

太陽エネルギー活用型ヒートポンプ暖冷房換気給湯システムによる住宅のエネルギー自立性向上に関する研究 その5 :  
CFD解析による Momentum 法の適用性に関する検討

正会員 ○胡 沢環\*1 同 孫 路寧\*1 同 前 真之\*2

CFD解析 全館空調 Momentum 法 同 高瀬 幸造\*3 同 盧 炫佑\*4  
吹出口

1. はじめに

本研究では、CFD解析で Momentum 法によって等温状態で作成された吹出口モデルを用いて暖房に変更した際の室内温度・気流分布を正確に予測可能とすることを目的として検討を行った。まず、等温状態における実験室実験で実住宅設置を想定した小風量時の吹出口の気流性状の特性把握を行い、CFD解析で Momentum 法によって吹出気流分布を実用的な範囲で精度良く再現する手法について検討したうえで、暖房実験を行って温度分布を把握し、Momentum 法によって実際の暖房時を模擬した際の気流分布の再現精度について検討を行った。本報では、ライン吹出口（天井付けで2方向に吹出し）についての結果を報告する。

2. 等温検討

2-1. 風速・風向実測概要

東京大学工学部一号館地下の人工環境実験室内の暖冷房ブース(3.1m×3.6m×2.0m)にて、等温風向・風速計測実験を行った。吹出口の配置と計測点の配置を図2に示す。ライン吹出口を実験室内気温と等温で吹出される状態とした。図1のフラップ角度に調整し、吹出口からの風速・風向を三次元超音波風速計(ソニック社 WA-590)で計測した。サンプリング間隔は0.1s、サンプリング時間は2分間とし、最後の1分間の平均値を測定値とした。なお、実験室寸法の都合上、吹出口は2方向のうち片側を閉鎖したため、実設置時風量の半分(50m<sup>3</sup>/h)とみなした。

2-2. Momentum 法における吹出気流の再現

Momentum 法では、吹出口面に対して室内に流入する風量と温度、乱流統計量を入力し、吹出口近傍の室内側の領域に運動量を付加する。Momentum 法を用いると流入熱量・気流運動量を保証でき、吹出気流が拡散する場合にも、少ないメッシュ数で気流を良好に再現できるというメリットがある。今回の検討では、空気調和・衛生工学会で公開されている報告書に示された手順と同様にして、吹出口近傍で吹出気流の運動量の不足分を補うための加速度を決定した。到達距離によって加速度を10m/s<sup>2</sup>、鉛直下方向として設定した。メッシュの分割方法は吹出口の直後セルと壁表面セルに50mmのメッシュで固定して、他のところに1.1の等比率で粗く分割する方法である。解析条件は表1に示すように解析を行った。

2-3. 解析結果と考察

風速実験結果のコンター図を図3に示している。解析結果と実験結果との詳細比較を図4に示す。全体的にCFD結果は実験結果とよく一致しており、等温状態で Momentum 法によって吹出口モデル化として吹出気流の特性を精度よく再現できることが確認された。

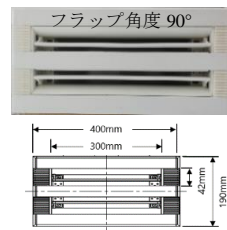


図1 ライン吹出口

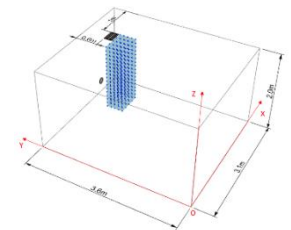


図2 吹出口と計測点配置

表1 等温実験 CFD 解析条件

解析コード	FlowDesigner2020	差分スキーム	QUICK
流入乱流条件	$k = (U/10)^2$	解析領域	X, Y, Z=3.1m, 3.6m, 2m
	$\epsilon = 0.09^{3/4} \times k^{2/3}/D$		
乱流モデル	標準k- $\epsilon$ モデル	境界条件	吹出温度21°C
解析手法	SIMPLEC	流入条件	風量50m <sup>3</sup> /h
	定常解析	流出条件	吸込口

