

Fig.4 Electric carpet output

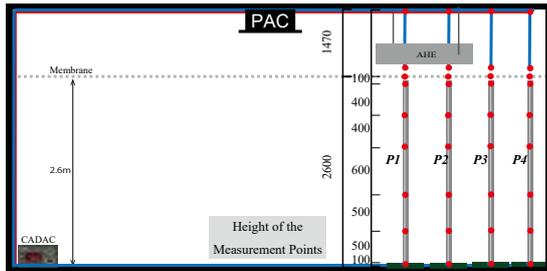


Fig.6 Vertical measurement point of Air Temperature

1.7 mのホットカーペット3枚を室北の壁面付近に取り付け、計約800W(277W/㎡)の熱を発生させた(Fig.4)。また、ホットカーペットで熱負荷を発生させる際、本来備わっている安全装置により12時間が経過すると自動的に電源が切れる設定となっていたため、プログラムタイマーを用いてON-OFF制御を追加し、6時間経過すると自動的に電源を落とし、1分後に再起動するようにした。実験室のFL+2.6m高さにワイヤーと突っ張り棒で60cm角、5行9列のグリッドフレームを組み、その上に膜を敷設した。膜敷設率100%の場合の図をFig.5に示す。グリッド外部分は、ビニールにより目張りを行い、膜敷設率100%の時、膜上空間と膜下空間が膜以外の部分で遮断されるようにした。室南側のグリッド両端部は、南北の対称性を考え目張りを行った。その為、膜は最大で41枚が敷設可能である。またペリメータ付近と想定される室北側には膜を更に細かく分割し、形状に合わせて膜を配置した。

測定点の平面配置、鉛直配置をFig.5、Fig.6に示す。空気温度測定はT型熱電対で行い、図中のP1~P4の測定ポールに設置した。加えて、PAC吹出し口4点+吸込み口1点、風除室側の実験室扉位置にも熱電対を設置した。壁面・床・天井温度にも同じくT型熱電対を用い、黒いアルミテープ(放射率:0.93)により接着した。

2.2 実験条件

実験条件をTable.1に示す。パラメータは膜敷設率と膜の通気性とし、全5条件である。膜の材質はガラス繊維で編まれた三軸織物(SGシリーズ;サカセ・アドテック株式会社)に、織物+不織布(以下、MF膜)を張り通気抵抗を大きくしたMF膜を用いた。膜の通気性(Table.1)はJIS-L 1096 Aに従い測定された。また、膜表

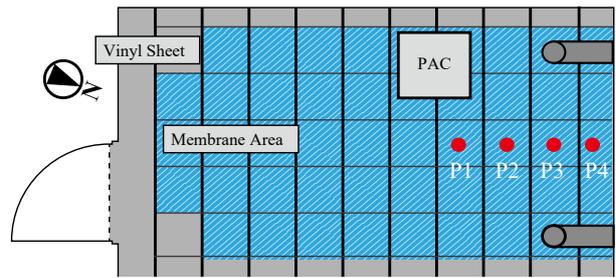


Fig.5 Membranes installation and Measurepoints

Table 1 Experimental condition

Case	PO	MF			
		1	2	3	4
	0%	100%	59%	95%	83%
Laying Ratio [%]					
Permeability	-	with Non-woven Fabric Permeability : 140[cm ³ /cm ² ·s]			

面温度を測定するため、Table.1 図中の7点、膜下側にT型熱電対を貼り付けた。

2.3 実験手順

夏期冷房時の負荷条件(特に建物の躯体温度)を冬期に再現するため、室内のPACの設定温度を28℃、オイルヒータ4台計4.8kw、ホットカーペット計約800Wを発熱させ、12時間躯体によく蓄熱させた。その後冷房(設定温度:19℃)に切り替えて冷房開始後5時間の温度分布を計測した。(Fig.7)

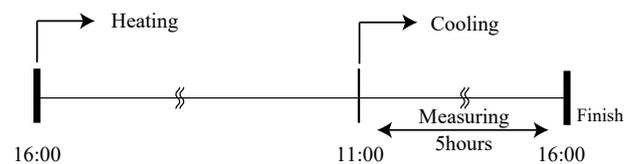


Fig.7 Experiment Time Schedule

2.4 ペリメータ環境の熱負荷の再現

ペリメータ環境における熱負荷を算定するために窓面からの貫流熱と日射熱取得の2つの合計として求めた。

・窓面からの日射熱負荷については東京都、夏期(7/23)12時における南面の値180W/m²を用いる。

・窓面からの貫流熱を算定する際には以下の式(Eq.1)を用いた。

$$q_n = K \cdot \Delta\theta \quad \text{Eq.1}$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_o} + \frac{l_g}{\lambda_g} + \frac{1}{\alpha_i}} \quad \text{Eq.2}$$

