

2024年度成果報告会 プログラムNo.15

再生可能エネルギー熱利用にかかるコスト低減技術開発/低コスト化のための共通基盤技術開発/見かけ熱伝導率の推定手法と簡易熱応答試験法および統合型設計ツールの開発・規格化

発表日：2024年12月18日

発表者： 富樫 聡 小助川 洋幸

提案法人名：(国)北海道大学, (国)秋田大学, (国研)産業技術総合研究所

再委託先：(一社)全国さく井協会, (国)京都大学

共同実施：(学法)工学院大学, (学法)静岡理工科大学, (国)広島大学, (公)日本地下水学会,
(学法)金沢大学, (学法)東京海洋大学

問い合わせ先

国立大学法人北海道大学 E-mail: nagano@eng.hokudai.ac.jp TEL: 011-706-6285

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

事業概要



1. 期間

2020年6月 ～ 2024年3月

2. 目標(中間・最終)

①見かけ熱伝導率の推定手法の開発・規格化: 水文地質学の専門的知見に基づいた地質構造解析と広域地下水流動解析を行い、地質情報から高精度に推定する手法(産総研)と、本手法が適用できない範囲を含む全国を対象とした、地質情報に基づき統計学的に推定する手法(北大)を併せて開発する。

②簡易熱応答試験法(TRT)の開発・規格化: TRTのコストを縮減するための簡易TRTとして、1)大口径水井戸に適用可能なTRT装置の開発(秋田大)、2)垂直ボアホール型地中熱交換器に対応可能な簡易TRTの開発(北大)を行う。

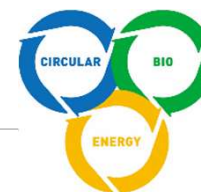
③統合型設計ツールの開発の開発・規格化: 現在主流となっているクローズドループシステムの設計ツールに①で開発した地盤物性データベースを加え、多種の地中熱交換器に対応可能とし、さらには建物・空調設備との連成を図る等、より精緻化すると共に、オープンループシステムの設計機能を加えた統合型設計ツールを開発する。

3. 成果・進捗概要

①見かけ熱伝導率の推定手法の開発・規格化: 4手法の数値TRT結果に基づき見かけ熱伝導率推計式を作成した。見かけ熱伝導率推計式の入力パラメータ(有効熱伝導率、地下水流速)は、水文地質学的手法、統計学的手法、および地下水情報の簡易推定手法に基づき整備した。以上を踏まえ、見かけ熱伝導率の推定手法の規格化および見かけ熱伝導率のデータベース作成の規格化を行った。

②簡易熱応答試験法(TRT)の開発・規格化: それぞれの簡易試験装置を製作した。全国6箇所(北海道札幌市、ニセコ町、山梨県甲斐市、広島県三次市、東京都江東区、滋賀県大津市)に、検証用の大深度(深度300m)地中熱交換器を設置した。CFD解析により、試験法とその有効性、課題について検討した。

③統合型設計ツールの開発の開発・規格化: DB規格化の共同WGを日本地下水学会と発足、東北5地域の地下水情報の整理、判定指標案の検討・検証、地下水還元の積雪時試験を実施、熱負荷・設備との連成計算アルゴリズムの開発、オープンループの設計手法の開発、簡易データ収集機器の設置(全国6カ所)、ツールの基本レイアウト・デザインの決定



①見かけ熱伝導率の推定手法の開発・規格化 (北大・金沢大・産総研) 見かけ熱伝導率推定手法の規格化

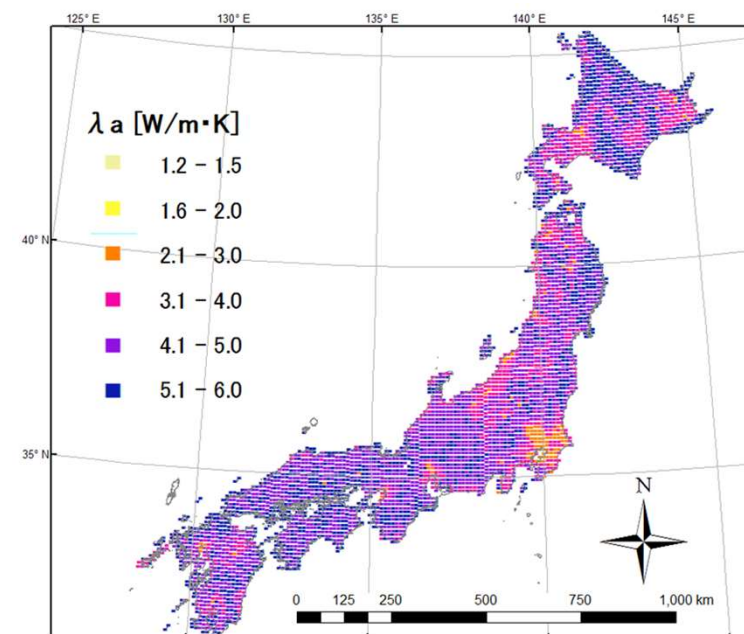


1) 見かけ熱伝導率推定手法の規格化およびマニュアル作成

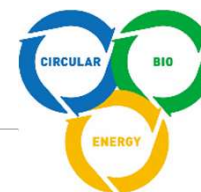
- マニュアル記載事項
 - ・ 推定手法の概説
 - ・ 手法を適用する際の留意事項
 - ・ 取得データの種別、解析方法
 - ・ 地質データ充足状況に基づく適用条件 等

2) DB作成の規格化

- DB試行版：有効熱伝導率マップ
 - ①北大・金沢大・・・地盤物性DBから整備
 - ②産総研・・・シームレス地質図を基に整備
- DBファイル形式：.shpなど ※更新可能な形式
- 空間解像度：500mグリッド（4次メッシュ）
- 留意事項の整理
 - ・ 見かけ熱伝導率推計式の使用に際して
※流速の大きな地域における推計式の取り扱い



プロトモデルの例：見かけ熱伝導率の全国データベース

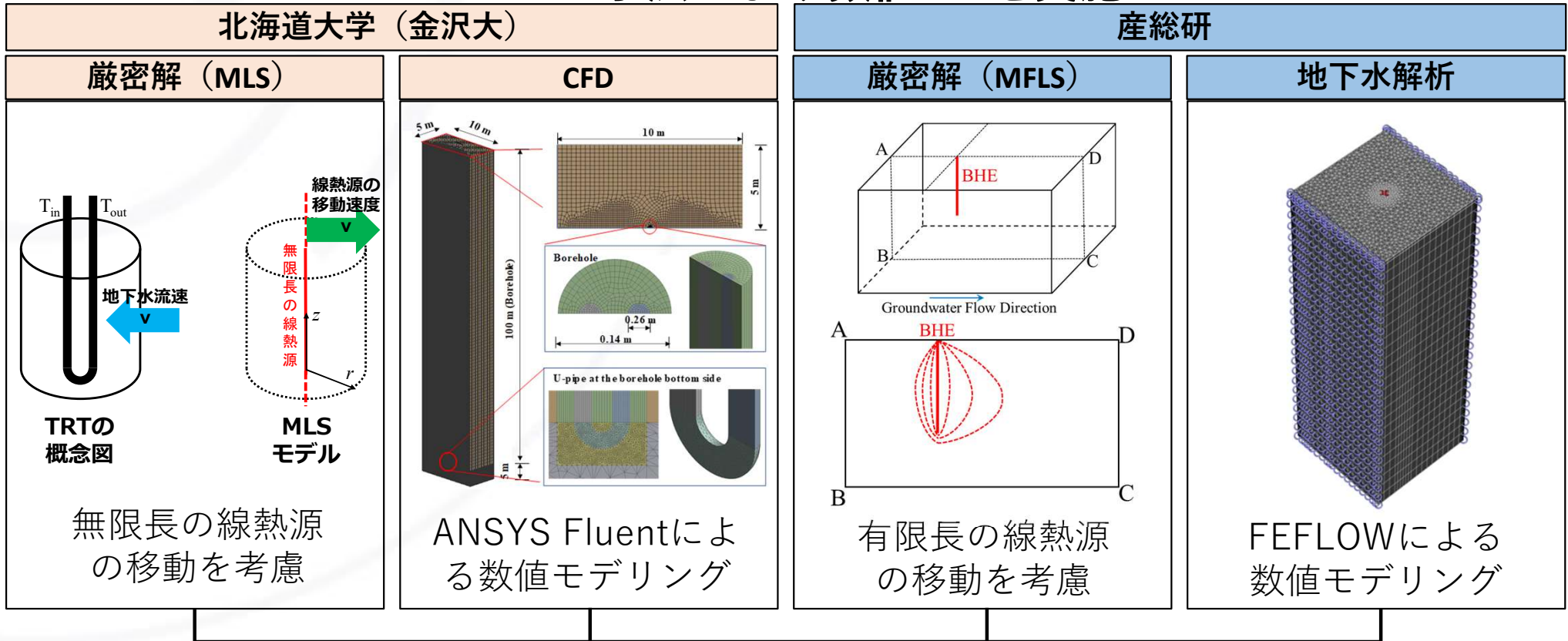


①見かけ熱伝導率の推定手法の開発・規格化(北大・金沢大・産総研)

見かけ熱伝導率の推計式：数値TRTに基づく推計式の作成



4つの手法により数値TRTを実施



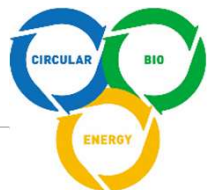
精度検証

見かけ熱伝導率
推計式

実務利用を考慮してMLSを採用

$$f(x,y) = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot x + \alpha_2 \cdot y + \alpha_3 \cdot x^2 + \alpha_4 \cdot xy + \alpha_5 \cdot y^2$$

$f(x,y)$: 見かけ熱伝導率, x : 有効熱伝導率, y : 地下水流速, $\alpha_0 \sim 5$: 係数



①見かけ熱伝導率の推定手法の開発・規格化(産総研)

見かけ熱伝導率の推計式：実測データに基づく推計式の検証



見かけ熱伝導率推計式の精度検証(例：唐津地域)

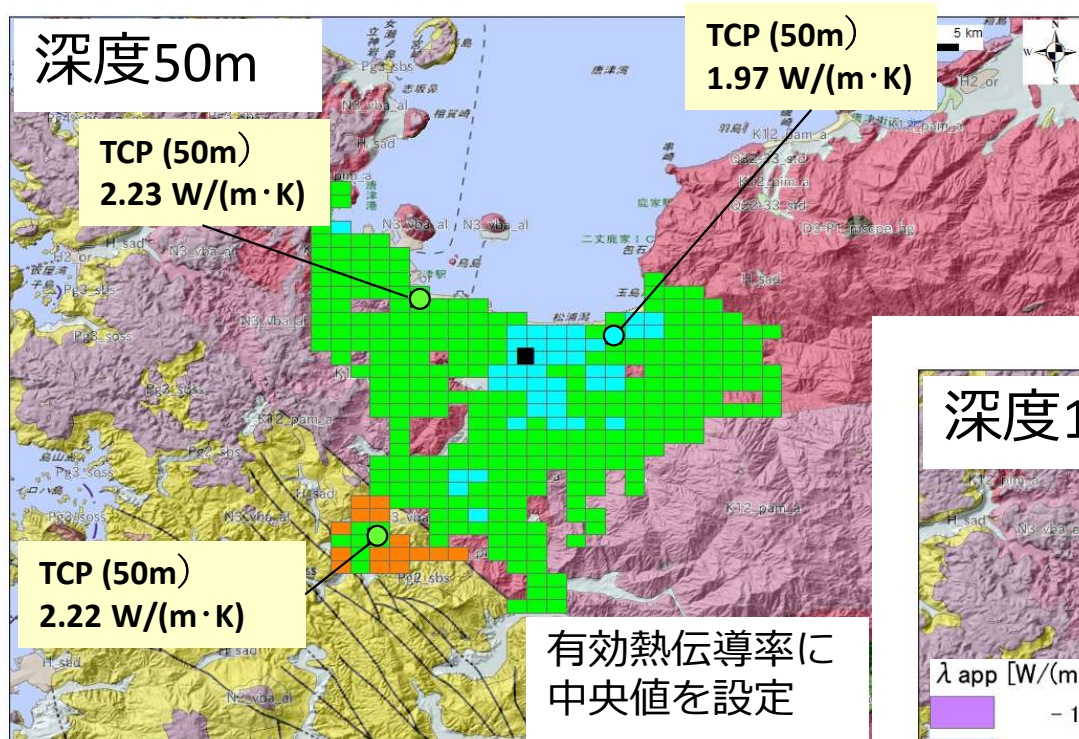
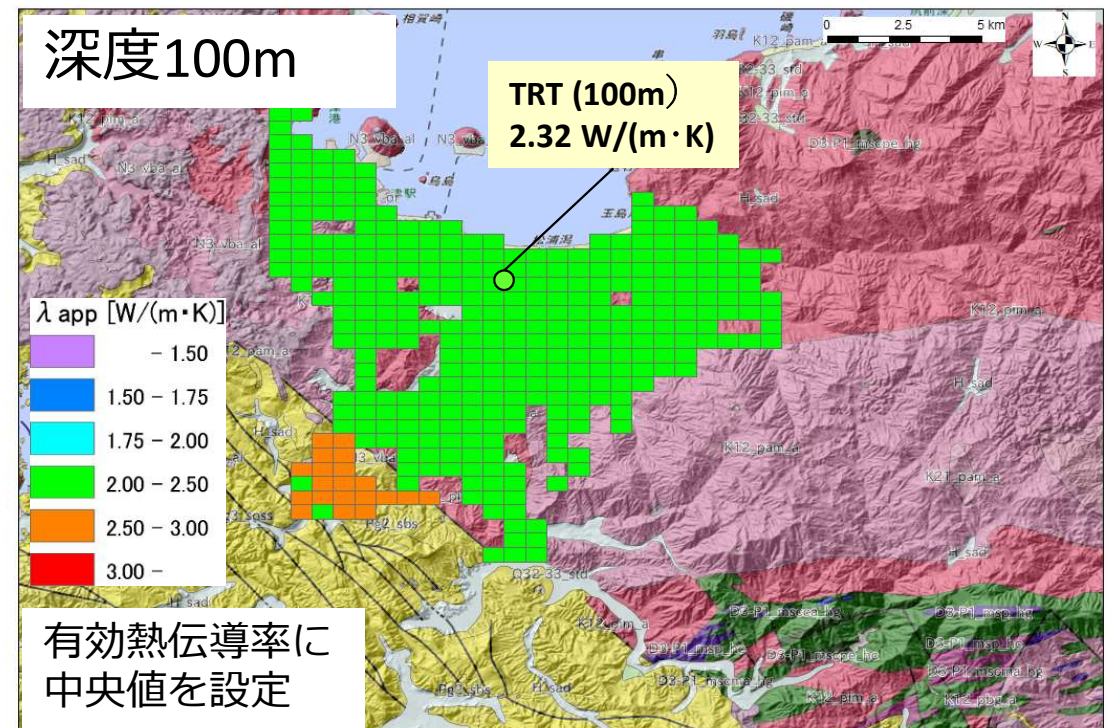


