

地下水流れの存在する地盤における 地中熱交換井の評価と最適化

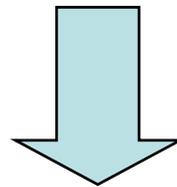
2007年10月24日

九州大学工学研究院
藤井 光

[背景] 地下水流れと地層熱伝導率の関係

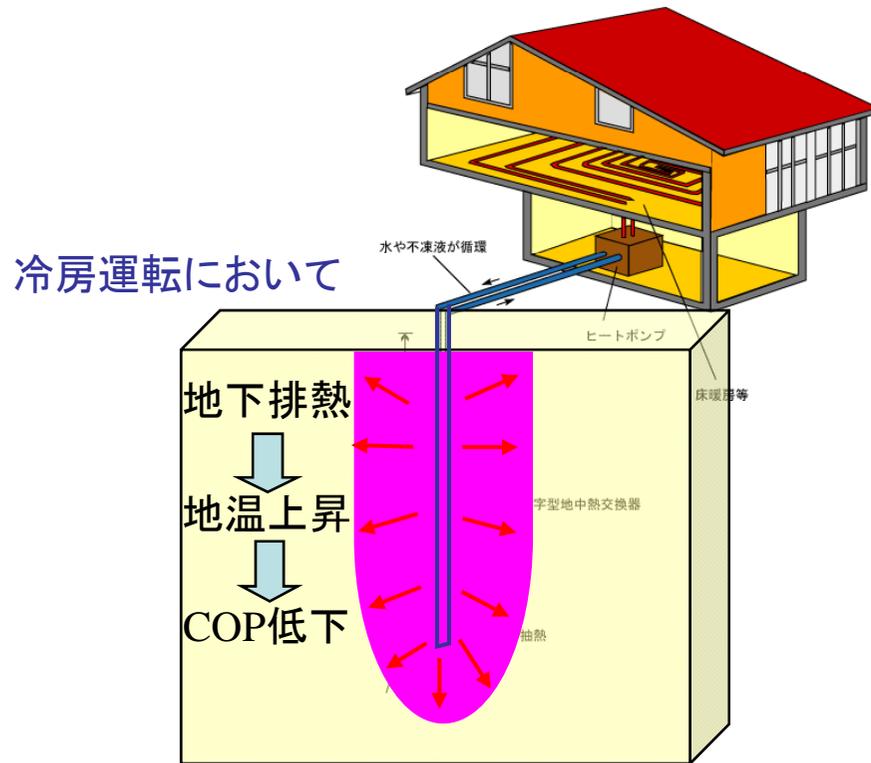
試験場所	熱伝導率 W/m/K	熱交換量 W/m	地下水流動
秋田県秋田市	1.3	40	なし
青森県西目屋村	4.0	84	あり

採熱量は地質や地下水流動によって大きく異なる

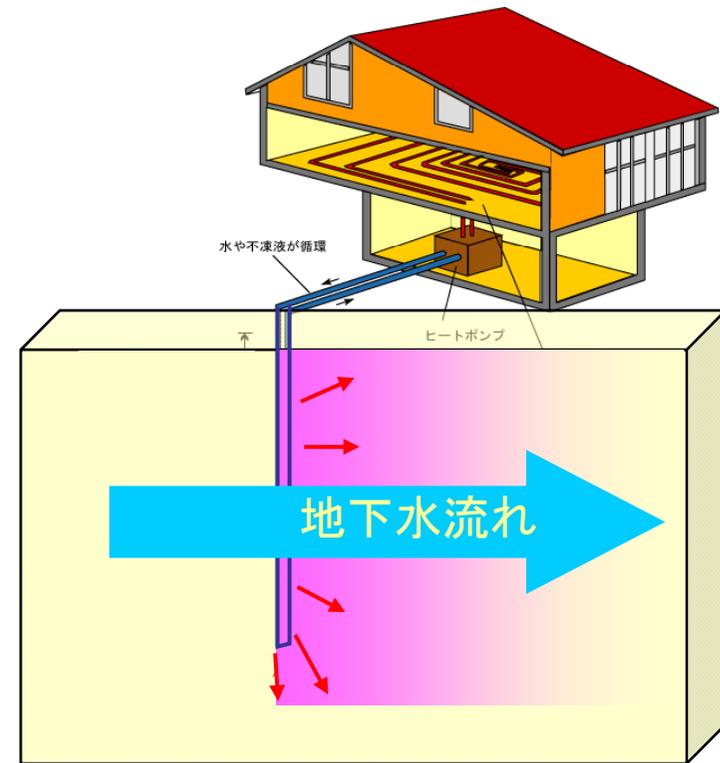


最適なシステム設計には事前の地盤調査が重要

地下水流れの活用



冷房期間の長い地域では、エネルギー効率の低下が生じる。

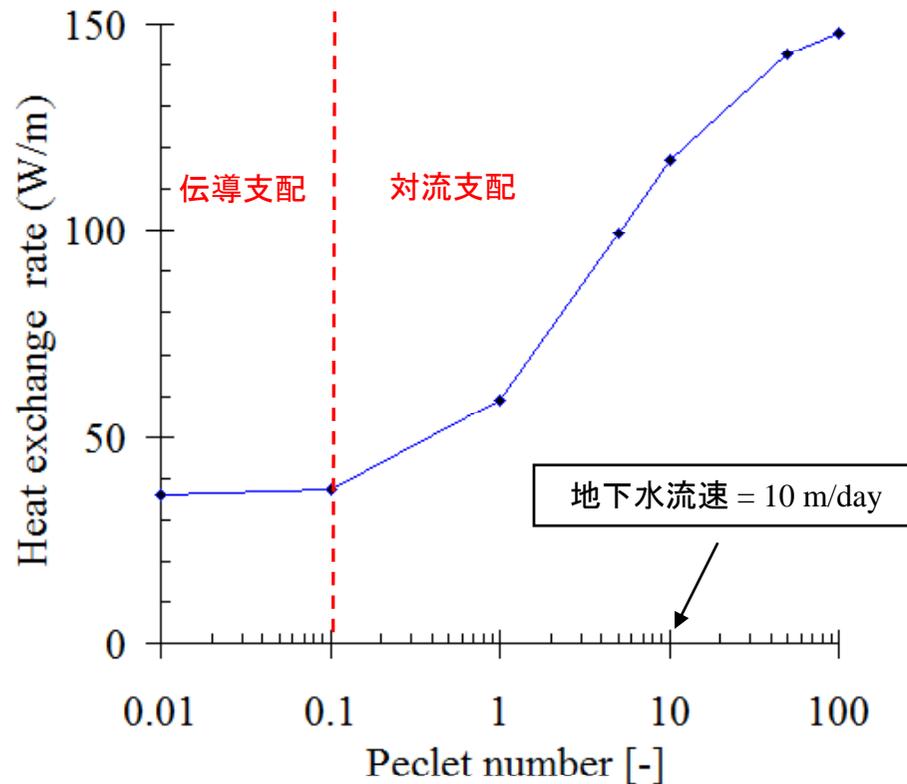


地下水流れの存在する場所では地下温度の上昇が生じにくい。

内容

- フィールド試験による地下水流速と見かけ熱伝導率の相関の推定
- 地下水流れの存在する地盤における実証試験
- 佐賀平野における地中熱利用適地マップの作成

[研究1] フィールド試験による地下水流速と見かけ熱伝導率の相関の推定



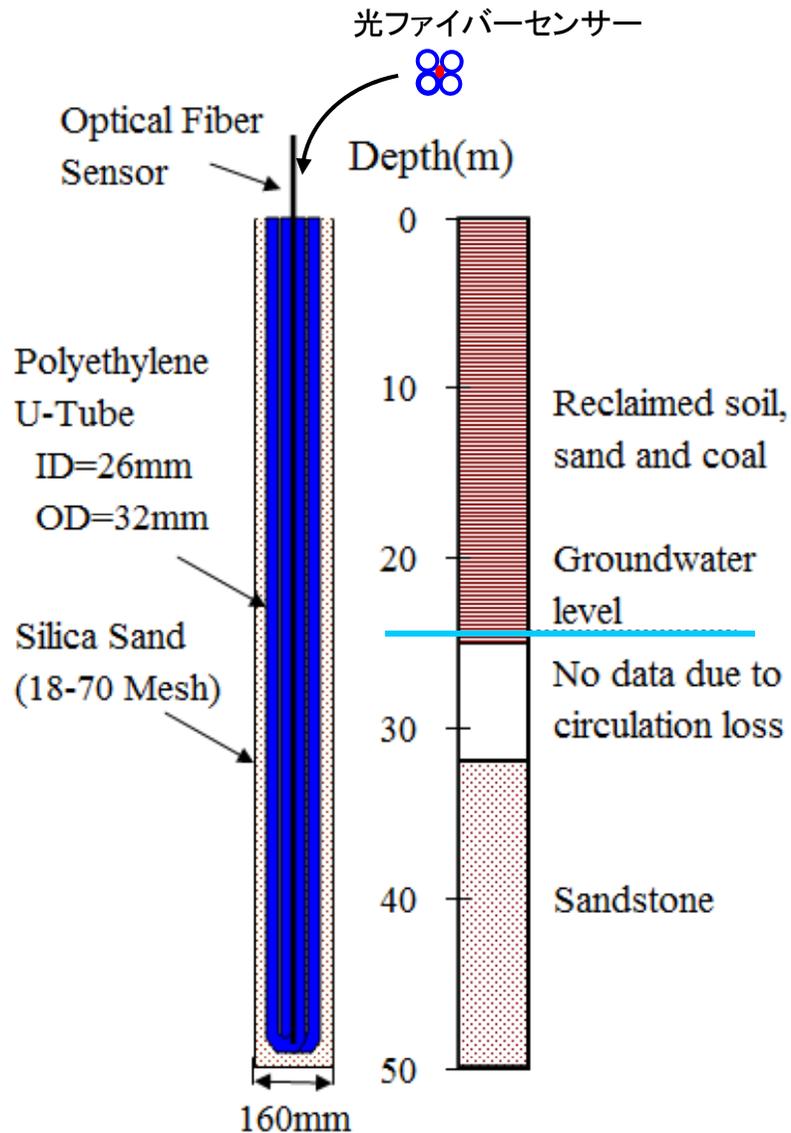
数値計算によるペクレ数
と熱交換量の関係

地中熱交換井では地下水流速の増加に伴い、熱交換量と見かけ熱伝導率が増加する。しかし、この関係はフィールド試験では確認されていない。

(計算条件)

