

オフィス空間を対象とした規準化居住域濃度に関する研究(第1報) 各種空調システムにおける流れ場・温度場・汚染質濃度場のCFD解析

STUDY ON NORMALIZED CONCENTRATION IN AN OCCUPIED ZONE IN OFFICE SPACE (Part 1) Numerical Analysis of Flow, Temperature Field and Contaminant Distribution Under Various Air-Conditioning Systems

菊池世欧啓*, 高橋雄司**, 小林信行***, 伊藤一秀****

Sehiro KIKUCHI, Yuji TAKAHASHI, Nobuyuki KOBAYASHI, Kazuhide ITO

Since contaminant in a room is not always uniformly distributed, an index for measuring ventilation efficiency in an occupied zone is required for effective ventilation design. Local ventilation efficiency is often represented by the ratio of the averaged concentration of the local domain to that of exhausted air from the room. This index is called Normalized Concentration (Cn) in an Occupied Zone. In this research, the values of Cn in an occupied zone in office space are calculated by CFD Computational Fluid Dynamics simulation technique in five different ventilation systems.

Furthermore, the supply-air conditions are chosen according to the change of Archimedes number (Ar) and Reynolds number (Re) under constant heat load and also the changes in the property of the Cn are evaluated by the parameter of Ar and Re of supply-air.

For most cases of ventilation systems, the Cn becomes around 1.0, but the Cn changes greatly depending on Ar and Re in the case of displacement ventilation system.

Keywords : Air-conditioning system, Office Space, CFD, Normalized Concentration in an Occupied Zone, Displacement Ventilation, Archimedes number

空調, オフィス空間, CFDシミュレーション, 規準化居住域濃度, 置換換気, アルキメデス数

1. 序

室内空気汚染の問題は、工場空間はもとより住宅、幼児・学童が長期滞在する学校やオフィス空間等においても深刻化している。この空気汚染問題対策には、適切な換気量の確保が最も有効であると言われており、省エネルギーにも配慮した適切な換気方式の提案が強く求められている¹⁻⁷⁾。

このような背景のもと、本研究ではオフィス空間、学校や工場等の各種建築空間を対象とし、室形状、換気方式、吹出気流の Ar 数および Re 数を変化させた場合の居住域換気効率を系統的に解析し、この解析結果を用いて居住域換気効率の簡易予測式を含む換気設計資料の整備を行うことを最終目的とする。

特に本報では研究の第1段階としてオフィス空間を対象空間とし、各種換気システムの下で流れ場、温度場の他、汚染質濃度場や居住域換気効率についてCFD(計算流体力学)を用いて解析している。

2. 換気効率指標

空調設計を行う際には一般に室内への外気導入量、即ち換気量が最も顕著な熱負荷となる。そのため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換気量を必要最小限とすることが省エネルギーの観点からも

重要となる。本研究では室内換気性状の評価を行う指標として規準化居住域濃度ならびに空気齢の概念を用いる。

2-1. 規準化居住域濃度

換気効率に関する研究は、既に多くの研究成果が蓄積されている^{8,9)}。換気効率を表す指標は数多く提案されているが、それらの中で、最も基本的なものは局所領域平均濃度と完全混合濃度の比である規準化濃度と考える。本研究では居住域平均濃度(Cp)と完全混合濃度(Ce)の比である規準化居住域濃度¹⁰⁾(Cn)を換気効率指標として用いる。居住域は床面から1.8mの間の空間とする。Cnの定義を(1)式に示す。

$$Cn = Cp / Ce \quad (1)$$

規準化居住域濃度は空調・衛生工学会の換気規格であるHASS102において、換気効率指標として使用されている。

2-2. 空気齢

局所平均空気齢は、吹出空気が室内のある点Pもしくはある領域に到達するまでの平均的な時間を評価する換気効率指標である。本報では居住域を対象領域とするため、居住域平均空気齢を評価指標とする¹¹⁾。加藤、村上¹²⁾の提案するSVE3では、室内一様に単位時間当たり総量qの汚染質発生がある場合の位置pでの濃度と瞬時一様拡散濃度(Cs)を用いて次式により空間の空気齢分布が算

※本論文は、参考文献¹⁻³⁾に示してある発表内容に、新たに行った解析結果を加えて加筆し、まとめたものである。

* 東京工芸大学 大学院 博士課程

** 川本工業(株) R&D本部

*** 東京工芸大学 教授・工学博士

**** 東京工芸大学 講師・博士(工学)

Graduate Student, Tokyo Institute of Polytechnics.

Kawamoto Industries, Ltd R&D Headquarters.

Professor, Tokyo Institute of Polytechnics, Dr. Eng.

Assistant Professor, Tokyo Institute of Polytechnics, Dr. Eng.

出可能である。

$$SVE3(p) = C'p(p)/Cs \quad (2)$$

(2)式は汚染質の定常一様発生を仮定した場合のその条件下における濃度分布を直接空気齢分布に読み換えるものである。本研究では汚染質は空間一様に発生するものと仮定する。その為、解析により得られた無次元濃度分布は無次元空気齢分布に一致することとなる。また規準化居住域濃度は次式で示すように、名目換気時間 τ_n で無次元化された居住域平均空気齢 A_p と一致する。

$$C_n = C_p / C_e = A_p / \tau_n \quad (3)$$

3. 解析概要

3-1. 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。空調方式として、オフィスの施工例を調査し、代表的なオフィスの空調方式を5種類設定する。CASE1は天井吹出・天井吸込方式、CASE2は天井吹出・壁下部吸込方式であり、両者は事務室の一般的な空調方式を想定している。CASE3は壁下部吹出・天井吸込方式、CASE4は壁上部吹出・壁下部吸込方式である。またCASE5は置換換気を想定している。吹出口形状は、CASE1とCASE2は0.3m×0.3m、CASE3は幅2.0m×高さ0.5mのガラリ型を想定している^{注1)}。CASE4は幅0.6m×高さ0.15mのスロット型を想定している。CASE5は幅1.27m×高さ1.2mの多孔パネル型面状吹出口を想定している^{注2)}。

3-2. 熱負荷および計算条件

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、人体とOA機器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^{注3)}。汚染質はpassive contaminantを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。

3-3. 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。各空調条件で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空調条件を設定する。すなわち、吹出空気のアール数、レイ数の変化が流れ場、温度場および汚染質濃度場に与える影響を解析する^{注4)}。吹出風速と温度は等温換気(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に示す熱負荷と、吹出温度差より算定している。

