

「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

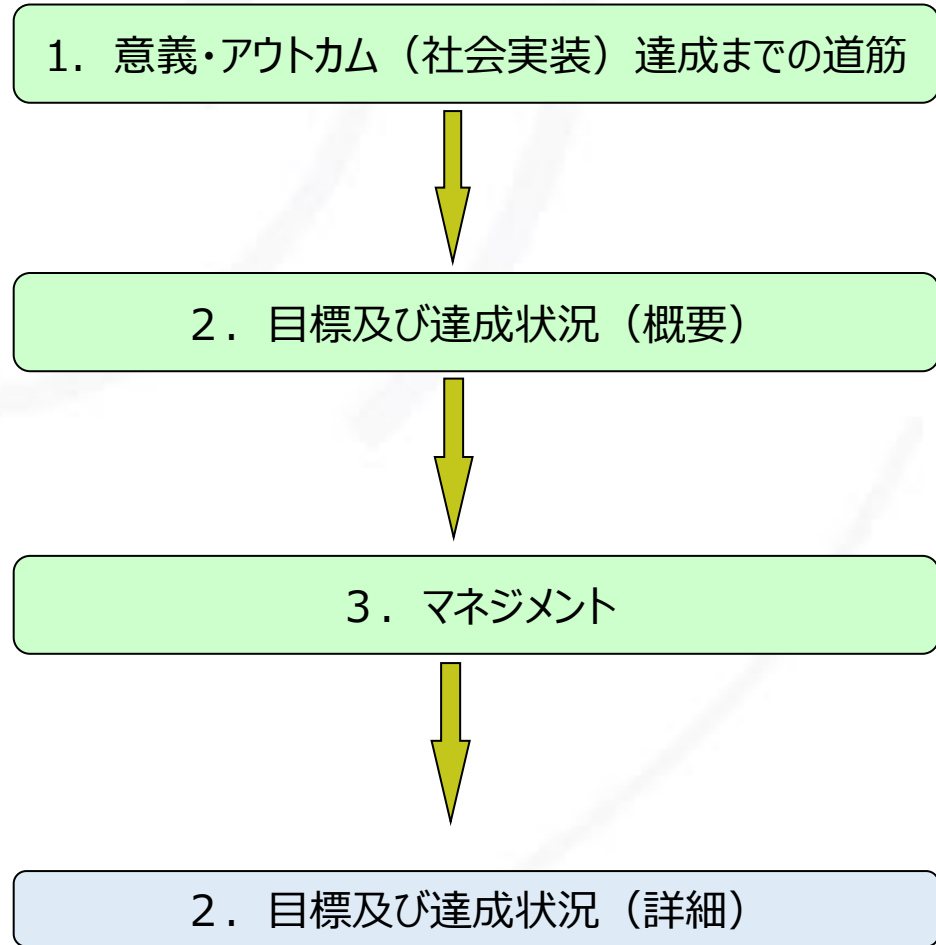
プロジェクトの概要 (公開版)

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 >



- (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

- (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

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

- (2) アウトプット目標と達成状況

< 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

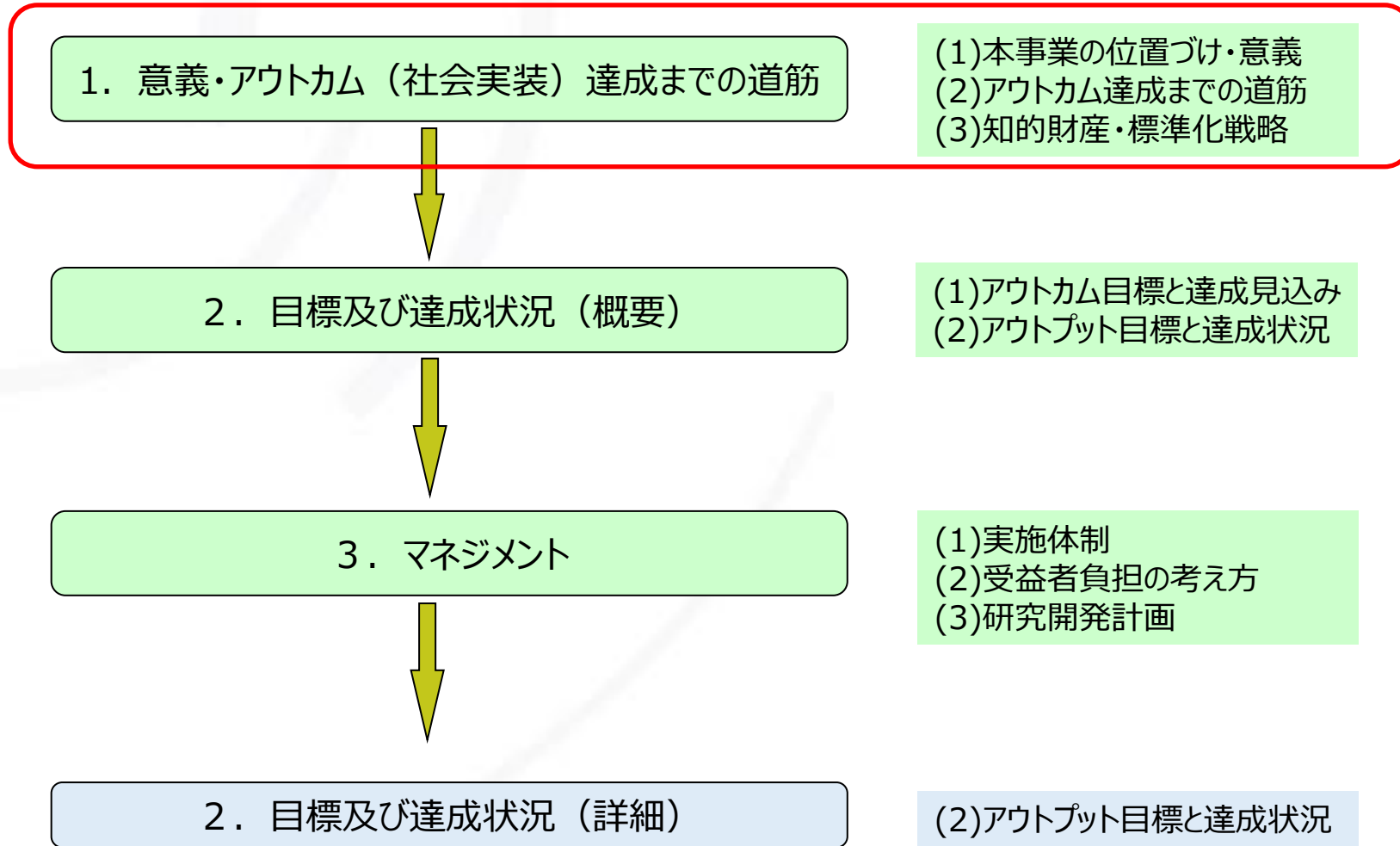
<評価項目 1> 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

- (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 >



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术を特定。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>開発リスク・開発コストが課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・<u>運転開始までに、多大なリスクとコストを要する。</u>（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<u>想定した熱資源を確保できないリスク等</u>） 	<p>各種リスクマネーの供給、さらなる理解の促進</p> <ul style="list-style-type: none"> ・<u>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。</u> ・<u>エネルギーの多段階利用</u>（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、<u>優良事例の全国発信。</u> ・<u>「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。</u>
関連法令による規制	<p>関連法令の運用見直しが課題</p> <p>（自然公園法）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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>（温泉法）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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>運用見直しを通じた開発の加速化</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"> ・<u>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。</u> ・<u>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。</u> <p>（温泉法）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・<u>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。</u> ・<u>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</u> 等
次世代型地熱発電技術（超臨界地熱発電）	<p>要素技術の開発段階、世界的にも技術未確立</p> <ul style="list-style-type: none"> ・従来の地熱発電の資源量は2,347万kW。より深い<u>超臨界地熱資源（超臨界状態の熱水）</u>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> ・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> 	<p>次世代地熱発電技術の確立、実用化</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"> ・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。 ・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。 ・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。

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
資源量増大 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				
環境保全・地域共生 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				
発電原価低減 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

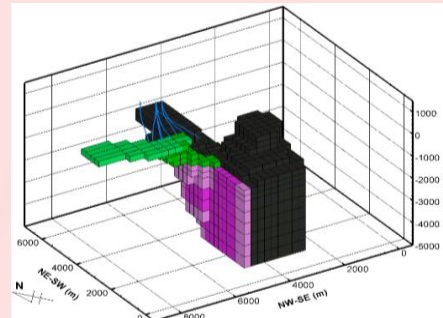
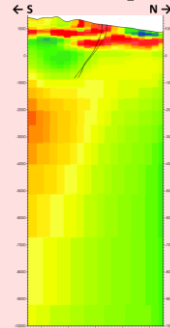
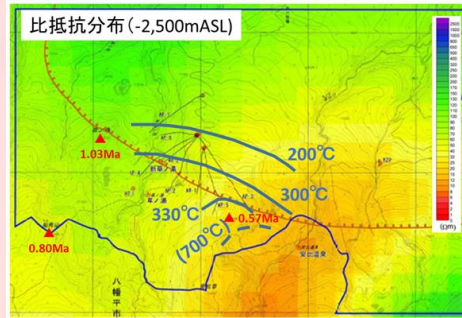
出典：「地熱発電導入拡大研究開発」基本計画の研究開発スケジュール

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

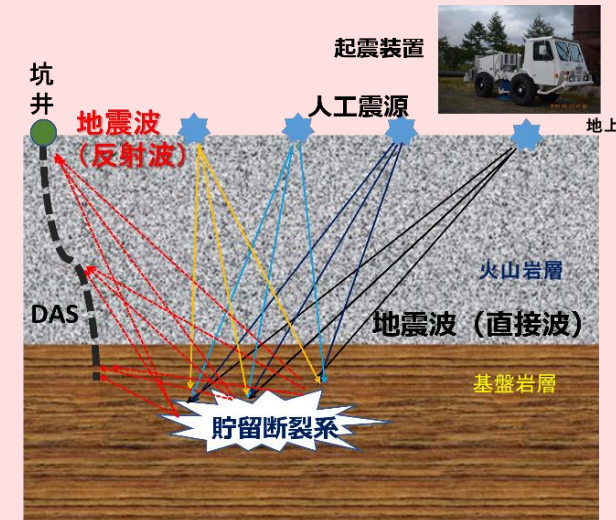
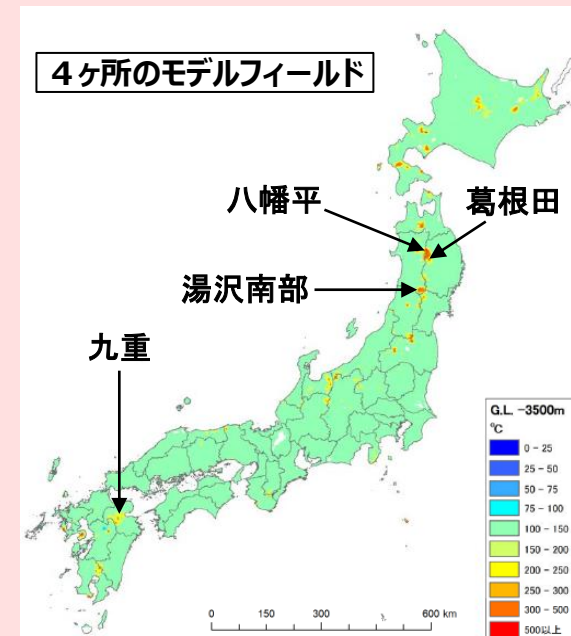
- 前プロジェクトで得られた知見を基に、超臨界地熱資源の賦存が期待される有望地域（八幡平、葛根田、湯沢南部、九重）を対象として、補完地表調査(MT法電磁探査、微小地震観測、反射法地震探査)、物性データ収集（文献調査含む）、**地質構造モデル/地熱系概念モデル構築、生産予測シミュレーション等を実施し資源量を評価する。**
- 掘削候補地の選定、構造試錐/調査井の仕様検討を行う。**



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

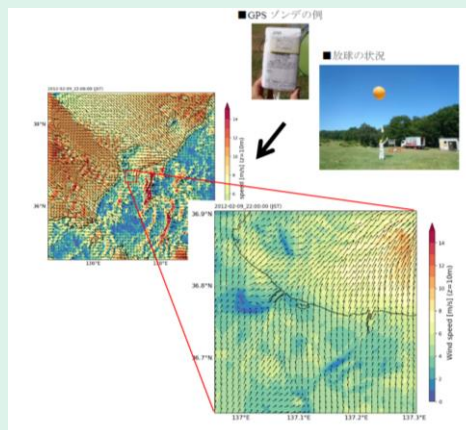
深部地熱探査手法の開発

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。**

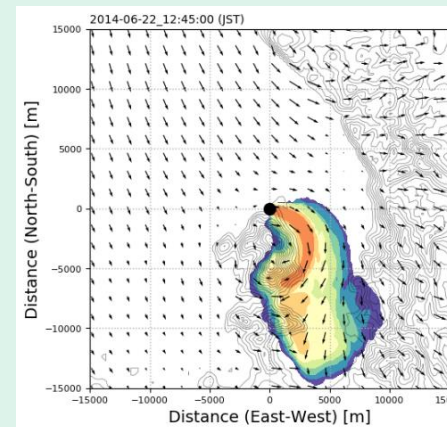
研究開発項目(2) 環境保全対策技術開発

気象調査代替手法・大気拡散予測手法の開発

- ・従来の気象観測を代替するする手法として、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/空間的变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



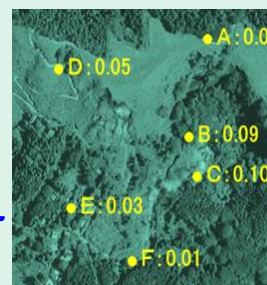
新たな大気拡散予測

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

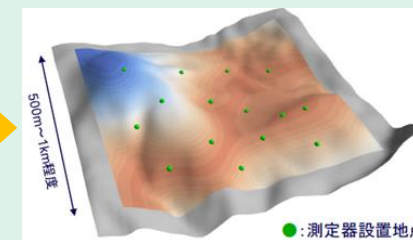
リアルタイム
遠隔モニタリング



測定値を地形図にプロット



小型連続測定器の実証試験



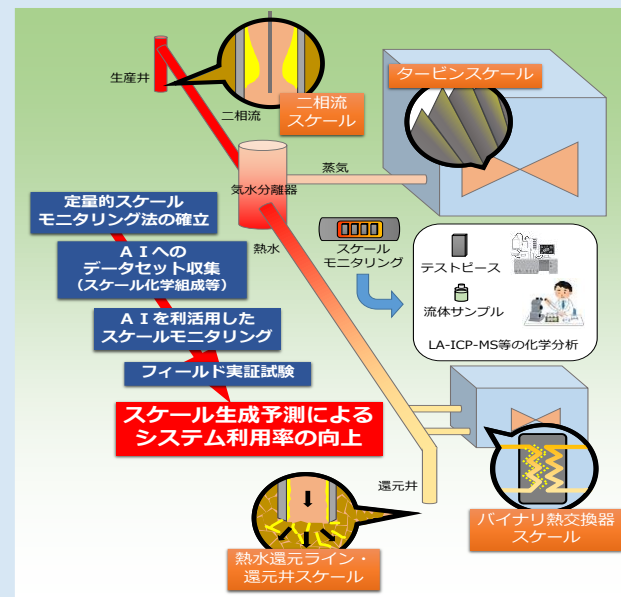
面的濃度分布を可視化

研究開発項目(3) 地熱発電高度利用化技術開発



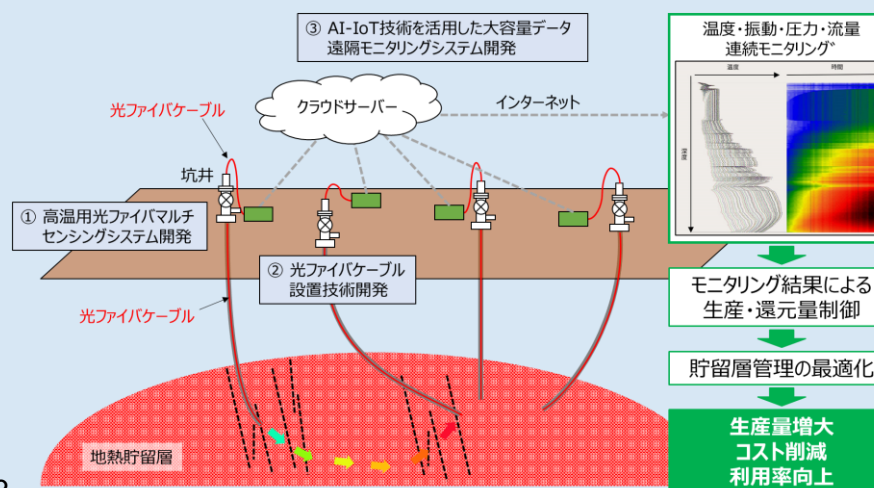
発電設備管理手法の開発

- ・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

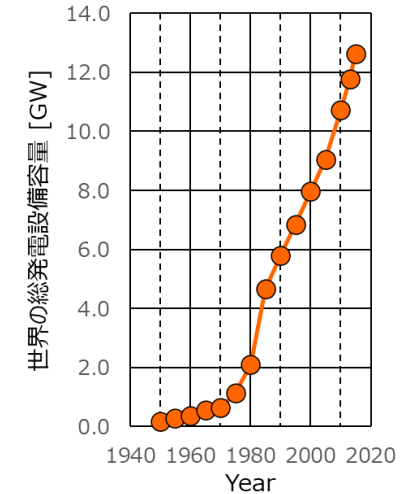
世界の地熱資源量と設備容量

- 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

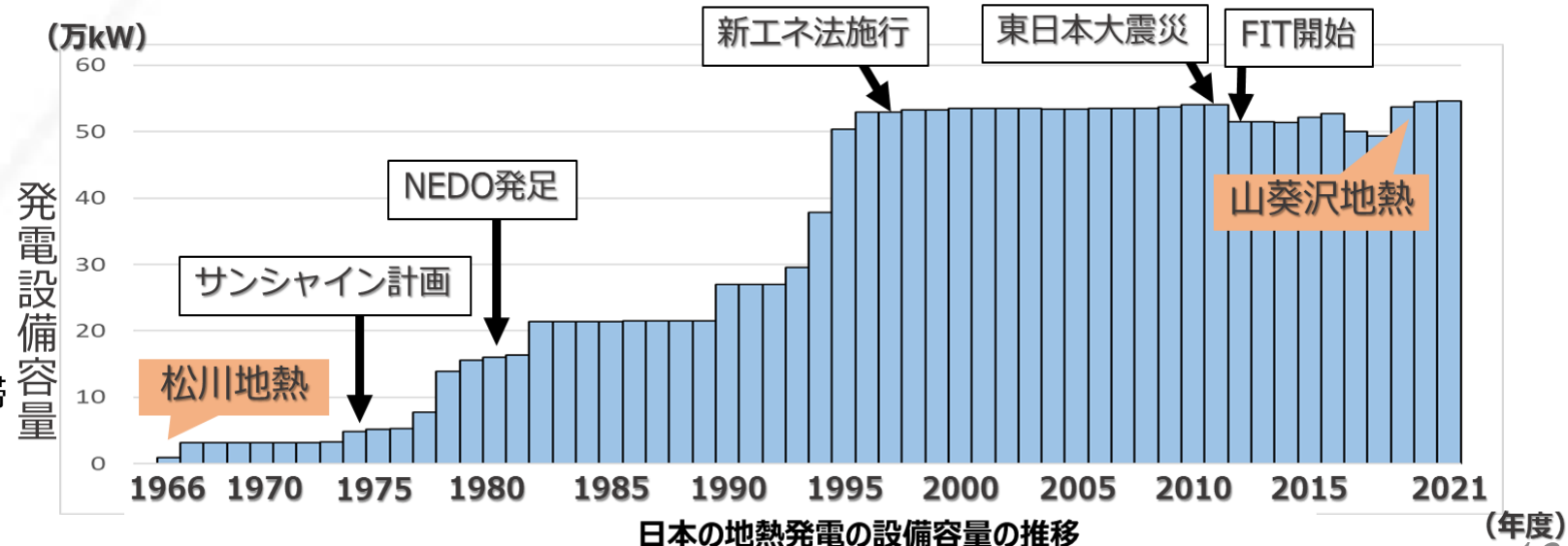
国名	地熱資源量 (万kW)	地熱発電設備容量 (万kW) 2016年末時点
米国	3,000	360
インドネシア	2,779	195
日本	2,347	54
ケニア	700	68
フィリピン	600	193
メキシコ	600	91
アイスランド	580	67
ニュージーランド	365	97
イタリア	327	92
ペルー	300	0

