

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5 実大実験に基づく冷・暖房期における室内温度・汚染物質濃度分布

Study on Ventilation Performance of Four-bed Ward with Vertical Induction Air-conditioning Part V Full-scale Experimental Study of the Distribution of Indoor Temperature and Concentration Under Cooling and Heating Periods

○正会員 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 (東洋大学)

Shaoyu SHENG*¹ Toshio YAMANAKA*¹ Tomohiro KOBAYASHI*¹ Narae CHOI*²

*¹Osaka University *²Toyo University

Compared to conventional air conditioning, induction air conditioning reduces conveying power and does not require reheating. In our previous studies, displacement ventilation (DV) was achieved by installing induction units vertically at four corners of a hospital ward. However, these studies were conducted in insulated labs under ideal conditions. In actual use, especially in spaces with a large wall area, such as hospital wards, upward/downward airflow occurs near exterior walls and windows due to temperature differences. As a result, these airflows and their directions can significantly affect DV's stratification heights and stability. This study conducted full-scale experiments to clarify the distribution of room temperature and pollutant concentrations during cooling and heating periods in a four-bed hospital room with a vertical induction air conditioning system. How to maintain DV effectiveness during heating periods was also tested and examined.

1. はじめに

縦型誘引吹出空調では、従来の天井型誘引吹出空調の搬送動力節約、再熱不要の利点を持っている一方、部屋四隅からの居住域給気による置換換気を成り立ち、室内全体の換気効率を向上できる¹⁾。しかし、前述の研究は断熱部屋における理想状態に近い条件で行った検討であり、実際使用時、特に病室など壁面積が多い空間では、外壁、外窓近傍の温度差による上昇/下降気流が多発し、気流流向は置換換気の成層高さ、安定性に顕著な影響を与えられる。そこで、本報では、縦型誘引吹出空調を有する4床病室の夏季冷房び冬季暖房期における室内温度・汚染物質濃度の分布を明らかにした。そして、冬暖房期、置換換気効果が下降流の汚染物巻き込みによる弱化されたことに対し、如何にこの時期の換気効果を維持するかを目的とする検討と方法提案を行った。

2. 実験概要

実験は、夏季と冬季の二部分より構成し、それぞれ2022年8~9月、2023年1~2月中に、木村工機株式会社の大阪ショールームから改装した、4床病室を模擬する実大実験室で行った。縦型誘引給気ユニットが部屋の四隅に設置され、給気面積は既製品の全高の2/3に絞った(1400mm高さ、図1)。部屋の北、東、南壁の断熱(100mmポリスチレンフォーム)や天井チャンバー&下の階の24時間空調により、これらの方向からの熱移動を最低限にし、中間層に位置かつ隣室がある、外壁(窓)が片面のみの空間を想定する。部屋の西側に模擬外気チャンバーを作り、チャンバーと部屋の間、上部は3mmポリカーボネート(夏季、 $U=5.8W/m^2\cdot K$ 、単板ガラス相当)或は7mmスチレンパネル(冬季、 $U=1.4W/m^2\cdot K$ 、複層ガ

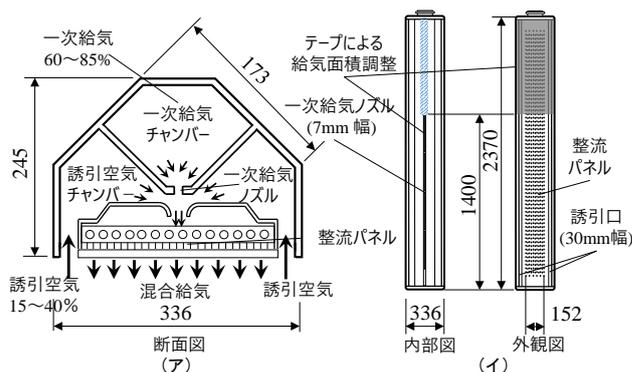


図1 縦型誘引給気ユニットのイメージ
(ア) 水平方向断面図 (イ) 給気口の内部と外観図



図2 4床病室実大実験室の写真

ラス相当)、下部は100mmポリスチレンフォーム、それぞれ6m×1.7mの外窓と6m×0.9mの腰壁を代表する(図2と図3)。外調機で処理した外気をチャンバー内部に供給し、給気温度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。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。

