

機関番号：11401

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2011～2013

課題番号：23246155

研究課題名(和文) ヒートアイランド現象の抑制を目指した冷房排熱の帯水層処分システムの実用化

研究課題名(英文) Mitigation of heat island phenomena by the application of heat disposal system to aquifers

研究代表者

藤井 光 (Hikari, Fujii)

秋田大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：80332526

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 29,500,000円、(間接経費) 8,850,000円

研究成果の概要(和文)：地中熱交換井においてクロスフローまたは注水により坑井内流れを発生させて地中熱利用システムにおける効率を増進させること目指して、実証試験を地質条件の異なる計4か所で実施した。その結果、クロスフローが得られる地盤では、熱移流効果により地中熱交換井長さを大幅に削減できること、クロスフローの存在しない地盤では、5L/min程度の注水量により熱交換効率が顕著に改善できることがわかった。また、シミュレータを用いた感度計算を実施し、過度の注水による改善効果は少なく、コストを考慮すると1-5L/min程度の少量の注水が妥当であること、注水温度を地層温度に近づけることが重要であることがわかった。

研究成果の概要(英文)：Field tests were carried out at four locations of various geological settings to enhance the heat exchange rate at ground heat exchangers in ground source heat pump systems by generating an artificial groundwater flow, i.e., cross flow or water injection. The field tests showed that the cross flow and the water injection of approximately 5 L/min remarkably enhance the heat exchange rates. A sensitivity study using a groundwater simulator showed that the excessive water injection rate wastes water resources and the injection rate of 1-5 L/min is most cost-effective. The study also showed that the temperature of the injected water should be close to the ground temperature to improve the energy efficiency.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学 地球・資源システム工学

キーワード：地中熱利用 地下水 注水 数値シミュレーション サーマルレスポンス試験

### 1. 研究開始当初の背景

地中熱利用ヒートポンプ(GeoHP)システムは冷房排熱を地中に処分するため、ヒートアイランド抑制効果が高く、東京都心部の全建造物が地下排熱を行なった場合、夏季昼間の気温が約 1.2 低下し、10%の冷房電力が削減されると試算されている。しかし、GeoHP システムでは地中熱交換井から熱伝導により周辺地盤へ排熱するため、熱交換井長さに対する排熱量は 30-50W/m と小さく、さらに熱交換井設置費用は 10,000 円/m 以上と高額であるため、敷地面積あたり排熱量の大きい大規模建造物への導入はコスト面から困難である。したがって、GeoHP システムの導入によるヒートアイランド対策には、井戸あたり排熱可能量の大幅な増加が必要である。

一般的な垂直型地中熱交換井では、坑井掘削後に U 字型パイプ(地中熱交換器)を挿入し、その後坑井内(アニュラス部)に充填材を注入する。研究代表者らは過去に弘前市の深度 70m~80m の 3 坑井において地中排熱試験を実施した。各井戸における充填材は Well-1、Well-2 はそれぞれ難透水性のセメント、高透水性の珪砂を用い、Well-3 は充填せずアニュラス部が地下水で満たされた状態とした。各試験において井戸を循環する熱媒体温度は顕著な差を示し、充填材による排熱能力の差が明らかとなった。この差は実験地においては深度 25m と 55m に高透水性の帯水層が存在し、下部帯水層の水頭が上部帯水層より約 3.5m 高いことに起因した。すなわち、セメントで充填した場合にはアニュラス部には地下水の流れは発生しないが、珪砂充填および非充填の場合はポテンシャル差により、下部帯水層から上部帯水層へと熱交換井内に垂直方向の地下水流れが発生して排熱は上部帯水層へと連続的に圧入され、温度上昇が非常に効率的に抑えられた。本研究はこの現象に注目し、フィールド試験・数値シミュレーションを通して、坑井内流れを利用した効率的な地中熱利用システムの実用化を目指した。

### 2. 研究の目的

ヒートアイランド現象は近年都市部で顕著であるが、その最も有効な対策の一つが地中熱利用技術による、冷房排熱の従来型大気放散から地中処分への転換であり、これにより夏季の気温を大幅に低下させることが可能と推定されている。本研究では、帯水層間のポテンシャル差または地表からの水圧入により熱交換井内に垂直方向の地下水流れを発生させ、前例のない冷房排熱の帯水層圧入処分によるゼロエミッション型冷房システムの構築を目指した。本システムでは熱交換井内の温度上昇が抑制されるため、必要な井戸長さ(初期投資)が削減され、さらにヒートポンプ効率改善による高い省エネ効果が達成される。そこで、本研究では地質条件の異なる国内各地において地下水流れを利用

