

縦型誘引吹出空調を有する4床病室の換気性能に関する研究

その4 実大実験に基づく冬季暖房時の室内温度、汚染物質濃度分布に関する検討

Study on Ventilation Performance of Four-bed Ward with Vertical Induction Air-conditioning Part IV Study of Indoor Temperature and Concentration Distribution During the Heating Period Based on a Full-scale Experiment

○学生会員 盛 紹宇 (大阪大学) 技術フェロー 山中 俊夫 (大阪大学)
正会員 小林 知広 (大阪大学) 正会員 崔 ナレ (大阪大学)

Shaoyu SHENG*¹ Toshio YAMANAKA*¹ Tomohiro KOBAYASHI*¹ Narae CHOI*¹

*¹Osaka University

Inductive air-conditioning has the advantages such as saving transport power and non-reheating. Our previous study confirmed the effect of establishing displacement ventilation by installing the induction unit vertically at the four corners of the hospital ward. However, these studies were conducted only in insulated rooms without perimeters and only in cooling usage. This paper built an outdoor air (low-temperature) chamber representing a perimeter window in the full-scale ward with four vertical induction units. Heating experiments were conducted during the winter season to examine the induction units' thermal and ventilation effectiveness during heating usage.

1. はじめに

縦型誘引吹出空調では、従来型の天井設置誘引吹出空調の搬送動力節約、再熱不要などの利点を持つ一方、誘引吹出ユニットを4床病室の四隅に縦設置し、置換換気の成り立つことによる部屋全体の換気効率の向上効果も既報のCFD解析¹⁾と実大実験²⁾による明らかにした。しかし、前述の研究では、ペリメータ無しの断熱壁かつ冷房吹出条件のみの検討であり、年間性能の検討はまだ行っていない。同時に、壁と窓近傍の気流流向は置換換気の効果に大きな影響を与えられ、真冬時ペリメータ処の下降流に対して置換換気効果が如何に維持できるかに関する検討も重要である。そこで、本報では、縦型誘引吹出空調を設置した実大実験室にペリメータ窓を代表する外気(低温)チャンバーを作り、冬季に暖房実験を行ない、実験結果に基づいて冬季暖房時の室内温度、汚染物質濃度分布に関する検討をした。また、室内外温度差を調整し、異なる温度差条件が本空調方式の換気と温熱性能に与える影響を検討した。

2. 実験概要

2.1 実大実験室と誘引吹出空調

実験は2022年2～3月中に木村工機株式会社大阪ショールームを改装した、4床病室を模擬する実大実験室で行った(図1)。実験室は内寸7m×7m、高さ2.6mであり、縦型誘引吹出空調の給気ユニット(図2、KM-200E、木村工機株式会社製)4台を部屋の四隅に設置した。部屋の北、東、南壁の全面と西壁の下部(床から900mmまで)を50mmのポリスチレンフォーム保温板で断熱することや下の階の空調を24時間運転させることにより、実験中これらの方向からの熱の影響を最低限にする。部屋の西側に7m×0.7m×2.6mの