4. 流れ場・温度場・汚染質濃度場の解析結果

図2から図16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状況を示す結果の3ケースを選んで示す。結果の表示断面は各空調方式とも同じ位置であり(図1)、CASE1から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、汚染質を空間に一様発生させていることから、無次元空気齢分布(SVE3分布)と一致する。

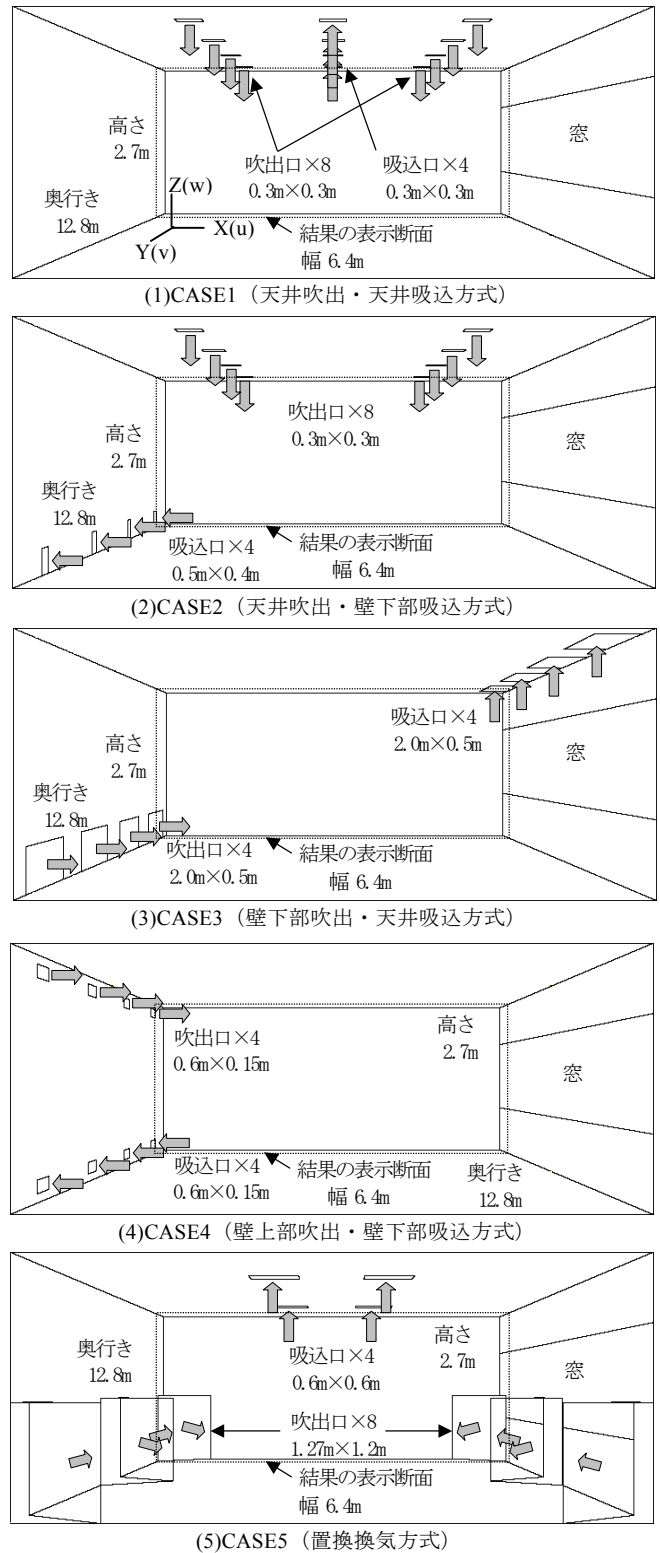


図1 解析対象オフィスと空調方式

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/m², 室内に向かう熱流を正(+)とする。)