したフィールド試験実施し、地下水流れの熱交換性能に与える影響について調査した。さらに、数値シミュレーションにより、同システムの最適設計について検討し、実用化を目指した。

### 3. 研究の方法

本研究では複数の帯水層を連結して地下水ポテンシャル差によりクロスフローを発生させた試験および、注水により坑井内流れを発生させる試験をそれぞれ 2 か所の試験地において実施した。また、両ケースにおいて地下水・熱輸送シミュレータ FEFLOW を用いてヒストリーマッチングと感度計算を行った。さらに、試験を実施した弘前平野においては地下水の広域流動系モデルを構築し、フィールド試験地における地下水流動状況との整合性を検討した。以下に研究方法の詳細を記す。

#### 地下水流れを利用した長期排熱試験

H23 年度は、帯水層間の地下水クロスフローによる地中熱交換量の増進効果の実証を目的として、青森県弘前市に設置された非充填仕上げの熱交換井において、坑井内部の地下水のクロスフロー流速を測定するとともに、高熱負荷を課した計 4 回の TRT を実施した。

H24 年度は青森県黒石市に青森県産業技術センター内の複数の帯水層が存在する地盤において、深度 80m の試験井を掘削し、ストレナ仕上げとした。同坑井では、地下水の流向流速測定を外注により実施し、坑井内流れの有無を確認した。同坑井においては熱負荷および U 字管本数を変化させて計 4 回の TRT を実施し、熱媒体温度および坑井内温度データを収集した。

H25 年度は福岡県糸島市および秋田市におけるクロスフローの存在しない地盤においてクロスフローが存在する地盤と同様の熱交換量を得ることを目指した試験を実施した。それぞれの試験地では深度 50m 及び 100m の試験井を掘削し、地表より注水を行いながら TRT を実施した。注水量は 0L/min から 20L/min まで変化させ、注水量が熱媒体温度の増加に与える影響について検討した。

また、フィールド試験と並行して、各実験地の地質条件に基づいて数値シミュレーションモデルを作成し、TRT の結果との比較によりモデルの検証を行った。そして、同モデルを用いて注水量及び注水温度に関する感度計算を行い、最適な注水条件について検討した。

#### 地下水フィールド調査と広域地下水流動系モデリング

H23 年度は弘前平野において観測井、民間の井戸、湧水および河川水を対象に、温度測定および水質分析のための採水を行った。温度測定はデジタルサーミスタ温度計(分解能 0.01 )を用いて、深度 2m 間隔で測定した。

水質分析は現地にて水温、pH、電気伝導率を、産総研にて主要溶存成分濃度を測定した。

H24年度は次に地下水調査結果および既存の地質情報に基づき、地下水・熱輸送モデリングソフト FEFLOW を用いて弘前平野および周辺山地の地下水流動系を再現する広域モデルを構築し、観測井における地下水位・水温の測定値および地下水流向流速測定の結果を用いてモデルを検証した。

#### 4. 研究成果

##### 地下水流れを利用した長期排熱試験

H23年度における帯水層間の地下水クロスフローによる地中熱交換量の増進効果の実証試験では、青森県弘前市に設置された非充填仕上げの熱交換井において、坑井内部の地下水のクロスフロー流速を測定するとともに、高熱負荷を課した計4回のTRTを実施した。その結果、クロスフローの熱移流効果により、180W/mを超す高負荷の排熱時においても10日間での熱媒体温度の上昇が15以下と小さく抑えられ、さらに排熱終了後には温度回復が著しく速いことがわかった。これは、本形式の熱交換井を採用したGeoHPシステムにおいて地中熱交換井長さを大幅に削減でき、さらにエネルギー効率の経時的な低下が非常に小さいことを示しており、クロスフロー導入の有効性が明らかとなった。また、本効果は藤井ほか(2011)において試算された、揚水による熱交換量増進と比較して効果が顕著であり、また揚水ポンプ動力も不要であることから、揚水の導入と比較して有効な熱交換量増進法と考えられた。一方、クロスフローの流入する帯水層では3メートル以上離れた地点においても短時間で温度の上昇が見られるため、システム設計においては地盤温度の変化に関する検討は重要と考えられた。