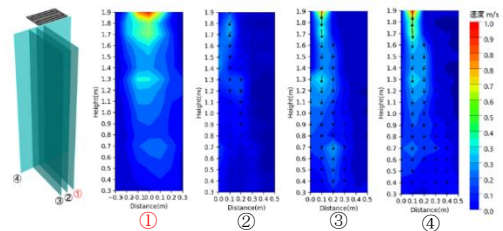


図3 風速分布実験結果

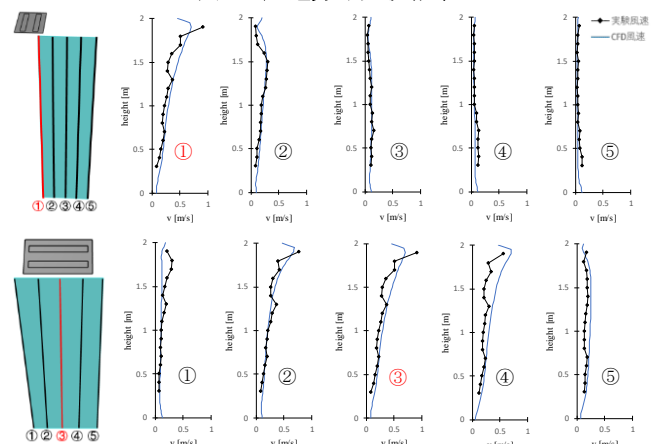


図4 風速分布の実験とCFD結果比較

Research on Improving the Energy Independence of Houses by Using Air-Conditioning and Hot-Water Supplying System Utilizing PVT Air Collector & Heat Pump for Houses  
Part5. Study on Applicability of Momentum method by CFD Simulation.

HU Zehuan, SUN Luning, MAE Masayuki,  
TAKASE Kozo, ROH Hyunwoo

### 3. 暖房検証

#### 3-1. 暖房実測実験概要

人工環境実験室内の暖冷房ブースにて、暖房温度計測実験を行った。熱電対合計 240 個で室内の空気温度分布を計測し、170 個で表面温度を計測した。空気温度計測点の配置を図 5 (左 1 左 2) に示す、壁・天井・床表面温度計測点配置を図 5 (右 1) に示す。サンプリング間隔は 10s、サンプリング時間は 36 時間とし、最後の 1 時間の平均値を測定値とした。外気温を 16°C 固定として吹出温度と室内温度の差は①5.3°C、②9°C、③15.6°C として 3 つのケースで暖房実験を行った。ラインタイプ吹出口 2 方向のフラップを使ったため、風量は実設置時風量 100m<sup>3</sup>/h とみなした。計測ケースの詳細は表 2 に示す。

#### 3-3. Momentum 法における吹出気流の再現

解析条件は表 3 に示すように解析を行った。吹出温度は暖房実験結果によって表 2 に示された Case①を 26.7°C、Case②を 33.7°C、Case③を 45.9°C に設定した。境界条件は壁表面温度固定を設定とし、各壁の表面温度を計測値の平均値に設定して解析を行った。

#### 3-4. 解析結果と考察

温度実験結果のコンター図を図 6 (上)、CFD 結果のコンター図を図 6 (下) に示している。実験の計測点の数が限られており、吹出口近傍に計測点が設置しなかったため、実験結果のコンター図より吹出口近傍の温度分布が反映されない。近傍以外の部屋全体として CFD 結果は実験結果とよく一致している。部屋全体温度分布の実験結果と CFD 結果を図 7 に示す。部屋全体の計測点温度の比較において、CFD 結果と実験結果の差がほぼ 1°C 以下に収まったことが確認した。また、部屋上下温度分布の実験結果と CFD 結果を図 8 に示す。同じ高さの計測点の平均値として部屋の上下温度分布を考察し、CFD 結果は実験結果とよく一致しており、Momentum 法によって温度ムラを精度高く再現できたことが確認した。

### 4. まとめ

本研究では住宅用全館空調用のライン吹出口を対象とし、等温条件で実験において吹出口単体の気流性状を把握したうえで、CFD 解析において Momentum 法によって吹出口をモデル化した後、実際の暖房時を模擬し、吹出気流が室温と差がある場合について実験を行って、風速・温度分布を把握し、等温モデルを使用して CFD で室内気流分布を良好に再現できた。

