

# オフィス空間を対象とした規準化居住域濃度のCFD解析(その4) 置換換気方式の場合

正会員 菊池世欧啓\*<sup>1</sup> 同 高橋雄司\*<sup>2</sup>  
同 小林信行\*<sup>3</sup> 同 伊藤一秀\*<sup>4</sup>

## 1. 序

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利用し換気効率の考え方を取り入れることで、従来の換気設計よりも換気量を減らせる可能性がある。

本研究では、一般的なオフィス空間を対象とし、国内では実施例の少ない置換換気を想定して空調を行った場合の換気効率指標(規準化居住域濃度  $C_n$ )<sup>注1)</sup>をCFDにより解析する。

## 2. 解析概要

### 2.1 解析対象オフィスと空調方式

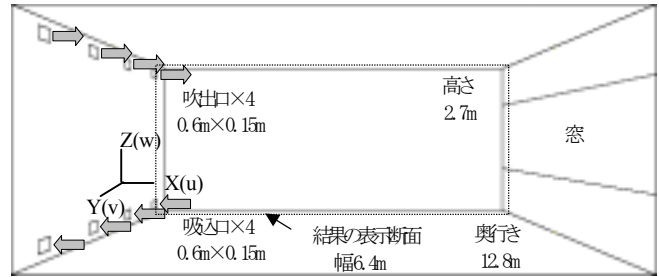
図1に解析対象オフィスと空調方式を示す。室は幅6.4m(X), 奥行12.8m(Y), 高さ2.7m(Z)と設定している。計算は対称性を考慮しY方向に関し半分の領域について行う。空調方式は、既報にて一般的なオフィスに対する空調方式3種類を解析しており<sup>文2~4)</sup>、本報では2種類を設定する。CASE4は壁上部吹出・壁下部吸込方式とし、室内に吹出された気流が、居住域を経て吸込口へ流れピストンフローに近い流れとなることを想定している。CASE5は置換換気方式である。吹出口はCASE4は幅0.6m×高さ0.15mのスロット型である。CASE5は幅1.27×高さ1.2mの多孔パネル型面状吹出口を想定している<sup>注2)</sup>。

### 2.2 熱負荷条件および計算条件

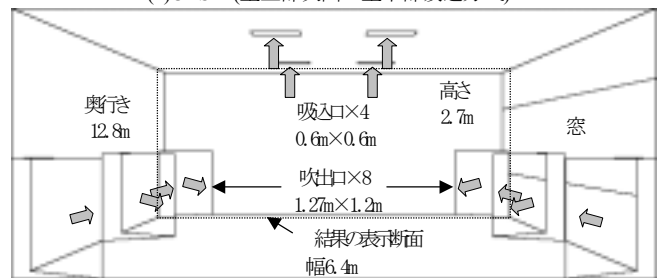
表1に熱負荷条件、表2に計算条件を示す。熱負荷は夏期冷房と冬期暖房を設定する。照明負荷は天井に、OA機器と人体の負荷は床面にそれぞれ均一に与える。窓面には日射負荷を与える<sup>注3)</sup>。汚染質はpassive contaminantと仮定し、空間全体で一様に発生させている。流れ場は標準k-εモデルに基づく3次元解析を行っている。

### 2.3 解析対象とした空調条件

表3に解析対象とした空調条件を示す。各空調条件は設計目標温度と室内熱負荷を同一とし、吹出風速と吹出温度を変化させて設定する。すなわち、吹出空気Ar数、Re数の変化が流れ場、温度場および汚染質濃度場に与える影響を解析する<sup>注4)</sup>。吹出風速と吹出温度は、等温換気(室内熱負荷を無視し、等温仮定とする空調条件)のほか、冷暖5種類の計6種類を想定した。吹出風量は表1に示す熱負荷、吹出温度と設計目標温度より算定している。



(1)CASE4(壁上部吹出・壁下部吸込方式)



