

BG2 放射モデルの精度評価および壁面放射率が居住者の熱的快適性に与える影響の解析

Validation of Radiation Model and Model Analysis of the Effect of Wall Emissivity on Thermal Comfort of Occupants

共生環境評価領域

08E18071 山尾佳菜子 (Kanako YAMAO)

Abstract: Accurate estimates of mean radiant temperature (MRT), as well as air temperature, wind velocity and relative humidity, are essential for evaluating the thermal comfort in a room. However, the most of conventional methods to calculate MRT do not take into account detailed radiation processes. This study used a computational fluid dynamics (CFD) model incorporating a radiation model in order to simulate the thermal comfort in an experimental chamber under different wall emissivity conditions. The simulation results revealed that the change in emissivity has significant effects on the distribution of thermal comfort indices such as PMV (Predicted Mean Vote).

Keywords: PMV, MRT, CFD, Radiation panel, Thermal Comfort

1. はじめに

室内の熱的快適性は、予想平均温冷感申告 (PMV) などの指標を用いて評価される。室内の快適性は気温、相対湿度風速、放射温度 (MRT)、着衣量、代謝量の6要素によって決定される。室内の快適性の評価の際にはこれらのすべての要素を考慮して評価する必要がある。従来の多くの放射計算では放射率、反射率を厳密に考慮しておらず、壁面で生じる多重反射等を考慮していない。そのため、放射空調使用時など、室内の壁面温度に大きな分布がある場合に、放射温度、ひいては室内の熱的快適性を正しく評価できていない可能性がある。

そこで本研究では、反射率を考慮する Gebhart[1]の吸収係数放射モデルを用いた CFD 解析と測定実験を比較することでモデルの精度評価を行うとともに、側壁面の放射率の変化が居住者の熱的快適性に与える影響の解析を行う。

2. 実験条件

測定実験に供した実験チャンバー寸法は 2.0m×2.0m×2.0m であり、厚さ 3.0cm の発泡スチロールで外側を覆うことで断熱した。天井中央には冷熱源として 0.6m×0.6m の放射パネルを9枚、床面中央には発熱源として同放射パネルを1枚、それぞれ設置した。実験では壁面温度、放射パネルに供給する冷媒温度、放射パネルの表面温度、室内気温を測定した。

本研究では放射パネルを除く壁面の放射率をすべて 0.94 とした吸収ケースと、吸収ケースから西側の側面のみを放射率 0.08 とした反射ケースの2種類の実験を行った。

3. CFD 計算条件

本研究の CFD シミュレーションには OpenFOAM ver-4.0 を使い、放射計算には Gebhart の吸収係数放射モデルを用いた。対象領域や放射パネルの位置を図1に示す。また、吸収ケースと反射ケースの再現実験を行うため、壁面の放射率をすべて 0.94 とした吸収ケースと西側の側面のみを放射率 0.08 とした反射ケースを設定した。壁面の室外温度は測定値 (24.7°C) で固定し、壁体内の熱伝導及び室内側表面の熱伝達はシミュレーションで求めた。天井/床面パネル温度には測定実験で得た値 (吸収ケース 22.9°C/44.8°C、反射ケース 23.2°C/45.8°C) を用いた。CFD シミュレーションで温度、MRT を求め、湿度 50%、着衣量 0.6clo、代謝量 1.0met を仮定して PMV を算出した。

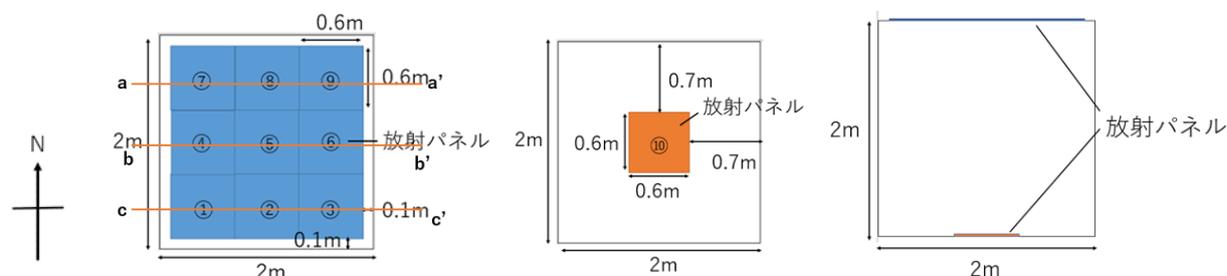


図1 形状モデル (左: 天井面の平面図、中央: 床面の平面図、右: 立面図)

4. 結果と考察

図 2,3 には測定結果の吸収ケースと反射ケースの差分を示したものを示した。低放射率の壁面では冷熱源に近い天井付近で正の値、熱源に近い床面付近では負の値を示したことにより、全体的に壁面の温度分布が小さくなった。また、残りの壁面では、反射ケースのほうが壁面温度が高くなった。それに伴い、気温の空間分布でも正の値を示しており、反射ケースのほうが気温が高くなった。

