

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2 壁温度が室内気流、温度、汚染物質濃度分布に対する影響

Study on ventilation performance of four-bed ward with vertical induction air-conditioning

Part II Effect of wall temperature on indoor airflow, temperature and pollutant concentration distribution

○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 Noriaki KOBAYASHI*¹
*¹Osaka University

Inductive air conditioning, which has advantages such as non-reheating and transfer power saving, attracts attention as the image of an energy-saving air conditioning system. However, due to the spread of the Covid-19, to maintaining a healthy and safe indoor air environment, especially in the hospital ward, improving the ventilation performance of the air conditioning system, is becoming the top priorities for air conditioning equipment design. Therefore, from the view of the displacement ventilation method, which is favorable in energy-saving and ventilation performance, this study will test the displacement ventilation effects when the vertical types of inductive air conditioning was used in a four-bed ward, and the improved method of increase the ventilation efficiency will also be examined.

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空調の搬送動力節約、再熱不要などの利点を持つ一方、部屋の四隅に縦設置し、置換換気が成り立つことにより換気性能の向上が期待される。本研究では、良好な空気質の確保が重要となる4床病室を対象として、4床病室における縦型誘引空調の換気、温熱環境性能を評価した上、既存製品の換気性能を高める改良法を検討した。前報¹⁾では、CFD解析において、壁温度の影響は考慮せず、既存の縦型誘引空調ユニットの下半分が適切な風量で吹き出すことによる換気効率向上の可能性、及びU字カーテンの設置による汚染物拡散防止と置換換気性能向上効果を検討した。本報では、CFD解析により、壁温度が縦型誘引空調方式の4床病室での温熱環境と換気効果に関する検討を行った。

2. 縦型誘引空調について

実験対象とした縦型誘引空調では、空調機で冷却除湿・加熱加湿した空気を給気ユニット(KM-200E、木村工機株式会社製)に搬送する。Fig.1に示すように、空調機からの一次空気が給気チャンバーに入り、帯状ノズルから高風速(3~5m/s)で吹出されることにより室内空気を誘引する。空調給気量と誘引空気量の比は6:4(カタログ値)である。混合した空気はアルミプレートで整流され、パンチングパネルを通して緩やかな風速で室内に吹き出す。また、給気ユニットは細長い形状と吹出し面積を持ち、部屋の四隅に位置する柱に縦設置することにより、省スペースと室内空気環境の向上の両立が見込める。

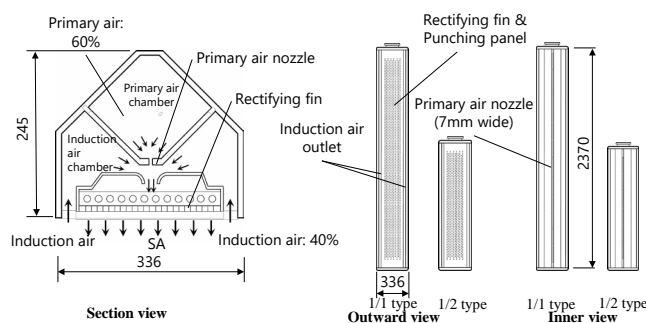


Fig.1 Outline of induction inlet unit with rectifying panel

3. 解析概要

室内の詳細な気流性状と温度・汚染物質濃度分布を予測するため、CFD解析を行った。使用した乱流モデルと解析条件などをTable1に示す。CFDモデルは、縦型誘引空調を実際に設置した、四床病室を模擬する部屋(木村工機株式会社大阪ショールーム)に基づいて作ったものである。Fig.2に示すように、内寸7m×7m、高さ2.6mの病室において、縦型誘引空調ユニット4台を四隅に設置し、また病床、カーテン、人体発熱と機器発熱を模擬する発熱体4セットを設置した。人体からの発熱量は一体あたり50W、機器からの発熱量は一台あたり60W、室内総発熱量は440Wである。なお、カーテンは、床上300mmから天井までで、天井から400mmは通気性のメッシュとしている。