- 計算期間: 5 日間
- 1" シングルU字管
- 地層熱伝導率: 1.5. W/m/K
- 地層温度伝導率: $3.0 \times 10^{-7} \text{m}^2/\text{s}$

試験井に関する情報



[場所]

佐賀県唐津市岸山

唐津炭田跡地

[地層]

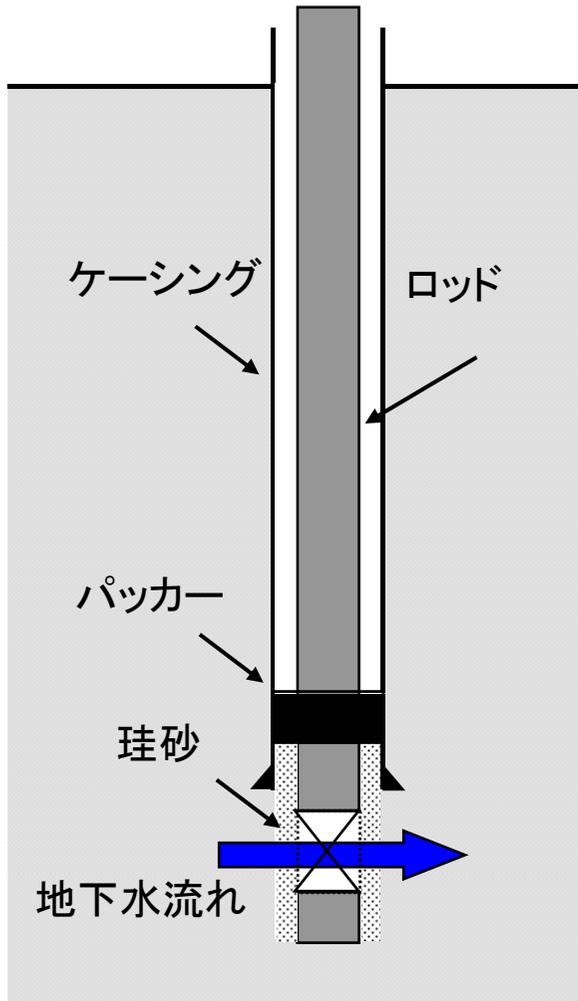
上部：造成地(土,砂,石炭)

下部：風化砂岩

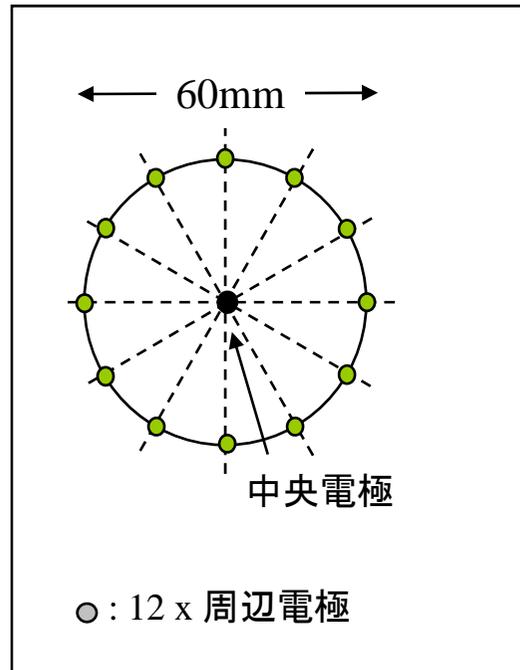
[熱交換井タイプ]

ダブルU字管, 珪砂充填

地下水流向流速測定



装置概念図



センサー図

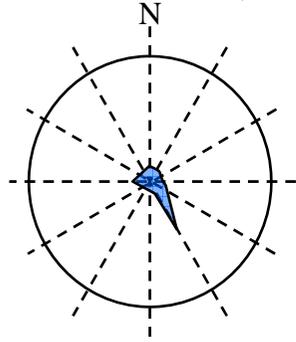


測定器写真

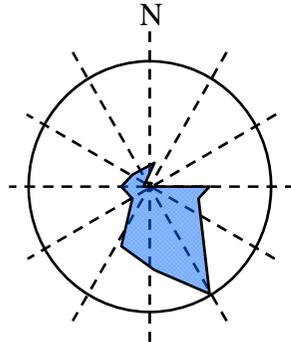
測定結果

(i) @ 36.0m

$u_w = 0.223$ m/d, $Pe = 0.29 > 0.1$



3min 6sec

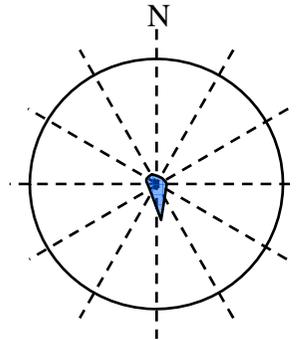


7min 45sec

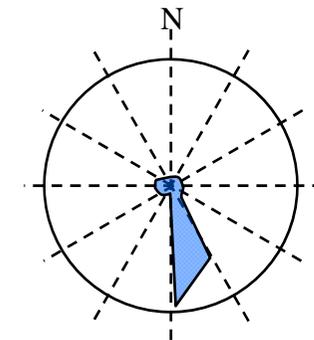
36.0mにおけるペクレ数は0.1以上であるので、見かけ熱伝導率が改善されている可能性がある。

(ii) @ 44.3m

$u_w = 0.040$ m/d, $Pe = 0.086 < 0.1$

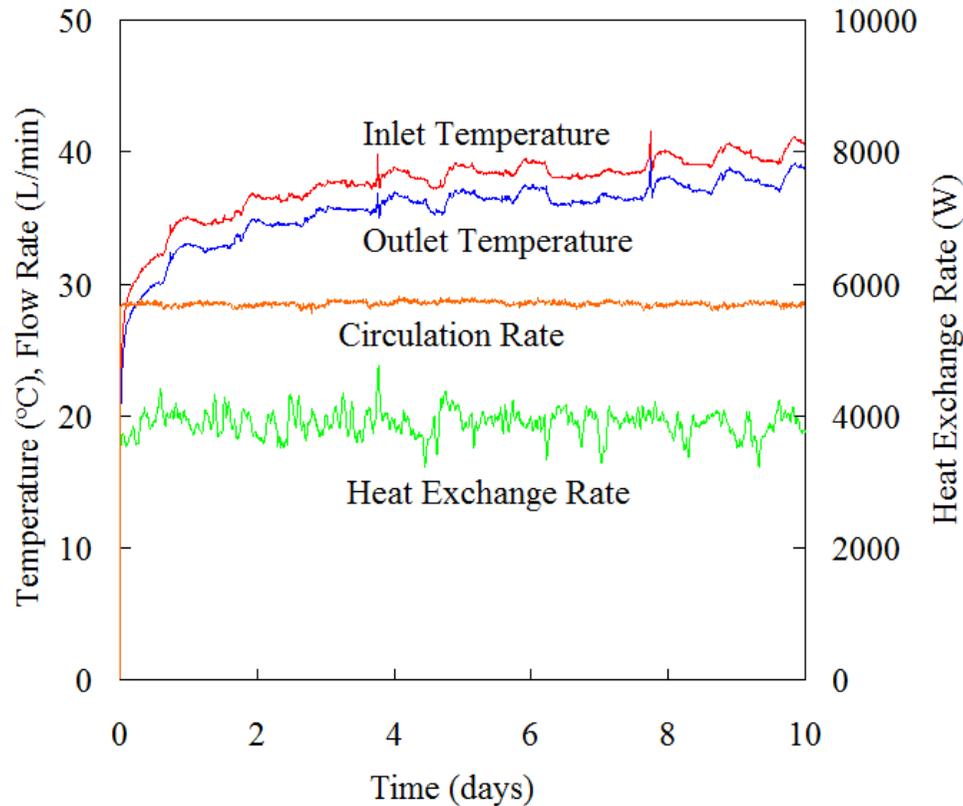


17min 24sec



43min 30sec

温度応答試験 (TRT) 解析



[条件]

循環期間

--- 10 日間

熱負荷

--- 4 kW

(80W/m)

