

氏 名（本 籍）	津谷駿介（秋田県）
専攻分野の名称	博士（工学）
学 位 記 番 号	国博甲第 7 号
学位授与の日付	令和 3 年 3 月 22 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（英文）	地中熱利用ヒートポンプシステムにおける水平型地中熱交換器の性能向上に関する研究
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 川村 洋平

## 論文内容の要旨

地球温暖化およびヒートアイランド現象を抑制するためには、地中熱利用ヒートポンプシステム（Ground Source Heat Pump, 以下 GSHP システムと称す）をはじめとする再生可能エネルギーの利用が重要である。GSHP システムは従来の空調機器と比較すると消費電力が小さく二酸化炭素の排出量も少ないが、地盤に設置する地中熱交換器（Ground Heat Exchanger, 以下 GHE と称す）に要する初期投資が高いことが普及阻害要因となっている。本研究では GSHP システムの普及促進を目指して、水平型 GHE の性能改善を目的に、地表面被覆が水平型 GHE に及ぼす影響および非開削工法（Horizontal Directional Drilling, 以下 HDD 工法と称す）の同 GHE への適用性について検討した。

本論文は全 6 章で構成され、各章の概要は以下の通りである。

第 1 章では研究の背景や目的、本論文の構成について述べた。

第 2 章では秋田市におけるフィールド試験施設で実施した 3 つの地表面被覆（アスファルト面、裸地面、芝生面）をもつ水平型 GHE を対象とした熱応答試験（Thermal Response Test, 以下 TRT と称す）の結果を示した。分析の結果、各地表面被覆下の水平型 GHE の温度変化量の分析の結果、芝生が最も熱交換効率を高める地表面被覆であることが確認された。次に、熱輸送解析シミュレーションソフト FEFLOW を用いて水平型 GHE と各地表面被覆の影響を考慮した周辺土壌の数値モデリングを行い、TRT の結果に基づくヒストリーマッチングによりモデルの妥当性を確認した。

第 3 章では佐賀市に設置した試験フィールドにおいて、HDD 工法により設置した 40 m の U 字管 GHE および 63 m の単管式 GHE で TRT を実施し、両 GHE を比較することで HDD 工法に最適な GHE の種類について検討した。その結果、熱干渉が生じないことから単管式 GHE の熱交換能力が従来型 GHE と比較して高いことが示された。

第 4 章では FEFLOW を用いて単管式 GHE と周辺土壌の数値モデルを構築し、同モデルを用

いた感度計算より GHE の呼び径の大きさや循環流量の違い、GHE 長さなどの諸条件が単管式 GHE の熱交換能力に及ぼす影響について評価した。さらに、HDD 工法にて埋設される単管式 GHE の経済的実用性について検討するために、従来式 GHE と設置コストを比較し、HDD 工法の費用対効果の高さを示した。続いて、GHE の設置深度の違いが熱交換能力に及ぼす影響について検討し、5 m 深に設置した GHE が最も高い性能を有することを示した。

第 5 章では HDD 工法で設置した単管式 GHE における TRT の適用性、熱交換能力および水平坑のサイズに応じた最適な循環流量について実用化を考慮した検討を行った。まず、佐賀市における計 3 回の TRT を通じて、推定される見かけの熱伝導率とヒストリーマッチング法で推定される見かけの熱交換伝導率を比較することで、TRT の適用性について検討した。次に、循環流量および循環方向の反転が GHE の熱交換能力が及ぼす影響について評価し、さらに単管式 GHE に内管を内挿することによる熱交換能力改善について検討した。

第 6 章では、本論文における各章の結果を総括し、今後の研究の課題について述べた。

以上の研究により、地表面被覆に検する検討及び HDD 工法の適用における分析いずれにおいても、水平型 GHE の性能向上の可能性が示され、GSHP システムのコスト削減が予想されたため、本研究は日本国内における GSHP システムの普及を促進し、温暖化対策に貢献すると推定される。

## 論文審査結果の要旨

最終試験として、令和 3 年 1 月 28 日(木)10 時 30 分～12 時 00 分に審査委員会および博士論文公聴会を国際資源学部 1 号館 N317 号室において実施した。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、長縄成実審査委員、川村洋平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 数値計算におけるメッシュ分割法、
- ② 地表面被覆が浅部土壌分布における温度分布に与える影響、
- ③ 地下水流れが GHE の運転挙動に及ぼす影響、
- ④ HDD 工法を用いた GHE 普及の将来見通し、
- ⑤ 本研究の工学的貢献、

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津谷駿介氏が博士（工学）としての十分な資格があるものと判定した。