

# 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) 膜の通気抵抗が冷房時の室内鉛直温度分布に与える影響

## Cooling and Heating Performance of Ceiling Radiant Membrane Air Conditioning System with PAC (Part 12) Effect of Flow Resistance of Membrane on Vertical distribution of temperature in Cooling

正会員 ○安江 楽人 (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 新宮 浩丈 (竹中工務店)

Rakuto YASUE \*<sup>1</sup> Toshio YAMANAKA \*<sup>2</sup> Tomohiro KOBAYASHI \*<sup>2</sup> Jihui YUAN \*<sup>3</sup>  
 Narae CHOI \*<sup>2</sup> Tatsunori MAEDA \*<sup>1</sup> Fumiko KAMIMURA \*<sup>2</sup> Hirotake SHINGU \*<sup>1</sup>  
 \*<sup>1</sup>Takenaka Corporation \*<sup>2</sup>Osaka University \*<sup>3</sup> Toyohashi 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 vertical distribution of temperature in cooling.

### 1.はじめに

近年、建設業において省力化・省人化は重要な課題である。本研究では、省エネルギー性と快適性を両立させた放射空調に、ダクト工事を不要とする天井カセット方式を用いた新たな空調方式を提案し、実大実験と実測によりその効果を検証する。

既報<sup>1)2)</sup>では、膜の空気抵抗が大きく、膜を通した交換空気量が小さいという結果であった。そこで、本報では交換空気量の増量を目指し、空気透過率が高い 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い得られた、鉛直温度分布の結果について報告する。

### 2.実験概要

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 7.0m×6.13m の実験室内を壁(グラスウール 50mm、石膏ボード 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、PLZERP140EF)が 2 台設置されている。PAC は、吸込み口の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℃で ON、-1.5℃で OFF となる。

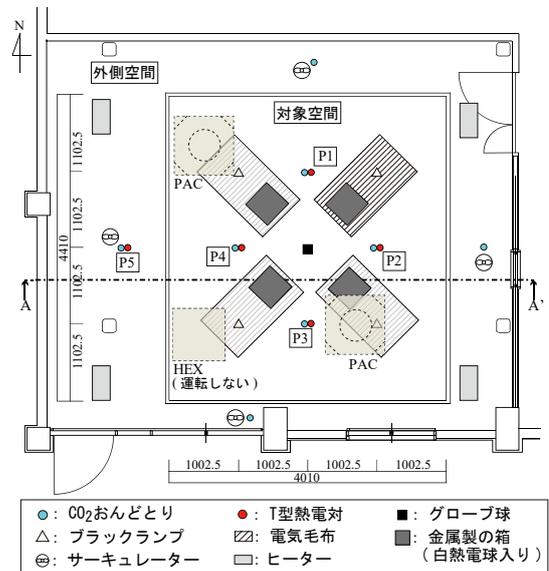


図 1 実験室平面図[mm]

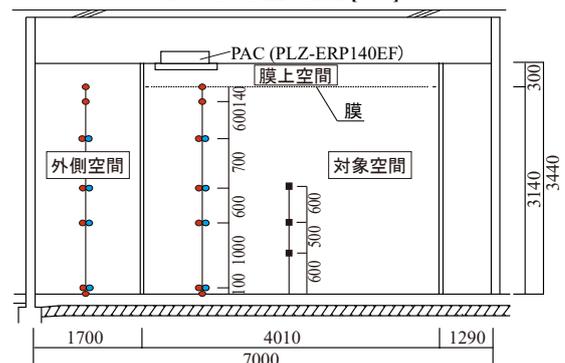


図 2 A-A'断面図

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(不織布なし), 膜(不織布あり)			
Case1	基準	24	19	1016×2	30	812
Case2	低熱負荷					412
Case3	風量最小			712×2		812
Case4	高温設定	27	22	1016×2	60	1236
Case5	60°吹出し	24	19			
Case6	高熱負荷					

2.1 実験室概要

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。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。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。

2.2 実験条件

本報では、膜を敷設しなかった条件(以下、膜なし)および2種類の膜をそれぞれ敷設した条件の計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(不織布なし)、通気流量:452cm3/cm2/s)と、②織物+不織布(以下、膜(不織布あり)、通気流量:140cm3/cm2/s)の2種類である。なお、通気流量[cm3/cm2/s]はJIS L 1096 A法のフラジール形法より、125Pa下で測定した。また、膜なし条件のPAC設定温度については、膜下空間の温度が

