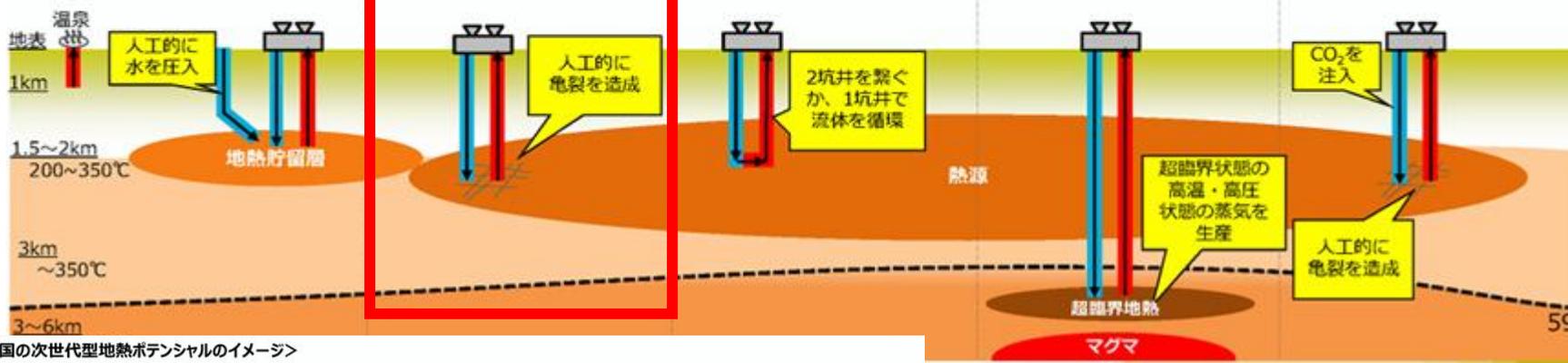


EGS(高温岩体)発電技術について

<主な次世代型地熱技術>

	従来型地熱領域		次世代型地熱領域		
	人工涵養 Treatment Injection	EGS Enhanced Geothermal Systems	クローズドループ Closed-loop Geothermal System	超臨界地熱 Supercritical Geothermal	カーボンリサイクルCO ₂ EGS using Carbon Dioxide
概要	地熱貯留層に人工的に水を圧入し、その蒸気を発電に利用。	地熱層貯留層を人工造成し、水を圧入・蒸気生産させて発電に利用。	亀裂のない高温の地熱層に坑井掘削し、流体を循環させ発電に利用。	マグマ上部の高温・高圧の流体(超臨界熱水)を発電に利用。	EGS(高温岩体)の貯留層造成・熱回収にCO ₂ を用いる。
現状	R6年福島・柳津西山地熱発電所で3年8カ月注水し効果を確認。	1984年～NEDO等が山形県肘折で、1989年～電中研等が秋田県雄勝で実証。	同軸二重管はH3年旧資源研が実証(370kW)。マルチラテラルは独で実証中。	NEDOによる調査・研究を実施中。有望地域4地点で資源量評価を実施。	JOGMECによる基礎研究段階。



<我が国の次世代型地熱ポテンシャルのイメージ>



*1) 村岡ほか(2008)など。
 *2) 日本地熱学会刊行「地熱エネルギーハンドブック」837-839頁では「基盤岩上面から深度1kmの範囲の地熱資源量を77GW」と推定し、これをEGSの資源量とみなしている。これを元に簡易的に計算し、77GW-超臨界地熱11GW=66GWを高温岩体(延性域高温岩帯も含む)における地熱ポテンシャルとした。
 *3) NEDOにより高温帯が存在する20地域を対象にした調査結果より推定。
 *4) NEDOが調査対象としなかった火山、カルデラ等にも相当量の超臨界地熱資源が存在すると想定される。

EGS(高温岩体)発電：次世代型地熱発電の一つとして認識

ポテンシャルは66GW以上と推計

https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shigen_nenryo/pdf/043_03_00.pdf

