

# 「地熱発電導入拡大研究開発」(中間評価)

2021年度～2025年度 5年間

## プロジェクトの概要 (公開版)

2023年5月30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

新エネルギー部

< 評価項目 >

< 本資料の構成 >

- ・事業の背景・目的
- ・政策・施策における位置づけ
- ・技術戦略、前事業との関連性
- ・他機関事業との関係
- ・国内外の動向と比較
- ・国内の動向
- ・国外の動向
- ・アウトカム達成までの道筋
- ・知的財産・標準化戦略
- ・知的財産管理

- ・アウトカム目標の設定及び根拠
- ・本事業における「実用化・事業化」の考え方及び波及効果
- ・費用対効果
- ・アウトプット(中間)目標の設定及び根拠
- ・アウトプット目標の達成状況
- ・特許出願及び論文発表
- ・成果の普及と外部連携

- ・NEDOによるマネジメント(要約)
- ・NEDOが実施する意義
- ・実施体制
- ・個別事業の採択プロセス
- ・予算及び受益者負担
- ・研究開発のスケジュール
- ・進捗管理：事後評価結果への対応
- ・進捗管理：事前評価結果への対応
- ・目標達成に必要な要素技術
- ・進捗管理
- ・進捗管理：動向・情勢変化への対応
- ・進捗管理：NEDOの主なマネジメント

- 14テーマの
- ・実施体制
  - ・目標と根拠
  - ・目標と達成状況
  - ・成果
  - ・実用化・事業化の見通し

1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

- (1)本事業の位置づけ・意義
- (2)アウトカム達成までの道筋
- (3)知的財産・標準化戦略

2. 目標及び達成状況（概要）

- (1)アウトカム目標と達成見込み
- (2)アウトプット目標と達成状況

3. マネジメント

- (1)実施体制
- (2)受益者負担の考え方
- (3)研究開発計画

2. 目標及び達成状況（詳細）

- (2)アウトプット目標と達成状況

## <評価項目 1> 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

- (1) 本事業の位置づけ・意義
- (2) アウトカム（社会実装）達成までの道筋
- (3) 知的財産・標準化戦略

< 本資料の構成 >

- 事業の背景・目的
- 政策・施策における位置づけ
- 技術戦略、前事業との関連性
- 他機関事業との関係
- 国内外の動向と比較
- 国内の動向
- 国外の動向
- アウトカム達成までの道筋
- 知的財産・標準化戦略
- 知的財産管理

< 評価項目 >

1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

- (1) 本事業の位置づけ・意義
- (2) アウトカム達成までの道筋
- (3) 知的財産・標準化戦略

2. 目標及び達成状況（概要）

- (1) アウトカム目標と達成見込み
- (2) アウトプット目標と達成状況

3. マネジメント

- (1) 実施体制
- (2) 受益者負担の考え方
- (3) 研究開発計画

2. 目標及び達成状況（詳細）

- (2) アウトプット目標と達成状況

# 事業の背景・目的

## 背景

- 温室効果ガスの排出量削減に対して多方面での対策が議論されている中、2015年12月、**COP21（パリ協定）**で示された**長期目標**を受けて、**各国で2030年及び2050年に向けた削減目標が策定**された。
- 我が国では、2018年7月に閣議決定された**第5次エネルギー基本計画**において、**再エネの主力電源化**とそのための同電源に対する**発電原価低減化が喫緊の課題**として提言された。
- 再エネの一つである地熱は、ベースロード電源としての特徴を有し、大規模開発では競争力のある電源として位置づけられ、その導入拡大が期待されている。

## 目的

- 本事業は、**2030年エネルギーミックスと2050年カーボンニュートラルの実現**に向け、資源量増大、環境保全対策及び発電原価低減に資する研究開発を実施し、**より一層の地熱発電の導入拡大を促進**することを目的とする。
- 具体的には、地熱発電設備や地熱貯留層の管理を最適化するためのIoT-AIを適用した技術開発、環境アセスメント手法開発、超臨界地熱発電に資する技術開発を実施する。

## 政策・施策における位置づけ（1）

### ➤ 固定価格買取（FIT）制度施行（2012年7月）

地熱では、15MW未満では40円/kWh、15MW以上では26円/kWhの買取り価格が設定され、地熱開発事業者にとって一定の採算性が確保されるに至った。

### ➤ 「エネルギー・環境イノベーション戦略（NESTI2050）」策定（2016年4月）

温室効果ガスの大きな削減ポテンシャルが期待される革新技術を特定。再エネ（創エネ）分野で太陽光発電と地熱発電が選定され、地熱発電については、超臨界地熱発電と高温岩体発電が取り上げられた。

### ➤ 「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」策定（2021年6月）

2050年に向けて成長が期待される14の重点分野（エネルギー、輸送・製造、家庭・オフィス等）が選定され、エネルギー分野の一つとして地熱発電の課題・取組みが示された。

### ➤ 「第6次エネルギー基本計画」閣議決定（2021年10月）

地熱発電の2030年度導入見込量として最大で148万kW（2021年度実績59.3万kW）、発電電力量68億kWh（2021年度実績28億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。

# 政策・施策における位置づけ（2）

## 「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」①地熱産業

◆ 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。

在来型地熱

	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> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 運転開始までに、多大なリスクとコストを要する。（掘削調査等に多大な費用を要すること、掘削した生産井において想定した熱資源を確保できないリスク等）</li> </ul>	<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>・ 「地熱開発加速化プラン」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>（自然公園法）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 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、国立・国定公園内での更なる運用の見直しが必要。</li> </ul> <p>（温泉法）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 大深度掘削の許可の考え方が都道府県ごとに異なり、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。</li> </ul>	<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、2021年6月に閣議決定された「規制改革実施計画」に基づき、見直しを行う。</p> <p>（自然公園法）</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>（温泉法）</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、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、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。</li> <li>・ 超臨界地熱資源は、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。世界的にも技術は未確立。</li> </ul>	<p><b>次世代地熱発電技術の確立、実用化</b></p> <p>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。</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>

出典：  
「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」（令和3年6月18日）に加筆



# 技術戦略および前事業との関連性

- ▶ 2019年度に国内外の地熱開発の状況や地熱技術開発動向に係る調査に基づいて地熱技術戦略が策定され、この中で今後より一層の地熱発電の導入拡大を図る上で重要とされる技術開発目標を、**資源量増大**、**環境保全・地域共生**、**発電原価低減**、に集約。これらの目標達成に向けて2021年度に本事業をスタート。
- ▶ 前事業のうち重要性および継続必要性の高い技術開発（超臨界地熱資源の評価、環境アセス期間短縮に資する技術開発、発電所運転管理高度化技術等）は、本事業に継承して実施。

前事業のスケジュール

研究開発項目	FY2018	FY2019	FY2020
超臨界地熱発電技術研究開発	超臨界地熱資源の評価		
	調査井の資機材等の開発		
	地熱貯留層のモデリング技術手法開発		
発電所の環境保全対策技術開発	環境アセス期間短縮等に資する技術開発		
地熱エネルギーの高度利用化に係る技術開発	未利用地熱エネルギー活用技術開発		
	発電所の運転管理高度化技術開発		

本事業のスケジュール（当初計画）

研究開発項目	FY21	FY22	FY23	FY24	FY25
<b>資源量増大</b> 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				
	深部探査技術手法開発				
<b>環境保全・地域共生</b> 環境保全対策技術開発	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				
<b>発電原価低減</b> 地熱発電高度利用化技術開発	貯留層管理手法開発				
	発電設備管理手法開発				

出典：「地熱発電技術研究開発」および「超臨界地熱発電技術研究開発」基本計画の研究開発スケジュール

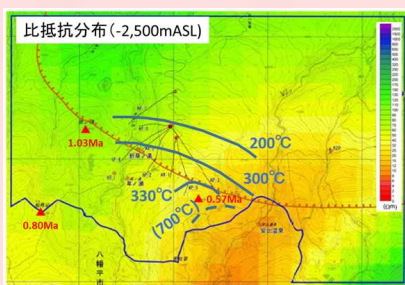
出典：「地熱発電導入拡大研究開発」基本計画の研究開発スケジュール



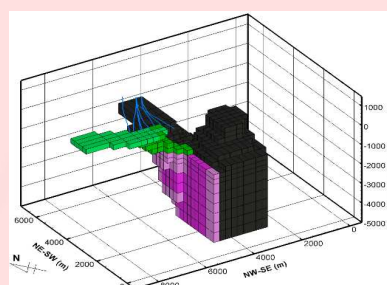
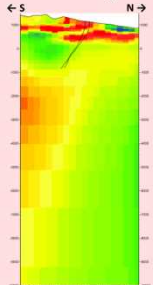
# 研究開発項目(1) 超臨界地熱資源技術開発

## モデルフィールドにおける資源量評価

- 前プロジェクトで得られた知見を基に、超臨界地熱資源の賦存が期待される有望地域（八幡平、葛根田、湯沢南部、九重）を対象として、補完地表調査(MT法電磁探査、微小地震観測、反射法地震探査)、物性データ収集（文献調査含む）、地質構造モデル/地熱系概念モデル構築、生産予測シミュレーション等を実施し資源量を評価する。
- 掘削候補地の選定、構造試錐/調査井の仕様検討を行う。

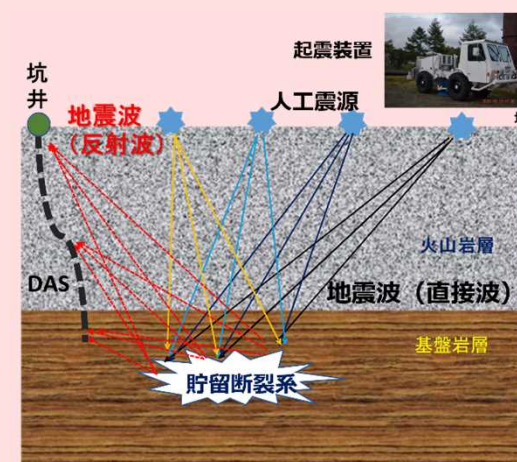
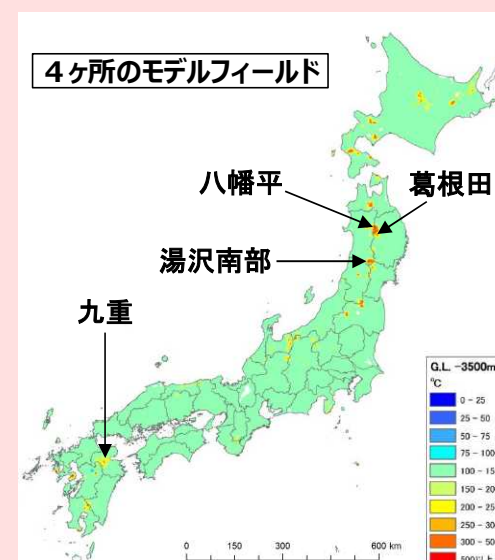


MT法電磁探査に基づく比抵抗解析平面図（左）と断面図（右）



生産予測シミュレーションのための3次元数値モデル

出典：NEDO成果報告書（2019、2021）



光ファイバー-DAS探査手法の概念図

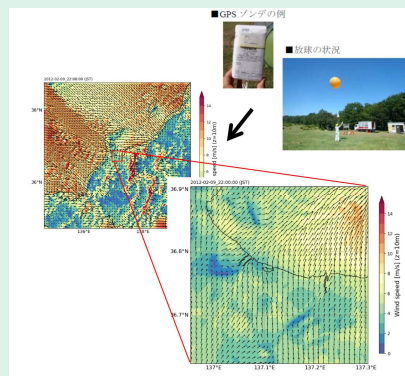
## 深部地熱探査手法の開発

既存地熱井を利用した光ファイバー-DAS（Distributed Acoustic Sensor: 分布型地震計）による弾性波探査の実証試験を行い、既存井より深部に位置する超臨界地熱貯留層を精度良くイメージングする探査手法を開発する。

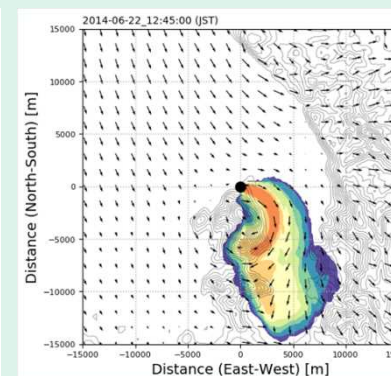
## 研究開発項目(2) 環境保全対策技術開発

### 気象調査代替手法・大気拡散予測手法の開発

- 従来気象観測を代替する手法として、地熱発電所が多く立地する山間部に適用可能な、**数値気象モデルを用いたシミュレーション手法を開発**することで、環境アセスに係る調査期間の短縮や費用の削減を図る(それぞれ50%以上削減を目標)。
- 気象場の時間的/空間的変化や地形影響を考慮した**大気拡散予測手法を開発**し、アセス手法の高度化を図る。



現地気象調査を気象モデルにより代替



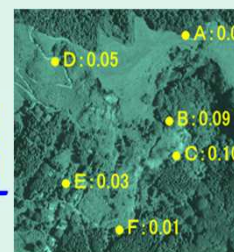
新たな大気拡散予測

### IoT硫化水素モニタリングシステムの開発

- 定電位電解式センサを用いた実証機を製作し、性能評価・実証試験・改良を経て**高時間分解能で可搬性に優れた小型連続測定器を実用化**。
- IoTを活用して複数地点の測定結果をクラウド上で集約し、リアルタイム遠隔モニタリングを実現(山間部にも対応)。
- シミュレーションにより面的濃度分布を推定し、視覚化する手法を開発。
- 測定から視覚化するプロセスを省力化。

地点	ppm
A	0.02
B	0.09
C	0.10
D	0.05
E	0.03
F	0.01

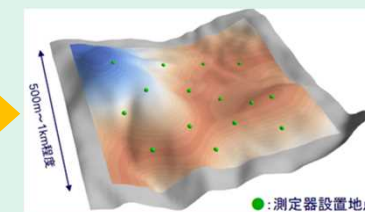
リアルタイム  
遠隔モニタリング



測定値を地形図にプロット



小型連続測定器の実証試験



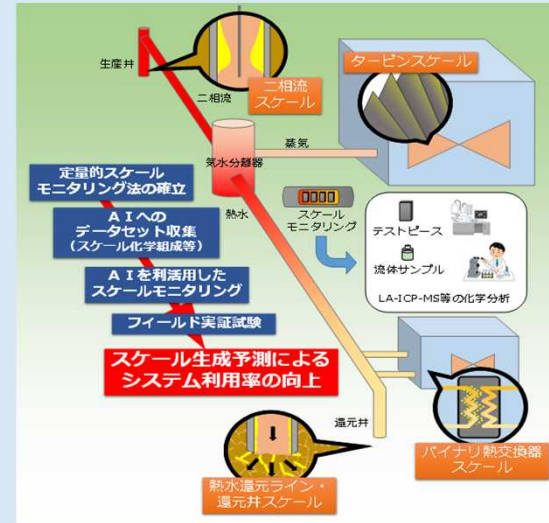
面的濃度分布を可視化

# 研究開発項目(3) 地熱発電高度利用化技術開発



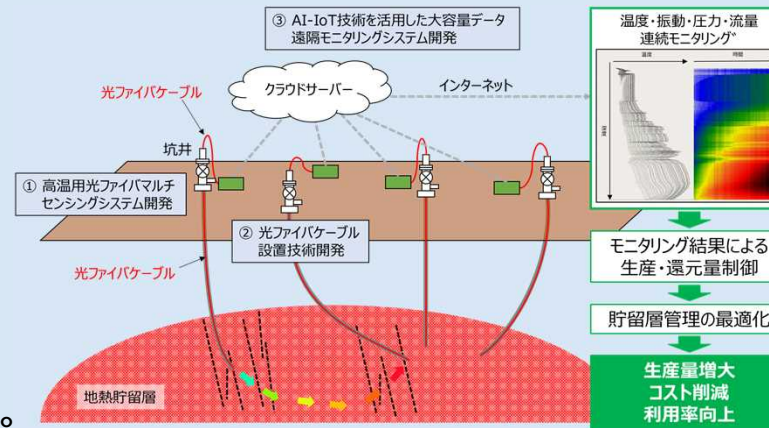
## 発電設備管理手法の開発

- ・発電設備と坑井設備・蒸気設備のデータを集約しクラウド上で一括管理することで、**効率的かつ最適な運用・保守を実現し、利用率の向上を図る。**
- ・地上設備の監視にドローンを導入し、設備異常を早期発見し、発電設備のダウンタイムを短縮。
- ・AIによるスケール生成予測技術を確立し、スケールに起因する種々の問題に対し、**適時・適切な対策を**施す。加えて最適なスケール抑制方法（抑制剤の種類・濃度）を求め対策案を検討する。



