

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 9 月 13 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25289332

研究課題名(和文) 地中熱ポテンシャル評価手法の高度化と東北5地域における地中熱ポテンシャル評価

研究課題名(英文) Development of evaluation method for potentials and construct potential maps of Ground Source Heat pump system in Tohoku Regions, Northeast Japan

研究代表者

内田 洋平 (Uchida, Youhei)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・再生可能エネルギー研究センター・研究チーム長

研究者番号：90356577

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,400,000円

研究成果の概要(和文)：省エネルギー技術のひとつである地中熱利用システムは、深度50～100 m程度の地中に賦存している熱エネルギーを冷暖房や融雪等に利用する技術である。日本における地中熱利用システムの普及を考えた場合、その導入コストを下げ、システム効率の向上が重要であり、そのためには地域毎の地中熱利用システムに関わる地下情報をまとめる必要がある。

本研究では、地下水流動・熱交換量予測シミュレーションおよび温度応答試験に基づく東北地域主要エリアにおける地中熱ポテンシャルマップを作成した。そして、総合的な掘削費用の低コスト化を目指し、地球科学的な視点から適切な掘削深度・掘削地点の配置を示した。

研究成果の概要(英文)：Ground-source heat pump (GSHP) system is an energy efficient and environment friendly technology that utilizes natural heat energy stored in subsurface of 50-100 m depth for space heating and cooling, snow-melting etc. In order to promote the growth of GSHP system in Japan, reduction of initial cost and improvement of system efficiency are important. For this purpose, information on hydrogeology and subsurface temperature are essential.

In this study, potential maps for the installation of GSHP system was prepared for the major areas in Tohoku region, based on groundwater flow - heat exchange simulation and thermal response tests. In addition, suitable boring depth and boring locations were shown from geoscience perspective, aiming for the reduction in total cost of boring.

研究分野：水文地質学

キーワード：地中熱 地下水流動・熱輸送解析 東北地域 地中熱ポテンシャル評価

1. 研究開始当初の背景

我が国に、欧米と同様な地中熱ヒートポンプシステム（以下、GeoHP システム）を導入しようとする、現時点ではコスト面においてエアコン、石油ヒーター等従来システムと比較して必ずしも有利とは言えない。一方、我が国には欧米諸国と比較して大量の地下水が賦存しており、この水文学的特徴を GeoHP システムの設計に活かすことも、普及・促進に重要な要素の一つである。

本研究では、地中熱ポテンシャルマップの作成手法を高度化するため、実際に研究対象地域での温度応答試験や熱交換井の試験運転などを行い、モデルの精度を向上させる。最終的には、東北地方における代表的な平野・盆地地域において地中熱ポテンシャルマップを作成し、水文地質環境との比較検討を進めることにより、適切な掘削深度・掘削地点の配置を示し、総合的な掘削費用の低コスト化を目標とする。

2. 研究の目的

本研究の目的は、同研究期間内に複数地域における地中熱ポテンシャルマップを作成し、総合的な掘削費用の低コスト化を確立するため、水文地質環境との比較検討を行う。

まず、東北地域の主要エリアを研究対象地域として、既存の水文地質データの収集およびコンパイルを実施する。さらに、コンパイルした水文地質データに基づき、各地域における三次元地下水流動・熱輸送モデルを構築する。次に、構築したモデルを用いて地中熱ポテンシャルマップを作成する。さらに、現地において熱応答試験や熱交換井の試験運転を行い、それらのデータを作成したポテンシャルマップにフィードバックさせ、マップの高度化を図る。最後に、各地域のポテンシャルマップと水文地質環境との比較検討を行い、それぞれの地域における地中熱ポテンシャル分布の支配的要因を抽出することにより、掘削深度や掘削地点の最適化を行う。

以上の研究により、適切な掘削深度・掘削地点の配置を示し、総合的な掘削費用の低コスト化を実現することにより、東北地方に再生可能エネルギーの一つである地中熱利用システムの普及・促進を目指す。

3. 研究の方法

本研究の手法として、同研究期間内に複数地域における地中熱ポテンシャルマップを作成し、総合的な掘削費用の低コスト化を確立するため、水文地質環境との比較検討を行った。

第1段階として、福島県・郡山盆地、会津盆地、山形県・山形盆地、秋田県・秋田平野、青森県・津軽平野の5地域を研究対象地域として、既存の水文地質データの収集およびコンパイルを実施した。さらに、コンパイルした水文地質データに基づき、各地域における三次元地下水流動・熱輸送モデルを構築した。

