

# **NEDO**における地熱研究開発の取組み ～地熱発電の導入拡大に向けた 技術開発事業～

2021年10月

NEDO

新エネルギー部 熱利用グループ

1. 国内外の地熱発電動向
2. 我が国の地熱政策
3. NEDOにおける地熱事業の概要
4. トピックス

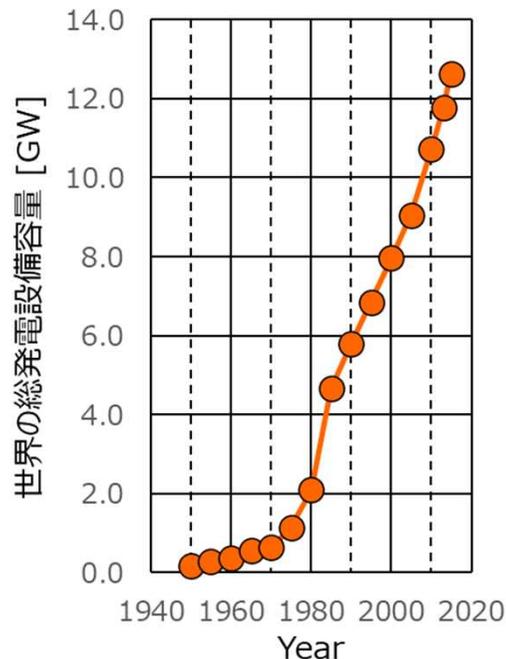
～超臨界地熱資源技術開発のこれまでの成果～

# 国内外の地熱開発動向



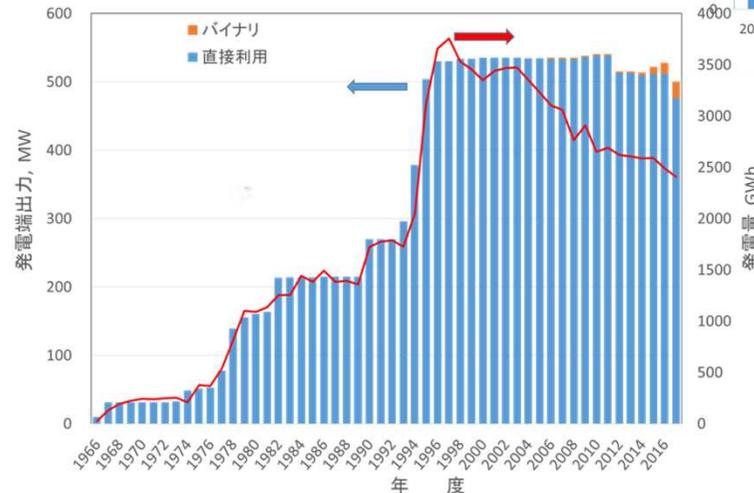
## 【海外動向】

- 世界の地熱発電の設備容量は平均で年間270MWの増加率で急速に拡大している（2015～2020年の期間では、約3649MWの発電容量の増加を達成）。
- インドネシア、ケニア、トルコ、米国において発電設備容量が顕著に増加。
- フィリピン、メキシコ、イタリア、日本において、開発は停滞の傾向。



出典：IGA website 火原協を基に作成

- FIT開始以降、新規に60件以上が稼働。
- 開発リスクの少なく、リードタイムが短い中小規模が貢献。



## 【国内動向】

- 我が国は、米国、インドネシアに次ぎ世界第三位の地熱ポテンシャルを有するが、そのポテンシャルを十分に生かし切れていない。
- 2000～2012年の期間は地熱開発が殆ど行われず（2000年は531MWe, 2010年は540MWe）、近年、発電量（設備利用率）は低下傾向にある。
- FIT導入によりバイナリ-方式の導入が進む。近年の大規模設備案件では、山葵沢46.2MWe、松尾八幡平7.5MWe（2019年）となる。

出典：地熱発電の現状と動向 2018年（一財 火原協）

- 米国DOEプログラムによるGEOVISIONが報告された。これは、米国国内の地熱資源について、発電と熱利用とで2050年までにどの程度利用可能かのシナリオを提示したものである。技術開発を推進することで、60GW達成と示されている。
- 世界的には、技術開発の主流はEGSであるが、アイスランドでは、より深部の超臨界地熱資源領域への還元・涵養を通して、浅部の既開発領域からの蒸気生産量を増大するプロジェクト（DEEPEGS）があり、これは、3つのEGSタイプ（高温岩体、涵養、透水性改善）の組み合わせの手法という点で大変注目される。
- 地熱発電により発生した非凝縮性ガスを回収し地層処分する、さらに、大気中のCO<sub>2</sub>を回収して地層処分する（DAC）技術開発がアイスランドで実施されている。DACは、作業工程上、熱を必要とするが、こうした熱を地熱エネルギーに利用する手法も興味深い。
- 世界的に水素製造がめざましい勢いで進められている中、グリーン水素の製造として、再エネを用いたPtoGが検討されている。ニュージーランドの地熱発電を用いて製造した水素を我が国へ供給するプロジェクトも始まった。日本から大林組が参加している。

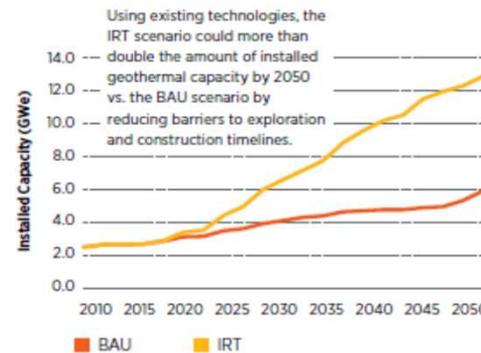
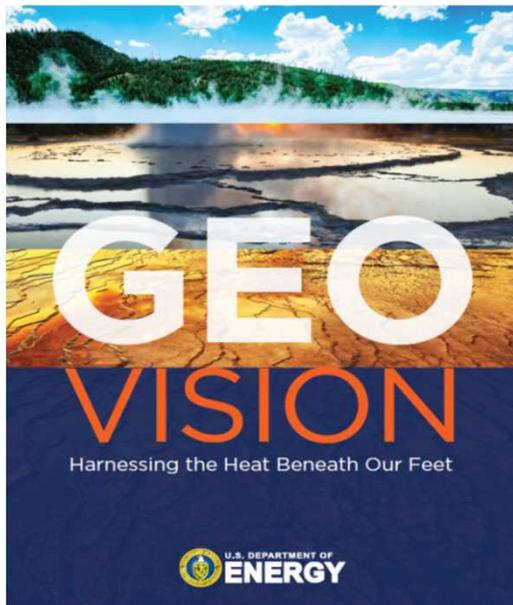
# 海外の地熱研究開発の動向



米国エネルギー省 (DOE) Geothermal Technology Office は2019年5月30日、米国版「2050年地熱開発ビジョン」とも言える「GEOVISION ~Harnessing the Heat Beneath Our Feet~」報告書を発表。

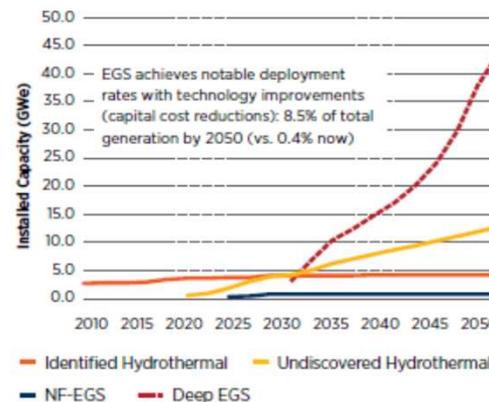
これは、米国国内の地熱資源について、発電と熱利用とで2050年までにどの程度利用可能かのシナリオを提示したものの。結論は、広範囲の地熱利用は実現可能で、米国に幅広い直接的な利益をもたらす。

<https://www.energy.gov/eere/geothermal/downloads/geovision-harnessing-heat-beneath-our-feet>



規制緩和の効果で開発量倍増  
【2050年】  
BAU: 6 GW  
IRT: 13 GW

BAU : Base as usual  
IRT : Improved regulatory timeline



TIシナリオだと各開発量合計で2050年に60 GW  
全発電量の8.5%  
(現在0.4%)

