

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) 非等温場を対象としたCFD解析の精度検証

正会員 ○杉田 雄希*¹ 同 小林 知広*²
同 梅宮 典子*³ 同 岸本 孝志*⁴
Mats Sandberg*⁵

4. 環境工学 - 13. 空気流動応用
衝突噴流 置換換気 温度成層

1. はじめに

室内の居住域のみを対象とする空調方式は非居住域の空調制御条件の緩和ができるため、省エネルギーの観点から有効と考えられる。そのような効率的な空調方式の一つとして置換換気方式^{1,2)}(Displacement Ventilation方式、以降DV方式)があるが、DV方式は低温・低速で給気を行うため、大きな熱負荷がある場合にはその周辺で気流が上昇して水平方向に温度分布が生じるという問題点がある。また、室下部での急な温度勾配による足下付近の過剰冷却の問題も存在する。一方、DV方式と同様に上下温度分布を形成し、水平方向の温度分布が生じにくい方式として、床面付近に設置したダクトから鉛直下向きに給気し、床近傍で水平方向に広がる衝突噴流により空調を行う方式^{3,4)}(Impinging Jet Ventilation方式、以降IJV方式)が提案されている。この方式はDV方式に比べて適度に混合するため、足下付近の過剰冷却を解消し、冬期の暖房にも適用できる可能性を有するが、その詳細な性状は十分には明らかにされていない。

既往の研究^{5,6)}ではDV方式とIJV方式における気流分布および鉛直温度分布の基礎的性状の比較を行い、初期段階として等温場におけるCFD解析の精度検証を行った。本研究では、非等温場におけるCFD解析のケーススタディを行い、最終的には数値実験に基づく鉛直温度分布の簡易予測モデルの提案を行うことを目的とする。そのためには非等温場でのCFD解析の精度検証が必要であるため、本報では実験室実験とCFD解析の結果を比較して精度検証を行う。

2. 実験室実験

2.1. 実験概要

実験は2014年7月19日～7月20日に行った。図1に示す実験室(幅9,000mm×奥行5,000mm×高さ2,700mm)において、直径300mmの半円筒型のIJV吹出口(図2)を下端が床上600mmの高さになるように設置し、実験室外の空調機に接続した。ここでは、冷房時を想定した熱負荷として室中央に発熱体(2kW)を設置し、IJV方式における風速測定および温度測定の実験を行った。

2.2. 測定概要

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、概ね定常状態となったところで、吹出口付近の風速および空間温度を測定した。風速測定は、I型熱線流速計(日本カノマックス、0251R-T5型φ5μmタングステン)を用いて行い、サンプリング周波数1,000Hz、平均化時間30秒とした。測定点は全て中心断面(Y=0mm)上とし、X=200mmから水平方向に200mm間隔で高さZ=240mmまでの風速の鉛直分布85点(17点×5)とした(図3)。空間温度測定は、水晶温度計(九州計測器、TempLAN)を用いて図4のプロットで示す位置の鉛直温度分布を測定した。図中の黒プロットで表す中心断面(Y=0mmおよびX=4500mm)上においては鉛直方向に250mm間隔で12点(ただし最上部のみ200mm間隔)、白プロットの点は500mm間隔を基本としてZ=250mmも追加して6点とした。CFDの温度境界条件の取得を目的として、図4の灰色プロット位置で表面温度の鉛直温度分布をT型熱電対により測定した。

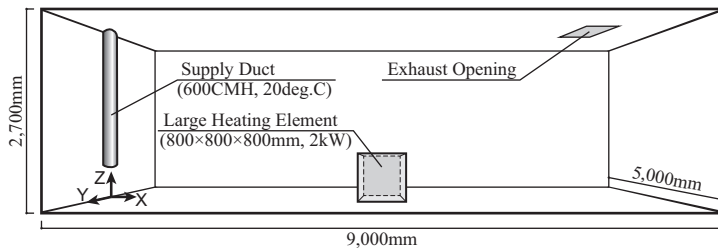


図1 実験室概要図

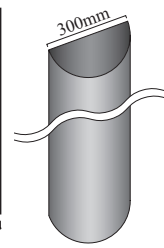


図2 IJV吹出口

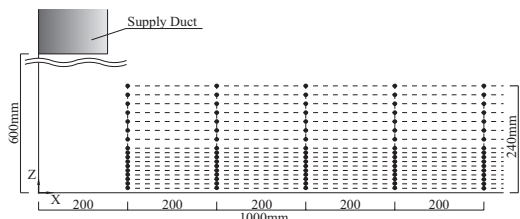


図3 吹出口付近風速測定点

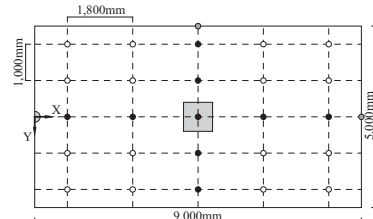


図4 空間温度分布測定点

表1 CFD解析概要 (RANSモデル)