## 貯留層管理手法の開発

- ・AI、統計数理学的手法を用い、蒸気生産データに含まれる目視では検出困難な生産変動に関する情報を抽出し、生産変動の原因を推定。**坑内および貯留層での異常を早期に検知し、利用率を向上。**
- ・最新の光ファイバセンシング技術を駆使したマルチセンシングシステムにより、貯留層モニタリングデータの質と量を向上させ、貯留層管理の最適化、利用率向上、運転コスト削減を図る。







# 他機関事業との関係

- NEDOは1980年の設立時から、地熱資源探査、探査技術、坑井掘削技術、生産技術、発電システム技術などの研究開発を推進。
- 2012年度から地熱資源探査・開発業務をJOGMECへ移管し、地熱利用技術開発に係る業務は引き続きNEDOが実施。2018年度からは超臨界地熱資源技術開発に着手。

技術開発	在来型地熱	 JOGMEC 探査技術（資源探査、貯留層、掘削等）	 NEDO 利用技術（坑井～地上設備）、環境保全技術等
	次世代型地熱（超臨界地熱）	 NEDO 調査井資材等の開発、資源量評価、深部探査手法開発	
導入支援	在来型地熱	 JOGMEC 資源量調査補助金、出資/債務保証事業等	 経済産業省 資源エネルギー庁 Agency for Natural Resources and Energy 固定価格買取制度等

# 国内外の動向と比較

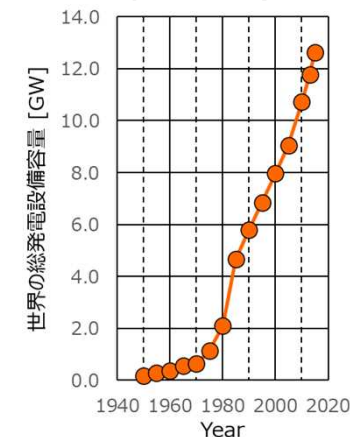
## 世界の地熱資源量と設備容量

- 日本の資源量は米国、尼国に次いで世界第3位だが、設備容量は世界第10位。
- ☞ **日本では豊富な地熱ポテンシャルを活かしきれていない。**
- 世界の地熱発電設備容量は年平均270MWの増加率で急速に拡大。
- 米国、尼国、トルコ、ケニアで設備容量が顕著に増加。
- フィリピン、メキシコ、イタリア、日本では停滞傾向。

世界各国の地熱資源量と発電設備容量

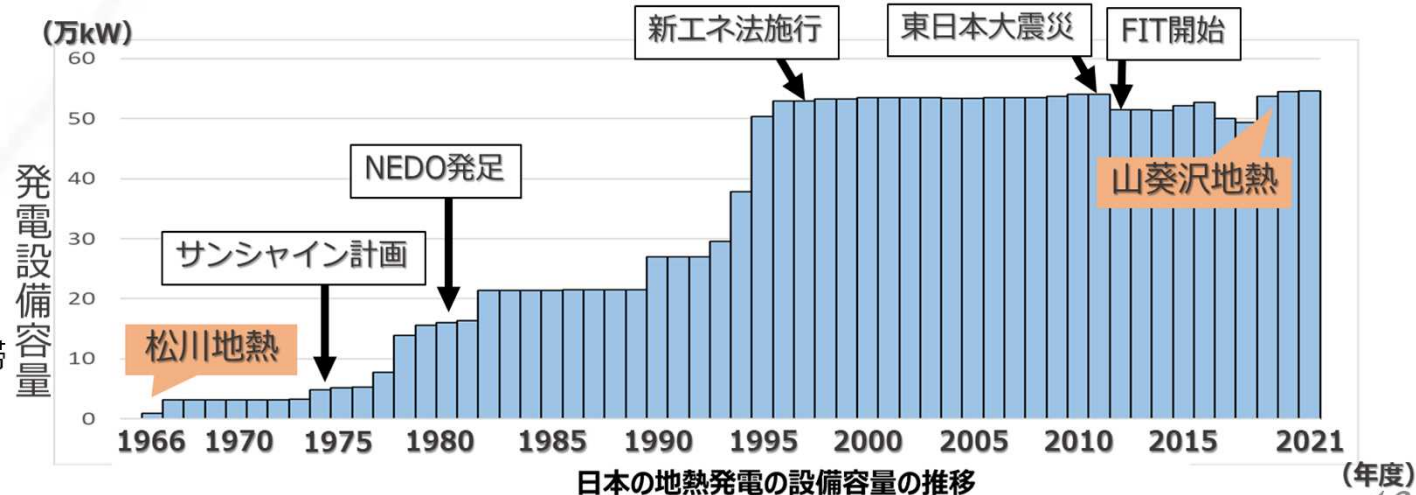
国名	地熱資源量 (万kW)	地熱発電設備容量 (万kW) 2016年末時点
米国	3,000	360
インドネシア	2,779	195
日本	2,347	54
ケニア	700	68
フィリピン	600	193
メキシコ	600	91
アイスランド	580	67
ニュージーランド	365	97
イタリア	327	92
ペルー	300	0

世界の総発電設備容量



## 日本の地熱発電の変遷

- 1966年 松川発電所(岩手県)が運転開始
- 1974年 サンシャイン計画スタート（～1992年）
- 1980年 NEDO発足、地熱開発促進調査が開始
- 1993年 ニューサンシャイン計画スタート（～2000年）
- 1997年 新エネルギー法施行  
→地熱発電(バイナリーを除く)は対象外。
- 1999年 八丈島運開。これ以降、地熱発電導入が停滞
- 2012年 FIT制度開始
- 2019年 山葵沢(秋田県)運開（23年ぶりの大規模発電所）



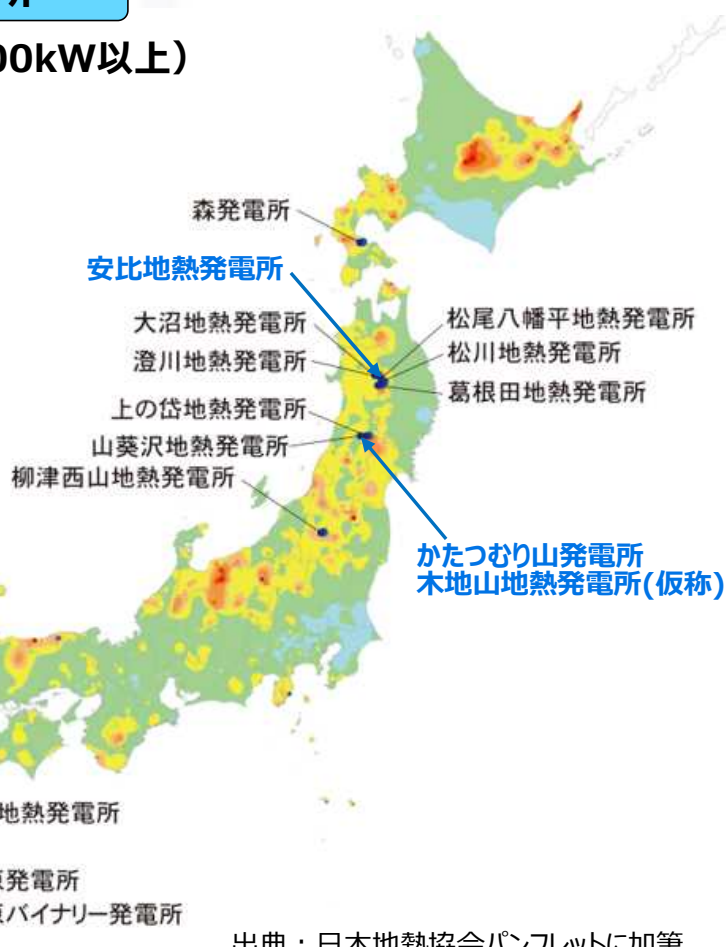
出典：火力原子力発電技術協会 地熱発電の現状と動向2021年より作成

# 国内の動向

## 日本の主な地熱発電所

(2020年時点、設備容量1,000kW以上)

青字：今後運開予定の発電所



発電所名	所在地	発電	蒸気・熱水供給	設備容量 (kW)	発電方式	運転開始日
森発電所	北海道森町	北海道電力 (株)		25,000	DF	1982.11.26
松川地熱発電所	岩手県八幡平市	東北自然エネルギー (株)		23,500	DS	1966.10.08
松尾八幡平地熱発電所		岩手地熱 (株)		7,499	SF	2019.01.29
葛根田地熱発電所	岩手県雫石町	東北電力 (株)	東北自然エネルギー (株)	50,000	SF	1978.05.26
				30,000	SF	1996.03.01
大沼地熱発電所	秋田県鹿角市	三菱マテリアル (株)		10,000	SF	1974.06.17
澄川地熱発電所		東北電力 (株)	三菱マテリアル (株)	50,000	SF	1995.03.02
上の岱地熱発電所	秋田県湯沢市	東北電力 (株)	東北自然エネルギー (株)	28,800	SF	1994.03.04
山葵沢地熱発電所		湯沢地熱 (株)		46,199	DF	2019.05.20
柳津西山地熱発電所	福島県柳津町	東北電力 (株)	奥会津地熱 (株)	30,000	SF	1995.05.25
わいた地熱発電所	熊本県小国町	(同) わいた会		1,995	SF	2015.06.16
杉乃井地熱発電所	大分県別府市	(株) 杉乃井ホテル		1,900	SF	2006.04.01
滝上発電所	大分県九重町	九州電力 (株)	出光大分地熱 (株)	27,500	SF	1996.11.01
滝上バイナリー発電所		出光大分地熱 (株)		5,050	B	2017.03.01
大岳発電所		九州電力 (株)		13,700	DF	2020.10.05
八丁原発電所		九州電力 (株)		55,000	DF	1977.06.24
		九州電力 (株)		55,000	DF	1990.06.22
		九州電力 (株)		2,000	B	2006.04.01
菅原バイナリー発電所		九電みらいエナジー (株)	九重町	5,000	B	2015.06.29
大霧発電所	鹿児島県霧島市	九州電力 (株)	日鉄鉱業 (株)	30,000	SF	1996.03.01
山川発電所		九州電力 (株)		30,000	SF	1995.03.01
山川バイナリー発電所	鹿児島県指宿市	九電みらいエナジー (株)	九州電力 (株)	4,990	B	2018.02.23
メディボリス指宿発電所		(株) メディボリスエナジー		1,580	B	2015.02.18

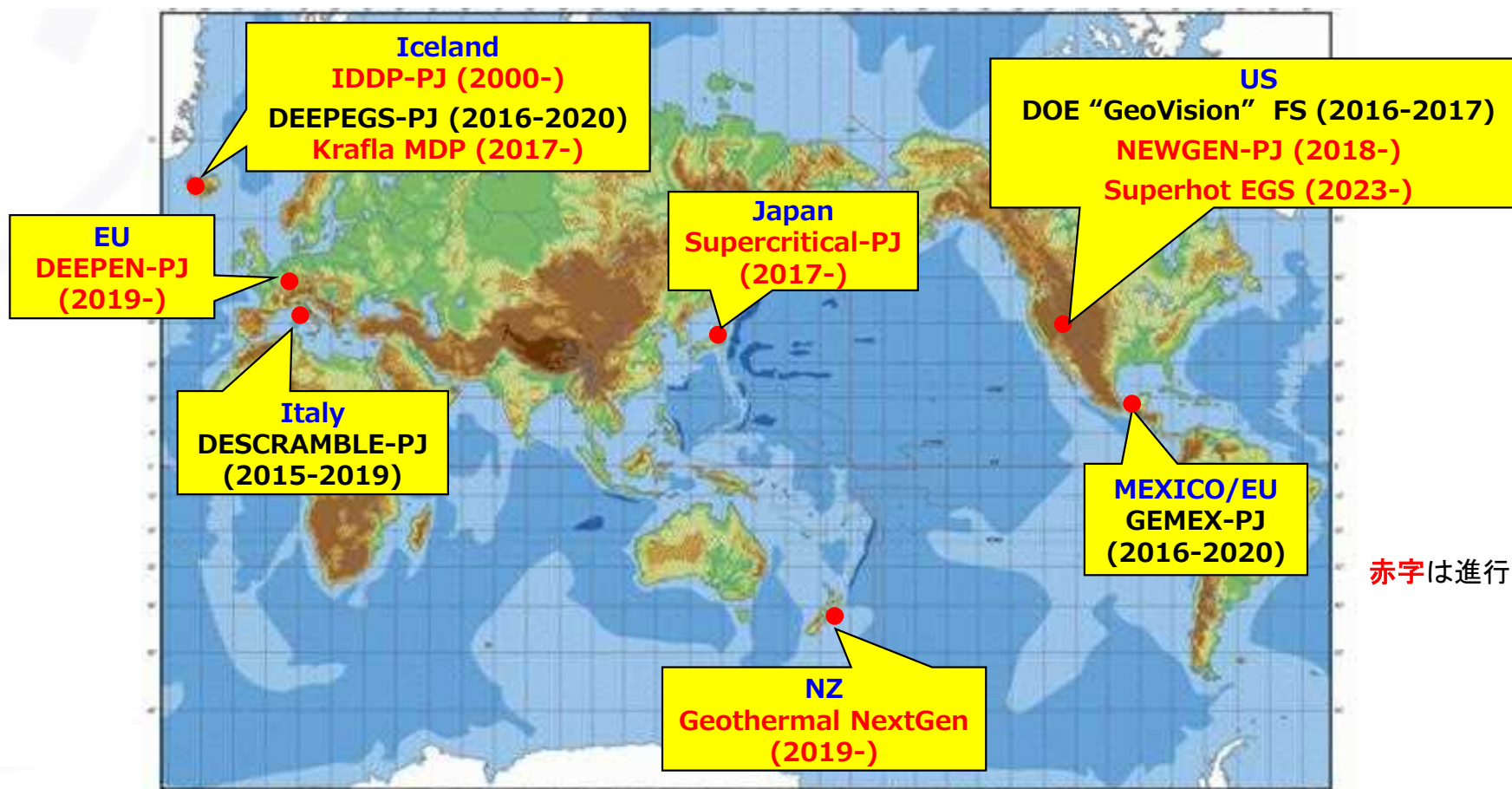
【発電方式】DS：ドライスチーム、SF：シングルフラッシュ、DF：ダブルフラッシュ、B：バイナリー