図-
推計式 (MLS)で求めた見かけ熱伝導率の
分布図 (深度50m、100m)



見かけ熱伝導率の計算値と実測値
の乖離は **ほとんどの地点で
0.5W/(m·K)以内**となることを確認



①見かけ熱伝導率の推定手法の開発・規格化(産総研)

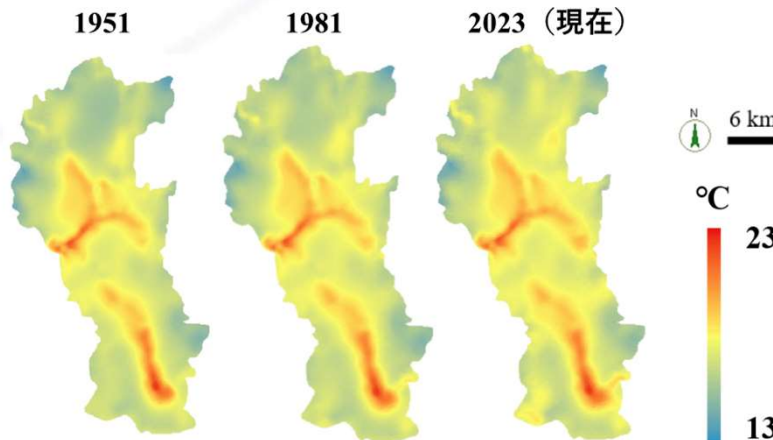
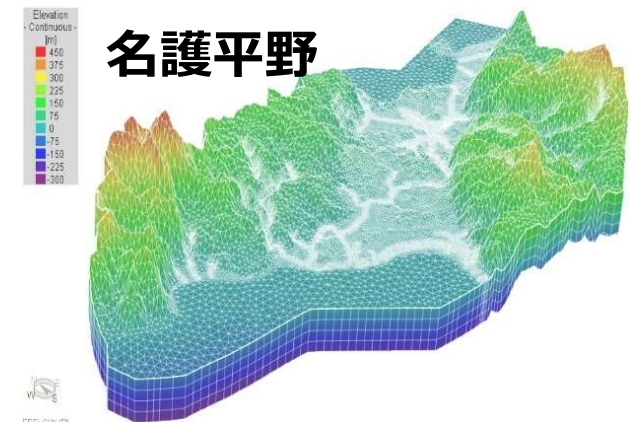
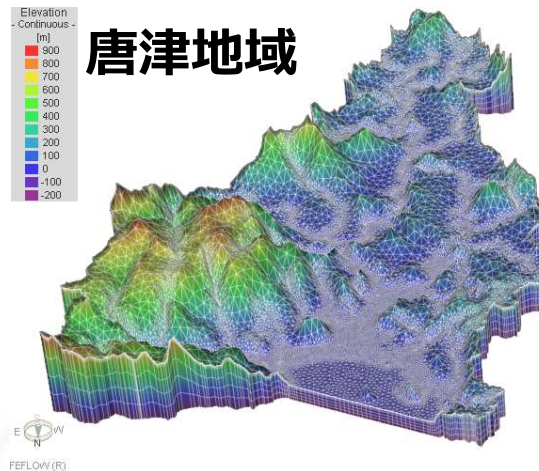
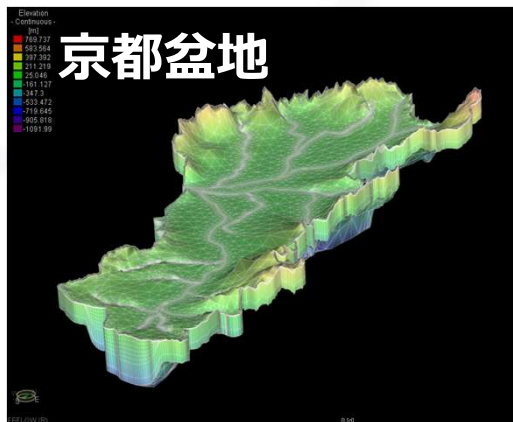
水文地質学的推定手法の開発

見かけ熱伝導率推計式の入力パラメータ整備：有効熱伝導率、地下水流速



モデル地域：京都盆地、唐津地域、沖縄本島（名護平野）

※異なる水文地質環境を有する地域をモデル地域に選定



非定常解析で推定された京都盆地の地下温度分布（深度100m）



地域シミュレーション結果と数学モデルより推定した塩水侵入領域（名護湾側）

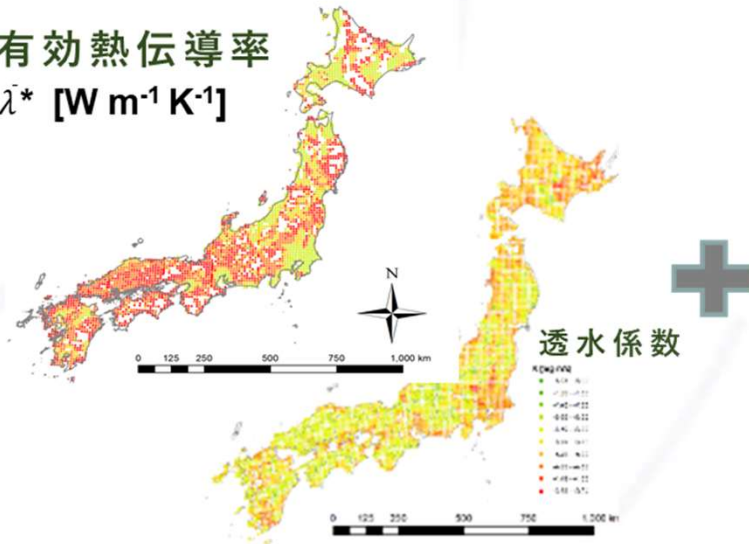
①見かけ熱伝導率の推定手法の開発・規格化(北大・金沢大)

統計学的推定手法の開発

見かけ熱伝導率推計式の入力パラメータ整備：有効熱伝導率、地下水流速

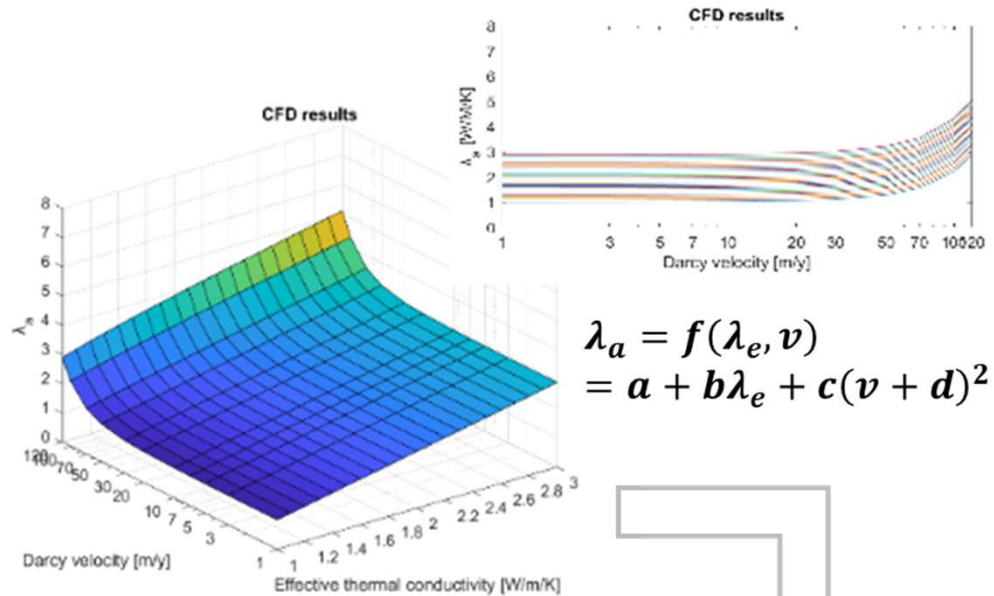


有効熱伝導率
 $\lambda^* \text{ [W m}^{-1} \text{ K}^{-1}]$



透水係数

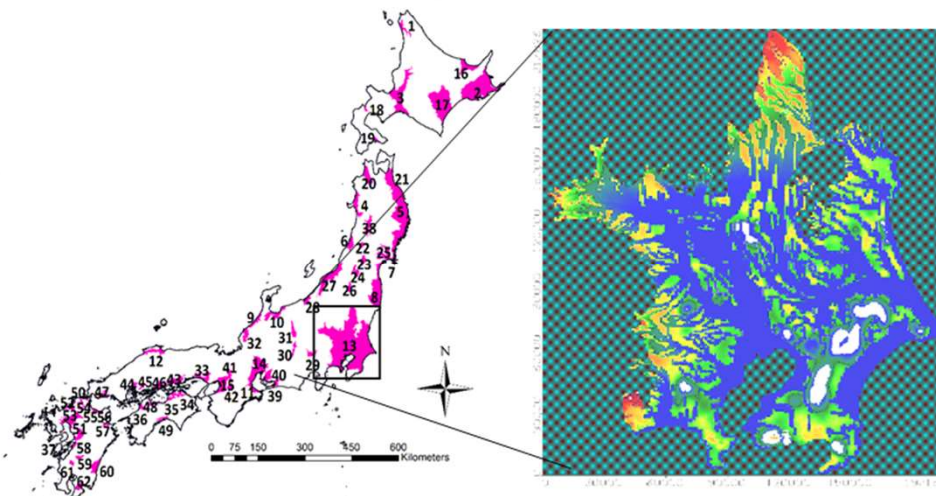
国土地球物性推定データベース



$$\lambda_a = f(\lambda_e, v) \\ = a + b\lambda_e + c(v + d)^2$$

有効熱伝導率・ダルシー流速と
見かけ熱伝導率の関係

見かけ熱伝
導率データ
ベース



全国63流域の地下水
シミュレーション結果
(地下水賦存量調査モデル
を北大にて再解析)



①見かけ熱伝導率の推定手法の開発・規格化(産総研)

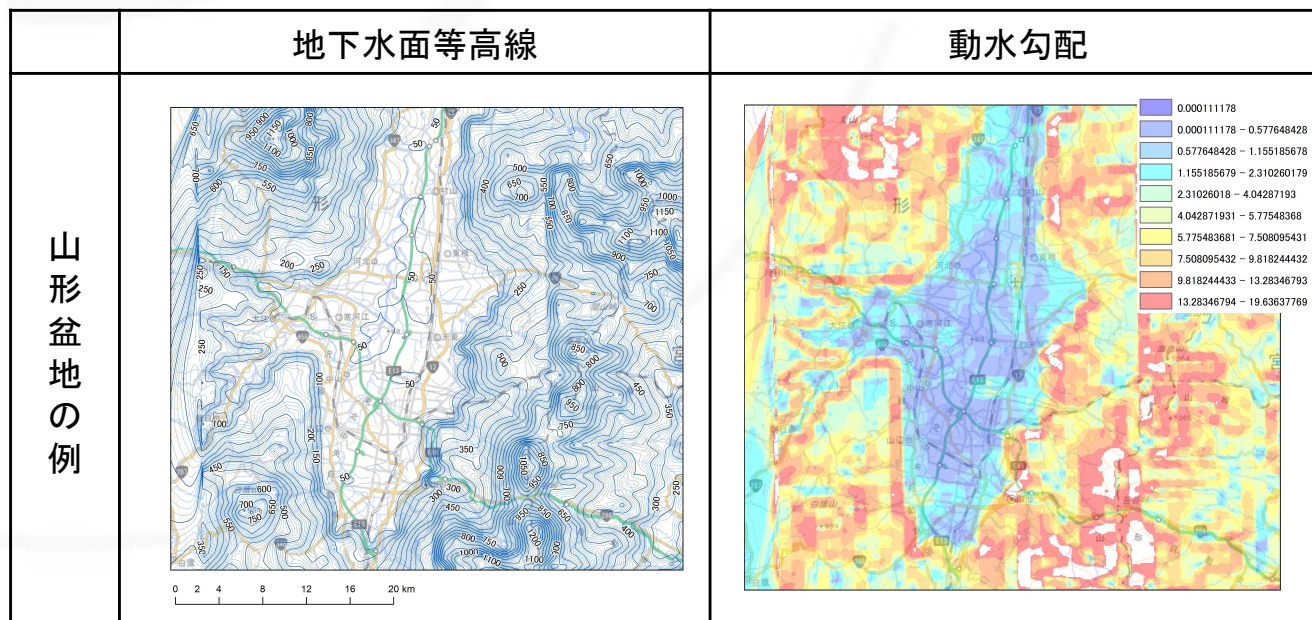
地下水情報の簡易推定手法開発

全国の地下水情報を網羅するための簡易推定手法開発



全国（AI解析）モデルの適用

- 全国（AI解析）モデルを構築・改良して、日本全国の地下水環境の概略推計を実施
- 概略推計の対象は「地下水面等高線」と「動水勾配」
- 動水勾配に透水係数を乗じることで地下水流速の概算が可能