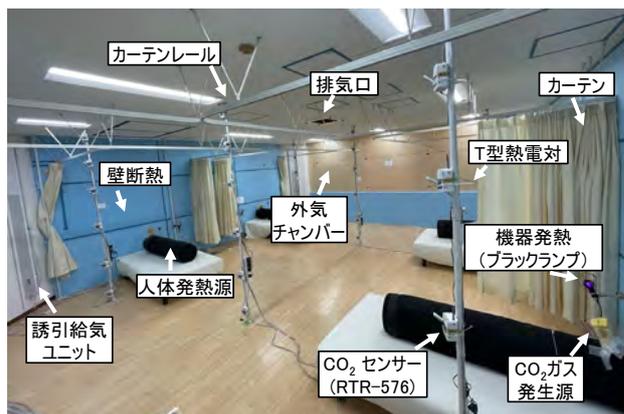


図1 四床病室実験室の写真

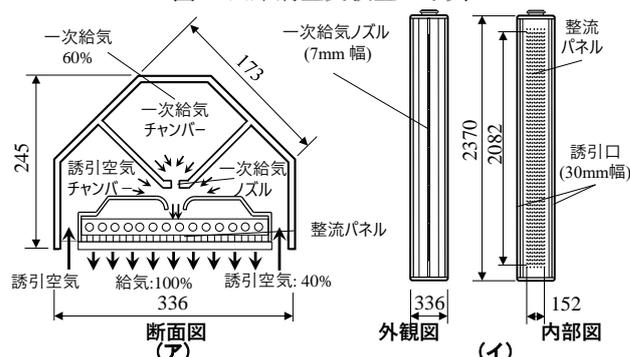


図2 縦型誘引吹出ユニットのイメージ (ア) 断面図 (イ) PAノズルと

チャンバー(図3(ア))を作り、ダクトファンによる外気をチャンバー内部に供給し、外気量の調整によるチャンバー内の温度を一定な程度で制御する。また、チャンバーと部屋の間(部屋の西壁)の上部に、窓と想定する6m×1.7mのスチレンパネルを設置した。スチレンパネルの厚さは複層ガラスの熱貫流率(1.4W/(m²・K))に合わせて、7mmにした。実験対象とした縦型誘引吹出空調

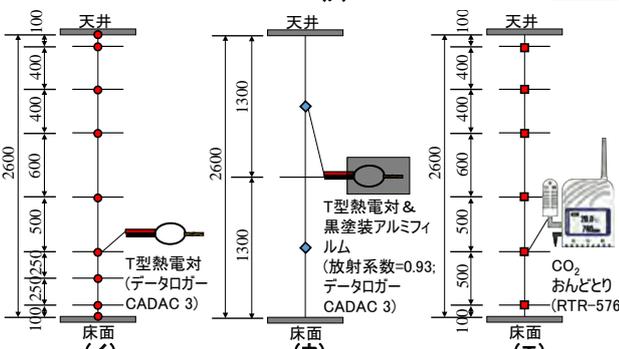
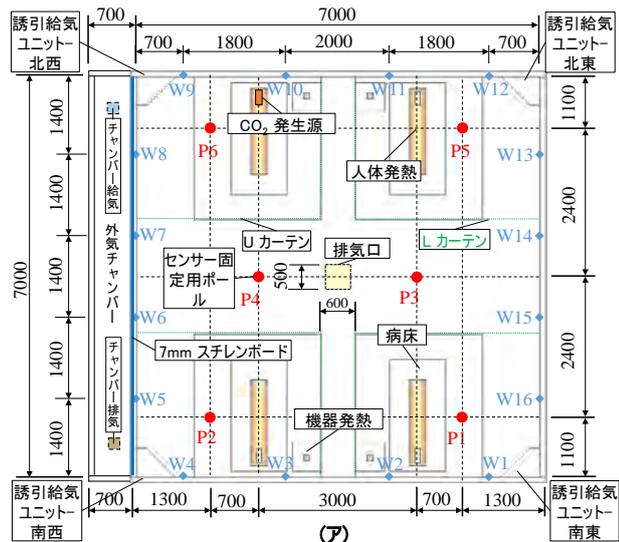


