

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

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

Part I Examination of indoor airflow, temperature and concentration distribution by CFD

○盛 紹宇 (大阪大学)

山中 俊夫 (大阪大学)

小林 知広 (大阪大学)

崔 ナレ (大阪大学)

Shaoyu Sheng^{*1}

Toshio YAMANAKA^{*1}

Tomohiro KOBAYASHI^{*1}

Narae CHOI^{*1}

^{*1} Osaka 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保つ一方、部屋の四隅に縦設置し、置換換気の成り立つことより換気性能の向上を期待される。本研究では、空気環境に対する緊迫な要求を持つ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する上、既存製品の換気性能を高める改良法を検討する。本報では、実大実験の先行研究として、CFD解析による本空調方式の4床病室での換気効果評価、また病床周囲のカーテンの有無、形状が換気性能と汚染物質拡散防止性能に対する影響、そして、誘引ディフューザの開口位置(面積)調整により、換気性能を改善する可能性について検討を行った。

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(メーカー値)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/柱での縦設置により、省スペースと室内空気環境の向上を両立させると見込める。

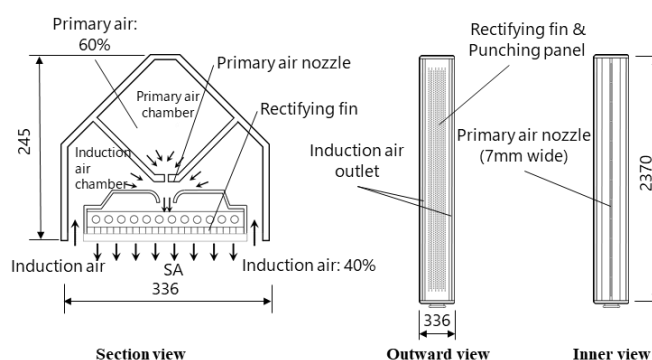


Fig.1 Outline of induction inlet unit with rectifying panel

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Table.1に示す。CFDモデルは、縦型誘引空調が実際に設置している、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、縦型誘引空調ユニット4台を四隅の柱に設置され、また病床、模擬人体、カーテン(形状可変、Fig.2はU字カーテン、Fig.3はL字カーテン)と機器発熱と見慣れる発熱体4セットを設置した。模擬人体と機器発熱それぞれの発熱量は一体あたり50Wと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。

吹出風量(強風モード880m³/h、全外気モード325m³/h)

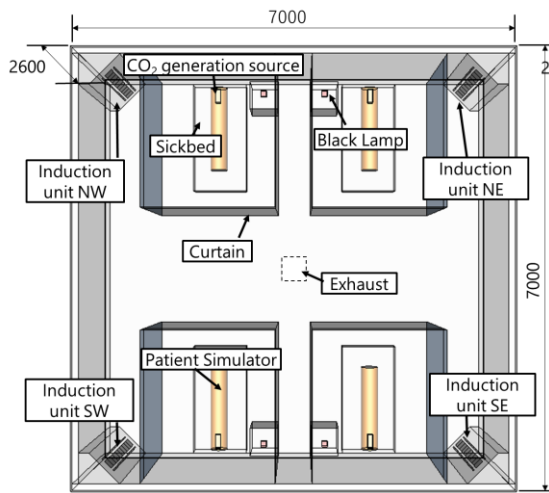


Fig.2 Overview of ward's CFD model (U curtain)

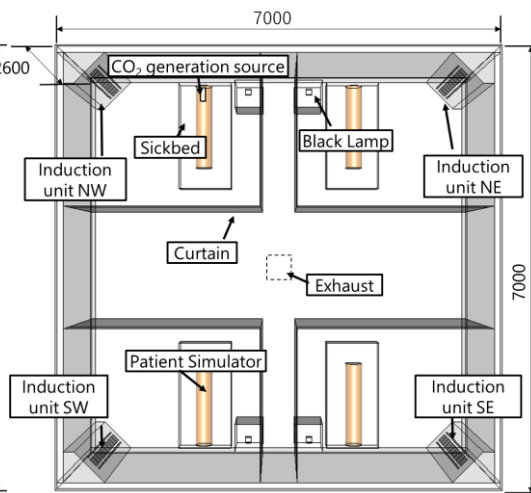


Fig.3 Overview of ward's CFD model (L curtain)