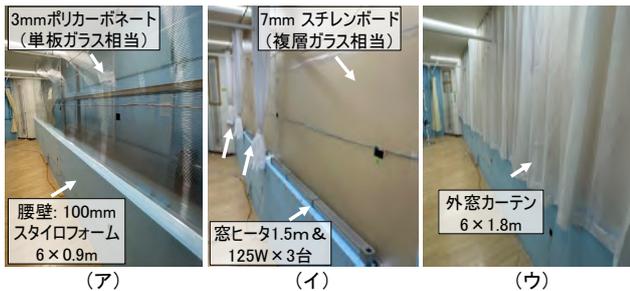
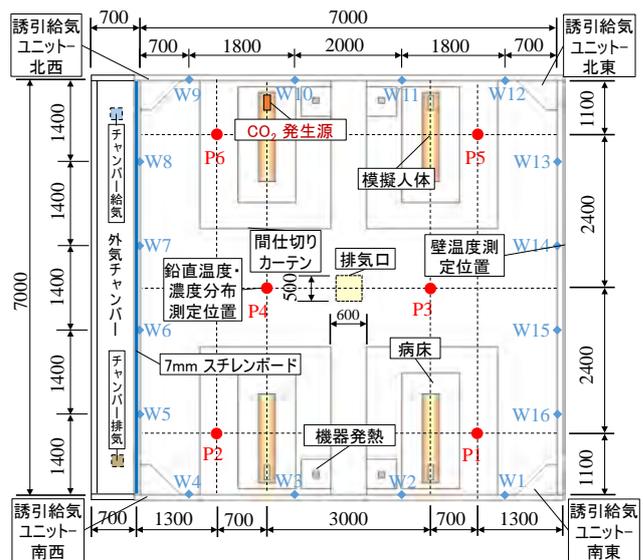


図3 外気チャンバーの写真 (ア) 夏季実験の様子；(イ) 冬実験用窓とヒータ；(ウ) 冬実験用外窓カーテン

それ以外、図3に示すように、外気チャンバーの室内側に、下降流対策とし、外窓カーテン (6m × 1.8m、布材質) と窓ヒータ (1.5m 長さ、125 W/台) 三台を設置した。実験室の寸法と鉛直温度・濃度分布測定点の配置を図4に示す。一体の模擬人体の面部付近から CO₂(1.5L/min) & He(0.9L/min)、密度は空気と近い混合トレーサガスを発生し、一人の患者から発生している汚染物を代表する。測定方法に関しては、室内空気及び壁の温度が定常に達した後、混合ガスを3.5時間連続発生させ、温度とCO₂濃度分布の最後0.5時間の平均値を定常データとして採用する。実験パラメータについては、①給気と外気の温度差 ΔT_s (夏実験、混合給気温度) 或は室内外温度差 ΔT_w (冬実験、室中心1.1m高さ外気チャンバー内空気) の調整；②一次給気の風量モード (強 859m³/h、中 598m³/h、弱 300m³/h)；③病床周囲の間仕切りカーテンの有無；④外窓用カーテンと窓ヒータの使用 (冬季のみ)、詳細は表1に示す。外気チャンバーの冷却性能不足のため、冬実験の温度差を付くには、暖房温度を一般より高めに設定した。各ケースの給気、室内空気と外気チャンバー内空気の温度も参考として表1に載せる。



(ア)

