

2023年度成果報告会 プログラムNo.13

地熱発電導入拡大研究開発/ 超臨界地熱資源技術開発/ 超臨界地熱資源量評価（湯沢南部地域）

2024年1月31日

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

発表者名 清水 正太

団体名 日鉄鉱コンサルタント（株）

問い合わせ先 E-mail: shimizu@nmconsults.co.jp

事業概要

1. 背景・目的

政府が掲げる2030年および2050年目標達成に向けた取り組みの一環である「地熱発電導入拡大研究開発」における超臨界地熱資源の資源量評価手法の開発を行う。

NEDO先行研究開発で賦存範囲と資源量の試算結果が示された秋田県湯沢南部地域を対象として、超臨界状態把握および資源量評価技術のさらなる高度化を図り、超臨界地熱資源の試掘に向けた実効性のある調査・評価技術の完成を目指す事を目的とする。

2. 実施期間

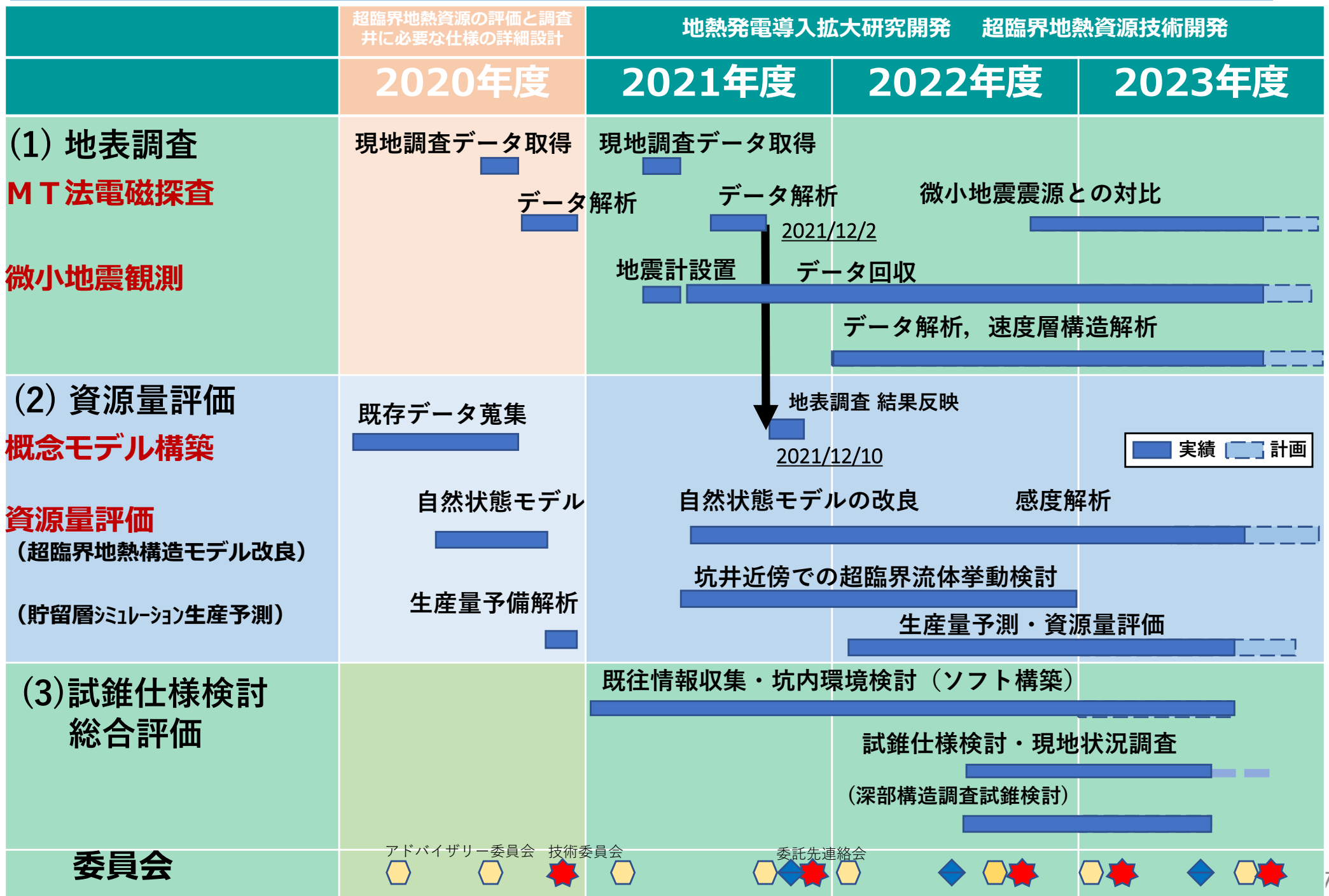
開始 : 2021年6月
終了（予定） : 2023年3月

3. 実施内容・目標

MT法探査および微小地震探査を行い、既存の豊富なデータを加えて超臨界地熱系概念モデルを改良する。さらに、詳細で精緻な数値シミュレーションを行うことにより超臨界領域を推定し、超臨界地熱資源の資源量および発電規模を定量的に評価する。

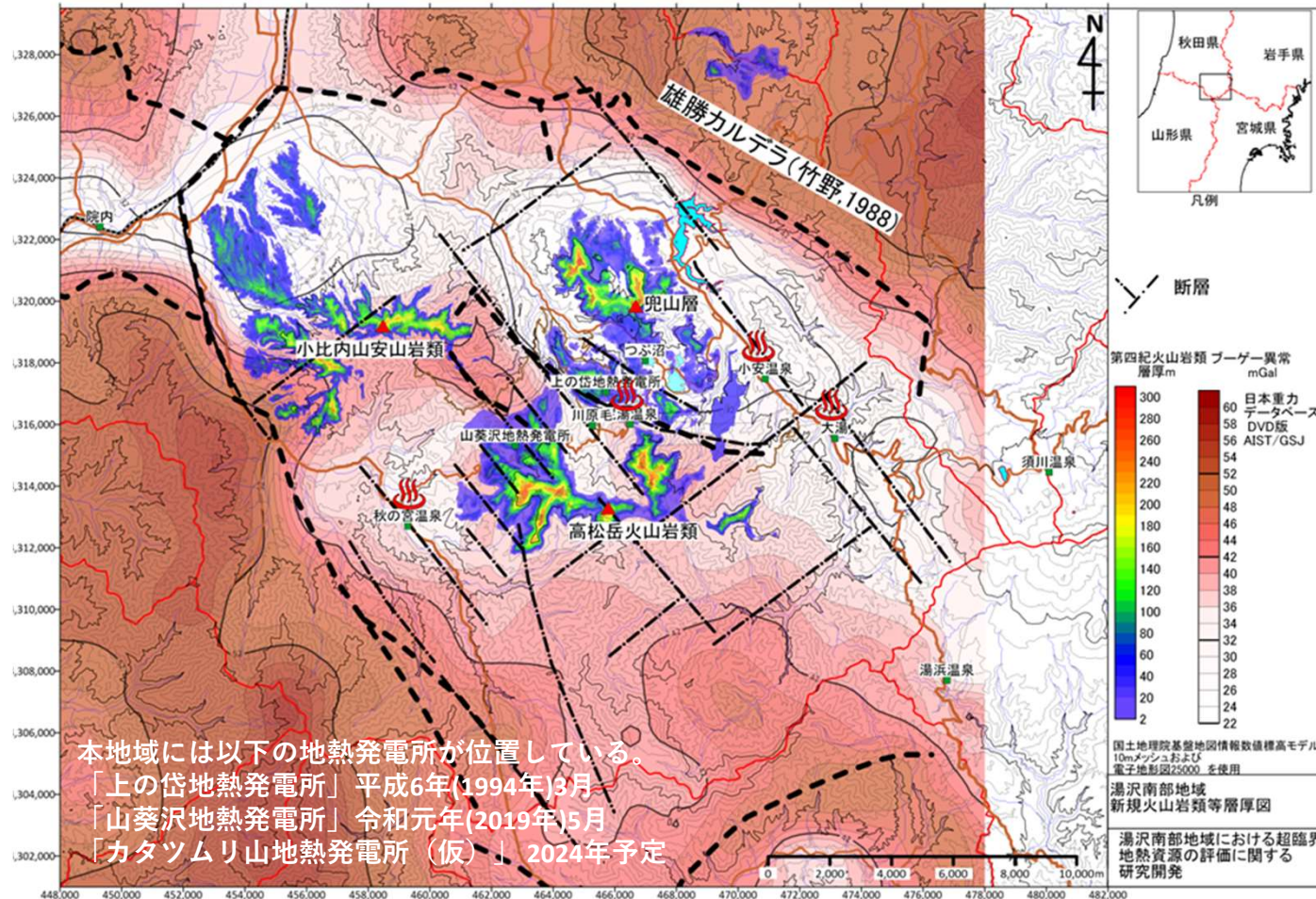
資源量評価の結果に基づき、深部構造調査試錐および超臨界地熱調査井の仕様やHSEを策定する。

研究内容と工程



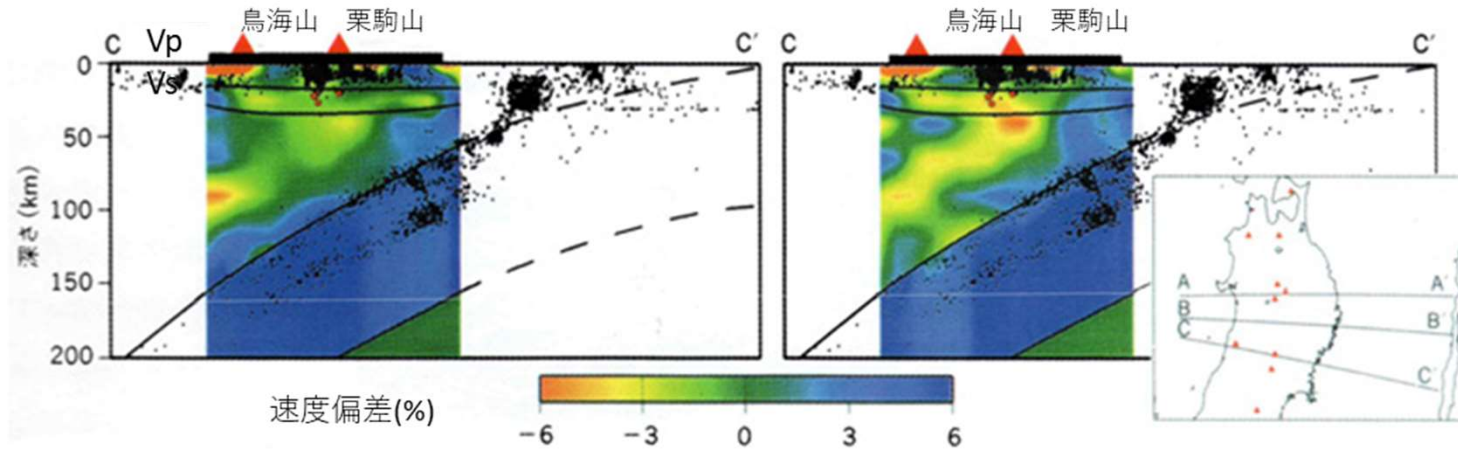
地質構造と地表兆候

- 本地域の新規火山は第四紀の小安岳、高松岳 (0.4~0.2Ma)。
- 東北日本の鬼首-湯沢マイロナイト帯 (笹田, 1988)に沿って、鳴子火山、鬼首カルデラ、三途川カルデラ (歌田・伊藤, 1986)、雄勝カルデラ(竹野, 1986)が連なる。
- 雄勝カルデラ内には川原毛、泥湯、新湯、赤湯又沢、湯ノ又温泉、小安温泉、大湯、秋ノ宮温泉等の地熱兆候が広く分布。布原ほか(2021)では変質帯等の地表兆候やTLデータ、微小地震震源分布から、赤湯又沢付近は地熱流体の上昇域と推定。
- 湯沢南部地域では基盤岩の隆起に伴い発達したフラクチャーが地熱流体の流路となっている。



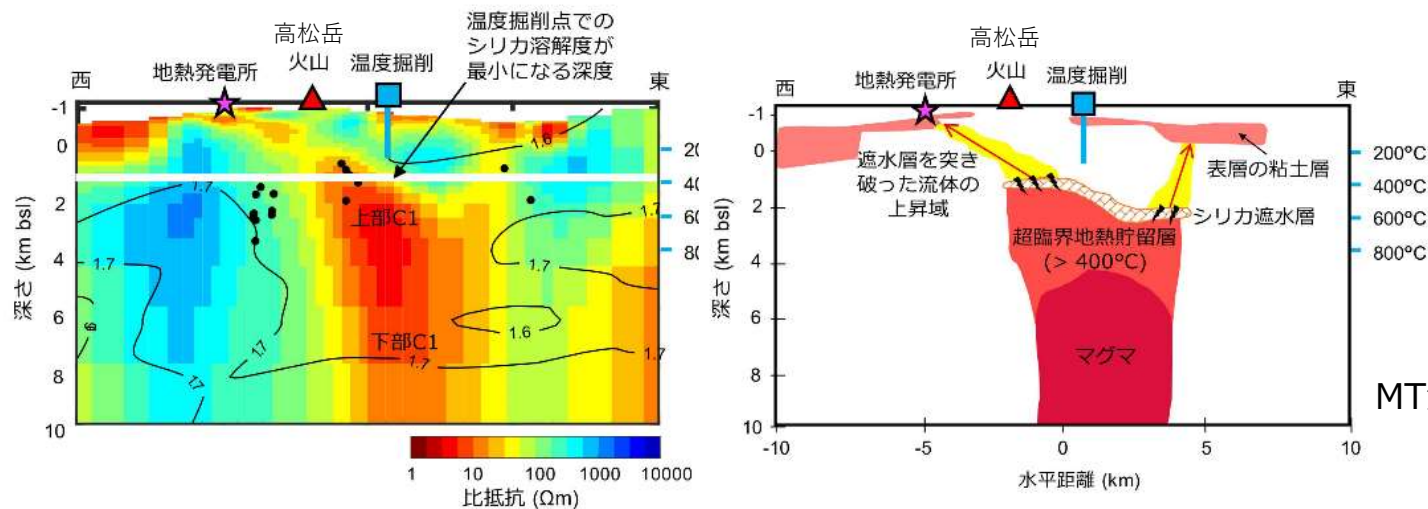
深部流体の供給

- 弾性波速度断面ではマントルウェッジの100km程度の深さからP波低速度帯、S波低速度帯が栗駒山深部に伸びる。低速度帯は沈み込んだ海洋地殻の相転移に伴って供給された水の上昇経路を示す(長谷川, 2002)。



弾性波速度断面(長谷川, 2002)

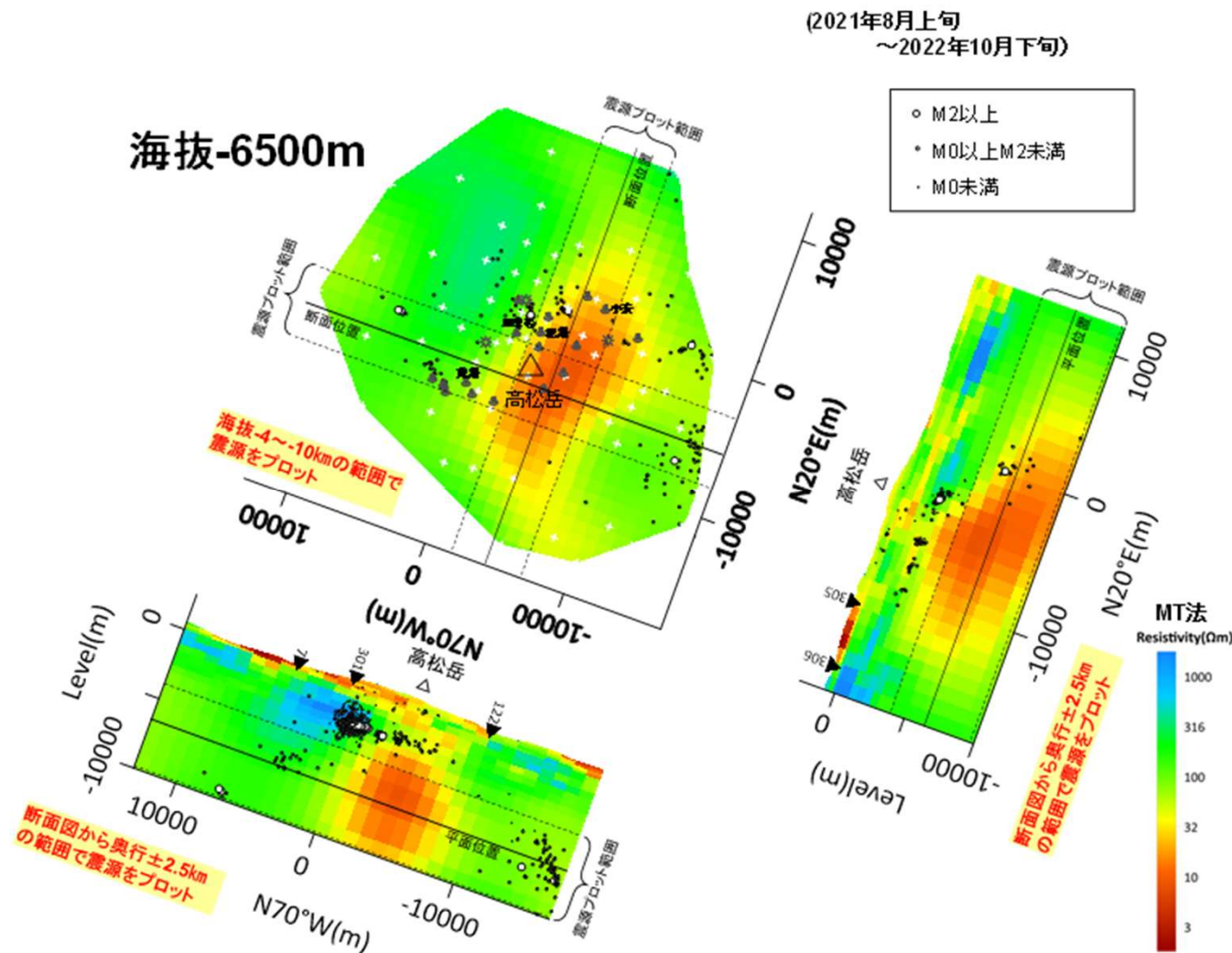
- Ishizu et al. (2022)では湯沢南部地域 (高松岳) の深部に低比抵抗帯を推定し、坑井温度や地質情報等からこの深部低比抵抗帯の上部は超臨界地熱貯留層を表していると結論づけている。



MT法比抵抗断面 (Ishizu et al., 2022)

比抵抗構造と微小地震の震源分布

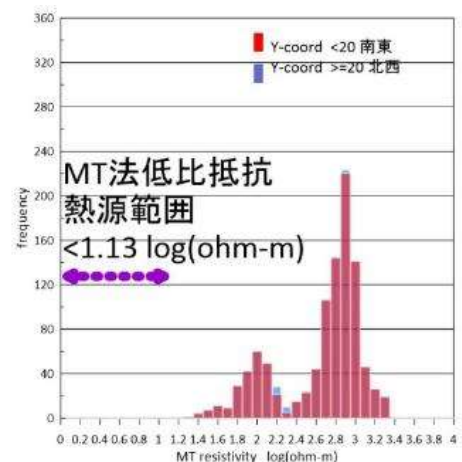
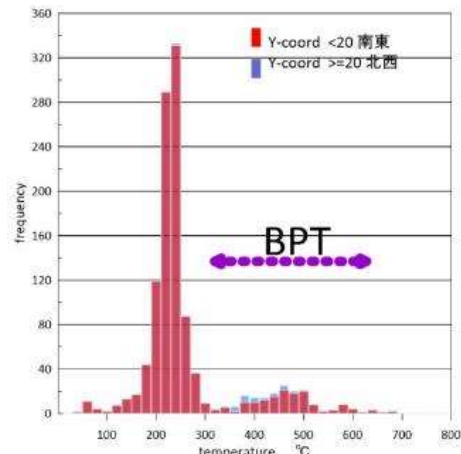
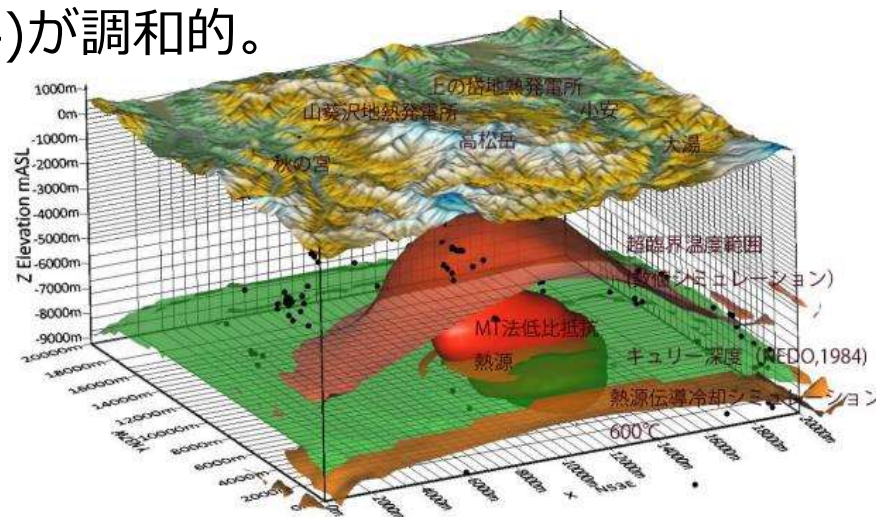
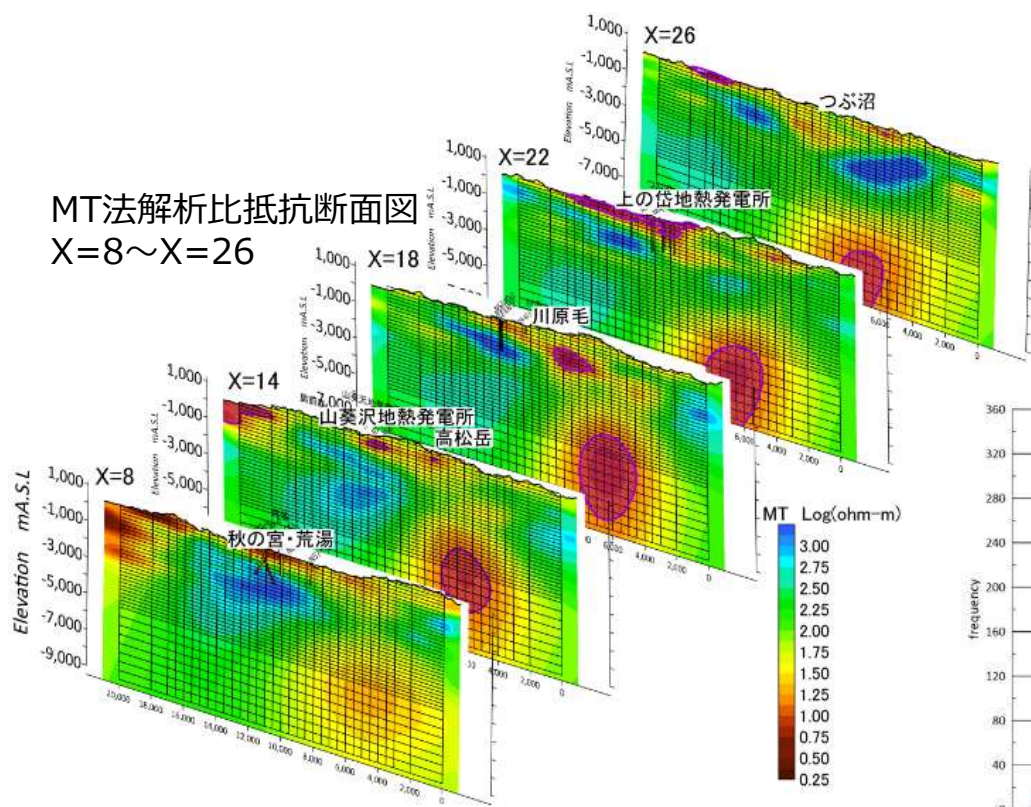
- 本プロジェクトにおいて2021年から2023年の3年間にわたりMT法探査および微小地震観測を実施。その結果、既往研究と同様に高松岳の深部に低比抵抗帯を推定。
- 微小地震の震源は低比抵抗領域には分布せず、低比抵抗領域を取り囲むように中～高比抵抗領域に分布する。
⇒深部低比抵抗帯は深部流体の存在を示唆している。



マグマ溜まりの推定(熱源伝導冷却シミュレーション)

- 高松岳火山岩類及び兜山火山岩類から推定した噴出量 75km^3 に相当する容積をMT法解析結果と照らし合わせ、 $13.5\Omega\text{m}$ 以下をマグマ溜まりの位置・大きさと仮定。
- このマグマ溜まり(熱源)を底部境界条件として計算した結果、MT法から推定した熱源の妥当性を確認。
 - 脆性-塑性境界(BPT)温度で微小地震の震源頻度が減少。
 - 600°C の範囲とキュリー点深度(NEDO, 1994)が調和的。
 - 熱伝導型の既存坑井の温度分布をよく再現。

MT法解析比抵抗断面図
X=8~X=26

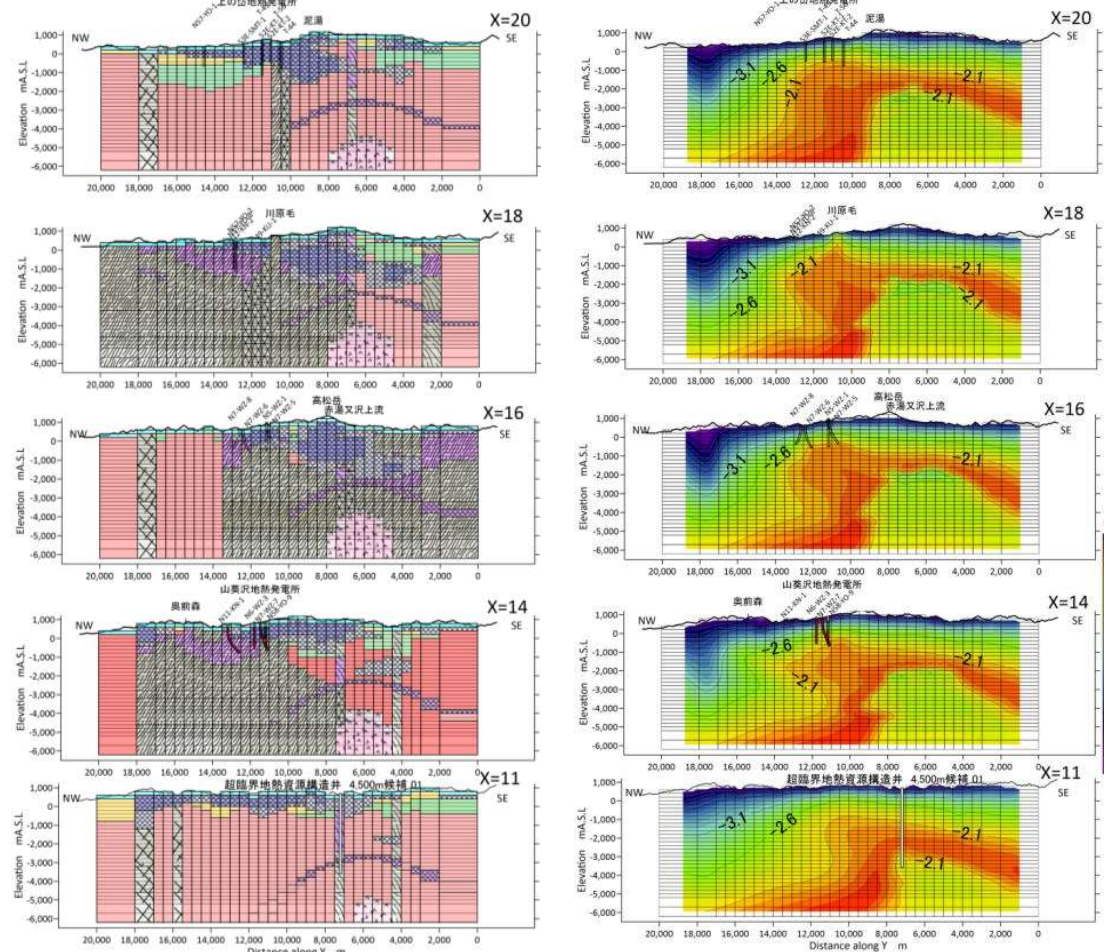
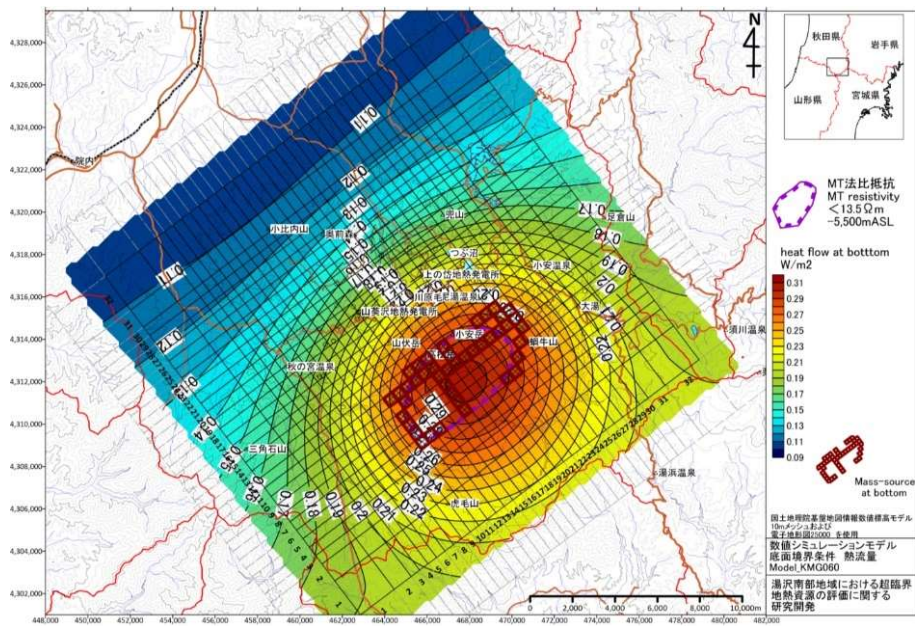


震源位置の地層温度頻度分布

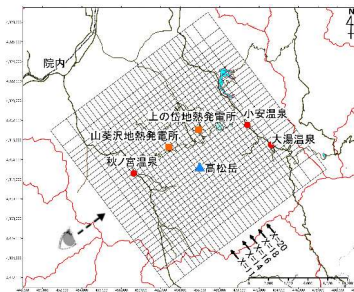
震源位置のMT法比抵抗頻度分布

超臨界領域の推定(自然状態シミュレーション)

- 豊富な既存データから地質構造モデルを構築。
- 前述の計算により底面境界条件を決定。また、400℃付近にシリカシーリング(超臨界地熱資源のキャップロックとなる低透水領域)を設定。
- これら条件で自然状態シミュレーションを行い、試行錯誤的に最適モデルを選定。自然状態シミュレーションの温度圧力結果からシリカ溶解度を計算すると、シリカシーリング設定位置と溶解度の極小域が概ね一致。



質量流束源(流体流入) 42箇所
 地表境界条件: 温度圧力一定
 北西境界: 温度圧力一定
 南東・南西・北東境界: 閉境界

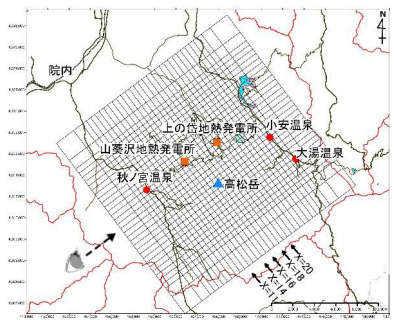
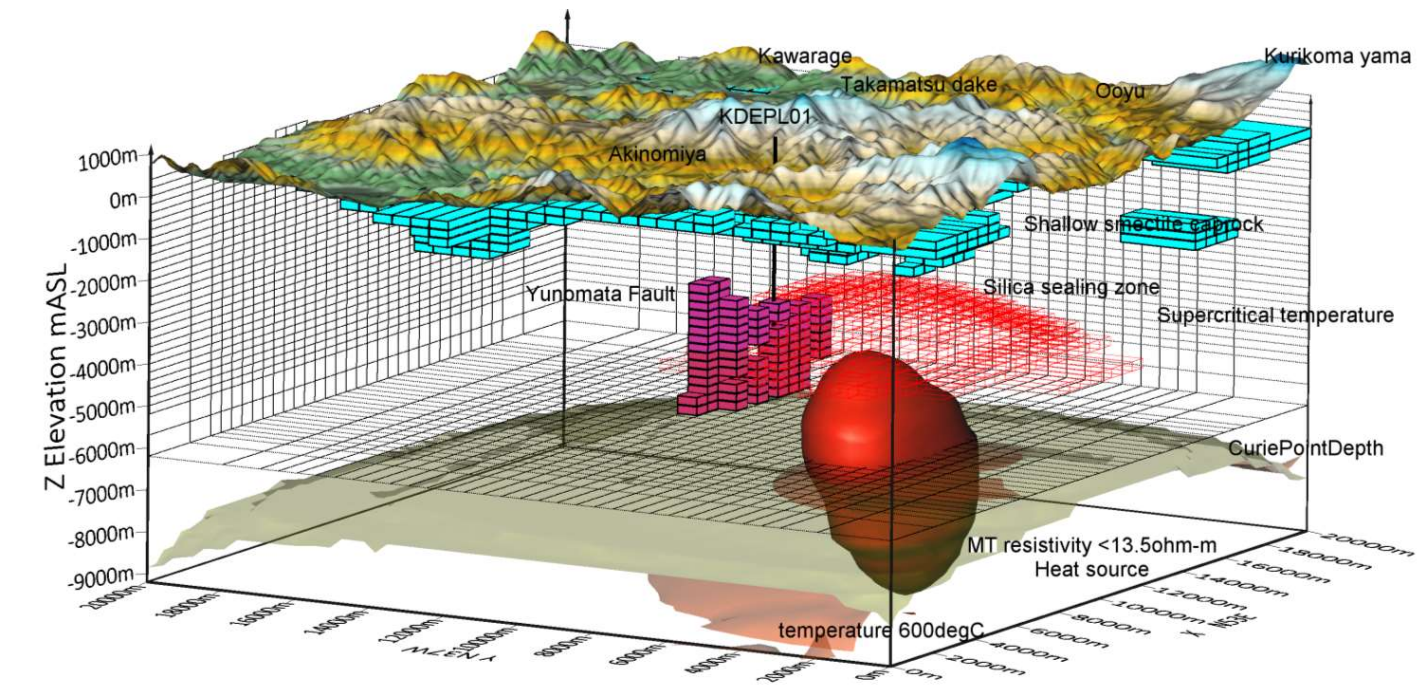
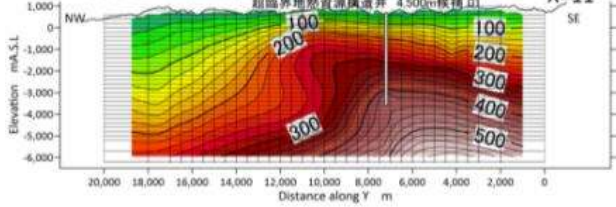
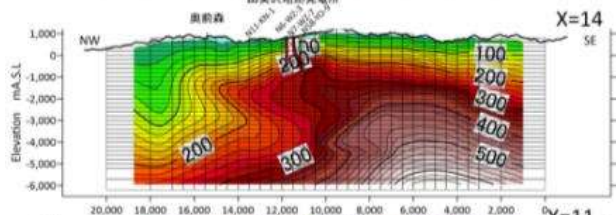
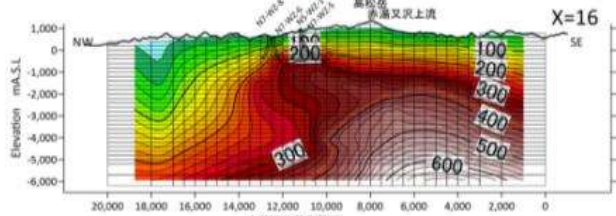
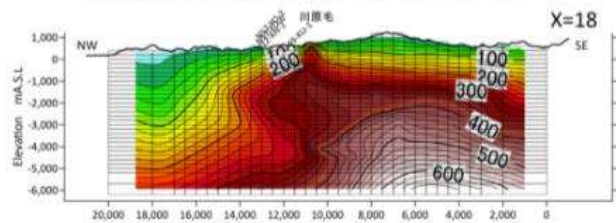
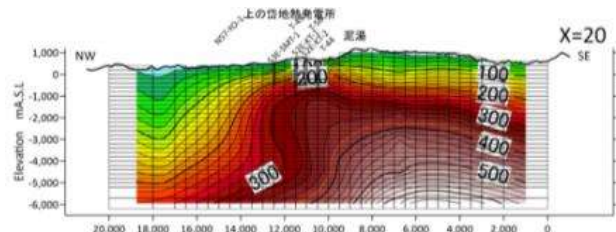


地質構造モデル断面

シリカ溶解度断面

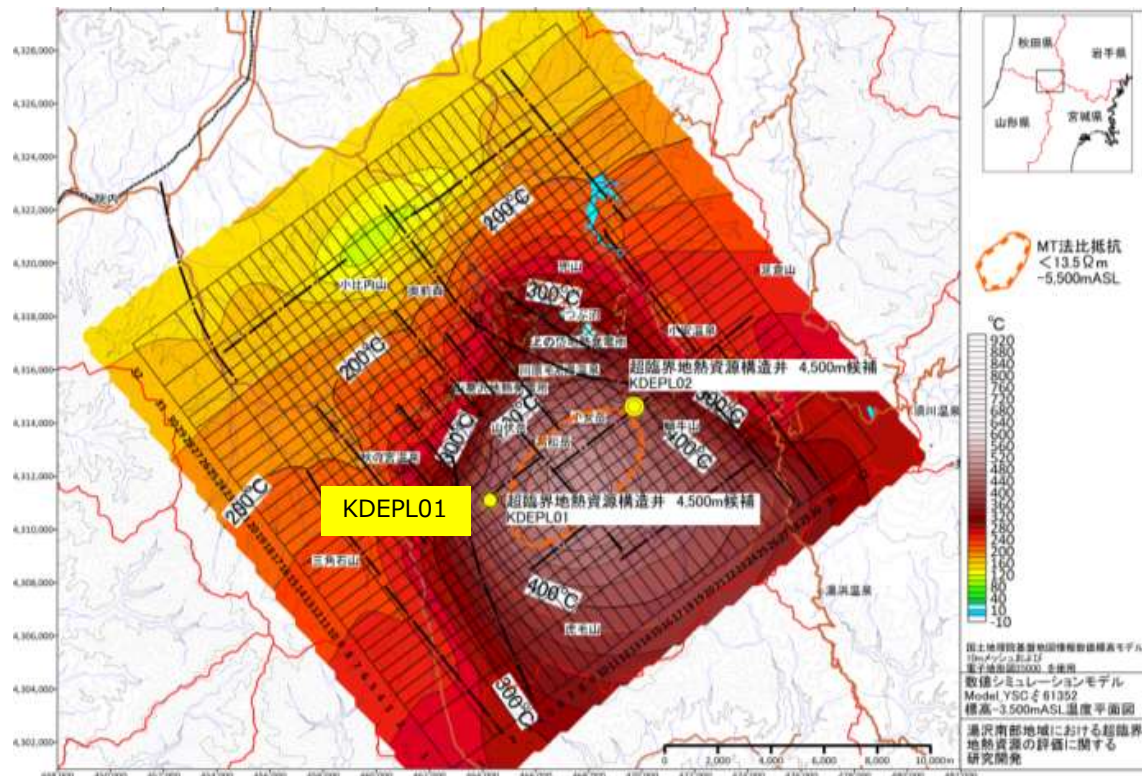
超臨界領域の推定(自然状態シミュレーション)

- 自然状態シミュレーションにより、温度分布や地表放熱量をよく再現できる最適なモデルを選定。
- ⇒高松岳東部の標高-2,000m以深のシリカシーリング内部に超臨界地熱資源の存在を推定。

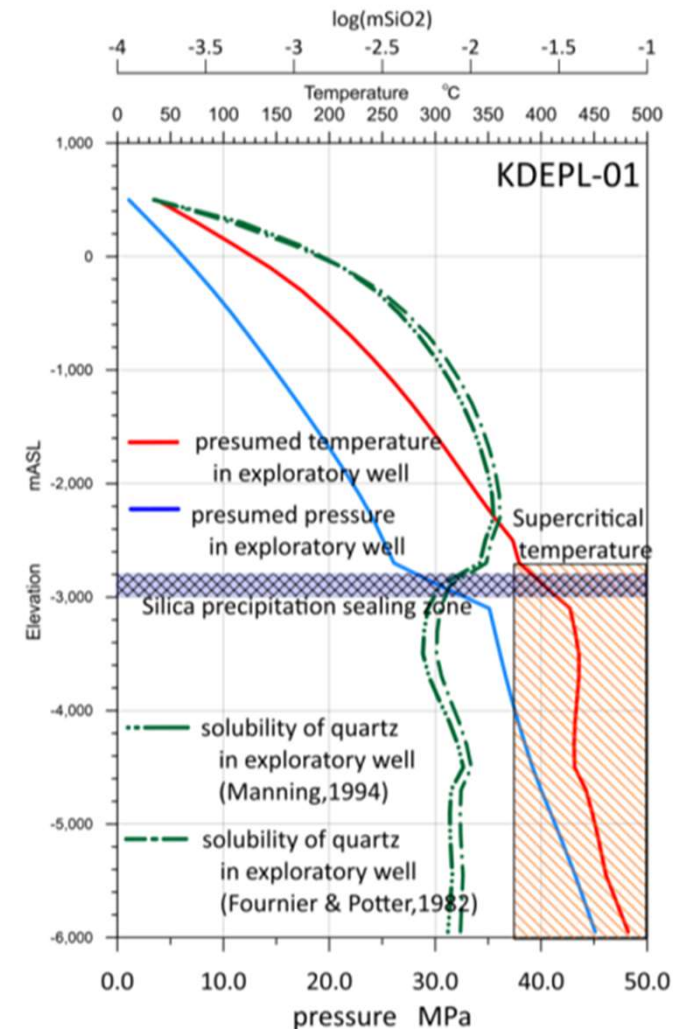


温度圧力分布

- 標高-3,500mの温度分布から試錐候補地点を選定。
- KDEPL01で掘削した場合の温度・圧力・シリカ溶解度プロファイルから、シリカシーリングゾーン以深に超臨界流体が存在すると推定される。
- シリカの溶解度が急激に低下している（シリカの沈殿が生じる）領域とシリカシーリングは整合的。



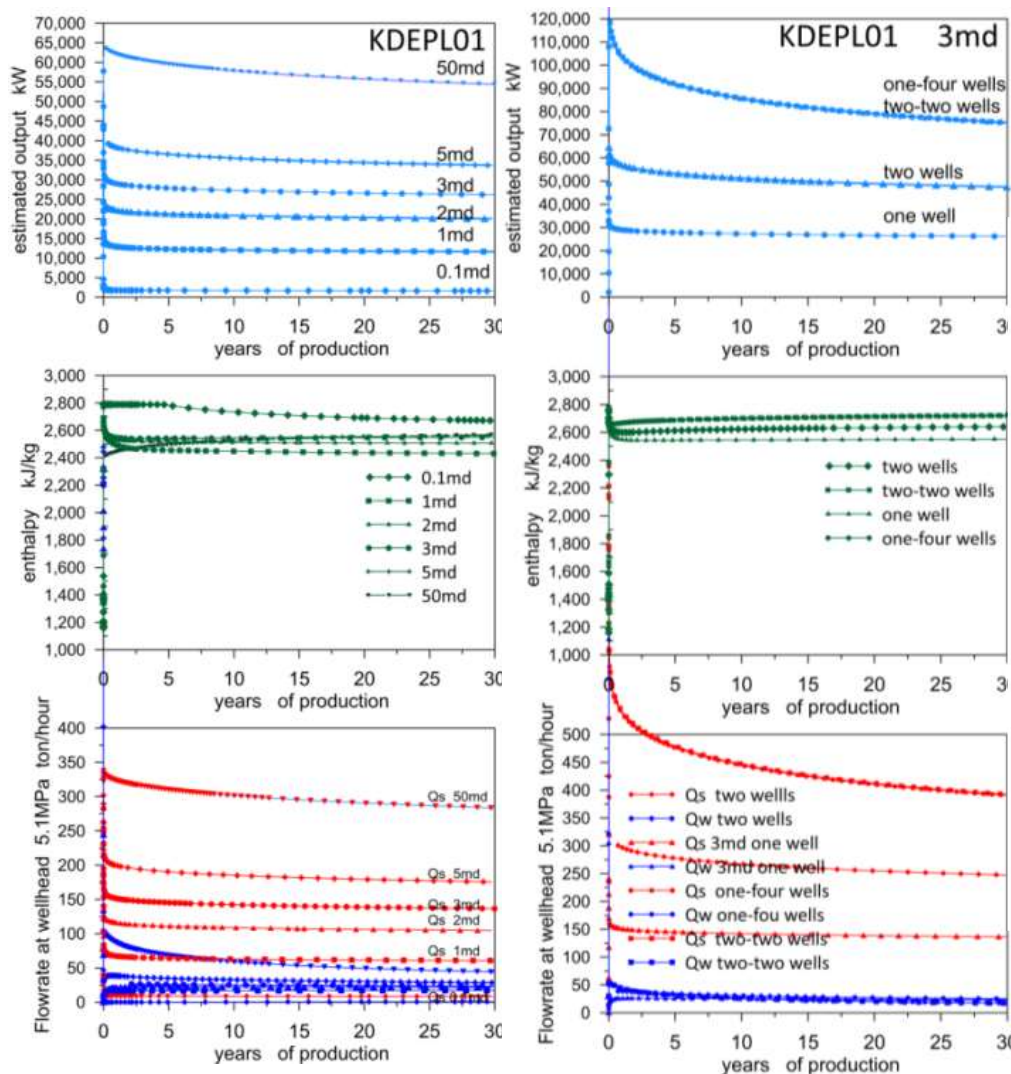
標高-3,500mの温度分布と試錐候補位置



温度・圧力・シリカ溶解度プロファイル

生産予測

- KDEPL01における生産予測を複数のモデルで実施。
（複数の貯留層浸透率、シリカシーリング深度、坑井数等）
- 貯留層浸透率3mdで生産井4本の場合、3か月後に110MWと推定。



生産予測結果（モデルシリカシーリング1 μ d、標高-4,000mLまで）

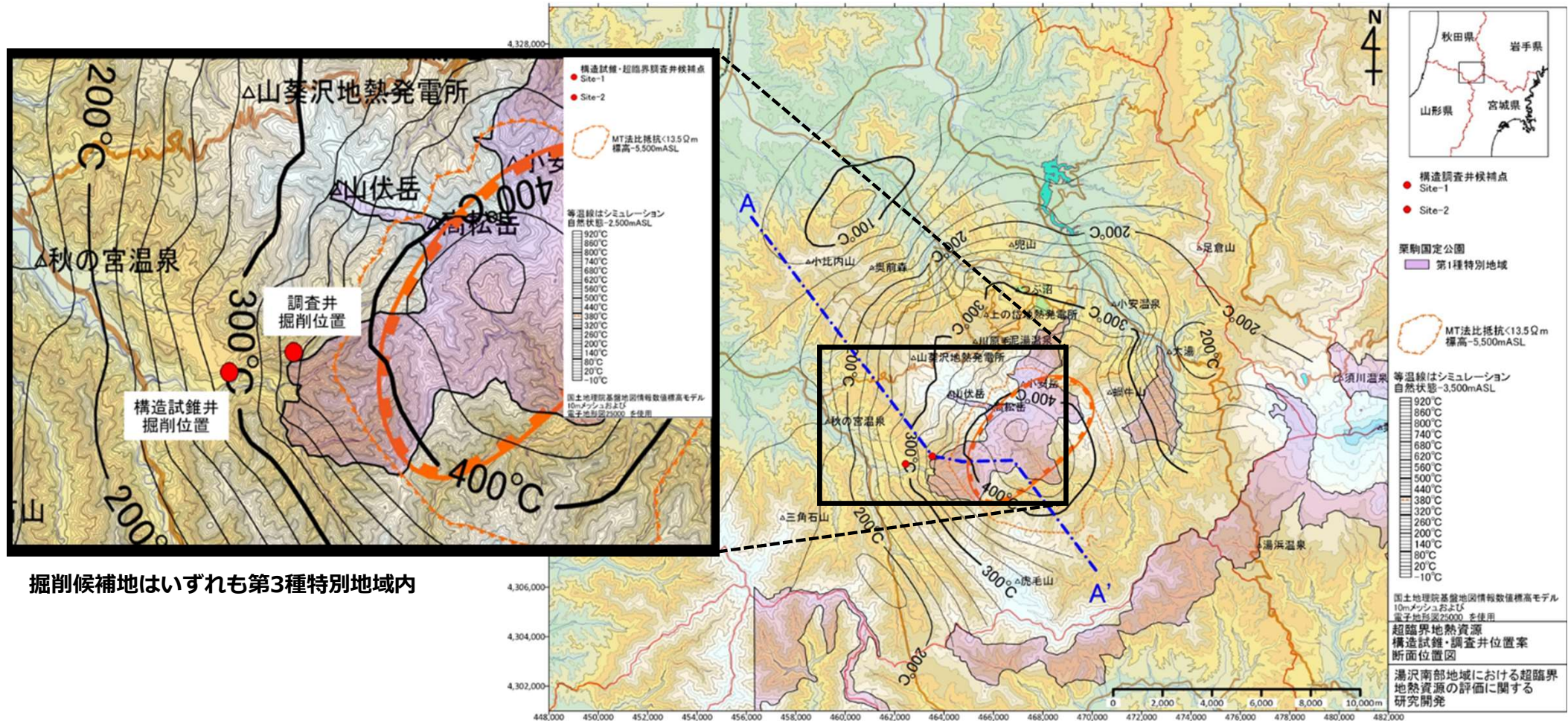
井戸数	浸透率	3か月後			30年後		
		蒸気量 t/h	熱水量 t/h	推定発電量 MW	蒸気量 t/h	熱水量 t/h	推定発電量 MW
1本	0.1md	9.8	0.0	1.9	8.5	0.7	1.6
	1md	70.1	12.6	13.4	60.7	17.1	11.6
	2md	119.7	19.0	23.0	104.5	21.9	20.1
	3md	155.3	24.2	29.8	136.5	23.4	26.2
	5md	205.0	38.3	39.3	175.5	28.4	33.7
	50md	329.3	96.3	63.2	283.4	44.1	54.4
2本	3md	308.0	37.2	59.1	247.5	25.1	47.5
4本2ブロック	3md	578.3	50.1	111.0	392.2	17.2	75.3
4本4ブロック	3md	575.4	49.6	110.4	390.6	17.6	75.0

生産予測30年間出力推移（坑井1本）

生産予測30年間出力推移（複数坑井）

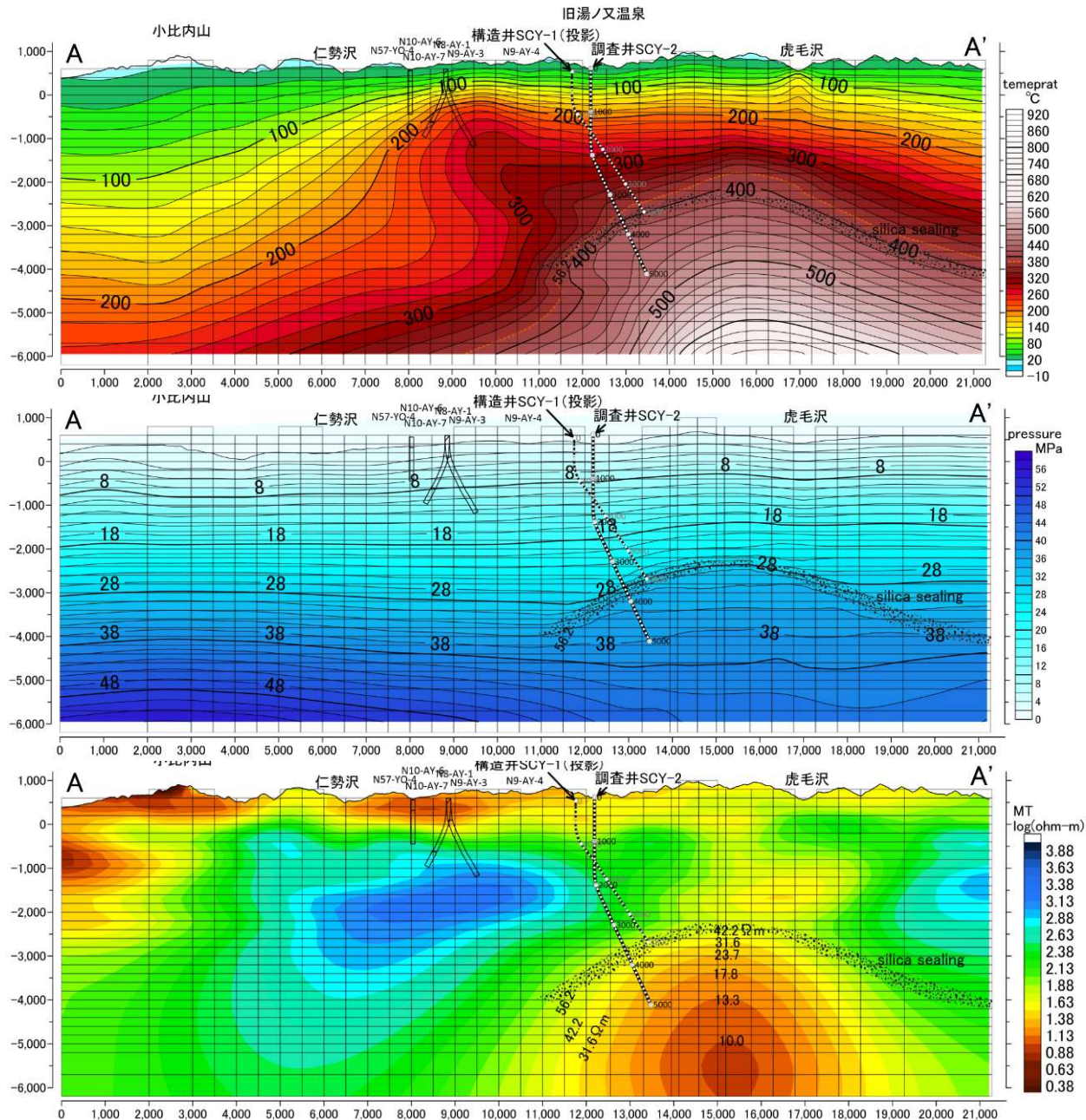
想定掘削位置

- 東側からの掘削を検討したが制約により不可のため、西側からの掘削を検討。今年度、構造試錐井掘削位置の測量を実施。その他、掘削工事に係る許認可関係を取り纏め中。
- 構造試錐井掘削位置：搬入路および敷地造成の条件が比較的良好な候補地。
- 超臨界地熱調査井：より熱源に近い候補地。