(2)CASE5(置換換気方式)

図1 解析対象オフィスと空調方式

表1 熱負荷条件

	照明	人体	OA機器	日射	熱貫流(窓)	壁面蓄熱	合計
夏期冷房	1638 (20)	1104 (13)	3200 (39)	2765 (34)	625 (8)	—	9332 (114)
冬期暖房	—	—	—	—	-2028 (-25)	-6810 (-83)	-8838 (-108)

(単位は W, () 内の値は床面積当たりの発熱量 W/m<sup>2</sup>, 室内に向かう熱流を正(+とする)

表2 計算条件

解析メッシュ数	CASE4 72(x)×68(y)×51(z)=249,696 CASE5 64(x)×64(y)×27(z)=110,592
乱流モデル	標準k-εモデル
アルゴリズム	SIMPLE(定常解析)
流入境界	$U_{in}$ は表3を参照, $k_m=3/2(U_{in} \times 0.05)^2$ , $\epsilon_{in}=C_{\mu} \cdot k_m^2 / l_m$ , $l_m$ は吹出し幅の1/7, $C_{\mu}=0.09$
流出条件	$U_{out}$ =質量保存, $k_{out}$ =free slip, $\epsilon_{out}$ =free slip
壁面境界	一般化対数則
汚染質	空間一様発生(passive contaminant)

表3 解析対象とした空調条件

解析ケース	空調種別 ( )は吹出温度差 $\Delta t$	設計 目標 温度 (°C)	吹出 温度 (°C)	換気 回数 (回/h)	吹出 風速 (m/s)	Ar 数 (-)	Re 数 (-) ( $\times 10^6$ )
CASE4-1	等温換気	—	—	10.0	1.71	0	0.33
CASE4-2	冷房(-16°C)	26	10	3.9	1.34	-0.78	0.24
CASE4-3	冷房(-10°C)	26	16	6.3	2.15	-0.19	0.41
CASE4-4	冷房(-3°C)	26	23	21.0	7.17	-0.01	1.38
CASE4-5	暖房(+10°C)	22	32	6.0	2.04	0.02	0.39
CASE4-6	暖房(+3°C)	22	25	19.9	6.79	0.09	1.31
CASE5-1	等温換気	—	—	10.0	0.05	0	0.01
CASE5-2	冷房(-16°C)	26	10	3.9	0.04	-900.52	0.01
CASE5-3	冷房(-10°C)	26	16	6.3	0.06	-220.27	0.01
CASE5-4	冷房(-3°C)	26	23	21.0	0.21	-5.94	0.04
CASE5-5	暖房(+10°C)	22	32	6.0	0.06	245.17	0.01
CASE5-6	暖房(+3°C)	22	25	19.9	0.20	6.62	0.04

