

天井吹き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
 (その6) 4床病室暖房時における室内熱・空気環境特性に関する検討

Controlling Method of Indoor Environment in Sickroom with Ceiling Induction Diffusers
 (Part6) Indoor Thermal Environment under Heating Condition in Sickroom with Four Beds

学生会員 ○蔵永 真理 (大阪大学) 技術フェロー 山中 俊夫 (大阪大学)
 技術フェロー 甲谷 寿史 (大阪大学) 正会員 桃井 良尚 (福井大学)
 技術フェロー 相良 和伸 (四国職業能力開発大学校) 学生会員 李 瑩 (大阪大学)

Mari KURANAGA*¹ Toshio YAMANAKA*¹ Hisashi KOTANI*¹

Yoshihisa MOMOI*² Kazunobu SAGARA*³ Ying LI*¹

*¹Osaka University *²University of Fukui *³SHIKOKU Polytechnic College

As a method of obtaining high indoor air quality in sickrooms, the authors propose the air-conditioning method with Ceiling Induction Diffuser (CID). We conducted experiment in full scale sickroom with four beds installing CID, and measured pollutant concentration with using tracer gas. Under heating condition, the temperature of supply air changed greatly because of the on-off control, and so the concentration also changed unexpectedly. In this study, the temperature and the normalized concentration in one cycle is shown by vertical distribution. The aim of this investigation is to understand the indoor thermal environment with CID under heating condition.

はじめに

病室では、良好な室内環境と省エネルギー性を両立できる空調システムが求められている。そこで本研究では、天井吹き出し型誘引ユニット (CID ユニット) 空調に着目した。本空調システムは給気ユニット内に室内空気を誘引し混合空気を低速で吹き出すもので、搬送動力の削減が可能となり、低速ゆえにドラフト感の少ない空調システムである。本報では、本空調を有する4床病室を模擬した実大暖房実験の温度・濃度測定結果を報告する。

1. 天井吹き出し形誘引ユニット空調のしくみ

まず、空調機で冷却除湿・加熱加湿した空気を給気ユニットに搬送する。図1に示すように、一時空気を帯状のノズルから高風速 (3~5m/s) で吹き出すことにより、室内空気を誘引する。誘引比は風量比で、給気6:誘引4 (メーカー測定値) である。この混合空気は整流用フィンで整流され、多孔板より吹き出される。実験では、既製品 ADu-180 (木村工機株式会社製) を用いた。

2. 実験概要

実験は、2017年1月12日~2017年1月24日の期間に行った。実験室は内寸7.35m×5.25m×2.42mであり、平面図を図2に、断面図を図3に示す。外気風量は396 m³/hに固定し、空調機の各ユニットからの吹き出し風量は99 m³/h (全外気) とした。実験室の北壁は厚さ50mmのポリスチレンフォーム保温板で断熱した。模擬

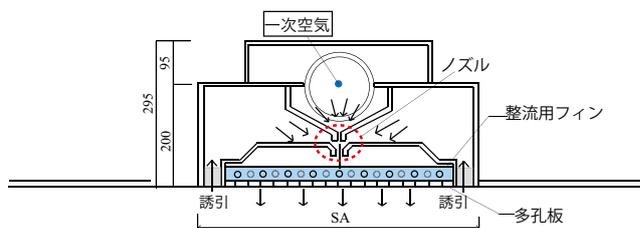


図1 天井吹き出し型誘引ユニット断面図 [mm]

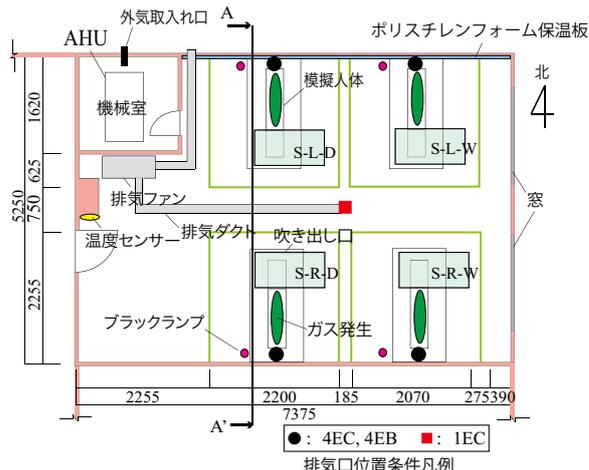


図2 実験室平面図 [mm]