第2段階として、構築したモデルを用いて、地中熱のポテンシャルを評価しマップ化を行った。さらに、現地において実施された熱応答試験や熱交換井の試験結果を作成したポテンシャルマップへフィードバックさせ、マップ高度化の手法を確立した。

4. 研究成果

(1) 水文地質データのコンパイルおよびモデル化

東北地方の主要5地域である福島県・郡山盆地、会津盆地、山形県・山形盆地、秋田県・秋田平野、青森県・津軽平野の5地域を研究対象地域として、既存の水文地質データの収集およびコンパイルを実施した。本報告書では、代表的な成果について述べる。

観測井が分布していない地域では、地下温度測定および水質分析のための採水を行った。水質分析については、現地で水文、pH、電気伝導度（以下 EC）を計測し、弘前大学において主要溶存成分（陰イオン：F⁻、Cl⁻、NO₂⁻、Br⁻、NO₃⁻、PO₄³⁻、SO₄²⁻、陽イオン：Li⁺、Na⁺、NH₄⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺）の分析を行った。また、酸素・水素安定同位体比に関しては技意中作業により分析を行った。これらの水質データは、地下水を直接利用するオープンループ型地中熱システムのポテンシャル評価に必要な不可欠な資料である。

また、コンパイルした水文地質データに基づき、東北主要5地域における3次元地下水流動・熱輸送モデルを構築した。モデルの構築に当たっては、WASY 社の3次元地下水流動・熱輸送解析コード FEFLOW を用いた。モデルの境界条件に関しては、流域全体における、その地域の地下水流速や地下温度分布を把握するため、周辺の山地・丘陵地の分水嶺を境界に設定した。

地中熱ポテンシャル評価の基礎となる広域地下水流動モデルは、過去の研究において構築したモデルを近年実施された熱応答試験（以下 TRT）結果に基づいて更新し、地下温度プロファイルの計算結果と実測値の一致が改善することを確認した。

次に、地中熱交換井の挙動に影響を及ぼす地下水位、地下水流速、第4系基盤深度などの熱交換量に対する感度を数値計算によって定量化し、これらのパラメータに重み付けを行った。最後に、これらのパラメータの平野内分布について GIS を用いて統合し、秋田平野における地中熱ポテンシャルマップを構築した。

表1 重み振り分け結果

	地下水位	第四系における地下水流速	地下温度	第四系の厚さ	
熱交換量[W]	最大値	1703	1800	1815	1879
	最小値	1565	1657	1467	1545
	差	138	143	148	334
重み[%]	18.1 (20)	18.7 (20)	19.4 (20)	43.8 (40)	

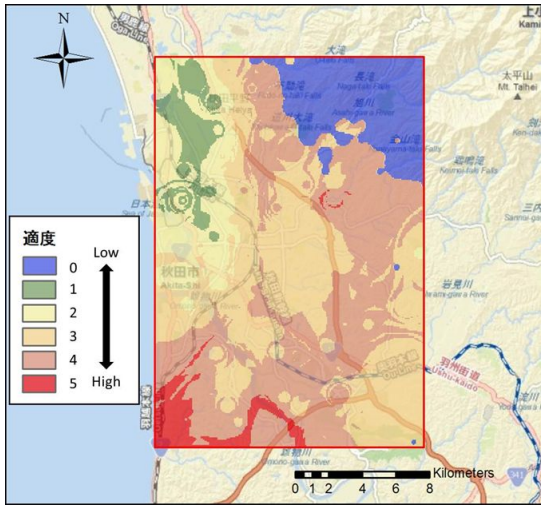


図1 秋田平野における地中熱ポテンシャルマップ

一方、福島県・会津盆地については、主要帯水層である第4系の形状が明らかになっていないため、既存の地質資料収集に加えて物理探査（微動アレイ探査）を実施した。2015年4月の調査では、アレイ半径0.6 mとして微動計を4点配置し、計62地点で測定を行った。盆地の中心部では、S波速度は200 m/s以下の値を示し、その速度層の層厚は中心部に近づくほど大きくなる傾向を示した。これは、盆地の中心部に向かうほど細粒な堆積物の割合が大きくなるためと考えられる。2015年11月の調査では、アレイ半径を25m、50m、100m、200mとして20地点で測定を行った。微動アレイ探査の解析結果と会津盆地北西部に位置する掘削資料とを比較したところ、深度1437mのグリーンタフ相当層とその下位の泥岩との境界において、速度層の境界が確認された。会津盆地北西部では、上記の泥岩が地震基盤である可能性が考えられる。これらの結果と水文地質データを併せて、会津盆地における3次元地下水流動・熱輸送モデルを構築した。会津盆地モデルでは、水理水頭分布や地下温度構造を現地測定データと調和的に再現できた。そして、冬季の地下水揚水により人為的に地下の温度が低下し

