

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 13) グローブ温度及び膜上下交換空気量の同定

Cooling and Heating Performance of Ceiling Radiant Membrane Air Conditioning System with PAC (Part 13) Globe Temperature and Effect of Exchange Airflow through Membrane

正会員 ○新宮 浩丈 (竹中工務店)

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 袁 継輝 (豊橋技術科学大学)

正会員 崔 ナレ (大阪大学)

正会員 前田 龍紀 (竹中工務店)

学生会員 上村 芙美子 (大阪大学)

正会員 安江 楽人 (竹中工務店)

Hirotake SHINGU *¹ Toshio YAMANAKA *² Tomohiro KOBAYASHI *² Jihui YUAN *³

Narae CHOI *² Tatsunori MAEDA *¹ Fumiko KAMIMURA *² Rakuto YASUE *¹

*¹Takenaka Corporation *²Osaka University *³Toyohashi University of Technology

The authors propose a new air conditioning system combining PAC and membrane ceiling. In the previous study, the air flow rate through membrane was small. Therefore, in this study, the cooling performance verification experiments were conducted in an experimental room where the membrane with low flow resistance are installed to increase the air flow rate through membrane. We obtained the knowledge about globe temperature and effect of exchange airflow through membrane calculated by using tracer gas method.

1.はじめに

前報¹⁾では省エネルギー性・快適性の向上を目指した放射空調と省力化・省人化の高い天井カセット方式を組み合わせた膜天井放射空調について、既報²⁾で用いた膜よりも空気透過率が高い2種類の膜を用いた実大実験を行い、温度経時変化、鉛直温度分布の結果について報告した。本報では、同実験により得られたグローブ温度、交換空気量の結果について報告する。また、既報で用いた膜と新しく採用した膜の実験結果を比較し、より実用性の高い膜材について検討を行う。

2.実験概要

実験条件については前報と同条件(図1, 2)とし、温度測定点はP1~P5で鉛直方向に7点、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。CO₂濃度はCO₂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。PACの運転開始と同時に温度の測定を開始し、定常状態を確認後、CO₂ガス(1L/min)をPACの吹出し口で発生させ、CO₂濃度測定を開始した。CO₂ガスの発生開始3時間後に測定を終了した。

3.実験結果

3.1 グローブ温度

図3に各膜条件のCase1のグローブ温度を示す。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おり、室上部では膜からの冷放射、室下

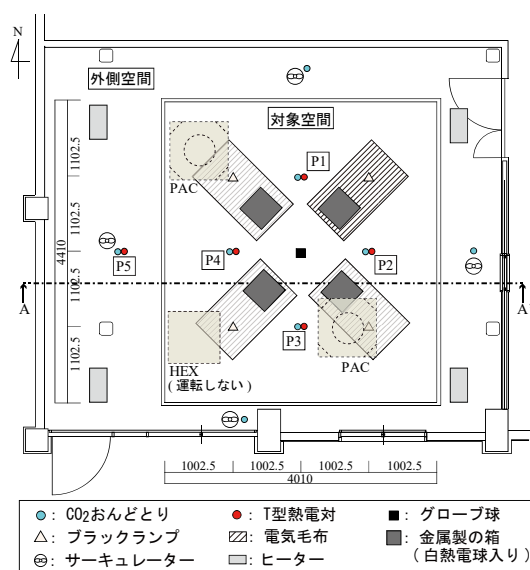


図1 実験室平面図[mm]

