

再生可能エネルギー熱利用技術研究開発/
地中熱利用トータルシステムの高効率化技術開発及び規格化、および
再生可能エネルギー熱利用のポテンシャル評価技術の開発/
地下水を利活用した高効率地中熱利用システムの開発とその普及を
目的としたポテンシャルマップの高度化

発表者名: 山谷 睦(日本地下水開発(株))

日本地下水開発(株)

(国)秋田大学

(国研)産業技術総合研究所

ゼネラルヒートポンプ工業(株)(再委託)

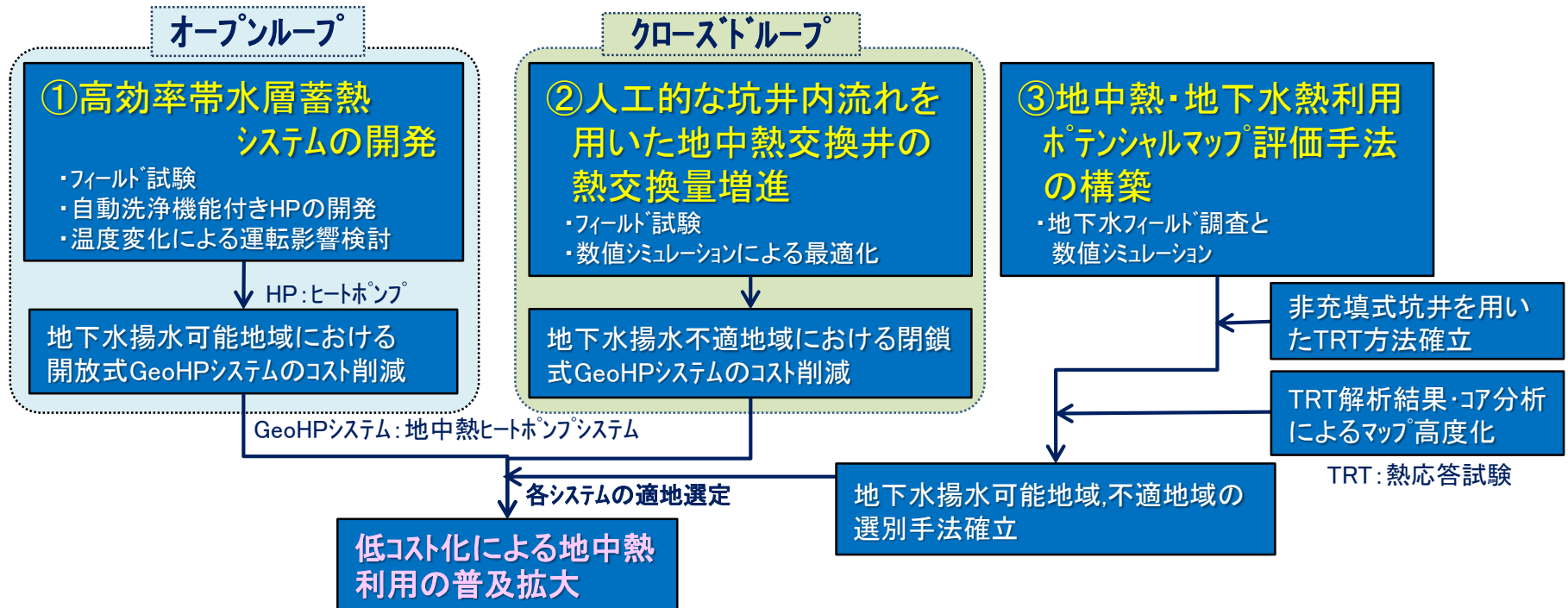
中外テクノス(株)(再委託)

問い合わせ先
日本地下水開発株式会社
E-mail: webmaster@jgd.jp
TEL: 023-688-6000

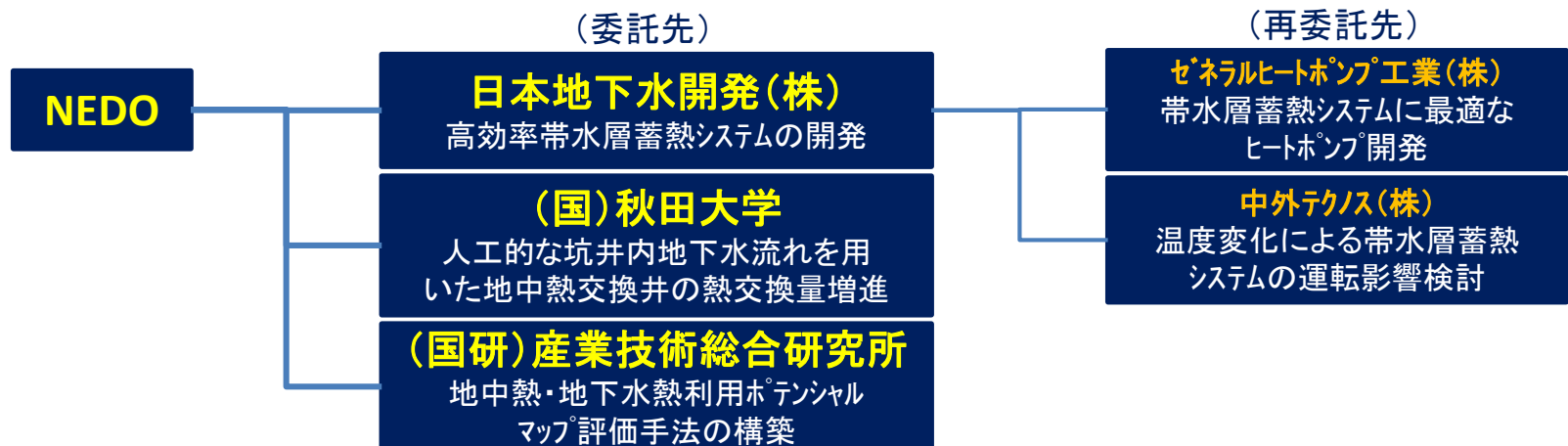
事業概要

1. 期間 開始:2014年7月 終了:2018年2月
2. 最終目標 産学官の三者連携による取り組みにより、インシャルコスト削減に加え、地下水を利活用することによって地中熱利用システムの高効率化によるランニングコスト削減を達成して日本全国への普及を図り、日本全体での省エネルギーと二酸化炭素排出量の大幅削減を実現させることを最終目的としている。
3. 成果・進捗概要
 - (1) 高効率帯水層蓄熱システムの開発(日本地下水開発(株))
 - 1) 地下水注入方法の検討
→2016年度冬期稼働から4シーズン、 $2,748\text{m}^3 \sim 9,361\text{m}^3$ の地下水を揚水し、密閉型井戸により100%注入を実現
→従来型オープンループシステムと比較して、インシャルコストは21%低減可能、年間ランニングコストは31%低減可能
 - 2) 太陽光集熱器を用いた帯水層の温度回復
→太陽光集熱器活用で、冷房稼働時に温熱増強を図り、暖房排熱の打ち消し可能を実証
 - 3) 帯水層蓄熱システムに最適なヒートポンプ開発(ゼネラルヒートポンプ工業(株)(再委託))
→電磁処理装置を組み込んだヒートポンプユニットを実稼働で使用し、3シーズン使用後の分解内部チェックで汚れ付着なし
→フィールド試験結果から、冷却時:COP9.0~9.8(目標:6.35)、加熱時COP:5.6~6.3(目標:5.80)で目標達成
 - 4) 温度変化による帯水層蓄熱システムの影響評価(中外テクノス(株)(再委託))
→地下水中の微生物・群集構造分析結果と化学分析結果から、システム稼働に伴う温度変化の影響はない
 - (2) 人工的な坑井内地下水流れを用いた地中熱交換井の熱交換量増進((国)秋田大学)
 - 1) 揚水・注水による熱交換量改善の検討
→2014年度業務で、揚水・注入により熱媒体温度上昇の抑制効果が大きくなることを確認済み
 - 2) 半開放式地中熱利用システムの長期運転試験とその評価
→実証施設での長期運転試験によって、 $15\text{L}/\text{min}$ 揚水時に約14%のCOP改善効果を確認
 - 3) フィールドデータに基づく数値モデル構築・感度計算と経済性の検討
→半開放式地中熱システムを導入した場合、20年間トータルコストを秋田市で最大34%、東京都で最大44%削減可能
 - (3) 地中熱・地下水熱利用ポテンシャル評価手法の構築((国研)産業技術総合研究所)
 - 1) 東北各県主要地域における地中熱ポテンシャルマップの作成
→津軽平野・秋田平野・仙台平野・郡山盆地・山形盆地の5地域でクローズドループとオープンループのポテンシャルマップ完成
 - 2) 既存水井戸にU字管を仮設置したTRTによる多地点における採熱量推定
→2015年度業務で、秋田大と共同で内径100mmまでの充填と非充填のTRT仕様の妥当性を確認済み
 - 3) TRT結果に基づくポテンシャルマップの高度化
→東北主要5地域のポテンシャルマップに熱物性実測値やTRT結果を反映させて高度化を完了

