

NEDOエネルギー・地球環境分野成果報告会2026 プログラムNo.B1-2-21

地熱発電導入拡大研究開発/超臨界地熱資源技術開発/

超臨界地熱資源量の追加評価と資機材・発電システムの検討

発表：2026年7月22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 赤塚 貴史

委託先：(国研)産総研、地熱エンジニアリング(株)、三菱マテリアルテクノ(株)、日鉄鉱コンサルタント(株)、(国大)九州大学

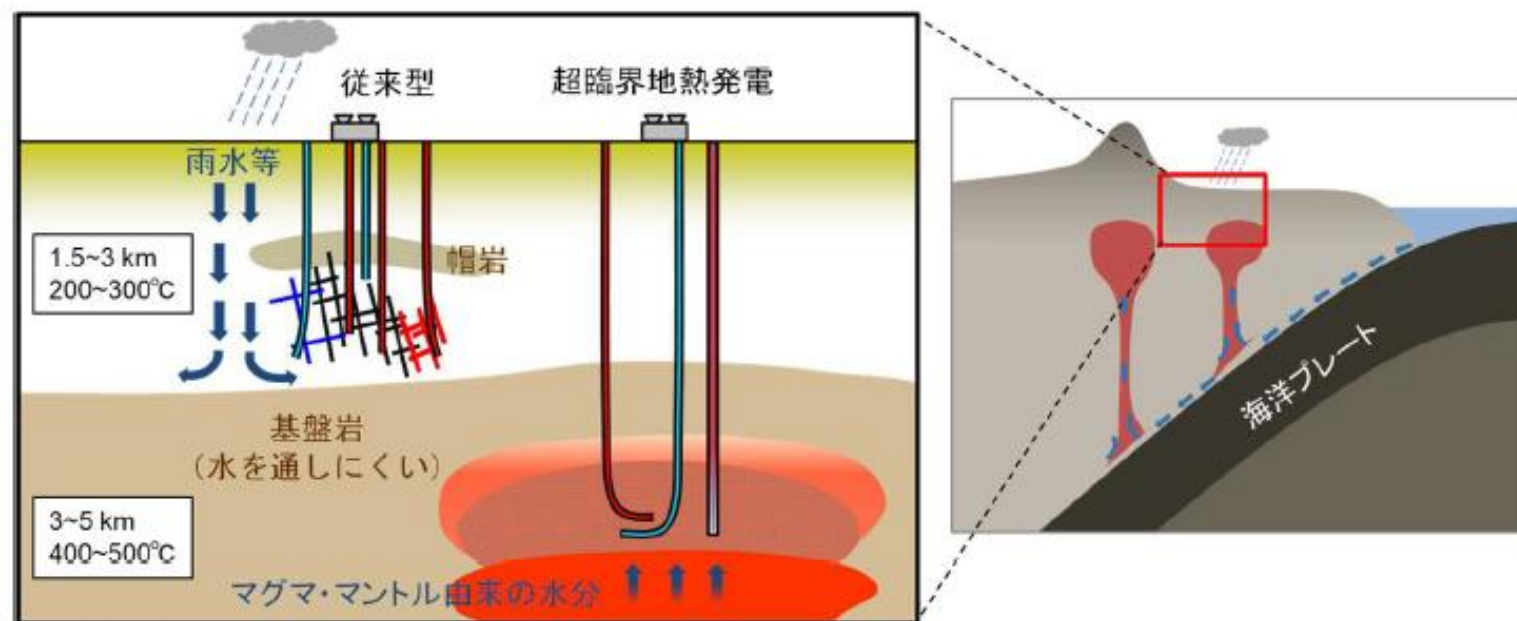
再委託先：(国大)東北大学、(国大)秋田大学、富士電機(株)、(地独)道総研、西日本技術開発(株)、(国大)神戸大学

問合せ先：地熱エンジニアリング株式会社 E-mail：akatsukat@geothermal.co.jp TEL：080-2821-6288

超臨界地熱発電

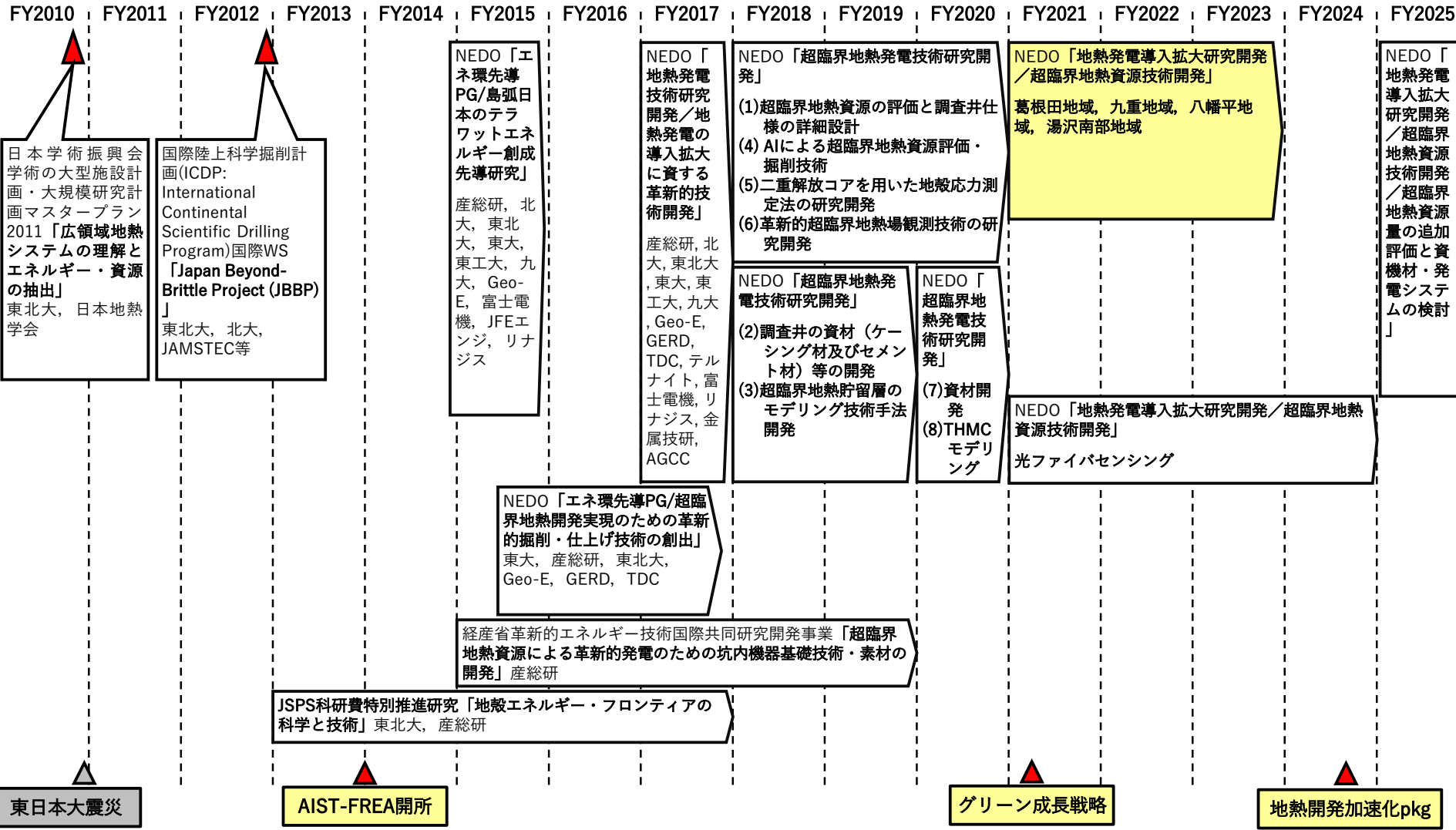
浅部マグマ内外の高温・高圧（ 374°C 、 22.1MPa （純水の臨界点）以上）の地熱系を熱源として使用する発電方式