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)

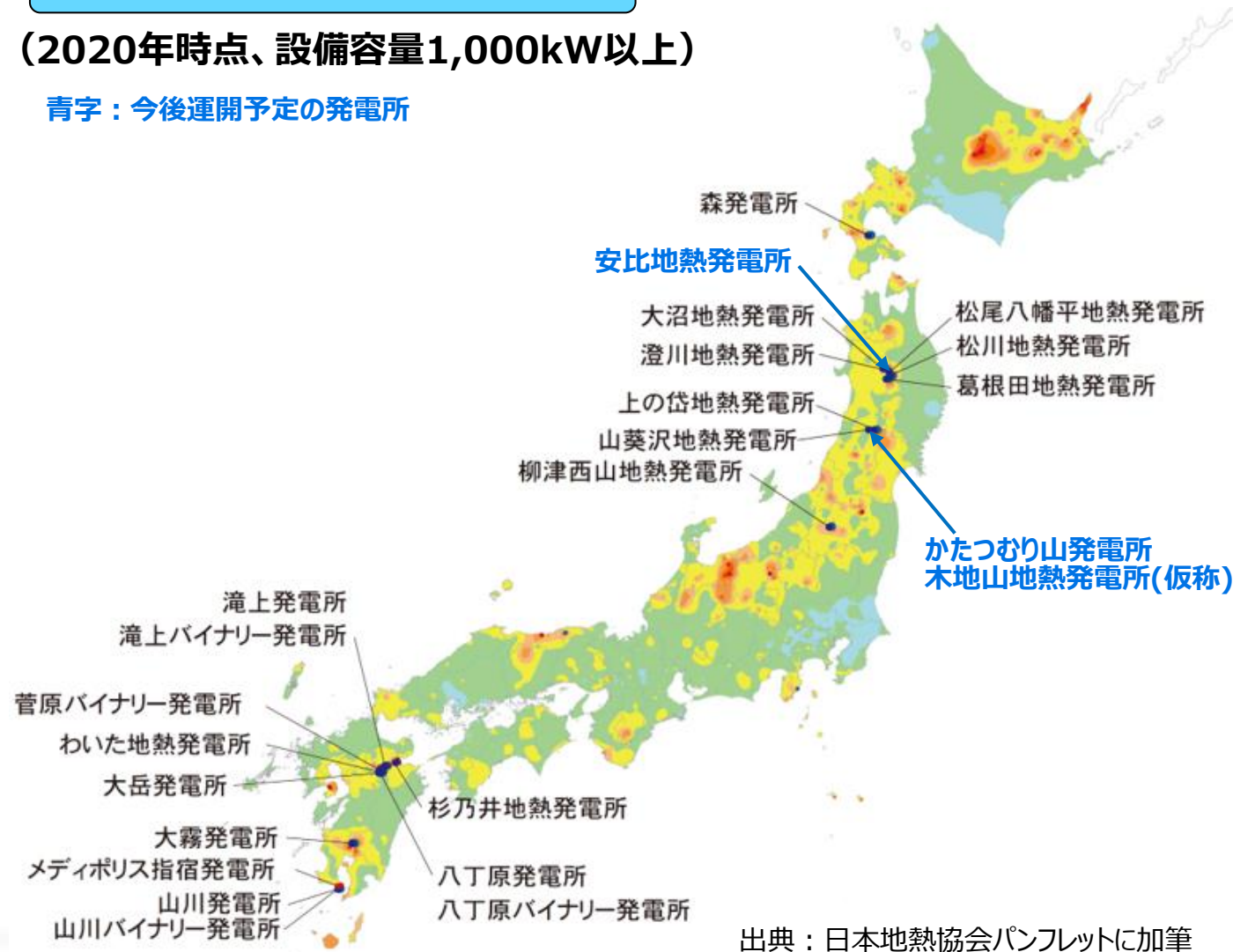


国内の動向

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
菅原バイナリー発電所		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
メディポリス指宿発電所		(株) メディポリスエナジー		1,580	B	2015.02.18

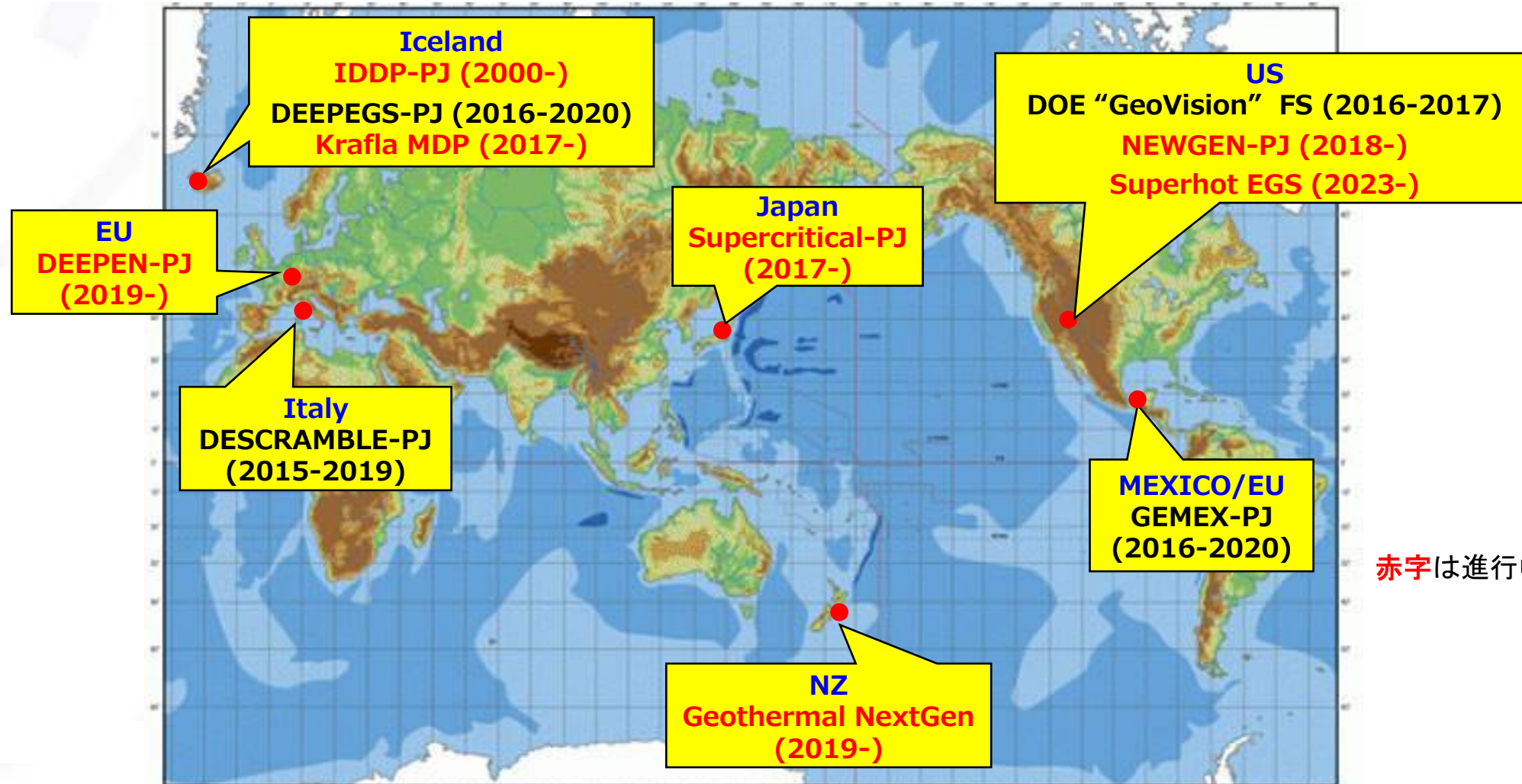
【発電方式】DS：ドライスチーム、SF：シングルフラッシュ、DF：ダブルフラッシュ、B：バイナリー

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。

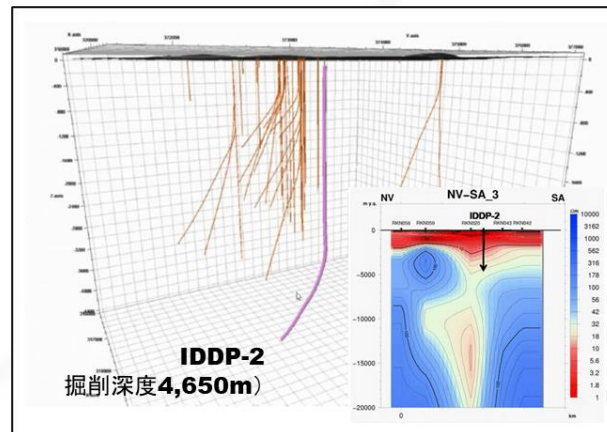
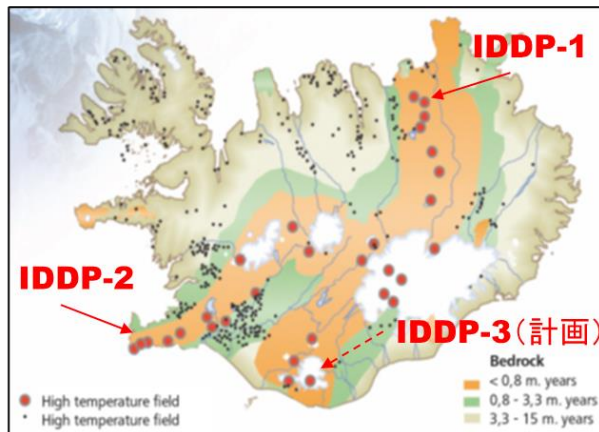


赤字は進行中のプロジェクト

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°C、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°C、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

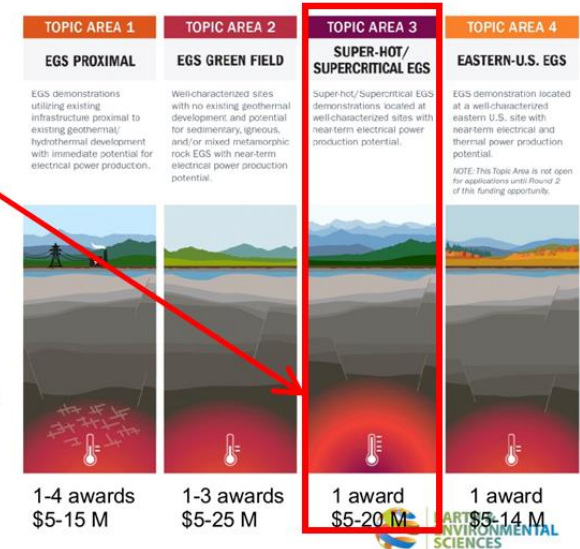
Energy Earthshots, DOE, US

- 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。

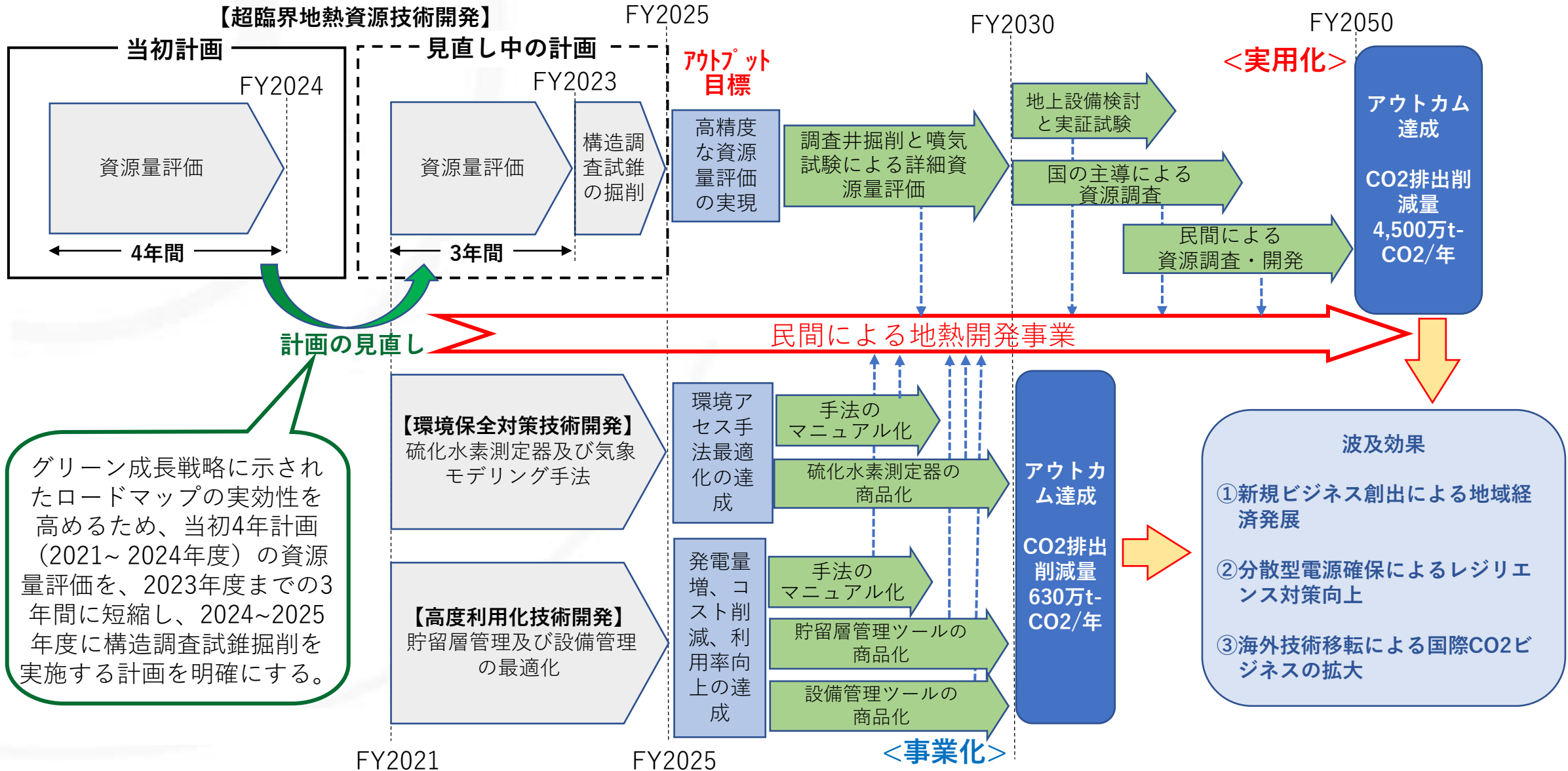
分野	告知日	ゴール
Enhanced Geothermal Shot	2022/9/8	地熱増産システムのコストを2035年までに9割削減し、MWhあたり\$45にする

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"> 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 気象調査代替手法及び新たな大気拡散予測手法、等 <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"> 光ファイバの劣化評価装置および劣化評価方法 地殻応力測定法のうちコア採取の装置および方法、等 <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。

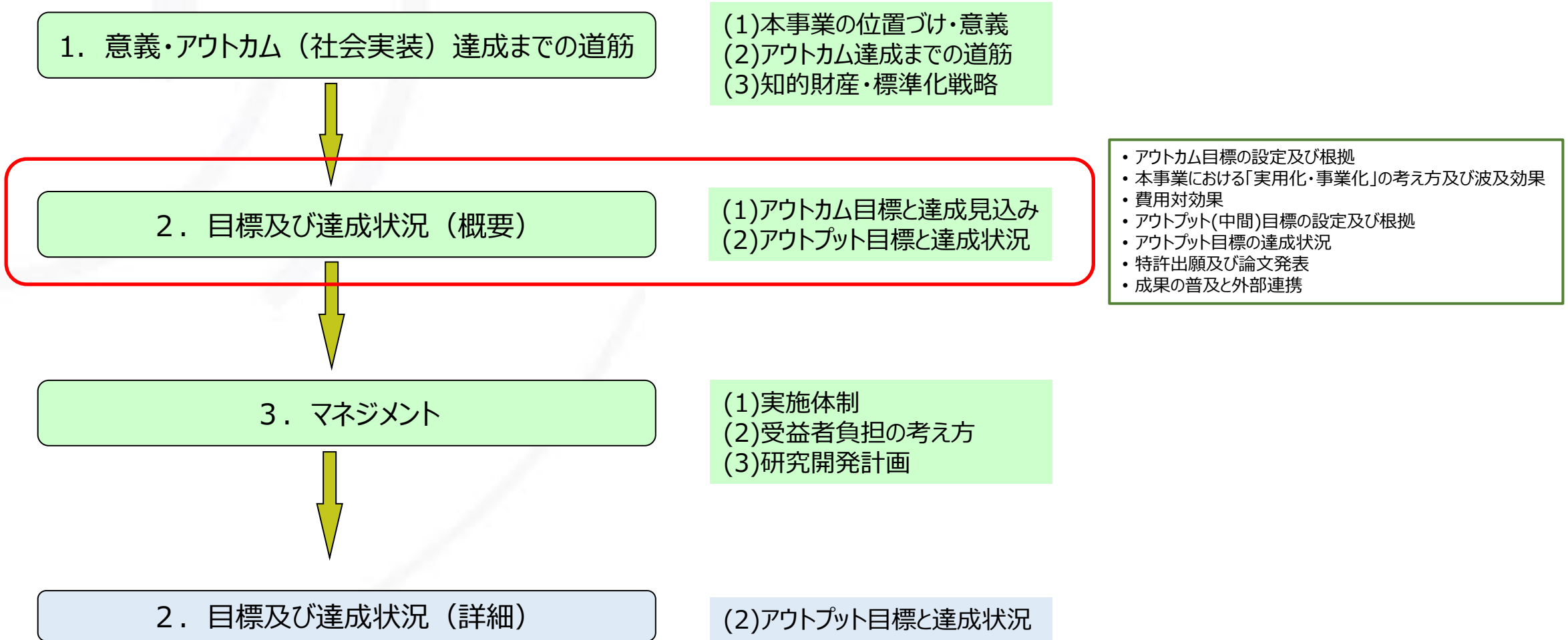
👉 テーマ毎に全事業者から構成される知財委員会を設置し、「データの取扱いに関する合意書」を作成。