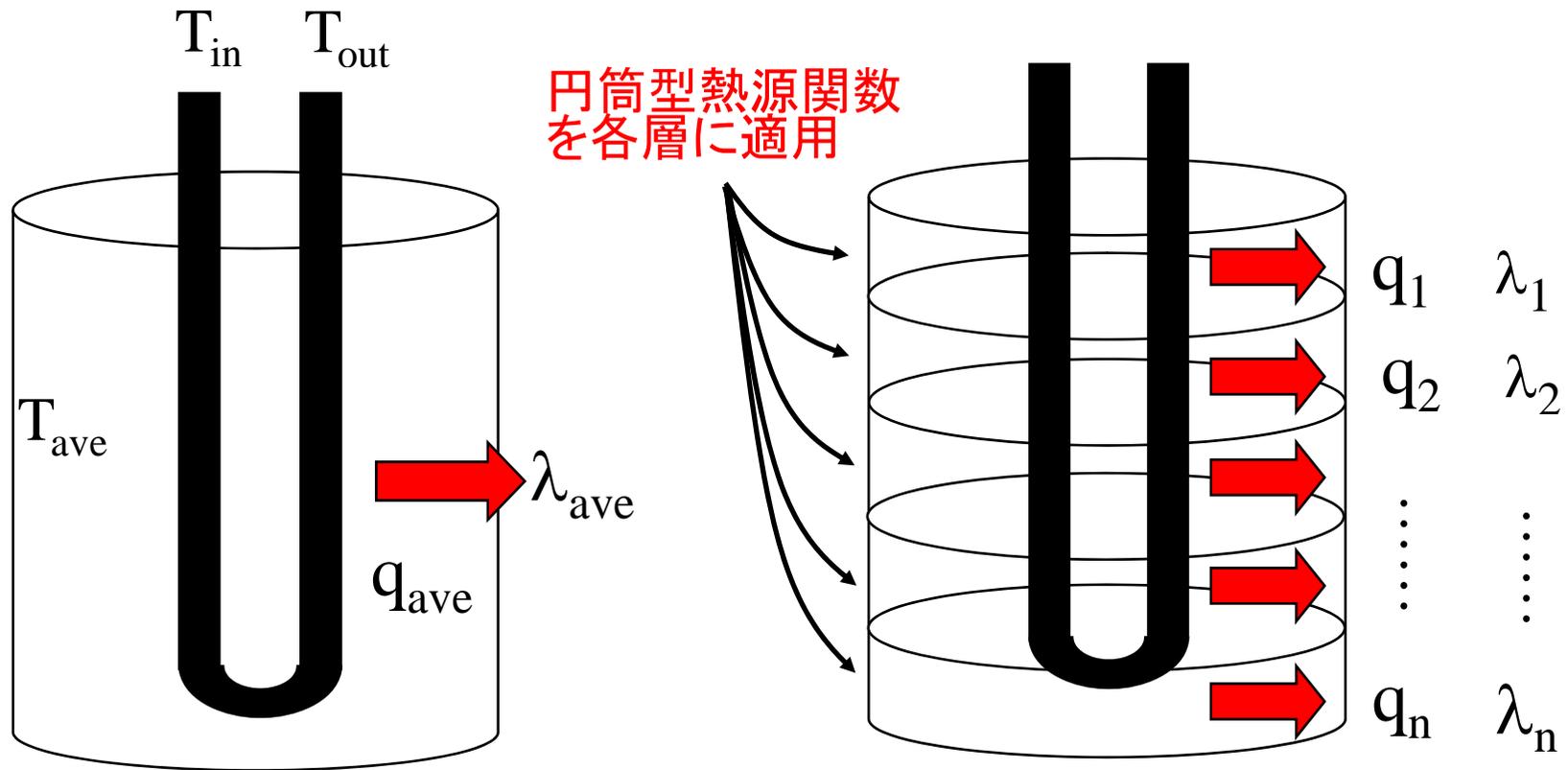
回復期間

--- 10 日間

不安定な電源電圧と気温の変化のために熱負荷に若干の変動が見られた。

熱媒体温度の経時変化

不均質層におけるTRT解析

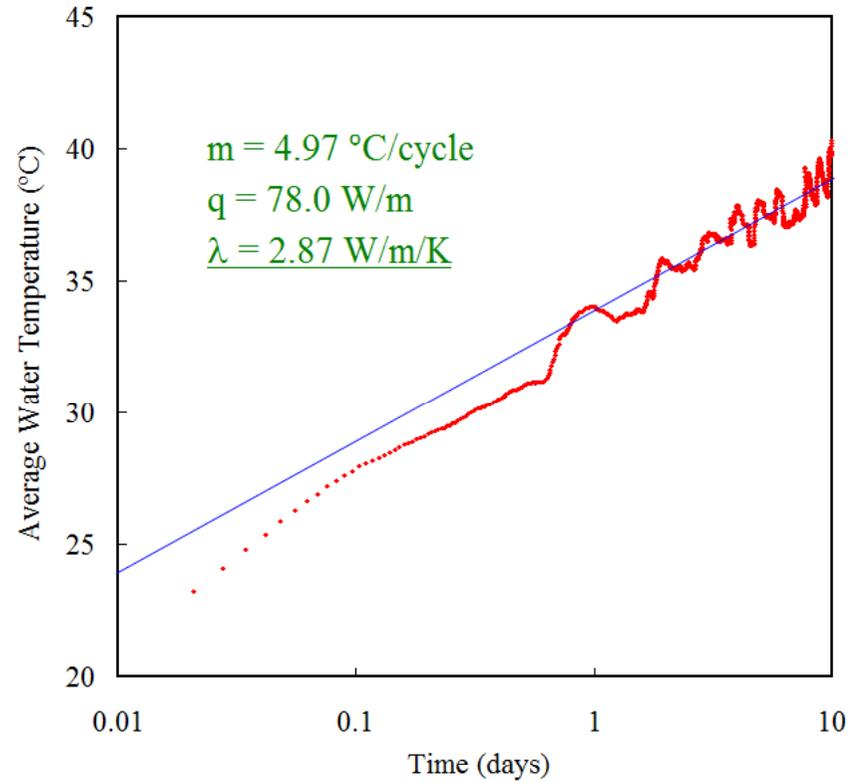


単層モデル

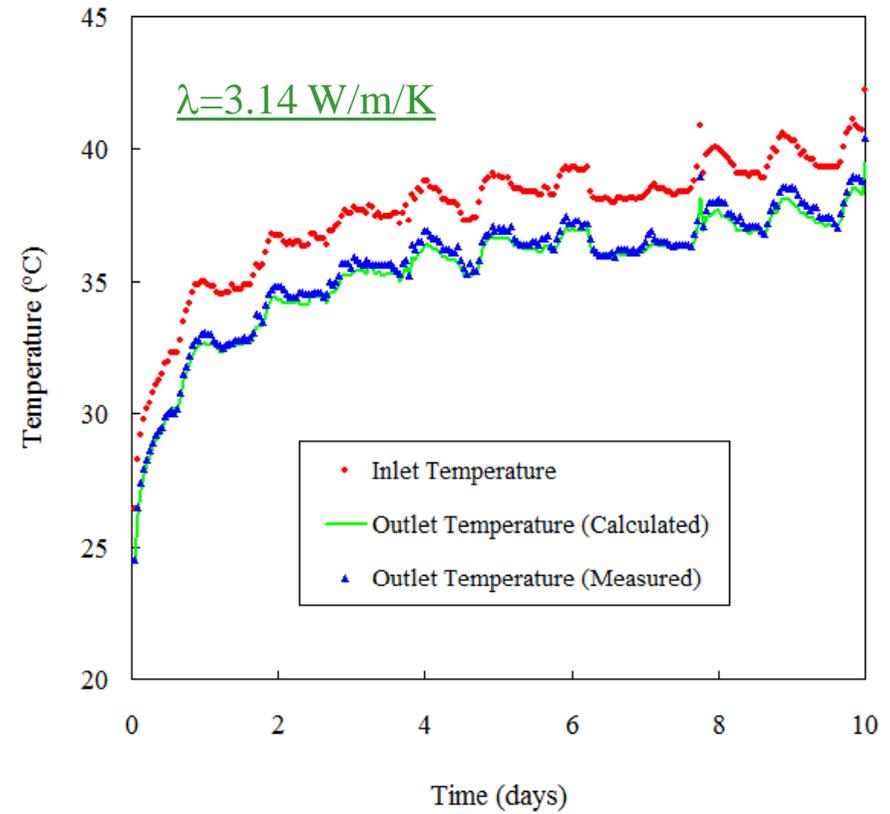
複数層モデル

(藤井ほか, 2005,2006)