CFD code		Fluent 14.5
Turbulence Model	Standard k-ε Model (SKE)	
	RNG k-ε Model (RNG)	
		Shear-Stress Transport k-ω Model (SST)
Algorithm		SIMPLE
Discretization Scheme for Advancement Term		QUICK
Boundary Condition	Inlet	Velocity Magnitude : 4.716m/s Turbulent Intensity : I=10% Turbulent Length Scale : L=21mm
	Outlet	Velocity Magnitude : 0.463m/s
	Walls (Heat)	Wall (X=0) : Adiabatic Boundary Heating Element Surface : Heat Flux Boundary Other Walls : Temperature Boundary
	Walls (Velocity)	Walls : Symmetry : Free Slip Other Walls : Standard Wall Function
Total Number of Cells		2,023,362

表2 CFD解析概要 (LES)

CFD code		Fluent 14.5
Turbulence Model		Large Eddy Simulation (Smagorinsky-Lilly Model)
Algorithm		Implicit Method (SIMPLE)
Discretization Scheme for Advancement Term		Bounded Central Differencing
Time Step		0.01s (100Hz)
Total Calculation Term	Preconditioning	3,000 time step (30s)
	Main Calculation	72,900 time step (729s)
Boundary Condition	Inlet	Velocity Magnitude : 4.716m/s (Constant)
	Outlet	Velocity Magnitude : 0.463m/s (Constant)
	Walls	Warner & Wengle's linear-power law
Smagorinsky Coefficient		0.1
Total Number of Cells		2,423,104

A Study on Semi-Displacement Ventilation System using Impinging Jet Flow

Part 5. Accuracy of CFD Analysis for Non-Isothermal Condition

SUGITA Kazuki, KOBAYASHI Tomohiro, UMEMIYA Noriko, KISHIMOTO Takashi, and SANDBERG Mats

3.CFD 解析の精度検証

3.1.CFD 解析概要

表 1,2 に CFD 解析条件を示し、図 5 に解析に用いた実験室の解析領域およびメッシュレイアウトを示す。メッシュの分割幅は最小 3mm とし、吹出口・発熱体等の流れが複雑になると考えられる領域から離れる方向に分割領域が大きくなるように設定した。乱流モデルには標準 k-ε モデル (SKE)、RNGk-ε モデル (RNG)、せん断応力輸送 k-ω モデル (SST)、Large Eddy Simulation (LES) の 4 種を用いた。RANS モデルの解析空間は計算負荷を軽減するために Free Slip 境界を用いて実験室の半分のみを再現した。流入境界面の位置は吹出口下端とし、吹出風量 600m³/h を吹出口面積で除した風速および実験から得られた給気温度を境界条件に与えた。発熱体表面の熱的境界条件は熱流束で与え、発熱量 2kW を表面積で除した 625W/m² とした。室の壁面については実験により得られた鉛直温度分布を与えたが、給気口が設置された壁のみ断熱境界とした。解析は非等温場とし、浮力はブシネスク近似により表現した。LES では Smagorinsky-Lilly モデルを用い、瞬時値の非定常計算であるため、対称面を設けず、解析空間は実験室全体とした。SKE の結果を初期条件とし、計算時間間隔は 0.01 秒 (100Hz) として 3,000 ステップ (30 秒) までを助走計算とみなして結果を破棄し、その後の 72,900 ステップ (729 秒 = 名目換気時間) の結果を用いて時間平均値の算出を行った。

3.2. 乱流モデルに関する検討

4 種の乱流モデル SKE、RNG、SST、LES の解析結果および実験結果の比較を行う。中心断面 (Y=0mm) 上における吹出口付近の風速分布を図 6 に示し、空間温度分布を図 7 に示す。風速分布において X=200mm では LES で差が生じており、給気直後に下向きの運動量の拡散を過大評価している。また、X=400mm では SKE を除く乱流モデルで全体的に実験結果に概ね一致しており、それ以降では

床面付近で差が生じる傾向が見られる。SKE では概して差が大きいことが示され、全体的には SST が実験結果と概ね一致する傾向を示す。また、空間温度分布においては SST、LES が実験結果に比較的良く一致し、SST では発熱体上部の熱プルームの影響が比較的良く再現されている。

4. まとめ

本研究では非等温場における IJV 方式を対象とした CFD 解析の精度検証を目的として、実験室実験および CFD 解析を行った。ケーススタディに最も精度が重要な温度分布および計算負荷の観点から、IJV 方式のケーススタディに最も適した乱流モデルは SST であると言える。今後の課題として、室内負荷の条件や空調吹出条件を変更したケーススタディに基づく鉛直温度分布および濃度分布の簡易予測モデルの提案を行う所存である。