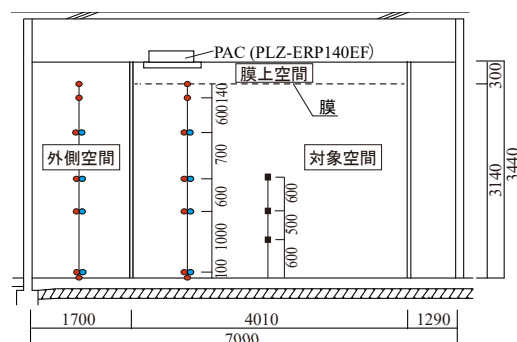


図2 A-A' 断面図

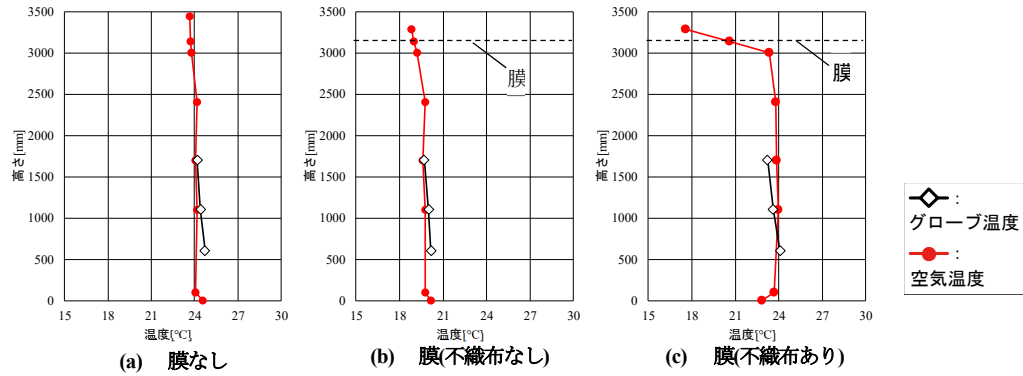


図3 グローブ温度の鉛直温度分布 (Case1)