事業フローと事業実施体制

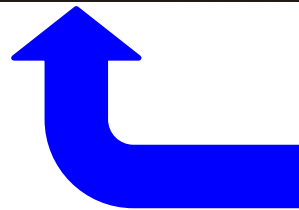
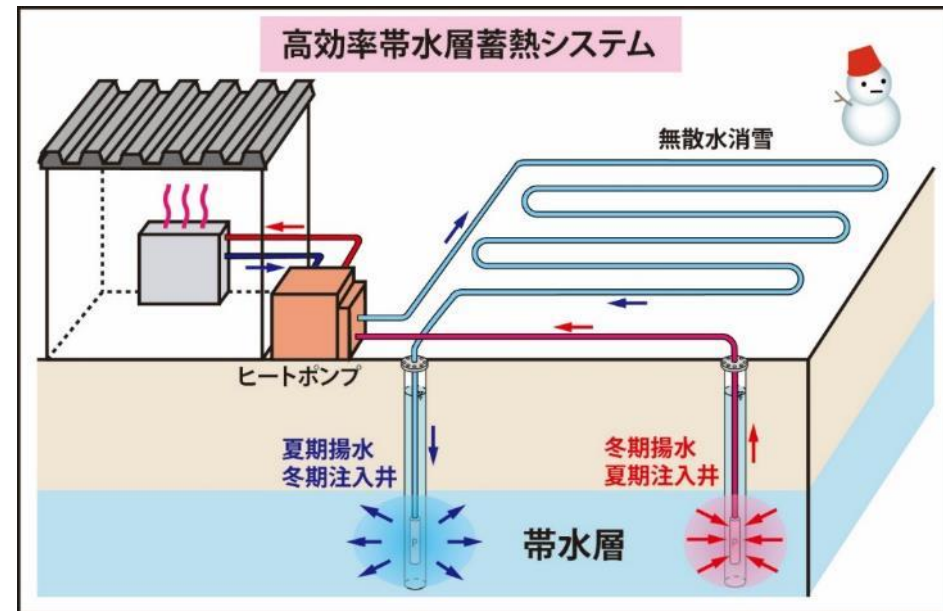
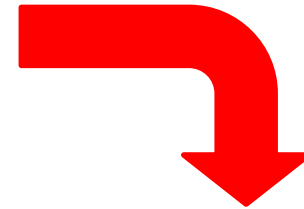
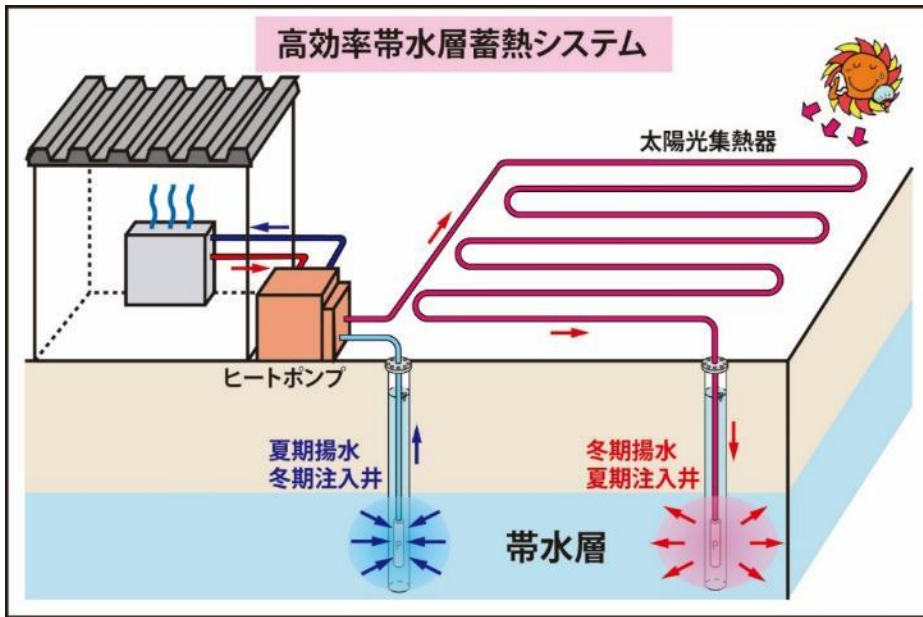


本事業のフロー



事業実施体制 『チーム東北』

高効率帯水層蓄熱システムの概要



☆帯水層蓄熱システムの特徴

- ・流れの遅い地下帯水層に冬期の冷熱、夏期の温熱を蓄える
- ・基本的に2本の井戸を冬期と夏期で交互利用
- ・通常の地下水温よりも、冬期は高く、夏期は低い地下水を利用可能
- ・蓄熱効果により冷暖房効率が向上し、ランニングコストを大幅削減

①-1) 地下水注入方法の検討

年度	暖・冷房	期 間	揚注水量	<u>注入率</u>
2016年度	暖房	2016.10.24～2017.4.28	8,257 m ³	<u>100 %</u>
2017年度	冷房	2017.5.27～2017.9.27	2,748 m ³	<u>100 %</u>
	暖房	2017.10.11～2018.5.15	9,361 m ³	<u>100 %</u>
2018年度	冷房	2018.5.16～2018.10.19	2,936 m ³	<u>100 %</u>

システム稼働開始以降、オーバーフローなく100%注入を継続



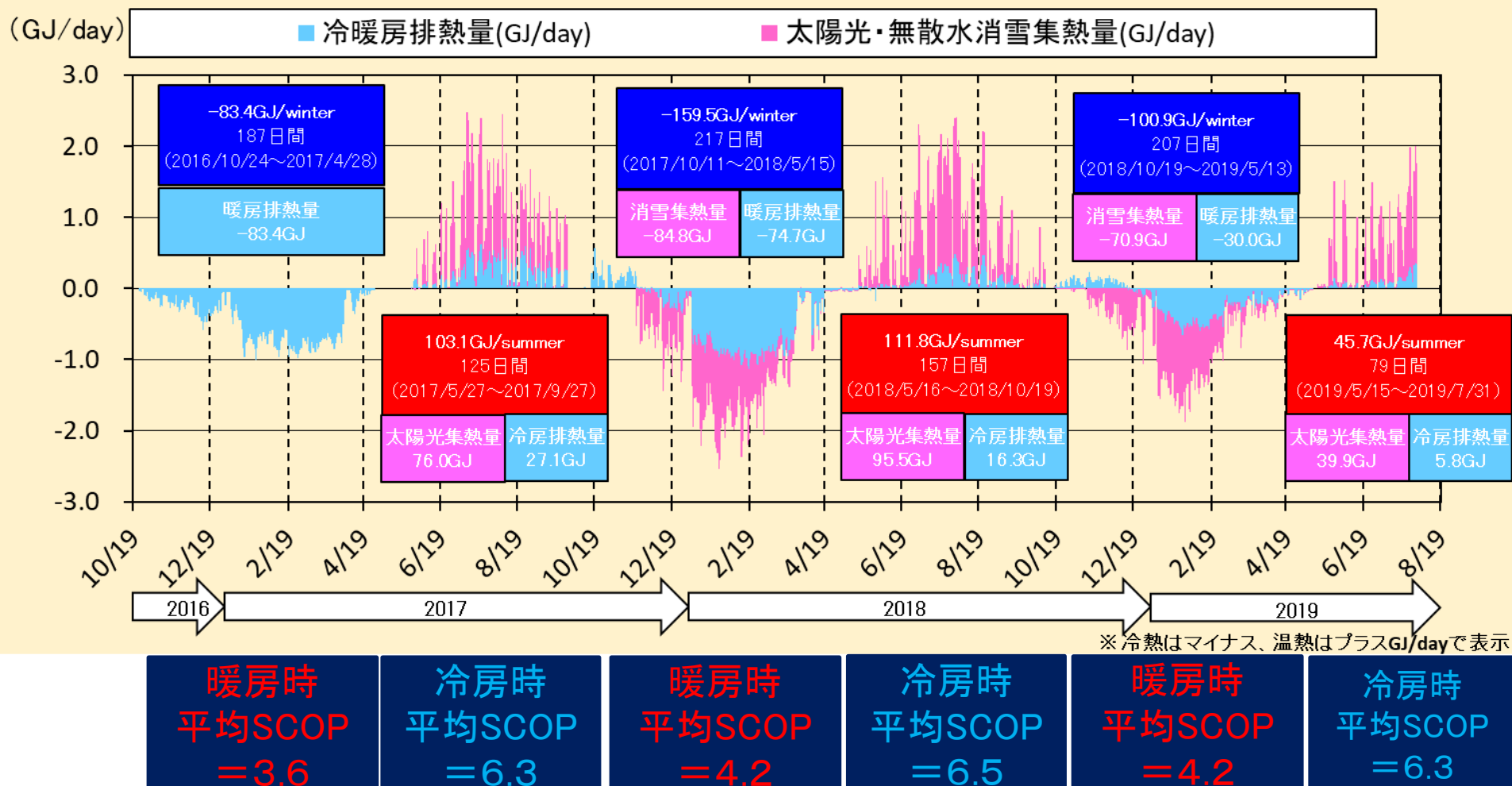
- ◎密閉型井戸の有効性を確認
- ◎インバーター制御による揚水量抑制も有効と評価

セメンチング遮水し、フランジ蓋で密閉した井戸

高効率帯水層蓄熱システムの開発 日本地下水開発(株)

