## 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3) 実大実験による冷房空調時の室内環境の検討 正会員 〇淀野修司 \*1 同山中俊夫 \*2 同小林知広 \*3 同 袁継輝 \*4 同 崔ナレ \*5 同 伊藤彰悟 \*6

### 4. 環境工学ー12. 空気流動基礎ー a. 気流・換気量の測定方法・実験法

#### 1. 分割型膜天井 2. トレーサーガス法 3, DR 4, 膜上下交換空気量 5, 名目換気時間

### 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<sup>1)</sup>。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 との換気による対流の促進を図る空調方式)の導入 された室を対象に実験を行い、設計手法の確立を目 指す。図1にシステム概念図を示す。既報<sup>2)</sup>では、 夏期・冷房運転の当空調方式が導入された室を対象 に CFD 解析を行い膜敷設率(室床面積に対する膜 敷設面積の比)をパラメータに、室内環境の検討を 行った。その結果、膜敷設率が増加すると、ドラフ ト環境が改善される一方、膜上下換気量、以下膜上 下交換空気量が減少する傾向が得られた。本報では、 実大実験室による夏期想定の冷房実験を行った。結 果から本空調方式の性能について検討する。

### 2. 実験概要

### 2.1 実験室構成

夏期を想定した冷房実験を2020年2月5日~

図3に示す。実験室内寸は3.5m×6.4m×4.1mである。 室の北・東面はコンクリート製の外壁で、400mm 厚さのスタイロフォームを貼付した。(FL~FL+ 3.5m) 天井は断熱とし、その他の壁、柱は非断熱で あり、風除室、隣室は非空調とした。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、吹出し角度:俯角 30°、設定温度:19°(下限值)、風量:強(599[m<sup>3</sup>/h]×4) で運転する。温度制御は吸込み温度で制御される。 室内発熱は、ホットカーペット (225W/枚)×4 枚、 オイルヒータ (1.2kW/台)×3 台の計 4.5kW とした。 膜は 60cm 角で、FL +2.6m に設置する。 グリッド外 の部分は、ビニールシートとした。室北側のグリッ ド両端部は、設備配管用のダクトが通っており(図 3)、膜が敷設できないため南両端部も含め目張り を行った。膜は最大で41枚が敷設可能である。測 定点の平面配置、鉛直配置を図4、図5に示す。空 気温度測定はT型熱電対、CO2濃度測定はCO2濃



Study on Divided Type Membrane Ceiling Air-Conditioning System Using Ceiling Suspended PAC (Part 3)Examination of Indoor Environment during Cooling and Air Conditioning by Full-scale Experiment YODONO Shuji, YAMANAKA Toshio, KOBAYASHI Tomohiro, YUAN Jihui, CHOI Narae and ITO Shogo



度測定器 (RTR-576、T&D) で行い、図5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点に熱電対を設置し、吸込み口1点、 実験室扉位置にCO2 濃度測定器を設置した。壁面・ 床・天井温度も同じくT型熱電対を用い、黒体ス プレーにより放射率を0.93相当としたアルミテー プにより接着した。風速測定は超音波風速計(DA-700型、TR-92T型プローブ;株式会社ソニック)で サンプリング間隔:10Hz、各測定点1分間の測定を、 点 A~H の高さ1.1m で行った。

### 2.2 実験条件

実験条件を表1に示す。パラメータは①膜敷設率、 ②膜の種類とする。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、①織物+不織布(以下、MF膜)、②織 物のみ(以下、MO膜)の2種類である。膜の通気 性(表1)はJIS-L1096Aに従い測定された。ただし、 膜前後の差圧が150Paの条件である。また、膜表面 温度を測定するため、表1図中の3点、膜下側にT 型熱電対を貼り付けた。

### 2.3 実験手順

発熱体とPACの運転を開始した後。躯体温度を 含めた室内温度が定常に達したと判断した後、速や かに実験室内に入室し、風速測定を行った。その 後速やかに退室し、CO<sub>2</sub>ガスをPAC 吸込み口で 3L/ min で発生させ、1 時間経過後に発生を停め、測定 を終了した。



# 3. 評価指標

### 3.1 膜上下交換空気量

膜上下での交換空気量が増加すると、空調性能の 向上が見込める。図6に交換空気量の算定概要図を 示す。膜上空間でのCO<sub>2</sub>ガス発生を想定し、膜上 空間(式1)・膜下空間(式2)でのCO<sub>2</sub>濃度収支式 を立てた。なお、その際は流量収支(式3)(式4) を満たすものとし、理論値と測定値から最小二乗法 によりQ<sub>1</sub>~Q<sub>4</sub>を同定した。

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

$$C_a^{n+1} = C_a^n + (M - C_a^n Q_1 + C_i^n Q_2) \frac{-1}{V_a}$$
(2)

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

(4)

 $Q_1 - Q_2 = 0$ 

### 3.2 名目換気時間

名目換気時間(換気回数の逆数)を、Case-PO は(式5)、他Caseでは(式6)により算出した。

$$\tau_{n1} = \frac{v_i + v_a}{Q_{SA}} \tag{5}$$

$$\tau_{n2} = \frac{V_i}{Q_1} \tag{6}$$

3.3 DR (Draft Risk)

ドラフト抑止効果の評価指標として、P.O.Fanger ら<sup>3)</sup>により提案された DR を用いる。ドラフトによ る居住者の不満足者率を表す指標は(式7)で求め られる。EN ISO 7730<sup>4)</sup>では DR<10% でカテゴリ A、 DR<20% でカテゴリ B、DR<30% でカテゴリ C と 定められている。

$$DR = (34 - t_p)(\overline{U_p} - 0.05)^{0.62}(0.37\overline{U_p}Tu + 3.14)$$
(7)  
4. 結果と考察

