

天井吹出し型誘引ユニットによる室内環境制御手法に関する研究
—冷房時病室における室内熱環境および換気性能の事例
Controlling Method of Indoor Environment in Sickroom with Ceiling Induction Diffusers
Effect of Position of Exhaust Openings on Indoor Thermal Environment
and Ventilation Characteristics

○陳 贇 (大阪大学) 山中 俊夫 (大阪大学)
甲谷 寿史 (大阪大学) 桃井 良尚 (大阪大学)
相良 和伸 (大阪大学)

Yun CHEN^{*1} Toshio YAMANAKA^{*1} Hisashi KOTANI^{*1}
Yoshihisa MOMOI^{*1} Kazunobu SAGARA^{*1}

^{*1} Osaka University

In sickrooms, there is the odor problem from patients and diapers. In this study, as a means of obtaining high indoor air quality in sickrooms, the authors propose the air-conditioning method with Ceiling Induction Diffuser (CID) on the ceiling. In previous study, thermal environment and thermal comfort of occupants in the room with this diffusers were investigated by experiments. However, the air flow distributions or temperature distribution were not clarified. In this study, the effect of position of exhaust openings and thermal environment and ventilation characteristics were investigated by CFD.

1. はじめに

病室は、入院患者にとっては療養生活の大半を過ごす空間となるため、温冷感を与える温熱環境、感染の危険性やにおいの問題のある空気環境ともに、快適で健康影響のないレベルに維持されなければならない。しかし、病室の換気については、最低換気回数で2回/hを維持することが目標にはなっているが、室内の濃度、温度分布に関する十分な検討はなされることなく、空調設備の設計が行われることも多い。

PACなどの対流式空気調和システムを採用している一般的な病室における問題として、空調吹出し口から発生する気流が直接患者にあたるドラフト・温度の不均一・入院患者から発する汚染物やおむつ交換の際の臭気が挙げられる。そこで、筆者らは、冷房時26℃の室内に13℃の低温空気を吹出し、誘引作用によって室内空気と混合し、18℃程度の混合空気を整流後低速で吹き出す天井設置型誘引ディフューザー (Ceiling Induction Diffuser, 以下CIDと) を用いる空調吹出し方式¹⁾に着目し、CIDを有する室内での室内熱環境と換気特性を明らかにすることを目的として研究を行うこととした。なお、本ディフューザーは、コイルを持たず、放射効果も期待されることから、全空気式放射ユニット (誘引エアビーム) と呼ばれ、市販されているものである。

本報では、CIDを有する4床病室において人体から発生した顕熱と臭気などの汚染物がどのように移流、拡散し室内分布を形成するか、また、それらに排気口の位置がどのような影響を及ぼすものであるのかについてCFDによる検討を行った結果について報告する。なお、汚染物については、一次拡散性状についてのみ検討を行った。

2. 解析概要

2.1 CID方式

前述の通り、CID方式 (Ceiling Induction Diffuser) はコイルを持たない全空気式で、放射効果も狙った吹出し方式である。Fig.1に示す通り、リターンを含む外調機からの給気が細いノズルから吹き出され、室内の空気を誘引して混合し、さらに整流された後に大面積から低速で吹き出されるしくみである。外調機からの給気と誘引空気の流量比は20:13である。また、整流後の吹出し面には、多数の直径5mmの孔が開けられたパネルが取り付けられている。(ADu-180、木村工機株式会社製)

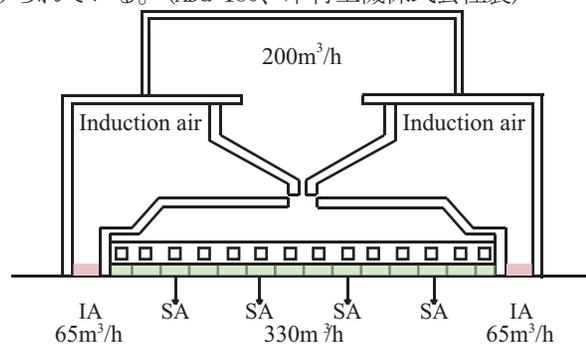


Fig.1 Section of CID

2.2 解析空間

Fig.2に示す4床室を解析対象としてCFDによる定常解析を行った。解析空間は7500×5400×2500mmの一室であり、実物の室では2面に窓を有するがCFD上では再現していない。

2.3 解析条件

CFDによる解析手法をTable1に、給気条件をTable2、排気条件をTable3に示す。給気は各ベッド上部の天井面に設置した1000×600mmの面(SA1～SA4)から均一