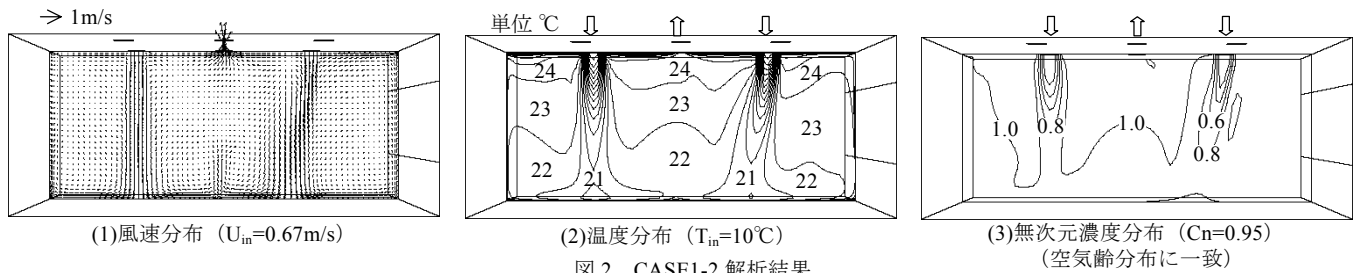


図2 CASE1-2 解析結果

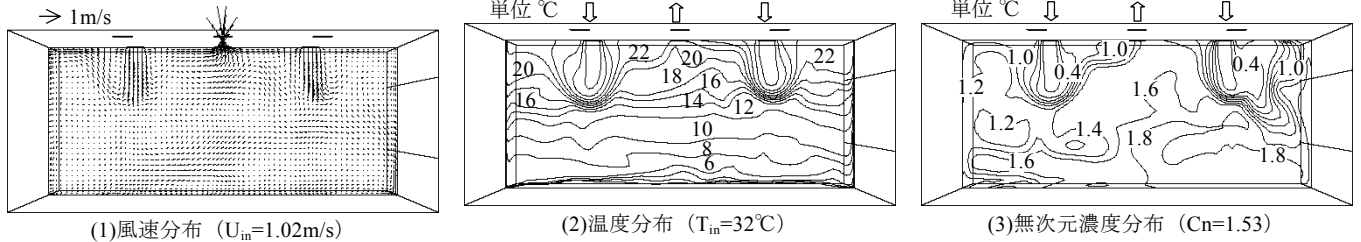


図3 CASE1-5 解析結果

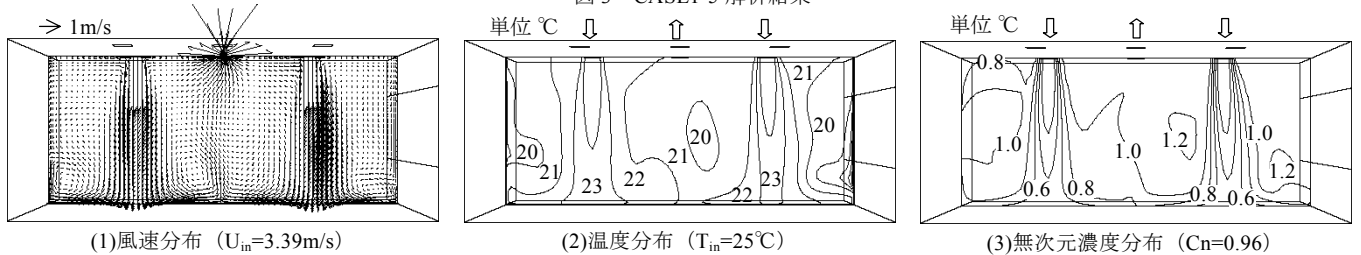


図4 CASE1-6 解析結果

表2 計算条件

解析メッシュ数	CASE1	78(x)×72(y)×35(z)=196,560
	CASE2,CASE3	67(x)×63(y)×27(z)=113,967
	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 _{in} =3/2(U _{in} ×0.05) ² , ε _{in} =C _μ ·k _{in} ^{3/2} /l _{in} l _{in} は吹出し幅の1/7, C _μ =0.09	
流出条件	U _{out} =質量保存, k _{out} =free slip, ε _{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 (内は吹出温度差Δθ)	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(×10 ⁶)
CASE1-1	等温換気	—	—	10.0	0.85	0	0.16
CASE1-2	冷房(-16°C)	26	10	3.9	0.67	-3.13	0.13
CASE1-3	冷房(-10°C)	26	16	6.3	1.07	-0.76	0.21
CASE1-4	冷房(-3°C)	26	23	21.0	3.58	-0.02	0.69
CASE1-5	暖房(+10°C)	22	32	6.0	1.02	0.85	0.20
CASE1-6	暖房(+3°C)	22	25	19.9	3.39	0.02	0.65
CASE2-1	等温換気	—	—	10.0	0.85	0	0.16
CASE2-2	冷房(-16°C)	26	10	3.9	0.67	-3.13	0.13
CASE2-3	冷房(-10°C)	26	16	6.3	1.07	-0.76	0.21
CASE2-4	冷房(-3°C)	26	23	21.0	3.58	-0.02	0.69
CASE2-5	暖房(+10°C)	22	32	6.0	1.02	0.85	0.20
CASE2-6	暖房(+3°C)	22	25	19.9	3.39	0.02	0.65
CASE3-1	等温換気	—	—	10.0	0.15	0	0.03
CASE3-2	冷房(-16°C)	26	10	3.9	0.12	-96.56	0.02
CASE3-3	冷房(-10°C)	26	16	6.3	0.19	-23.58	0.04
CASE3-4	冷房(-3°C)	26	23	21.0	0.65	-0.64	0.12
CASE3-5	暖房(+10°C)	22	32	6.0	0.18	26.29	0.04
CASE3-6	暖房(+3°C)	22	25	19.9	0.61	0.71	0.12
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

(解析 ケースは CASE(空調方式)-(空調種別), Δθ は(吹出温度)-(室温)とする。)

4-1. CASE1(天井吹出・天井吸込方式)

図2から図4にCASE1の風速分布, 温度分布および無次元濃度分布の解析結果を示す。冷房時CASE1-2は吹出气流が床面に達した後に周囲に広がる(図2(1))。垂直方向に温度勾配が形成されている(図2(2))。居住域の濃度は0.8~1.0でほぼ均一な分布である(図2(3))。暖房時CASE1-5は吹出气流が床面に到達せず浮力により上昇し, 床近傍は滞留域となる(図3(1))。温度勾配は大きく, 床近傍は低温になる(図3(2))。濃度分布は居住域が1.0より大きい値になっている(図3(3))。暖房時CASE1-6は吹出气流は床に達し, 温度場, 濃度場ともほぼ均一な分布になる(図4(1)~(3))。

4-2. CASE2(天井吹出・壁下部吸込方式)

冷房時CASE2-2は床付近の冷気が床近傍の吸込口より排出される為, 吹出温度が同じであるCASE1-2と比較して居住域の温度が高くなっている(図5(2))。暖房時CASE2-5はCASE1-5と比較すると, 吹出气流の上昇位置はCASE1-5より低くなる(図6(1))。吸込口が下部にあり居住域の空気が排出されやすい為, 室温はCASE1-5より高くなる(図6(2))。これによりCASE2-5の濃度勾配はCASE