膜の敷設時と近い値になるように、膜を敷設した条件よりもPAC設定温度を5°Cずつ高くした。

3. 実験結果

3.1 PACの運転状況

図3に各条件の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。(b)膜(不織布なし)条件では、PACのON-OFFの回数が(a)膜なし条件と比較して多くなっている。これはPAC設定温度が低いためだと考えられる。一方、(c)膜(不織布あり)条件では、PACのON-OFFの回数は(a)膜なし条件と同程度となっており、これは膜の通気流量が少ないことが影響を与えていると考えられる。

次に対象(膜下)空間の温度について、(a)膜なし・(b)膜(不織布なし)条件では膜下空間の温度がPACの吸込み温度と一致しているが、(c)膜(不織布あり)条件では全く異なる挙動を見せた。さらに、(a)膜なし条件で膜下空間の温度が3°C程度の幅を持って変化していることに対して、(c)膜(不織布あり)条件では0.7°C程度に抑えられており、温度変化の少ない空間を作り出すことができていることが分かる。なお、(b)膜(不織布なし)条件では膜下空間の温度変化の幅は2.6°C程度となっており、(a)膜なし条件と比較して大きな差異とはなっていない。

鉛直温度分布(図4)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)。

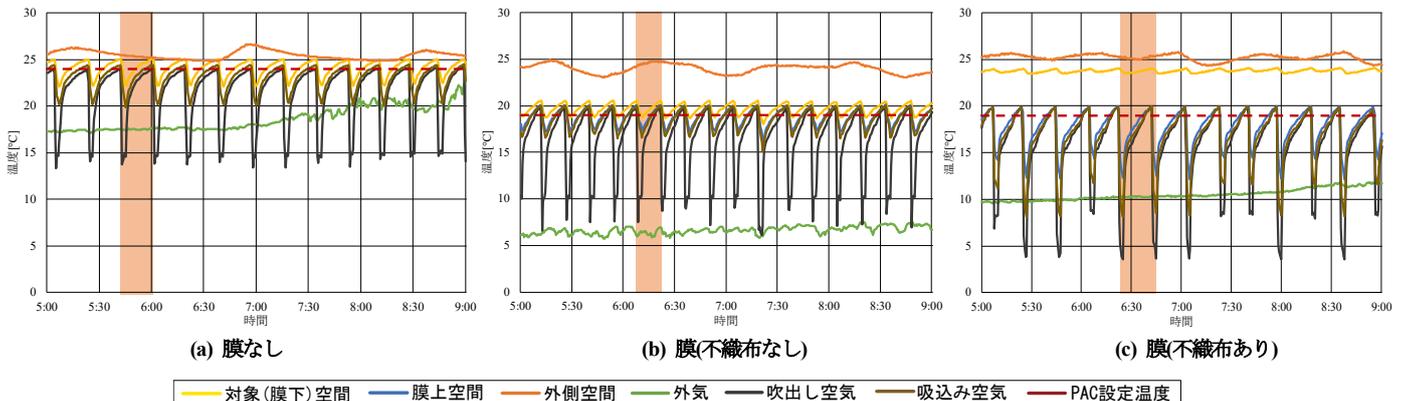


図3 温度経時変化 (Case1)