図 4,5 には、CFD 結果の吸収ケースと反射ケースの差分を示した。壁面温度分布は、低放射率の壁面で温度分布が小さくなっており、他の面では正の値を示しているなど、測定実験と同様な傾向をとらえることができた。空間温度分布は測定では差分は正を示していたがシミュレーション結果の差分では負の値を示す領域も存在した。

図 6 には PMV の空間分布の差分を示している。全体的に正の値を示しており、反射ケースでは体感温度が上昇したことが確認できる。領域内で気流は小さく、気温は低下している領域も多いため、PMV の変化は主に放射率の変化に伴う MRT 分布の変化の影響を受けていると考えられる。このことから、放射パネルなど、室内の壁面温度に大きな分布のある条件では放射モデルを用いた MRT の正確な考慮が熱的快適性の評価に重要であることが示唆される。

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0.54 | 0.93 | 0.70 | 0.19 | 0.25 | 0.23 | 0.25 | 0.28 | 0.28 | 0.20 | 0.27 | 0.33 | 0.32 | 0.27 | 0.31 |
| 0.04 | 0.17 | 0.29 | 0.20 | 0.17 | 0.19 | 0.22 | 0.25 | 0.23 | 0.21 | 0.29 | 0.28 | 0.28 | 0.28 | 0.27 |
| -0.18 | -0.20 | -0.15 | -0.12 | -0.07 | 0.19 | 0.19 | 0.21 | 0.20 | 0.21 | 0.20 | 0.22 | 0.21 | 0.25 | 0.29 |
| -0.49 | -0.54 | -0.42 | -0.34 | -0.40 | 0.19 | 0.18 | 0.19 | 0.18 | 0.19 | 0.20 | 0.16 | 0.11 | 0.18 | 0.25 |
| -0.35 | -0.39 | -0.36 | -0.29 | -0.41 | 0.14 | 0.10 | 0.11 | 0.14 | 0.10 | 0.09 | 0.12 | 0.07 | 0.05 | 0.22 |

図 2 壁面温度分布 (反射ケース-吸収ケース) (°C) (左：西壁、中央：北壁、右：東壁)

| aa' | | | bb' | | | cc' | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0.4 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.2 | 0.3 | 0.2 | 0.2 |
| 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.1 |
| 0.3 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.2 |
| 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.2 |
| 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.0 | 0.2 |
| 0.1 | 0.2 | 0.2 | | 0.3 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.3 |
| 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.3 | 0.5 | 0.1 | 0.1 | 0.7 | 0.3 |

図 3 気温の空間分布 (反射ケース-吸収ケース) (°C)

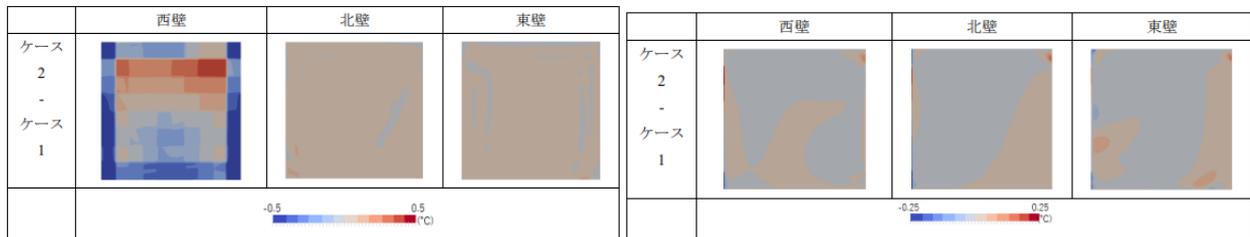


図 4 壁面温度分布 (反射ケース-吸収ケース) (°C) 図 5 気温の空間分布 (反射ケース-吸収ケース) (°C)

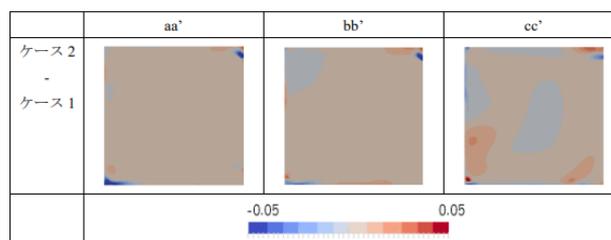


図 6 PMV の空間分布 (反射ケース-吸収ケース)

6. 結論

本研究の結論を、以下にまとめる。

- CFD シミュレーションにより、測定実験と同様の傾向を再現することができた。
- 本研究で用いた条件では、全面の放射率を 0.94 としたものと一面のみ 0.08 にさせたケースを比較すると、PMV に差が生じ、放射率の違いが居住者の熱的快適性に影響を与えることが確認された。

参考文献

- 1) Gebhart, B. Heat Transfer, 2nd edition, McGraw-Hill Book Company, New York, USA, 1971