

アトリウム空間を対象とした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 その2

RELATIONSHIP BETWEEN VENTILATION EFFICIENCY
AND INLET-OUTLET SYSTEM OF ATRIUM SPACE

Air conditioning systems and ventilation efficiency in buildings Part 2

赤林伸一*, 桑原亮一**, 水谷国男***, 何平****, 佐藤英樹*****

*Shin-ichi AKABAYASHI, Ryouichi KUWAHARA, Kunio MIZUTANI,**Ping HE and Hideki SATO*

In this paper, the relationship between ventilation efficiency and air outlets/return-intake systems in atrium space were analyzed by experimental studies and also by numerical simulation based on computational fluid dynamics(CFD). The conclusions are as follows;

1. In the case of cooling and the occupied zone being limited the ventilation efficiency has increased by arranging the supply outlets at the lower part of the atrium.
2. In the case of a vertical supply from the floor, a exhaust system at the ceiling is more desirable than that of the wall.
3. Effective arrangements for both the heating and the cooling modes are to supply the air from the wall at a height of 3500mm and exhaust it at the wall, and to supply it from the floor and exhaust it at the ceiling.

keywords: *ventilation efficiency, air conditioning system, model experiment, numerical simulation, Computational Fluid Dynamics(CFD)*
換気効率, 空調方式, 模型実験, 数値解析, 数値流体力学

1. はじめに

近年, 建築技術の発達や都市空間へのアメニティの提供を目的として, 様々なアトリウムを有する建物が建設されてきた。アトリウム空間の多くは, 冷房時に上下方向に温度差が大きくなりやすく, 空調方式によっては温熱環境に問題が生じる場合がある。このため, アトリウム空間の換気計画は, それぞれの空間の特徴や負荷の特性を考慮して決めなければならない。

アトリウム空間の換気計画においては, 低層部に居住域がある場合が多く, 一般的にはこの領域のみを対象として, 空調により新鮮空気の導入を行うことが多い。その他にも夏季に空間上部に熱溜まりが生じ, その排熱のために部分的に自然換気や機械換気による排気が行われる場合もある。また, オープンタイプのアトリウムの場合, 隣接する空間とのエアバランスなどの影響があり, アトリウム空間の換気計画は非常に複雑な検討が必要になる。さらに, この種の天井の高い空間では, 通常の事務室などに比べ, 空間全体に対する居住域の割合が小さく, より効率的な換気設計が求められる。

前報(文献1)では, 事務室を対象とした模型実験と数値解析により, 評価指標に居住域平均空気交換効率を用いて, 空調方式の違いを明らかにし, 事務室の推奨的な空調方式の提案を行った

が, アトリウムを対象とした各種空調方式と換気効率の関係についての検討例は極めて少ない。

既往の研究では, 小林, 村上(文献2)らが換気効率を用いた大空間オフィスの実測について報告している。しかし, 設計の実務レベルで応用可能な空調方式と換気効率に関するデータは十分とはいえないのが現状である。

本研究では, アトリウムを対象とし, 模型実験と数値解析による空調方式と換気効率に関する検討例を示す。ここでは, 評価指標として換気効率指標の一種である局所空気交換効率及び居住域平均空気交換効率を用い, 室内換気設計のためのデータを体系的に整理する。以上の結果から, 換気効率の観点からみたアトリウムの推奨的な空調方式についての提案を試みる。

2. 居室模型実験による換気効率の測定

2.1 実験装置

実験は, 実物大の模型(5,000mm^W×3,600mm^D×8,000mm^H)を使用する。アトリウムの大きさを考えた場合, 10m以上の天井高さを有する空間を想定される場合もあるが, 本研究では, 実験施設の都合上, 2層吹き抜けのギャラリーの一部分を想定して天井高さを

* 新潟大学大学院自然科学研究科 助教授・工博

** 三建設備工業(株)つくば総合研究所 博士(工学)

*** 三建設備工業(株)つくば総合研究所 学博

**** 三建設備工業(株)つくば総合研究所 博士(工学)

***** 三建設備工業(株)つくば総合研究所 工修

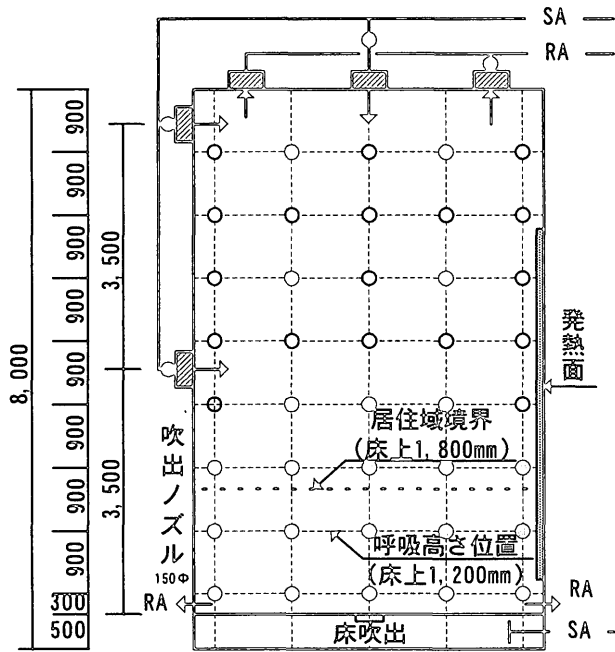
Assoc. Prof., Dept. Graduate School of Science and Technology, Niigata University, Dr. Eng.

Scientist, Dept. Tech. Eng., Sanken Setsubi Kogyo Co., Ltd., Ph. D.