以上より、等温状態で吹出口の気流性状特性把握実験結果を得て、それを CFD で Momentum 法によって再現できれば、実際の暖房時、吹出気流が室温と差がある場合においても、CFD 解析で室内気流分布を良好に再現可能であるといえる。



図 5 空気温度・表面温度計測点配置図

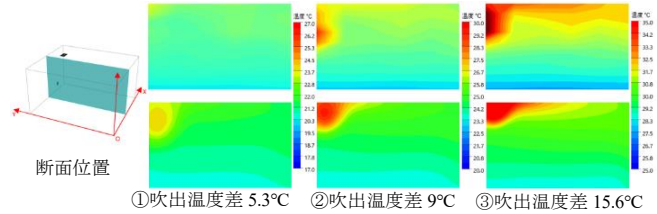


図 6 温度分布の実験と CFD 結果比較

表 2 計測ケース詳細

	吹出温度	吸込温度	室温	外気温	風量
Case①	26.7°C	20.7°C	21.4°C	16°C	100m <sup>3</sup> /h
Case②	33.7°C	23.8°C	24.7°C		
Case③	45.9°C	27.6°C	30.3°C		

表 3 暖房実験 CFD 解析条件

解析コード	FlowDesigner2020	解析領域	X, Y, Z=3.1m, 3.6m, 2m
流入乱流条件	$k=(U/10)^2$ $\epsilon=0.09^{3/4} \times k^{2/3}/D$	境界条件	壁表面温度固定
乱流モデル	標準k- $\epsilon$ モデル	流入条件	風量: 100m <sup>3</sup> /h
差分スキーム	QUICK	流出条件	吸込口 (風量一定)
解析手法	SIMPLEC		

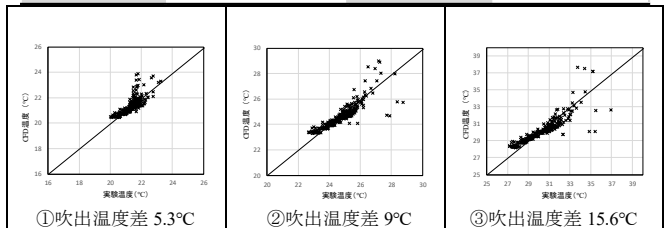


図 7 部屋全体温度分布の実験と CFD 結果比較

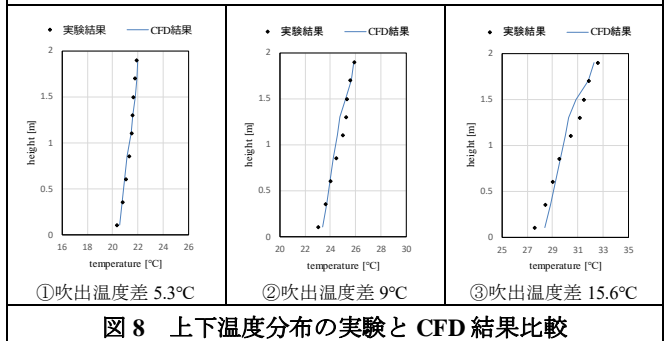


図 8 上下温度分布の実験と CFD 結果比較

#### 【参考文献】

- 1) 「次世代型 CFD パーツの開発および BIM による空調設備設計統合手法」委員会成果報告書 空気調和・衛生工学会 換気設備委員会 BIM・CFD パーツ開発応用小委員会, 2018 年

\*1 東京大学大学院 大学院修士課程  
 \*2 東京大学大学院 准教授・博士 (工学)  
 \*3 東京理科大学 講師・博士 (工学)  
 \*4 OM ソーラー 取締役・技術部長・博士 (工学)

\*1 Master's Student, Dept. of Architecture, the Univ. of Tokyo  
 \*2 Assoc. Prof., the Univ. of Tokyo, Dr. Eng.  
 \*3 Junior Associate Prof., Tokyo Univ. of Science, Dr. Eng.  
 \*4 Director, OM Solar Inc., Dr. Eng.