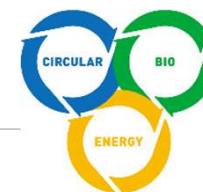


地下水情報DB整備

- 概略推計結果を基に**全国地下水情報DBを整備**
- メッシュサイズは500m四方

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

全国地下水情報
(動水勾配)



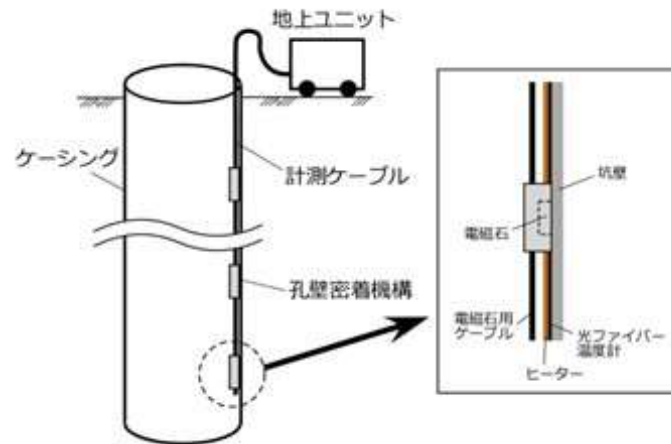
②簡易熱応答試験法(TRT)の開発・規格化(秋田大学)

井戸の管壁に密着する電磁石付ヒーターユニットを用いたTRT

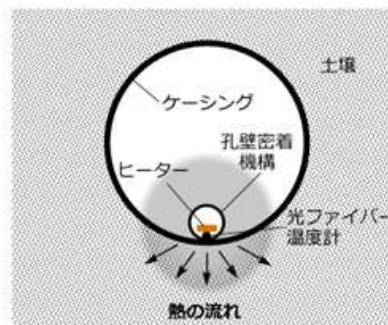
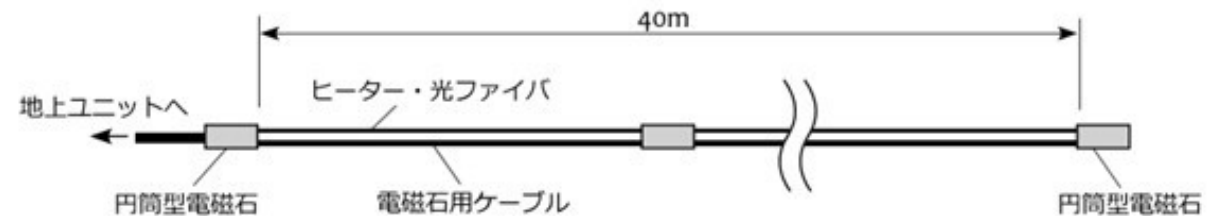
簡易型TRT装置の制作



従来のTRT装置は地中熱交換井として仕上げられた井戸にしか適用できないが、本装置はケーシング（鋼管）が設置されている**既存の水井戸，特に大口径の水井戸に適用可能**であるため、TRTデータの拡充およびTRTにかかるコストの削減が期待できる。



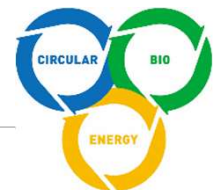
簡易型TRT装置設置イメージ



土壌加熱の模式図



製作した簡易型TRT装置



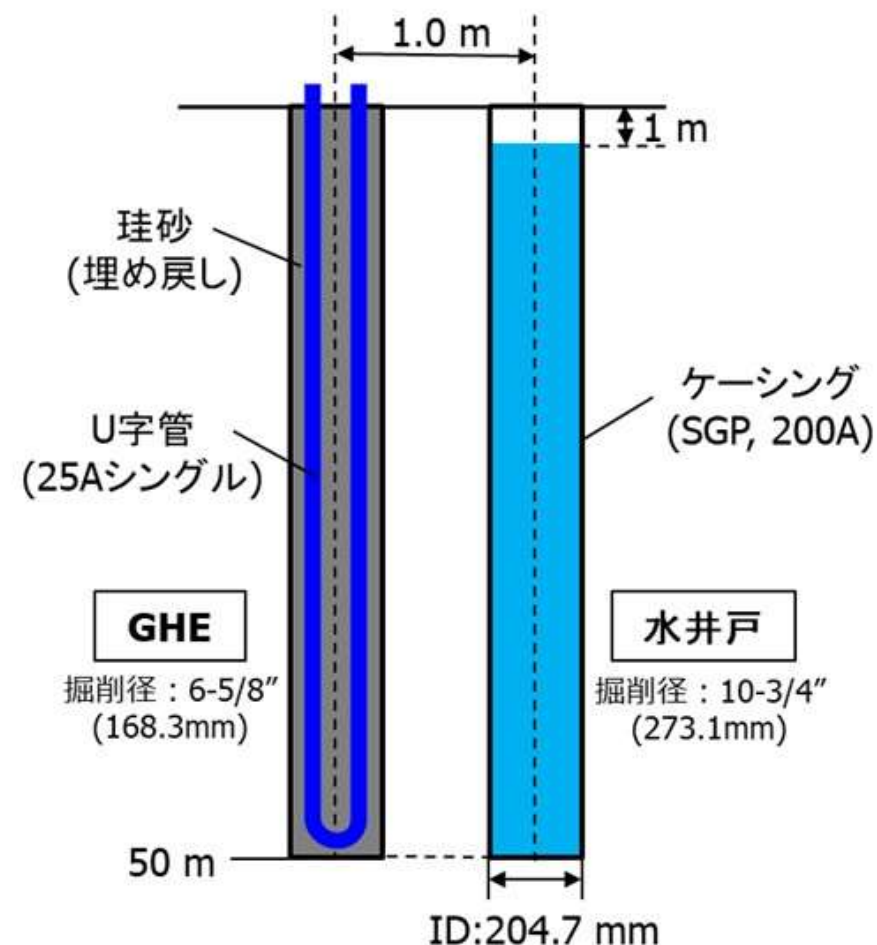
②簡易熱応答試験法(TRT)の開発・規格化(秋田大学)

井戸の管壁に密着する電磁石付ヒーターユニットを用いたTRT

試験地および試験井の概要

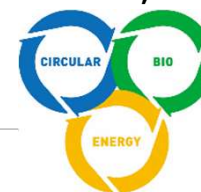


試験地の位置および掘削状況



試験井の仕上図

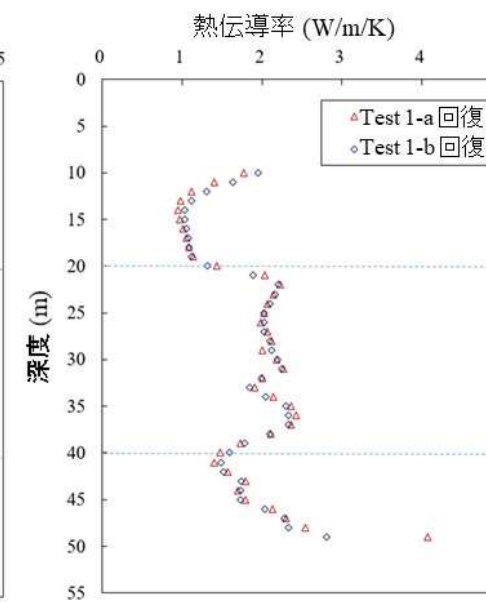
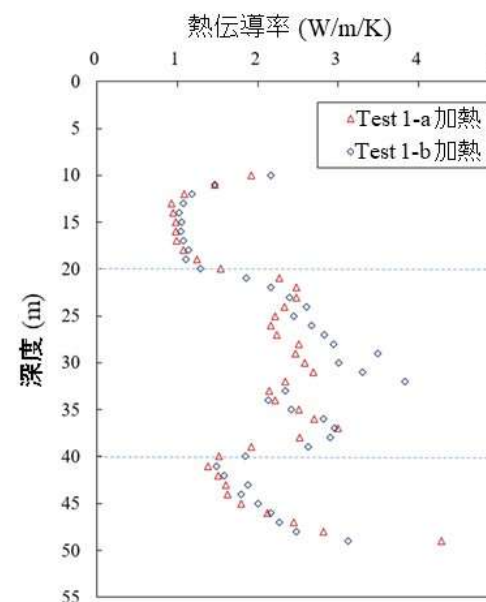
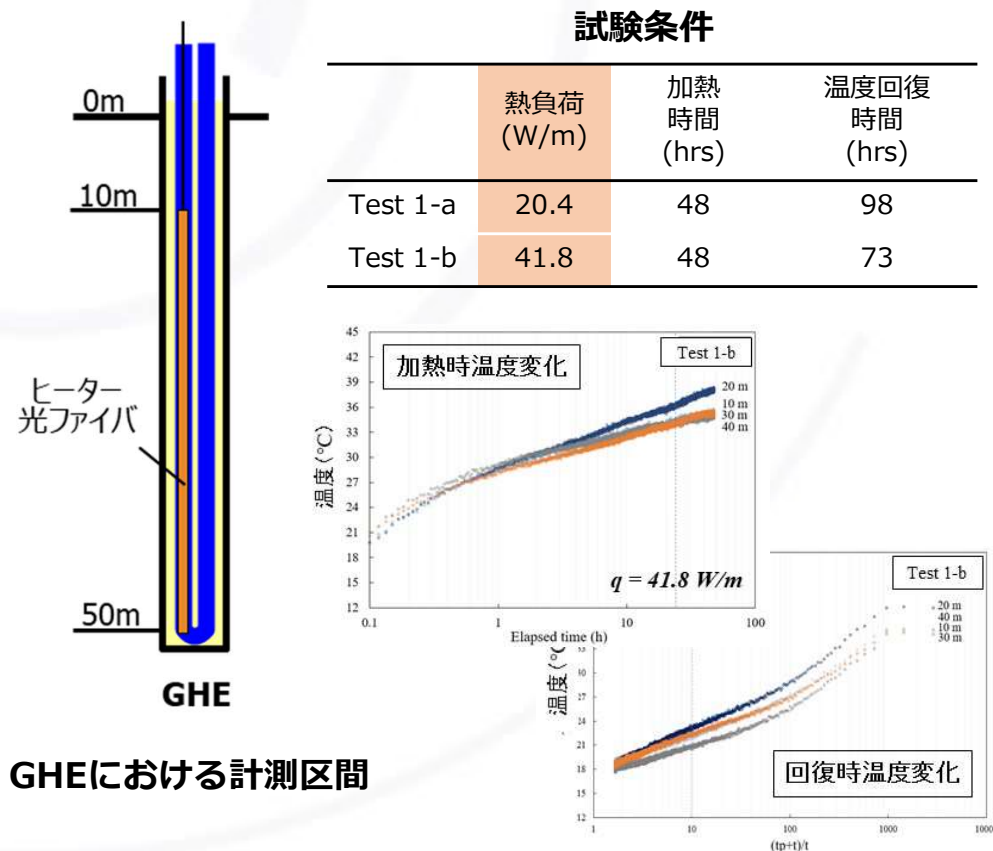
2023年度は、これまで試験を行ってきた秋田大学敷地内と地質構造や水文環境が異なる、佐賀市内に試験井（GHEおよび水井戸、各50m）を掘削し、現場試験を行った。



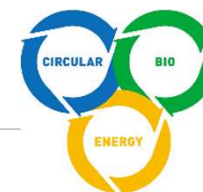
②簡易熱応答試験法(TRT)の開発・規格化(秋田大学)

井戸の管壁に密着する電磁石付ヒーターユニットを用いたTRT

GHEにおける試験結果



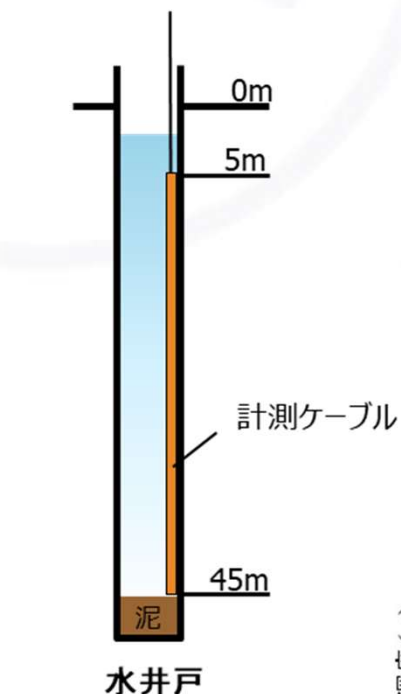
- 各深度における24時間以降の直線部の傾きより熱伝導率プロファイルを推定した。
- 深度20～40mの区間に地下水流れの存在が予想される。
- 温度回復期間より推定した熱伝導率プロファイルが良好な一致を示したことから、本試験地における基準熱伝導率プロファイルとして用いる。



②簡易熱応答試験法(TRT)の開発・規格化(秋田大学)

