

# 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

正会員 高橋 雄司 (川本工業)  
正会員 菊池 世欧啓 (川本工業)

正会員 ○宮崎 康往 (川本工業)  
正会員 小林 信行 (東京工芸大学)  
正会員 伊藤 一秀 (東京工芸大学)

## 1. 目的

空気調和・衛生工学会の換気規格 HASS102 換気規準<sup>文1)</sup>における換気量算定では、室内汚染質濃度場が不完全混合の場合、規準化居住域濃度を考慮することにより必要換気量の増減を行うことを可能としている。本研究では、一般的なオフィス空間における代表的な3種類の空調方式を想定し、吹出空気のア<sub>r</sub>数(吹出温度と吹出風速)を変化させた場合の規準化居住域濃度をCFDにより系統的に解析する。

既報(その1)<sup>文2)</sup>では等温吹出条件のもとで解析を行い、①吹出口と吸込口が室内に対しバランスよく配置された場合(図1 CASE1, 2)、規準化居住域濃度は1.0に近くなる、②置換換気システムを想定した空調方式(図1 CASE3)では、居住域に対する吹出口の大きさが室内の換気効率に影響する、などの知見を得た。本報(その2)では非等温条件下での流れ場と温度場の解析結果を示す。続いて次報(その3)で汚染質拡散場と規準化居住域濃度の解析結果を示す。

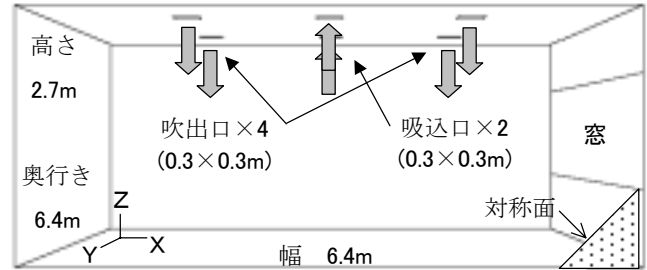
## 2. オフィス空間の概要

**2.1 解析対象オフィス** 図1に解析対象オフィスを示す。室は幅6.4m(X)、奥行き12.8m(Y)、高さ2.7m(Z)。計算は対象性を考慮しY方向に関し半分の領域について行う。空調方式は3種類。CASE1(天井吹出・天井吸込方式)とCASE2(天井吹出・床近傍吸込方式)は事務室の一般的な空調方式を想定。CASE3(床近傍吹出・天井吸込方式)は置換換気を想定した空調方式である。

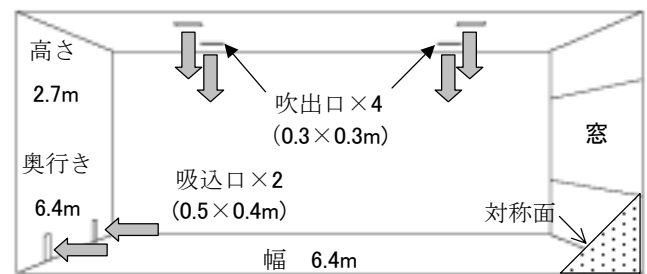
**2.2 計算条件** 表1に熱負荷条件、表2に計算条件を示す。熱負荷は夏期冷房と冬期暖房の2ケースを設定する<sup>文3)</sup>。照明負荷は天井に、OA機器と人体の負荷は床面にそれぞれ均一に与える。窓面には日射負荷<sup>※1)</sup>を与えている。

## 2.3 解析CASE

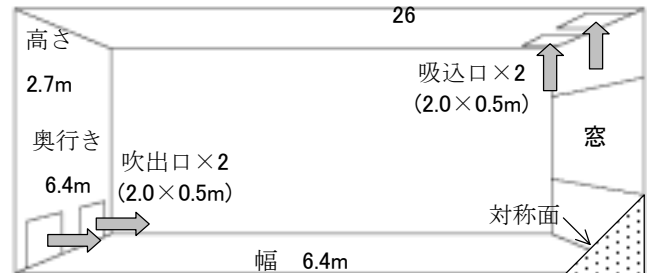
全解析CASEを表3に示す。本研究では設計温度(排気温度)と室内熱負荷を固定し、吹出風速と吹出温度を変化させる。すなわち吹出空気のア<sub>r</sub>数、Ar数の



