

オフィスビルを対象とした高効率全外気空調システムに関する研究

松山 仁
指導教官 赤林 伸一助教授

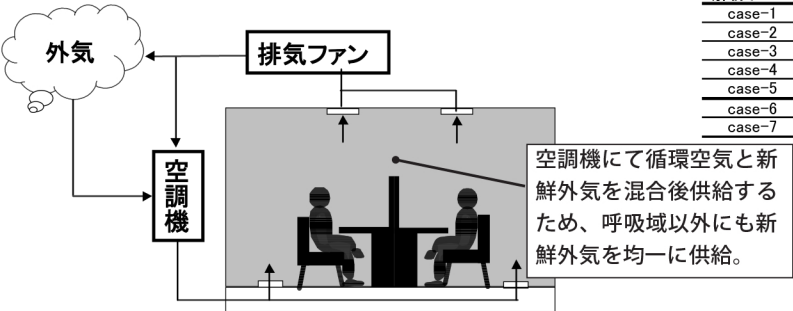
1 研究目的

従来の換気・空調設備の設計は、①室内で発生した汚染質を効率良く排出する、②外気により汚染質を希釈し許容濃度以下に保つ、という原則に基づき行われてきた。排気に関しては室内の汚染質発生状況を考慮し比較的効率的な排気位置の検討がなされているのに対し、希釈換気の場合には汚染質の完全混合を前提としており効率を考慮しているとは言い難い。近年、換気効率指標の概念が構築され、従来困難であった新鮮外気の室内各点への分配効率や室内の各位置における局所空気交換効率が実験や数値流体解析(CFD)で求めることが可能となった。

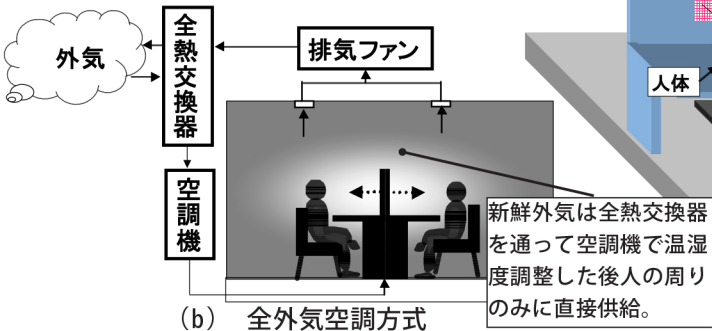
本研究では、新鮮外気のみで空調、換気するシステムについてCFDにより検討する事を目的とする。このシステムでは、人の周辺のみ空調された外気を供給することにより、タスク&アンビエント空調を達成しようとするものである。

2 各換気・空調方式の概念

各空調・換気方式の概念を図1に示す。図1(a)の従来の方式では、新鮮外気は空調機内で循環空気と混合後、室内に供給される(以下、従来方式)。この方式では、新鮮外気



(a) 従来の空調方式 (床吹出天井吸込)



(b) 全外気空調方式
図1 対象とする空調方式

は呼吸域以外にもほぼ均一に分配されることになる。これに対して、図1(b)の全外気空調方式では、従来の方式と比較して、外気負荷が大幅に増加すると考えられるが全熱交換器を用いることにより、増加の割合をある程度低減することが可能である。また、タスク&アンビエント空調では人の周りのみを空調するため、吹出風量自体を削減できる可能性もある。

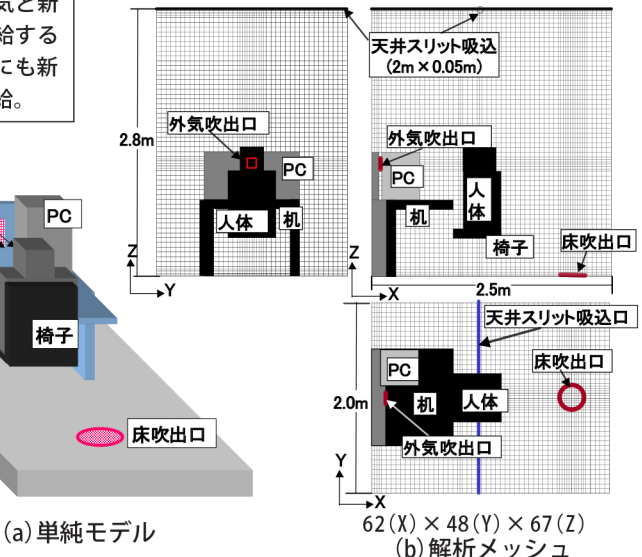
この方式で使用されるフリーアクセスフロアは、床を二重床とし、その間を配線スペースとして使用するものである。このスペースに外気供給ダクトを配置することにより、吹出口付パーティションの設置の自由度が高くオフィスレイアウトや吹出位置の変更、吹出口の増設などに容易に対応することができる。新鮮外気が直接供給することにより、喫煙など室内で発生する汚染質による空気汚染に関しても、新たな解決法を提案することが期待できると考えられる。