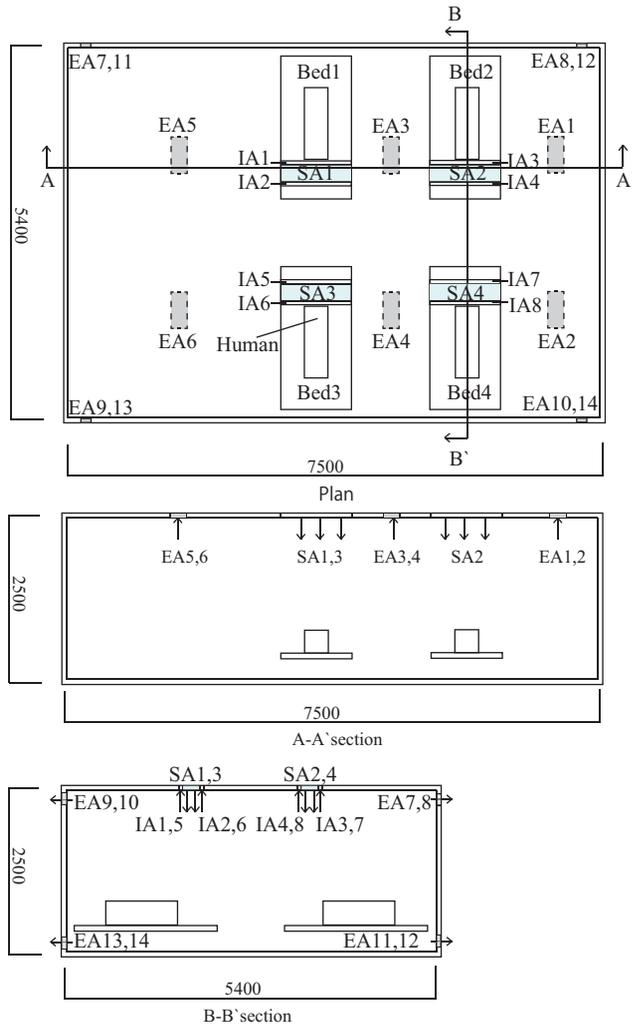


Fig. 2 Dimensions of Room Model for CFD

な低風速で行う。実際のディフューザーは多孔パネルであるが、ここでは均一な風速とした。流量は1ユニットにつき $330 \text{ m}^3/\text{h}$ である。給気口の両側には、室内の空気を誘引する開口 ($100 \times 1000\text{mm}$) が存在し (1ユニットにつき $65\text{m}^3/\text{h} \times 2$ 個)、実際には給気 ($200 \text{ m}^3/\text{h}$) と混合して再度室内に吹き出されるが、解析上は排気口として取り扱った。排気 (EA) としては、他に天井面に設置した $300 \times 500\text{mm}$ の排気口から $400\text{m}^3/\text{h}$ 、或いは、壁面に設置した $300 \times 300\text{mm}$ の排気口から $200\text{m}^3/\text{h}$ の排気を行う。ユニットの排気口を固定した上で、他の排気口 (天井と壁面) の位置を検討パラメータとして、Case1 - Case5 の5条件で解析を行った。各 Case での EA 条件を Table3 に、人体からの発熱条件を Table2 に示す。

なお、ここでは夏の冷房時を想定したが、窓や壁を通した貫流熱はないものとし、放射計算はせず、壁面は完全断熱とした。室内の発熱は人体からの発熱 $40\text{W} \times 4 (= 160 \text{ W})$ だけであり、機器発熱、照明発熱などはないものとした。従って、平均の排気温度は 18.5°C となる。なお、人体の発熱面積は 1.05m^2 とし、発熱量は $38.1\text{W}/\text{m}^2$ となる。また臭気を代表するトレーサガスとして、模擬人

Table 1 Summary of Analysis

CFD code	Fluent14.5
Turbulence model	Standard k- ϵ model
Density	Boussinesq approximation
Discretization scheme	QUICK
Calculation algorithm	SIMPLE
Number of mesh	85643

Table 2 Inlet Condition

	SA1	SA2	SA3	SA4
Flow rate(m^3/h)	330			
Velocity(m/s)	$V_y = -0.2291$			
Temperature ($^\circ\text{C}$)	18.2			
Size(mm)	1000 \times 400			
Boundary condition	$k = \frac{3}{2} (IU)^2$, $\epsilon = \frac{C_\mu k^2}{L}$ ($L=1\%$, $C_\mu=0.09$, $L=0.005\text{m}$)			