- * 流体の組成により臨界点は異なるが、それについては考慮しない
- * 坑井から生産される流体は亜臨界状態である
- * 英語ではSupercritical Geothermal Power Generationであるが、温度・圧力条件等からSuperhot, Ultrahot Geothermal Power Generationという場合もある



NEDO TSCフォーサイト (2021)

超臨界地熱発電研究開発の経緯



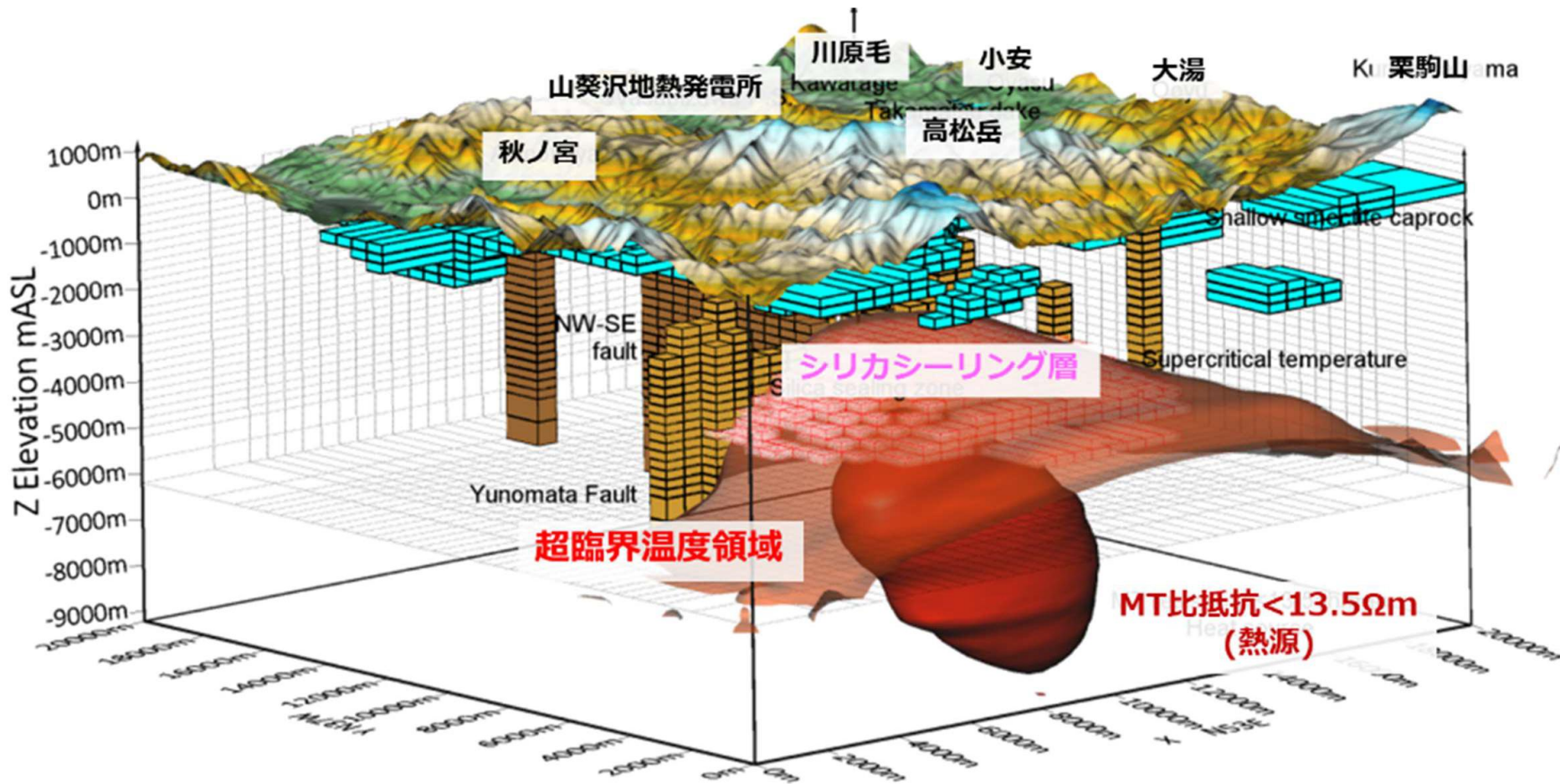
超臨界地熱発電研究開発の経緯（FY2021～2023 NEDO-PJ）

- 国内有望4地点での詳細調査（MT法探査，微小地震モニタリング，反射法震探，地質学的データ収集）．
- 超臨界地熱システムモデルの精緻化，詳細資源量評価（100MWeの発電可能性提示）
- 構造試錐井，調査井の仕様・工程策定
- 経済性評価