3 単純モデルを対象とした数値解析

3.1 解析対象

表1 解析ケース

解析ケース	風量(m ³)	吹出風速(m/s)	吹出温度(°C)	空調方式
case-1	50	1.39	13.89	全外気方式
case-2	70	1.94	18.49	全外気方式
case-3	70	1.30	18.49	全外気方式
case-4	100	1.23	21.94	全外気方式
case-5	100	2.78	21.94	全外気方式
case-6	新鮮外気30+循環風量100	0.07~1.4	23.80	従来方式
case-7	新鮮外気30+循環風量100	0.72	23.80	従来方式



(a) 単純モデル
(b) 解析メッシュ
図2 単純モデルと解析メッシュ

全外気空調方式を採用したオフィス空間の一部を解析対象とする。単純モデルと解析メッシュを図2に示す。人体は日本人の標準体面積を参考に 1.71m^2 となるように設定し、顕熱のみを考慮する。PC機器は標準的と考えられる機器をモデル化する。

3.2 解析方法

対象とする空調方式の解析ケースを表1に示す。気流場は定常状態を仮定する。室全体に汚染質を瞬時完全混合拡散させ、汚染質の濃度分布より換気効率指標第3(SVE3*)を算出し、吹出口、吸込口の相対的な位置関係、吹出外気量と新鮮外気の分配効率について検討する。

3.3 計算条件

表2に計算条件及び境界条件を示す。人体前方及びX面壁は壁を境に对称となる空間が存在しているものと想定する。平均室温は 30°C とし、隣室も空調されたインテリアと仮定し、壁、天井、床からの熱の貫流は無いものとする。

4 単純モデルの解析結果

各ケースの温度分布の解析結果を図3に示す。全外気空調方式である case-1 (外気量 $50\text{m}^3/\text{h}$) では人体呼吸域で約 25°C 、case-5 (外気量 $100\text{m}^3/\text{h}$) では人体呼吸域で約 28°C

*: SVE3 は室内の空気齢の分布を評価するものであり、汚染質の定常一様な発生を仮定し、その条件下で得られる濃度分布を排気口濃度で基準化したものである。値が小さい程換気効率が良いことを示す。

$^\circ\text{C}$ となる。人体周りの室空間はどちらも約 30°C となる。従来方式である case-6 (外気量 $30\text{m}^3/\text{h}$ + 循環風量 $100\text{m}^3/\text{h}$) では、人体呼吸域で約 28°C となり人体周りは $26^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$ となる。人体周りでは、吹出外気量を削減しても削減しない場合と同程度の温熱環境が維持できると考えられる。各ケースの SVE3 分布を図4に示す。case-1 の SVE3 は人体呼吸域で $0.5 \sim 0.6$ の値を示し、case-5 では人体呼吸域で $0.2 \sim 0.3$ の値を示す。case-6 では新鮮外気は十分に混合拡散されており、どの点においても 1.0 程度の値を示す。当然の事ながら従来方式に比較して人体呼吸域にお

表2 解析条件と境界条件

解析メッシュ	62 (X) $\times$ 48 (Y) $\times$ 67 (Z)
乱流モデル	標準 $k-\epsilon$ 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	$k_{in} = (U_{in}/10)^2$ $\epsilon_{in} = C_\mu \cdot k^{3/2} / L_{in}$ $L_{in} = \text{吹出幅}$ $C_\mu = 0.09$
境界条件	人体前方及びX面壁はフリースリップ その他は一般化対数測
パーティション吹出口	メッシュ分割: 4×4 吹出口寸法: $0.1\text{m} \times 0.1\text{m}$
床吹出口	メッシュ分割: 12×12 吹出口寸法: $r = 0.15\text{m}$
天井吹出口	幅 0.0125m のスリット吹出 ($U_{in} = 1.44\text{m/s}$)
天井吸込口	幅 0.025m のスリット吸込
熱貫流率	壁、床、天井の熱の貫流は無し
発熱量	人体 69W 、PC機器 200W 発熱の放射成分 (総発熱量の約 45%) は天井・床・壁に均一に配分