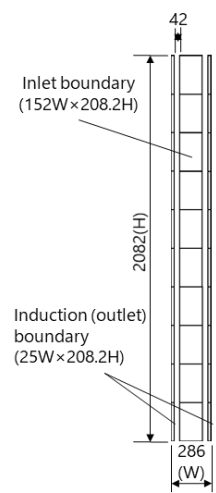


Fig.4 CFD boundary of the induction diffuser

Table.1 Calculation Conditions used in CFD

Analysis Method	CFD code		STREAM V14.1
	Turbulence Model		Standard k-ε model
	Algorithm		SIMPLER
	Discretization Scheme		QUICK
	Number of Mesh		3,175,200
	First mesh from wall		50mm wide
Envelope Boundary	Outer surface		Adiabatic
	Wall material		ALC concrete
	Inner surface	Wall boundary	No-slip
		Radiation	View factor analysis; Emissivity of wall=0.9
		Heat boundary	Wall's $\alpha_c = 3.06[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$
		Convective heat transfer rate regulations,	Ceiling's $\alpha_c = 0.967[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$
Curtain	Top	Mesh; Pressure loss coefficient regulation	Floor's $\alpha_c = 4.04[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$
	Central	Panel	400mm from the ceiling, $C_p = 3.27$
	Lower	Free space	300mm from the floor
	Flow Boundary	Inlet	Volume regulation
Turbulence statistics	Exhaust		Natural outflow
	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

Table.2 Analysis Case

Volume of the supply air [m³/h]	Shape of curtain	1/1 outlet	Lower half (1/2) outlet
880	No	○	○
	L	○	○
	U	○	○
325	NO	○	○
	L	○	○
	U	○	○

と吹出面積 (全面吹出、下半分吹出)、また病床周りにあるカーテンの形状 (無し、L 字、U 字) をパラメータとして、Table.2 に示すよう、計 9 ケースの解析を行った。誘引吹出面の温度を 20℃ に合わせて、空調から (一次給気) の温度を規定 (880m³/h 時 19℃、325m³/h 時 18℃) した。

縦型誘引ユニットの境界面設置は、Fig.4 のように、両側にある誘引 (吸込み) 境界面と中心の吹出境界面より組成し、また、鉛直方向の温度、濃度分布差を配慮することより、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より計算する値、吹出濃度は誘引された空気濃度 (解析値) と給気濃度 (規定値、本報は 0) から式 (1) で計算する値を使用した。

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

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、ノズル面積と掛け算するものである。

各ノズルの吹出風速分布は Fig.5 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、4 つの

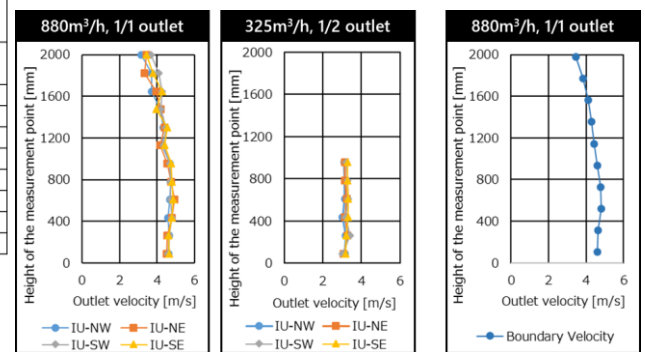


Fig.5 Outlet velocity (Experiment)

Fig.6 Boundary velocity of case 880m³/h, 1/1 outlet

ユニットの風速分布の平均値の近似曲線を描き、各吹出面の中心の風速を算出し (Fig.6)、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、全吹出境界面同様な風量 (325m³/h 給気のケースは約 27m³/h、880m³/h 給気のケースは約 37m³/h) を使用した。乱流統計量は、乱流強度 I を 1%、乱れの長さスケール l をノズルの幅と同様 (7mm) に規定し、式 (2) と (3) より算出するものである。

$$k = \frac{1}{2} \times (u \times I)^2 \quad (2)$$

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

4. 解析結果と考察

今回の解析では、汚染物質発生源はグラフ (Fig.2、Fig.3) の左上の一角のみである。室内スカラー風速 (Fig.9)、温度 (Fig.10、Fig.11) と汚染物濃度分布 (Fig.12) の定常解析結果をコンター図と折れ線図で示す。