超臨界地熱発電研究開発の経緯（FY2021～2023 NEDO-PJ，湯沢南部）

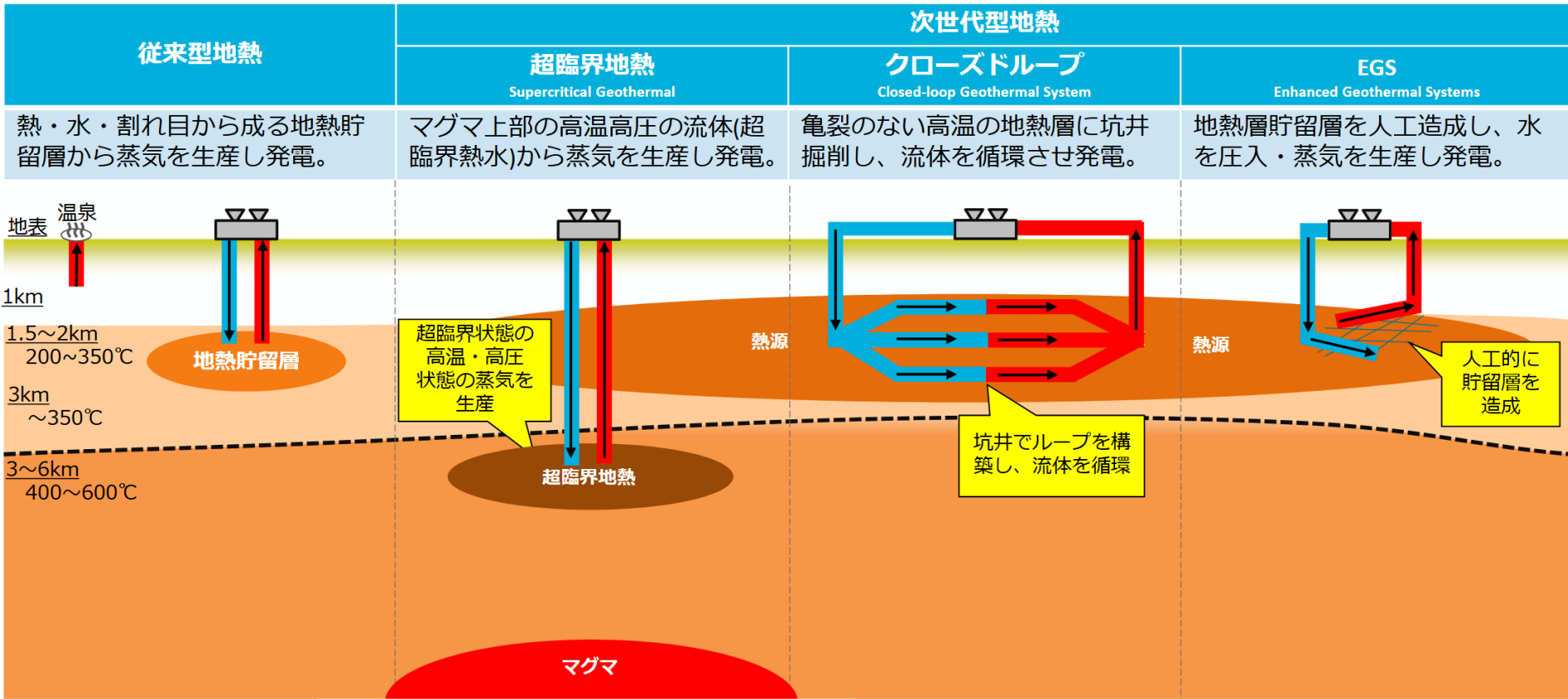
数値シミュレーションの結果，高松岳深部の標高-3,000mL以深に超臨界地熱温度範囲を推定。超臨界温度の分布範囲はシリカシーリングゾーン内に賦存。
マグマ性流体は，シーリングゾーンからわずかに浸透し，川原毛付近に湧出。