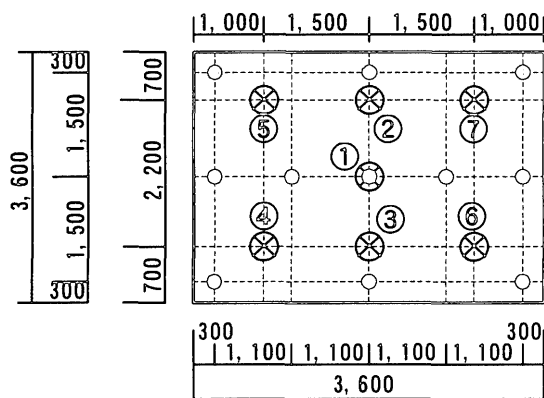
Scientist, Dept. Tech. Eng., Sanken Setsubi Kogyo Co., Ltd., Ph. D.

Scientist, Dept. Tech. Eng., Sanken Setsubi Kogyo Co., Ltd., Ph. D.

Scientist, Dept. Tech. Eng., Sanken Setsubi Kogyo Co., Ltd., M. Eng.



(1) 中央断面

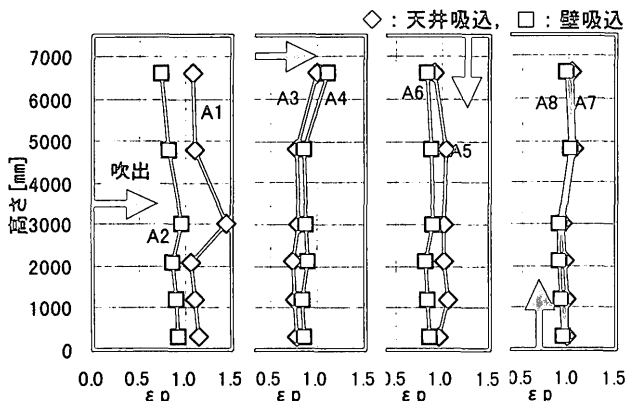


(2) 平面図

- : ガス温度、温度測定点
- : 温度測定点
- ⊗: 床吹出口位置

- 床吹出口の配置は
 1 個吹出のときは①
 2 個吹出のときは②, ③
 4 個吹出のときは④~⑦

図1 模型の概要と測定点



(1) 壁ノズル 3,500mm (2) 壁ノズル 7,000mm (3) 天井ノズル (4) 床吹出

図2 等温時の ϵ_p 上下分布

7.5mとした。居室模型(図1)は、断熱パネル(硬質ウレタンフォーム40mm)で作成され、壁面の吹出口の高さ、吸込口の種類・位置、及び吹出温度の変更が可能である。また、壁面にヒータを設置し、ペリメータの冷房負荷を設定することが可能である。

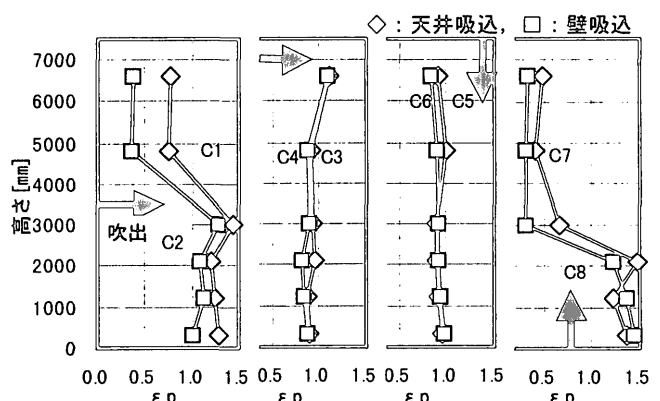
2.2 実験方法

実験は室内各点の濃度がほぼ一定になるまで、トレーサガス(SF₆)を一定の割合でサブライダクト内に注入しながら、室内各点の濃度変化を測定する(ステップアップ法)。その後、ガスの放出を止め、濃度減衰を測定する(ステップダウン法)。ガス濃度の測定は、室内28点と吹出口、吸込口、及びガス注入直前の合計31点について6台のマルチガスモニタ(B&K1302)を用いて行う。なお、測定に用いた6台の濃度計の器差は、ステップアップ時の定常濃度