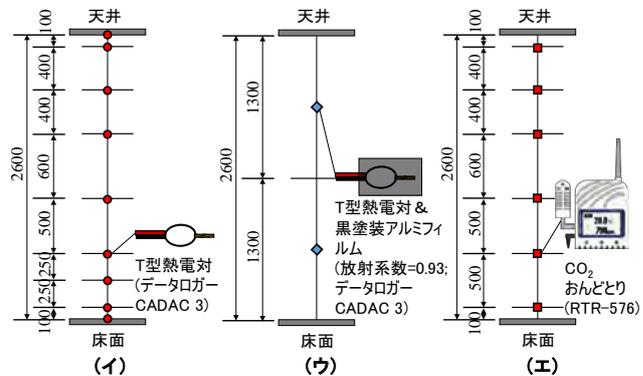


図4 測定点の配置 (ア) 測定点の水平分布；(イ) 鉛直(空気、床/天井)温度分布測定点；(ウ) 壁表面温度測定点；(エ) 鉛直CO₂濃度分布測定点

表1 実験ケースの番号、パラメータと温度条件

ケース	一次給気量 (m ³ /h)	間仕切りカーテン	外窓カーテン	外窓ヒータ	排気温 (°C)	一次給気温 (°C)	チャンバー空気温(°C)	混合給気温度(°C)	給気・チャンバー温度差 ΔT_s (°C)
夏冷房実験	Case1	300	無	無	27.56	17.86	35.18	20.26	14.82
	Case2	598	無	無	27.30	18.41	35.05	20.31	14.74
	Case3	859	無	無	26.47	18.76	35.05	20.19	14.86
	Case4	300	有	無	28.55	18.22	35.27	20.51	14.75
	Case5	598	有	無	27.08	18.51	34.52	20.27	14.25
	Case6	859	有	無	26.96	18.96	35.27	20.44	14.82
ケース	一次給気量 (m ³ /h)	間仕切りカーテン	外窓カーテン	外窓ヒータ	排気温 (°C)	一次給気温 (°C)	チャンバー空気温(°C)	室内1.1m処温度	内外温度差 ΔT_w (°C)
冬暖房実験	Case7	598	無	無	27.30	31.56	12.79	27.36	14.57
	Case8	598	有	無	28.27	33.60	12.72	27.60	14.88
	Case9	598	有	有	30.40	38.75	14.23	29.37	15.14
	Case10	598	有	有	27.82	32.92	12.31	27.45	15.13
	Case11	859	無	無	31.99	39.54	17.89	32.64	14.76
	Case12	859	有	無	30.66	36.50	15.11	29.95	14.84
	Case13	859	有	有	31.29	38.95	15.55	30.61	15.05
	Case14	859	有	有	31.37	39.66	15.16	30.90	15.74