TRT解析結果

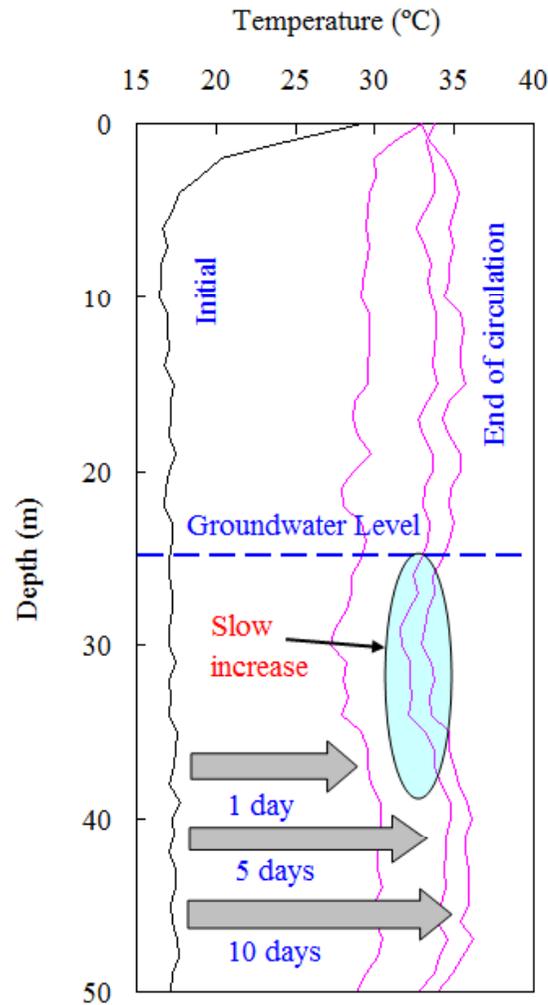


循環時データの解析結果

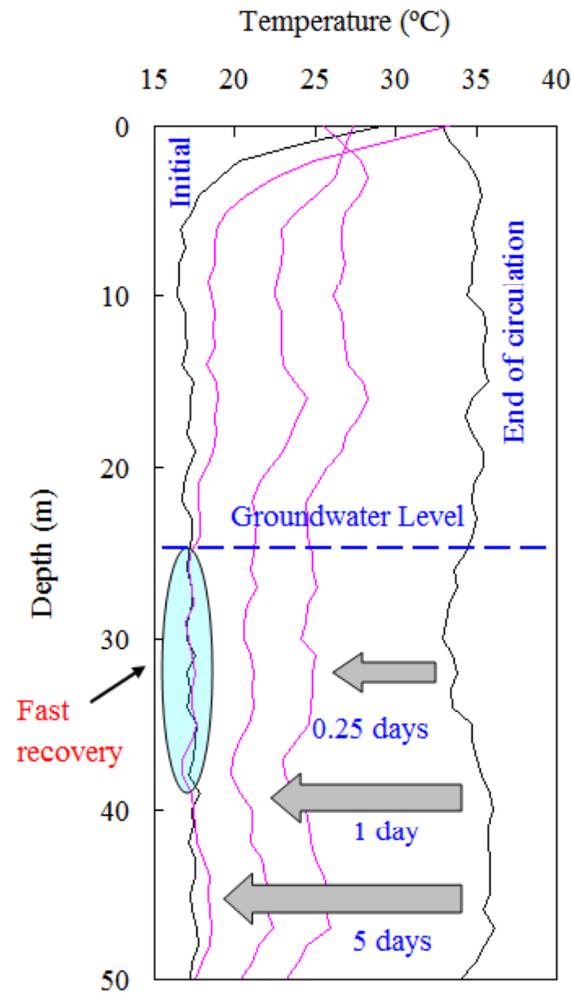


複数層モデルを用いた出口温度の
マッチング結果

TRT中の坑井内温度プロファイル

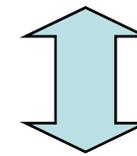


循環時



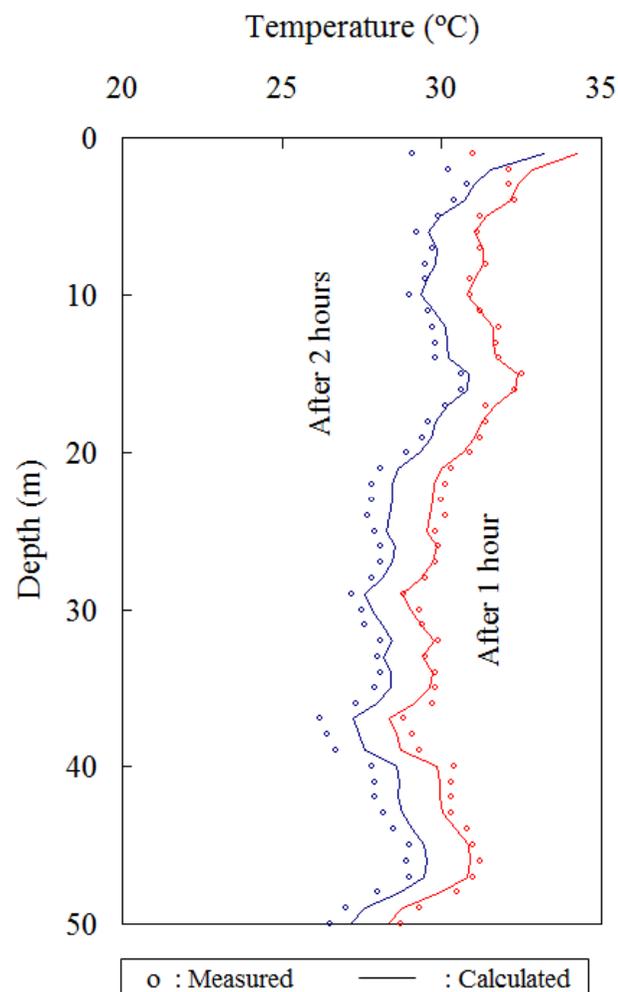
回復時

25m～40mにおいて地下水
流れの存在が推定される。

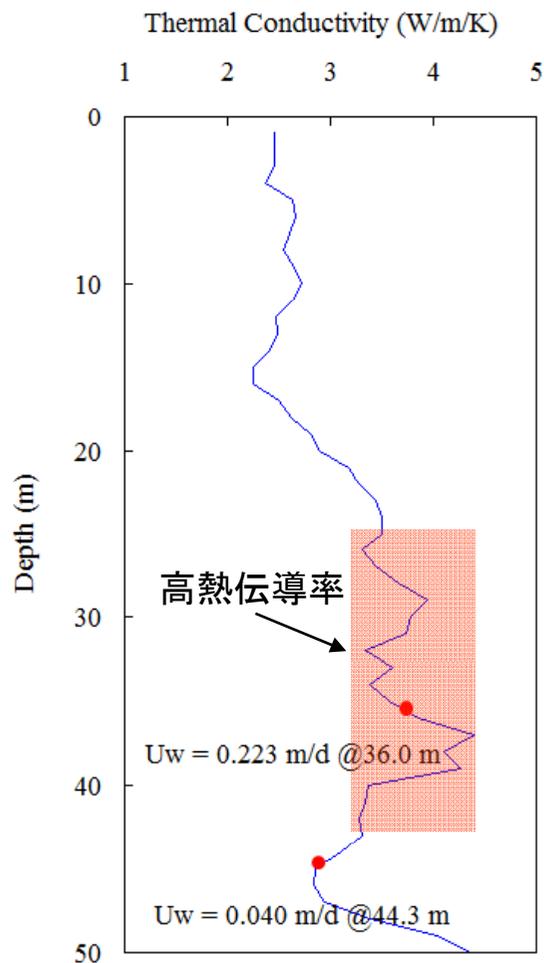


地下水流向流速測定結果と
調和的である。

坑井内温度プロファイルのマッチング



回復時温度プロファイルの
マッチング



推定された熱伝導率分布

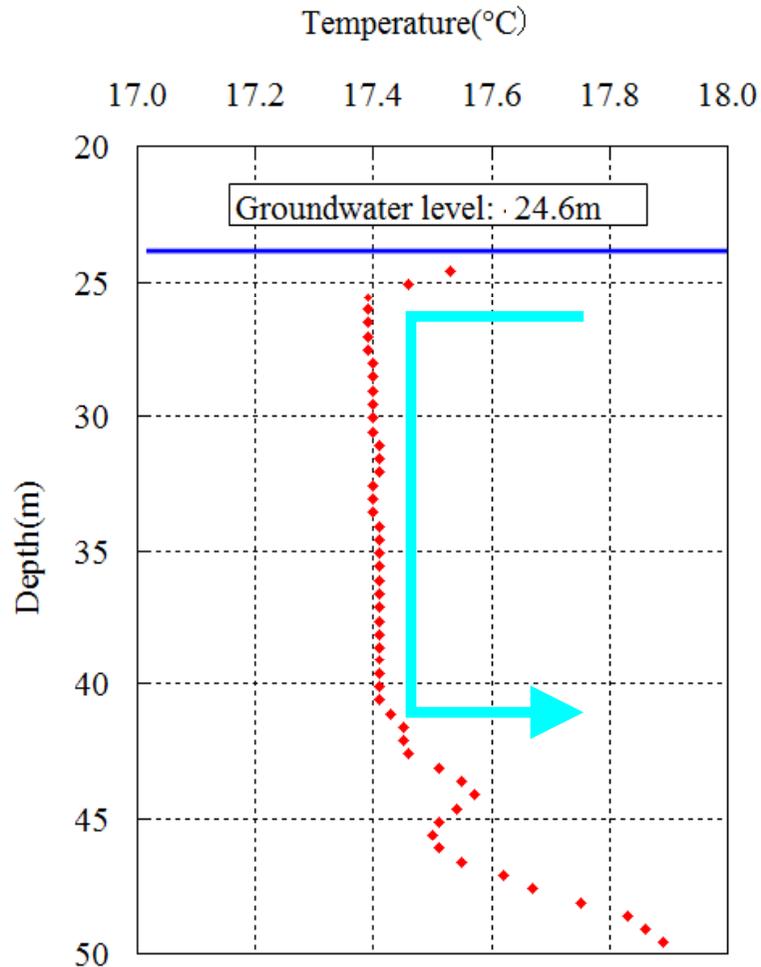
[結果]

測定された地下水流速と見かけ熱伝導率は良好に一致した。

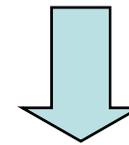
[問題点]

25m～40mにおける急激な温度回復は、1日以上経過後の回復データを用いた場合には再現できない。

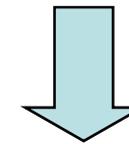
坑井内のクロスフロー(?)



