の1回の訪問当りの平均滞在時間 [s]

また(1)式は、局所領域内での汚染質発生率と平均濃度により次式のようにも定義できる。

$$PFR = q/C \quad (2)$$

q : 局所領域内の汚染質発生率[m<sup>3</sup>/s]  
C : 局所領域内の汚染質の平均濃度[-]

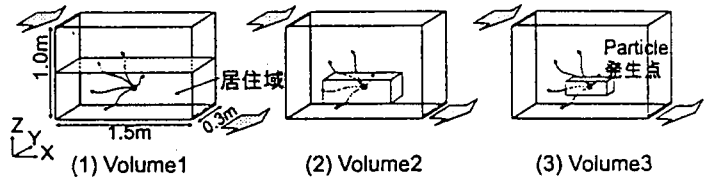
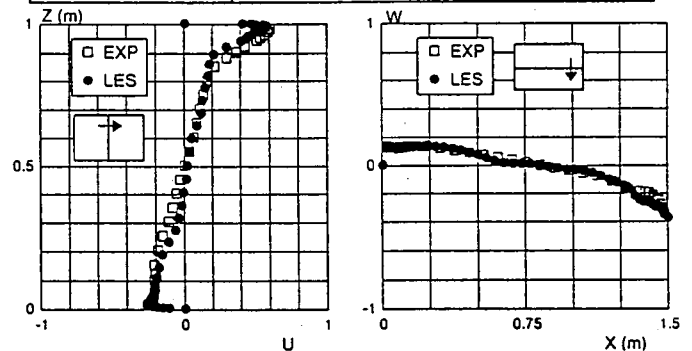


図1 解析対象領域 (等温実験, 吹出風速 3m/s, 換気回数 144 回/h)<sup>1)</sup>

表1 LES 計算及び解析条件

SGS model	Dynamic Smagorinsky Model <sup>2)</sup>
メッシュ分割	48(X)×23(Y)×46(Z)
差分スキーム	空間: 2次精度中心差分 時間: 3次精度 Runge-Kutta 法
流入境界	吹出口速度分布は実験に対応する平均速度分布を与えた。流入の乱れ強さは無視。
壁面境界	Linear - Power Law <sup>3)</sup>



(1) U成分のZ方向分布 (X=750, Z=0~1500mm)  
(2) W成分のX方向分布 (X=0~1500, Z=500mm)  
図2 室内中央(X-Z)断面風速分布 (吹出風速で基準化)

4. LES による Particle Tracing

4-1. LES 計算概要 計算対象は図1に示すような室内気流場。模型実験の working cavity<sup>1)</sup>。吹出スロット幅を L<sub>0</sub>=0.02m とすると 75L<sub>0</sub>(X)×15L<sub>0</sub>(Y)×50L<sub>0</sub>(Z)。等温吹出、周壁は断熱。Subgrid Scale モデルには Dynamic Smagorinsky model<sup>2)</sup>を用いる。気流解析の後、居住域(室の下半分)中心 (X=0.75m, Y=0.15m, Z=0.25m)より、Particle を short burst<sup>3)</sup>により 59,319 個(1.17 個/1cell)発生させ Particle Tracing を行う。計算概要は表1及び図1。

4-2. Particle Tracing 本報では、Particle は Resolvable Scale の移流により輸送されると仮定し、Subgrid Scale の影響は無視して解析を行う<sup>2)</sup>。

4-3. 局所領域の設定 V.F.及び PFR の解析対象領域として図1に示す3種の局所領域を設定。Z<0.5m の居住域を Volume1 とした場合、各局所領域の体積は、(室内全体): Vol.1 : Vol.2 : Vol.3 = 1 : 1/2 : 1/16 : 1/54 である。

