

BX0 放射モデルを組み込んだ CFD モデルによる放射冷房使用時と対流空調使用時の温熱快適性の評価

Evaluation of indoor thermal comfort under radiant cooling and convective cooling conditions using radiation-coupled CFD

共生環境評価領域

08E20061 福知奨一郎 (Shoichiro FUKUCHI)

Abstract: Radiant cooling systems transport heat by radiant heat transfer. This research conducted numerical simulations for comparatively evaluating indoor thermal comfort under a condition using a radiant cooling system and that using a conventional convective cooling system. The results showed that the radiant cooling system produced uniform air temperature distribution while the convective cooling system produced air temperature stratification in the room. In addition, because of the difference in air temperature distributions, the radiant cooling condition showed less spatial variation in PMV than the convective cooling condition. These results indicate that a radiant cooling system provides uniform thermal comfort.

Keywords: Radiant cooling system, CFD, Thermal comfort, PMV

1. はじめに

従来の対流空調システムは熱輸送を対流熱伝達によって行い、室内の気温や風速を制御する。一方で放射空調システムは熱輸送を放射熱伝達によって行い、室内の気温や放射温度を制御する。空調方式によって制御される要素が異なり、温熱快適性に差が生じると考えられる。これまでの研究では温熱快適性を主に気温や気流に注目しているものが多く、快適性指標を用いて放射空調システムと対流空調システムを比較したものは少ない。

そこで本研究では CFD (Computational Fluid Dynamics) シミュレーションを行うことによって、放射空調システムと対流空調システムを比較し、空調方式による違いが温熱快適性に及ぼす影響を測定実験による直接の評価が難しい要素まで含めて詳細に評価する。

2. 計算方法

本研究では Liao et al.¹⁾による測定実験を参考に CFD シミュレーションを行った。CFD ソフトウェアには OpenFOAM ver-4.0 を用い、放射計算は Gebhart の吸収係数放射モデルを用いた。形状モデルを図 1 に示す。放射空調を稼働させたケースを radiant ケース、対流空調を稼働させたケースを convective ケースとした。室内の大きさは 6.4 m×2.6 m×3 m である。測定実験の室内の気温を再現するように radiant ケースの境界条件を設定し、作用温度が両ケースで等しくなるように convective ケースの境界条件を設定した。また、吹き出し口を 4 分割し、各面から外側へ斜め下向きに空気が吹き出すようにした。境界条件を表 1 に示す。室内の気温、風速、放射温度を CFD シミュレーションによって求め、相対湿度 50%、代謝量 1.2met、着衣量 0.6clo として PMV (予想平均温冷感申告) を算出した。

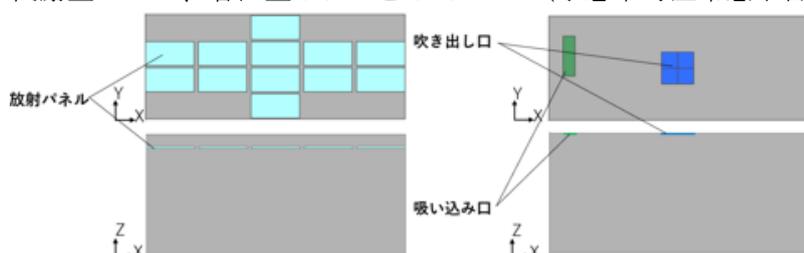


図 1 形状モデル (左 : radiant ケース 右 : convective ケース)

表 1 境界条件の数値

境界	数値
外側壁面温度 [°C]	38
放射パネル表面温度 [°C]	19
吹き出し空気温度 [°C]	17
吹き出し空気速さ [m/s]	XYZ 方向 0.3
吸い込み空気速さ [m/s]	XY 方向 0 Z 方向 0.64