25m~40mの温度はほぼ一定。



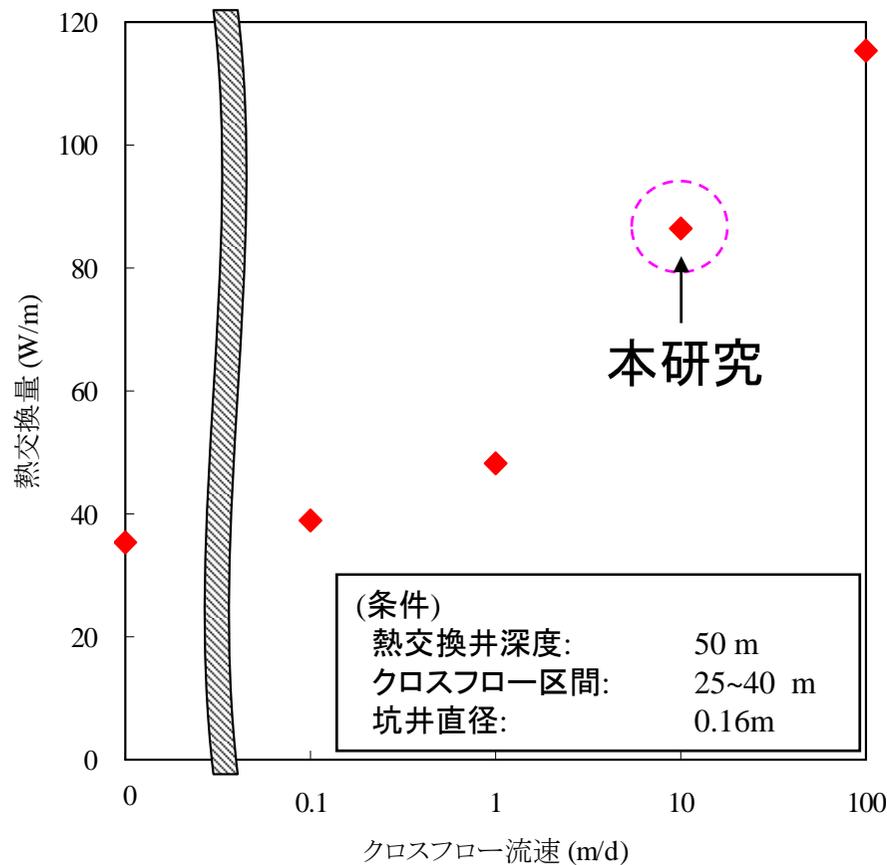
熱交換井内で帯水層間のクロスフローが起きている可能性あり。



クロスフローにより、温度回復が加速されている可能性がある。

隣接する水井戸における
温度測定結果

クロスフローによる熱交換量改善効果の試算



クロスフロー流速と熱交換量の関係
(FEFLOWによる数値計算結果)

熱交換はクロスフローにより改善される。



地表からの注水により, 人工的な熱交換井内流れを起こし, 熱交換量を増進できる(?)。



フィールド試験にて確認する必要あり。

坑井直径=0.16m, 孔隙率=0.3において,

毎分1リットルの注水
→ 流速 239m/日

[研究2]

地下水流れの存在する地盤における実証試験



糸島平野

場所： 前原市九州電力(株)総合研究所
生物資源研究センター内

設置： 2007年6月

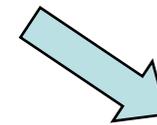
運転： 2007年7月～

空調面積： 約110平方メートル

熱交換井： 4x60m(計240m)

冷暖房能力： 約20kW

栽培作物： 胡蝶蘭



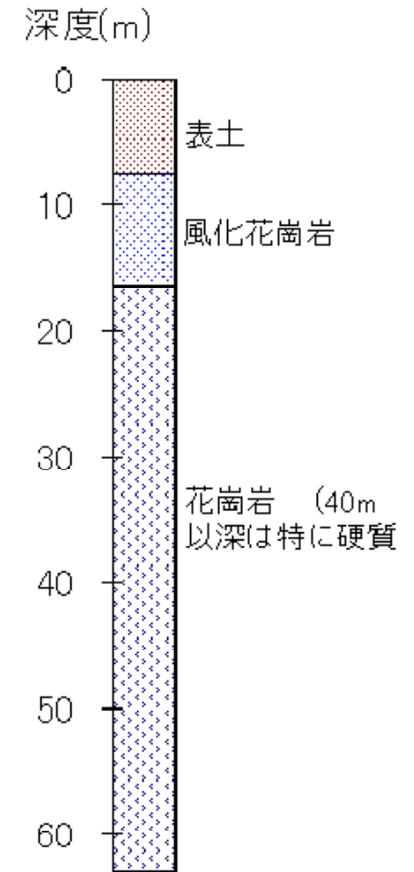
熱交換井掘削作業



掘削作業(約2週間)