一般財団法人 電力中央研究所

2025年4月14日

我が国におけるEGS(高温岩体)発電の適地候補

国内の地熱発電所位置図

(発電端出力1,000kW以上、2024年4月現在)

0 100



活動度指数

値が高いほど高温の地熱地域を表しています。

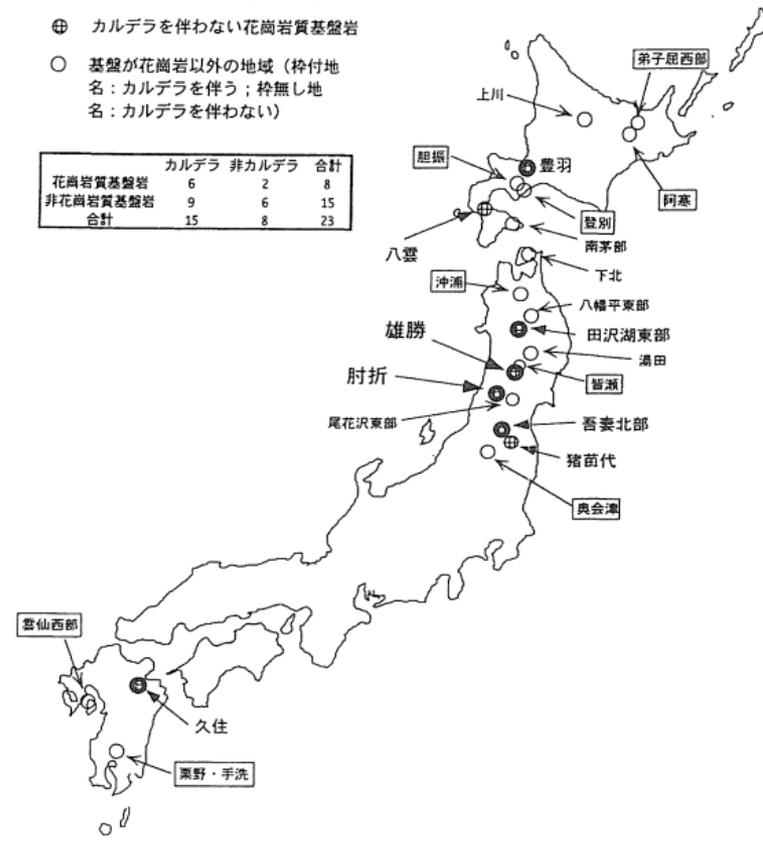


国内の地熱発電所位置図

活動度指数は「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」に基づく

- ⊕ カルデラを伴う花崗岩質基盤岩
- ⊗ カルデラを伴わない花崗岩質基盤岩
- 基盤が花崗岩以外の地域(枠付地名: カルデラを伴う; 枠無し地名: カルデラを伴わない)

	カルデラ	非カルデラ	合計
花崗岩質基盤岩	6	2	8
非花崗岩質基盤岩	9	6	15
合計	15	8	23



日本の深部高温岩体分布
地域抽出条件: 地下2,000mで熱伝導型および200°C以上(北野他、2000)