H24年度の青森県黒石市におけるフィールド試験では深度80mの試験井をストレーナ仕上げとし、地下水の流向流速測定を外注により実施した。その結果、深度80m付近の帯水層から深度30m付近の帯水層に向けて0.1m/minの地下水のクロスフローが存在することがわかった。そこで、同坑井において熱負荷およびU字管本数を変化させて計4回のTRTを実施し、熱媒体温度および坑井内温度データを収集した。その結果、同坑井では地下水のクロスフローにより熱媒体温度の上昇が抑えられ、熱交換井の能力が増進されることがわかった。また、熱交換井の断面積によりクロスフローの流量が決まるため、同坑井ではシングルU字管とダブルU字管が同程度の能力を発揮するということがわかった。

H25年度の福岡県糸島市および秋田市で実施した、クロスフローの存在しない地盤におけるフィールド試験では、それぞれ深度50m及び100mの試験井において、地表より注水を行いながらTRTを実施した。注水量は

0L/minから20L/minまで変化させ、注水量が熱媒体温度の増加に与える影響について検討した。その結果、両坑井において5L/min程度までは温度上層が効果的に抑えられたがこれを超過した場合温度増加抑制効果は小さくなることがわかった。

次に、弘前市および糸島市におけるTRTでは、実験値の地質条件に基づいて数値シミュレーションモデルを作成し、TRTの結果を用いてチューニングを行った。その結果、数値モデルは全TRTの結果を良好に再現することができた。そこで、同モデルを用いて注水量及び注水温度に関する感度計算を行い、最適な注水条件について検討した。その結果、5/minを超える過度の注水による改善効果は少なく、水の調達コストを考慮すると1-5L/min程度の少量の注水が妥当であるとの結果を得た。また、注水温度を地層温度に近づけることにより高い熱交換量増進効果が得られることがわかった。

以上より注水を伴う地中熱交換井の導入は、地下水流れが存在しない地盤に設置した地中熱利用システムにおいて、熱交換井長さ削減効果を持ち同システムの採算性向上に貢献することがわかった。

##### 地下水フィールド調査と広域地下水流動系モデリング

弘前平野の地質情報に基づいて構築した弘前平野の広域地下水流動系モデルはH23に実施した地下水フィールド調査結果にも続いて校正され、観測井における水位及び坑井内温度プロファイルが良好に再現された。また、同モデルはH23年に弘前市でH24年に黒石市で実施したTRT結果及び地下水流向流速測定結果に良好に一致し、同モデルの妥当性が検証された。

次に同モデルにより地下水流速、地中温度そして、地域における土地利用状況をGIS(地理情報システム)を用いて統合し、弘前平野周辺における地中熱利用適地マップを作成した。同モデルは地域における地中熱利用の重要な指針となると考えられる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 27件)

1. 藤井 光, 野本卓也, 大島和夫, 石上 孝, 谷口聡子, 山口雅登(2011) 垂直型地中熱交換井における地下水揚水による熱交換量増進の評価, 日本地熱学会誌, Vol.33, No.2, 67-76.(査読あり)
2. Fujii, H., Komaniwa, Y., Nomoto, T., Chou, N. (2011) Reduction of thermal resistance of ground heat exchangers using large grain size materials, Geothermal Resources Council Transactions, Vol.35, 1095-1100. (査