出典：日本地熱協会HP

出典：日本地熱協会パンフレットに加筆

# 国外の動向（1）

➤ 超臨界地熱資源は、アイスランドをトップランナーとして、米国、ニュージーランド、EUで大深度・超高温域をターゲットとした研究開発が進行している。



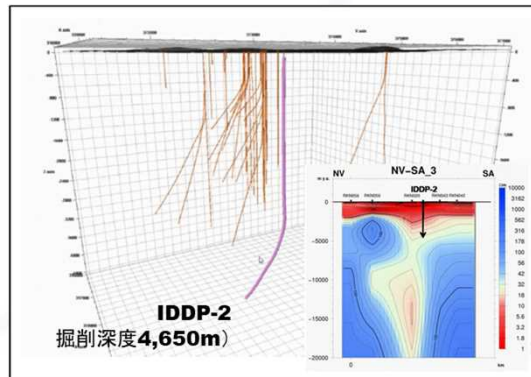
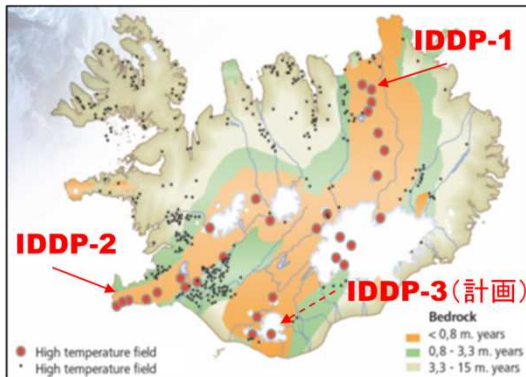
赤字は進行中のプロジェクト



# 国外の動向（2）

## Iceland Deep Drilling Project

- 2008～2012年、IDDP-1号井（Krafla地域）を掘削（深度2,100m）、噴出試験にも成功し、**温度450℃、圧力14MPa、出力3万kW相当の蒸気の噴出を確認。**
- 2016～2017年、IDDP-2号井（Reykjanes）を掘削し（深度4,650m）**坑底温度427℃、圧力34MPaにより、地熱流体が超臨界状態で存在する知見を得た。**



出典：IDDPウェブサイト

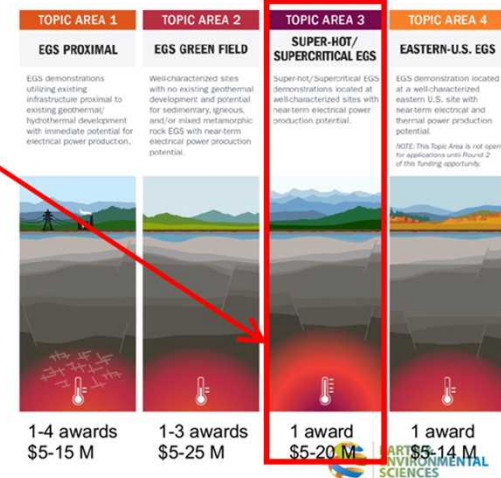
## Energy Earthshots, DOE, US

- 米国DOEでは、10年以内により豊富で手ごろな価格のクリーンエネルギー安定供給を達成することを目指した「Energy Earthshots Initiative」政策を発表。その中にEGSも含まれている。
- 2023年に超高温地熱（超臨界地熱）を公募対象に加えた。

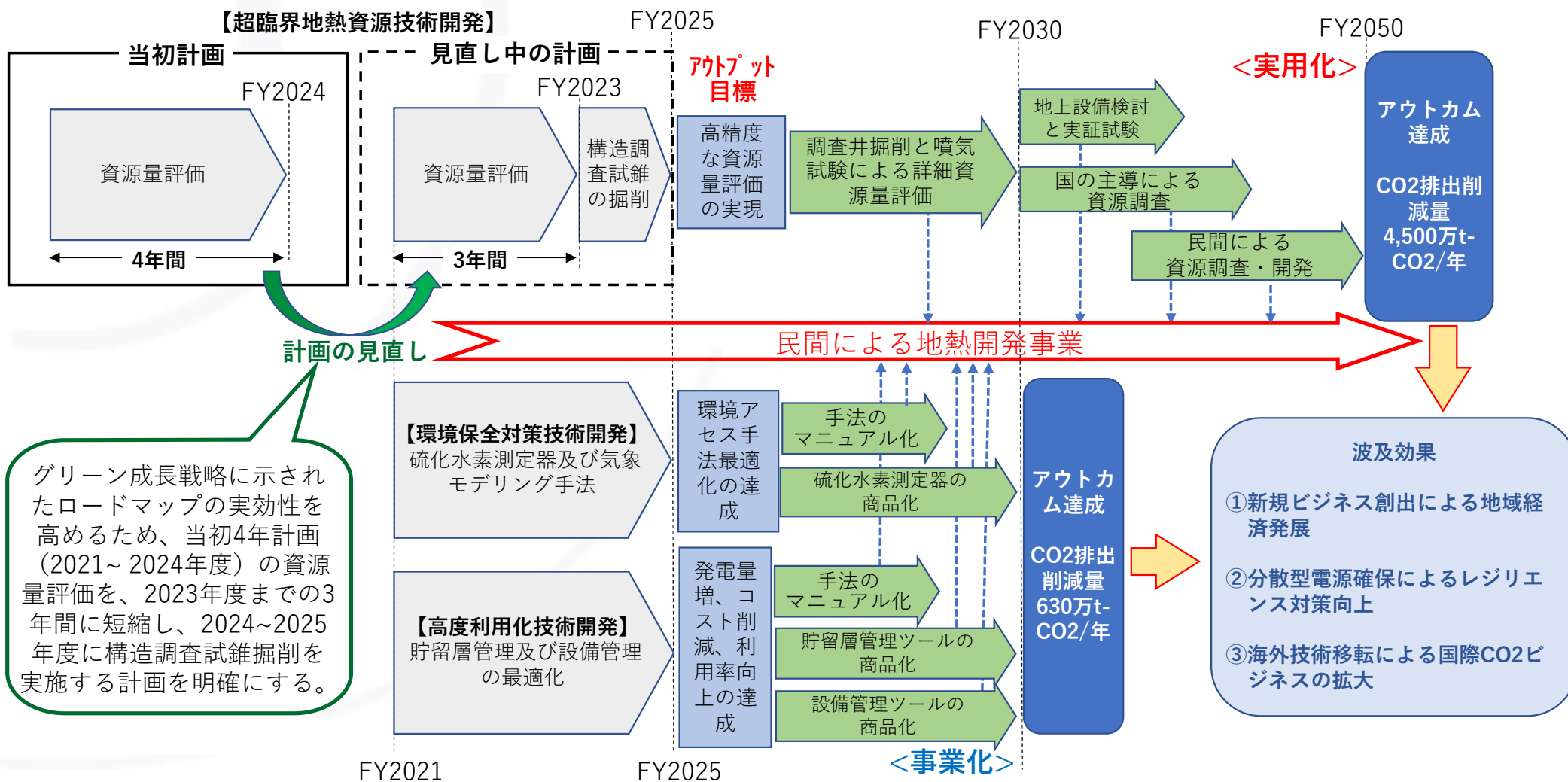
分野	告知日	ゴール
Enhanced Geothermal Shot	2022/9/8	地熱増産システムのコストを2035年までに9割削減し、MWhあたり\$45にする

### Topic Areas

- Topic Area 1: EGS Proximal
- Topic Area 2: EGS Green Field
- **Topic Area 3: Super-hot / Supercritical EGS**
- Topic Area 4: Eastern-US EGS
- Only Topic Areas 1-3 are considered for this funding cycle
- Topic Areas 1, 2 and 3 must demonstrate the modeled or actual capability of producing >5 MWe of additional capacity (per site/well)



# アウトカム（社会実装）達成までの道筋



# 知的財産・標準化戦略

## オープン／クローズ戦略の考え方

	非競争域	競争域
公開	<p>【環境保全対策技術開発】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>環境アセスメントを効率化する新たな硫化水素測定手法</li> <li>気象調査代替手法及び新たな大気拡散予測手法、等</li> </ul> <p>手法マニュアルの公開、環境アセスメント手引への反映</p>	<p>【高度利用化技術開発】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>光ファイバの劣化評価装置および劣化評価方法</li> <li>地殻応力測定法のうちコア採取の装置および方法、等</li> </ul> <p>特許として権利化を図る</p>
非公開	該当無し	該当無し

## 標準化の考え方

### 在来型地熱発電技術

タービン・発電機は日本の企業3社（東芝、富士電機、MHPS）が世界の市場の約60%を占有している(注)。地熱用のタービンには火力発電用でない特殊な耐腐食性の材料が使われ、各社独自の技術が用いられている。

☞現時点で、社会実装において標準化の活用は難しい。

(注)：2020年度日系企業のITサービス、ソフトウェア及びモノの国際競争ポジションに関する情報収集（NEDO, 2021）

### 超臨界地熱発電技術

日本企業は、超臨界地熱用（高温、高圧、強酸性に対する耐性を持つ）ケーシング材、セメント材の開発に世界に先駆けて取り組んでいる。一方、超臨界地熱発電の実用化に向けては、適地での試掘を実施することが重要なフェーズ。

☞調査井での試験などができるタイミングで、標準化に関する議論を実施（資機材の評価など）。

# 知的財産管理

## 知的財産権の帰属

委託研究開発及び共同研究の成果に関わる知的財産権については、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、**すべて委託先に帰属**させることとする。

## 知財マネジメントに係わる運用

「NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」に従ってプロジェクトを実施する（委託研究のみを対象とする。ただし調査事業を除く）。

☞ テーマ毎に全事業者から構成される知財委員会を設置し、「知財の取扱いに関する合意書」を作成。

## データマネジメントに係る運用

本プロジェクトは「NEDOプロジェクトにおけるデータマネジメント基本方針（委託者指定データを指定しない場合）」を適用する。

☞ テーマ毎に全事業者から構成される知財委員会を設置し、「データの取扱いに関する合意書」を作成。

## <評価項目 2> 目標及び達成状況

- (1) アウトカム目標及び達成見込み
- (2) アウトプット目標及び達成状況

< 評価項目 >

< 本資料の構成 >

1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

- (1) 本事業の位置づけ・意義
- (2) アウトカム達成までの道筋
- (3) 知的財産・標準化戦略

2. 目標及び達成状況（概要）

- (1) アウトカム目標と達成見込み
- (2) アウトプット目標と達成状況

- ・ アウトカム目標の設定及び根拠
- ・ 本事業における「実用化・事業化」の考え方及び波及効果
- ・ 費用対効果
- ・ アウトプット(中間)目標の設定及び根拠
- ・ アウトプット目標の達成状況
- ・ 特許出願及び論文発表
- ・ 成果の普及と外部連携

3. マネジメント

- (1) 実施体制
- (2) 受益者負担の考え方
- (3) 研究開発計画

2. 目標及び達成状況（詳細）

- (2) アウトプット目標と達成状況



# アウトカム目標の設定及び根拠

## 次世代型地熱発電

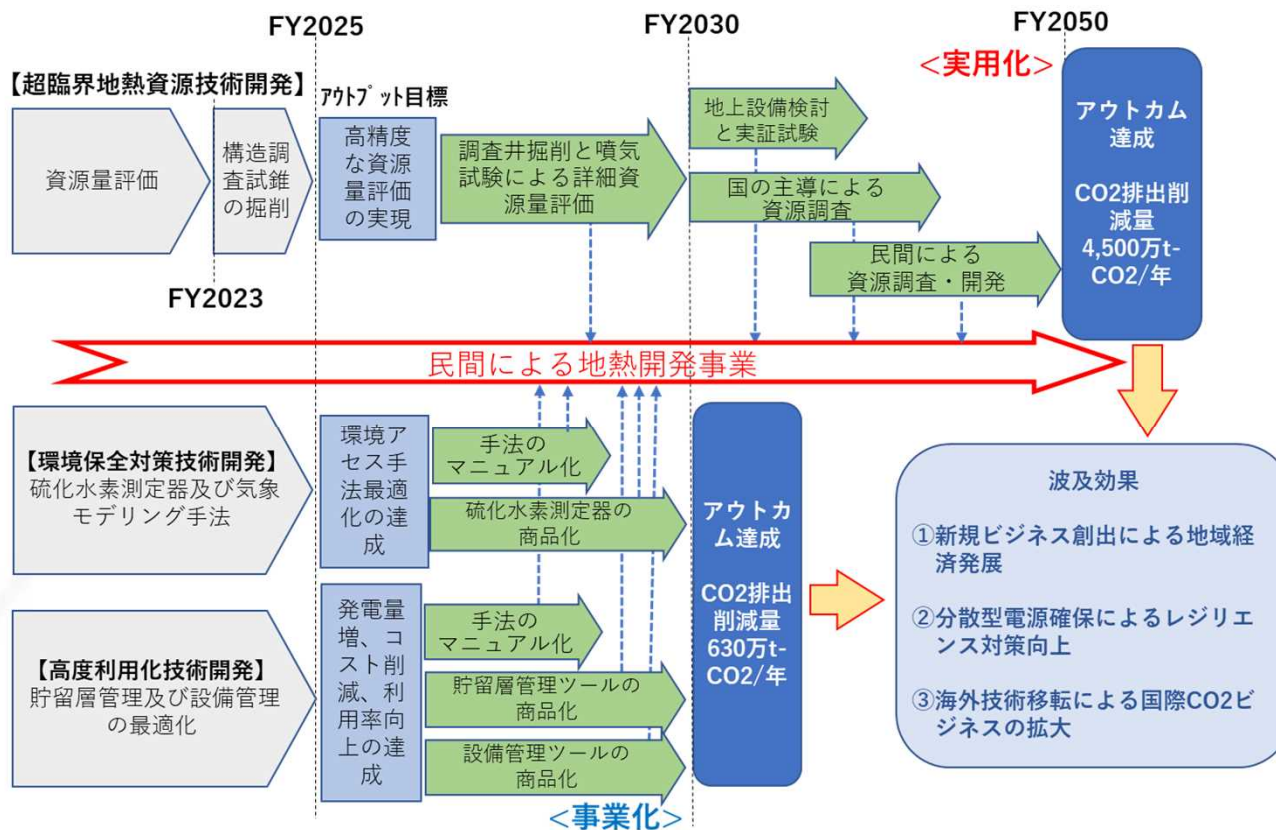
### 【超臨界地熱資源技術開発】

アウトカム目標	設定根拠
2050年頃にCO <sub>2</sub> 排出削減量が最大で約4,500万トン-CO <sub>2</sub> /年	2050年頃に超臨界地熱資源を活用した地熱発電所(100MW級)の普及を目指す。ポテンシャル調査による推定資源量は11GWと試算され、これにより見込まれるCO <sub>2</sub> 排出削減量。