大規模病棟内の病室を想定しているため、西側の壁のみをペリメータと想定し、壁外部の温度を36℃、2℃と断熱の3条件、また、吹出風量(強風モード880m³/h、全外気モード325m³/h)と吹出面積(全面吹出、下

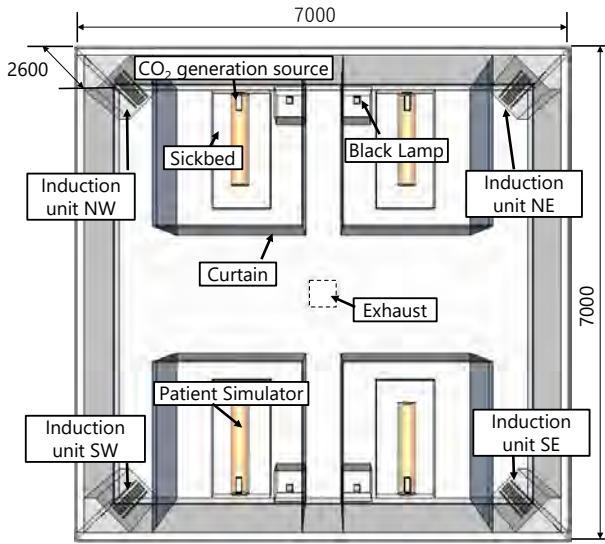


Fig.2 Overview of ward's CFD model

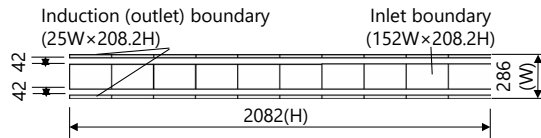


Fig.3 CFD boundary of the induction diffuser

Table2 Analysis Case

Flow rate of the supply air [m ³ /h]	Outer surface temperature of wall-W[°C]	1/1 outlet	Lower half (1/2) outlet
880	Adiabatic	○	○
	36	○	○
	2	○	○
325	Adiabatic	○	○
	36	○	○
	2	○	○

半分のみ吹出)をパラメータとして、Table2に示すよう、計9ケースの解析を行った。空調からの給気(一次給気)温度を880m³/h時19°C、325m³/h時18°Cに規定した。

縦型誘引ユニットの境界面設置は、Fig.3のように、両側にある誘引(吸い込み)境界面と中心の吹出境界面により組成し、また、鉛直方向の温度、濃度分布を考慮するため、各境界面を高さ方向に10等分(下半分のみ吹出の場合は5等分)した。各境界面は独自の流量、乱流、濃度条件があり、流量と乱流データは実験データにより得た数値を、吹出濃度(C_{SA})は誘引された空気の濃度(C_{IA}、解析値)とノズルからの給気濃度(C_{PA}、規定値、本報は0)から式(1)で算出した値を使用した。

$$C_{SA} = 0.6C_{PA} + 0.4C_{IA} = 0.4C_{IA} \quad (1)$$

吹出流量の実験データは、熱式風速計(Model6501、カノマックス社製)で帯状ノズル表面の等間隔の12点(下半分のみ吹出の場合は6点)の風速データ(1Hz、60s間平均)を測定し、ノズル面積を乗じたものである。各ノズルの吹出風速分布はFig.4に示す。CFDの境界条件として使用した風速分布は、全面吹出の場合、

Table1 Calculation Conditions used in CFD

Analysis Method	CFD code	STREAM V2021		
	Turbulence Model	Standard k-ε model		
	Algorithm	SIMPLER		
	Discretization Scheme	QUICK		
	Number of Mesh	3,175,200		
Envelope Boundary	Outer surface	Temperature regulation		
	Wall material	ALC concrete		
	Thickness of the wall	100mm		
	Inner surface	Wall boundary	No-slip	
		Heat boundary	Radiation	View factor analysis; Emissivity of wall=0.9
			Convective heat transfer rate regulations	Wall's α _w = 3.06[W/m ² K] Ceiling's α _c = 0.967[W/m ² K] Floor's α _f = 4.04[W/m ² K]
	Curtain	Top	Mesh; Pressure loss coefficient regulation	400mm from the ceiling, C _p = 3.27
		Central	Panel	1900mm height
		Lower	Free space	300mm from the floor
	Flow Boundary	Inlet	Volume regulation	
Exhaust		Natural outflow		
Turbulence statistics	Turbulence intensity I	1%		
	Turbulence length scale l	7mm		
	Kinetic energy k	Calculated by u, I		
	Turbulence Eddy Dissipation ε	Calculated by u, I, l		

