



Title	Design and control optimization of an open-type radiant ceiling panel system for thermal comfort and energy saving [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	YE, Minzhi
Citation	北海道大学. 博士(工学) 甲第15854号
Issue Date	2024-03-25
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/91744
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	theses (doctoral - abstract and summary of review)
Additional Information	There are other files related to this item in HUSCAP. Check the above URL.
File Information	YE_Minzhi_review.pdf (審査の要旨)



[Instructions for use](#)

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 YE Minzhi

審査担当者 主査教授 長野克則
副査教授 森太郎
副査特任教授 林基哉

学位論文題名

Design and control optimization of an open-type radiant ceiling panel system for thermal comfort and energy saving

(オープンタイプ凹型天井放射パネルシステムの設計と制御の最適化に関する研究)

建築物のエネルギー使用量は世界の総エネルギー消費量の約 34 % を占めており、建築物を含む民生部門のエネルギー消費量の削減は重要かつ急務である。天井放射パネル (RCP) 冷暖房システムは従来の対流型に代わるエネルギー効率の高い冷暖房方式である。オープンタイプ RCP は、天井躯体から吊り下げて天井仕上げ材と同じ高さレベルに設置するものであり、これを用いることで天井面から大面積で放射熱の効果が得られるので、対流型に比べて夏は熱媒循環温度を高く、冬は低くすることができる。それにより冷凍機やヒートポンプのより高効率な運転が期待できる。一方、オープンタイプ RCP システムの導入においては、表面結露防止制御に加え、建物の断熱性や躯体の熱容量に応じた室内温度応答や使用する冷凍機・ヒートポンプの部分負荷特性などを考慮した快適性と省エネルギーを両立できる制御方法の開発が解決すべき課題である。そこで、本研究の目的は凹型・分割構造を有する新しいオープンタイプ凹型 RCP の熱的性能の解明とこれを地下水熱ヒートポンプ冷暖房システムに適用した寒冷地に建つ外断熱建物を対象にして室内温熱環境と省エネルギー性を明らかにして、さらに最適運転制御方法を提案し、その効果を予測することである。具体的には、(1) オープンタイプ凹型 RCP の放熱性能の実験的検討、(2) 数値計算による凹型 RCP の形状の最適化、および窓上部換気システムと組み合わせた場合の室内温熱環境向上の検討、(3) 本 RCP を地下水熱ヒートポンプ冷暖房システムに適用した場合の快適な室内温熱環境と省エネルギーを両立をする最適運転制御手法を提案し、省エネルギー性に加えてライフサイクルコストの観点から導入効果を検証することである。

第 1 章は序論であり、研究背景と本研究の目的である。

第 2 章は従来の関連研究のまとめと RCP の形状、および RCP システム運転制御に関する最適化手法の概説である。

第 3 章では、まずオープンタイプ凹型 RCP システムの冷却性能に関する実験的検討を行った。本凹型 RCP の対流と放射による放熱機構を詳細に分析し、対流熱伝達率がこれまでの RCP よりも大きいことを示した。次に、本 RCP システムが導入された札幌に建つ事務所建物で現地調査を行った。地下水熱ヒートポンプ (GWHP) システムに本 RCP システムを適用することで、年間を通じて快適な室内温熱環境と高いエネルギー効率、および省エネルギーが実現されることを明らかにした。

第 4 章は、凹型 RCP 形状の最適設計である。まず 3 次元 CFD(数値流体力学) シミュレーションモデルを開発し、実験データと整合性を検証した後、冷却能力を最大化するためのパネルの幅と曲率、パ

ネル部材間の隙間(ボイド)距離を数値計算から求めた。次に、冷房時に窓からの熱気の侵入を防止するために窓上部から空気を吸い込む換気システム(WAV)と組み合わせたRPCシステムを提案し、導入による室内温熱環境改善効果を予測した。

第5章は、オープンタイプ凹型RCPシステムが導入された建物冷暖房システムにおいて熱的快適性と省エネルギーの両立をする最適運転の計算手法の提案と効果の検証である。オープンタイプRCPシステムについて簡略化した熱抵抗・熱容量(RC)ネットワークモデル、すなわちグレイモデルを開発し、現場調査の測定値を用いてパラメータ同定を行った。その上で、本グレイモデルを用いて適度な温熱環境と省エネルギーの両立をする最適運転パターンを求めた。本最適制御手法を適用することにより過剰な加熱(オーバーヒーティング)や冷却(オーバークーリング)を解消できることが示された。夏期2か月間の計算例では導入前に比べて削減率12.3%の高い省エネルギー性が得られる可能性があることが示された。さらに、断熱性と省エネルギーに関してLCC(ライフサイクルコスト分析)から導入効果や本対象建物に適用した場合の具体的な回収年数を示した。

第6章は、まとめと展望である。

これを要するに、著者は実験と数値計算から提案する最適化されたオープンタイプ凹型天井放射パネルシステムが従来型に比べて高い放熱性能を有すること検証し、さらに地下水熱ヒートポンプシステムに適用することにより、快適な室内温熱環境と省エネルギーを両立できることを実測と計算から示した。また、グレイモデルを開発し、これを用いた室内温熱的快適性と省エネルギー性を両立する最適運転制御の計算手法を示した。計算例では本最適制御を用いれば12%以上のエネルギー削減効果の可能性を示した。これは、建築分野におけるエネルギー消費量の大幅な削減、さらにはゼロカーボン社会の実現と地球温暖化防止の抑制に寄与するところ大である。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があるものと認める。