(1) 解析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.7&Fig.8 に示すように、全室を 6 種類のエリアに分割し、温度データはエリア 1~5、濃度データはエリア 1~4 とエリア 6 とする。各エリアの同じ高さのデータを平均し、鉛直分布を示す折れ線図を作る。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。

$$C_p^* = \frac{C_p - C_{SA}}{C_{EA} - C_{SA}} \quad (4)$$

(2) カーテンの形状が与える影響

Fig.10 と Fig.11 により、室内温度に対して、カーテンの有無と形状にかかわらず、同じ吹出条件のケースでは概ね同様な温度分布であり、微弱な吹き出し風速 (880m³/h、全面吹き出し時約 0.3m/s、下半分吹き出し時約 0.6m/s、Fig.9) とカーテン上下の空間 (上 400mm、下 300mm) により、対流と拡散があることによると考えられる。Fig.9 により、スカラー風速分布に対してもカーテンの影響は大きくないが、カーテンの形状は上昇気流の向きに多少影響があり、その影響は吹き出し風量 (換気回数) が多いほど大きくなる傾向がある。

Fig.12 により、汚染物濃度分布には、カーテンが無い場合、どの吹き出し条件でも、発生源があるエリア 1 の上下濃

度分布差が一番小さい (2 倍以内) 一方、エリア 1 の隣にあるエリア 2 とエリア 3 にも顕著な汚染物濃度が観測された。また、U 字カーテンが L 字カーテンより良い置換換気効果があり、誘引吹出口近傍にあるカーテンが病床からの汚染物質を遮断し、誘引空気に混合しないことが理由だと考えられる。

