

## 論文の内容の要旨

論文題目 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

氏名 土屋 貴史

本研究論文ではホットアイル・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」の開発と実際の展開を行った。「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評価を行い、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、還気流量比や無次元垂壁長さ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、実建物に適用し、実測にてその有効性を検証した。

本研究論文は以下に示す8章から構成されている。

第1章「緒言」では、データセンターを取り巻く環境と求められる性能から求められる空調気流方式について説明し、本研究論文の目的を明らかにしている。

第2章「研究背景と既往の研究」では、情報化社会の変化とデータセンターの関係について、時系列に変遷をまとめた。現在のデータセンターに求められる性能から、空調気流方式の改善による省エネルギーが与える経済的なメリット、運用安定性の向上について整理した。データセンターの空調気流方式、および評価方式についての既往の研究についてまとめた。また、関連する換気効率についての研究についても整理し、本研究論文との関係性を明らかにした。

第3章「値流体解析による気流方式の換気効率の比較」では、数値流体解析を用いて空調気流方式の換気効率を比較した。まず、本検討で用いたRANSモデルの理論的な解説を行った。続いて、第5章以降で用いる実大実験模型を対象として、数値流体解析を行った。空調気流方式は、給気口および還気口の位置をパラメータとした。計算の結果から、天井吹出し天井吸込み方式が最も効率が良くなり、給気口の位置に関わらず、還気口を天井面から壁面にすると、換気効率が悪くなることを示した。

第4章「縮小模型実験による各種空調気流方式の温熱環境の評価」では、サーバ室を一部切り出した形状の縮小模型を用いて、従来からある方式である床吹出し・天井吸込み方式と、天井吹出し・天井吸込み方式の比較を行った。実験は、ラック列中央部とラック列端部の2か所について行い、パラメータとして、還気流量比、冷却熱量比、垂壁・キャッピングの有無を用いた。実験の結果から、各空調気流方式のラック列端部、ラック列中央部における冷却特性を把握した。また、両方式の冷却特性の傾向は、第3章で行った数値流体解析と等しいことを確認した。

第5章「実大模型実験による各種空調気流方式の温熱環境の評価」では、第4章にて作成した縮小模型と同様な実大模型実験を製作し、床吹出し・天井吸込み方式と、天井吹出し・天井吸込み方式の比較を行った。機器吸込み温度差比と、 $RCI_{HI}$  を評価指標として用いた。発熱密度、換

気流量比，空調給気温度，無次元垂壁長さを主要なパラメータとして実験を行い、発熱密度が上がると，天井吹出し・天井吸込み方式では換気効率が上がるが，床吹出し・天井吸込み方式では下がることを確認した。空調給気温度は換気効率には影響を与えず，他のパラメータは縮小模型実験と同様の傾向となることを確認した。

第6章「実大模型実験による各種空調気流方式の気流分布の評価」では，実大模型実験を用いて，各空調気流方式の気流分布の測定，分析を行った。サーバ室内では熱エネルギーの大部分は対流によって輸送されると考えられるため，温度分布の理由を説明するために，空調気流方式の分布を把握することは極めて重要である。第5章と等しい実大模型を用いて，ラック給気面温度に影響を大きな影響を与えられると考えられるコールドアイルの中央とラック列端部の気流分布を行い，各空調気流方式について，気流分布と温度分布の関連性を把握，整理した。

第7章「天井吹出し方式の実物件への適用と評価」では，天井吹出し・天井吸込み方式の実適用のための検討と，実物件での測定結果についてまとめた。天井吹出し・天井吸込み方式は効率的だが，天井面積の大部分が給気口，還気口にて占められるため，監視カメラや照明器具，煙感知器などの設置スペースを確保することが難しい。そこで，給気口，還気口の形状を千鳥格子や線状にする検討を行った。そして，実際に天井吹出し・天井吸込み方式が適用された物件にておいて，実運用状態でのラック給気面温度分布の測定を行った。

第8章「結言」では，各章で得られた結果を要約し，本論文の成果を明らかにした。本研究成果の応用と，今後の課題と将来展望について述べた。