掘削ビットの状況



地質柱状図

現在の状況

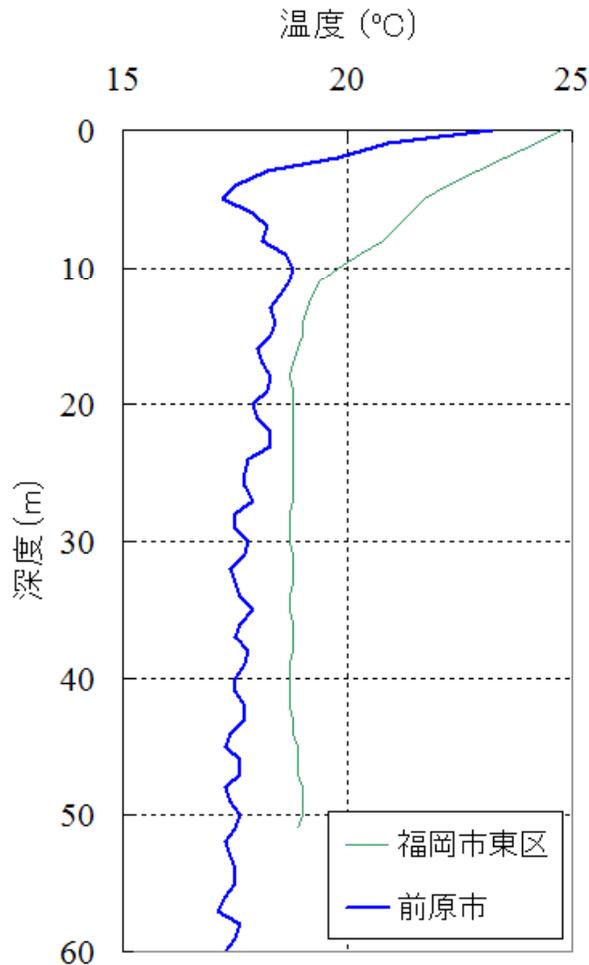


ヒートポンプと屋外配管

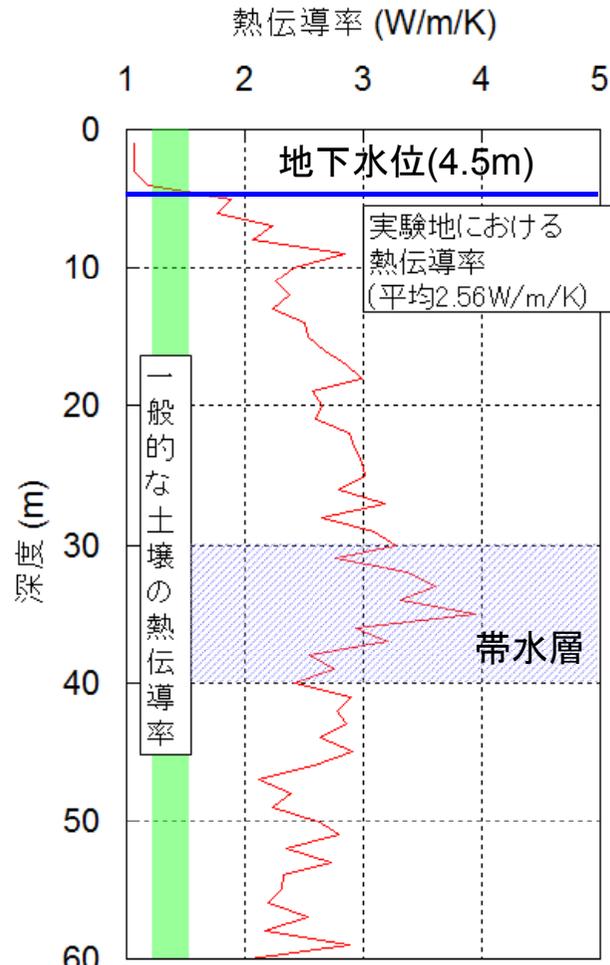


ハウス内部

地盤情報

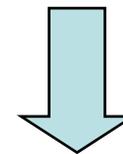


光ファイバー温度計
による地下温度



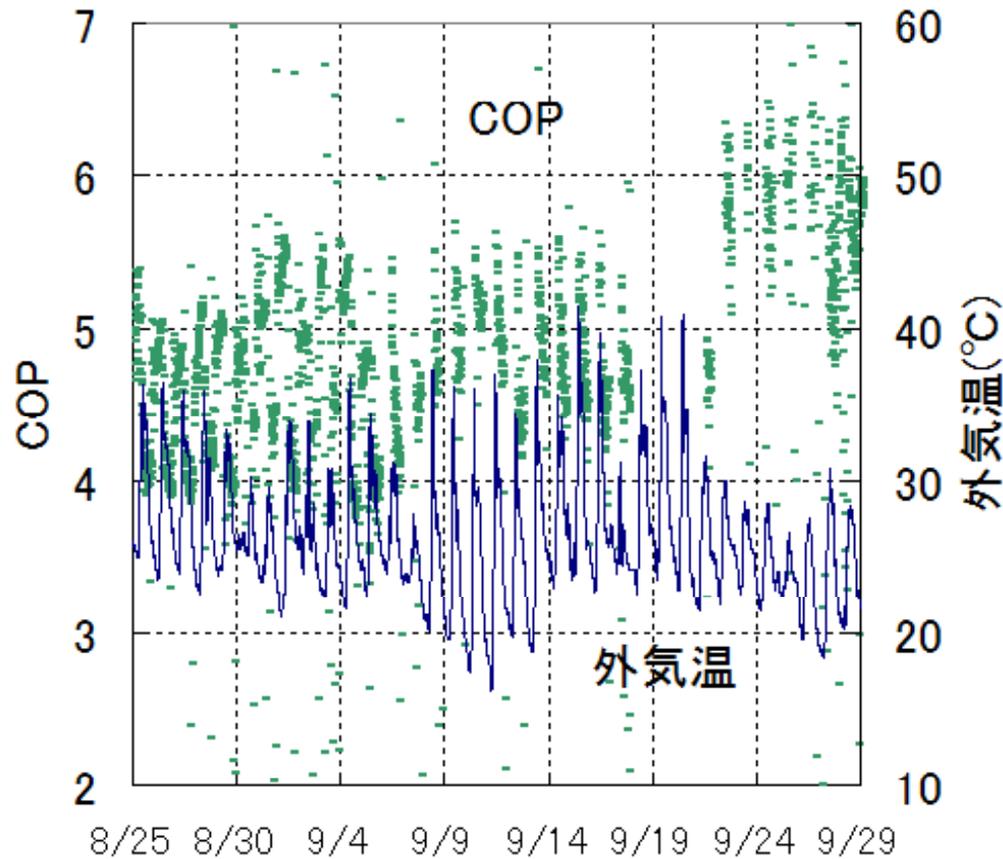
TRTによる熱伝導率
推定結果

- 実証試験位置は、
- 地温が福岡市内に比べて1~2度低い。
 - 熱伝導率が高い。



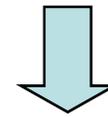
地中熱利用(特に冷房)に適した地域と考えられる。

冷房運転データ



COPと外気温の測定値

- COPは概ね4以上と良好な推移を示している。



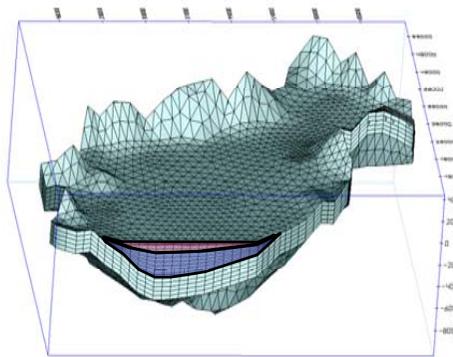
- 良好な立地条件により、高い省エネルギー性を実現した。
- 今後は暖房運転を含む長期運転データを収集し、本システムの経済性を総合的に検討する。

[研究3] 佐賀平野における 地中熱利用適地マップの作成

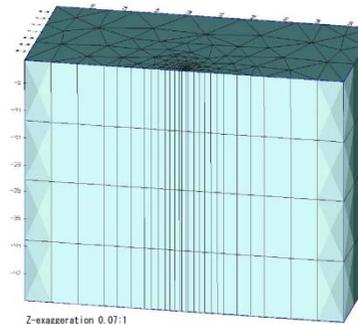
地下水フィールド調査



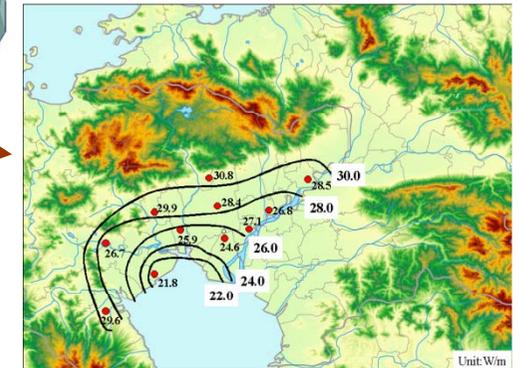
広域流動系モデル



熱交換井モデル



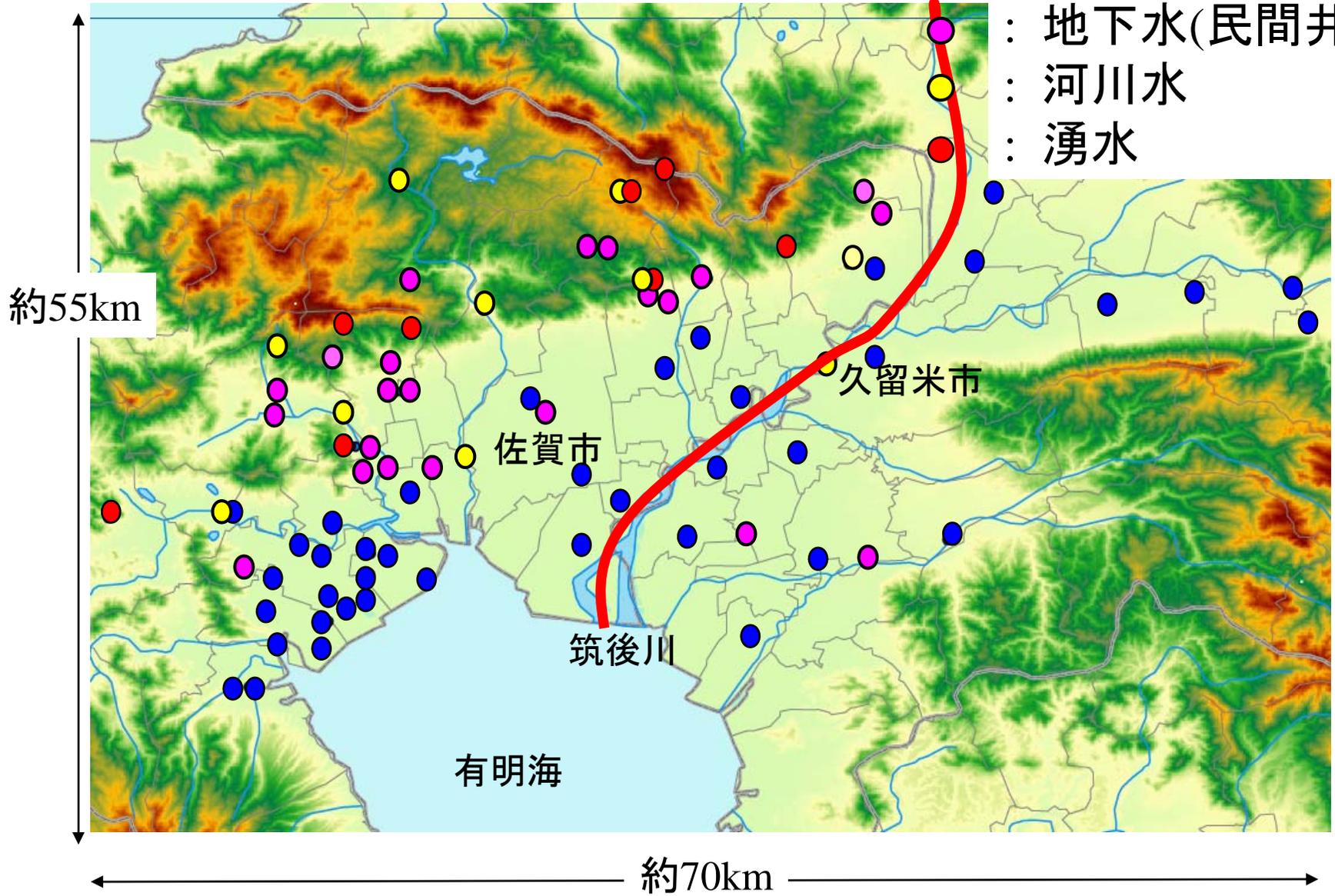
地中熱利用
適地マップ



数値モデリングには、有限要素法を用いた地下水流動解析ソフトFEFLOWを使用する。

調査地域(筑紫平野)

- : 地下水(観測井)
- : 地下水(民間井戸)
- : 河川水
- : 湧水



フィールド調査

1. 地下水位測定
2. 地下水の温度測定(2m間隔)
3. 観測井, 民間井戸や河川水における採水
4. 陽イオン(Na, NH₄, K, Mg, Ca)と陰イオン(F, Cl, NO₃, SO₄)の濃度および安定同位体比の測定