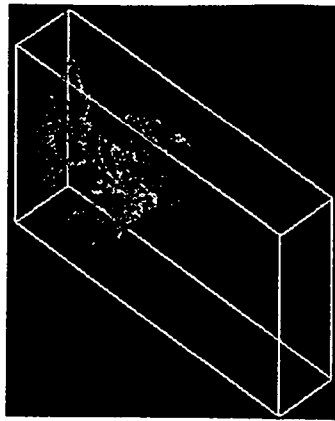
5. 結果及び考察

5-1. 平均風速分布 図2に室内中央断面における U, W の平均風速分布を示す。精密模型実験<sup>1)</sup>、LES の両者の結果

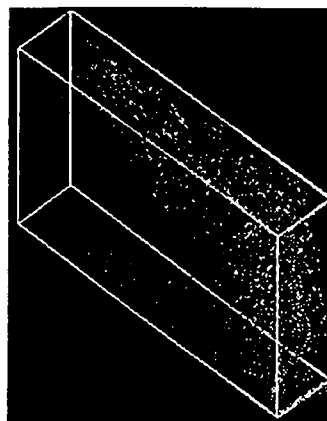
は良く一致するが、壁面近傍で若干の差異が見られる。特に天井・床面では LES の結果が非拡散的である<sup>注3)</sup>。

### 5-2. V.F.・PFR 解析

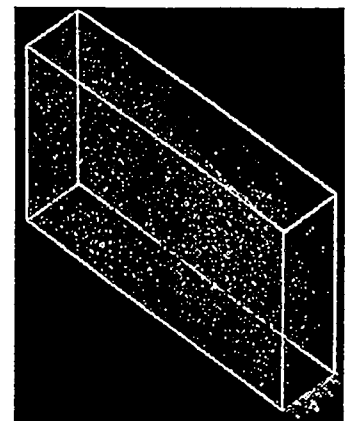
Particle Tracing は Particle 発生後、74.27 秒間(計算対象領域の名目換気時間  $\tau_n = 25 \text{ sec}$ ) 行い、59,319 個中 52505 個の Particle が排出(88.5%)された。図3に Particle 発生後の拡散状況を時系列に示す。



(1) T=3.3sec



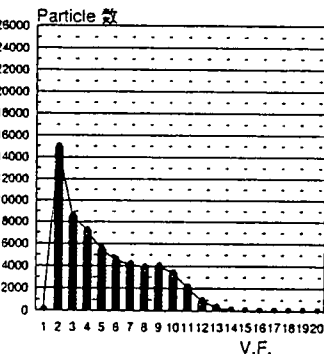
(2) T=6.7sec



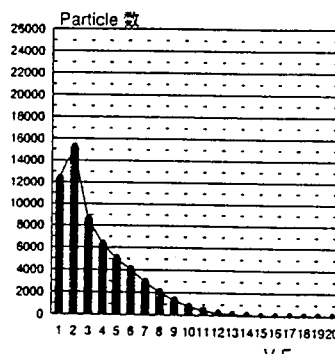
(3) T=10.0sec

図3 Particle 発生後の拡散状況

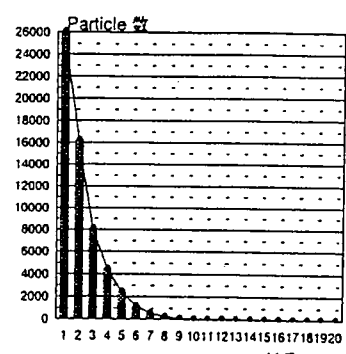
図4に Vol.1~3 における各 Volume の V.F. 分布を示す。Vol.1 では V.F.=2 にピークが存在し、一度 Vol.1 を出た後に更にもう一度流入してから排出される Particle が全体の 25.1% を占めている。また V.F.=9 に変曲点が見られ、V.F.=17 までに 88.5% の Particle が排出されている。Vol.2 も V.F.=2 にピークが存在



(1) Volume1



(2) Volume2



(3) Volume3

図4 Visitation Frequency 分布

し、V.F.が大きくなると Particle 数は指数関数的に減少する。Vol.3 では V.F.=1 にピークが存在し、Vol.3 を出た後、再帰還することなく排出される Particle が全体の 43.9% を占める。また V.F.の減衰が急で、全体の流れ場の中で Vol.3 が Particle の再帰の少ない場所であることを示している。

