

新鮮外気の分配に着目した事務所ビルの高効率換気・空調システム に関する基礎的研究

BASIC STUDY ON HIGHLY EFFICIENT VENTILATION AND AIR-CONDITIONING SYSTEM BY CONSIDERING DISTRIBUTION OF FRESH AIR

赤林伸一*, 樋渡 潔**, 森川泰成***, 坂口 淳****

*Shin-ichi AKABA YASHI, Kiyoshi HIWATASHI, Yasushige MORIKAWA
and Jun SAKAGUCHI*

In an air-conditioned office building, the ventilation air is normally mixed with the return air from the room within an air-handling unit. In this system, the fresh air is distributed also into the non-breathing zone. If only the fresh air is supplied into the breathing zone directly, the indoor air quality in the breathing zone will be improved and the requirement of the fresh air will be reduced in comparison with conventional air-conditioning systems.

The CFD simulation for isothermal conditions was carried out to compare the age of air and the concentration of contaminant between two types of ventilation systems mentioned earlier.

(1) The age of air at the breathing point (5cm ahead from the mouth of the occupant, 0.6m from the fresh air outlet, FL+1.1m) of the ventilation system by supplying the fresh air directly to the breathing zone is shorter than that of the conventional one to about 55-65%.

(2) The concentration of contaminant at the breathing point of the ventilation system by supplying the fresh air directly to the breathing zone is smaller than that of the conventional one about to 60%.

Keywords : *Fresh Air, Age of Air, Breathing Zone, Ventilation and Air-Conditioning System, Saving Energy, Computational Fluid Dynamics*

新鮮外気、空気齢、呼吸域、換気・空調方式、省エネルギー、数値流体力学

1. はじめに

従来の事務所ビルにおける執務空間等の換気・空調設備設計は、①室内で発生した汚染質を速やかに排出する、②外気により汚染質を希釈し許容濃度以下に保つという2つの原則で行われてきた。前者の排気に関しては室内の汚染質の発生状況を考慮し比較的効率的な排気位置の検討が行われているのに対して、後者の希釈換気の場合には空調空気の循環空気に外気を混入して希釈する方法が一般的であり、効率を考慮しているとは言い難い状況である。

一方、近年換気効率指標の概念が構築され、新鮮外気の室内各点への分配効率や室内の各地点における局所空気交換効率といった指標を用いることにより、従来困難であった室内に供給された外気の分配の状態を定量的に評価することが可能となった。更に近年の計測技術や数値流体解析(CFD)の発達が目覚ましく、換気効率を比較的簡便に精度よく測定¹⁾、予測²⁾することが可能となってきている。

このような状況において、空気調和・衛生工学会規格 HASS102 換気基準・同解説³⁾の改訂では、換気効率を用いた換気設計が提案されている。

本研究では、新鮮外気の分配に着目した高効率換気・空調システムの有効性をCFDを用いて検討する。図1に従来の換気・空調

システムと本研究で対象とする換気・空調システムの概念を示す。図1(a)に代表される従来のシステムでは、前述したように新鮮外気は空調機内で循環空気に混入後室内に供給され、呼吸域以外にも新鮮外気をはほぼ均一に分配してしまう。一方、本研究で提案する図1(b)の方式は外気吹出口を用いて新鮮外気を直接人体の呼吸域に供給するものである。この方式により従来の方式に比較して必要外気量を減少させることが可能と考えられ、換気に関わるエネルギー消費量の削減を図ることができる。更に呼吸域に常に新鮮外気が供給されることにより喫煙など室内で発生する汚染質による室内空気汚染に関しても新たな解決法を提案することが期待できる。

既に Faulkner⁴⁾らは、机に設置した吹出口から直接新鮮外気を供給する手法について検討を行っている。しかしながら、①吹出口の位置に制約を受ける点、②通路などの移動空間への新鮮外気の供給について詳細な検討が行われていない点、③レイアウト変更の際に労力を要する点、④吹出口を机に設けることによるコストの増加などさらに検討を要する点もみられる。

本報では、呼吸域に直接新鮮外気を供給する新たな換気・空調方式を提案し、その有効性をCFDにより検討し、より詳細な実験及び数値解析の基礎的資料を得ることを目的とする。

* 新潟大学大学院自然科学研究科 助教授・工博

** 新潟大学大学院自然科学研究科 大学院生・工修

*** 大成建設㈱技術研究所 工博

**** 県立新潟女子短期大学 講師・博士(工学)

Assoc. Prof., Dept. of Graduate School of Science and Technology, Niigata University, Dr. Eng.