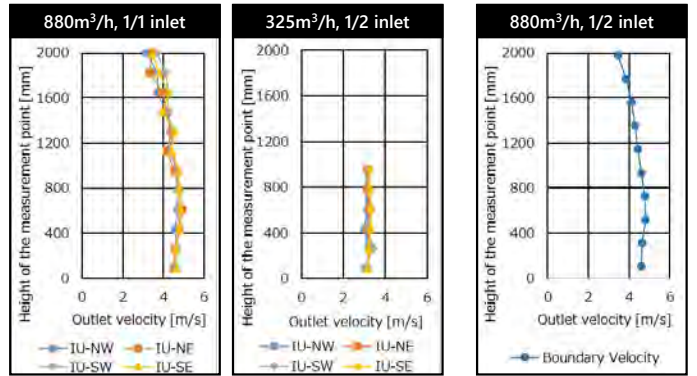


Fig.4 Outlet velocity (Experiment) Fig.5 Boundary velocity of case 880m³/h, 1/1 outlet

4つのユニットの風速分布の平均値の近似曲線を求めて、各吹出面の中心の風速を算出し(Fig.5)、面の吹出風速データとして使用した。下半分吹出の場合、概ね均一な風速であるため、全吹出境界面に均一な風速分布で風量(325m³/h給気の場合は約27m³/h、880m³/h給気の場合は約73m³/h)を与えた。乱流統計量は、乱流強度Iを1%、乱れの長さスケールlをノズルの幅(7mm)として、式(2)と(3)より算出して与えた。

$$k = \frac{1}{2}(ul)^2 \quad (2)$$

$$\varepsilon = C_D \frac{k^{\frac{3}{2}}}{l} \quad (3)$$

4. 解析結果と考察

今回の解析では、汚染物質発生源はFig.2の左上の一か所のみにある。室内スカラー風速(Fig.7)、温度(Fig.8、Fig.9)と汚染物濃度分布(Fig.10)の定常解析結果をカウンター図と鉛直分布で示す。

(1) 計算データのピックアップ位置と計算方法

一人の患者から発生した汚染物が別の患者と病室全体に与える影響を検討するため、四床病室を Fig.6 に示すように、病床近傍のエリア1~4 とそれ以外、病床から一定な距離があるエリア5 の、計5 個のエリアに分割する。各エリアの同じ高さのデータを平均し、鉛直分布を評価することとする。また、室内汚染物濃度分布は、式4 を用い、規準化濃度の形で結果を示す。

$$C_P^* = \frac{C_P}{C_{EA}} \quad (4)$$

(2) 壁温度が与える影響

病床近傍のスカラー風速分布 (Fig.7) と温度分布 (Fig.8) から、西壁の外部を 2°C に設定された場合、壁の内表面温度は室温より約 3°C 低く、壁近傍に一定な流速 (約 0.03m/s) の下降流が観測された。それに対して、西壁の外側を断熱または 36°C に設定した場合、放射と伝熱の影響により、壁温度が室温よりそれぞれ 2°C、8°C 前後高く、流速が 0.05m/s 前後の上昇流が観測された。空調の給気温度は壁温度にかかわらず、一定な温度 (880m³/h 給気時 19°C、325m³/h 給気時 18°C) に設定したため、室内温度は壁温度に応じて変化し、壁内