表1 実験ケースと解析結果

ケース	実験条件							実験結果	
	吹出吸込方式		風量 [m ³ /h]	C _p [ppm]	T _s [°C]	T _i [°C]	ΔT [°C]	ε _m	
	吹出口	吸込						S-up	S-dn
A1	壁ノズル3,500mm	天井	249	21.6	21.2	21.5	-0.3	0.95	1.12
A2	壁ノズル3,500mm	壁	256	21.1	24.7	25.0	-0.3	0.92	0.84
A3	壁ノズル7,000mm	天井	253	21.3	21.6	21.9	-0.3	0.89	0.79
A4	壁ノズル7,000mm	壁	246	21.9	22.3	22.5	-0.2	0.96	0.88
A5	天井ノズル	天井	262	20.6	21.9	21.7	0.2	1.03	1.03
A6	天井ノズル	壁	256	21.1	23.5	23.1	0.5	0.94	0.84
A7	床吹出2個	天井	291	18.6	23.9	23.6	0.3	1.05	0.98
A8	床吹出2個	壁	297	18.2	22.5	22.6	-0.1	1.03	0.94
C1	壁ノズル3,500mm	天井	284	19.0	15.9	26.3	-10.4	1.53	1.22
C2	壁ノズル3,500mm	壁	275	19.6	14.6	25.7	-11.1	1.26	1.00
C3	壁ノズル7,000mm	天井	250	21.6	15.9	25.7	-9.8	1.07	0.93
C4	壁ノズル7,000mm	壁	262	20.6	15.8	25.5	-9.7	0.92	0.87
C5	天井ノズル	天井	266	20.3	15.2	25.8	-10.5	1.02	0.95
C6	天井ノズル	壁	253	21.3	15.8	26.0	-10.2	1.01	0.97
C7	床吹出2個	天井	301	17.9	15.3	25.0	-9.7	2.87	2.30
C8	床吹出2個	壁	289	18.7	15.2	26.3	-11.1	1.65	1.56
C1-D	壁ノズル3,500mm	天井	560	19.3	15.8	26.5	-10.7	0.90	0.97
C2-D	壁ノズル3,500mm	壁	556	19.4	15.7	26.3	-10.7	0.92	0.90
C3-D	壁ノズル7,000mm	天井	532	20.3	16.1	25.7	-9.7	0.84	0.89
C4-D	壁ノズル7,000mm	壁	544	19.8	15.8	25.6	-9.8	0.95	0.78
C5-D	天井ノズル	天井	544	19.9	15.6	26.0	-10.4	0.95	1.01
C6-D	天井ノズル	壁	570	18.9	15.9	25.6	-9.7	1.02	0.78
C7-D	床吹出2個	天井	637	17.0	15.5	23.8	-8.3	1.16	1.21
C8-D	床吹出2個	壁	598	18.1	14.7	23.8	-9.1	1.49	1.21
C7-DU	床吹出1個	天井	296	18.3	15.4	26.7	-11.3	1.56	1.49
C8-DU	床吹出1個	壁	298	18.1	15.5	28.0	-12.5	1.21	1.21
C7-HU	床吹出4個	天井	301	18.0	15.1	23.6	-8.5	2.25	2.09
C8-HU	床吹出4個	壁	298	18.1	15.5	25.1	-9.6	1.22	1.45

記号 C_p: 基準濃度, T_s: 吹出温度, T_i: 室温, ΔT: T_i - T_s
 A, C はそれぞれ等温, 冷房。次の1~8は空調方式を示す。
 また, -D, -F はそれぞれ基準風量1.5m³/minの2倍, 4倍, -DU, -HU は床吹出1個当たりの風量が基準風量1.5m³/minのそれぞれ2倍と1/2倍を示す。



(1) 壁ノズル 3,500mm (2) 壁ノズル 7,000mm (3) 天井ノズル (4) 床吹出

図3 冷房時の ϵ_p 上下分布

を用いて補正している。測定で得られた濃度履歴から、室内各点の局所空気交換効率(ϵ_p)を求め、その結果から居住域平均空気交換効率(ϵ_m)を算出する。アトリウム空間の場合、立っている人もかなりいることも考えらるが、呼吸域は概ね1.8m以下にあり、前報その1の事務室からの一連の研究との整合性を意図し、居住域高さを1.8mとした。

2.3 実験ケース

実験はアトリウム空間を想定し、4種類の吹出口(①壁吹出口(床上高さ3,500mm:ノズル150φ),②壁吹出口(床上高さ7,000mm:ノズル150φ),③天井吹出口(床上7,500mm:ノズル150φ),④床吹出口),と2種類の吸込口(①天井吸込口(照明兼用)と②壁吸込口)を組み合わせた空調方式で行う。壁吹出3,500mmと床吹出口の場合は、居住域を対象とした空調方式とし、壁7,000mmと天井吹出口は空間全体の空調を想定している。

また、送風量は、4.5m³/min(270m³/h:換気回数約2回/h)を基準風量として、9.0m³/min(540m³/h:換気回数約4回/h),3.0m³/min(180m³/h:換気回数約1.3回/h)の3段階に設定している。ただし、局所空気交換効率の計算に用いる風量は、ステップアップ法で定常に達した状態における吹出口濃度(基準濃度)とトレーサガス注入量から算出した値を用いる。内部発熱は壁面ヒータにより与える。計算条件を居住域の換気効率の算出結果とともに表1に示す。

3. 実験結果

3.1 等温運転時の局所空気交換効率

等温運転時の局所空気交換効率 ϵ_p (中央断面の壁吹出口から1,400mm)の上下分布を図2に示す。

(1)壁吹出の場合:室内上下の ϵ_p の差は、ケースA1での壁吹出口高さの測定点を除き比較的小さく、吹出口高さが3,500mmと低いケース(A1,A2),吹出口高さが7,000mmと高いケース(A3,A4)ともに ϵ_p は0.8~1.0となる。

(2)天井吹出の場合(A5,A6):室内上下の差は小さく、天井吸込、壁吸込ともに ϵ_p は0.8~1.0の範囲に入る。

(3)床吹出の場合(A7,A8):同様に、吸込口の配置に関係なく室内上下の ϵ_p の差は小さく、 ϵ_p は約1.0と完全混合に近くなる。

(4)等温運転時の ϵ_p :温度差による浮力の効果がないため、各ケースの ϵ_p の上下分布の差が小さくなると考えられる。また、天井、壁の吸込口の配置による違いが室内の換気効率に与える影響はほとんど見られなかった。これは天井吸込のときの吸込風速が約0.1m/sと壁吸込に比べ小さいためと考えられる。

3.2 冷房運転時の局所空気交換効率

冷房運転時の ϵ_p (中央断面の壁吹出口から1,400mm)の上下分布を図3に示す。

(1)壁吹出の場合、吹出口の高さが3,500mm(C1,C2)のときには、上下の ϵ_p の差が大きく、吹出口高さを境界として大きく異なる。特に、壁吸込の場合、吹出口高さより上の ϵ_p は0.4程度と極端に低くなるが、3,000mm以下の ϵ_p は1.0以上となり、居住域の換気効率が高くなる。