Graduate Student, Dept. of Graduate School of Science and Technology, Niigata University, M. Eng.

Taisei Research Institute, Dr. Eng.

Lecturer, Dept. of Human Life and Environmental Science, Niigata Women's College, Dr. Eng.

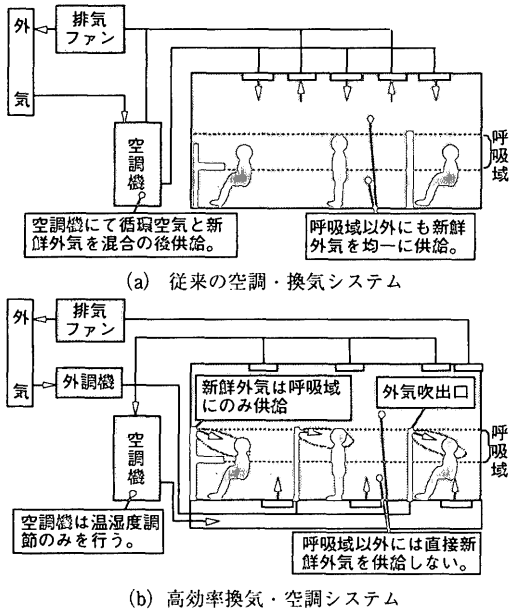


図1 本研究で対象とする高効率換気・空調システム

表1 計算ケース

	空調方式	換気方式
Case 1	天井吹出	循環空気に混入後供給
Case 2	床吹出	〃
Case 3	天井吹出	外気吹出口より直接呼吸域に供給
Case 4	床吹出	〃

(いずれも吸込口は天井に設置)

2. 解析概要

2.1 計算ケース

表1に本研究で検討を行う計算ケースを示す。Case1、2は従来の空調方式でCase1が天井吹出、Case2が床吹出である。Case3、4は呼吸域に新鮮外気を直接供給する外気吹出口を設けた場合で、Case3が天井吹出、Case4が床吹出である。なおいずれのケースも吸込口は天井に設置されている。

2.2 解析モデル

解析では、一般的な事務所ビルのインテリア空間の一部を想定しモデル化を行う。図2に解析対象のメッシュ分割を示す。モデル化において、人体の前方と後方のX面壁、また通路中央部Y面壁の3面については、対称となるようにレイアウトがなされた空間が解析対象領域外に存在しているものと想定する。

2.3 解析内容

表2に計算条件及び境界条件を示す。CFD解析は等温状態について行う。解析内容は、(1)室内で一様に汚染質が発生する場合を想定した空気流分布の算出、(2)室内の特定の位置に汚染源がある場合を想定した汚染物質濃度分布の算出、の2つである。

2.4 解析手順

(1)空気流の解析 はじめに気流場の定常解析を行い、次に新鮮外気にトレーサーガスを混入させて室内の濃度計算を行う。吹出口の濃度は、新鮮外気を循環空気に混入後供給する場合(Case1,2)には、循環空気と新鮮外気の濃度と風量から決定される。外気吹出口から供給する場合(Case3,4)には、外気吹出口からは常に基準化濃度1.0のトレーサーガスを供給し、循環空気吹