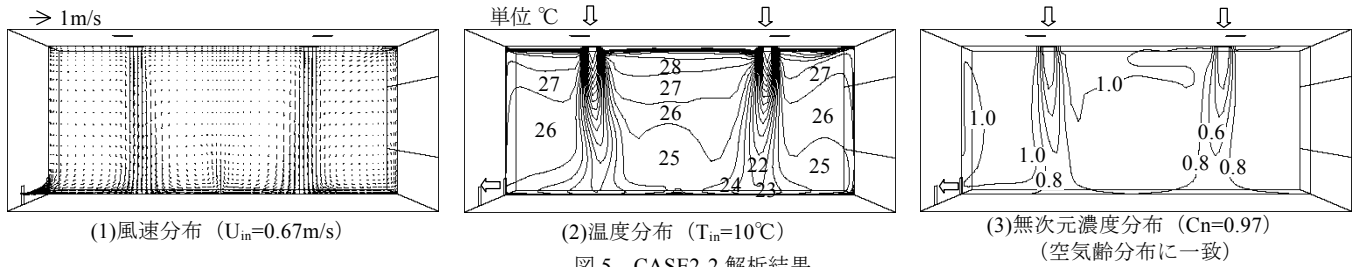


図5 CASE2-2 解析結果

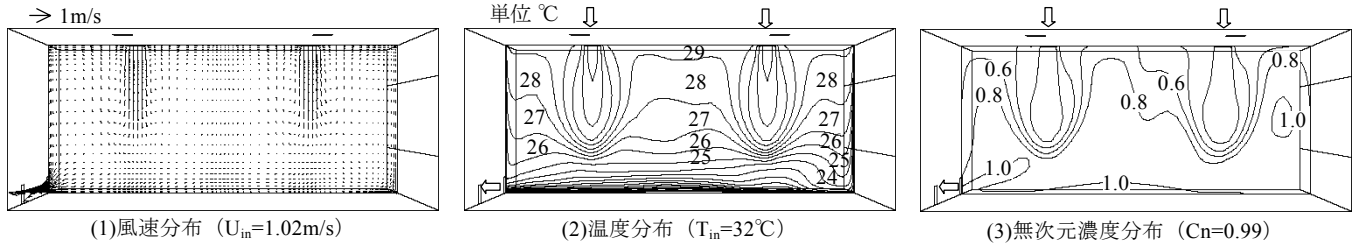


図6 CASE2-5 解析結果

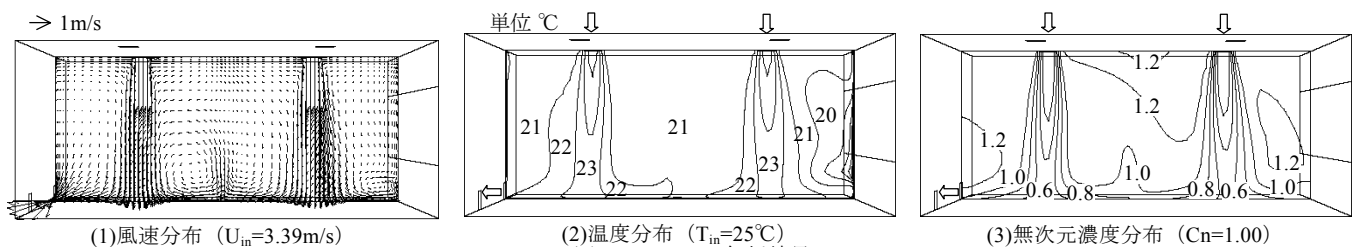


図7 CASE2-6 解析結果

1-5より小さく、居住域の濃度もCASE1-5より低くなっている(図6(3))。暖房時のCASE2-6はCASE1-6と比較すると 20°C 以下の領域が狭くなっている(図7(2))。また濃度は1.2以上の領域が広がっている(図7(3))。

4-3.CASE3(壁下部吹出・天井吸込方式)

冷房時CASE3-3は吹出口から冷気が床面に沿って流れる為、居住域上部の空気が滞留している(図8(1))。上下方向には明確な温度成層が形成されている(図8(2))。居住域の濃度は低いが、吹出口上部の濃度は高くなっている(図8(3))。冷房時CASE3-4は吹出空気が床に沿って流れ、対向壁上部の天井吸込口へ流れる領域は濃度が1.0以下であるが、室上部は空気が滞留し、高濃度領域になっている(図9(1),(3))。暖房時CASE3-5は吹出気流はすぐに上昇し、室全体は複雑な流れ場で滞留部分がある(図10(1))。窓面にはドラフトがみられる。上下方向には明確な温度成層が形成されている(図10(2))。居住域の吹出口側の濃度は1.2以上となっている(図10(3))。

4-4. 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11(1))。居住域は設計目標温度の 26°C 前後となる(図11(2))。濃度分布は0.8前後と低い値である(図11(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12(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°C より高くなっている(図12(2))。無次元濃度分布は居住域で1.0以下となっている(図12(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13(1))。居住域の平均風速は 0.56m/s と速い(表4)。温度分布は均一であり、設計目標温度になる(図13(2))。濃度分布もほぼ均一になっている(図13(3))。

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 (m/s)		
		設計目標温度	居住域	上部 注5)	室全体	居住域	上部
CASE1-1	等温換気	—	—	—	0.08	0.09	0.07
CASE1-2	冷房(-16°C)	26	23.0	24.6	0.12	0.13	0.10
CASE1-3	冷房(-10°C)	26	23.9	25.1	0.12	0.13	0.10
CASE1-4	冷房(-3°C)	26	25.9	26.3	0.38	0.41	0.33
CASE1-5	暖房($+10^\circ\text{C}$)	22	9.7	21.6	0.12	0.12	0.13
CASE1-6	暖房($+3^\circ\text{C}$)	22	21.8	21.8	0.32	0.34	0.27
CASE2-1	等温換気	—	—	—	0.09	0.10	0.07
CASE2-2	冷房(-16°C)	26	25.7	28.9	0.11	0.12	0.07
CASE2-3	冷房(-10°C)	26	25.3	26.1	0.12	0.14	0.08
CASE2-4	冷房(-3°C)	26	25.9	26.3	0.37	0.40	0.29
CASE2-5	暖房($+10^\circ\text{C}$)	22	24.3	27.7	0.06	0.06	0.07
CASE2-6	暖房($+3^\circ\text{C}$)	22	21.7	21.7	0.33	0.37	0.25
CASE3-1	等温換気	—	—	—	0.04	0.05	0.03
CASE3-2	冷房(-16°C)	26	22.5	26.6	0.06	0.07	0.04
CASE3-3	冷房(-10°C)	26	22.4	26.5	0.07	0.08	0.05
CASE3-4	冷房(-3°C)	26	24.7	28.1	0.15	0.18	0.09
CASE3-5	暖房($+10^\circ\text{C}$)	22	16.4	21.9	0.12	0.10	0.17
CASE3-6	暖房($+3^\circ\text{C}$)	22	19.5	22.2	0.19	0.16	0.26
CASE4-1	等温換気	—	—	—	0.12	0.09	0.20
CASE4-2	冷房(-16°C)	26	24.2	26.3	0.14	0.15	0.13
CASE4-3	冷房(-10°C)	26	24.4	25.2	0.20	0.17	0.25
CASE4-4	冷房(-3°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°C)	26	20.0	23.0	0.10	0.10	0.09
CASE5-3	冷房(-10°C)	26	24.7	29.3	0.07	0.08	0.05
CASE5-4	冷房(-3°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