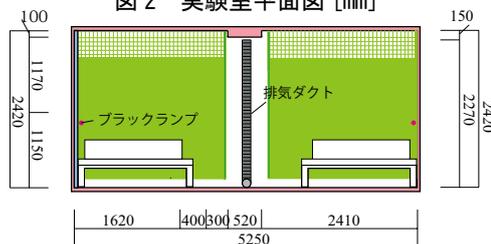


図3 A-A' 断面図 [mm]

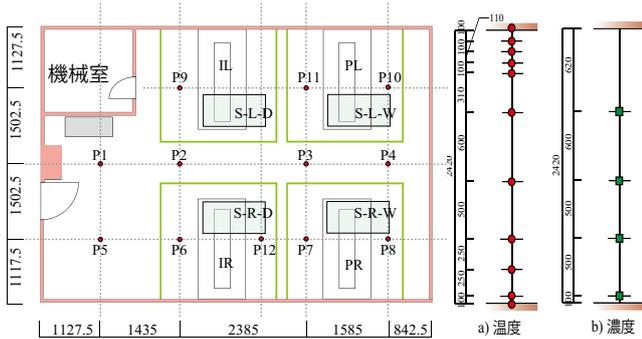


図4 測定点 [mm]

表1 実験条件

条件	排気口位置	排気口高さ	ガス発生源	カーテン
Case1	4EB	FL+1150mm	各ベッド上 模擬人体上部	○
Case2	1EC	天井より50mm下		-
Case3				○
Case4	4EC	天井より50mm下		○
Case5				-

B: ベッド付近 (FL+1150mm)、C: 天井付近 (天井より50mm下)

人体の顕熱発熱量は40Wとし、TVや冷蔵庫の発熱を想定して各ベッド近くにブラックランプ(55W/個)を設置した。なお、4つの給気ユニット(図1)が天井に配置されている。排気口位置は3種類とし、それぞれの平面位置は図2に、高さは表1に示す。

温度測定点は、図4中のP1~P12でそれぞれ鉛直方向高さ11点に設けた。ただし、P1~P4の位置では梁が出ているため、FL+2420mmを除く鉛直方向高さ10点に設けた。濃度測定点は図4中のP1~P10でそれぞれ鉛直方向高さ4点に設けた。

実験は、室を閉め切った後、室内の温度及びCO₂濃度が定常に達したことを確認し、4体の模擬人体、または、4つのディフューザーよりCO₂(1.5L/min)とヘリウム(0.9L/min)の混合ガス(分子量平均:29)を発生させ、各測定点での濃度測定を開始した。濃度が定常に達したことを確認し、各測定点の濃度測定を終了した。

本実験では、排気口位置、ベッド周りのカーテンの有無、ガス発生源、整流パネルの有無の計4つをパラメータとして全11条件行ったが、本報では表1に示す5条件について検討を行った。

2.1 空調制御方法

暖房時の本空調システムは、温度センサーでの測定温度が設定温度+1℃以上になった時にOFF、-1℃以下になった時に再度ONになるよう制御している。本実験では室内温度を23℃に設定して空調機の運転を行ったが、実験室の室外機容量(5HP)が室規模に比べて大きく、また外気量が少なく外気熱負荷が小さいため、空調はON-OFFを繰り返し、それに伴い給気温度及び室内空気温度が大きく変動した。図5を見ると、天井から吹き出した温風の熱が上から下へと伝わっていくことがわかる。