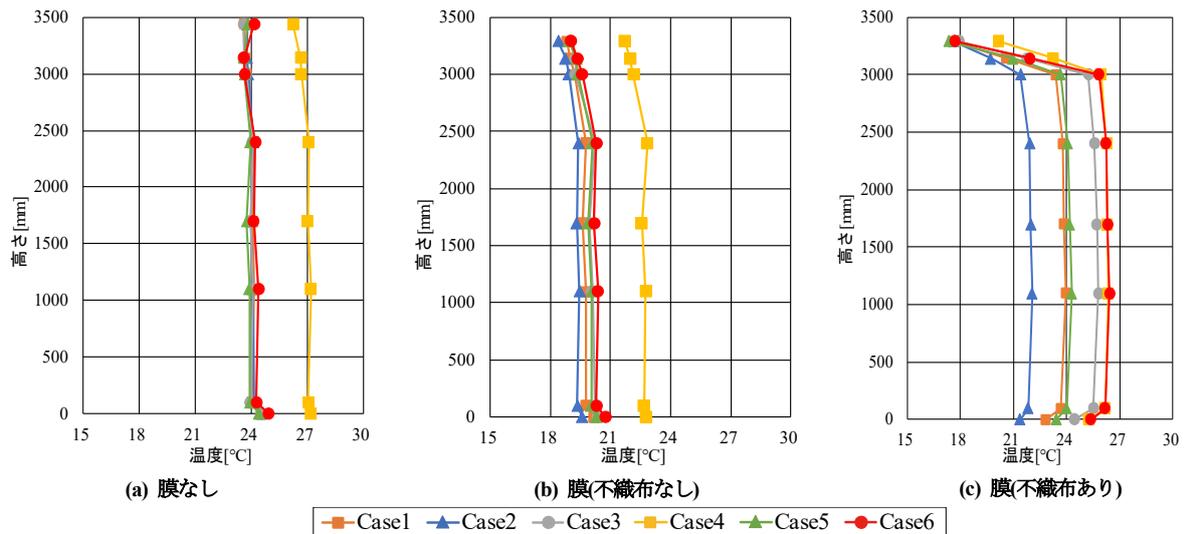


図4 鉛直温度分布

### 3.2 鉛直温度分布

図4に各ケースの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ASHRAE55<sup>3)</sup>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、膜下空間が十分冷えていることがわかる。

次に、ケース間での比較を行うと、(a)膜なし・(b)膜(不織布なし)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とが分かる。一方で、(c)膜(不織布あり)条件においては、Case1では24.0°C、Case2では22.1°C、Case6では26.4°C(いずれも高さ1100mmの数値、以下共通)となっており、PAC設定温度が同じであっても、膜下空間の内部発熱量の違いによって鉛直温度分布に差異がみられることが分かる。このことから、(a)膜なし・(b)膜(不織布なし)条件では膜下空間の熱負荷発生量に応じてPACが運転して室温を制御できているが、(c)膜(不織布あり)条件では、膜

下空間の熱負荷発生量の違いによって、膜下空間の温度が大きく変わってしまうことが示唆されている。

また、(c)膜(不織布あり)において、Case1とCase5では大きな差異は見られないことからPAC吹出し角度が鉛直温度分布に及ぼす影響は少ない一方で、Case3では25.8°C、Case4では26.4°Cとなっており、Case1と比較して鉛直温度分布に差異がみられる。

以上のことより、(c)膜(不織布あり)条件では、内部発熱などの熱負荷が刻々と変化していく膜下空間において安定した温度を保つために、PACの運転制御方法を構築する必要があり、その方法としてPAC吹出し風量やPAC設定温度の操作が考えられる。

### 4. 膜材による冷房性能比較

膜材の違いによる冷房性能への影響の検討を行うため、既報と本報の実験結果の比較を行った。既報<sup>1)</sup>(以下、旧膜実験)での実験条件を表2に、既報<sup>2)</sup>(以下、旧膜ファ

表2 既報の実験概要(旧膜実験、ガイド無条件)

条件	PAC設定温度[°C]	PAC吹出し風量[m <sup>3</sup> /h]	PAC吹出し角度[°]	総発熱量[W]	
Case1 基準	19	1016×2	30	812	
Case2 低熱負荷				412	
Case3 風量最小		712×2		812	
Case4 高温設定	25	1016×2	60	1236	
Case5 60°吹出し	19				812
Case6 高熱負荷					30

表3 既報の実験概要(旧膜ファン実験)

条件	ファン		PAC設定温度[°C]	PAC吹出し風量[m <sup>3</sup> /h]	PAC吹出し角度[°]	総発熱量[W]
	循環回数[回/h]	風量[m <sup>3</sup> /h]				
CaseL-0	0	0	19	1016×2	30	812
CaseL-230	4	230				
CaseL-460	8	460				
CaseH-0	0	0	22			
CaseH-230	4	230				
CaseH-460	8	460				

ン実験)での実験条件を表3に示す。旧膜ファン実験では、同じ実験室内に小型軸流ファン(三洋電機、109P1348S101、以下ファン)4台を膜表面に設置し、ファンの風向きを上向き運転で実験を行っている。また、既報での膜材の通気流量は29.6cm<sup>3</sup>/cm<sup>2</sup>/sであり、本報よりも空気透過性は低い材料となっている。なお、旧膜実験では既報内のガイド無の実験結果を用いた。

#### 4.1 PAC の運転状況

図5に本報の膜(不織布あり)条件のCase1と旧膜ファン実験 CaseL-460の、定常状態確認後の各部の温度経時変化を示す。本報ではPAC停止時間が前報よりも長くなってON-OFFの回数が少ない。これは、caseL-460ではファンを稼働させて膜下と膜上の空気混合が多くなされているためだと考えられる。本報の膜(不織布あり)条件では、膜下空間の温度変化を抑えつつPACのON-OFF回数を少なくできていることが分かる。

#### 4.2 鉛直温度分布

図6に鉛直温度分布の比較を示す。いずれのデータも日の出前1周期のデータの平均値である。旧膜実験において、case1では24.4℃、case2では22.1℃、case6では26.2℃となっており、内部発熱量の違いによる膜下空間温度の変化は膜材が異なってもほぼ同様の傾向を示した。一方で、旧膜実験 case3では24.4℃となっており、基準ケースからの差異が本報の膜材と比較して少し大きくなっている。これは、PAC吹出し風量の変化による膜下空間温度に対する影響は、膜材によって傾向が異なることを示唆している。

