

プッシュ気流を用いた局所領域空気質制御と 規準化居住域濃度の解析

菊池 世欧啓 ^{*1}

小林 信行 ^{*2}

伊藤 一秀 ^{*2}

大空間を有するホール、体育館および工場等の換気システムは全体換気システムの他、居住域・作業域・呼吸域等の局所領域を対象とした局所換気システムの導入が検討されることが一般的であり、特に工場等の労働環境下ではフード型の局所排気システムやプッシュ・プル型の排気システムの設置が法的に義務付けられている。汚染質の発生源近傍で捕集し、汚染質拡散を抑制する局所排気システムは、「場」の汚染質濃度管理を行う上で大変有効である。発生汚染質の効率的な排出を意図した排気システムの既往研究の量と比較し、特に労働環境を対象として、汚染質の移流方向を制御し、直接的な汚染質希釈が可能なプッシュ気流のみを採用した場合の検討例は少ないのが実情である。

本研究では全体換気システムを有し、かつ汚染質発生位置が特定できる大空間の労働環境を対象として、プッシュ気流のみを用いた場合の作業領域ならびに非作業領域における局所領域空気質の制御性に関して検討を行い、その換気性状を規準化居住域濃度により評価を行う。また、エアカーテンを設置した場合の検討も併せて行う。

キーワード：プッシュ気流、エアカーテン、CFD、産業換気

1. 序

大規模の空間容積を有する建築物では、一般に全体換気システムの他、局所的な換気システムを併用する 경우가ほとんどであり、特に工場等の汚染質発生位置が特定可能な空間においては、発生汚染質の拡散を抑制し、効率的な汚染質排出を目的とする局所排気システムの導入が一般的である。

汚染質発生位置が特定可能な室内空間に設置される局所排気システムとしては、厨房等を対象としたフード型の局所排気システム、有機溶剤や粉塵発生が予想される工場(作業スペース)に設置されるプッシュ・プル型の局所排気システムが代表例であろう^{*1}。プッシュ・プル型の局所排気システムに関しては、作業環境を「場」の管理との側面、**すなわち作業領域で発生する汚染質に対し拡散防止と速やかな排除により作業領域の平均濃度を制御する意図から労働安全衛生法等でその仕様が厳格に決定されている**^{*2}。しかしながら、今後、作業環境中での汚染質濃度制御は、欧米で主流の「個人暴露

量」の管理に移行する可能性も指摘されており、作業者の移動領域全般に渡り、空気質を良好に制御可能な空気質制御方法、システムの開発が強く望まれる^{*3}。

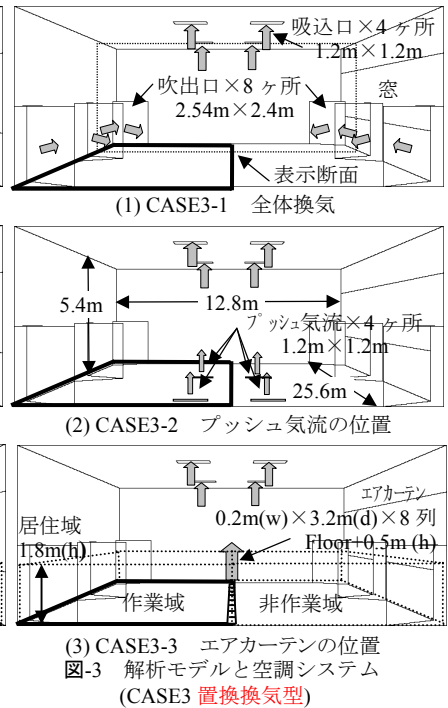
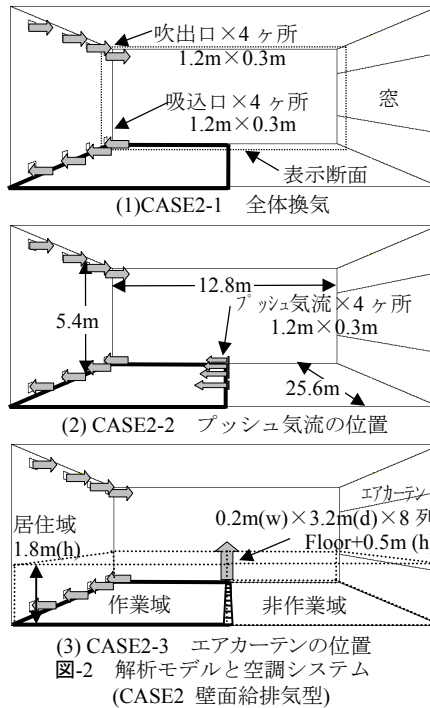
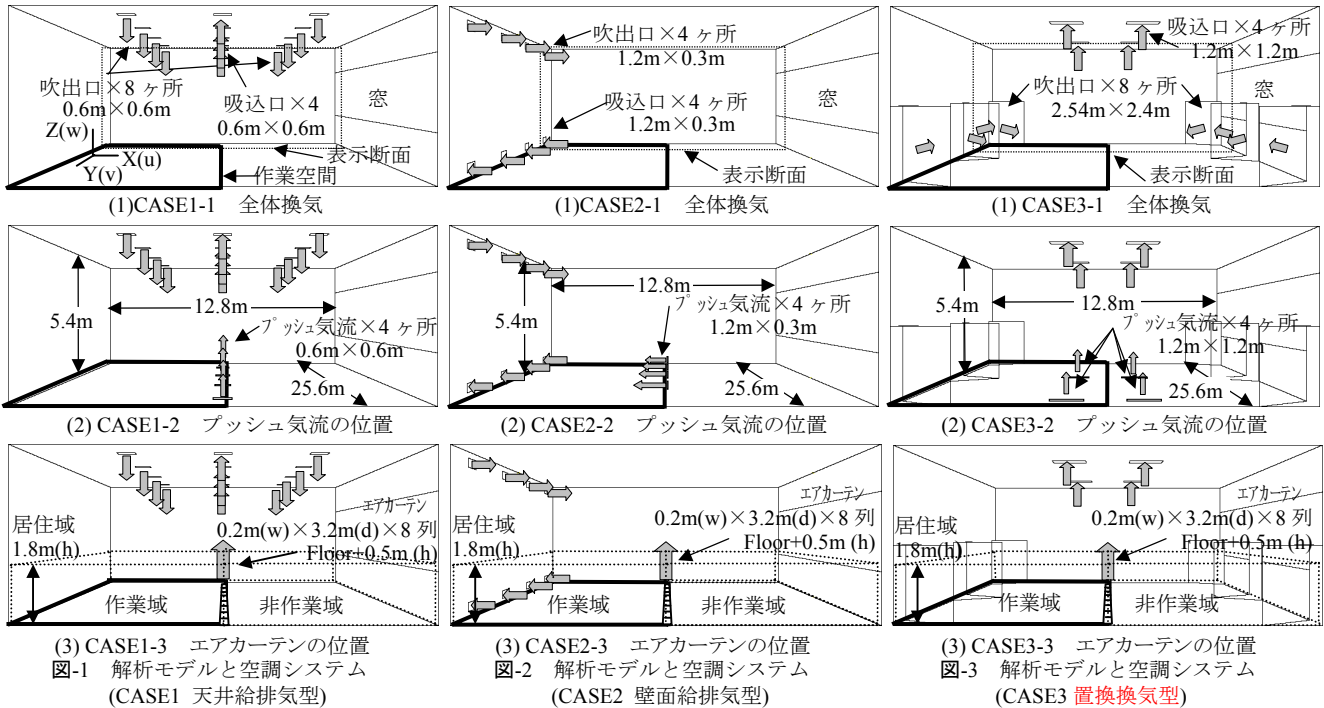
このような背景のもと、本研究では全体換気システムを有し、かつ汚染質発生位置がある程度特定できる大空間建築である工場空間を対象として、作業領域にプッシュ気流を用いた場合の作業領域ならびに非作業領域における局所領域空気質の制御性に関して検討を行い、その換気性状を規準化居住域濃度を解析することで評価を行う^{*4}。また、プッシュ気流の他、**比較のために**エアカーテンを設置した場合の検討も併せて行う。