(1) CASE1-1~CASE1-5(天井吹出・天井吸込方式)



(2) CASE2-1~CASE2-5(天井吹出・床近傍吸込方式)



(3) CASE3-1~CASE3-5(床近傍吹出・天井吸込方式)

図1 解析対象オフィス

表1 熱負荷条件 (W) ()は単位床面積当たりの熱量(W/m<sup>2</sup>)

	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)

表2 計算条件

解析メッシュ数	CASE1 78(x)×35(y)×72(z)=196,560 CASE2、CASE3 67(x)×27(y)×63(z)=113,967
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 <sub>in</sub> は表3を参照, k <sub>in</sub> =3/2(U <sub>in</sub> ×0.05) <sup>2</sup> , ε <sub>in</sub> =C <sub>μ</sub> ·k <sub>in</sub> <sup>3/2</sup> /l <sub>in</sub> l <sub>in</sub> は吹出し幅の1/7, C <sub>μ</sub> =0.09
流出条件	U <sub>out</sub> =質量保存, k <sub>out</sub> =free slip, ε <sub>out</sub> =free slip
壁面速度	一般化対数則
汚染質	空間一様発生(passive contaminant)

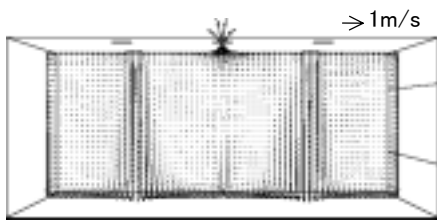


図2 CASE1-1 流れ場(0.67m/s吹出)

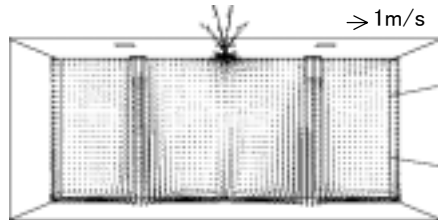


図3 CASE1-2 流れ場(1.07m/s吹出)

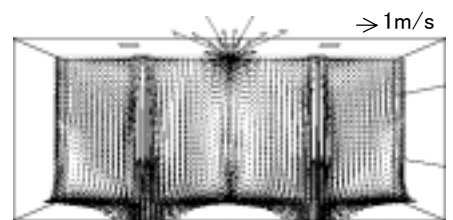


図4 CASE1-3 流れ場(3.58m/s吹出)

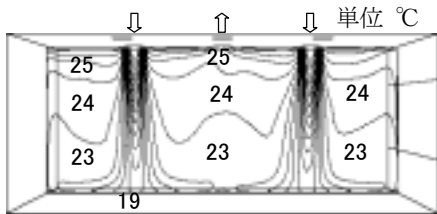


図5 CASE1-1 温度場(10°C吹出)

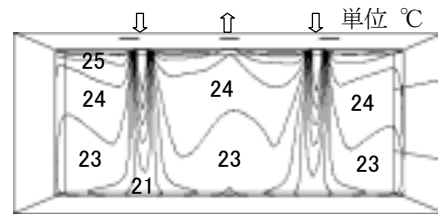


図6 CASE1-2 温度場(16°C吹出)

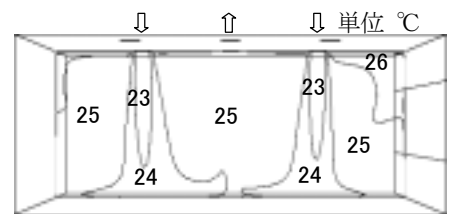


図7 CASE1-3 温度場(23°C吹出)