TI : Technology investment

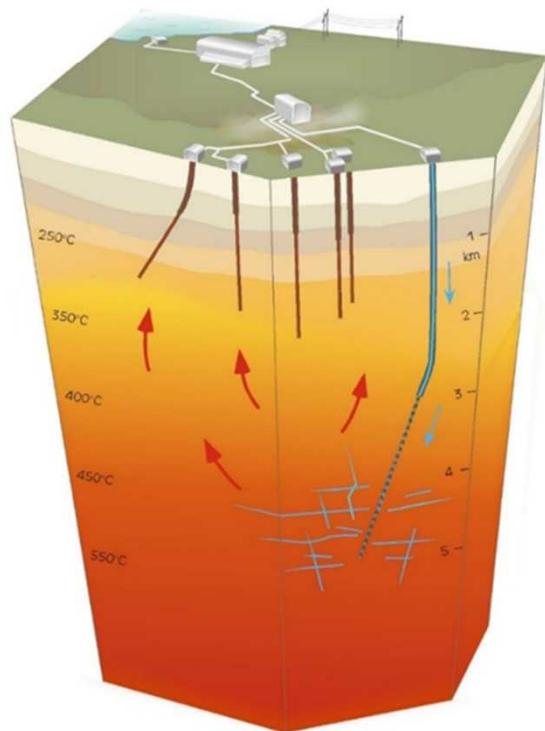
# 海外の地熱研究開発の動向



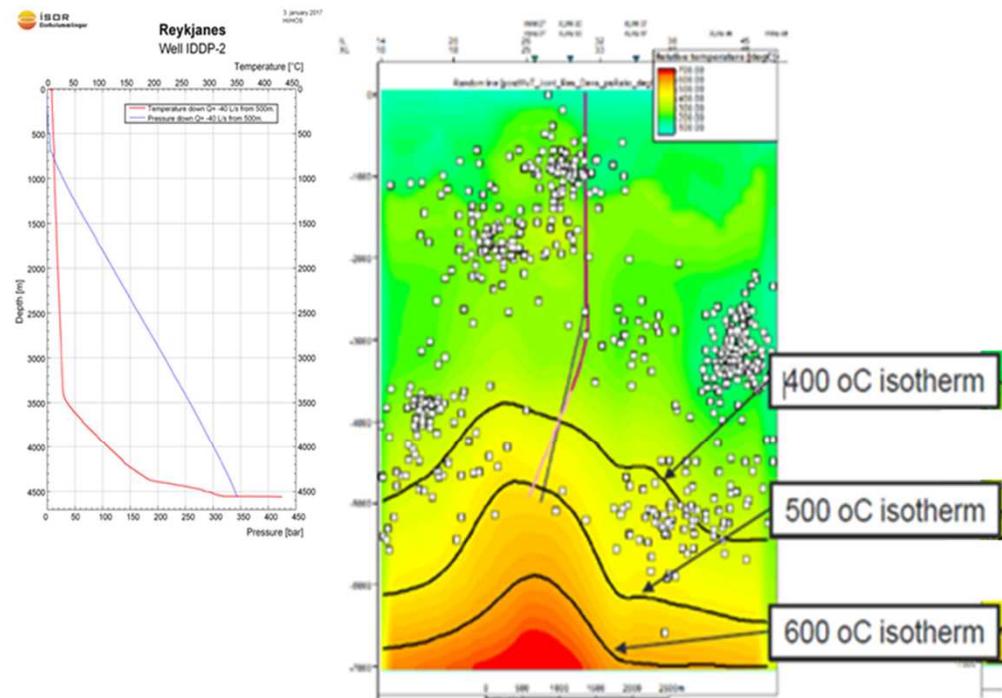
## P J の例 : DEEPEGS

(出展)NEDO技術委員会資料(2019)

P J 名	期間	委託元	主な受託者	総予算 (推定値)	概要
DEEPEGS	FY2015～ FY2019	EU (H- 2020)	OHS-Orka, ISOR, ENEL-Greenpower, BRGM, KIT	44M€	* アイスランドレイキャネス地域での超臨界地熱システムへの掘削とアイスランドにおける浅部-深部結合型EGSの可能性を実証 * Iceland Deep Drilling Project (IDDP) -2 井の掘削・試験の一部をEUが負担 (他: 民間資金, ICDP予算, NSF予算等)



DEEPEGSの概念図 (HS-Orka, Personal Comm.)。玄武岩質基盤岩内部の天然亀裂システム (超臨界状態) と浅部熱水系を接続し、抽熱可能量の増大を目指している。



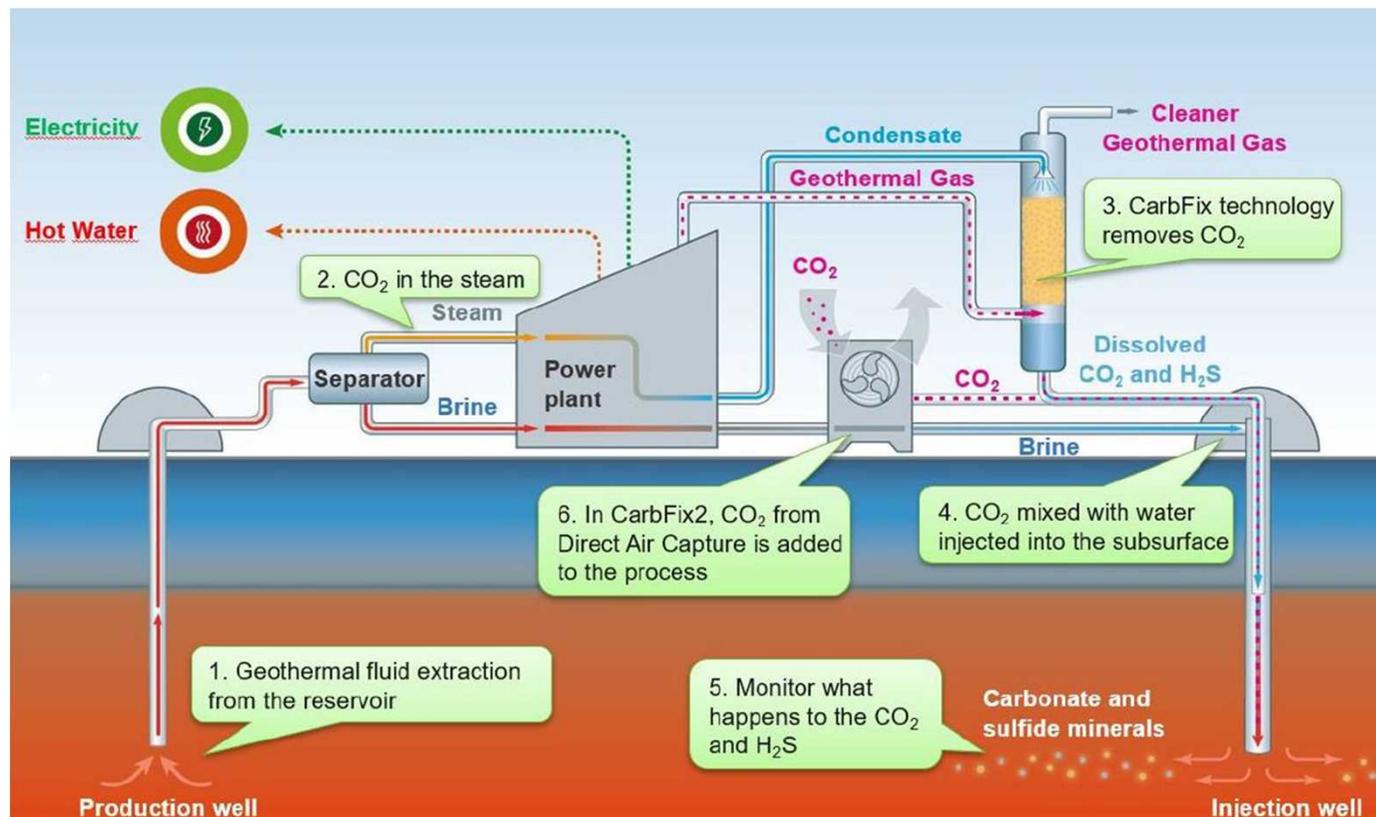
IDDP-2井の温度・圧カプロフィール (左) と比抵抗プロフィール・微小地震震源分布 (HS-Orka, Personal Comm.)