Table 3 Outlet Condition

		Position	Size(mm)	Flowrate(m^3/s)	Velocity(m/s)
Case1	EA1	Perimeter Zone of Ceiling	300 \times 500	400	$V_y = 0.7041$
	EA2				
Case2	EA3	Center of Ceiling			
	EA4				
Case3	EA5	Interior zone of Ceiling			
	EA6				
Case4	EA7	Upper of wall	300 \times 300	200	$V_z = \pm 0.6173$
	EA8				
	EA9				
Case5	EA10	Lower of wall	300 \times 300	200	$V_z = \pm 0.6173$
	EA11				
	EA12				
	EA13				
	EA14				

Table4 Induction Air Condition

	IA1	IA2	IA3	IA4	IA5	IA6	IA7	IA8
Flow rate(m^3/h)	65							
Velocity(m/s)	0.181							
Size(mm)	100 \times 1000							

Table 5 Heat Generation Rate

	Human(w/person)
Heat generation	40
Human model size (mm)	300 \times 300 \times 1000

体 ($0.3 \times 0.3 \times 1\text{m}$) の上面の一部 ($0.1 \times 0.3\text{m}$) から CO_2 を1体あたり $1.5 \text{ L}/\text{min}$ 発生させた。メッシュサイズは 50mm でメッシュ数は約80万である。

3. CFD 解析結果

3.1 温度・風速ベクトル・ CO_2 濃度分布

Fig. 3 に、床上高さ 100mm 、 900mm の断面での室内温度及び床上 900mm での CO_2 濃度分布を、Fig. 4 に A-A' 断面及び B-B' 断面 (Fig. 1 参照) における温度分布と A-A' 断面における CO_2 濃度分布を示す。 CO_2 濃度は、体積比で表現している。

温度分布 (Fig. 3(1)(2)、Fig. 4(1)(2)) から Case 間の分布性状自身に大きい差異はみられないが、Case1, 2 では、他の Case より全体的にやや低い温度となっており、Case5 は全体的に最も高い温度分布となっている。これは、Case1, 2 はベッド上部に近い位置に排気口が位置していることから人体からの発生熱の排出効率が高いのに