変化が流れ場、温度場および汚染物質拡散場に与える影響を解析する。吹出口は軸流吹出しを想定し、ガラリ型を採用した。吹出温度は、冷暖5種類を設定した。吹出風量は表1に示す熱負荷と吹出温度と設計温度より算定した。

**3. 解析結果と考察** 図2～31に各CASEの流れ場と温度場の解析結果を示す。図は吹出口と吸込口を含む垂直断面である。

**3.1 CASE1 (天井吹出、天井吸込方式) の解析結果**

(1)冷房時の流れ場(図2～4)各CASEとも吹出気流が床面に到達している。室中央の床近傍に旋回流があり、その高さはCASE1-1が床上約1m、CASE1-2が天井高の半分、CASE1-3は天井まで達している。

(2)冷房時の温度場(図5～7)CASE1-1と1-2は顕著な上下温度分布がある。どちらも居住域の温度は約23°Cで設計温度(26°C)より低い。床近傍はCASE1-1がCASE1-2より若干低い。CASE1-3は吹出口直下では22～24°C。その他の領域では約25°Cで均一。

(3)暖房時の流れ場(図8、9)CASE1-4は吹出気流が床面に到達。居住域の下部に旋回流が形成されている。CASE1-5は吹出気流が床上約0.4mの高さで浮力により上昇している。このため床近傍は滞留域になっている。(4)暖房時の温度場(図10、11)CASE1-4は上下温度差が約1°C。居住域の温度は23°C前後。CASE1-5は上下温度分布があり温度差は約10°C。床近傍は特に低く15°C以下となっている。

**3.2 CASE2 (天井吹出、床近傍吸込) の解析結果**

(1)冷房時の流れ場(図12～14)各CASEとも吹出

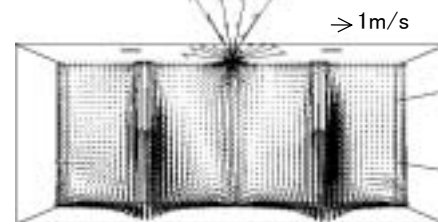


図8 CASE1-4 流れ場(3.39m/s吹出)

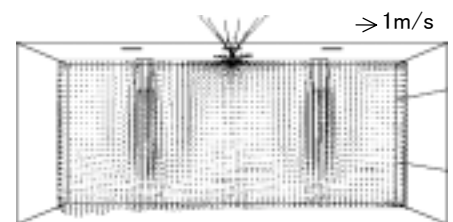


図9 CASE1-5 流れ場(1.02m/s吹出)

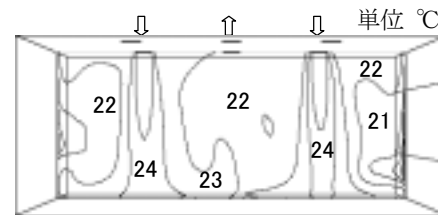


図10 CASE1-4 温度場(25°C吹出)

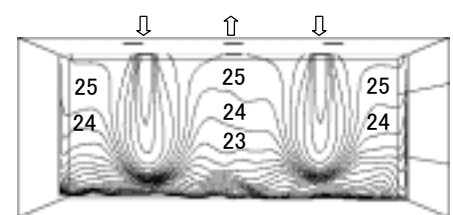


図11 CASE1-5 温度場(32°C吹出)

表3 解析 CASE

CASE	運転	設計温度(°C)	吹出温度(°C)	換気回数(回/h)	吹出風速(m/s)	Ar数 <sup>*2</sup> (-)	Re数 <sup>*2</sup> (-)
1-1	冷房(低風吹出)	26	10	3.9	0.67	-0.347	14418
1-2	冷房(一般空調)	26	16	6.3	1.07	-0.085	23016
1-3	冷房(温度差小)	26	23	21.0	3.58	-0.002	76786
1-4	暖房(温度差小)	22	25	19.9	3.39	0.003	72685
1-5	暖房(一般空調)	22	32	6.0	1.02	0.095	21825
1-6	—(等風吹出)	—	—	10.0	0.85	0.0	17920
2-1	冷房(低風吹出)	26	10	3.9	0.12	-35.82	8631
2-2	冷房(一般空調)	26	16	6.3	0.19	-8.72	13829
2-3	冷房(温度差小)	26	23	21.0	0.65	-0.236	46071
2-4	暖房(温度差小)	22	25	19.9	0.61	0.263	43631
2-5	暖房(一般空調)	22	32	6.0	0.18	9.726	13095
2-6	—(等風吹出)	—	—	10.01	0.15	0.0	5271

