

CFD 解析による住宅用全館空調の快適性評価に関する研究 (その 1) : 等温状態における吹出口近傍風速分布の実験と CFD の比較

STUDY ON COMFORT EVALUATION FOR THE CENTRAL AIR-CONDITIONING SYSTEM IN RESIDENTIAL HOUSE BY CFD SIMULATION (PART 1) : COMPARISON OF EXPERIMENT AND CFD OF WIND VELOCITY DISTRIBUTION NEAR OUTLET UNDER ISOTHERMAL CONDITIONS

孫 路寧 — *1 胡 沢環 — *1
前 真之 — *2 高瀬 幸造 — *3
盧 炫佑 — *4

Luning SUN — *1 Zehuan HU — *1
Masayuki MAE — *2 Kozo TAKASE — *3
Hyunwoo ROH — *4

キーワード:
CFD 解析, 全館空調, Momentum 法, 吹出口

Keywords:
CFD simulation, Central air-conditioning system, Momentum method, Air-conditioning outlet

In recent years, the central air-conditioning system in residential house is widely used, and the research on central air-conditioning is also deepening. How to accurately simulate the thermal environment is a major issue. In modeling air-conditioning outlets on CFD simulation, the momentum method can not only ensure the calculation accurately, but also reduce the calculation load. The applicability of momentum method on CFD simulation of residential house with central air-conditioning is studied in this research.

1. はじめに

近年、ZEH をはじめとする省エネルギー化だけでなく、冬期のヒートショックや夏期の熱中症リスクの軽減を背景として健康・快適性への関心が高まっている。一般的な壁掛けエアコン方式は省エネ性能は高いが、気流が直接居住者に当たることによって暖房時に皮膚の乾燥を助長する可能性が高いこと(橋口ら¹⁾、設定によっては吹出温風の床面での衝突噴流や拡散の有無の影響で室内温度分布や足元の気流の乱れが大きくなること(倉瀬ら²⁾などの課題点もある。

このような背景から、住宅の断熱・気密性能が改善されている中で、従来日本では普及していなかった全館空調が注目されている。特にダクト式全館空調システムは、ダクト施工の手間はあるが吹出口を比較的自由に配置できるために快適性を高められる可能性が既往研究でも示されている。例えば、崔ら³⁾は温暖地の住宅で 24 時間全館空調システムの長期運用データに基づき、エネルギー消費量や室内温熱環境を分析した結果を報告している。また、岸ら⁴⁾は、エアコンと送風ファンを併用した VAV(可変風量)方式の住宅用全館空調システムについて、実測および CFD 解析からその有用性を示している。一方、室内温度・気流の分布に対する詳細な分析や吹出口の気流性状に関する詳細な検討は今後の課題とされている。また、ダクトや吹出口等の部材製造メーカーにおいても、実運用で想定される使用条件(角度、温度、風量など)での特性値を十分に提供できておらず、設計者や施工者が根拠なしにダクト経路や吹出口配置・種類の決定を行っている場面も多々あると推測される。

このような課題には、各部材の特性を把握した上、CFD 解析で吹出口からの気流分布を再現して室内環境を検討することが有効であ

る。従前、なるべく小さい計算負荷で吹出気流性状の CFD 解析精度を確保するモデル化として、BOX 法⁵⁾や PV 法⁶⁾や Momentum 法⁷⁾の提案がされてきた。天井カセットエアコンやアネモスタット吹出口、ライン型吹出口については、空気調和・衛生工学会⁸⁾において近年まとめられており、その中では深田・酒井⁹⁾をはじめとする検証の結果、Momentum 法による再現が有効であるとされている。しかし、これらはいずれも非住宅向けの天井吹出口や天井カセットエアコンに関する大風量での検討が主である。

そこで本研究では、吹出口単体での特性さえ把握すれば、室内での任意の位置に吹出口を変更した際の暖冷房時の室内温度・気流分布を正確に CFD で予測可能とすることを目的とした検討を行った。まず、実験室実験で実住宅設置を想定した小風量時の吹出口単体の気流性状の特性把握を行った後、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、壁近傍や天井に吹出口を配置し、実際の設置状況を模擬した際の気流分布の再現精度についても検討を行った。なお、今回は既往研究で検討が見られなかった、グリル吹出口(壁付で 1 方向に吹出し)と、ライン吹出口(天井付で 2 方向に吹出し)の 2 種類について冷房条件の結果を報告する。

2. 吹出口近傍気流の風向・風速の計測実験

筆者らは、全館空調を採用した温暖地の高断熱住宅の冷房時温熱環境に関する検討¹⁰⁾において、室内温熱環境を熱負荷計算および CFD で分析した結果、空調吹出の総風量 500m³/h 程度かつ吹出口 1 箇所あたり 100m³/h 程度と小さい風量で快適な室内環境を形成可能

*1 東京大学大学院工学系研究科 大学院生

*2 東京大学大学院工学系研究科 准教授・博士(工学)

*3 東京理科大学理工学部建築学科 講師・博士(工学)

*4 OM ソーラー(株) 取締役・技術部長・博士(工学)

*1 Graduate Student, Dept. of Architecture, the Univ. of Tokyo

*2 Assoc. Prof., Graduate School of Eng., the Univ. of Tokyo, Dr.Eng

*3 Junior Assoc. Prof., Faculty of Science & Technology, Tokyo Univ. of Science, Dr.Eng