本実験ではガラス窓からの貫流熱を求めるため、室内外温度差 $\Delta\theta=10[^\circ\text{C}]$ として算定し、 $\alpha_o=23[\text{W}/\text{m}^2]$ 、 $\alpha_i=9[\text{W}/\text{m}^2]$ とした。また窓ガラスの厚さ、熱伝導率を

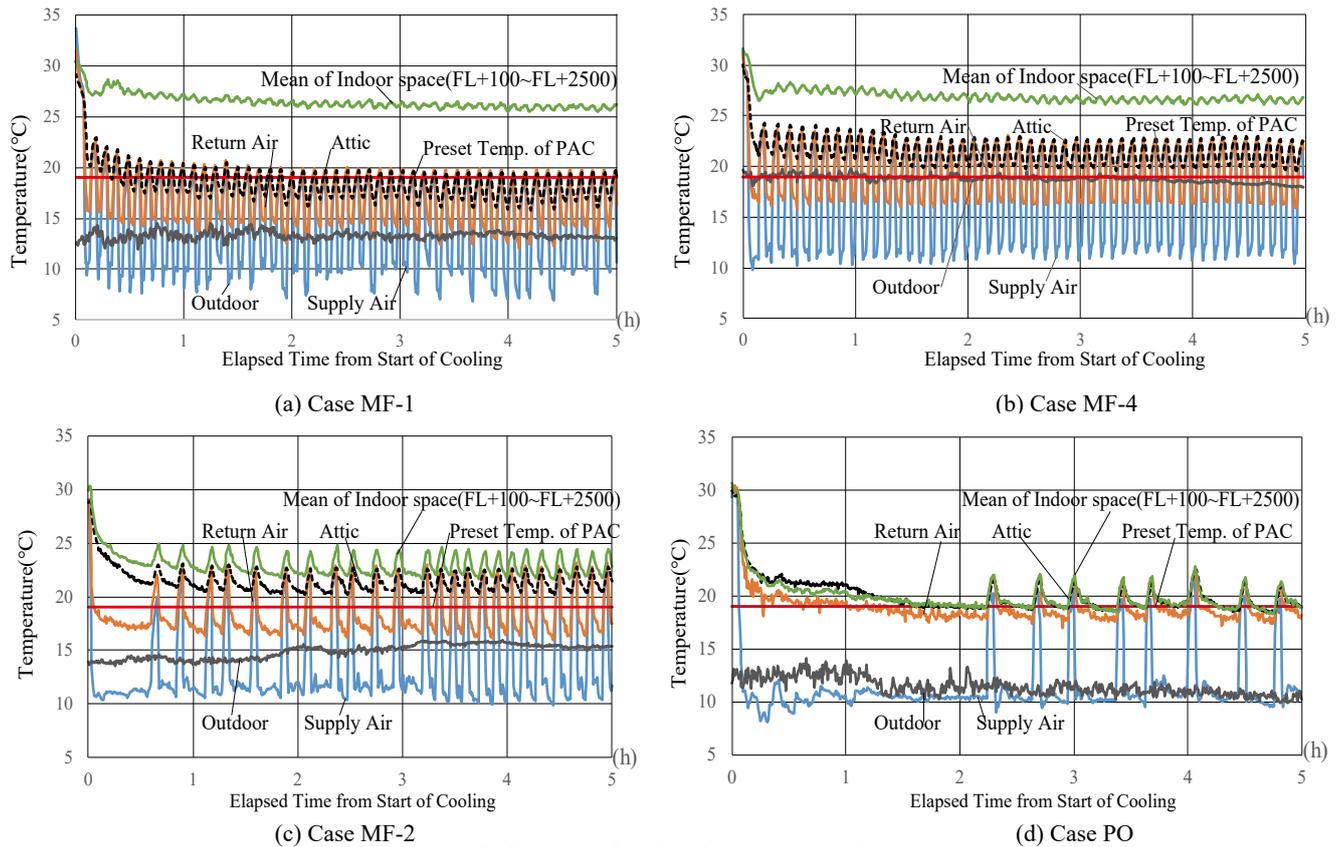


Fig.8 Change of SA, OA, RA, Indoor Air Temperature

それぞれ $l_g=0.003[m]$ 、 $\lambda_g=1.0[W/m \cdot K]$ として算定を行い、結果、窓面の貫流熱負荷は $63.4W/m^2$ となった。

