

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) CFD 解析による冷房時の教室の膜上下交換空気量とドラフト感評価に関する検討

正会員 ○伊藤 彰悟^{*1} 同 山中 俊夫^{*2} 同 小林 知広^{*3}
同 袁 継輝^{*4} 同 崔 ナレ^{*5} 同 淀野 修司^{*6}CFD 解析
DR膜天井空調
ADPI

ドラフト

1. はじめに

本研究は分割型膜天井空調方式¹⁾の性能把握を目的とし、前報¹⁾では実大実験結果について報告した。本報では大学教室を想定した CFD 解析による検討結果を報告する。

2. 解析概要

解析空間の平面図を図1、断面図を図2、空調機 CFD モデル図を図3、解析手法を表1、境界条件を表2に示す。解析空間を一律 50mm で格子を切った。夏期冷房時の大学講義室の1部分を模擬し、西壁面が屋外(35℃)、東壁面が廊下(30℃)に面し、南北面を対称境界面とした。屋外に対し実効温度差 ETD²⁾(西: +6℃)を用い、貫流熱を熱流束条件で西壁面に与えた。他壁面は熱伝導率を与え、境界温度を与え貫流熱を解いた。窓面は透過熱損失を考慮し、窓位置で発熱する日射熱と貫流熱の合計発熱量を与えた。対象室の空調設備は2台の PAC、外気導入する1台の全熱交換器で構成される。PACはボディサーモを想定し、吸込み温度が設定室温(26℃)になるよう、P制御で吹出し温度を調整し、50mm×600mmの吹出し口から角度30°、定風量で四方向に吹出す。全熱交換器は温度交換効率を77%と想定し、外気と熱交換して吹出し温度を決定する。

通気性のある膜の微細な孔の忠実な再現は計算負荷が膨大になるため、本報では圧力損失モデルにより再現するが、圧力損失モデルは放射計算上無視される。なお膜は不

織布を張りつけた60cm四方の不燃膜を想定し、開孔率を20[%]とし、モデルの放射率は全て0.9とした。

3. 室内環境の快適性評価

3.1 解析条件

膜敷設率(床面積に対する膜敷設面積の比)が室内環境に与える影響を検討した。解析条件を図4に示す。

3.2 DR (ドラフトによる不満足者率)

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示す指標³⁾であり、式(1)で求められる。

$$DR = (34 - t_x)(\overline{U}_x - 0.05)^{0.62} (0.37\overline{U}_x Tu + 3.14) \quad (1)$$

3.3 ADPI (空気分布性能指標)

ADPIは混合換気で冷房時のオフィスの快適度を表す指標⁴⁾で、居住域体積(床~FL+1.8mの空間)中の快適空間の体積割合を表し、快適空間を条件(a)(b)を満たす空間と定められているが、本論文ではコールドドラフトのみを対

表1 解析手法

CFD コード	STREAM V14.1
乱流モデル	標準 k-ε モデル
計算アルゴリズム	SIMPLER
離散スキーム	QUICK
メッシュ数	1,289,376

表2 境界条件

(a) 発熱条件		(b) 流入出条件		
人体	60 W×13 人	空調機名	流量 [m ³ /h]	温度 [°C]
窓	83.627 W/m ² × 11.88 m ²	PAC	給気 65.625×4	P 制御
壁	E 貫流熱	全熱交換器	給気 500.0	熱交換効率 77%
W	4.10 W/m ² × 39.6 m ²		排気 500.0	