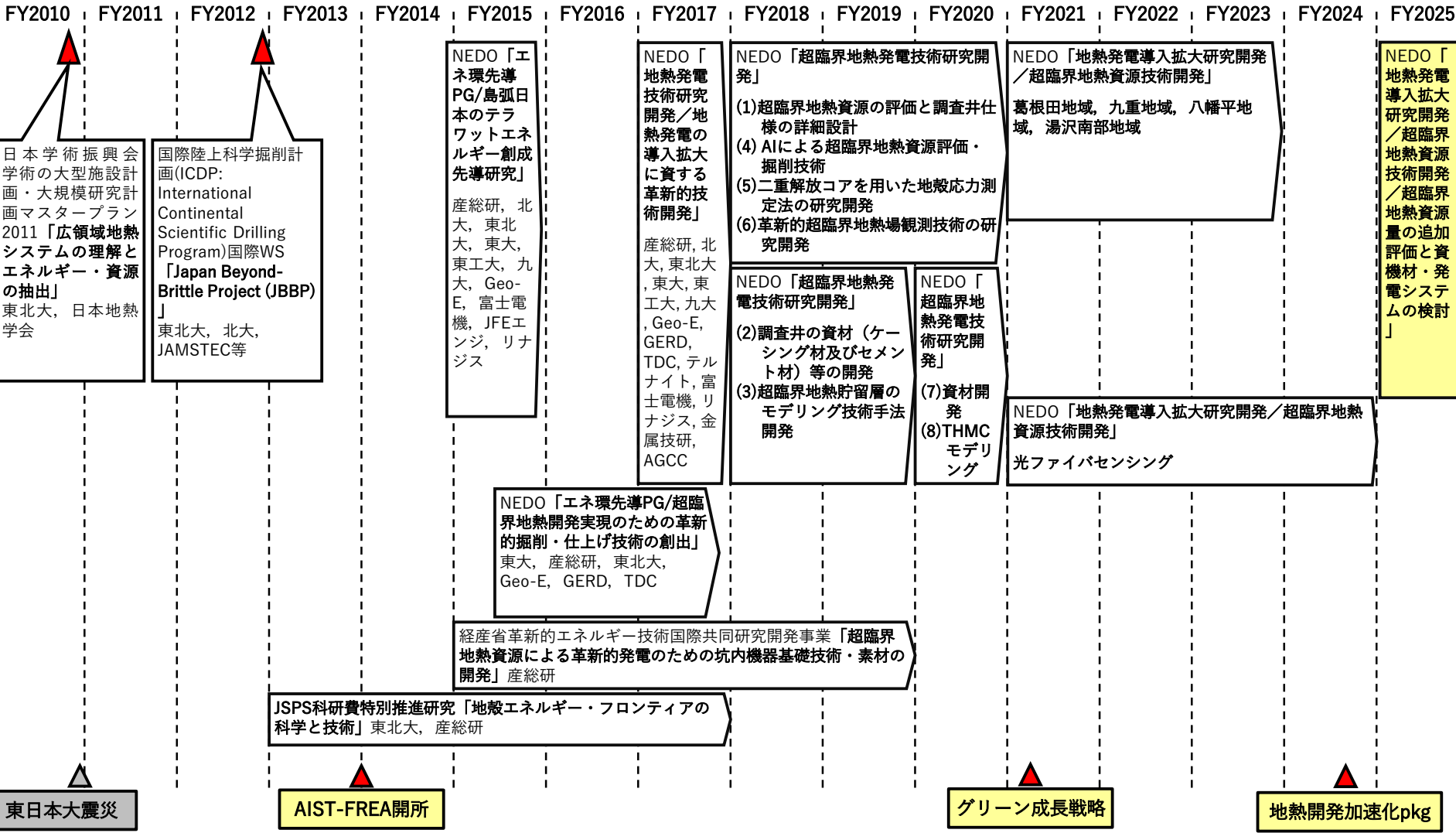
経産省の取組（地熱開発促進pkg）

2. 次世代型地熱の位置付け

次世代型地熱の種類



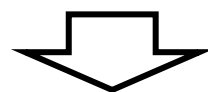
FY2025 NEDO超臨界地熱PJ



FY2025 NEDO超臨界地熱PJ

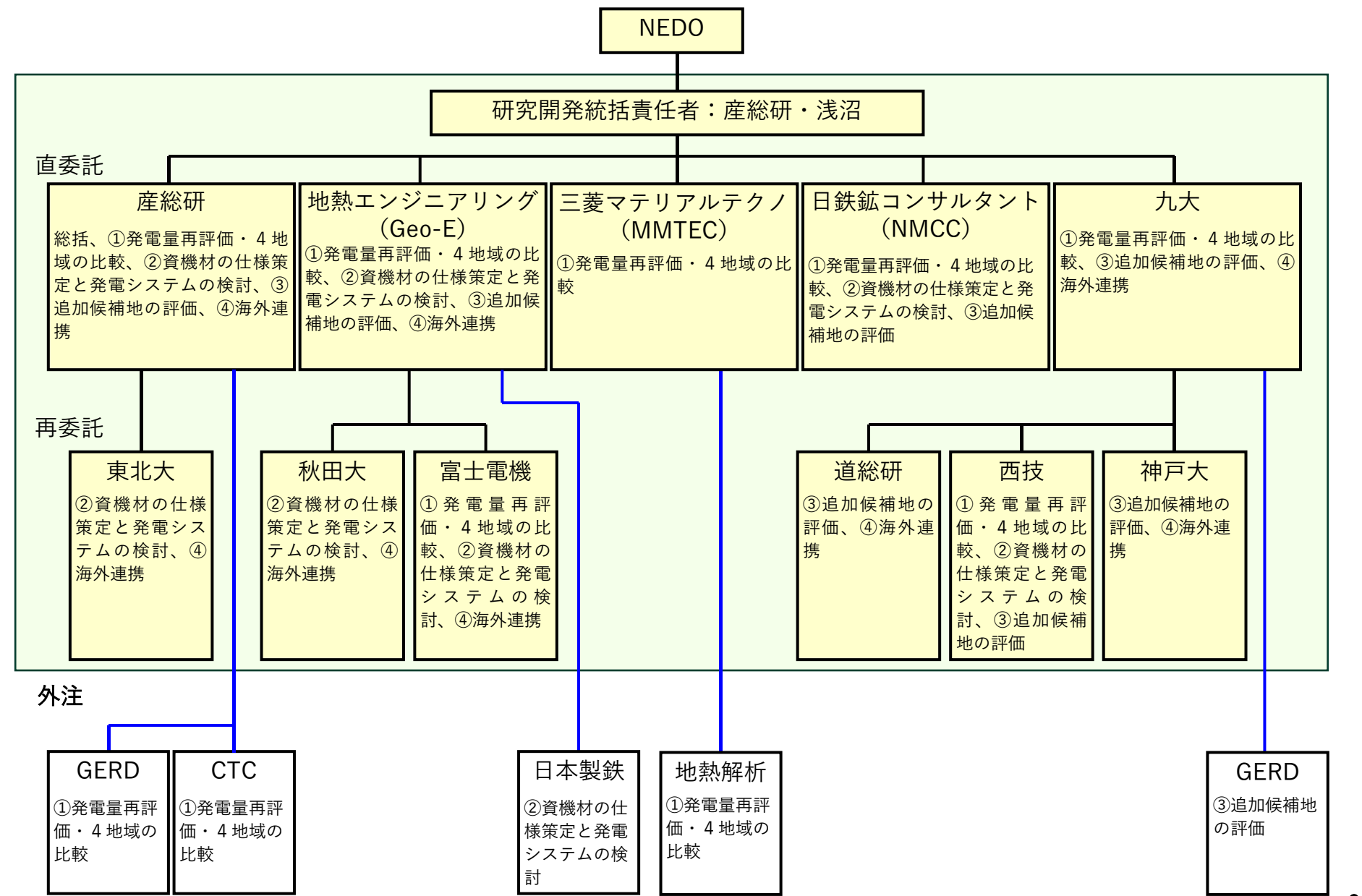
○実施概要

- * 先行研究開発の成果を用いて、現実的な仮定のもと、発電シミュレーションを通じて先行研究開発における有望4地点での最大発電可能電力、コスト概算値を算出する。また、これまでの成果の比較検討を行う
- * 超臨界地熱井および地上システム内での流体組成を推定し、超臨界地熱発電を安全に経済性をもって実用化するために必要な部材に求められる仕様、開発プラン等を具体化する。また、発電システム全体について検討する
- * 国内の超臨界地熱資源存在の可能性が高い地域を対象として、超臨界地熱発電のための有望な地域の追加候補地点のモデル化、発電量概算値の算出等を行う
- * 日本における超臨界地熱研究開発の取り組みを世界に発信するとともに、国際連携の可能性を検討する



- * 経済性を確保した上での大規模導入の可能性提示
- * 高耐環境性資機材の開発による商用発電実現。国際的なシェアの確保（30兆円@2040、IEA推定値）
- * 国際連携による開発の迅速化。本分野における我が国のプレゼンス向上

FY2025 NEDO超臨界地熱PJ



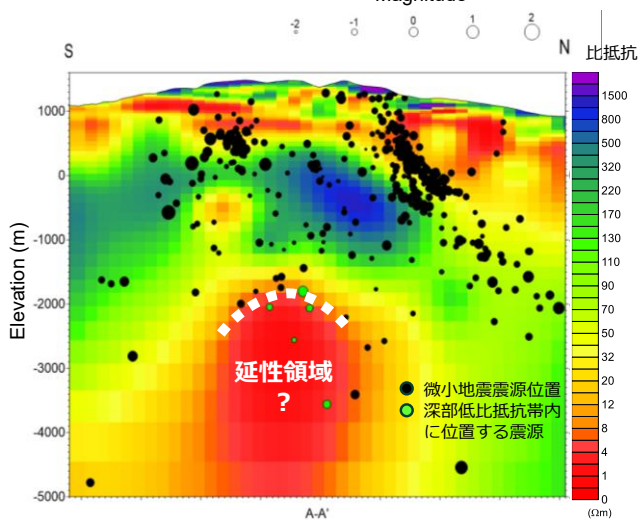
FY2025 NEDO超臨界地熱PJ

実施項目		FY2025							
		1Q		2Q		3Q		4Q	
①発電量再評価・4地域の比較	発電量再評価Sim.	最大発電量推Sim. (暫定版)		中間成果取りまとめ	最大発電量推定Sim. (最終版)				発電量評価 成果取りまとめ
	4地域比較Sim. (自然状態)		比較・検討 4地域比較Sim. (自然状態＆生産)						
	4地域成果取りまとめ	内容検討	4地域の成果取りまとめ	今後の超臨界地熱資源量評価法に関する検討				成果取りまとめ	
②資機材の仕様策定と発電システムの検討	流体組成	貯留層における流体化学組成推定		中間成果取りまとめ	坑井内・地上設備での流体化学組成推定		流体化学組成の推定・計算結果の精査		成果取りまとめ
	ケーシング	有望4地点で想定する噴気状況、坑井仕様等の調査			生産流体化学性状の情報（下記全項目で使用） ①生産井・還元井・地上配管素材の候補を検討 ②候補となる素材の腐食試験（Op.） ③想定される環境下でのケーシング強度評価 ④仕様の策定 ⑤今後の課題とロードマップの検討				
	セメント	先行研究で検討されていたセメント材料の再評価			①超臨界環境下に必要な能力を有しているかの取り纏めと課題抽出 ②海外の施工事例、開発動向の文献および渡航調査 ③現場施工に求められる仕様確認				
	地上設備・発電システム	有望4地点で想定する噴気量・発電サイクル等の調査			①使用条件、流体条件に基づく発電サイクル立案 ②サイクルに適用できるタービンの仕様の検討 ③サイクルに基づく概略系統図検討 ④各系統における最適な材質の検討 ⑤今後の技術開発事項の検討				
		超臨界地熱発電サイクル関連既存情報調査							
③追加候補地の評価		手法・対象地検討	対象地域決定	対象地域概念モデルの構築		追加調査の検討		成果取りまとめ	
			自治体への説明			資源量評価			
④海外連携		他国の地熱関係学会への交渉	WSの詳細内容決定、講演依頼等		WS開催（GRC、SGW等を想定。1回開催）			成果取りまとめ	
		訪問先との交渉	他国の超臨界地熱PJ訪問（USA、NZ、Iceland各1回を予定）						