## 在来型地熱発電

### 【環境保全対策技術開発】および【高度利用化技術開発】

アウトカム目標	設定根拠
2030年頃にCO <sub>2</sub> 排出削減量が最大で約630万トン-CO <sub>2</sub> /年	2030年の最大導入見込量(発電容量1.55GW、発電量11TWh)に基づくCO <sub>2</sub> 排出削減量。

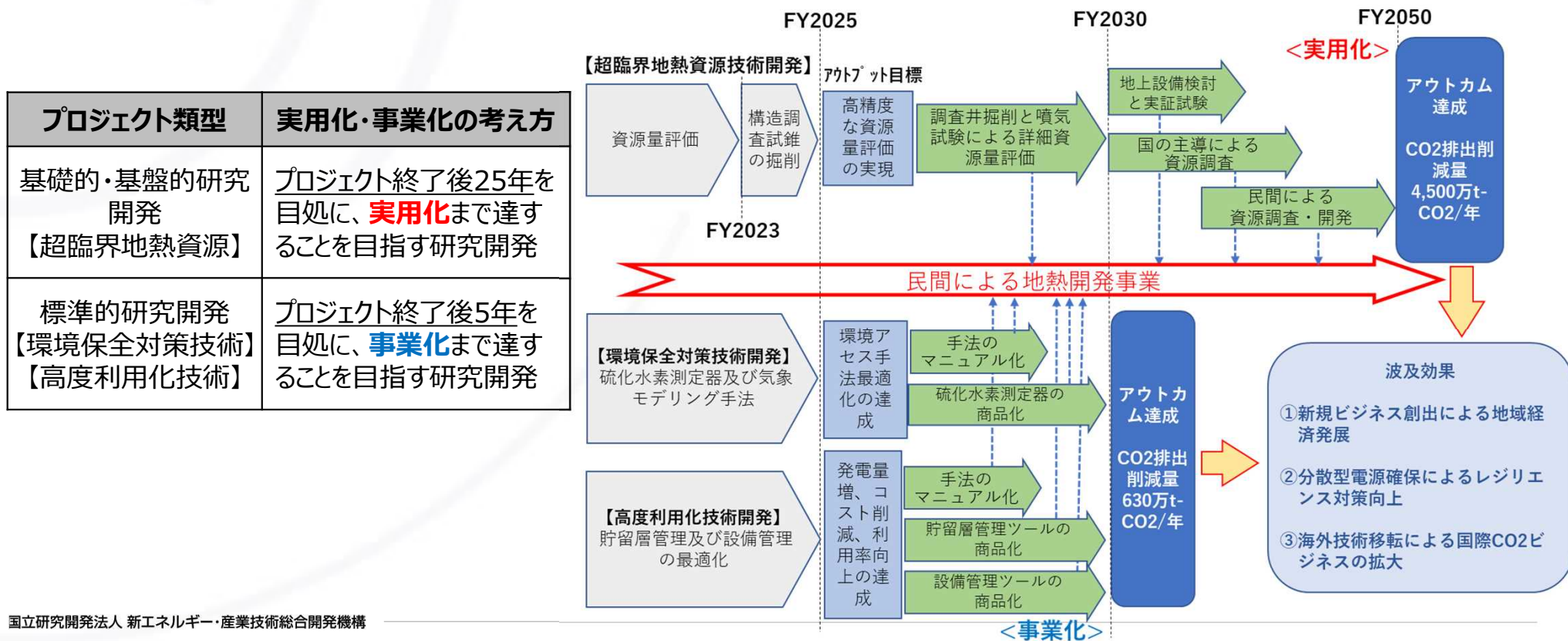




# 本事業における「実用化・事業化」の考え方及び波及効果

## 【本事業における定義】

- **実用化**とは、研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されること。
- **事業化**とは、研究開発に係る商品、製品、サービス等の販売や利用により、企業活動(売り上げ等)に貢献すること。



# 費用対効果

## インプット

・プロジェクト費用の総額 68.2億円 (5年間)

## アウトカム

### 在来型地熱発電

【環境保全対策技術開発】

【地熱発電高度利用化技術開発】

### (2030年)

- ・発電容量
- ・発電量 (年間)
- ・市場規模予測
- ・CO2削減効果

最大約1.55GW  
113億kWh  
約1兆円  
約630万ton/年

長期エネルギー需給見通し(2015年)による2030年度における導入見込量

### 次世代型地熱発電

【超臨界地熱資源技術開発】

### (2050年)

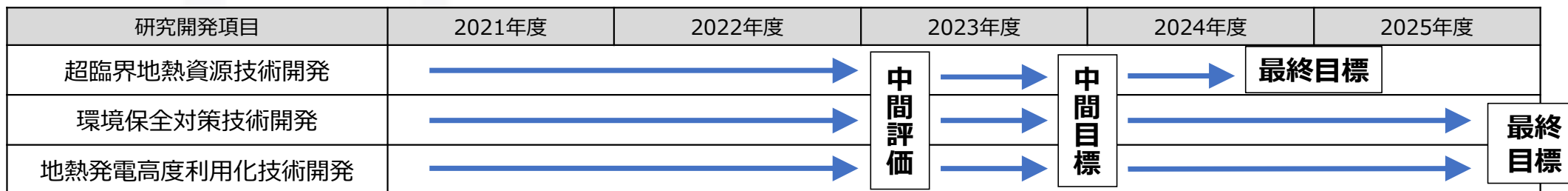
- ・発電容量
- ・発電量 (年間)
- ・市場規模予測
- ・CO2削減効果

最大約11GW  
781億kWh  
約11兆円  
約4,500万ton/年

NEDOによる全国ポテンシャル調査結果



# アウトプット(中間)目標の設定及び根拠



研究開発項目	中間目標 (2024年3月)	最終目標 (2026年3月)	根拠
超臨界地熱資源技術開発	資源量評価に必要な概念モデルを構築するとともに、数値モデルに必要な前提条件を提示する。	我が国における超臨界地熱資源量評価として、1地域あたり100MW以上(合計500MW以上)を提示し、調査井掘削に向けた実施可能な有望域を4か所選定する。	前フェーズで抽出された4地域について詳細な調査・解析を実施し、精度の高い資源量評価を実施する。
環境保全対策技術開発	最終目標達成の準備として、概念設計を完了し、実証試験の詳細計画を提示する。	環境アセスメントの手法開発として、調査・予測・評価において、新たな手法を提案し、環境アセスメントの仕様書(発電所に係る環境影響評価の手引)の改定を支援する。併せて、調査解析に係る時間とコストの削減化に向けた提案を行う。	環境アセス手続きを効率化及び最適化されるべく環境アセス手引書を改訂し、リードタイムやコスト削減を図る。
地熱発電高度利用化技術開発	最終目標達成の準備として、概念設計を完了し、実証試験の詳細計画を提示する。	これまで適用されていないIoTやAI技術等を活用することにより、生産量増大、コスト削減、利用率向上等を目指す(それぞれ10~20%)。	発電原価低減化するためには、生産量増大、コスト削減、および利用率向上が不可欠であり、それらを10~20%伸ばすことにより、採算可能な地熱資源量が3割増大するとの試算がある。

# アウトプット目標の達成状況

研究開発項目	中間目標 (2024年3月)	成果(実績) (2023年3月)	達成度 (見込み)	達成の根拠/解決方針
超臨界地熱資源技術開発	資源量評価に必要な概念モデルを構築するとともに、数値モデルに必要な前提条件を提示する。	各地域において概念モデルを構築した。それに基づき数値モデルを検討し、資源量評価を実施している。また、構想調査試錐井の検討、超臨界調査井の仕様の検討を進めている。	○ 2024年3月に達成見込み	今後1年間で概念モデルの最終版を作成し、それを基に数値モデルのアップデートやパラメータの見直しを行い、資源量の評価する目処が見ついた。
環境保全対策技術開発	最終目標達成の準備として、概念設計を完了し、実証試験の詳細計画を提示する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>数値気象モデルを用いたシミュレーション手法開発のための定量評価や計算手法整備、観測データの取得を実施。</li> <li>硫化水素モニタリング開発のため、測定器の性能評価やフィールドテストを実施し、加えて実証試験の候補地を選定した。</li> </ul>	○ 2024年3月に達成見込み	遅滞なく概念設計が進捗している。また、実証試験のための候補地選定や予備調査の実施を2023年度までに実施して、同試験の詳細計画を同年中にとりまとめる計画である。
地熱発電高度利用化技術開発	最終目標達成の準備として、概念設計を完了し、実証試験の詳細計画を提示する。	各研究開発項目において、ほぼ計画通りにデータベースの構築、データの収集、モニタリング手法の確立、ハード・ソフトの整備・開発、解析コードの開発、AIを用いたシステムの設計・開発、シミュレータの構築、センサ技術の開発、および測定器の開発・性能評価を実施。	○ 2024年3月に達成見込み	各研究開発項目においてほぼ計画通りに研究が進捗しており、目標達成が見通せることが示されている。

◎：大きく上回って達成、○：達成、△：一部未達、×：未達

## 特許出願及び論文発表

- ▶ 成果の普及に関して、NEDOは事業者に対して、技術情報流出に配慮しつつ積極的に情報発信を行うように指導している。

	2021年度	2022年度	計
特許出願（うち外国出願）	0	1 (0)	1
論文	4	9	13
研究発表・講演	23	48	71
受賞実績	0	2	2
新聞・雑誌等への掲載	0	0	0
展示会への出展	0	0	0

※2023年3月31日現在。

※NEDO成果報告会発表および、NEDO自身の件数は含まない



# 特許出願及び論文発表

## 特許出願

「超臨界地熱資源技術開発」の深部探査技術手法開発テーマ「光ファイバー-DAS」で開発した装置・方法を特許出願

特許出願：2022-170000

整理番号：P1077

提出日：2022年10月24日

特許出願人：(一財)ファインセラミックスセンター

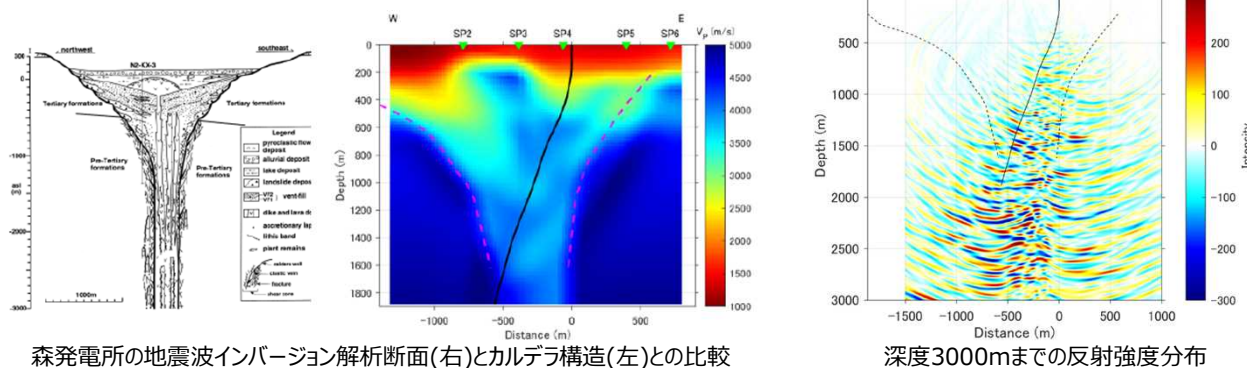
発明の名称：光ファイバの劣化評価装置および劣化評価方法



## 論文発表

「超臨界地熱資源技術開発」の深部探査技術手法開発テーマ「光ファイバー-DAS」実証試験の成果の一部を国際誌に掲載

Kasahara J. *et al.*, 2022,  
A field experiment of temperature-tolerant distributed acoustic sensor in deep geothermal reservoir prospecting.  
**The Leading Edge**, vol. 41, 306-312.



森発電所の地震波インバージョン解析断面(右)とカルデラ構造(左)との比較

深度3000mまでの反射強度分布

## 成果の普及と外部連携

イベント	参加者	内容	日程
日本地熱学会学術講演会 (東京大会) オーガナイズ ドセッション	6事業者、NEDO	地熱発電利用率向上に資する技術開発テーマの成果の普及、NEDO事業の理解促進を図った。	2022年11月9日
JOGMECと意見交換会	JOGMEC、NEDO	両組織の効率的な事業遂行のための情報共有・意見交換を実施。 <b>互いの取得データの有効活用・成果の最大化を図るべく、データ共有するための仕組みを整備。</b>	2022年3月7日 2022年5月22日 2023年1月30日
日本地熱協会と意見交換会	日本地熱協会、NEDO	両組織の事業内容について情報共有を実施。	2022年3月23日 2023年4月5日
新エネルギー財団と意見交換会	新エネルギー財団、NEDO	両組織の事業内容について情報共有を実施。	2023年3月6日

※ この他に2021, 2022年度で講演 7 件、専門誌への寄稿1件, 一般誌への寄稿 2 件、ニュースリリース6件, 新聞取材3件。



# 成果の普及と外部連携

## NEDOホームページ上での開催報告



国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

採用情報 お問い合わせ窓口 アクセス English

NEDOについて ニュース イベント 実施者募集(公募) 事業紹介 刊行物・資料 調達 検索

ホーム > ニュース > トピックス > 最近の動き (2022年11月) > 「オーガナイズドセッション：地熱発電利用率向上に関するNEDO研究開発事業」を開催

### 「オーガナイズドセッション：地熱発電利用率向上に関するNEDO研究開発事業」を開催

2022年11月15日

NEDOは11月9日、日本地熱学会が主催する「令和4年日本地熱学会学術講演会（東京大会）」にて「オーガナイズドセッション：地熱発電利用率向上に関するNEDO研究開発事業」を開催しました。

本セッションでは、2030年までに地熱発電の設備容量を最大148万kWとする導入目標に対し、最重要課題の1つである地熱発電の利用率向上に関する研究開発6テーマについて、NEDO事業者より報告があり、来場者との質疑応答も活発に行われました。



挨拶するNEDO取締役



発表の様子

## 日本地熱学会プログラム

オーガナイズドセッション OS1

地熱発電利用率向上に関するNEDO研究開発事業

日程：11月 9日（水）  
時間：15：15～17：45  
会場：A会場

コンピナー：大竹 正巳

開催趣旨  
地熱発電の導入拡大を図る上で重要となる技術開発目標のひとつとして発電原価の低減化が挙げられ、具体的には生産量増大、コスト削減、並びに利用率向上が鍵となる。特に、利用率向上は発電原価に大きく影響を与えるため、その引き上げは最重要課題と位置づけられる。そこで本セッションでは、NEDO（国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構）における地熱技術開発事業のうち利用率向上に資するものを選定し、各研究開発テーマの概要や成果、今後の計画等について報告する。

プログラム

- ①NEDOにおける地熱研究開発事業 (NEDO 大竹 正巳)
- ②在来型地熱資源における未利用酸性熱水活用技術の開発 (地熱技術開発 佐藤 真丈)
- ③酸性熱水利用に向けた地熱タービンの耐食・低付着技術の研究 (富士電機 中島 悠也)
- ④地熱発電利用率の向上に資する運転管理支援ツール：GeoShink™の開発 (電力中央研究所 中尾 吉伸)
- ⑤地熱発電持続可能性維持のためのIoT-AI技術開発（地熱発電所全体の利用率向上）の概要 (地熱技術開発 大里 和己)
- ⑥AIを利用した在来型地熱貯留層の構造・状態推定技術の開発 (産業技術総合研究所 山谷 祐介)
- ⑦新しい地殻応力測定法と地熱開発への応用 (東北大学 伊藤 高敏)