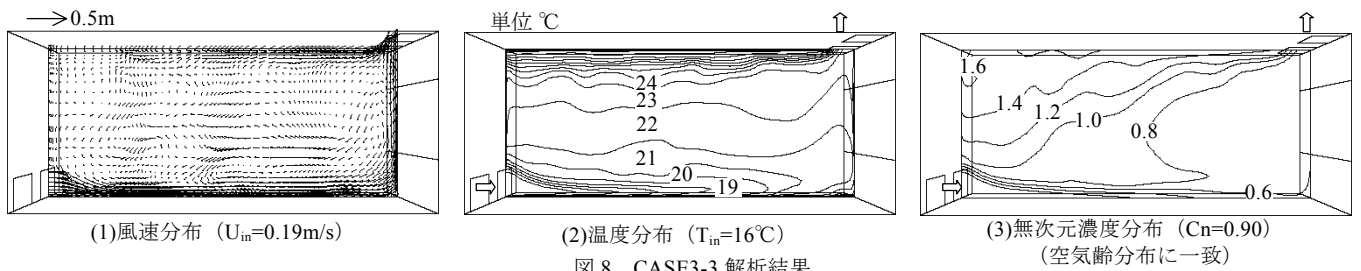


図8 CASE3-3 解析結果

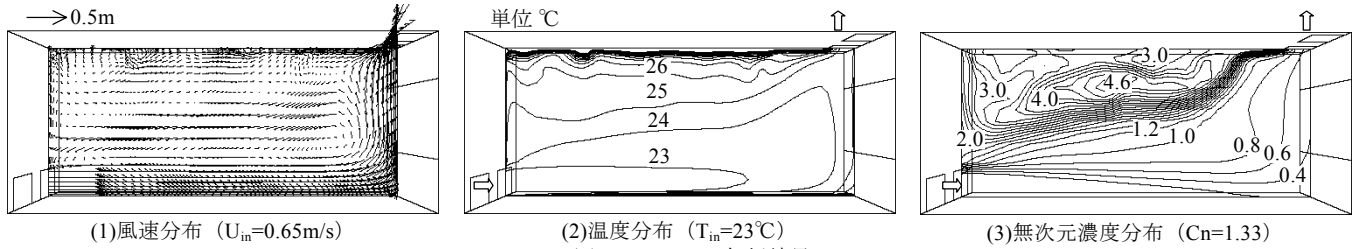


図9 CASE3-4 解析結果

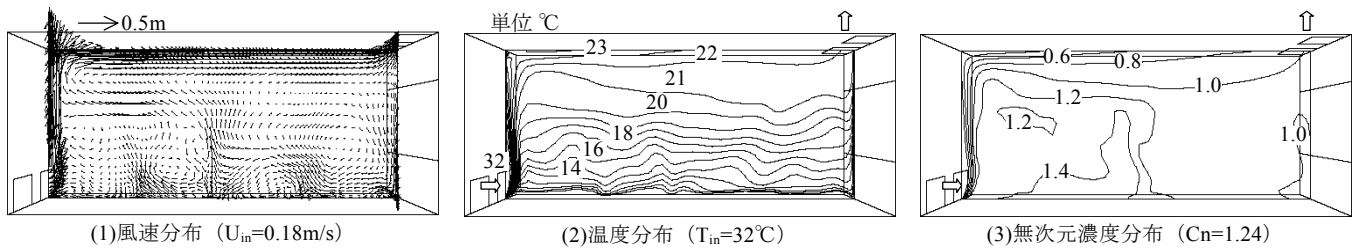


図10 CASE3-5 解析結果

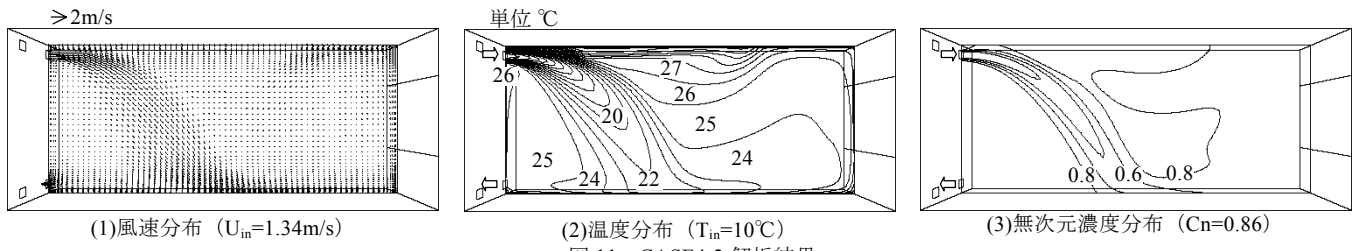


図11 CASE4-2 解析結果

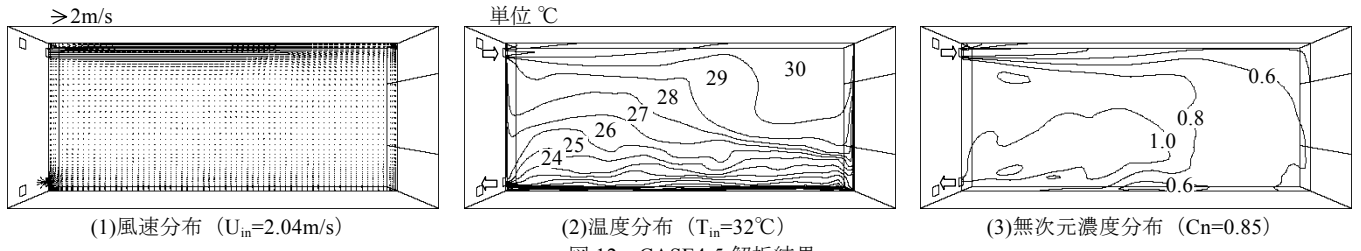


図12 CASE4-5 解析結果

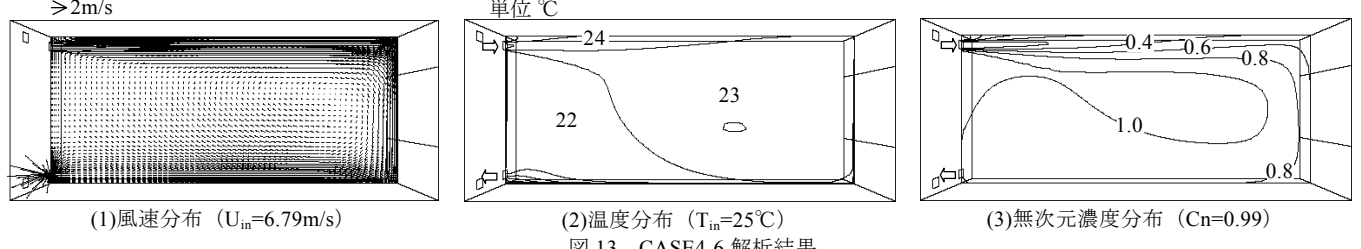


図13 CASE4-6 解析結果

4-5. 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 14(1))。上下方向には明確な温度成層が形成されている(図 14 (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は低くなっている(図 14(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 15(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 15(3))。暖房時 CASE5-6 は吹出された気流がすぐに上昇する(図 16(1))。暖気が床面近くには到達せず、居住域の温度は低い(図 16(2))。