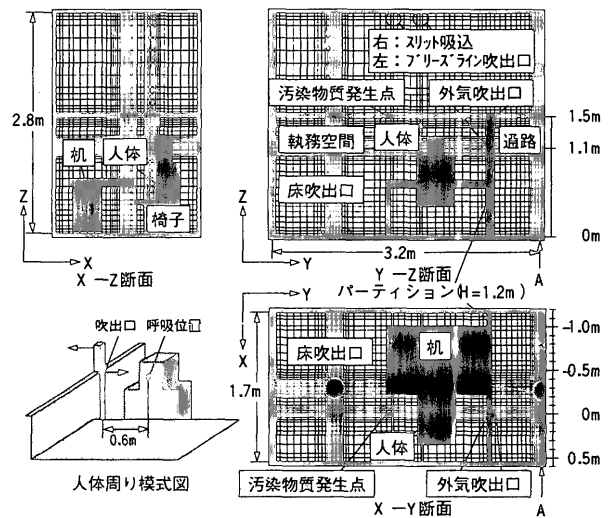
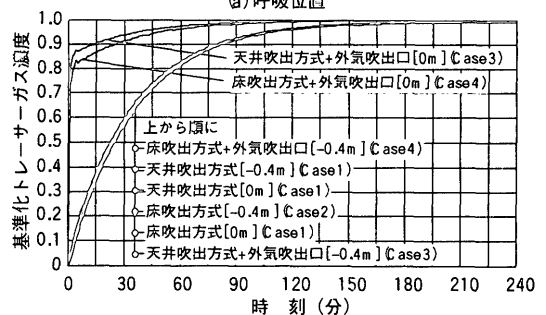
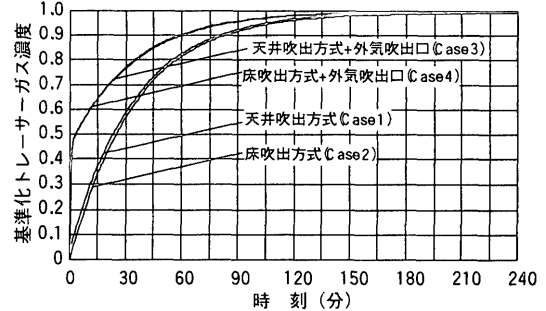


図2 解析対象のメッシュ分割

表2 計算条件及び境界条件

解析メッシュ	47(X)×70(Y)×55(Z)、インテリアの一部を想定、在室者は1人
乱流モデル	標準k-εモデル
解析法	SIMPLE法に基づく有限体積法
差分スキーム	移流項 QUICK
流入境界	$kin = (Uin/10)^2$ $\epsilon in = C\mu \cdot kin^{3/2}/Lin$ Lin=吹出幅 $C\mu=0.09$
境界条件	人体の前方と後方のX面壁、通路側Y面壁は、対称となるようにレイアウトがなされた空間が解析対象領域外に存在しているものと想定しFree Slip。その他は一般化対称則
名目換気時間	新鮮外気 τ : 30m ³ /h 新鮮外気 τ +循環空気 τ : 150m ³ /h。 換気回数: 1.96回/h 循環回数: 9.8回/h 名目換気時間: $\tau n=30.5$ 分。
床吹出口	1ヶ所当りメッシュ分割 10×10 ⁵³ 吹出風 τ 100m ³ /h・個(Case2) 80m ³ /h・個(Case4)
換気タワー (新鮮外気用)	吹出口1ヶ所当りのメッシュ分割: 3×3 7-1本当り2ヶ所の吹出口(執務空間用と通路用)。 在席時間と移動時間が等しい場合を想定しそれぞれ15m ³ /h。 吹出口寸法: 0.058m×0.058m。 想定呼吸域での風速がビル管法に基づき0.5m/s以下となるようUin = 1.24m/sに設定。
天井吹出口	幅0.025mのフリスライン Uin=0.98m/s(Case1)0.78m/s(Case3)
天井吸込口	幅0.025mのスリット吸込 Uout=0.98m/s (Case1-4)