2. 労働環境における換気設備と関係法令

工場等の労働環境は、労働者の安全と健康の確保、ならびに快適な労働環境形成の促進を目的とした労働安全衛生法により事業者ならびに労働者が行う措置・対策が定められている^{*5}。特に工場等における換気設備の設置に関しては、労働安全衛生法と関連する厚生労働省令により使用可能な設備が明示されており、全体換気システムの他、プッシュ・プル型の換気システム、囲い式ならびに外付け式を含むフード型

^{*1} 東京工芸大学大学院 (川本工業㈱) 正会員

^{*2} 東京工芸大学 正会員



局所排気システムの適用が認められている。

上述の通り、日本では作業環境管理を行うため、「労働者の危険または健康障害を防止するための措置」としての換気システムが、フードの型や制御風速等で厳格に仕様規定されている。しかしながら、英国の HSWA⁵⁾等、国際的には室内環境基準を保持するための規定は存在するが、それを実現する具体的な方法に関しては言及していないものが殆どであり、いわゆる性能規定な意味合いが強い。

今後、日本においても性能規定化が進むことを考慮した場合、フード型局所排気システムおよびプッシュ・プル型排気システムのみならず、各種の換気システムを対象として作業空間の空気質制御性に関する検討を行い、基礎データを蓄積しておくことは大変重要な課題である。

3. 規準化居住域濃度による作業環境評価

一般環境、労働環境を問わず、換気設計においては汚染質の不完全混合状態を積極的に活用し、換気効率の考え方を取り入れることで換気量を必要最小限とすることが省エネルギーの観点からも重要となる⁷⁾。

空気調和・衛生工学会規格である HASS 102 換気規準・同解説⁴⁾では、一般環境を対象とした換気設計を行う上で、室内の局所領域である居住域の平均濃度を環境基準濃度レベル以下に保持することを前提として、「規準化居住域濃度 C_n 」を用いた換気設計を推奨している。ここで、規準化居住域濃度は完全混合濃度(排気口濃度)と居住域平均濃度の比として(1)式のように定義される。外気濃度は0と仮定する。

$$C_n = \frac{C_a}{C_p} \quad (1)$$

表-1 全体換気システムと局所換気システムの条件

CASE	空調方式	吹出速度 U_{in} [m/s]	吹出口の Re 数 ^{注7)} ($\times 10^5$)	プッシュ気流 U_{pf} [m/s]	エアカーテン U_{ac} [m/s]
1-1	天井吹出・天井吸込	0.425	1.6	—	—
1-2				0.25	—
1-3				0.50	—
1-4				—	0.25
1-5				—	0.50
2-1	壁上部吹出・壁下部吸込	0.855	3.3	—	—
2-2				0.25	—
2-3				0.50	—
2-4				—	0.25
2-5				—	0.50
3-1	置換換気型 ^{注5)} (下部給気・上部排気)	0.025	0.1	—	—
3-2				0.25	—
3-3				0.50	—
3-4				—	0.25
3-5				—	0.50

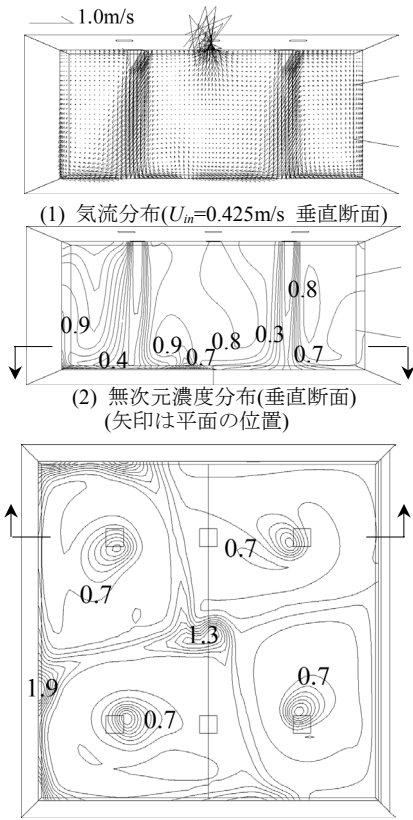
ここで、 C_n は規準化居住域濃度、 C_a は居住域平均濃度、 C_p は排気口濃度を示す。

本研究では空間的な移動が考えられる作業者の個人暴露量を最小化するとの観点から、作業空間の汚染質濃度をマクロに評価することが可能な規準化居住域濃度 C_n を評価指標として用いる^{注1)}。

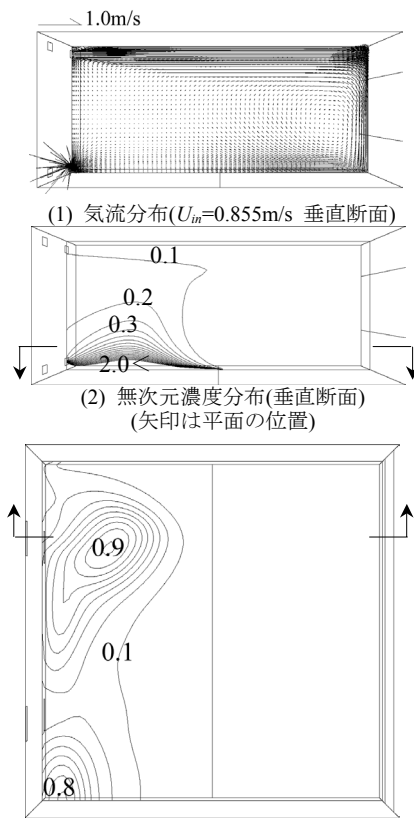
4. 解析対象とする局所換気システム

本研究では、比較的局所排気システムの設置が困難であると予想される、汚染質発生位置がある程度の広がりを持つ作業空間を対象として、局所的にプッシュ気流ならびにエアカーテンを設置した場合の作業領域ならびに非作業領域の空気質制御性に関して検討を行う。