(2)吹出口の高さが7,000mm(C3,C4)の場合、上下の ϵ_p の差は比較的小さく、 ϵ_p は0.9~1.1の範囲内となり、等温時のケー

スと同様の結果となる。

(3)天井吹出の場合(C5,C6),室内上下の ϵ_p の差は小さく、 ϵ_p は約1.0と完全混合となる。

(4)床吹出の場合(C7,C8),床上2,000mmまでの ϵ_p は1.3~1.5と高くなるが、吹出噴流が到達しない3,000mm以上の高さでは、 ϵ_p は0.5以下と極端に低い。

4. 数値解析による換気効率の計算

数値解析では実験ケースについてCFDの手法を用いて気流を解析し、表2に示す方法で ϵ_p を算出する。また、数値解析の計算条件を表3に示す。

表2 数値解析による局所空気交換効率の算出

$$\epsilon_p = 1 / SVE3(p) \quad (1)$$

$$SVE3(p) = C_p' / C_s, \quad C_s = m / Q \quad (2)$$

ここで、

SVE3(p):換気効率指標3^{文献3)}(村上,加藤らによる)

C_p' :室内一様に総量mの汚染質の発生がある場合のp点の濃度[kg/m³]

C_s :完全拡散(瞬時一様拡散)濃度[kg/m³]

m:汚染質発生量[kg/s], Q:換気量[m³/s]

表3 計算条件

乱流モデル:標準k-εモデル

空間差分:移流項はQuick,他は1次風上

時間差分:定常解法(Simple法)

吹出口:ノズル150mmφ(壁,天井共通)

床吹出は前報その1参照,

流入時の乱流エネルギー $K_{in} = (U_{in}/10)^2$

吸込口:天井吸込口(照明兼用)270^Wmm×1200^Lmm

壁吸込口(ガラリ)300^Wmm×400^Hmm

熱貫流率:天井,壁面0.60W/m²・°C,床面0.93W/m²・°C

表4 計算ケースと数値解析結果

ケース	吹出吸込方式		数値解析条件				数値解析結果		実験結果				
	吹出口	吸込	風量 [m ³ /min]	吹出風速 [m/s]	吸込風速 [m/s]	Ts [°C]	内部発熱 [W]	ϵ_p	ϵ_m	S-up	S-dn		
等温	A1	壁ノズル3,500mm	天井	4.5	4.2	0.06	28.0	-	1.02	0.95	1.12		
	A2	壁ノズル3,500mm	壁	4.5	4.2	2.08			0.98	0.92	0.84		
	A3	壁ノズル7,000mm	天井	4.5	4.2	0.06			1.07	0.89	0.79		
	A4	壁ノズル7,000mm	壁	4.5	4.2	2.08			0.90	0.96	0.88		
	A5	天井ノズル	天井	2回/h	4.2	0.06			1.04	1.03	1.03		
	A6	天井ノズル	壁	2回/h	4.2	2.08			0.89	0.94	0.84		
	A7	床吹出2個	天井	2回/h	0.15~0.3	0.06			0.84	1.05	0.98		
	A8	床吹出2個	壁	2回/h	0.15~0.3	2.08			1.08	1.03	0.94		
冷房	C1	壁ノズル3,500mm	天井	4.5	4.2	0.06	16.0	777.8	1.20	1.53	1.22		
	C2	壁ノズル3,500mm	壁	4.5	4.2	2.08			0.96	1.26	1.00		
	C3	壁ノズル7,000mm	天井	4.5	4.2	0.06			0.94	1.07	0.93		
	C4	壁ノズル7,000mm	壁	4.5	4.2	2.08			0.99	0.92	0.87		
	C5	天井ノズル	天井	2回/h	4.2	0.06			1.03	1.02	0.95		
	C6	天井ノズル	壁	2回/h	4.2	2.08			0.96	1.01	0.97		
	C7	床吹出2個	天井	2回/h	0.15~0.3	0.06			1.97	2.87	2.30		
	C8	床吹出2個	壁	2回/h	0.15~0.3	2.08			1.18	1.65	1.56		
冷房	C1-D	壁ノズル3,500mm	天井	9.0	8.4	0.12	16.0	1555.6	0.90	0.90	0.97		
	C2-D	壁ノズル3,500mm	壁	9.0	8.4	4.16			0.97	0.92	0.90		
	C3-D	壁ノズル7,000mm	天井	9.0	8.4	0.12			1.01	0.84	0.89		
	C4-D	壁ノズル7,000mm	壁	9.0	8.4	4.16			1.19	0.95	0.78		
	C5-D	天井ノズル	天井	4回/h	8.4	0.12			1.06	0.95	1.01		
	C6-D	天井ノズル	壁	4回/h	8.4	4.16			0.87	1.02	0.78		
	C7-D	床吹出2個	天井	4回/h	0.3~0.6	0.12			1.26	1.16	1.21		
	C8-D	床吹出2個	壁	4回/h	0.3~0.6	4.16			1.17	1.49	1.21		
暖房	C7-DU	床吹出1個	天井	4.5	0.15~0.3	0.06	17.2	777.8	1.02	1.56	1.49		
	C8-DU	床吹出1個	壁	4.5	0.15~0.3	2.08			1.00	1.21	1.21		
	C7-HU	床吹出4個	天井	2回/h	0.08~0.2	0.06			2.03	2.25	2.09		
	C8-HU	床吹出4個	壁	2回/h	0.08~0.2	2.08			1.03	1.22	1.45		
	W1	壁ノズル3,500mm	天井	4.5	4.2	0.06			32.0	周囲温度 6°Cとして 室内温度 との差に より熱損 失を計算	0.78	-	-
	W2	壁ノズル3,500mm	壁	4.5	4.2	2.08					0.96	-	-
	W3	壁ノズル7,000mm	天井	4.5	4.2	0.06					0.26	-	-
	W4	壁ノズル7,000mm	壁	4.5	4.2	2.08					0.85	-	-
W5	天井ノズル	天井	2回/h	4.2	0.06	0.92	-	-					
W6	天井ノズル	壁	2回/h	4.2	2.08	0.99	-	-					
W7	床吹出2個	天井	2回/h	0.15~0.3	0.06	0.78	-	-					
W8	床吹出2個	壁	2回/h	0.15~0.3	2.08	0.80	-	-					