※[]内の値は外気吹出口を原点とした時の位置(図2参照)
図3 各空調・換気方式における呼吸位置及び通路での基準化トレーサーガス濃度の経時変化

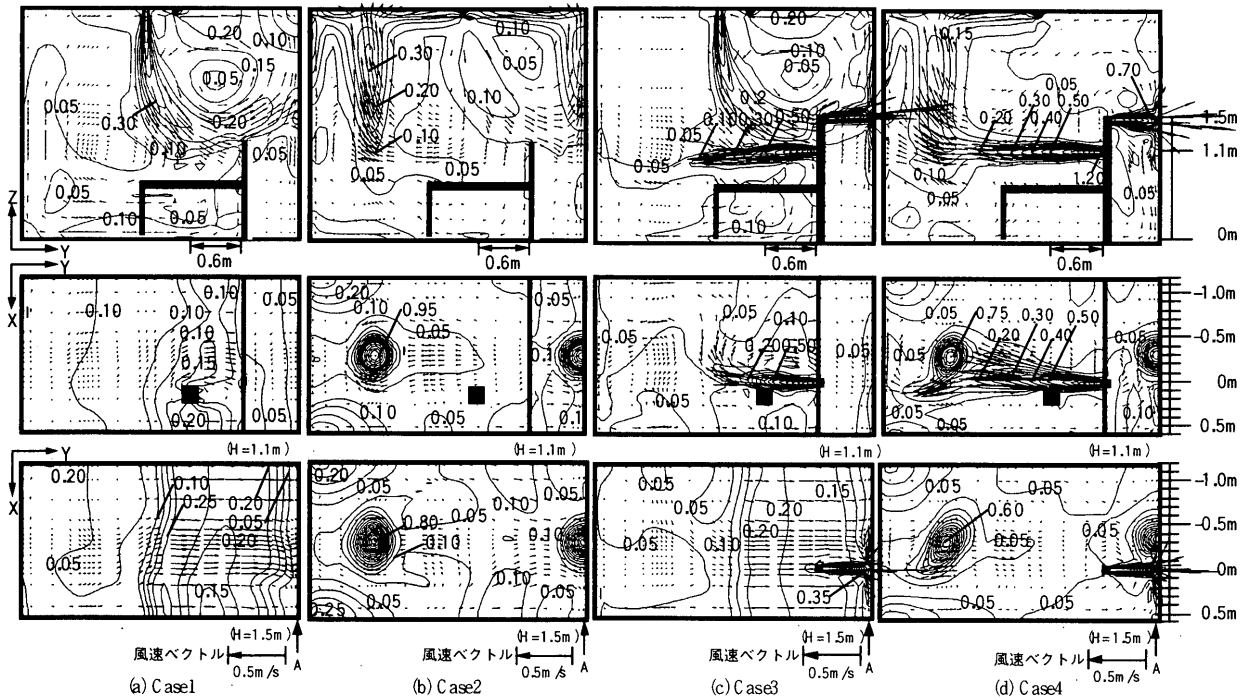


図4 各計算ケースにおける呼吸位置断面及びFL+1.5m平面における風速分布

出口には排気口濃度と同じ濃度を与える。トレーサガス濃度は、循環空気の濃度と室内各点の濃度が同一になるまでタイムステップ 60 秒で非定常計算を行い、濃度上昇の履歴から空気齢を算出する。算出された空気齢と名目換気時間から、村上、加藤ら⁶⁾が提案した SVE3 (=室内各点における空気齢: $\bar{\tau}_p$ / 名目換気時間: τ_n) を算出し室内に供給された新鮮外気の分配を評価する。SVE3 は、換気効率指標の一つであり、値が小さいほど新鮮外気の到達時間が短く換気が効率的に行われ、1.0 の場合は完全混合となる。

本来 SVE3 は、室内に一様に汚染質を発生させ、吹出口から清浄な空気を供給した時に生じる濃度から求める。しかしながら、この手法では、トレーサガス発生から定常に到達するまでの室内各点での濃度の経時変化を把握することができない。本論文では、実験による検証を行う際にトレーサガス濃度の経時変化についても比較が行えるよう、実験的な手法を模した解析を採用している。

(2)室内の特定の位置で汚染物質が発生する場合 立位の在室者が喫煙をしていると仮定し、図2に示すFL+1.5mの位置でトレーサガスを一定量発生させる。解析手順は空気齢の場合と同様に気流場の定常解析を行い、次にトレーサガスを発生させた場合の濃度分布の定常解析を行う。解析で得られた濃度分布は平均排気口濃度で基準化し比較検討を行う。

3. 解析結果

3.1 トレーサガス濃度の経時変化(図3)

図3(a)、(b)に、各空調・換気方式における呼吸位置及び通路FL+1.5m(図2参照、A断面)での基準化トレーサガス濃度の経時変化を示す。なお本報における呼吸位置とは、在室者の口元から5cm前方(執務室側の外気吹出口から0.6mの距離、FL+1.1m)の位置である。直接新鮮外気を呼吸域に供給するための外気吹出口を設置する2つの方式(Case3,4)では、トレーサガス濃度は