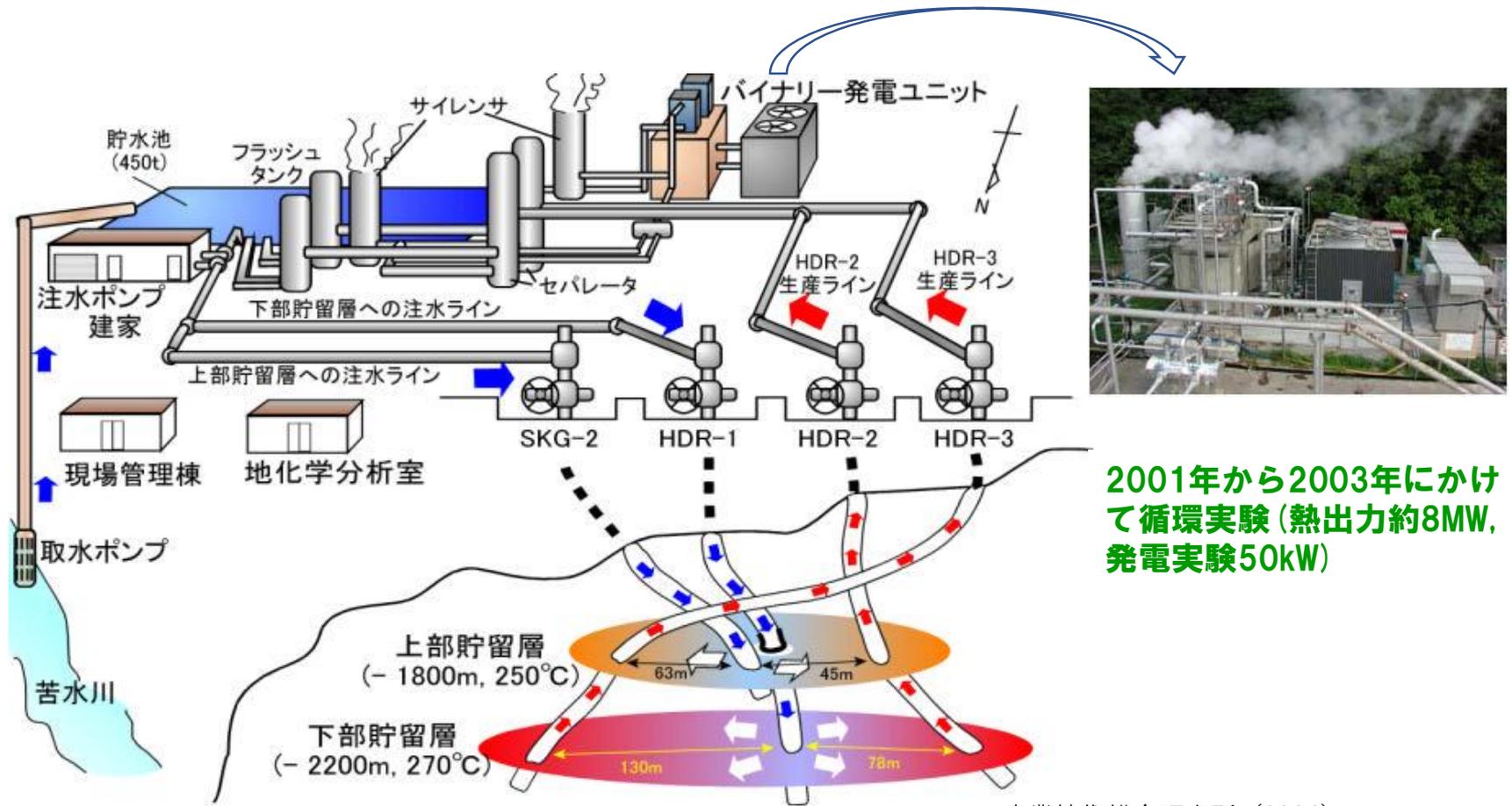
国内の地熱系の活動度指数(AI)分布と地熱発電所
<https://www.chinetsukyokai.com/information/nihon.html>

左図の我が国における地熱開発可能地域(2009年時点)をもとに、2000年時点の高温岩体の分布(右図)を見直す必要がある。

過去のEGS(高温岩体)発電実証地点1(山形県肘折)

1985～2002年度

2本の注入井から2カ所で人工貯留層を造成し、注入した河川水を蒸気や熱水として生産。我が国で初めて高温岩体発電を実現。



多段貯留層造成→熱抽出量の増大を図るため深部に貯留層を造成

過去のEGS(高温岩体)発電実証地点2(秋田県雄勝)

