

氏名（本籍）	谷口 聡子（佐賀県）
専攻分野の名称	博士（工学）
学位記番号	国博甲第9号
学位授与の日付	令和4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	地中熱利用による地下生態系への影響に関する研究
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 石山 大三

論文内容の要旨

地中熱は天候に左右されることのない安定した再生可能エネルギーであり、冷熱・温熱の双方で利用可能である点が大きなメリットである。一方で、地中熱利用は地下への排熱を伴うため、その適用による土壌内地下生態系への影響が懸念される。そこで、本研究では深度 2m の浅部地盤を利用した水平型地中熱交換器（HGHE）の運転による地温変動について考察し、国内で地中熱利用ヒートポンプ（GSHP と称す）システムの普及拡大を目指すなかで考慮すべき、地盤の熱変動に伴う地下生態系への影響について定量的な分析、評価を行った。

本論文は全 6 章で構成され、第 1 章では国内における地中熱の位置づけや研究の背景、目的についてまとめた。第 2 章では地中浅部における土壌微生物の概要を記載するとともに、土壌微生物を対象とした環境影響評価のための調査項目や評価方法について総括した。

第 3 章では茨城県つくば市内に導入した HGHE による GSHP システムの実証フィールドについて概説し、モニタリングデータを基に地盤浅部での GSHP システムの運転特性を示した。実証フィールドでは深度 2m までの地盤温度挙動を実測し、地表面からの降雨浸透や外気温等の気象条件に影響を受ける地盤内の温度変動の特徴について分析した。また、総延長 80m のコイル式 HGHE を用いた GSHP システムの冷暖房運転データにより、日射等の影響を受ける浅部地盤特有の温度変動が、システムの効率に蓄熱効果として寄与する可能性があることを示した。

第 4 章では、GSHP システムの稼働による地盤の熱変動が 2 年間繰り返された実証フィールドにおいて、地盤温度が 6.0～30.8℃の範囲で「熱の影響がある」土壌と「熱の影響がない」土壌、および冷暖房運転の繰り返しの過程で時間的に異なる土壌を用いて、微生物分析および土壌溶出溶液の化学分析を実施し、地中熱利用が地下の微生物群集に与える影響を相対比較することで定量的に評価した。病原性細菌の調査では期間中のサンプリング土壌すべてに潜在的病原性細菌が 3 種類検出されたが、これらの細菌は実証フィールドの土壌中にすでに存在していたものであり、地中熱による熱影響が直接作用して出現したものではないと判断された。また、熱影響あり・なし各々の土壌において微生物の群集構造（種類と存在割合）を調査した結果、両エリアで共通す

る細菌が概ね同程度の割合で検出され、統計学的に有意な差は認められなかった。さらに、微生物の物質循環に関わる代謝機能の観点から、関連する微生物数の定量および土壌溶出溶液中の化学成分濃度を測定した結果、期間中に採取したサンプリング土壌において 19 項目中 12 項目は検出定量下限値未満であり、熱影響あり・なしの土壌間で統計学上の有意差が認められた。一方で、有意差が認められたのは硫酸イオンおよび pH であったが、絶対量としては一般的な数値の範囲を示していることから、地盤温度変動による地下微生物への影響は小さいものと判断した。

第 5 章ではフィールドデータを利用したヒストリーマッチングにより、HGHE の数値シミュレーションモデルを構築した。数値モデルにより HGHE の設置周辺の熱影響範囲を推定し、数値シミュレーションによる予測計算の重要性を示した。

以上の研究により、浅部地盤での GSHP システムはエネルギー効率の観点から有効であること、適正な設計に基づく運転条件下での採放熱は、適正な温度範囲であれば地下微生物に有意な影響を及ぼさないことが示された。これらの知見は今後の GSHP システムの普及における重要な指針となると考えられるため、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された。

論文審査結果の要旨

最終試験として、令和 4 年 1 月 19 日(水)16 時 00 分～17 時 30 分に審査委員会および博士論文公聴会を ZOOM を用いたリモート方式により実施した。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、石山大三審査委員、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 フィールド試験における降雨の影響、
- ② GSHP システムの今後の導入課題、
- ③ 数値シミュレーションの条件設定、
- ④ 暖房運転における微生物への影響、
- ⑤ 本研究の微生物分析における既往研究からの改善点、

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谷口聡子氏が博士（工学）としての十分な資格があるものと判定した。