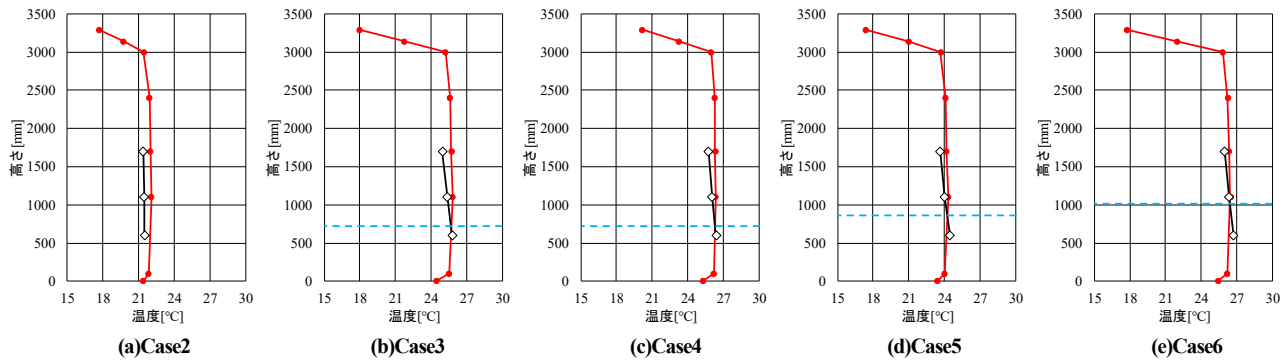


図4 膜（不織布あり）条件下におけるグローブ温度の各ケース比較

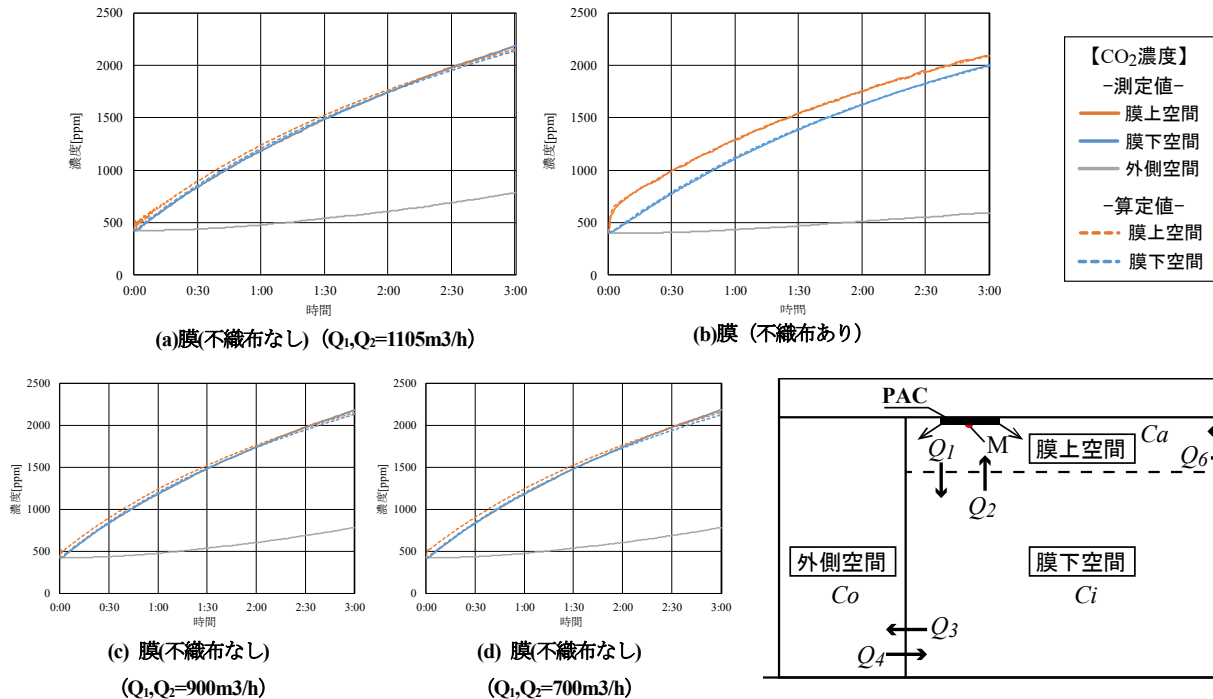


図5 CO₂濃度経時変化 (Case1)

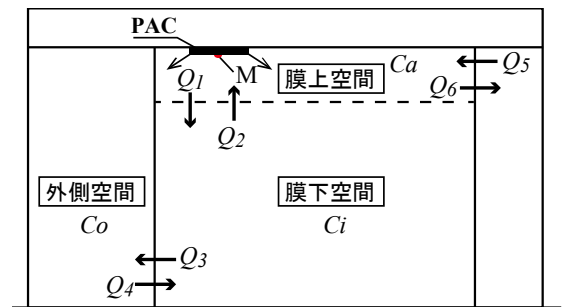


図6 交換空気量算定の概要図

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) 膜なし条件では、膜からの放射効果は得られないため、室下部で発熱体からの放射熱の影響が確認出来る。(b) 膜(不織布なし)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く、膜による冷放射効果は小さいと示唆される。一方で、(c) 膜(不織布あり)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(不織布あり)条件では、床面温度が空気温度より低く、(a) 膜なし・(b) 膜(不織布なし)条件と比較しても膜による冷放射効果が大いと考えられる。したがって、(c) 膜(不織布あり)条件では膜の冷放射による快適性の向上が期待できる。

ケース間の比較を行うため、図4に(c) 膜(不織布あり)

表 1 各ケースにおける交換空気量

条件			流量 [m3/h]					
			Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6
膜 (不織布なし)	Case1	基準	1105.9	1105.9	0.0	0.0	28.2	28.2
	Case2	低熱負荷	1105.5	1105.5	0.0	0.0	28.7	28.7
	Case3	風量最小	1110.8	1110.8	0.0	0.0	24.8	24.8
	Case4	高温設定	1103.7	1103.7	0.0	0.0	28.3	28.3
	Case5	60°吹出し	1107.2	1107.2	0.0	0.0	27.6	27.6
	Case6	高熱負荷	1107.5	1107.5	0.0	0.0	26.9	26.9
膜 (不織布あり)	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

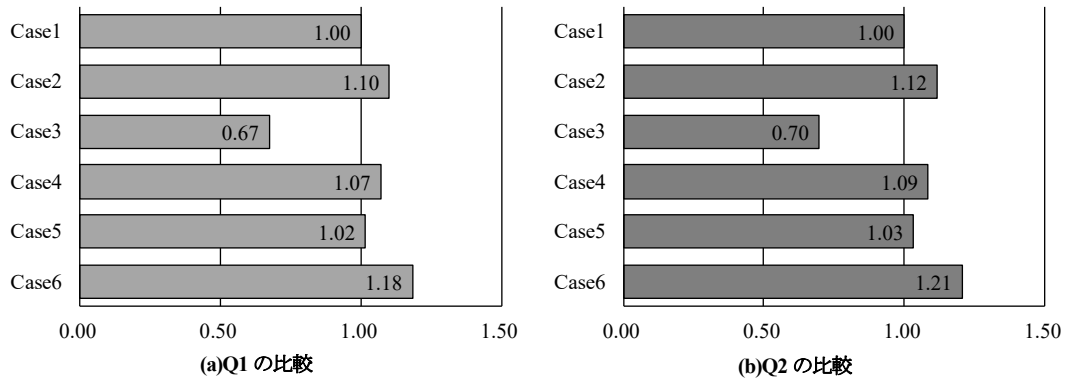


図 7 交換空気量の割合 (Case1 との比較)