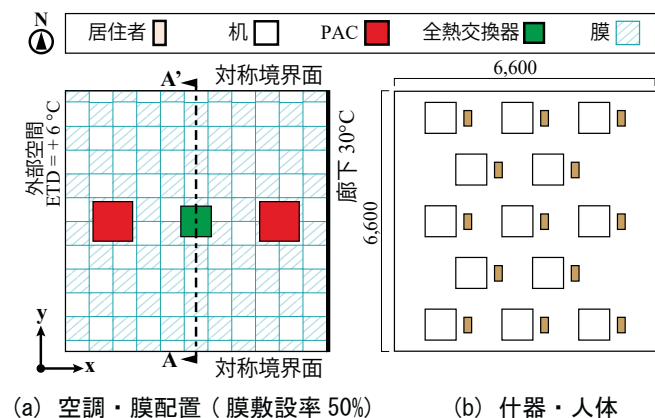


図1 平面図

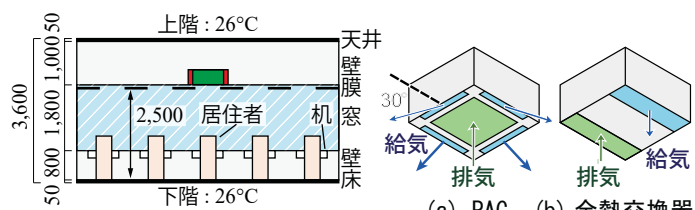


図2 A-A' 断面図

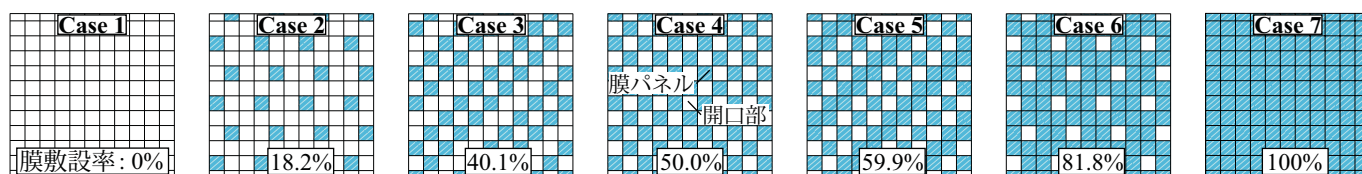


図3 空調機のモデル

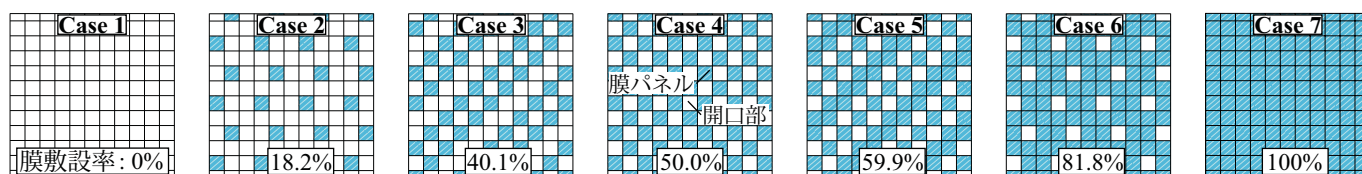


図4 膜敷設率をパラメータとした解析条件

Study on Divided Type Membrane Ceiling Air-Conditioning System Using Ceiling Suspended PAC

(Part 5) Evaluation of Exchange Airflow Rate through Membranes and Draft Sensation in a Classroom during Cooling by CFD Analysis

ITO Shogo, YAMANAKA Toshio, KOBAYASHI Tomohiro, CHOI Narae and YODONO Shuji

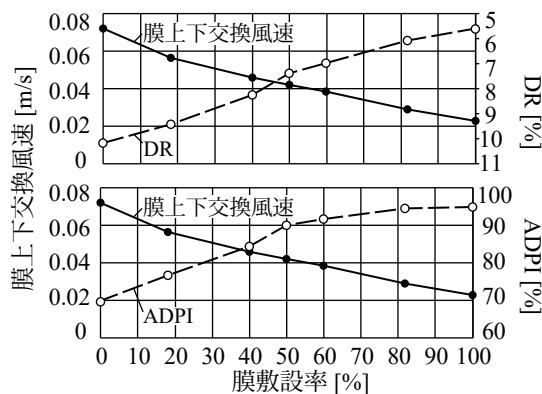


図6 DR、ADPIと膜上下交換風速の比較

象とし、(a)(b)'に変更し評価する。

$$\cdot \bar{U}_x < 0.35 \quad (a)$$

$$\cdot -1.5 < t_{ed} < 1.0 \quad (b) \rightarrow -1.5 < t_{ed} \quad (b)'$$

また、有効ドラフト温度 t_{ed} は式 (2) で求められる。

$$t_{ed} = (t_x - t_r) - 7.73(\bar{U}_x - 0.15) \quad (2)$$

ADPIは最低80%以上になることが推奨される。

なお、DR、ADPIは無指向性風速計により得られる平均風速を用いることが前提であるが、RANSを用いたCFD解析から得られる平均風速は小さく算出されるため、本研究では解析結果の風速に補正⁵⁾をかけて評価を行った。

3. 4 膜上下交換風速

膜上下交換風速（以下、交換風速）は、膜上下間の交換空気の流れであり、早いと冷房効率が向上し、また、外調機が膜上空間に導入された場合、換気が促進され、空気質の向上に繋がるとし、本研究では交換風速を本空調方式の冷房性能・空気質の指標とし、式 (3) で定義した。

$$v_{ex} = \frac{Q_{ex}}{A_{floor}} \quad (3)$$

膜上下交換空気量 Q_{ex} は式 (4) で求められる。

$$Q_{ex} = Q_{mem} + Q_{op} \quad (4)$$

膜通過流量 Q_{mem} 、開口部通過流量 Q_{op} は、膜設置高さ (FL+2.5m) の各格子を通過する鉛直方向風速に、それぞれ格子面積 (50mm×50mm) を乗じ、通過方向上向きと下向き、膜と開口部に分けて合計し、算出した。