表面温度と室温の差が大きい程、室内の鉛直温度分布 (Fig.9) が顕著になる (壁内側と空気温度差は 2°C と 8°C の場合、病床近傍と天井近傍の温度差はそれぞれ 1°C 弱、2°C 近く) ことも分かった。また、室内汚染物濃度の分布 (Fig.10) に対して、外壁温度が室温より高い場合 (壁外側 36°C)、壁近傍に上昇流が発生し、居住域中の汚染物がそれに乗って上昇することにより、置換換気の効果を上向きさせる。一方、壁温度が室温より低い場合、置換換気により天井近くに滞留した汚染物は壁近傍の下降流と共に床近傍に輸送され、置換換気の効果を低減することも分かった。



Fig.6 Location of the data's average

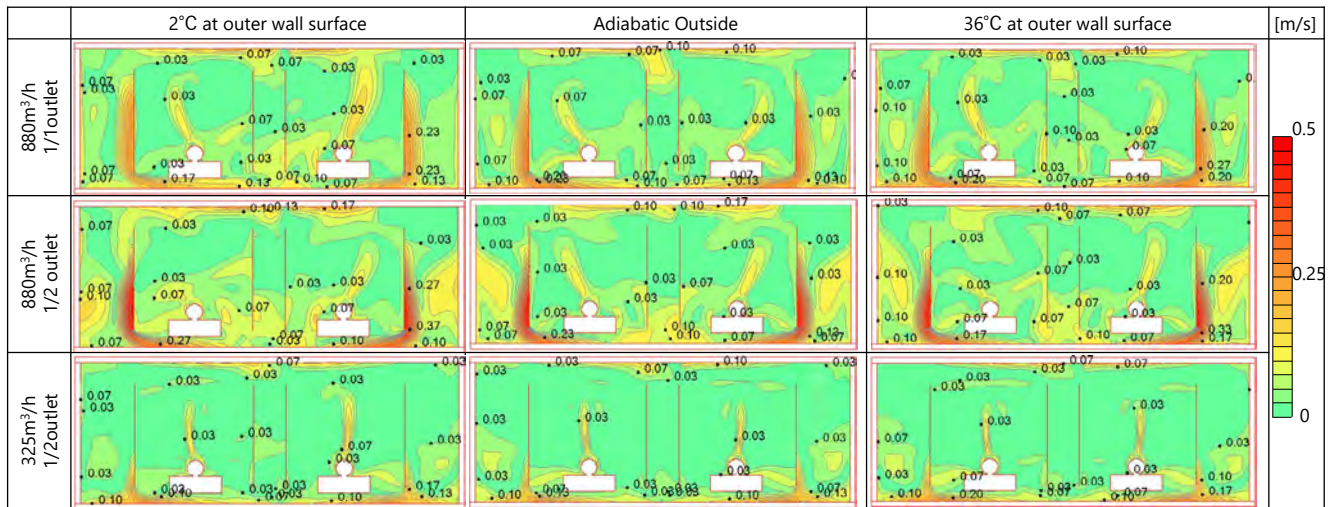


Fig.7 Scalar velocity distribution on section Y=6000

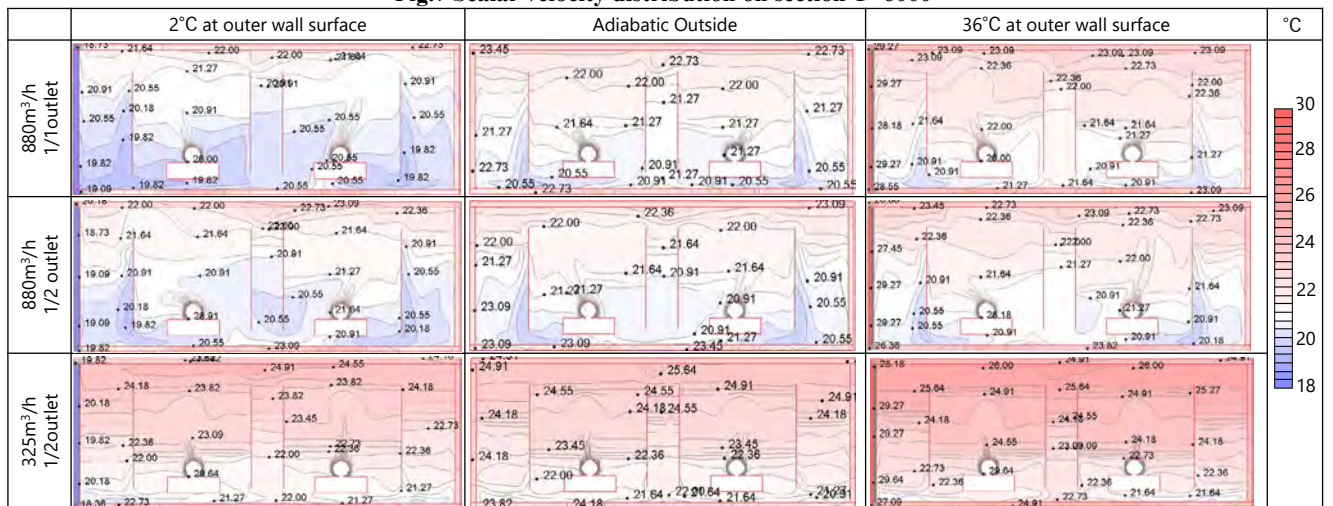


Fig.8 Temperature distribution on section Y=6000

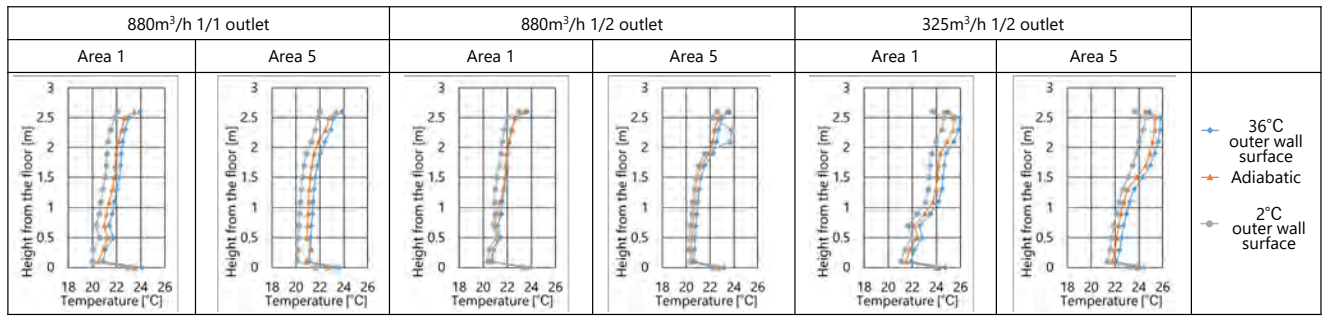


Fig.9 Temperature distribution

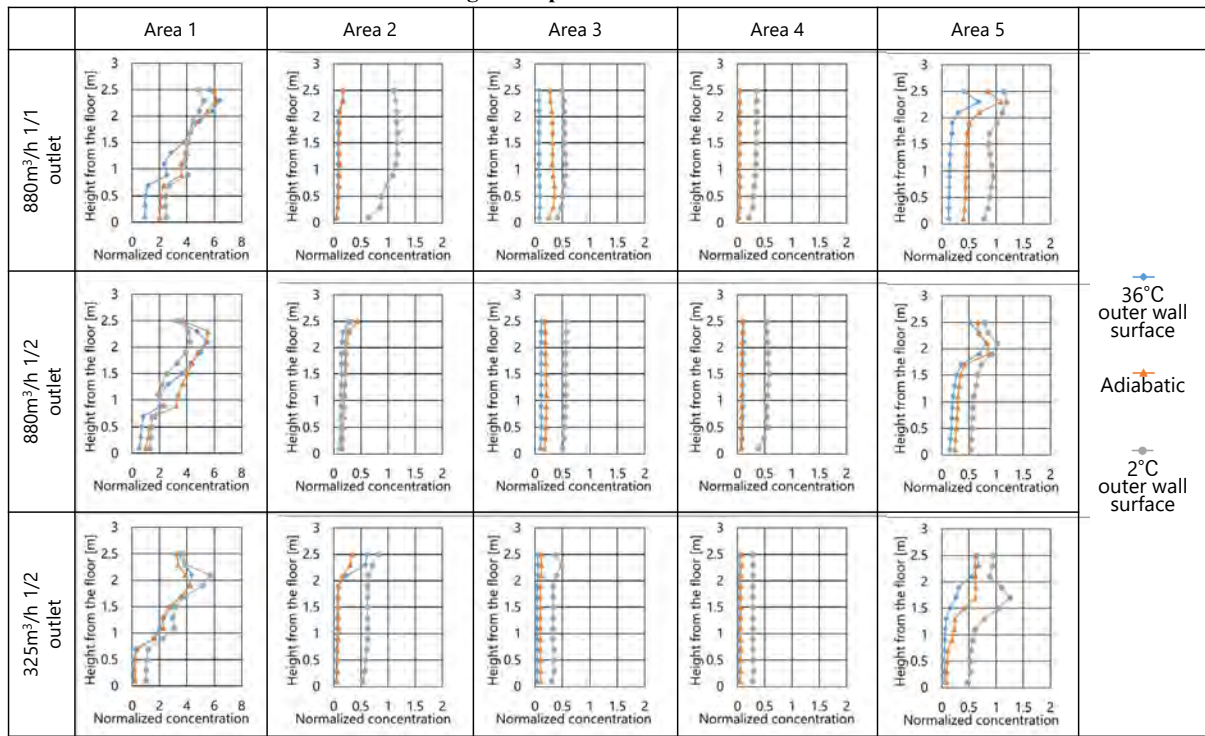