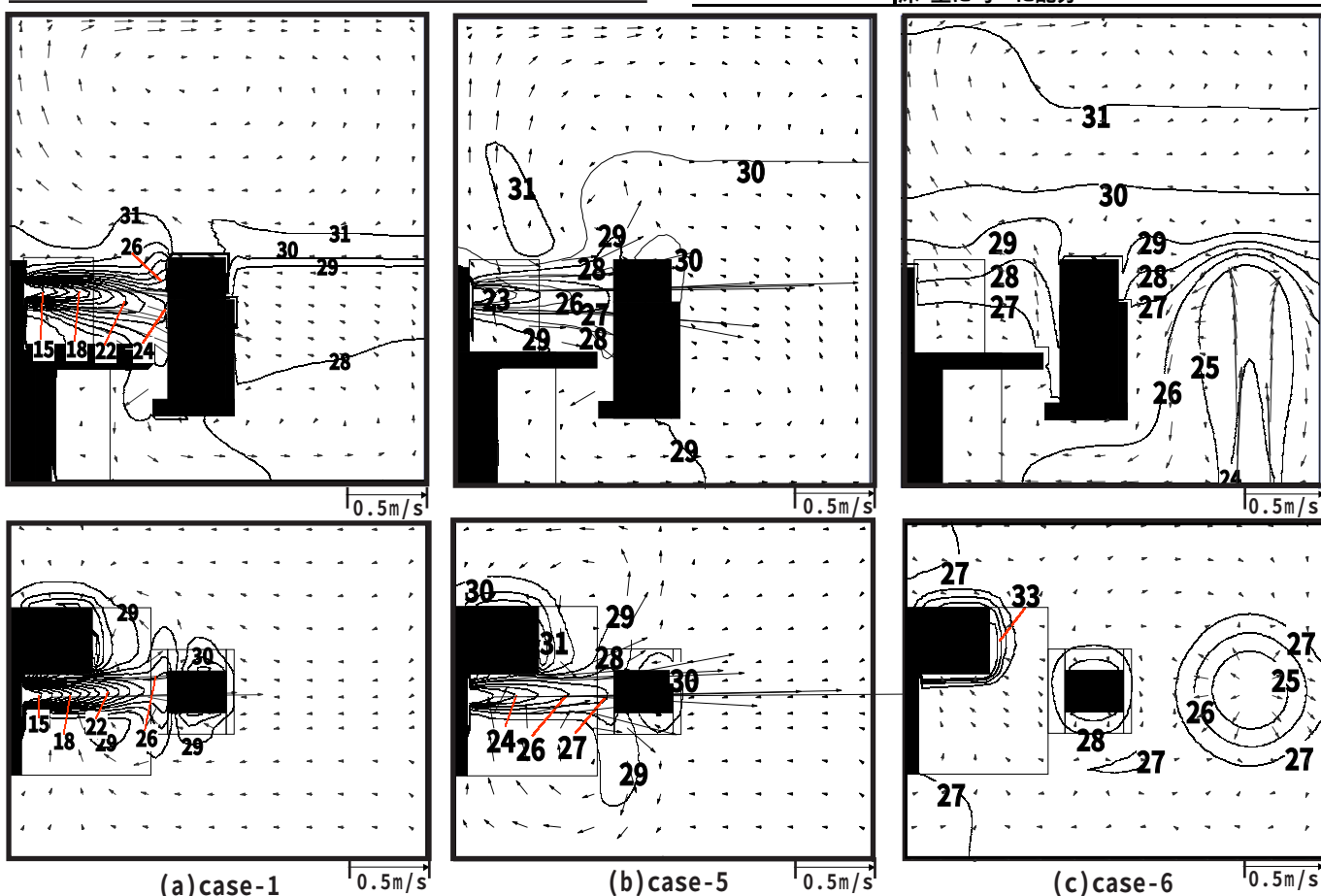


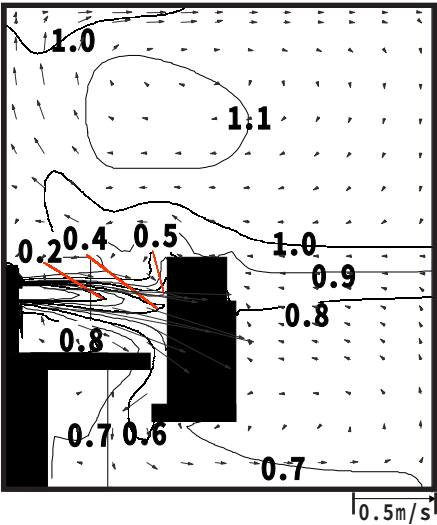
図3 温度分布

ける空気質は極めて向上している。人体周り以外の室空間においては、case-1、case-5のどちらも1.0～1.1の値を示す。このことから人体周り以外の室空間において、全外気空調方式は従来方式とほぼ同程度の空気質を維持できると考えられる。

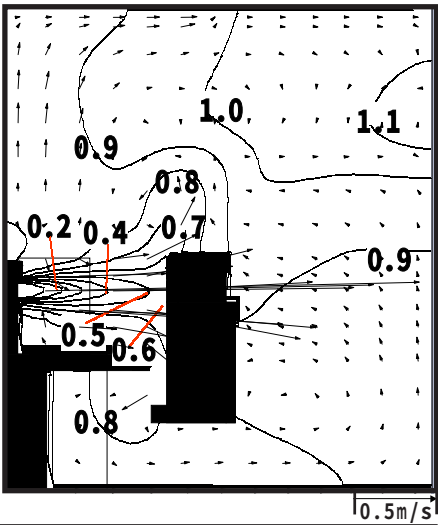
各空調・換気方式における高さ別平均SVE3及び平均温度を表3に示す。全外気空調方式においてはFL+0-1.0mで最も低い温度となり、次にFL1.0-1.8m、FL1.8-2.8mの順に温度が高くなる。FL+0-1.0mとFL1.8-2.8mの温度差はどのケースも約3℃であり、高さによる温度差はあまりない。SVE3に関してはFL1.8-2.8mの値が1.0を超えているのに対し、FL1.8m以下では1.0以下の値を示す。このことから全外気空調方式では人の居住域であると考えられるFL1.8m以下の空間に効率的に新鮮外気を供給していると考えられる。新鮮外気は室内の空気よりも温度が低いので床方向に流れ、FL+0-1.0のSVE3がもっとも小さい値となる。また、全体の平均SVE3が0.9の値を示し、全外気