2.2 発生源の違いによる濃度変化

人体発生とディフューザー発生でのガス発生時のCO₂

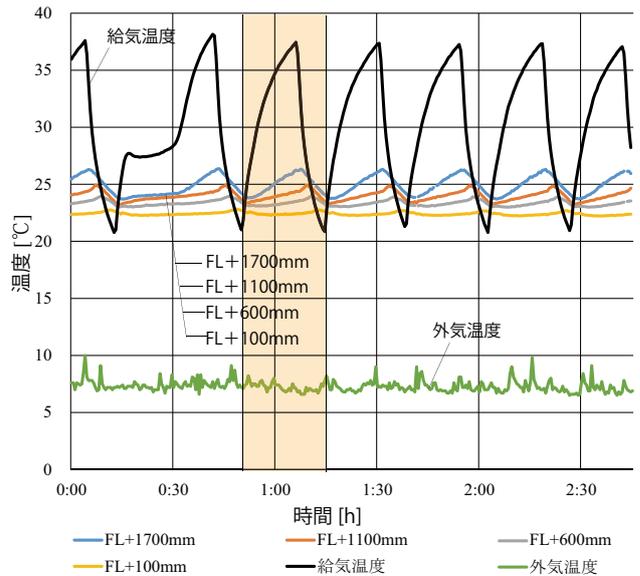
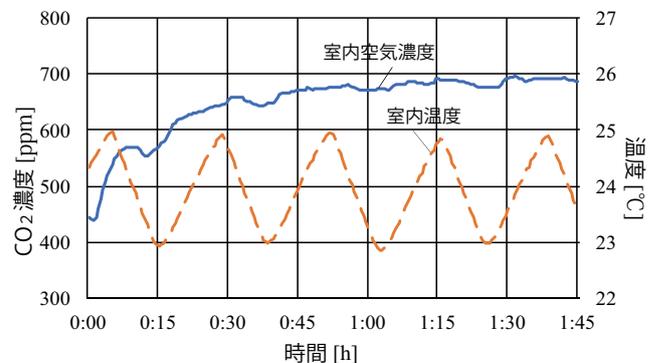
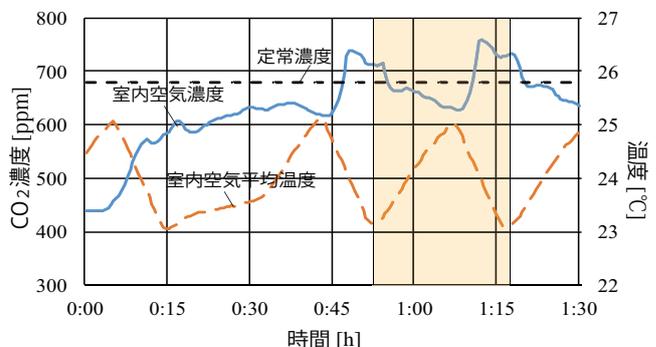


図5 温度経時変化



(a) 4つのディフューザー発生



(b) 4体の模擬人体発生

図6 CO₂濃度経時変化

濃度の変化を比較するため、排気口位置1ECでカーテン無条件でのディフューザー発生の場合と、人体発生(Case2)の場合のCO₂濃度経時変化を図6(a)(b)にそれぞれ示す。ディフューザー発生の場合は濃度が上昇した後ある値で一定となり定常状態が確認できたが、人体発生の場合は濃度の大きな変動が起こり、定常状態が確認できなかった。これは、給気温度の変動により室内で温度成層の形成と崩壊が繰り返され、それに伴い模擬人体から発生しているガスが滞留と混合を繰り返したことが原因だと考えられる。そこで、理論上は定常状態が確認できる時間での温度変化一周期分の測定濃度を時間平均し、それを定常濃度として使用した。