*4 Director, OM Solar Inc., Dr.Eng

であることを示した。そこで本報では、高断熱住宅を念頭に、小風量の吹出口を採用することを前提として検討する。一方、設計段階に吹出風量と吹出方向を境界条件とした CFD 解析を実施しても、多くの場合において吹出口製造メーカーが出しているカタログや仕様のデータだけではその気流性状の再現精度を十分に検証できない点が課題である。そこで、住宅用全館空調システムで採用実績があるグリル吹出口とライン吹出口(図 1)の気流性状を把握するために、まず室温と吹出空気温度が等温となる条件での風向・風速計測実験を行った。

2.1 実験概要

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。吹出口の配置を図 2 に示す。グリル吹出口を(1)壁付_中央と(2)壁付_隅、ライン吹出口を(3)天井付の合計 3 パターンで設置可能とし、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。グリル吹出口を(1)、ライン吹出口を(3)の位置に配置した場合の、ピトー管式風量計で計測された風量と到達距離の関係を図 3 に示す。なお、実験室寸法の都合上、ライン吹出口は 2 方向のうち片側を閉鎖したため、実設置時風量の半分とみなした。本報告では到達距離は気流が 0.5m/s になる位置までの距離としたが、グリル吹出口の風量が 125 m³/h、ライン吹出口の風量が 70m³/h まで到達距離は風量に比例しており、本実験室内での気流分布評価は実用に足ると判断した。

(1) グリル吹出口・壁付_中央 (吹出風量 100m³/h)

天井と壁の影響をなくすように、吹出口と吸込口を壁の中央に設置した。風速の測定区域は図 4(1)に示す。三次元超音波風速計は上下間隔 0.1m で各点を移動計測し、上から 3 番目の計測点は吹出口中央軸にあたる。気流分布が左右対称となるので、Y+方向には吹出口中央から 0.5m、X-方向については壁付近までを計測した。

(2) グリル吹出口・壁付_隅 (吹出風量 100m³/h)

実住宅で吹出口を部屋の隅に設置され、気流が壁や天井の影響を受ける場合の気流性状を把握するため、吹出口を壁の隅に設置した。計測区域は図 4(2)に示す。風速計を配置する間隔は(1)と同じである。

(3) ライン吹出口・天井付 (吹出風量片側のみ 50m³/h)

吹出口を天井設置し、夏季条件として、フラップ角度 45°で風速を計測した。天井から Z-方向に 0.05m 離れた位置から計測した。計測点間隔はグリル吹出口の計測と同じである。吹出気流の横方向への拡散もあったため、吹出口中央から X 方向に-0.4m から+0.4m までの範囲で計測した(図 4(3))。

2.2 実験結果と考察

(1) グリル吹出口・壁付_中央

実験結果のコンター図を図 5 に示す。ベクトルの方向より、気流は水平に吹出すことを確認した。吹出口(グリル吹出口・壁付_中央)からの到達距離は約 1.25m であった。

(2) グリル吹出口・壁付_隅

実験結果のコンター図を図 6 に示す。側壁が存在するので、コアンダ効果により、気流が側壁方向に傾くことを確認した。そして、全体的に、到達距離が(1)より長くなり、1.9m であった。

(3) ライン吹出口・天井付

実験結果のコンター図(図 7)より、フラップ角度が 45°に調整したが、コアンダ効果で天井に沿う流れが非常に強いために、気流がほぼ水平方向に吹出し、上から 2 番目の計測点での風速はほぼ 0.3m/s