表3 各空調・換気方式における高さ別平均SVE3及び平均温度

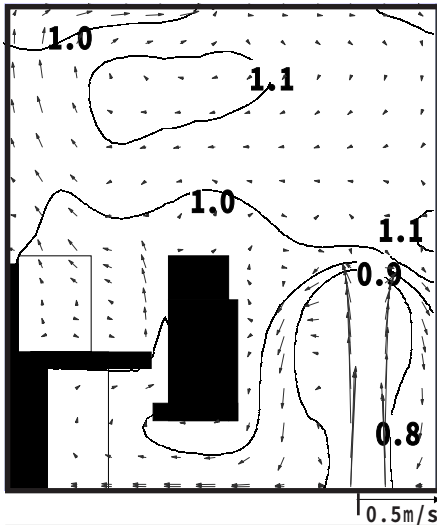
	温度℃				sve3			
	FL+0-1.0m	FL1.0-1.8m	FL1.8-2.8m	室全体	FL+0-1.0m	FL1.0-1.8m	FL1.8-2.8m	室全体
case-1	27.45	29.86	31.40	29.57	0.72	0.95	1.04	0.91
case-2	28.52	29.48	31.13	29.71	0.79	0.92	1.05	0.92
case-3	29.18	30.24	30.88	30.10	0.75	0.94	1.06	0.92
case-4	28.70	29.49	30.96	29.72	0.74	0.90	1.09	0.91
case-5	29.20	29.60	30.68	29.83	0.80	0.88	1.03	0.90
case-6	26.35	29.36	30.93	28.88	0.89	1.03	1.06	1.00
case-7	30.49	31.11	31.54	31.04	0.99	1.02	1.00	1.00



(a) case-1



(b) case-5



(c) case-6

図4 SVE3分布

空調が効率的な空調方式であることが示されている。従来方式ではSVE3はどの高さでも約1.0の値となり、天井吹出天井吸込の場合にはどの高さのSVE3も1.0を超えているため、効率が良いとは言い難い。

5 実大オフィスモデルを対象とした数値解析

5.1 解析対象

実大オフィスビル空間の一部を解析対象とする。解析対象とする空間の概要を図5、解析メッシュを図6に示す。室容積は156.8m³で、照明16本と人体モデル、OA機器モデル、机、椅子を8セット設置し、半分の領域を解析する。机の前には、デスク周りの配線を収納するケーブルキーパーを設置する。さらにケーブルキーパー上には、外気を供給する吹出口付のパーティションを設置する。吸込口は天井にライン吸込口を設置する。

人体モデルは日本人の標準体面積を参考に1.71m²としOA機器は標準的と考えられるOA機器をモデル化する。人体モデルは顕熱のみを考慮する。

表4 解析ケース

	風量 (m ³ /h)	吹出口幅 (幅) (m)	吹出口幅 (高さ) (m)	吹出速度 (m/s)	室温 (°C)	吹出温度 (°C)	空調方式
case-1	100	0.15	0.15	1.23	31.15	21.71	全外気
case-2	50	0.1	0.1	1.39	32.51	15.43	全外気
case-3	50	0.15	0.15	0.62	32.51	15.43	全外気
case-4	50	0.1	0.15	0.93	32.51	15.43	全外気
case-5	50	0.1	0.15	0.93	34.29	19.43	全外気
case-6	30	0.1	0.1	0.83	41.17	13	全外気
case-7	130	-	-	0.07~1.4	31.55	23.8	従来方式

5.2 解析方法

対象とする空調方式の解析ケースを表4に示す。主な解析方法は単純モデルと同様である。

5.3 計算条件

表5に計算条件及び境界条件を示す。窓、及び室内側南壁、室内側北壁温度は熱負荷シミュレーションプログラムTRNSYSにより計算する。隣室は28℃で常に空調されているものとする。上下階及び東西には同じ部屋が連続しているものと仮定する。

6 実大オフィスモデルの解析結果

6.1 各ケースの分布図

各ケースの風速分布を図7に示す。全外気空調方式であるcase-1では人体に0.8m/s程度で到達している部分も

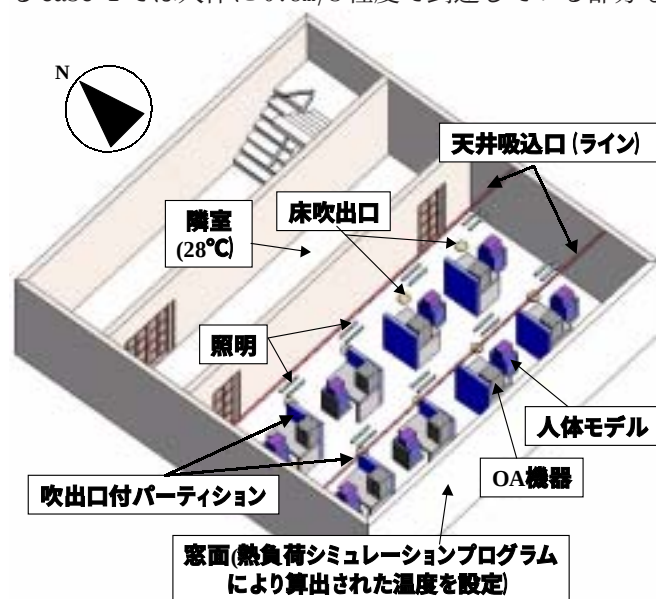


図5 対象とする実大オフィスビルの概要

あり、執務者はドラフトによる不快感を感じてしまう恐れがある。case-5では人体呼吸域で0.5m/sであり、ビル管理法の許容範囲に入る。従来方式であるcase-7では室内に大きな乱れはなく、人体周りに発熱による上昇気流が