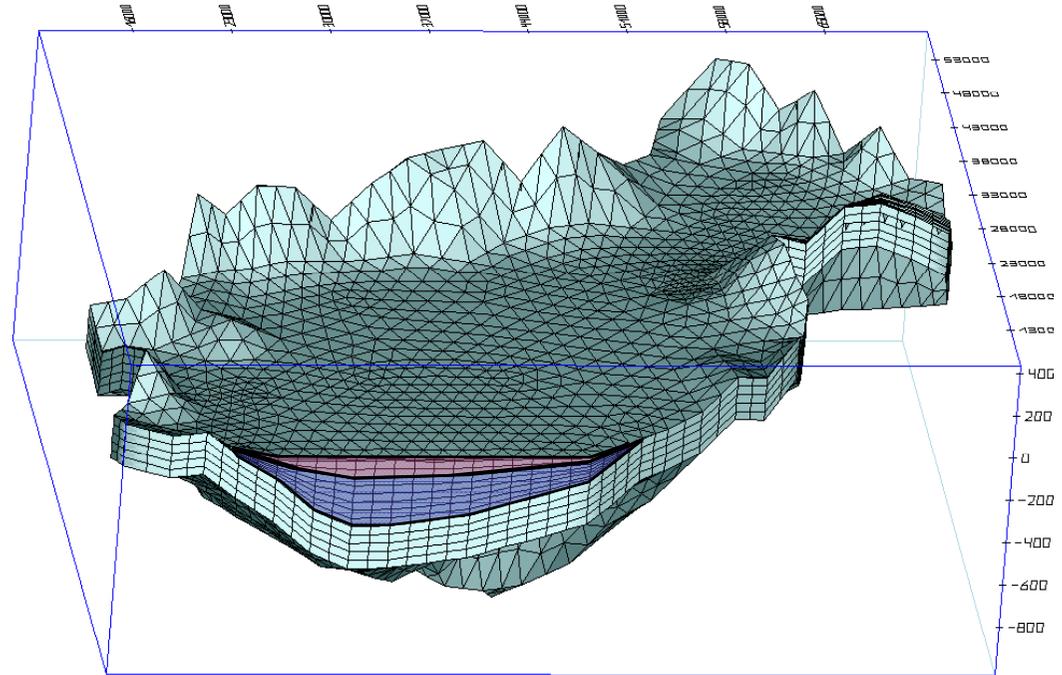
井戸の種類	場所数	サンプル数	温度測定個所
民間井戸	22	22	-
観測井	佐賀県	9	8
	筑後川	15	14
	武雄	5	5
農業用井戸	11	11	-
河川水	10	10	-
湧水	6	6	-
計	78	88	27



デジタルサーミスタ温度計

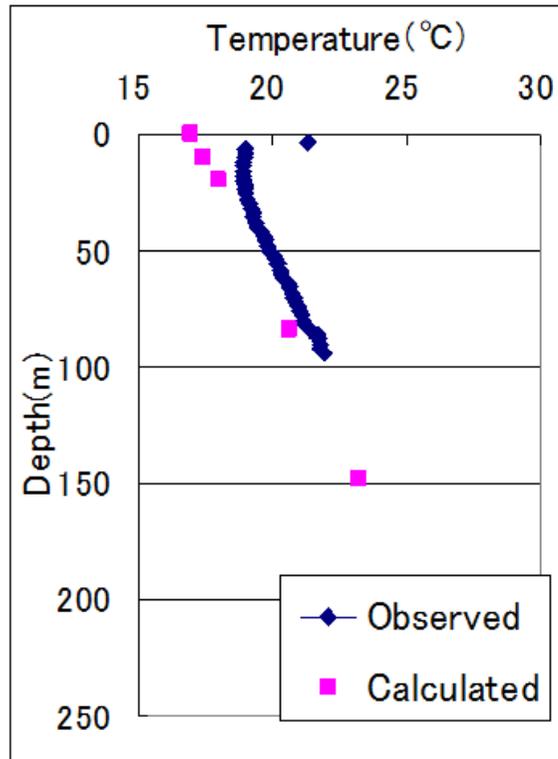
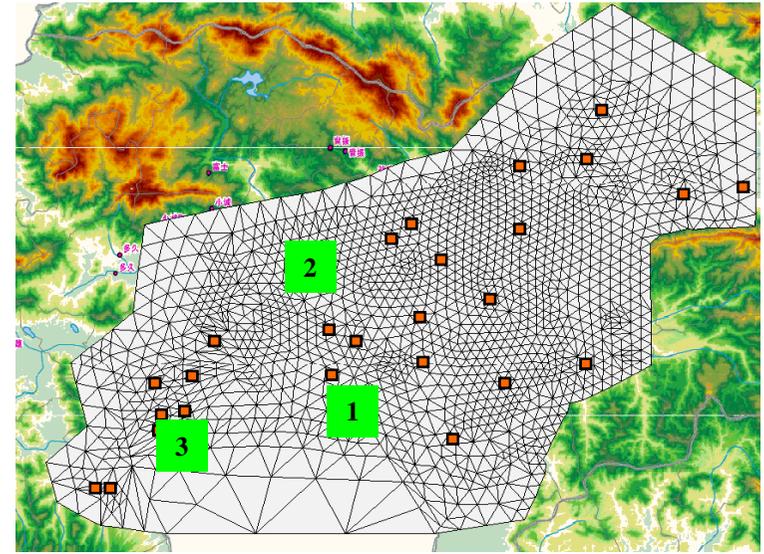
各層の分類と物性値

- Layer1~2 有明粘土層
- Layer3~10 砂礫層 (帯水層)
- Layer11~15 安山岩(基盤岩)

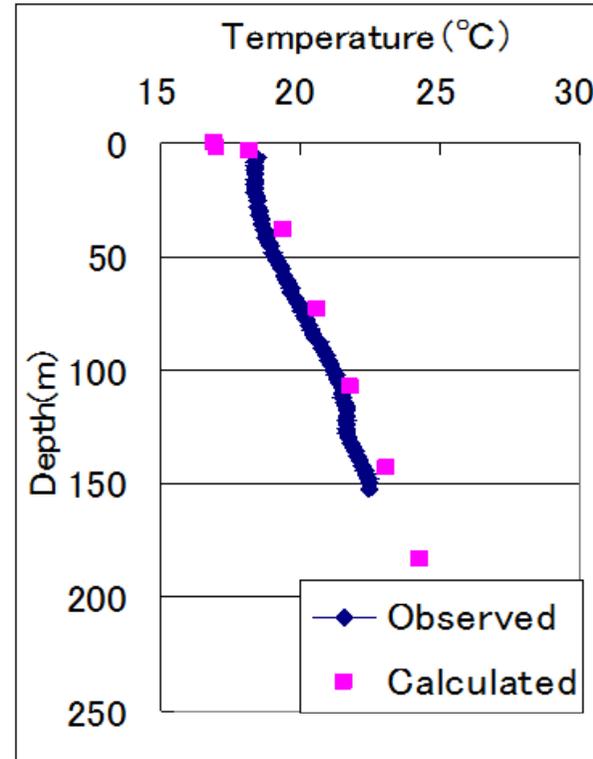


	透水係数(m/s)	孔隙率	熱伝導率(W/m/K)
L1~L2	1.0E-09	0.4	1.3
L3~L10	1.0E-05	0.15	1.6
L11~L15	1.0E-07	0.05	3.2

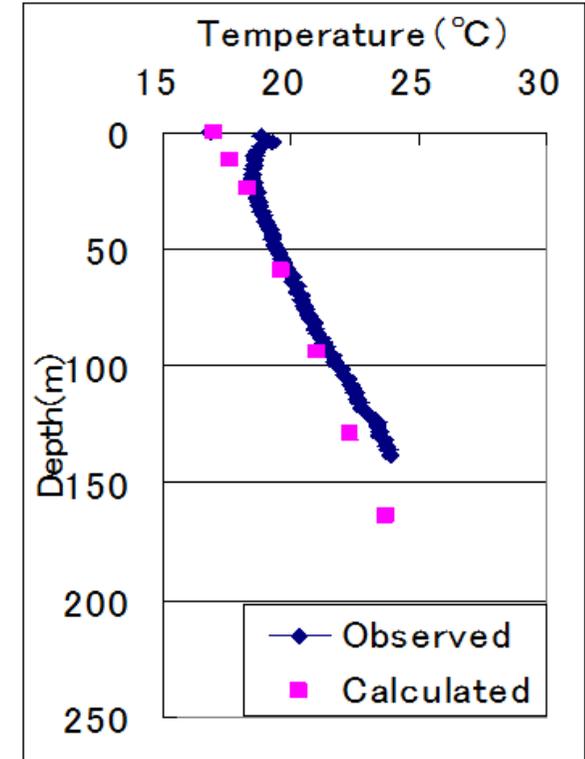
地下温度プロファイル のマッチング



No.1

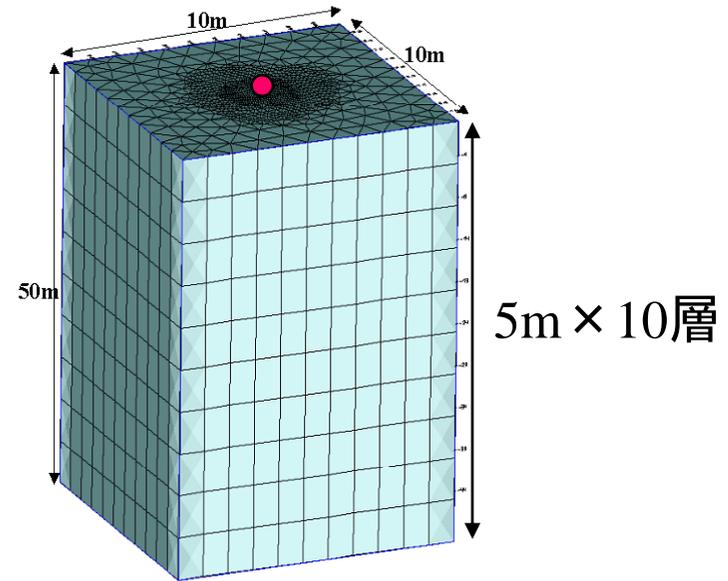
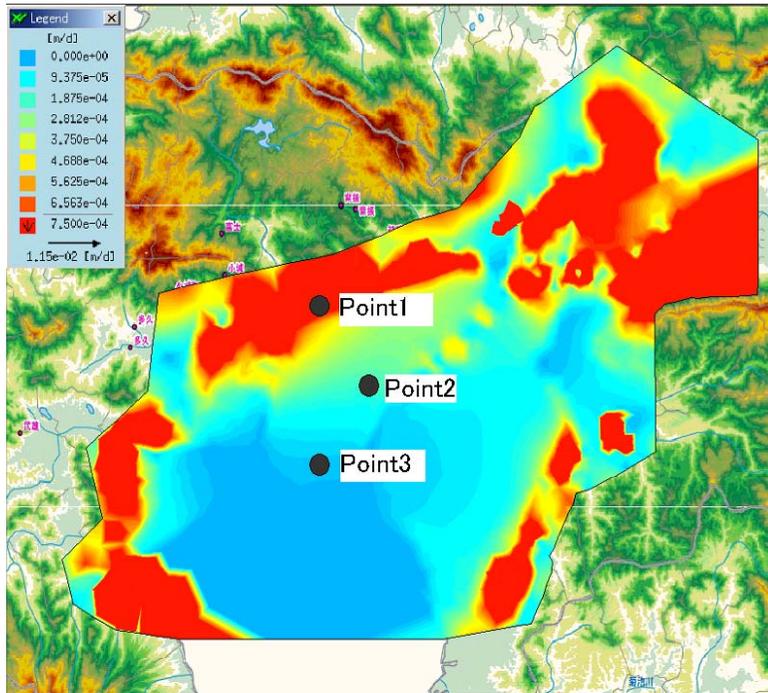