①-2) 太陽光集熱器を用いた帯水層の温度回復

- ・太陽光集熱器によって
 - 冷房時に冷房排熱の約3倍の温熱増強(3.8倍増)可能
 - 暖房時に暖房排熱と同等の冷熱増強(倍増)可能を実証

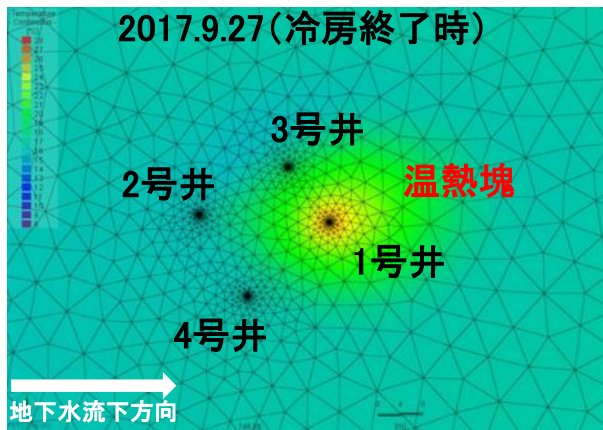


冷房・暖房稼働時における冷熱・温熱の注入量と平均SCOP

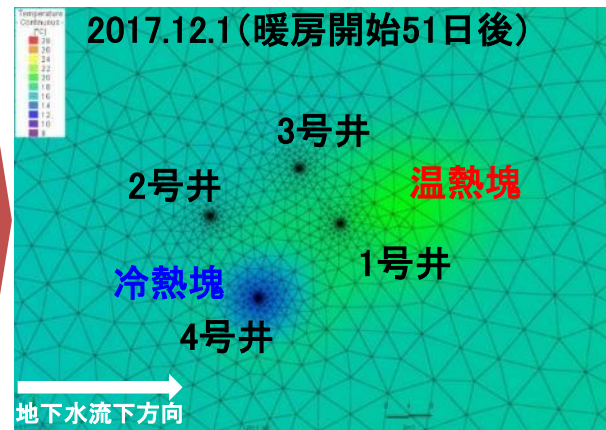
高効率帯水層蓄熱システムの開発 日本地下水開発(株)

①-2) 太陽光集熱器を用いた帯水層の温度回復

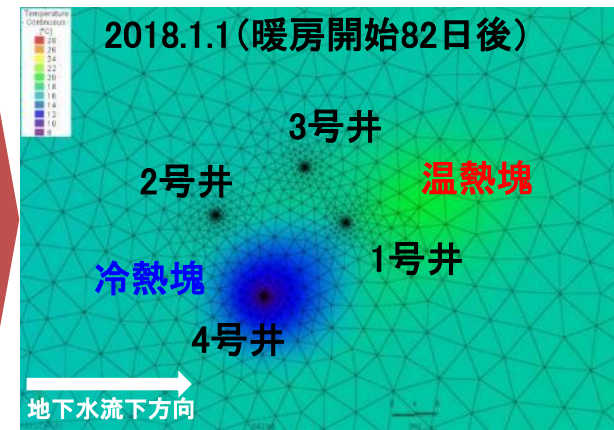
- ・昨年完成させたシミュレーションモデルを用いて高精度で地下帯水層の温度分布を推定
- ・2017年度の暖房運転に伴う地下帯水層の温度分布推定結果



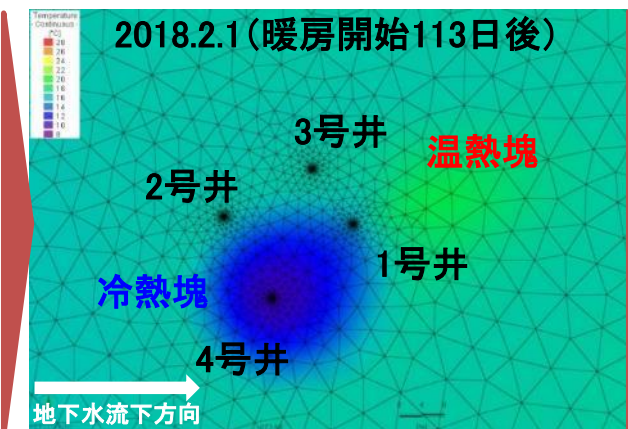
冷房排熱+太陽光集熱により温熱塊最大
夏期の平均注入温度は25.9℃



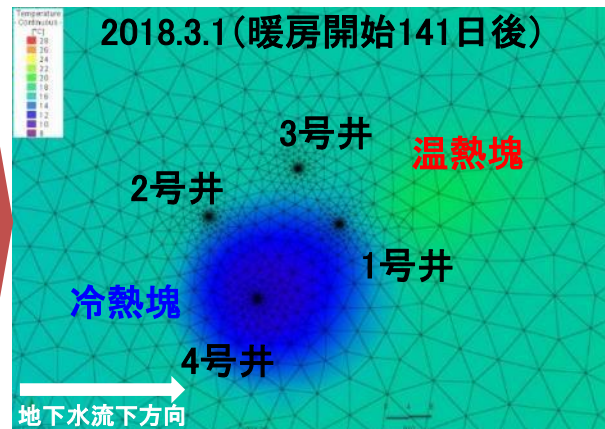
冷熱塊の形成開始
揚水温度は19℃～18℃台



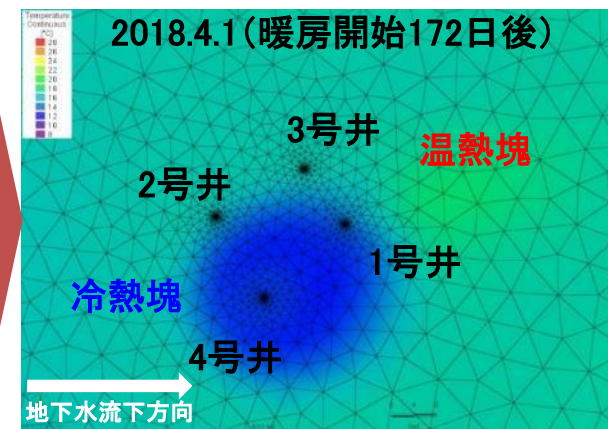
温熱塊徐々に縮小、冷熱塊の形成拡大
揚水温度は18℃～17℃台



温熱塊縮小、冷熱塊の形成拡大
1/26 揚水時の温熱蓄熱効果なくなる



温熱塊更に縮小、冷熱塊の形成拡大



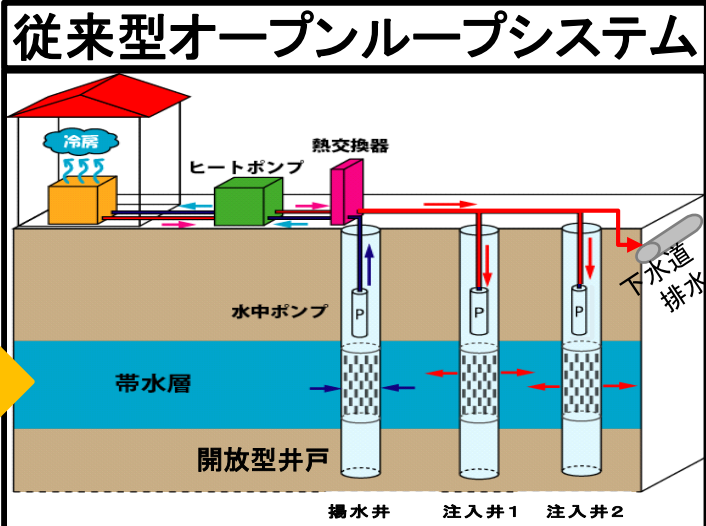
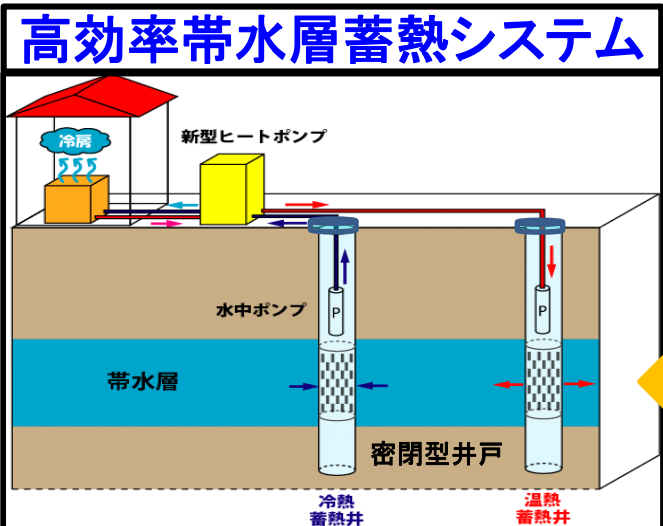
温熱塊痕跡程度、冷熱塊最大

- ・冷房時に太陽光集熱器を使用することで、暖房時注入冷熱の打ち消し可能を実証
- ・帯水層蓄熱効果により、夏期はフリークーリングができる可能性高い

高効率帯水層蓄熱システムの開発

イニシャルコスト・年間ランニングコストの低減

日本地下水開発(株)



比較

	機器・仕様	金額
イニシャルコスト	井戸(φ150,72m)×2本	6,148,800
	ピット,ポンプ,配管ほか	4,140,000
	ヒートポンプ(想定価格)	2,850,000
	合計	13,138,800

	機器・仕様	金額
イニシャルコスト	井戸(φ150,72m)×3本	7,927,200
	ピット,ポンプ,熱交換器,配管ほか	6,290,000
	ヒートポンプ(想定価格)	2,400,000
	合計	16,617,200

21%低減

	項目	金額
年間ランニングコスト	暖房時電力料金(187日間)	157,425
	暖房時逆洗経費	0
	冷房時電気料金(125日間)	49,176
	冷房時逆洗経費	0
	合計	206,602

	項目	金額
年間ランニングコスト	暖房時電力料金(187日間)	188,390
	暖房時逆洗経費(10回)	10,600
	冷房時電気料金(125日間)	93,418
	冷房時逆洗経費(8回)	8,480
	合計	300,888

31%低減

帯水層蓄熱システムに最適なヒートポンプ開発(ゼネラルヒートポンプ工業(株) (再委託))