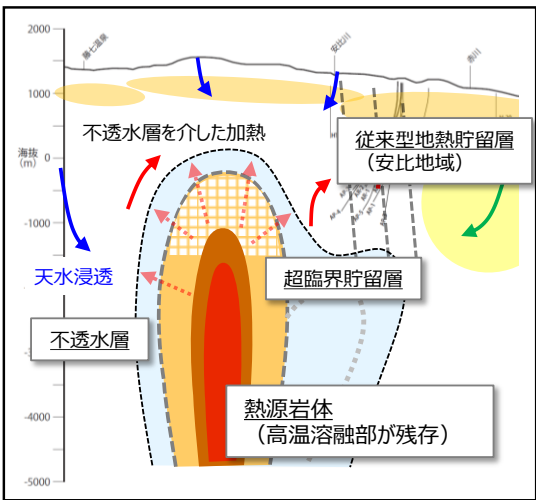
FY2025 NEDO超臨界地熱PJ ①発電量再評価

八幡平地域

【物探結果】 Magnitude



【概念モデル】



本モデルの要点

- * 熱源岩体内部に高温溶融部が残存、その周囲が超臨界貯留層。
- * 超臨界貯留層の周囲には不透水層（シリカシール）が発達し、安比地域従来型地熱貯留層（天水起源）と水理的に隔離された状態を想定。

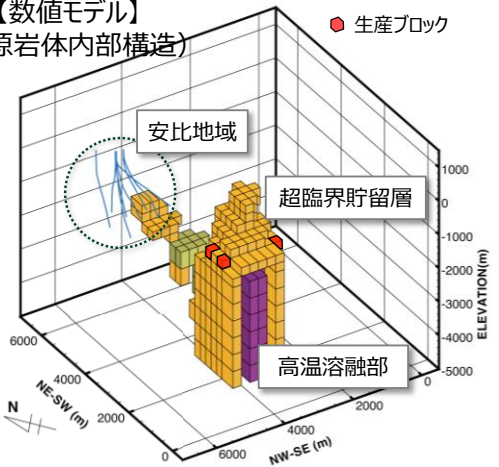
最大発電量推定Sim

- * 超臨界貯留層の浸透率： $50 \times 10^{-15} \text{m}^2$ （とりうる最大の浸透率）
- * 最大発電量ケース
生産流量1,741 t/h, 420 MWe（過熱蒸気、生産開始4年後）

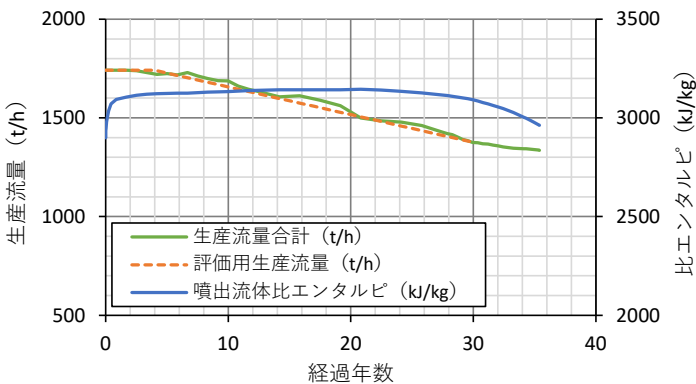
社会的条件を考慮した最大発電量推定Sim.

- * 調査地点等の具体的検討が無く、現時点では上記最大発電量ケースに同じ。

【数値モデル】
(熱源岩体内部構造)



【最大発電量ケース：生産推移予測】



流体性状を考慮した経済性評価

- * 直接利用方式、中和あり
生産井：初期6本、補充無し
還元井：初期3本、補充3本
420 MW (8.5円/kWh)
- * 熱交換方式
生産井：初期6本、補充無し
還元井：初期15本、補充17本
397 MW (中和無し11.4円/kWh, 中和あり11.5円/kWh)
- ※還元井は超臨界貯留層外へ還元
初期2本は構造試験井を転用

* 先行PJにおける検討範囲から、超臨界貯留層の浸透率を $50 \times 10^{-15} \text{m}^2$ としたケースについて、最大発電量推定の対象とした。
* 30年間生産可能で最大発電量を示すケースは、直接利用方式・生産井6本のケースで、生産開始4年後の時点で発電出力420 MW。
* 社会的条件・噴出流体性状を考慮した最大発電量・経済性は、直接利用方式・中和あり：420 MW (8.5円/kWh)、熱交換方式・中和無し：397 MW (11.4円/kWh)、熱交換方式・中和あり：同 (11.5円/kWh) となった。

FY2025 NEDO超臨界地熱PJ ①発電量再評価

葛根田地域

数値モデル

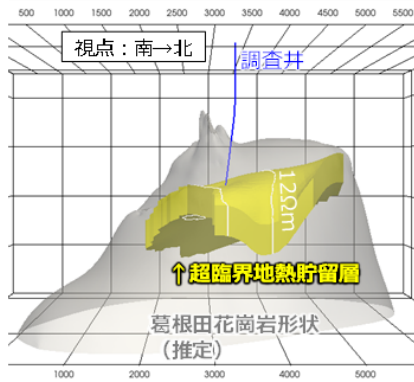


図1：葛根田地域の超臨界地熱貯留層

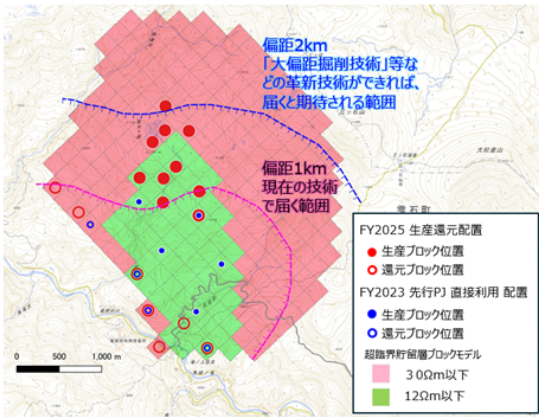


図2：超臨界地熱貯留層数値モデル (偏距と生産還元配置)

本モデルの要点

- * 葛根田花崗岩上部のシリカシール層下部に貯留層の存在を仮定（浅部在来型貯留層との接続性低）
- * 下面：温度一定、最大50t/hの定流量境界

最大発電量推定

- 超臨界貯留層の浸透率を $1 \times 10^{-15} \text{m}^2$ とした場合（基本ケース）について30年間生産が可能で最大発電量を示すケースを検討した。直接利用方式・30年平均で257MWeと評価された。

社会的制約を考慮した発電量推定

1) 葛根田川沿いから偏距2km内を開発

- 直接利用方式：30年、追加生産井2本で250MWeと評価された。
- 熱交換方式：30年、追加生産井2本で177MWeと評価された。

2) 葛根田川沿いから偏距1km内を開発

- 直接利用方式：30年平均で110MWe。
- 熱交換方式：30年平均で78MWe。

社会的条件を考慮した最大発電量推定 Sim. 偏距 2 kmで試算

- * 直接利用方式（中和あり）：生産井 6 本（追加井 2 本）、還元井 7 本で250MW（中間ケース11.27円/kWh）
- * 熱交換方式（中和無し）：生産井 6 本（追加井 2 本）、還元井 7 本で177MW（どのケースも17.05円/kWh）

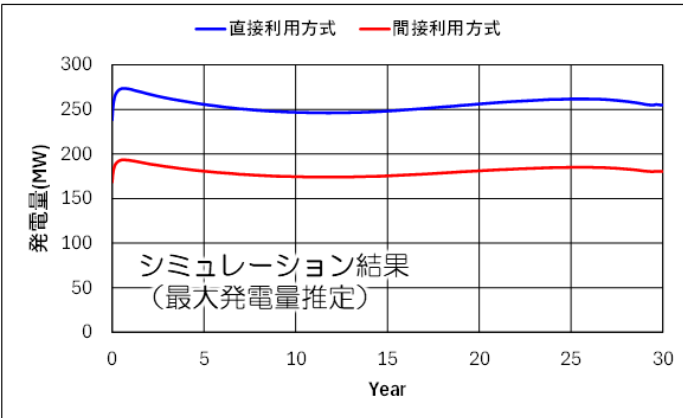


図3：発電量の推移（最大発電量推定）

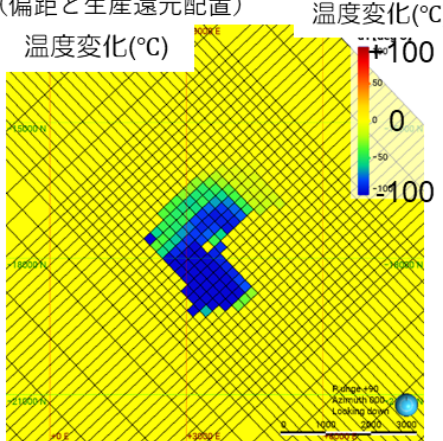


図4：貯留層温度の変化 (最大発電量推定：生産開始30年後)

* 先行PJにおける検討範囲から、浸透率 $1 \times 10^{-15} \text{m}^2$ とした基本ケースを選定し、最大発電量推定の対象とした。

* 基本ケースにおいて、生産ポイント数を変化させた場合の生産予測シミュレーションを実施した。

* 社会的条件を考慮しない場合、直接利用方式での概算として、最大発電量257 MWと推定された。二相流体の噴出が推定された。

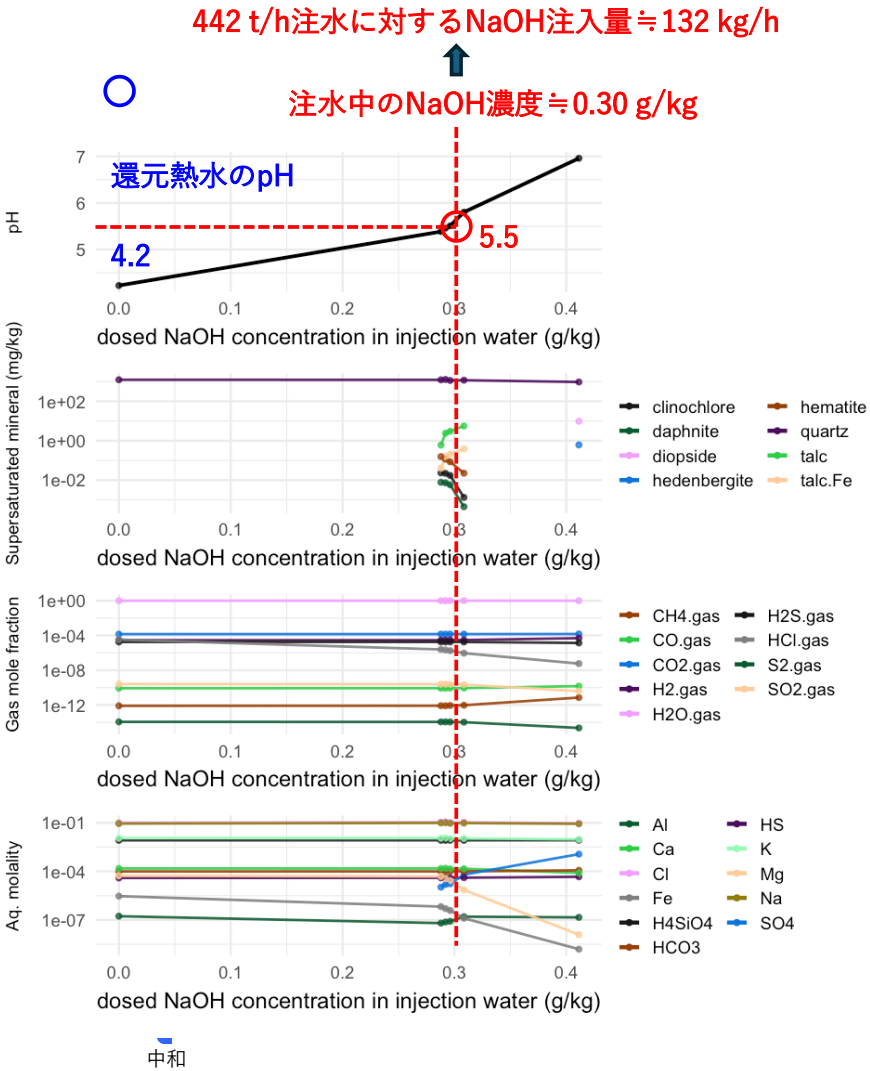
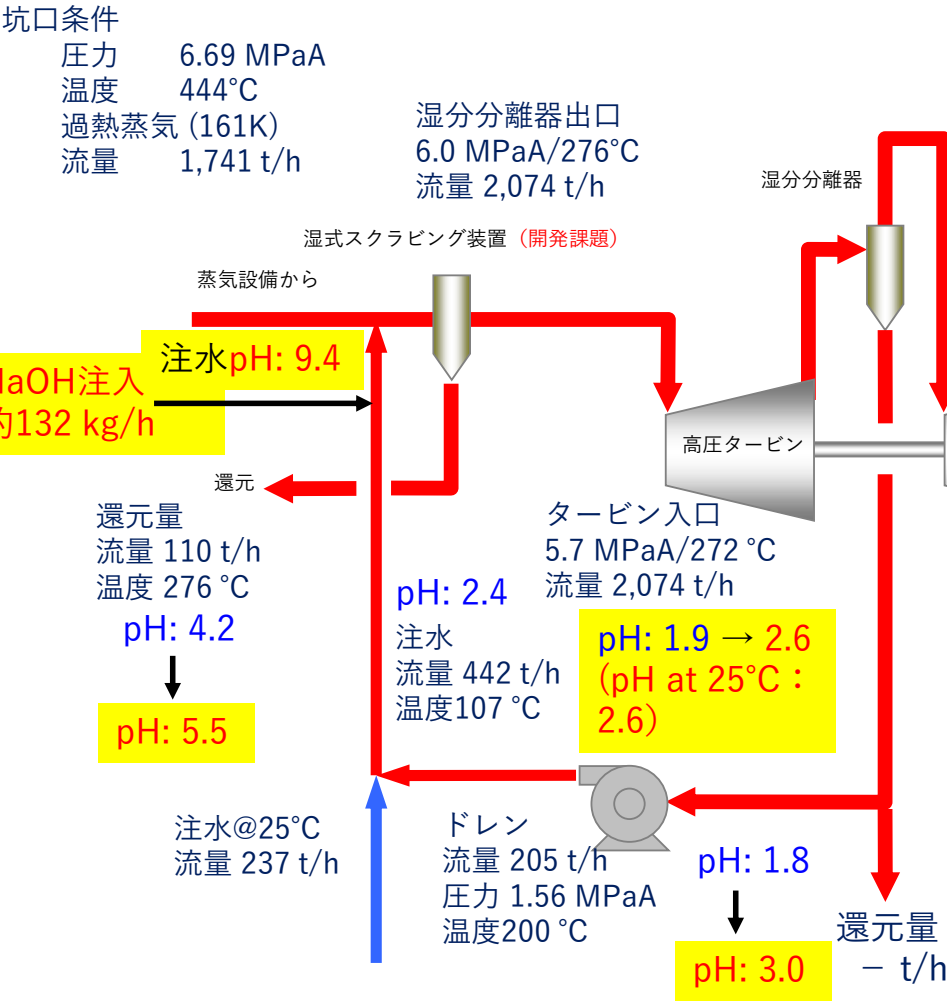
* 社会的条件（掘削で届く範囲：偏距1km）を考慮すると、直接利用方式は110MW（13円/kWh）、熱交換方式で78MW（24円/kWh）と試算された。偏距2kmでは発電量（250～177MW）、発電コスト（11～17円/kWh）になる可能性がある。