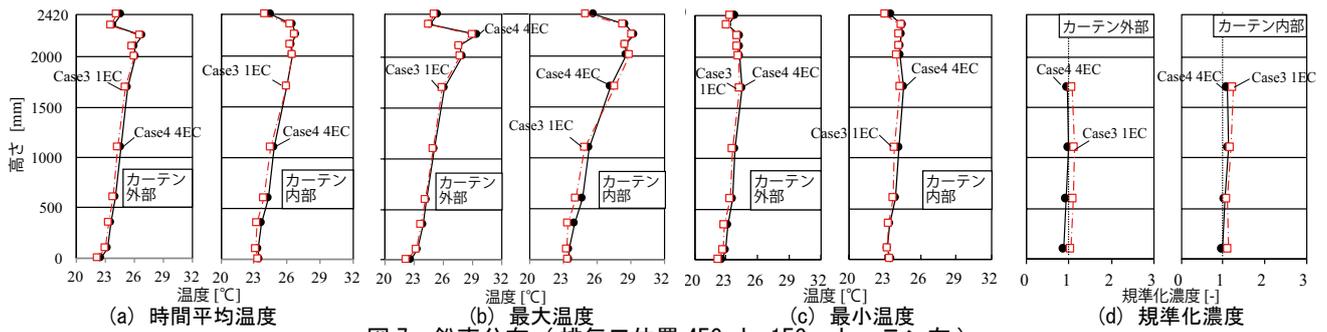


図7 鉛直分布（排気口位置4ECと1EC、カーテン有）

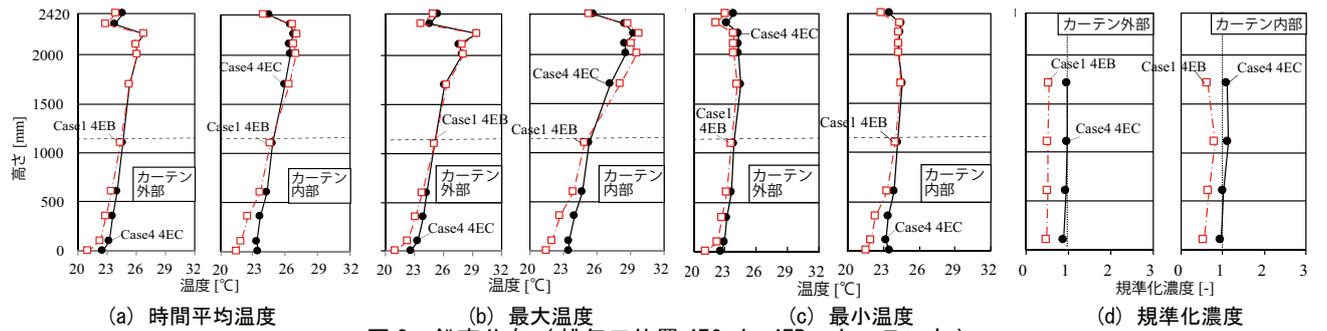


図8 鉛直分布（排気口位置4ECと4EB、カーテン有）

3. 実験結果と考察

図7～図10に温度と規準化濃度の鉛直分布を示す。各条件の温度変化一周期分(図5)の、時間平均値・最大値・最小値の鉛直分布を示し、カーテン外部(P1～P5)とカーテン内部(P6～P12)でそれぞれ平均した値を示す。ただし、ここで使用した一周期分のデータは、定常濃度算出時に使用した時刻のものとは異なる時刻のものである。また、時間平均温度について、立位と座位を想定し、立位はFL+100mmとFL+1700mm、座位はFL+100mmとFL+1100mmでの測定温度差を鉛直温度差として算出し、それらをそれぞれ高さの差で除したものを鉛直温度勾配とし、表2に示す。

規準化濃度は、式(1)によって算出した。ただし、 C_n は規準化濃度[-]、 C_R は定常濃度[-]、 C_{OA} は外気濃度[-]、 C_{EA} は排気濃度[-]を示す。

$$C_n = \frac{C_R - C_{OA}}{C_{EA} - C_{OA}} \quad (1)$$

3.1 排気口個数が与える影響 (Case3とCase4を比較)

Case3(排気口1個)とCase4(排気口4個)の2条件での温度・規準化濃度分布の比較を、図7に示す。

温度分布は概ね一致している。また表2を見ても、2条件間の鉛直温度差・温度勾配の差異は小さい。これより、排気口個数が温度に与える影響は小さいと言える。

次に規準化濃度分布は排気口を4個設けた方が小さくなっており、汚染物除去効率が向上したと言える。

3.2 排気口高さが与える影響 (Case1とCase4を比較)