3. 結果と考察

両ケースにおける高さ 2.5 m 以下の空間の平均気温、MRT（平均放射温度）、作用温度を表 2 に示す。また、CFD シミュレーションの結果について、部屋の中央（Y=1.3 m）断面における気温、PMV の分布を図 2、図 3 に示す。同程度の作用温度となるように各空調を稼働させた際（表 3 参照）、radiant ケースでは、気温と MRT の差は 0.5°C となったが、convective ケースでは、気温と MRT に約 6.5°C の差が生じていた。温度分布について、radiant ケースは部屋の中心部が周囲より温度が低く、それ以外のエリアは比較的均一であった。convective ケースは部屋の吹き出し口、床付近で気温が低くなり、温度成層が生じていた。PMV 分布について、radiant ケースでは部屋中心部が周囲より PMV の値が小さいという、温度分布と近い傾向が得られた。また、convective ケースでも気温が低い吹き出し口、床付近で PMV の値が小さく、PMV は気温の影響を強く受けているものと考えられる。全体として radiant ケースより convective ケースのほうが PMV のばらつきが大きく、放射空調は均一な室内環境を実現し、対流空調は室内で快適性に差が生じるといえる。

表 2 両ケースにおける平均気温、MRT、作用温度

	平均気温	MRT	作用温度
radiant ケース	23.48	23.98	23.73
convective ケース	20.48	26.95	23.72

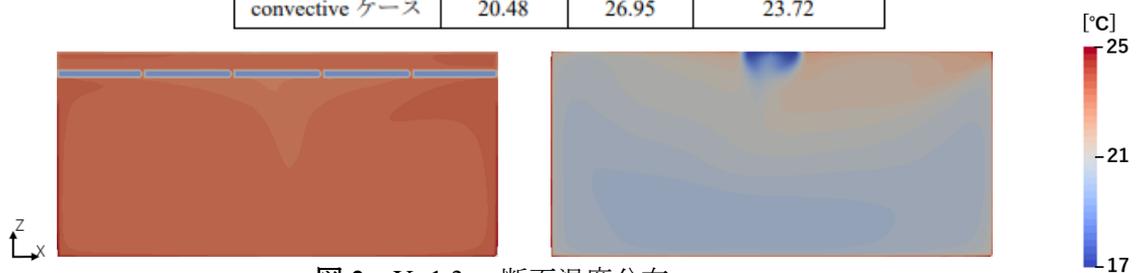


図 2 Y=1.3 m 断面温度分布

(左 : radiant ケース 右 : convective ケース)

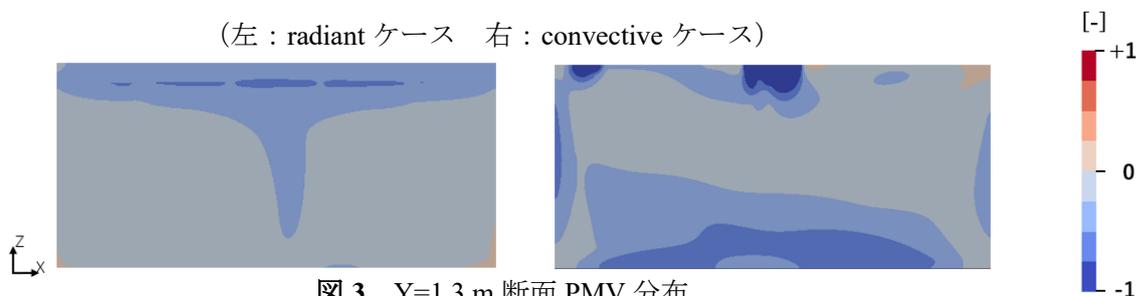


図 3 Y=1.3 m 断面 PMV 分布

(左 : radiant ケース 右 : convective ケース)

4. 結論

本研究の結論を、以下にまとめる。

- 同程度の作用温度となるように各空調を稼働させると、放射空調使用時は気温と MRT が近い値となったが、対流空調使用時は気温が低く、MRT が高くなった。
- 放射空調使用時は室内の空気温度が均一で、対流空調使用時は室内に温度成層が生じた。
- PMV 分布は温度分布の影響を受け、放射空調使用時は対流空調使用時よりも値のばらつきが小さくなった。

参考文献

- 1) Wei Liao, Jinqing Peng, Yimo Luo, Yingdong He, Nianping Li, Yongga A: Comparative study on energy consumption and indoor thermal environment between convective air conditioning terminals and radiant ceiling terminals, Building and Environment, 209, 108661, 2022