①-3)-(1) 熱交換器のスケール付着防止機構の開発と実験

熱交換器への井水由来のスケール付着のデメリット

- ・熱交換効率の低下、洗浄費用の発生による運転管理費の高額化
- ・洗浄を見越した間接熱交換器の設置による初期コスト増、システム効率の低下

解決策として



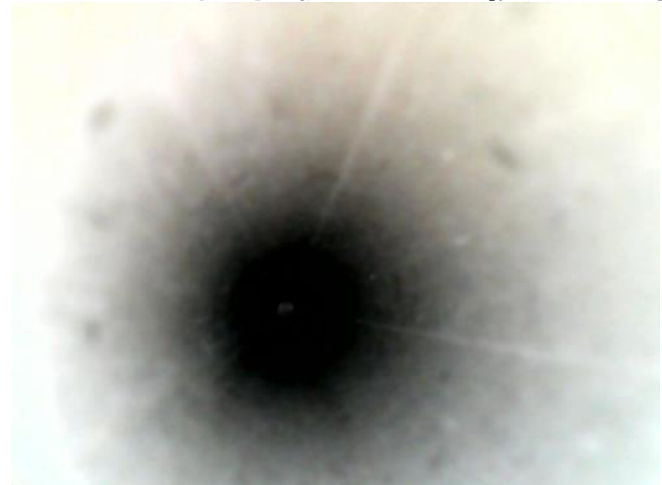
スケール付着防止機構＝「**電磁処理装置**」を組み込んだモジュール型ヒートポンプの開発

- ・熱交換効率の維持、洗浄費用の解消により、運転管理費を削減
- ・間接熱交換器が不要となり、初期コストが低減、システム効率が向上

スケール付着防止機構の開発状況



フィールド試験機の熱交換器内部



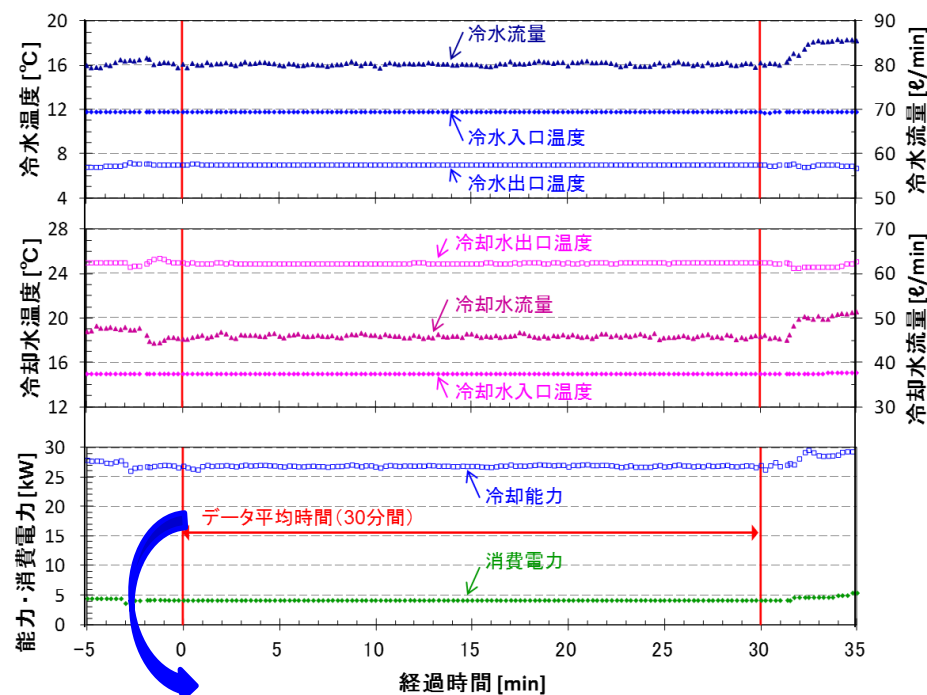
※約1年半の運転では 顕著な**スケール付着は無い**



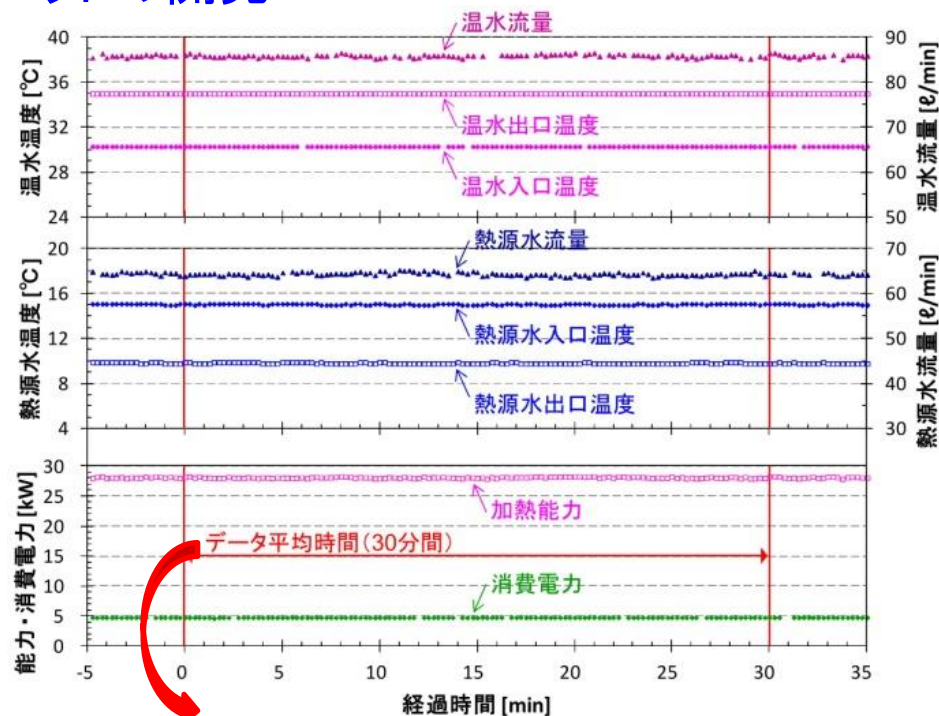
「**電磁処理装置**」の有効性確認

帯水層蓄熱システムに最適なヒートポンプ開発(ゼネラルヒートポンプ工業(株)(再委託))

①-3)-(2) 帯水層蓄熱対応ヒートポンプユニットの開発



冷却能力: 26.8 kW、消費電力: 4.15 kW → $26.8/4.15 = \text{COP: } 6.45$



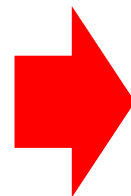
加熱能力: 28.1 kW、消費電力: 4.82 kW → $28.1/4.82 = \text{COP: } 5.82$

↑ 工場内の性能試験データ図

【フィールド試験の状況】

5～25 kWの運転範囲における5 kW毎の平均COP

- ・2017年7-8月の冷却COP: **9.0～9.8(目標達成)**
(地下水入口平均温度15°C、冷水出口平均温度12.7°C)
- ・2017年11-12月の加熱COP: **5.6～6.3(目標達成)**
(地下水入口平均温度18°C、温水出口平均温度33.4°C)

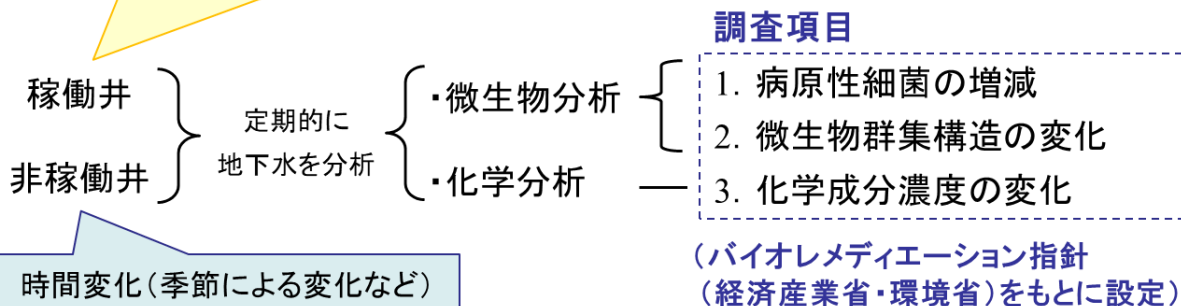


間接熱交換器による
温度ロスがないため
COPが大幅向上

①-4)温度変化による帯水層蓄熱システムの運転影響検討

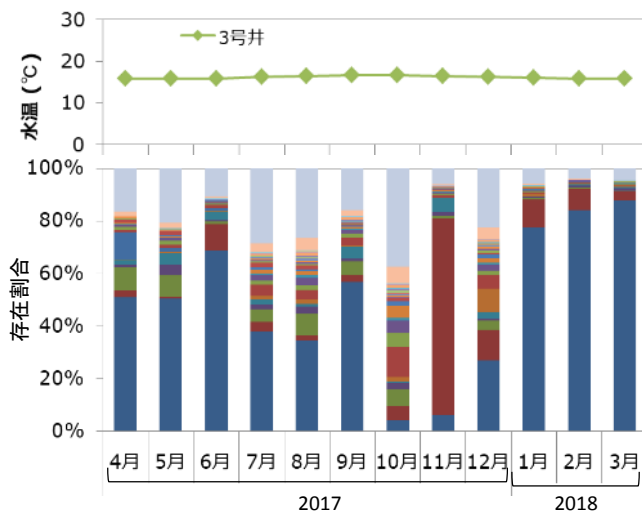
◆ 蓄熱システム運転による水温変化が地下水水質に及ぼす影響を調査

蓄熱システムによる温度変化+時間変化



稼働井と非稼働井の
分析結果を科学的知見
(統計解析)に基づいて
比較、蓄熱システム運転
による影響を評価

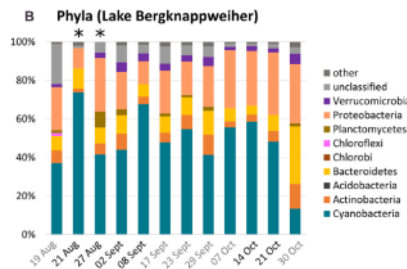
● 非稼働井(水温変化なし)における微生物群集構造の経時変化



(2017.4月~2018.3月)
水温変化にかかわらず
群集構造が変化した。

蓄熱システムによる
温度負荷以外の
影響と考えられる

・ 環境中の微生物群集構造の経時変化例



湖沼における微生物群集構造の季節変化

(P.I.Schere et.al. Frontiers in Microbiology (2017)Vol.8,2387 より引用)