Case1(排気口位置4EB: FL+1150mm)とCase4(排気口位置4EC: 天井から50mm下)の2条件での温度・規準化濃度分布の比較を図8に示す。

温度分布を見ると、FL+1100mmより低い点では排気

口位置4EBの温度の方が低くなっている。また、カーテン内部ではFL+1100mmより高い点では排気口位置4EBでの温度の方が高い。つまり、排気口位置4EBの時に、排気口設置位置よりも低い点に温風が届いていないと考えられる。また、表2を見ると排気口4EBの方が温度勾配が大きくなっている。このことから、排気口より上部と下部との差が大きいことが言える。

次に規準化濃度は、排気口位置4EBの方が小さい値をとっており、汚染物をベッド上の4体の模擬人体から発生させているため、汚染源に近い位置で排気をすると汚染物除去効率が向上することが言える。また、排気口の個数と、発生源までの鉛直方向距離を変化させた場合を比較すると、後者を変化させ短くしたときの方が汚染物除去効率がより向上し、暖房運転時には排気口高さが汚染物除去効率に与える影響が大きいと言える。

3.3 カーテンの有無が与える影響

3.3.1 排気口が4つの場合 (Case4とCase5を比較)

Case4(カーテン有)とCase5(カーテン無)の2条件の温度・規準化濃度分布を、図9に示す。

温度分布を見ると、カーテン有条件の方が低い位置でも温度が高く、温風が下まで届きやすいことが言える。表2より、温度勾配もカーテン有条件の方が小さく、下まで温風が届いていることが言える。

次に規準化濃度分布を見ると、概ね一致しているが、カーテン内部ではカーテン有条件の方が小さくなっている。排気口位置4ECの場合、給気口・排気口共にカーテン内部にあるため、カーテン内部での汚染物除去効率が良くなったと考えられる。

3.3.2 排気口が1つの場合 (Case2とCase3を比較)