よって、窓面からの日射熱負荷・貫流熱負荷を合計して $243.4W/m^2$ となる。ホットカーペット計3枚の熱負荷が $277W/m^2$ となるため、本研究ではこれらを用いてペリメータ環境の再現を行った。

3. 結果と考察

3.1 温度経時変化

Fig.8 に Case MF-1, 4, 2, PO の各点での温度経時変化を示す。ここで attic とは膜上空間の事を指す。PAC の吸込み温度が $14^{\circ}C$ から $23^{\circ}C$ で振動する、ハンチングが発生した。

CaseMF-1、CaseMF-4 は膜敷設率が大きいためハンチング周期は6分程度と短いスパンで発生した。これはPACからの吹出し気流が膜上で滞留し、ショートサーキットが発生したことが原因であると考えられる。また、膜敷設率の増加により膜上と膜下の温度分布の差が大きくなり、居住域で発した熱は膜下で滞留し、膜上ではPACの吹出し気流がショートサーキットを引き起こすことから、膜敷設率の増加による冷房効率の悪化が見られた。

CaseMF-2 では膜敷設率を小さくすることにより、ハンチング周期が12分となり、膜敷設率を高く設定したCaseMF-1、CaseMF-4 と比べて長くなった。これにより膜敷設率を低くすることでショートサーキットの発生を

低減できることがわかる。ただし、膜を設置しなかったCasePOではハンチング周期が22.5分と2倍近く大きいことがわかる。また、CasePOと比較して全体的に温度は高くなるが、膜上と膜下の温度分布の差はおおよそ一致し、全体的に冷房効率の改善が見られた。

3.2 鉛直温度分布

Fig.9 に冷房に切り替えてから2時間後のP1~P4各点におけるハンチング1周期間で平均化した鉛直温度分布を示す。全Caseにおいてペリメータに近接したP3~P4の温度はP1~P2より高いことがわかる。膜を設置しないCasePOとその他のCaseでは膜上下で温度分布に大きな差が生じた。更に膜敷設率を増加させることにより鉛直温度分布が不均一になりやすく、膜敷設率の増加によってペリメータ付近の冷房効率に影響を及ぼすことが考えられる。また、CaseMF-1、CaseMF-2、CaseMF-4 を比較すると、窓面付近から距離があるP1~P2ではほとんど鉛直温度分布に差がなかったが、窓面付近のP3~P4では膜付近で温度に差異が見られることがわかる。窓面付近の膜を設置しないことで、窓面で発生した熱が膜上空間に流入し、効果的に処理されると言える。

Fig.10 に冷房に切り替えてから4時間後のP1~P4各点におけるハンチング周期間で平均化した鉛直温度分布を示す。膜敷設率が高いCaseMF-1、CaseMF-3、CaseMF-4では2時間後と4時間後で膜上空間で温度差

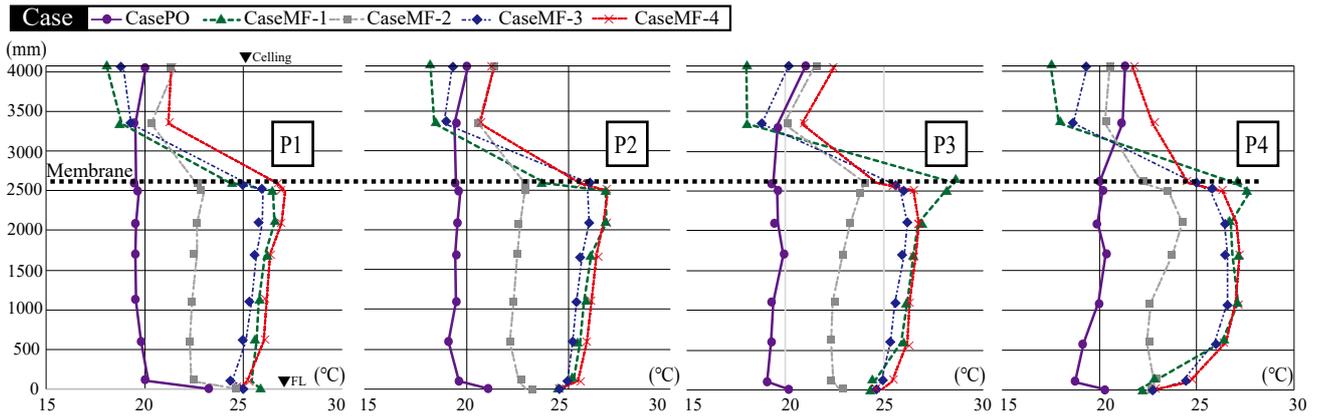


Fig.9 Vertical temperature distribution averaged over hunting cycles (after 2hours cooling)