呼吸位置及び通路の外気吹出口付近において、ガス発生1分後にはそれぞれ0.4、0.7を越え、その後も速やかに濃度上昇する。両者を比較すると、床吹出方式と併用(Case4)する場合の方が濃度上昇が早い傾向がみられるが、いずれの方式においても呼吸位置では約150分後、また通路の外気吹出口付近では約110分後に99%の濃度に達している。これに対して新鮮外気を循環空気に混入する天井吹出方式の場合(Case1)には、呼吸位置、通路の外気吹出口付近においていずれも約170分、床吹出方式(Case2)の場合には約200分を要している

外気吹出口から0.4m離れた位置では、図3(b)に示すように外気を循環空気に混入する場合と大きな相違はみられない。解析では、外気吹出口の吹出方向は、通路に対して直角の方向にのみ設定しているため、このように通路において外気吹出口近傍とそれ以外の領域での濃度上昇の傾向に違いが生じている。以上の解析結果より、通路のFL+1.5mの領域に均一に新鮮外気を供給するための吹出口の配置、個数、風量などの検討が必要であることが示唆された。

3.2 風速分布(図4)

図4に各計算ケースにおける呼吸位置断面及びFL+1.5m平面での風速分布を示す。呼吸位置での風速は、新鮮外気を循環空気に混入する場合(Case1,2)、いずれの方式でも0.05~0.15m/sである。外気吹出口を設置する場合(Case3,4)、本研究ではビル管法の気流の基準値(0.5m/s以下)に基づき、0.5m/s以下になるように、外気吹出口面積及び吹出風速の条件を設定している。

通路のFL+1.5mの領域において、Case1(新鮮外気を循環空気に混入する天井吹出方式)では、全ての領域で風速は0.25m/s以下である。床吹出方式(Case2)では、床吹出口付近で風速は高いが、それ以外の領域では0.15m/s以下である。Case3(外気吹出口を設置する天井吹出方式)では、通路A断面FL+1.5mの外気吹出口付近の風速は約0.35m/sであるのに対して床吹出方式(Case4)では