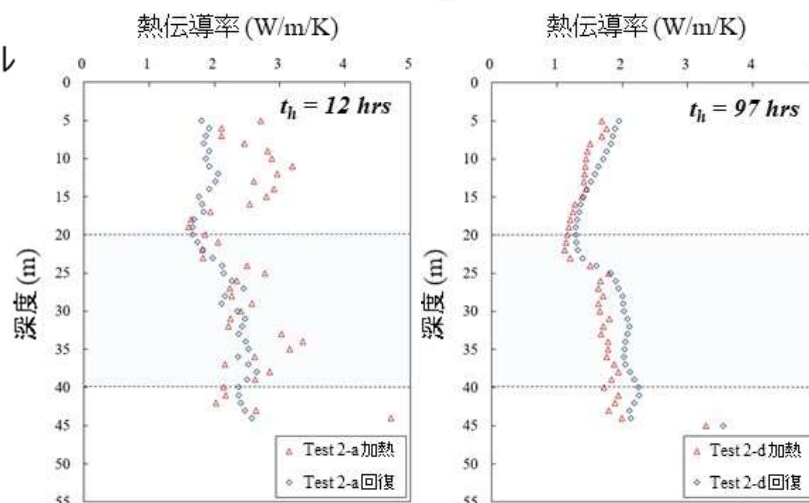
井戸の管壁に密着する電磁石付ヒーターユニットを用いたTRT

水井戸における試験結果

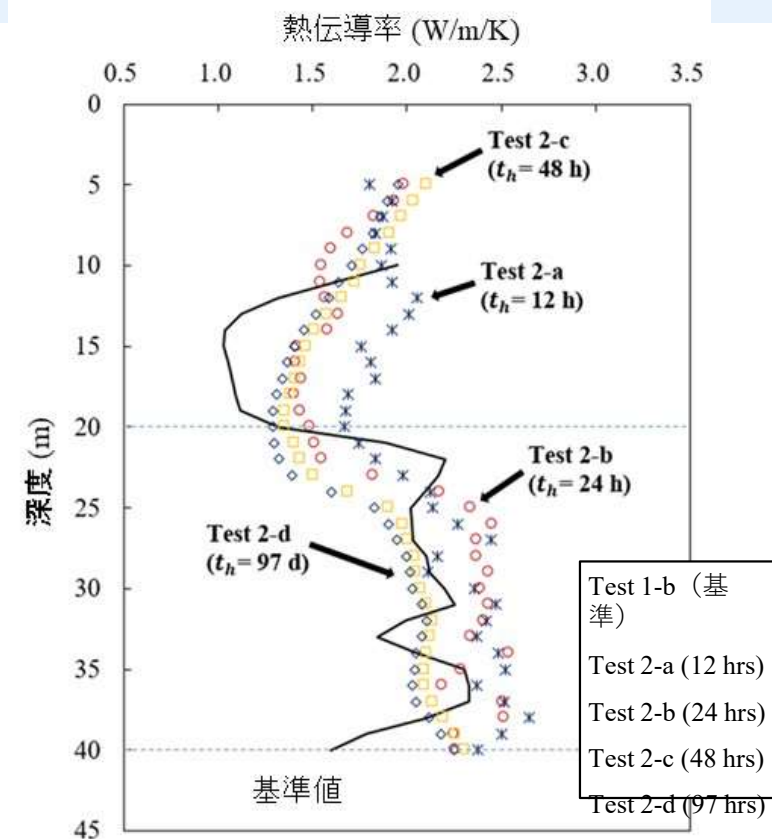


簡易型TRT装置の
設置区間

試験条件			
	熱負荷 (W/m)	加熱 時間 (hrs)	温度回復 時間 (hrs)
Test 2-a	42.7	12	27
Test 2-b	42.9	24	49
Test 2-c	43.8	48	49
Test 2-d	44.3	97	96



試験条件による熱伝導率プロファイル



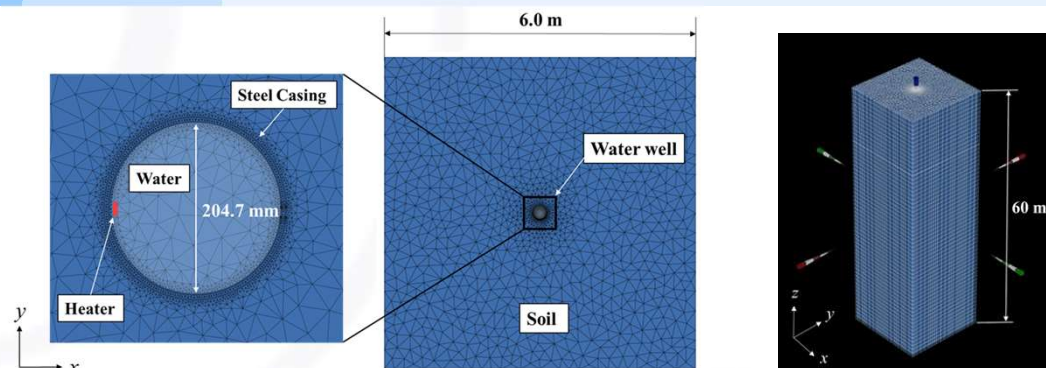
各試験の回復期間より推定された
熱伝導率プロファイルと基準プロファイルとの比較

- 加熱時間を長くすることで熱伝導率プロファイルのばらつきが減少し、回復期間より推定される熱伝導率プロファイルは基準プロファイルと近似した傾向を示した。

②簡易熱応答試験法(TRT)の開発・規格化(秋田大学)

井戸の管壁に密着する電磁石付ヒーターユニットを用いたTRT

数値TRTによる最小加熱時間の検討



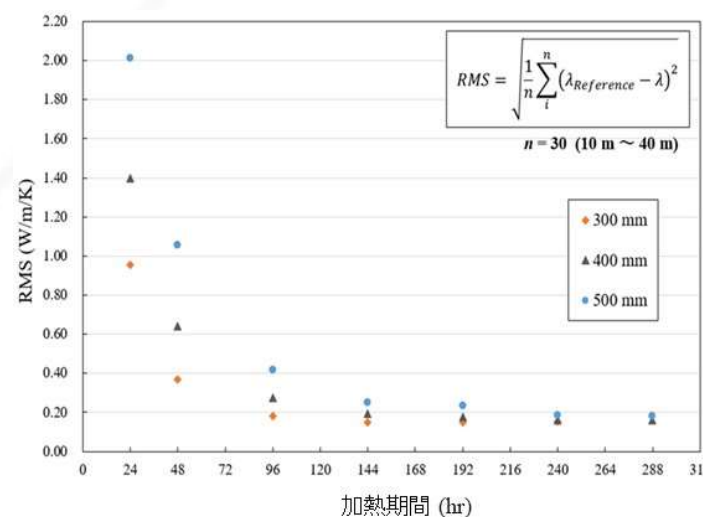
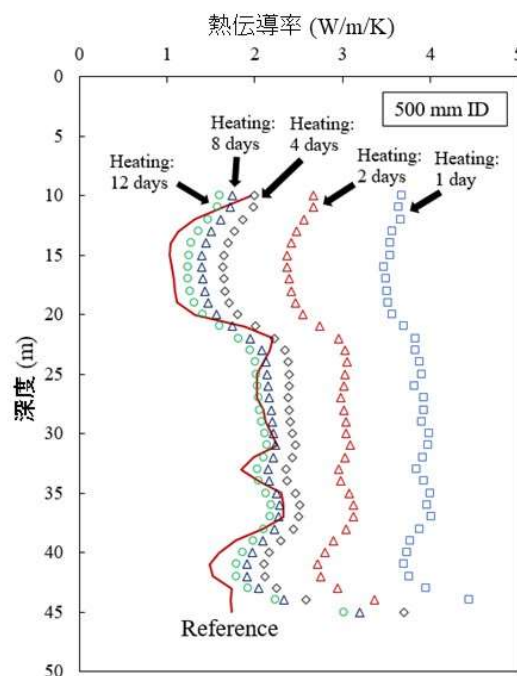
構築した数値モデルの構成

ソフトウェア：FEFLOW ver.7.1

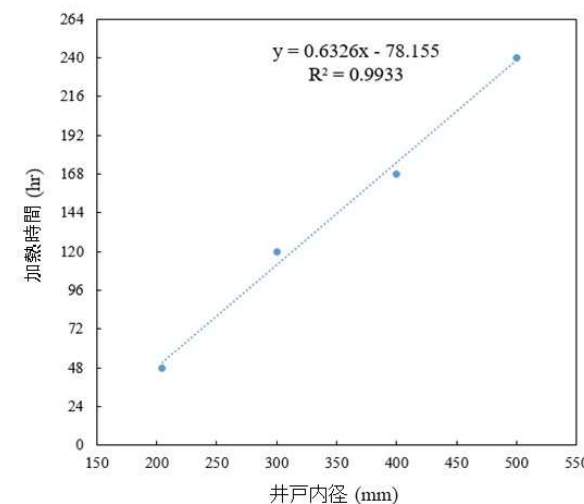
ヒストリマッチング条件 (TRT 2-c)

- 初期地層温度： 18.3 °C
- 熱負荷： 43.8 W/m
- 加熱時間： 48時間
- 地層熱伝導率： 各層に設定

井戸径を300, 400, 500mmID
に設定して数値TRTを実施



加熱期間と熱伝導率プロファイルRMSの関係

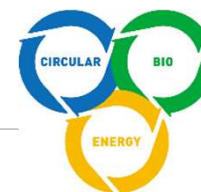


井戸の内径と最小加熱期間の関係

異なる加熱期間を与えた数値TRTより推定した
熱伝導率プロファイル (ID=500 mm)

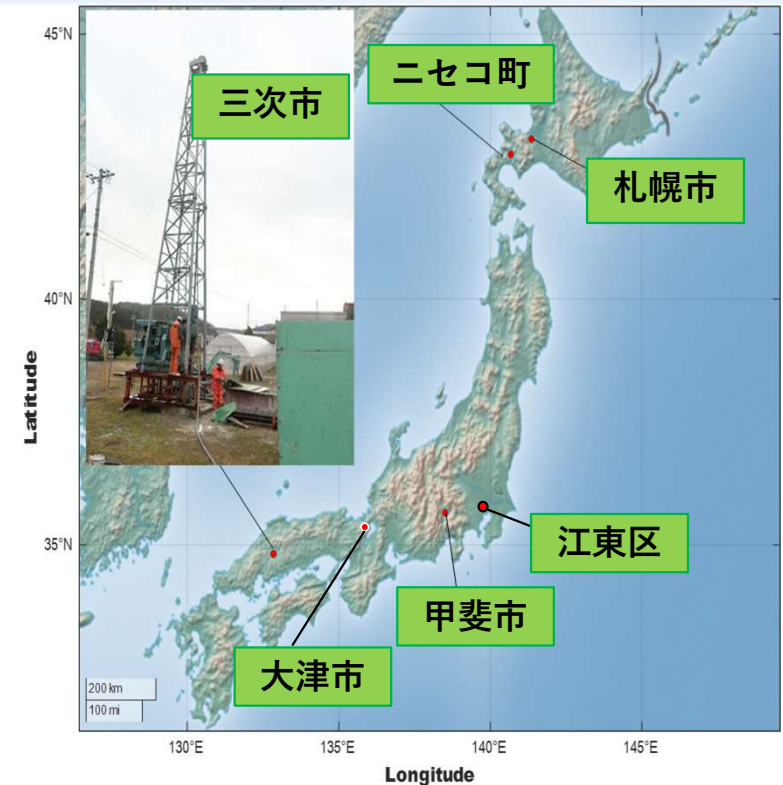
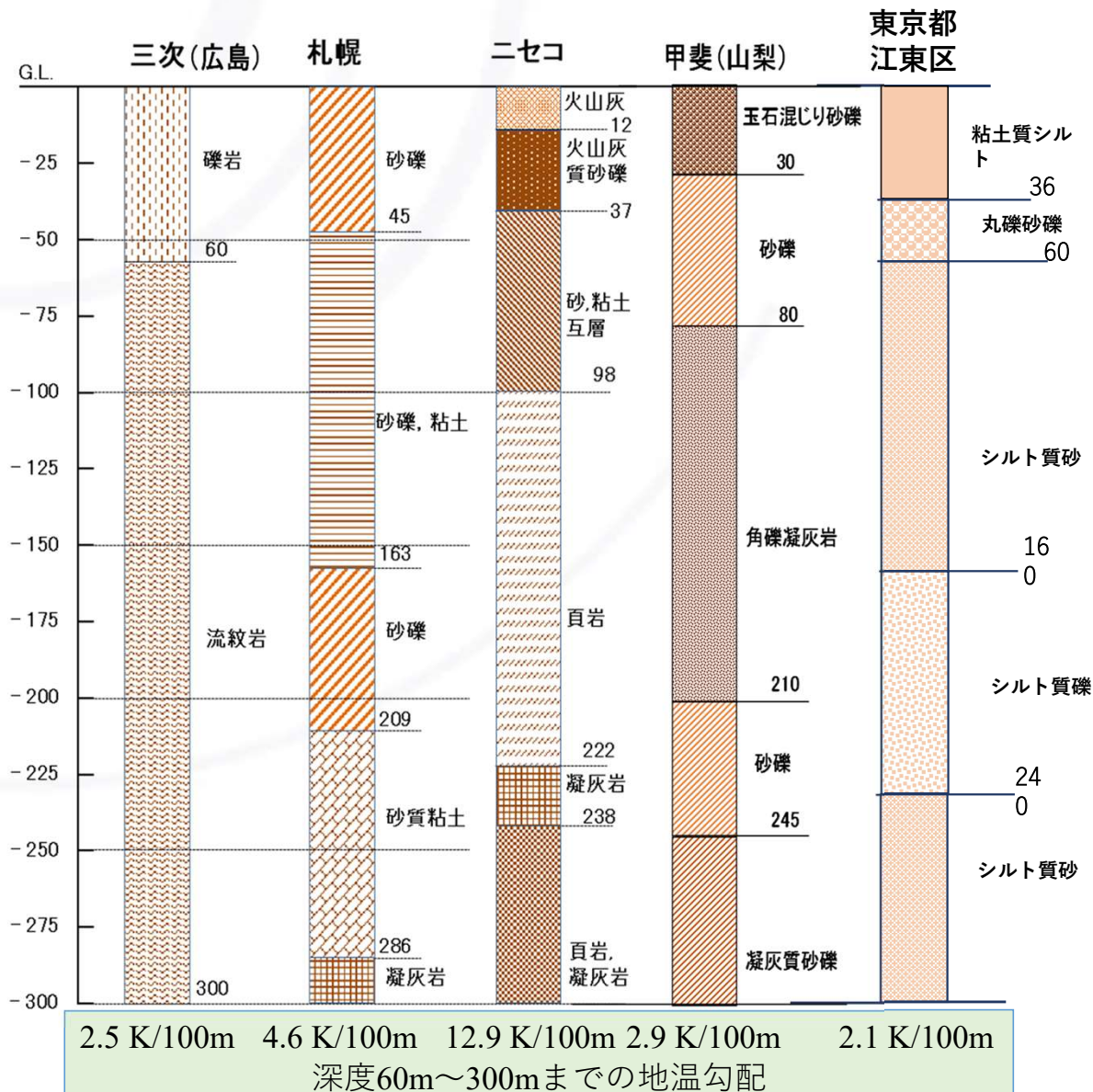
国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

