

床面衝突噴流を用いた準置換換気空調方式に関する研究 (その7) CFD解析の精度検証及び数値実験

正会員 ○小林知広*¹
同 杉田雄希*²
同 梅宮典子*³

衝突噴流 置換換気 温度成層 数値実験 ドラフト評価

1. はじめに

本研究では置換換気方式に比べて室下部の居住域空気が適度に混合する方式で、床面付近から鉛直下向きに給気する Impinging Jet Ventilation 方式^{1,2)} (IJV 方式)を対象とし、鉛直温度分布の性状解明とその簡易予測を目的とする。既往の研究^{3,4,5)}では実験室実験による基礎的性状の把握、実験で得られた壁面温度を境界条件とした非等温 CFD 解析の精度検証を行った。本研究ではその次に数値実験により給気条件を変更したパラメトリックスタディを行うが、その場合壁面温度が未知のため外部温度を用いた解析が必要と言える。そこで本報では外部温度を境界条件として与えた放射連成 CFD 解析による鉛直温度分布の予測精度を確認した上で、室への給気風量を固定して吹出口数と給気風速を変更した数値実験を実施した結果を報告する。

2. 放射連成 CFD 解析の精度検証

既報⁵⁾では壁面の境界条件に実験室実験から得られた表面温度を与えることで室内気流性状を再現可能な CFD 解析手法を検討したが、給気条件等を変更すると表面温度も影響を受ける。そのため、数値実験でのパラメトリックスタディでは外部温度を境界条件として室内壁面間の相互放射を考慮した解析が必要と言える。本章では既報⁵⁾と同様の CFD 解析格子を用いた放射連成解析を行い、同等の精度が得られることを確認することを目的とする。

2.1. 実験室実験の概要

寸法 9.0×5.0×2.7m の実験室において、直径 300mm の半

円筒型の IJV 吹出口を下端が床上 600mm になるように設置し、冷房時を想定した室内熱負荷として室中央に発熱体 (2.0kW) を設置した (図 1)。放射の影響を軽減するため、壁面表面にはアルミ仕上げの断熱材を貼付した。CFD 解析の精度検証時の真値の取得のため、吹出風量 600m³/h、吹出温度 20℃の実験条件で、空調開始後概ね定常となったところで、図 2 に示す位置の鉛直温度分布を測定した。

2.2. 放射連成 CFD 解析

解析対象は実験室を模した寸法 9.0×5.0×2.7m の室で、IJV 吹出口と発熱体 (2.0kW) を有する (図 3)。解析空間は計算負荷を軽減するため、Free Slip 境界を用いて実験室の半分のみを再現した。解析条件を表 1 に示す。流入境界面の位置は吹出口下端とし、吹出風量 600m³/h、吹出温度 20℃とした。解析は非等温場として浮力はブシネスク近似により表現し、乱流モデルには SST k- ω モデルを用いた。放射計算は透過や空間内の吸収・散乱の無い表面メッシュ間のみ放射解析として Surface-to-surface モデルを使用し、メッシュ間の形態係数はレイトレーシング法により算出した。境界条件として外部温度及び壁面の物性値を与えた。なお、実験では壁面に断熱材を貼付したため、壁面の放射率は 0.1 とした。

実験室実験⁵⁾及び放射連成 CFD 解析における水平面平均温度の鉛直分布を図 4 に示す。CFD 解析結果は実験結果に概ね一致する傾向を示しており、外部温度を与えた解析でも表面温度で与えた解析⁵⁾と同等の精度が得られたため、次章では放射連成解析を用いて数値実験を行う。

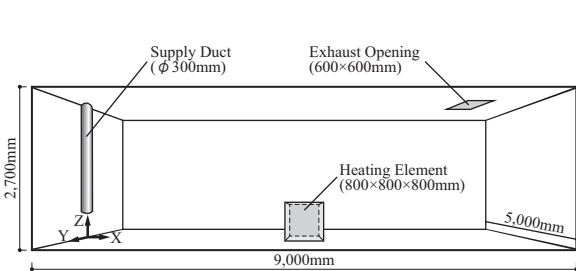


図 1 実験室概要

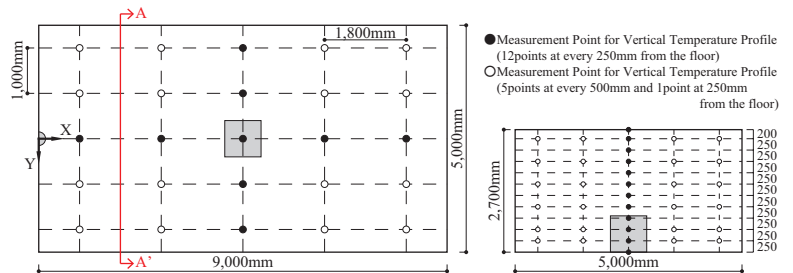


図 2 室内温度測定 測定位置

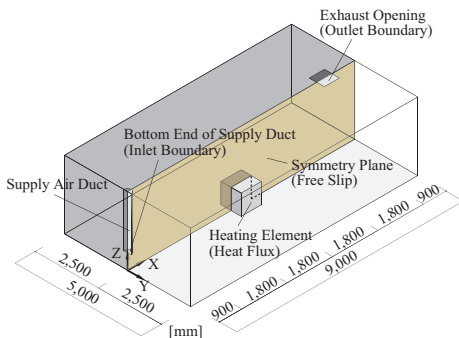


図 3 解析空間 (放射連成解析)