気流が床面に到達している。CASE2-1とCASE2-2は、空間上部に比べて床近傍の風速が速い。CASE2-3は床近傍で旋回流が形成されている。(2)冷房時の温度場(図15～17)CASE2-1とCASE2-2は上下に温度

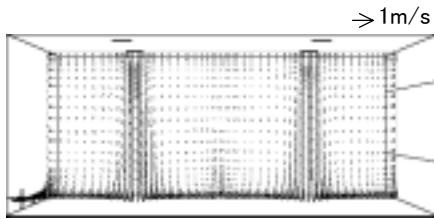


図 12 CASE2-1 流れ場 (0.67m/s 吹出)

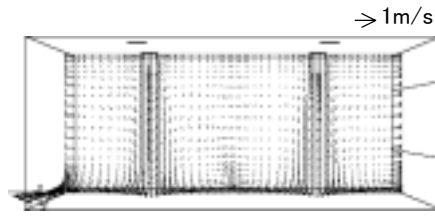


図 13 CASE2-2 流れ場 (1.07m/s 吹出)

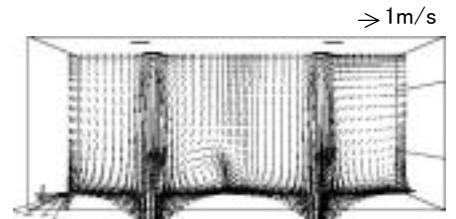


図 14 CASE2-3 流れ場 (3.58m/s 吹出)

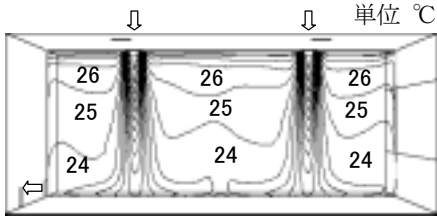


図 15 CASE2-1 温度場 (10°C吹出)

分布がある。CASE2-1 の方が全体的に温度が低い。CASE2-3 は吹出口直下を除き、約 25°C でほぼ均一な温度分布である。**(3) 暖房時の流れ場 (図 18、19)** CASE2-4 は吹出气流が床面に達しており室内には旋回流が形成されている。CASE2-5 の吹出し气流は床上 0.3m で上昇している。窓側で下降流がみられる。**(4) 暖房時の温度場 (図 20、21)** CASE2-4 は上下にほぼ均一な温度分布で居住域

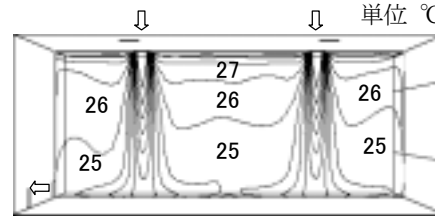


図 16 CASE2-2 温度場 (16°C吹出)

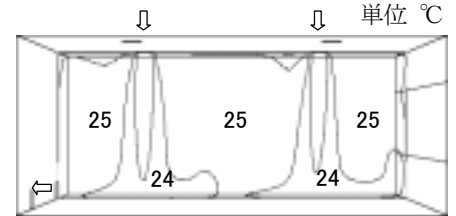


図 17 CASE2-3 温度場 (23°C吹出)