表5 計算条件及び境界条件

乱流モデル	標準k-εモデル
解析法	有限体積法
差分スキーム	移流項 2次風上差分スキーム
流入境界	$kin = (Uin/10)^2$ $\epsilon in = C\mu \cdot k^{3/2}/Lin$ $Lin = \text{吹出幅}$ $C\mu = 0.09$
境界条件	上下階及び東西には同じ部屋が連続していると仮定。 窓、及び室内側南壁はTRNSYSより得た温度を設定。 北側の隣室は常に28℃で空調されているものと仮定。
天井吸込口	幅0.05mのスリット吸込
床吹出口	メッシュ分割: 12×12 吹出口寸法: $r = 0.15m$
発熱量	人体70W/体、PC機器100W/台、照明20W/本 発熱の放射成分 (総発熱量の約45%) は天井・床・壁に均一に配分

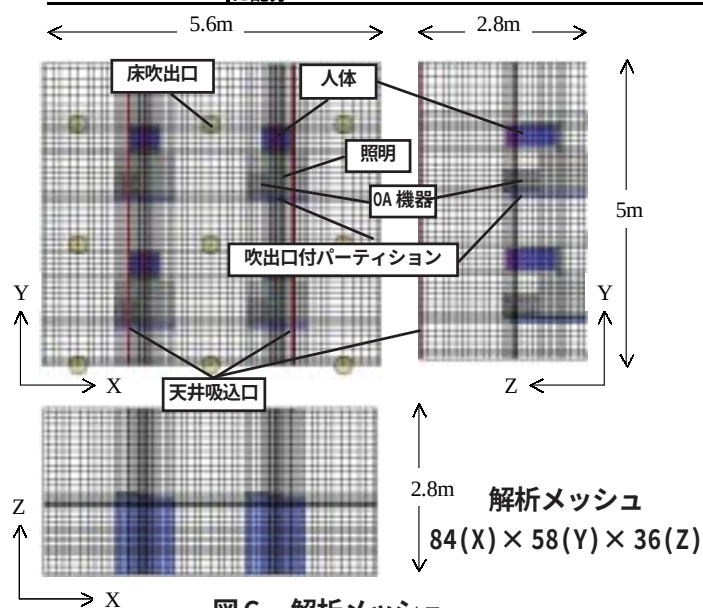


図6 解析メッシュ

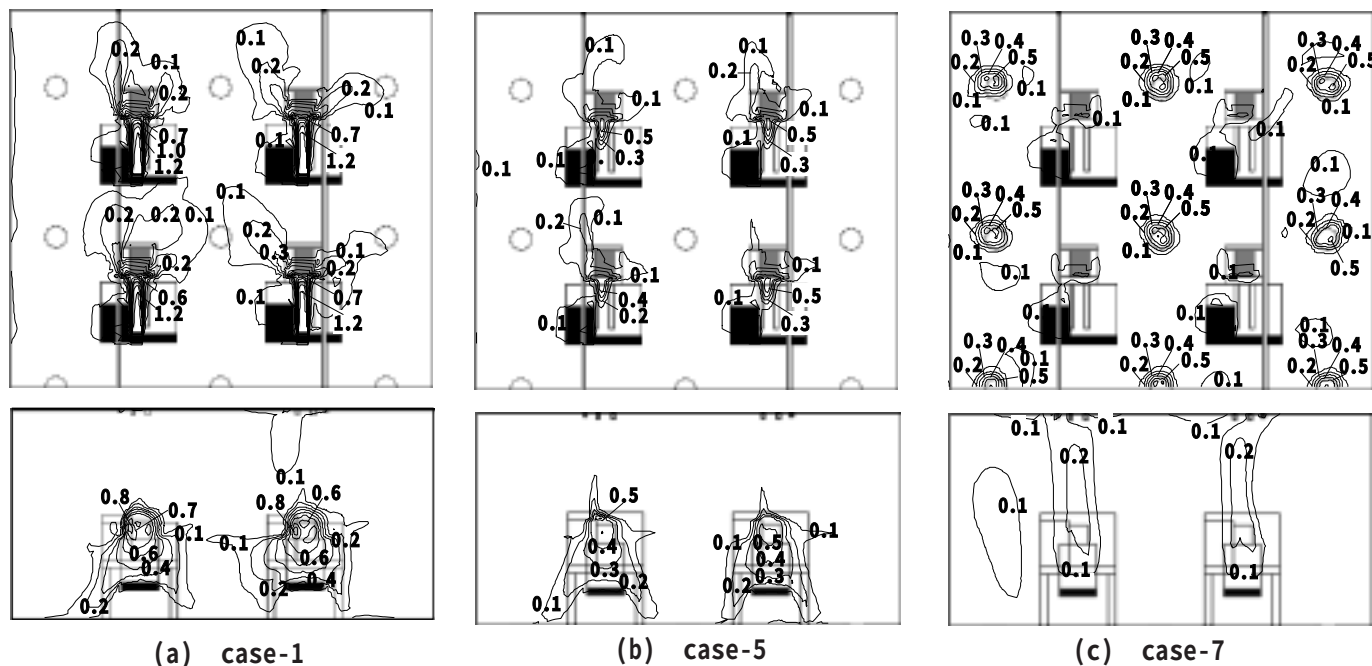


図7 風速分布

見られる。図8に温度分布を示す。case-1では人体呼吸域で22℃であり、人体周りは26℃となる。case-5では人体呼吸域で24℃、人体周りは28℃となる。どちらも天井付近は床面よりも4℃近く温度が高い。case-7では人体呼吸域で26℃であり、天井付近と床付近の温度差は2℃と全外気空調方式よりも少ない。このことから全外気空調方式は執務者のいる部分のみの温度調整が可能であると考えられる。図9に各ケースのSVE3分布を示す。case-1では人体呼吸域で0.1の値を示し、case-5では約0.3の値を示す。このことから風量を減らしても、範囲は狭くなるが人体呼吸域の空気質を高く維持できることが可能であると考えられる。また、人体周りでは1.0以下の値を示し、従

来の方式では室内は一律に1.0の値を示していることから人体周り以外の室空間でもほぼ同様の空気質を維持できると考えられる。

6.2 呼吸域断面の風速、温度、SVE3の変化

図10(a)に各ケースの呼吸域断面における風速変化を示す。風量の最も多いcase-1では吹出口の幅が広いいため風速はあまり減衰せずに人体に到達する。case-2は吹出した直後に風速が減衰し、人体に到達する時には約0.5m/sになる。case-3は人体呼吸域では0.1m/s程度になっており、新鮮外気は下方に流れていると考えられる。吹出高さを10cm上方にあげたcase-4、case-5では約0.5m/sで人体呼吸域に到達する。case-6では風速のピークが人体前方