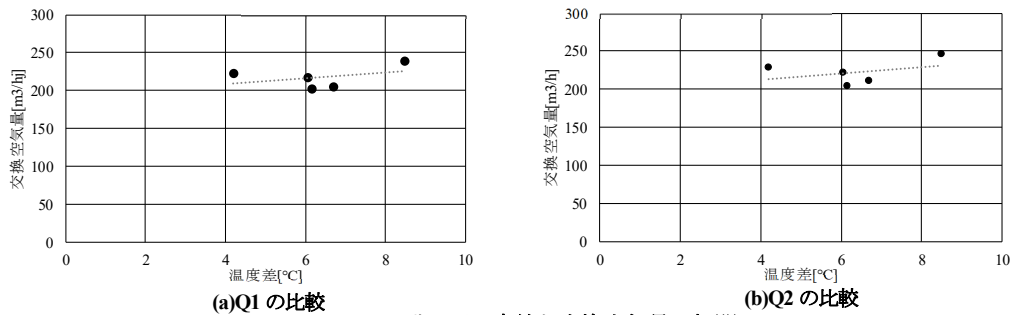


図 8 膜上下温度差と交換空気量の相関

条件における、Case2～6 の結果を示す。空気温度とグローブ温度の大小が入れ替わる高さを水色点線で表記した。図 3(c)に示す Case1 の結果と比較すると、Case3, 4 の方がより低い位置でグローブ温度が室温に対して低くなっており、同じ発熱条件のもとでは、PAC 風量が小さい、または PAC 設定温度が高いほど、低い位置まで冷放射による効果が得られていることがわかる。

3.2 CO₂ 濃度の経時変化

図5に(a)膜(不織布なし)、(b)膜(不織布あり)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(不織布あり)条件より (a)膜(不織布なし)条件の方が、膜上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。

3.3 交換空気量

図 6 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 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、式(3)、(4)を満たすようにした。

$$C_a^{n+1} = C_a^n + (C_i^n Q_2 + M - C_a^n Q_1 + C_0^n Q_5 - C_a^n Q_6) \frac{\Delta t}{V_a} \quad (1)$$

$$C_i^{n+1} = C_i^n + (C_a^n Q_1 + C_0^n Q_4 - C_i^n Q_3 - C_i^n Q_2) \frac{\Delta t}{V_i} \quad (2)$$

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

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

算定結果を表 1 に示す。膜(不織布なし)条件においては、図 5(c), (d)に示すように、Q1, Q2 に任意の流量を与えても、算定グラフにほぼ差が無く、解の持つ精度が低いが、次報で参考値として利用するため算定流量を示した。

ケース間の比較を行うため、各膜条件の Q1, Q2 について Case1 の値を 1 とした時の各ケースでの流量割合を図 7 に示す。PAC 吹出し角度を 60° とした Case5 交換空気量は、Case1 との差は見られず吹出角度が交換空気量に与える影響は小さいと考えられる。一方で、Case1 (PAC 風量: 1016m³/h) と Case3 (PAC 風量: 712m³/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。Case3 以外でもケース間で差異が見られるため、交換空気量に影響を与える因子を検討するため、交換空気量と膜上下温度差 (=膜上空間の空気温度と膜下空間の空気温度との差異) との相関を検討した。膜 (不織布あり) 条件下での Q1, Q2 それぞれについての相関図を図 8 に示す。ただし、Case3 (風量最小) は PAC の設定風量が異なるため、他の 5 ケースでの相関を検討した。既報で用いた膜では、膜上下温度差が大きくなるほど交換空気量が多くなる正の相関が見られたが、本実験結果では Q1, Q2 共に膜上下温度差との相関は見られなかった。

4.旧膜と新膜材の比較

既報で用いた膜 (旧膜) と本報の実験結果の比較を行った。比較に用いる旧膜の実験結果は、基準ケース (Case1) と負荷・設定温度・風量が同じ条件である既報 (旧膜ファン実験) の CaseL-0、Case-460 とした。