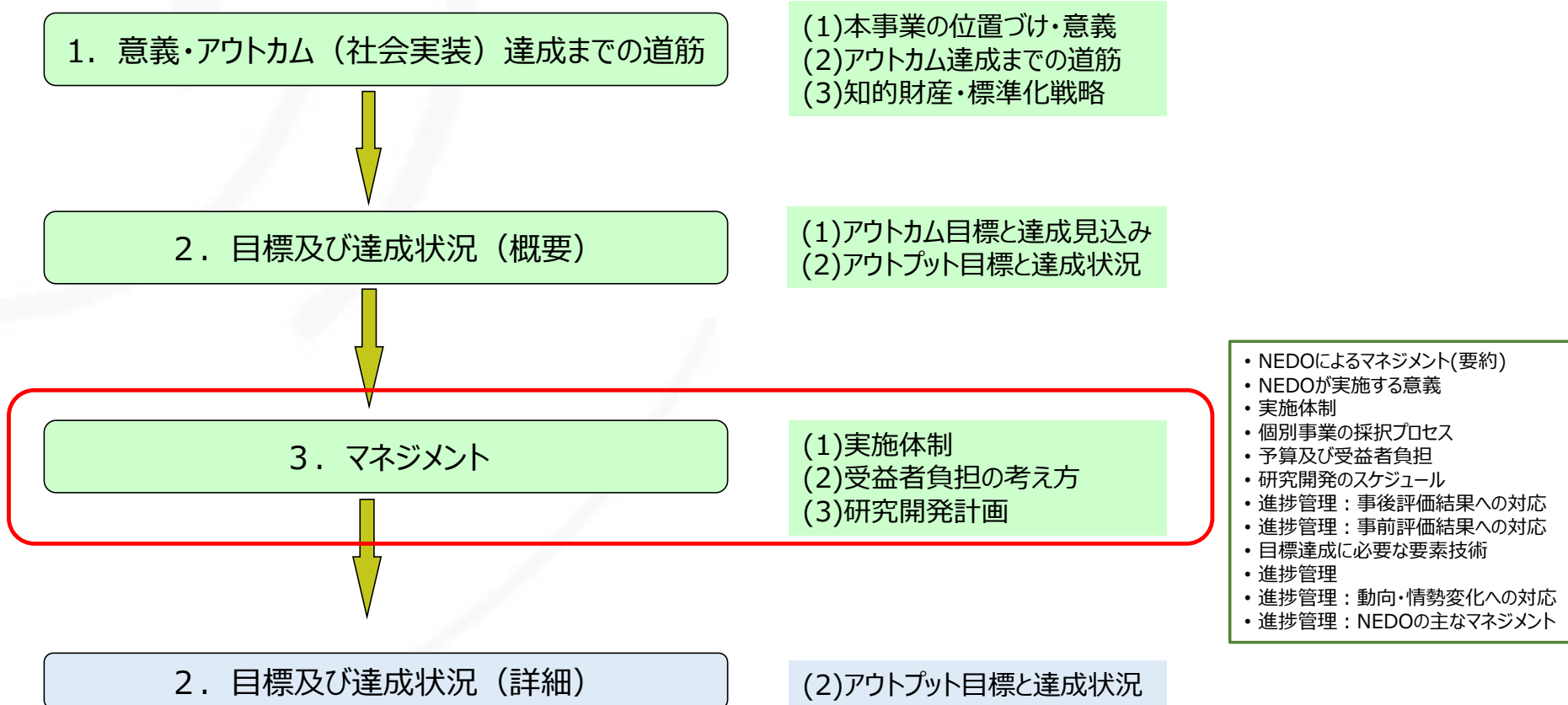
以上

## <評価項目 3> マネジメント

- (1) 実施体制
- (2) 受益者負担の考え方
- (3) 研究開発計画

< 評価項目 >

< 本資料の構成 >



## NEDOによるマネジメント（要約）

### 事業立案・方針決定

本事業の立ち上げに当たり、技術戦略策定のなかで地熱発電導入のために重要な技術開発目標を定めると共に、前事業のうち重要性・継続必要性の高い技術開発を選択・継承し、本事業の研究開発項目・実施方針を設定。

### 事業計画の見直し

超臨界地熱発電に係るロードマップの実効性を高め、2050年カーボンニュートラルに着実に貢献することを目指し、経済産業省所管部および事業者と協議・調整しながら、当初4年計画の資源量評価を3年間に短縮し、構造調査・試錐掘削を実施する計画への見直しを進めている。

### 他機関との連携

JOGMECとの意見交換を行うなかで、互いの取得データの有効活用と事業者による成果の最大化を図るべく、NEDO主導によりデータ共有する仕組みを整備。これまでに2件のデータを共有済み。

### 事業成果の普及

地熱学会においてNEDOによる固有セッションを開催し、NEDO事業の成果（製品、サービス、技術など）の社会実装に向けた普及啓発、NEDO事業の理解促進を図った。

### 進捗管理

NEDOプロジェクト担当者による事業者との密接なコミュニケーションと適切な進捗管理により、全14テーマのアウトプット（中間）目標は達成される見込み。

## NEDOが実施する意義

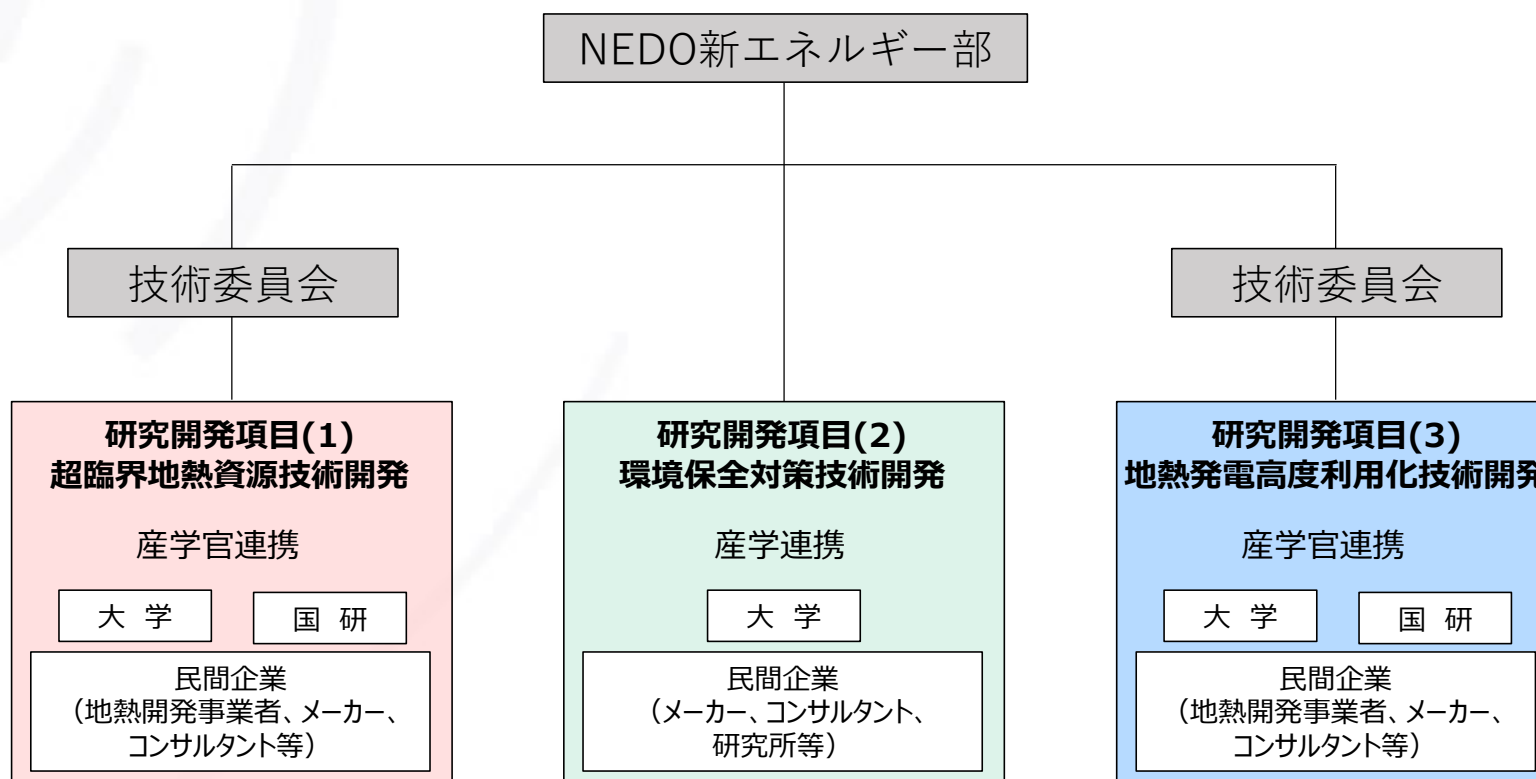
- NEDOは1980年の設立時（新エネルギー総合開発機構）から、サンシャイン計画（1974～1992年）、ニューサンシャイン計画（1993～2000年）等の下、**地熱資源探査、探査技術、坑井掘削技術、生産技術、発電システム技術などの研究開発を推進し、地熱発電の導入・促進に貢献してきた。**
- 2012年度から地熱資源探査・開発業務はJOGMECへ移管されたが、地熱利用技術開発に係る業務は引き続きNEDOが実施している。
- 2018年度からは超臨界地熱資源技術開発をスタートし、2050年商用発電の実現に向けて**超臨界地熱発電に必要な技術開発を牽引している。**



**NEDOは地熱技術開発プロジェクトの運営・管理能力を十分に有している。  
効果的・効率的な事業執行の観点から、NEDOが推進すべき事業である。**

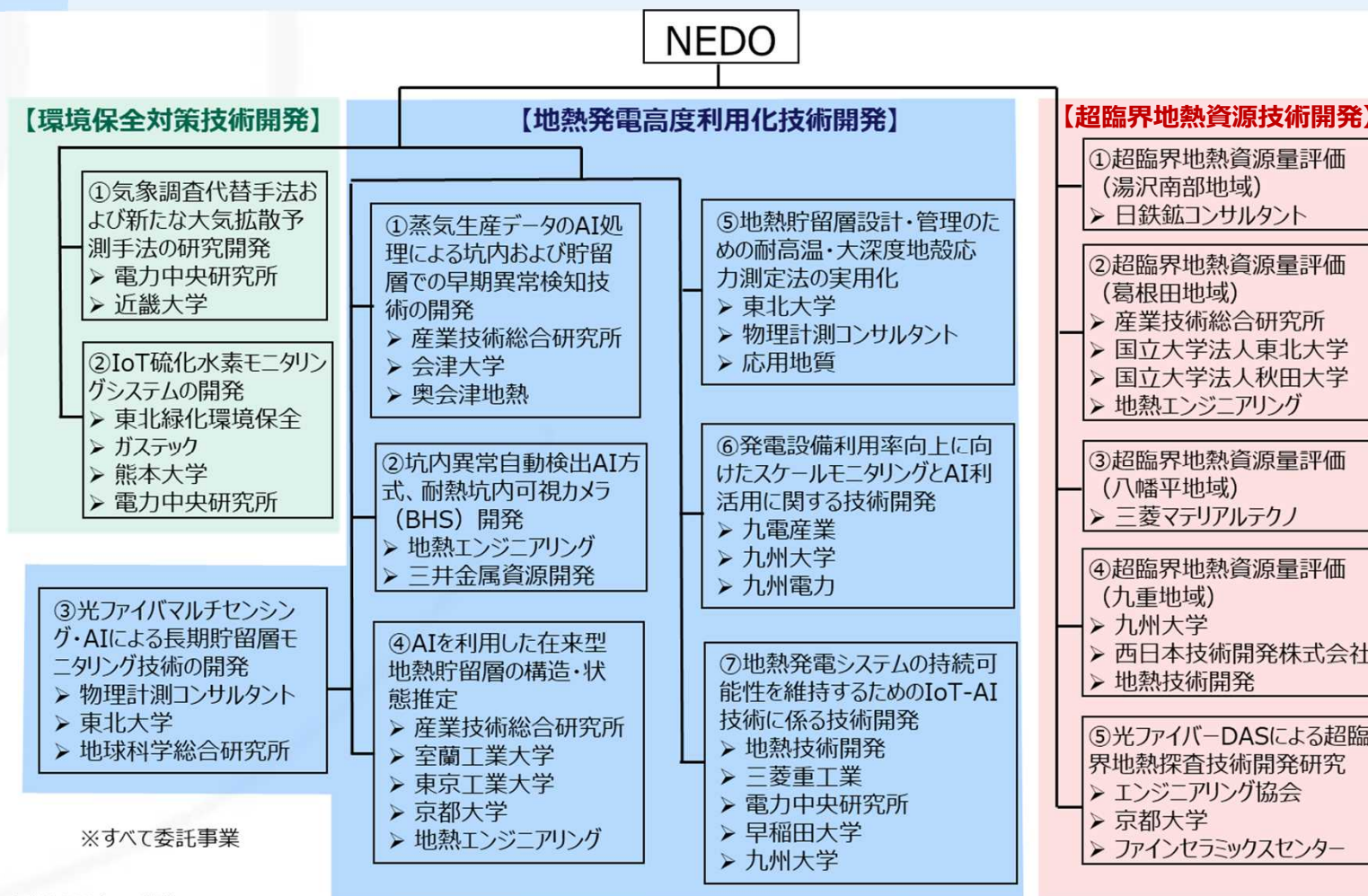
# 実施体制 (責任体制)

本事業の研究開発の実施・マネジメント体制





# 実施体制：研究開発事業の体制





# 個別事業の採択プロセス

## スケジュール

公募予告：2021年2月10日～3月24日

公募期間：2021年3月24日～5月6日（研究開発項目①-2について1者応募となったため、13日間延長）

事前書面審査：2021年4月23日～5月13日

採択審査委員会：2021年5月17日、19日

契約・助成審査委員会：2021年6月8日

## 採択・審査

- ・採択審査項目：①提案内容の評価（公募目的・目標との整合性、提案内容の妥当性、既存技術と有意性、提案の実現性）、②提案者の評価（関連分野に関する実績、開発体制の整備、必要設備の保有、人材の確保）、③成果の実用化（社会や他の技術への波及効果）の3項目を中心に評価し、5段階による採点を付けた後、各項目の重要度に応じた重み付け係数（重要度に応じて傾斜配分）を採点に乗じたもの採点結果とした。
- ・採択条件：採択した14テーマのうち、8テーマについて、実施事項の追加、体制見直し、金額の精査等について条件を付した。
- ・研究の健全性・公平性の確保に係る取組：公募の際にその他の研究費の応募・受入状況を確認し、不合理な重複及び過度の集中がないか確認した。特に同一機関が特定の研究開発項目内でNEDOとの直接的な契約を複数持つことについては排除した。

# 予算及び受益者負担

## 予算

(単位：百万円)

研究開発項目	負担割合	2021年度 (実績)	2022年度 (実績)	2023年度 (予算額)	合計
超臨界地熱資源技術開発	委託100%	406	567	372	1,345
環境保全対策技術開発	委託100%	473	188	462	1,123
地熱発電高度利用化技術開発	委託100%	180	760	320	1,260
計		1,059	1,515	1,154	3,728