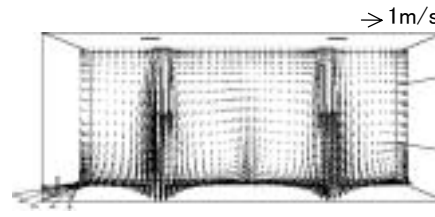


図 18 CASE2-4 流れ場 (3.39m/s 吹出)

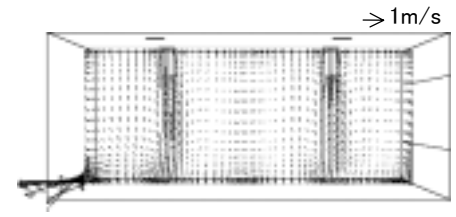


図 19 CASE2-5 流れ場 (1.02m/s 吹出)

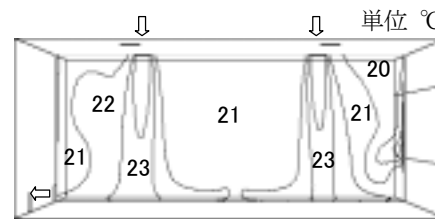


図 20 CASE2-4 温度場 (25°C吹出)

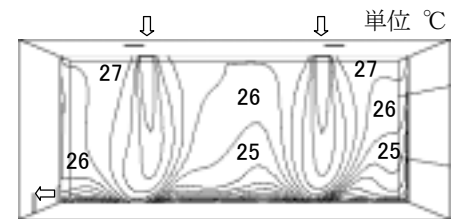


図 21 CASE2-5 温度場 (32°C吹出)

が 22°C 前後。窓側がわずかに低く 20°C 前後。CASE2-5 は上下温度分布があり温度差は約 7°C、床近傍は特に低く 15°C 以下。居住域は 25°C 前後となっている。

### 3.3 CASE3 (床近傍吹出、天井吸込) の解析結果

**(1) 冷房時の流れ場 (図 22~24)** CASE3-1 は、床上約 0.1m の範囲のみ气流が速いが、室全体は滞留している。CASE3-2 は吹出し气流が対向壁に到達した後、壁に沿って上昇し、天井吸込口に向かって流れている。吹出口上部には、下降流がある。室全体に循環流が形成されている。CASE3-3 は吹出口からの气流が対向壁の手前から壁面に沿って天井の吸込口に向かって流れている。このほかの空間は複雑な气流分布になっている。**(2) 冷房時の温度場 (図 25~27)** CASE3-1 は上下温度分布がある。床近傍が特に低く 18°C 以下。居住域は 21°C 前後。CASE3-2 は室全体は 23~25°C。吹出口の近傍は温度が低い。CASE3-3 は空間下部、床上 0.5m の高さの温度が低く約 23°C。床上 0.5m 以上は上下温度分布がある。**(3) 暖房時の流れ場 (図 28、29)** CASE3-4 は吹出气流が吹出口から約 2 m 地点まで水平に流れ、その後は天井から吸

込口に向かって流れている。CASE3-5 は吹出气流はすぐに浮力により天井に向かって上昇し天井に沿って吸込口に流れている。窓面近傍には下降流がある。空間中央部は滞留している。**(4) 暖房時の温度場 (図 30、31)** CASE3-4 は室内が 21~24°C。吸込口側の約半分の空間では上下温度分布がある。CASE3-5 は上下温度分布が著しい。居住域は 22°C 前後である。

### 3.4 考察

表 4 に居住域平均温度・風速を示す。**(1) CASE1 ① 冷房時** 設計温度と居住域平均温度との差は CASE1-3 が 0.8°C と最も小さいが、居住域平均風速が 0.54m/s であり、体感上望ましくない。CASE1-1 と CASE1-2 の温度差はそれぞれ 2.4°C、2.2°C であるが、居住域平均風速はそれぞれ 0.11m/s、0.13m/s であり、体感上望ましい。**② 暖房時** 居住域平均風速は CASE1-4 が 0.34m/s、CASE1-5 が 0.09m/s である。CASE1-5 は吹出し气流が床付近まで達しておらず、居住域平均温度も設定温度より 0.7°C 低く、暖房運転としては適さない。**(2) CASE2 ① 冷房時** 全体的に CASE1 と同様な流れ場、温度場である。設