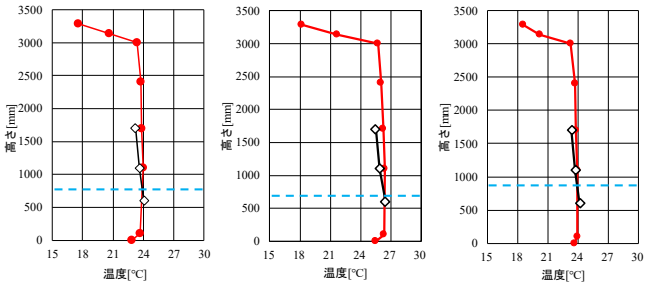
4.1 グローブ温度の比較

図 9 にグローブ温度の比較結果について示す。いずれも高い位置では室温に対してグローブ温度が低く、また床面温度は空気温度よりも低くなっており、どちらも膜からの冷放射の効果が得られていることがわかる。空気温度とグローブ温度の大小が入れ替わる高さを水色の破線で図中に示した。(c) CaseL-460 よりも (a) 膜 (不織布あり) の方が、入れ替わり位置が低い位置となっており、より冷放射の効果が得られていることがわかる。

同条件実験下での室温は、(b) CaseL-0 よりも (a) 膜 (不織布あり) の方が低くなっており、これは後述の交換空気量の差による対流成分による熱処理の割合が、(a) 膜 (不織布あり) の方が高いことが考えられる。

4.2 交換空気量の比較

表 2 に交換空気量の比較結果を示す。旧膜ファン実験 (CaseL-0) の Q1, Q2 が約 80m³/h に対し、本報の膜 (不織布あり) は約 200m³/h となっており、本報の膜 (不織布あり) の方が、交換空気量が約 2.5 倍増大していることがわかる。また、CaseL-460 は旧膜ファン実験において、交換換気をより促すために換気ファンを稼働しており、(a) 膜 (不織布あり) よりも交換空気量が大きい値を示してい



(a)膜(不織布あり) (b)旧膜(CaseL-0) (c)旧膜(CaseL-460)

図 9 グローブ温度の比較

表 2 交換空気量の比較

	流量[m ³ /h]					
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6
膜 (不織布あり)	202.6	204.6	0.0	2.0	25.6	27.6
旧膜 (CaseL-0)	82.5	89.5	0.0	7.0	12.2	19.2
旧膜 (CaseL-460)	320.3	348.8	0.0	28.5	0.0	28.5

るが、図 9 で示すように鉛直温度分布、グローブ温度ともに (a) 膜 (不織布あり) の結果と大差なく、換気ファンが無くとも同等の室内冷房効果が得られることがわかる。

よって、膜材の違いが交換空気量に与える影響が大きく、交換空気量が小さかった既報の課題を、本報の膜材採用により、より実用性を高められたと考える。

5.まとめ

本報では、PACを用いた膜天井放射空調方式において、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、以下の知見を得た。

- (1) 膜 (不織布あり) 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た。
- (2) 膜 (不織布なし) 条件では、膜の冷放射による冷房効果は見られず、対流成分による熱処理の割合が大きい。
- (3) 旧膜ファン実験との比較により、膜の交換空気量は旧膜を上回り、膜の冷放射による冷房効果は既報と同等の効果が得られることがわかった。

次報では、冷気分配性能、ドラフト抑止効果の検討について報告を行う。

【謝辞】

本研究は大阪大学との共同研究であり関係者各位に謝意を表します。

【記号表】

- C_u : 膜上空間 CO₂ 濃度[-]
- C_o : 外側空間 CO₂ 濃度[-]
- V_u : 膜上空間体積 [m³]
- Δt : 測定間隔[h]
- C_d : 膜下空間 CO₂ 濃度[-]
- M : CO₂ 発生量[m³/h]
- V_d : 膜下空間体積 [m³]
- n : 時点

【参考文献】

1) 安江、山中、小林、袁、崔、前田、上村、新宮: 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 12) 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, 2020.9 掲載予定
2) 前田、蔵永、北風、山中、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 3) ~ (その 5), 平成 30 年度空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp409-420
3) 上村、山中、小林、袁、崔、前田、蔵永、小林、新宮: 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 8) ~ (その 10) 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp329-340, 2019.9