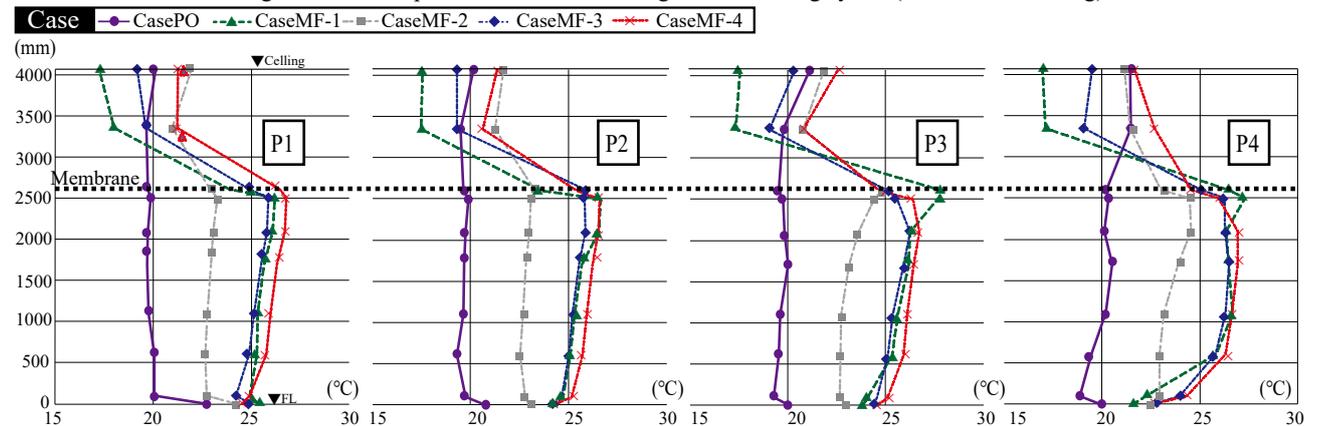


Fig.10 Vertical temperature distribution averaged over hunting cycles (after 4hours cooling)

が見られた。このことから膜敷設率が高い時、窓面付近では定常状態になるのに時間を要することがわかった。また、CasePO、CaseMF-2、CaseMF-3ではP2～P4地点の天井面付近で温度が上昇するが、CaseMF-4ではP4の天井付近で温度が低下し、P2～P3の天井付近で温度が上昇したことから、今後は膜敷設条件の変化による暖気の移動経路を検討していく予定である。

CaseMF-1、CaseMF-3、CaseMF-4のペリメータ環境に着目すると、P1-P2地点ではこれらの3つのCase間において温度差はほとんど見られなかったが、窓面に近いP3-P4で大きな温度差が見られた。膜を窓面付近にも設置したCaseMF-1では膜設置位置であるFL+2.6m近傍で温度が上昇していることから膜下で暖気が滞留していることが考えられ、CaseMF-3、CaseMF-4の様に膜敷設率が高い場合でも窓面付近の膜を取り除くことにより鉛直温度分布が改善されることがわかった。

4. 終わりに

本報では夏期を想定した実大実験を行い、本空調方式がペリメータ環境に及ぼす影響を検討を行い、以下のような知見を得た。

- ・ 膜上に生じるPACのショートサーキットは膜敷設率の減少に応じて低減させることができる。
- ・ 膜敷設率を低下させることによって鉛直温度分布の均一化を図ることができ、冷房効率の改善が図れる。また、今後の展望は以下の通りである。
- ・ トレーサーガスを発生させ、窓面における熱上昇気流の挙動を確かめる。
- ・ ファンを設置して窓面の暖気を膜上に誘導させ、温度分布の変化を確かめる。

謝辞

本研究はダイキン工業（株）との共同研究であり、ここに記して謝辞を表します。

参考文献

- 1) 蔵永真理、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実験的研究、日本建築学会環境系論文集 Vol.84 No.757、pp255-262、2019.3
- 2) 淀野修司、山中俊夫、小林知宏、崔ナレ、伊藤彰吾：天吊形PACを用いた分割型膜天井空調方式に関する研究(その5) 実大実験による冷房空調時の室内環境の検討

記号

q_n : 壁体通過熱負荷 [W/m ²]	K : 熱通過率 [W/m ²]
l_g : ガラスの厚さ [m]	α_i : 内表面熱伝達率 [W/m ² ·K]
α_o : 外表面熱伝達率 [W/m ² ·K]	λ_g : ガラスの熱伝導率 [W/m·K]

略字

SA : PAC 給気 PO : PAC Only MF : Membrane and Fabric MO : Membrane Only