## 受益者負担の考え方

地熱発電は技術開発の難易度が高く開発期間が長期であるため、民間企業のみでの実施はリスクが高いことから、委託事業とする。

# 研究開発のスケジュール

研究開発項目	FY2020	FY2021	FY2022	FY2023	FY2024	FY2025
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			構造調査試錐	
		深部探査技術手法開発				
環境保全対策技術開発		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				
地熱発電高度利用化技術開発		発電設備管理手法開発				
		貯留層管理手法開発				
評価 (事前・中間・事後)		前事業の事後評価 ▲				
		事前評価 ▲		中間評価 ▲		事後評価 ▲

「超臨界地熱資源技術開発」の2024年度・2025年度スケジュールは未確定

# 進捗管理：事後評価結果への対応

## 前事業「地熱発電技術研究開発」「超臨界地熱発電技術研究開発」の事後評価のコメントおよび対応方針・実績

	総合コメント	対応方針もしくは実績
1	数値目標を達成していくためにはNEDOの技術開発だけでなく、JOGMECの事業機会を広げていく動きとの連携が不可欠であり、いかに相乗効果を創出していくかという視点があると良い。研究開発マネジメントとして今後、JOGMECとNEDOの間で、より強い結びつきが必要。	効率的な事業遂行のための情報共有や相互理解の促進を図るべく定期的に意見交換会を実施。両組織の調査データを広く活用する目的で、データ共有を図る仕組みを作り、2件のデータ共有を実施済み。デマケや連携についての話し合いも始め、今後も意見交換会を通して相乗効果の創出を目指す。
2	2040年～2050年の長期目標に向けた一連のフェーズ達成を目標と定める中で、 <b>即実用に繋がる技術や波及効果を見出し、各段階で社会に成果還元していくことはNEDOの役割と考えられる。</b>	NEDOが実施する事業の波及効果の1つとして人材育成が考えられる。また、地熱分野の人材確保の観点からも、 <b>2050年頃の超臨界地熱の実用化を見据え、今年度より将来の超臨界地熱発電を支える人材を育成するためのプロジェクトを開始する予定。</b> 研究開発と同時並行的に人材育成を行うことで将来の社会実装をより着実なものとすることを目指す。
3	国内地熱の市場は小規模なので、海外市場や他分野市場への展開可能性を分析し、それに応じた技術改良等を実施して成果を拡大していくことを期待する。	地熱バイナリー発電運用管理支援ツール「GeoShink」は、バイオマス発電、廃熱発電等にも適用できるように開発され、広く電気事業者にアピールしている。二重コアリングツールや光ファイバーマルチセンシングは、石油・天然ガス、CCS、放射性廃棄物地層処分等の孔井への適用も視野に入れて研究開発している。
4	超臨界地熱貯留層の透水性は低いと考えられるため、持続性のある発電が実施できる資源となり得るかについて、いろいろなケースを想定し、持続的に利用可能となる条件を検討しておく必要がある。	本PJの資源量評価では、深部の透水性分布について複数パターンを想定し、各パターンでの噴気流量の時間変化を評価している。複数の貯留層圧力のパターンや複数の概念モデルを用いた資源量評価を実施している。
5	フェーズが進むにつれ、個々の技術要素が有機的に絡んで全体プロジェクトを構成する側面が増すので、次のフェーズではより一層、実施者/チーム間の情報共有を図り、柔軟な見直しを含めた研究開発マネジメントを展開してほしい。	超臨界地熱資源技術開発では、各地域間の情報共有を図り、意見交換を行うために委託先連絡会を開催（第1回：PJ全体像の共有、第2回：シミュレーション）。今年度も継続する予定。

# 進捗管理：事前評価結果への対応

## 本事業の事前評価のコメントおよび対応方針・実績

	総合コメント	対応方針もしくは実績
1	2030年のコスト低減率を明示するとともに、2050年の地熱発電電力量の目標実現にどの程度寄与するかを明確にしていきたい。	各技術開発テーマが実用化された場合の <b>発電コスト削減を予測するため、発電コストの感度分析を実施</b> した。これにより、各技術開発により期待される発電コストの削減の程度やその研究開発により開発に移行できる地点とその資源量増加効果を推測した。 <b>事業終了後5年（2030年）までに発電所の利用率向上15%が実装されれば、発電コストは最大で12%向上する</b> という結果が得られた。
2	地域共生、環境保全などを含めた様々な課題克服のための総合的な取り組みが必要である。	地域共生対策技術であるエコロジカル・ランドスケープ手法（エコランツール）は現状で4件の実績（省庁3件、地熱事業者1件）があり、今後も必要に応じてブラッシュアップされる予定である。 また、環境保全技術として大気拡散手法の検討や硫化水素モニタリング手法を前PJから継続して研究開発を実施している。
3	各個別テーマを総括し将来に向けた総合戦略の検討を期待したい。	地熱発電に関連する多くの技術開発（地域共生、環境保全、発電コスト低減、超臨界地熱）をNEDO事業の現PJおよび前PJで実施し、在来型地熱発電および将来の超臨界地熱発電に資する研究の開発を目指す。



# 目標達成に必要な要素技術 (1)

	研究段階		実証段階	商業化
	基礎 (TRL:1-3)	応用 (TRL:4-6)		
利用形態	超臨界地熱発電 (Type5*)		在来型 (フラッシュ) 発電	
	革新的地熱資源利用		EGS/高温岩体 (Type1~4*)	
			バイナリー発電	
資源量評価		THMC連成貯留層シミュレーション 貯留層性状の長期挙動予測	AI, 地球統計学的手法による資源量評価 地下深部の温度推定 超臨界対応地熱貯留層シミュレーション	広域地質学的調査 地球化学的調査 資源量概査 ・貯留層の概念モデル構築 ・貯留層シミュレーション
物理探査	ミュオンラジオグラフィ 断層構造の評価	地下透水構造評価 地下断層構造に基づいて推定 高分解能地下深部構造探査 高分解能MT法 など	反射法地震探査 断層等の精密構造の評価 空井戸を利用した弾性波探査 分解能向上・断層探査	リモートセンシング 広域重力探査 電気・電磁気探査 微小地震探査
掘削		高耐腐食性・高耐熱性を有する資機材 ケーシング, セメント, 泥水 等 坑井を高透水性亀裂と逢着させる技術 MWD/LWD技術の高度化	IoT/AIを用いた掘削工程の最適化 高傾斜掘削 MWD/LWD技術	在来型地熱開発における坑井掘削 ・ケーシングプログラム ・坑井内物理検層 ・坑井試験, 噴出還元試験 ・坑内流動シミュレーション
発電 (フラッシュ方式)	低環境負荷発電技術 全量還元	高温加熱蒸気清浄化 耐腐食性タービン/配管材料/坑口装置		フラッシュ発電設備 ・気水分離器, タービン, 発電機, 復水器等 ・シングル/ダブル/トリプル
発電 (バイナリー方式)		高効率熱交換器	低環境負荷熱交換媒体	バイナリー発電設備 ・有機ランキンサイクル ・カーナサイクル など

- : NEDO事業 (超臨界地熱資源技術開発)
- : NEDO事業 (環境保全対策技術開発)
- : NEDO事業 (高度利用化技術開発)
- : JOGMEC事業

出典 : NEDO(2021) TSC Foresight, vol.106.

# 目標達成に必要な要素技術 (2)

	研究段階		実証段階	商業化
	基礎 (TRL:1-3)	応用 (TRL:4-6)		
利用形態	超臨界地熱発電 (Type5*)		在来型 (フラッシュ) 発電	
	革新的地熱資源利用		EGS/高温岩体 (Type1~4*)	
			バイナリー発電	
操業・貯留層管理		<div style="border: 1px solid red; padding: 2px;">酸性流体対策</div> <div style="border: 1px solid blue; padding: 2px;">スマートレーサー技術</div> <div style="border: 1px solid red; padding: 2px;">THMC連成貯留層シミュレーション</div>	<div style="border: 1px solid blue; padding: 2px;">貯留層への適量注水</div> <div style="border: 1px solid blue; padding: 2px;">IoT/AIを用いた発電所の操業・管理最適化</div> <div style="border: 1px solid blue; padding: 2px;">IoT/AIを用いた貯留層管理</div> <div style="border: 1px solid blue; padding: 2px;">スケール付着抑制</div>	<div style="border: 1px solid blue; padding: 2px;">発電プラントの性能モニタリング/遠隔監視</div> <div style="border: 1px solid blue; padding: 2px;">温度・圧力測定等を通じた貯留層モニタリング</div>
EGS関連	<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">高温環境下での亀裂開口保持</div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">CO<sub>2</sub>ガスフラグリング</div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">マグマ発電</div>	<div style="border: 1px solid red; padding: 2px;">THMC連成貯留層シミュレーション</div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">加圧区間限定</div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">耐熱バッカー</div>	<div style="border: 1px solid blue; padding: 2px;">水圧破砕・透水性改善</div> <div style="border: 1px solid blue; padding: 2px;">深部地殻応力測定</div> <div style="border: 1px solid blue; padding: 2px;">光ファイバーセンシング</div>	
環境影響評価		<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">温泉影響評価</div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">誘発地震リスク評価</div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">THMC連成解析</div>	<div style="border: 1px solid blue; padding: 2px;">AI/IoTを用いた温泉モニタリング</div> <div style="border: 1px solid green; padding: 2px;">硫化水素モニタリング</div> <div style="border: 1px solid green; padding: 2px;">エコロジカル・ランドスケープデザイン</div>	<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">微小地震モニタリング</div>
次世代地熱資源利用	<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">苦鉄質岩の地下環境を利用した二酸化炭素固定技術</div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">ジオリアクター</div>	<div style="border: 1px dashed purple; padding: 2px;">二酸化炭素循環型地熱発電技術</div> <div style="border: 1px solid blue; padding: 2px;">地殻流体中の有用/希少物質回収技術</div>		

- : NEDO事業 (超臨界地熱資源技術開発)
- : NEDO事業 (環境保全対策技術開発)
- : NEDO事業 (高度利用化技術開発)
- : JOGMEC事業

出典 : NEDO(2021) TSC Foresight, vol.106.

# 進捗管理

## 外部有識者による進捗管理

	参加者	目的	日程
技術委員会 (超臨界地熱資源)	外部有識者, 関係事業全テーマ実施者, NEDO	各テーマの進捗確認や研究の方向性について助言等をいただく	2022年2月17日 2022年12月16日
技術委員会 (高度利用化技術)	外部有識者, 関係事業全テーマ実施者, NEDO	各テーマの進捗確認や研究の方向性について助言等をいただく	2022年3月17日 2023年1月19日

## NEDOにおける進捗管理

	参加者	目的	日程
事業報告会 (環境保全対策技術)	関係事業全テーマ実施者, NEDO	各テーマの進捗確認や研究の方向性について助言等をいただく	2022年3月24日 2023年2月14日
委託先連絡会 (超臨界地熱資源)	関係事業全テーマ実施者, NEDO	地域間の情報共有を図り、意見交換を行う (第1回: PJ全体像, 第2回: シミュレーション)	2021年12月21日 2022年7月29日
進捗確認	開発事業の各テーマ実施者, NEDO	個別テーマの進捗状況の確認	適宜

## 進捗管理：動向・情勢変化への対応

▶ 事業者との意見交換や情報収集等により地熱開発や研究開発の動向・情勢の把握を行い、マネジメントに活かしている。

・2021年策定の「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」では、2050年頃の商用発電に向けた超臨界地熱発電のロードマップが示された。2021年の「第6次エネルギー基本計画」では地熱発電のさらなる導入拡大が期待されている。また、2022年11月エジプトで開催されたCOP27では、パリ協定で定めた目標の重要性の再確認や国別目標の強化が決定された。

☞このような状況を受け、「**超臨界地熱資源技術開発**」のうち**4地域の資源量評価**については、2021年度から2024年度までの**4年間での計画であったところを2023年度までの3年間に前倒しで完了させる計画に見直し**を行い、2050年のカーボンニュートラルに着実に貢献することを目指す。

・AIの分野は、新しい手法の開発や技術革新のスピードが他の分野と比べると速い。「地熱発電高度利用化技術開発」のテーマ「AIを利用した在来型地熱貯留層の構造・状態推定」では、温度構造を推定するAIとして、一般的手法である「畳み込みニューラルネットワーク」を用いて開発を進めていた。

☞これに対して、データの絶対数が少ない地熱における新たなAIのアプローチとして、深層学習の中でも物理法則を制約条件として考慮することが可能な「**物理法則に基づくニューラルネットワーク**」の導入を試みている。これは**様々な分野で適用が研究されている先進的なアルゴリズム**であり、**地熱の特性に合致した手法として、より精度の高い結果が得られることが期待される。**

# 進捗管理：NEDOの主なマネジメント（1）

## 超臨界地熱資源技術開発（1）

テーマ	インプット	アウトプット
(1)-1 超臨界 (湯沢南部)	<p><b>追加予算措置</b>により、以下を実施。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・補完地表調査におけるHi-net観測データ等を用いた速度構造インバージョン解析の実施。</li> <li>・資源量評価における坑井および坑井近傍地層中の超臨界から亜臨界遷移領域の詳細検討の実施。</li> <li>・調査井における材料の局部腐食に関する検討およびドローンによる掘削地点の測量。</li> </ul>	<p><b>概念モデル、資源量評価、掘削仕様検討の精度を向上。</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・低比抵抗領域と速度構造の合理的解釈により概念モデルを精緻化。</li> <li>・坑井近傍における超臨界挙動の詳細検討結果をシミュレーション結果に反映。</li> <li>・調査井仕様検討における精度向上および掘削費用の精査が可能。</li> </ul>
(1)-2 超臨界 (葛根田)	<p><b>追加予算措置</b>により、以下を実施。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・反射法探査および微小地震モニタリング</li> <li>・自然状態、生産シミュレーション</li> <li>・調査井仕様検討および掘削時HSE（衛生・安全・環境）評価</li> <li>・坑井設計シミュレーションソフトおよび坑内機器模型作成用3Dプリンタの購入。</li> </ul>	<p><b>研究開発期間を当初予定より1年短縮。</b></p> <p><b>概念モデルの精緻化による資源量推定精度の向上、掘削関連費用の精緻化、掘削候補地・掘削ターゲットの明確化による課題抽出と対策検討、掘削費用の精度向上。</b></p>
(1)-3 超臨界 (八幡平)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・委託調査「超臨界地熱流体の特性に関する調査」の実施者を交えた打合せを実施。</li> <li>・JOGMECより物理探査（重力、MT）データを提供（手続き中）。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地熱流体の供給、貯留層の形成、貯留層の概念モデル構築に寄与。</li> <li>・地質構造モデルを精緻化。</li> </ul>



## 進捗管理：NEDOの主なマネジメント（2）

### 超臨界地熱資源技術開発（2）

テーマ	インプット	アウトプット
(1)-4 超臨界(九重)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・JOGMEC-NEDO間でのデータ共有の仕組みを構築し、同地域での調査データを共有化。</li> <li>・火山学的知見からの地熱資源解明へのアプローチとして委託調査「超臨界地熱流体の特性に関する調査」事業を実施。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地化学データの補強により、地熱系モデルの精緻化に寄与。</li> <li>・現状未解明の超臨界地熱流体の起源、水分量の推定に寄与することが期待される。</li> </ul>
(1)-5 光ファイバーDAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実証試験フィールドを確認すると共に、地熱事業者への試験結果報告、実施予定地の地熱事業者への説明会に同行。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実証試験の進捗確認、課題共有、地熱事業者が実証技術に求めるポイントや課題に対するコメントを直接確認。</li> </ul>