✓ 自然環境中の微生物群集構造は時間経過に伴い変化する

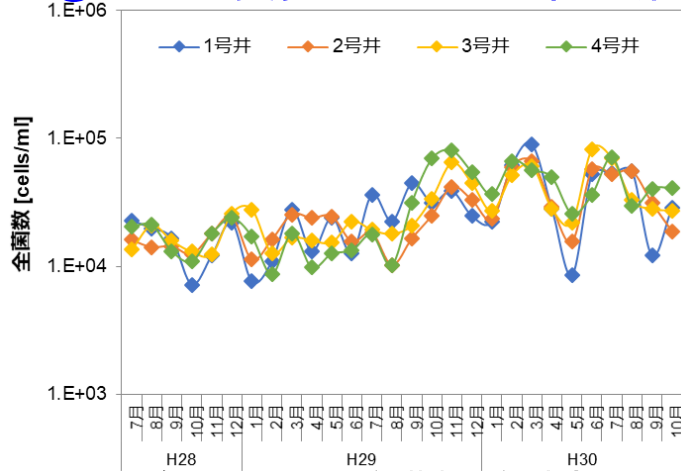
➡ 稼働井と非稼働井で変動幅に著しい違いが認められない場合、蓄熱システム運転による影響はないと考えられる。

高効率帯水層蓄熱システムの開発(中外テクノス)

(再委託)

①-4)温度変化による帯水層蓄熱システムの運転影響検討

1.E+06



各井戸における細菌数の経時変化

1. 病原性細菌の増減

- ・病原性細菌(BSL2以上)を含む細菌グループを調査
→ 病原性を持つ可能性がある細菌は増加しなかった
(稼働井と非稼働井で存在割合に差はなかった)

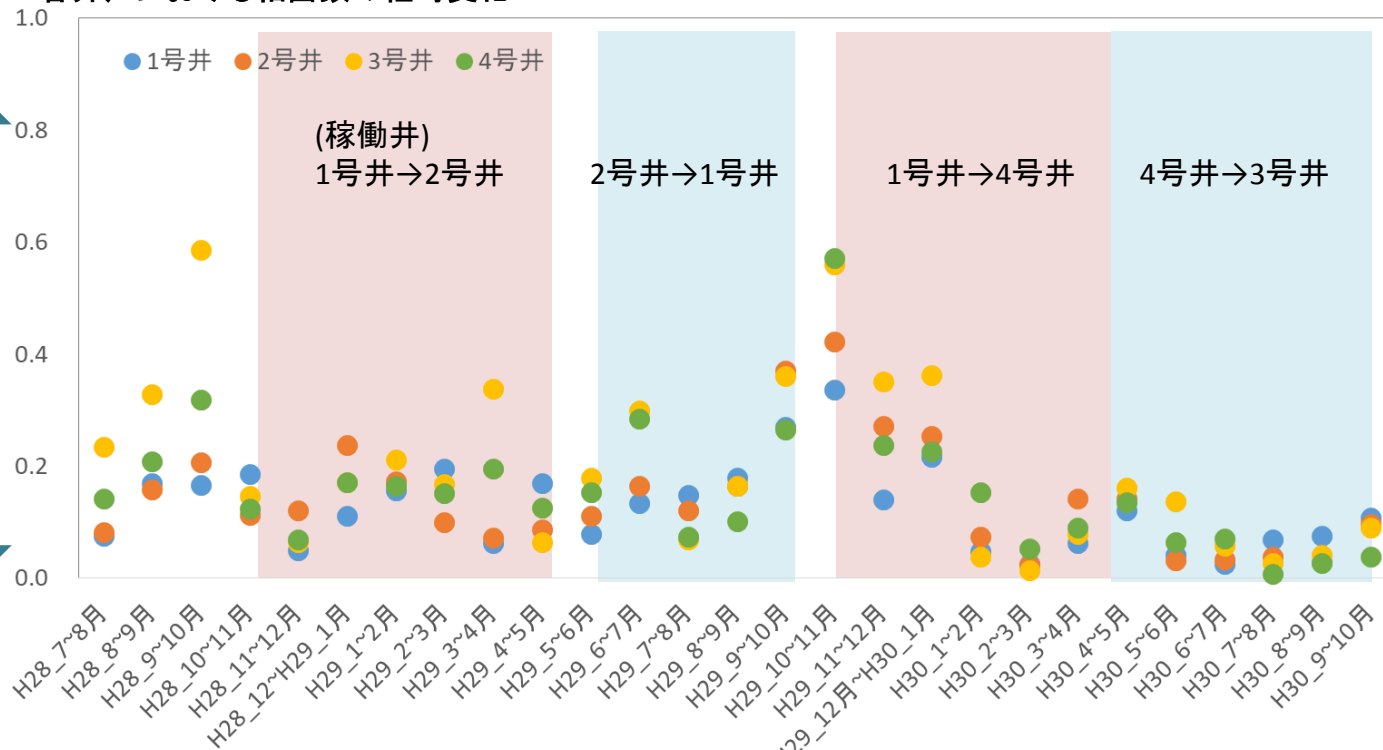
2. 微生物群集構造の変化

- ・類似度による微生物群集の比較
- ・非類似度が小さい＝試料間共通の細菌種が群集の多くを占める
→ 全井戸で微生物群集構造の類似度変動が減少

異

非類似度

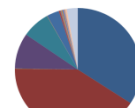
同



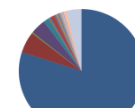
連続月間での微生物群集類似性の変化

暖房 冷房

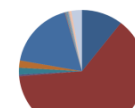
時間経過



H28.7



H28.8



H28.9

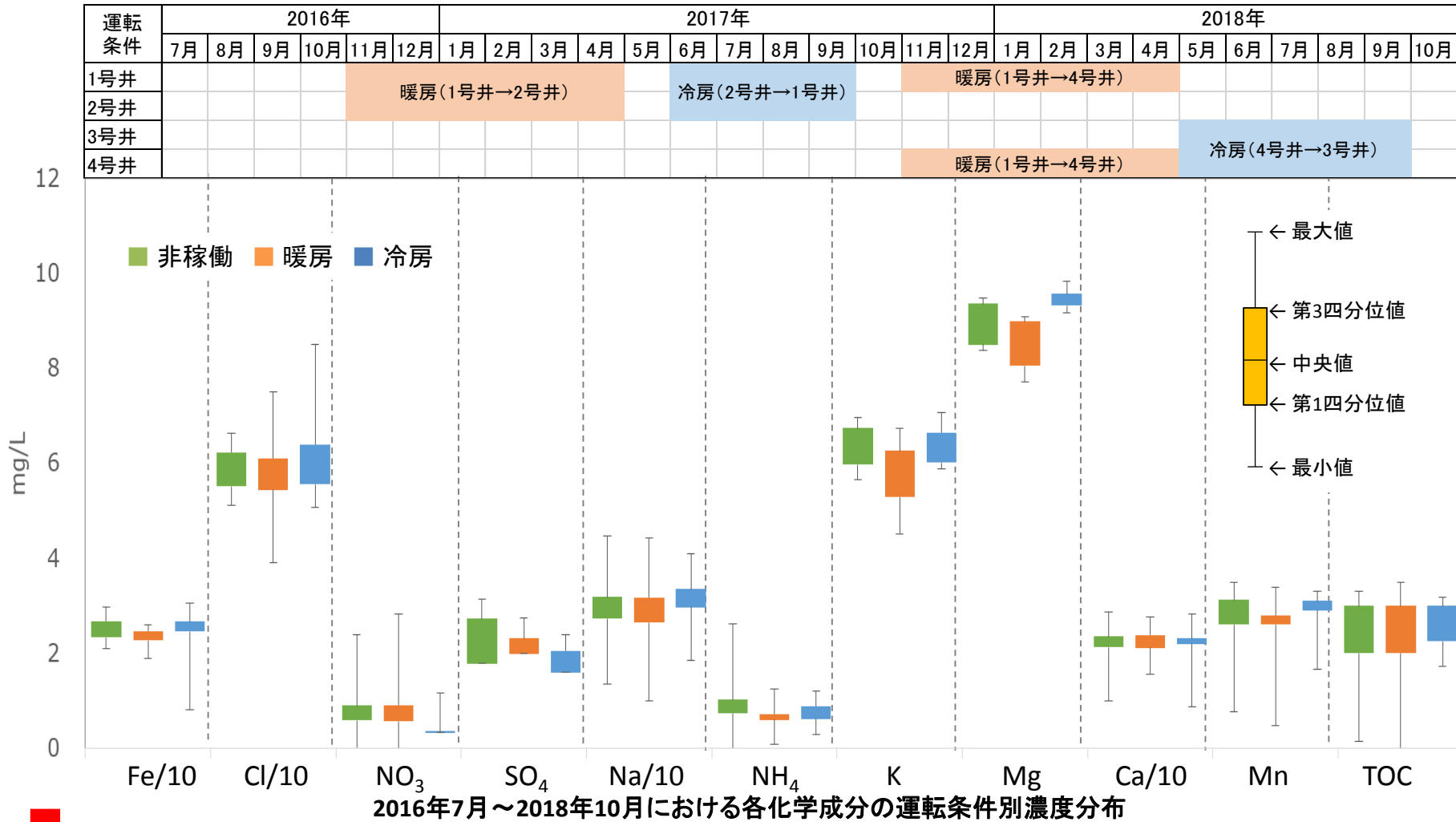
連続月間の類似性を算出

高効率帯水層蓄熱システムの開発(中外テクノス)