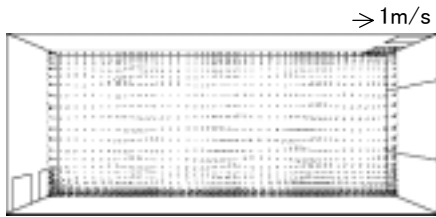


図 22 CASE3-1 流れ場 (0.12m/s 吹出)

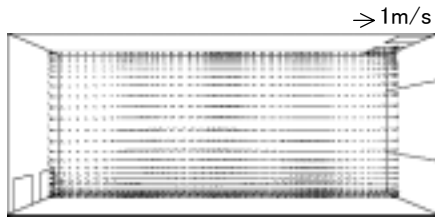


図 23 CASE3-2 流れ場 (0.19m/s 吹出)

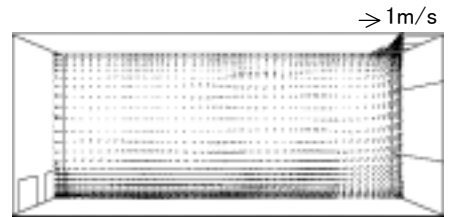


図 24 CASE3-3 流れ場 (0.65m/s 吹出)

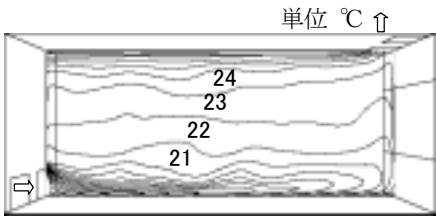


図 25 CASE3-1 温度場 (10°C 吹出)

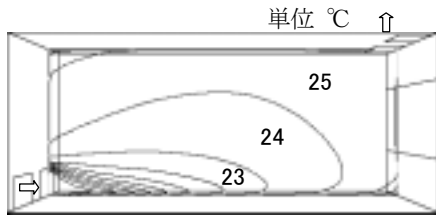


図 26 CASE3-2 温度場 (16°C 吹出)

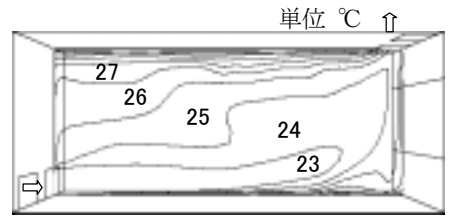


図 27 CASE3-3 温度場 (23°C 吹出)

表 4 居住域平均温度・風速

CASE	運用	設計温度 (°C)	居住域平均	
			温度 (°C)	風速 (m/s)
1-1	冷房 (低温吹出)	26	23.6	0.11
1-2	冷房 (一般空調)	26	23.8	0.13
1-3	冷房 (温度差小)	26	25.2	0.54
1-4	暖房 (温度差小)	22	21.9	0.34
1-5	暖房 (一般空調)	22	21.3	0.09
1-6	— (等温吹出)	—	—	0.09
2-1	冷房 (低温吹出)	26	24.5	0.11
2-2	冷房 (一般空調)	26	25.5	0.13
2-3	冷房 (温度差小)	26	25.1	0.53
2-4	暖房 (温度差小)	22	21.5	0.35
2-5	暖房 (一般空調)	22	25.6	0.12
2-6	— (等温吹出)	—	—	0.09
3-1	冷房 (低温吹出)	26	21.5	0.10
3-2	冷房 (一般空調)	26	24.9	0.23
3-3	冷房 (温度差小)	26	24.9	0.17
3-4	暖房 (温度差小)	22	22.2	0.26
3-5	暖房 (一般空調)	22	22.0	0.11
3-6	— (等温吹出)	—	—	0.04