表 1 解析条件 (放射連成解析)

CFD code	Ansys Fluent 14.5	
Turbulence Model	SST k- ω Model	
Radiation Model	Surface-to-surface Model	
Algorithm	SIMPLE	
Discretization Scheme for Advection Term	QUICK	
Boundary Conditions	Inlet	Velocity Magnitude : $V=4.716\text{m/s}$ Turbulent Intensity : $I=10\%$ Turbulent Length Scale : $L=21\text{mm}$
	Outlet	Velocity Magnitude : -0.463m/s
	Walls (Heat)	Room Walls : External Temperature Heating Element Surface : Heat Flux
	Walls (Velocity)	Symmetry : Free Slip
	Other Walls	Linear-Logarithmic Blending Law
Total Number of Cells	2,023,362	

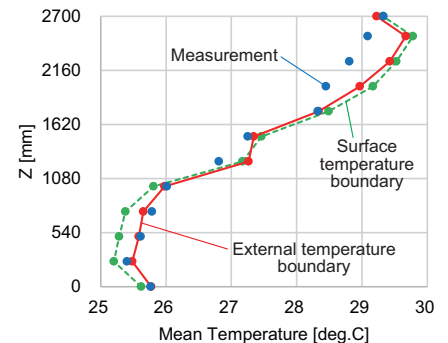


図 4 水平面平均温度の鉛直分布

3. 放射連成 CFD 解析を用いた数値実験

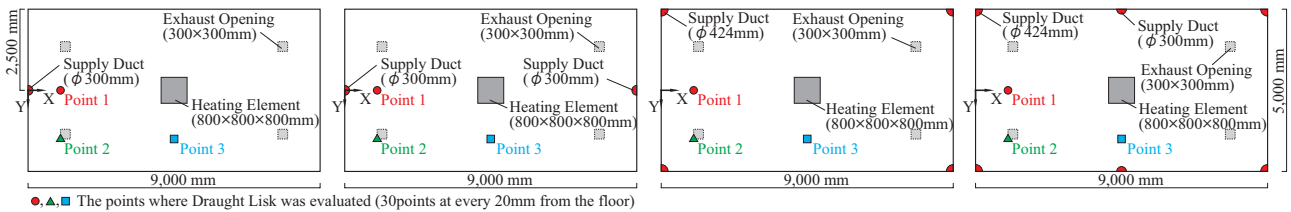
CFD 解析により吹出口数と給気風速を変更した数値実験を行い、鉛直温度分布性状の変化を把握する。IJV 方式では給気運動量が比較的大きく、室用途によってはドラフトが懸念されるためその評価も行う。吹出口数の異なる 4 条件 (1,2,4,6 個) を設定し、給気量の合計が等しくなるように吹出風速を設定した解析を行う。これは、投入熱量を固定して給気運動量のみの変化が温度成層に及ぼす影響を把握することを意図した。各条件の平面図を図 5 に示す。解析条件は原則として前章と同様で、表 2 に示す。ただし、現実的な壁面を想定して放射率は 0.85 とした。また、排気口を 1 箇所配置から均等な 4 箇所配置に変更した。

4 条件の水平面平均温度の鉛直分布を図 6 に示す。室上部の温度に大きな差異は見られないが、総給気量が同じでも居住域下部では給気風速の低下とともに温度が低下し、居住域の上下温度差が増加する傾向が示された。

ここで Fanger⁶⁾ が提案した以下の予測式を用いて、ドラフトによる不満足者率 PD を算出し、ドラフト評価を行う。

$$PD = (T_s - T_a)(U - 0.05)^{0.6223} (0.3696UI + 3.143)$$

吹出口から 1.0m 程度離れた 3 点 (図 5) における PD の鉛直分布を図 7 に示す。白抜きプロットは風速が PD 予測式の適用範囲外であることを示す^{注 1)}。Point 1 近傍に吹出口がない Case 3, 4 では PD が 10% を下回っており、給気風速の低下とともに PD が低下する傾向が見られる。Point 2,3 においても同様の傾向を示すものの、Point 3 近傍に吹出口が設置された Case 4 のみ PD が上昇している。また、床上 200mm 以上の領域では全条件で PD が 10% 以下であるが、本報で設定した条件では吹出口から 1.0m 程度までの領域ではドラフトによる不快感を生じる可能性があり、これが主な居住域となる場合は温度分布に加えて吹出面積と吹出風速を調整する等の工夫が必要と言える。



(1) Case 1 (1 Diffuser) (2) Case 2 (2 Diffusers) (3) Case 3 (4 Diffusers) (4) Case 4 (6 Diffusers)