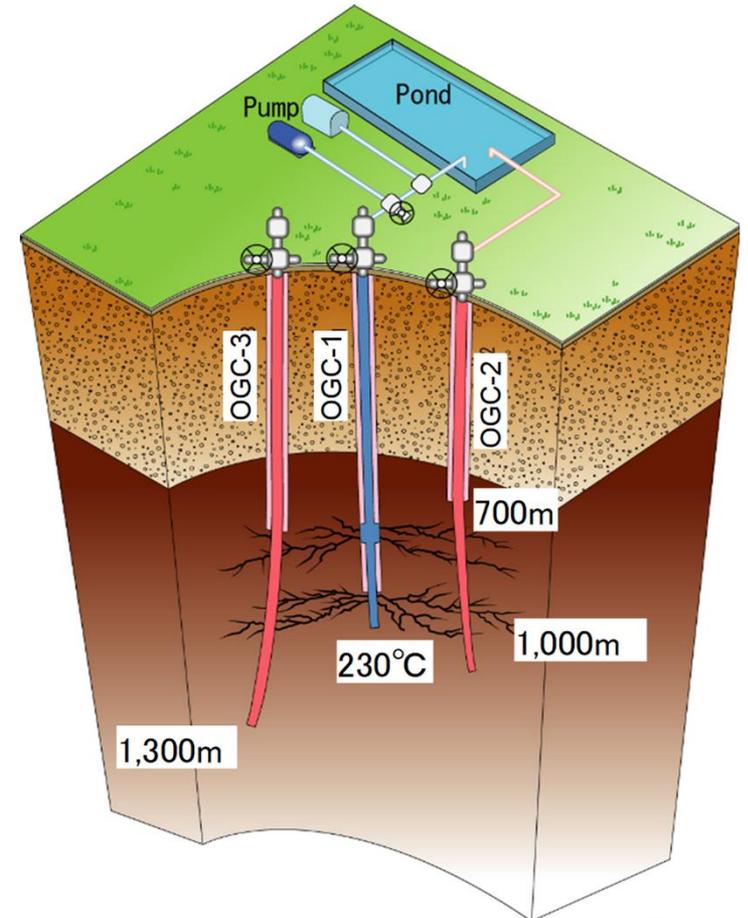
1989～2002年度

1本の注入井から二段の人工貯留層を造成後、5か月間の連続循環実験を実施、河川水を圧入して165℃の蒸気と熱水を生産。



雄勝実験場

1本の注入井から2カ所で人工貯留層を造成し、注入した河川水を蒸気や熱水として回収。



(電中研レビューNo.49, 2003)

(海江田, 2015, 土木技術, 70巻6号)

国内における高温岩体発電研究の到達点と課題

[高温岩体発電プロジェクト（肘折・雄勝）の到達点]

- 高温岩体を対象とした多段人工貯留層造成に成功
- 多段人工貯留層を対象とした抽熱・発電に成功
- 貯留層評価のための要素技術（地上計測，PTS検層，地化学調査，トレーサ試験，AE計測等）により，貯留層変動調査技術を確立
- 数値シミュレーションによる貯留層熱水流動評価技術を確立

⇒ EGS(高温岩体)発電導入のインセンティブ：カーボンニュートラル(脱CO₂)、誘発地震評価等の進展(FORGE)、過去の実績から開発期間が短い

[EGS(高温岩体)発電技術に残された課題]

- 誘発地震のリスクコントロール
- オーバーオールシステムデザイン(環境影響・経済性評価を含む)
- 人工貯留層造成のコントロールと熱水(蒸気)生産システム最適化
- 回収率向上による発電効率の向上
- 貯留層特性の長期的変化(ショートサーキット等)のモニタリング

⇒ 技術実証と事業化に向けた研究開発の必要性

海外でのEGS(高温岩体)発電事例(米国FORGE、Fervo)

[FORGE] 2024年8月に商業規模の循環テスト成功。ほぼ1か月間、毎分1590Lの一定速度で注水。生産された流体の90%以上が回収され、温度は約188°Cでほぼ一定。

誘発地震の発生を抑制しながら多段人工貯留層を造成し、循環実験を実施して長期的な熱抽出の見通しが得られた。2024年10月に4年間で8,000万ドルの予算獲得。

<https://utahforge.com/announcement-extension-agreement-signed-october-1-2024/>

[Fervo] ネバダ州において、2023年7月にダブルットによる循環テストが成功(Project Red)。ほぼ1か月間で、高温で毎秒63Lの流量を達成し、3.5 MWの電力生産を可能にした。その後、Googleのデータセンターへの電力供給のため発電開始。