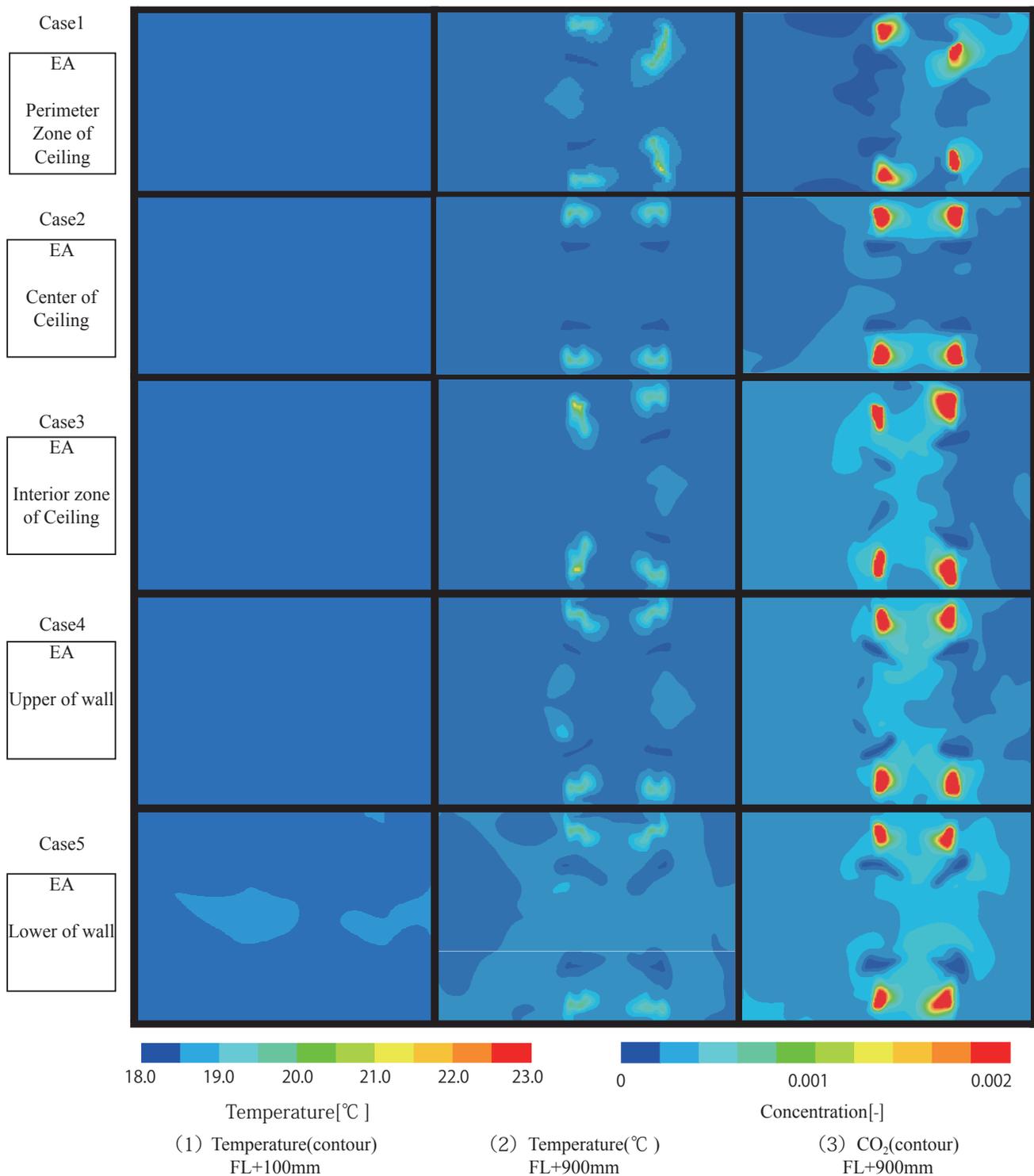


Fig.3 Distribution of Temperature and CO₂ Concentration in Plan

対して、Case5の排気は壁面上の床に近い高さに設置されており、室上部に滞留する人体から発生した熱を直ぐに排出できないために、排熱効率が相対的に悪いものと考えられる。

室内のCO₂濃度分布は、基本的には、温度分布と同様の分布性状を示している。今回は、発熱部位とCO₂ガスの発生部位がほぼ同じであることから、当然の結果とも言えるが、熱については、室内CIDユニットに誘引され

た熱が平均的に混合されて18.2°Cで給気されると設定しているが、CO₂については、給気と混合して再給気されることはなく、そのまま排気されると仮定している。従って、CO₂濃度分布については、ユニットでの再循環を考慮できていないことになり、人体から発生して直接移流・拡散したCO₂による濃度分布であることに注意が必要である。一方、温度についても、誘引された空気温度に関わらず、吹出し温度を18.2°Cと設定しており、