3. 5 解析結果と考察

図5にCase 1,3,5,7の高さ1.1mにおける水平分布を示す。膜敷設率が増加するほど、居住域風速の分布が小さく、静穏になり、ドラフト環境が改善されていることがわかる。また、図6に、鉛直上向きの交換風速と居住域平均DR、ADPIとの比較結果を示す。なお、DRは居住域空間で平均化した。膜敷設率を増加するほど、交換風速が小さくなった。このように、ドラフト抑止効果と膜上下交換空気量はトレードオフの関係であり、狙った室内環境を形成するには、最適な膜配置計画を行う必要があると考える。また、膜敷設率が大きい条件でも、局所的なドラフト発生は完全には防げず、発生個所の予測・対策が今後の課題である。

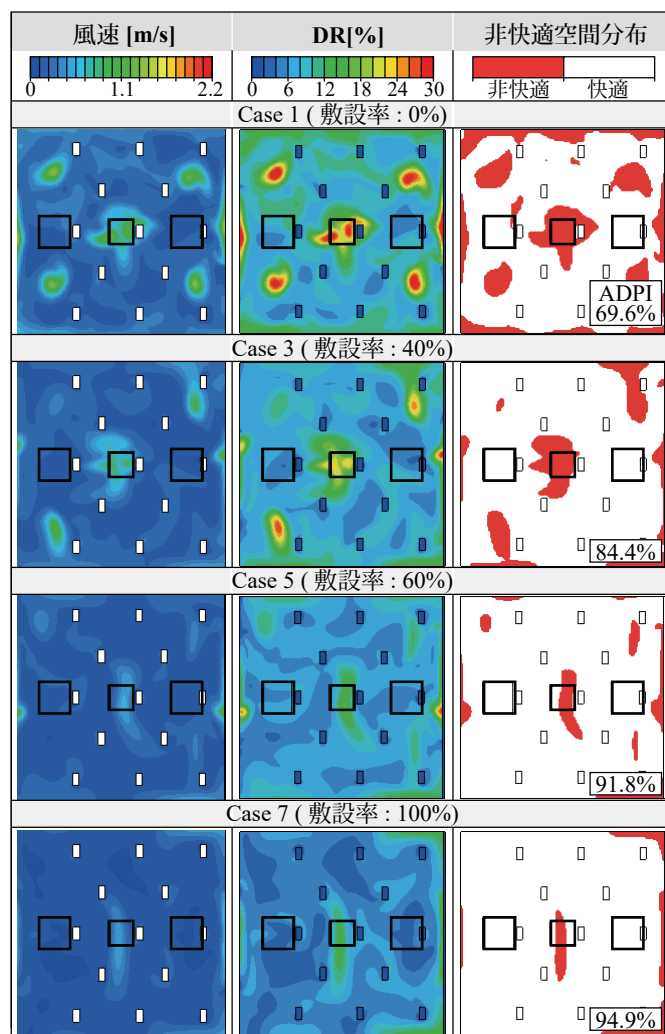


図5 高さ1.1mにおける風速・DR・非快適空間の水平分布

4. おわりに

本研究では分割型膜天井空調方式が導入された室を対象にCFD解析を行い、空調性能を検討した。その結果、膜敷設率を増加するほど、ドラフト抑止効果は強まる一方で、膜上下交換空気量は減少し、空調性能、空気質の悪化が示唆された。今後は暖房時の性能検討等を行う所存である。

記号			
A : 面積	[m ²]	Q : 流量	[m ³ /h]
Tu : 乱流強度	[-]	U : 平均スカラー風速	[m/s]
添字			
ex : 膜上下交換空気	mem : 膜	op : 開口部 (非膜部)	x : 局所
参考文献			

- 1) 淀野修司、山中俊夫、小林知広、崔ナレ、伊藤彰悟：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、日本建築学会研究報告集、2020.9 掲載予定
- 2) 空気調和・衛生工学会編：空気調和衛生工学便覧 (II) 空調設備篇 第11版、pp.40、1989
- 3) Fanger, P.O. et al. ; Air Turbulence and Sensation of Draught, Energy and Buildings, 12(1988) pp.21 - 39, 1988
- 4) ASHRAE 編 : ASHRAE HANDBOOK HVAC Applications SI Edition, pp.57.5、2011
- 5) Popiolek, Z., and Arsen K. Melikov ; Improvement of CFD predictions of air speed turbulence intensity and draught discomfort, Indoor Air 2008, 17-22 - paper ID: 718, 2008

*1 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

*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 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

Special Appointed Assistant Prof., Division of Global Architecture, Graduate School of Engineering, Osaka University

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