

## 換気タワーを用いた高効率換気システムに関する研究

その1 オフィス空間を対象とした実大実験による空気齢を用いた評価

STUDY ON HIGHLY EFFICIENT VENTILATION SYSTEM  
BY USING VENTILATION TOWER

Part 1 Evaluation of age of air by the full-scale experiment

樋渡 潔\*, 赤林伸一\*\*, 森川泰成\*\*\*, 坂口 淳\*\*\*\*

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

The full-scale experiment was carried out to know advantage of a highly efficient ventilation and air-conditioning system we proposed. In this system, the fresh air is directly supplied to the breathing zone by using the ventilation tower (VTS: the ventilation tower system), considering the efficient distribution of fresh air in a room. The comparison and the examination were carried out on different ventilation and air-conditioning systems.

- (1) The age of air at the breathing point (5cm ahead from the mouth of occupant, 0.6m from the outlet of the ventilation tower) of VTS is about 60% shorter than that of the ventilation system of mixing the fresh air with the return air from the room in the air-handling unit (MS: the mixing system).
- (2) The age of air at the breathing point, around the occupant and in the room space does not change significantly, even if the supplement of fresh air from the ventilation tower is reduced from about 30 (m<sup>3</sup>/h · person) to about 20 (m<sup>3</sup>/h · person).
- (3) The concentration of the contaminant at the breathing point of VTS is about 70% smaller than that of MS.

**Keywords:** Fresh Air, Age of Air, Ventilation Tower, Ventilation and Air-Conditioning System, Saving Energy, Full-Scale Experiment

新鮮外気、空気齢、換気タワー、換気・空調方式、省エネルギー、実大実験

## 1 はじめに

従来のオフィス空間の換気は、空調空気循環に外気を混入して汚染物質濃度を希釈する方法が一般的である。この方式に対して別報<sup>1)</sup>では、外気を呼吸域に直接供給する方式についてCFD(数値流体シミュレーション)による検討を行い、その有効性をある程度確認した。本報では、この方式の有効性を空気齢を評価指標とした実大実験により確認するとともに、今後実施する予定の詳細なCFD解析に用いる境界条件の測定を行い、空調・換気設計を行う際の実用的資料を得ることを目的とする。

## 2 実験概要

## 2.1 空調・換気方式

各空調・換気方式の概念図を図1に示す。図1(a)の方式では、新鮮外気は空調機内部で循環空気に混入された後に室内に供給される。(以下外気空調機混入方式)この方式では、新鮮外気は、呼吸域以外にもほぼ均一に供給されることになる。これに対して図1(b)に示す換気タワーを用いた方式(以下換気タワー方式)では、空調機は室内の温熱環境の調節のみを行う。空調空気は室内居住域に平面分布に温度むらを生じないように供給する。室内の空気環境に関しては、新鮮外気を換気タワー吹出口から供給することにより、新鮮外気の室内全

体への拡散を抑え呼吸域(FL+1.0~1.8m)、特に着座時の執務者及び通路空間に空気齢の若い空気を供給することにより維持する。

## 2.2 実験用チャンバー

図2に実験用チャンバーの概要を示す。実験は大成建設(株)技術研究所内の空調システム実験室を用いて行う。実験用チャンバーの大きさは6.6m×6.4m×2.8m(H)である。容積は実験室内が118.3m<sup>3</sup>、床下チャンバーが12.7m<sup>3</sup>、天井裏チャンバーが67.6m<sup>3</sup>合計198.6m<sup>3</sup>である。実験はインテリア空間を想定し、室内には執務者が6名、OA機器が6台設置されていると仮定する。呼吸域に直接外気を供給する換気タワーを、執務空間と通路にそれぞれ6ヶ所ずつ設置する。着座時の執務者の呼吸高さをFL+1.2m、通路における歩行時の呼吸高さをFL+1.5mと仮定し、換気タワーの吹出口高さを設定する。

## 2.3 室内熱負荷

図3に室内に設置する人体模型とOA機器模型の概要を示す。人体模型は標準的な日本人を参考に体表面積を1.71m<sup>2</sup>に設定する<sup>3)</sup>。OA機器模型は、標準的と考えられるOA機器をモデル化する。これらの模型内にはリボンヒーターを設け、「発熱あり」の実験では発熱体として使用する。模型の内部にはファンを設置し、常時攪拌することで表面温度をほぼ均一とする。冷房実験時の発熱量は、人体模型から420W(70W<sup>4)</sup>×6人)、OA機器模型から1,200W(200W<sup>3)</sup>×6台)、

\* 新潟大学大学院自然科学研究科 大学院生・工修

\*\* 新潟大学大学院自然科学研究科 助教授・工博

\*\*\* 大成建設(株)技術センター建築技術研究所 工博

\*\*\*\* 県立新潟女子短期大学生活科学科 講師・博士(工学)

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

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

Building Engineering Research Institute, Technology Center, Taisei Corporation, Dr. Eng.

