HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	ICT機器の特性を考慮したデータセンターの省エネルギー化に関する研究［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	二渡, 直樹
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第14448号
Issue Date	2021-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/81294
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Naoki_Futawatari_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　博士 (工学)　氏名　二渡直樹

審査担当者　主　査　特任教授　羽山 広文
副　査　教　授　長野 克則
副　査　教　授　林 基哉
副　査　准教授　森 太郎

学位論文題名

ICT 機器の特性を考慮したデータセンターの省エネルギー化に関する研究
(Impact of ICT Equipment Characteristics on Energy Saving in Data Centers)

情報社会を支える ICT 機器は、故障による情報通信の停滞を防ぐ観点から、温湿度管理された機械室に収容される。機械室を運用管理する施設はデータセンターと呼ばれ、重要な社会インフラと位置付けられる。クラウドコンピューティング市場の続伸や、第 5 世代移動通信システム (5G) をはじめとするデジタル基盤や IoT、ビッグデータ、AI といったデジタル技術の発展に伴い、データセンター事業、製造業、金融業などを中心に、データセンターの需要は増加の一途をたどると予想されている。データセンターでは ICT 機器の膨大な顕熱負荷を処理するために空調システムが年間で稼働している。空調システムはデータセンター全体の 30% 以上のエネルギーを消費していることから、空調システムの省エネルギー化が強く求められている。

本研究では、データセンターの空調システムの高効率化や省エネルギー化に関し、既往の研究が多く存在し既に高い水準に達している空調設備の高性能化や自然エネルギー利用、高効率な空調気流方式の開発とは異なる手段でデータセンターの省エネルギー化という課題にアプローチする。そして、今後のデータセンターの設計や運用に関する新たな知見を得ることを目的としている。

第 1 章「序論」では、本研究の背景を記す。本研究の対象施設であるデータセンター及びその空調システムを取り巻く動向を述べるとともに、データセンターの省エネルギー化の意義を示した。また、ICT 機器の省エネルギー化、空調設備の高効率化、空調気流効率向上に関する既往の取組みや研究を挙げ、新たに取り組むべき研究課題として、効率的かつ安定的な気流環境の実現、新たな吸排分離の模索、データセンター全体の消費エネルギーの適正化を挙げた。

第 2 章「ラック周辺の気流環境の検討」では、効率的かつ安定的な気流環境の実現に向け、データセンターの温熱環境を悪化させる ICT 機器の高温排気の給気口への再循環量と、ICT 機器の冷却に寄与せず空調機に還気するショートサーキット量を最小化するための検討を行う。サーバーラック周りの換気回路網解析モデルを作成し、風量関係の変動に伴う ICT 機器の冷却特性の挙動を数値計算で予測する手法を確立した。解析によってラック内で再循環とショートサーキットが同時に発生して環境悪化を引き起こす現象を確認するとともに、再循環量とショートサーキット量を最小化する条件の存在を示した。効率的かつ安定的な気流環境を実現するためには、ラックの気流改善対策を実施した状態でも ICT 機器の要求風量の 1.1 倍程度の給気量が必要であることを示した。

第 3 章「CFD 解析の高精度化と高断熱化による吸排分離」では、温熱環境の改善並びにエネルギー削減を目的とし、CFD モデルを用いて従来の物理的な気流分離とは異なる新たな吸排分離の

模索を試みる。最小限の要素で CFD モデルを構築し、その要素の設定だけでフィッティングしようとすると、設定が理論値ないし現実の値から大きく外れる可能性がある。そこで、本研究の CFD モデルには、障害物や各部の隙間、さらに既往の研究では取り上げられていない構成要素の熱貫流を取り上げた。多要素を検討する必要があることから、実験計画法を用いた効率的なパラメータチューニングの適用を提案して予測精度を高めた。さらに、チューニング後の CFD モデルを用いて二重床固定パネルなどの高断熱化の効果を定量化し、給気量を 10% 削減しても断熱性能を向上する前と同等の温熱環境を維持できることを明らかにした。断熱性能の向上による熱貫流の減少は、区画された空間の熱移動を抑えることから、気流分離とは異なるアプローチの吸排分離といえる。構成部材の断熱性能の向上は、データセンターの高発熱化という課題に対する解決策の一つとなる可能性を提示した。

第 4 章「ICT 機器の特性がデータセンターに与える影響」では、データセンター全体の消費エネルギーの適正化を目的として、簡易に機械室の温熱環境を予測する手法を提案する。内蔵ファン回転数が可変の ICT 機器の特性を明らかにし、提案した予測手法を用いて機械室のトータルエネルギー消費量の最適点を探る方法を示した。予測の結果、従来、空調効率向上の手段として推奨されてきた給気温度の高温化は、空調システムの省エネルギー化には効果があるが、必ずしも ICT 機器の消費電力を含めた機械室全体の省エネルギー化に寄与するわけではないことを確認した。さらに、予測結果の考察から機械室全体の消費エネルギーの検討には、外皮負荷や実装される ICT 機器特性の正しい把握が重要となる可能性を示唆した。

第 5 章「データセンターの給気温度の最適化に向けた検討」では、第 4 章で得られた知見である、ICT 機器のバリエーションと外皮負荷を機械室のトータルエネルギー消費量の検討に考慮する。検討には第 3 章でチューニング済みの CFD モデルを用い、CFD に ICT 機器の特性を組み込んで ICT 機器の特性の違いによる影響を把握した。結果から、想定する ICT 機器の特性によってトータルエネルギー消費量を最小化する給気温度が異なることを示した。また、ICT 機器の吸込温度の変更に伴って変わる隣接空間との熱の流出入量が、機械室の温熱環境並びに機械室の消費エネルギーに与える影響を検討した。一般的な機械室の外壁を想定した検討結果から、外気温度が高いほど消費エネルギーが最小となる給気温度が高いことを示した。そこで、年間で給気温度を一定に保つ通常の制御に対し、給気温度を可変とする制御の省エネルギー効果を確認した。結果としては、トータルエネルギー消費量が最低となる給気温度に固定した固定給気温度制御に対して、わずかな効果しか得られなかったものの、新たな高効率空調制御手法の一つを提示することができた。

第 6 章「結論」では、各章で述べた結果を総括し、データセンターの設計と運用に有用な新たな知見を述べるとともに、データセンターの空調システムに関する今後の課題と展望について述べた。

これを要するに、本研究は、データセンターの空調システムの高効率化と省エネルギー化を目的に、ラック周辺の気流環境、高断熱化による吸排分離法、ICT 機器の特性を考慮した空調方式に関し評価・分析し、今後のデータセンターの設計や運用に関する新たな知見を得たものであり、建築環境学、建築設備学およびエネルギー利用工学に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める。