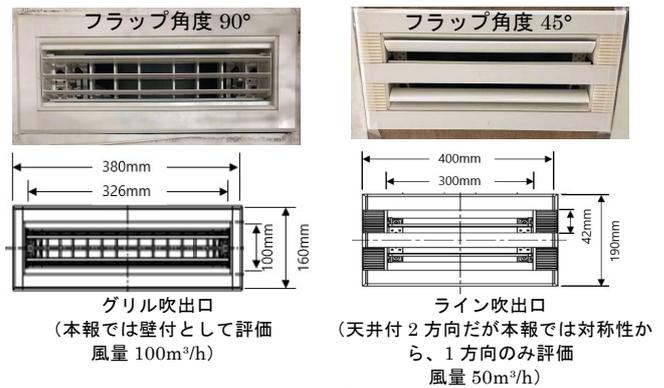


図 1 本報評価対象のダクト接続用吹出口

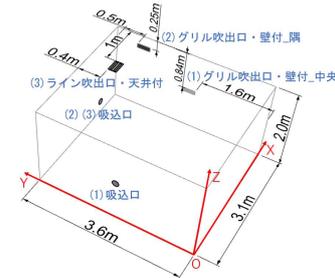


図 2 吹出口の配置図

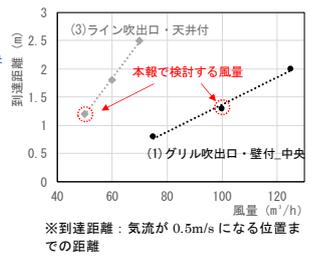


図 3 風量と到達距離の関係

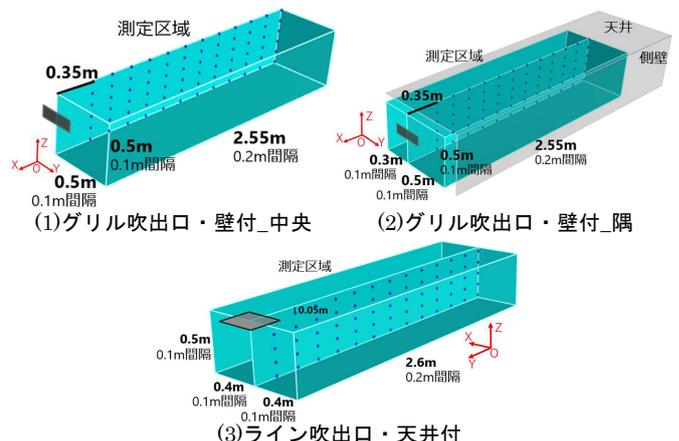
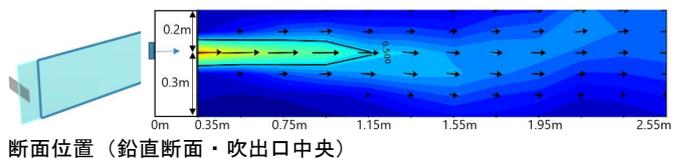
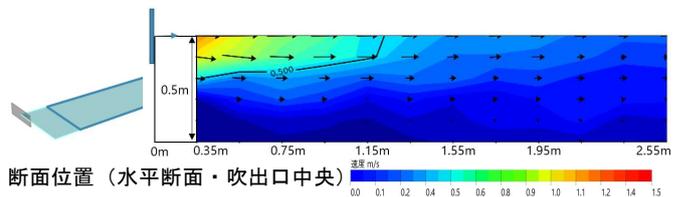


図 4 風速計測区域と計測点間隔



断面位置 (鉛直断面・吹出口中央)



断面位置 (水平断面・吹出口中央)

図 5 (1)グリル吹出口・壁付_中央 風速分布実験結果

以下となった。到達距離は約 1.2m である。そして、吹出気流は側壁側のコアンダ効果により、少し側壁方向に傾くことを確認した。

3. 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法を用いると流入風量・熱量を保証でき、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⁶⁾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。

3.1 グリル吹出口の検討

壁面に設定した流入条件による水平方向の運動量を調整するために主流方向の加速度 a_x を設定した。 a_x の算出では、加速度を設定したセルの界面における U_o と U_i を基に(1)式より算出した。流入風速 U_i は(3)式より算出できる。一方、噴流式(2)より界面仮想風速 U_o (図8)は $U_r \sqrt{\frac{X_o}{KH_o}}$ であり、CFD解析を実施し、2分法で到達距離の誤差が許容範囲に収まるまで、最適な K を探し、 U_o を決定する。 K が決定されると、任意の風量に対して(2)式に到達距離を入力し U_o を算出できる。

$$a_x = (U_o^2 - U_i^2)A/V \quad (1)$$

$$\frac{U_r}{U_o} = \sqrt{\frac{KH_o}{X_o}} \quad (2)$$

$$U_i = Q/S \quad (3)$$

$$a_x = \left(\frac{U_r^2 X_o}{KH_o} - \frac{Q^2}{S^2} \right) A/V \quad (4)$$

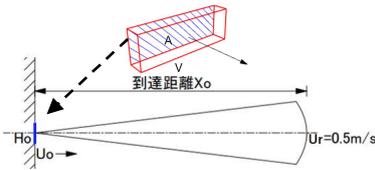


図8 気流分布

a_x :主流方向加速度[m/s²] U_o :界面仮想風速[m/s] U_i :流入風速[m/s] A :界面面積[m²] V :セル体積[m³] U_r :残風速(0.5m/s) K :吹出口定数 H_o :吹出口幅[m] X_o :到達距離[m] Q :風量[m³/s] S :流入条件設定面積[m²]

また、設定すべき加速度はメッシュの大きさにより変化する。ここでは、グリル吹出口をMomentum法で再現する際の妥当なメッシュ分割方法について検討を行った。まずは吹出口が(1)壁付_中央に設置された場合を対象とし、適切なメッシュ分割方法を検討した後、(2)壁付_隅に吹出口を設置した場合に、Momentum法で同じようにモデル化して吹出気流性状を再現できるかどうかを検証した。

3.1.1 モデリング概要

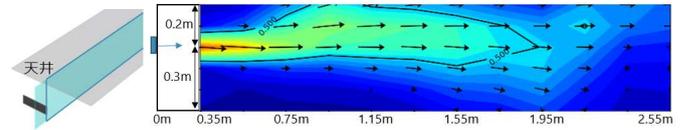
天井・壁の影響を極力なくした条件での検証を行うため、グリル吹出口を(1)壁付_中央に設置した状態について、CFD解析を行った。CFDの解析条件は表1に示した通り。ここでは、メッシュを50mm間隔で均等分割するモデル1、100mm間隔で均等分割するモデル2と吹出口の直後セルと壁表面セルに50mmのメッシュで固定して、他のところに1.1の等比率で粗く分割するモデル3の3つについて、メッシュ分割方法の解析結果への影響を比較した(図9)。

モデル1メッシュを50mmで均等分割し、 K の最適化過程を図10に示す。 K が1.9の場合((4)式より a_x が17m/s²)、実験の到達距離を誤差なしで再現できた。モデル2(図9中)では、吹出口直後のセル体積がモデル1の2倍なので、不足分の加速度はモデル1の1/2になり、8.5m/s²である。モデル3(図9右)では、モデル1と吹出口直後のセルの大きさが同じで、与えた加速度もモデル1と同じである。

