天吊形 PAC を利用した膜天井空調方式に関する研究 (その6) 窓面からの日射・貫流熱がペリメータ環境に与える影響

Study on Membrane Ceiling Air-Conditioning System Using Ceiling Suspended PAC (Part 6) Effects of Heat Transfer and Solar Heat Load from Window Surface on Perimeter Environment

修司 (大阪大学) 山中 俊夫 (大阪大学) ○淀野 ナレ (大阪大学) 小林 知広 (大阪大学) 崔 盛 紹宇 (大阪大学) Shuji YODONO^{*1} Toshio YAMANAKA^{*1} Tomohiro KOBAYASHI^{*1} Narae CHOI^{*1} Shaoyu SHENG^{*1} *1Osaka University

The ceiling cassette unit of packaged air conditioner (PAC) may bring a high cold-draught risk to occupants. To solve this problem, the mixing ventilation system can be improved by stretching the non-flammable membrane under the ceiling with PAC. In this study, when using split-type membrane ceiling air conditioning, the effects of solar heat from the window surface and thermal transmission heat on the perimeter environment will be examined. Experiments were conducted using various membrane arrangement conditions to confirm the behavior of the thermal plume in the perimeter environment.

1.はじめに

既存の天吊形パッケージエアコン (PAC) 下部に布の膜 を張り、PACの課題であるドラフトを解消し快適性を 高める新空調方式、膜天井空調方式がある¹⁾。本研究は 分割型膜天井空調方式(膜を分散配置し、天井裏空間と の相互換気による対流を促進し、空気質・空調性能の向 上を図る空調方式)の導入された実大実験室を用いて、 窓面からの日射熱・貫流熱がペリメータ環境に与える影 響について検討した。既報²⁾では、分割型膜天井空調を 導入した実大実験室を用いて冷房性能の検討を行った。 その結果、膜敷設率を上げることによりドラフトの改善 が見られるものの、膜上下交換空気量が低下することに よる冷房効率の悪化が確認された。本研究では分割型膜 天井空調を導入することでペリメータ環境で発生する暖 気がどのように移動するか、また PAC の熱処理にどの ように影響を及ぼすかについて検討する。



Fig.2 Plan View

2.実験概要

2.1 実験室構成

夏期を想定した冷房実験を 2021 年 2 月 11 日~ 16 日 に行った。実験室平面図を Fig.2 に、断面図を Fig.3 に 示す。実験室内寸は3428mm×6362mm×4070mm である。 室の北・東面は屋外空間に面した外壁で、材質はコンク リートであり、40mm 厚さのスタイロフォームにより、 床~FL+3500mmにかけて断熱改修を行った。なお、外 壁の FL+3500m~ 天井にかけて、及び柱は非断熱である。 また、室の南・西面はそれぞれ非空調室の風除室、隣室 に面しており、材質はプラスター合板で、断熱改修は行っ ていない。

室内には4方向吹出しPAC (PLZ-ZRP140EFF; 三菱電 機株式会社、以下、PAC)が1台導入されている。PAC の運転設定はそれぞれ、吹出し角度:俯角30℃、設定 温度:19℃(下限値)、風量:強 599m³/h×4 とした。吸込 み温度でコンプレッサを制御し、ON-OFF 運転を行う。

また、室外への貫流熱損失が大きいことが予想された ためオイルヒータ (1.2kW/ 台)×4 台、計 4.8kW という比 較的大きな熱負荷を室内に与えた。更に夏期における窓 面からの日射熱・貫流熱を模擬するため、縦横の長さが



Fig.3 A-A' section



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/m²)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 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)



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。

$$q_n = K \cdot \Delta \theta$$
 Eq.1

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_o} + \frac{l_g}{\lambda_g} + \frac{1}{\alpha_i}}$$
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 $\Delta\theta=10[^{\circ}C]$ として算定し、 $\alpha_{0}=23[W/m^{2}]$ 、 $\alpha_{i}=9[W/m^{2}]$ とした。また窓ガラスの厚さ、熱伝導率をを



れぞれ l_g =0.003[m]、 λ_g =1.0[W/m·K] として算定を行い、 値 結果、窓面の貫流熱負荷は 63.4W/m²となった。 C

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/m² となる。ホットカーペット計 3 枚の熱負荷 が 277W/m² 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°C から 23°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.10 Vertical temperture 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。

국민	1旦	
įΓ	14	
$q_n:$ 壁体通過熱負荷 [W/m ²]	K :熱通過率 [W/m ²]	
<i>lg</i> :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	

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

	空であり	~ ~	
	$\int L \subset \partial J \supset \zeta$		
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