ケーススタディにより、井戸内径と必要加熱
期間には正の相関関係がみられた。



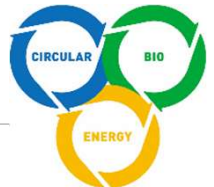
②簡易熱応答試験法(TRT)の開発・規格化(北大)

周期加熱法による迅速TRT技術の開発と規格化



大深度BHE設置箇所(全国6か所)

1. 広島県三次市 (2022. 2)
2. 山梨県甲斐市 (2022. 3)
3. 北海道札幌市 (2022. 3)
4. 北海道ニセコ町 (2022. 8)
5. 東京都江東区 (2022. 3)
6. 滋賀県大津市

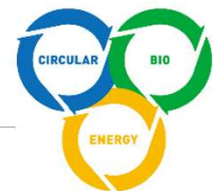
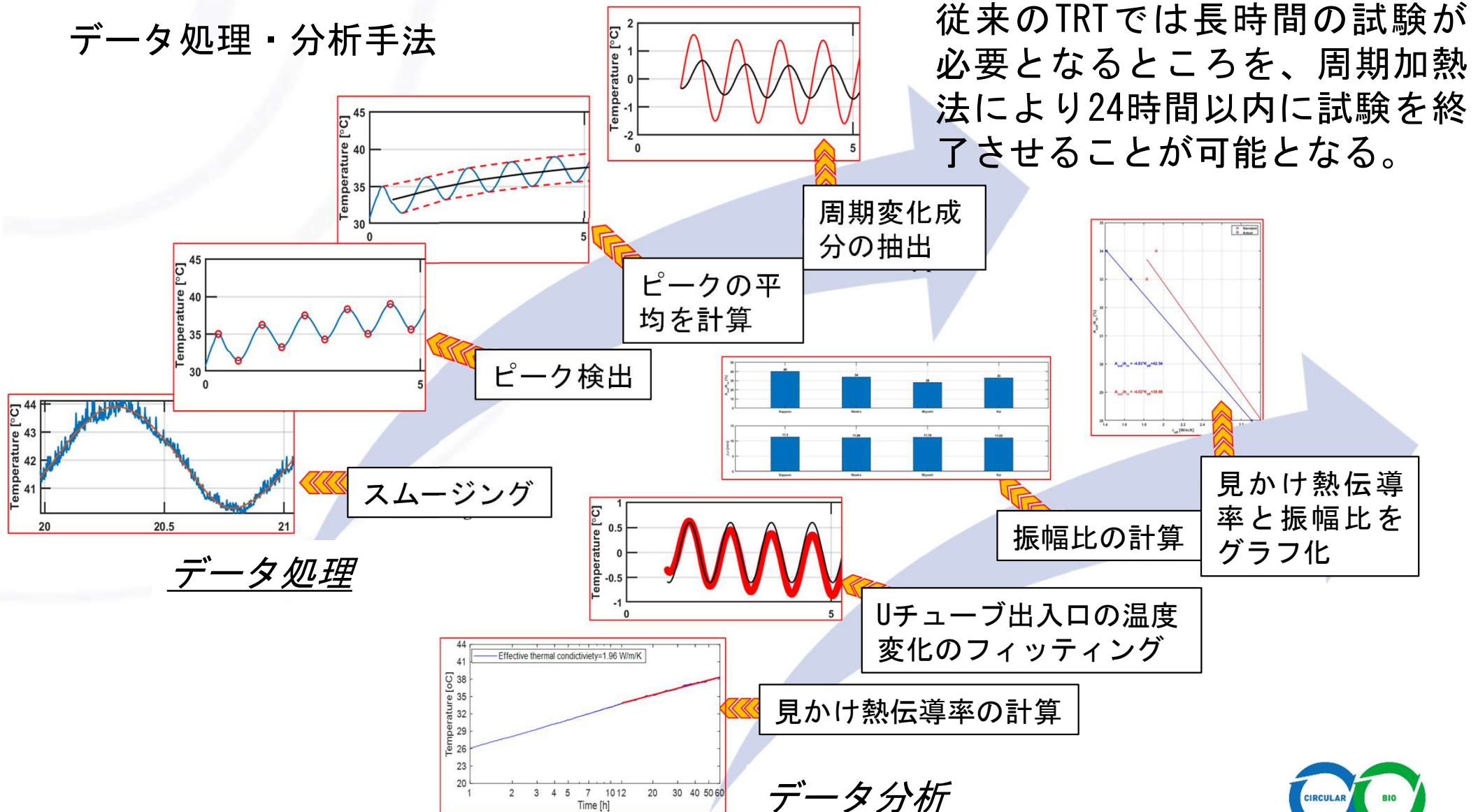


②簡易熱応答試験法(TRT)の開発・規格化(北大)

周期加熱法による迅速TRT技術の開発と規格化

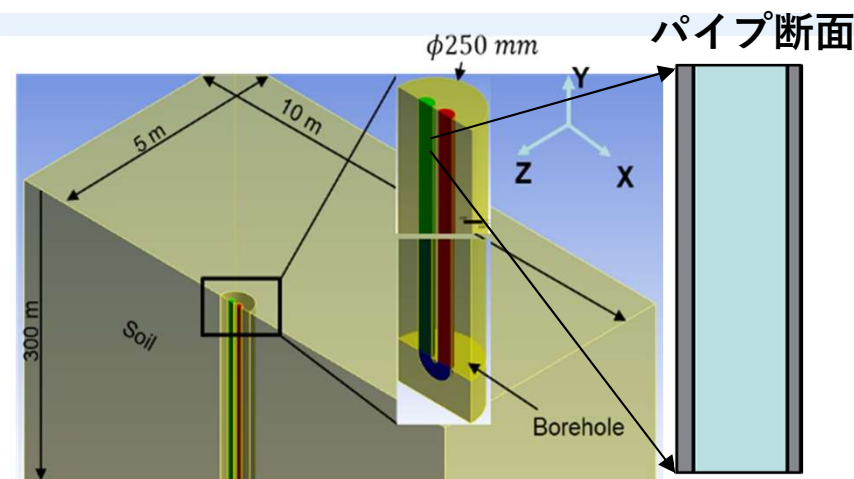
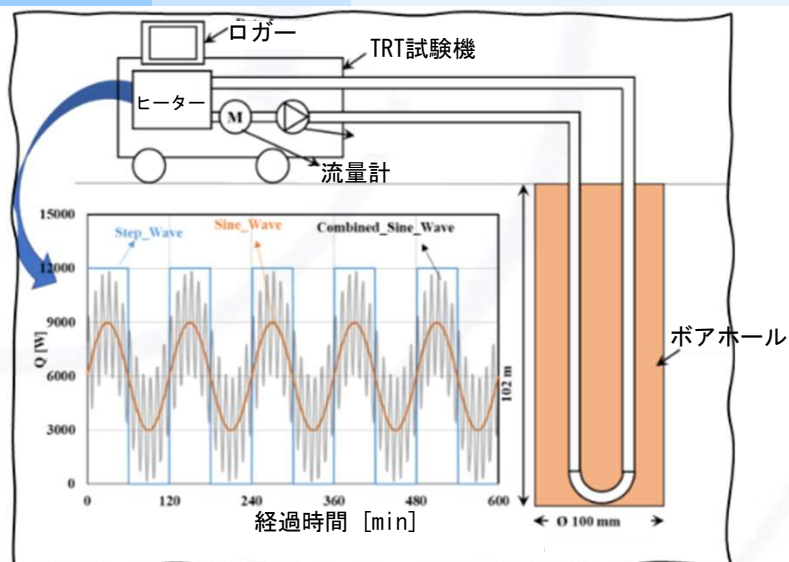


データ処理・分析手法

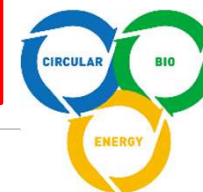
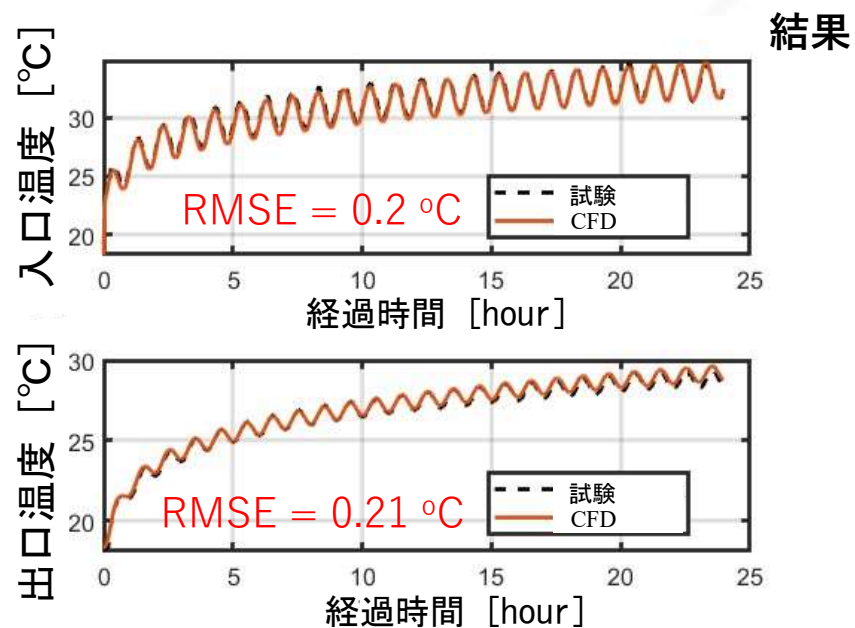
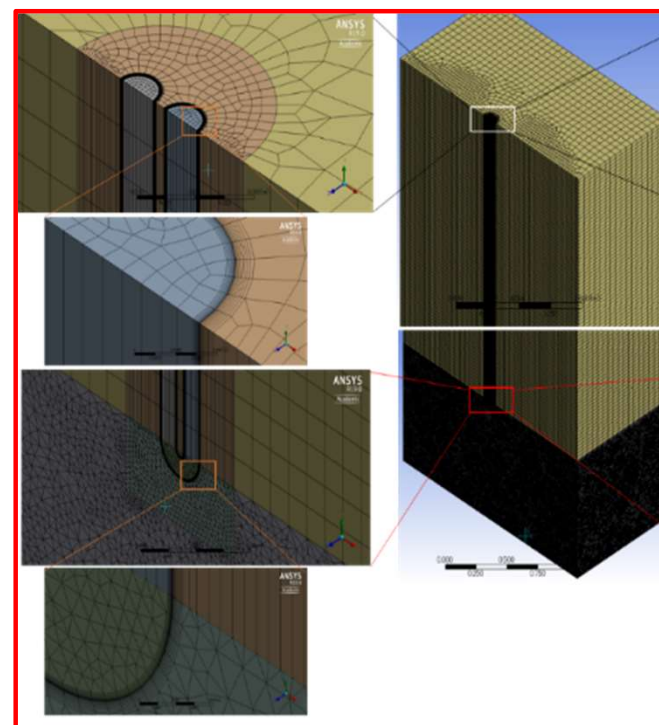


②簡易熱応答試験法(TRT)の開発・規格化(北大)