4-6. 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の設計目標温度 26°C に対して、CASE3 は $22.4\sim 24.7^\circ\text{C}$ であり

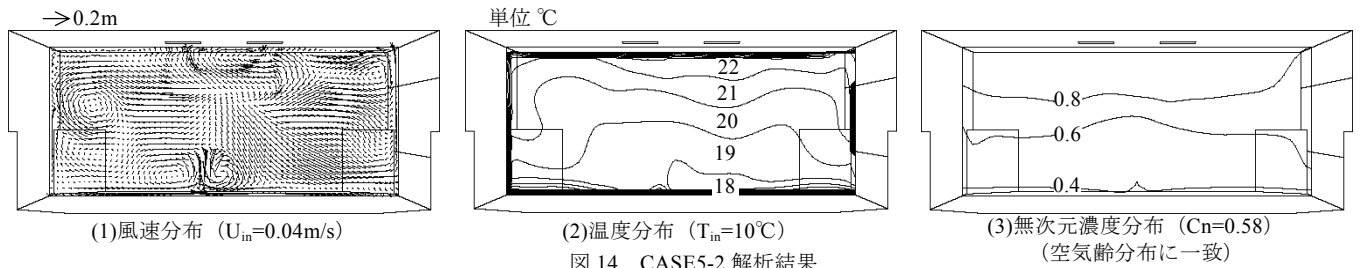


図 14 CASE5-2 解析結果

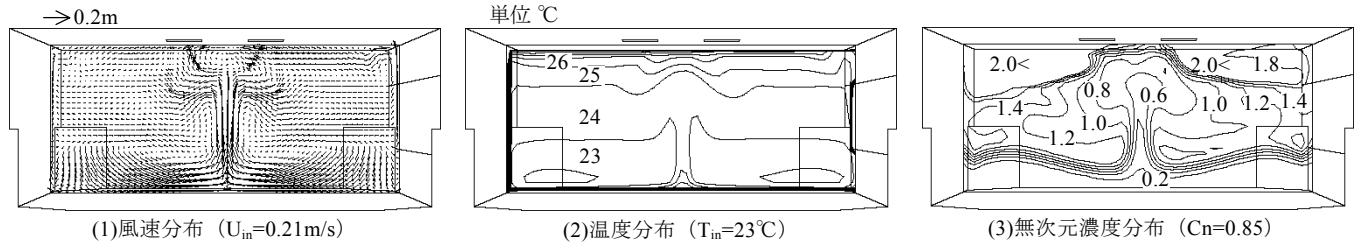


図 15 CASE5-4 解析結果

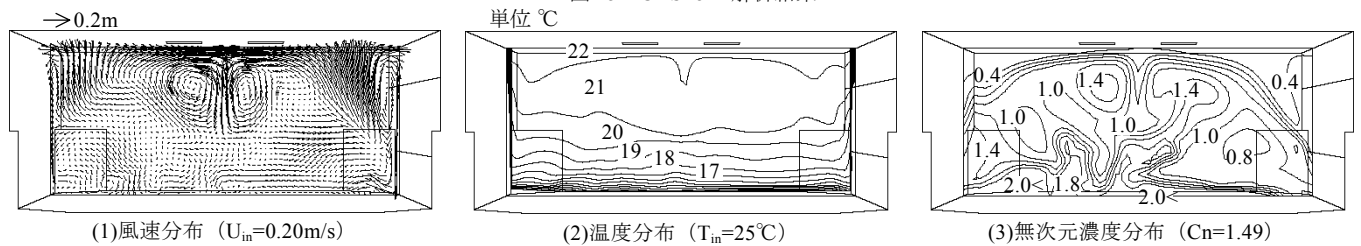


図 16 CASE5-6 解析結果

冷房効率は高い。CASE5-2は 20.0°C であり居住域が過度に冷やされている。CASE1, CASE2, CASE4は $23.0\sim 25.9^\circ\text{C}$ であり、ほぼ設計目標温度に近づいている。暖房時は設計目標温度 22°C に対し、CASE1-5は 9.7°C であり暖房効率が極端に低い。CASE3は 16.4°C と 19.5°C 、CASE5は 17.0°C と 16.3°C であり暖房効率が低い。居住域平均風速はCASE4-6の 0.56m/s を除いてはビル管法の規準値 0.5m/s 以下となっており問題は少ない。

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、CASE1とCASE2は吸込口の高さの違いが冷房時、暖房時とも居住域の温度分布・濃度分布に大きく影響していることが判る。CASE3とCASE5は冷房に有利な反面、暖房には不向きである。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、解析した中で最も温熱環境が良い空調方式である。

5. 換気効率の解析結果

5-1. 規準化居住域濃度

表5に各解析ケース別の規準化居住域濃度(Cn)を示す。CASE1とCASE2の Cn は1.0前後となっている。これは吹出口と吸込口が室内にバランス良く配置され、汚染質が良く混合し滞留域も少ない為である。CASE3の Cn は $0.90\sim 1.55$ であり全解析ケースのなかで最も大きい。これは吹出口の高さより低い空間のみで濃度が低く、吹出口の高さより上部の空間の濃度が極端に高いためである。この結果から床近傍に配置する吹出口の高さ寸法が居住域の濃度に大きく影響していることが判る。CASE4の Cn 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

表 5 規準化居住域濃度(Cn)の解析結果

空調種別	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4	CASE5
-1 等温換気	0.92	1.02	1.25	0.84	0.74
-2 冷房(-16°C)	0.95	0.97	1.09	0.86	0.58
-3 冷房(-10°C)	0.98	1.03	0.90	0.89	0.73
-4 冷房(-3°C)	0.96	1.00	1.33	0.87	0.85
-5 暖房($+10^\circ\text{C}$)	1.53	0.99	1.24	0.85	1.52
-6 暖房($+3^\circ\text{C}$)	0.96	1.00	1.55	0.99	1.49