図3 測定点の配置 (ア) 平面分布; (イ) 鉛直 (空気、床 / 天井) 温度; (ウ) 壁表面温度; (エ) 鉛直 CO₂ 濃度

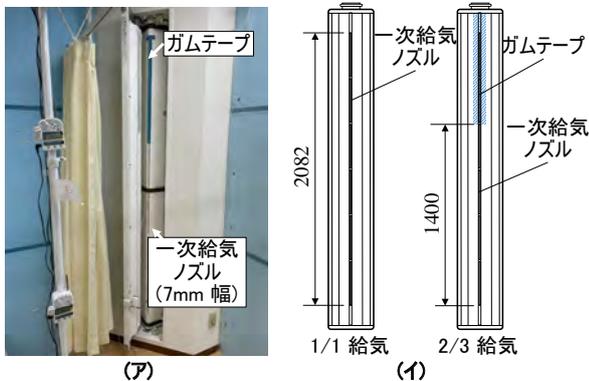


図4 給気位置調整のイメージ (ア) 2/3 吹出モードの写真; (イ) 各給気モードのノズルサイズ

表1 実験ケースの番号、パラメータと温度条件

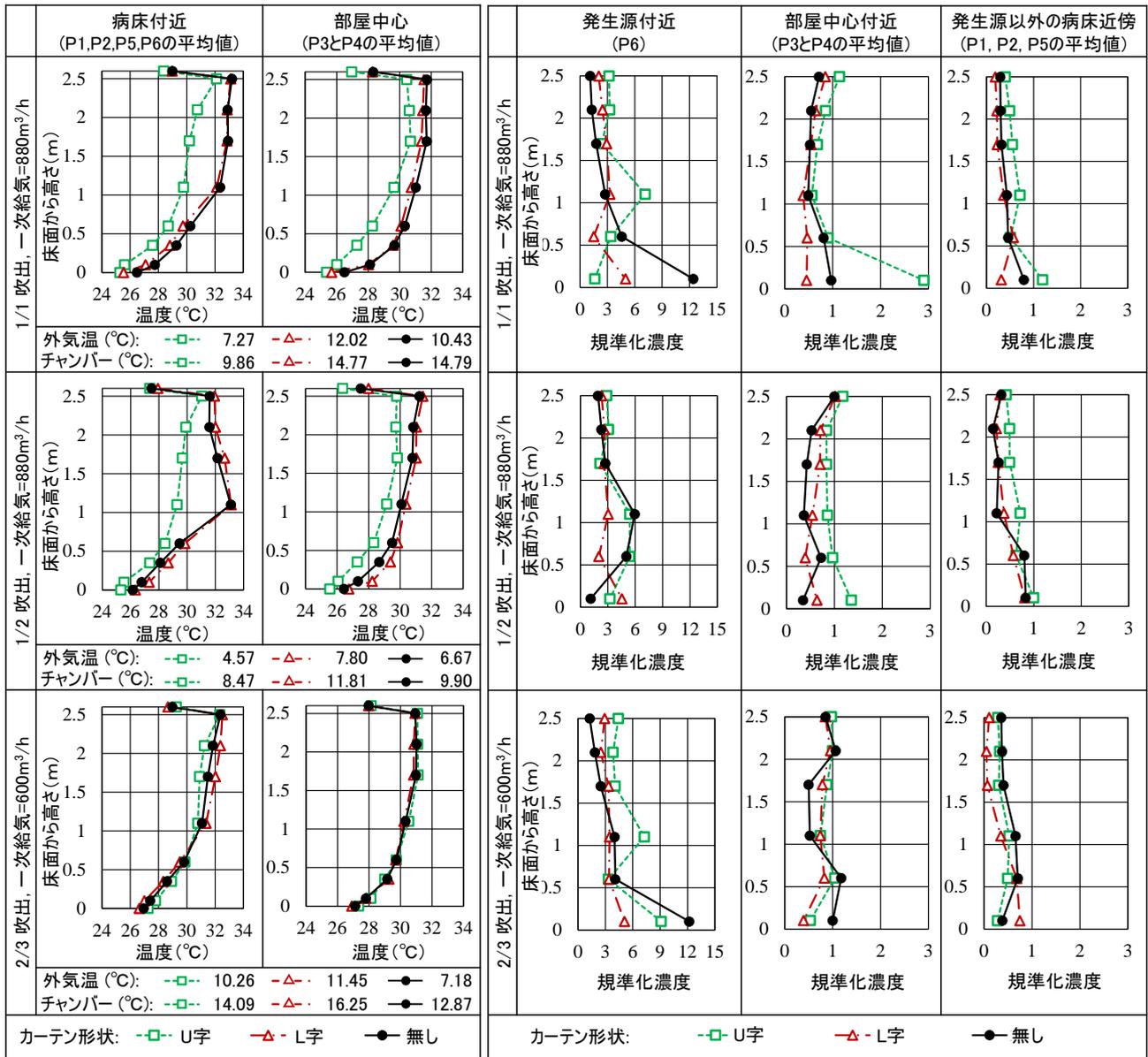
ケース	パラメータの略称	一次給気量 (m ³ /h)	給気モード	カーテン形状	外気 (°C)	排気 (°C)	一次給気 (°C)	壁内表面 (°C)	チャンパー室内表面 (°C)	チャンパー空気 (°C)	室内空気 (°C)	室内空気とチャンパー表面温度差 (°C)	チャンパー空気と室内空気温度差 (°C)
Case1	(1/1)880-NC	880	1/1	カーテン無し	10.43	31.40	39.47	29.00	25.64	14.79	32.58	Δ6.94	Δ17.80
Case2	(1/1)880-LC	880	1/1	Lカーテン	12.02	30.15	39.81	27.46	24.97	14.77	30.6	Δ5.63	Δ15.83
Case3	(1/1)880-UC	880	1/1	Uカーテン	7.27	29.33	39.26	27.13	23.43	9.86	28.98	Δ5.55	Δ19.12
Case4	(1/2)880-NC	880	1/2	カーテン無し	6.67	29.88	39.72	27.07	23.00	9.90	31.68	Δ8.68	Δ21.78
Case5	(1/2)880-LC	880	1/2	Lカーテン	7.80	29.76	39.50	27.44	23.85	11.81	31.30	Δ7.45	Δ19.49
Case6	(1/2)880-UC	880	1/2	Uカーテン	4.57	28.43	39.41	26.66	22.38	8.47	28.62	Δ6.24	Δ20.14
Case7	(2/3)600-NC	600	2/3	カーテン無し	7.18	29.47	39.25	27.27	24.09	12.87	30.52	Δ6.43	Δ17.65
Case8	(2/3)600-LC	600	2/3	Lカーテン	11.45	29.74	39.35	27.96	25.24	16.25	30.65	Δ5.41	Δ14.40
Case9	(2/3)600-UC	600	2/3	Uカーテン	10.26	29.70	39.45	28.43	25.31	14.09	30.00	Δ4.69	Δ15.91
Case A	(2/3)600-UC-10	600	2/3	カーテン無し	5.44	29.10	39.60	28.76	27.01	19.99	30.41	Δ3.40	Δ10.42
Case B	(2/3)600-UC-7	600	2/3	Lカーテン	12.33	26.99	32.35	26.32	25.07	20.46	27.61	Δ2.54	Δ7.15
Case C	(2/3)600-UC-3	600	2/3	Uカーテン	12.11	22.65	23.45	22.65	21.94	20.09	23.15	Δ1.21	Δ3.06