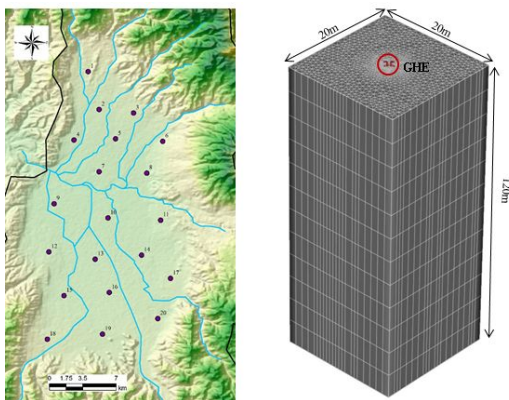


図2 熱交換量計算地点（左）と単一熱交換井モデル

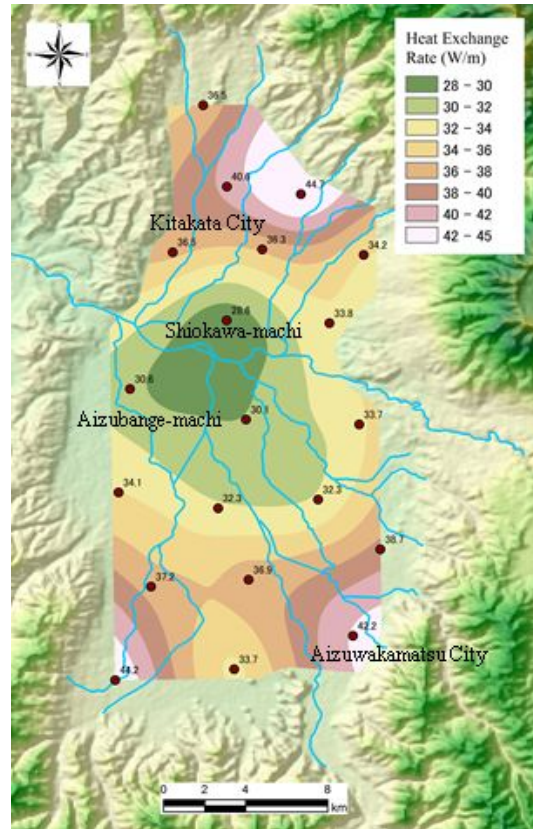


図3 会津盆地における熱交換量マップ

ている可能性をモデル計算で実証した。最後に、会津盆地モデル内に任意の20地点を設定し、単一熱交換井（GHE）モデルを構築し、会津盆地の地中熱ポテンシャル評価として熱交換量マップを作成した。

(2) 地中熱ポテンシャル評価の高度化

青森県・津軽平野は、地盤沈下の問題が過去に起こっておらず、地下水観測井が設置されていない地域である。そこで、3次元地下水流動・熱輸送モデルを検証するため、湧水地点の分布や、平野11ヶ所で実施されたTRTの結果を用いた。そして、津軽平野における見かけ熱伝導率の分布図を作成した。さらに、従来の地中熱ポテンシャル評価手法を高度化するため、ヒートポンプ性能曲線および熱交換井モデルを用いて、熱交換量の分布図およびヒートポンプの性能（COP：成績係数）分布の推定を試みた。

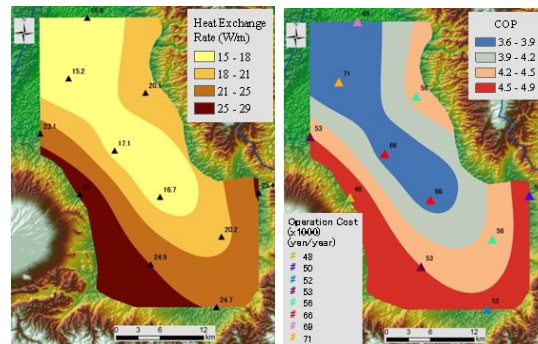


図4 熱交換量の分布図（左）とヒートポンプのCOP分布図

また、津軽平野を対象に地下水を直接利用するオープンループ型に対するポテンシャル評価も実施した。評価については、冷凍空調器用水質ガイドラインを用いた水質解析を行った。その結果、津軽平野では遊離炭酸の基準値超えが最も多く、次に pH で地下環境における有機物の分解に伴う CO₂ の生成が大きく寄与していることを示した。したがって、本地域におけるオープンループ型ヒートポンプの開発では遊離炭酸による腐食の耐久性が重要な課題となることを明らかにした。