### 環境保全対策技術開発

テーマ	インプット	アウトプット
(2)-1 大気拡散予測	<ul style="list-style-type: none"> <li>・追加予算措置により、着氷予測手法高度化のためのモデル開発に必要な検証用データ（着氷厚さの直接計測値）取得のための氷雪検知センサーを購入。</li> <li>・解析用ワークステーションを前倒しで購入。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・画像解析による測定誤差の大幅減少（10分の1以下）、検証用データ取得頻度の増加（時間毎→秒毎）により、予測モデルの改良・精緻化（10倍程度）を実現。</li> <li>・試作モデル開発の早期化、地上風速予測の精度向上に寄与。</li> </ul>
(2)-2 硫化水素モニタリング	<ul style="list-style-type: none"> <li>・環境アセスメント手引き改定に向けた省庁（経済産業省電安課、環境省環境影響評価課）への説明。</li> <li>・硫化水素測定器開発を含む環境保全対策技術開発のPR動画作成。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・手引き改定に向けた課題整理と関係省庁部署との関係を構築。</li> <li>・セミナー会場での放映やNEDOチャンネル（Youtube）で公開することで、NEDO成果の普及促進を図る。</li> </ul>

# 進捗管理：NEDOの主なマネジメント（3）

## 地熱発電高度利用化技術開発

テーマ	インプット	アウトプット
(3)-1 早期異常検知	追加予算措置により、高速計算が可能なワークステーションを導入。	AIの開発と評価を同時並行して迅速に行える体制が整い、事業の目標を上方修正。
(3)-2 BHSカメラ	耐熱坑内可視カメラの開発に関して、構成事業者の専門外である伝熱機器設計の専門家にヒアリングを実施。	課題となっていた耐熱坑内可視カメラの耐熱性向上のための知見を得ることで、詳細設計に反映。
(3)-3 光ファイバマルチセンシング	事業者との定期的なディスカッションの実施。	研究の進捗状況と課題を都度確認し、研究の方向性や手法を把握。
(3)-4 AI利用在来型地熱貯留層	<b>実施内容がサイエンスの視点に寄っていることから、利用者・実用性の観点に沿う研究となるよう軌道修正を促す。</b>	現場ニーズに即した研究開発へ方向を修正することで、 <b>実用化を見据えた成果が得られると期待できる。</b>
(3)-5 大深度地殻応力測定	追加予算措置により、方位測定装置を購入。	汎用品を改良することで開発期間を短縮し、高温対応性能が達成できる確度が高まったことで、高い事業成果が期待できる。
(3)-6 スケールモニタリング	実証試験現場の確認、事業者との定期的な意見交換・議論、進捗確認。	今後の課題を整理すると共に、これまで曖昧だった最終目標に対するアプローチを具体化した。
(3)-7 IoT-AI技術開発	<b>事業者ニーズを探るための発電事業者・デベロッパーとの意見交換会をNEDOが調整・実施。</b>	事業者の意見・要望を反映した、 <b>実用化を見据えた研究開発内容の深掘りに寄与。</b>

# 概要

		最終更新日	2023年4月26日
プロジェクト名	地熱発電導入拡大研究開発 地熱・地中熱等導入拡大技術開発事業	プロジェクト番号	P21001
担当推進部/ PMまたは担当者 及びMETI担当課	<p>【新エネルギー部】</p> <p>PM：主任研究員／加藤 久遠（2021年4月～2022年3月）            PM：主査／大竹 正巳（2022年4月～現在）            SPM：主査／長谷川 真美（2021年4月～現在）            PT：主査／和田 圭介（2021年4月～2021年12月）            PT：主査／石川 一樹（2021年4月～現在）            PT：主査／本田 洋仁（2021年7月～現在）            PT：主査／長田 和義（2022年1月～現在）</p> <p>【経済産業省】</p> <p>資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部 新エネルギー課（2021年4月～現在）            産業技術環境局 エネルギー・環境イノベーション戦略室（2021年4月～2022年3月）            資源エネルギー庁 資源・燃料部 政策課（2022年4月～現在）</p>		
0. 事業の概要	<p>本事業では、国立・国定公園特別地域での地熱開発を含め、地熱発電の導入拡大を促進することを目的とし、2030年のエネルギーミックス実現に向けて、我が国の地熱発電設備容量最大1.55GWの達成を図るとともに、次世代のイノベーション技術として注目される超臨界地熱資源を対象とした地熱資源評価に係る研究開発を実施し、より一層の地熱発電の導入拡大を促進する。</p>		
1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋			
1.1 本事業の位置付け・意義	<p>(1) 政策・施策における位置づけ</p> <p>近年、温室効果ガスの排出量削減に対して多方面での対策が議論されている中、2015年12月にCOP21（パリ協定）において、2030年並びに2050年に向けた各国での削減目標が策定された。我が国では、2018年7月に第5次エネルギー基本計画が閣議決定され、再生可能エネルギーの主力電源化とそのための同電源に対する発電原価低減化が喫緊の課題として提言された。このような状況の中、再生可能エネルギーの一つである地熱は、ベースロード電源としての特徴を有し、大規模開発では競争力のある電源として位置づけられ、その導入拡大が期待されている。</p> <p>2012年7月には再生可能エネルギーの固定価格買取制度が施行され、地熱では、15MW未満では40円/kWh、15MW以上では26円/kWhという買取価格が設定され、地熱開発事業者にとって、一定の採算性が確保されるに至った。また、2021年6月には「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」が策定され、2050年に向けて成長が期待される14の重点分野（エネルギー、輸送・製造、家庭・オフィス等）が選定されエネルギー分野の一つとして地熱発電の課題・取り組みが示された。加えて2021年10月には第6次エネルギー基本計画が閣議決定され、地熱発電の2030年度における導入見込量として最大で約148万kW（2021年度実績59.3万kW）、発電電力量68億kWh（2021年度実績28億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。</p> <p>(2) NEDOが実施する意義</p> <p>NEDOは1980年の設立時（新エネルギー総合開発機構）から、サンシャイン計画（1974～1992年）、ニューサンシャイン計画（1993～2000年）等の下、地熱資源探査、探査技術、坑井掘削技術、生産技術、発電システム技術などの調査・研究開発を推進し、地熱開発の導入・促進に貢献してきた。2012年度から地熱資源開発・調査業務はJOGMECへ移管されたが、地熱利用技術開発に係る業務は引き続きNEDOが実施している。また、2018年度からNEDOは超臨界地熱資源技術開発をスタートし、2050年頃の実用化に向けて超臨界地熱発電に必要な技術開発を牽引している。</p> <p>以上のことから、NEDOは地熱技術開発プロジェクトの運営・管理能力を十分に有している。また、効果的・効率的な事業執行の観点から、本事業はNEDOが推進すべき事業である。</p>		
1.2 アウトカム達成までの道筋	<p>(1) 2050年頃に普及を目指す超臨界地熱資源を活用した地熱発電所による推定資源量11GWと、これによるCO<sub>2</sub>削減量は約4,500万トン-CO<sub>2</sub>/年というアウトカムの達成に対して、以下のような道筋を計画している。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・2021～2023年度：主要な4地域における超臨界地熱資源量の評価。併せて、構造調査試錐井および調査井の掘削の検討や経済性の評価を実施。</li> <li>・2024～2025年度：2023年度までの検討結果を基にして構造調査試錐井を掘削。</li> </ul>		

	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2026～2030 年度：2024～2025 年度に掘削した構造調査試験井で得られた地下データ（温度、地質等）を参考にして高精度な資源量評価を実施。そしてこれら地下データを参考にして調査井を掘削。更に同坑井で噴気試験を実施することにより、詳細な資源量を評価。</li> <li>・2030～2050 年度：発電所建設に向けて地上設備の検討と実証試験を実施。併せて、超臨界有望地域において国主導により資源調査を実施。この結果を参考にして民間により資源調査・開発を実施して、2050 年頃のアウトカムの達成を目指す。</li> </ul> <p>(2)2030 年頃に目指す最大で約 1.55GW の発電容量と、これによる CO<sub>2</sub>削減量約 630 万トン-CO<sub>2</sub>/年というアウトカムの達成に対して、以下のような道筋を計画している。</p> <p>(2)-1. 環境保全対策技術</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・2021～2025 年度：硫化水素測定器および気象モデリング手法の検討。</li> <li>・2026～2030 年度：2025 年度まで検討した結果を基に環境アセス手法の最適化を達成させ、手法のマニュアル化、および硫化水素測定器の商品化等により 2030 年頃のアウトカムの達成を目指す。</li> </ul> <p>(2)-2. 高度利用化技術</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・2021～2025 年度：貯留層管理および設備管理の最適化を実施。</li> <li>・2026～2030 年度：2025 年度までの成果により発電量増加、コスト削減、および利用率向上のアウトプット目標を達成する。その後、手法のマニュアル化、貯留層管理ツール・設備管理ツールの商品化等により 2030 年頃のアウトカムの達成を目指す。</li> </ul>
<p>1.3 知的財産・標準化戦略</p>	<p>オープン/クローズ戦略の現状における考え方を以下にまとめる。</p> <p>(1) 公開・非競争域 環境アセスメントを効率化する新たな硫化水素測定手法や、気象調査代替手法及び新たな大気拡散予測手法については、手法マニュアルの作成や環境アセスメントの手引への反映を目指し、広く成果を公開する。</p> <p>(2) 公開・競争域 光ファイバの劣化評価装置および劣化評価方法や、地殻応力測定法のうちコア採取の装置および方法、および AI による有望領域推定技術について、特許として権利化を図っている。</p> <p>また、標準化については超臨界地熱発電技術について以下のように考えている。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・日本企業は、超臨界地熱用（高温、高圧、強酸性に対する耐性を持つ）ケーシング材、セメント材の開発に世界に先駆けて取り組んでいる。一方、超臨界地熱発電の実用化に向けては、適地での試掘を実施することが重要なフェーズである。このため、調査井での試験などができるタイミングで、標準化に関する議論を実施（資機材の評価など）する予定である。</li> </ul>
<p>2. 目標及び達成状況</p>	
<p>2.1 アウトカム目標及び達成見込み</p>	<p>(アウトカム目標)</p> <p>2030 年頃に、地熱発電所の平均利用率並びに発電原価を、現状よりそれぞれ 20%pt 向上並びに低減化し、最大で約 1.55GW の発電容量、および 11TWh の発電量の達成が見込まれる。これによる CO<sub>2</sub>削減量は、約 630 万トン-CO<sub>2</sub>/年である。さらに、2040～2050 年頃に、超臨界地熱資源を活用した地熱発電所(100M W 級を 5 カ所)の普及を目指す。推定資源量は、11GW と試算され、これによる CO<sub>2</sub>削減量は、約 4,500 万トン-CO<sub>2</sub>/年である。</p> <p>(達成度)</p> <p>各研究開発項目は 2023 年 3 月現在、概ね計画通りに進行しており、アウトカム目標の達成に向けて順調に推移している。</p>
<p>2.2 アウトプット目標及び達成状況</p>	<p>1. 事業全体</p> <p>研究開発項目 (1) 「超臨界地熱資源技術開発」 (中間目標) 資源量評価に必要な概念モデルを構築するとともに、数値モデルに必要な前提条件を提示する。 (成果) 各地域において概念モデルを構築した。それに基づき数値モデルを検討し、資源量評価を実施している。また、構想調査試験井の検討、超臨界調査井の仕様の検討を進めている。</p> <p>研究開発項目 (2) 「環境保全対策技術開発」 (中間目標) 最終目標達成の準備として、概念設計を完了し、実証試験の詳細計画を提示する。 (成果) 数値気象モデルを用いたシミュレーション手法開発のための定量評価や計算手法整備、観測データの取得を実施。また、硫化水素モニタリング開発のため、測定器の性能評価やフィールドテストを実施し、加えて実証試験の候補地を選定した。</p>

研究開発項目 (3) 「地熱発電高度利用化技術開発」

(中間目標)

最終目標達成の準備として、概念設計を完了し、実証試験の詳細計画を提示する。

(成果)

各研究開発項目において、ほぼ計画通りにデータベースの構築、データの収集、モニタリング手法の確立、ハード・ソフトの整備・開発、解析コードの開発、AI を用いたシステムの設計・開発、シミュレータの構築、センサ技術の開発、および測定器の開発・性能評価を実施。

2. 個別テーマ

研究開発項目 (1) 「超臨界地熱資源技術開発」

(1) -1. 超臨界地熱資源量評価 (湯沢南部地域)

(中間目標)

補完地表調査などの結果を追加情報として、既存の地熱系概念モデルを改善するとともに、同概念モデルを再現しうる数値モデルを複数比較検討し、必要な前提条件を提示する。

(成果)

高松岳南部の標高-2000m 以深に深部低比抵抗域を精度良く推定した。微小地震観測はまだデータが少ないが震源空白域が深部低比抵抗域と重なる傾向を捉えている。これらの結果と既存調査データとを統合し、概念モデルを構築した。

この概念モデルに基づく自然状態シミュレーションにおいて、既存坑井データや地表地熱兆候に対し精度高く再現された。生産量予測については現在検討中であり、100MW を安定維持するケースを検討中である。

(1) -2. 資源量評価 (葛根田地域)

(中間目標)

補完地表調査などの結果を追加情報として、既存の地熱系概念モデルを改善するとともに、同概念モデルを再現しうる数値モデルを複数比較検討し、必要な前提条件を提示する。

(成果)

高密度 MT 法探査、地質学的情報の再コンパイル結果などを追加情報として、既存の地熱系概念モデルを改善し、資源量評価に必要な超臨界地熱システムの概念モデル初版を同定した。また、資源量評価シミュレーションに必要な物性値の決定法を確定した。

上述の概念モデル初版をもとに数値計算モデルを作成し、自然状態シミュレーションを実施し、坑井温度プロファイルと一定の整合性を有する温度分布を得た。また、上述の超臨界地熱貯留層初版を数値モデル化し、この貯留層から 100MW 以上の発電を実現可能であることを示した。

(1) -3. 超臨界地熱資源量評価 (八幡平地域)

(中間目標)

補完地表調査などの結果を追加情報として、既存の地熱系概念モデルを改善するとともに、同概念モデルを再現しうる数値モデルを複数比較検討し、必要な前提条件を提示する。

(成果)

MT 法電磁探査によって抽出された推定熱源岩体 (深部低比抵抗帯) の分布形状から概念モデルを構築した。MT 法電磁探査に加えて微小地震観測・重力探査の結果も、超臨界領域の分布を示唆している。

この概念モデルをもとに数値モデルを作成した。そのひとつである溶融モデル (熱伝導モデル) で従来型地熱貯留層 (安比地域) を再現可能であることを確認した。これを基に新たな数値モデル「中間モデル」を作成し、未知の部分も含め幅広く検討可能とした。そして中間モデルによる資源量の試算を行った。

(1) -4. 超臨界地熱資源量評価 (九重地域)

(中間目標)

補完地表調査などの結果を追加情報として、既存の地熱系概念モデルを改善するとともに、同概念モデルを再現しうる数値モデルを複数比較検討し、必要な前提条件を提示する。

(成果)