<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 >



アウトカム目標の設定及び根拠

次世代型地熱発電

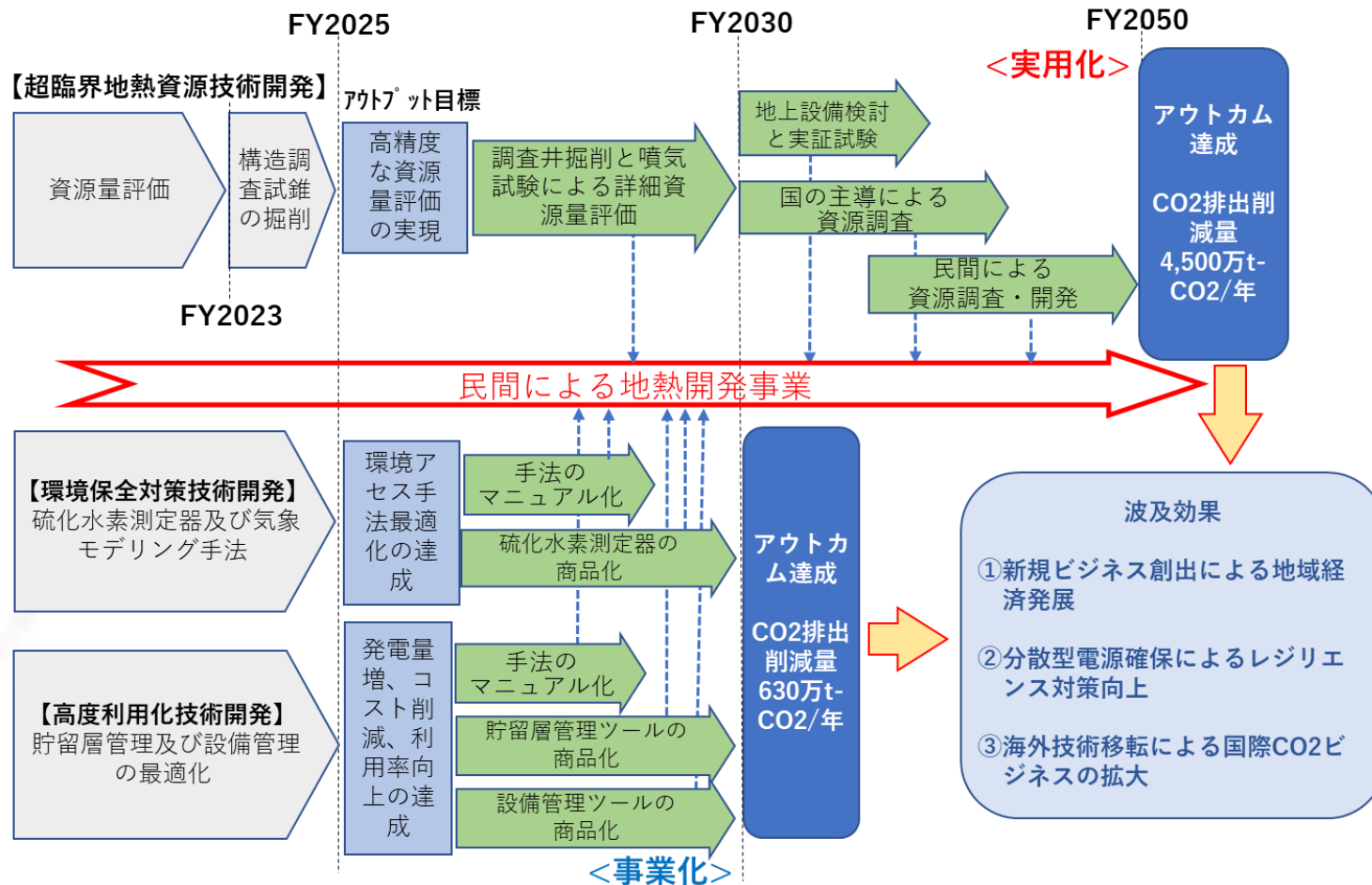
【超臨界地熱資源技術開発】

アウトカム目標	設定根拠
2050年頃にCO ₂ 排出削減量が最大で約4,500万吨-CO ₂ /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 ₂ 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】

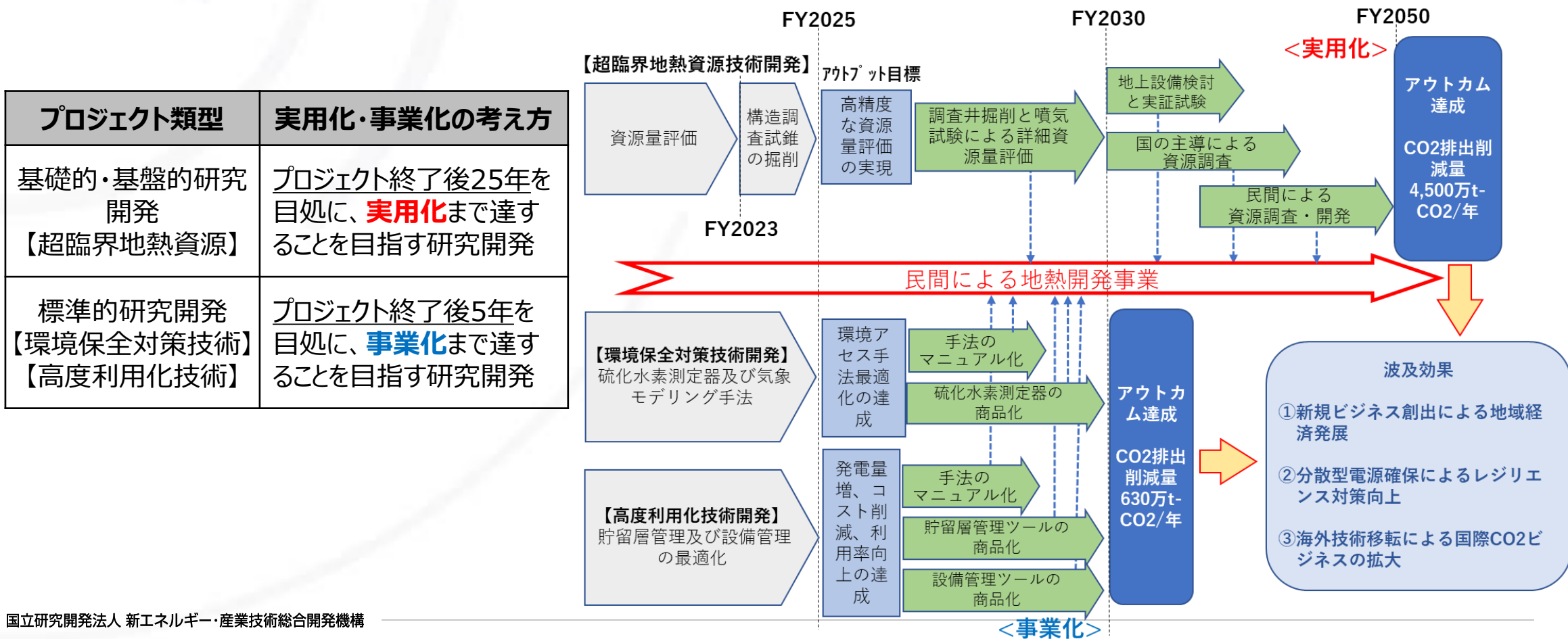
アウトカム目標	設定根拠
2030年頃にCO ₂ 排出削減量が最大で約630万吨-CO ₂ /年	2030年の最大導入見込量(発電容量1.55GW、発電量11TWh)に基づくCO ₂ 排出削減量。



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】

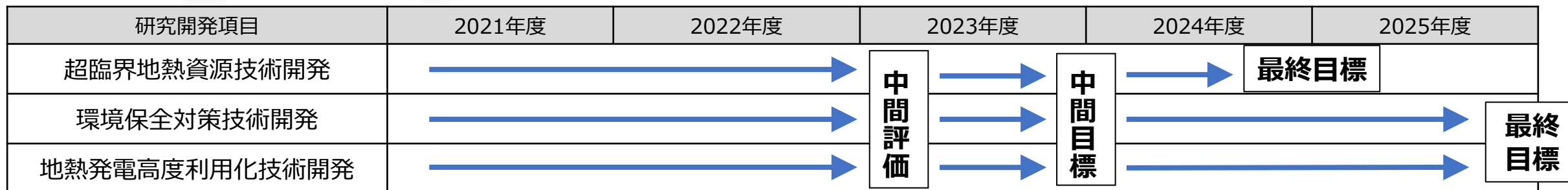
(2050年)

- ・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、資源量を評価する目処がついた。
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"> 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。 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。 	○ 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

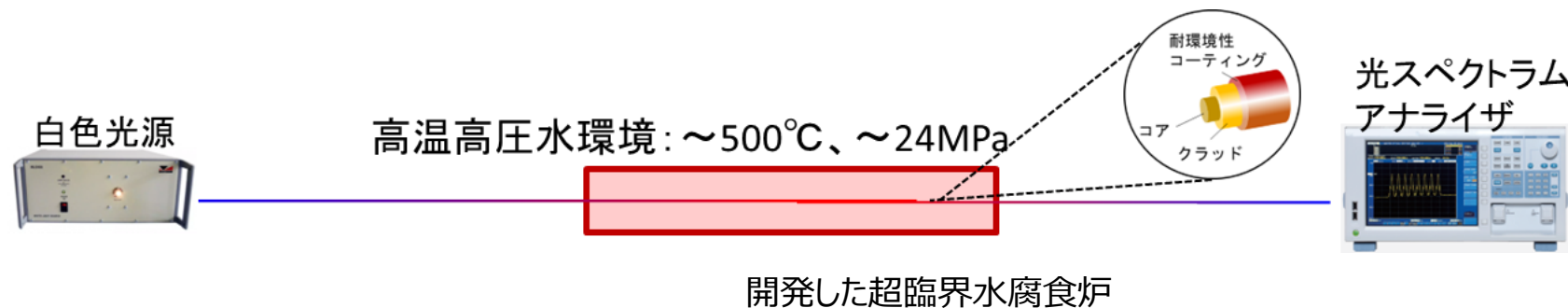
特許出願：2022-170000

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

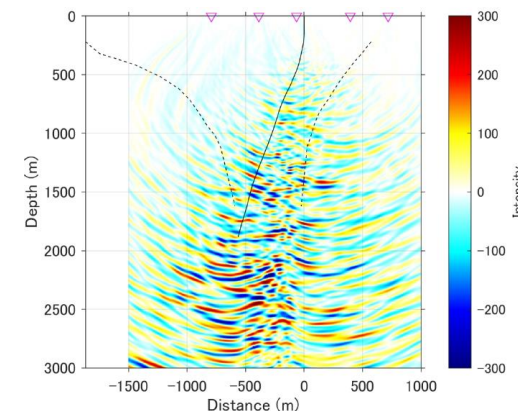
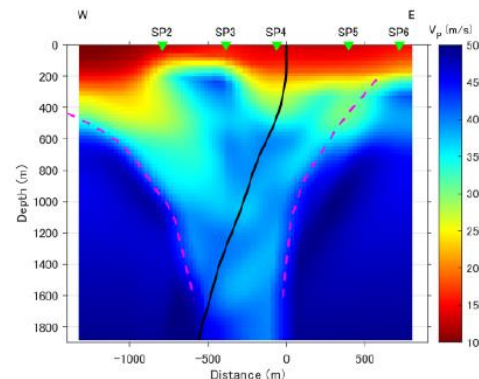
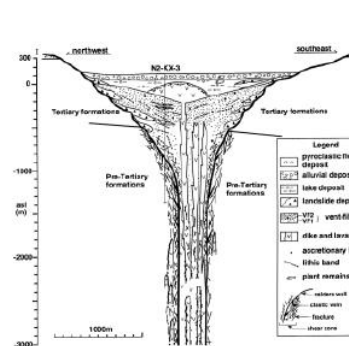
発明の名称：光ファイバの劣化評価装置および劣化評価方法



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。 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。	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

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弓取理事



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 OS 1

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

コンピーナ：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)

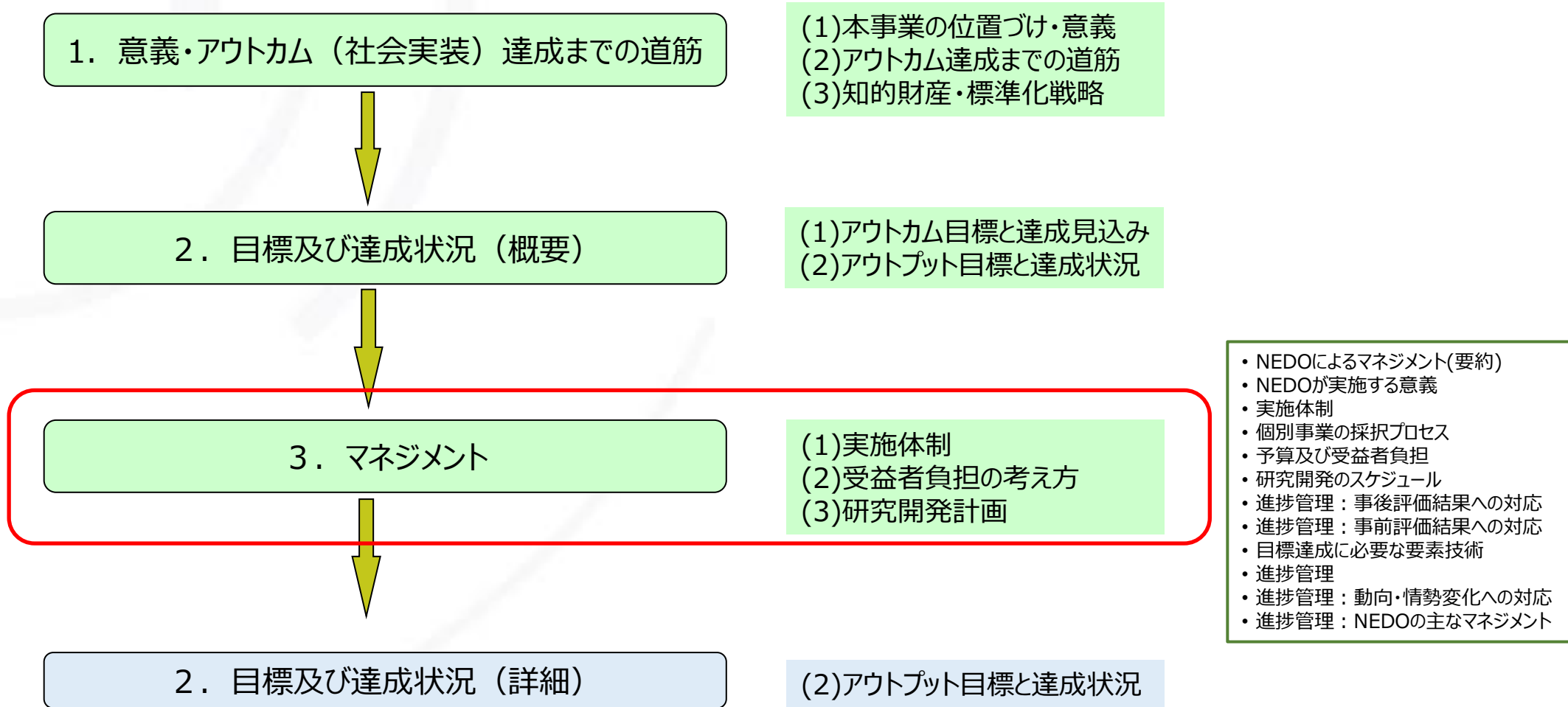
以上

<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

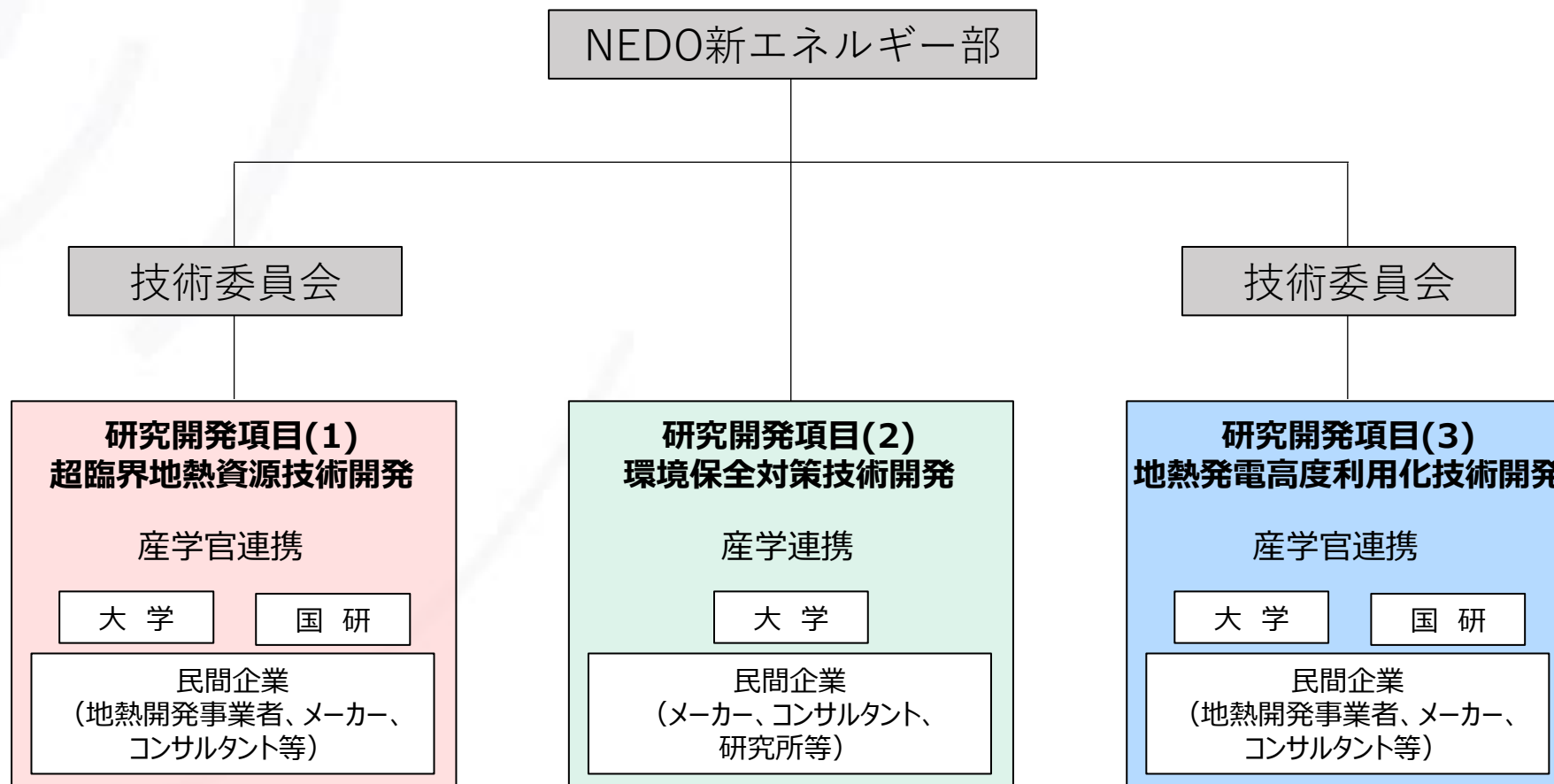
- NEDOは1980年の設立時（新エネルギー総合開発機構）から、サンシャイン計画（1974～1992年）、ニューサンシャイン計画（1993～2000年）等の下、**地熱資源探査、探査技術、坑井掘削技術、生産技術、発電システム技術などの研究開発を推進し、地熱発電の導入・促進に貢献してきた。**
- 2012年度から地熱資源探査・開発業務はJOGMECへ移管されたが、地熱利用技術開発に係る業務は引き続きNEDOが実施している。
- 2018年度からは超臨界地熱資源技術開発をスタートし、2050年商用発電の実現に向けて**超臨界地熱発電に必要な技術開発を牽引している。**