- 読あり)
3. Fujimoto, M., Fujii, H., Nagano, K. (2011) Numerical modeling of large-scale cluster of vertical ground heat exchangers, Geothermal Resources Council Transactions, Vol.35, 1101-1105. (査読あり)
  4. 駒庭義人・藤井 光・長 直勝・藤田幸人 (2011) 砂利充填された地中熱交換井の熱交換能力に関しての室内実験による評価, 日本地熱学会誌, Vol.33, 169-178. (査読あり)
  5. Nomoto, T., Fujii, H., Uchida, Y., Shimada, J. (2011) 3D numerical simulation of subsurface temperature distribution in Kumamoto Plain for application of geothermal heat pump systems, Proc. Int. Symposium on Earth Science & Technology 2011, 237-242. (査読あり)
  6. Fujimoto, M., Fujii, H., Komaniwa, Y., Chou, N. (2011) Experiments and numerical study on the effects of filling materials in ground heat exchangers, Proc. Int. Symposium on Earth Science & Technology 2011, 243-246. (査読あり)
  7. Komaniwa, Y., Iwata, K., Fujii, H., Ishikami, T., Taniguchi, S., Ohshima, K., Chou, N. (2011) Development of a Numerical Model of Greenhouses for Estimating Heating and Cooling Load to Minimize Initial Cost of Geothermal Heat Pump Systems, Proc. Int. Symposium on Earth Science & Technology 2011, 529-532. (査読あり)
  8. Fujii, H., Nishi, K., Komaniwa, Y., Chou, N. (2012) Numerical modeling of Slinky-coil horizontal ground heat exchangers, Geothermics Vol.41, No.1, 55-62. (査読あり)
  9. 藤井 光・駒庭義人・石上 孝・長 直勝・大島和夫・谷口聡子(2012) 2層構造を導入した直管式及びSlinky-coil式水平型地中熱交換器のフィールド試験, 日本地熱学会誌, Vol.34, 37-46. (査読あり)
  10. Fujii, H., Maehara, T., Komaniwa, Y., Chou, N., Ishikami, T. (2012) Field Tests and Numerical Modeling of Double-layered Straight Horizontal Ground Heat exchangers, Proc. InnoStock 2012, Paper No. INNO-U-05. (査読なし)
  11. Fujimoto, M., Fujii, H., Komaniwa, Y., Chou, N. (2012) Experiments and numerical study on the effects of filling materials in ground heat exchangers, Proc. InnoStock 2012, Paper No. INNO-U-63. (査読なし)
  12. Fujii, H., Yamasaki, S., Maehara (2012) Numerical modeling and sensitivity study of Slinky-coil ground heat exchangers, Proc. FEFLOW User Conference. (査読なし)
  13. Yoshioka, M., Uchida, Y., Fujii, H., Yamaya, M. (2012) Groundwater flow and heat transfer modeling to estimate the area suitable for ATES, Proc. FEFLOW User Conference. (査読なし)
  14. Inoue, Y., Fujii, H., Komaniwa, Y., Ioka, S. (2012) Evaluation on the effect of crossflow of groundwater on heat exchange rates in vertical ground heat exchangers, Proc. Int. Symposium on Earth Science & Technology 2012, 221-225. (査読あり)
  15. Maehara, Y., Fujii, H., Komaniwa, Y., Chou, N. (2012) Evaluation on the Effect of Water Injection on Heat Exchange Rates in Vertical Ground Heat Exchangers, Proc. Int. Symposium on Earth Science & Technology 2012, 273-277. (査読あり)
  16. 藤井光・駒庭義人・井岡聖一郎・渡部敦史・井上陽平(2012) 垂直型地中熱交換井における地下水のクロスフローが熱交換量に及ぼす影響の評価, 日本地熱学会誌, Vol.34, 175-183. (査読あり)
  17. 野本卓也・藤井 光・内田洋平・利部 慎・嶋田 純(2012) 地球温暖化対策効果から見た温暖地方における地中熱利用可能性, 日本地熱学会誌, Vol.34, 185-197. (査読あり)
  18. Fujii, H., Yamasaki, S., Maehara, T. (2013) Numerical modeling of Slinky-coil horizontal heat exchangers considering snow coverage effects, Proc. Stanford Geothermal Workshop 2013, 1378-1383. (査読なし)
  19. Maehara, T., Fujii, H., Ioka, S., Watabe, A. (2013) Field test of ungrouted ground heat exchangers with in-hole vertical groundwater flow, Proc. Stanford Geothermal Workshop 2013, 1403-1407. (査読なし)
  20. Fujii, H., Yamasaki, S., Maehara, T., Ishikami, T., Chou, N. (2013) Numerical simulation and sensitivity study of double-layer Slinky-coil horizontal ground heat exchangers, Geothermics, Vol.47, 61-68. (査読あり)
  21. 井岡聖一郎・村岡洋文・南條宏肇・藤井光・坂本隼人, 長内利夫 (2013) 青森県における地盤の見かけ熱伝導率, 日本地熱学会誌, Vol. 35, 105-110(査読あり)
  22. 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関してのフィールド試験による検討, 日本地熱学会