注)床吹出の風速は前報その1参照(文献1)。また床吹出温度は床面との貫流熱による温度変化を考慮して与えた。記号 Ts:吹出温度

解析は、室の対称性を考慮し、室全体の1/2の空間を対象として行う。なお、数値解析では、実験は行っていないが、暖房時のケースも検討している。

メッシュ分割数は、ノズル吹出の場合が50(x)×25(y)×73(z)、床吹出の場合、100(x)×25(y)×73(z)とする。居住域平均空気交換効率 ϵ_m は、室内床上1,800mmまでの局所空気交換効率 ϵ_p をメッシュ毎の容積で重み付け平均して求めた。数値解析で求めた ϵ_m を各ケースの境界条件とともに表4に示す。

数値解析による室内の流れ場の解析は、模型実験時の周囲環境の影響を受けずに、同一条件のもとで空調方式の違いについて比較検討が可能である。空間平均した居住域空気交換効率 ϵ_m は実測、数値解析結果ともに大きな差は見られず、数値解析により求めた ϵ_m により居住域の換気効率の評価が可能であると考えられる。

5. 解析結果

5.1 冷房時の気流分布と換気効率

冷房運転時の数値解析結果の局所空気交換効率 ϵ_p と居住域平均空気交換効率 ϵ_m を実験値とともに図4に示す。

(1)壁吹出において、吹出口近傍の ϵ_p の値が、数値解析と比較して、実験値の方がやや高い結果になっているが、その他の測定点の

ϵ_p や ϵ_m は、よく一致している。

(2)壁3,500mm吹出の場合(C1, C2): 吹出空気が壁面まで達し、壁に沿って気流が下降し、居住域に循環流を形成するため、居住域の ϵ_p は室内上部と比較して高くなる。天井吸込の場合、吹出空気が居住域に効率よく拡散し、その後上部から排気されるため、 ϵ_m は1.2と高くなる。

(3)壁7,000mm吹出の場合(C3, C4): 吹出気流は上部から壁面に沿って下降するが、居住域に達する前に、壁面発熱の上昇気流と衝突し、室下部では発熱面に対向する面に沿って下降する。このため、室内全体がよく混合され、 ϵ_m は約1.0と完全混合に近い。

(4)天井吹出の場合(C5, C6): 吹出気流が床面まで到達し、その後発熱面に沿って上昇しており、この場合も ϵ_p の上下差は小さくほぼ1.0前後の値となる。

(5)床吹出-天井吸込の場合(C7): 吹出気流が居住域に拡散した後、天井面から排気されるため、居住域の ϵ_p が高く、 ϵ_m はピストンフローに近い2.0前後の値となる。また、吹出噴流が到達しない3,000mm以上の高さでは、 ϵ_p は0.8以下と低くなる。一方、壁吸込の場合(C8), 吹出気流が居住域で拡散した後、床面付近の吸込口から排気されるため、天井吸込に比べ居住域の ϵ_p は低くなる。また、気流が到達しない天井部の ϵ_p は0.3程度と極端に低い。