Case2(カーテン無)とCase3(カーテン有)の2条件の

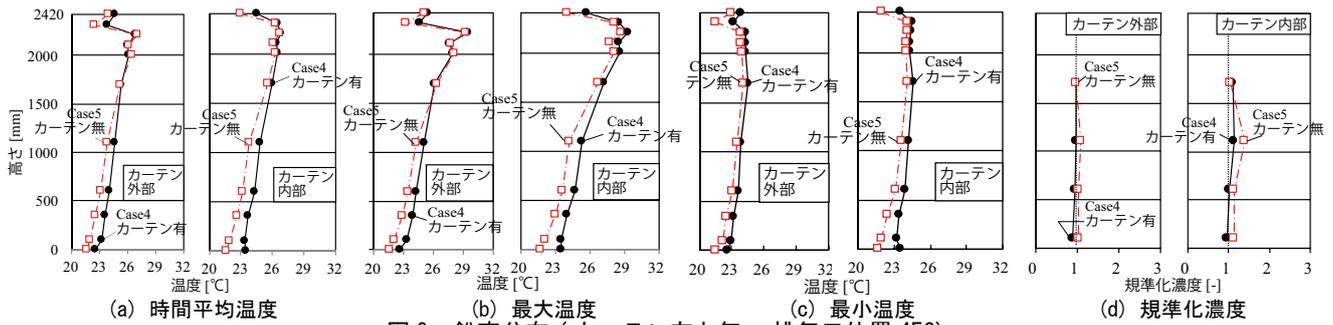


図9 鉛直分布（カーテン有と無，排気口位置 4EC）

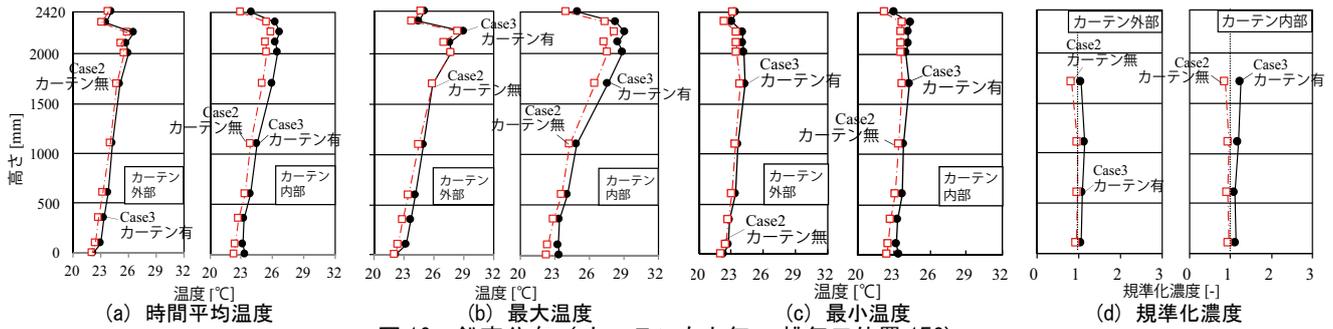


図10 鉛直分布（カーテン有と無，排気口位置 1EC）

表2 鉛直温度勾配表

条件	条件記号	立位 (FL+100mm~FL+1700mm)				座位 (FL+100mm~FL+1100mm)	
		カーテン外部		カーテン内部		カーテン外部	カーテン内部
		温度差 [°C]	温度勾配 [°C/m]	温度差 [°C]	温度勾配 [°C/m]	温度差 [°C] (温度勾配 [°C/m])	温度差 [°C] (温度勾配 [°C/m])
Case1	4EB-C-4B	2.94	1.84	4.44	2.78	2.03	2.64
Case2	1EC-NC-4B	2.33	1.45	2.62	1.64	1.54	1.53
Case3	1EC-C-4B	2.01	1.26	2.78	1.74	1.30	1.33
Case4	4EC-C-4B	2.12	1.33	2.63	1.65	1.34	1.51
Case5	4EC-NC-4B	3.32	2.08	3.60	2.25	1.91	1.90

※ただし座位の場合、高さの差異が1mとなるため、温度差と温度勾配が同じ値となる。

温度・規準化濃度分布を、図10に示す。

温度分布を見ると、カーテン内部ではカーテン有条件の方が温度が高い。排気口位置 1EC の場合、給気口はカーテン内部、排気口はカーテン外部にあるため、カーテンが無い場合は給気口から出た温風が室上部でカーテン外部の排気口へと流れていることが考えられる。

規準化濃度分布を見ると、カーテン無条件の方が小さな値になっている。これより、カーテンが排気口への気流を遮っていると考えられる。

3.4 暖房運転時の温度分布

図7～図10に示す結果から、暖房運転時の温度分布の変化について考える。温度分布について、時間平均温度分布を見ると、天井付近を除き、測定点が低くなるにつれて温度も低くなる。これより、天井の給気口から出た温風が室上部にたまっていると考えられる。時間平均温度の鉛直温度差(表2)を見ると、ISO7730¹⁾で決められた「くるぶし (FL+100mm) と頭 (FL+1100mm) とで上下温度差が3°C以内」という推奨値を下回る。最大温度分布では、室上部の空気が温められるため、鉛直温度差が非常に大きい。一方、最小温度分布では鉛直温度差が小さくなっており、給気温度の変動は、室上部の室内空気温度に大きな影響を与えると言える。

おわりに

本報では、CIDユニット空調を有する4床病室を模擬した実大暖房実験の結果を示し、以下の知見を得た。

- 1) 排気口個数が室内温度に与える影響は小さい。
- 2) 排気口設置高さより上には温風が届いて温度が高くなり、下では比較的低くなるため、温度差が大きくなる。
- 3) 排気口の個数と、発生源から排気口までの鉛直方向距離を変化させた場合を比較すると、後者を変化させ短くした方が汚染物除去効率が向上した。
- 4) カーテンは、カーテン内部から外部への空気の流れを遮る効果があるため、カーテンの内部と外部で温度や汚染物濃度が異なる傾向がある。
- 5) 給気温度の変動による、室上部の空気温度への影響は大きいですが、ベッド近くの居住域への影響は小さい。

今後は、CFDによる詳細な解析を進める所存である。

謝辞

本研究の一部は、木村工機(株)との共同研究によるものであり、種々の便宜を図っていただいた同社関係者各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1)ISO7730:2005 Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria