

2023年度成果報告会

プログラムNo.16

契約件名 地熱発電導入拡大研究開発／ 超臨界地熱資源技術開発／ 資源量評価（葛根田地域）

発表日：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 (国研)産業技術総合研究所 浅沼 宏

団体名 (国研)産業技術総合研究所, (国)東北大学, (国)秋田大学, 地熱エンジニアリング(株), (国)東京工業大学,
(国)京都大学, 地熱技術開発(株), 日本オイルエンジニアリング(株), エスケイエンジニアリング(株),
(株)INPEXドリリング

問合せ先 E-mail: h.asanuma@aist.go.jp TEL:029-861-6204

1. 背景・目的

既往研究開発を通じて、葛根田地域の浅部マグマ上部に超臨界地熱システムが形成されている可能性が高いことが示されてきた。本事業は同地域を対象に超臨界地熱システムモデルの精緻化，資源量評価，調査井仕様の策定，経済性評価等を行うことを目的とする。

2. 実施期間

開始： 2021年6月

終了（予定）： 2024年3月

3. 実施内容・目標（最終）

①補完地表調査・概念モデル構築，②資源量評価，③深部構造調査試錐の検討，④超臨界地熱調査井仕様の検討，⑤経済性評価，⑥総合評価を通じて以下を達成する。

(a) 超臨界地熱システム精緻モデルの同定，抽熱方式，発電可能量の提示

(b) 深部構造調査試錐井・調査井の仕様，工程概要，本坑井を使用した調査・試験プラン等の提示

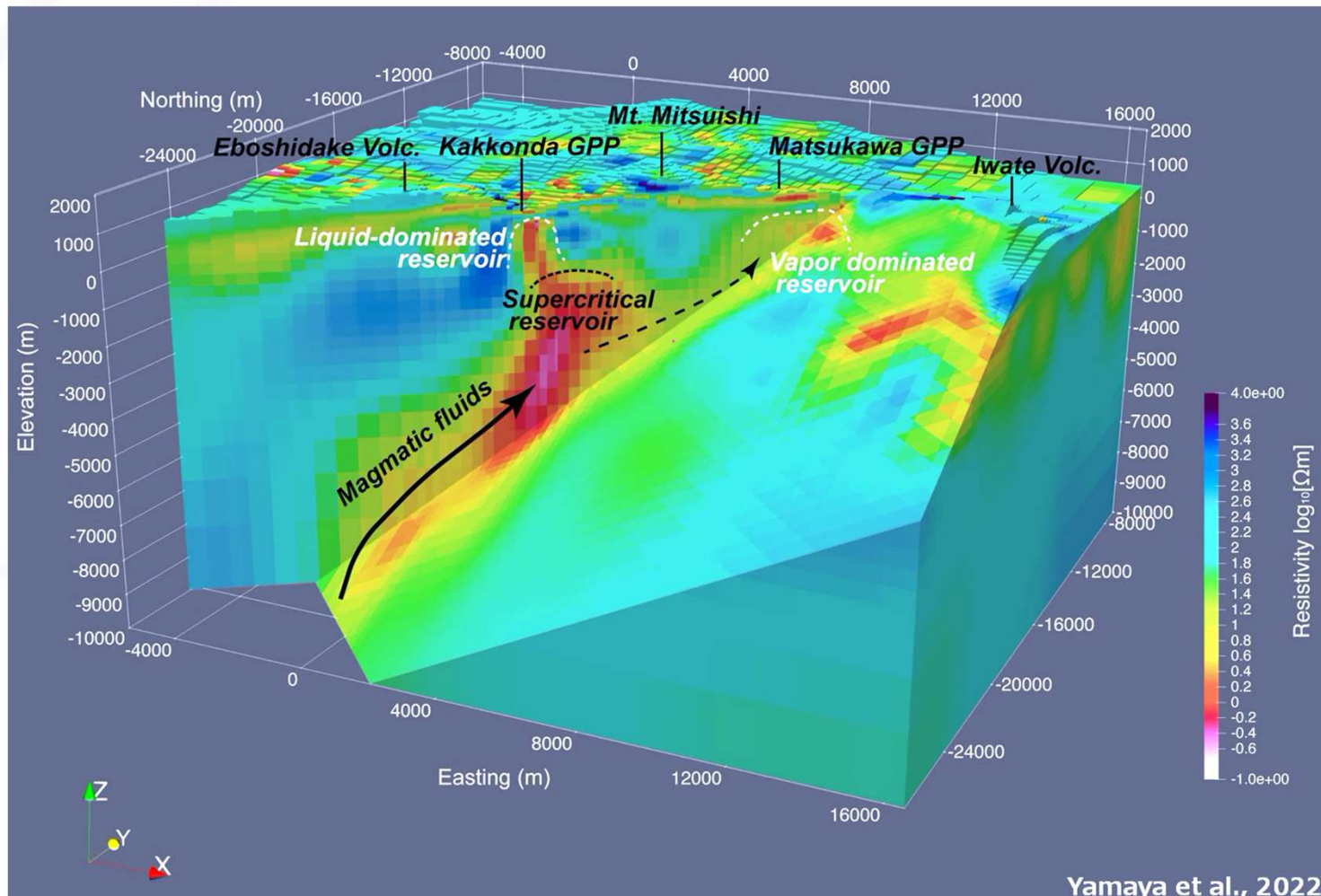
(c) 当地域での超臨界地熱発電の経済性

(d) 当地域での調査井掘削，試験の優位性提示。今後の課題，体制等の整理

事業概要 (背景)



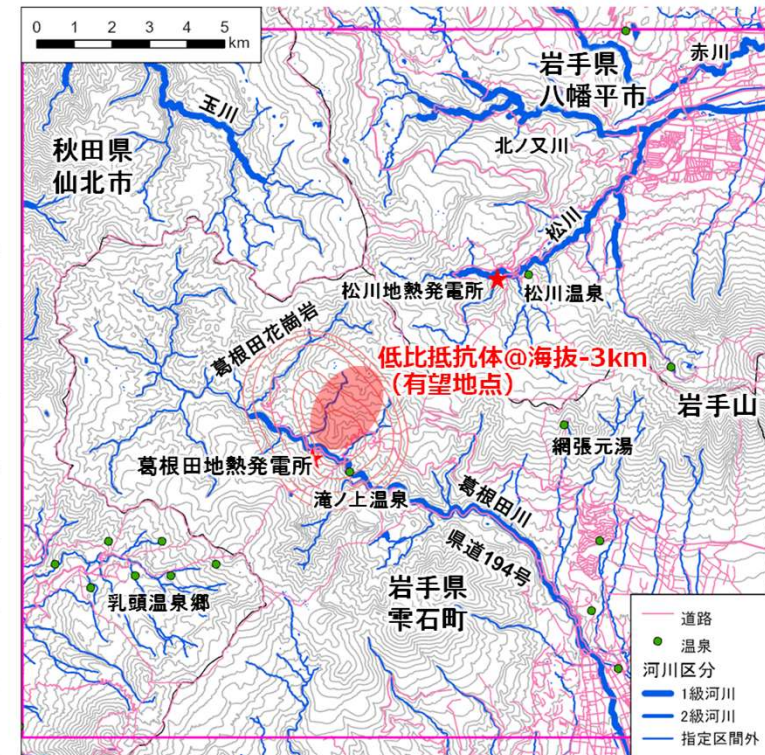
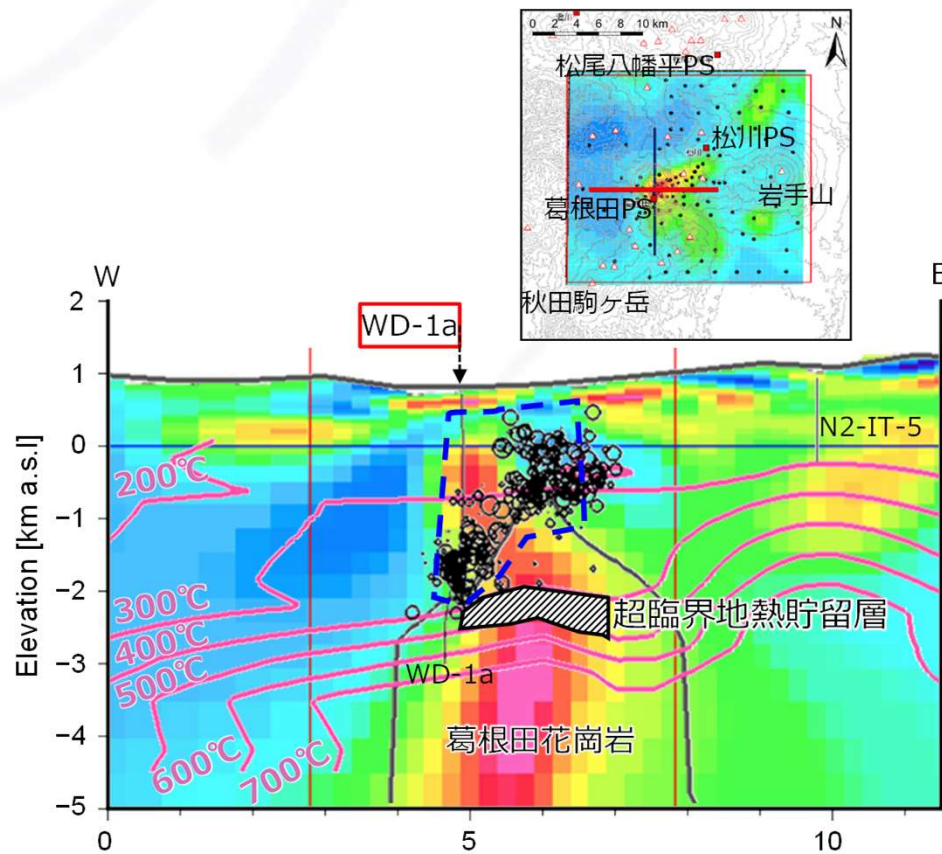
先行研究開発（NEDO，2018～2020）を通じて，仙岩地域（葛根田地点）で地下5km以浅に超臨界地熱システムが存在する地点を特定し，100MWeの発電が40年以上可能な開発パターンがあることを示した。



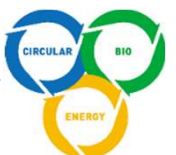
事業概要 (背景)



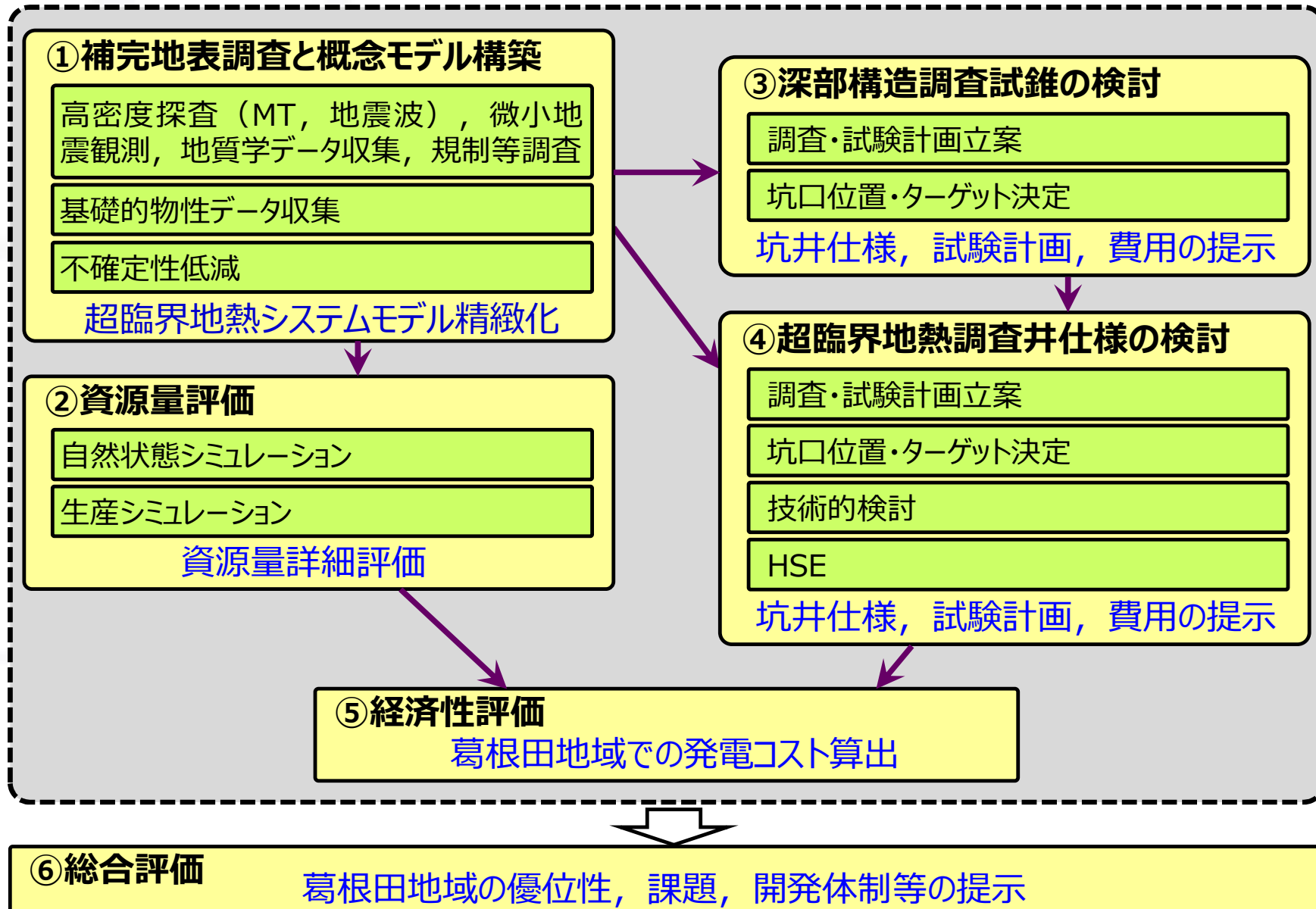
先行研究開発 (NEDO, 2018~2020) を通じて, 仙岩地域 (葛根田地点) で地下5km以浅に超臨界地熱システムが存在する地点を特定し, 100MWeの発電が40年以上可能な開発パターンがあることを示した。



国土地理院の地理院タイル, および地質調査総合センター (2009)全国地熱ポテンシャルマップ CD-ROM 版.数値地質図 GT-4を使用



事業概要（研究開発要素）



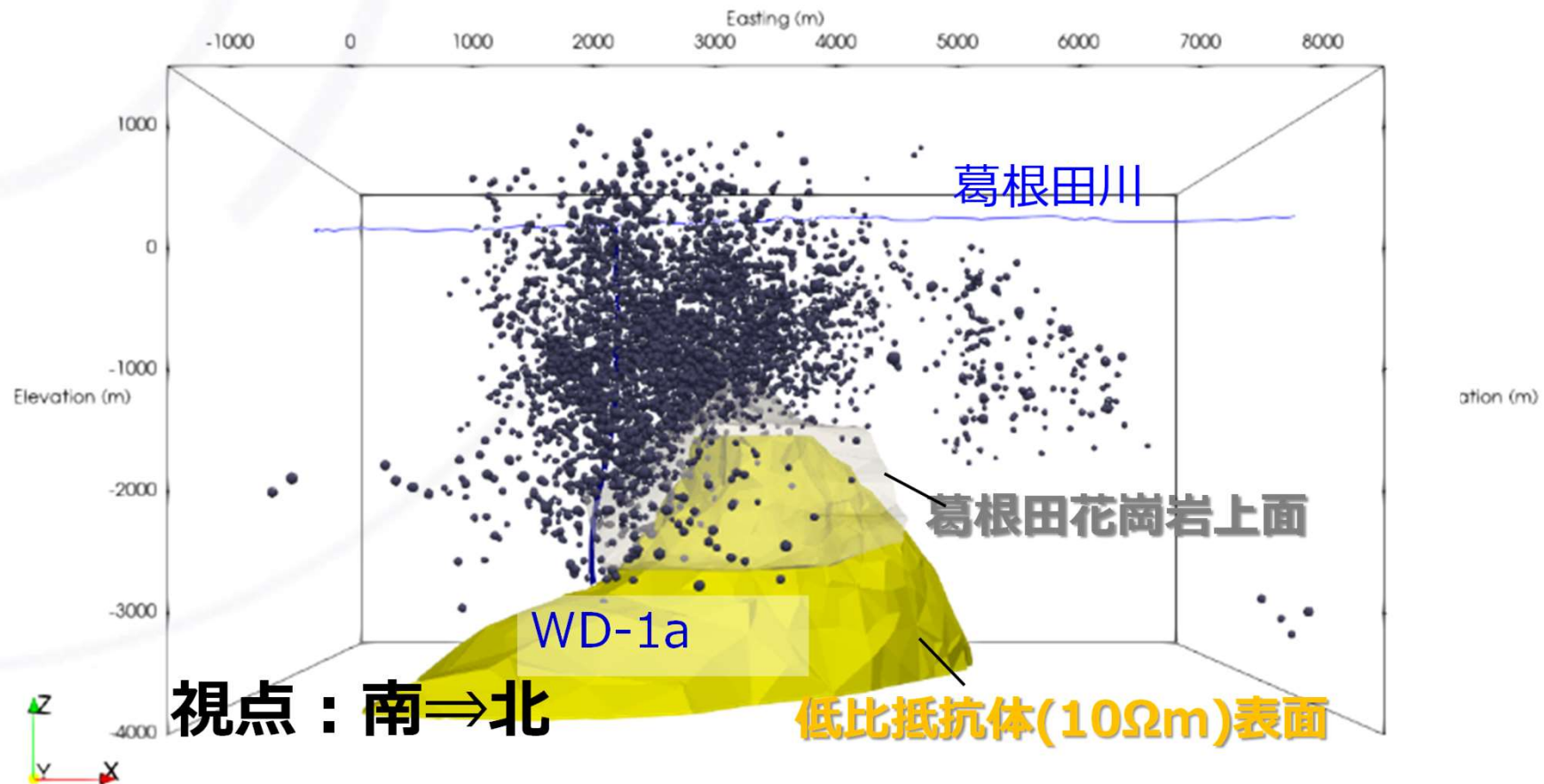
研究成果（調査等）



- * 先行研究開発を通じて超臨界地熱システムの存在可能性が高いとされた地点（有望地点）を中心に高密度MT法探査（47点）を実施。既取得のデータと合わせて比抵抗構造3Dインバージョンを行い、有望地点周辺数kmの範囲での地表から深度6km程度までの比抵抗構造を推定。感度解析、他のデータとの相関性評価等により比抵抗構造の信頼性・不確定性を定量評価し、**比抵抗最終モデルを同定。大局的な比抵抗構造は先行研究開発と大差なし。**
- * バイブロサイスと自然地震を使用して、対象地域の反射法イメージング、および地震波トモグラフィを実施。400℃以上（坑井データから推定）となる高温領域、低比抵抗体の外部周辺域に微小地震震源が分布。震源分布が限定されているため、葛根田花崗岩体内を通過する地震波パスは浅部に比べ少なく、トモグラフィによる有意な情報の取得は困難。**葛根田花崗岩上部および内部に反射面を検出。**
- * 鉱物温度計等を用いて葛根田花崗岩の熱史および流体圧力分布を検討。葛根田花崗岩**マグマが最後に貫入した約10万年前から現在までに地熱系の形成に至ったと推定。**
- * 当地域に関連した法規制等の調査を実施。



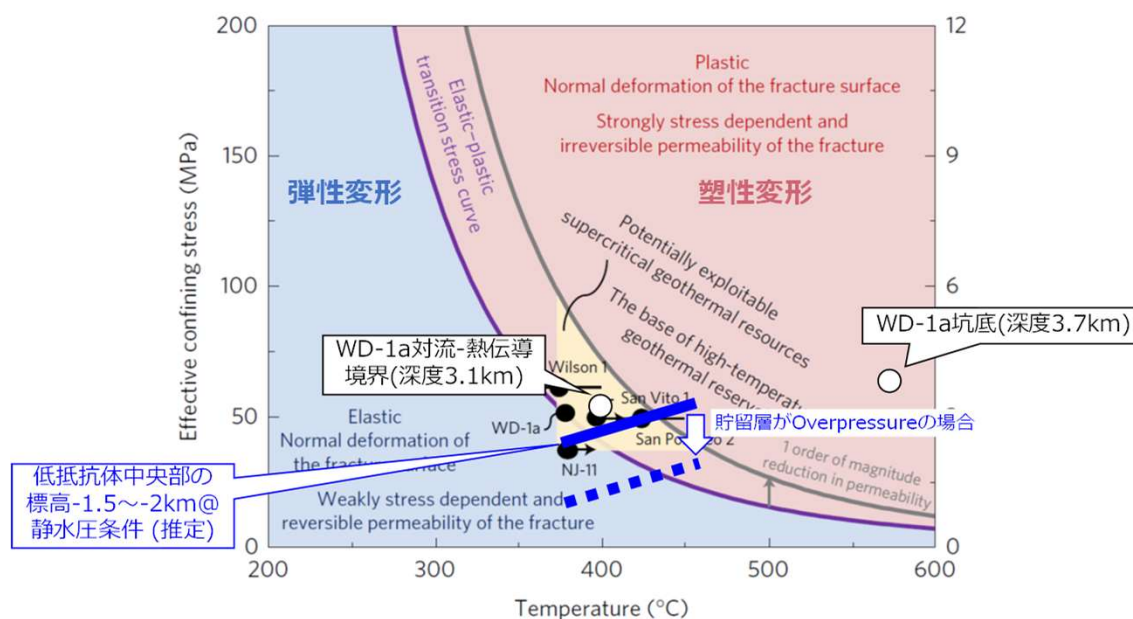
研究成果 (調査等)



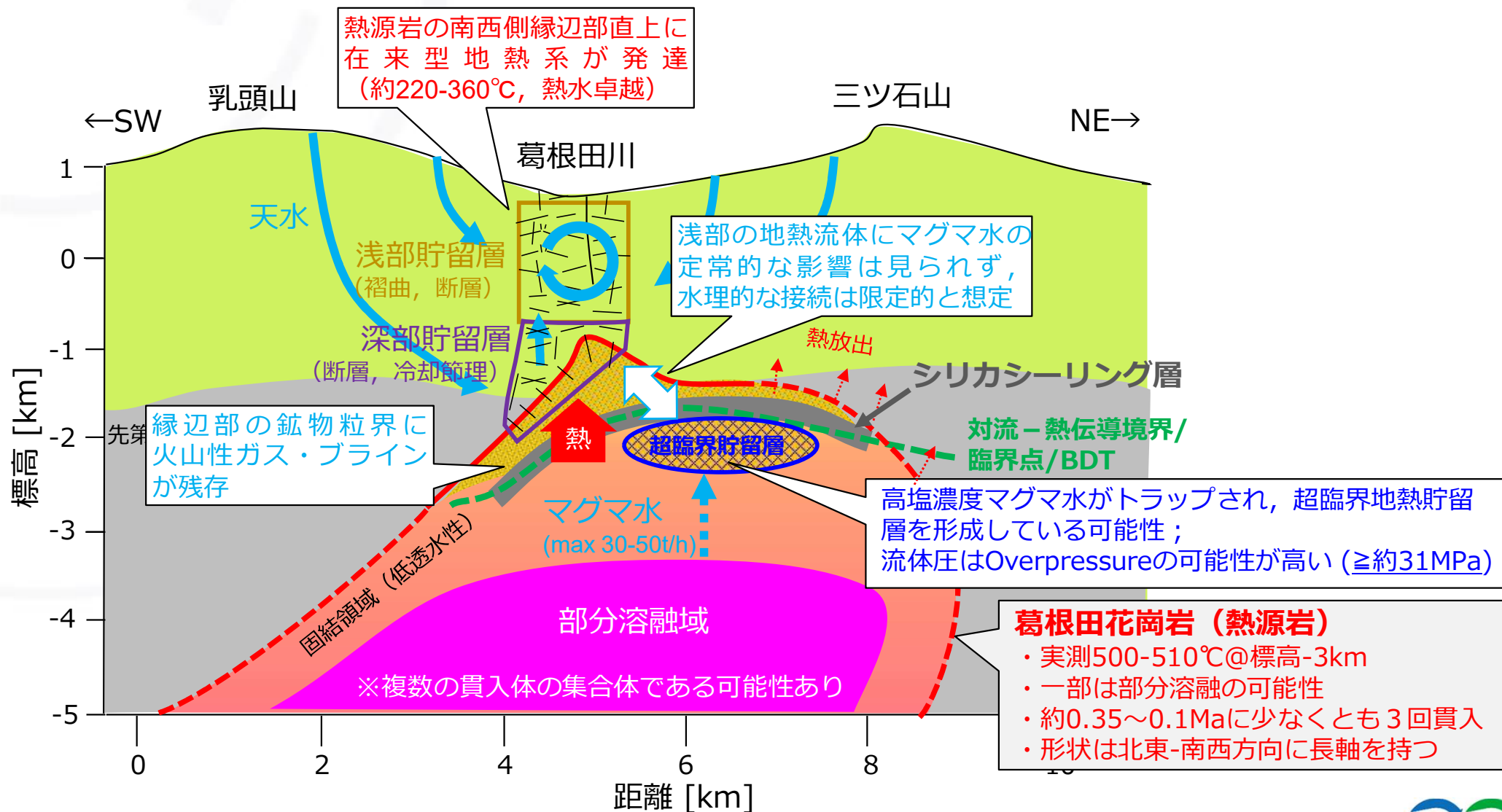
微小地震震源分布

研究成果（概念モデル）

- * 比抵抗，温度，微小地震データより得られたモデルの大局的構造は先行研究開発と同様。葛根田花崗岩の内部に低比抵抗体が広がっており，その上部には温度約400-500℃の高塩濃度マグマ水に富む超臨界地熱貯留層が，その下部には部分溶解域が存在している可能性を示唆。
- * 不確定性があるものの，推定された深部低比抵抗体の上面深度，374℃深度，地震D95深度，石英溶解度極小点深度は概ね整合的。
- * 低比抵抗体上部で推定される有効応力・温度を，花崗岩の弾性－塑性変形遷移図(Watanabe et al., 2017) に重ねると，高浸透率を維持可能な下限深度をおおよそ示す弾性－塑性遷移境界の周りに位置。浸透率の有効応力・温度依存性という観点では，低比抵抗体上部に貯留層は存在可能。



研究成果 (概念モデル)



研究成果（概念モデル）



葛根田地域の超臨界地熱システムに関する各推定の不確定性

推定項目	不確定性	現時点で得られている証拠
第四紀の花崗岩体（葛根田花崗岩）が深度約2km（標高約-1.3 km）以深に存在	小	花崗岩内に複数坑井の掘削有り； 花崗岩コアの年代測定
花崗岩体内に低比抵抗体が存在	小	MT法探査（感度テスト実施）
低比抵抗体内の温度は約400℃以上	小	WD-1a含む深部坑井の温度外挿結果； 震源分布
低比抵抗体上部にマグマ水に富む領域が存在	中	MT法探査（感度テスト実施）；WD-1a 流体試料；流体包有物
低比抵抗体上部に高浸透率領域（超臨界地熱貯留層）が存在	大	MT法探査；H ₂ O-NaCl流体の電気伝導度； 花崗岩の弾性塑性遷移条件
超臨界地熱貯留層の上にシリカシーリング層が存在	中	WD1a対流－熱伝導境界； 浅部地熱流体の化学性状
超臨界地熱貯留層の流体圧はOverpressure（具体的な圧力値の推定は困難）	中	地質水理学的条件；圧縮応力場； H ₂ O-NaCl流体の電気伝導度
超臨界地熱貯留層の厚み（最大で0.3～1km程度）	大	花崗岩の弾性塑性遷移条件
超臨界地熱貯留層に深部からの流体供給あり（最大30-50t/h）	大	マグマ溜まりの大きさと固結速度から推定
低比抵抗体の深部に部分溶融域が存在	小	坑井温度外挿；MT法探査；重力解析



研究成果（資源量評価）

自然状態シミュレーション実施フロー

概念モデル

- ・超臨界地熱貯留層を胚胎する貫入岩体は冷却過程にある。
- ・超臨界地熱貯留層はシール層により浅部の熱水系と水理的に接続していない。

三次元 定常解析（純水系）

*従来の自然状態SIMのイメージ

○純水系シミュレーション

- ・生産シミュレーションに用いる、数値モデルの構築。

モデル構築フロー

初期数値モデルの構築

貯留層シミュレーションによる、準定常状態の解の取得

計算結果と測定値の比較

両者の一致は十分か

YES

終了

石戸(2002) 地熱貯留層工学
「自然状態シミュレーションのフロー」, (社)日本地熱調査会

モデル調整

- ・浸透率分布
- ・境界条件

NO

二次元 簡易解析（純水系/塩水系）

○純水系（非定常解析/定常解析）

- ・貫入岩体の冷却および浅部地熱系の形成を非定常解析により再現。
- ・非定常解析から得られた現在の地熱系を、定常解析によって再現。
- ・上記2種の結果は、計算の誤差評価や、三次元解析の境界条件設定へ反映へ使用。

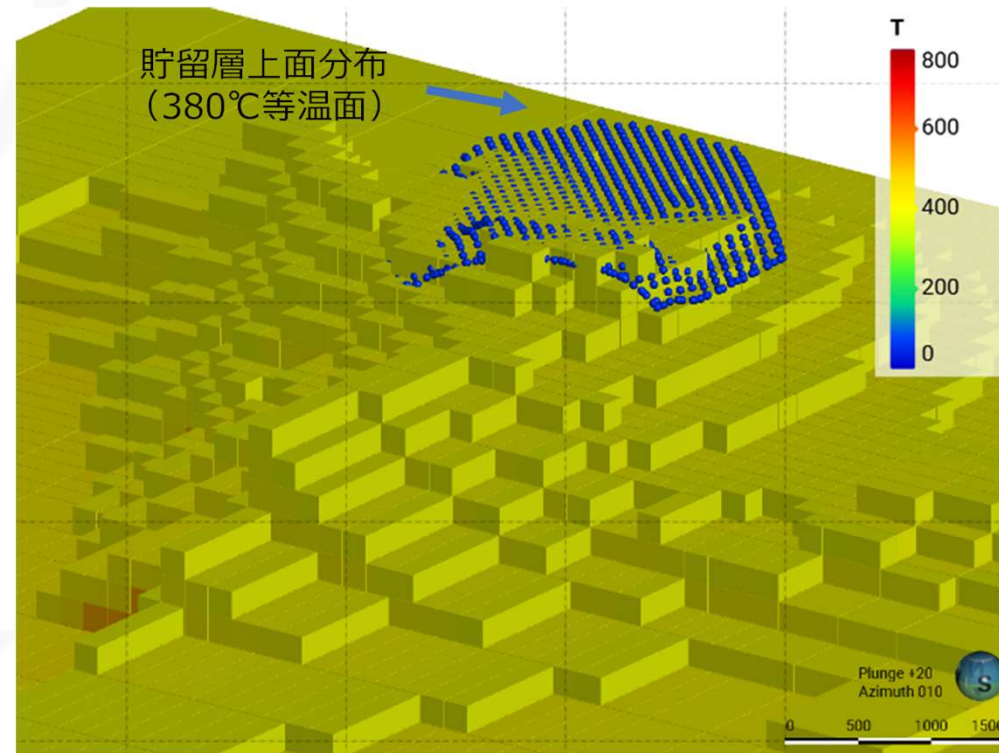
○塩水系（非定常解析）

- ・想定しているシール層の存在・状態、深部流体供給等の妥当性の検討が目的。
- ・シール層については、超臨界地熱貯留層に存在する高塩濃度流体の浅部への流出を評価。

二次元解析の結果は、概念モデルの精緻化や、3次元数値モデル構築時の各種条件設定に反映させる。

(c)発電可能量の推定：生産シミュレーション

研究成果（資源量評価）

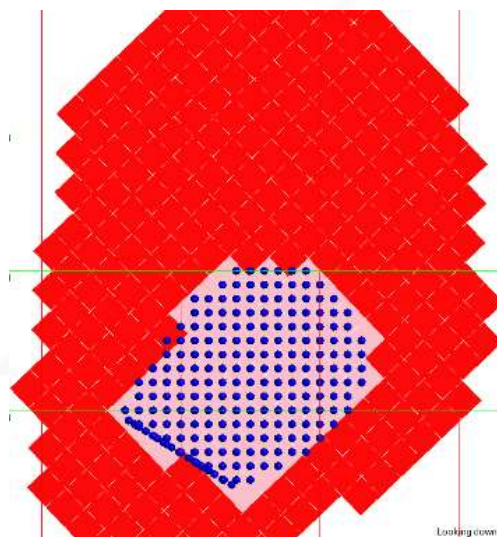


- * 深部貯留層の380°C等温面とモデル温度が整合し、坑井プロフィールとの比較から、浅部貯留層においても実測温度または推定初期温度が概ね整合的な自然状態モデルを実現（FY2023）。

研究成果（資源量評価）

抽熱シミュレーションのモデル条件

	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
貯留層範囲	比抵抗値25ohm-m以下の領域		比抵抗値10ohm-m以下の領域	
貯留層浸透率	$1 \times 10^{-14} \text{ m}^2$	$5 \times 10^{-15} \text{ m}^2$	$1 \times 10^{-14} \text{ m}^2$	$5 \times 10^{-15} \text{ m}^2$
貯留層圧力	31 MPa（ベースケース；超臨界貯留層内部の圧力については感度解析を予定）			

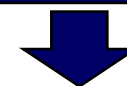


抽熱シミュレーションの流れ

100MWの発電に必要な生産量を数値モデルに付与し、40年間の貯留層挙動を取得。
（貯留層シミュレーション）



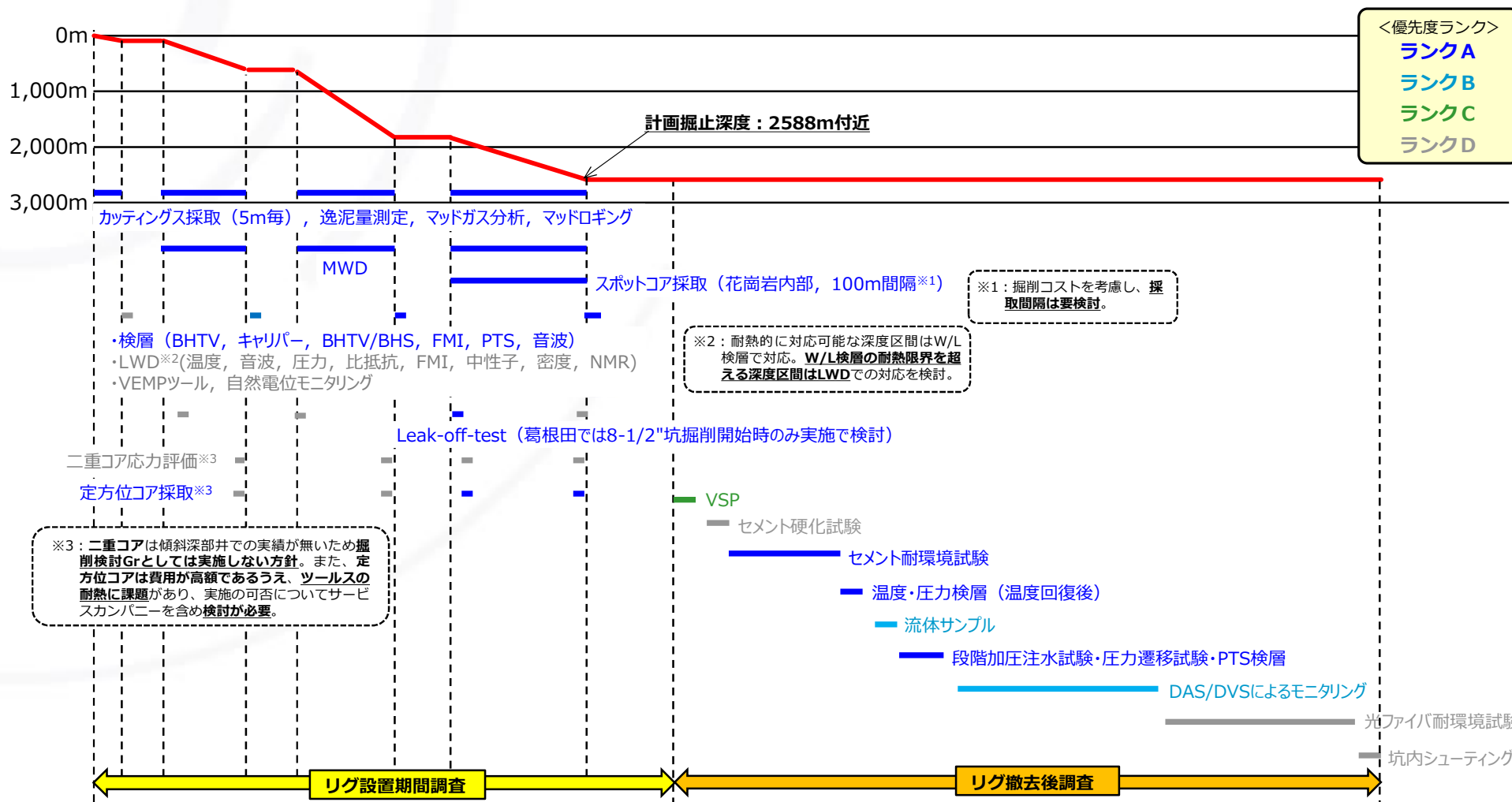
生産ブロックの温度・圧力を貯留層圧力とみなした、坑井特性曲線を取得。
（坑内流動シミュレーション）



得られた坑井特性曲線から、100MW相当の発電に必要な蒸気生産が40年間持続するかを評価。

- * 貯留層パラメータの不確定性を考慮した複数ケースの超臨界貯留層モデルを決定。
- * 発電可能量の推定手法（抽熱シミュレーション手法）を検討。

研究成果 (試験計画)



* 関連する科学者, 技術者からの提案・ヒヤリング, 技術情報等をもとに深部構造試験時の調査・試験計画を立案。



研究成果（掘削計画）



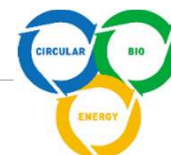
- * 関連する科学者，技術者からの提案・ヒヤリングをもとに深部構造試錐井・調査井での調査・試験計画を立案。費用，作業の難度等を勘案してランキング。
- * 計画坑跡を立案し，既存近傍井の地層，逸泥情報，温度構造などから水止め深度を検討し，ケーシングプログラム案を立案。
- * 当地域の地理的条件，超臨界貯留層の位置等を勘案し，掘削予定地を選定。深部構造調査試錐と調査井の坑跡計画から，リグ等の機器配置を暫定的に決定。
- * 深部構造調査試錐の掘削コストを試算。コスト低減を目的に複数のケース分け。
- * 掘削中の坑内冷却についてシミュレーションにより検討。
- * 坑口装置の仕様を検討。
- * NEDO事業開発アルミナセメントの超臨界地熱調査井での使用を検討。
- * 調査井掘削時における超臨界地熱資源存在実証シナリオを立案。
- * HSEマネジメント計画立案を開始。
- * 葛根田地域を想定した「超臨界水圧破碎シミュレーション」を実施。応力条件，初期浸透率により破碎進展領域が大きく異なること，破碎領域内は超臨界状態にあることを推定。



FY2022以降の主な課題



- ① 補完地表調査・概念モデル構築：探査データ（比抵抗，地震波）の信頼性・感度解析。ベイズ推定等を用いた不確定性の低減。亜臨界・超臨界領域での物性データ収集。広域熱構造の検討。葛根田花崗岩広域形状の詳細検討。
- ② 資源量評価：自然状態シミュレーション，生産シミュレーション。浅部熱水系への影響評価。
- ③ 深部構造調査試錐の検討：坑井仕様・試験計画の詳細検討，コスト・安全性の検討。
- ④ 超臨界地熱調査井仕様の検討：坑井仕様・試験計画のの詳細検討，コスト・安全性の検討。掘削シミュレーション。HAZIDワークシートの作成によるリスク評価。関係者への事前説明。
- ⑤ 経済性評価：複数の開発パターンに対する経済性の評価。
- ⑥ 総合評価：葛根田地域の特長の整理と優位性の評価。



まとめ（FY2022まで）



- ① 補完地表調査・概念モデル構築：探査データ，地質学的データ等を補完的に収集し，それらを統合することにより概念モデルを精緻化した。モデルは先行研究において同定されたものと大局的には同等であった。また，モデルの不確定性を考慮し，貯留層パラメータ等を決定。
- ② 資源量評価：自然状態シミュレーションを行い，観測データを再現できる結果を得た。生産シミュレータの基本部分を整備。
- ③ 深部構造調査試錐の検討：坑井仕様・試験計画の初案を作成するとともに，掘削基地・機器配置等を検討。
- ④ 超臨界地熱調査井仕様の検討：坑井仕様・試験計画の初案を作成するとともに，掘削基地・機器配置等を検討。
- ⑤ 経済性評価：資機材コスト等の調査を開始。
- ⑥ 総合評価：FY2023に実施予定。