注 解析 ケースは CASE(空調方式)-(空調種別)とする。  
 $\Delta t$ は(吹出温度)-(室温)とする。

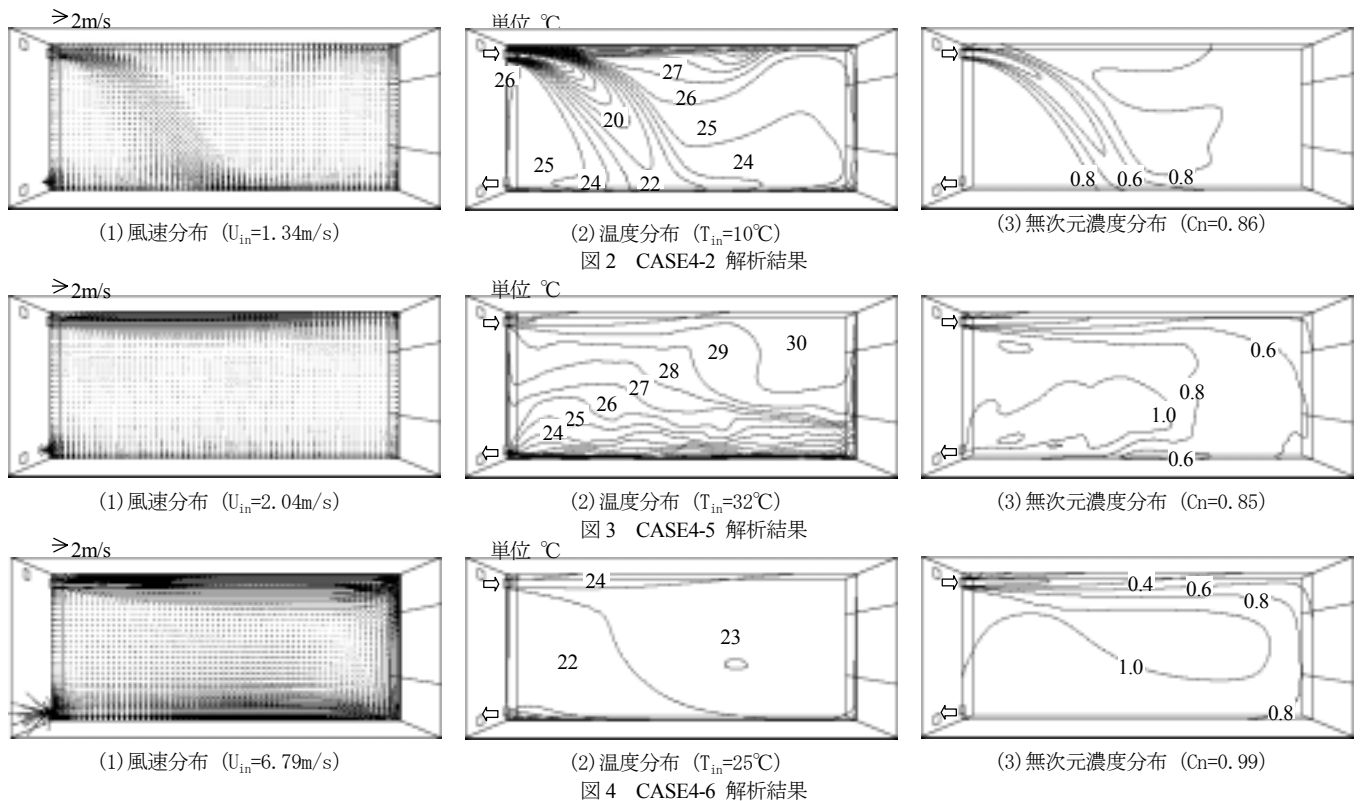


図2 CASE4-2 解析結果

図3 CASE4-5 解析結果

図4 CASE4-6 解析結果

### 3. 流れ場・温度場・汚染質濃度場の解析結果

図2から図7に各空調方式の流れ場、温度場、汚染質濃度場の分布を示す。各空調方式毎に6種類ある結果の中から冷房時、暖房時のCnの値が最小の結果とその空調方式の特徴的な結果の計3種類を選んで図に示す。結果の表示断面は各空調方式とも同じ位置である(図1)。CASE4は吹出口を含んでいるがCASE5では吹出口を含んでいない。汚染質濃度は排気濃度(完全混合濃度)で無次元化している。本解析で示す無次元濃度分布は、汚染質を空間に一樣発生させていることから、無次元空気齢分布(SVE3分布)に一致する。

#### 3.1 CASE4(壁上部吹出・壁下部吸込方式)

冷房時CASE4-2は吹出気流が室中央部で下降し下部の吸込口から排出される(図2(1))。居住域は設計目標温度の $26^\circ\text{C}$ 前後となる(図2(2))。濃度分布は0.8前後と低い値である(図2(3))。暖房時CASE4-5は吹出気流が天井に沿って流れ対向壁に達する(図3(1))。上下方向には明確な温度成層が形成されており、居住域の温度は設計目標温度の $22^\circ\text{C}$ より高くなっている(図3(2))。無次元濃度分布は居住域で1.0以下となっている(図3(3))。暖房時CASE4-6は吹出温度差が小さく吹出気流が速いため、室全体がよく混合される(図4(1))。居住域の平均風速は $0.56\text{m/s}$ と速い(表4)。温度分布は均一であり設計目標温度に達してい

