

## 審査の結果の要旨

氏名 土屋 貴史

本論文は、「データセンターにおける天井吹出し空調気流方式の開発と評価」と題して、ホットアイル・コールドアイル方式を有するデータセンターを対象とした新たな空調気流方式「天井吹出し・天井吸込み方式」の開発と実際の適用について論じたものである。

近年、情報技術の発達により、データセンターの需要が高まっている。データセンターは、情報処理を行うサーバコンピュータの冷却を専門として行う施設である。データセンターでは重要な情報の処理が常時行われており、その安定的な運用は我々の生活に必要な不可欠である。また実装技術の向上にともない発熱密度が上昇しており、この膨大な熱を効率的に処理することで、省エネルギーを実現し、ランニングコストの低減を行うことができる。更にデータセンターでは、扱う情報の重要性、秘匿性から、メンテナンスの容易さ、災害時における安全性、高いセキュリティ性能などが設計の制約条件となり、適切な空調気流方式の適用が重要である。したがって、省エネルギーの達成には高効率な空調気流方式の開発が必要不可欠となる。そこで本研究論文は、新たな空調気流方式の開発を行うために、近年主流となりつつあるホットアイル・コールドアイル方式を対象として、数値流体解析、縮小模型実験、実大模型実験の3つの異なる手法にて、各種空調気流方式の比較を行い、天井吹出し・天井吸込み方式の冷却特性が優れていることを確認した。加えて、還気流量比などの運用に必要な主要なパラメータが冷却特性と気流分布に与える影響を明らかにした。これらの検討を踏まえて、天井吹出し・天井吸込み方式を実建物に適用し、実測にてその有効性を評価している。

本論文では複数の手法を利用し、以下について論じている。

- (1) 数値流体解析を用いた空調気流方式の比較
  - (2) 縮小模型実験による空調気流方式の比較
  - (3) 実大模型実験を用いた温熱環境の評価
  - (4) 実大模型実験を用いた気流分布の分析
  - (5) 実物件での実測による天井吹出し天井吸込み方式の性能評価
- (1) 数値流体解析を用いた空調気流方式の比較では、短時間で検討できる手法として数値流体解析を用いた空調気流方式の比較を行い、無次元化したラック給気面温度である機器吸込み温度差比を用いて評価している。天井吹出し・天井吸込み方式が最も高効率となり、次いで床吹出し方式となることを示している。(2) 縮小模型実験による空調気流方式の比較では、数値流体解析の拡散項の精度を補う短期の手法として縮小模型実験を行い、天井吹出し方式と床吹出し方式の比較を行っている。また、ラック列の端部と中央部に分けて実験を行い、ラック列中央部に比べてラック列端部の方にてラック給気面の温度上昇が大きいことを示している。加えて、(1)の数値流体解析の結果と比較を行い、同じ傾向を確認している。(3) 実大模型実験を用いた温熱環境の評価では、ラック給気面温度と、実運用に必要なパラメータの影響を把握するために実大模型実験を用いた検討を行っている。機器吸込み温度差比に加えて、ラック給気面温度の評価指標として RCI (Rack Cooling Index) を用いて評価を行っている。運用に必要なパラメータは発熱密度、無次元化した風量である換気流量比、空調給気温度、無次元垂壁長さである。天井吹出し方式では換気流量比の低下にも関わらず、ラック給気面温度の増加が小さい点、無次元垂壁長さはラック列中央部の高効率化にはつながる一方、ラック列端部では低効率化をまねく点を示している。(4) 実大模型実験を用いた気流分布の分析では、天井吹出し方式と床

吹出し方式の温度分布を分析するため気流分布の測定を行い、温度分布との関係を考察している。換気流量比が低下すると床吹出し方式では供給空気の到達距離が短くなる一方、天井吹出し方式では長くなること、また両方式では回り込む空気の温度が異なることを示しており、各方式の冷却特性が異なる理由を説明している。(5) 実物件での実測による天井吹出し天井吸込み方式の性能評価では、天井吹出し方式の実物件適用のための検討と、適用した物件での実測およびPUEの推定を行っている。まず、設備機器設置のための天井面積確保を目的として給気口・還気口形状の検討を行い、排熱の回収が重要であることを示している。続いて、実物件にて温度分布と供給空気の測定を行い、実大実験と同程度の効率を得ている。最後に、実測結果を利用して、データセンターのエネルギー効率の指標であるPUEの推定を行い、一般的なデータセンターより高効率であることを示している。以上の検討により、ホットアイル・コールドアイル方式を採用するデータセンターにおいて、各空調気流方式の冷却特性の把握、および実建物における天井吹出し・天井吸込み方式の冷却性能が確認された。

本論文は、近年発展が目覚ましいデータセンターにおける空調気流方式を対象として、数値流体、縮小模型実験、実大模型実験にて冷却特性の比較検討を行い、設計運用に必要な実用的なパラメータの影響の把握を行った。また実物件に新たな空調気流方式の適用を行い、その性能を実測にて確認したものである。各検討手法の比較、空調気流方式に関して得られた知見、新たに開発された空調気流方式は今後の建築環境工学、建築設備工学の発展に寄与するところは大きい。

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。