秋田平野における地中熱ポテンシャル評価の高度化については、新たな適地評価方法として住宅における年間の冷暖房熱負荷を計算し、採熱シミュレーションを行うことで各地点の採熱に必要な熱交換井の長さを求めた。そして GIS を用いて地中熱交換井の長さを評価方法とした地中熱利用適地マップを作成した。その結果、秋田平野では地中熱交換井の必要長さが平野部で 60m から 90m となり、北西の海岸部において短くなる傾向が示された。

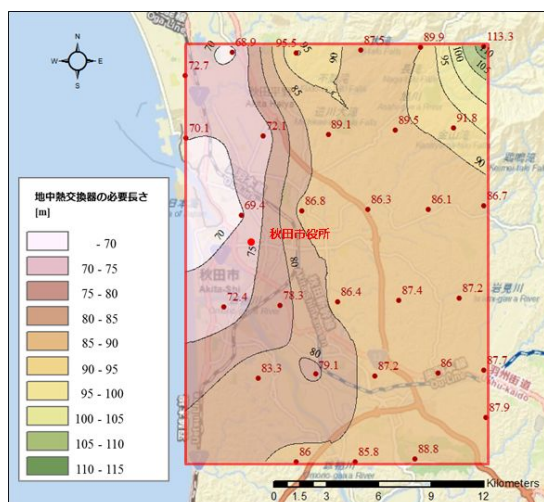


図 5 地中熱交換器の必要長さ分布図

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 1 件)

藤井 光・小助川洋幸・ハディ ファラビ・サイド ジャリリ ナスラバディ (2016) サーマルレスポンス試験の非充填型熱交換井への適用に関する実験的検討, 日本地熱学会誌, 査読有, Vol.38. (印刷中)

Shrestha, G., Uchida, Y., Yoshioka, M., Fujii, H., Ioka, S. (2015) Assessment of development potential of ground-coupled heat pump system in Tsugaru Plain, Japan, Renewable Energy, 査読有, Vol.76, 249-257

Fujii, H., Kosukegawa, H., Onishi, K. (2015) Effect of water injection into a ground heat exchanger drilled in a low- formation, Proc. World Geothermal Congress 2015, 査読有,

CD.

シュレスト ガウラブ・内田洋平・吉岡真弓・藤井 光・井岡 聖一郎 (2015) 地中熱ヒートポンプシステムにおけるポテンシャルマップの高度化, 日本地熱学会誌, 査読有, Vol. 37, 113-141.

内田洋平 (2014) 水文地質データを活用した地中熱研究, 地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム論文集, 査読有, CD-ROM, 5-8

Gaurav Shrestha, Youhei Uchida, Mayumi Yoshioka, Hikari Fujii, Seiichiro Ioka (2014) Assessment of development potential of ground-coupled heat pump system in Tsugaru Plain, Japan. Renewable Energy, 査読有, Vol. 76, 249-257

Ioka, S. and Muraoka, H. (2014) An estimate of energy availability via microbial sulfate reduction at a Quaternary aquifer in northern Japan considered for low temperature thermal energy storage., Water, 査読有, Vol.6, 858-867

井岡 聖一郎・村岡洋文 (2014) 脱窒反応における Q10 値 帯水層蓄熱と硝酸性窒素浄化の融合を目指して, 日本水文科学会誌, 査読有, Vol. 44, 122-133

内田洋平 (2014) 地域の水文環境を基盤とした地中熱研究, 地下水技術, 査読無, Vol.56, 53-60

駒庭義人・藤井 光・前原隆広・長直勝 (2013) 垂直型地中熱交換井への注水が熱交換能力に与える影響についてのフィールド試験による検討, 日本地熱学会誌, 査読有, Vol.35, 137-148

Fujii, H., Komaniwa, Y., Onishi, K., and Chou, N. (2013) Improvement of the capacity of ground heat exchangers by water injection, Geothermal Resources Council Transactions, 査読有, Vol.37, 589-594

〔学会発表〕(計 1 3 件)

Shrestha G., Uchida Y., Yoshioka M., Kuronuma S., Kaneko S. (2015) Performance evaluation of ground-source heat pump system and development of suitability map for its installation, 2015 AGU Fall Meeting, 2015.12.15, San Francisco (USA).