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

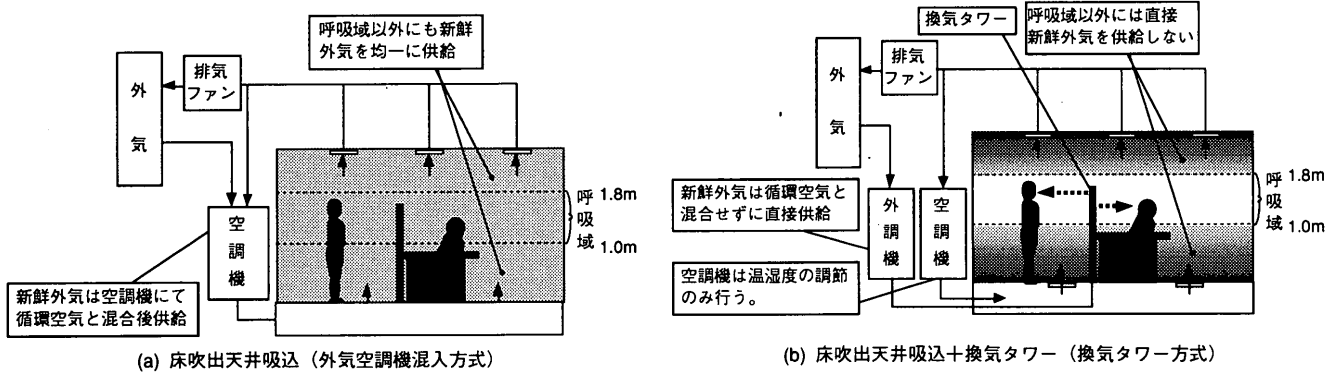


図1 各空調・換気システムの概要

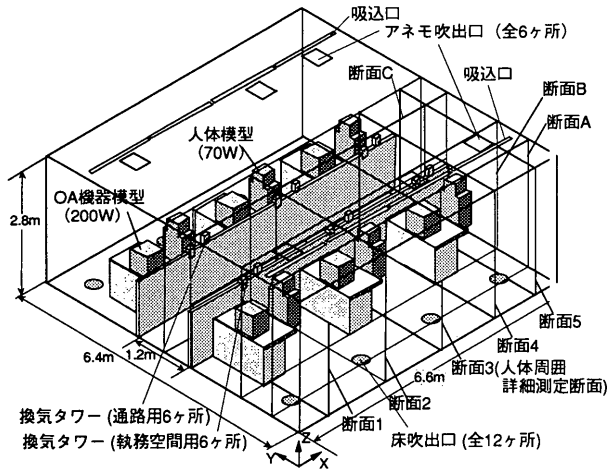


図2 実大実験に用いた実験室

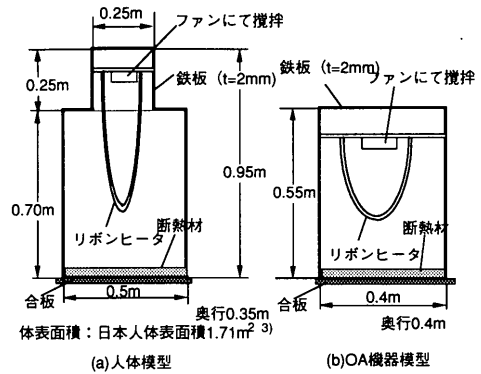


図3 人体模型及びOA機器模型概要

照明から480W、合計2,100Wである。

実験用チャンバーの周囲には温度制御可能な隣室チャンバーが設置されている。本実験では対象空間をインテリアと想定しており、隣室は空調された空間と仮定し、隣室チャンバーの温度は室温と同一に設定する。

2.4 実験ケース及び評価項目

表1に実験ケースを示す。Case1~7は室内で一様に汚染物質が発生する場合を想定した空気齢による評価、Case8,9は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による評価を行う実験ケースである。Case1,2は、「発熱なし」の実験ケース、Case3~9は「発熱あり」(冷房時)の実験ケースである。「発熱あり」の実験では、FL+1.2mの室温を26℃に設定し、換気タワーからの供給外気温度も室温と同一の26℃とする。

外気空調機混入方式については、天井吹出方式(アネモ吹出口、Case3)、床吹出方式(Case1,4,8)について行う。換気タワー方式(Case2,5~7,9)については、空調は床吹出方式について行う。

換気タワー方式は、基本的に執務者への新鮮外気の供給という点で優れた方式と考えられる。この点を踏まえた上で、新鮮外気量を減らした場合の換気性状についても検討を行う。実験時の外気量は、空調衛生工学会が推奨する30m<sup>3</sup>/h・人を基準とし(Case5)、20m<sup>3</sup>/h・人(Case6)、10m<sup>3</sup>/h・人(Case7)と減少させた場合についても検討を行う。床下及び天井裏チャンバーを含めた場合の換気回数は、外気量が30m<sup>3</sup>/h・人の時(180m<sup>3</sup>/h)、0.9回/hである。

室内に供給される風量は、循環風量(1,200m<sup>3</sup>/h)と外気量(180m<sup>3</sup>/h)をあわせて1,380m<sup>3</sup>/hとする場合を基本とする(循環回数=11.7回/h)。