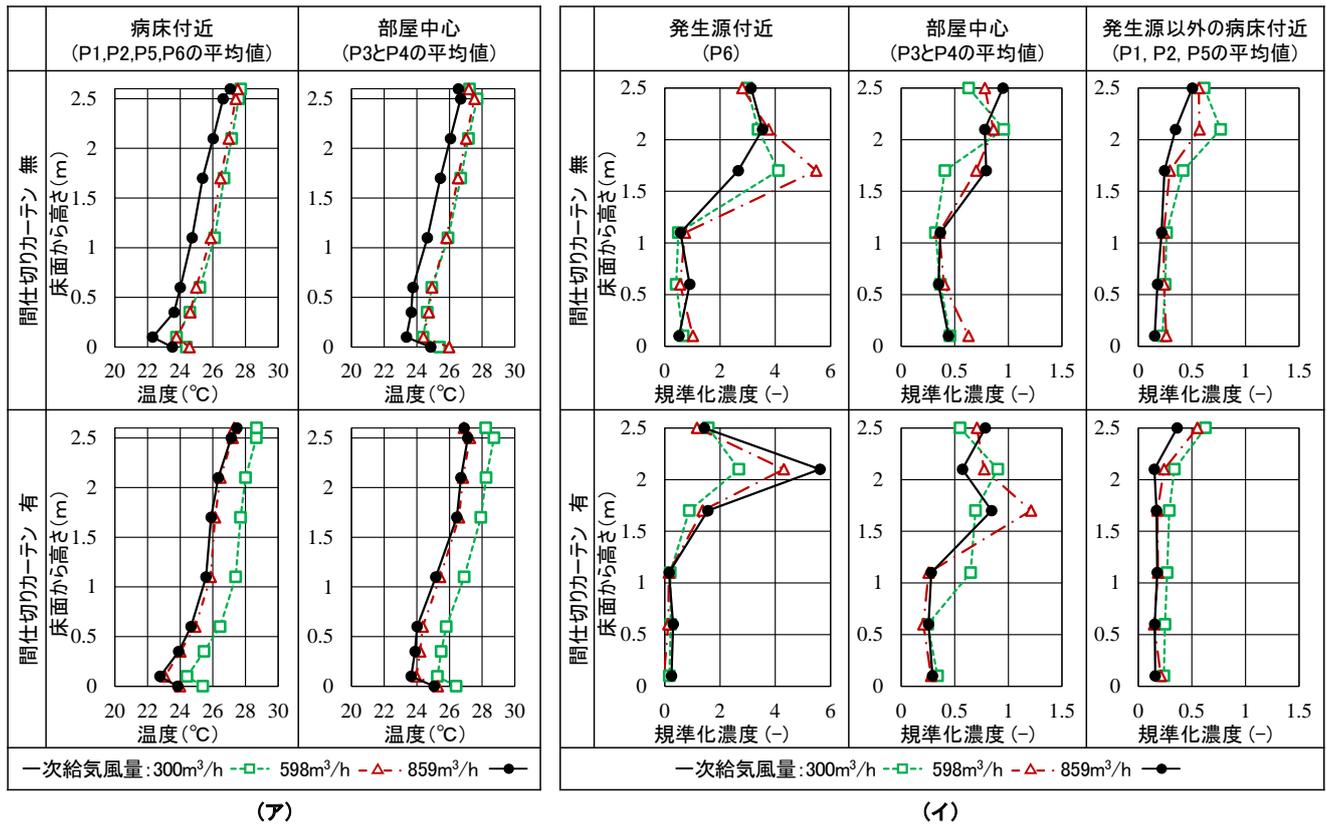


図5. 夏冷房時（混合給気とチャンバーの温度差 $\Delta T_s = 15^\circ\text{C}$ ）における間仕切りカーテンの有無及び異なる給気条件下の（ア）鉛直温度分布と（イ）規準化濃度分布

3. 実験結果と考察

異なる空調風量（換気回数）における換気効果を比較するため、 CO_2 トレーサガスの濃度はすべて(1)に示している規準化濃度 C_N^* （測定点と排気の濃度比）で表す。

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

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 冷房時の温度・濃度分布

大阪の真夏と想定されている、外気チャンバー内空気と誘引給気ユニット混合給気（ 20°C 一定）の温度差 ΔT_s が 15°C の条件で、定常状態における室内の温度と規準化濃度分布をそれぞれ図5の（ア）と（イ）に示す。温度の鉛直分布について、居住域（床から $0.1 \sim 1.7\text{m}$ ）の上下温度差が風量モードと関わらず、 3°C 以内に保っている同時に、置換換気の温度勾配となっている。寝そべる患者に対して、病床高さ（ 0.6m ）以上の居住域内には、温度の鉛直分布は 1°C 度以内に収まり、温度差による不快感はないと考えられる。室内汚染物質濃度に関して、 $300 \sim 859\text{m}^3/\text{h}$ の給気風量（ $2.3 \sim 6.7$ 回換気）

範囲内、安定な置換換気が達成（居住域の規準化濃度は概ね 0.5 以下）した。また、病床周囲の間仕切りカーテンありのケースは無しの場合と比べると、カーテンの気流遮断と汚染物拡散防止効果¹⁾により、病床高さ付近の規準化濃度は 0.3 以下に保たれている。また、熱負荷の関係で、給気風量は少ない程、置換換気の濃度境界面高さが低くなる傾向が出たが、現状（ 20°C 混合給気、一面単板ガラス）では、弱風給気（約 2.3 回換気）でも、病室用として支障がなく、中風給気（約 4.7 回換気）にしたなら、十分優秀な換気効果を発揮できる。