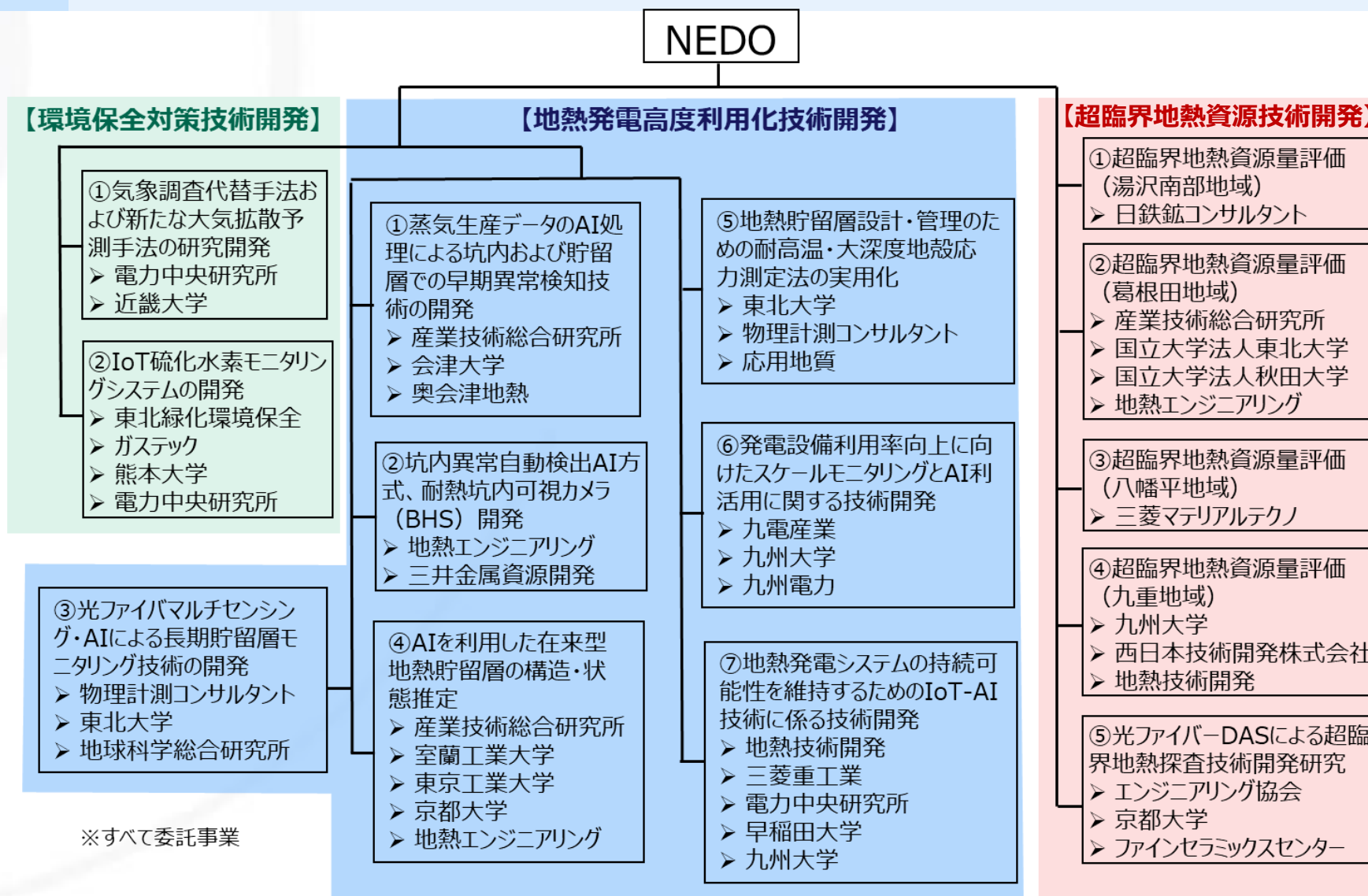
**NEDOは地熱技術開発プロジェクトの運営・管理能力を十分に有している。
効果的・効率的な事業執行の観点から、NEDOが推進すべき事業である。**

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、 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。	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、 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。 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 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 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。 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ー 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達着させる技術 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 ・ガリーナサイクル 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)
- : 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		酸性流体対策 スマートトレーサー技術 THMC連成貯留層シミュレーション	貯留層への涵養注水 IoT/AIを用いた発電所の操業・管理最適化 IoT/AIを用いた貯留層管理 スケール付着抑制	発電プラントの性能モニタリング/遠隔監視 温度・圧力測定等を通じた貯留層モニタリング
EGS関連	高温環境下での亀裂開口保持 CO ₂ ガスフラクシング マグマ発電	THMC連成貯留層シミュレーション 加圧区間限定 耐熱パッカー	水圧破碎・透水性改善 深部地殻応力測定 光ファイバーセンシング	
環境影響評価		温泉影響評価 誘発地震リスク評価 THMC連成解析	AI/IoTを用いた温泉モニタリング 硫化水素モニタリング エコロジカル・ランドスケープデザイン	微小地震モニタリング
次世代地熱資源利用	苦鉄質岩の地下環境を利用した二酸化炭素固定技術 ジオリアクター	二酸化炭素循環型地熱発電技術 地殻流体中の有用/希少物質回収技術		

- : 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)
- : 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>追加予算措置により、以下を実施。</p> <ul style="list-style-type: none"> 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メージ解析の実施。 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。 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。 	<p>概念モデル、資源量評価、掘削仕様検討の精度を向上。</p> <ul style="list-style-type: none"> 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。 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。 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。
(1)-2 超臨界 (葛根田)	<p>追加予算措置により、以下を実施。</p> <ul style="list-style-type: none"> 反射法探査および微小地震モニタリング 自然状態、生産シミュレーション 調査井仕様検討および掘削時HSE（衛生・安全・環境）評価 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。 	<p>研究開発期間を当初予定より1年短縮。</p> <p>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。</p>
(1)-3 超臨界 (八幡平)	<ul style="list-style-type: none"> 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。 JOGMECより物理探査（重力、MT）データを提供（手続き中）。 	<ul style="list-style-type: none"> 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。 地質構造モデルを精緻化。

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"> ・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。 ・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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・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。
(1)-5 光ファイバーDAS	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・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。

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"> ・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）取得のための冰雪検知センサーを購入。 ・解析用ワークステーションを前倒して購入。 	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・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。
(2)-2 硫化水素モニタリング	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・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。

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	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。	現場ニーズに即した研究開発へ方向を修正することで、 実用化を見据えた成果が得られると期待できる。
(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	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。	事業者の意見・要望を反映した、 実用化を見据えた研究開発内容の深掘りに寄与。

「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

プロジェクトの詳細 (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 >

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

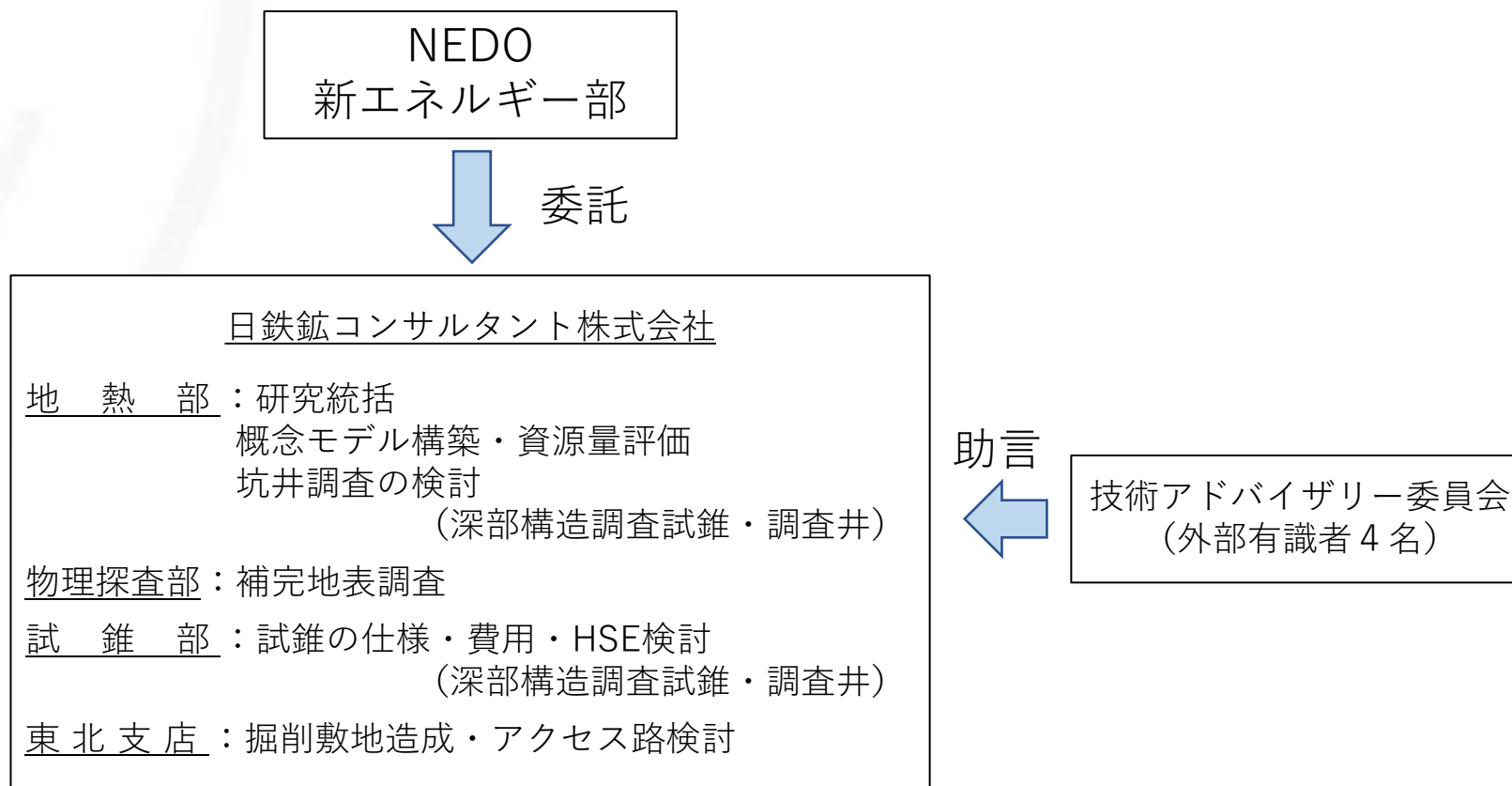
各テーマの

- ・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

アウトプット目標の達成状況：各テーマ

研究開発項目	テーマ名	委託先	達成度（見込み）
超臨界地熱資源技術開発	(1)-1. 超臨界（湯沢南部）	日鉄鉱コンサルタント	○(2024年3月に達成見込み)
	(1)-2. 超臨界（葛根田）	産総研，東北大学，秋田大学，地熱エンジニアリング	○(2024年3月に達成見込み)
	(1)-3. 超臨界（八幡平）	三菱マテリアルテクノ	○(2024年3月に達成見込み)
	(1)-4. 超臨界（九重）	九州大学、西日本技術開発、地熱技術開発	○(2024年3月に達成見込み)
	(1)-5. 光ファイバー-DAS	エンジニアリング協会，ファインセラミックスセンター，京都大学	○(2024年3月に達成見込み)
環境保全対策技術開発	(2)-1. 大気拡散予測	電中研、近畿大学	○(2024年3月に達成見込み)
	(2)-2. 硫化水素モニタリング	東北緑化環境保全，ガステック，熊本大学，電中研	○(2024年3月に達成見込み)
地熱発電高度利用化技術開発	(3)-1. 早期異常検知	産総研，会津大学，奥会津地熱	○(2024年3月に達成見込み)
	(3)-2. BHSカメラ	地熱エンジニアリング、三井金属資源開発	○(2023年12月に達成見込み)
	(3)-3. 光ファイバマルチセンシング	物理計測コンサルタント，東北大学流体研，地科研	○(2024年3月に達成見込み)
	(3)-4. AIを利用した在来型地熱貯留層	産総研，室蘭工業大学、兵庫県立大学、京都大学、地熱エンジニアリング	○(2024年3月に達成見込み)
	(3)-5. 大深度地殻応力測定	東北大学流体研，物理計測コンサルタント，応用地質	○(2024年3月に達成見込み)
	(3)-6. スケールモニタリング	九電産業、九州大学、九州電力	○(2024年3月に達成見込み)
	(3)-7. IoT-AI技術開発	地熱技術開発，三菱重工業、電中研，九州大学、早稲田大学	○(2024年3月に達成見込み)

(1)-1. 超臨界（湯沢南部）：実施体制



(1)-1. 超臨界（湯沢南部）：目標と根拠

研究開発項目	最終目標	根拠
① 補完地表調査と概念モデル構築	<ul style="list-style-type: none"> MT法電磁探査補完調査により深部低比抵抗域の抽出精度向上。 微小地震観測による震源空白域の把握とBPT推定。 	<ul style="list-style-type: none"> 深部低比抵抗域とBPT推定から超臨界地熱資源の熱源となるマグマだまり等を反映した高温域を推定する。
② 資源量評価	<ul style="list-style-type: none"> 既存地熱調査及び補完地表調査結果と十分整合する超臨界地熱系概念モデルの提示 最適な浸透率等パラメーター設定と坑井モデルの検討、生産・還元井配置の検討。 	<ul style="list-style-type: none"> 超臨界地熱資源が存在する温度・圧力分布を提示する。 数値シミュレーションによる生産量予測において100MW以上の発電量を提示する。
③ 深部構造調査試錐の検討	<ul style="list-style-type: none"> 超臨界地熱資源の概念モデルに基づく掘削ターゲット及び敷地の選定。 深度3,000～3,500m、温度350℃以内の領域をターゲットとした構造試錐の仕様・費用を提示。 	<ul style="list-style-type: none"> 超臨界調査井掘削に先行して予定される超臨界領域手前までの、既存掘削技術で対応可能なターゲットまでの構造試錐計画を提示する。
④ 超臨界地熱調査井仕様の検討	<ul style="list-style-type: none"> 最適条件のシミュレーション結果による掘削ターゲット及び敷地の選定 深度5000m程度までの超臨界地熱資源推定域をターゲットとした地熱調査井の仕様・費用・HSEを提示。 	<ul style="list-style-type: none"> 社会環境や試錐座確保も含めた超臨界地熱調査井掘削の実現性を評価する。
⑤ 経済性評価	<ul style="list-style-type: none"> 最適条件における生産・還元井本数や発電量と超臨界地熱調査井費用をもとに発電コスト試算を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> 湯沢南部地域で100MW級の超臨界地熱資源を開発する場合を想定した経済性評価。

(1)-1. 超臨界（湯沢南部）：目標達成状況(1)

研究開発項目	最終目標 (2024年3月)	成果 (2023年3月まで)	達成度 (見込み)	達成の根拠 ／解決方針
① 補完地表調査と概念モデル構築	<ul style="list-style-type: none"> MT法電磁探査による深部低比抵抗域の抽出精度向上。 微小地震観測による震源空白域の把握とBPT推定。 	<ul style="list-style-type: none"> 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。 既存調査データと統合し概念モデルを構築した。 	○ 2024年3月に達成見込み	深部低比抵抗域の抽出と概念モデル構築は達成。微小地震観測を継続中。現時点で震源空白域を補足しつつありBPT推定と深部低比抵抗域の対比による熱源位置推定が可能となる見込み。
② 資源量評価	<ul style="list-style-type: none"> 既存地熱調査及び補完地表調査結果と十分整合する超臨界地熱系概念モデルの提示 最適な浸透率等パラメータ設定と坑井モデルの検討、生産・還元井配置の検討。 	<ul style="list-style-type: none"> ①による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。100MWを安定維持するケースを検討中。 	○ 2024年3月に達成見込み	自然状態シミュレーションは達成。生産量予測については浸透率等のパラメータ設定の見直しと生産・還元井配置の検討により100MW安定維持ケースの提示に努める。

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

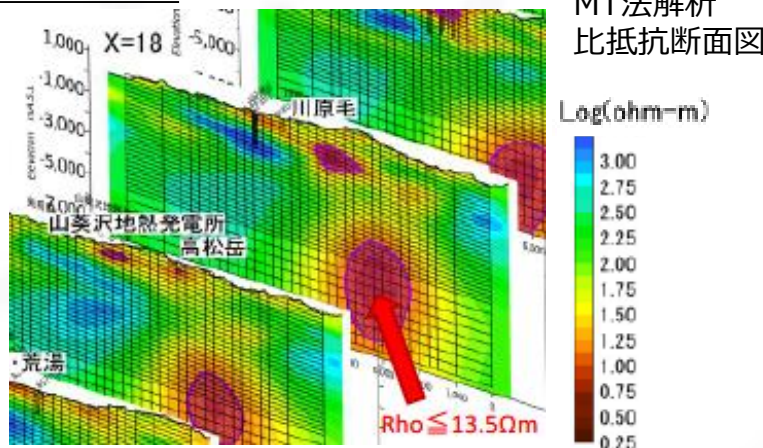
(1)-1. 超臨界（湯沢南部）：目標達成状況(2)