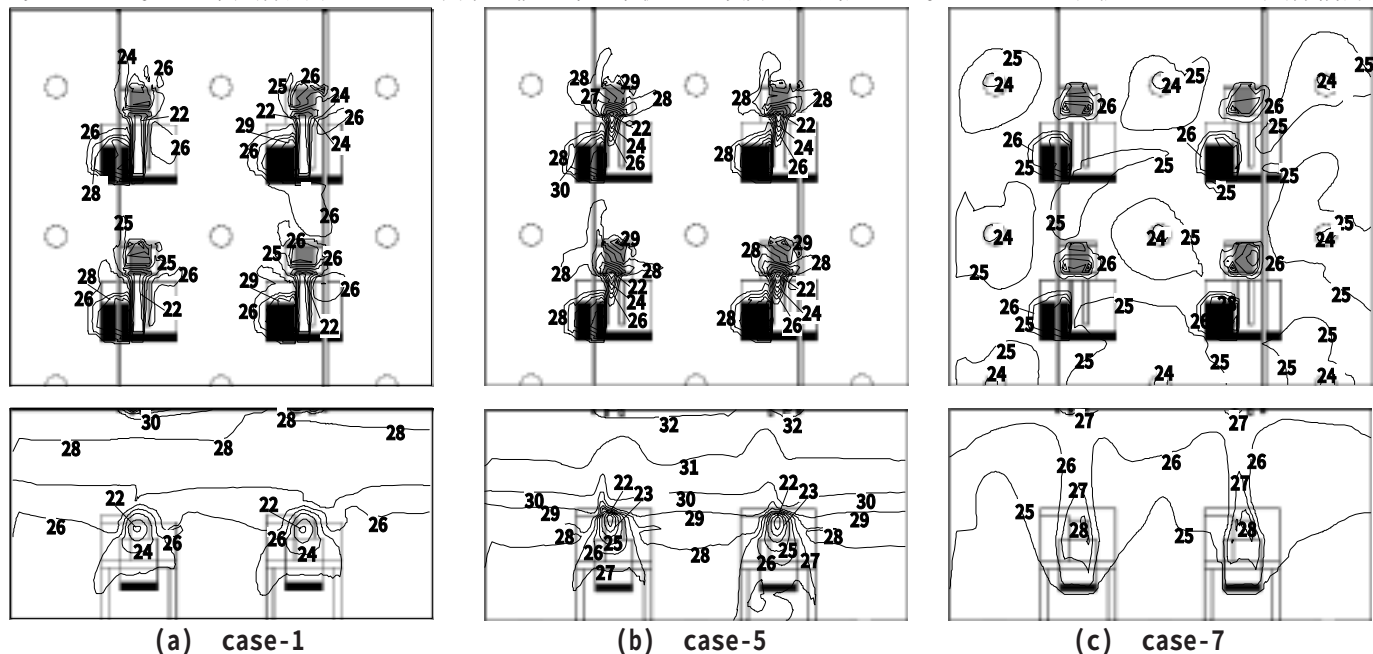


図8 温度分布

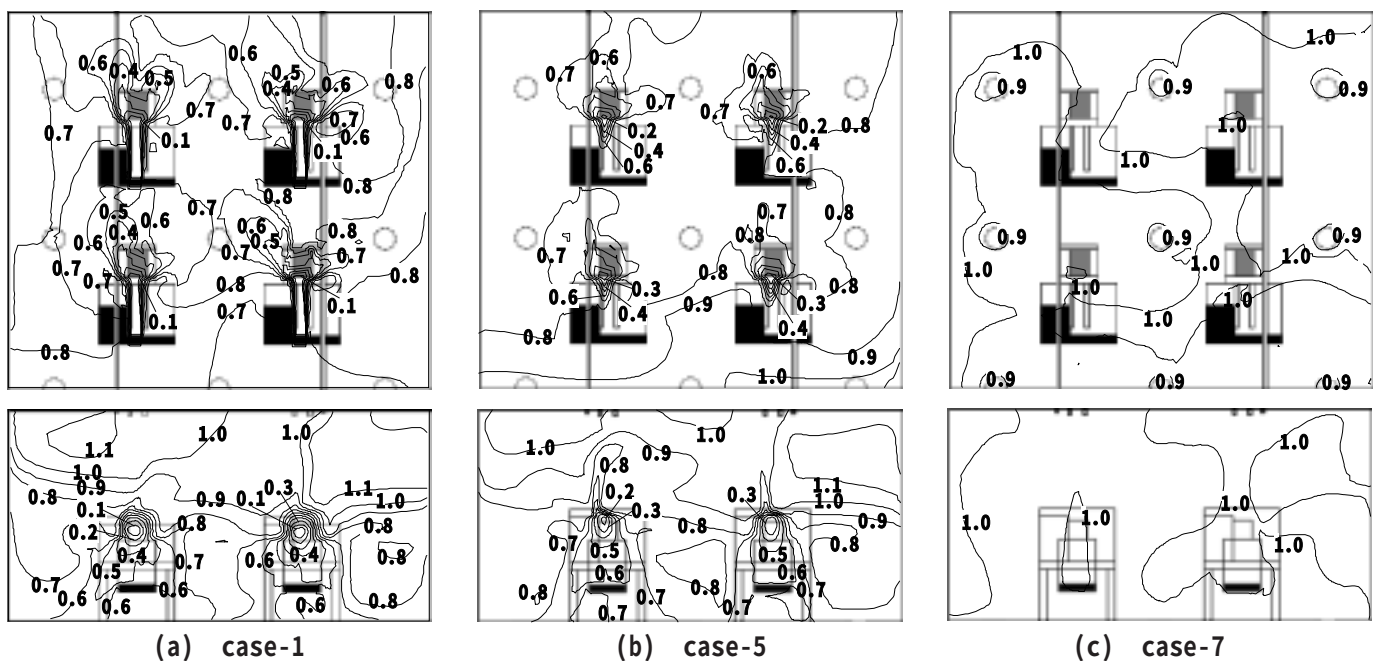


図9 SVE3分布

にきており人体の下方に新鮮外気が流れている。図10(b)に各ケースの呼吸域断面における温度変化を示す。case-1は吹出口から人体までの温度は約22°Cのままである。case-2、case-3は吹出温度がともに15.4°Cであるがcase-3の方が吹出速度が弱いので温度の変化が激しい。人体呼吸域の温度はcase-2が約20°C、case-3が約25°Cとなり、風速が遅いと温度が上昇しやすいと言える。case-4は人体呼吸域で約18°Cとなり、case-6では人体の発熱の影響もあり人体呼吸域で室温とほぼ同様の29°Cである。従来方式であるcase-7はどの位置でもほぼ25°Cである。風量が100m³/hであるcase-1と比較して、風量50m³/hであるcase-2～5の方が、人体呼吸域以外において約1°C低くなる。風量の少ない方が吹出温度が低く、上下に温度成層ができるためであると考えられる。図10(c)に各ケースの呼吸域断面におけるSVE3変化を示す。case-1は人体前方の空間においてSVE3は0.1に近い値を示し、非常に空気質が良い。case-2は人体呼吸域で0.4程度、case-3では約0.5の値を示す。case-4、case-5は人体呼吸域で0.2程度である。case-6では人体の前方で最も小さい0.4の値を示すが人体呼吸域では0.6と大きくなる。従来方式であるcase-7はどの点もほぼ1.0である。風量により吹出口の高さや風速の設定が必要であると考えられる。

6.3 高さ別平均SVE3及び平均温度

各空調・換気方式における高さ別平均SVE3及び平均温度を表6に示す。従来方式であるcase-7ではどの高さにおいても室平均温度とほぼ等しくなるのに対し、全外気空調方式であるcase-3ではFL+0-1.0mと室平均の温度差が約4°C、FL1.8-2.8mとは約9°Cの温度差となる。SVE3はcase-7ではどの高さにおいても室平均をほぼ同じであり、新鮮外気はよく混合されて供給されている。全外気空調方式ではFL+0-1.0mの値が最も低く、約0.7の値を示す。室全体の平均も約0.8の値を示し、完全混合を前提とした従来方式よりも小さい値となり、居住域に効率的に新鮮外気を供給していると考えられる。