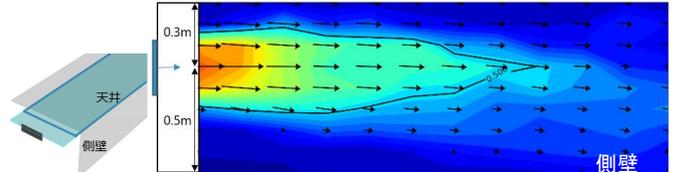
3.1.2 解析結果と考察

解析結果のコンター図(図11)を見ると、加速度を与えない場合、吹出気流の運動量が足りないため、到達距離が過小である。Momentum法で加速度を与えて、気流の到達距離を再現できた。解析結果の詳細を図12に示す。計測位置①③上のCFD風速結果は実験値よりやや大きい、これはメッシュが粗いために、数値拡散が大きいと考える。それ以外の評価点では、どのモデルも実験結果と良く一致していた。②中心軸の風速結果を見ると、モデル2はメッシュが粗いために、吹出口近傍のところに、結果補間の影響で風速が実験値より特に低

い。一方でモデル1・3は、吹出口の近傍の風速も比較的精度良く再現できていた。参考に標準的な床面積120m²の2階戸建住宅において、今回の3モデルでの総メッシュ数は約1600万、200万、400万となった。モデル3のメッシュ分割方法は、精度を保証したうえで計算時間を短縮できる妥当な分割方法であると考えられる。

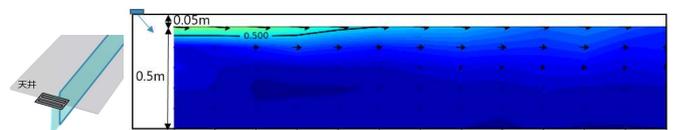


断面位置 (鉛直断面・吹出口中央)

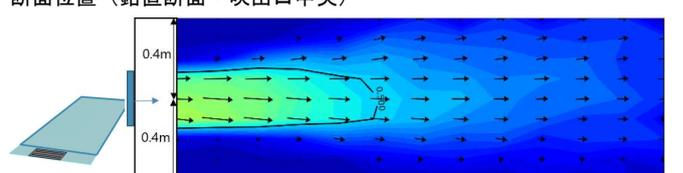


断面位置 (水平断面・吹出口中央)

図6 (2)グリル吹出口・壁付_隅 風速分布実験結果



断面位置 (鉛直断面・吹出口中央)



断面位置 (水平断面・吹出口中央)

図7 (3)ライン吹出口・天井付 風速分布実験結果

表1 CFD解析条件

解析コード	FlowDesigner2020	解析対象	風速
流入乱流条件	$k=(U/10)^2$ U :ネック風速(ダクトφ150)	流入条件	グリル吹出口:風量100m ³ /h
乱流モデル	$\epsilon=0.09^{3/4} \times k^{3/2}/H_o$	流出条件	ライン吹出口:風量50m ³ /h
解析領域	X,Y,Z=3.1m,3.6m,2m	解析手法	SIMPLEC
		差分スキーム	QUICK

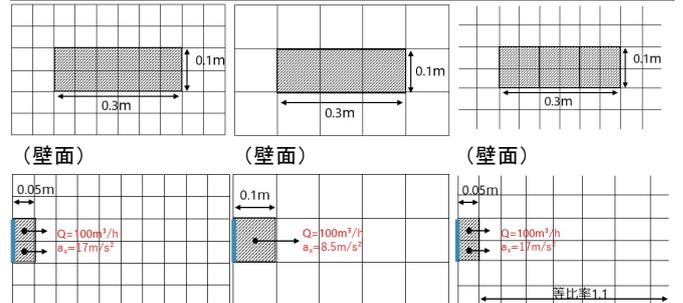


図9 メッシュ分割方法の検討(メッシュ数は本解析領域内)