表4 居住域平均温度・平均風速

解析ケース	空調種別	平均温度 ( $^\circ\text{C}$ )			平均風速 ( $\text{m/s}$ )		
		設計目標温度	居住域	上部 <sup>注5)</sup>	室全体	居住域	上部
CASE4-1	等温換気	—	—	—	0.12	0.09	0.20
CASE4-2	冷房( $-16^\circ\text{C}$ )	26	24.2	26.3	0.14	0.15	0.13
CASE4-3	冷房( $-10^\circ\text{C}$ )	26	24.4	25.2	0.20	0.17	0.25
CASE4-4	冷房( $-3^\circ\text{C}$ )	26	25.3	25.2	0.58	0.44	0.86
CASE4-5	暖房( $+10^\circ\text{C}$ )	22	25.6	29.6	0.15	0.10	0.24
CASE4-6	暖房( $+3^\circ\text{C}$ )	22	23.0	23.2	0.66	0.56	0.86
CASE5-1	等温換気	—	—	—	0.02	0.02	0.02
CASE5-2	冷房( $-16^\circ\text{C}$ )	26	20.0	23.0	0.10	0.10	0.09
CASE5-3	冷房( $-10^\circ\text{C}$ )	26	24.7	29.3	0.07	0.08	0.05
CASE5-4	冷房( $-3^\circ\text{C}$ )	26	25.2	29.3	0.10	0.10	0.09
CASE5-5	暖房( $+10^\circ\text{C}$ )	22	17.0	22.4	0.11	0.09	0.14
CASE5-6	暖房( $+3^\circ\text{C}$ )	22	16.3	21.8	0.13	0.10	0.19

る(図4(2))。濃度分布もほぼ均一になっている(図4(3))。

#### 3.2 CASE5(置換換気方式)

冷房時CASE5-2は吹出気流が床近傍を流れ室中央で衝突している(図5(1))。上下方向には明確な温度成層が形成されている(図5(2))。室上部に向かうピストンフローにより居住域の無次元濃度濃度は低くなっている(図5(3))。暖房時CASE5-4は吹出気流が室中央で衝突し、上部に向かって流れ、吸込口に達している(図6(1))。室上部の壁際は気流が滞留しているため濃度が高くなっている(図6(3))。暖房時CASE5-6は吹出された気流がすぐに上昇する(図7(1))。暖気が床面近くには到達せず、床面には蓄冷を想定した境界条件が与えられているため、居住域の温度は低い(図7(2))。