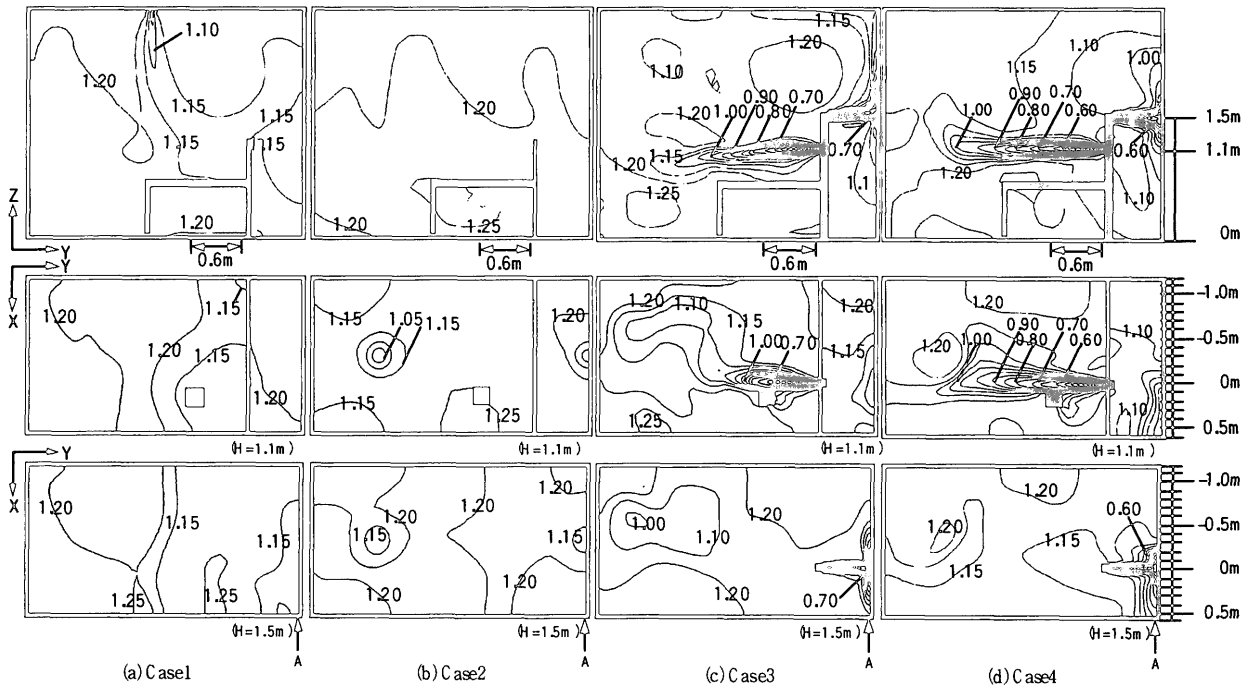


図5 各計算ケースにおける呼吸位置断面及びFL+1.5m平面におけるSVE3分布

0.7m/s と 0.5m/s よりも高い風速となっている。これは近傍にある床吹出口の影響を受けたためと考えられる。外気吹出口から十分離れた領域では、循環空気に外気を混入する場合との相違がほとんどみられない。

3.3 SVE3分布(図5、表3)

図5に各計算ケースにおける呼吸位置断面及びFL+1.5m平面でのSVE3の分布を示す。表3に各計算ケースにおけるSVE3の呼吸位置での値、高さ毎の平均値及び室平均値を示す。

呼吸位置におけるSVE3の値は、新鮮外気を循環空気に混入する天井吹出方式(Case1)では1.12、床吹出方式(Case2)では1.20といずれも1.0を上回っている。これに対して外気吹出口を用いた天井吹出方式(Case3)では0.71、床吹出方式(Case4)では0.65といずれの場合も1.0を大きく下回り、外気吹出口を用いない場合に比較して約55~65%の値を示し効率が良い。

通路のFL+1.5mでのSVE3の値は、新鮮外気を循環空気に混入する2つの方式(Case1,2)ではいずれの領域においても約1.15~1.25を示す。これに対して、外気吹出口を用いた2つの方式(Case3,4)では、通路A断面の外気吹出口付近では約0.4~0.7と循環空気に混入する場合の約30~60%の値を示す。外気吹出口から0.4m離れた地点では新鮮外気を循環空気に混入する場合と大きな相違がみられない。

外気吹出口を用いる場合(Case3,4)、局所的に非常に短い空気齢を示しても、それ以外の領域では、逆に空気齢が長くなることが懸念される。ここで、各計算ケースにおけるFL+1.1m、及びFL+1.5mのSVE3平面分布を比較する。外気吹出口を用いる天井吹出方式の場合(Case3)にSVE3の値が1.25を越える領域が見られるが、循環空気に混入する場合(Case1,2)も同様であり明確な差はみられない。FL+1.0~1.8mでの平均SVE3は、いずれの方式においても1.1~1.2でほぼ同一であり外気吹出口を用いた場合の方が逆に平均SVE3の値が若干低い値を示している。

表3 各計算ケースにおけるSVE3の呼吸位置での値、高さ毎の平均値及び室平均値

	呼吸位置	FL±0-1.0m	FL+1.0-1.8m	FL+1.8-2.8m	室全体
Case 1	1.12	1.17	1.16	1.15	1.16
Case 2	1.20	1.20	1.18	1.16	1.18
Case 3	0.71	1.18	1.16	1.17	1.17
Case 4	0.65	1.17	1.13	1.14	1.15

吹出口、吸込口の配置の影響も考慮する必要があるが、外気吹出口を用いた場合は、空気齢が局所的に短い値を示してもその領域が極めて限定されているため、その他のより広い領域の空気齢に大きな影響を与えない。

3.4 汚染物質を発生させた場合の室内濃度分布(図6、表4)

図6に各計算ケースにおける呼吸位置断面及びFL+1.5mの平面での基準化汚染物質濃度の分布を示す。また表4に各計算ケースにおける基準化汚染物質濃度の呼吸位置での値、高さ毎の平均値及び室平均値を示す。