2.5 換気タワーの風量及び吹出風速

実験では執務者の滞在時間が執務空間と通路で同様と仮定し、それぞれの換気タワーからの供給外気量を等しく設定する。換気タワーの

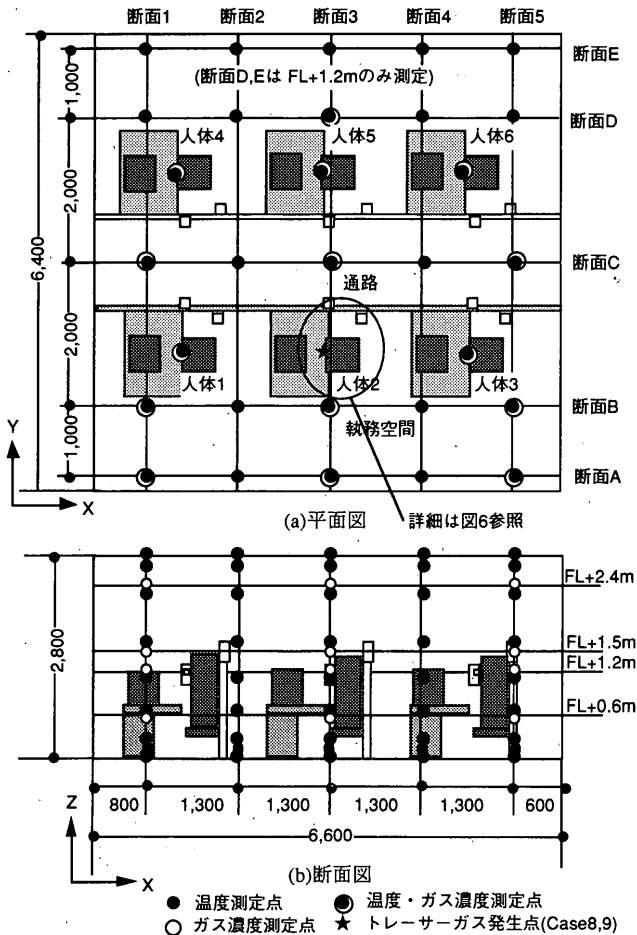
表1 実験ケース

実験ケース	測定項目	室内発熱	空調		換気				
			吹出位置・	設定循環風量 ()内は実風量** (m <sup>3</sup> /h)	換気方式	設定外気量 ()内は実風量 (m <sup>3</sup> /h) [(m <sup>3</sup> /h・人)]			
Case1	空気齢	発熱なし	床	1,380(1,387)	空調機内部で循環空気と混入	180(187.8) [30(31.3)]			
Case2			床	1,200(1,200)	換気タワーより直接供給	180(194.4) [30(32.4)]			
Case3			天井	1,380(1,341)	空調機内部で循環空気と混入	180(187.8) [30(31.3)]			
Case4		人体、OA機器、 照明発熱あり		床	1,380(1,397)	空調機内部で循環空気と混入	180(189.6) [30(31.6)]		
Case5				床	1,200(1,221)	換気タワーより直接供給	180(198.0) [30(33.0)]		
Case6				床	1,200(1,200)	換気タワーより直接供給	120(145.8) [20(24.3)]		
Case7				床	1,200(1,190)	換気タワーより直接供給	60(72.6) [10(12.1)]		
Case8				汚染物質濃度		床	1,380(1,366)	空調機内部で循環空気と混入	180(189.6) [30(31.6)]
Case9						床	1,200(1,200)	換気タワーより直接供給	180(193.2) [30(32.2)]

\*いずれの実験ケースも吸込口は天井に設置  
\*\*実風量は、給気ダクトにおけるトレーサガス濃度より求める。

表2 測定項目及び測定装置

測定項目	測定装置
ガス濃度	マスフローコントローラー マルチガスモニター (B&K社製: 1302, 1303, 1309, 1312)
換気タワー風量	オリフィス 多点微差圧計 (共和電業製: F94-2011)
温度	CC熱電対記録計 (横河電機製: DR230)



人体2を除く人体呼吸位置のガス濃度の測定は、Case8, 9のみ  
人体2周囲のガス濃度の測定は、Case1~7のみ行う。  
図4 実験用チャンバーの平面図、断面図及び測定点

風量は、換気タワーの立ち上がりダクト内に設けたオリフィスの前後差圧から求める。換気タワーの吹出風速、吹出面積は、ビル管理法の基準を参考に、人体に到達する位置での風速が0.5m/s以下となるように、別報<sup>1)</sup>の解析結果に基づき設定する。換気タワーの風量を減少させた実験では、その風量に比例して吹出口の面積を小さくし、人体に到達する位置での風速がほぼ0.5m/sになるように設定する。

2.6 測定方法及び測定位置

表2に測定項目及び測定装置を示す。測定は、トレーサーガス濃度と温度について行う。トレーサーガスは、マスフローコントローラーを用いて一定量発生させ、マルチガスモニター (B&K社製) を用いて濃度の経時変化を測定する。温度の測定は、トレーサーガス濃度の測定期間中行う。図4に実験用チャンバーの平面図、断面図と温度、トレーサーガスの濃度測定点、発生点を示す。図5に系統図及びダクト内温度、トレーサーガスの濃度測定点、発生点を示す。図6に詳細に濃度を測定した人体2周囲の温度、トレーサーガスの濃度測定点、発生点を示す。室内は通路 (断面C) をはさんで対称となるようにし、

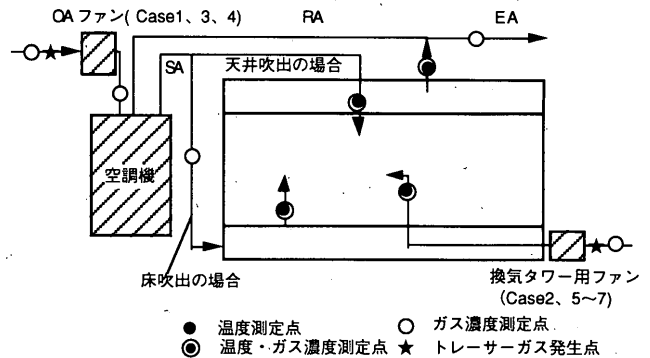
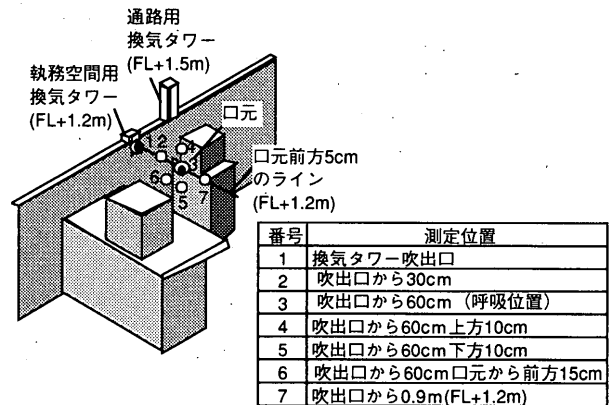


図5 空調系統図及び測定点



番号	測定位置
1	換気タワー吹出口
2	吹出口から30cm
3	吹出口から60cm (呼吸位置)
4	吹出口から60cm上方10cm
5	吹出口から60cm下方10cm
6	吹出口から60cm口元から前方15cm
7	吹出口から0.9m (FL+1.2m)

○ ガス濃度測定点 ● 温度・ガス濃度測定点  
Case8, 9においては、3の位置での喫煙を想定し、トレーサーガスを発生させる。また、3以外の位置では、測定装置の許容範囲を超える高濃度になることも予想されたため測定を行わない。