石原武志, 鈴木毅彦, 内田洋平 (2015) Shallow subsurface geology based on analysis of drilling cores and borehole data obtained in the Aizu basin, Northeast Japan, 2015 AGU Fall Meeting, San Francisco (USA) 2015.12.18.

内田洋平, 吉岡真弓, シュレスト ガウラブ, 館野正之, 黒沼 覚, 岡田真吾,

須藤 明德 (2015) 水文地質環境を活用した地中熱システムの開発, 日本地熱学会秋季講演会, 2015.10.21, 別府コンベンションセンター (大分県・別府市)

池田 稔, 藤井 光, 吉岡真弓, 内田洋平 (2015) 秋田平野における地中熱利用適地マップの高度化, 日本地熱学会秋季講演会, 2015.10.21, 別府コンベンションセンター (大分県・別府市)

井岡 聖一郎, 藤井 光, 鈴木陽大, 松田雅司, 村岡洋文 (2015) 青森県田舎館村における熱応答試験による浅層地盤の熱交換量の検証, 日本地熱学会秋季講演会, 2015.10.21, 別府コンベンションセンター (大分県・別府市)

シュレスタ ガウラブ, 内田洋平, 吉岡真弓, 金子翔平, 黒沼覚 (2015) 会津盆地における地中熱利用ポテンシャル評価, 日本地熱学会秋季講演会, 2015.10.21, 別府コンベンションセンター (大分県・別府市)

内田洋平・吉岡真弓・シュレスタ ガウラブ・高橋保盛・石原武志 (2014) 地域の水文環境を活用した地中熱システム開発, 日本地下水学会 平成 26 年度秋季大会, 2014.11.6, くまもと県民交流館パレア (熊本県・熊本市)

金子翔平・柴崎直明・内田洋平 (2014) 地下水温度測定にもとづく会津盆地における地下温度構造の特徴, 日本地熱学会平成 26 年学術講演会, 2014.10.30, 弘前大学 (青森県・弘前市)

シュレスタ・ガウラブ, 内田洋平, 吉岡真弓, 藤井 光, 井岡 聖一郎 (2014) 広域における地中熱利用の適地評価, 日本地熱学会 平成 26 年学術講演会, 2014.10.30, 弘前大学 (青森県・弘前市)

井岡 聖一郎・村岡洋文・内田洋平 (2014) 地盤の見かけ熱伝導率における地形と相対温度異常の役割, 2014 年度日本水文科学学会学術大会, 2014.10.4, 広島大学 (広島県・東広島市)

多田和広, 森 康二, 内田洋平, 吉岡真弓, 藤井 光, 山谷 睦 (2013) 仙台平野を対象とした陸面熱収支を考慮した水・熱輸送モデルの構築及び地中熱利用に関するケーススタディ, 日本地熱学会秋季講演会, 2013.11.8, 幕張メッセ (千葉県・幕張市)

シュレスタ・ガウラブ, 内田洋平, 吉岡真弓, 藤井 光, 井岡 聖一郎 (2013) 地中熱利用を目的とした地下水流動・熱輸送モデル構築のための温泉データ・TRT 結果の利活用, 日本地熱学会秋季講演会, 2013.11.7, 幕張メッセ (千葉県・幕張市)

Shrestha Gaurav, Uchida Youhei, Yoshioka Mayumi, Fujii Hikari, Ioka Seiichiro (2013) Development of potential maps for the installation of

ground-coupled heat pump system (2013) Assessing the installation potential of ground-coupled heat pump system using groundwater-heat transport model and GIS, Asian Geothermal Symposium, 2013.9.23, Tagaytay (Philippine)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

内田 洋平 (UCHIDA, Youhei)
産業技術総合研究所・再生可能エネルギー
研究センター・研究チーム長
研究者番号: 90356577

(2) 研究分担者

藤井 光 (FUJII, Hikari)
秋田大学・国際資源学部・教授
研究者番号: 80332526

井岡 聖一郎 (IOKA, Seiichiro)
弘前大学・北日本新エネルギー研究所・
准教授
研究者番号: 40598520

柴崎 直明 (SHIBASAKI, Naoaki)
福島大学・共生システム理工学類・教授
研究者番号: 70400588

船引 彩子 (FUNABIKI, Ayako)
日本大学・工学部・主任研究員
研究者番号: 30645487

(3) 連携研究者

吉岡 真弓 (YOSHIOKA, Mayumi)
産業技術総合研究所・再生可能エネルギー
研究センター・研究員
研究者番号: 10575492

シュレスタ ガウラブ (SHRESTHA, Gaurav)
産業技術総合研究所・再生可能エネルギー
研究センター・研究員
研究者番号: 40722418