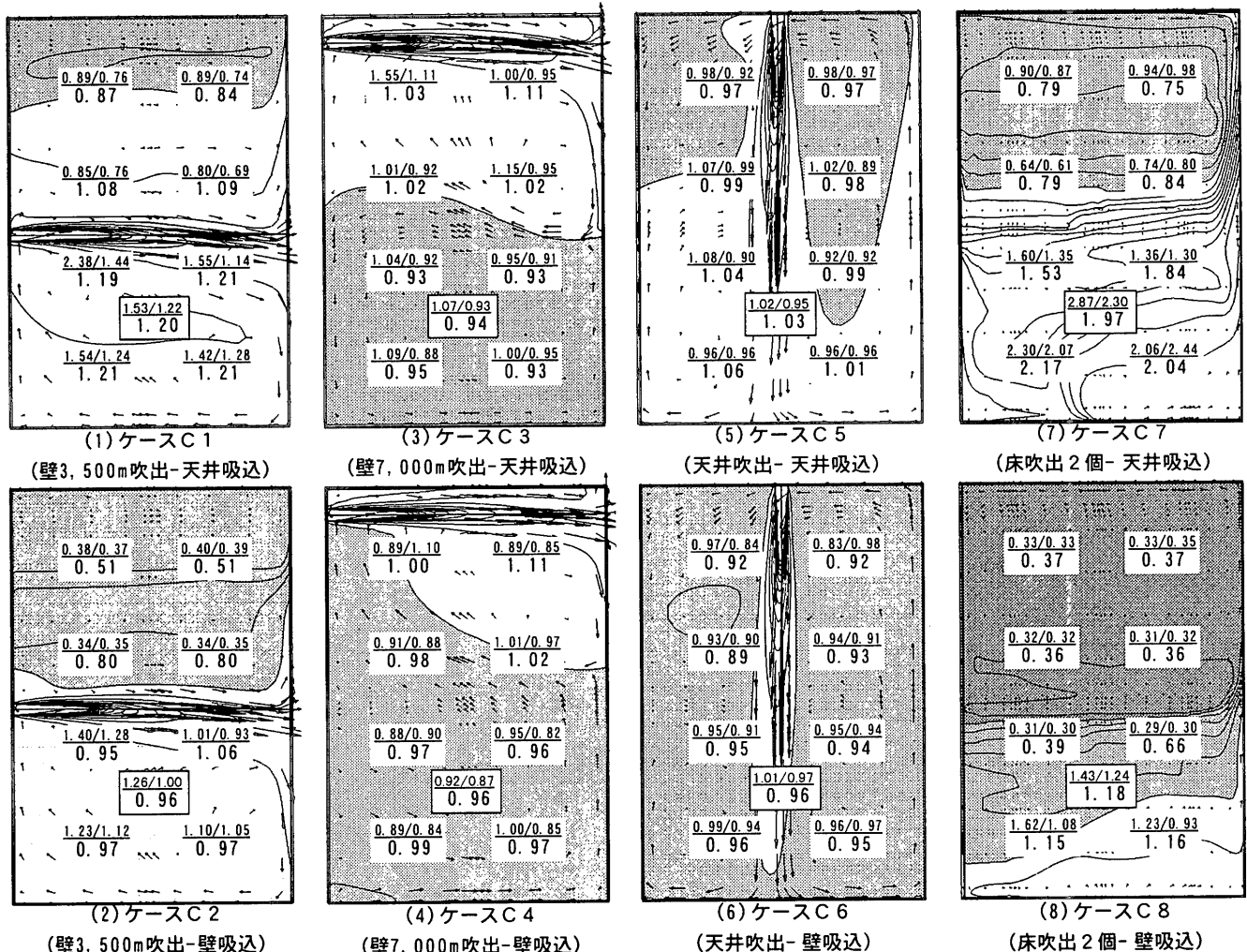


図4 冷房時の局所空気交換効率算出結果

(上段が実験結果(StepUp/StepDown), 下段が数値解析結果, □内はそれぞれの居住域平均値を示す。)

5.2 吹出風速と換気効率の関係

ケースC-D (ケースCに対して吹出風速が2倍)の実験結果及び数値解析結果を図5に示す。

(1)吹出風速が増加した場合:吹出方向,吸込口の配置に拘わらず,室内上下の ϵ_p の差は小さい。また,居住域空気交換効率 ϵ_m は,

壁吹出3,500mmの場合(C1-D, C2-D),0.9前後とケースCに比較してやや低くなる。

この原因は,風速が増加すると吹出気流が壁面や天井面に沿って流れ,天井及び壁面に設置された吸込口から,相対的に空気齢の小さい新鮮な空気が排出されるようになるためと考えられる。