図6 人体2周囲の測定点

表3 局所平均空気齢<sup>9)</sup>とSVE3<sup>9)</sup>の算出方法

- 局所平均空気齢:  $\tau_p$   
 ステップアップ法  $\tau_p = \int_0^{t_0} \left(1 - \frac{C_p(t)}{C_p(t_0)}\right) dt \dots (1)$   
 ステップダウン法  $\tau_p = \int_0^{t_0} \left(\frac{C_p(t)}{C_p(t_0)}\right) dt \dots (2)$   
 ここで、  
 $C_p(t)$ : トレーサーガス放出 (停止)  $t$  秒後の各測定点のガス濃度 (ppm)  
 $C_p(t_0)$ : トレーサーガス定常濃度 (ppm)  
 $t_0$ : トレーサーガス濃度が定常に到達した時刻 (分)
- SVE3 (Scale for Ventilation Efficiency 3)  
 $SVE3 = \frac{C_X(X)}{C_s} = \frac{\tau_p}{\tau_{EA}} \dots (3)$   
 ただし、 $C_s = \frac{q}{Q}$   
 ここで、  
 $q$ : 汚染源の汚染質発生量 (kg/s)  
 $Q$ : 換気量 (m<sup>3</sup>/s)  
 $C_X(X)$ : 室内一様に総量  $q$  の汚染質発生がある場合の X 点の濃度 (kg/m<sup>3</sup>)  
 $C_s$ : 瞬時一様拡散濃度 (kg/m<sup>3</sup>)  
 $\tau_{EA}$ : 排気口での局所平均空気齢 (分)
- 高さ毎の空間平均SVE3<sub>z</sub>、呼吸域高さ平均空気齢SVE3<sub>h</sub>  
 $SVE3_z = \sum_{k=1}^n SVE3(k) \times \frac{V(k)}{V_z} \dots (4)$      $SVE3_h = \sum_{l=1}^m SVE3(l) \times \frac{A(l)}{A_h} \dots (5)$   
 ここで、  
 $V(k)$ : 対象領域内の各測定点が受け持つ容積 (m<sup>3</sup>)  
 $V_z$ : 対象領域の容積 (m<sup>3</sup>)  
 $A(l)$ : 対象領域内の各測定点が受け持つ面積 (m<sup>2</sup>)  
 $A_h$ : 対象領域の面積 (m<sup>2</sup>)  
 $n, m$ : 測定点数

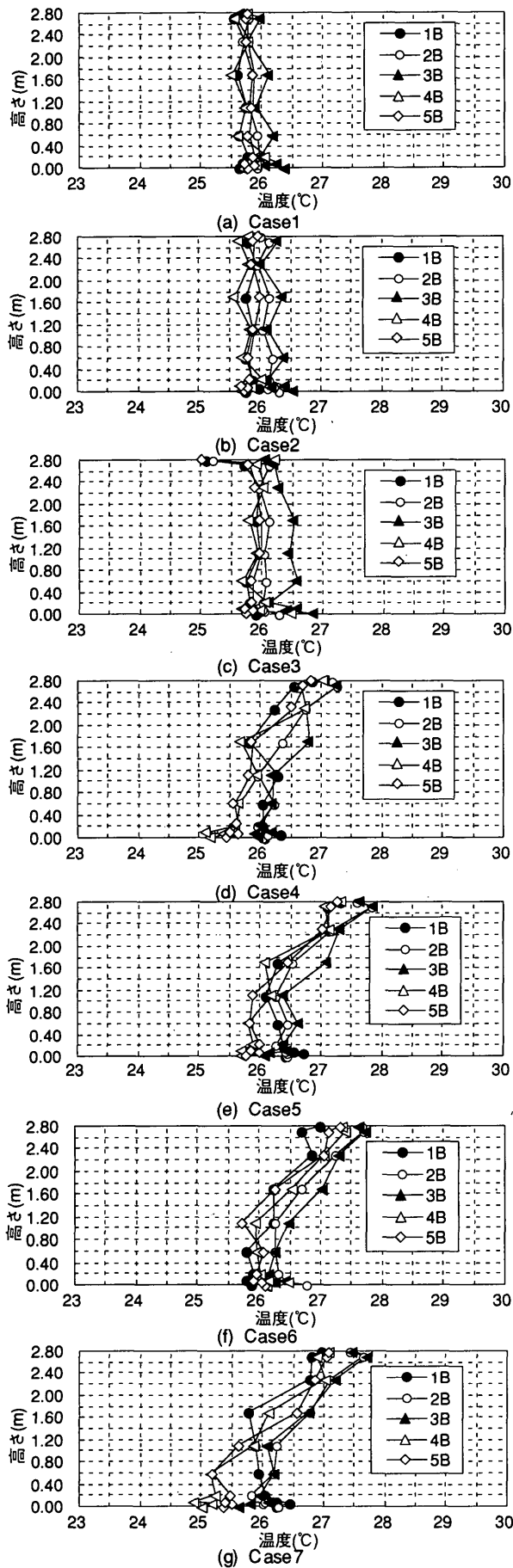


図7 各実験ケースの垂直温度分布 (測定点1B~5B)

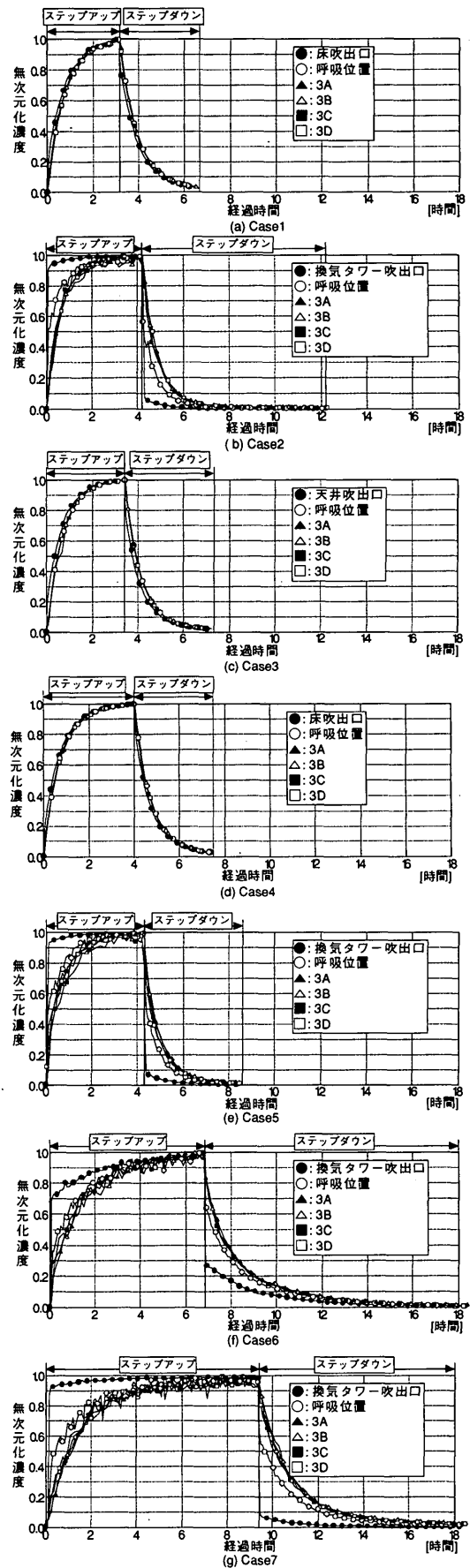


図8 各実験ケースにおけるトレーサーガス濃度の経時変化 (FL+1.2m)

