

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 笹本 太郎

本論文は、「室内温熱環境形成寄与率 (CRI) を利用した室内温熱環境制御に関する基礎的研究」と題し、室内温熱環境形成寄与率 (CRI) の概念を用いて、室内温熱環境制御の基礎的研究として、室内温熱環境における、熱的要因と室内任意点の関係を示す指標の開発を行い、室内温熱環境に対する操作要因の構造的な感度解析により、新たな室内温熱環境予測手法を提案している。本論文の新規性は、既往研究として以前に開発されていた、室内環境における各熱源の熱的構造を評価する CRI を室内温熱環境制御に応用する点であり、まず基礎的研究として、対流・放射の両側面から熱源と室温の関係を構造的に表す指標の開発と、複数の温度センサーより、制御対象点の温度を予測する手法の提案を行った点である。具体的な成果は、以下の通りである。

まず、第1章では、本論文で利用されるメインツールとして、温熱環境形成寄与率 CRI (Contribution Ratio of Indoor climate) の概説・既往研究レビューを行っている。CRI は、CFD 解析による室内の流れ場、温度場シミュレーションによって室内の温熱環境形成に対する個々の熱源、操作要因による空間的、時間的寄与を構造的に把握できる指標であり、本論文の新規性である、CRI の理論を室内温熱環境制御に応用して、室内任意点温度の予測手法の概念について解説している。第2章では、CFD による数値解析手法は一切用いず、大空間での簡易オフィスによる実験のみの検討により、熱源と任意点の温度関係を示した指標 $CRI_{(T)}$ を定義している (実験による対流・放射・伝導の全熱輸送のトータルな評価)。第1章で解説した CRI の理論を応用して、 $CRI_{(T)}$ による室内任意点の温度予測式の有効性の検証を行っている。室内センサーを1個配置して、その温度を入力とした場合の $CRI_{(T)}$ を用いた温度予測手法は精度が高く、本手法の有効性を確認している。第3章では、CRI の概念を基に、室内温度形成の主要因である、独立熱源の対流成分のみを考慮した $CRI_{(C)}$ の定義と、それを用いた室内温度予測を行っている。パーソナル空調のある室内オフィス空間での解析を行い、2章の $CRI_{(T)}$ を用いた温度予測同様に、有限点の室内センサーと $CRI_{(C)}$ のみを用いた室内任意点の温度予測式を導出している。センサー位置を変化させることで温度予測結果は向上したが、予測誤差が 0.8°C と高精度な予測ではないという結果であった。これは、 $CRI_{(C)}$ が熱源の対流熱伝達のみに着目した指標であり、予測精度の向上のためには、対流熱伝達に加えて、放射熱伝達の影響をも考慮した予測手法の開発が必要であることを考察している。第4章では、独立熱源の対流成分のみに着目した $CRI_{(C)}$ での予測での精度向上のため、新たに独立熱源の放射熱伝達成分に着目している。室内温熱環境では、独立熱源の放射熱伝達により受熱した各固体壁面が2次的な熱源として対流熱伝達して、室内温度形成要因として寄与するため、放射熱伝達によって独立熱源が分配する熱量を評価する指標の開発を行っている。放射熱伝達のメカニズムを詳細に解明し、再放射率 γ_k の新定義を示すとともに、独立熱源の放射熱伝達による各固体面への熱分配量を評価する放射熱分配係数 $CRI_{(R)}$ の算出方法を示している。また、自然対流が生じる閉鎖空間や強制対流が生じる簡易的な閉

鎖空間を対象に $CRI_{(R)}$ を算出し放射熱の分配量の試算のためのケーススタディを行っている。放射連成 CFD 解析による解と比較して、 $CRI_{(R)}$ が独立熱源の放射熱伝達による各固体面への熱分配量を評価する指標としての有効性を確認している。第 5 章では、3 章、4 章で解説した $CRI_{(C)}$ と $CRI_{(R)}$ を用いて、2 つの指標を組合わせた温度予測式を作成し、総合的な温熱環境予測システムを開発し、3 章で用いたパーソナル空調のある室内オフィス空間において、その有効性の確認と、室内オフィスを模擬した実験を通して、実用化に向けた知見を得ている。結果としては、熱源条件を様々に変更して、3 章同様に放射連成 CFD 解析の結果と比較することで予測精度の確認を行ったが、3 章での、独立熱源の直接対流成分のみに着目した $CRI_{(C)}$ のみの予測結果と比較して、放射熱伝達成分による寄与も考慮に入れた、 $CRI_{(R)}$ を組合わせた室内任意点の温度予測の精度は、予測誤差が 0.1°C となり、大幅に精度が向上している。しかし、課題としては、パーソナル空調など流れ場が大幅に変化するような空間においては、温度場において線形性を仮定している $CRI_{(C)}$ の有効性の範囲を考慮することが必要となる。また、室内オフィスを模擬した実験を通して、様々な熱源条件において本予測手法の有効性を確認している。 $CRI_{(C)}$ と $CRI_{(R)}$ を組合わせた温度予測手法により、有限個のセンサー温度から、センサー点以外での任意点の温度予測を行うことが可能となった。

以上を要約するに、本論文は、室内温熱環境制御の基礎的研究として、室内温熱環境における室内温度場の予測に着目して、熱源と室内温度場の関係を構造的に解明し、熱源条件が変化した際にも放射連成 CFD 解析を毎回計算することなく、有限個のセンサーを用いて、室内温度場を簡易的に予測するシステムを開発している。既往の室内温熱環境制御（空調制御）が壁面や天井面に配置された 1 点のセンサーと経験則によって制御されてきたので、本研究で熱源と室内温度場の関係が構造的に解明できたことで、効率的な室内温熱環境制御が可能であると期待でき、今後の室内温熱環境制御における実用的ツールとして大いに貢献するものであると考えられる。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。