研究開発項目	最終目標 (2024年3月)	成果 (2023年3月まで)	達成度 (見込み)	達成の根拠 ／解決方針
③ 深部構造調査試錐の検討	<ul style="list-style-type: none"> 超臨界地熱資源の概念モデルに基づく掘削ターゲット及び敷地の選定。 深度3,000～3,500m、温度350℃以内の領域をターゲットとした構造試錐の仕様・費用を提示。 	<ul style="list-style-type: none"> 概念モデルに基づき標高-3000m付近にターゲットを設定し、ターゲットに到達可能な掘削敷地候補地を秋ノ宮地区に設定した。 秋ノ宮地区からターゲットに掘削した場合のケーシングプログラムその他、坑内環境予測に基づき実現可能な工法・費用を提示した。 	○ 2024年3月に達成見込み	現地概査により試錐座候補地を選定し、試錐シミュレーションソフトにより坑内環境予測を行って、具体的な仕様・費用案を提示した。今後、測量等の現地詳細調査を実施予定。
④ 超臨界地熱調査井仕様の検討	<ul style="list-style-type: none"> 最適条件のシミュレーション結果による掘削ターゲット・敷地の選定。 深度5000m程度までの超臨界地熱資源推定域をターゲットとした地熱調査井の仕様・費用・HSEを提示。 	<ul style="list-style-type: none"> 掘削敷地は社会環境条件も踏まえて深部構造調査試錐と同箇所を想定。 仕様設定に必要な掘削時坑内環境予測手法について深部構造調査試錐で概ね確立した。 	○ 2024年3月に達成見込み	②で検討中の最適条件のシミュレーション結果を踏まえて超臨界領域に対応した掘削時坑内環境予測を行う。その結果に基づく材料・工法選定とHSE検討
⑤ 経済性評価	<ul style="list-style-type: none"> 最適条件における生産・還元井本数や発電量と超臨界地熱調査井費用をもとに発電コスト試算を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> 現在、②及び③について検討中のため未着手 	○ 2024年3月に達成見込み	②及び③の検討結果を踏まえて2023年度に詳細検討をおこなう。

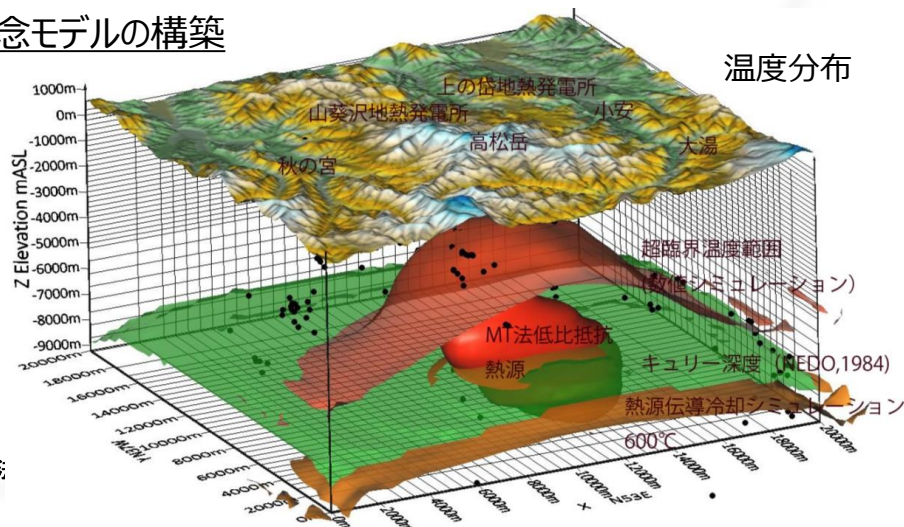
(1)-1. 超臨界 (湯沢南部) : 成果

目的：秋田県湯沢南部地域をモデルフィールドとして、超臨界水状態把握および資源量評価技術のさらなる高度化を図り、超臨界地熱資源の試掘に向けた実効性のある調査・評価技術の完成を目指す。

1) 深部比抵抗構造

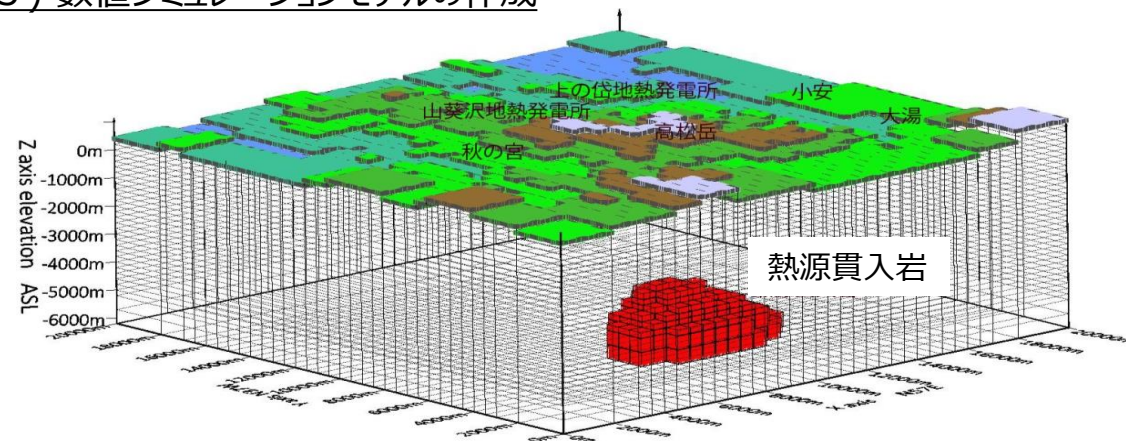


2) 概念モデルの構築

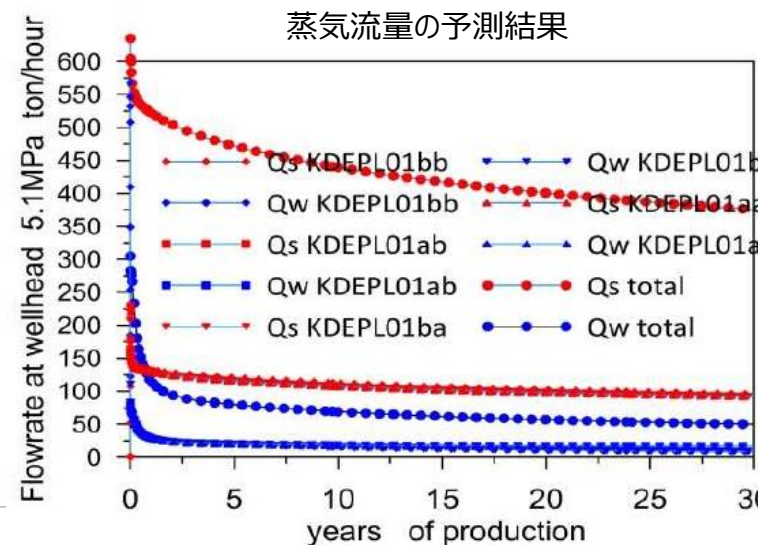


国立研究開発

3) 数値シミュレーションモデルの作成



4) 生産予測シミュレーション



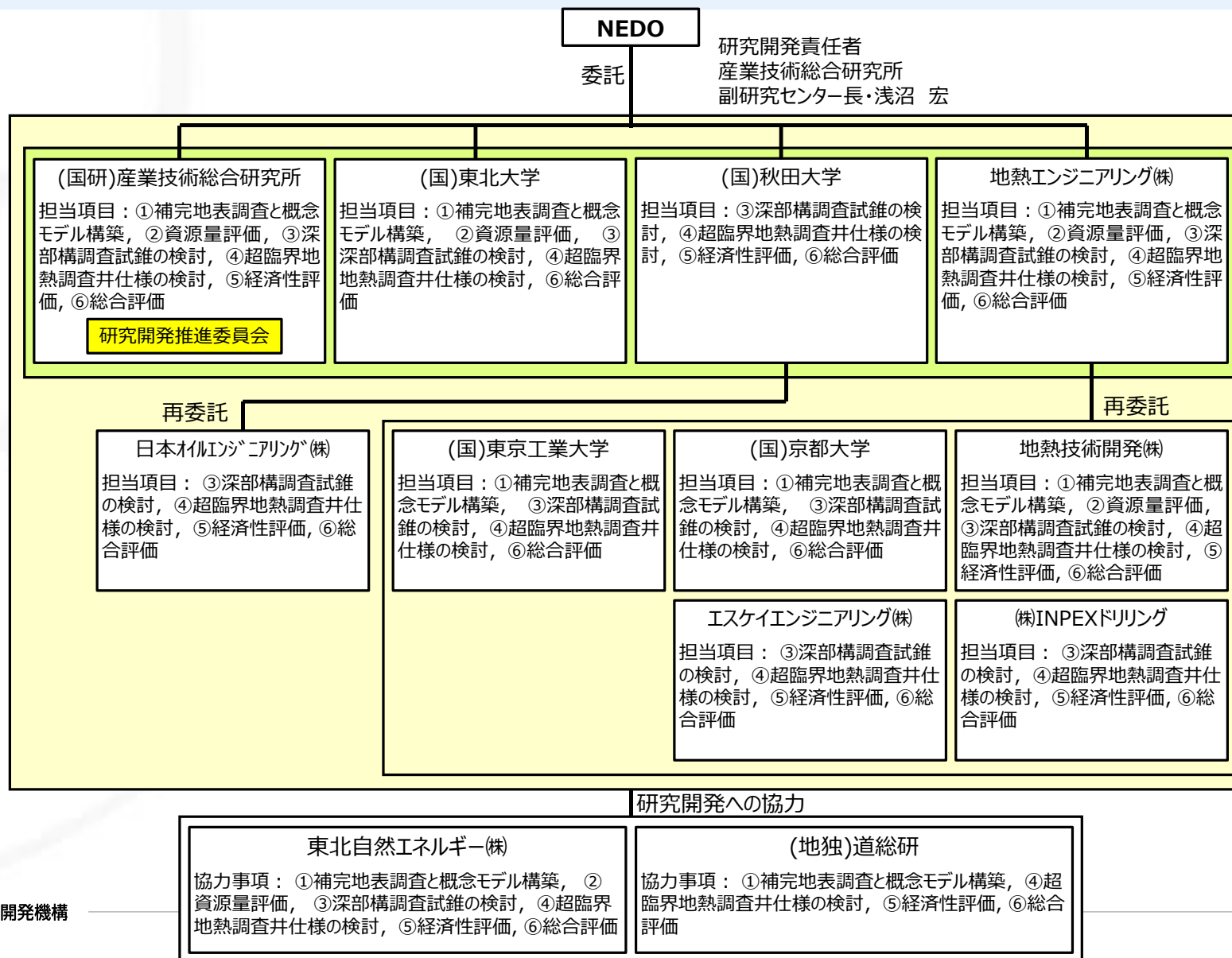
現状のモデルでは、4本の生産井で、1年後に蒸気流量500t/h以上と推測される。

(1)-1. 超臨界（湯沢南部）：実用化・事業化の見通し

- 2024年度以降にNEDOが実施する構造調査試錐掘削、調査井掘削による超臨界地熱資源のコンセプト確認のための事業に可能であれば参画し、超臨界地熱資源開発に関する知見の蓄積を行う。
- 本事業で得た知見を基にして、新規開発地点における超臨界領域に至る地熱系概念モデルの構築及び掘削ターゲット抽出を目的とした調査（MT法探査：約20×20km, 100測点程度など）及び貯留層シミュレーション等のコンサル業務をデベロッパーに対して提案する。
- 各種調査データに基づいた総合解析・ターゲットを検討の上で、新規開発地域における構造試錐井や生産井・還元井の開発ステージにおける掘削工事・坑井調査受注を目指す。

項目	2026年度	2027年度	2028年度	2029年度	2030年度～
調査井掘削による超臨界地熱コンセプトの確認、関連技術開発	NEDOにおける調査井掘削（コンセプトの確認）と関連技術開発				
超臨界地熱資源開発に係るコンサルティング（MT法探査・解析含む）					コンサル業務受注（MT・シミュレーション等）
超臨界地熱資源開発に係る掘削工事					掘削工事受注

(1)-2. 超臨界（葛根田）：実施体制



(1)-2. 超臨界（葛根田）：目標と根拠(1)

研究開発項目	中間目標	最終目標	根拠
①補完地表調査と概念モデル構築	<ul style="list-style-type: none"> 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。資源量評価に必要な超臨界地熱システムの概念モデルを構築する。 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する。 	<ul style="list-style-type: none"> 葛根田地域の地下5km以浅に超臨界領域（あるいはそれに準じた高温領域）を特定する。 熱構造，浸透率空間分布等，生産シミュレーションに必要なパラメータを決定する。 	<ul style="list-style-type: none"> 仕様書に記載された目標であるため。 商用超臨界地熱発電が実現可能であることを示すために不可欠であるため。
②資源量評価	<ul style="list-style-type: none"> 葛根田地域の地熱系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。 	<ul style="list-style-type: none"> 葛根田地域の在来型地熱系及び超臨界地熱システム全体を対象に自然状態シミュレーションを実施し，当地域の地熱系全体を表現できることを示し，モデルの妥当性・信頼性を提示する。 葛根田地域の超臨界地熱システムの詳細モデル化および生産シミュレーション等を通じて超臨界地熱資源の質，量および規模を定量的に評価する（100 MW規模） 	<ul style="list-style-type: none"> 仕様書に記載された目標であるため。 同定した地熱系概念モデルにより，在来型地熱系および超臨界地熱システムの両者を矛盾なく説明できることが不可欠であるため。
③深部構造調査試錐の検討	<ul style="list-style-type: none"> 深部構造調査試錐井の仕様，工程概要，ならびに本坑井を使用した調査・試験プランを提示する。また掘削・試験費用を算出する。 	<ul style="list-style-type: none"> 中間目標と同じ。 	<ul style="list-style-type: none"> 何らかの予算措置があった際に，迅速かつ安全に掘削を実現し，所定の成果を得るため。 本研究開発終了直後から試掘フェーズへの円滑な移行に必要なため。

(1)-2. 超臨界（葛根田）：目標と根拠(2)

研究開発項目	中間目標	最終目標	根拠
④超臨界地熱調査井仕様の検討	<ul style="list-style-type: none"> 調査井を用いた試験計画を策定する。 	<ul style="list-style-type: none"> 調査井の坑口および掘削ターゲットの位置を決定する。 調査井を用いた一連の調査・試験計画を提示する。 HSEマネジメントプランを提示する。 	<ul style="list-style-type: none"> 本研究開発終了直後から試掘フェーズへの移行を円滑にし、その後の実用化・実証フェーズへの展開に必要なため。
⑤経済性評価	<ul style="list-style-type: none"> 2024年度に実施予定のため目標設定なし。 	<ul style="list-style-type: none"> 葛根田地域において在来型地熱発電と同等以下のコストで超臨界地熱発電を実現可能であることを示す。 	<ul style="list-style-type: none"> 超臨界地熱発電が経済的優位性を有することが必須であるため。
⑥総合評価	<ul style="list-style-type: none"> 2024年度に実施予定のため目標設定なし。 	<ul style="list-style-type: none"> 葛根田地域での調査井掘削，試験の優位性を提示する。 調査井掘削，試験およびその後の実用化へ向けた研究開発課題，体制案を提示する。 	<ul style="list-style-type: none"> 本研究開発終了直後から試掘フェーズへの移行を円滑にし、その後の実用化・実証フェーズへの移行に必要なため。

(1)-2. 超臨界（葛根田）：目標達成状況(1)

研究開発項目	中間目標 (2024年3月末)	成果 (2023年3月末見込)	達成度 (見込)	達成の根拠／解決方針
①補完地表調査と概念モデル構築	<ul style="list-style-type: none"> 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。資源量評価に必要な超臨界地熱システム概念モデルを構築する。 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する。 	<ul style="list-style-type: none"> 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概念モデル初版を同定した。 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。 	<p>○</p> <p>2024年3月末迄に達成見込</p>	<ul style="list-style-type: none"> 超臨界地熱貯留層のパラメータ推定法を科学的に妥当な論理に基づき導出し、概念モデルに反映させた。今後、超臨界地熱システムのさらに高度な貯留層パラメータ推定を行い、概念モデルに反映させる。 超臨界地熱システムを含む広域地熱系モデル初版を同定した。今後、探査データや地質データ、不確定性低減技術適用結果等を追加することによりモデルをより詳細化・高信頼性化する。 超臨界地熱システムに関して、互いに独立な手法により得られた情報が相互矛盾しないことを確認したため、同定したモデルの妥当性は高いと考えており、このため、当初目標は達成されるものと判断している。

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

(1)-2. 超臨界（葛根田）：目標達成状況(2)

研究開発項目	中間目標 (2024年3月末)	成果 (2023年3月末見込)	達成度 (見込)	達成の根拠／解決方針
②資源量評価	<ul style="list-style-type: none"> 葛根田地域の地熱系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。 	<ul style="list-style-type: none"> 「①補完地表調査と概念モデル構築」で同定した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。 「①補完地表調査と概念モデル構築」で同定された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。 	○ 2024年3月末迄に達成見込	<ul style="list-style-type: none"> 超臨界貯留層の大きさ、流体組成、圧力分布が異なる複数の数値モデルを用いて地熱系概念モデルの再現性を評価し、最も妥当なモデルを決定するとともに、感度解析によりモデルの不確定性の影響を評価する。 葛根田地域で超臨界地熱貯留層を用いた100MW以上の発電が実現可能な開発方式を提示することに加え、浅部在来系地熱システムへ有意な影響が出ないことを示す。 今後の資機材価格、人件費等の推移を考慮する必要があるものの（⑤での検討）、現在の成果から、葛根田地域で100MW以上の超臨界地熱発電が実現可能な資源が存在することを示すことができるものと想定しており、当初目標を達成可能と判断している。
③深部構造調査 試錐の検討	<ul style="list-style-type: none"> 深部構造調査試錐井の仕様、工程概要、ならびに本坑井を使用した調査・試験プランを提示する。また、掘削・試験費用を算出する。 	<ul style="list-style-type: none"> 関連する科学者・技術者からの提案・ヒヤリングにより深部構造調査試錐井を利用した一連の調査・試験計画を立案した。 葛根田地域の超臨界地熱システムモデルおよびその他の諸条件を勘案し、坑井仕様、工程、コストを算出した。 葛根田地域を対象として法令、社会的条件等を詳細に調査した。 同地域で蒸気生産を行っている企業との調整を行い、試錐に対する前向きな回答を得た。 	◎ 2023年3月末迄に達成済	<ul style="list-style-type: none"> 現実的に掘削が可能な基地、坑跡等を検討し、試錐井の構造、工法等を決定した。 予算規模に応じて、適切な掘削・調査・試験を実施可能にする複数の試錐プランを導出した。 安全に掘削・試験を実施するためのHSEマネジメントプランのコア部分を構築した。 上記成果により、本事業終了直後から試錐へ迅速かつ円滑に移行できる状況となったため、◎と評価する。

(1)-2. 超臨界（葛根田）：目標達成状況(3)