7 結論

- ①従来の外気空調機混入方式では人体周辺のSVE3は1.0程度の値を示すが、全外気空調方式を行った場合では人体呼吸域において0.1～0.6程度であり、呼吸位置における空気質の向上が可能である。
- ②全外気空調方式を用いた場合、高さ1.8m以上の空間のSVE3と比較して、高さ1.8m以下の空間のSVE3は80%～90%の値を示す。
- ③全外気空調を行った場合、人体周りの温度のみを制御することが可能である。
- ④全外気空調方式では居住者に新鮮な外気を供給するのに

有効な方法であり、風量を減らしても風速、吹出速度を調節することにより人体呼吸域に高い空気質の空気を供給することができる。

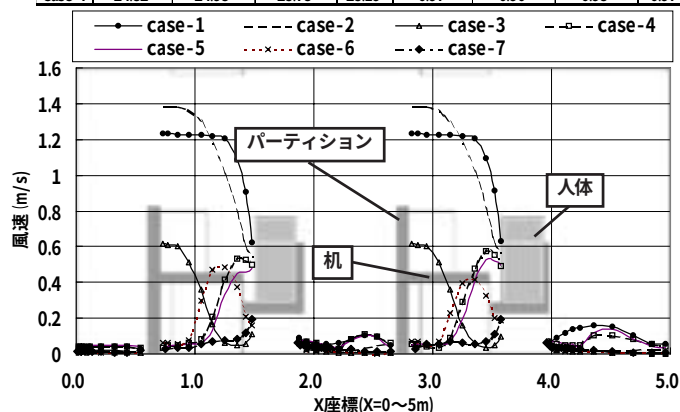
今後はクールチューブ等を用いた場合の熱負荷の低減効果や、湿度を考慮した指標による評価を行い、全外気空調システムを総合的に評価し実用化するための問題点を明らかにする必要がある。

参考文献

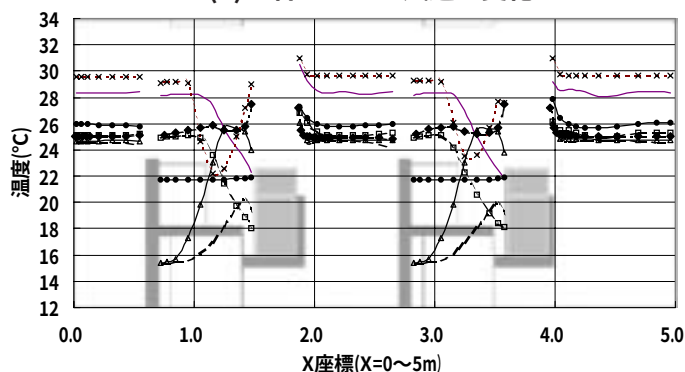
- 1)村上周三:CFDによる建築・都市の環境設計工学—東京大学出版会(2000.9)

表6 各空調・換気方式における高さ別平均SVE3及び平均温度

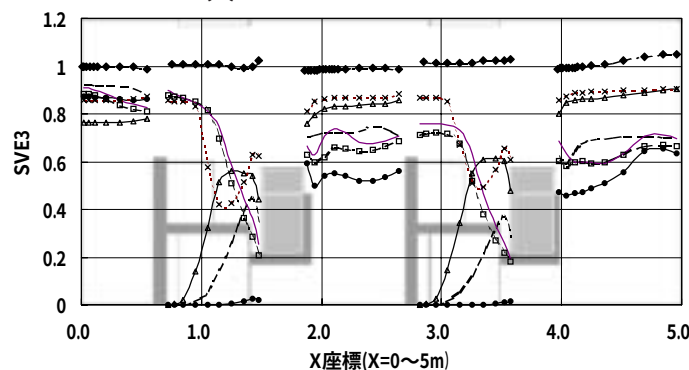
	温度(°C)				sve3			
	FL+0-1.0m	FL1.0-1.8m	FL1.8-2.8m	室全体	FL+0-1.0m	FL1.0-1.8m	FL1.8-2.8m	室全体
case-1	25.27	26.18	28.19	26.55	0.67	0.76	0.96	0.80
case-2	23.02	25.51	28.83	25.78	0.69	0.82	1.01	0.84
case-3	21.08	26.21	30.07	25.79	0.57	0.84	1.03	0.81
case-4	23.86	25.77	28.61	26.08	0.71	0.80	0.97	0.83
case-5	27.55	29.24	29.80	28.86	0.73	0.82	0.86	0.80
case-6	26.10	30.97	34.55	30.54	0.71	0.88	0.99	0.86
case-7	24.82	24.98	25.78	25.19	0.97	0.96	0.98	0.97



(a) 各ケースの風速の変化



(b) 各ケースの温度の変化



(c) 各ケースのSVE3の変化

図10 呼吸域断面の風速、温度、SVE3の変化