3.2 暖房時の温度・濃度分布

外気チャンバーの冷え能力不足により、夏季実験と異なり、室内 1.1m 高さ処の空気と外気チャンバー内空気の温度差 ΔT_w を制御することから実験を行った。 ΔT_w は大阪真冬時と想定された 15°C の一定を目標とし、室温（給気温度）は外気チャンバーの毎日の最低設定可能温度に伴い日々調整し、普通な暖房温度より高めに設定していた。定常状態の室内温度と規準化濃度分布をそれぞれ図6の（ア）と（イ）に示す。居住域の鉛直温度分布について、中風（ $598\text{m}^3/\text{h}$ 、約 4.7 回換気）給気の場合は 3°C 程度、強風（ $859\text{m}^3/\text{h}$ 、約 6.7 回換気）は 4°C 程度の差が出た一方、病床高さ（ 0.6m ）以上の居住域には、鉛直温度差は 1°C 程度であり、置換換気温度成層を維持しながら、熱快適性に及ぼす影響は少ないと考えられる。また、間仕切りカーテン有無は、強風給気時に病床

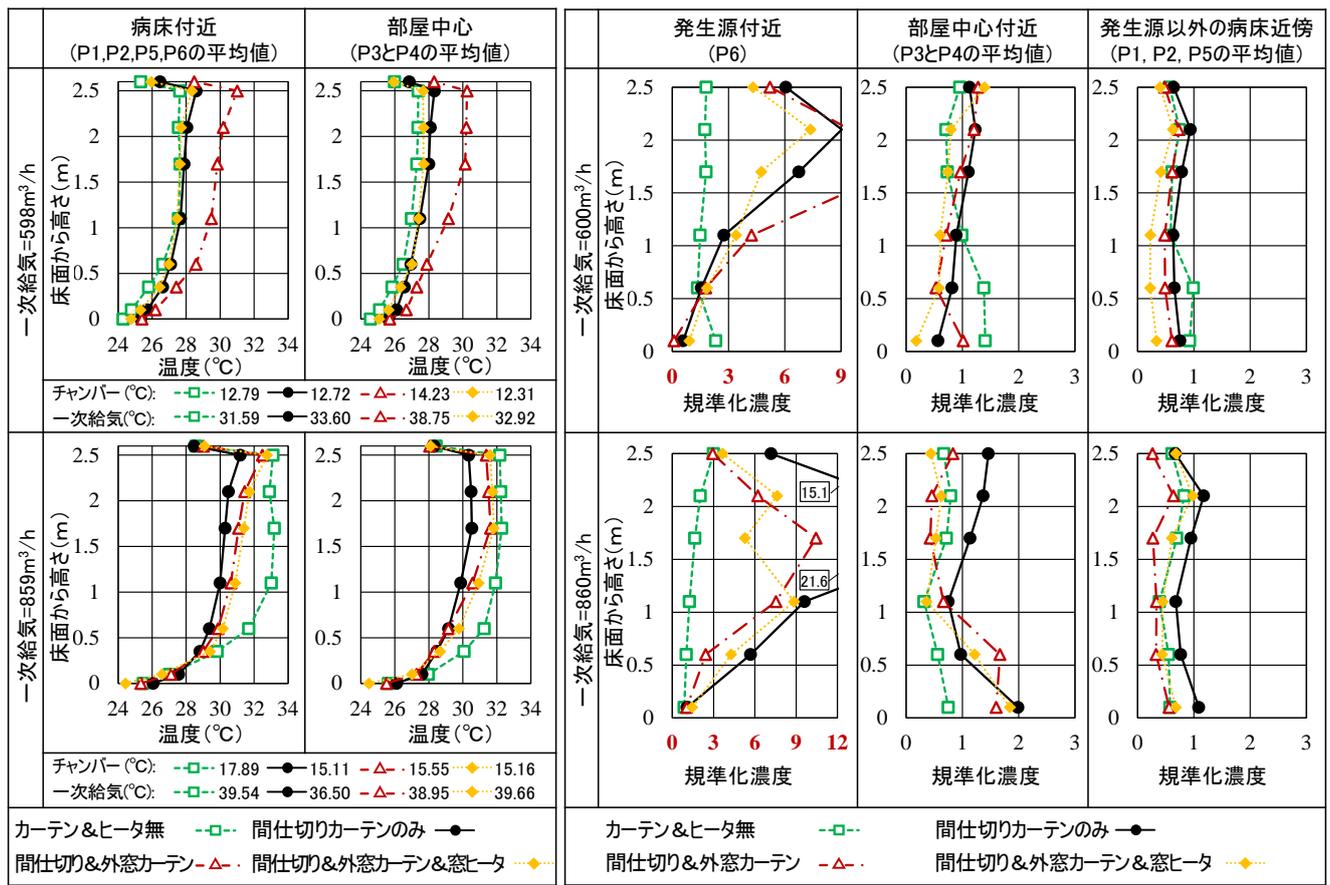


図 6. 冬暖房時（室内中心 1.1m 高さ）とチャンバーの空気温度差 $\Delta T_w = 15^\circ\text{C}$ ）における強風と中風給気条件における、間仕切りカーテン、外窓カーテン、窓ヒータの有無状態下の (ア) 鉛直温度分布；(イ) 規準化濃度分布

周辺の温度差緩和効果を持つ一方、窓ヒータと外窓カーテンから室内温度分布への影響は特に見られなかった。室内汚染物質濃度に関して、中風&間仕切りカーテンありの場合、発生源以外の居住域規準化濃度は概ね 0.7 前後であり、同条件の強風モードの 1 前後より、汚染物質の拡散は少なく、強風より中風モードの方が安定な置換換気になり易いことが分かった。しかし、全てのケースでは外窓付近の下降流の影響を受け、汚染物の沈降（特に部屋中心、P3 & P4 付近）が観測された。それに対し、中風給気&間仕切りカーテンありの場合、外窓カーテンの設置は一定な下降流防止&汚染物質巻き込み減少効果がある（居住域規準化濃度はやや少ない）同時に、窓ヒータと併用すれば、元から下降流を除去でき、熱上昇流も発生し、冬暖房時の置換換気効果が顕著に向上、保証出来る（汚染源付近以外の居住域、規準化濃度は 0.5 前後）。