# 海外の地熱研究開発の動向



(出展)NEDO技術委員会資料(2019)

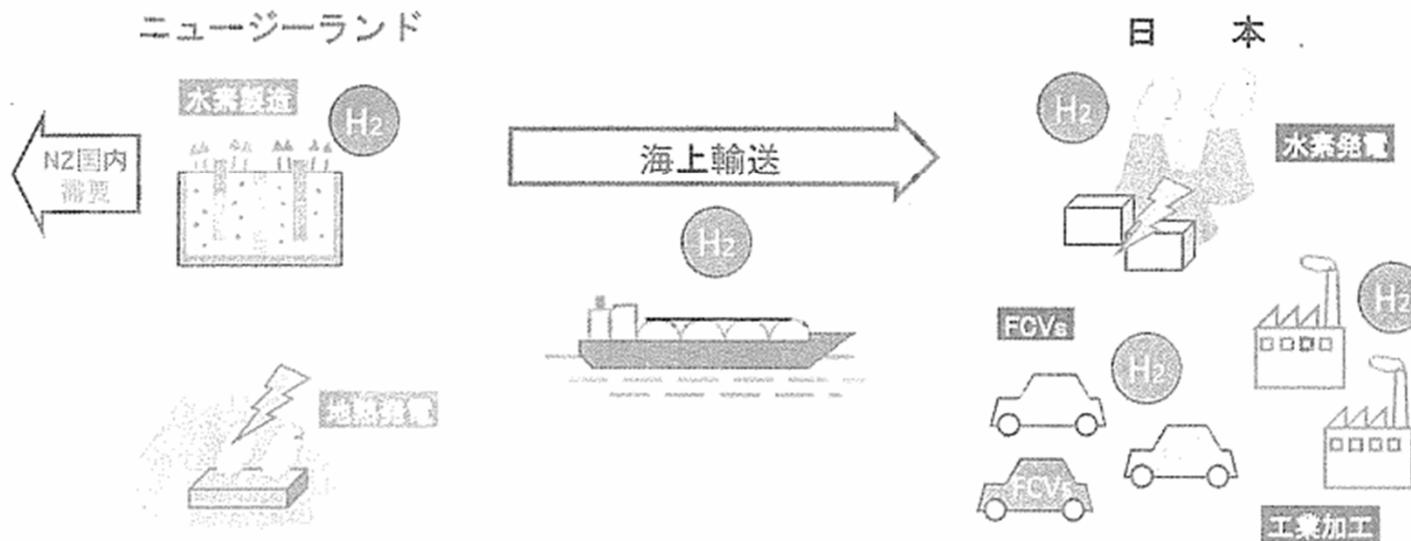
P J 名	期間	委託元	主な受託者	総予算 (推定値)	概要
GECO	FY2018～ FY2022	EU (H- 2020)	OReikjavik Energy, ISOR, CNRS, GEORG	18.2M€	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 地熱井から放出されるガス (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S) および大気中のCO<sub>2</sub>の回収・利用に関する技術の開発</li> <li>* 実証試験予定地                             <ul style="list-style-type: none"> <li>アイスランド (高温・玄武岩質)</li> <li>イタリア (高温・片麻岩質)</li> <li>トルコ (高温・火山砕屑物)</li> <li>ドイツ (低温・堆積岩質)</li> </ul> </li> </ul>



# 海外の地熱研究開発の動向

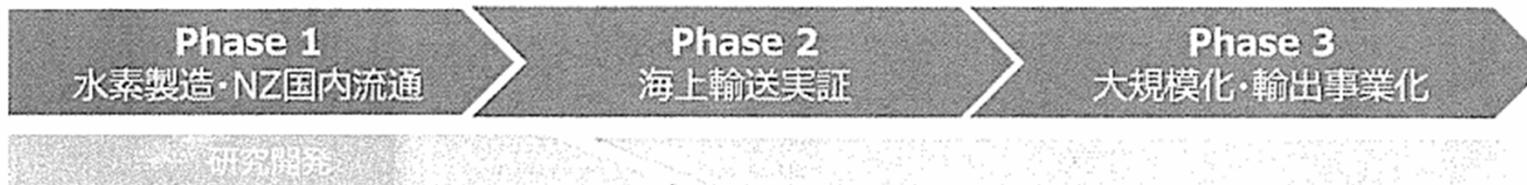
## プロジェクトの全体構想

**概要** 電力の安定的供給が見込めるニュージーランドにおいて、地熱発電を利用したCO<sub>2</sub>フリー水素の製造・貯蔵を行い、需要地へ運搬・供給する。



## プロジェクトの発展段階(案)

FY 2018-2023



1. 国内外の地熱発電動向

**2. 我が国の地熱政策**

3. NEDOにおける地熱事業の概要

4. トピックス

～超臨界地熱資源技術開発のこれまでの成果～

## ■ 「エネルギー基本計画(第5次)」(閣議決定、2018年7月)

- 地熱発電の2030年度における導入見込量として最大で約**155万kW**(2017年度実績 51万kW)、発電電力量**113億kWh**(2017年度実績 24億kWh)が掲げられ、地熱発電のさらなる導入拡大が期待されている。
- 一方、2050年に向けた取組みについても言及されており、それを受け、**グリーン成長戦略(2021年6月、内閣府)**において、**地熱技術開発として、超臨界地熱発電が選定**されている。

## ■ 再エネ規制総点検タスクフォース(2021年6月)

- 再エネでは、風力と地熱などが取り上げられ、地熱では、従来から課題と認識されている**国立公園内での開発**、並びに、**温泉保護との調整**が論点となっている。
- 地熱の促進政策に責務を持つ**経済産業省**や規制の所管と地球温暖化対策の双方を担う**環境省**は、どのような対策強化を講じ、新しい目標に向かうのか、真摯に検討するべきであると述べられており、両機関ではそれぞれ目標設定など対応を協議することとなった。(⇒**環境省:地熱開発加速化プラン**)

# 我が国の地熱発電政策



## ①洋上風力・太陽光・地熱産業（地熱）

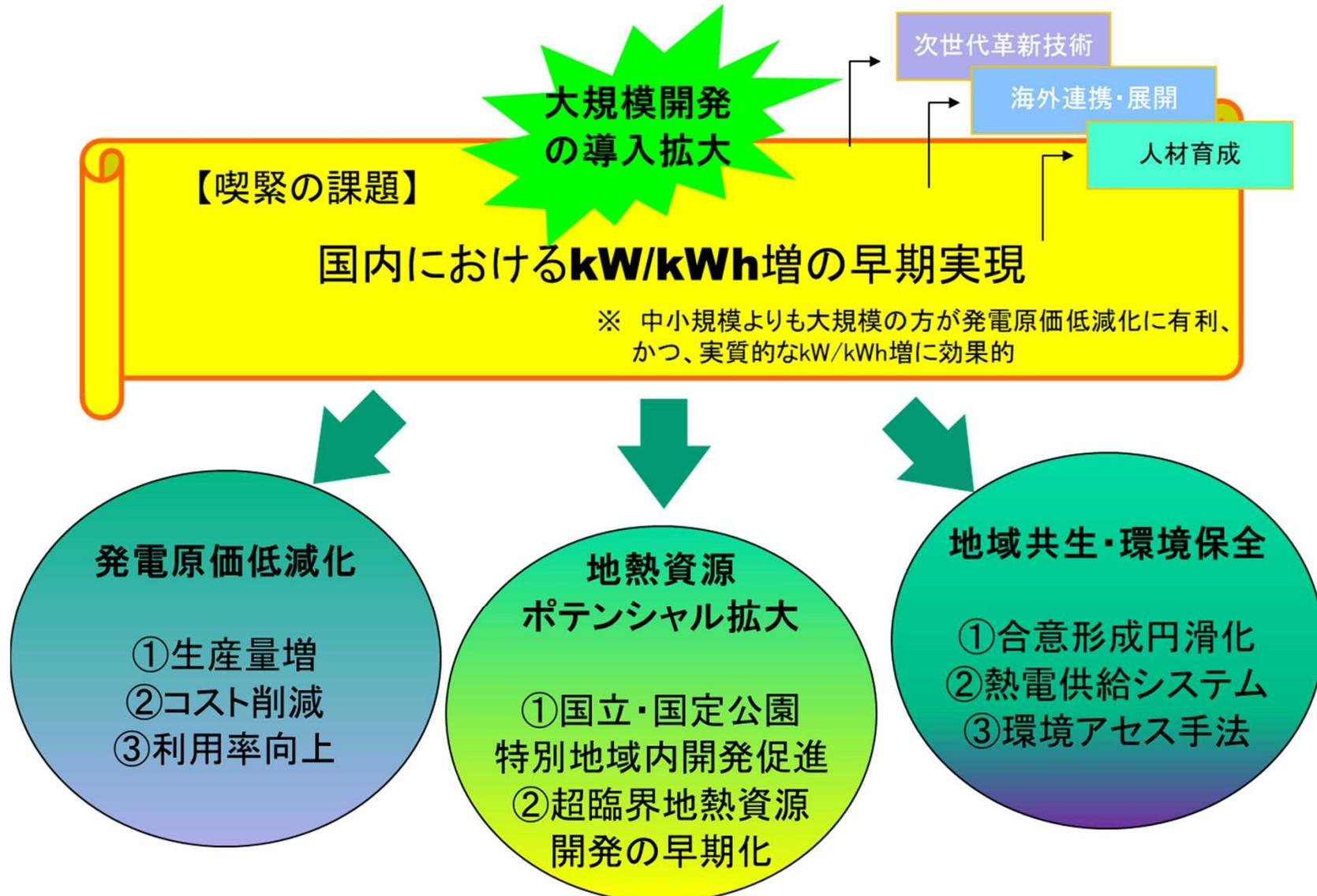
- ◆ 地熱発電はベースロード電源となりえる再生可能エネルギーである。リスクマネーの供給・地元理解の促進、関連法令の運用見直しなどを通じて、更なる地熱発電の大幅な導入を目指す。これに加えて、2050年に向けては、世界にない革新的な地熱発電技術を実現し、地熱発電システム全体をパッケージで海外に展開する。

