

PACを用いた膜天井放射空調における室内環境特性に関する研究

(その11) 膜の通気抵抗が冷房性能に及ぼす影響

正会員○上村 芙美子^{*1} 同 山中 俊夫^{*2} 同 小林 知広^{*3}
 同 袁 繼輝^{*4} 同 崔 ナレ^{*5} 同 前田 龍紀^{*6}
 同 新宮 浩丈^{*6} 会員外 安江 楽人^{*6}

4. 環境工学-13. 空気流動応用-b. 室内気流

放射空調、膜天井、温度分布、放射効果、交換空気量

はじめに

近年、省エネルギー性と快適性を両立させた放射空調への関心が高まっている。そこで本研究では、一般的に広く導入されているパッケージエアコン(以下、PAC)を用いた簡易的に導入可能な空気式放射空調を提案する。

前報^{1),2)}において導入した膜は通気抵抗が大きく、膜を通した交換空気量が小さい結果となった。そこで、交換空気量の増量を目指し、空気透過率が大きい2種類の膜を用いて、膜を設置していない室との対照実験を行った。本報では、前報と同様の実験室において行った冷房性能検証実験の結果より、温熱環境特性・交換空気量について報告する。

1. 実験概要

1.1 実験室概要

実験は2019年10月14日～2020年1月27日に行った。ただし、本実験は夏季を想定した冷房実験である。平面図を図1、断面図を図2に示す。内寸7.0×6.13mの実験室内を壁(グラスウール50mm、プラスチックボード12.5mm)で区切り、壁の内側空間(以下、対象空間)はオフィスのインテリアゾーン、外側空間は屋外を想定している。対象空間の内寸は4.41×4.01m、高さ3.44mであり、床上3.14mの高さに不燃性の膜を張った。対象空間内には4方向天井カセット型PAC(三菱電機株式会社、PLZ-ERP140EF)が2台設置されている。PACは、吸込み口直上に設置された温度センサーにより運転制御されており、冷房時には設定温度+0.5°CでON、-1.5°CでOFFとなる。

図1に示すように、人体発熱としてブラック

ランプ(53W/個)4個を床上0.6mの高さに配置し、機器発熱として、内部に白熱電球(100W/個)を設置し、黒体スプレーで塗装した金属製の箱(237×237×350mm、厚さ:0.32mm、底は合板)4個、及び電気毛布(50W/個)4枚を床上に配置し、総発熱

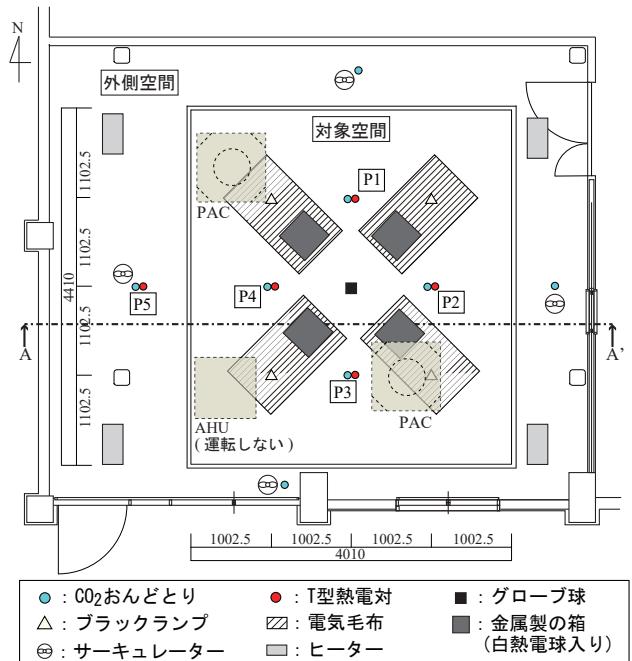


図1 実験室平面図 [mm]

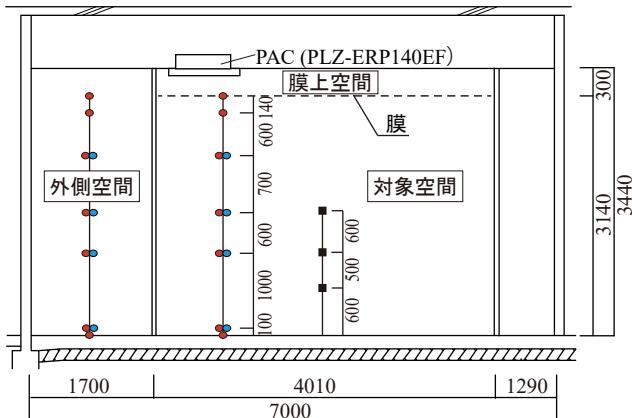


図2 A-A' 断面図 [mm]