周期加熱法による迅速TRT技術の開発と規格化

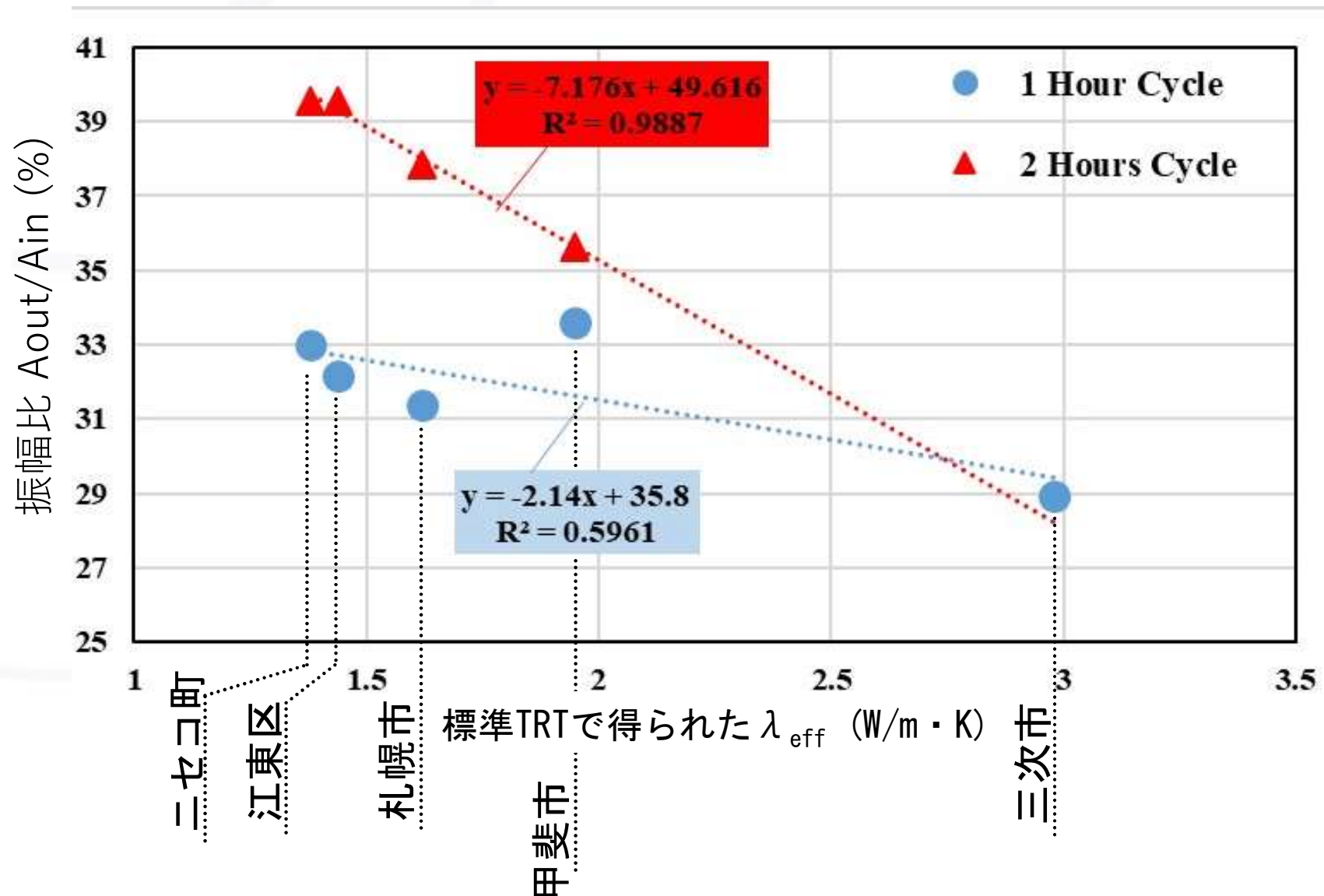


メッシュ



②簡易熱応答試験法(TRT)の開発・規格化(北大)

周期加熱法による迅速TRT技術の開発と規格化



②簡易熱応答試験法(TRT)の開発・規格化(北大)

周期加熱法による迅速TRT技術の開発と規格化



$$\text{Eq. (1): } 0.12x_4 - 0.21x_3 - 0.59x_2 + 0.2x_5 + 0.23x_6 + 0.38$$

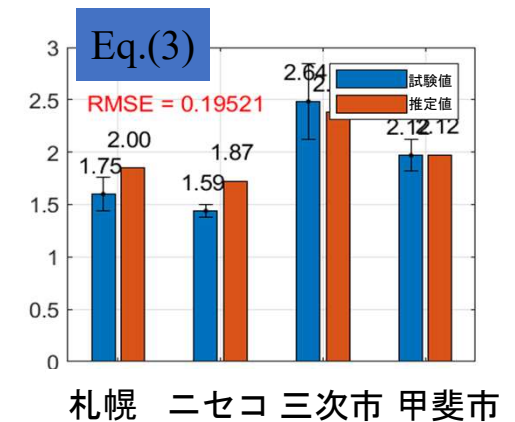
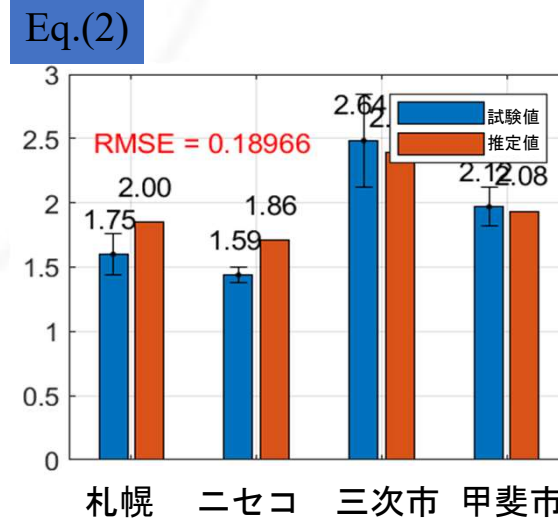
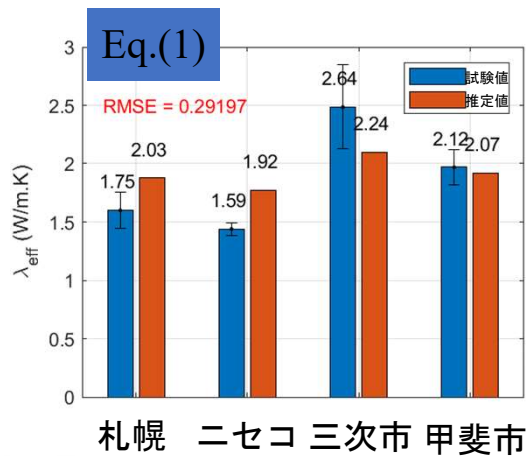
depth = 1; genes = 5;

$$\text{Eq. (2): } 0.29\sqrt{x_5} - 2.1e^{-1.0x_3} - 1.8\sqrt{x_3} + 0.74x_2 + 0.37\sqrt{x_6} + 2.8$$

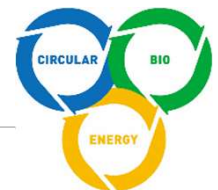
depth = 2; genes = 5;

$$\text{Eq. (3): } 1.4x_3^{x_3} - 1.1x_2 - 2.1x_3 - 3.5e^{-1.0x_3} - 2.4e^{-1.0x_5} - 1.5\sin(x_5) - 0.04x_1 + 0.42\sqrt{x_6} + 5.2$$

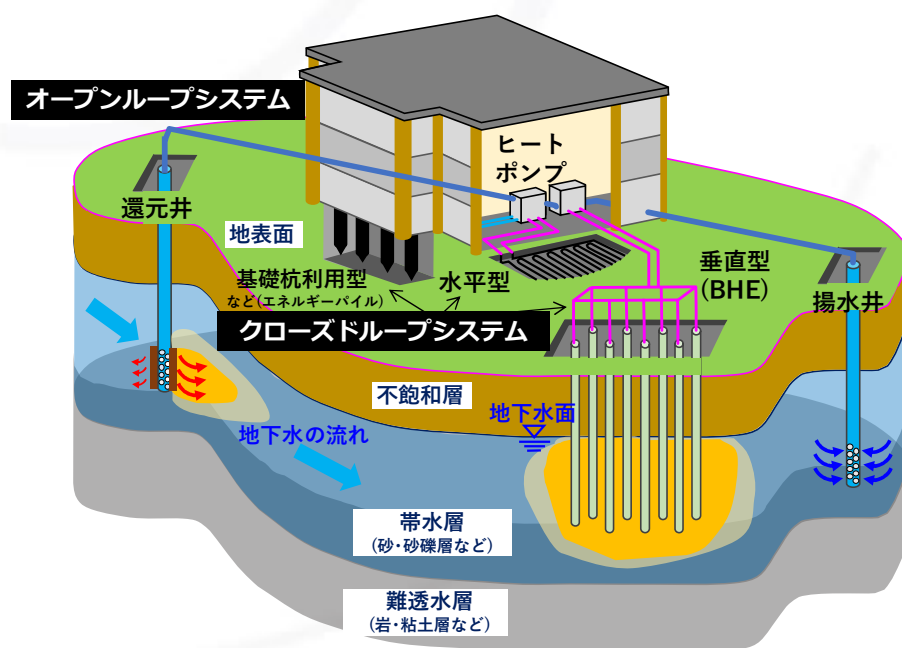
depth = 2; genes = 8;



	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	y
Min	0.0135	16.16	0.3417	100.1607	2410	15.1548	0.2197
Max	0.0167	92.4349	13.3384	349.4217	4310	59.9776	3.6202



統合型設計ツール全体イメージ



ユーザーインターフェースの特長

- Web版地中熱設計ツールと同様、Webサイトにアクセスすることで、インターネットブラウザでの利用が可能、ソフトウェアのインストールが不要
 - 建築条件の入力は、一次エネルギー消費量計算プログラム（通称WEBPRO）のエクセル入力シートを用いて行うため、設備設計者であれば容易に入力が可能
- 

統合型設計ツール条件入力の流れ

①全体設定



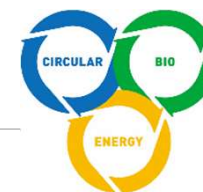
②建物条件の設定



③空調計算の条件設定

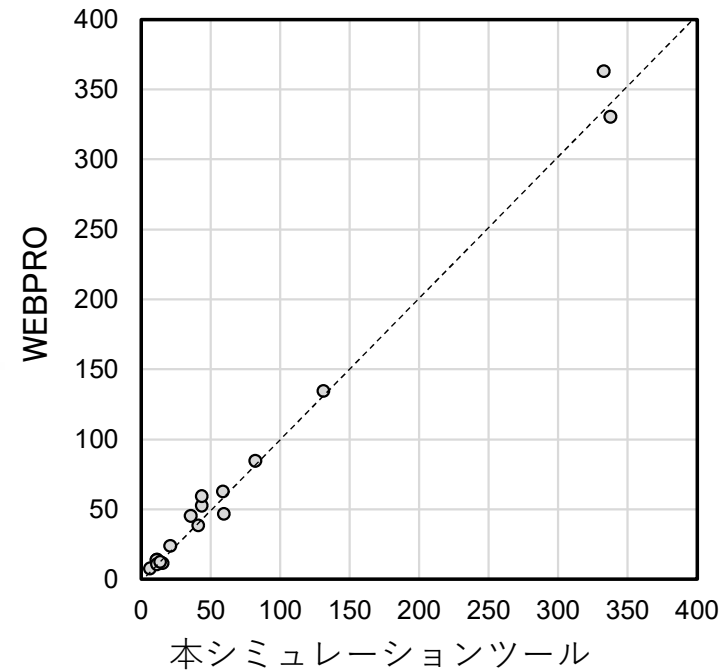
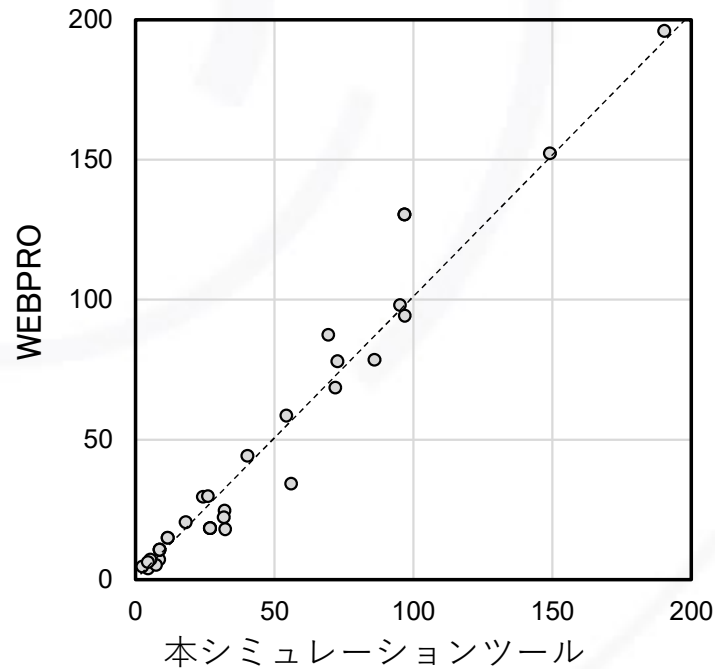
統合型設計ツール									
主な設定値		主要機能		主な設計データ					
設計ID	設計名	設計者	設計日	設計日	設計内容	作成日時	更新日時	更新者	更新内容
AC001	システム設計	山田 太郎	2023-10-01	2023-10-01	システム設計書 (最終版)	2023-10-01 10:00	2023-10-01 10:00	山田 太郎	新規作成
AC002	データベース設計	山田 太郎	2023-10-01	2023-10-01	データベース設計書 (最終版)	2023-10-01 10:00	2023-10-01 10:00	山田 太郎	新規作成
AC003	UI/UX設計	山田 太郎	2023-10-01	2023-10-01	UI/UX設計書 (最終版)	2023-10-01 10:00	2023-10-01 10:00	山田 太郎	新規作成
AC004	セキュリティ設計	山田 太郎	2023-10-01	2023-10-01	セキュリティ設計書 (最終版)	2023-10-01 10:00	2023-10-01 10:00	山田 太郎	新規作成
AC005	ネットワーク設計	山田 太郎	2023-10-01	2023-10-01	ネットワーク設計書 (最終版)	2023-10-01 10:00	2023-10-01 10:00	山田 太郎	新規作成
AC006	ハードウェア設計	山田 太郎	2023-10-01	2023-10-01	ハードウェア設計書 (最終版)	2023-10-01 10:00	2023-10-01 10:00	山田 太郎	新規作成
AC007	ソフトウェア設計	山田 太郎	2023-10-01	2023-10-01	ソフトウェア設計書 (最終版)	2023-10-01 10:00	2023-10-01 10:00	山田 太郎	新規作成
AC008	システム設計	山田 太郎	2023-10-01	2023-10-01	システム設計書 (最終版)	2023-10-01 10:00	2023-10-01 10:00	山田 太郎	新規作成
AC009	データベース設計	山田 太郎	2023-10-01	2023-10-01	データベース設計書 (最終版)	2023-10-01 10:00	2023-10-01 10:00	山田 太郎	新規作成
AC010	UI/UX設計	山田 太郎	2023-10-01	2023-10-01	UI/UX設計書 (最終版)	2023-10-01 10:00	2023-10-01 10:00	山田 太郎	新規作成
AC011	セキュリティ設計	山田 太郎	2023-10-01	2023-10-01	セキュリティ設計書 (最終版)	2023-10-01 10:00	2023-10-01 10:00	山田 太郎	新規作成
AC012	ネットワーク設計	山田 太郎	2023-10-01	2023-10-01	ネットワーク設計書 (最終版)	2023-10-01 10:00	2023-10-01 10:00	山田 太郎	新規作成
AC013	ハードウェア設計	山田 太郎	2023-10-01	2023-10-01	ハードウェア設計書 (最終版)	2023-10-01 10:00	2023-10-01 10:00	山田 太郎	新規作成
AC014	ソフトウェア設計	山田 太郎	2023-10-01	2023-10-01	ソフトウェア設計書 (最終版)	2023-10-01 10:00	2023-10-01 10:00	山田 太郎	新規作成
AC015	システム設計	山田 太郎	2023-10-01	2023-10-01	システム設計書 (最終版)	2023-10-01 10:00	2023-10-01 10:00	山田 太郎	新規作成
AC016	データベース設計	山田 太郎	2023-10-01	2023-10-01	データベース設計書 (最終版)	2023-10-01 10:00	2023-10-01 10:00	山田 太郎	新規作成
AC017	UI/UX設計	山田 太郎	2023-10-01	2023-10-01	UI/UX設計書 (最終版)	2023-10-01 10:00	2023-10-01 10:00	山田 太郎	新規作成
AC018	セキュリティ設計	山田 太郎	2023-10-01	2023-10-01	セキュリティ設計書 (最終版)	2023-10-01 10:00	2023-10-01 10:00	山田 太郎	新規作成
AC019	ネットワーク設計	山田 太郎	2023-10-01	2023-10-01	ネットワーク設計書 (最終版)	2023-10-01 10:00	2023-10-01 10:00	山田 太郎	新規作成
AC020	ハードウェア設計	山田 太郎	2023-10-01	2023-10-01	ハードウェア設計書 (最終版)	2023-10-01 10:00	2023-10-01 10:00	山田 太郎	新規作成

