

氏名（本籍）	Dacquay Connor Mitchell（カナダ）
専攻分野の名称	博士（工学）
学位記番号	国博甲第16号
学位授与の日付	令和4年9月29日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	国際資源学研究科・資源学専攻
学位論文題目	地中熱交換器の熱的不均衡の防止；実現可能性，開発と実装
論文審査委員	（主査）教授 藤井 光 （副査）教授 長縄 成実 （副査）教授 安達 毅

論文内容の要旨

本論文は地中熱ヒートポンプ（GSHP）システムの構成要素である建築物，ヒートポンプ，地中熱交換器と周辺地盤を対象として，システム全体の熱的な不均衡による長期的な成績係数低下の防止を目的とする2件の研究成果をまとめたものである。本論文は全5章で構成され，第1章では世界における地中熱利用の位置づけや本研究の背景と目的についてまとめた。第2章では気候変動，ハイブリッド型GSHPシステム，提案するシステムに導入するエネルギーメーターについての概要を記載するとともに，本研究に関連する従来の研究について総括した。

第3章では透過度を変化できるガラス窓（EC窓）をGSHPシステムに導入することによる長期的なGSHPシステムの挙動最適化を目的とし，米国ミネソタ州の既設建築物に設置された冷暖房システムにおいて，EC窓の太陽熱取得係数を0.41, 0.25, 0.15, 0.09と変化させて20年間の地温の変化傾向とシステム効率を予測した。その結果，年間冷房需要はEC窓を完全着色状態で運転する場合，透明状態での運転と比べて32%減少する一方，予測される気候変動による過熱を防止するためには2040年に45.7 mのボーリング孔200本を追加することが必要と判断された。完全着色窓状態での平均システム成績係数は7.6と高く，導入するGSHPシステムは，CO₂排出量を30%削減し，従来型のボイラとチラーシステムの組み合わせより構成される冷暖房システムと比較して30年間の運転コストの現在価値（NPV）が142,273.65米ドル(26%)削減されることが示された。

第4章における研究では，将来の地中熱交換器の温度を動的に予測して，長期的な地盤中の熱的不均衡とそれに伴うGSHPシステムの効率低下を回避するソフトウェアとハードウェアパッケージの開発を行った。フィールド試験ではカナダのマニトバ州における大規模なオフィスビル(床面積：4,786m²)の地中熱交換器の測定データに基づいて，長期的な地盤中の熱収支を予測した。その結果，対象とした建物は使用人数の多さや内部で使用される電気機器の排熱により冷房排熱が支配的であり，現在のシステム稼働が続けば地中熱交換器を循環する熱媒体温度が16年後には35℃に達し，システム効率が大きく低下することが分かった。そこで，これを防止するために対象建

物の地中熱交換器の性能低下をモニタリングして修正する制御システムを開発した。具体的には補助空調機の設定温度を12.8℃と4.8℃の間でリアルタイムに調整することにより、地中熱交換器システムによる加熱量が81,122 kWhから120,453 kWhに増加し、20年間の地中熱交換器温度を32℃未満に維持できると予測された。開発したプロトタイプ空調システムは効率的な地中熱交換器システムと適切な地中熱交換器温度を維持するために重要な開発と判断される。

以上、本研究によって提案された GSHP システムの改善は、持続可能なグリーンテクノロジーの導入への重要な指針と考えられ、その成果は国内外におけるカーボンニュートラル実現に大きく貢献する業績であると判断される。

従って、本論文は博士（工学）の学位論文として十分価値のあるものと判断した。

論文審査結果の要旨

最終試験として、令和4年7月21日(木)13時00分～14時00分に審査委員会および博士論文公聴会を ZOOM によるリモート方式で実施した。審査委員会および博士論文公聴会においては藤井光審査委員会主査、安達毅審査委員、長縄成実審査委員の出席のもと、論文内容と関連事項に関して詳細な質疑応答を行うとともに、口頭による学力確認を行った。審査委員会では、

- ① 冷暖房システム経済性検討におけるの現在価値の算出方法、
- ② 数値シミュレーションと実測値の一部不一致の原因、
- ③ 提案された冷暖房システムのさらなる適用先、
- ④ 地表被覆の変更による地中熱交換器の性能改善の可能性、
- ⑤ 成績係数（COP）の推定法、

などに関する質問があったが、いずれに対しても学術的に明確な回答が得られた。以上の論文審査並びに口頭試問の結果、学位資格審査委員会は全員一致でダックエイ コナー ミッチェル氏が博士（工学）としての十分な資格があるものと判定した。