(再委託)

①-4)温度変化による帯水層蓄熱システムの運転影響検討

3. 化学成分濃度の変化



1. 2. 3. 各運転条件において、化学成分の濃度変動に著しい違いは認められなかった。

1, 2, 3の結果から、蓄熱システム運転による温度負荷が地下環境に及ぼす影響はない

人工的な坑井内流れを用いた地中熱交換井の熱交換量の増進(秋田大学)

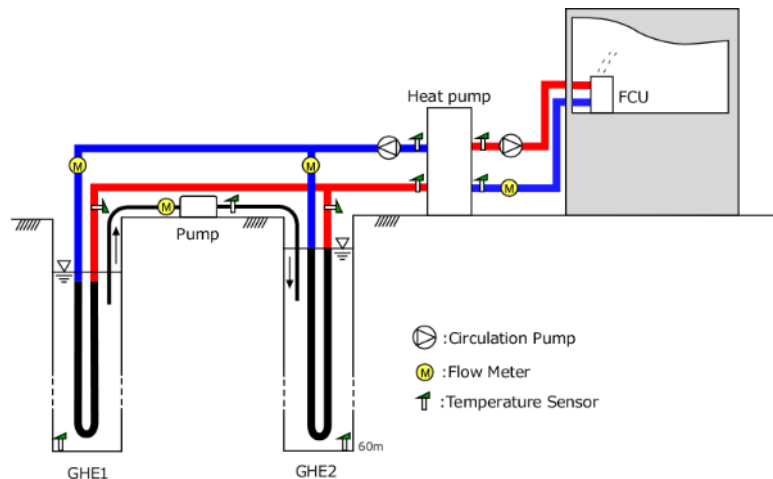
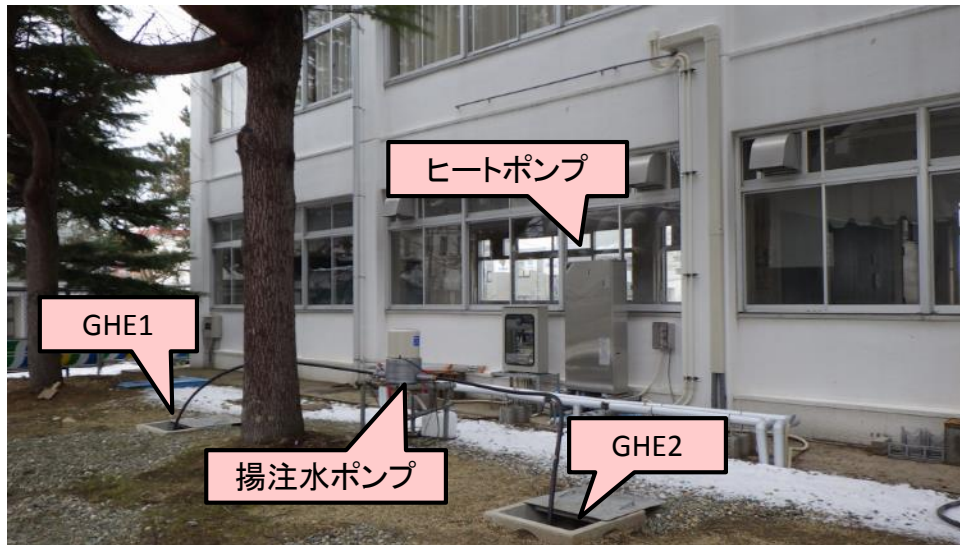
②-2) 半開放式地中熱利用システムの長期運転試験とその評価

研究目的

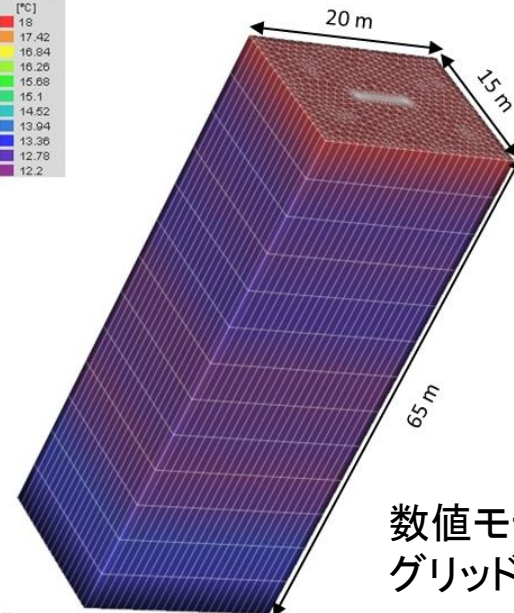
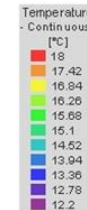
揚水と注水を組み合わせ、熱交換井における熱媒体温度変化を抑制することにより、システムCOPの改善による運転コスト20%削減を目標とする。

実施項目

- 半開放式地中熱利用システムの構築(秋田大学構内)
- 長期冷暖房運転試験による省エネルギー効果の評価
- フィールドデータに基づく数値モデルの構築および感度計算と経済効果の検討



半開放式地中熱利用システムの概略図

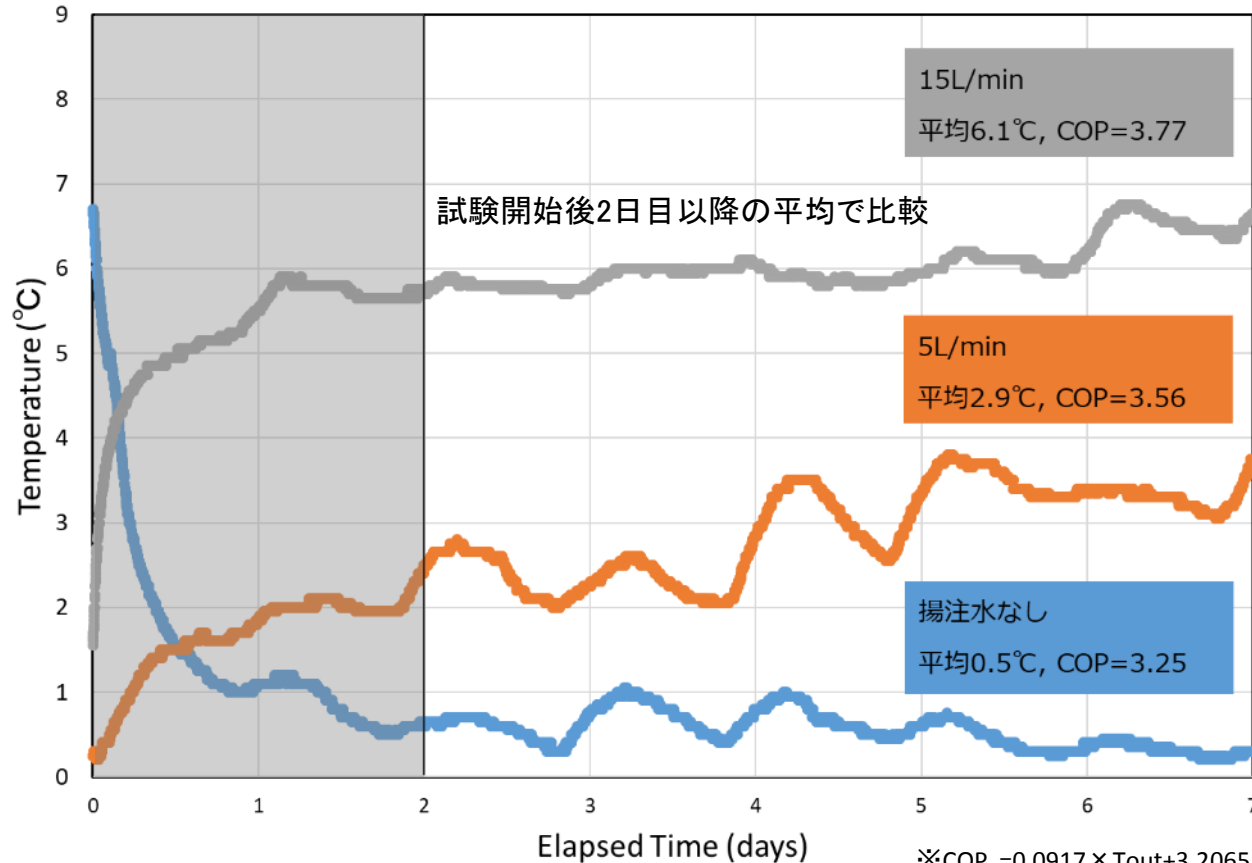


数値モデルの
グリッドシステム

人工的な坑井内流れを用いた地中熱交換井の熱交換量の増進(秋田大学)

②-2) 半開放式地中熱利用システムの長期運転試験とその評価

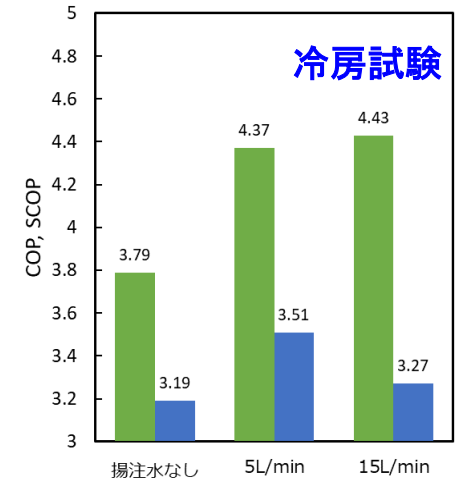
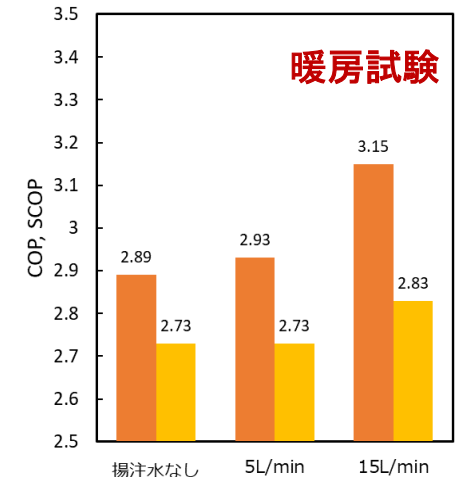
長期暖房運転における揚注水効果の比較