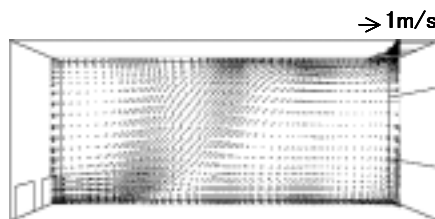


図 28 CASE3-4 流れ場 (0.61m/s 吹出)

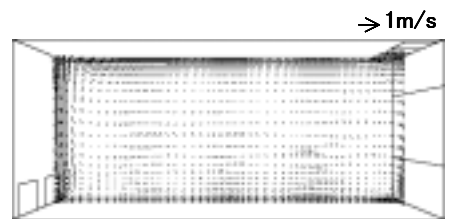


図 29 CASE3-5 流れ場 (0.18m/s 吹出)

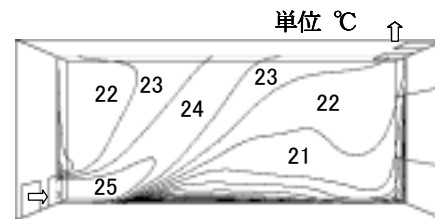


図 30 CASE3-4 温度場 (25°C 吹出)

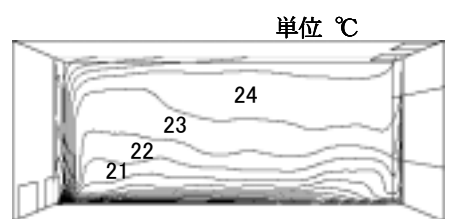


図 31 CASE3-5 温度場 (32°C 吹出)

計温度と居住域平均温度との差は CASE2-1

CASE3-1 は冷気が床近傍に停滞するため、上下温度差が大きく、温熱感は悪くなる。②暖房時 設計温度と居住域平均温度との差は CASE3-4 と CASE3-5 がそれぞれ 0.2°C、0.0°C、居住域平均風速は 0.26m/s、0.11m/s。居住域平均温度は設計条件に近いが、両 CASE とも上下温度差が 5°C 以上となり CASE2-4、CASE2-5 に比べ温熱感は悪い。

#### 4. 結論

一般的なオフィス空間をモデル化し、3種類の空調方式における各種空調条件下で流れ場、温度場を解析した結果、以下の知見が得られた。

①冷房時の空調条件としては CASE2-2 (天井吹出・床吸込方式、16°C 吹出) が最も適している。

②暖房時の空調条件としては CASE2-5 (天井吹出・床吸込方式、32°C 吹出) が最も適している。

が 1.5°C であり、CASE1-1 の 2.4°C に比べて 0.9°C 小さくなっている。これは吸込口位置が床近傍にあるため CASE1-1 よりピストンフローに近い気流分布になったためと考える。CASE2-2 の設計温度と居住域平均温度との差は 0.5°C であり、他の CASE1~3 の中で最も小さい。居住域平均風速は 0.13m/s で体感上も望ましく、冷房条件としては最も適しているといえる。②暖房時 CASE2-4 では設計温度と居住域平均温度との差は 0.5°C であるが居住域平均風速が 0.35m/s であり体感上望ましくない。CASE2-5 では設計温度と居住域平均温度との差は 3.6°C、居住域平均風速は 0.12m/s である。CASE1-5 の上下温度差約 10°C に比べ CASE2-5 の上下温度差は約 4°C と小さく、吸込口が床近傍にある CASE2-5 の方が暖房に適しているといえる。(3) CASE3 ①冷房時 設計温度と居住域平均温度との差は CASE3-1 が 4.5°C、CASE3-2 と CASE3-3 がともに 1.1°C であった。

※1) 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。※2) Ar 数 ( $=g \cdot \beta \cdot \theta \cdot L_0 / U_0^2$ )、Re 数 ( $=U_0 \cdot L_0 / \nu$ ) の代表長さ  $L_0$  は吹出口面積の平方根、 $\theta$  は (吹出温度 - 室温) にて算出。  
※参考文献は次報 (その3) に示す。