### 4.1 鉛直温度分布

図7にCase MF-2,3の温度経時変化を示す。室の冷房負荷に対して機器容量が過剰であったため



PAC のハンチングが見られた。ハンチング周期は Case MF-3 のみ 14 分と他の Case より高い。これは 膜上下の通気抵抗が大きく、居住空間の熱の滞留が 原因と考えられる。図8にハンチング周期で平均 化した鉛直温度分布を示す。Case MF-3以外は概ね Case PO と変わらず居住域温度が設定温度(19°C)相 当になった。一方で Case MF-3 は 26°C 程度と高く なった。MF 膜は通気抵抗が大きく、膜下空間の熱 負荷が十分に処理出来なかったと考えられる。また Case MF-1,2 では温度分布が改善され、膜を分割す ることによる冷房性能向上効果が示唆された。

### 4.2 風速分布

図9にCase PO、MF1~3の平均スカラー風速を 示す。 膜敷設率が大きいほど風速が小さくなるが、 G、Hは風速が大きい。これは空調機と膜の位置関 係が原因であると考えらる。図10に測定点A、B、 F、Gにおける鉛直方向の風速を上向きを正として 示す。 膜敷設率を増加するほど、下向き風速が減少



MF-3 MO-1 MO-2 MO-3

Ø

MF-2

MF-1

### 4.3 DR

鉛直方向風速

-0.

-0.2

-0.3 -

PO

図11 に測定点 A、B、F、G における高さ 1.1mの DR 評価結果を示す。平均値から、Case PO では B カテゴリーの範囲であったが膜敷設率の増加により ドラフト環境が改善され、MF-3、MO-3 共に A カ テゴリー評価となった。一方、Case MF-2の 測定点 G など局所的に高い場所が発生したことから、膜の 通気性がドラフト発生に影響を与えることが示唆さ れる。非膜部の通過空気量が大きくなると、局所的



なドラフトの発生が考えられ、最適な膜配置、ドラ フト発生個所の予測等が今後の課題である。

### 4.4 膜上下交換空気量と名目換気時間

膜上下交換空気量、名目換気時間を表2に、Case MF-1、Case MF-3、Case MO-3の膜上部・下部空間 のCO, 濃度経時変化を図12に示す。 Case MF-3 では、 CO, 濃度変化に膜上下空間に差がでたが、他条件は Case MF-1、MO-3 同様、膜上下の濃度変化が殆ど 見られなかった。よって、Case MO-3 も含め、CO<sub>2</sub> ガスが室内で瞬時一様拡散に近い挙動を示したと考 えられる。よって、これらの条件ではトレーサーガ ス法による膜上下交換空気量の正確な推定は困難で あると考える。Case PO に比べ、Case MF-3 の名目 換気時間は、換気対象の体積が違うため純粋な比較 はできないが、非常に長い時間となった。よって膜 上空間に外調機が導入される場合、換気量不足によ る空気質悪化が懸念される。しかし、通気性に優れ る膜の変更や敷設率の調整により、交換空気量を増 加させ、上記の課題について解決可能と考えられる。

### 5. おわりに

本実験よりドラフト抑止効果、膜上下交換空気量 を検証した。その結果、通気抵抗が大きい膜を敷設 率100%で導入すると、PACのみの室内環境に比べ が減少することで冷房効率の低下と空気質の問題が 懸念されることがわかった。今後の展望として外調 機を運転し空気齢を用いた空気質評価、暖房運転時 における室内環境・本空調性能の検討を行い、本空 調方式の更なる性能評価を行なう所存である。 記号

ドラフト環境が改善されたものの膜上下交換空気量

C Q T <sub>u</sub>	: CO <sub>2</sub> 濃度 : 流量 : 乱流強度	[-] [m <sup>3</sup> /h] [-]	DR t τ <sub>n</sub>	: Draft Risk : 温度 : 名目換気時間	[%] [°C] [min]
Ū	: 平均スカラー風速	[m/s]	V	: 体積	[m <sup>3</sup> ]
М	:発生量	$[m^3]$			
а	a : Attic Space $i$ : Indoor Space $o$ : Outdoor $p$ : Point				
SA	: PAC 給気 PO: PA	AC Only	Μ	F : Membrane and	d Fabric
MO: Membrane Only  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) S.Ito, T.Yamanaka, T. Kobayashi, J.Yuan, N.Choi : Cooling Performance of Air-Conditioning System with Ceiling Suspended Packaged Air Conditioning Unit over Divided-Type Membrane Ceilings in Large Classroom, The 40th AIVC - 8th Tight Vent & 6th venticool Conference, Ghent, 2019
- 3)Fanger, P.O., A.K. Melikov, H.Hanzawa and J.Ring ; Air Turbulence and Sensation of Draught, Energy and Buildings, 12(1988) pp.21 - 39, 1988
- 4)ISO 7730 ; Moderate thermal environment-Determination of the PMV and PPD incides and specification of the conditions for thermal comfort, International Organization for Standardization, 2005

Bachelor, Faculty of Policy Manegement, Department of Urban Policy, Kwanseigakuin 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 Engineering, Toyohashi University of Technology, Ph.D Specially Appointed Assistant Prof., Division of Global Architecture, Graduate School of Engineering, Osaka University Graduate Student, Division of Global Architecture, School of Engineering, Osaka University

\*1 関西学院大学総合政策学部都市政策学科