	現状と課題	今後の取組
リスクマネーの供給、理解促進	<p><b>開発リスク・開発コストが課題</b></p> <p>運転開始までに、<u>多大なリスクとコスト</u>を要する。                      （掘削調査等に<u>多大な費用</u>を要すること、掘削した生産井において<u>想定した熱資源を確保できないリスク</u>等）</p>	<p><b>各種リスクマネーの供給、さらなる理解の促進</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>助成金、出資、債務保証等のリスクマネーの供給、国による地熱資源調査、掘削技術向上のための技術開発等の実施。</li> <li>エネルギーの多段階利用（地熱発電所の蒸気で作った温水を農業用ビニールハウスに活用）等の地域と共生した持続可能な開発を促進、優良事例の全国発信。</li> <li>「<u>地熱開発加速化プラン</u>」による改正地球温暖化対策推進法に基づく促進区域指定、地元理解のためのデータ収集・調査等の実施。</li> </ul>
関連法令による規制	<p><b>関連法令の運用見直しが課題</b></p> <p><b>（自然公園法）</b>                      これまで、国立・国定公園に係る規制緩和が進められ、案件が増加したが、開発の推進に向けては、<u>国立・国定公園内での更なる運用の見直しが必要</u>。</p> <p><b>（温泉法）</b>                      大深度掘削の許可の考え方が都道府県ごとに異なり、<u>同一事業者による掘削でも離隔距離規制を適用している点などについて、地熱発電事業者から地熱資源を有効に活用することが出来ないとの指摘がある</u>。</p>	<p><b>運用見直しを通じた開発の加速化</b></p> <p>主に以下の規制を対象に、「<u>再生可能エネルギー等に関する規制等の総点検タスクフォース</u>」での指示を踏まえて見直しを図る。</p> <p><b>（自然公園法）</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>自然公園内における地熱発電等の許可基準及び審査要件の明確化。</li> <li>地表調査段階や調査井掘削時点における発電施設詳細レイアウト等の提出の不要化。</li> </ul> <p><b>（温泉法）</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>離隔距離規制や本数制限等について、都道府県に対して、<u>科学的根拠のない場合の撤廃を含めた点検を求めつつ、規制内容及びその科学的根拠の公開を行うよう通知等</u>で周知。</li> <li>離隔距離規制や本数制限等についての科学的知見を踏まえた考え方や方向性の提示 等</li> </ul>
次世代型地熱発電技術（超臨界地熱発電）	<p><b>要素技術の開発段階、世界的にも技術未確立</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>従来の地熱発電の資源量は2,347万kW。より深い超臨界地熱資源（超臨界状態の熱水）を活用出来れば、<u>抜本的な資源量の拡大と大規模・高効率の開発が期待出来る</u>。</li> <li>超臨界地熱資源は、<u>超高温かつ酸性濃度が非常に高く、この環境下に耐え、安定的な発電を可能とするための部材・素材・掘削技術の開発が必要</u>。<u>世界的にも技術は未確立</u>。</li> </ul>	<p><b>次世代地熱発電技術の確立、実用化</b></p> <p><u>超高温・高圧な環境下での掘削、ケーシング材やタービン等の腐食対策技術等の確立</u>。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>2030年まで：調査井の掘削・試験を実施。開発した掘削技術やケーシング材等の部材・素材の検証。</li> <li>2040年まで：パイロットプラントによるタービン等の地上設備を含めた発電システム全体の検証。</li> <li>2050年頃：世界に先駆けて商用化・普及を目指す。世界に技術を展開。</li> </ul>

1. 国内外の地熱発電動向
2. 我が国の地熱政策
- 3. NEDOにおける地熱事業の概要**
4. トピックス

～超臨界地熱資源技術開発のこれまでの成果～

# 2021年度以降の地熱事業の重点課題



# FY2021以降のNEDO地熱事業計画



前基本計画のスケジュール  
(2018年度～2020年度)

研究開発項目		2018年度	2019年度	2020年度
超臨界地熱発電技術	超臨界地熱発電技術	実現可能性調査		
		試掘への詳細検討		
		I 超臨界地熱資源の評価 II 調査井の資材等の開発 III 超臨界地熱貯留層のモデリング技術手法開発 IV その他 要素技術		
地熱発電技術	環境保全対策技術	環境アセス手法対策		
		・国立国定公園特別地域での手法 ・冷却塔排気に係わる調査・予測・評価手法		
	高度利用化技術	酸性対策技術		
		IoT-AI適用技術		

今年度以降の基本計画のスケジュール

研究開発項目	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度
超臨界地熱資源開発	研究開発項目①-1 モデルフィールドにおける資源量評価				
	研究開発項目①-2 深部探査技術手法開発				
環境保全対策技術	研究開発項目② 硫化水素連続モニタリング装置開発				
	気象モデリング手法開発				
高度利用化技術	研究開発項目③ 貯留層管理手法開発				
	発電設備管理手法開発				

- ①整理： 超臨界地熱発電技術と地熱発電技術の統合化。
- ②絞り込み： 各研究開発項目の中で、テーマの選択と集中を実施。
- ③改良： 高度利用化技術(IoT-AI適用技術)で、貯留層を含めた範囲に拡張。

# FY2021以降のNEDO地熱事業計画



## 【地熱発電導入拡大研究開発】

### (1)超臨界地熱資源技術開発

モデルフィールドにおける資源量評価と要素技術開発  
(探査手法)

### (2)環境保全対策技術開発

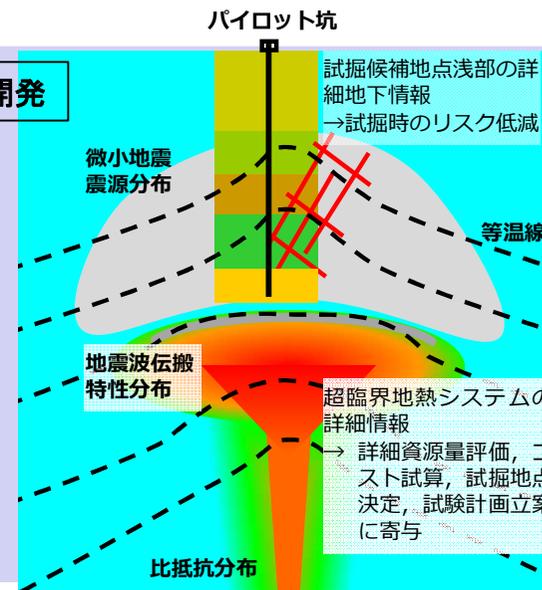
環境アセスメント手法開発(硫化水素モニタリング装置開発と気象モデリング技術)

### (3)発電所高度利用化技術開発

貯留層計測・解析による貯留層管理技術とドローンを利用した設備管理技術

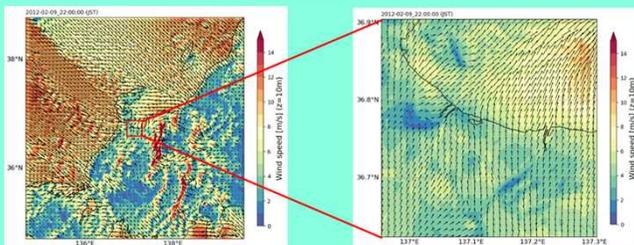
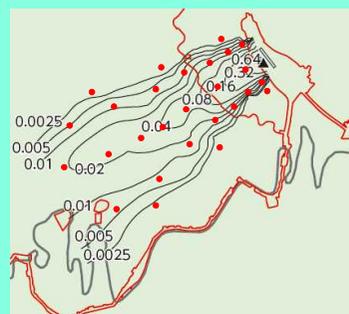
## 超臨界地熱資源技術開発

- \* モデルフィールドでの高密度MT法探査・反射法地震探査・微小地震モニタリング
- \* 試掘候補地点付近でのパイロットホール掘削(到達目標: 3500m, 350℃程度)
- \* 資源量評価(3次元モデルによる数値シミュレーション手法)
- \* 光ファイバーによる地震波モニタリング