研究開発項目	中間目標 (2024年3月末)	成果 (2023年3月末見込)	達成度 (見込)	達成の根拠／解決方針
④ 超臨界地熱調査井仕様の検討	<ul style="list-style-type: none"> 調査井を用いた試験計画を策定する。 	<ul style="list-style-type: none"> 関連する科学者・技術者からの提案・ヒヤリングにより調査井を用いた一連の試験計画を具体的に立案した。 調査井を利用した「超臨界地熱資源存在立証シナリオ」を策定した。 葛根田地域の超臨界地熱システムモデルおよびその他の諸条件を勘案し、坑井仕様、工程の初版を策定した。 葛根田地域での掘削・試験に関連した法令、社会的条件等を詳細に調査した。 同地域で蒸気生産を行っている企業との調整を行い、調査井掘削に対する前向きな回答を得た。 坑内シミュレーションによる掘削時の坑内状況の事前評価を開始した。 調査井における水圧破碎シミュレーションを実施し、坑口、坑内圧力分布、人工貯留層進展等を予測した。 調査井の坑内温度分布等を推定し、使用可能な資機材および工法の評価・選定を行った。 	<p>◎</p> <p>2024年3月末迄に達成見込</p>	<ul style="list-style-type: none"> 葛根田地域の超臨界地熱システムモデル、浅部熱水系、地理的条件等を勘案し、安全に超臨界地熱貯留層へ到達可能な調査井仕様・掘削工程等を策定する。 掘削時における坑内状況をシミュレートし、適切な資機材を選択する。 これらにより、本事業終了直後から調査井掘削へ迅速かつ円滑に移行できる状況となる見込みであり、◎と評価する。
⑤ 経済性評価	<ul style="list-style-type: none"> 2024年度に実施予定のため目標設定なし。 			
⑥ 総合評価	<ul style="list-style-type: none"> 2024年度に実施予定のため目標設定なし。 			

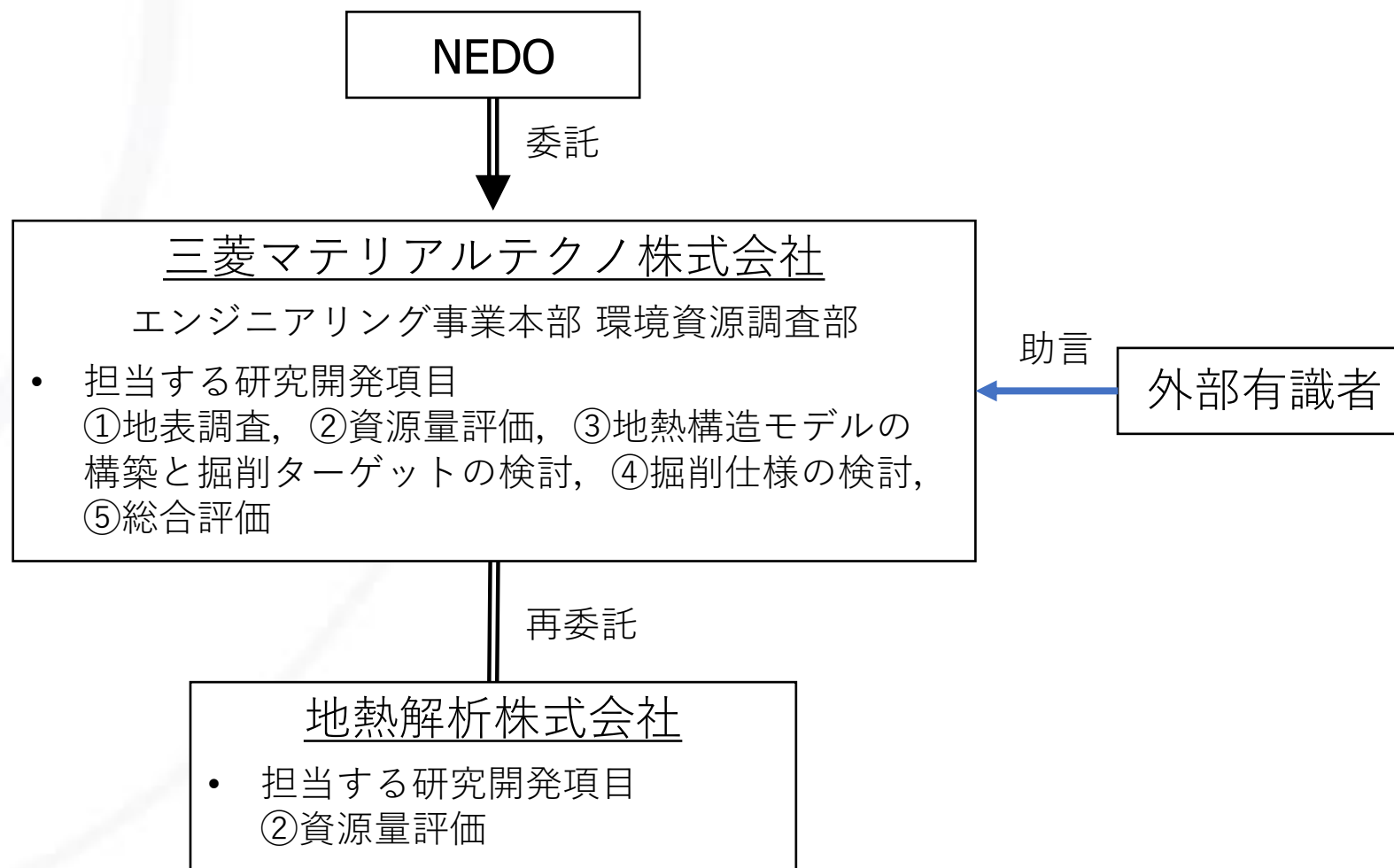
(1)-2. 超臨界（葛根田）：実用化・事業化の見通し

- 実用化**：参画者は、一連の超臨界地熱発電技術開発において最も重要なステップである「構造試錐井および調査井の掘削」を本研究開発終了直後に国プロとして開始することを想定している。本フェーズでは、(a)葛根田地域での100MW程度の商用発電を40年以上実現可能なことの実証（資源存在実証）、(b)探査・モデル化技術等の妥当性評価、(c)資機材・開発技術の試験・評価等を行う。これらを通じて超臨界地熱発電が実用化可能であるか否の判断、および実用化へ向けた方向性を提示する。
- 事業化**：発電事業者が主体となった、2040年頃のパイロットプラント建設（100MW程度）、2050以降の多数地点での事業化（国内総容量数GW以上）の実現を目指す。国研、大学等の研究者はポテンシャル評価、資源開発技術開発、データ分析等により事業化を支援する。

今後の研究開発プラン（参画研究者サイドの案）

フェーズ	試掘詳細検討フェーズ										実用化フェーズ		事業化フェーズ
	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2032~2040頃	2040頃~2060頃	
研究開発項目（主な実施者）											実用掘削への果敢な方向性の検討	2032~2040頃	2040頃~2060頃
葛根田地域での超臨界地熱資源量評価	本事業											* パイロットプラン（100MW程度）建設 * 商用発電へ向けた研究開発 * 全国規模のポテンシャル評価	* 国内複数地点での商用発電（1基100~200MW程度。総容量数GW以上）
全国超臨界地熱ポテンシャルマップ（産総研、大学等）				国内有望地点の資源量詳細評価									
試掘と各種試験（参画全社、先行研究開発参画各社）				準備・地元説明									
				掘削工事									
				各種試験・噴気試験									
				解析・評価									
基礎研究（産総研、大学等）				環境モニタリング									
													基礎研究

(1)-3. 超臨界（八幡平）：実施体制



(1)-3. 超臨界（八幡平）：目標と根拠

研究開発項目	最終目標	根拠
①補完地表調査と概念モデル構築	MT法電磁探査、微小地震観測の最終結果を反映し、地下5km以浅における超臨界領域の規模を特定する。	資源量評価には、超臨界地熱資源の賦存範囲の特定が必要。
②資源量評価	最終的な「超臨界貯留層モデル」、「溶融モデル」での推定資源量と、それぞれにおける最適生産システムを提示する。	未知である超臨界領域の適切なモデル化が必要。シミュレーションによる資源量評価手法は、従来型地熱資源の評価に用いられる手法。
③深部構造調査試錐の検討	地熱系概念モデルを基に選定される掘削ターゲットを対象として、現時点で考える掘削仕様を提示する。	超臨界地熱資源の試掘に向けた調査井の具体的な仕様検討・費用試算が必要。
④超臨界地熱調査井仕様の検討	地熱系概念モデルを基に選定される掘削ターゲットを対象として、現時点で考える掘削仕様を提示する。	超臨界地熱資源の試掘に向けた調査井の具体的な仕様検討・費用試算が必要。
⑤経済性評価	最適生産システムの実現に必要な費用を総括し、最終的な推定資源量との比較による経済性評価結果を提示する。	超臨界地熱発電所の実現に向けた費用規模・経済性の把握が必要。

(1)-3. 超臨界（八幡平）：目標達成状況(1)

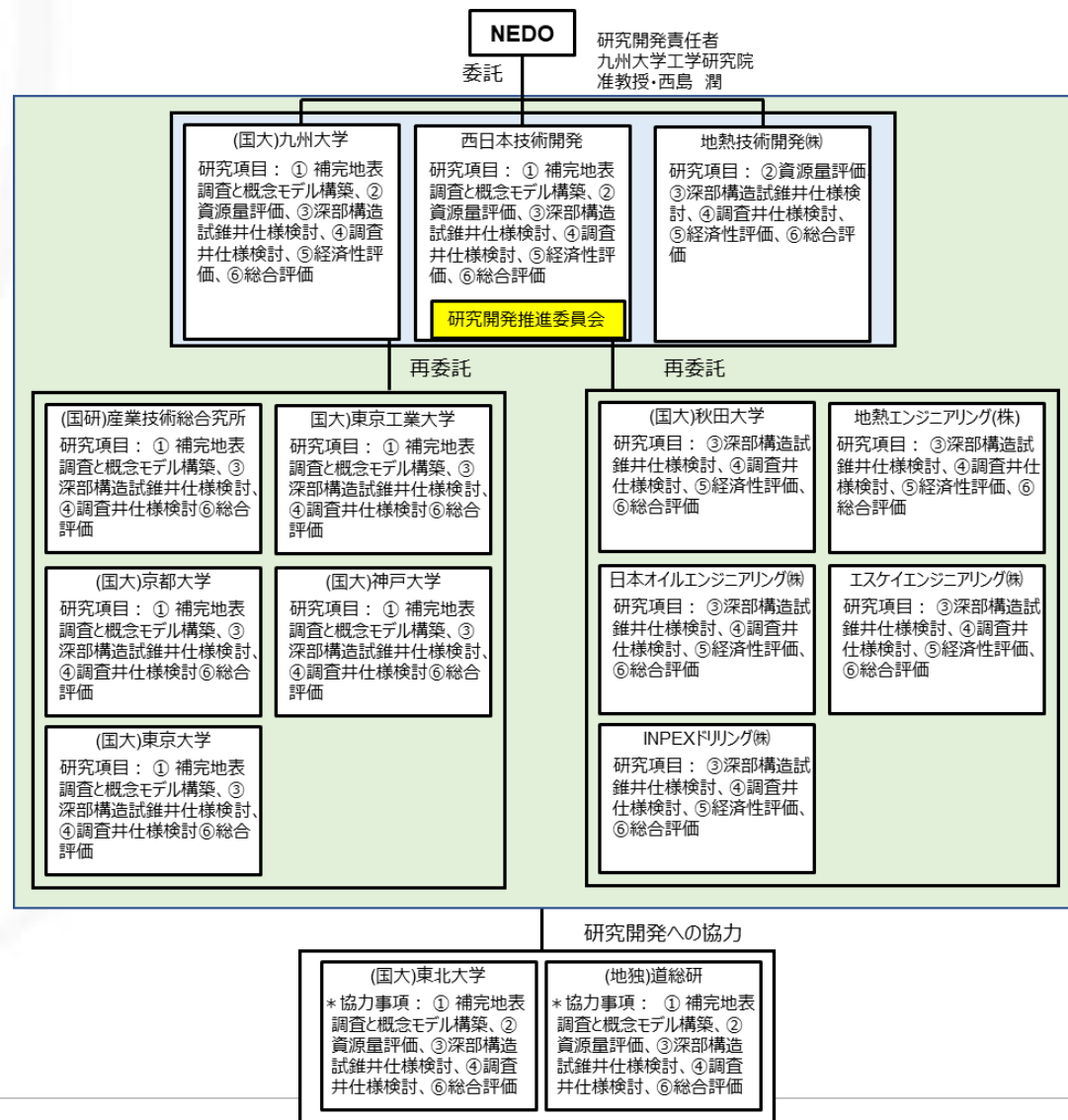
研究開発項目	最終目標 (2024年3月)	成果 (2023年3月まで)	達成度 (見込み)	達成の根拠 ／解決方針
①補完地表調査 と概念モデル構築	MT法電磁探査、微小地震観測の最終結果を反映し、地下5km以浅における超臨界領域の規模を特定する。	<ul style="list-style-type: none"> MT法電磁探査によって抽出された推定熱源岩体（深部低比抵抗帯）の分布形状から概念モデルを構築。 微小地震観測・重力探査の結果も超臨界領域の分布を示唆。 	○ 2024年3月に達成見込み	<ul style="list-style-type: none"> 調査結果を基に作成した数値モデルで、従来型地熱貯留層（安比地域）をシミュレーションにより再現することができ、調査手法としての妥当性が確認された。 調査結果が揃い次第、地熱概念モデルの最終版を作成する。
②資源量評価	最終的な「超臨界貯留層モデル」、「溶融モデル」での推定資源量と、それぞれにおける最適生産システムを提示する。	<ul style="list-style-type: none"> 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。 新たに「中間モデル」を作成、未知の部分も含め幅広く検討可能とした。 中間モデルによる資源量の試算を行った。 	○ 2024年3月に達成見込み	<ul style="list-style-type: none"> 各モデルで安比地域を再現できており、想定した熱源とその周辺の地熱構造には妥当性がある。 熱源岩体内部構造等、未知の部分についても感度解析的なアプローチの目途がついた。

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

(1)-3. 超臨界（八幡平）：目標達成状況(2)

研究開発項目	最終目標 (2024年3月)	成果 (2023年3月まで)	達成度 (見込み)	達成の根拠 ／解決方針
③深部構造調査 試錐の検討	地熱系概念モデルを基に選 定される掘削ターゲットを対 象として、現時点で考える 掘削仕様を提示する。	・掘削長3,200mの掘削仕 様案を作成し、費用の積算 を行った。	○ 2024年3 月に達成見 込み	<ul style="list-style-type: none"> ・深部構造調査試錐の掘削は現有技術で対応可能と判断され、積算も現在の単価等から検討可能。 ・最終版概念モデルを基に掘削仕様を調整予定。
④超臨界地熱調 査井仕様の検討		・掘削長3,800mの掘削仕 様案を作成し、温度・圧力 環境の想定や課題の整理を 行った。	○ 2024年3 月に達成見 込み	<ul style="list-style-type: none"> ・温度・圧力環境の想定には、資源量評価におけるシミュレーション結果を適用する目途がついた。 ・現有技術での対応可否/解決案の検討。
⑤経済性評価	最適生産システムの実現に 必要な費用を総括し、最 終的な推定資源量との比 較による経済性評価結果 を提示する。	・既往研究等を基に、超臨界 地熱発電所の構想や技術 状況、費用検討の方法を調 査。	○ 2024年3 月に達成見 込み	<ul style="list-style-type: none"> ・①～④の目途がついており、それを基に総括を行える予定。 ・主に中間モデルを使用した資源量評価を通じて、100MW級を実現可能な生産システムを絞り込む。

(1)-4. 超臨界 (九重) : 実施体制



(1)-4. 超臨界（九重）：目標と根拠(1)

研究開発項目	中間目標	最終目標	根拠
①補完地表調査と概念モデル構築	<ul style="list-style-type: none"> 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。資源量評価に必要な超臨界地熱システムの概念モデルを構築する。 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する。 	<ul style="list-style-type: none"> 九重地域の地下5km以浅に超臨界領域（あるいはそれに準じた高温領域）を特定する。 熱構造、浸透率空間分布等、生産シミュレーションに必要なパラメータを決定する。 	<ul style="list-style-type: none"> 仕様書に記載された開発目標であるため。 商用超臨界地熱発電が実現可能であることを示すために不可欠であるため。
②資源量評価	九重地域の地熱系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。	九重地域の超臨界地熱システムの詳細モデル化および生産シミュレーション等を通じて超臨界地熱資源の質、量および規模を定量的に評価する（100MW規模）	仕様書に記載された開発目標であるため。

(1)-4. 超臨界（九重）：目標と根拠(2)

研究開発項目	中間目標	最終目標	根拠
③深部構造調査試錐の検討	<ul style="list-style-type: none"> ・深部構造調査試錐井の仕様、工程概要、ならびに本坑井を使用した調査・試験プランを提示する。また、掘削・試験費用を算出する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・中間目標と同じ。 	<ul style="list-style-type: none"> ・何らかの予算措置があった際に、迅速かつ安全に掘削を実現し、所定の成果を得るため。本研究開発終了直後から試掘フェーズへの円滑な移行に必要なため。
④超臨界地熱調査井仕様策定	<ul style="list-style-type: none"> ・調査井を用いた試験計画を策定する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・調査井の坑口および掘削ターゲットの位置を決定する。調査井を用いた一連の計測・試験計画を提示する。 ・HSEマネジメントプランを提示する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・商用発電に資する規模の超臨界地熱資源の存在実証に不可欠であるため。調査井の仕様策定やHSEマネジメントプラン提示等に必要なため。 ・本研究開発終了直後から試掘フェーズへの移行を円滑にし、その後の実用化・実証フェーズへの展開に必要なため。
⑤経済性評価	<ul style="list-style-type: none"> ・2024年度に実施予定のため目標設定なし。 	<ul style="list-style-type: none"> ・九重地域において在来型地熱発電と同等以下のコストで超臨界地熱発電を実現可能であることを示す。 	<ul style="list-style-type: none"> ・超臨界地熱発電が経済的優位性を有することが必須であるため。

(1)-4. 超臨界（九重）：目標と根拠(3)

研究開発項目	中間目標	最終目標	根拠
⑥総合評価	<ul style="list-style-type: none"> ・2024年度に実施予定のため目標設定なし。 	<ul style="list-style-type: none"> ・九重地域での調査井掘削、試験の優位性を提示する。 ・調査井掘削、試験およびその後の実用化へ向けた研究開発課題、体制案を提示する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・本研究開発終了直後から試験掘フェーズへの移行を円滑にし、その後の実用化・実証フェーズへの移行に必要なため。

(1)-4. 超臨界（九重）：目標達成状況(1)