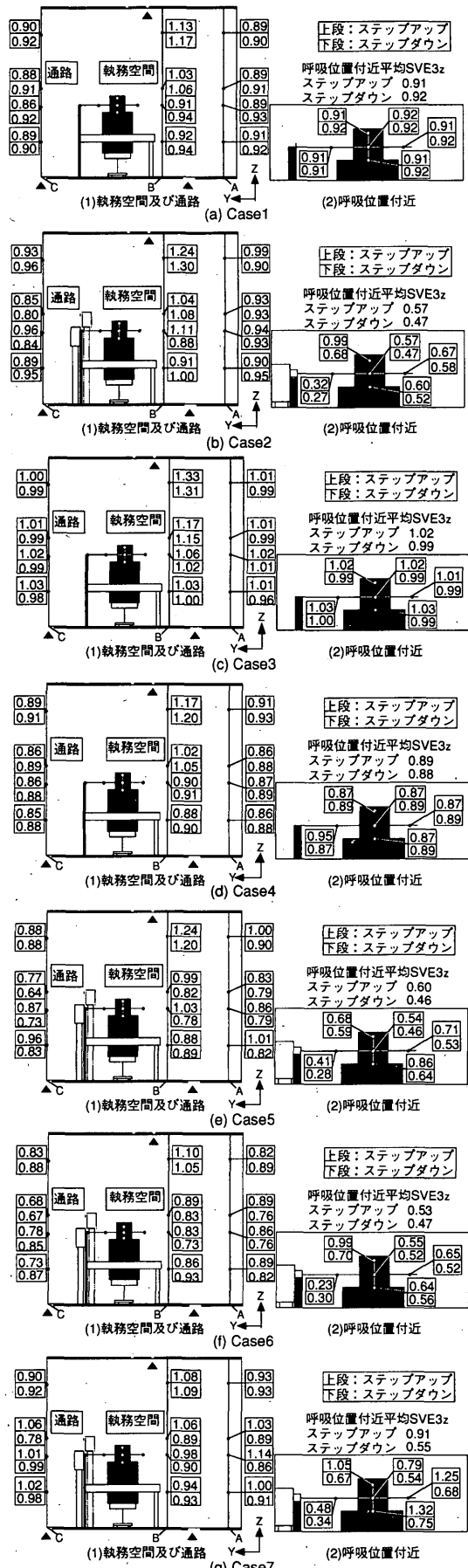


図9 各実験ケースにおける断面3でのSVE3布

半分の領域について詳細に測定を行う。トレーサガス濃度は、室内については、FL+0.6m、1.2m、1.5m、2.4mの高さで、更に給気ダクト(SA)、吹出口、還気ダクト(RA)、排気ダクト(EA)、空調機及び換気タワーの外気取入ダクトのガス注入位置の前後で測定する。人体周囲の測定は、空気齢による評価を行う場合は、6体の内の1体(人体2)について詳細に測定する。執務側吹出口から60cmの距離、人体前方5cm、FL+1.2mの高さの地点(図6測定位置3)を呼吸位置とする。

### 2.7 実験手順及び評価手順

#### (1) 空気齢による評価 (Case1~7)

実験では、トレーサガス(SF<sub>6</sub>)を、空調機の外気取入ダクト内(Case1,3,4)、または換気タワーの外気取入口(Case2,5~7)に、50cc/min.(但しCase7のみは計測可能な濃度の上限を越えるために18cc/min.)の割合で注入する。すべての測定点のガス濃度の上昇率が1時間前と比べて8%以下となるまで室内濃度変化の測定を行う(ステップアップ)。その後、ガスの放出を停止し、各測定点のガス濃度がガス停止時濃度の5%以下となるまで濃度減衰を測定する(ステップダウン)。

換気効率 $\tau$ は、Sandberg, Sjöberg<sup>9)</sup>の提案した局所平均空気齢に基づき、村上、加藤<sup>6)</sup>の提案したSVE3を用いて評価する。表3に本論文で用いた局所平均空気齢、SVE3、空間平均SVE3<sub>Z</sub>と高さ毎の面積平均SVE3<sub>Z</sub>の算出方法を示す。なお名目換気時間には、実験室の漏気の影響を考慮し排気口の局所平均空気齢 $\tau_{EA}$ を用いる。

#### (2) 基準化汚染物質濃度分布による評価 (Case8,9)

人体2が喫煙している場合を想定し、図6に示す人体2の3の位置から50cc/min.のトレーサガス(SF<sub>6</sub>)を発生させる。室内が定常となった時点のトレーサガス濃度から基準化汚染物質濃度(各測定点の濃度/排気口での濃度)を求める。

## 3 実験結果及び考察

### 3.1 温度分布 (図7)

図7に各実験における垂直温度分布(1B~5Bの位置)を示す。(なおCase8,9については、それぞれCase4,5と同一の設定条件であり、ほぼ同様の垂直温度分布を示すため省略する。)[発熱なし]の実験(Case1,2)では、いずれの測定点も26℃±0.5℃の範囲であり、ほぼ等温である。[発熱あり](冷房)の実験では、FL+1.2mで26℃付近の温度となるように空調機を制御し、いずれのケース(Case3~case9)においても、ほぼ26℃±0.5℃の範囲に入る。