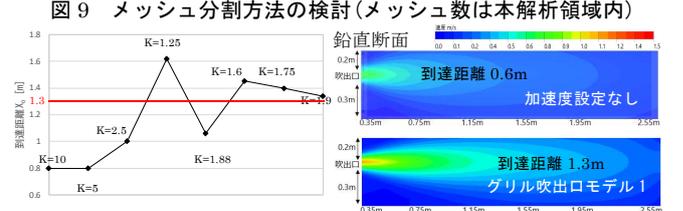


図10 Kの最適化過程(グリル吹出口・壁付_中央) 図11 Momentum法より気流の出口・壁付_中央の再現

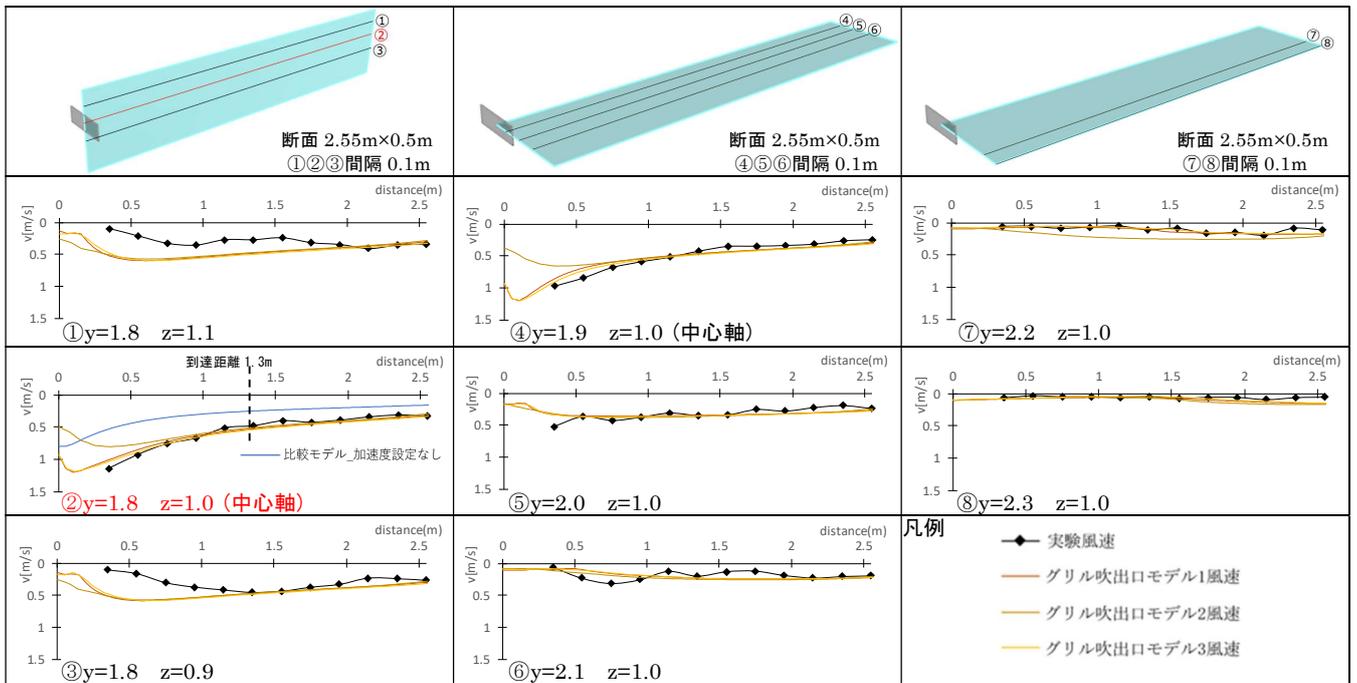


図 12 (1)グリル吹出口・壁付_中央 風速分布の実験と CFD 結果比較

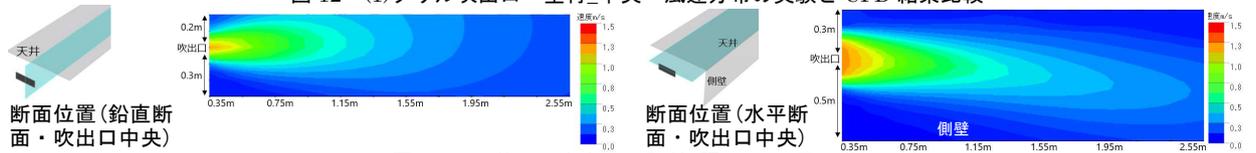


図 13 (2)グリル吹出口・壁付_隅 CFD 風速分布

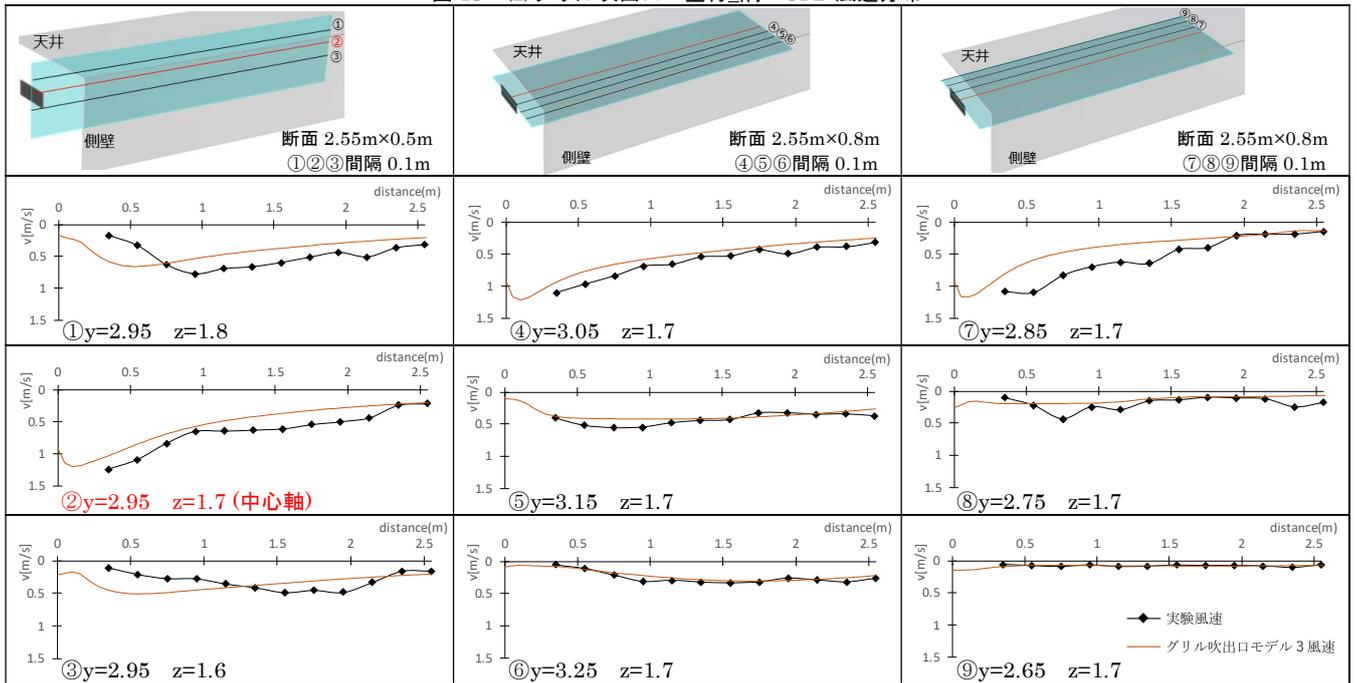


図 14 (2)グリル吹出口・壁付_隅 風速分布の実験と CFD 結果比較

3.1.3 グリル吹出口・壁付_隅の検討

上記で検討した加速度及びメッシュの分割方法を用い、吹出口を壁の隅に移動して、CFD 解析で吹出気流を再現できるか検証した。

図 13 に解析結果のコンター図を示す。CFD でもコアンダ効果により気流が側壁に向かって傾く様子を再現できていることを確認した。解析結果と実験値との比較詳細を図 14 に示す。全体の風速分布を比較すると、解析結果が実験値とよく一致している箇所が多く、吹出気流を概ね再現できているものと判断した。一方、計測位

置⑦上の風速を比較すると、実験値が CFD 値よりやや大きくなっていた。これは(2)グリル吹出口・壁付_隅の実験の際に、吹出口の側面に接続したダクトがやや斜めになっていたために、⑦上での風速実験値がやや高くなったものと考えられる。

3.2 ライン吹出口の検討

グリル吹出口の検討より、吹出口の直後セルと壁表面セルを 50mm のメッシュで固定し、他のところを 1.1 の等比率で粗く分割する方法モデル 3 がライン吹出口においても妥当な分割方法と判断

し、以降では加速度の向き・大きさの設定内容について検討した。

3.2.1 2方向加速度設定の検討

実験結果より、気流が2次元壁面噴流のように、水平に吹出していることがわかった。運動量を調整するために鉛直方向の加速度 a_z と主流方向の加速度 a_y を設定した(図15)。気流が水平に吹出しているため、 a_z は天井面に設定した流入条件による鉛直方向の運動量を相殺する上向きの加速度であり、(5)式より風量 $50\text{m}^3/\text{h}$ の場合、 4.3m/s^2 と算出した。 a_y は界面仮想風速 U_o より(6)式から算出した。グリル吹出口の検討と同じように、CFD解析を実施し、2分法で到達距離の誤差が許容範囲に収まるまで、最適な K を探し、界面仮想風速 U_o を決定する。風量 $50\text{m}^3/\text{h}$ の場合、 a_y を 15m/s^2 と算出した。ここでは、 a_z と a_y 両方向の加速度を設定し、解析結果と実験結果を比較した。