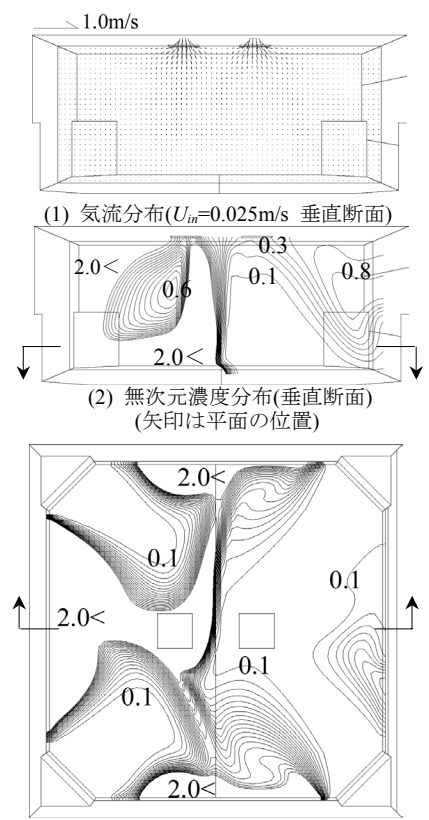
特に、必要最小限の全体換気システムが設置されている工場を対象として、大規模なダクト工事等を必要としない設置型のファンを導入し、全体換気システムの排気口に向けてプッシュ



(1) 気流分布($U_{in}=0.425\text{m/s}$ 垂直断面)
 (2) 無次元濃度分布(垂直断面)
 (矢印は平面の位置)
 (3) 無次元濃度分布(床上0.9mの平面)
 図-4 全体換気のみ解析結果
 (CASE 1-1 天井給排気型)
 (矢印は垂直断面の位置)



(1) 気流分布($U_{in}=0.855\text{m/s}$ 垂直断面)
 (2) 無次元濃度分布(垂直断面)
 (矢印は平面の位置)
 (3) 無次元濃度分布(床上0.9mの平面)
 図-5 全体換気のみ解析結果
 (CASE 2-1 壁面給排気型)
 (矢印は垂直断面の位置)



(1) 気流分布($U_{in}=0.025\text{m/s}$ 垂直断面)
 (2) 無次元濃度分布(垂直断面)
 (矢印は平面の位置)
 (3) 無次元濃度分布(床上0.9mの平面)
 図-6 全体換気のみ解析結果
 (CASE 3-1 置換換気型)
 (矢印は垂直断面の位置)

シュエッジを与えた場合、ならびに作業空間および非作業空間の境界線上にエアカーテンを設置した場合^{注2)}、の検討を行う。

また、プッシュ気流ならびにエアカーテンの吹出風速は局所領域空気質の制御性に支配的要素となりうる事が予想される。そのため、両ケース共に、吹出風速を0.25 m/s, 0.5 m/sの2段階で設定して解析を行う^{注3)}。

5. 解析対象空間

5.1 解析対象空間

図-1~3 に解析対象とする工場を模擬した大空間を示す。対象空間は幅 12.8m (X), 奥行 25.6m (Y), 高さ 5.4m (Z)の空間スケールを有し、汚染質が発生する作業空間と居住スペースである非作業空間より構成されると仮定する^{注4)}。全体換気システムは、天井給排気型の換気システム、壁面給排気型の換気システムならびに床レベルから天井に向かうピストンフローを模擬した置換換気型(下部給気・上部排気型)^{注5)}システムの3種類を想定し、それぞれCASE1~CASE3とする。CASE1の吹出口形状は0.6m×0.6mのスロット型、CASE2は幅1.2m×高さ0.3mのスロット型を想定し、CASE3は幅2.54×高さ2.4mの多孔パネル型面状吹出口を想定している。プッシュ気流の設置は、CASE1とCASE3が、天井の吸込口と正面になる床面の50cm上部に、CASE1が0.6m×0.6m、CASE3が1.2m×1.2mの吹出ファンを設置している。CASE2は汚染

表-2 計算条件

メッシュ	CASE 1 : 78(x)×72(y)×35(z)=196,560 CASE 2 : 72(x)×68(y)×51(z)=249,696 CASE 3 : 64(x)×64(y)×27(z)=110,592
乱流モデル	低 Re 型 k-ε model(Abe-Nagano モデル) ^{注8)}
吹出条件	U_{in} : 表-1 参照 $k_{in}=3/2(U_{in} \times 0.05)^2$ $\epsilon_{in}=C_u \times k_{in}^{3/2} / \ell_{in}$, $C_u=0.09$, $\ell_{in}=1/7 \cdot (\text{吹出幅})$
吸込条件	U_{outs} =質量保存 k_{outs} , ϵ_{out} =free slip 壁境界 No slip
汚染質	Passive Contaminant, 作業域の床面一様発生

質が発生する床を挟んで吸込口と正対する位置に 1.2m×0.3mの吹出ファンを設置している。エアカーテンは各ケースとも作業域と非作業域の境界線上となる室中央に 0.2m×3.2mの吹出ファンをライン状に8列並べて設置している。

5.2 解析条件

表-1と図-1~3に全体換気システムならびにプッシュ気流とエアカーテンの解析条件を示す。全体換気システムによる換気回数は空間内の作業者8人を想定した場合の「Min. OA」を仮定し、全ケースで2.5回/hとする^{注6)}。エアカーテンは作業域・非作業域を分割するよう、ライン状に吹出風速を与える。流れ場ならびに汚染質拡散場の解析は、対称性を考慮し対象空間のY方向に関し半分領域について行う。また、一般に大空間では温度成層の形成等、温度場の解析が不可欠であると考えられるが、本研究では局所換気システムの効果を検討する基礎的な条件を想定し、等温条件の下で解析を行う。計算条件を表-2に示す。流れ場は低 Re 型k-εモデル(Abe-Nagano model)^{注8)}に基づく3次元解析を行っている。汚

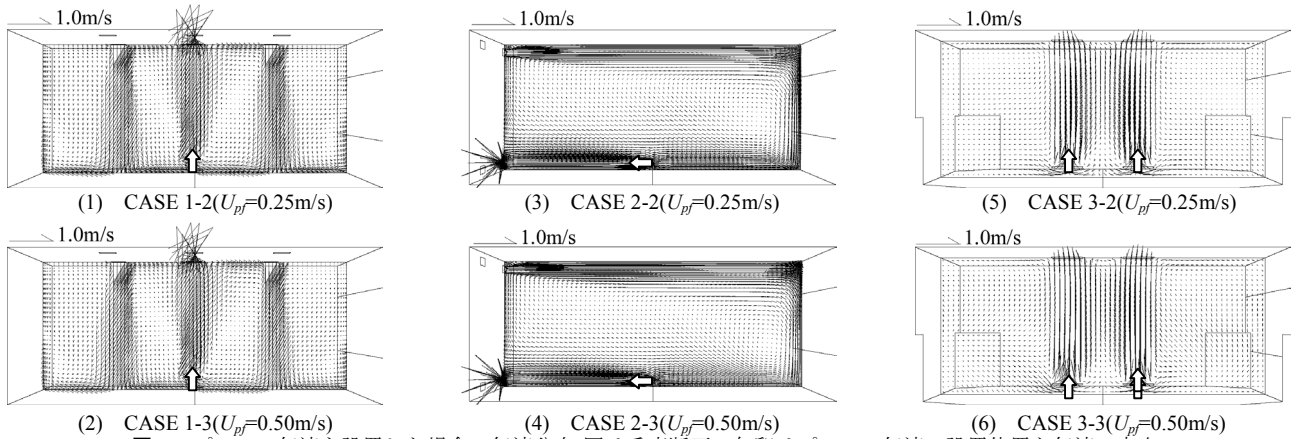


図-7 プッシュ気流を設置した場合の気流分布(図は垂直断面 矢印はプッシュ気流の設置位置と気流の方向)