## 環境保全対策技術開発

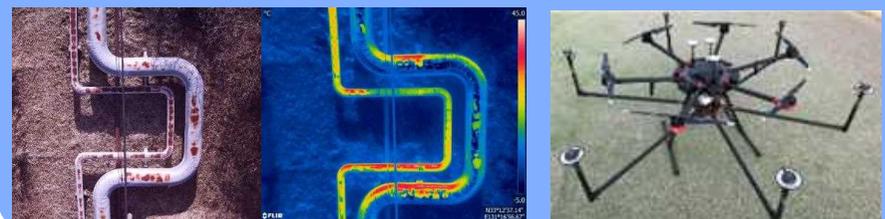
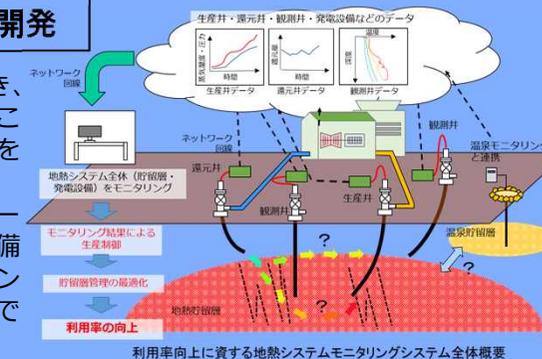
- \* 小型軽量で連続モニタリング可能な硫化水素測定器を開発し、時間・空間データを多量に取得することで、予測評価の精度向上を図る。



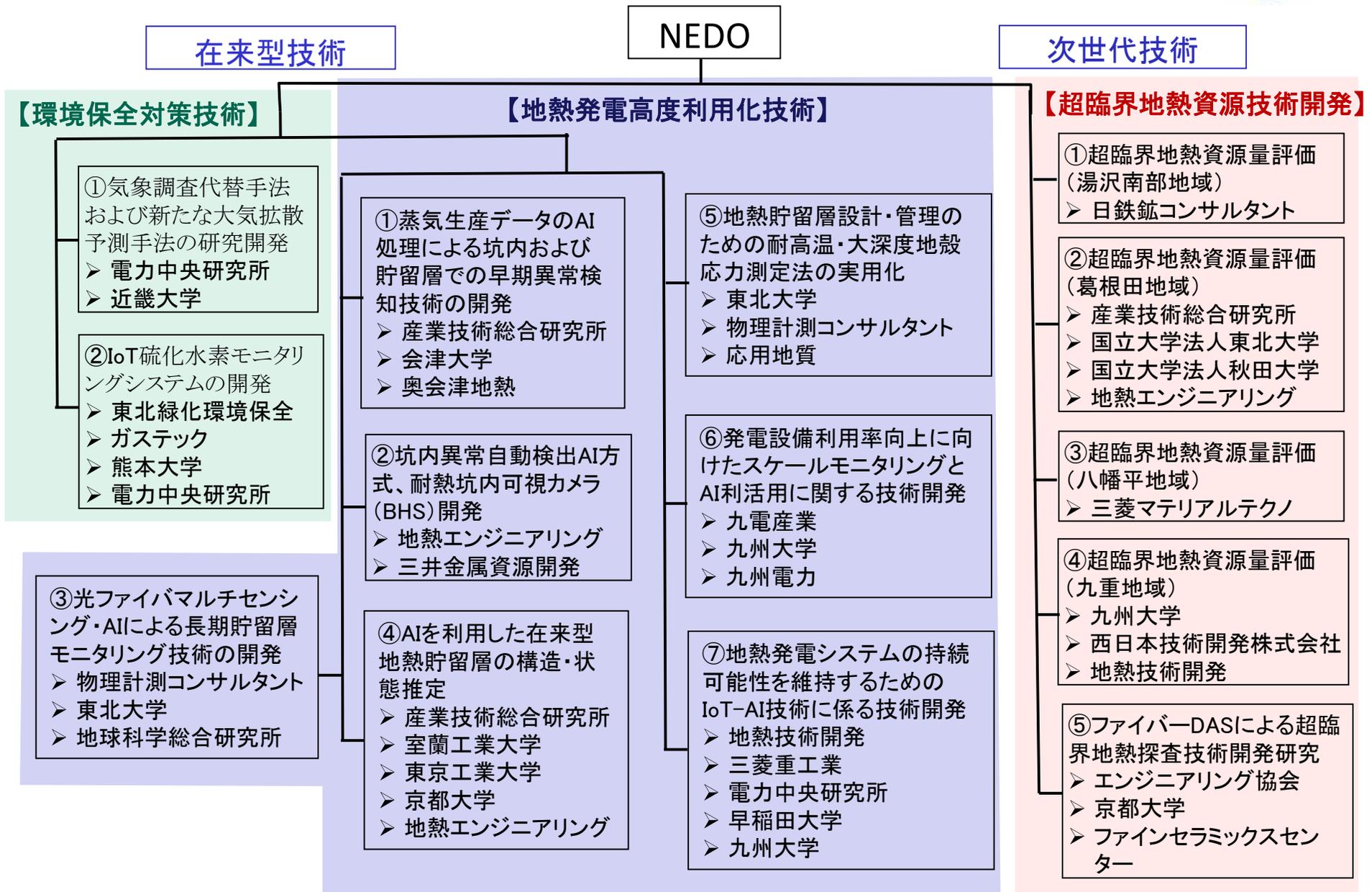
- \* 既存の気象データから気象モデルを構築し、発電所エリアでの気象予測を実施する。気象観測簡略化を図る。

## 発電所高度利用化技術開発

- \* 貯留層計測データに基づき、貯留層管理を最適化することにより設備利用率向上を図る。
- \* 地上設備の監視に、ドローンを適用することで、設備異常を早期発見し、ダウンタイムを低減化することで稼働率向上を図る。



# NEDO研究開発事業の体制

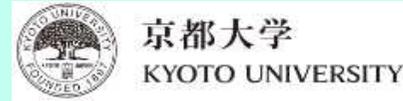


※すべて委託事業

# 委託先の構成 (全29法人)



大学  
(10)



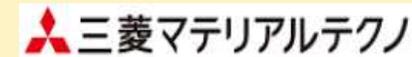
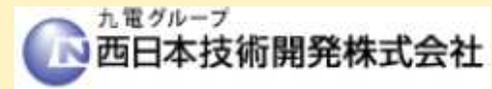
独法  
(1)



財団  
(3)



サービス  
(11)



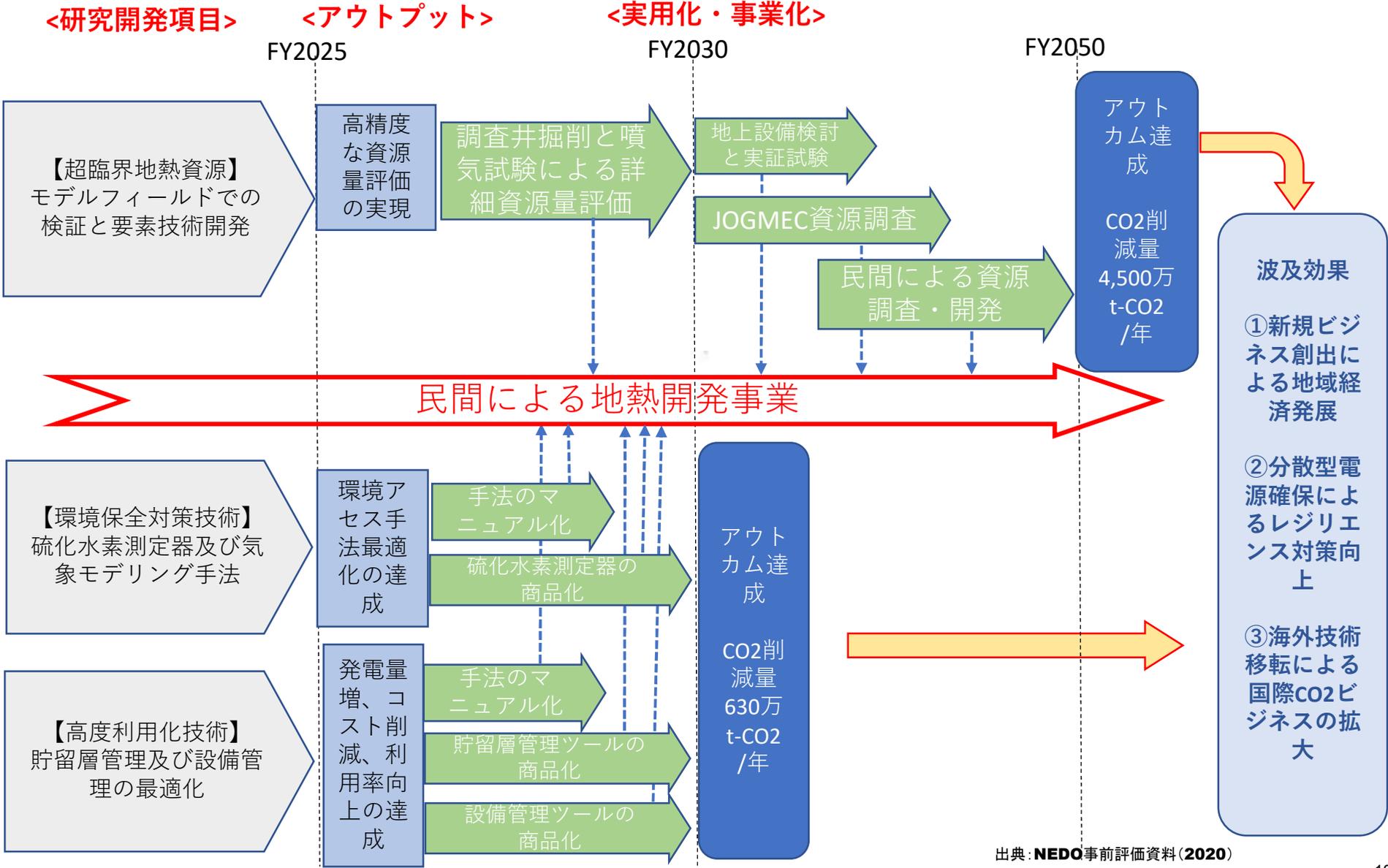
メーカー  
(2)