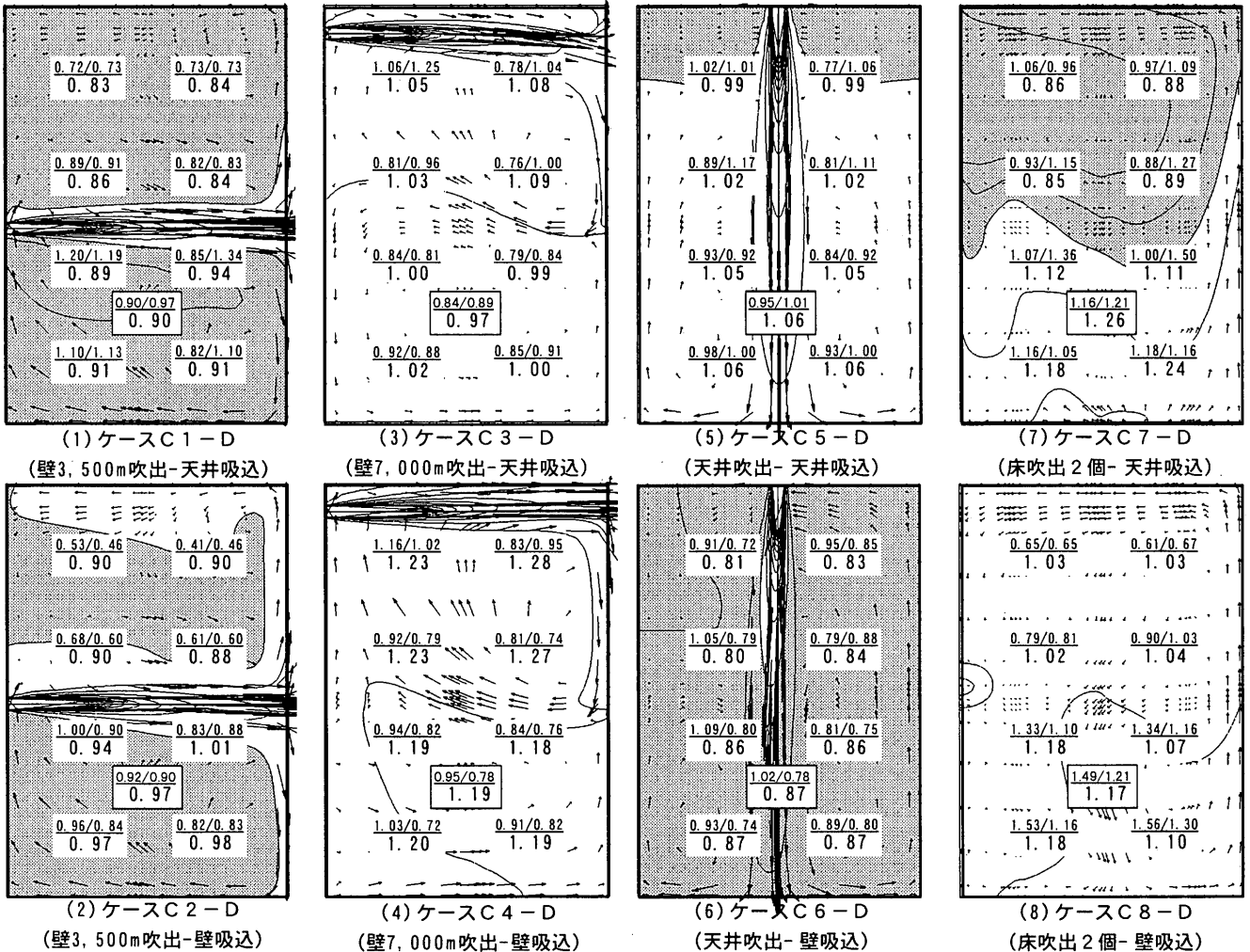


図5 冷房時の局所空気交換効率算出結果 (吹出風量 540m³/h)

(上段が実験結果(StepUp/StepDown), 下段が数値解析結果 □内はそれぞれの居住域平均値を示す。)

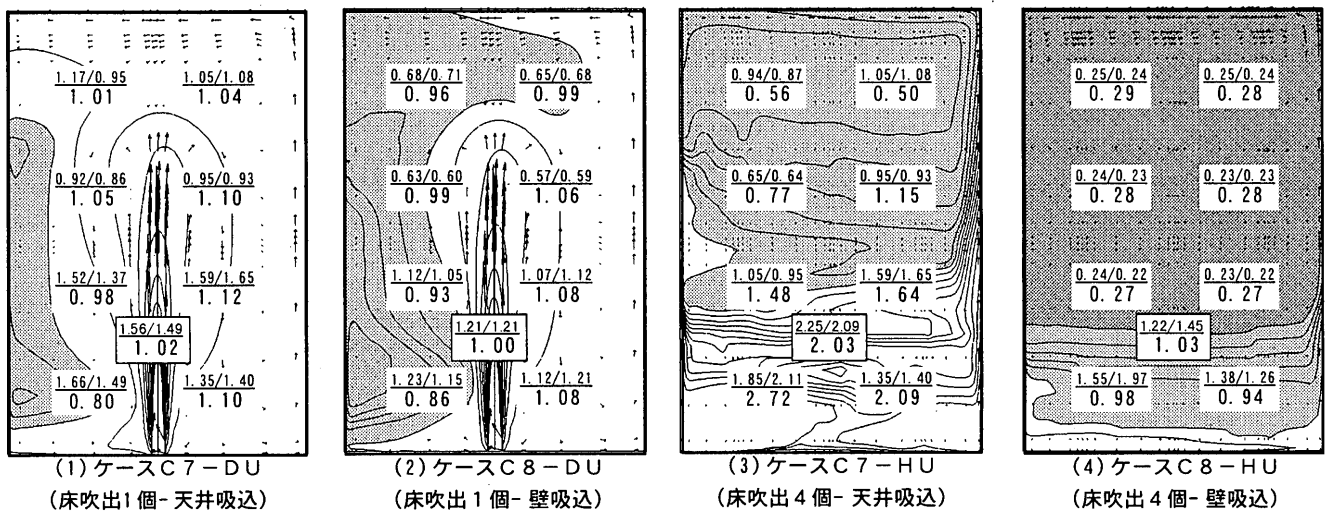


図6 冷房時の局所空気交換効率算出結果 (床吹出)

(上段が実験結果(StepUp/StepDown), 下段が数値解析結果 □内はそれぞれの居住域平均値を示す。)

(2)壁吹出7,000mmの場合(C3-D, C4-D):壁面に沿って気流が下降し,居住域に吹出空気が拡散するため ϵ_m は1.0以上となり,完全混合に近い流れとなる。

(3)天井吹出-天井吸込の場合(C5-D):噴流が床面に衝突した後,同様の流れになるため ϵ_m は1.0となるが,壁吸込の場合 ϵ_m は0.9とやや低くなる。

5.3床吹出風量と換気効率の関係

床吹出からの吹出風量を,270m³/h×2個(ケースC7-D, C8-D),270m³/h×1個(ケースC7-DU, C8-DU),67.5m³/h×4個(ケースC7-HU, C8-HU:合計風量270m³/h)としたときの実験,数値解析の結果を図5,6に示す。

(1)1個当たりの風量が多い場合(C7-D, C8-D, C7-DU, C8-DU):吸込口の位置に関係なく, ϵ_m は1.0程度となる。

(2)1個当たりの風量が少ない場合:吹出個数を多くして,室内に均等に吹出口を配置し,1個当たりの吹出風速が小さくすると,吹出噴流の到達高さが低くなる。このため,天井吸込(C7-HU)の場合は,ピストンフローに近くなり ϵ_m が高くなるが,壁吸込(C8-HU)の場合は,吹出空気が居住域に拡散する前に排気されるため, ϵ_m は低くなる。

5.4吹出温度差と換気効率の関係

吹出風量が270m³/hのときの吹出と吸込温度の差 ΔT と ϵ_m の関係を暖房時の結果を含めて図7に示す。

(1)壁3,500mm吹出の場合:冷房時(ΔT が0℃以下)の天井吸込では, ϵ_m は1.2以上と高くなる。しかし,冷房時の壁吸込や暖房時では,やや低くなり, ϵ_m は0.8~1.0と完全混合の値とほぼ同等となる。