Indoor Environment of a Room using Ceiling Radiant Membrane Air Conditioning System with PAC (Part11) Effect of Flow Resistance of Membrane on Cooling Performance

KAMIMURA Fumiko, YAMANAKA Toshio, KOBAYASHI Tomohiro, YUAN Jihui,
CHOI Narae, MAEDA Tatsunori, SHINGU Hirotake and YASUE Rakuto

表 1 実験条件

条件		PAC設定温度[°C]		PAC 吹出し風量 [m³/h]	PAC 吹出し角度 [°]	総発熱量 [W]	
		膜なし	膜あり, 膜あり(不織布付き)				
Case1	基準	24	19	1016×2	30	812	
Case2	低熱負荷			712×2		412	
Case3	風量最小						
Case4	高温設定	27	22	1016×2	60	812	
Case5	60°吹出し	24	19				
Case6	高熱負荷		30		1236		

量は 812W とした。

各測定点を図 1, 2 に示す。温度測定点は P1 ~ P5 で鉛直方向に 7 点、PAC の吸込み口に 1 点、吹出し口に 4 点、加えて膜上に 3 点設けた。 CO_2 濃度は CO_2 濃度計 (T&D、RTR-576) を用いて、P1 ~ P5 で鉛直方向に 4 点、膜上に 3 点、外側空間の北、東、南で 1 点ずつ測定した。グローブ温度は、対象空間中央の鉛直方向に 3 点で測定した。

実験は PAC の運転を開始し、十分に時間が経った後、 CO_2 ガス (1L/min) を PAC の吹出し口で発生させ、3 時間経過後に実験を終了した。

1.2 実験条件

本報では、2 種類の膜を敷設した条件(膜あり)及び、膜を敷設しなかった条件(膜なし)、計 3 条件を膜に関して設定し、表 1 に示す PAC の設定や内部発熱量に関する 6 条件を組み合わせ、計 18 ケースの実験を行った。膜の材質はガラス繊維で編まれた三軸織物 (SG-1003: サカセアドテック社) を用いて、①織物のみ(以下、膜あり、通気流量: $452\text{cm}^3/\text{cm}^2/\text{s}$)と、②織物 + 不織布(以下、膜あり(不織布付き)、通気流量: $140\text{cm}^3/\text{cm}^2/\text{s}$)の 2 種類である。なお、通気流量 [$\text{cm}^3/\text{cm}^2/\text{s}$] は JIS L 1096 A 法のフライ

ル形法より、125Pa 下で測定した。

ただし、膜なし条件については、膜下空間の温度が膜の敷設時と近い値になるように、膜設置条件よりも PAC の設定温度を 3°C ずつ高くした。

2. 実験結果

2.1 PAC の運転状況

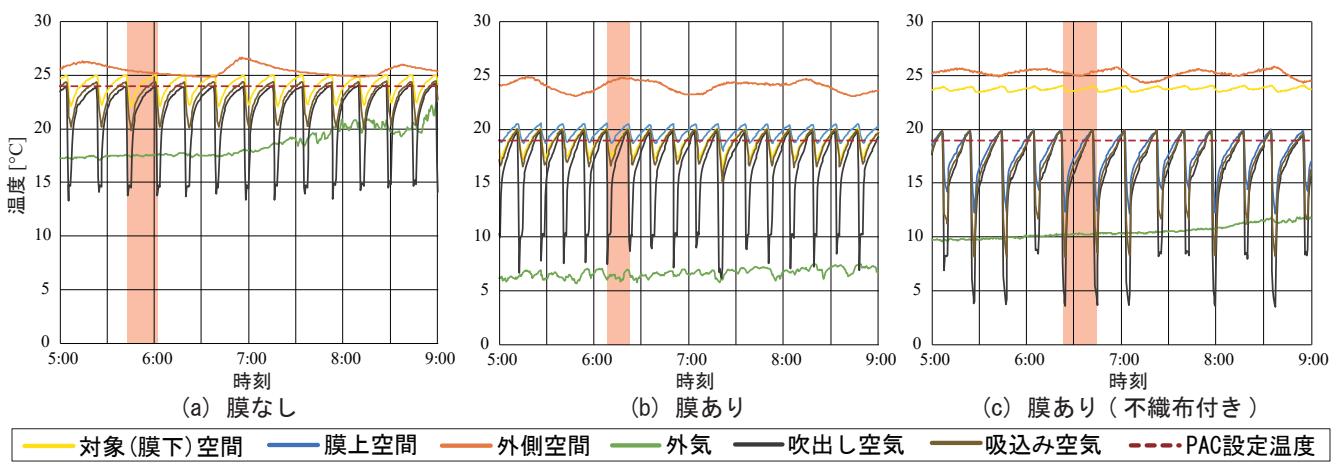
図 3 に膜の 3 条件の Case1 について、定常状態確認後の各部の温度経時変化を示す。温度は周期的に変動しているが、これは PAC が ON-OFF を繰り返して運転したためと考えられる。