呼吸位置での基準化汚染物質濃度は、新鮮外気を循環空気に混入する天井吹出方式(Case1)では1.02、床吹出方式(Case2)では1.03といずれも1.0を上回っている。これに対して外気吹出口を用いる天井吹出方式の場合(Case3)では0.59、床吹出方式(Case4)では0.54といずれの場合も1.0を大きく下回り、新鮮外気を循環空気に混入する場合の約60%の濃度となる。

通路のFL+1.5mの領域において、新鮮外気を循環空気に混入する場合(Case1,2)はいずれの方式でも約0.9~1.0を示す。これに対して外気吹出口を用いる天井吹出方式(Case3)では、通路A断面の外気吹出口付近において0.7、床吹出方式(Case4)では0.4といずれも1.0を大きく下回っている。外気吹出口から0.4m離れた位置では、循環空気に外気を混入する場合とほぼ同様の値と

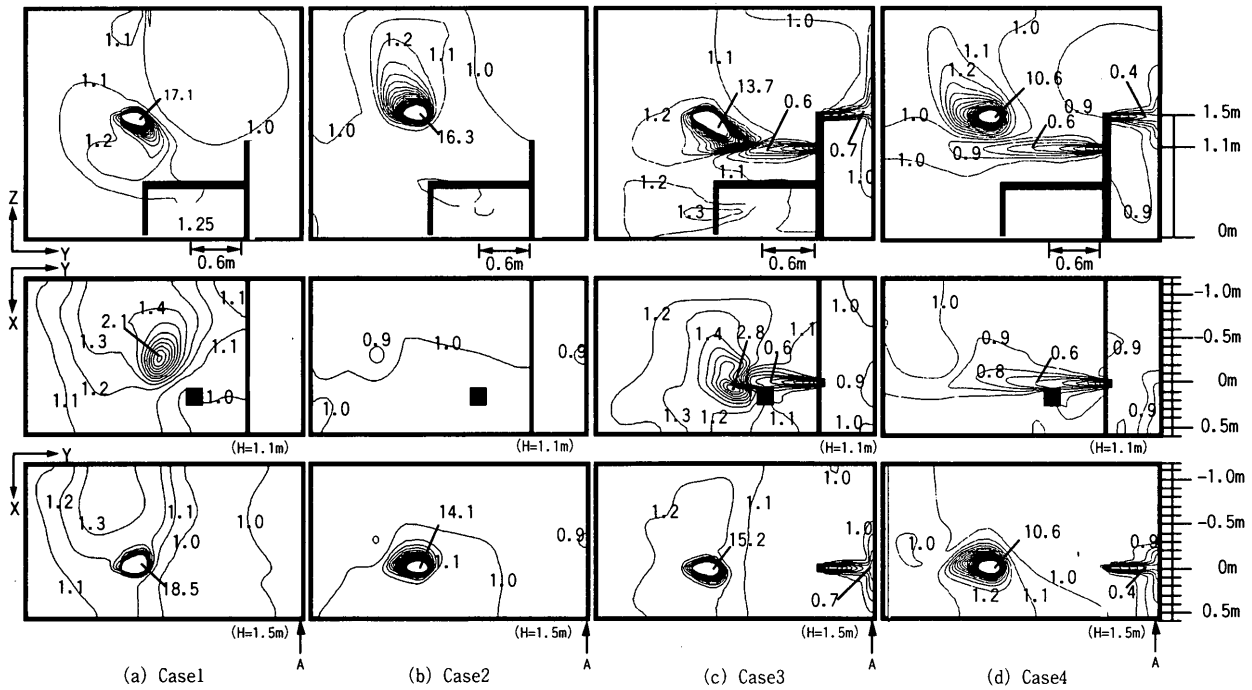


図6 各計算ケースにおける呼吸位置断面及びFL+1.5m平面における基準化汚染物質濃度 (排気口基準)

なる。

基準化汚染物質濃度の高さ毎の平均値及び室平均値は、空調方式が同じ場合には、外気吹出口の有無にかかわらずほぼ同様の値を示す。天井吹出方式(Case1,3)の場合の方が、床吹出方式(Case2,4)の場合よりも高い値を示す。これは汚染物質の発生高さを1.5mに設定したためと考えられる。