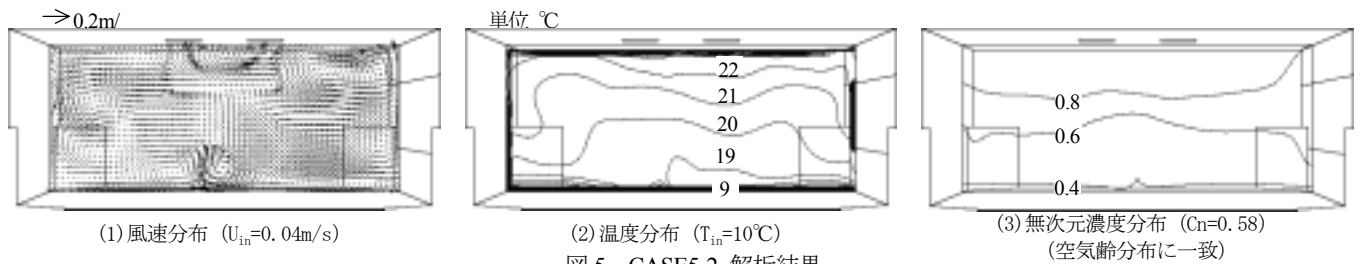


図5 CASE5-2 解析結果

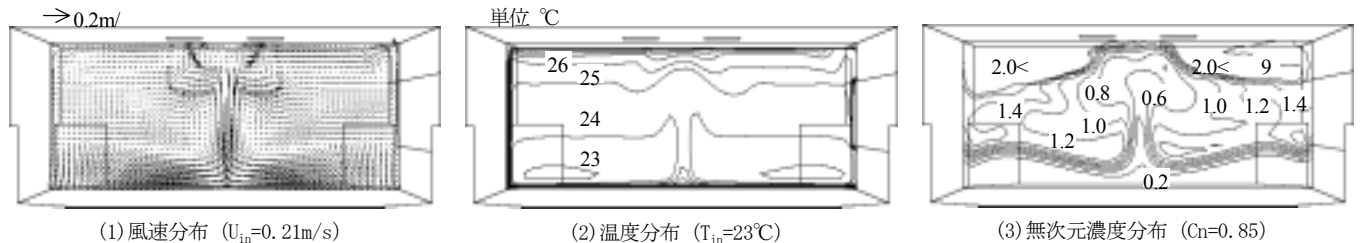


図6 CASE5-4 解析結果

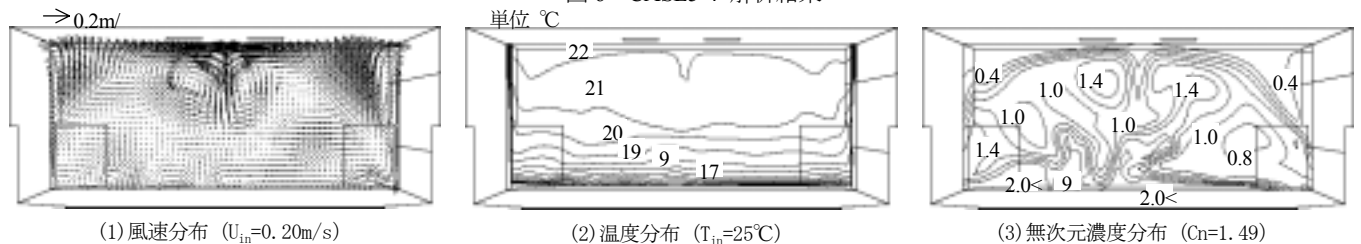


図7 CASE5-6 解析結果

### 3.3 考察

表4に居住域平均温度・平均風速を示す。居住域平均温度は冷房時の設計目標温度  $26^\circ\text{C}$  に対して、CASE4は  $24.2\sim 25.3^\circ\text{C}$  であり、ほぼ設計目標温度に近づいている。CASE5-2は  $20.0^\circ\text{C}$  であり居住域が過度に冷やされている。暖房時は設計目標温度  $22^\circ\text{C}$  に対して、CASE5は  $17.0^\circ\text{C}$  と  $16.3^\circ\text{C}$  であり暖房の効果が低い。居住域平均風速はCASE4-6の  $0.56\text{m/s}$  を除いてはビル管法の規準値  $0.5\text{m/s}$  以下となっており問題は無い。各空調方式毎に気流分布・温度分布・無次元濃度分布・居住域平均温度および居住域平均風速の解析結果から考察すると、CASE4は気流速度がやや速い場合もあるが冷房時・暖房時とも設計目標温度に近く、良好な空調方式である。CASE5は冷房に有利な反面、暖房には不向きである。