(a) 膜なし・(b) 膜あり条件では、対象(膜下)空間の温度と PAC の吸込み温度が一致しているが、(c) 膜あり(不織布付き)条件では全く異なる挙動を見せた。

鉛直温度分布(図 4, 5)では、外気変動及び、天候の影響が小さい日の出前 1 周期のデータの平均値を使用した(図 3 中に赤色の網掛けで示す)。

2.2 鉛直温度分布

図 4 に各ケース間で比較した鉛直温度分布を示す。全条件を通して、FL+100mm と FL+1700mm 間での温度差が ASHRAE55³⁾ 推奨の 3°C 以内となっている。また、均一な鉛直温度分布を形成しており、



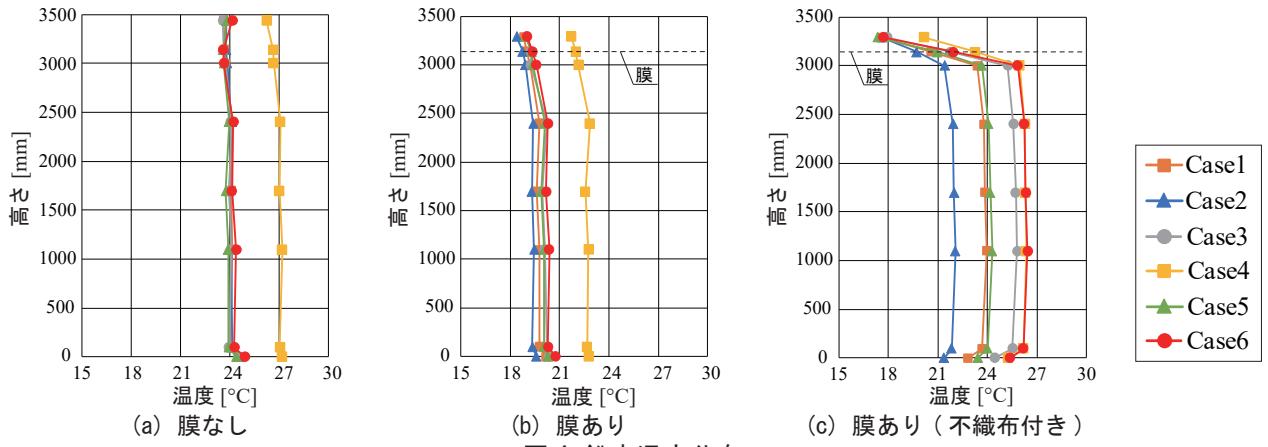


図4 鉛直温度分布

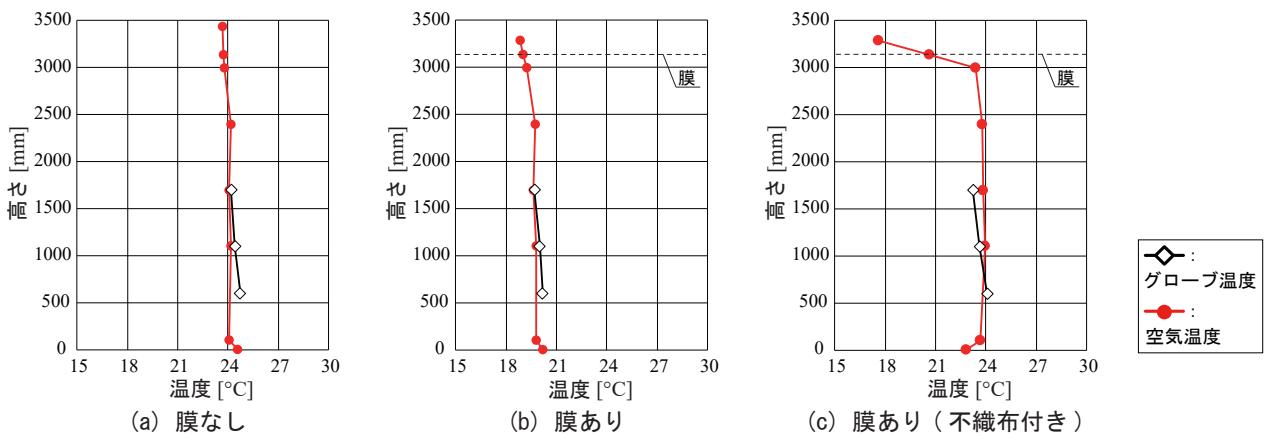


図5 グローブ温度の鉛直温度分布 (Case 1)