の誘引給気ユニットの寸法と誘引比を図2に示す。カーテンによる影響を検討するため、病床周囲に形状可変なカーテン (図3 (ア)) を設置した。なお、カーテンは、天井から 400mm の高さにレールを設置し、レールから床上 300mm 高さまでに布製の通気性が低いものである。人体と機器発熱を模擬するため、発熱量 50W のシリンダー形状模擬人体と 60W のブラックランプ (深紫カバーの電球) をそれぞれ 4 台設置した (図1、図3)。

2.3. 測定方法と実験条件

室内温度と濃度分布を把握するため、図3に示すように、病床近傍にある P1,P2,P5,P6 と室中心にある P3,P4 の位置に、T型熱電対 (CADAC3 データロガー、江藤電気製) と CO₂ 温湿度計 (RTR-576、T&D 社製) を用い、それぞれの鉛直温度データ 9 点 (図3 (イ))、CO₂ 濃度データ 6 点 (図3 (エ)) を測定した。また、OA、EA、RA と SA (誘引給気ユニットのノズル内部、4 台共測定) の CO₂ 濃度データも計測した。それ以外、T型熱電対を黒色アルミテープ (放射率 = 0.93) で北、東と南壁表面に等間隔で、計 24 点の壁温度データ (図3 (ウ)) を測定した。外気チャンバーの温度に関して、チャンパー内部空気温度を等間隔の 4 点、チャンパーの実験室側の外表面温度を等間隔の 8 点で計測している。

実験は、室内空気温度及び壁温度が定常に達したことを確認後、1 台のみの模擬人体の面部付近 (図3 (ア)) から CO₂ ガスをトレーサーガスとし、1L/min の定量で発生させ、各測定点の CO₂ 濃度と温度の 5 時間連続測定を行う。真冬時性能評価の実験は、空調の給気風量 PA (880m³/h と 600m³/h) と吹出面積 (1/1 吹出と 2/3 吹出、図4 参照)、また間仕切りカーテンの形状 (U 字、L 字) と有無をパラメータとし、PA 温度を 39.5°C 前後に設定し、表1に示すように、Case1~Case9 の計 9 ケースの実験を行った。室内外温度差の影響評価は、PA=600m³/h、2/3 吹出、U 字カーテンを基準設定とする。PA 温度調整による室内温度を制御し、室内外温度差をパラメータ (Δ3,7,10°C) として、Case A, B, C の実験を行なった。各ケースの外気と給排気温、チャンパーと室内の温度差なども参考として表1に載せる。



(ア) 鉛直温度分布

(イ) 鉛直規準化濃度分布

図5. 真冬条件下の鉛直温度と規準化濃度分布

3. 実験結果と考察

今回の実験では定常状態の結果を分析するため、5時間連続測定の後1時間のデータを定常値として使用し、1時間平均データによる室内温度とCO₂濃度分布の折れ線グラフを作成した。また、本報のCO₂濃度はすべて(1)に示している規準化濃度 C_N^* で表す。