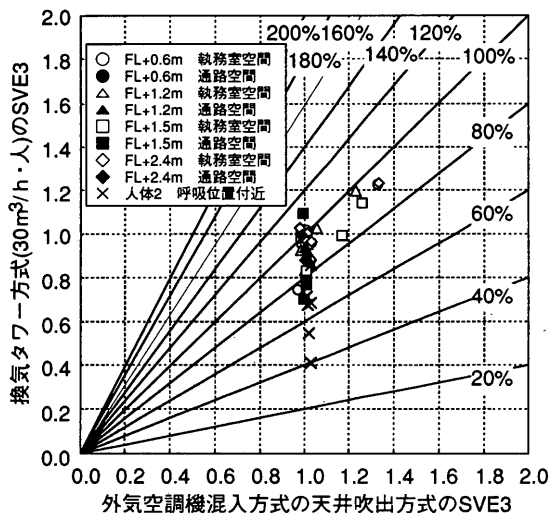
### 3.2 空気齢による評価

#### (1) トレーサガス濃度経時変化 (図8)

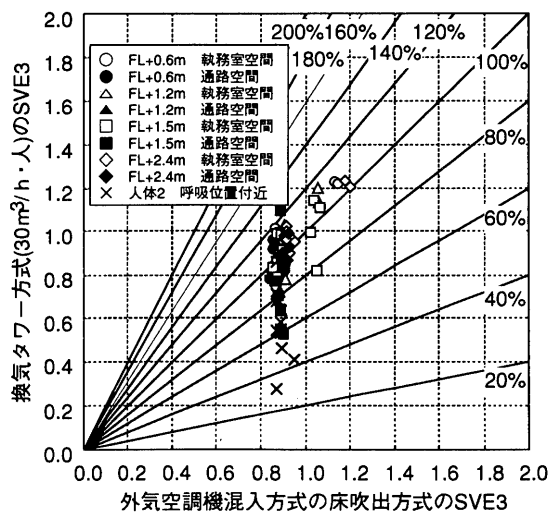
図8に各実験ケースのトレーサガス濃度の経時変化(FL+1.2m)を示す。

##### ① 外気空調機混入方式 (Case1,3,4)

[発熱なし]における外気空調機混入方式の床吹出方式(Case1)では、吹出口の濃度上昇がわずかに速いものの、どの測定点も同様の濃度上昇の傾向を示す。ステップアップ法、ステップダウン法いずれの場合も約180分で定常に到達する。この濃度上昇の傾向は、温度状態の相違([発熱なし](Case1)、[発熱あり](Case3,4))、吹出位置の相違(天井吹出方式(Case3)と床吹出方式(Case1,4))によらず、外気空調機混入方式の場合にはほぼ同様である。



(a) 外気空調機混入方式の天井吹出方式 (Case3) と換気タワー方式 (Case5)



(b) 外気空調機混入方式の床吹出方式 (Case4) と換気タワー方式 (Case5)

図10 外気空調機混入方式の天井吹出方式、床吹出方式と換気タワー方式 (30m³/h・人) の比較

②換気タワー方式 (Case2,5~7)

「発熱なし」における換気タワー方式 (Case2) では、呼吸位置でのトレーサガス濃度の上昇はガス発生直後から他の室内の測定点に比べて速い。この傾向は「発熱あり」の場合 (Case5~7) においても同様にみられる。

ステップアップ法において、換気タワー吹出口のトレーサガスの濃度は、ガス発生後は一定の値を保つことが望ましい。しかしながら、本実験では、実験チャンパー内から換気タワーを設置した隣室チャンパーへの漏気があり、そのため実験開始後隣室チャンパー内のトレーサガス濃度は徐々に上昇する。実験では、換気タワー用の新鮮外気として隣室チャンパー内の空調空気を使用したため、図7 (f) Case6で顕著にみられるように、換気タワー吹出口の濃度 (●印) も徐々に増加する。そこで、各測定点の局所平均空気齢は、漏気の影響を補正するために、換気タワー吹出口の局所平均空気齢をゼロとして求めている。例えば、漏気等により換気タワー吹出口で局所平均空気齢の測定結果が5分、測定点pで45分となる場合、補正により、換気タワー吹出口の局所平均空気齢は5分-5分=0分、測定点pでは45分-5分=40分となる。

(2) SVE3 (図9)

図9に各実験ケースにおける断面3でのステップアップ法とステップダウン法によるSVE3の値の分布を示す。また、呼吸位置付近の平均SVE3の値も示す。

①外気空調機混入方式の床吹出方式 (Case1,Case4)

「発熱なし」の外気空調機混入方式の床吹出方式 (Case1) では、ステップアップ法、ステップダウン法によるSVE3の値の相違はほとんどみられない。SVE3の値は、天井付近で1.1以上を示す測定点があるものの、ほぼ0.90付近の値を示す。この傾向は、「発熱あり」の場合 (Case4) においても同様である。呼吸位置付近でのSVE3の値も室内の測定点と同様である。

②外気空調機混入方式の天井吹出方式 (Case3)

「発熱あり」の外気空調機混入方式の天井吹出方式 (Case3) では、SVE3の値は床吹出方式に比べて大きくなるものの、同様に呼吸位置付近、室内の値に相違はみられない。

③換気タワー方式 (Case2,5~7)

「発熱なし」の換気タワー方式 (Case2) では、SVE3の値は呼吸位置においてはステップアップ法では0.57、ステップダウン法では0.47を示し、室内の測定点での値 (約0.9) に比べて相対的に小さい値を示す。呼吸位置の値は、外気空調機混入方式の床吹出方式 (Case1) と比較して約60%の値である。呼吸位置付近平均のSVE3<sub>2</sub>の値はそれぞれ0.57、0.47である。

「発熱あり」の場合 (Case5、6) についても、SVE3の値は同様の傾向を示す。外気量が30m³/h・人の場合 (Case5)、呼吸位置でのSVE3の値は、ステップアップ法では0.54、ステップダウン法では0.46を示し、外気空調機混入方式の床吹出方式 (Case4) の約60%の値である。

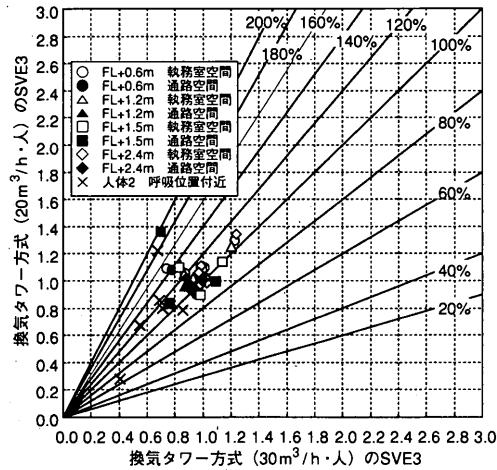
換気タワー方式の全ての実験ケースにおいて、呼吸位置付近において、ステップダウン法でのSVE3の値は、ステップアップ法での値に比べて明らかに小さい値を示している。これは、先に述べた実験用チャンパーと隣室チャンパーとの間の漏出漏入の影響を受けているためと考えられる。そのため、以下の検討は、全てより漏気の影響の少ないステップアップ法の結果に基づいて行う。

(3) 外気空調機混入方式 (Case3,4) と換気タワー方式 (Case5) の比較 (図10)