Fig.10 Normalized concentration distribution

(3) 吹出位置と風量が与える影響

Fig.10 により、全面吹出の場合、汚染源付近に一定な置換換気効果を持つものの、天井近くに滞留している汚染物が誘引吹出口に誘引され、冷房気流と共に再び居住域に供給されることから、置換換気効果が比較的小さい。同様な風量で下半分の吹出口から吹き出しにすると、天井近傍の汚染物の誘引がなくなり、部屋全体の置換換気性能が向上することができる。そして、小風量 (325m³/h) で下半分から吹き出す場合、最も顕著かつ安定した温度分布となり、最適な置換換気効果を発揮できると考えられる。

5. まとめ

CFD 解析により、縦型誘引空調ユニットは、外壁温度が室温より高い場合、つまり夏季冷房時に置換換気効果があることが分かった。冬季暖房時では壁近傍に下降流が生成し、部屋全体の置換換気効果が相対的に低下するものの、汚染源近傍に一定な置換換気効果がある。また、下半分のみ吹き出す場合、1/1 と同風量あるいは 1/2 の風量にずれであっても夏季冷房時の置換換気効果を更に向上させるとともに、冬季暖房時にも室内鉛直温度分布が拡大し、置換換気が成立しやすくなる、下降流の影響

を相殺し、一定な壁断熱性能がある条件下では、汚染源近傍と室内全体と共に置換換気の成り立つことにより、換気性能の向上が期待出来る。今後は実大実験での解析精度検証、また、給気温度と空調制御方式が温度 / 汚染物濃度の成層位置、人に対するの快適性能評価を検討する予定である。

【記号表】

I : Turbulence intensity [%]	ϵ : Turbulence Eddy Dissipation [m ² /s ³]
u : Average velocity [m/s]	C_p^* : Normalized concentration at the measurement point
k : Kinetic energy [m ² /s ²]	C_p : Concentration of measurement point [ppm]
l : Turbulence length scale [m]	C_{SA} : Concentration of supply air from induction inlet unit [ppm]
C_p : Model coefficient= 0.09	C_{PA} : Concentration of supply air from the primary air nozzle [ppm]
C_{IA} : Concentration of induced air from room [ppm]	C_{EA} : Concentration of exhaust air [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。

【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