デベロッパー、  
発電事業者(2)



# 実用化計画



出典: NEDO事前評価資料(2020)

1. 国内外の地熱発電動向
2. 我が国の地熱政策
3. NEDOにおける地熱事業の概要
4. **トピックス**

～超臨界地熱資源技術開発のこれまでの成果～

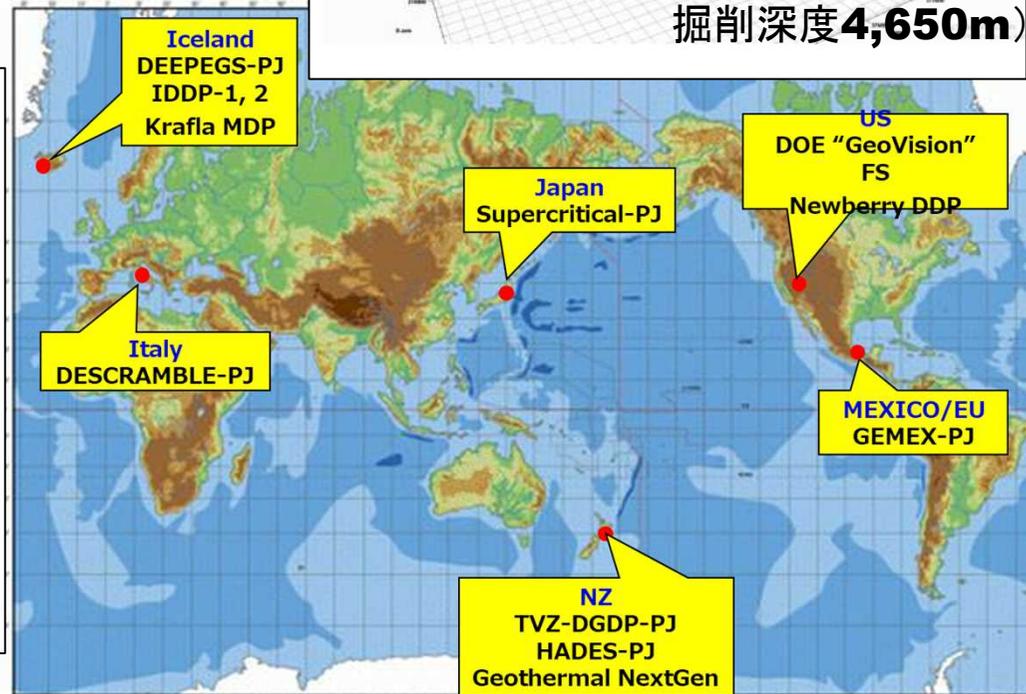
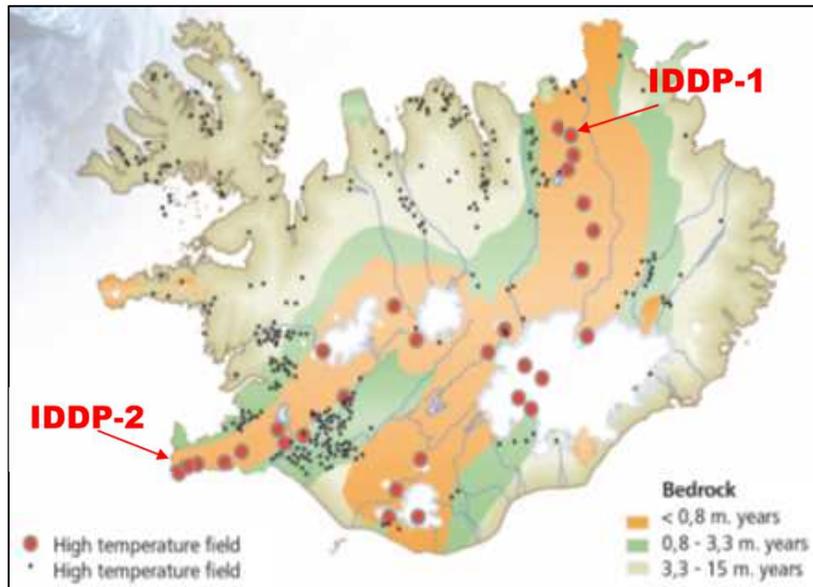
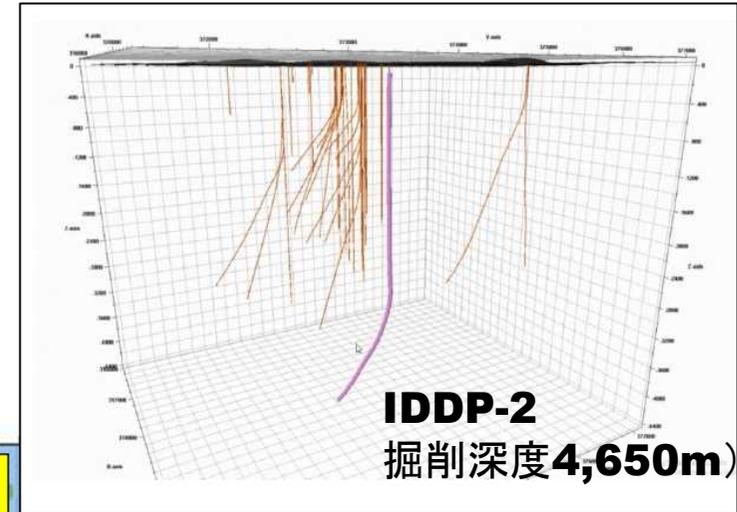
# 海外の超臨界地熱資源開発の動向



アイスランドの成果 (IDDP-1 噴気試験)  
**IDDP-1 (Krafla 地域、深度 2,100m) の噴気試験 (2010-2012)**  
 (地上での測定値: 450°C、13.8MPa ≒ 30MW 相当)