④地中熱・熱源計算の条件設定

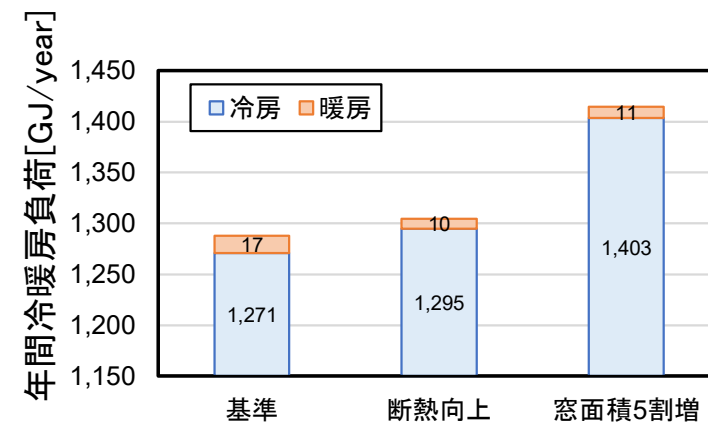
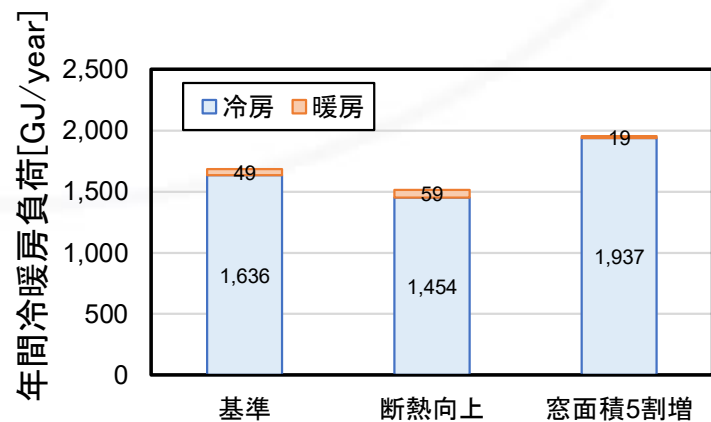


③統合型設計ツールの開発の開発・規格化(北大)

建築シミュレーションの精度検証および感度解析



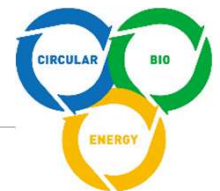
部屋別の年間
冷房顕熱負荷
[GJ/year]



感度分析結果

省エネ法のモデル建物（学校）

省エネ法のモデル建物（ホテル）



③統合型設計ツールの開発の開発・規格化(静岡理科大学)

統合型設計ツールの二次側モジュール開発



1) 地中熱HPに接続する放熱機器のモジュール開発

FCU: GSHPから冷温水(7°C/40°C)を供給

AHU: 冷温水(7°C/40°C)の供給+換気量を考慮

小型水熱源HP: 井水温度の直接供給(GSHP停止)

⇒ 放熱能力と送水量, FAN電力を計算

⇒ 放熱能力と還り水温をFAN電力を計算

⇒ 放熱能力, 水温, HP電力を計算

2) WEBPROの入力データをツール内の空調計算に移植(地層研と共同実施)

WEBPROでは二次側機器能力は任意入力であり、ツール内の2次側機器に変換が必要

ZONE-ID	WEBPRO入力情報							空調装置 FCU/AHU ☐ 500㎡未満はAHUを含めない	設計容量 (kW)		台数	全熱 交 有 り	換気量 (m³/h)
	空調ZONE	床面積 (m²)	天井 高 (m)	空調機 名称	空調 機 種別	出力(kW)			冷 房	暖 房			
						冷 房	暖 房						
AC_000	1F_打合せ ベース	21.13	3.1	PAC- 1_UT-2	室内 機	9.00	10.00	FCU1(冷2.25kW/暖4.02kW)	2.25	4.02	4	☐	32.75

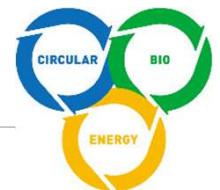
WEBPRO内で入力されている冷暖房機器の出力をもとに、統合ツール内の任意の空調機に変換する

ユニット	台数	名称	冷房	暖房
PAC-1_UT-1	7	室内機	4.5	5
	2	全熱交ユニット		
PAC-1_UT-2	1	室内機	9	10

二次側機器選択

FCU1(冷2.25kW/暖4.02kW)	▼
FCU1(冷2.25kW/暖4.02kW)	
FCU2(冷5.30kW/暖9.73kW)	
FCU3(冷9.64kW/暖17.43kW)	
AHU1(冷21.3kW/暖17.2kW)	

ユニットの必要台数を自動計算して入力



③統合型設計ツールの開発の開発・規格化(北大)

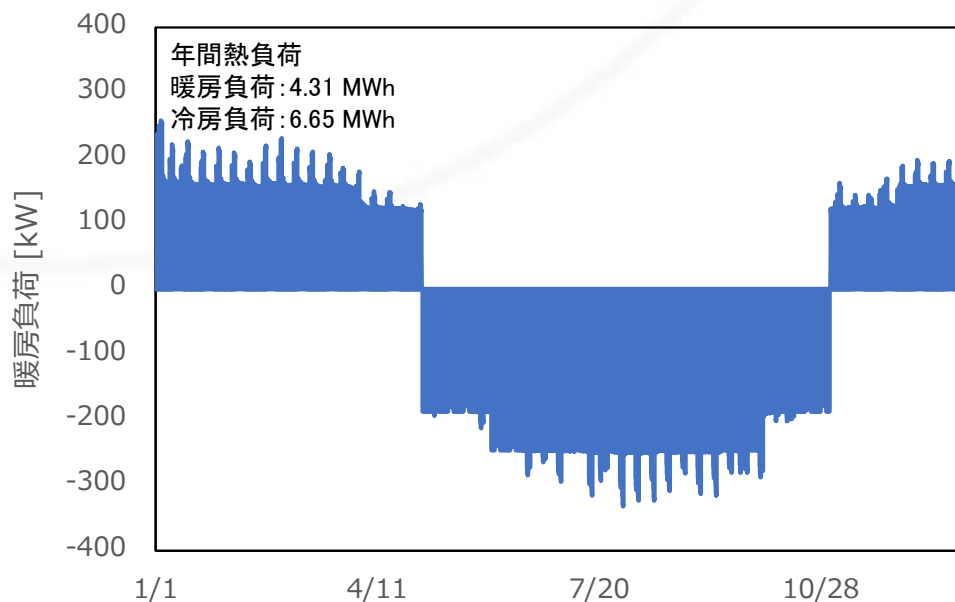
地中熱および補助熱源システムの機能拡張と検証



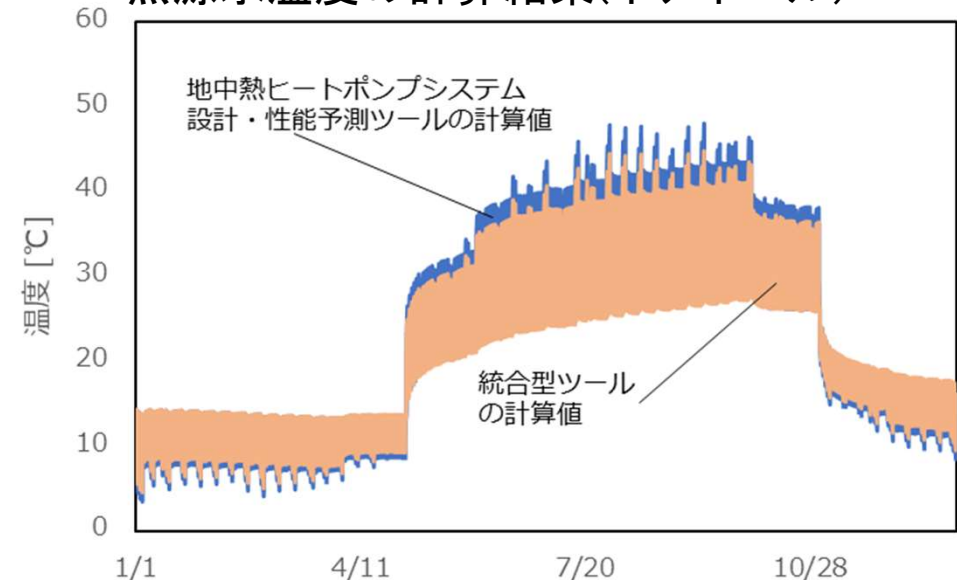
- ①地中熱交換器の追加(鋼管杭、二重管、スパイラル)
- ②補助熱源の追加(冷却塔、空気-水熱交換器、太陽集熱器等)
- ③地下水流れへの対応

連成計算で得られた空調機熱出力(熱負荷)を地中熱ヒートポンプシステム設計・性能予測ツール(Ground Club)に与え、熱源水温度を計算し、統合型設計ツールの計算結果と比較検証

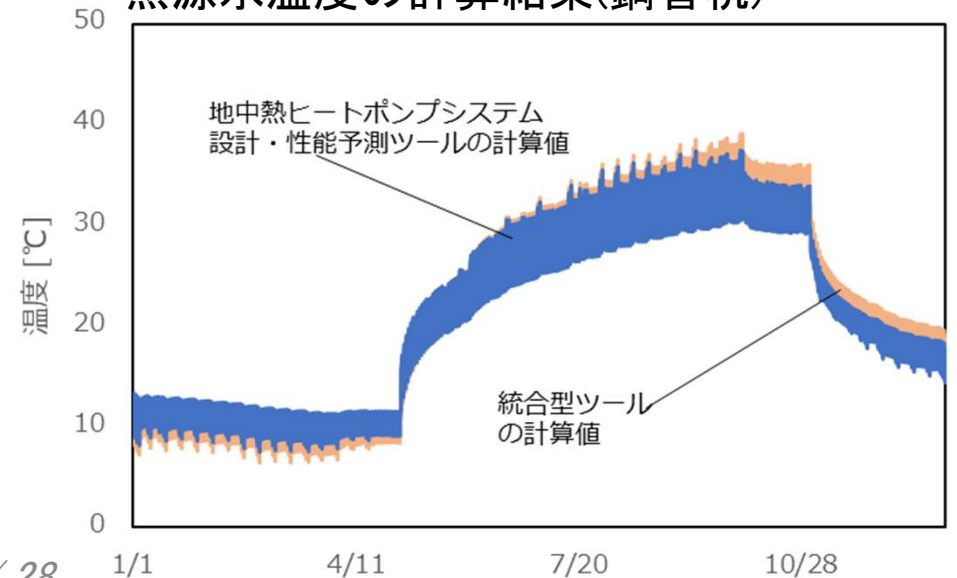
連成計算で得られた空調機熱出力(熱負荷)



熱源水温度の計算結果(ボアホール)



熱源水温度の計算結果(鋼管杭)



③統合型設計ツールの開発の開発・規格化(北大) オープンループ型地中熱利用の採熱量概算システム



Ground Clubシステム上で、オープンループ型ヒートポンプにおける採熱量の予測解析の実行を可能とし、揚水-注水井戸の配置や運用パターンに対する意思決定を支援する概算システムを構築する。

予測解析の要件

1. 解析精度が検証されていること。
2. 予測期間10年の解析が10分前後で終了すること。
3. 対象位置、物性情報、井戸配置、井戸条件を入力するだけで解析が行えるUIを構築する。(数値解析未経験の利用者でも扱える)