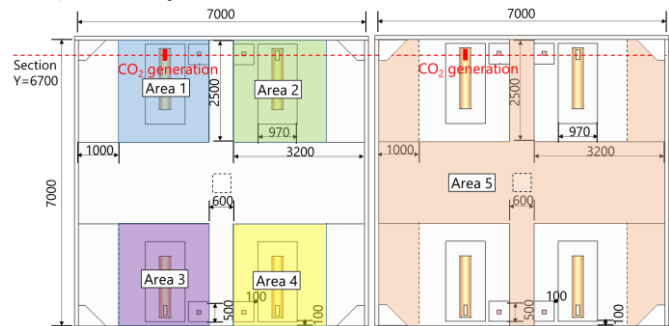


Fig.7 Location of the temperature data's pick up area

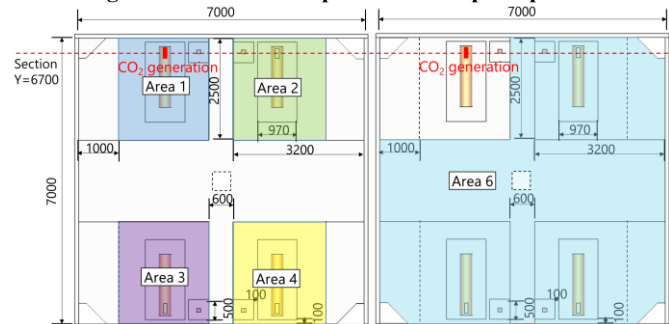


Fig.8 Location of the concentration data's pick up area

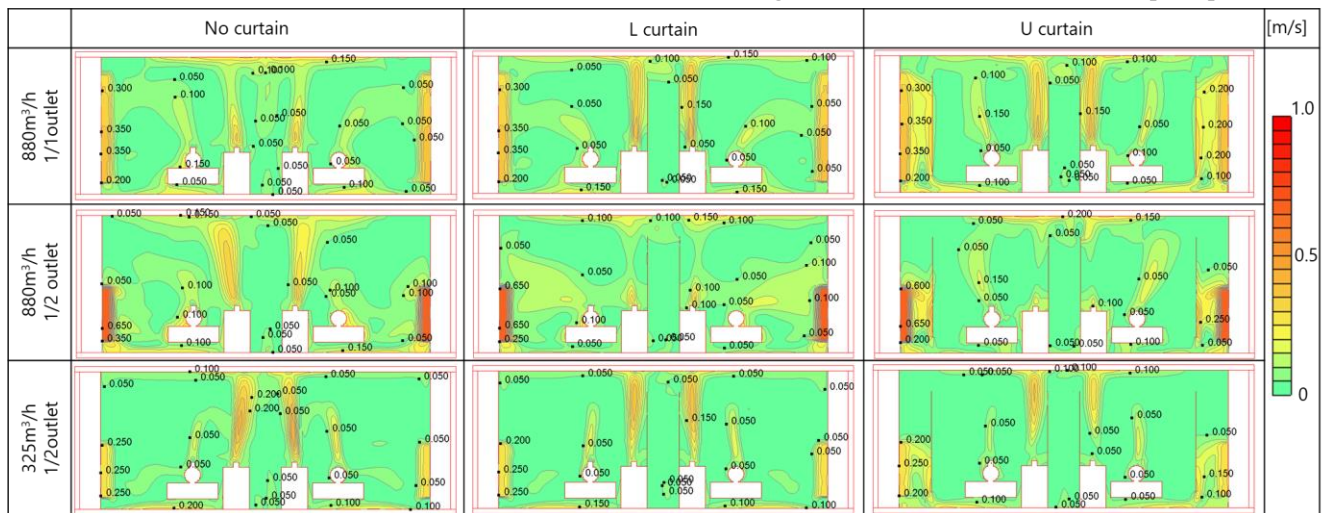


Fig.9 Scalar velocity distribution on section Y=6700

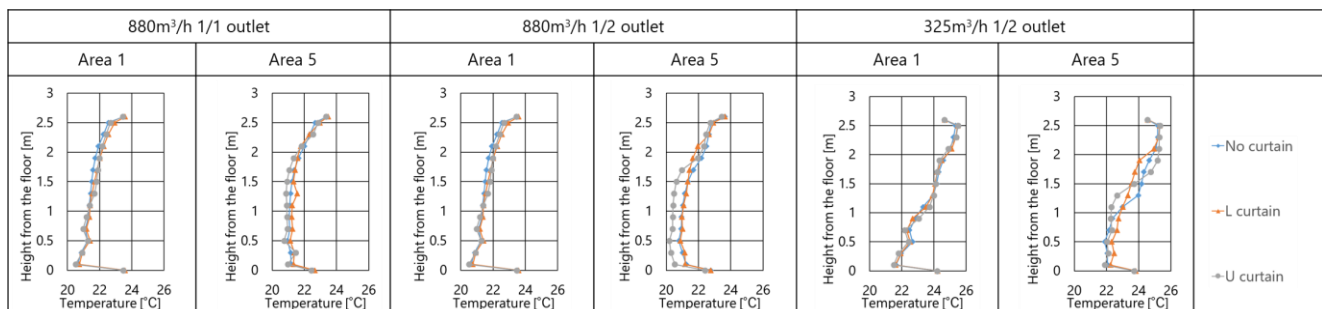


Fig.10 Temperature distribution

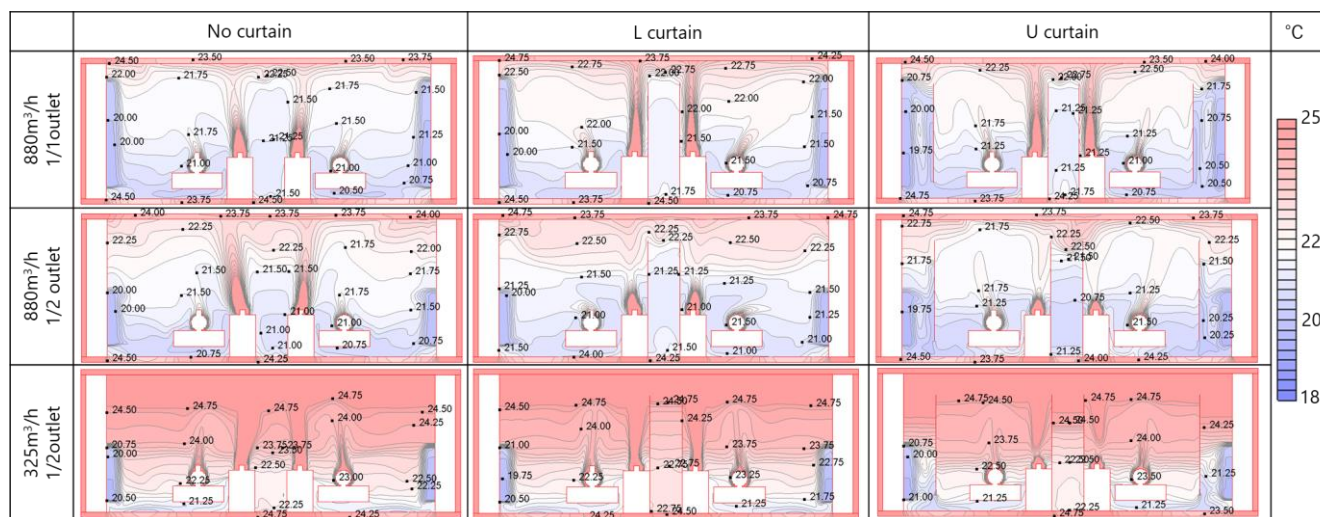


Fig.11 Temperature distribution on section Y=6700

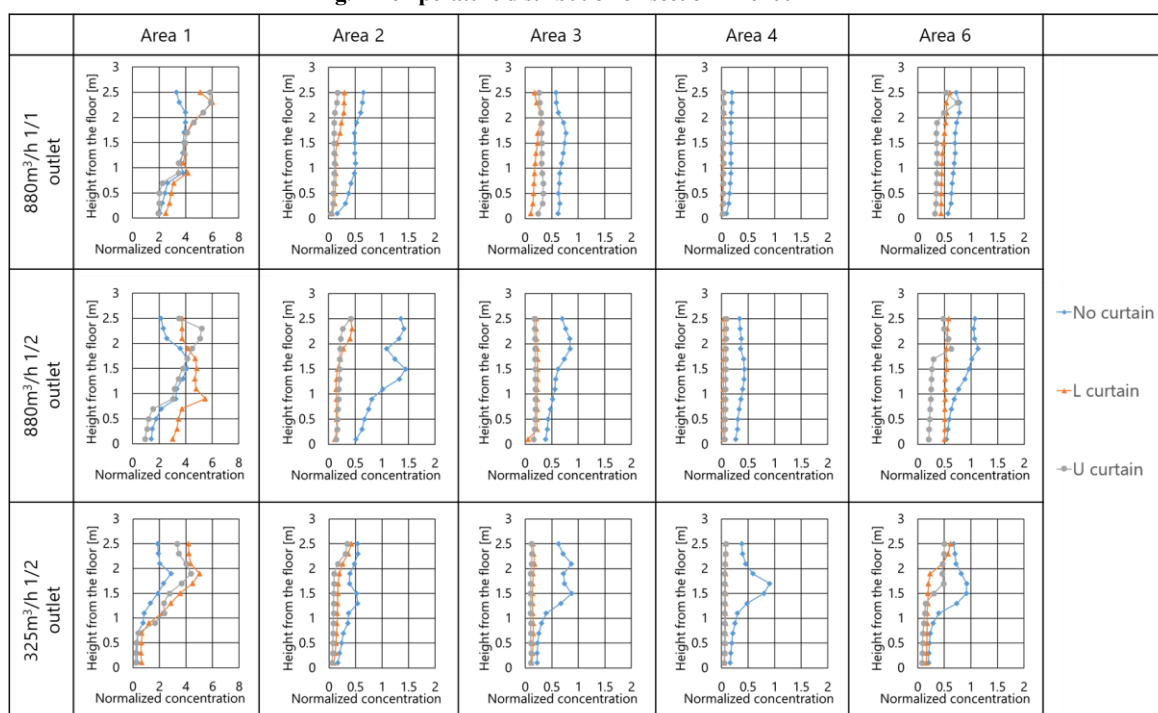


Fig.12 Normalized concentration distribution

(3) 吹出面積と風量が与える影響

全面吹出の場合、上下温度差が小さく、均一な温度分布を持つものの、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、置換換気の効果が比較的小さい。同様な風量で下半分の吹出口からにすると、天井近傍の汚染物の誘引がなくなり、置換換気の性能を向上することができる。そして、小風量（325m³/h）で下半分から吹出す場合、最も顕著かつ安定した下温度分布となり、最適な置換換気効果を発揮すると言える。

5. まとめ

CFD 解析により、既存の縦型誘引空調ユニットは一定の置換換気効果はあるものの、下半分のみ適切な風量で吹出ることにより換気効率を高めることが期待できる。また、U字カーテンの汚染物拡散防止と置換換気性能向上効果が

分かった。今後は実大実験での解析精度検証、また、壁温度が本空調方式の換気効果に対する影響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 of measurement point
k : Kinetic energy [m^2/s^2]	C_p : Concentration of measurement point [ppm]
l : Disturbance length scale [m]	C_{Si} : Concentration of supply air [ppm]
C_D : Model coefficient= 0.09	C_{Ei} : 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者各位に深く感謝いたします。

【参考文献】

- 1) Ying Li, Toshio Yamanaka, Hisashi Kotani, Kazunobu Sagara, Yoshihisa Momoi, Mari Kuranaga: Experimental study on Indoor Environmental Quality for Four-bed Ward with Ceiling Induction Diffusers under Heating Condition, 空気調和・衛生工学会論文集, No. 256, pp1-10, 2018