

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4) 実大実験による冷房空調時の室内環境の検討

正会員 ○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

冷房性能 分割型膜天井 DR 膜上下交換空気量 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) 下部に布の膜を張る膜天井空調方式がある¹⁾。本研究は膜を分散させた分割型膜天井空調の設計手法の確立を目指す。図1にシステム概念図を示す。本報では、実大実験室による夏期想定 of 冷房実験を行った結果について報告する。

2. 実験概要

2.1 実験室構成

冷房実験を2020年2月5日～13日に行った。実験室平面図を図2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、壁、柱は非断熱とした。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、吹出し角度: 俯角30°、設定温度: 19℃ (下限値)、風量: 強 (599[m³/h]×4) で運転する。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張りとした。室北側のグリッド両端部、南両端部は目張りを行った。膜は41枚が敷設可能である。測定点の平面配置を図2に示す。空気温度測定はT型熱電対、CO₂濃度測定はCO₂濃度測定器 (RTR-576、T&D) で行い、図2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、

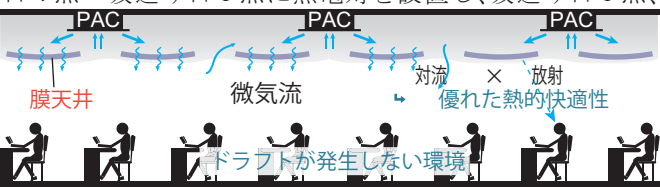


図1. 膜天井空調概念図

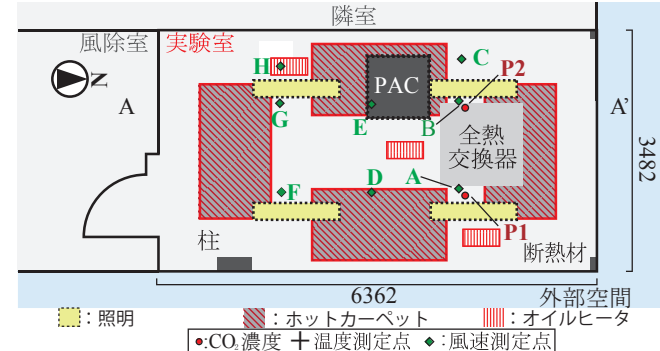


図2. 実験室平面図・測定点

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、黒体スプレーで放射率を0.93相当としたアルミテープで壁面に接着した。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。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。膜の通気性は膜付近の差圧が125Paの時JIS-L 1096 Aに従い測定された。

2.3 実験手順

発熱体とPACの運転開始し、室内温度が定常に達した後、風速測定を行い、CO₂ガスをPAC吸込み口で3L/minで発生させ、1時間後に発生を止め、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3に交換空気量の算定概要図を示す。膜上でのCO₂ガス発生を想定し、膜上空間 (式1)・膜下空間 (式2) でのCO₂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Q₁～Q₄を同定した。

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

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

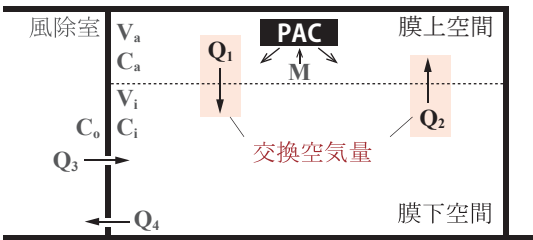


図3. 空気交換の概略図

表1. 実験条件

Case	PO	MF-1	MF-2	MF-3	MO-1	MO-2	MO-3
膜敷設図							
膜敷設率	0%	32%	66%	100%	32%	66%	100%
膜の性質 (Δp=125Pa)	不織布なし 通気性: 140[cm ³ /cm ² ・s]			不織布なし 通気性: 452[cm ³ /cm ² ・s]			

Study on Divided Type Membrane Ceiling Air-Conditioning System Using Ceiling Suspended PAC
(Part 4) Evaluation of cooling performance by full-scale experiment