#### 4.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、室内鉛直温度分布に関する以下の知見を得た。

(1) 膜(不織布あり)条件では、膜下空間の熱負荷発生量の違いによって、膜下空間の温度が大きく変わってしまうことが示唆され、PAC吹出し風量やPAC設定温度の操作による制御が考えられることが示唆された。

(2) 既報との結果比較を行い、PAC吹出し風量の変化による膜下空間温度に対する影響は、膜材によって傾向が異なることを示唆された。

次報では、同実験におけるグローブ温度、交換空気量について報告する。

#### 【謝辞】

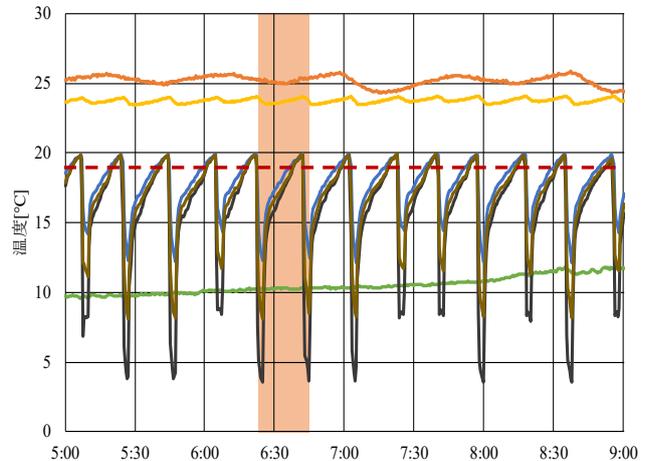
本研究は大阪大学との共同研究であり関係者各位に謝意を表します。

#### 【参考文献】

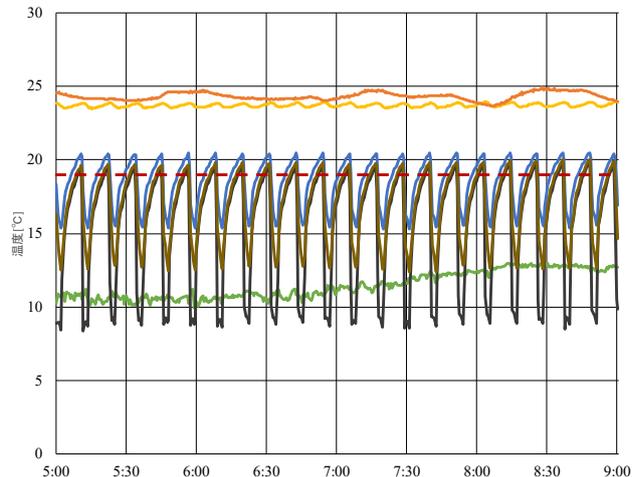
- 1) 前田、蔵永、北風、山中、中野：PACを用いた膜天井放射空調の冷暖房性能に関する研究(その3)～(その5)、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集,pp409-420,2018.9
- 2) 新宮、山中、小林、袁、崔、前田、蔵永、上村、小林：

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

- 3) ASHRAE STANDARD55-92 : Environmental Condition for Human Occupancy



(a) 膜(不織布あり) Case1



(b) 旧膜ファン実験 CaseL-460

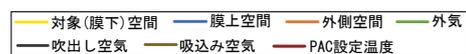
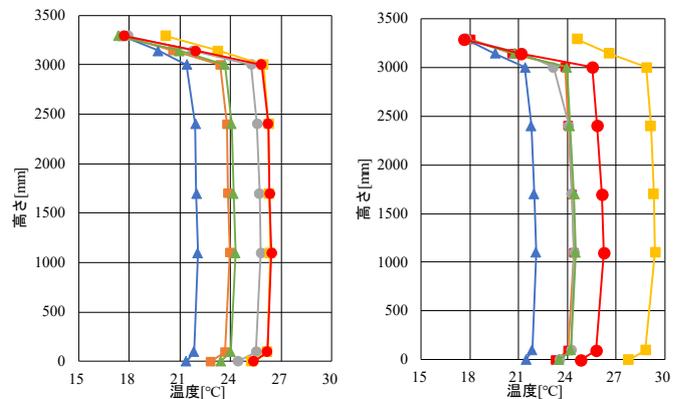


図5 既報との比較 (PAC 運転状況)



(a) 膜(不織布あり)

(b) 旧膜実験



図6 既報との比較 (鉛直温度分布)