No.2



No.3

熱交換井モデル



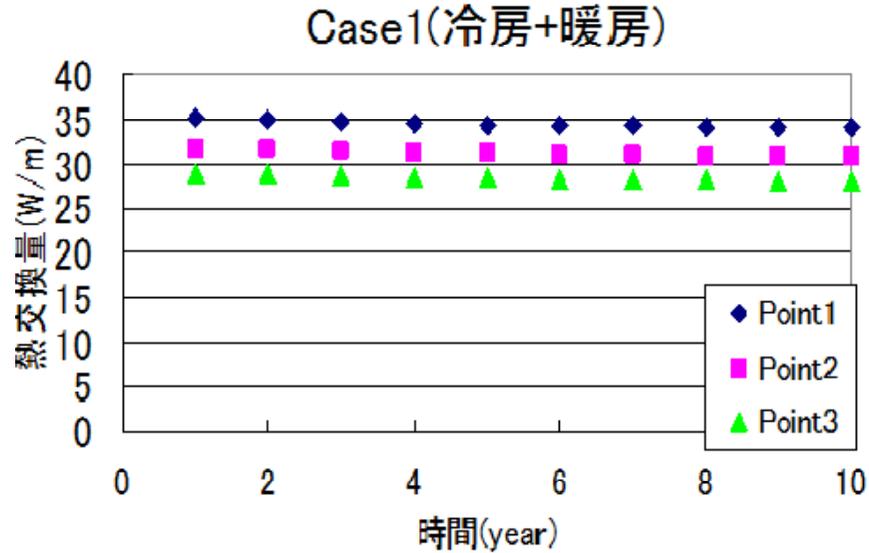
坑井深度 : 50m

熱交換器 : ダブルU字管

Point	砂礫層での地下水流速(m/d)	粘土層	砂礫層
1	2.0×10^{-3}	-	Layer 1-10
2	2.3×10^{-4}	Layer 1-3	Layer 4-10
3	6.3×10^{-5}	Layer 1-6	Layer 7-10

ケース	運転パターン
1	35°Cで放熱(6月~9月,120日間) +5°Cで採熱(12月~2月,90日間)
2	35°Cで放熱(6月~9月,120日間)

長期運転挙動予測



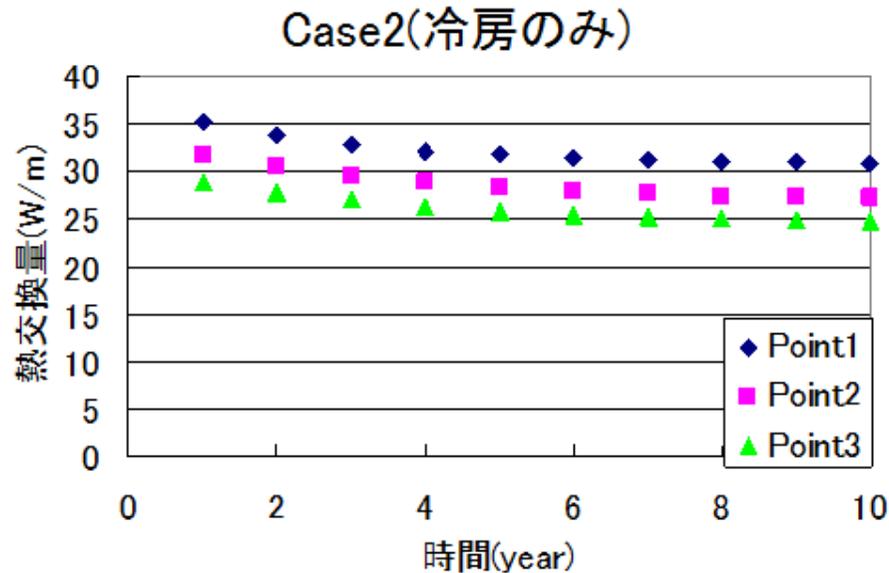
熱交換量の低下

Point1: 2.3%

Point2: 2.9%

Point3: 2.8%

冬期の採熱による能力の低下
はほとんど見られない



熱交換量の低下

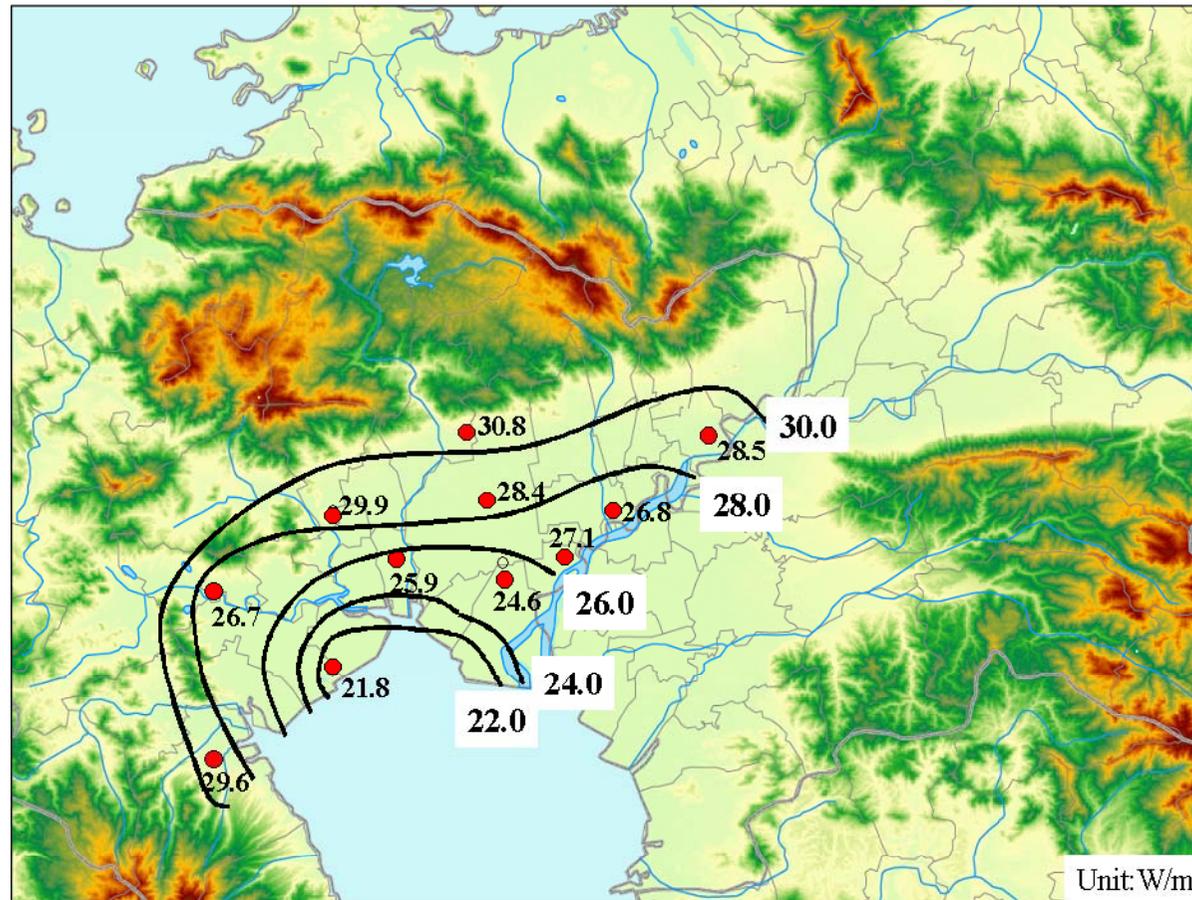
Point1: 12.1%

Point2: 14.5%

Point3: 14.8%

地下温度の上昇により、熱交
換量が経年的に低下する

佐賀平野の地中熱利用適地マップ



平野周辺部28～30(W/m) ➡ 沿岸部22(W/m)

最大約30%程度の熱交換量の差

まとめ

- 地下水流速が約0.1m/日以上での地盤において、地層の見かけ熱伝導率が改善されるので、必要な熱交換井長を短縮できる可能性がある。
- 光ファイバー温度計を用いた温度応答試験により、地層や地下水流動を考慮して熱交換井長を最適化できる。
- 熱交換井のグラウト部分におけるクロスフローにより、熱交換量が増進される可能性がある。
- 広域的な地下水流動系モデリング技術を用いて熱交換量マップを作成することにより、坑井を掘削する前に地中熱利用適地を推定することができる。