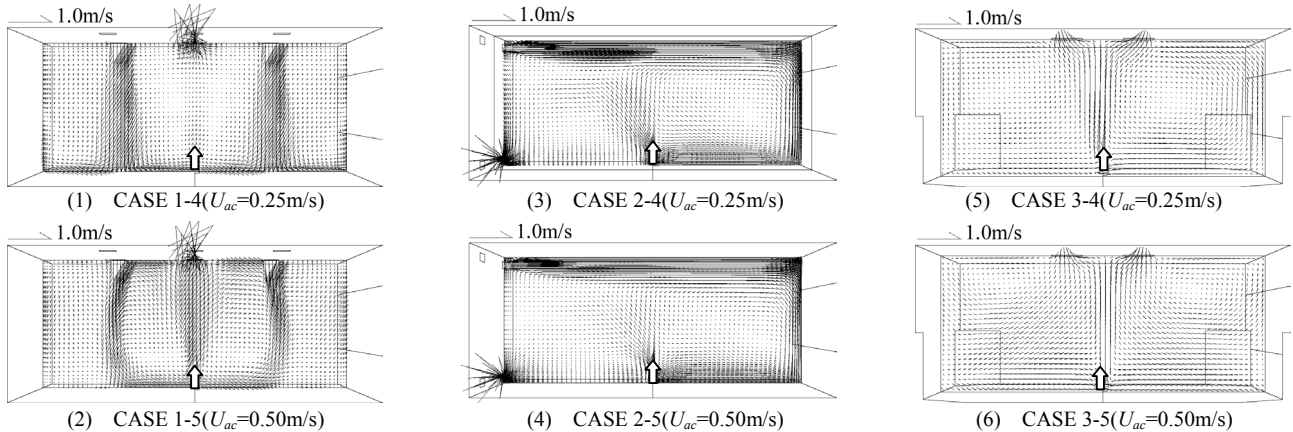


図-8 エアカーテンを設置した場合の気流分布(図は垂直断面 白抜き矢印はエアカーテンの設置位置と気流の方向)

染質拡散場の解析では、作業空間のみ床面一様に Passive Contaminant を仮定した汚染質を発生させる。非作業空間ならびに全体空調吹出空気中では汚染質発生は0とする。また、プッシュ気流、エアカーテン共に室内空気の攪拌のみを意図し、新鮮外気は導入されていない。

6. 全体換気のみによる気流分布と無次元濃度分布

図-4～6にCASE1～3における全体換気のみの場合の気流分布と無次元濃度分布を示す。無次元濃度分布は空間各部の濃度を排気濃度(完全混合濃度)で無次元化している。垂直断面の位置は図-1～3に併せて示している。CASE1とCASE2は表示断面に吹出口と吸込口およびファンの吹出面を含んでいるが、CASE3では吹出口を含まない。水平断面の表示位置は床上0.9mの水平面(X-Y面)である。

6.1 天井給排気(CASE1-1)の気流分布と無次元濃度分布

図-4(1)に気流分布を示す。天井から供給された吹出気流は床面に到達した後、床に沿って周囲に流れ隣接する吹出気流や壁面と衝突し上部に流れる。吹出気流の周囲は循環流が形成される。図-4(2)および(3)に濃度分布を示す。作業域で発生した汚染質はこの気流により室内の隅や気流の衝突部分に輸送された後、上部に運ばれる。室内各部の濃度は吹出口下部を除き0.7～0.9であり、汚染質は室内全体に拡散する。

6.2 壁面給排気(CASE2-1)の気流分布と無次元濃度分布

図-5(1)に示すとおり、壁面上部から供給された吹出気流は壁面に沿って流れ室内で大循環流を形成し、床面に沿った流れが形成されている。図-5(2)および(3)に示すとおり、非作業域は濃度が0.1で極端に低い。作業域の床近傍は汚染質が滞留し無次元濃度2.0以上の高濃度領域となっている。

6.3 置換換気型(CASE3-1)の気流分布と無次元濃度分布

図-6(1)に示すとおり、低速で供給された吹出気流は床面に並行に流れ、室中央で相対する吹出気流と衝突し、空間上部へと流れる。図-6(2)および(3)に示すとおり、吹出口前方は無次元濃度が0.1で極端に低い。作業域で発生した汚染質は低速の吹出気流により室中央に押出され、室中央は2.0以上の高濃度になっている。吹出気流の周囲は汚染質が滞留する。

7. 局所換気を設置した場合の気流分布

図-7と図-8に局所換気を設置した場合の気流分布を示す。各図の上段(1), (3), (5)は局所換気の吹出風速が0.25m/sの場合、下段(2), (4), (6)は0.50m/sの場合である。各ケースの表示断面は図-4～6の気流分布および濃度分布と同じ断面である。

7.1 プッシュ気流を設置した場合の気流分布

図-7に示すとおり、プッシュ気流の設置により全てのケースで吸込口に向かう気流が形成されている。各ケースの気流

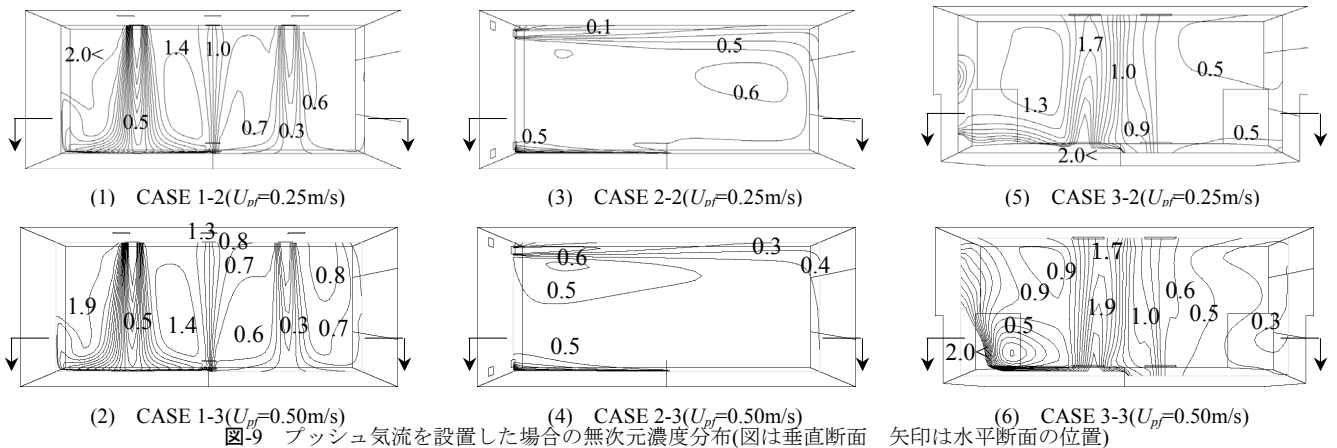


図9 プッシュ気流を設置した場合の無次元濃度分布(図は垂直断面 矢印は水平断面の位置)