膜下空間が十分冷えていることがわかる。

ケース間での比較により、(c) 膜あり (不織布付き) 条件では膜下の内部発熱量によって鉛直温度分布にも差異がみられる。一方、(a) 膜なし・(b) 膜あり条件では、PAC の設定温度を変更した Case4 以外の 5 ケースについて、分布が概ね一致している。このことから、両条件では膜下空間での熱負荷に応じて PAC の運転が行えていると考えられる。

2.3 グローブ温度

図5に各膜条件での Case1 のグローブ温度と空気温度の鉛直分布を示す。全ケースを通して、高い位置ではグローブ温度が低く、低い位置では高くなってしまっており、室上部では膜からの冷放射、室下部では発熱体からの放射熱の影響が大きいと考えられる。

(a) 膜なし・(b) 膜あり条件では、室上部でグローブ温度と空気温度が概ね近い値をとっており、対流成分による熱処理の割合が大きいと示唆される。一方で、(c) 膜あり (不織布付き) 条件では室上部でグローブ温度が空気温度よりも低く、これは膜の冷放射による影響と考えられる。また、(c) 膜あり (不

織布付き) 条件では、床面温度が空気温度より低く、これについても膜の冷放射によるものと考えられる。したがって、膜あり (不織布付き) 条件では膜の冷放射による快適性の向上が期待できる。

2.5 CO₂ 濃度の経時変化

図6(a), (b) に膜あり・膜あり (不織布付き) 条件での Case1 の CO₂ 濃度の経時変化を後述の算定値と併せて示す。(b) 膜あり (不織布付き) 条件より (a) 膜あり条件の方が、膜上と膜下の濃度差が小さいことがわかり、濃度差が小さいほど、膜上下の空気がより混合していると考えられる。

2.6 交換空気量

図7に膜を通した交換空気量算定のための概要図を示す。膜上空間で CO₂ ガスを発生させたときの

$$C_a^{n+1} = C_a^n + (C_i^n Q_2 + M - C_a^n Q_1 + C_o^n Q_5 - C_a^n Q_6) \frac{\Delta t}{V_a} \quad \dots (1)$$

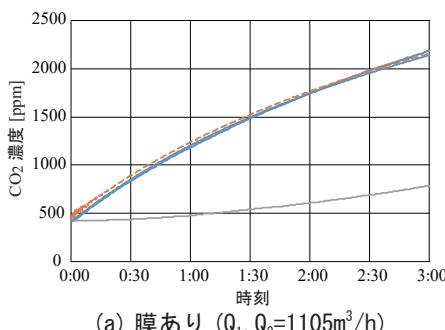
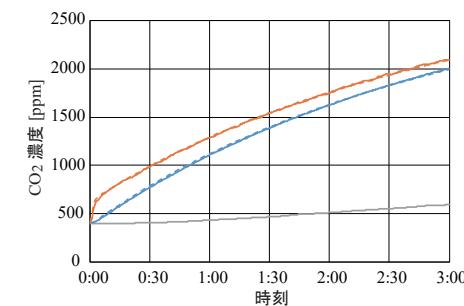
$$C_i^{n+1} = C_i^n + (C_a^n Q_1 + C_o^n Q_4 - C_i^n Q_3 - C_i^n Q_2) \frac{\Delta t}{V_i} \quad \dots (2)$$

$$Q_1 - Q_2 - Q_3 + Q_4 = 0 \quad \dots (3)$$

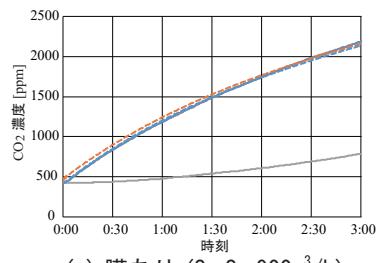
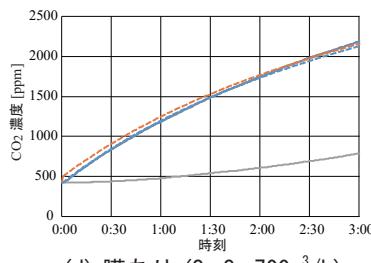
$$-Q_1 + Q_2 + Q_5 - Q_6 = 0 \quad \dots (4)$$