研究開発項目	中間目標 (2024年3月)	成果 (2023年3月まで)	達成度 (見込み)	達成の根拠 ／解決方針
① 補完地表調査と概念モデル構築	<ul style="list-style-type: none"> 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。資源量評価に必要な超臨界地熱システムの概念モデルを構築する。 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する。 	<ul style="list-style-type: none"> 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 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。 	○ 2024年3月に達成見込み	<ul style="list-style-type: none"> 地表調査、文献調査の結果を追加し、検討を加えることで概念モデルの改良を行う。 文献調査及び岩石実験によって浸透率と岩石物性のデータを収集し、これを基に、岩石物理モデルを構築する。
② 資源量評価	<ul style="list-style-type: none"> 九重地域の地熱系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。 	<ul style="list-style-type: none"> 項目①より提供された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（外注）。 	○ 2024年3月に達成見込み	<ul style="list-style-type: none"> 外注している自然状態シミュレーション結果を受領し（2023年3月）、数値モデルを確認する。

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

(1)-4. 超臨界（九重）：目標達成状況(2)

研究開発項目	中間目標 (2024年3月)	成果 (2023年3月まで)	達成度 (見込み)	達成の根拠 ／解決方針
③ 深部構造調査試錐の検討	<ul style="list-style-type: none"> 深部構造調査試錐井の仕様、工程概要、ならびに本坑井を使用した調査・試験プランを提示する また、掘削・試験費用を算出する。 	<ul style="list-style-type: none"> 深部構造調査試錐の掘削ターゲット位置、地上掘削位置、ケーシングプログラム、傾斜掘削計画、工程概略を提示した。 本坑井を使用した調査・試験プランを提示した。 掘削・試験費用を算出した 	○	<ul style="list-style-type: none"> 2023年3月までにケーシングプログラム等の坑井仕様ならびに調査・試験プランを策定し、それぞれの概算費用を算出した。
④ 超臨界地熱調査井仕様策定	<ul style="list-style-type: none"> 調査井を用いた試験計画を策定する。 	<ul style="list-style-type: none"> 調査試験項目をリストアップし、調査井を用いた調査試験計画を立案した。 	○ 2024年3月に達成見込み	<ul style="list-style-type: none"> 試験計画を策定する／現在検討中である資源存在実証シナリオを考慮して試験計画を検討する。
⑤ 経済性評価	<ul style="list-style-type: none"> 2024年度に実施予定のため目標設定なし。 			
⑥ 総合評価	<ul style="list-style-type: none"> 2024年度に実施予定のため目標設定なし。 			

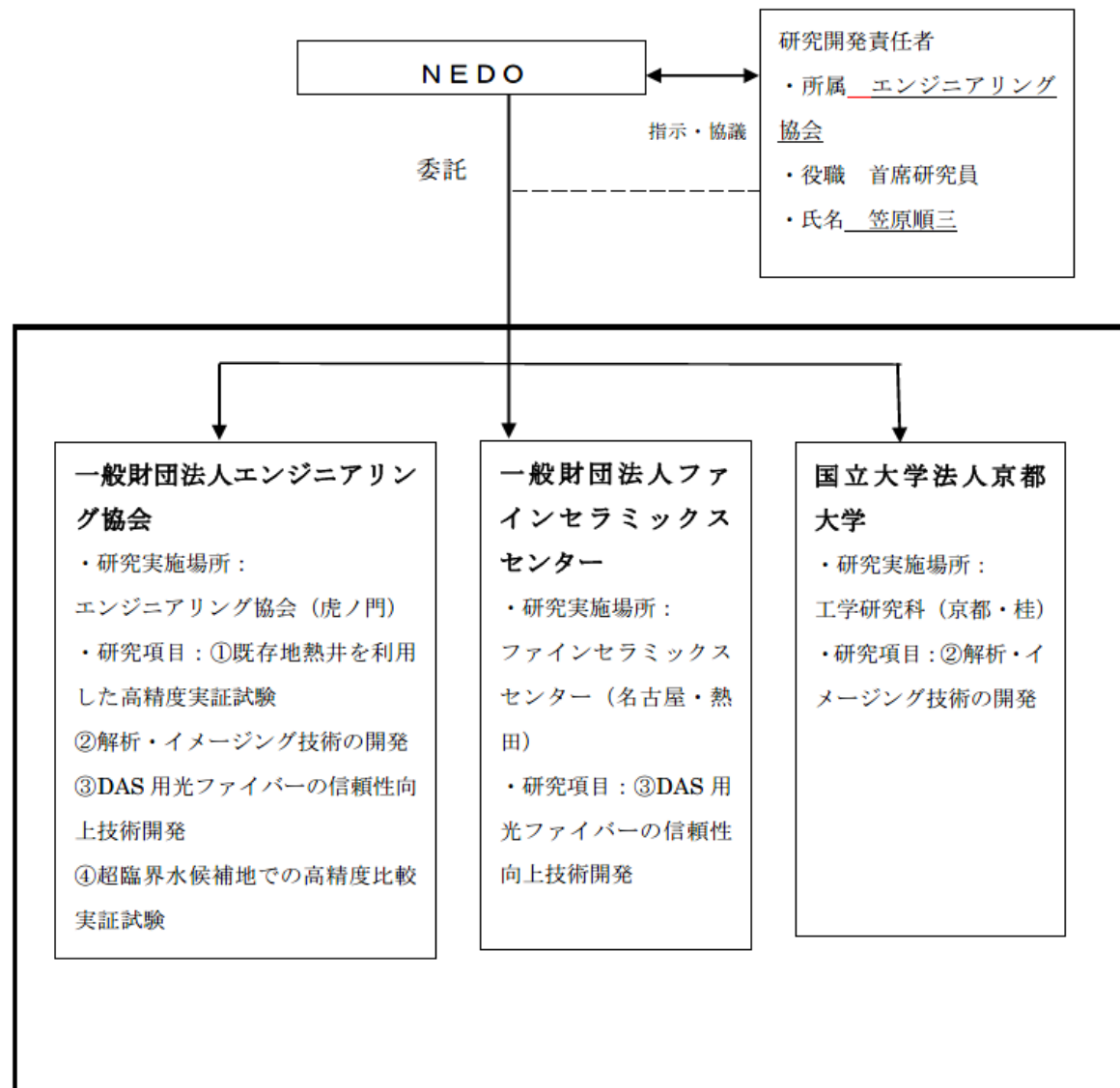
◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

(1)-4. 超臨界（九重）：実用化・事業化の見通し

- 超臨界地熱研究開発は、エネルギー・環境イノベーション戦略技術ロードマップ、グリーン成長戦略および第6次エネルギー基本計画に従って実施されると推定される。
- 2024年度以降にNEDO超臨界地熱関連事業として実施される予定の構造調査試錐掘削、調査井掘削等の事業に参画し、超臨界状態の地熱エネルギー利用に関する知見の蓄積を行う。
- 本事業で得た知見は、近隣浅部に存在する地熱貯留層に対するコンサルティング業務にも活用が可能であり、探査やシミュレーション等、適宜知見を活かし事業を行っていく。

項目	2026年度	2027年度	2028年度	2029年度	2030年度～
調査井掘削による超臨界地熱コンセプトの確認、関連技術開発	NEDOにおける調査井掘削と関連技術開発				NEDOにおける実証試験
九重地域近隣の浅部貯留層に対するコンサルティング業務					コンサル業務受注（探査・シミュレーション等）

(1)-5. 光ファイバー-DAS : 実施体制



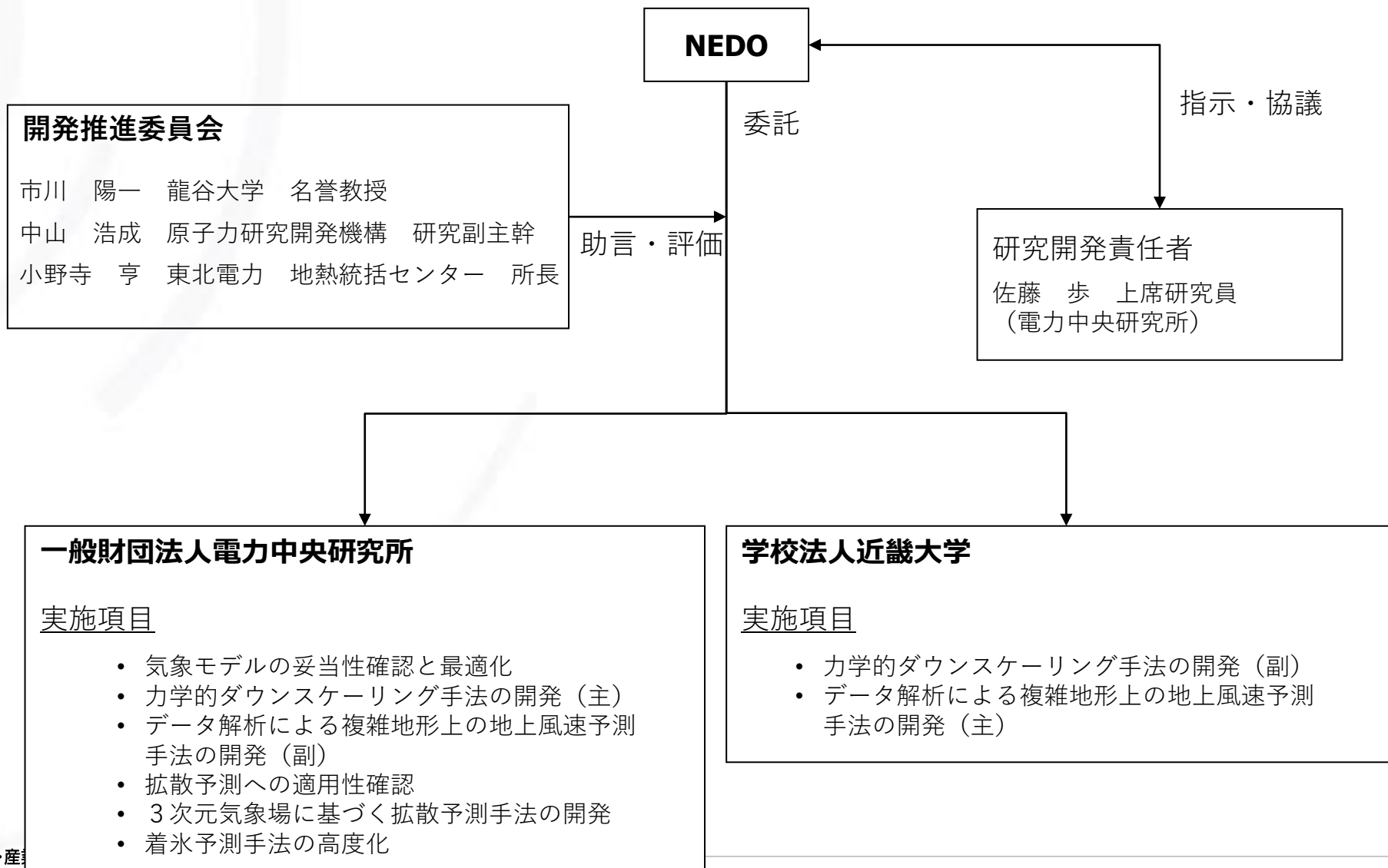
(1)-5. 光ファイバー-DAS：目標と根拠

研究開発項目	中間目標	最終目標	根拠
① 既存地熱井を利用した高精度実証試験	1km程度の範囲で地熱貯留層を求める手法の開発	なし	・前フェーズ（2018年から2020年度）では2km程度の範囲で有望地熱貯留層域を確認できたので、1kmの範囲を確認できると考えた。
② 解析・イメージング技術の開発	DASデータから地下構造を推定する理論的手法の確立（推定誤差：深さ方向：300m、水平方向：1km）	DASデータから地下構造を推定する理論的手法の確立（推定誤差：深さ方向200m、水平方向500m）	・2018年～2020年度に得られた結果を検討し推定精度を予測した。 ・ヘリカルケーブルを用いることによりDASデータから地下構造を推定する推定誤差を設定した。
③ DAS用光ファイバーの信頼性向上技術開発	光ファイバーの超臨界水環境下（目標400℃）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等を用いた耐久性評価手法を確立する。	超臨界水環境下（目標400℃）において適用可能なDAS用光ファイバーシステム構造の有効性を示す。	・2022年度までに得られた現行の光ファイバーとDASシステムの損傷分析・解析より、損傷しやすい部位を構成要素モデルに選定するとともに、加速評価のための温度を決定した。
④ 超臨界水候補地での高精度比較実証試験	なし	1.5km程度の範囲で深さ4km程度の地震波反射面の存在の有無を明らかにする。	・既存地熱井を利用した高精度実証試験から得られる結果をさらに深部適用する。

(1)-5. 光ファイバー-DAS：目標達成状況

研究開発項目	中間目標 (2024年3月)	成果 (2023年3月まで)	達成度 (見込み)	達成の根拠 /解決方針
① 既存地熱井を利用した高精度実証試験	1km程度の範囲で地熱貯留層を求める手法の開発	・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。	◎ 100%を超える成果が得られた	前フェーズ（2018年から2020年度）および本フェーズに浅部実証試験で得られた結果をもとにDASデータを用いてインバージョン解析、イメージングした結果、貯留層の深さは目標の1kmを上回る精度で求まることが分かった。浅部実証試験井周辺の既存地盤データの整合性を比較した結果整合性を確認できつつある。
② 解析・イメージング技術の開発	DASデータから地下構造を推定する理論的手法の確立（推定誤差：深さ方向：300m、水平方向：1km）	・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	○ 十分達成した	既知のデータとの整合性があることの確認ができた。
③ DAS用光ファイバーの信頼性向上技術開発	光ファイバーの超臨界水環境下（目標400℃）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等を用いた耐久性評価手法を確立する。	・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 ・センサーデバイス内の雰囲気ที่สำคัญであることを明らかにした。	○ 2024年3月頃に達成見込み	2022年度までの成果に加え、2023年度実施内容を基に評価手法を確立する見込みである。
④ 超臨界水候補地での高精度比較実証試験	なし			

(2)-1. 大気拡散予測：実施体制



(2)-1. 大気拡散予測：目標と根拠

研究開発項目	中間目標	最終目標	根拠
気象調査代替手法の研究開発	<p>2～4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。</p> <p>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。</p>	<p>気象モデルおよびダウンスケーリング手法による気象調査代替手法を完成させ、代替手法に基づく硫化水素濃度の予測結果が、従来の現地気象調査に基づく予測結果と同等（おおむね0.5～2倍）の範囲に収まることを確認する。</p>	<p>複数地点を対象とすることで、汎用性の高い手法開発につながる。また、開発した気象調査代替手法が実用的な性能を満たすことを定量的に示し、環境影響評価への早期実用化を図る。これにより、環境影響評価の期間短縮・コスト削減につながる。</p>
新たな大気拡散予測手法の研究開発	<p>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。</p>	<p>気象モデルの3次元気象場に基づく新たな大気拡散予測手法を開発する。また、硫化水素濃度の実測値により、開発した予測手法の性能評価を行い、大気拡散モデルに求められる性能基準を満たすことを示す。</p>	<p>気象場の変化を考慮した大気拡散予測手法を開発することで、WHOの健康基準との比較が可能な、「24時間平均の硫化水素濃度」を予測することが可能となる。</p> <p>これにより、環境影響評価において基準が不明確であった硫化水素濃度に対して、適切な評価が可能となる。</p>

(2)-1. 大気拡散予測：目標達成状況

研究開発項目	中間目標 (2024年3月)	成果 (2023年3月まで)	達成度 (見込み)	達成の根拠 ／解決方針
気象調査代替手法の研究開発	2～4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モデルの融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。	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、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。 気象モデルとCFDモデルの融合モデルを整備。機械学習による複雑地形上の地上風速予測手法を整備。	○ 2024年3月に達成見込み	遅滞なく精度検証・モデル開発を進めており、計画通り達成の見込み
新たな大気拡散予測手法の研究開発	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。	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。	○ 2024年3月に達成見込み	観測データが予定通りに取得できたことから計画通り達成の見込み

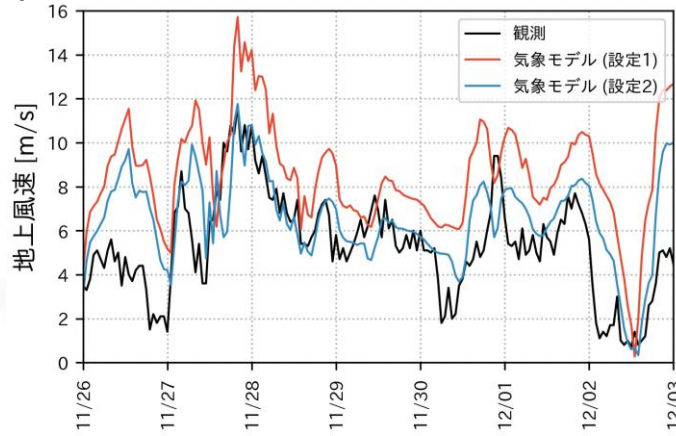
◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

(2)-1. 大気拡散予測：成果

目的：現地における気象調査を、数値気象モデルを用いたシミュレーション手法に置き換えることで、気象調査に係る期間・コストを低減させる。

1) 気象調査代替手法の研究開発

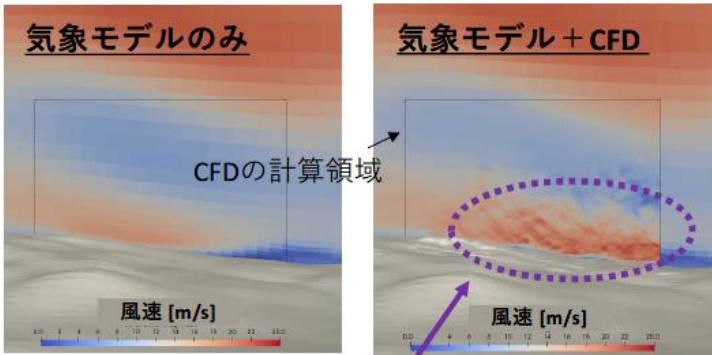
a) 気象モデルの妥当性確認と最適化



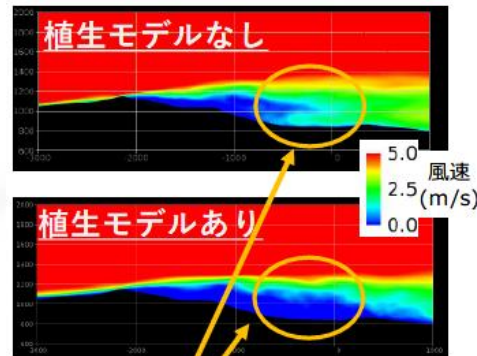
従来の気象モデルの設定（赤線）では、山間部の地上風速（黒線）を過大評価する傾向が見られた。

