

MD4 放射を組み込んだ CFD モデルの開発及び、放射が室内快適性指標へ与える影響評価

Development of radiation-coupled CFD model and evaluation of the impact of radiation on indoor thermal comfort index

指導教員 近藤明教授・共生環境評価領域
28H18001 青野真和 (Masakazu AONO)

Abstract: It is important to evaluate indoor thermal comfort by using thermal comfort indices. PMV (Predicted Mean Vote), one of the most common thermal comfort indices, is generally estimated without taking into account of indoor distribution of MRT (Mean Radiant Temperature) and emissivity, which possibly have great influence on the estimation. In this study, radiation-coupled CFD (Computational Fluid Dynamics) model was developed, and indoor thermal environment and comfort were simulated with the effects of emissivity and distribution of MRT. The results show that the distributed MRT enables a more detailed PMV estimation and emissivity substantially influences the MRT estimation. In addition, low emissivity wall makes it possible to effectively decrease sensible temperature.

Keywords: PMV, MRT, emissivity, CFD, radiation

1. はじめに

近年では空調設備の省エネルギー化が広がり、均一な空間を想定せず、詳細な室内の温熱環境、快適性を把握することが必要とされ、PMV などの快適性指標での評価が重要となっている¹⁾。CFD を用いて、室内の温熱環境、快適性を評価する研究は多くあるが、気温、気流に注目したものが多く、放射温度 (MRT) の分布の影響を考慮した快適性指標を算出するものはそれほど多くない²⁾。さらに、MRT の分布において、放射率や壁面での反射を考慮したものはほとんどない³⁾。

そこで本研究では、放射率を考慮した放射モデルを組み込んだ CFD モデルの開発を行った。これを用い、MRT の分布を考慮した快適性指標分布を算出し、室内の快適性を可視化した。その結果から MRT 分布、放射率が室内快適性に与える影響を評価することを目的とした。

2. 放射モデル

CFD モデルは OpenFOAM ver-4.1 を用い、Gebhart の吸収係数を用いた放射モデルを加える形で放射を組み込んだ CFD モデルの開発を行った。このモデルでは、面の幾何学的位置関係だけでなく、放射率、吸収率、反射率、面での多重反射も考慮している。外部温度を固定し、一次元熱伝導方程式によって決まる壁面温度に寄与する対流熱伝達、放射を考慮して熱収支を解き、壁面境界温度が算出される。

PMV は、ASHRAE Standard に基づいて算出された。MRT は 2 つの手法で算出された。1 つ目は均一な空間を想定し、各壁面温度の面積加重平均により、1 つの MRT を算出する手法である。この手法では MRT の分布を考慮できない。2 つ目はセルごとに各面から受ける放射熱流束を算出する手法で、幾何学的位置に加え、壁面での反射放射熱流束を考慮する。

3. 計算条件

シミュレーションを行った室内の形状を模式的に表したものを図 1 に示し、設定した計算条件を表 1 に示す。総セル数は 1,982,016 (X=192, Y=279, Z=37) で、非圧縮流体を想定した、定常計算を行った。

4. 計算結果及び考察

壁面の放射率と、MRT の算出方法を変更した際の室内温熱環境、快適性への影響を評価した。断面図は全て高さ 1.0m の図であり、壁面からの距離 0.5m 以内を除外した。

図 2 に壁面の放射率 1.0 での気温分布、風速分布を示す。図 3 に、放射率 1.0 でのセルごとに算出し

た MRT (以下セル MRT) を示す。セル MRT の平均は 27.1°C であった。各壁面の平均温度の面積加重平均をとった場合の MRT (以下均一 MRT) は 27.2°C であった。図 4 にセル MRT、均一 MRT を利用して算出した PMV を示す。セル MRT ケースでは、均一 MRT ケースでは見られなかった PMV 値+1 のエリアや、北東部分、北西部分に PMV 値-1 の見られることがわかる。

次に壁面の放射率を 1.0 から 0.95 に変更した。気温分布、風速分布は図 2 に示した放射率 1.0 の結果と、ほとんど変化がなかった。図 5 に MRT 分布、PMV 分布を示す。ともに放射率 0.95 では放射率 1.0 に比べ全体的に低い値になっていることがわかる。これらのことから放射率は、気温、気流にはほとんど影響しないが、MRT の分布に影響を及ぼし、放射率が小さくなると、室内の居住者の体感温度が下がる効果があるといえる。