## 4. 換気効率の解析結果

### 4.1 規準化居住域濃度

表5に規準化居住域濃度の解析結果を示す。CASE4の  $C_n$  は  $0.84\sim 0.99$  である。冷房時は吹出気流が下降しながら広がるため居住域の濃度が低くなる。暖房時は吹出気流は天井に沿って流れ対向壁に衝突した後に室下部へ流れる。これにより室全体に循環流が生じ、 $C_n$  値が小さくなっている。吹出温度差が小さい場合は、室全体がよく

表5 規準化居住域濃度 ( $C_n$ ) の解析結果

空調条件	CASE4	CASE5
-1 等温吹出	0.84	0.74
-2 冷房( $-16^\circ\text{C}$ )	0.86	0.58
-3 冷房( $-10^\circ\text{C}$ )	0.89	0.73
-4 冷房( $-3^\circ\text{C}$ )	0.87	0.85
-5 暖房( $+10^\circ\text{C}$ )	0.85	1.52
-6 暖房( $+3^\circ\text{C}$ )	0.99	1.49

攪拌され均一な濃度分布になる。CASE5の  $C_n$  は等温吹出および冷房時には  $0.58\sim 0.85$  とCASE4よりも小さい。置換換気方式の特徴であるピストンフローが形成されている。一方暖房時は  $C_n$  が1.5前後であり、置換換気が機能していない。 $C_n$  の値と気流分布・温度分布・無次元濃度分布・居住域平均温度および居住域平均風速の解析結果から適当な空調方式を検討すると、冷房のみを考慮するとCASE4、CASE5とも良好な空調方式となるが、冷房と暖房を考慮した場合、CASE4が良好な空調方式となる。

### 4.2 Ar数, Re数と規準化居住域濃度 $C_n$ の比較

図8に各空調方式の吹出空気のアール数と規準化居住域濃度  $C_n$  の関係を、図9に各空調方式のレイノルズ数と規準化居住域濃度  $C_n$  の関係をそれぞれ示す。図8の(1)と(2)は横軸の範囲が異なる。CASE4はアール数およびレイノルズ数の変化は  $C_n$  に大きく影響せず  $0.9$  前後となる(図8(1), 図9(1))。

CASE5はアール数が負の場合は  $C_n$  が  $0.9$  以下となりアール

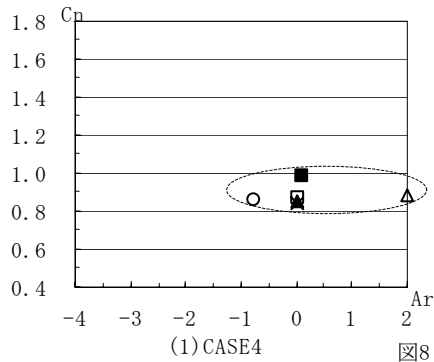


図8 ArとCnの関連図

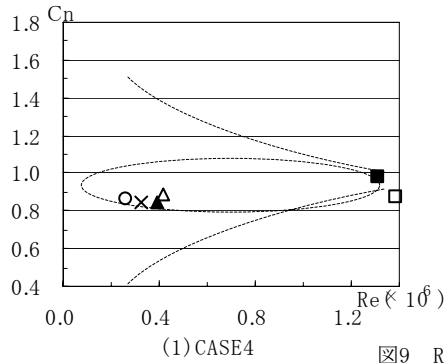
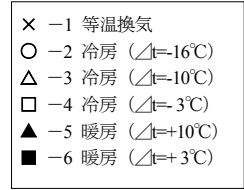
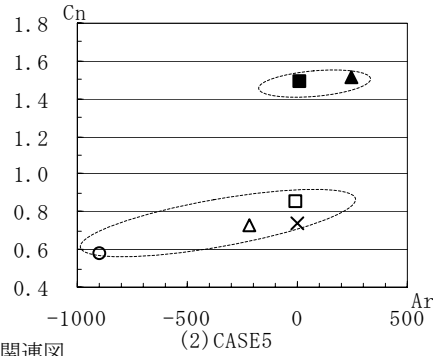
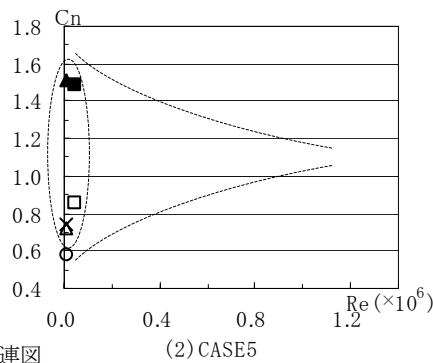