ユタ州のCape Station Projectでは、Frisco Pad以外にGold Pad and Bearskin Padを開発中。2028年までに400MWの発電を計画。



FORGEにおける循環試験状況

<https://utahforge.com/utah-forge-concludes-successful-extended-circulation-test/>

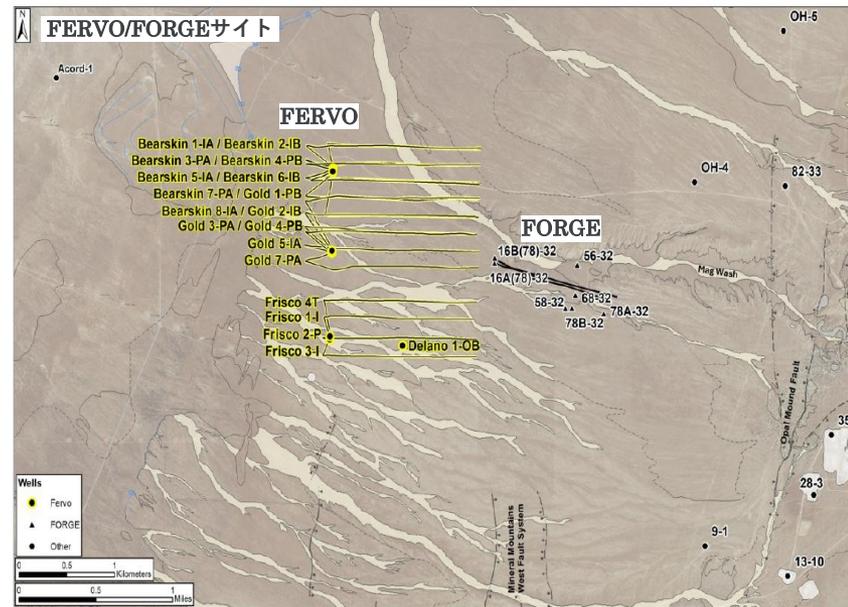


Figure 1: Map showing Fervo's completed and planned wells at the Frisco/Gold/Bearskin pads, other wells, and surface mapped faults in the Milford Valley, UT. Fault surface traces from Kirby et al. (2018).

Cape Station

- ◆ Fervo's first full-scale greenfield development capable of producing 400+ MW
 - Ph 1 (90 MW) by 2026
 - Ph 2 (310 MW) by 2028
- ◆ Cape Station EA FONSI received Feb 2023
- ◆ Abundant data from FORGE and offset wells
- ◆ Dynamic data collection: fiber & microseismic to characterize SRV, fracture morphology, inflow allocation
- ◆ Crossflow testing and history matching
- ◆ Data driven optimization results in faster standardization and cost reduction
- ◆ 3+ wells per pad & batch drilling

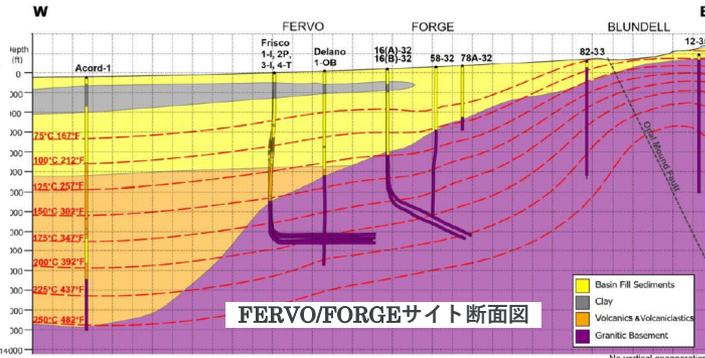


Figure 2: West-east cross section (looking north) showing the lateral wells drilled by Fervo, as well as wells from FORGE and Blundell, shown with major formation types and measured temperatures (Fercho et al., 2024). Acord-1 lies around 1.5 miles north of section.