(2)壁7,000mm吹出の場合:暖房時の天井吸込の場合,吹出空気が天井付近に滞留するため ϵ_m は0.3程度と極端に低くなるが,換気運転及び冷房運転時の他のケースでは, ϵ_m の値は0.8~1.2の範囲に入る。

(3)天井吹出の場合:他の方式に比べて ΔT の影響が小さく, ϵ_m の値は0.8~1.2の範囲に入る。

(4)床吹出の場合:等温・暖房運転時は ϵ_m がほぼ1.0になるが,冷房時は ΔT の絶対値が大きくなるほど, ϵ_m が高くなり, $\Delta T=-10℃$ で2.0とピストンフローに近い流れとなる。

6. まとめ

アトリウムの空調方式の違いが換気効率に与える影響について検討した結果,以下の結論を得た。

(1)等温運転時の空調方式の組み合わせは,どの方式も居住域空気交換効率は,0.9~1.2程度となり,空調方式による差は小さくなり,完全混合に近くなる。

(2)冷房時,吹出口の高さが3,500mmのケースでは,吹出口の高さが7,000mmのケースと比較して上下の ϵ_p の差が大きく,下層部の ϵ_p の値が高くなる。今回の結果から,吹出口高さが7,000mmと比較して,3,500mmに吹出口を設置したケースの方が居住域の換気性能が高くなることがわかった。

(3)床吹出方式の場合は,壁吸込と比較して天井吸込の方が望まし

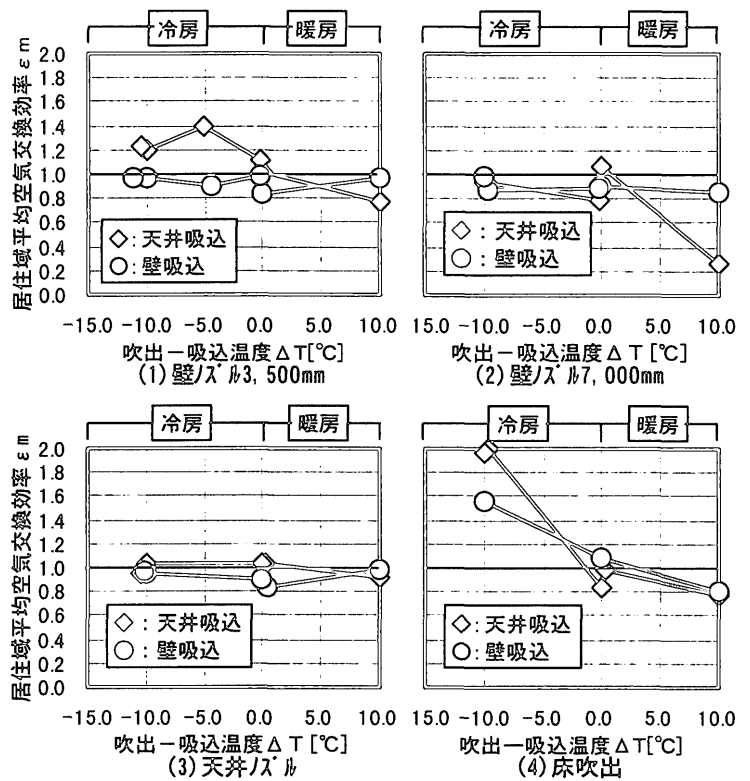


図7 吹出温度差と居住域平均空気交換効率の関係

い。特に,吹出風速を小さくし,床吹出口の個数を多く配置すると(C7-HU),ピストンフローに近い流れ場となり効果的である。(4)壁吹出や天井吹出の場合,吹出風量を多くし,吹出風速を単に上げるだけでは,天井や壁面に沿う流れが強くなり,居住域を含めた空間内部が換気されず,吹出風量を多くした効果が少ない。吹出風量を増加する場合は,吹出口を増加するなど空間内全域に新鮮空気が分配されるように配慮する必要がある。

(5)暖房,冷房を通じて,居住域を対象とした効率的な空調方式は,壁吹出3,500mm-壁吸込(C2,W2),もしくは床吹出-天井吸込(C7,W7)の組み合わせとなる。

謝辞

測定に当たっては,東京大学生産技術研究所 村上教授,東京ガス(株)大森氏,三井建設(株)長谷川氏,(株)間組須山氏の多大な御協力を得た。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 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その1,日本建築学会計画系論文集,NO.517,1999.3,pp.29-pp36
- 2) 小林仁,村上周三,吉野博,松本真一,平山武久:南面ガラス張り大空間オフィスの室内気候に関する実測 その2換気効率による機械換気システムの性能評価,日本建築学会大会学術講演梗概集,環境工学,1993.9,pp125-126
- 3) 村上周三,加藤信介:新たな換気効率指標と三次元乱流数値シミュレーションによる算出法,空調調和・衛生工学会論文集,NO.32,1986.10,pp91-102
- 4) 松本博,加藤信介:居室模型を用いた換気効率の測定法に関する研究その1,2日本建築学会大会学術講演梗概集,1992.8,pp625-628
- 5) 空調調和・衛生工学会 空調調和設備委員会 換気効率・基準小委員会:HASS102-1995換気規格(案)に関するシンポジウム資料,1998.2,pp.17-20
- 6) 桑原亮一,赤林伸一,水谷国男,何平:換気効率を考慮した室内設計手法に関する研究(その7~9)日本建築学会大会学術講演梗概集(九州),環境工学,1998.9,pp601-606

(1999年6月10日原稿受理,2000年1月11日採用決定)