へ流れ室全体に循環流が生じ、 Cn 値が小さくなっている。吹出温度差が小さい場合は、室全体がよく攪拌され均一な濃度分布になる。CASE5の Cn は等温吹出および冷房時には $0.58\sim 0.85$ と全解析ケースのなかで最も小さい。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、床から天井方向に向かうピストンフローが形成されず Cn は1.5前後であり置換換気が機能していない。

Cn 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、冷房のみならばCASE4やCASE5が今回の空調方式のなかでは良好な空調方式であるが、冷房と暖房を考慮するとCASE4が最も良い空調方式である。

CASE1の暖房は吹出温度や風量を最適に設計した場合には居住域の温熱環境は改善される可能性がある。

5-2. Ar数, Re数と規準化居住域濃度 Cn の比較

図17に各空調方式の吹出空気Ar数と規準化居住域濃度 Cn の関係を、図18に各空調方式のRe数と規準化居住域濃度 Cn の関係をそれぞれ示す。図17のCASE3とCASE5は他のCASEと横軸の範囲が異なる。CASE1はAr数が大きい場合に Cn が1を大きく超える。その他の運転条件では、Ar数およびRe数の変化は Cn に大きく影響せず、1.0前後の値となる(図17(1), 図18(1))。CASE2は

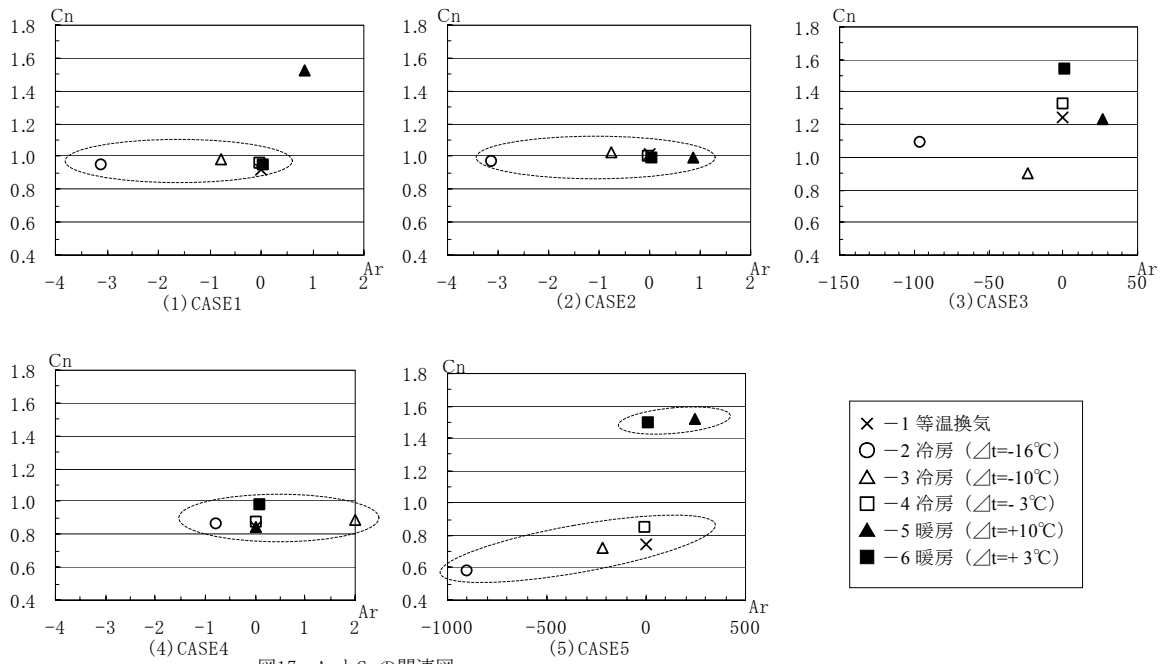


図17 ArとCnの関連図

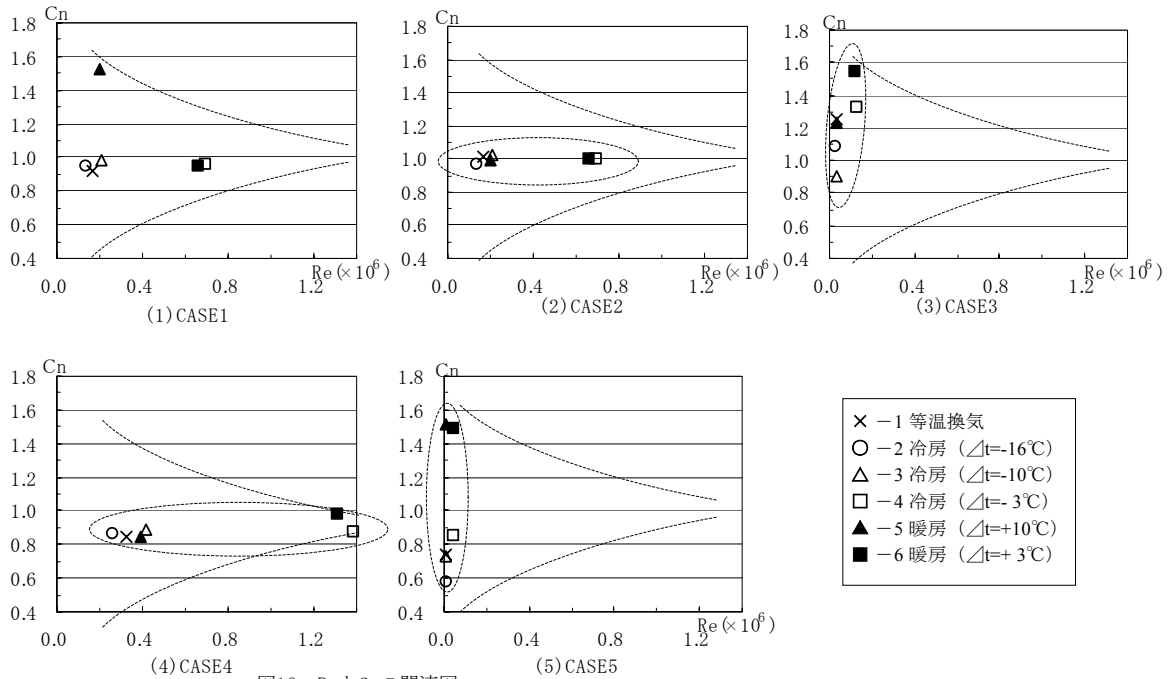


図18 ReとCnの関連図

Ar数およびRe数の変化はCnに大きく影響せず、1.0前後の値となる(図17(2)、図18(2))。CASE3は吹出風速、吹出温度、熱負荷条件によりCnの値は大きく変化する。冷房時はAr数、Re数が共に小さいCASE3-3においてCnの値は1.0を下回る。(図17(3)、図18(3))。CASE4はAr数およびRe数の変化はCnに大きく影響せず0.9前後となる(図17(4)、図18(4))。CASE5はAr数が負の場合はCnが0.9以下となる。Ar数が小さくなるにつれてCnの値も小さくなり低温吹出のときは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(図17(5))。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18(5))。