図9 ReとCnの関連図



数が小さくなるにつれて Cn の値も小さくなり吹出温度差が-16°Cのときは Cn が約 0.6 になる。Ar 数が正の場合、Cn は 1.4 以上で、Ar 数が大きくなるにつれ Cn の値もわずかに大きくなる傾向がある。Re 数の変化は小さいが Cn は 0.6~1.5 まで大きく変化している(図 9(2))。

#### 4.4 考察

全体的には、吸込口が上部に設置された空調方式においては吹出温度が高く Ar 数が大きくなる暖房時には、Cn の値は 1.0 を大きく上回る。また室内の流れがピストンフロー、もしくはこれに近い流れになる場合は Cn の値が 1.0 より下回る場合が多い。Re 数と Cn との関係は、Re 数が小さい場合には Cn の値が 1.0 から大きく離れ、Re 数が大きい場合には Cn が 1.0 に近づく傾向がある。

#### 5. 結論

- (1)冷房には換気効率の点から置換換気方式が最も良好な結果となった。冷房運転と換気運転のみで、暖房運転の機会がない地域では、置換換気方式による空調は大変有効である。
- (2)冷房と暖房の双方には CASE4 の壁上部吹出・壁下部吸込方式は、吹出条件(温度・風量)を調整することで温度場や濃度場の分布が小さく、完全混合に近い環境を提供することができる。
- (3)規準化居住域濃度 Cn は、暖房時に Ar 数が大きい場合

や Re 数が小さい場合に 1.0 を上回る傾向にある。

#### 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。居住域は床上 1.8m<sup>文1)</sup>
- 2) 本解析では、市販の置換換気用吹出口(高さ=1200mm)をモデル化して用いている。
- 3) 本解析では先行して放射解析を行い、あらかじめ放射による熱移動量を各壁面に分配して対流計算の境界条件を与えている。
- 4) Ar 数、Re 数の代表長さ L<sub>0</sub>は各 CASE 間で統一した長さとするため対象空間の高さ(2.7m)としている。温度差 Δθ は吹出温度と設計目標温度の差と定義する。
- 5) 上部とは、床上 9m から天井高さ 2.7m までの間の空間としている。居住域の上部の空間をさす。

#### 参考文献

- 1) HASS102-1997 換気規準・同解説, 空気調和・衛生工学会規格, 1997.10
- 2) 菊池世欧啓, 高橋雄司, 小林信行, 宮崎康往, 伊藤一秀: オフィス空間を対象とした規準化居住域濃度の CFD 解析(その 1)空調方式の違いによる検討(等温吹出), 日本建築学会学術講演梗概集(2001), pp703-704, 2001.7
- 3) 宮崎康往, 高橋雄司, 小林信行, 菊池世欧啓, 伊藤一秀: オフィス空間を対象とした規準化居住域濃度の CFD 解析(その 2)各種空調条件下における流れ場・温度場の解析, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 I (2001), pp29-32, 2001.8
- 4) 菊池世欧啓, 高橋雄司, 小林信行, 宮崎康往, 伊藤一秀: オフィス空間を対象とした規準化居住域濃度の CFD 解析(その 3)各種空調条件下における汚染質拡散場の解析, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 I (2001), pp33-36, 2001.8

\*1 東京工芸大学大学院,

\*2 川本工業(株),

\*3 東京工芸大学 教授 工博,

\*4 東京工芸大学 講師 工博