- 誌, Vol.35, 137-148. (査読あり)
23. Fujii, H., Komaniwa, Y., Onishi, K., Chou, N. (2013) Improvement of the capacity of ground heat exchangers by water injection, Geothermal Resources Council Transactions, Vol.37, 589-594. (査読あり)
  24. Li, H., Nagano, K., Li, Y., Shibata, K., Fujii, H. (2013) Evaluating the performance of a large borehole ground source heat pump for greenhouses in northern Japan, Energy, Vol.63, 387-399. (査読あり)
  25. Inoue, Y., Itoi, R., Chou, N., Okubo, H., Chou, N., Fujii, H. (2013) Effects of injecting water into the well on heat exchange rates on vertical ground heat exchangers, Proc. Int. Symposium on Earth Science & Technology 2013, 262-267. (査読あり)
  26. Maehara, T., Fujii, H., Itoi, R., Yamaya, M., Uchida, Y., Yoshioka, M. (2013) Numerical modeling of aquifer thermal energy storage system for Optimal operation scenario, Proc. Int. Symposium on Earth Science & Technology 2013, 366-374. (査読あり)
  27. Inoue, Y., Itoi, R., Chou, N., Okubo, H., Fujii, H. (2014) Enhancement of Heat Exchange Capacity of Ground Heat Exchangers by Injecting Water into Wells, Proc. Stanford Geothermal Workshop 2014, paper No. SGP-TR-202. (査読なし)

[学会発表](計 27件)

1. Fujimoto, M., Fujii, H., Nagano, K., Numerical modeling of large-scale cluster of vertical ground heat exchangers, Geothermal Resources Council, 2011.10.25, San Diego, USA.
2. Fujii, H., Komaniwa, Y., Nomoto, T., Chou, N., Reduction of thermal resistance of ground heat exchangers using large grain size materials, Geothermal Resources Council, 2011.10.25, San Diego, USA.
3. 内田洋平, 吉岡真弓, 藤井光, 山谷睦, 帯水層蓄熱冷暖房システムの適地評価手法の開発, 日本水文科学会, 2011.10.08, 茨城県つくば市.
4. 吉岡真弓・内田洋平・藤井光・山谷睦, 帯水層蓄熱冷暖房システムの適地評価手法の開発その2 山形盆地の広域地下水流動熱輸送シミュレーション, 日本地熱学会, 2011.11.10, 茨城県指宿市.
5. 内田洋平・吉岡真弓・藤井光・山谷睦, 帯水層蓄熱冷暖房システムの適地評価手法の開発 その1. 山形盆地における

- 水文・地下温度環境, 日本地熱学会, 2011.11.10, 鹿児島県指宿市.
6. 谷口聡子・大島和夫・渡部敦史・石上孝・藤井光・駒庭義・長直勝, フィールド試験による水平型熱交換器の効率比較, 日本地熱学会, 2011.11.10, 鹿児島県指宿市.
  7. 山崎将平・藤井光・駒庭義人・石上孝・長直勝, さまざまな埋設方法を用いた水平型地中熱交換器の数値シミュレーション, 日本地熱学会, 2011.11.10, 鹿児島県指宿市.
  8. 藤本将史・藤井光・駒庭義人・長直勝, グラウト材の異なる熱交換井の熱交換能力に関する実験と数値モデリング, 日本地熱学会, 2011.11.10, 鹿児島県指宿市.
  9. Nomoto, T., Fujii, H., Uchida, Y., Shimada, J., 3D numerical simulation of subsurface temperature distribution in Kumamoto Plain for application of geothermal heat pump systems, International Symposium on Earth Science and Technology 2011, 2011.12.01, Fukuoka.
  10. Fujimoto, M., Fujii, H., Komaniwa, Y., Chou, N., Experiments and numerical study on the effects of filling materials in ground heat exchangers, International Symposium on Earth Science and Technology 2011, 2011.12.01, Fukuoka.
  11. Komaniwa, Y., Iwata, K., Fujii, H., Ishikami, T., Taniguchi, S., Ohshima, K., Chou, Development of a Numerical Model of Greenhouses for Estimating Heating and Cooling Load to Minimize Initial Cost of Geothermal Heat Pump Systems, International Symposium on Earth Science and Technology 2011, 2011.12.01, Fukuoka.
  12. Fujimoto, M., Fujii, H., Komaniwa, Y., Chou, N., Experiments and numerical study on the effects of filling materials in ground heat exchangers, InnoStock 2012, 2012.05.01, Llieda, Spain.
  13. Fujii, H., Maehara, T., Komaniwa, Y., Chou, N., Ishikami, T., Field Tests and Numerical Modeling of Double-layered Straight Horizontal Ground Heat exchangers, InnoStock 2012, 2012.05.01, Llieda, Spain.
  14. 内田洋平・吉岡真弓・藤井光・山谷睦, 帯水層蓄熱冷暖房システムの適地評価手法の開発, 日本地下水学会春季講演会, 2012.05.26, 東京都文京区.
  15. 吉岡真弓・内田洋平・藤井光・山谷睦, 山形盆地における帯水層蓄熱冷暖房システムの適地評価, 日本地下水学会春季