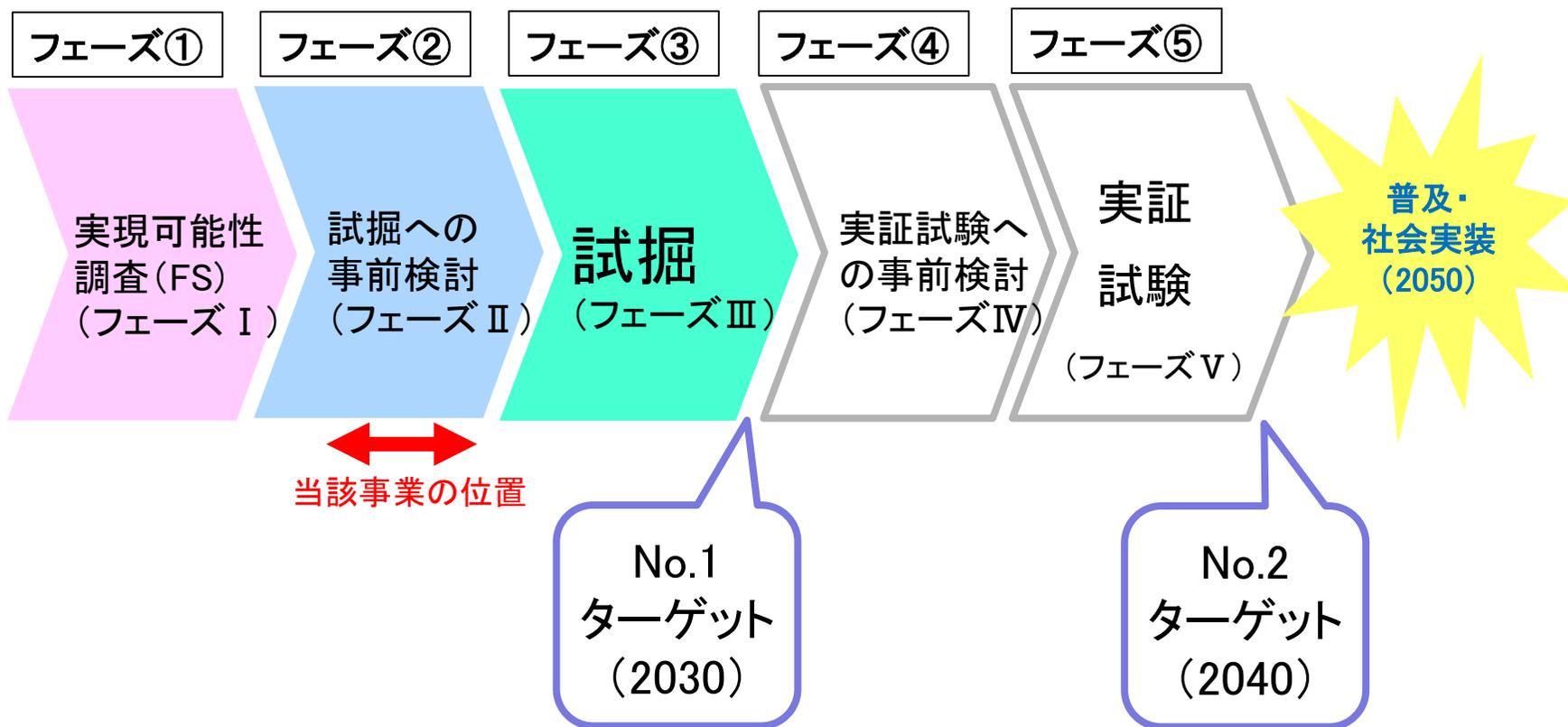


アイスランド **Reyjanes** 地熱地域の坑跡図と  
**IDDP-2** の位置関係



(出展) NEDO 技術委員会資料 (2019)

# 超臨界地熱発電のロードマップ

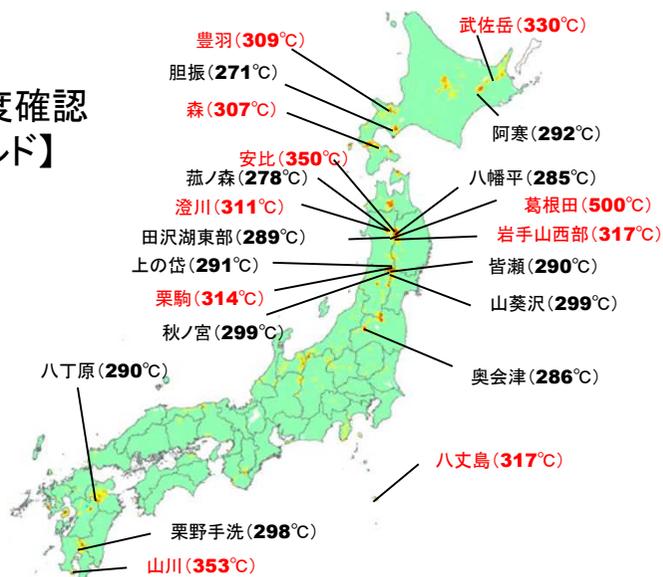


出典)内閣府 (NESTI2050) に基づく

# 我が国の超臨界地熱発電研究開発の成果



## 【高温確認フィールド】



出典: NEDO 成果報告書 (2019、2020)

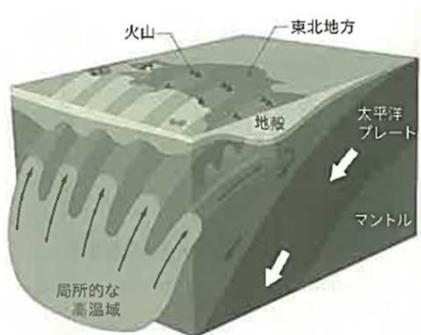
## (MW) 【容積法によるポテンシャル調査】



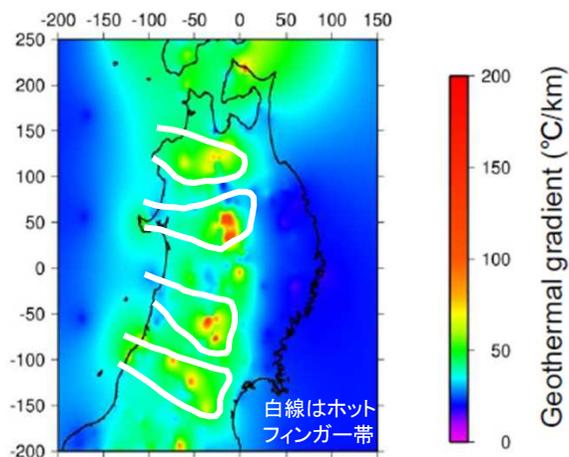
P90	P50	P10
1.6GW	6.5GW	11.6GW

## 参考

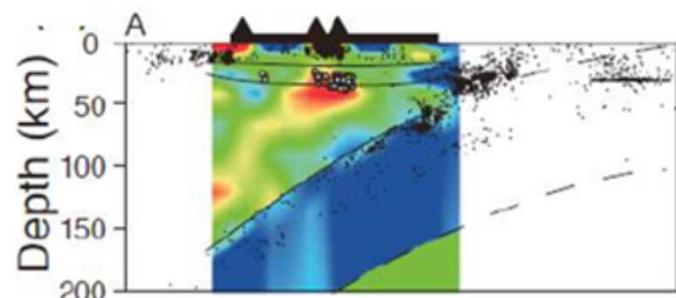
### 【東北地方のホットフィンガーモデル】



(出典) 中島純一 (2018)



(出典) 建築研究所年報資料 (2011)