各試験条件における熱交換井出口水温の推移

※ $COP_H = 0.0917 \times T_{out} + 3.2065$
(GSHP-1001, 30Hz, 45°C送水)

- 試験開始後2日目以降の平均熱交換井出口水温が、5L/min揚注水では2.4°C, 15L/min揚注水では5.5°C上昇
- 15L/min揚注水時において約14%のCOP改善効果



暖房および冷房試験における
揚注水量とCOP, SCOPの関係

暖房・冷房共に効率アップ

人工的な坑井内流れを用いた地中熱交換井の熱交換量の増進(秋田大学)

②-3) フィールドデータに基づく数値モデル構築・感度計算と経済性の検討

掘削費の削減率

シナリオ	ベースケース GHE (m)	半開放システム GHE (m)	GHE長さ 削減率 (%)	掘削費削減額 (円)
秋田市 地下水流れなし	180	59	67.2	1,815,000
秋田市 地下水流れあり	110	44	60.0	990,000
東京都 地下水流れなし	195	45	76.9	2,250,000
東京都 地下水流れあり	135	35	74.1	1,500,000

半開放式地中熱
システムを導入し
た場合

総コストの削減額

シナリオ	掘削費削減額 (円)	揚注水設備 (円)	揚注水ポンプ 消費電力(円)	総コスト削減額 (円)
秋田市 地下水流れなし	1,815,000	112,500	19,057	1,683,443
秋田市 地下水流れあり	990,000	104,500	17,230	868,270
東京都 地下水流れなし	2,250,000	105,000	17,350	2,127,650
東京都 地下水流れあり	1,500,000	102,000	17,350	1,380,650



20年間のトータルコスト
(初期コスト+運転コスト)

半開放式地中熱システムによるコスト削減率(20年間)

シナリオ	ベースケース 総費用(円)	削減額(円)	削減率(%)
秋田市 地下水流れなし	5,014,000	1,683,443	33.6
秋田市 地下水流れあり	3,964,000	868,270	21.9
東京都 地下水流れなし	4,865,000	2,127,650	43.7
東京都 地下水流れあり	3,965,000	1,380,650	34.8

秋田市: 最大約34%

東京都: 最大約44%

削減可能

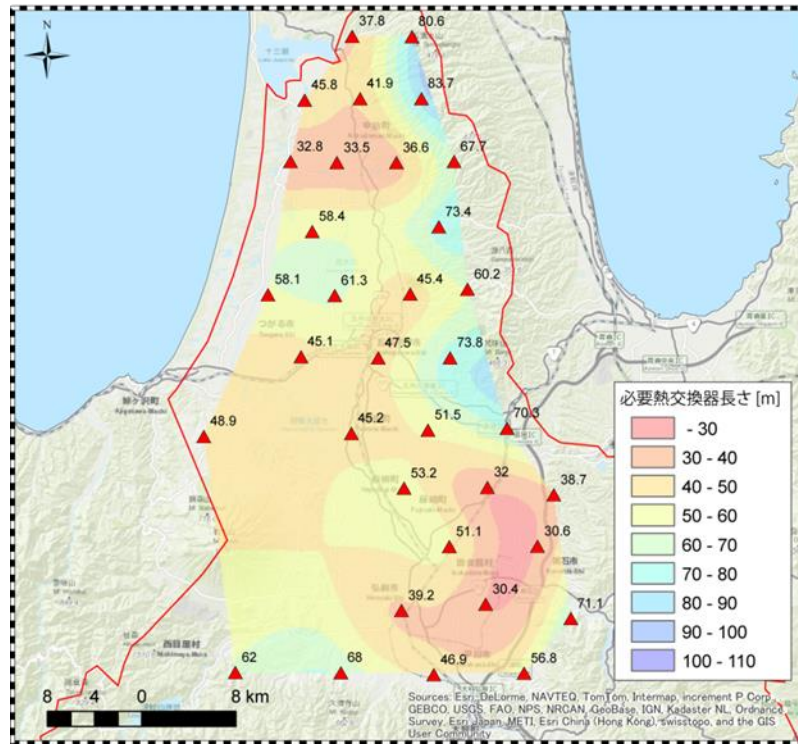
地中熱・地下水熱利用ポテンシャルマップ評価手法の構築(産総研)

③-1) 東北各県主要地域における地中熱ポテンシャルマップの作成

③-3) TRT結果に基づくポテンシャルマップの高度化

東北地方主要5地域のポテンシャルマップ完成

津軽平野の地中熱ポテンシャルマップ



クローズドループシステムにおける
必要熱交換器長さの分布



オープンループ、ATESシステムにおける
最適地の分布

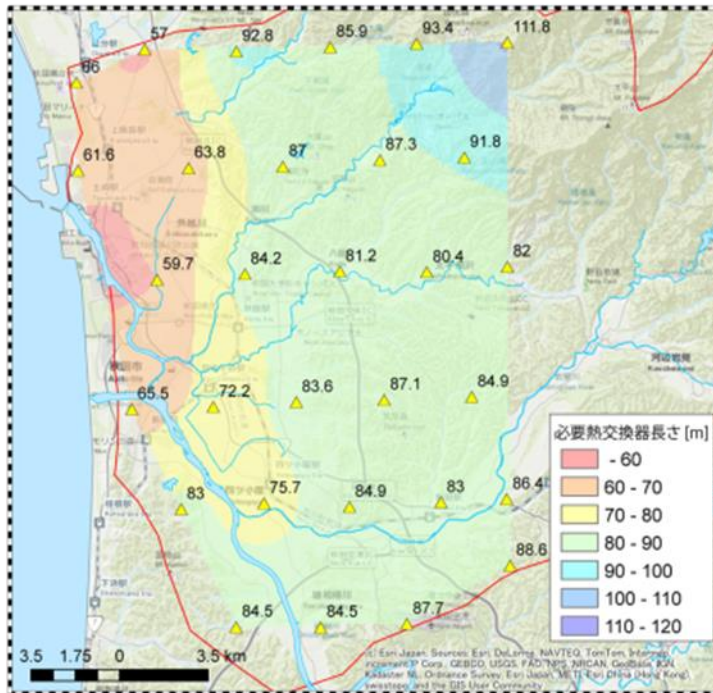
地中熱・地下水熱利用ポテンシャルマップ評価手法の構築(産総研)

③-1) 東北各県主要地域における地中熱ポテンシャルマップの作成

③-3) TRT結果に基づくポテンシャルマップの高度化

東北地方主要5地域のポテンシャルマップ完成

秋田平野の地中熱ポテンシャルマップ



クローズドループシステムにおける
必要熱交換器長さの分布



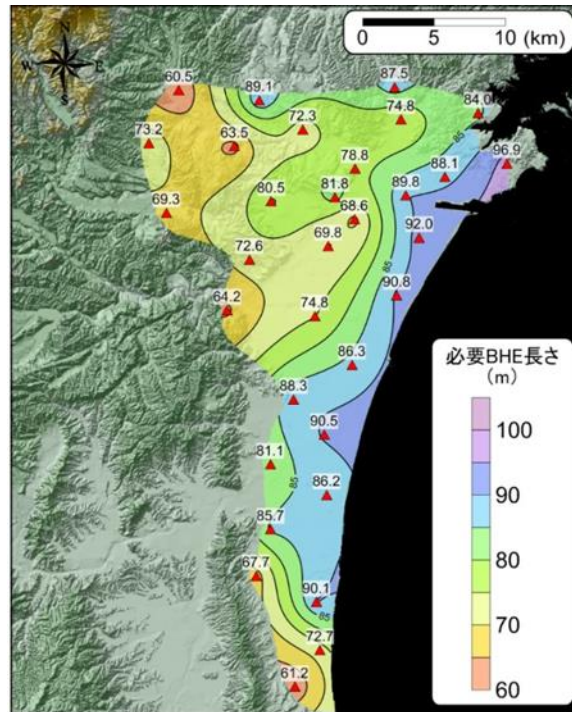
オープンループ、ATEsシステムにおける
最適地の分布

地中熱・地下水熱利用ポテンシャルマップ評価手法の構築(産総研)

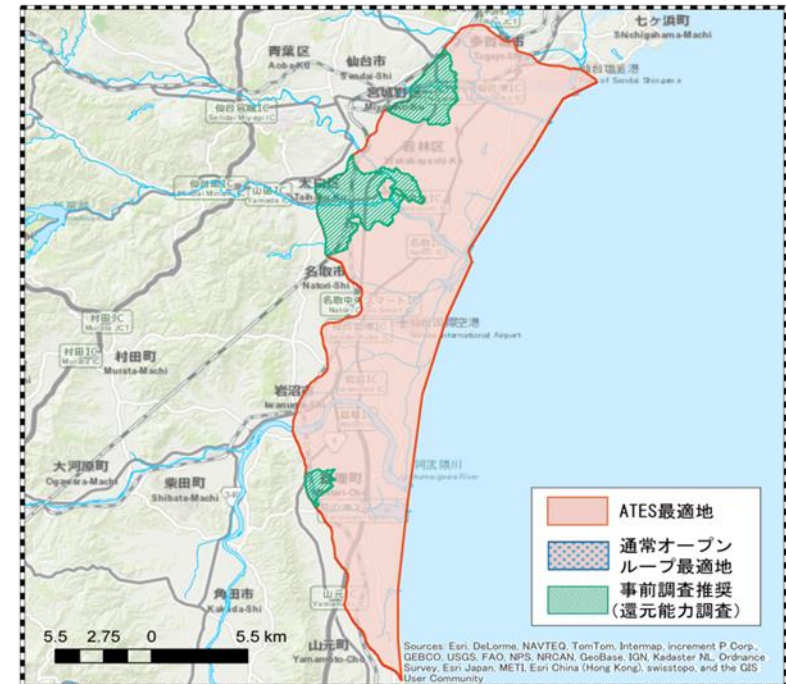
- ③-1) 東北各県主要地域における地中熱ポテンシャルマップの作成
- ③-3) TRT結果に基づくポテンシャルマップの高度化