表2 各ケースにおける交換空気量

条件		流量 [m ³ /h]					
		Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q ₅	Q ₆
Case1	基準	202.6	204.6	0.0	2.0	25.6	27.6
Case2	低熱負荷	223.2	228.5	0.0	5.3	25.1	30.3
Case3	風量最小	136.4	142.5	0.0	6.1	16.1	22.2
Case4	高温設定	216.9	222.0	0.0	5.1	20.4	25.6
Case5	60°吹出し	205.9	211.3	0.0	5.5	20.9	26.4
Case6	高熱負荷	239.7	246.6	0.0	6.9	20.0	26.9

(a) 膜あり (Q₁, Q₂=1105m³/h)

(b) 膜あり (不織布付き)

(c) 膜あり (Q₁, Q₂=900m³/h)(d) 膜あり (Q₁, Q₂=700m³/h)図6 CO₂濃度経時変化 (Case 1)

CO₂濃度の収支を考え、膜上・膜下空間のCO₂濃度を式(1), (2)を用いて算定し、得られた濃度が一致するように最小二乗法を用いてQ₁～Q₆を求めた。その際、膜上・膜下空間の流量収支を合わせるために、式(3), (4)を満たすようにした。

膜あり条件においては、図6(c), (d)に示すように、Q₁, Q₂に任意の流量を与えて、算定グラフにほぼ差が無く、解の持つ精度が低いため、算定流量は示していない。

表2に膜あり(不織布付き)条件の交換空気量を示す。Case 1(PAC風量: 1016m³/h)とCase 3(PAC風量: 717m³/h)を比較すると、PAC風量とQ₁, Q₂が概ね等しい割合で減少しており、PACのファン動力が交換空気量に与える影響は大きいと考えられる。

3. おわりに

本報では、PACを用いた膜天井放射空調方式に

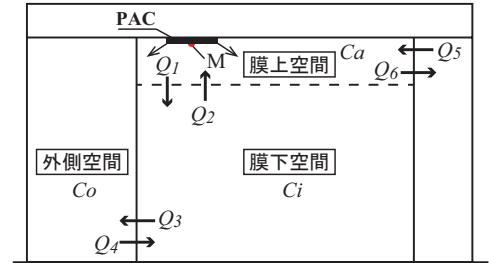


図7 交換空気量算定の概要図

おいて、膜の条件を変えた実験を行い、室内の温熱環境特性、膜の交換空気量に関する知見を得た。

放射効果については、膜あり(不織布付き)条件では膜の冷放射による冷房効果が期待できることを確認し、膜あり条件では対流成分による熱処理の割合が大きいと示唆される。

今後は暖房時の検討を進めていく所存である。

【記号表】

C _a : 膜上空間 CO ₂ 濃度 [-]	C _i : 膜下空間 CO ₂ 濃度 [-]
C _o : 外側空間 CO ₂ 濃度 [-]	M: CO ₂ 発生量 [m ³ /h]
V _a : 膜上空間体積 [m ³]	V _i : 膜下空間体積 [m ³]
Δt: 測定間隔 [h]	n: 時点

【謝辞】

本研究は、(株)竹中工務店との共同研究であり、関係各位に謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 藏永真理, 山中俊夫, 前田龍紀, 北風春都: PACを用いた膜天井放射空調の冷房性能に関する研究、日本建築学会環境系論文集, Vol.84 No.757, pp255-262, 2019.3
- 2) 上村, 山中, 小林, 袁, 崔, 前田, 藏永, 小林, 新宮, 中野: PACを用いた膜天井放射空調の冷暖房性能に関する研究(その7)～(その10), 日本建築学会研究報告集, pp829-836, 2019.9
- 3) ASHRAE STANDARD55-92: Environmental Condition for Human Occupancy

* 1 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻
* 2 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻
* 3 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻
* 4 豊橋技術科学大学 建築・都市システム学系
* 5 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻
* 6 株式会社竹中工務店

博士前期課程
教授・博士(工学)
准教授・博士(工学)
助教授・博士(学術)
特任助教

Graduate Student, Division of Global Architecture, Graduate School of Engineering, Osaka University
Prof., Division of Global Architecture, Graduate School of Engineering, Osaka University, Dr. Eng
Associate Prof., Division of Global Architecture, Graduate School of Engineering, Osaka University, Dr. Eng
Assistant Prof., Dept. of Architecture and Civil Eng., Toyohashi University of Technology, Ph.D
Specially Appointed Assistant Prof., Division of Global Architecture, Graduate School of Engineering, Osaka University
Takenaka Corporation