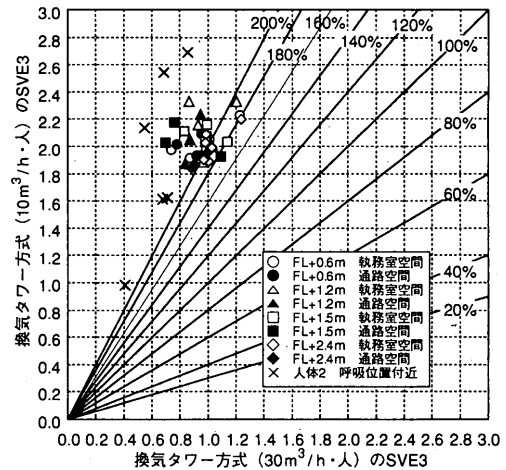
「発熱あり」における外気空調機混入方式の天井吹出方式 (Case3)、床吹出方式 (Case4) と換気タワー方式 (Case5) のSVE3の値を比較する。図10 (a) に外気空調機混入方式の天井吹出方式 (Case3) と換気タワー方式 (Case5) の比較を示す。呼吸位置付近 (×印) 及び通路のFL+1.5m (■印) のSVE3の値は、天井吹出方式の場合では1.0付近に値を示すのに対して、換気タワー方式では、1.0以下の値を示す測定点が多くみられる。その他の室内の測定点の値については、両者ともほぼ同様の傾向を示す。図10 (b) に示す床吹出方式 (Case4) と換気タワー方式 (Case5) とを比較した場合についても呼吸位置及び通路のFL+1.5mでは、天井吹出方式 (Case3) と同様の傾向がみられる。

(4) 高さ毎の空間平均SVE3<sub>2</sub>、FL+1.2m、1.5mの面積平均SVE3<sub>3</sub>、室平均SVE3<sub>2</sub> (表4)

各実験ケースの、呼吸位置のSVE3、高さ毎及び室の空間平均SVE3<sub>2</sub>、FL+1.2m、1.5mの面積平均SVE3<sub>3</sub>を表4に示す。換気タワー付近の詳細な測定は、人体2のみで行っているが、ここでは他の人体の呼吸位置と通路の換気タワー付近は人体2周囲と同様の性状である



(a) 外気量が 30m³/h・人と 20m³/h・人の場合の比較



(b) 外気量が 30m³/h・人と 10m³/h・人の場合の比較

図 11 換気タワーの外気量を減少させた場合の比較 (30m³/h・人の場合の  $\tau_{EA}=38.8$  分を基準とする)

表 4 各実験ケースにおける呼吸位置での SVE3、高さ毎の SVE3<sub>z</sub>、SVE3<sub>h</sub> 値及び室の SVE3<sub>z</sub> の値\*

	SVE3	SVE3 <sub>z</sub>				SVE3 <sub>h</sub>		
		呼吸位置	FL±0-1.0m	FL+1.0-1.8m	FL+1.8-2.8m	室全体	FL+1.2m(執務空間のみ)	FL+1.5m(通路のみ)
Case1	0.92	0.94	0.93	0.96	0.95	0.93	0.85	0.95
Case2	0.57	0.98	1.00	1.04	1.01	1.02	0.82	0.98
Case3	1.02	1.06	1.06	1.08	1.07	1.06	0.95	1.07
Case4	0.87	0.92	0.91	0.97	0.94	0.92	0.83	0.93
Case5	0.54	0.97	0.97	1.03	0.99	1.00	0.79	0.97
Case6	0.55	0.87	0.86	0.89	0.87	0.85	0.78	0.84
Case7	0.79	0.99	1.00	0.99	0.99	1.02	0.94	1.00

\*換気タワー付近の詳細な測定は、人体2周囲のみで実施。他の人体の呼吸位置と通路の換気タワー付近は人体2周囲と同様の性状であると仮定し算出。

と仮定し計算を行っている。FL+1.0~1.8mの空間平均 SVE3<sub>z</sub> は、外気空調機混入方式の床吹出方式 (Case1、4) では約 0.9、天井吹出方式 (Case3) では 1.06 を示し、換気タワー方式 (30m³/h・人) (Case2、Case5) も約 1.0 とほぼ同様の値を示す。FL+1.2m (執務空間のみ)、FL+1.5m (室全体) についても同様の傾向を示す。FL+1.5m (通路のみ) については、吹出口、パーティション配置の影響のため、いずれの方式においても低い値を示しているが、方式による相違はほとんどみられない。

(4) 換気タワーの外気量を減少させた場合 (Case3~5, 図 11)

図 11 に換気タワーの外気量が 30m³/h・人の場合 (Case5) を基準として外気量を 20m³/h・人 (Case6) 及び 10m³/h・人 (Case7) に外気を減少させた場合の SVE3 の値を示す。なお 20m³/h・人、10m³/h・人の SVE3 は、すべて 30m³/h・人の排気口の局所平均空気齢  $\tau_{EA}$  により基準化している。

外気量を 20m³/h・人 (Case6) まで削減した場合の SVE3 の値は、執務空間、通路の数カ所の測定点では大きくなるものの、その他の室内空間は 30m³/h・人の場合 (Case5) に比較して値に大きな相違はみられない。呼吸位置付近については、SVE3 の値はほとんどの測定点で 1.0 を下回っている。外気量を 10m³/h・人 (Case7) まで削減した場合、SVE3 の値は明らかに大きくなり、約 2 前後となる。

外気量を 10m³/h・人に減少させた場合に、呼吸位置付近の測定点ではばらつきが大きくなるのは、換気タワー吹出口から供給される新鮮外気の影響範囲が小さくなり、測定点が影響範囲の境界となったためと考えられる。また、呼吸位置付近以外の空間において SVE3 の値が大きくなるのは、①吸込口が換気タワーに比較的近い天井にレ

アウトされたこと、②影響範囲の小さくなった新鮮外気の気流が、人体、OA 機器の発熱により生じるブリュームの影響をより受けやすくなったこと、によりショートサーキットを生じているものと考えられる。

換気タワー方式は、冒頭においても述べたように呼吸域に新鮮外気を供給することを意図しており、中でも着席した執務者の呼吸位置付近と通路空間 (FL+1.5m) に新鮮外気を供給することに重点を置いている。よって、外気量を削減した場合、執務者が立ち上がり、通路空間等へ移動するなどの行為により、座席以外の執務空間に滞在する場合には、執務者が名目換気時間よりも老いた空気を呼吸することも予想される。