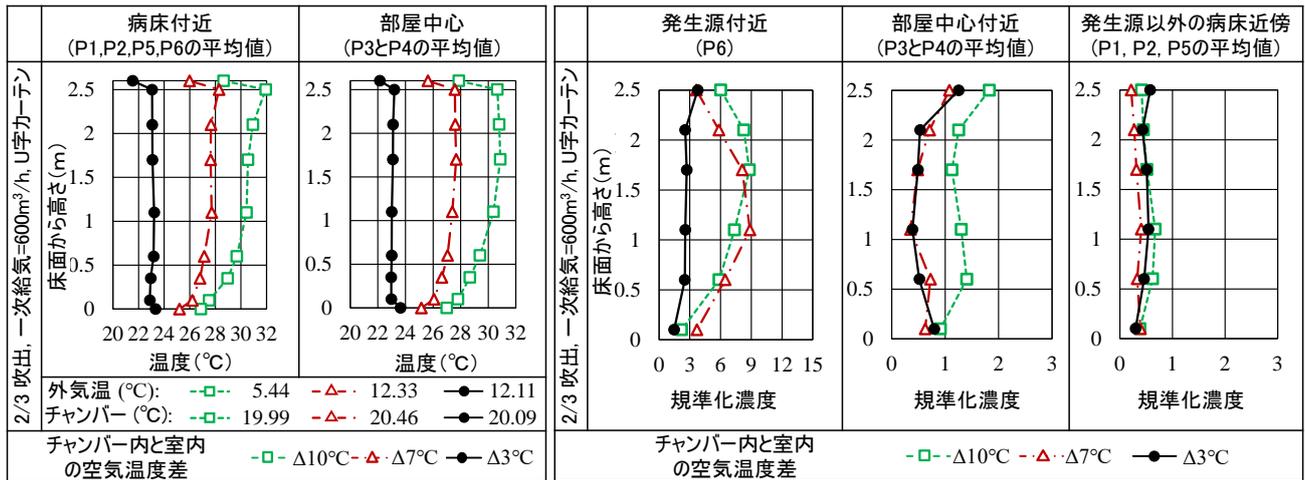
$$C_N^* = \frac{C_P - C_{SA}}{C_{EA} - C_{SA}} \quad (1)$$

室内の温度分布を図5(ア)、規準化濃度分布を図5(イ)に示す。実験室は完全断熱ではない、また外気チャンバーの細かい温度制御ができないため、Case1~Case9の温度基準条件(部屋と外気チャンバーの温度差、チャンバー表面温度など)は完全一致ではなく、相似な温度条件下の比較となっている。参考のため、表1以外、図5(ア)にも各ケースの外気温とチャンバー内温度を表示している。また、温度分布の折れ線図は病床(熱源)付近に

位置するP1,P2,P5,P6の平均値を一枚、部屋中心にあるP3,P4の平均値を一枚の図に纏め、病床近傍と部屋中心の温度を示す。同様に、基準濃度分布は、発生源近傍(P6)のデータを一枚、部屋中心のP3,P4の平均値を一枚、その他の病床付近に位置するP1,P2,P5の平均値を一枚の図にし、汚染源が部屋中心と他の病床への影響を表す。

3.1 真冬時の性能表現及びカーテン、吹出方式の影響

図5と表1に示すように、外気温の日々変化により各ケース間の温度分布のずれが存在しているものの、室内床上1.1m高さ(外気チャンバー内空気)の温度差は概ねΔ18°C前後になり、大阪の真冬の温度状態だと言える。室内の温度分布に関して、どちらのケースでも、居住域(床上0.1~1.7m)の上下温度差はΔ3°C前後であり、病床上部(0.6m)と床から1.7m高さの温度差はΔ2°C以内なので、誘引吹出ユニットの縦設置が熱快適性への影響は少ないと考える。また、Case6(1/2(880)-



(ア) 鉛直温度分布

(イ) 鉛直規準化濃度分布

図6 各内外温度差(Δ3, 7, 10°C)条件下の鉛直温度、規準化濃度分布

UC)の給気位置付近(P1,P2,P5,P6)以外、カーテンの形状と有無に関わらず、給気の風量と温度が同様な場合、相似な鉛直温度分布となっている。Case6の給気位置付近では、吹出風速が相対的速く、U字カーテンの気流遮断効果が顕著になり、他のケースと異なる温度分布になっている。