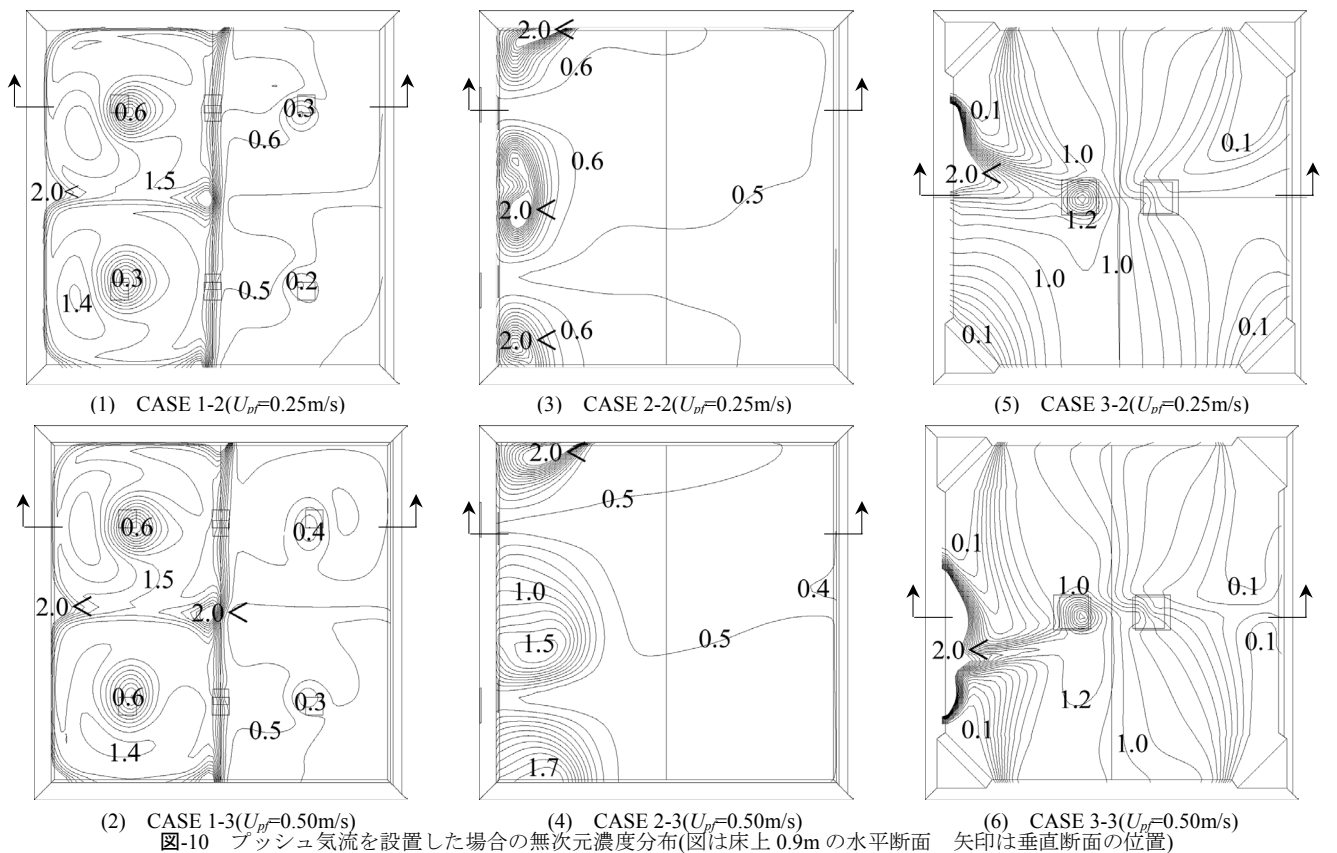


図10 プッシュ気流を設置した場合の無次元濃度分布(図は床上0.9mの水平断面 矢印は垂直断面の位置)

分布は プッシュ気流の速度の違いによらず、すなわち Re 数の大小に依存せずほぼ同様な分布となっている。

7.2 エアカーテンを設置した場合の気流分布

図-8(1)と(2), 図-8(5)と(6)の気流分布に示すとおり, エアカーテンによる気流が床中央から上部に向かい形成され, 作業域と非作業域を分割している. 図-8(3)と(4)に示す CASE2 の気流分布は, エアカーテンを意図して垂直上向きに吹出した気流が室内気流の影響により作業域上部の天井に向かって斜行している. エアカーテンの吹出速度の違いによる気流分布の差は図-8(1)および(2)の CASE1 の気流分布にあらわれ, 図-8(2)に示すとおり, 天井からの吹出気流が湾曲する流れになっている. この他のケースではエアカーテンの吹出速度の違い, すなわち Re 数の違いによらずほぼ同様な分布である.

8. プッシュ気流を設置した場合の無次元濃度分布

図-9(1)~(6)に各ケースの垂直断面, 図-10(1)~(6)に水平断面(X-Y 面)の無次元濃度分布を示す. 無次元濃度分布は空間各部の濃度を排気濃度(完全混合濃度)で無次元化している. 各図の上段(1), (3), (5)は吹出風速が $U_{pj}=0.25\text{m/s}$ の場合, 下段(2), (4), (6)は $U_{pj}=0.50\text{m/s}$ の場合である. 各ケースの表示断面は図-4~6 の気流分布および濃度分布と同じ断面である.

8.1 天井給排気システムにプッシュ気流を設置した場合

図-9(1)と(2)に示すとおり, 室中央の等濃度線は上下方向にはほぼ並行であることから, プッシュ気流が汚染質を移流方向に輸送していることが分かる. 室内の濃度は全体換気のみの場合よりも作業域側が高く, 非作業域側が低いことから, プッシュ気流の設置により汚染質が作業域に滞留し, 非作業

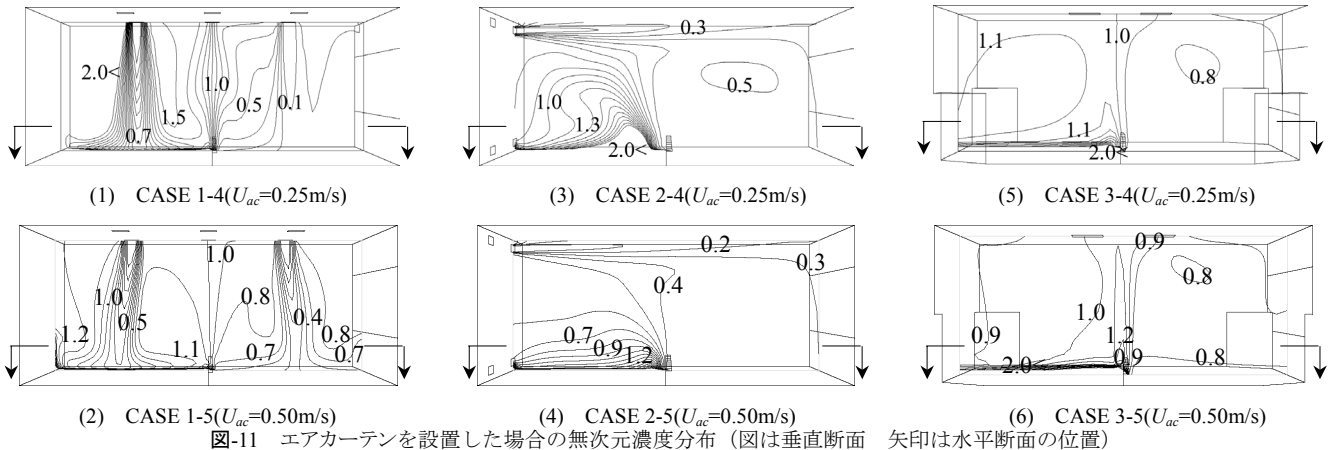


図-11 エアカーテンを設置した場合の無次元濃度分布 (図は垂直断面 矢印は水平断面の位置)

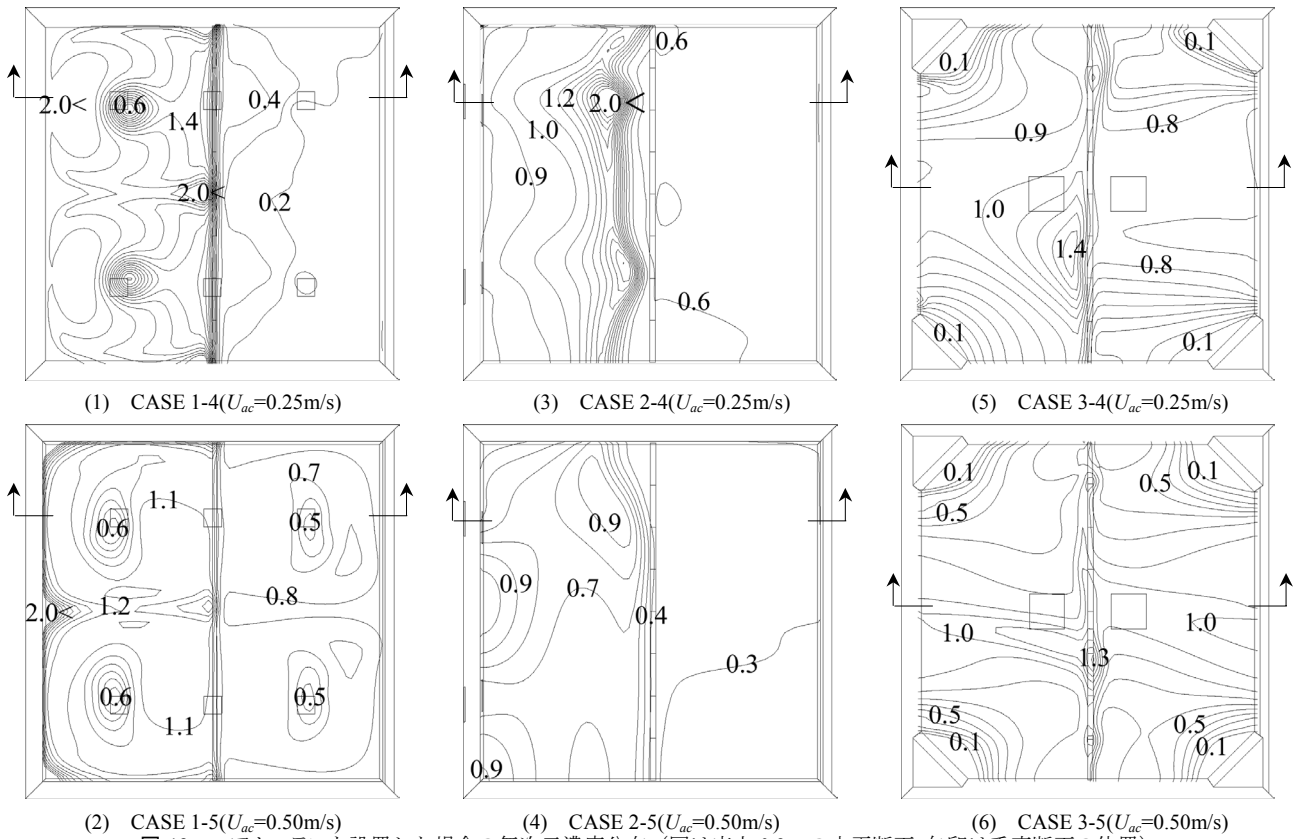


図-12 エアカーテンを設置した場合の無次元濃度分布 (図は床上0.9mの水平断面 矢印は垂直断面の位置)

域に輸送されにくくなっていることが分かる。

8.2 壁面給排気システムにプッシュ気流を設置した場合

図-9(3)と(4)に垂直断面の無次元濃度を示す。床近傍の高濃度領域はプッシュ気流の設置により解消されている。図-10(3)と(4)に示すとおり、壁際に高濃度領域があるが、これはプッシュ気流が吸込口の周囲に衝突し輸送されていた汚染質が床面と壁面の隅角部に滞留しているものと考えられる。

8.3 置換換気型システムにプッシュ気流を設置した場合

図-9(5)と(6)に示すとおり、全体換気のみの場合にみられた極端な濃度差がプッシュ気流の設置により解消されている。図-10(5)と(6)に示すとおり、作業域の壁側の高濃度領域からプッシュ気流に向かって等濃度線が密になっており、汚染質が効率的に輸送されている様子が観察できる。

9. エアカーテンを設置した場合の無次元濃度分布

図-11(1)～(6)に各ケースの垂直断面、図-12(1)～(6)に各ケースの水平断面(X-Y面)の無次元濃度分布を示す。吹出気流による図のレイアウト、無次元化および表示断面は前章のプッシュ気流の場合と同様である。

9.1 天井給排気システムにエアカーテンを設置した場合

図-11(1)と図-12(1)に示すとおり、非作業域は濃度が0.1～0.5と低く作業域は濃度が高い。吹出風速0.25m/sのエアカーテンにより作業域と非作業域が分割され、作業域に汚染質が滞留し、非作業域に輸送されにくくなっている。図-11(2)と図-12(2)に示すとおり、吹出風速が0.50m/sの場合は(1)に比べて作業域の濃度が減少し、非作業域の濃度が増加していることからエアカーテンの吹出速度を上昇させることで、汚