しかしながら、事務室にも様々な利用のされかたがあり、例えば執務者が大半の時間着席している事務室で、座席以外の執務空間に執務者が滞在する時間が短いという事務室の利用のされ方であれば、新鮮外気量を削減したとしても、長期的にみた場合執務者が呼吸する空気質はほぼ現状を保つことができることも予想される。換気タワー方式は、このような事務室に対する換気方式の提案の 1 つと位置付けられる。

3.3 汚染物質濃度分布による評価 (図 12)

「発熱あり」の外気空調機混入方式の床吹出方式 (Case8) と換気タワー方式 (30m³/h・人, Case9) で、人体 2 の呼吸位置で喫煙を想定したトレーサガスを発生させた場合の FL+1.2m 及び断面 3 の基準化汚染物質濃度分布を 図 12 に示す。

基準化汚染物質濃度は、外気空調機混入方式の床吹出方式 (Case8) の場合、天井付近を除くいずれの測定点でも約 0.8 の値を示し、ほぼ

均一に汚染物質が拡散している。換気タワー方式 (Case9) では、汚染物質濃度に分布が生じる。執務空間のトレーサガスの散布位置付近では、基準化汚染物質濃度は、2.0~3.5と高い値を示すのに対して、呼吸位置では0.5~0.7と低い値を示す。呼吸位置5カ所の基準化汚染物質濃度の平均値は、外気空調機混入方式の床吹出方式 (Case8) の場合0.87であるのに対して、換気タワー方式 (Case9) では約70%の0.62である。

執務空間において、換気タワー方式は外気空調機混入方式よりも基準化汚染物質濃度が高い値を示している。これは、換気タワーの吹出気流の影響が強く室全体に拡散することなく、発生源の側の執務空間に汚染物質が押さえ込まれているためと考えられる。

#### 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、換気タワーを用いて呼吸域に直接外気を供給する方法を対象として、実大実験を行った。実験では、異なる換気・空調方式について比較検討を行った。

- (1) 新鮮外気を直接呼吸域に供給することにより、呼吸位置 (図6参照) でのSVE3の値は、空調機に新鮮外気を混入する方式と比較して、約60%の値となる。
- (2) 換気タワーからの外気供給量を30m<sup>3</sup>/h・人から20m<sup>3</sup>/h・人に削減した場合の呼吸位置、人体周り、及び室内空間のSVE3の値に大きな相違はみられない。
- (3) 新鮮外気を直接呼吸域に供給することにより、呼吸位置 (図6参照) での汚染物質濃度は、空調機に新鮮外気を混入する方式と比較して、約70%の値となる。
- (4) SVE3分布及び汚染物質濃度の分布を比較した結果、新鮮外気を換気タワーを用いて直接呼吸域に供することは、居住者に新鮮な外気を供給す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のまま維持しつつ、外気量を削減し省エネルギーをはかる上でも有効な手法と考えられる。

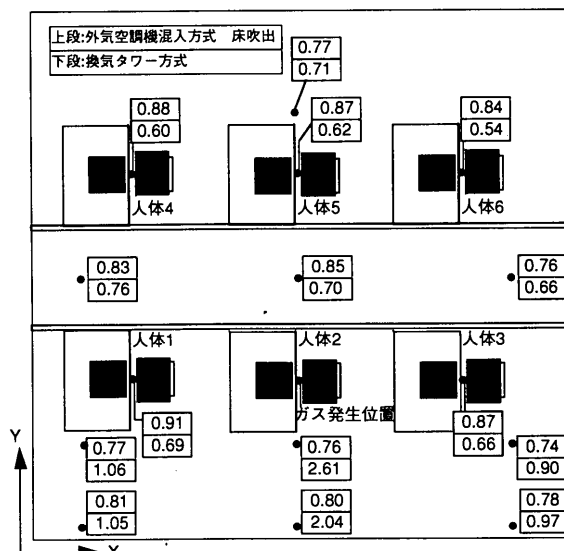
今後は、数値解析により詳細に検討を進め実用化に対する問題点をさらに検討するとともに、換気タワー方式の適用範囲を明らかにするため、様々な用途の事務室における執務者の行動パターンを把握する予定である。

#### 謝辞

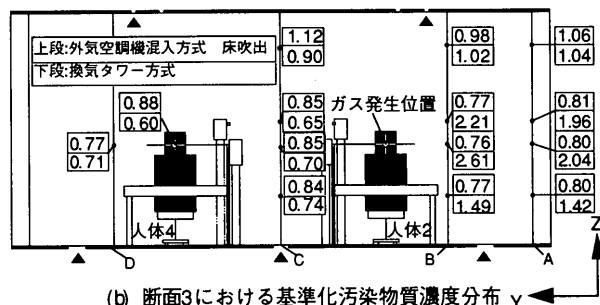
実験にあたり、三建設備工業 (株) 桑原亮一氏、東京ガス (株) 大森俊明氏、(株) 間組須山喜美氏、三井建設 (株) 長谷川功氏、武蔵工業大学近藤靖助教授よりご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

#### 参考文献

- 1) 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



(a) FL+1.2mにおける基準化汚染物質濃度分布



(b) 断面3における基準化汚染物質濃度分布

図12 喫煙を想定した場合の基準化汚染物質濃度の比較  
外気空調機混入方式の床吹出方式 (Case8) と換気タワー方式 (Case9)

- 方法に関する数値解析, 日本建築学会大会学術講演梗概 D-2, pp.647~648, 1999.9
- 2) 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
  - 3) 空気調和・衛生工学会: 空気調和衛生工学便覧 (12版) 3 空気調和設備設計篇, 空気調和・衛生工学会, 1995.3
  - 4) 石野久彌, 郡公子, 佐藤豊: 人体 Two-Node Model の簡易化と応用に関する研究 人体発熱負荷推定への応用, 日本建築学会計画系論文報告集, No.451, pp.67~74, 1993.9
  - 5) Sandberg M. and Sjöberg M.: The Use of Moments for Assessing Air Quality in Ventilated Rooms, Building and Environment, Vol. 18, No.4, pp.181~197, 1983
  - 6) 村上周三, 加藤信介: 新たな換気効率指標と三次元乱流乱流数値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, No32, pp.91~101, 1986.10

(2000年4月10日原稿受理, 2000年11月10日採用決定)