濃度分布に関して、大部分の実験ケース(1/2吹出以外)では発生源近傍にCO₂ガス(汚染物質)の沈下が観測されたものの、発生源以外の病床付近では1以下の規準化濃度(排気より低い濃度)を維持している。沈下は、汚染物質が発熱体付近のプルームに載せて上昇している際、一部の汚染物質が冷たい壁付近の下降流に巻き込まれ、或いは誘引給気ユニットに誘引され、床付近に落ちる/再び供給されると考える。Case4~Case6では、誘引給気ユニットの下半分吹出かつ最大な給気量を持ち、汚染物質再誘引の減少と相対的に速い給気風速が壁近傍下降流の影響と相殺することで、汚染物質が床から1m高さ付近の処に滞っている。真冬時低温壁近傍の下降流が(置換換気の)換気効率に逆効果を与えるものの、汚染源付近以外の室全体、特に他の病床付近は1以下の規準化濃度分布であり、汚染物質の拡散が少なく、準置換換気の分布だと言える。それ以外、冷房時と違って、カーテンの有無と形状が汚染物質分布及ぼす影響は特に観測されなかった。

3.2 内外温度差が温熱、換気性能に与える影響

(2/3)600-UC条件下の室温(床から1.1m)と外気チャンパー空気温がそれぞれΔ3,7,10°C差の場合の室内温度、規準化濃度分布を図6に示す。室内外温度差が小さい程、上下温度差が少なくなり、Δ3°Cのケースではほぼ均一な温度分布となっている。濃度分布に関して、この3ケース共安定な置換換気の分布になり、Δ7°CとΔ10°Cの場合、発生源付近の濃度溜まりが多少存在しているものの、下部に落ちることがなく、Δ3°Cのケースでは既に更なる上昇、排出された。図6による、複層ガラスの場合、冬季の室内外温度差がΔ10°C未満の場合、上昇流の搬送効果が下降流の影響を克服でき、部屋全体の置換換気効果が保証できる。

4. まとめ

本報は実大実験による、4床病室における縦型誘引吹出空調の冬季暖房時の温熱、換気性能の検討を行なった。真冬時本空調方式を使用する場合、温熱性能が保証できる同時に、壁近傍下降流の影響を受け夏期より換気効率が低減されるものの、汚染物質の拡散は混合換気より少なく、準置換換気の濃度特徴となっている。そして、夏季冷房時と違って、冬季暖房時カーテンの有無と形状の差異が室内温熱と換気環境に大きな影響は見られなかった。それ以外、複層ガラスの使用を想定し、冬の室内外気温差がΔ10°C未満の場合、室内鉛直温度分布が小さくなった他に、発生源付近上昇流の搬送効果が弱くなっている壁近傍下降流の影響を乗り越え、部屋全体の安定な置換換気が保たれ、高い換気効率が保証できることも明らかにした。縦型誘引吹出空調の冬季性能、特に換気性能を高めるため、吹出位置の床付近寄りと適切な風速で給気すること以外、壁近傍下降流の発生防止、詰り建築物、特にペリメータ部分の断熱性能向上の工夫も重要だと考えられる。

【記号表】

- C_N^{*} 測定点の規準化濃度 [-]
- C_P 測定点の濃度 [ppm]
- C_{SA} 給気濃度 [ppm]
- C_{EA} 排気濃度 [ppm]

【謝辞】

本研究は、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各位に深く感謝いたします。また、本研究の一部は、JST次世代研究者挑戦的研究プログラムJPMJSP2138の支援を受けたものです。

【参考文献】

- 1): 盛紹宇, 山中俊夫, 小林知広, 崔ナレ, 縦型誘引吹出空調を有する4床病室の換気性能に関する研究 その1 CFDによる室内気流、温度、汚染物質濃度分布の検討、令和2年度(第50回)空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集、A-10、2021.03
- 2): 盛紹宇, 山中俊夫, 小林知広, 崔ナレ, 縦型誘引吹出空調を有する4床病室の換気性能に関する研究 その3 実大実験に基づく吹き出し気流条件が室内の温度・汚染物質濃度分布に与える影響、令和3年度(第51回)空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集、A-15、2022.03