補完地表調査を行い、新しい知見を取り込んだ超臨界地熱システム概念モデルの初版を構築した。また、岩石物理モデルに基づく、貯留層相当領域の浸透率推定を評価する手法の検討を開始した。  
上述の概念モデルに基づいた初期数値モデルを構築し、自然状態シミュレーションを実施している。

(1) -5. 光ファイバーDASによる超臨界地熱資源探査技術開発

(中間目標)

- ①国内外の地熱フィールドにおいて空間的に1 km程度の範囲で地熱貯留層を推定する汎用的手法を開発する。探査する上での注意点、条件などを抽出する。
- ②観測システムの最適化に貢献できるような理論的観測波動場推定手法を開発する。実際の解析において得られるDASデータから地下構造を推定するための理論DAS波形計算法、全波形インバージョン法、S波利用法をまとめる。
- ③光ファイバーの超臨界水環境下(目標400°C)での損傷度評価技術を確立するとともに、DAS用センシング構成要素モデルの耐久性評価手法を確立する。

(成果)

- ①森、澄川、滝上、木地山での実施により極めて本方法の有効性が確認できた。
- ②得られた結果が発電所の保有するデータおよび既存解釈と整合性を持っている。光ファイバーの入射地震波に対する応答を検出可能であることを確認した。
- ③ポリイミド被覆、金属被覆ファイバーについて、超臨界水/亜臨界水中での損傷度評価を実施しそのメカニズムを明らかにした。また、センサーデバイス内の雰囲気が重要であることを明らかにした。

研究開発項目 (2) 「環境保全対策技術開発」

(2) -1. 気象調査代替手法および新たな大気拡散予測手法の研究開発

(中間目標)

- ①2~4地点の地熱発電所における既存のアセスデータを対象として、気象モデルによる再現計算を実施し、モデルの再現精度を定量的に評価するとともに、精度向上に向けた課題抽出を行う。気象モデルとCFDモデルの結合モデルによるダウンスケーリング手法、および、データ解析に基づく地上風速予測手法について、ベースとなるモデルを完成させる。
- ②着氷予測モデルに地形影響を考慮できる機能を追加し、予測精度の評価を行う。また、24時間平均着氷成長率について従来モデルよりも高い予測精度を目指す。

(成果)

- ①4地点の地熱発電所における既存のアセスデータを対象として、山間部における気象モデル再現精度の定量評価を実施。地上風速の過大評価傾向が見られたが、モデル設定の最適化により改善の見込みが得られた。また、気象モデルとCFDモデルの融合モデルを整備し、機械学習による複雑地形上の地上風速予測手法を整備した。
- ②地熱発電所を対象とした着氷観測を実施し、着氷予測モデルの検証用データを取得した。

(2) -2. IoT 硫化水素モニタリングシステムの開発

(中間目標)

- ①以下の性能の実現を目標として、室内における小型連続測定器の実証機の性能評価試験を実施する。

【基本性能】

- ・検出限界：0.01 ppm 以下
- ・指示精度：±0.01 ppm 以内(試験ガス濃度:約0.11 ppm)、±10 %以内(試験ガス濃度:約1.00 ppm)

【使用環境を想定した温度、湿度による影響試験】

- ・測定値の変化：±0.01 ppm 以内
- ②低濃度領域測定器については、以下の性能を目標として試作機を製作する。

- ・検出限界：0.004 ppm
- ・バッテリー駆動：6時間以上

- ③地熱発電所などを実験フィールドとし、新しい硫化水素測定手法ガイドラインの案に基づく実証試験の詳細な計画をとりまとめる。

(成果)

- ①実証機プロトタイプ2台で現地試験等により性能確認を実施中。性能評価用の装置を組立て動作テストを実施し課題を抽出済み。
- ②装置化前段階で2022年11月にフィールドテストを実施し、目標をクリア。
- ③予備調査を実施し候補地の選定を完了(地熱発電所1箇所、温泉地1箇所)。

研究開発項目 (3) 「地熱発電高度利用化技術開発」

(3) -1. 蒸気生産データの AI 処理による坑内および貯留層での早期異常検知技術の開発  
(中間目標)

- ①過去の生産記録、トラブル記録、貯留層データの収集、フォーマット変換を終了する。
- ②蒸気生産量異常検出、原因推定 AI の開発を終了する。  
シミュレーションを通じて生産異常の 70%程度を事前・もしくは早期検知可能であり、事前・早期検知した異常の 70%以上について原因を提示できることを示す。
- ③奥会津地熱株式会社が運用している坑井データ監視・記録システムで運用可能にするためのコーディングおよび必要なハードウェアのコア部分の設計・開発を終了する。

(成果)

- ①過去の生産記録、トラブル記録、貯留層データの収集、フォーマット変換を終了した。
- ②蒸気生産量異常検出、原因推定 AI のコア部分の開発を終えた。シミュレーションにより生産異常の 80%以上について事前・早期検出が可能であることを示した。典型的異常について原因との関連を示すデータベースを構築した。
- ③AI システムの仕様を策定し、コア部分の開発を開始した。奥会津地熱株が運用中の坑井データ監視・記録システムで使用可能にするためのハード・ソフトの整備を終了した。

(3) -2. 坑内異常自動検出 AI 方式、耐熱坑内可視カメラ (BHS) 開発  
(中間目標)

- ①200℃・2,000m 程度の環境下での坑内画像が取得可能で、VGA 以上の画像分解能（焦点での分解能 0.5mm 以下）を持つ BHS が開発されていること。
- ②浮遊物等のノイズを除去できる画像鮮明化処理が可能で 3 次元フィルタをはじめとするシステムのプロトタイプが完成し、浮遊物ノイズ等が除去されて、坑壁画像が視認できる状況に改善されていること。
- ③過去のデータの学習が完了した画像処理システムのプラットフォームが完成し、健全な状態にあるケーシングの継ぎ目が 100%検出でき、スケール付着状況が画面上で検出されるシステムであること。

(成果)

- ①200℃、2,000m 程度の環境下で 2.5 時間程度作業可能な測定器が開発できた。
- ②かすみ除去・2 次元及び 3 次元ノイズフィルターを組み合わせることで画像鮮明化を実現した。
- ③前方視について AI による学習の実施し、正常・スケール付着について正答率 77%のシステムを開発した。

(3) -3. 光ファイバマルチセンシング・AI による長期貯留層モニタリング技術の開発  
(中間目標)

- ①調査した高温用光ファイバケーブルの性能を評価し、温度・圧力・振動・流量を計測できるマルチセンシングシステムの実現性を確認する。特に、圧力・流量に関しては、それぞれ 2 つの異なる手法による性能を評価し、2024 年度以降の開発の方針を策定する。
- ②光ファイバケーブルに損傷・断線・変形等を与えることのない降下・設置手法と確実な坑口シール方法を提案する。
- ③AI-IoT システムのプロトタイプを完成させる。技術者の習熟度によらず、一定条件で迅速かつ安定的なイベント検出または監視が長期にわたり可能な AI-IoT システムの概念を実証する。

(成果)

- ①高温用光ファイバケーブルを入手し、その特性と性能を評価した。また、室内およびフィールド実験においてマルチセンシングシステムの実現性を確認した。また、試作や室内実験を行い、それぞれの手法における性能を評価し、以後の開発方針を決定した。
- ②降下・設置技術を調査し、目的に合った手法を選定した。また、降下・設置条件に合った設置器具および坑口装置を選定した。
- ③坑井内 DAS による AE 観測データからのイベント検出作業の機械化による効率改善を確認した。また、遠隔監視システムのプロトタイプを試作した。

(3) -4. AI を利用した在来型地熱貯留層の構造・状態推定  
(中間目標)

- ①坑井、地表地質、地理情報、物理探査データ等から AI の手法により温度分布および高透水性領域の分布を推定可能にする。特に、温度については、15%以下の誤差で推定する。

②地下 2～3km の 2 次元および 3 次元比抵抗構造について、従来手法よりも高い空間分解能を持つ解析方法を開発し、それに基づいた構造解析コードを作成する。

(成果)

①坑井、地表地質、地理情報、物理探査データ等から温度分布を推定する AI を開発し、人工データに対し 15%以下の誤差で推定した。また、画像認識により開発有望領域（高透水性領域）の分布を推定可能な手法を開発した。

②スパースモデリングによる 2 次元比抵抗逆解析コードの開発を完了し、最適化パラメータの検討を実施した。また、3 次元解析コードの一部となる順解析部分のコード開発を完了した。

(3) -5. 地熱貯留層設計・管理のための耐高温・大深度地殻応力測定法の実用化

(中間目標)

①250℃以上の耐熱性能があり、2.5 km 以上の深度で 2 個以上の応力記録コアを連続的に採取できる方法を具体化する。これに基づいて実証試験の詳細計画を提示する。

②方位の時間変化を内蔵メモリに記録でき、250℃以上の耐熱性能を有する方位測定器を開発する。また、測定器が耐えられる温度と保持時間の関係を明らかにする。

③現実に即した断裂型貯留層の構造モデルを決定する。

(成果)

①改良ロッド型ツールを製作して地表から掘削した実坑井および神岡鉱山の坑道に掘削した実坑井での動作試験に成功した。また、ワイヤーライン型ツールを製作して神岡鉱山の坑道に掘削した実坑井での動作試験に成功した。

②耐熱温度 204℃で 8 時間耐えられる市販の方位測定器を入手できた。この耐熱条件を踏まえ、ワイヤーライン取り付け方式で方位測定器を一時的に改良ロッド型ツールと連結してコア方位を測定する装置を製作した。そしてこの装置を神岡鉱山での掘削試験に適用して動作検証に成功した。

③国内の地熱発電所における地質構造と熱構造を文献調査した結果、断層、断裂帯と貫入岩体などが異なる 3 つの形態に分類されることがわかった。

(3) -6. 発電設備利用率向上に向けたスケールモニタリングと AI 利活用に関する技術開発

(中間目標)

①テストピースの材質選定から浸漬後のテストピースの保管、およびテストピースの各種分析を含めたモニタリング試験条件の決定し、標準化案の検討を完了する。

②熱水からのシリカスケール沈殿のケースを 200 条件以上（沈殿しないケースを 50 条件以上含む）、二相流および蒸気からのシリカスケールの沈殿のケース（フィールド試験）を 20 条件以上のデータセットを取得する。

③シリカスケール生成予測を実現する AI の概要設計を完了する。

④実証試験装置を製作し、実証試験を実施する。実証試験を実施し得られた結果と、モデル計算等との比較・評価を行う。

(成果)

①試験条件の標準化を検討し、ベースとなる試験法は確定しつつある。

②目標として挙げた条件数に対する進捗率の約 7 割を達成している。

③既存データによる AI の概念設計構築とともに試行的なスケール生成予測を繰り返し進めている。

④実証試験装置を製作し、実施可能な発電設備を検討中である。

(3) -7. 地熱発電持続可能性維持のための IoT-AI 技術開発

(中間目標)

①全体システム設計において、対象発電所の過去データに基づき全体最適化した場合に、持続的に利用率が向上することを示す。

②澄川地熱発電所ならびに滝上発電所の蒸気設備において、個別技術の試験を行う。

(成果)

①EnergyWIN、貯留層付き非定常坑内流動シミュレーションを用いた解析により、坑口圧を系統よりも僅かに低圧で併入することで、振動→除外現象を避けて安定的な生産の継続ができ、利用率が向上することを示した。また、現状の坑内状況に合わせ、タービン入口蒸気圧力を 0.287→0.273 MPaG と変化させることで、発電効率の低下を上回る蒸気量増が見込め、利用率の向上に繋がることを示した。上記 2 件の成果として、定検前後のデータ比較で利用率 8.34%の向上を確認できた。

②澄川地熱発電所ならびに滝上発電所に 2018 年度～2022 年度までの運転データ・実証フィールド等提供のご協力をいただき、個別の要素技術毎の検証を行うことができた。

3. マネジメント						
3.1 実施体制	経産省担当原課	資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部 新エネルギー課 資源エネルギー庁 資源・燃料部 政策課				
	プロジェクトリーダー	—				
	プロジェクトマネージャー	主査/大竹 正巳				
	委託先	日鉄鉱コンサルタント(株)、地熱エンジニアリング(株)、三菱マテリアルテクノ(株)、地熱技術開発(株)、西日本技術開発(株)、東北緑化環境保全(株)、(株)ガステック、奥会津地熱(株)、三井金属資源開発(株)、(株)物理計測コンサルタント、(株)地球科学総合研究所、応用地質(株)、九電産業(株)、九州電力(株)、三菱重工業(株)、日本オイルエンジニアリング(株)、(株)INPEX ドリリング、エスケイエンジニアリング(株)、地熱解析(株)、松永ジオサーベイ(株)、(株)レーザック、(国大)秋田大学、(国大)東北大学、(国大)九州大学、(国大)京都大学、(学)近畿大学、(国大)熊本大学、(公大)会津大学、(国大)室蘭工業大学、(国大)東京工業大学、(学)早稲田大学、兵庫公立大学法人兵庫県立大学、(国大)神戸大学、(国大)東海国立大学機構名古屋大学、(国研)産業技術総合研究所、(一財)エンジニアリング協会、(一財)ファインセラミックスセンター、(一財)電力中央研究所				
3.2 受益者負担の考え方  事業費推移 (会計・勘定別にNEDOが負担した実績額(評価実施年度については予算額)を記載) (単位:百万円)	主な実施事項	2021fy	2022fy	2023fy	/	
	研究開発項目 (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	→	→		→
		深部探査技術手法開発	→	→		→
	研究開発項目 (2)「環境保全対策技術開発」	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	→	→		→
	研究開発項目 (3)「地熱発電高度利用化技術開発」	貯留層管理手法開発	→	→		→
		発電設備管理手法開発	→	→	→	
	会計・勘定	2021fy(実績)	2022fy(実績)	2023fy(予算額)	総額	
	一般会計	—	—	—	—	
	特別会計 (電源・需給の別)	1,059	1,515	1,154	3,728	
開発成果促進財源	—	—	—	—		
総NEDO負担額	1,059	1,515	1,154	3,728		
(委託)	1,059	1,515	1,154	3,728		
3.3 研究開発計画						
情勢変化への対応	<p>2021年10月に閣議決定された「第6次エネルギー基本計画」では地熱発電のさらなる導入拡大が期待されている。また、2022年11月にエジプトで開催されたCOP27では、パリ協定で定めた目標の重要性の再確認や国別目標の強化が決定された。</p> <p>このような状況を受け、「超臨界地熱資源技術開発」のうち4地域の資源量評価については、当初は2021年度から2024年度までの4年間での計画であったところを2023年度まで</p>					

		の3年間に前倒しで完了させる計画に見直しを行い、2050年のカーボンニュートラルに着実に貢献することを目指す。	
	中間評価結果への対応	—	
	評価に関する事項	事前評価	2020年度実施 担当部 新エネルギー部
		中間評価	—
		終了時評価	—
別添			
	投稿論文	「査読付き」12件、「その他」1件	
	特許	「出願済」1件、「登録」0件、「実施」0件（うち国際出願0件） 特記事項：特になし	
	その他の外部発表 （プレス発表等）	研究発表・講演：71件 受賞実績：2件	
	基本計画に関する事項	作成時期	2021年2月 作成
		変更履歴	2022年4月 改訂（プロジェクトマネージャー変更のため）