- 講演会,2012.05.26,東京都文京区.
16. 井上陽平,藤井光,駒庭義人,井岡聖一郎,帯水層間の地下水流れを伴う地中熱交換井の熱交換能力の評価,日本地下水学会秋季講演会,2012.09.27,東京都文京区.
  17. 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,津軽平野における地中熱ポテンシャル評価,日本地熱学会,2012.10.24,秋田県湯沢市.
  18. 谷口 聡子,石上 孝,渡部 敦史,大島 和夫,藤井光,長 直勝,コイル型水平熱交換器の長期運転実績評価,日本地熱学会,2012.10.24,秋田県湯沢市.
  19. 山崎 将平,藤井光,石上 孝,長 直勝,駒庭 義人,さまざまな地表面条件における水平型地中熱交換器の数値シミュレーション,日本地熱学会,2012.10.24,秋田県湯沢市.
  20. 吉岡真弓,内田洋平,藤井光,山谷 睦,秋田平野における帯水層蓄熱冷暖房システムの適地評価,日本地熱学会,2012.10.24,秋田県湯沢市.
  21. 前原 隆広,藤井光,駒庭 義人,長 直勝,石上 孝,直管式水平型地中熱交換器のフィールド試験及び数値シミュレーション,日本地熱学会,2012.10.24,秋田県湯沢市.
  22. Fujii, H., Yamasaki, S., Maehara, T., Numerical modeling of Slinky-coil horizontal heat exchangers considering snow coverage effects, Proc. Stanford Geothermal Workshop, 2013.2.13, Stanford, USA.
  23. Maehara, T., Fujii, H., Ioka, S., Watabe, A. (2013) Field test of ungrouted ground heat exchangers with in-hole vertical groundwater flow, Proc. Stanford Geothermal Workshop, 2013.2.13, Stanford, USA.
  24. 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,2013.11.07,千葉市.
  25. 井上 陽平,糸井 龍一,長 直勝,大久保博晃,藤井光(2013),垂直型地中熱交換器への注水による熱交換能力への影響,日本地熱学会秋季講演会,2013.11.07,千葉市.
  26. 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,2013.11.08,千葉市.
  27. 前原 隆広,藤井光,糸井 龍一,山谷 睦,内田洋平,吉岡真弓(2013),帯水層蓄

熱冷暖房システムにおける数値モデルの構築及び最適稼動シナリオの検討,日本地熱学会秋季講演会,2013.11.08,千葉市.

〔図書〕(計 1件)

1. 分担執筆(藤井光を含む46名)(2014) 地熱エネルギーハンドブック,地熱エネルギーハンドブック刊行委員会編,オーム社, p923.

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)  
取得状況(計 0件)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

藤井光(FUJII, Hikari)  
秋田大学・大学院工学資源学研究所・教授  
研究者番号: 80332526

### (2) 研究分担者

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

村岡洋文(MURAOKA, Hirofumi)  
弘前大学・北日本新エネルギー研究所・教授  
研究者番号: 20358146

井岡聖一郎(IOKA, Seiichirou)  
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

吉岡真弓(YOSHIOKA, Mayumi)  
産業技術総合研究所・福島再生可能エネルギー研究所・研究員  
研究者番号: 10575492

### (3) 連携研究者

なし