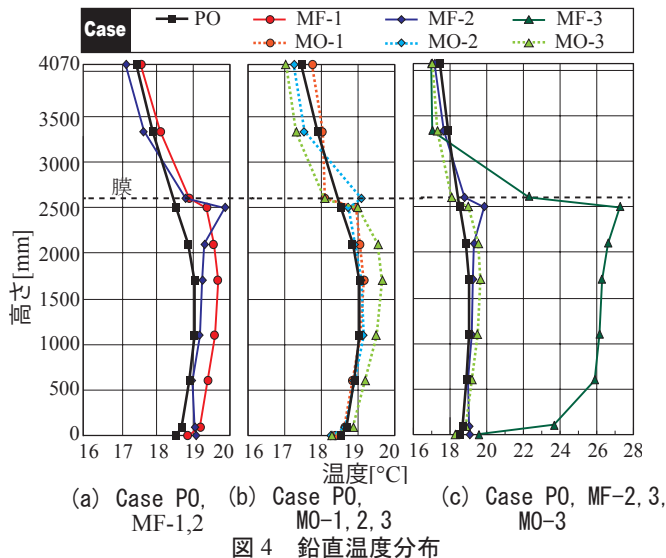


図4 鉛直温度分布

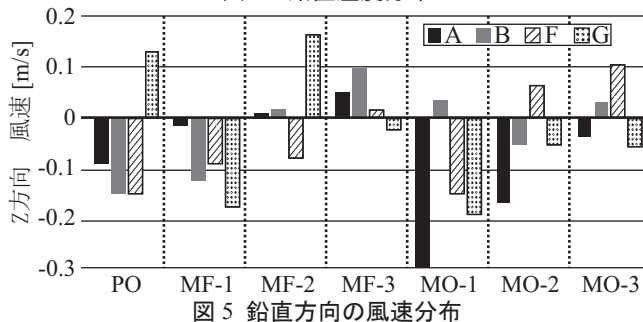


図5 鉛直方向の風速分布

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

$$Q_1 - Q_2 = 0 \quad (4)$$

3.2 名目換気時間

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

$$\tau_{n1} = \frac{V_i + V_a}{Q_{SA}} \quad (5)$$

$$\tau_{n2} = \frac{V_i}{Q_1} \quad (6)$$

3.3 DR (Draft Risk)

DR は居住域でのドラフトに不快感を持つ居住者の割合を表す指標であり、²⁾（式7）で求められる。EN ISO 7730³⁾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。

$$DR = (34 - t_p)(\overline{U}_p - 0.05)^{0.62} (0.37\overline{U}_p T_u + 3.14) \quad (7)$$

4. 結果と考察

冷房負荷に対して機器容量が過剰であったためハンチングが見られた。図4はS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Case POと変わらず居住域温度が設定温度（19°C）程度になった。一方でCase MF-3は約26°C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処理不足であったと考えられる。またCase MF-1,2では温度分布が改善され、膜を分割することで冷房性能の向上が示唆された。図5に

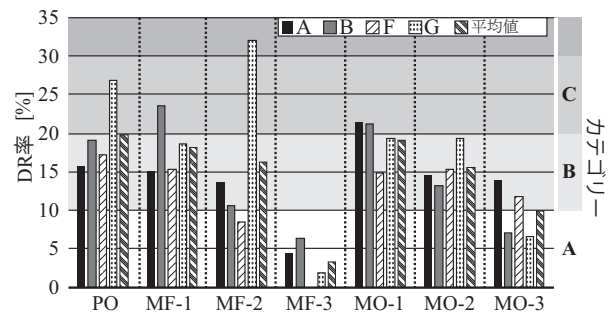


図6 ドラフト感指標DRの分布

表2 膜上下交換空気量と名目換気時間

Case	PO	MF			MO		
交換空気量 [m³/h]	2716	4551	4520	189	2160	4580	3070
名目換気時間 τ_n [min]	2.2	0.8	0.8	18.3	1.6	0.8	1.1
対象空間	膜上 膜下	膜下空間					

Case 毎の鉛直方向の風速分布を示す。膜敷設率が高くなると下向き風速が減少したことがわかる。下向き風速がPACの吹き降ろし気流とするとドラフト感が軽減されてたと考えられる。図6に測定点A、B、F、Gでの高さ1.1mのDR評価結果を示す。膜敷設率の増加によりMF-3、MO-3共にAカテゴリ評価となった。膜上下交換空気量、名目換気時間を表2に示す。膜敷設率が高いほど名目換気時間が長く、膜上下交換空気量が小さくなったことから膜敷設による冷房性能の悪化が考えられる。

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するとドラフト環境が改善されたものの、冷房効率の低下が懸念される。今後は暖房時の性能検討を行う所存である。

記号		記号	
C : CO ₂ 濃度	[-]	DR : Draft Risk	[%]
Q : 流量	[m³/h]	t : 温度	[°C]
T_u : 乱流強度	[-]	τ_n : 名目換気時間	[min]
$\overline{U}$: 平均スカラー風速	[m/s]	V : 体積	[m³]
M : 発生量	[m³]		
記号		記号	
a : Attic Space		i : Indoor Space	
SA : PAC 給気		o : Outdoor	
PO : PAC Only		p : Point	
MF : Membrane and 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) 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
- 3) ISO 7730 ; Moderate thermal environment-Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort, International Organization for Standardization, 2005

*1 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 博士前期課程

*2 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 教授・博士（工学）

*3 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 准教授・博士（工学）

*4 豊橋技術科学大学 建築・都市システム学系 助教・博士（学術）

*5 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 特任助教

*6 元大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 博士前期課程

Former Graduate Student, Division of Global Architecture, School of Engineering, Osaka 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