FY2025 NEDO超臨界地熱PJ ①発電量再評価

	八幡平地域	葛根田地域	湯沢南部地域	九重地域
超臨界貯留層深度 (m)	標高：約-1km~-5km 深度：約2.5km~7.5km	標高：約-1.5~-2.5km 深度：約2.3~3.3km	標高：約-1.5~-6.0km 深度：約2.3~7.0km	標高：約-3.0~-4.0km 深度：約4.0~5.0km
超臨界貯留層温度 (°C)	約400~500°C (生産井到達範囲)	約400~500°C	374~678°C 生産井到達範囲 (391.4~434.9°C)	約450~550°C
超臨界貯留層体積 (km³)	約4.9km³ (数値モデル上の設定体積)	25.6 km³ (最大)	14.15km³(貯留層体積)	10 km³
最大可能発電量 (30年)	420MWe (直接利用方式) 397MWe (熱交換方式) (貯留層浸透率50×10 ⁻¹⁵ m²)	257MWe (直接利用方式)	365MWe (直接利用方式) ※湯沢南部地域の合計	270MWe (直接利用方式) 200MWe (熱交換方式)
社会的条件を考慮した最大可能発電量(30年)	420MWe (直接利用方式) 397MWe (熱交換方式) (現時点で掘削・発電候補地等の具体的検討無し)	250MWe (偏距2km/直接利用方式) 177MWe (偏距2km/熱交換方式) 110MWe (偏距1km/直接利用方式) 78MWe (偏距1km/熱交換方式)	151MWe (直接利用方式) 166MWe (熱交換方式) ※高松岳南部のみ	北部 145MWe (直接利用方式) 122MWe (熱交換方式) 南部 134MWe (直接利用方式) 111MWe (熱交換方式)
コスト (社会的条件考慮、総建設費、発電単価)	* 直接利用方式 (中和あり) 総建設費：2,480億円 発電単価：8.5円/kWh * 熱交換方式 (中和無) 総建設費：3,002億円 発電単価：11.4円/kWh * 熱交換方式 (中和あり) 総建設費：3,005億円 発電単価：11.5円/kWh	* 直接利用方式 (偏距2km) 総建設費2106~2290億円 発電単価：11.3~12.5円/kWh * 熱交換方式 (偏距2km) 総建設費2168~2199億円 発電単価：17.1~17.6円/kWh	* 直接利用方式 総建設費1,416~1,436億円 発電単価：14.1~14.7円/kWh * 熱交換方式： 総建設費1,741~1,761億円 発電単価：16.4~17.0円/kWh	* 直接利用方式 北部 総建設費：1322.58億円 発電単価：13.58円/kWh 南部 総建設費：1325.30億円 発電単価：14.48円/kWh * 熱交換方式 北部 総建設費：1251.10億円 発電単価：16.03円/kWh 南部 総建設費：1293.82億円 発電単価：17.28円/kWh
必要坑井数 (社会的条件考慮、生産井・還元[涵養]井)	* 直接利用方式 生産井：初期6本、補充0本 還元井：初期3本、補充3本 * 熱交換方式 生産井：初期6本、補充0本 還元井：初期15本、補充17本	* 直接利用方式 (偏距2km) 生産井：初期6本、補充2本 還元井：初期7本、補充0本 * 熱交換方式 (偏距2km) 生産井：初期6本、補充2本 還元井：初期7本、補充0本	* 直接利用方式 生産井：4本 (補充井+2本) 還元井：2本 (補充井+2本) * 熱交換方式： 生産井：4本 (補充井+1本) 還元井：7本 (補充井+7本)	* 直接利用方式 生産井：初期2本、補充0本 還元井：初期3本、補充5本 * 熱交換方式 生産井：初期2本、補充0本 還元井：初期3本、補充5本
その他の知見	* 超臨界貯留層内への還元／涵養は、掘削到達範囲の貯留層領域が小さいため、有効ではない。 (還元は超臨界貯留層外へ)	* 最大発電量及び偏距2km範囲では二相流体噴出、偏距1km範囲では過熱蒸気噴出と推定	* 100%還元を行う熱交換方式の方が出力が大きくなる。但し、還元井が多く必要となり、発電原価は高くなる。	

FY2025 NEDO超臨界地熱PJ ②資機材

中和モデリングの例（八幡平）



* 4地域において、気水分離器あるいは湿式スクラビング装置の上流にNaOHを注入し、気水分離器あるいは湿式スクラビング装置後の還元熱水のpHを5.5にする中和モデリングを実施した。

* NaOH注入による流体化学組成の変化を把握するとともに、必要となるNaOH量を求め発電コスト計算に反映させた。

FY2025 NEDO超臨界地熱PJ ③追加候補地点評価

* 東日本、九州の候補地点についてスクリーニングを実施した後に、既存データを用いて地下をモデル化し、容積法によるポテンシャル評価を実施した。

	北海道A	北海道B	九州A	九州B
抽熱可能量	7.5MWe (-3.8km以浅：比抵抗データの下限)	379MWe (-5km以浅)	313MWe (-5km以浅)	633MWE (P50) (-5km以浅) ※容積法による試算結果
開発可能性	△	○	△	○
コメント	・低比抵抗領域は限定的。また、既存の解析結果は標高-3.8km程度まで ・深部比抵抗構造の調査・解析が望ましい	・十分なポテンシャルを有する ・高温域と重なる低比抵抗領域を確認 ・深部低比抵抗領域の西側への拡がり不明のため、これを対象とした調査実施が望ましい	・十分なポテンシャルを有する ・超臨界地熱資源は活動中の火山の直下に位置するため、実際の開発には困難がともなうと想定される	・十分なポテンシャルを有する ・標高-2kmより深部では400℃以上の高温域が想定された ・深部比抵抗構造の調査・解析が望ましい