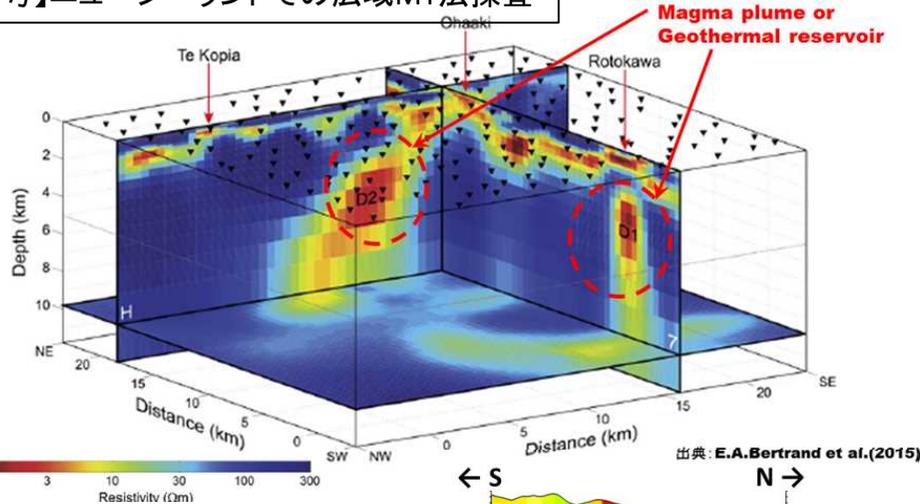


【地下深部の地震波低速度帯、(長谷川 & 中島、2008)】

# 超臨界地熱資源探査事例

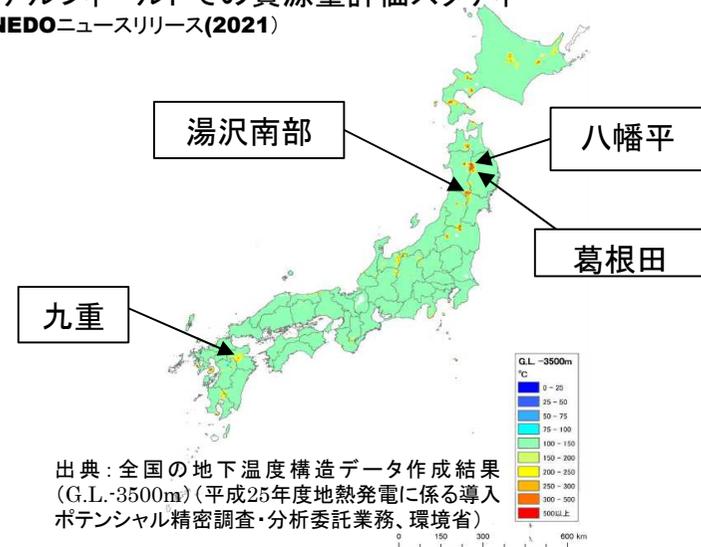


【参考】ニュージーランドでの広域MT法探査

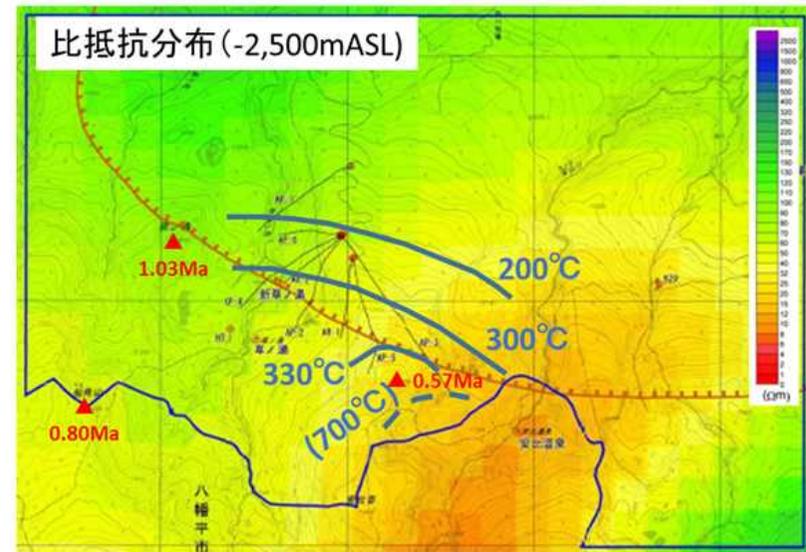
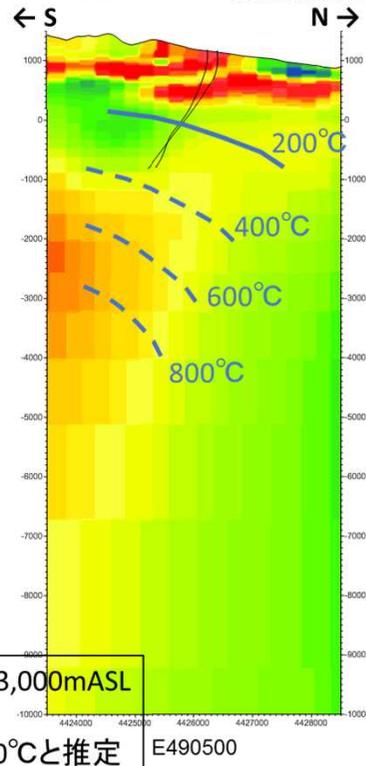
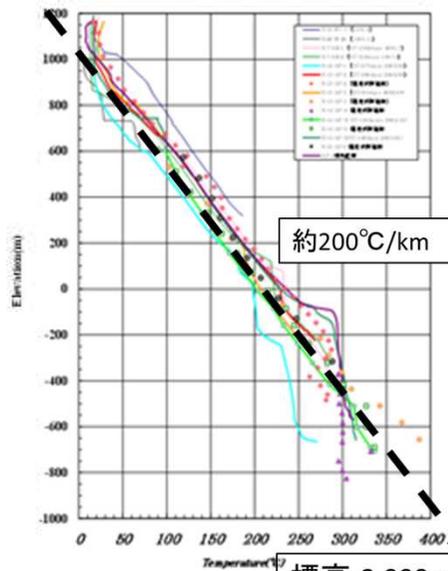


モデルフィールドでの資源量評価スタディ

※NEDOニュースリリース(2021)



深部の温度分布と比抵抗構造

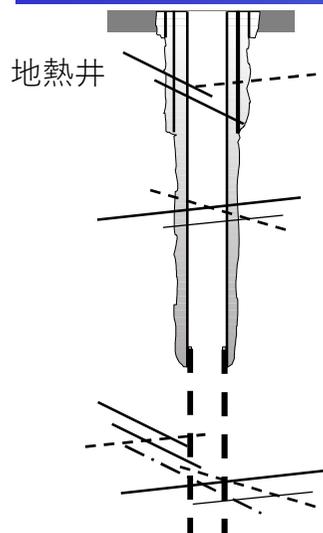


注) 等地温線: 実線(-500mASL)⇒実測値に基づく

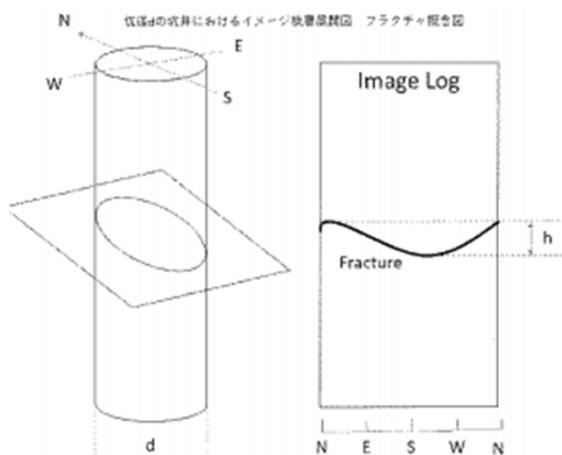
破線(-2,500mASL)⇒実測値からの外挿に基づく

出典: 加藤(2019)

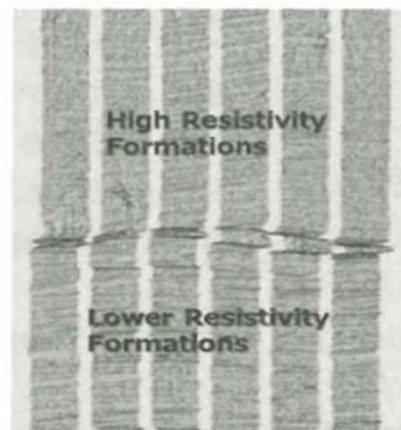
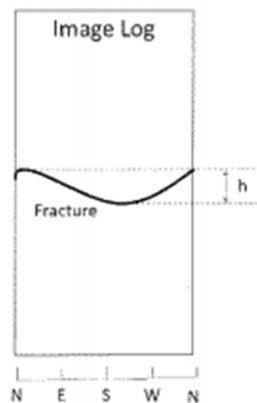
# 光ファイバーDASによる断裂系探査



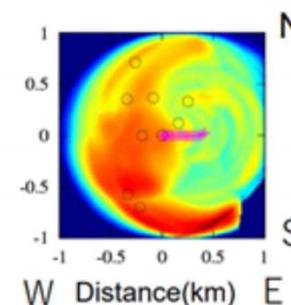
※断裂系を井戸が貫通している状況図



【イメージ検層による断裂系捕捉】

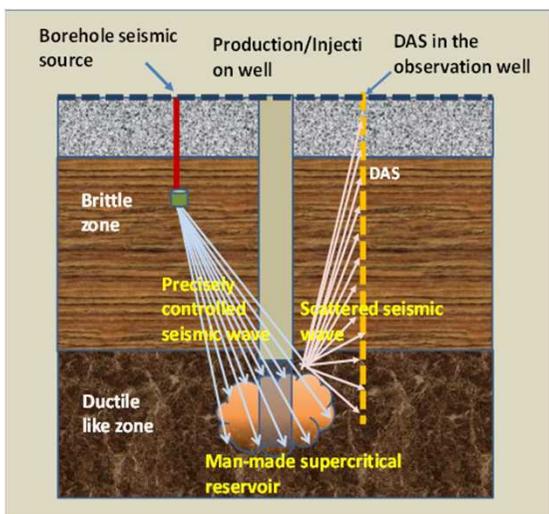


Vertical section



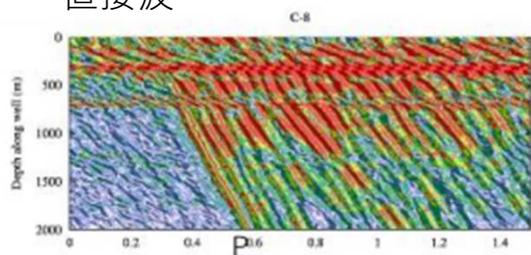
【DASによる断裂系捕捉】

※Distributed Acoustic Sensor

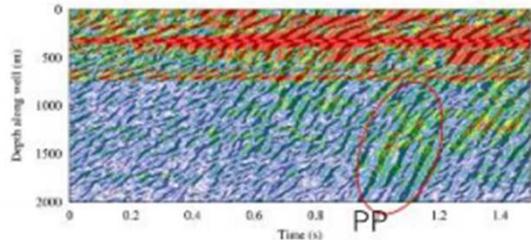


【DASによる地震波モニタリング解析事例】

直接波



反射波



EW section

NS section