全体的には、吸込口が上部に配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数が大きい場合はCnは1.0に近づく傾向がある。

6. 結論

オフィス空間を対象として、5種の空調方式について流れ場、温度場および汚染質濃度場の解析を行い、空調方式の違いによる汚染質濃度分布の特徴を示した。また規準化居住域濃度Cnによりオフィス空間に対する空調方式の評価を行った。さらに吹出口のAr数やRe数を変化させた場合のCnの変化を解析し、その関係を検

討した。本数値解析データはオフィス空間の空調方式を検討する際の基本資料として役立つものとする。

本解析結果から得られたオフィス空間の空調方式についての知見を以下に示す。

- (1) 冷房には換気効率の観点から置換換気方式が今回の空調方式の中では最も良い結果となった。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空調方式4の壁上部吹出・壁下部吸込方式が最も良い結果となった。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) 一般的なオフィスの空調方式である天井吹出・天井吸込方式は暖房時の吹出温度差を小さくできれば良好な温熱環境となり、かつ居住域換気性状も良い。
- (4) Ar 数や Re 数と規準化居住域濃度 Cn には明確な関係はみられないが、暖房時に Ar 数が大きい場合や Re 数が小さい場合には Cn の値が 1.0 を上回る傾向にある。

記号および関連式

Re	: レイノルズ数 ($=U_{in} \cdot L_0 / \nu$) [-]
ν	: 動粘性係数 $0.000014 [m^2/s]$
Ar	: アルキメデス数 ($=g \cdot \beta \cdot \Delta\theta \cdot L_0 / U_{in}^2$) [-]
g	: 重力加速度 $9.8m/s^2$
β	: 体膨張係数 $1/300 [1/^\circ C]$
$\Delta\theta$: 吹出温度と設計目標温度との差 $[^\circ C]$
L_0	: 代表長さ $2.7m$ (室の高さ)[m]
U_{in}	: 吹出風速[m/s]
T_{in}	: 吹出温度 $[^\circ C]$
K_{in}	: 吹出の乱流エネルギー $[m^2/s^2]$
ϵ_{in}	: 吹出の散逸率 $[m^2/s^3]$
ℓ_{in}	: 乱れの長さスケール[m]
Cn	: 規準化居住域濃度[-] (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)
Cp	: 居住域平均濃度 $[kg/m^3]$
Ce	: 排気口での平均濃度(定常完全混合濃度) $[kg/m^3]$
q	: 汚染質発生量 $[kg/s]$
Q_{in}	: 吹出換気量 $[m^3/sec]$
τ_{in}	: 名目換気時間[sec]
Ap	: 局所平均空気齢[sec]
C_s	: 瞬時一様拡散濃度 $[kg/m^3]$
$C_p(p)$: 室内一様に単位時間当たり総量 q の汚染質発生がある場合の位置 p での濃度 $[kg/m^3]$

注

- 1) オフィスの吹出口の形状には、アネモ型などの複雑形状のふく流吹出口も多い。アネモ型の吹出口を有する室内の流れ場の CFD 解析を行う場合、吹出口に多くのメッシュを配し、形状モデリングにも配慮を行うことが重要とされている²⁾。本解析では、吹出気流が吹出口の面に垂直な方向に吹出されるものとし、簡略化して設定している。
- 2) 本解析では、市販の置換換気用吹出口(高さ 1200^{mm})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_0 は全ケースで長さを統一し、対象空間の高さ(2.7m)としている。温度差 $\Delta\theta$ 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 1.8m から天井高さ 2.7m までの間の空間としている。居住域より上部の空間をさす。

参考文献

- 1) 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
- 2) 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
- 3) 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
- 4) Xiaoxiong Yuan, Qingyan Chen, Leon R.Glicksman: A Critical Review of Displacement Ventilation, ASHRAE Transactions 104-1, pp.78-90, 1998
- 5) Xiaoxiong Yuan, Qingyan Chen, Leon R.Glicksman: Measurements and Computations of Room Airflow with Displacement Ventilation, ASHRAE Transaction 105-1, pp.340-352,1999
- 6) 加藤信介, 伊藤一秀, 村上周三: 換気システムを変化させた場合の規準化居住域濃度, Visitation Frequency, Purging Flow Rate の系統的解析(第 1 報), 空気調和・衛生工学会論文集 2000 年 78 号, pp.45-56,2000
- 7) 山田義昭, 桑原亮一, 何原一平: 換気効率指標の設計応用について<不完全混合室を対象とした新たな換気設計法の概要>, 建築設備と配管工事, pp.50-56, 2000.11
- 8) Mats Sandberg, : Building Ventilation, Theory and Measurement, John Wiley & Sons, 1996
- 9) Sandberg, M. and Sjoberg : The use of moments for assessing air quality in ventilated rooms, Building and Environment,18, pp.181-197.1983
- 10) HASS102-1997 換気規準・同解説, 空気調和・衛生工学会規格, 1997.10
- 11) Sandberg, M. : Ventilation effectiveness and purging flow rate - A review. International Symposium on Room Air Convection and Ventilation Effectiveness, University of Tokyo, 1992
- 12) Kato, S. and Murakami, S., : New Ventilation Efficiency scales based on Spatial distribution of Contaminant concentration aided by numerical Simulation, ASHRAE Transactions 94 (2), pp.309-330, 1988
- 13) 守屋賢志, 近藤靖史, 関口真由美, 張本和芳: CFD 解析における空調用吹出口のモデリング, 空気調和・衛生工学会平成 12 年度学術講演会講演論文集 III, pp.1337-1340, 2000.8