図 5 解析空間平面図 (数値実験, Case 1~4)

表 2 解析条件 (数値実験)

CFD code	Ansys Fluent 14.5					
Turbulence Model	SST k- ω Model					
Radiation Model	Surface-to-surface Model					
Algorithm	SIMPLE					
Discretization Scheme for Advection Term	QUICK					
Boundary Conditions	Inlet	V [m/s]	Case 1 4.716	Case 2 2.358	Case 3 1.179	Case 4 0.786
		I [%]	10	10	10	10
		L [mm]	21	21	30	21
	Outlet	Velocity Magnitude : -0.463m/s				
Walls (Heat)	Room Walls : External Temperature					
Walls (Velocity)	Symmetry : Free Slip					
	Other Walls : Linear-Logarithmic Blending Law					
Total Number of Cells	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4		
	2,625,154	2,936,478	3,632,340	3,887,170		

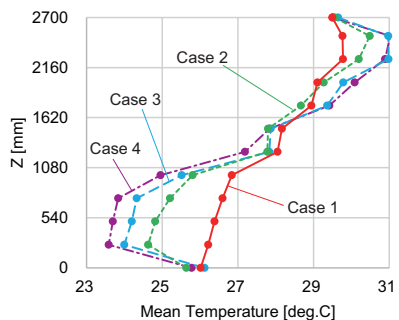


図 6 水平面平均温度の鉛直分布

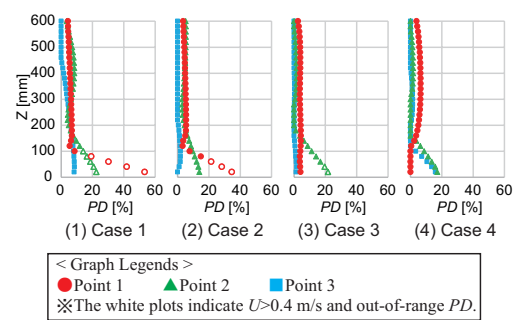


図 7 PD の鉛直分布

4. まとめ

本研究では外部温度を境界条件とした CFD 解析における鉛直温度分布の予測精度を確認した後、その解析手法を用いて給気風速を変更した数値実験を行った。放射連成解析では既報⁵⁾の実験結果と概ね一致する傾向を示された。また、数値実験では給気風速の低下とともに居住域の上下温度差が増加するが、ドラフトリスクが低下することが示され、吹出口と給気風速を適切に設計することにより省エネかつ快適な居住域環境を実現できる可能性があると言える。次報では本報の数値実験を真値と仮定してブロックモデルによる鉛直温度分布の簡易予測の検討を行う。

[注釈]

注 1) PD 予測式の適用範囲は、 $20 \leq T_a \leq 26^\circ\text{C}$, $0 \leq I \leq 70\%$, $U \leq 0.4\text{m/s}$ である。但し、風速が 0.05m/s 以下の場合には $U=0.05\text{m/s}$ とし、PD が 100% を超える場合には $PD=100\%$ と見なす。なお、 T_s : 平均皮膚温 [$^\circ\text{C}$], T_a : 空気温度 [$^\circ\text{C}$], U : 平均風速 [m/s], I : 乱流強度 [%] を示し、本研究では $T_s=34^\circ\text{C}$ とした。

[参考文献]

- 1) T.Karimipannah, H.B.Awbi : Theoretical and experimental investigation of impinging jet ventilation and comparison with wall displacement ventilation, *Building and Environment*, Vol.37, Issue 12, pp.1329-1342, 2002
- 2) H.Chen, B.Moshfegh : Investigation on the flow and thermal behavior of impinging jet ventilation systems in an office with different heat loads, *Building and Environment*, Vol.59, pp.127-144, 2013
- 3) 小林知広, 近本智行: 床面衝突噴流を用いた準置換換気空調方式に関する研究 (その 2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, D2, pp.699-700, 2013.8
- 4) 小林知広, 梅宮典子ら: 床面衝突噴流を用いた準置換換気空調方式に関する研究 (その 3), 日本建築学会近畿支部研究報告集, 第 54 号環境系, pp.117-120, 2014.6
- 5) 杉田雄希, 小林知広ら: 床面衝突噴流を用いた準置換換気空調方式に関する研究 (その 5), 日本建築学会大会学術講演梗概集, D2, pp.777-778, 2015.9
- 6) P.O.Fanger, A.K.Melikov, et al. : Air Turbulence and Sensation of Draught, *Energy and Building*, Vol.12, pp.21-39, 1988

* 1 大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻 講師 博士 (工学)
 * 2 大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻 前期博士課程
 * 3 大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻 教授 博士 (工学)

Lecturer, Department of Urban Eng., Graduate School of Eng., Osaka City University, Dr.Eng.
 Graduate Student, Department of Urban Eng., Graduate School of Eng., Osaka City University
 Professor, Department of Urban Eng., Graduate School of Eng., Osaka City University, Dr.Eng.