坑井断面

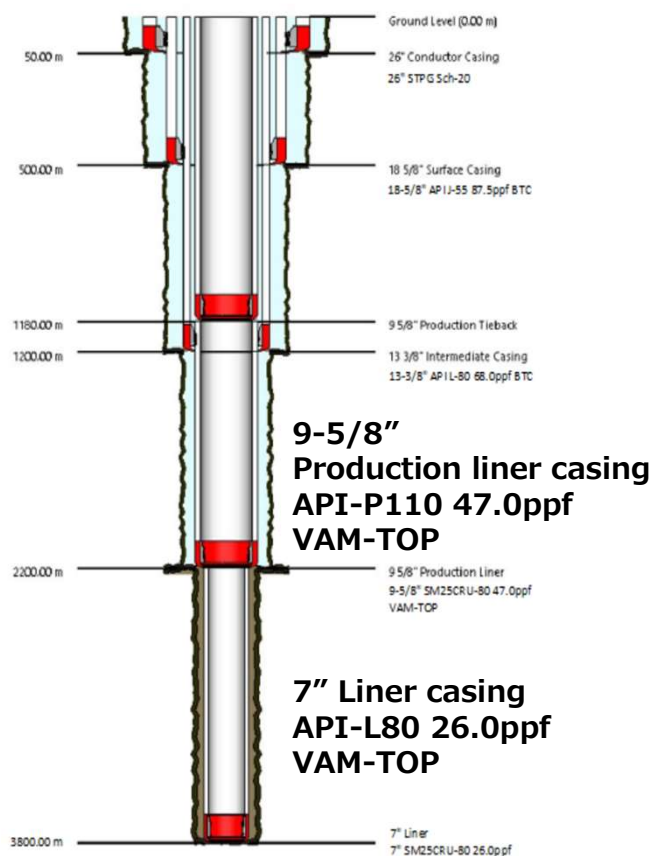
- 自然状態シミュレーションから推定した地下の温度・圧力・比抵抗断面



- ✓ 構造試錐井はシリカシーリングの直前まで掘削
(左図で構造試錐井は投影)
- ✓ 超臨界地熱調査井は超臨界領域まで掘削

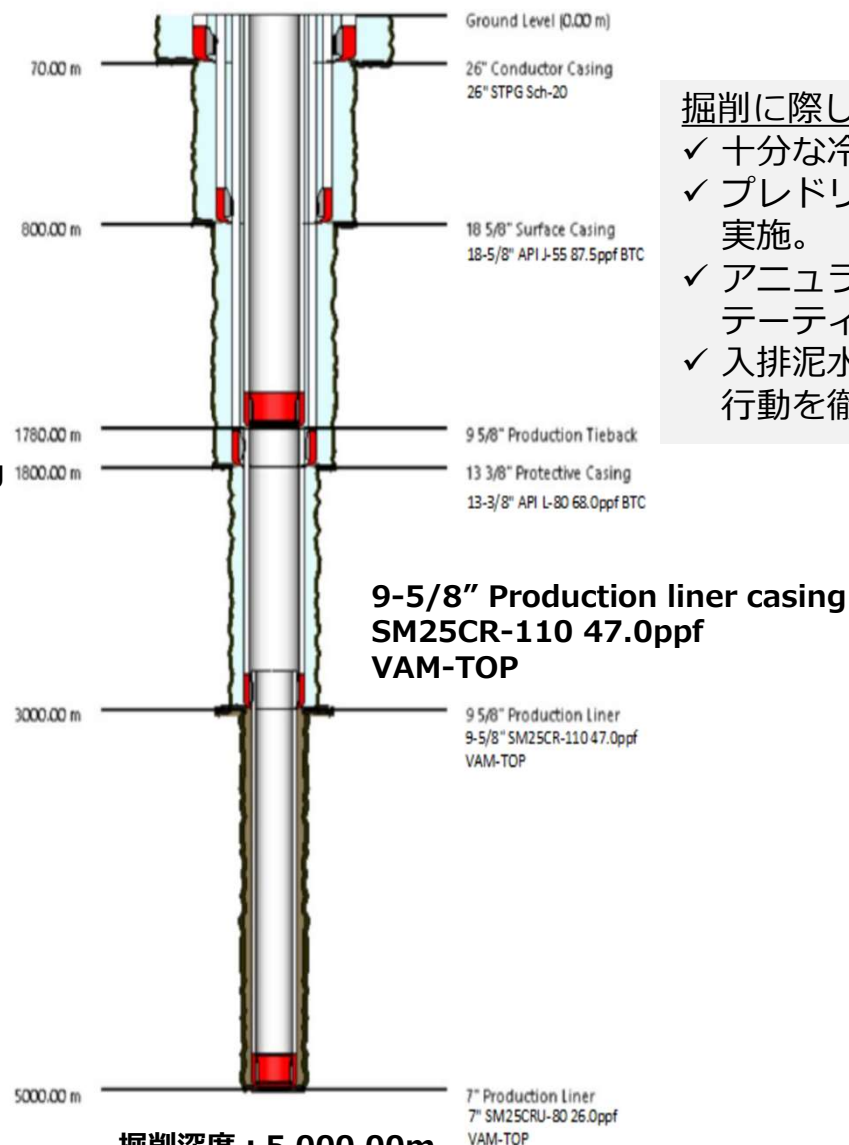
坑井の仕様

構造調査試錐



掘削深度 : 3,800.00m
 KOP : MD=550.00m
 傾斜角度 : 37.20°
 垂直深度 : 3,215.04m
 偏距計 : 1,799.92m

超臨界地熱調査井



掘削深度 : 5,000.00m
 KOP : MD=1,700.00m
 傾斜角度 : 25.00°
 垂直深度 : 4,722.57m
 偏距計 : 1,288.62m

- 掘削に際しては、以下のようなHSEを検討中
- ✓ 十分な冷却用水を確保できる取水設備を設置。
 - ✓ プレドリリングはフルホールセメンチングを実施。
 - ✓ アニュラー型BOPやダブルラムBOP、ローテーティングヘッドを使用。
 - ✓ 入排泥水温度、ガス流出の有無確認など基本行動を徹底。

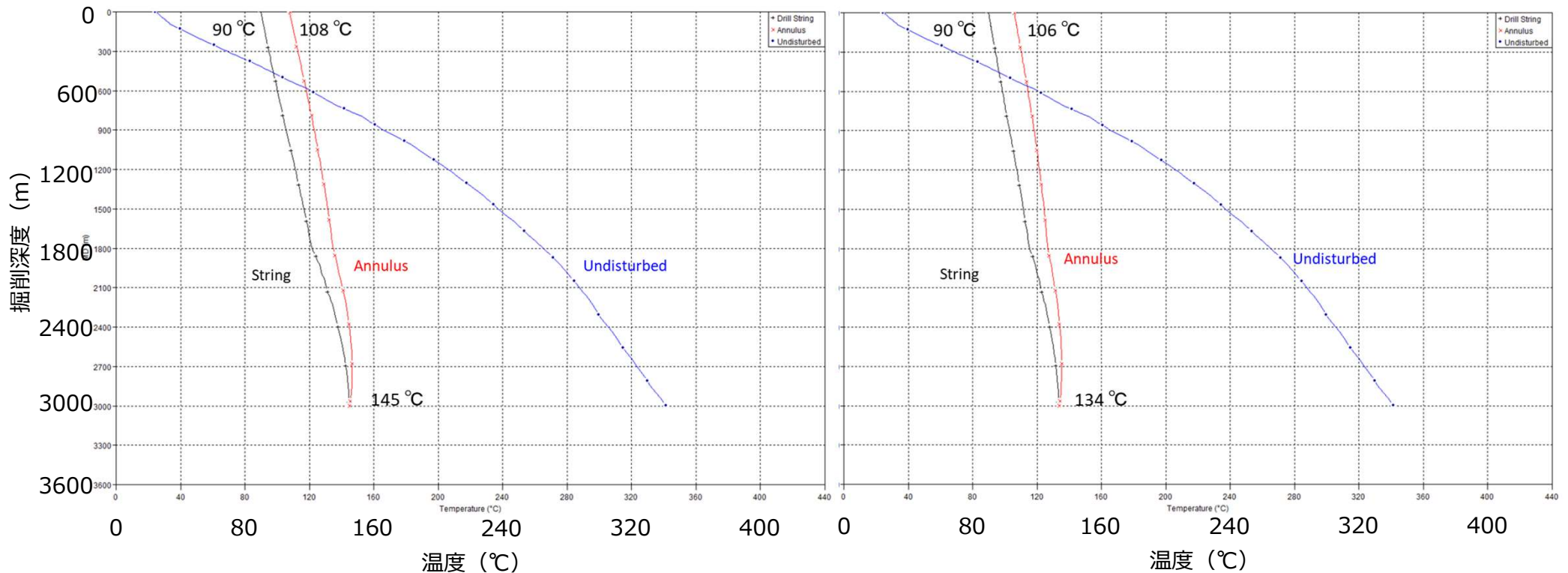
掘削シミュレーション

- 想定される温度圧力条件や掘削条件に基づき、回転トルク、フックロード、泥水循環温度等の掘削シミュレーションを実施。

(例) 9-5/8"ライナーケーシング挿入における泥水循環温度の予測

ポンプレート : 2,000 L/min
循環時間 : 8時間

ポンプレート : 2,500 L/min
循環時間 : 8時間



- 泥水冷却について検討中。大容量のピットは敷地の制約で困難のため、海外の冷却システムを検討する必要あり。
- その他、掘削シミュレーションの結果に基づきビットやドリルパイプ等の資材、ケーシング材質を検討中。

構造調査試錐を用いた調査

構造調査試錐を掘削した後、以下の調査・モニタリング項目を検討。

1. 温度・圧力測定

坑内に測定器を降下・設置し、温度及び圧力モニタリングを実施する。

2. 光ファイバーDAS

貯留層となる断裂系を推定するためDASによる断裂系補足を試みる。

3. ケーシング材料試験

坑内に候補材料のクーポン試験片を設置して全面腐食試験を実施する。

併せて曲げ試験片も設置して応力負荷条件下での腐食割れ試験を実施する。

回収した試験片は、外観状況検査・光学顕微鏡観察・重量変化検査を実施し、腐食速度の算出や割れの状況を確認する。

まとめ

- MT法探査、微小地震探査、豊富な既存データを用いて湯沢南部地域の数値シミュレーションを実施し、湯沢南部地域の深部（地下5 km以浅）に超臨界地熱流体が賦存することを推定した。
- 超臨界地熱流体を生産した場合の流体挙動、貯留層挙動について検討し、湯沢南部地域で100MWの発電が可能となる要件を整理した。
- 自然状態シミュレーションの結果に基づき、構造調査試錐および超臨界地熱調査井について掘削シミュレーションを実施。その結果を基に仕様について検討した。
- 掘削コストの試算や先行研究による地上設備コスト検討を参考とし、概略の経済性評価を実施予定。
- 実際の掘削工事に要する期間や許認可手続きを整理予定。