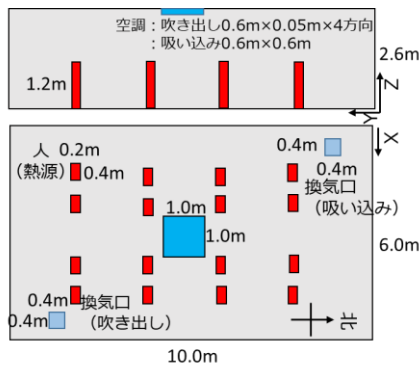


図 1 部屋の模式図

表 1 境界条件の数値

境界名	数値	単位
壁面外側(南)	50	[°C]
壁面外側(南以外)	26	[°C]
換気吹き出し風速	水平成分 0 鉛直成分 0.56	[m/s]
換気吹き出し気温	26	[°C]
空調吹き出し風速	水平成分 2.7 鉛直成分 1.6	[m/s]
空調吹き出し気温	19	[°C]
人からの発熱量	39.5	[W/m ²]
境界名	厚み[m]	熱伝導率[W/mK]
天井, 壁, 床	0.111	0.044
人	0.2	0.618

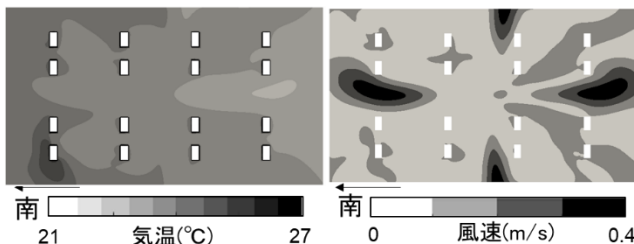


図 2 放射率 1.0 での気温分布、風速分布(高さ 1.0m)

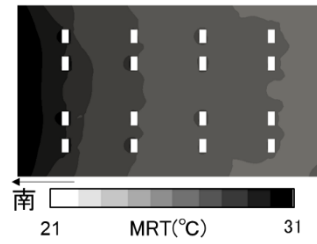


図 3 放射率 1.0 での MRT 分布(高さ 1.0m)

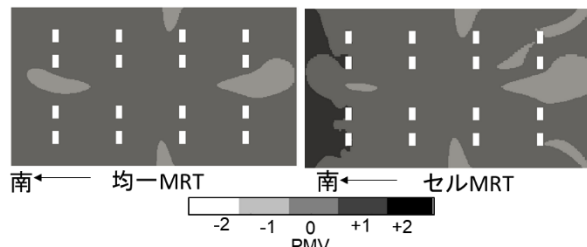


図 4 放射率 1.0 での PMV 分布(高さ 1.0m)

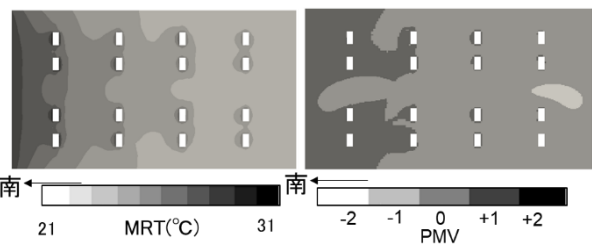


図 5 放射率 0.95 での MRT、PMV 分布(高さ 1.0m)

5. 結論

本研究の結論を、以下にまとめる。

- MRT 分布を考慮した快適性分布を評価することで、従来の手法では正しく評価されていないエリアについて正しく評価することが出来た。
- 放射率を考慮した快適性評価を行った結果、壁面放射率を下げることで、体感温度が下がることが明らかになった。

参考文献

- 1) 豊田国昭：第 3 章 実験流体力学と数値流体力学，日本流体力学会，ながれ，第 37 巻，2018
- 2) 今野雅，桑沢保夫，赤嶺嘉彦：暖房方式による室内気流分布を考慮した暖房負荷補正方法に関する検討 その 1 ルームエアコンディショナー及びセントラル空調による室内温熱環境の CFD 解析，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，2017
- 3) Catalina T, Virgone J, Kuznik F: Evaluation of thermal comfort using combined CFD and experimentation study in a test room equipped with a cooling ceiling, Building and Environment, Vol 44, No 8, pp.1740-1750,2009