表2に PFR、平均 V.F.及び Tp の解析結果を示す。平均 V.F.の値より、Vol.1 では 5.17 回の Particle の再帰があるのに対し、Vol.3 では 2.13 回と小さい。また Tp の値より Vol.1 における Particle の滞在時間は 4.88sec であるが、Vol.3 では 10.51sec と 2 倍程度になっている。PFR の値より Vol.1 に流入する Particle の希釈に有効な換気流量は吹出口換気流量の 50% であることが解る。また対象領域が Vol.1 から Vol.3 と変化した場合、PFR が急激に小さくなり、Vol.3 では吹出口換気流量の 2% しか Particle の排出効率が無いことが解る<sup>注4)</sup>。

表2 平均 V.F.及び PFR 解析結果

	平均 V.F.	Tp [sec]	PFR	平均濃度
Volume1	5.17	4.88	0.50	2.02
Volume2	3.52	6.40	0.07	14.49
Volume3	2.13	10.51	0.02	47.62

・PFR 値は換気流量、平均濃度は完全拡散濃度で基準化  
 ・Vol1 より容積の小さい Vol3 の Tp が大きいことは極めて注目すべきことで Vol3 の領域がいかに停滞的を示す。

5-3. 考察 Vol.1 は、室内の大循環流を含むため、移流により Particle が輸送される傾向が強く、Particle の再帰(V.F.)が多く、平均滞在時間(Tp)が短くなる。また室内の大循環流から若干外れた位置に設定した Vol.2,3 では拡散により Particle が輸送される傾向が強く、平均滞在時間(Tp)が長くなる。また対象領域は Vol.1~3 と段階的に小さく設定したため、必然的に平均 V.F.は小さくなる。PFR の値より対象領域の平均濃度が直ちに計算される。ポイント発生した Particle はその周辺に滞在する時間が長い (Vol.3 の Tp が長い) ために Vol.3 の平均濃度が高く、Vol.1 では低くなる。対象領域の Particle の平均寿命(1 個の Particle の全ての訪問の合計滞在時間  $Tp_{total}$ )は(平均 V.F.×Tp)により計算され、Vol.1,2,3 ではそれぞれ 25.24sec、22.53sec、22.42sec となり、相対的に Vol.3 で particle が長い時間停滞していることが解る。

6. 結論 (1) Particle Tracing を用いた解析より、居住域中心に向かって対象領域を段階的に小さくした場合の V.F., PFR, Tp, 平均濃度の変化を調べ、拡散場の構造を明らかにした。(2)今後 Particle 発生位置を変化させて解析を行う予定である。

[注] 注1 Particle は一度だけ瞬時に発生させる。注2. 本解析では発生汚染質を慣性が無く空気と一緒に移動する Particle と仮定。なお、直径  $20 \mu\text{m}$ 、密度  $1\text{g/cm}^3$ 、緩和時間  $5 \times 10^{-6}\text{sec}$  程度の Particle の拡散は重力沈降、及び SGS 変動の影響をあまり受けないことが知られている<sup>5,6)</sup>。Particle 間の相互作用及び壁面の反射等は無視、壁面に衝突した Particle は全て吸着するとして解析。注3. 原因として本解析で使用した DS モデルが若干 C を過大評価していることが考えられる。C が大きいと  $\nu_{sgs}$  が大きい、すなわち Smagorinsky モデルでは  $\epsilon$  (散逸)が大きいことを意味する。 $\epsilon$  が大きくなれば乱流エネルギーは小さくなり流れは非拡散的となる。注4. 局所領域 Vol.3 の清浄度を図1の全体換気で向上させようとする、極めて大幅に換気量を増やしてやる必要があることを意味する。[参考文献] (1)村上,加藤ら: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3) 空気調和衛生工学会講演論文集、1996,9 (2)村上,加藤ら: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4) 空気調和衛生工学会講演論文集、1996,9 (3)村上,加藤ら: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5) 日本建築学会関東支部研究報告集 1997,3 (4) Germano et al. A Dynamic sub-grid-scale eddy viscosity model, Phys. Fluid, 1991 (5)H. Werner, H. et al. Large-Eddy simulation of Turbulent Flow over and around A Cube in A Plane Channel 8<sup>th</sup> Symposium on Turbulent Shear Flows 1991 (6). Squires, K.D et al. Particle Deposition in Large Eddy Simulation of Turbulent Channel Flow int. J. of Multiphase Flow 1995