$$a_z = U_i^2 \times A_z / V \quad (5)$$

$$a_y = U_o^2 \times A_y / V \quad (6)$$

a_z :鉛直方向加速度 $[\text{m/s}^2]$ U_i :流入風速 $[\text{m/s}]$ A_z :平面界面面積 $[\text{m}^2]$ V :セル体積 $[\text{m}^3]$ a_y :主流方向加速度 $[\text{m/s}^2]$ U_o :界面仮想風速 $[\text{m/s}]$ A_y :断面界面面積 $[\text{m}^2]$

風速分布結果の比較を図16に示す。鉛直断面の風速分布を比較すると、CFDで気流のY方向の到達距離を再現できるが、水平断面の結果を見ると、横方向(X方向)への拡散を再現できなく、横方向の加速度 a_x を設定する必要があると判断した。

3.2.2 3方向加速度設定の検討

吹出気流の到達距離と横方向への拡散両方を評価するため、ここでは U_x と U_d の風速を定義した。 U_x は到達距離になる位置の風速(風量 50m^3 の場合、吹出口から 1.2m の風速)。 U_d は吹出口外縁から1mesh分の位置の風速、 U_{+d} と U_{-d} の平均値と定義した(図16右上)。

実際の気流性状を再現するため、ここでは図17のように3方向加速度を設定した。 a_z を計算値と固定し、 a_x と a_y についてはCFD解析を実施し、 U_x と U_d が実験値との誤差がないように、試行錯誤をしながら、最適な加速度を探した。

加速度の最適化過程(図18)を見ると、 a_y を固定して a_x のみ調整する場合、風速 U_x の値は a_x の増加につれて最初に増加し、次に a_x の増加につれて減少する傾向が見える。風速 U_d の値は a_x の増加につれて常に増加する傾向が見える。 U_x と U_d 両方とも実験値との誤差がない場合、 a_x は 3m/s^2 、 a_y は 17m/s^2 であり、最適な加速度だと判断した。この加速度を用い、CFD解析を行った。

3.2.2 解析結果と考察

風速分布のコンター図(図19)を見ると、横方向への気流の拡散を

再現できた。続いて各計測(図20)を見ると、CFD結果は実験値とよく一致している。今回の吹出口ではCFDにおいて、3軸方向の加速度を設定する必要があり、 U_x と U_d が実験値と合えば、水平断面の風速が高い精度で合うことがわかった。 U_x と U_d を指標として、水平断面の気流性状を評価できるといえる。