表-3 規準化居住域濃度 C_n

CASE	作業域	非作業域
CASE1-1(全体換気のみ)	1.01	0.81
CASE1-2(プッシュ気流 $U_{pf}=0.25\text{m/s}$)	1.18	0.74
CASE1-3(プッシュ気流 $U_{pf}=0.50\text{m/s}$)	1.46	0.53
CASE1-4(エアカーテン $U_{ac}=0.25\text{m/s}$)	1.72	0.26
CASE1-5(エアカーテン $U_{ac}=0.50\text{m/s}$)	1.49	0.52
CASE2-1(全体換気のみ)	0.55	0.08
CASE2-2(プッシュ気流 $U_{pf}=0.25\text{m/s}$)	0.85	0.32
CASE2-3(プッシュ気流 $U_{pf}=0.50\text{m/s}$)	0.94	0.51
CASE2-4(エアカーテン $U_{ac}=0.25\text{m/s}$)	0.83	0.85
CASE2-5(エアカーテン $U_{ac}=0.50\text{m/s}$)	0.74	0.68
CASE3-1(全体換気のみ)	3.91	0.49
CASE3-2(プッシュ気流 $U_{pf}=0.25\text{m/s}$)	0.85	0.32
CASE3-3(プッシュ気流 $U_{pf}=0.50\text{m/s}$)	0.94	0.51
CASE3-4(エアカーテン $U_{ac}=0.25\text{m/s}$)	0.99	0.71
CASE3-5(エアカーテン $U_{ac}=0.50\text{m/s}$)	1.18	0.50

※ 網掛け部分は、局所排気を設置した場合の C_n が全体換気の場合よりも小さい(換気効率が高い)場合を示す。

染質が非作業域に輸送されやすくなることがわかる。

9.2 壁面給排気システムにエアカーテンを設置した場合

図-11(3), (4)と図-12(3), (4)に示すとおり、エアカーテンの吹出速度が速い方が、作業域床面の高濃度領域を解消し、非作業域は汚染質が輸送されにくくなり濃度は低くなる。CASE1 の天井給排気システムにエアカーテンを設置した場合は逆の傾向になっている。

9.3 置換換気型システムにエアカーテンを設置した場合

図-11(5),(6)と図-12(5),(6)に示すとおり、置換換気型に特徴的であった極端な濃度分布の高低差がエアカーテンの設置によりなくなり、作業域の濃度は低下するが、非作業域は高くなる。

10. 規準化居住域濃度 C_n による換気性状評価

表-3 と図-13~15 に規準化居住域濃度 C_n の結果を示す。図の(1)は全体換気の場合とプッシュ気流を設置した場合の C_n の比較であり(2)は同じくエアカーテンとの比較である。

10.1 CASE1 (天井給排気) の場合

図-13(1)に示すとおり、プッシュ気流の設置は非作業域の C_n を改善し、 C_n の大小はプッシュ気流の吹出速度に比例する結果となった。これとは逆に作業域の C_n はプッシュ気流の設置により 1.0 を上回りプッシュ気流の吹出速度の増加とともに悪化している。

図-13(2)に示すとおり、エアカーテンの設置は非作業域の C_n を改善し、エアカーテンの吹出速度の遅い CASE1-4 の C_n が小さい結果となった。作業域の C_n は 1.0 を大きく上回っており、エアカーテンの設置により C_n が悪化する結果となった。CASE1 にプッシュ気流およびエアカーテンを設置した場合は、作業域で発生した汚染質を作業域内に滞留させ、非作業域へ汚染質が拡散するのを妨げると考えられる。

10.2 CASE2 (壁面給排気) の場合

図-14(1)と(2)に示すとおり、作業域と非作業域の C_n が最小となるのは全体換気の場合であり、プッシュ気流およびエアカーテンが設置されることにより作業域、非作業域共に C_n が大きい値となり換気効率は低くなる結果となった。

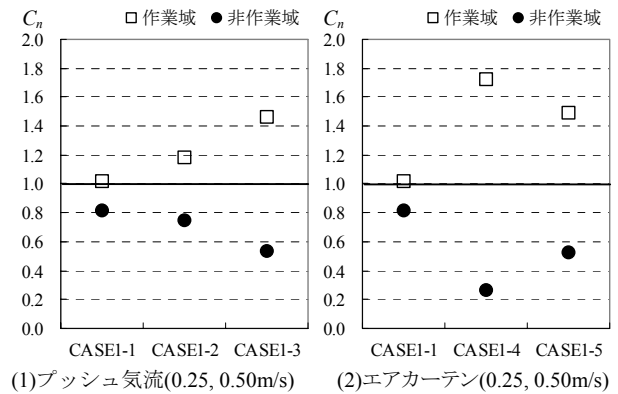


図-13 規準化居住域濃度 C_n (CASE1)

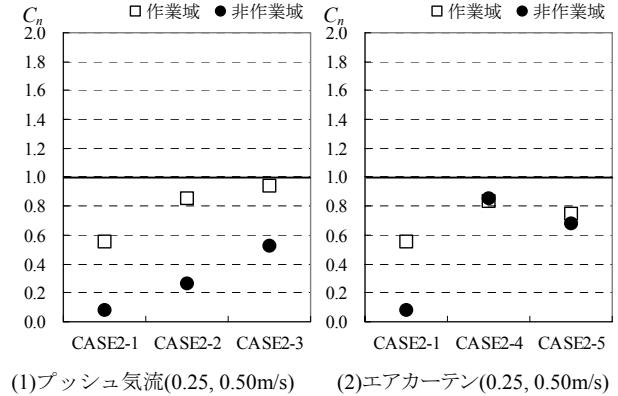


図-14 規準化居住域濃度 C_n (CASE2)

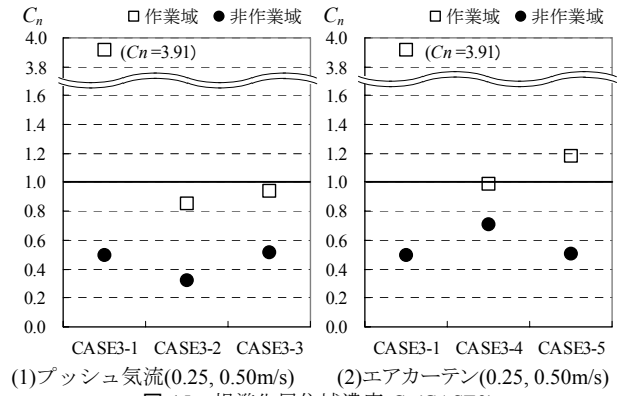


図-15 規準化居住域濃度 C_n (CASE3)

10.3 CASE3 (置換換気型) の場合
 図-15(1)に示すとおり、作業域の C_n はプッシュ気流を設置した方が小さい値になり、換気効率が上昇する。また図-15(2)に示すとおり、エアカーテンの設置は作業域の C_n を改善するが、非作業域の C_n は改善しない結果となった。

11. まとめ

プッシュ気流およびエアカーテンを設置することによる作業域・非作業域の空気質制御の可能性を CFD により検討した結果、本解析条件下では以下の結果を得た。

- (1) CASE1 の天井給排気型の場合は、プッシュ気流の設置により作業域に汚染質が滞留し、また汚染質が非作業域へ輸送されにくくなり非作業域の C_n が改善される。
- (2) CASE3 の置換換気型(下部給気・上部排気)の場合は、プ