SVE3 分布及び汚染物質の濃度分布を検討した結果、新鮮外気を直接呼吸域に供給する方法は、在室者が呼吸する空気質を向上させるために有効な方法であると考えられる。また、呼吸位置の空気質を現状を維持しつつ、外気量を削減し省エネルギーを図るためにも有効であると考えられる。

4. 結論

新鮮外気の分配に着目した高効率換気・空調システムとして、呼吸域に直接新鮮外気を供給する方法を対象として数値解析による検討を行った。解析では等温状態における異なる換気・空調方式についての比較を行った。

- (1)新鮮外気を外気吹出口を用いて呼吸域に直接供給することにより、呼吸位置(在室者の口元から5cm前方、執務室側の外気吹出口から0.6mの距離、FL+1.1m)でのSVE3の値は、新鮮外気を循環空気に混入する場合の約55~65%の値を示す。
- (2)新鮮外気を外気吹出口を用いて呼吸域に直接供給することにより、呼吸位置での汚染物質濃度は、新鮮外気を循環空気に混入する場合の約60%の値となる。
- (3)SVE3 分布及び汚染物質の濃度分布を検討した結果、新鮮外気を直接呼吸域に供給する方法は、在室者が呼吸する空気質を向上させるために有効な方法であると考えられる。また、呼吸位置の空気質を現状を維持しつつ、外気量を削減し省エネルギーを図るためにも有効であると考えられる。

今後は、室内の熱負荷、人体の発熱等の影響を考慮した実大実

表4 各計算ケースにおける基準化汚染物質濃度の呼吸位置高さ毎の平均値及び室平均値(排気口濃度で基準化)

	呼吸位置	FL±0-1.0m	FL+1.0-1.8m	FL+1.8-2.8m	室全体
Case 1	1.02	1.10	1.12	1.04	1.08
Case 2	1.03	0.98	1.00	0.99	0.99
Case 3	0.59	1.13	1.15	1.09	1.12
Case 4	0.54	1.00	0.99	0.98	0.99

験及びより詳細な数値解析を行い、提案する換気・空調方式の有効性と実用化に対する問題点の検討を行う予定である。

注

本論文は、参考文献7、8に新たな内容を加え、再編集したものである。

参考文献

- 1)例えば、加藤光、松本博、増田恵子：居室模型を用いた換気効率の測定法に関する研究 その3 換気流動パターンと換気効率、日本建築学会学術講演会梗概集、pp.713~714、1992.8
- 2)例えば、加藤信介：数値流体力学CFDの室内環境への応用(1)CFDによる室内環境解析の概要、空気調和・衛生工学会、Vol.71 No.6、pp.59~68、1997.6
- 3)空気調和・衛生工学会 空気調和設備委員会換気効率・基準小委員会:HASS102-1995 換気に関するシンポジウム資料、空気調和・衛生工学会、1995
- 4)Faulkner, D., Fisk, W. J., Sullivan, D. P. and Wyon, D. P.: Ventilation Efficiencies of Task/ambient Conditioning Systems with Desk-mounted Air Supplies, Indoor Air 99 Vol.2, pp.356-361,1999.8
- 5)桑原亮一、赤林伸一、水谷国男、佐藤英樹：事務室における空調方式と換気効率に関する検討 建物の空調換気効率に関する研究 建物の空調・換気効率に関する研究 その1、日本建築学会計画系論文集、No.517、pp.29~37、1999.3
- 6)村上周三、加藤信介：新たな換気効率指標と三次元乱流流数值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、pp.91~101、1986.10
- 7)樋渡潔、赤林伸一、森川泰成、船山良幸：新鮮外気の空気齢を考慮した高効率換気・空調システムの開発研究 その1 等温時における効率的な外気分配方法に関する数値解析、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2、pp.647~648、1999.9
- 8)樋渡潔、赤林伸一、森川泰成、坂口淳：新鮮外気の空気齢を考慮した高効率換気・空調システムの開発研究 その2 空調・換気方式が異なる場合の等温時における数値解析、空気調和・衛生工学会学術講演論文集Ⅲ、pp.1153~1156、1999.10

(2000年3月10日原稿受理、2000年7月5日採用決定)