* 既存公開データを使用して、容積法によるポテンシャル評価を実施した

FY2025 NEDO超臨界地熱PJ ④国際連携

【実施内容】

④- I. 国際WS等の開催

* 2026年Stanford Geothermal WS開催時に超臨界地熱発電に関するSide Event開催を開催した。

④- II. 国際連携可能性調査

* ニュージーランド、米国、アイスランドの超臨界地熱開発プロジェクト参画企業等を訪問し、現状調査を行うとともに、共同研究の実施可能性を検討した。2026年度、NEDOへ国際共同研究提案を行った。



FY2025 NEDO超臨界地熱PJ 主な成果

研究開発項目①：発電量再評価・4地点の比較

- * 今後、社会的条件や腐食性流体対応資機材のコスト等をさらに精査する必要があるものの、有望4地域内において最大145～420MW/地点の発電を8.5～17.6円/kWhで実現可能なケースがあることを示した。
- * 先行研究開発で作成した数値モデルに対して、各地域共通のシミュレータを用いて自然状態、生産シミュレーションを実施し、先行研究開発の結果を概ね再現可能であることを示した。また、境界条件が与える影響、シミュレーション上の課題とその解決方法を示した。

研究開発項目②：資機材の仕様策定と発電システムの検討

- * 先行研究開発での有望4地域を対象に、地球化学的シミュレーションを通じて地下から坑内、地上設備内での流体組成を推定した。多くのケースで酸性の流体性状が推定された。
- * 気相－液相2相領域で界面や流体の流れに影響するシリカの析出様式を実験で示した。
- * 国内で短期間に試験可能な条件で市販材料を評価した。炭素鋼、マルテンサイト系材料は腐食速度が大きく使用不可で、腐食の観点からはスーパー二相鋼が優れていることを確認した。
- * API規格やケーシング設計手法の詳細調査およびケーシング変形・破壊挙動シミュレーションを行い、ケーシングおよびケーシング継手の性能仕様を明確化した。
- * 超高温用セメントに要求される仕様の再検討し、性能仕様を明確化した。
- * 流体組成、温度等をもとに発電システムを設計し、建設費、運転費を算出した。

研究開発項目③：追加候補地の評価

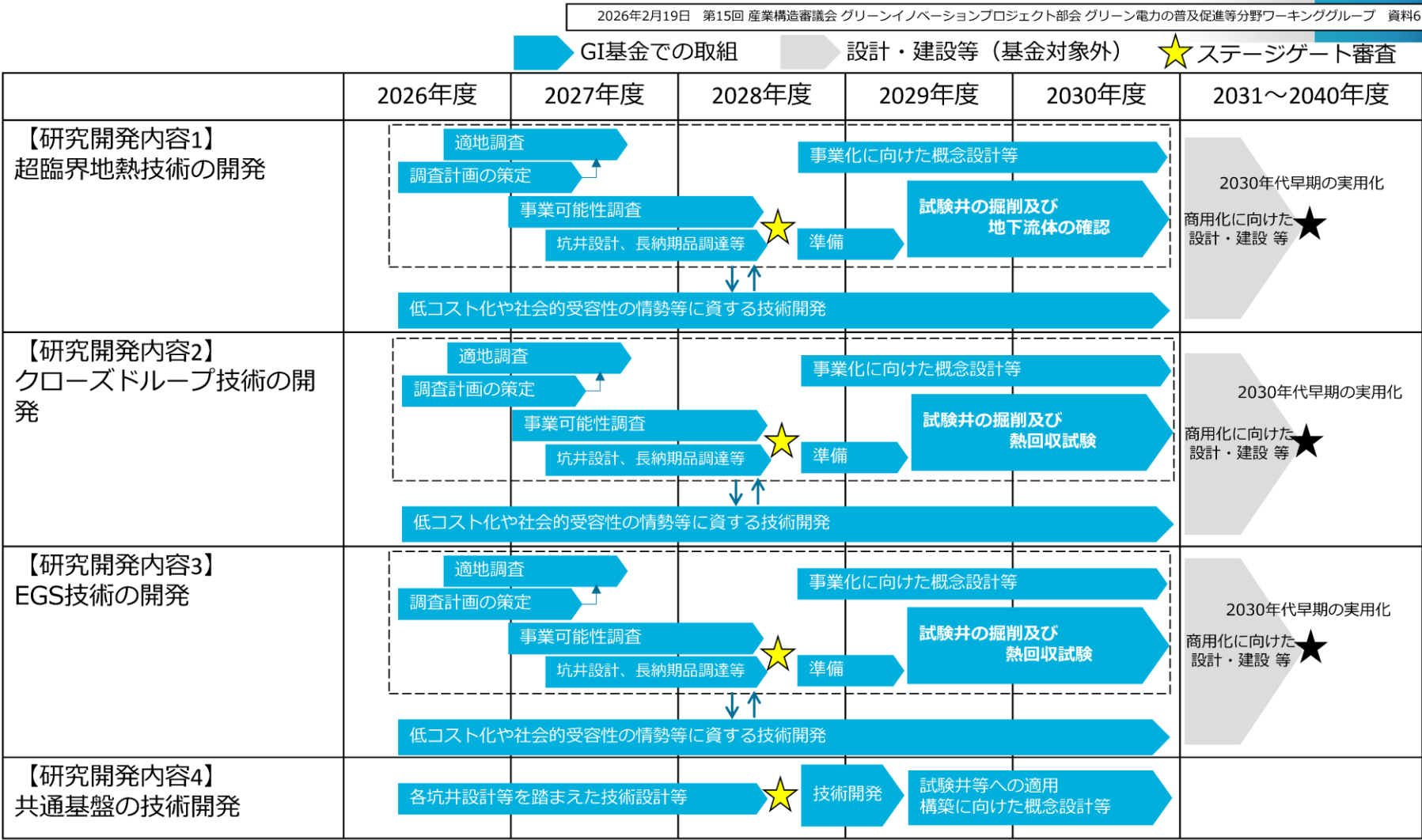
- * 東日本、九州地点で追加候補地の検討を行い、書面調査によるスクリーニングを通過した4地点について資源量の概算、および開発可能性検討を行った。各地域100MW以上の資源量を有する可能性が高いことを示した。

研究開発項目④：海外連携

- * 国際学会において、我が国の超臨界地熱PJの現状に関する講演を行った。
- * アイスランド、米国、ニュージーランドの超臨界／超高温地熱PJを訪問し、現状調査、ならびに共同研究の企画立案を行い、新規NEDOプロの提案に結び付けた。

次世代地熱GI基金プロジェクト

資源エネルギー庁(2026)



* GI基金事業を支える科学技術の重要性・必要性
* 先進的資機材の開発と早期の実証による国際的マーケットでの我が国の優位性確保

NEDOプロの意義