ッシュ気流を設置することで排気口に対する汚染質排出が促進され作業域の C_n が改善される。

- (3) CASE2 の壁面給排気型の場合は、全体換気の場合において C_n が最小値を示した。局所換気を設置した場合は作業域および非作業域の濃度が全体換気の場合よりも高くなり、換気効率が低下する結果になった。
- (4) エアカーテンを適用した場合にも C_n の解析結果はプッシュ気流の解析結果と同様な結果となる。
- (5) プッシュ気流およびエアカーテンの気流の一部が吸込口の縁から周囲に拡散しており、 C_n 上昇の一因であると考えられる。プッシュ気流の吹き出し口の大きさや配置について更に検討する必要がある。

記号および関連式

U_{in}	: 吹出風速[m/s]
Re	: レイノルズ数 ($=U_{in} \cdot L_0 / \nu$) [-]
L_0	: 代表長さ 5.4m(室の高さ)[m]
ν	: 動粘性係数 0.000014[m ² /s]
U_{pf}	: プッシュ気流の吹出風速[m/s]
U_{ac}	: エアカーテンの吹出風速[m/s]
C_n	: 規準化居住域濃度[-] ^{注1)} (居住域平均汚染質濃度と定常完全混合状態の場合の汚染質濃度との比)
C_a	: 居住域平均濃度[kg/m ³] ^{注1)}
C_p	: 排気口での平均濃度(定常完全混合濃度)[kg/m ³] ^{注1)}
K_{in}	: 吹出の乱流エネルギー[m ² /s ²]
ϵ_{in}	: 吹出の散逸率[m ² /s ³]
l_{in}	: 乱れの長さスケール[m]
U_{out}	: 吸込口の吹出風速[m/s]
K_{out}	: 吸込口の乱流エネルギー[m ² /s ²]
ϵ_{out}	: 吸込口の散逸率[m ² /s ³]

注

- 1) 作業域の C_n は作業空間の床から床上 1.8m の空間を居住域と仮定し居住域平均濃度 C_a を求めて C_n を算出している。同様に、非作業域の C_n は非作業空間の床から床上 1.8m を居住域として C_n を算出している。
- 2) エアカーテンの設置は、空間分断により非作業空間への汚染質拡散の抑制を図り、プッシュ気流を与えた場合の解析結果との比較対象として位置づけている。

- 3) 各ケースのプッシュ気流の吹き出し面積は、各ケースの全体換気の排気口面積と同一に設定している。したがって、各ケースで排気口面積が異なるため、平均風速を一定とした場合、供給風量は異なった設定となる。本解析の主眼は、各ケースの吹出風速(プッシュ気流)が一定であり、且つ排気口に向かうプッシュ気流を与えた場合の各ケースの気流や濃度分布を比較することにあるため、前述のような吹出口条件としている。
- 4) 本解析は同一空間内に作業域と非作業域があり、在室者はどちらの空間も移動すると仮定し、排気口に向かうプッシュ気流を与えることで、汚染質の排出を促進させ、その結果として作業空間および非作業空間両者の濃度を低減することを目的としている。
- 5) 置換換気システムは、通常、室内の発熱源による浮力を駆動力として汚染質を輸送するシステムであり、等温場の解析である CASE3 は本来、置換換気システムとは言い難い。本報では、今後、非等温場の解析を行うことも考慮し、CASE3 を置換換気型(下部給気・上部排気)と表現している。本解析で用いた比較的広い吹出口面積ならびに低速の吹出気流の境界条件は、そのままでは置換換気システムとは呼べないものの、非等温場の解析を行う際には容易に置換換気システムに転用可能な境界条件となっている。
- 6) 工場の換気量は汚染質の発生状況などにより換気量が異なり、通常は換気回数 5 回/h~13 回/h と考えられる²⁾。換気回数を 10 回/h とした場合の本解析対象工場の全体換気の吹き出し風速は CASE1 が 1.7m/s、CASE2 が 3.4m/s、CASE3 が 0.1m/s 程度となる。本解析ではプッシュ気流の効果に着目し、プッシュ気流の効果の程度を明確にするために、全体換気の風速を意図的に小さく設定している。本解析の風量は在室者 8 名に対し 1 人あたりの換気量 30m³/h 人として算出した風量を最小限の必要換気量とし、全体換気の吹き出し口の風速を設定している。
- 7) Re 数= $U_{in} \cdot L_0 / \nu$ の代表-長さ L は室の高さ(5.4m)である。

参考文献

- 1) 岩崎毅: プッシュプル(一様流)換気, 日本労働衛生工学会(シンポジウム)Vol41, pp11-21, 2001
- 2) 空気調和・衛生工学会: 工場換気の理論と実践 1995.3
- 3) 空気調和設備委員会 換気性能設計法小委員会/産業換気小委員会: 空気調和・衛生工学会シンポジウムテキスト/一般環境と作業環境の換気に関する最近の動向, (社)空気調和・衛生工学会 開催日 2002.12.2
- 4) 空気調和・衛生工学会規格 HASS102-1997, 換気基準・同解説(1997)
- 5) 有機溶剤中毒予防規則 18, 粉じん障害防止規則, 労働省告示第 21 号 1997.3.25, 労働省告示第 22 号 1997.3.25, 労働省告示第 30 号 1998.3.25.
- 6) The Health and Safety at Work etc Act, 1974
- 7) S. Kato, et. al., New ventilation efficiency scales based on spatial distribution of contaminant concentration aided by numerical simulation. ASHRAE Transactions 94(2), 1988, pp. 309-330
- 8) 安部, 長野, 近藤: はく離・再付着を伴う乱流場への適用を考慮した $k-\epsilon$ モデル, 日本機化学会論文集 B 編, 58 巻, 554 号, 1992, pp. 57-64

Numerical Analysis of Ventilation Effectiveness in Occupied Zones and Its Air Quality Control for Various Industrial Ventilation Systems by Using Push-Flow

By Seohiro Kikuchi^{*1}, Nobuyuki Kobayashi^{*2}, Kazuhide Ito^{*2}

Key Words : Push-flow, Air-curtain, Computational Fluid Dynamics, Industrial Ventilation

Synopsis : When the generation of pollutants is assumed locally in industrial workspaces, such as factories or industrial plants, there is a legal obligation in Japan to set up local exhaust systems of a hood and a push-pull type. The local exhaust systems are effective in controlling the diffusion of pollutants generated in the workspace, and much research has already been done on the performance of these systems. However, there have been virtually no studies on the performance of push flow type ventilation systems for industrial workspaces, which have a local supply inlet

and are able to directly dilute and control the direction of the convective flow of the contaminants.

In this paper, CFD (Computational Fluid Dynamics) simulations are carried out in order to confirm the performance of a push flow type local ventilation system for industrial workspaces, which are characterized by a large enclosure with specific pollutants generation in local areas. The Normalized Concentration in the Occupied Zone (C_n) which is the ratio of the average contaminant concentration in the occupied zone (C_a) to the concentration for completely mixed indoor air (C_p) is used to evaluate the effectiveness of local ventilation for industrial workspaces.

*1 Graduate School, Tokyo Polytechnic University Member

*2 Tokyo Polytechnic University Member