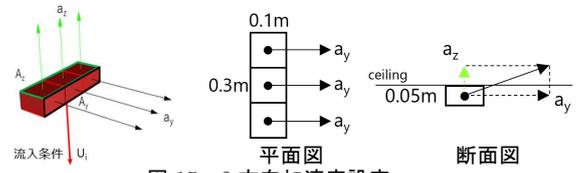


図15 2方向加速度設定

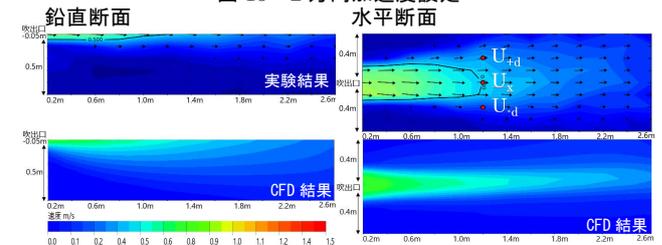


図16 風速分布比較_2方向加速度

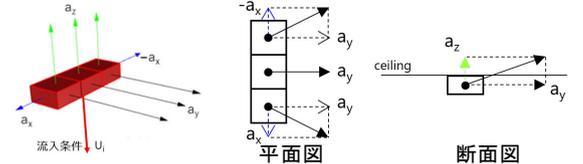


図17 3方向加速度設定

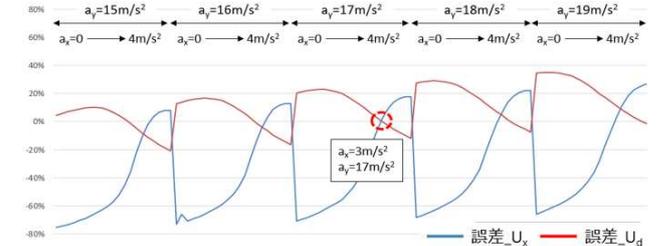


図18 水平2方向加速度の最適化

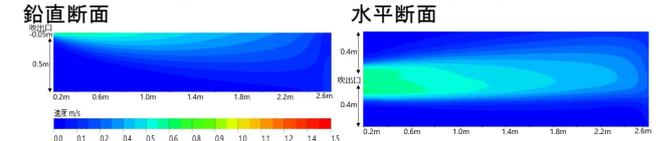


図19 風速分布_3方向加速度

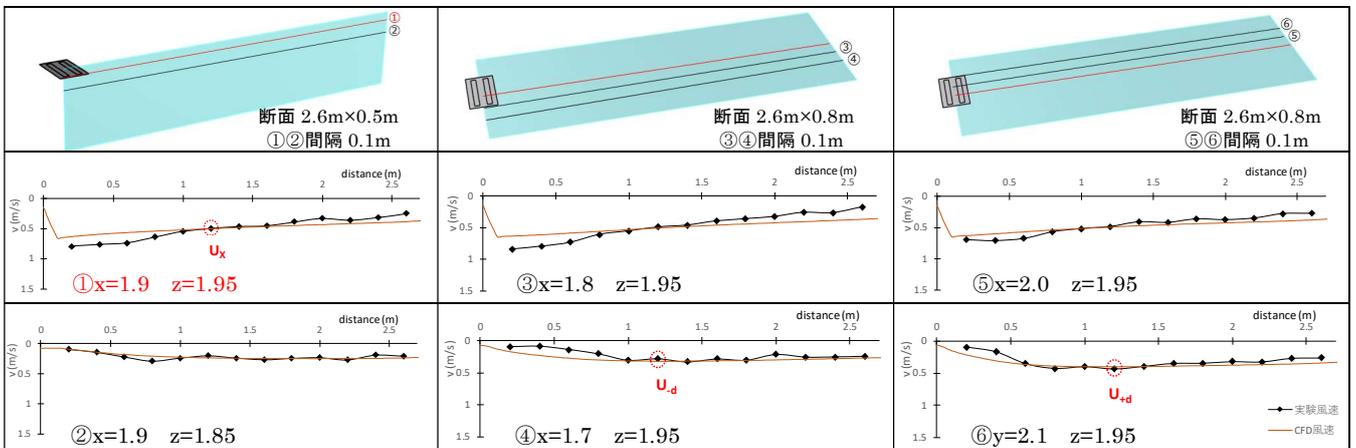


図20 (4)ライン吹出口・天井付 風速分布の実験とCFD結果比較

4. まとめ

本研究では住宅用全館空調用のグリル吹出口とライン吹出口を対象とし、実験において吹出口単体の気流性状を把握したうえ、CFD解析において Momentum 法の適用性を検討した。主な結論を以下に示す。

グリル吹出口(壁付)について、吹出口、加速度設定区域及び壁前セルを 50mm のメッシュで細かく分割し、他のところに等比率 1.1 で細かく分割したところ、Momentum 法を使用した吹出口モデル化としての解析精度を担保しつつ、解析時間も短縮可能な、合理的な分割方法となることが確認された。そして、吹出口を壁の隅に設置した場合において、側壁のコアングダ効果による気流の偏向も再現できた。