[謝辞]

実験器具をお貸し頂いた大阪大学建築環境・設備 Gr に深謝申し上げます。なお、本研究の一部は科学研究補助金 (若手研究 B、課題番号 24760476 (研究代表: 小林知広)) の助成を受けた。

[参考文献]

- 1) P.V.Nielsen : DISPLACEMENT VENTILATION-theory and design, Aalborg University, 1993
- 2) Daid Etheridge, Mats Sandberg : BUILDING VENTILATION Theory and Measurement, John Wiley & Sons, 1996
- 3) T.Karimipناه, H.B.Awbi : Theoretical and experimental investigation of impinging jet ventilation and comparison with wall displacement ven-tilation, *Building and Environment*, Vol.37, Issue 12, pp.1329-1342, 2002
- 4) H.Chen and B.Moshfegh : Comparing k-ε Models on Predictions of an Impinging Jet for Ventilation of an Office Room, *Proceedings of Roomvent 2011*, In Digital Media, 2011.6
- 5) 宇佐美亮太, 小林知広ら : 放射状壁面噴流を用いた準置換換気方式空調に関する研究 (その 1), 空気調和衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集, pp.277-280, 2013.3
- 6) 富田篤, 小林知広ら : 放射状壁面噴流を用いた準置換換気方式空調に関する研究 (その 3), 空気調和衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集, pp.413-416, 2014.3

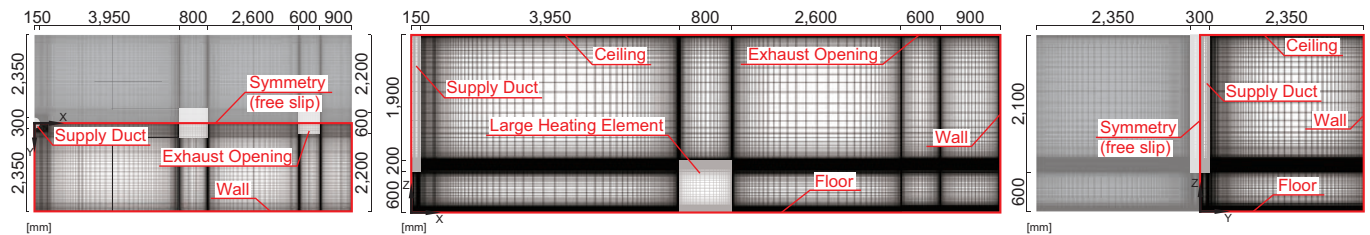


図 5 CFD 解析領域およびメッシュレイアウト (RANS モデル)

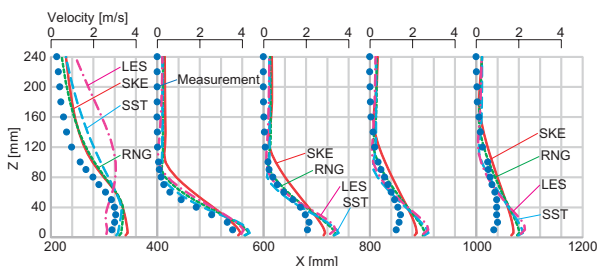


図 6 吹出口付近風速分布 (ZX 成分)

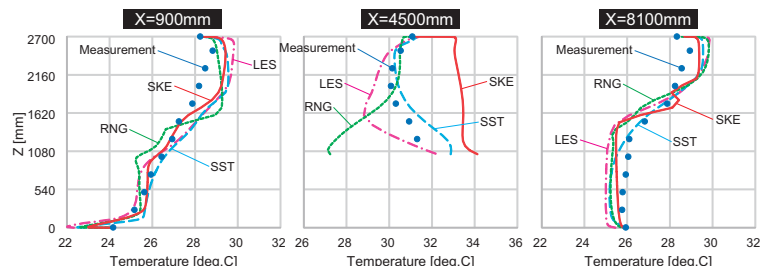


図 7 中心断面上における空間温度分布

* 1 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
 * 2 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)
 * 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)
 * 4 きんでん 京都研究所 博士 (工学)
 * 5 イェブレ大学居住環境センター 教授 Ph.D.

Graduate Student, Department of Urban Eng., Graduate School of Eng., Osaka City University
 Lecturer, Department of Urban Eng., Graduate School of Eng., Osaka City University, Dr.Eng.
 Professor, Department of Urban Eng., Graduate School of Eng., Osaka City University, Dr.Eng.
 Kinden Corporation, Kyoto Institute, Dr.Eng.
 Professor, Centre for Built Environment, University of Gävle, Ph.D.