解析の精度検証: 実施済み

数値分散を抑制する目安であるペクレ数およびクーラン数による検証。

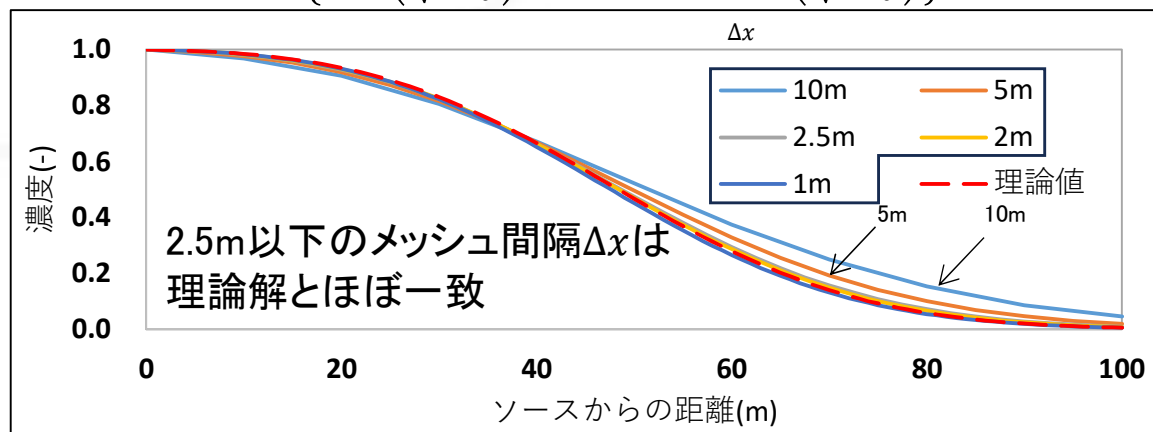
$$\text{ペクレ数: } P_e = \frac{v_x \Delta x}{D_x} = \frac{v_x \Delta x}{\alpha_L v_x} = \frac{\Delta x}{\alpha_L} \leq 2 \quad \text{クーラン数: } Cr = \frac{v_x \Delta t}{\Delta x} \leq 1$$

v_x : 流動方向の流速
 α_L : 縦方向分散長
 Δx : メッシュ間隔
 Δt : 時間刻み

流速=100m/y(井戸周辺流速最大値)、縦方向分散長=5m、時間刻み1日とした条件を用いて、1次元移流拡散理論解(下式)と解析結果を比較。

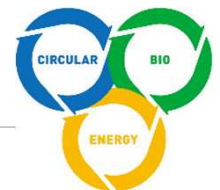
$$c(x, t) = \frac{1}{2} \left\{ \operatorname{erfc} \left(\frac{x - vt}{\sqrt{4Dt}} \right) + \exp \left(\frac{vx}{D} \right) \cdot \operatorname{erfc} \left(\frac{x + vt}{\sqrt{4Dt}} \right) \right\}$$

D : 分散係数
 v : 間隙内流速



Δx (m)	Cr	Pe
1	0.27	0.2
2	0.14	0.4
2.5	0.11	0.5
5	0.05	1
10	0.03	2

上図の結果から揚水-注水孔近傍のメッシュ間隔 Δx は2.5mを基本とする。



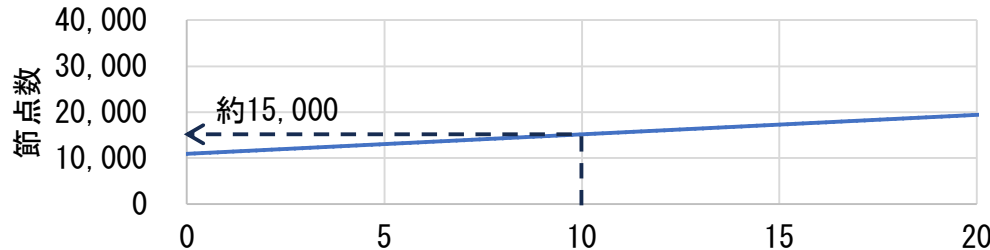
③統合型設計ツールの開発の開発・規格化(北大)

オープンループ型地中熱利用の採熱量概算システム



解析時間：実施済み

試算モデルによる検証の結果、15,000節点程度のモデルを構築することで、およそ10分で10年間の予測解析が実施できることがわかった。



検証に用いたPCスペック

プロセッサ: Intel®Core™ i7-8700

CPU3.2GHz

メモリ: 32.0GB

UIの構築：構築中

予想解析時間(分)

オープンループ検証システム

① 位置情報

② 物性情報

③ 標準的な地盤物性値(参考値)

土質名	透水性係数 (m/s)	熱伝導率 (W/(m·K))	密度 (kg/m³)	比熱 (J/g·K)	熱拡散率 (m²/s)
砂質土					
礫質土					
粘性土					

オープンループ検証システム

④ 井戸配置

⑤ 注水条件

注水孔	注水量 (m³/d)	温度 (°C)	揚水孔	揚水量 (m³/d)	開始時間 (d)	継続時間 (d)
1	5	30	2	5	0	365
2	10	10	3	5	365	730

⑥ 揚水-注水条件 (運用パターン)

⑦ 結果閲覧(例)

UIを用いた概算予測検討の手順

- ① 地図画面より解析対象地域を選定
- ② ボーリング情報を入力(自動/手動)
- ③ 対象地域の地下水流れの傾向を入力
- ④ 井戸の配置を選定(マウスクリック)
- ⑤ 井戸条件(運用パターン)を入力
- ⑥ 解析を実施
- ⑦ 結果を確認(採水温度、採熱量)

その他の搭載予定機能

- ・精度検証の知見に配慮した自動メッシュ生成機能
- ・熱物性データベースを利用した熱物性の自動割当機能
- ・物性一般値の表示
- ・揚水温度の採熱量変換
- ・任意箇所温度変化(熱汚染)



③統合型設計ツールの開発の開発・規格化(北大)

統合型設計ツールのユーザーインターフェース(入力画面)の改良



統合型設計ツール

①全般設定

初期画面

WEBPROの入力シートをドロップしてください

※サンプルCASE入力済みのWEBPRO入力シートはここをクリックしてダウンロードしてください。

緯度:

経度:

住所:

取得

WEBPRO入力シート (エクセル)

※【全てリセット】ボタンを押すと初期状態(WEBPRO入力シート読み込み前の状態)になります。

全てリセット



①全般設定 ②負荷計算 ③空調計算 ④熱源計算

全般設定画面

建物条件の確認

- 0) 基本情報
- 1) 室仕様
- 2-1) 空調ゾーン
- 2-2) 外壁構成
- 2-3) 窓仕様
- 2-4) 外皮
- 2-5) 熱源
- 2-7) 空調機
- 3-1) 換気室
- 3-2) 換気送風機

地点の指定

WEBPROを反映
左地図から変更可能

※WEBPRO入力シートの0) 基本情報の建築物所在地に住所情報が入力されている場合にはそちらの値を使用します。

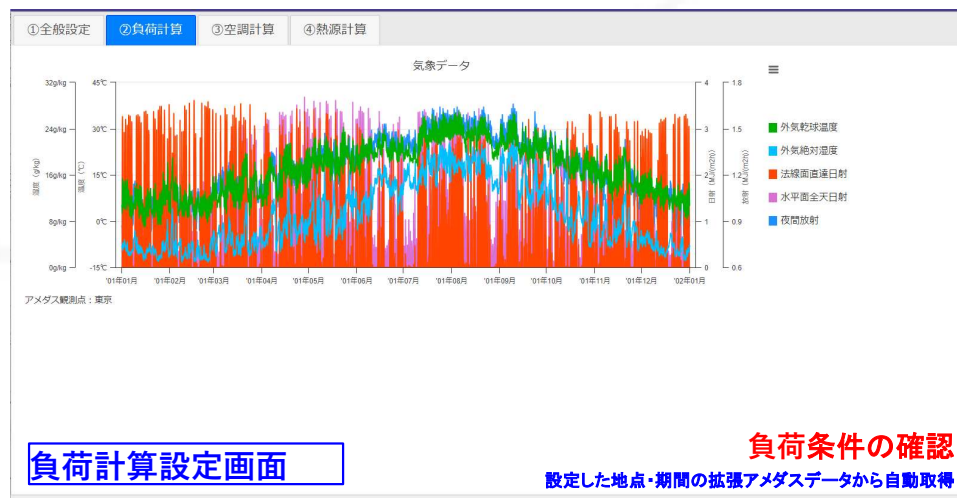
期間の指定

計算期間

年数: [1年]

全てリセット

※【全てリセット】ボタンを押すと初期状態(WEBPRO入力シート読み込み前の状態)になります。



①全般設定 ②負荷計算 ③空調計算 ④熱源計算 ⑤計算結果

WEBPRO入力情報

ZONE-ID	空調ZONE	床面積 (m ²)	天井高 (m)	空調機 名称	空調機 種類	出力 (kW)	冷房	暖房	空調装置	設計容量 (kW)	台数	全熱交換率	換気量 (m ³ /h)
AC_000	1F_打合せスペース	21.13	3.1	PAC-1_UT-2	室内機	9.00	10.00	FCU/AHU	FCU1(冷2.5kW暖4.0kW)	2.25	4.02	4	32.75
AC_001	1F_事務室	216.00	2.8	PAC-1_UT-1	室内機	4.50	5.00	FCU1(冷2.5kW暖4.0kW)	FCU1(冷2.5kW暖4.0kW)	2.25	4.02	2	302.40
AC_002	2F_事務室	216.00	2.6	PAC-2_UT-1	室内機	4.50	5.00	FCU1(冷2.5kW暖4.0kW)	FCU1(冷2.5kW暖4.0kW)	2.25	4.02	2	280.80
AC_003	3F_事務室	216.00	2.6	PAC-3_UT-1	室内機	4.50	5.00	FCU1(冷2.5kW暖4.0kW)	FCU1(冷2.5kW暖4.0kW)	2.25	4.02	2	280.80
AC_004	4F_事務室	216.00	2.6	PAC-4_UT-1	室内機	4.50	5.00	FCU1(冷2.5kW暖4.0kW)	FCU1(冷2.5kW暖4.0kW)	2.25	4.02	2	280.80
AC_005	5F_事務室	216.00	2.6	PAC-5_UT-1	室内機	4.50	5.00	FCU1(冷2.5kW暖4.0kW)	FCU1(冷2.5kW暖4.0kW)	2.25	4.02	2	280.80
AC_006	6F_事務室	216.00	2.6	PAC-6_UT-1	室内機	4.50	5.00	FCU1(冷2.5kW暖4.0kW)	FCU1(冷2.5kW暖4.0kW)	2.25	4.02	2	280.80
AC_007	7F_事務室	216.00	2.6	PAC-7_UT-1	室内機	4.50	5.00	FCU1(冷2.5kW暖4.0kW)	FCU1(冷2.5kW暖4.0kW)	2.25	4.02	2	280.80
AC_008	8F_事務室	216.00	2.6	PAC-8_UT-1	室内機	4.50	5.00	FCU1(冷2.5kW暖4.0kW)	FCU1(冷2.5kW暖4.0kW)	2.25	4.02	2	280.80
AC_009	9F_事務室	216.00	2.6	PAC-9_UT-1	室内機	4.50	5.00	FCU1(冷2.5kW暖4.0kW)	FCU1(冷2.5kW暖4.0kW)	2.25	4.02	2	280.80
AC_010	10F_事務室	216.00	2.6	PAC-10_UT-1	室内機	4.50	5.00	FCU1(冷2.5kW暖4.0kW)	FCU1(冷2.5kW暖4.0kW)	2.25	4.02	2	280.80

「FCU/AHU」
「小型水熱源HPユニット」
「水熱源ビルマルチ」
に対応

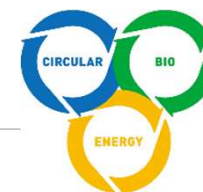
上の空調装置に応じて、
選択機種項目切替

必要出力と機種出力から自動計算
手動入力可

空調計算画面



計算結果画面



③統合型設計ツールの開発の開発・規格化(北大)

統合型設計ツールのマニュアル作成中



マニュアル案(サンプル)

統合型設計ツールマニュアル Version 1.1

2023年12月5日
北海道大学

Contents

はじめに

- ① 全般設定：WebPRO
- ② 負荷計算：緯度経度情報
- ③ 空調計算：空調装置と
- ④ 熱源計算：全体画面
- ⑤ 計算結果

結果のグラフ表示
自動ダウンロード

はじめに

統合型設計ツールを使用するにあ

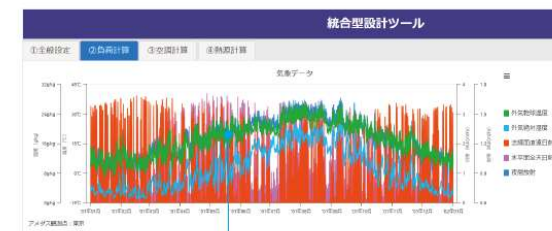
- ① WebPRO 入力シート (Excel) :

- ① 全般設定：WebPRO 入力シートを格納した際の画面 (サンプル)

統合型設計ツールへ WebPRO 入力



- ② 負荷計算：緯度経度情報からの気象データグラフ



表示グラフ内任意の場所にカーソルを選択する
→各データのポイント数値が表示



① 見かけ熱伝導率の推定手法の開発・規格化

- ・見かけ熱伝導率の推定手法の規格化および見かけ熱伝導率のデータベース作成の規格化
- ・4手法の数値TRT結果に基づき見かけ熱伝導率推計式を作成、および実測値との検証
- ・水文地質学的手法、統計学的手法、および地下水情報の簡易推定手法に基づき見かけ熱伝導率推計式の入力パラメータ(有効熱伝導率、地下水流速)を整備

② 簡易熱応答試験法(TRT)の開発・規格化

- ・改良型ヒーター付き光ファイバーケーブルの簡易試験装置を製作
- ・全国6箇所(北海道札幌市, ニセコ町, 東京都江東区, 山梨県甲斐市, 広島県三次市、滋賀県大津市)に検証用の大深度(深度300m)地中熱交換器を設置
- ・CFD解析により, 試験法とその有効性, 課題について検討

③ 統合型設計ツールの開発の開発・規格化

- ・DB規格化の共同WGを日本地下水学会と発足
- ・東北5地域の地下水情報の整理、指標案の検討・検証
- ・熱負荷・設備との連成計算アルゴリズムの開発
- ・オープンループの設計手法の開発
- ・簡易データ収集機器の設置(全国6カ所)
- ・ツールの基本レイアウト・デザインの決定