ライン吹出口(天井付)について、フラップ角度が 45°であっても、コアングダ効果の影響が非常に大きく、気流が天井に沿って水平に吹出していることを確認した。今回検討した天井付吹出口の気流を CFD で再現する場合には、実際の設置状況と同様に天井付で吹出口モデルを作成する必要がある。3 軸方向の加速度を設定することで、気流性状を良好に再現できた。しかし、主流方向と横方向の加速度は互いに到達距離に影響を与えるので、CFD を実施し、試行錯誤をしながら、最適な加速度を探す必要がある。しかし、試行錯誤をするのは計算時間がかかる。こうした手間の削減を目指し、今後は機械学習などの AI を活用することで、高効率な加速度決定方法の検討をしていきたい。

以上より、吹出口単体の特性把握実験結果を得て、それを CFD で Momentum 法で再現できさえすれば、住宅内の居室の任意の箇所に吹出口の位置を変更した場合においても、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。吹出口の部材製造メーカーが到達距離や吹出口近傍の 3 次元的な風速分布の情報を公開すれば、Momentum 法で吹出口をモデル化した CFD 解析によって実用上問題ない精度での室内温熱環境評価が可能となる。

今後は実際の暖冷房時を模擬し、吹出気流が室温と差がある場合についても実験を行って、気流の風速・温度分布を把握し、CFD で再現するためのモデル化の妥当性検証を進める予定である。住宅の全館空調で採用されている吹出口には他にも様々な種類があるため、これらについても CFD による再現に必要な知見を整理していきたい。

謝辞

本研究は、令和 2 年度の国土交通省サステナブル建築物等先導事業(省 CO2 先導型)に採択された、エネルギー自立住宅の実現に向けて～太陽光と太陽熱を活用した自立率向上と災害対応～の技術の検証の一環として行った。

参考文献

- 橋口, 柘原, 大中, 永村, 伊藤, 吉竹: 実験モデル住宅内における床暖房・エアコン暖房使用時の高齢者の生理・心理反応, 空気調和・衛生工学会論文集, No.135, pp.1-9, 2008.6
- KURABUCHI T., et al.: DISTRIBUTIONS OF THERMAL AND AIRFLOW ENVIRONMENT, THEIR EVALUATIONS AND INPUT ENERGY IN ROOM WITH VENTILATION LOADS UNDER CONTROL OF FLOOR HEATING SYSTEMS OR CONVECTIVE HEATING SYSTEMS, Journal of Environmental Engineering, AIJ, Vol.76 No.661, pp.317-324, 2011.3
倉瀬ほか 9 名: 換気負荷のある居室での床暖房式や温風暖房時における温熱・気流環境と温熱環境評価および室内投入熱量の空間分布, 日本建築学会環境系論文集, 第 76 巻 第 661 号, pp.317-324, 2011.3
- CUI J., et al.: EXPERIMENTAL VERIFICATION OF 24-HOURS CENTRAL AIR-CONDITIONING SYSTEM OF A DETACHED HOUSE IN WARM REGION BASED ON LONG-TERM MEASUREMENT, AIJ Journal of Technology and Design, Vol.22, No.51, pp.631-636, 2016.6
崔, 市川: 長期実測に基づいた温暖地域における戸建住宅の 24 時間全館空調システムの実験検証, 日本建築学会技術報告集, 第 22 巻 第 51 号, pp. 631-636, 2016.6
- KISHI T., et al.: STUDY ON THERMAL ENVIRONMENT BY ADJUSTING AIR FLOW RATE FOR BLOWER FAN ON CENTRAL AIR-CONDITIONING SYSTEM FOR RESIDENTIAL BUILDING, Journal of Environmental Engineering, AIJ, Vol.85 No.767, pp.37-44, 2020.1
岸, 李, 浅野: 冬期における全館空調が導入された戸建住宅における送風ファンの変風量制御が温熱環境に及ぼす効果に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 第 85 巻 第 767 号, pp.37-44, 2020.1
- Nielsen, P.V.: The Box Method - a Practical Procedure for Introduction of an Air Terminal Device in CFD Calculation, Dept. of Building Technology and Structural Engineering, Aalborg University. Gul serie Vol. R9744 No. 34, 1997
- Nielsen, P.V.: The Prescribed Velocity Method - a Practical Procedure for Introduction of an Air Terminal Device in CFD Calculation, Dept. of Building Technology and Structural Engineering, Aalborg University. Gul serie Vol. R9827 No. 40, 1998
- J. Srebric & Q. Chen: A method of test to obtain diffuser data for CFD modeling of room airflow, ASHRAE Trans. Vol.107(2), pp.108-116, 2001
- 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, 委員会成果報告書 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, 2018.10
- 深田, 酒井: 角型のアネモスタット型吹出し口を対象とした CFD パーツのモデリング手法に関する研究 第 1 報 水平吹出し時における Momentum 法の適用と検証, 空気調和・衛生工学会論文集, No.254, pp.43-50, 2018.5
- LIU H., et al.: THE PROPOSAL OF LAYOUT METHOD FOR COOLING OUTLETS IN A RESIDENTIAL HOUSE WITH THE CONSIDERATION OF SOLAR HEAT GAIN, Utilization of CFD inverse analysis using adjoint variable method, AIJ Journal of Technology and Design, Vol.26, No.64, pp.1019-1024, 2020.10
劉, 前, 高瀬, 谷口, 孫, 盧, 桃瀬, 池島: 日射を考慮した住宅の冷房吹出口の配置手法の提案 随伴変数法を用いた CFD 逆解析の活用, 日本建築学会技術報告集, 第 26 巻 第 64 号, pp.1019-1024, 2020.10