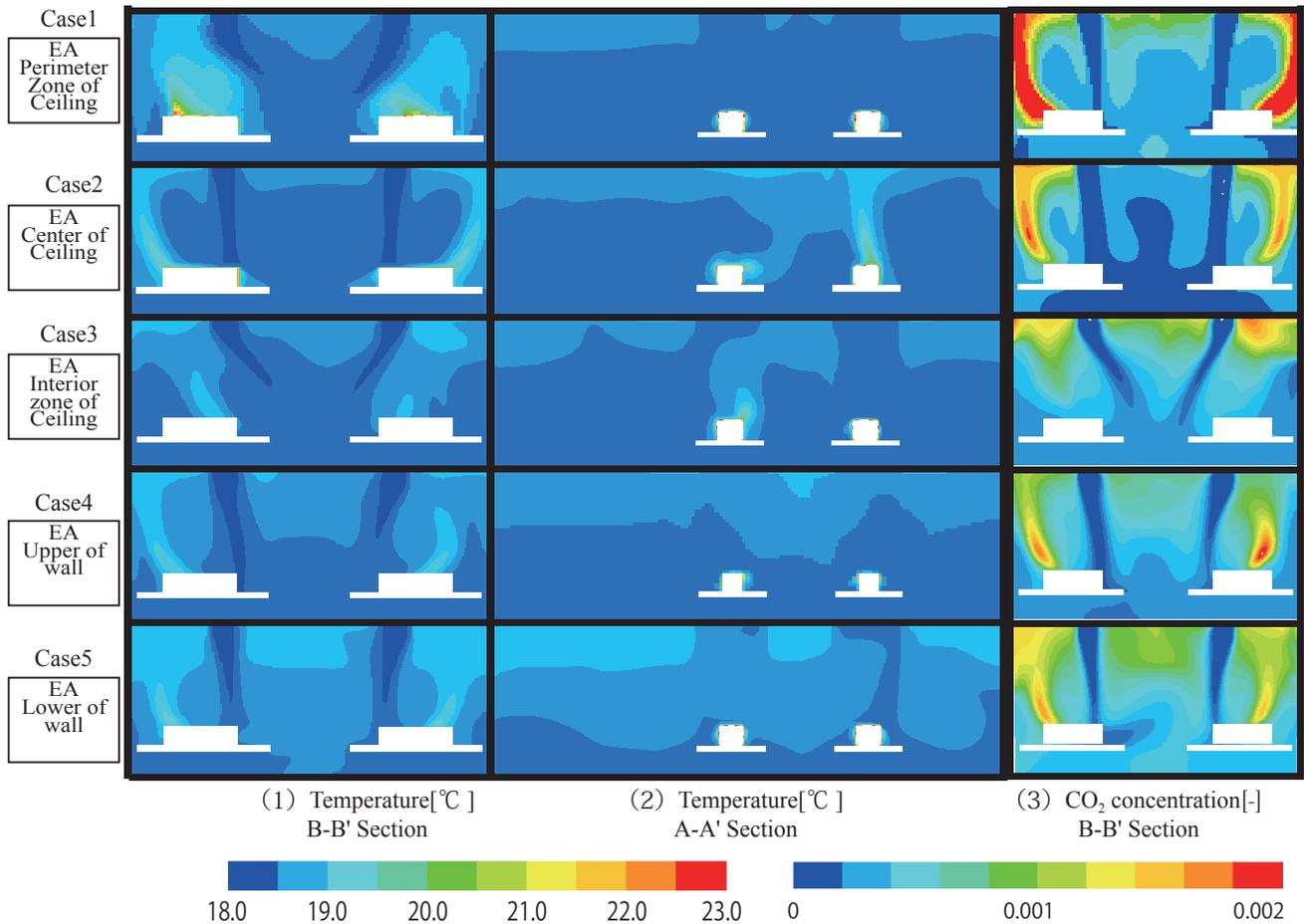


Fig.4 Distribution of Temperature and CO₂ Concentration in Sections

このことは、内部発熱として約 2400W を想定していることになるが、実際には、室内に 160W の発熱しか設定していないことから、実際の室内温度は、計算値よりは大幅に小さいものとなる。従って今回の計算で得られた温度分布は、吹き出し口において 2240W の発熱が生じた場合の結果と考えることができる。本来は、誘引された室内空気と外調機からの給気との混合を考慮した計算が必要であり、今後の課題と考える。

3.2 居住域平均温度

床面から、床上 1800mm までの領域を居住域（但しベッド上方の空間は除く）と設定し、それより床上 1800mm から天井までを非居住域と設定し、それぞれの平均温度を各ケースごとに求めたものを Fig.5 に示す。どの Case においても、居住域の温度に比較して、室上部の非居住域の方が平均的に 0.2 °C 程度高いことがわかる。これは、Fig.4 に見られた、室内の上下温度分布に起因するものである。平均温度の大小について見ると、Case1<Case2<Case3<Case4<Case5 の順に高くなっていることがわかる。壁より天井、かつベッドに近いほど、排熱の効率が高いと言え、これは同時に人体発生の汚染物濃度も同様の傾向であることを示唆している。いずれにしても、今回想定した CID 方式の室内ユニットを用いる場

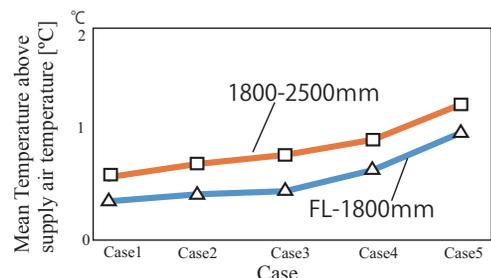


Fig.5 Mean Temperature in occupancy zone and non-occupancy zone in each case (above supply air temperature) [°C]

合、排気口の位置が室内の温度と汚染物濃度の分布に影響を与えることが確認できたと言える。

4. まとめ

CID 方式を採用した 4 床病室内での温度分布と人体発生汚染物濃度分布について CFD を用いて検討をした結果、排気口の位置によって、室内の温度・濃度分布が影響を受けることを明らかにすることができた。今後は、誘引の効果を考慮した CFD 解析、間仕切りカーテンや外気導入量の影響も検討する所存である。

【参考文献】

- 丸山茜, 齋藤輝幸: 「病室における全空気式誘引放射空調の熱的快適感評価に関する研究 (第 1 報) 冬期着座姿勢と就寝姿勢における検討」, 平成 26 年度空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 CD, C-43, 2014 年