東北地方主要5地域のポテンシャルマップ完成

仙台平野の地中熱ポテンシャルマップ



クローズドループシステムにおける
必要熱交換器長さの分布



オープンループ、ATESシステムにおける
最適地の分布

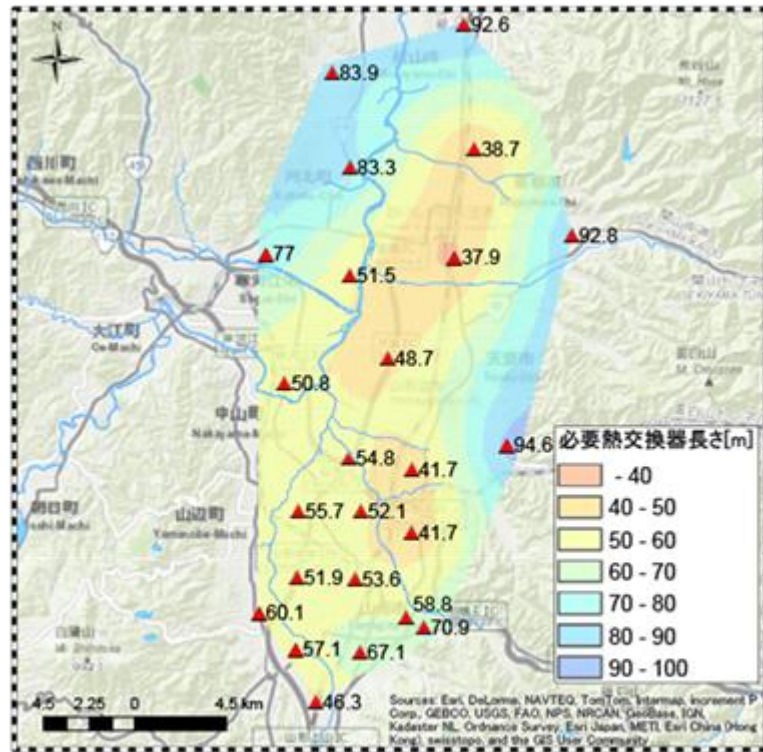
地中熱・地下水熱利用ポテンシャルマップ評価手法の構築(産総研)

③-1) 東北各県主要地域における地中熱ポテンシャルマップの作成

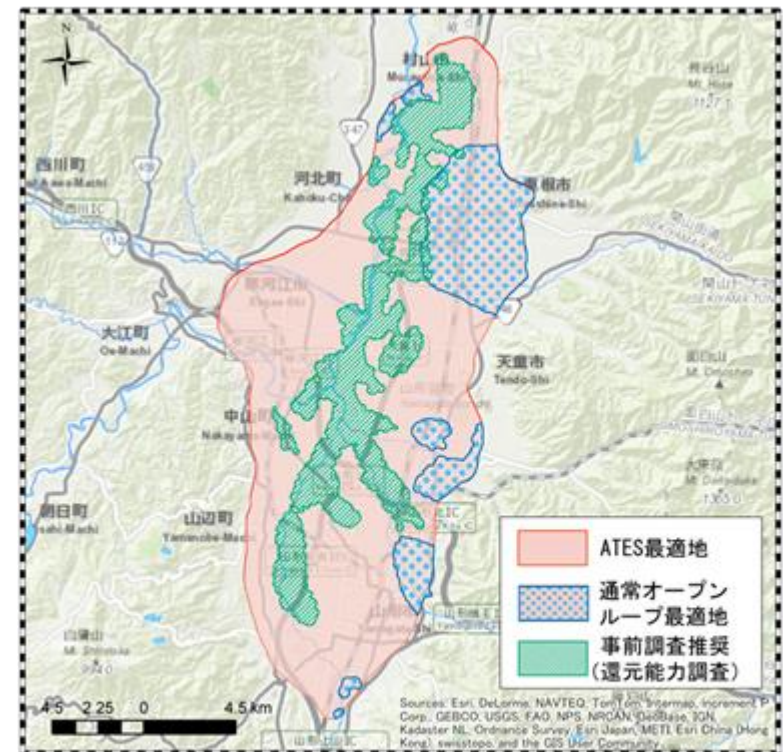
③-3) TRT結果に基づくポテンシャルマップの高度化

東北地方主要5地域のポテンシャルマップ完成

山形盆地の地中熱ポテンシャルマップ



クローズドループシステムにおける
必要熱交換器長さの分布



オープンループ、ATESシステムにおける
最適地の分布

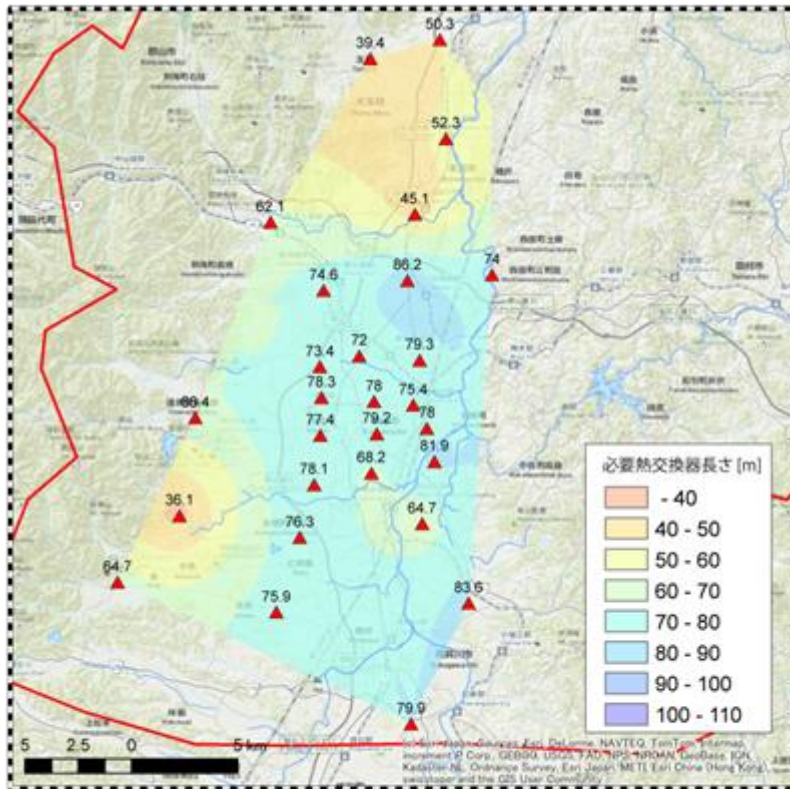
地中熱・地下水熱利用ポテンシャルマップ評価手法の構築(産総研)

③-1) 東北各県主要地域における地中熱ポテンシャルマップの作成

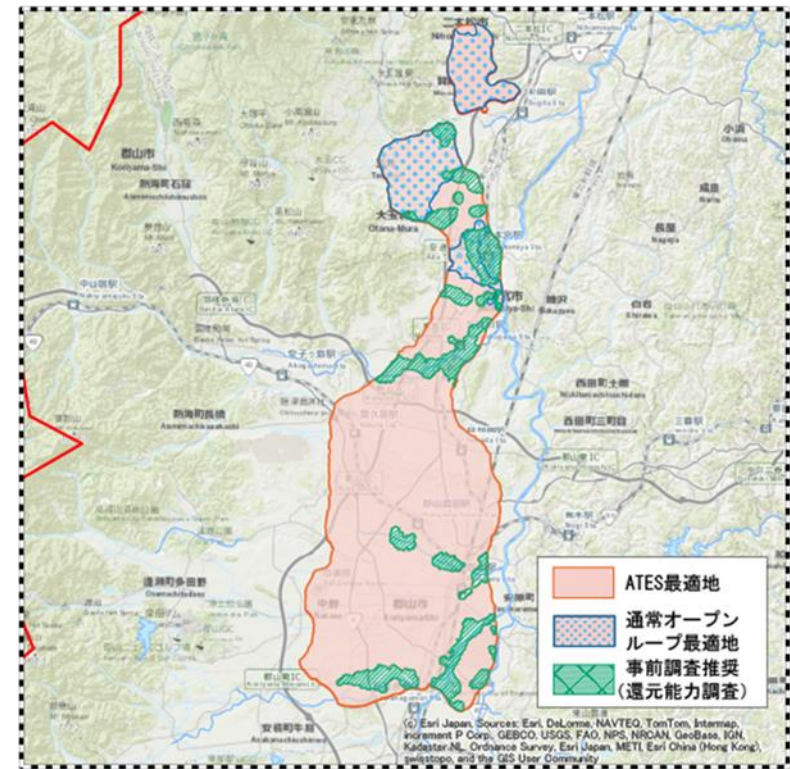
③-3) TRT結果に基づくポテンシャルマップの高度化

東北地方主要5地域のポテンシャルマップ完成

郡山盆地の地中熱ポテンシャルマップ



クローズドループシステムにおける
必要熱交換器長さの分布



オープンループ、ATESシステムにおける
最適地の分布