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冷房と暖房期における温度・汚染物質分布を検討した。冷房期に本空調方式を使用する場合、上下温度差による不快感は殆どなく（病床高さ以上の居住域温度鉛直分布は 1°C 以内）同時に、汚染源以外の病床付近の規準化濃度は 0.3 以下に保たれ、中風モード（約 4.7 回換気）以上の給気量にすると、汚染物質の成層高さも居住域の

高さ以上に位置し、優秀な置換換気分布が形成できたとと言える。暖房期に本空調方式を使用する場合、温熱性能が保証される同時に、壁近傍下降流の影響を受け、夏期より換気性能が低減されたが、中風給気及び間仕切りカーテンの設置により、置換換気が安定できる（汚染源付近以外の居住域、規準化濃度は 0.7 前後）。夏と近い置換換気効果を期待する場合、外壁/窓の断熱による元から換気効果低減の原因となる下降流の発生を最低限にする以外、外窓カーテンと窓ヒータとの併用を推奨する。また、冷暖房と関わらず、置換換気の流量バランスと静穏な流れ場が望ましい特性により、4 床病室で縦型誘引吹出空調を使用する場合、病床周囲の間仕切りカーテンの設置と中風モードの給気を推奨する。今後は、本空調方式の中間期における温熱・換気性能検討を行う予定である。

【記号表】

C_n^* 基準化濃度 [-]	C_{SA} 一次給気濃度 [ppm]
C_p 室内測定点濃度 [ppm]	C_{EA} 排気濃度 [ppm]
T_S 外気チャンバー内空気と混合給気の温度差 [$^\circ\text{C}$]	
T_w 外気チャンバー内空気と室内 1.1m 高さ処空気の温度差 [$^\circ\text{C}$]	

【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。

【参考文献】

1) Shaoyu Sheng, e. al., "Experimental study and CFD modelling of four-bed hospital ward with all-air wall induction unit for air-conditioning," Building and Environment, vol. 222, 2022.