→気象モデルの最適化（青線）により、過大評価傾向に対する改善の見通しを得た。

b) 力学的ダウンスケーリング手法の開発

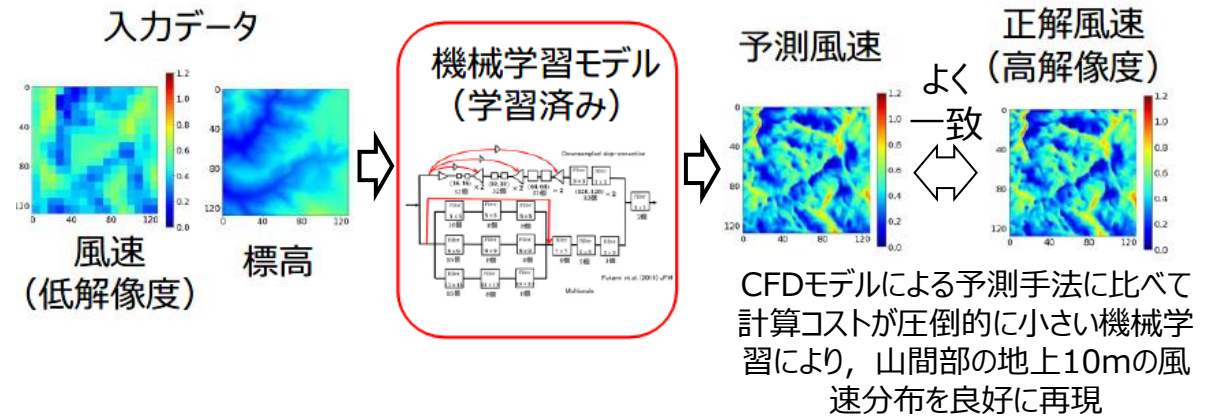


気象モデルのみに比べて、地形等により生じる微細な乱流構造が再現できることを確認



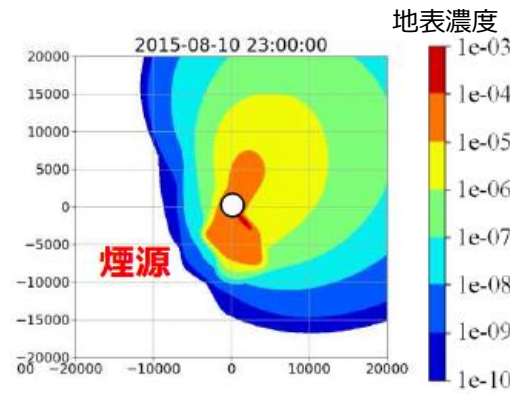
植生モデルの実装により、尾根地形風下の剥離域が大きく変化することを確認

c) データ解析による複雑地形上の地上風速予測手法の開発



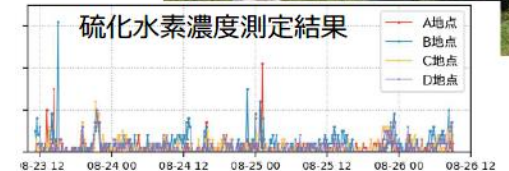
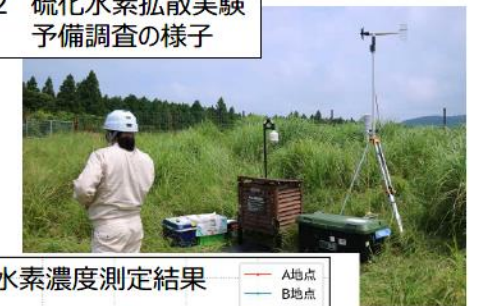
2) 新たな大気拡散予測手法の研究開発

a) 3次元気流場に基づく拡散予測手法の開発



CALPUFFモデル（非定常な気流変化を考慮した汚染物質の拡散予測が可能なモデルの1つ）について実行環境を整備し、試計算を実施。

図2 硫化水素拡散実験予備調査の様子



拡散予測モデルの検証用データ取得のため、地熱発電所における拡散実験の候補地を選定し、予備調査を実施。

(2)-1. 大気拡散予測：実用化・事業化の見通し(1)

本研究開発の成果については、以下の3項目についての実用化・事業化を予定

① **環境影響評価における現地気象調査の代替手法**

地熱発電所の環境影響評価において実施される現地気象調査を、シミュレーション・統計手法により代替する

② **3次元気流場に基づく拡散予測手法**

気象モデルの出力を利用した、3次元的な気流の変化を考慮した大気拡散予測手法により、WHOの硫化水素に対する健康基準と比較可能な24時間平均の硫化水素濃度を予測する

③ **地形影響を考慮した着氷予測手法**

地熱発電所冷却塔蒸気を対象とした現行の着氷予測モデルについて、地形影響を精度良く考慮できる改良を行い、環境影響評価等において、より適切な着氷予測を行う

(2)-1. 大気拡散予測：実用化・事業化の見通し(2)

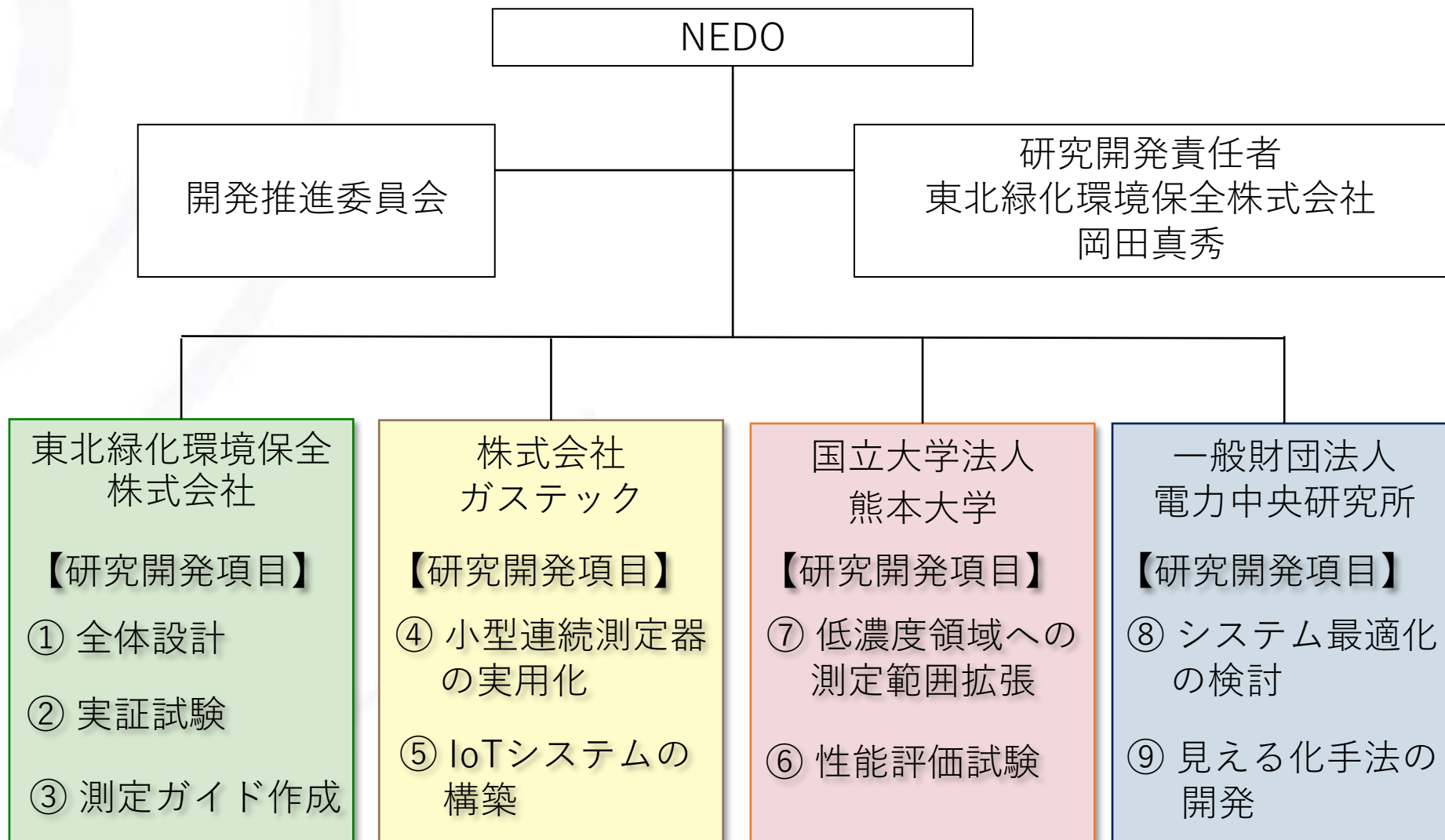
実用化・事業化に向けた取り組み

①～③の代替手法・予測手法を、環境影響評価手法として実用化するには、経済産業省の「発電所に係る環境影響評価の手引」（アセス手引）に、これらの手法が掲載されることが望ましい。

→アセス手引への早期反映のため、上記代替手法・予測手法の妥当性について、積極的に学術論文等にて公知化し、科学的根拠を明確にする。また、関係各所である、経済産業省電力安全課、環境省環境影響評価課、経済産業省環境審査顧問会等にも適宜情報提供を行い、アセス手引への早期反映を促す取り組みを実施する。

項目	2026年度	2027年度	2028年度	2029年度	2030年度～
①環境影響評価における現地気象調査の代替手法	学術論文による公知化 アセス手引※への反映				
		アセスへの適用			
②3次元気流場に基づく拡散予測手法	学術論文による公知化 アセス手引※への反映				
		アセスへの適用			
③地形影響を考慮した着氷予測手法	学術論文による公知化				
		アセスへの適用			

(2)-2. 硫化水素モニタリング：実施体制



(2)-2. 硫化水素モニタリング：目標と根拠(1)

中間目標 (2024年3月末)

行動目標	技術的な目標	設定理由
室内における小型連続測定器の実証機の性能評価試験の実施	<ul style="list-style-type: none"> ○ 基本性能として以下の評価が得られること。 <ul style="list-style-type: none"> ・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^{※1}) ±10 %以内(試験ガス濃度:約1.00 ppm^{※1}) ○ 使用環境を想定した温度、湿度による影響の試験において以下の評価が得られること。 <ul style="list-style-type: none"> ・測定値の変化：±0.01 ppm以内 	人の健康影響や基準 ^{※2} 等との比較に対応でき、地熱発電所の環境アセスメントに利用できることを確認するため。
低濃度領域測定器の試作機の動作テスト	<ul style="list-style-type: none"> ○ 環境アセス公定法と同等の測定範囲の下限 (0.004 ppm) を持つ試作機を完成させ、野外においてバッテリー駆動で正常に6時間の測定が可能なこと。 	環境アセス公定法を自動測定で代替できる目途を得るため。
フィールドにおける実証試験の実施計画の策定	<ul style="list-style-type: none"> ○ 地熱発電所等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こと。 	実際に使用する屋外環境におけるシステムの有効性を確認するため。

※1：先行研究で提案されている「地熱発電所の冷却塔から排出される硫化水素の予測手法の基本的な考え方に関するガイドライン(案)」での評価 基準濃度 (住居等がある場合<0.11 ppm、住居等が無い場合<1.00 ppm)

国立研究開発法人 新 ※2：「屋外作業環境ガイドラインに基づく管理濃度」(1 ppm) や「WHO欧州空気質ガイドライン(健康基準)」(0.11 ppm)

(2)-2. 硫化水素モニタリング：目標と根拠(2)

最終目標 (2026年3月末)

行動目標	技術的な目標	設定理由
実証機を用いた現地実証試験の実施	<ul style="list-style-type: none"> ○ 小型連続測定器が、地熱発電所周辺の野外において3日間以上連続で正常に動作し、現行の環境アセス公定法の測定結果と一定の相関が得られること。 ○ モニタリングシステムが、10地点以上の硫化水素の測定結果（基本的には測定範囲の下限は0.01 ppm程度、うち数地点は0.004 ppm未満に対応）による0.004未満～5 ppmの範囲の面的な濃度分布を、1時間よりも短い単位で速やかに地形図上に表示し、見える化できること。 	IoT硫化水素モニタリングシステムを地熱発電所の環境アセスメントの硫化水素測定に適用し、現行の環境アセス公定法（1時間単位で24時間測定×四季）に比べてデータの質と量を向上させつつ、調査解析に係る時間とコストを50%削減できる目途を得るため。
新しい硫化水素測定手法ガイドラインの作成	<ul style="list-style-type: none"> ○ 地熱発電所の環境アセスメントにおける硫化水素測定結果のデータの質と量を向上しつつ、調査解析に係る時間とコストを50%削減できる測定手法をとりまとめること。 	

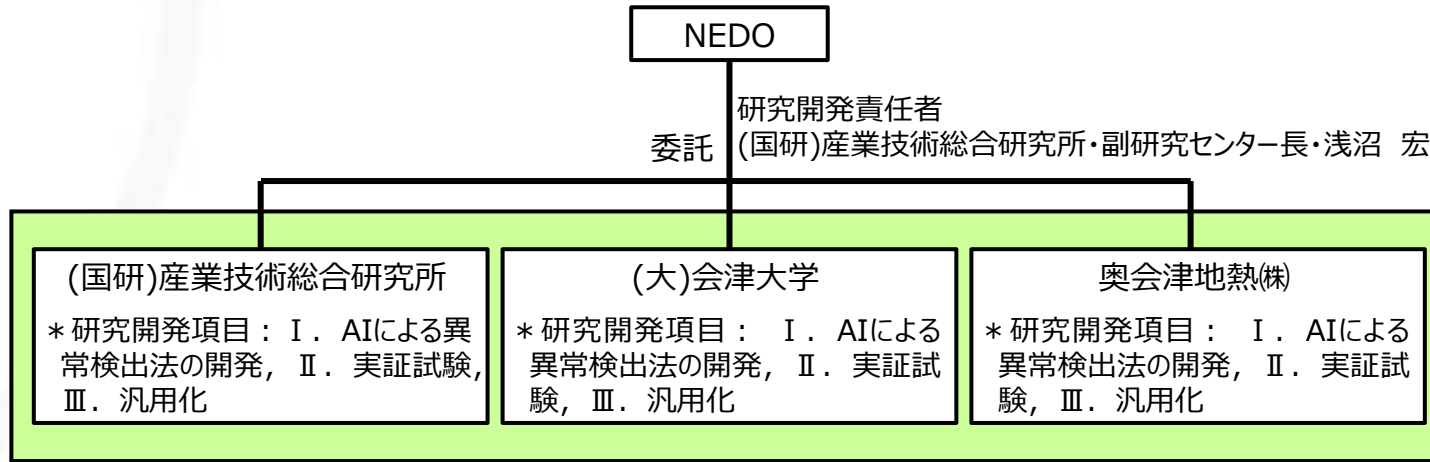
注：現行の環境アセスメントで測定されている濃度範囲（0.004 ppm～5 ppm程度）に対し、2025年度末においては小型連続測定器で測定が可能となる測定範囲（下限値0.01 ppm～上限値 5.00 ppm）を商品化の目途を得る対象とする。
 また、低濃度領域への測定範囲拡張の試作機による現地実証試験により、0.01 ppm未満については数年後に実用化できる目途を得ることを目標とする。

(2)-2. 硫化水素モニタリング：目標達成状況

項目	中間目標 (2024年3月)	成果 (2023年3月まで)	達成度 (見込み)	達成の根拠 ／解決方針
小型連続測定器の実用化	<ul style="list-style-type: none"> ○ 基本性能として以下の評価が得られること。 <ul style="list-style-type: none"> ・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、湿度による影響の試験において以下の評価が得られること。 <ul style="list-style-type: none"> ・測定値の変化：±0.01 ppm以内 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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。 	<p>○</p> <p>2024年1月に達成見込み</p> <p>(2023年10月～12月に性能評価を実施)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2023年9月に改良後の実証機が完成予定。 ・ 上記時期に性能評価用の装置の改良が完了予定。
低濃度領域への測定範囲拡張	<ul style="list-style-type: none"> ○ 環境アセス公定法と同等の測定範囲の下限 (0.004 ppm) を持つ試作機を完成させ、野外においてバッテリー駆動で正常に6時間の測定が可能なこと。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 装置化前段階で2022年11月にフィールドテストを実施し、左記目標をクリア。 	<p>○</p> <p>2024年3月に達成見込み</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2024年3月に試作機が完成予定。
実証試験	<ul style="list-style-type: none"> ○ 地熱発電所等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こと。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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)。 	<p>○</p> <p>2024年3月に達成見込み</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2023年度に計画策定のための試験測定を実施予定。

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

(3)-1. 早期異常検知：実施体制



(3)-1. 早期異常検知：目標と根拠

研究開発項目	中間目標 (2024年3月)	最終目標 (2026年3月)	根拠
I. AIによる異常検出法の開発 (a)基礎データ収集	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	中間目標と同じ (本項目はFY2022末で終了)	<ul style="list-style-type: none"> I -(b)で実施するAIの開発, およびIIで実施する実証試験の開始に不可欠であるため。
(b)AIの開発	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	中間目標と同じ (本項目はFY2023末で終了)	<ul style="list-style-type: none"> IIで実施する実証試験の開始に不可欠であるため。 これまでの蒸気生産の経験から, 目標値が達成されれば, 蒸気生産管理業務上, 非常に有益であると判断しているため。
II. 実証試験	<ul style="list-style-type: none"> 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コーディング及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。 	<ul style="list-style-type: none"> 奥会津地熱地域において生産異常の60%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65%以上について原因を提示できることを示す。 本AIシステムにより, 10%の蒸気生産量増大, および坑井管理にかかる業務もしくは維持管理コストの20%以上を削減できることを示す。 	<ul style="list-style-type: none"> これまでの蒸気生産の経験から, 目標値が達成されれば, 蒸気生産管理業務上, 非常に有益であると判断しているため。
III. 汎用化	<ul style="list-style-type: none"> 目標設定無 (FY2025に実施予定) 	<ul style="list-style-type: none"> マニュアル化, コードの整備, PRコンテンツの作成を終了する。 	<ul style="list-style-type: none"> 本研究開発終了直後から複数の蒸気生産設備での運用を可能にするためにこの目標達成が必要であるため。

(3)-1. 早期異常検知：目標達成状況

研究開発項目	中間目標 (2024年3月)	成果 (2023年3月まで)	達成度 (見込み)	達成の根拠 ／解決方針
I. AIによる異常検出法の開発 (a)基礎データ収集	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	◎ 2023年4月に達成	<ul style="list-style-type: none"> JOGMECプロジェクト等で取得したデータが利用可能となり当初想定以上の量、品質の基礎データを収集できた。
(b)AIの開発	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	○ 2024年4月に達成見込	<ul style="list-style-type: none"> 研究開発は大きな問題なく順調に進んでおり, 当初予定通り, もしくは予定を上回る成果を達成できる見込。
II. 実証試験	<ul style="list-style-type: none"> 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コーディング及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。 	<ul style="list-style-type: none"> AI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。 	○ 2024年4月に達成見込	<ul style="list-style-type: none"> 研究開発は大きな問題なく順調に進んでおり, 当初予定通り, もしくは予定を上回る成果を達成できる見込。
III. 汎用化	<ul style="list-style-type: none"> 目標設定無 (FY2025に実施予定) 			

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

(3)-1. 早期異常検知：実用化・事業化の見通し

- ・ 実用化・事業化を行う製品・サービス

実用化・事業化の対象：蒸気生産早期異常検出・原因判別AIシステム

- ・ 実用化・事業化への取組

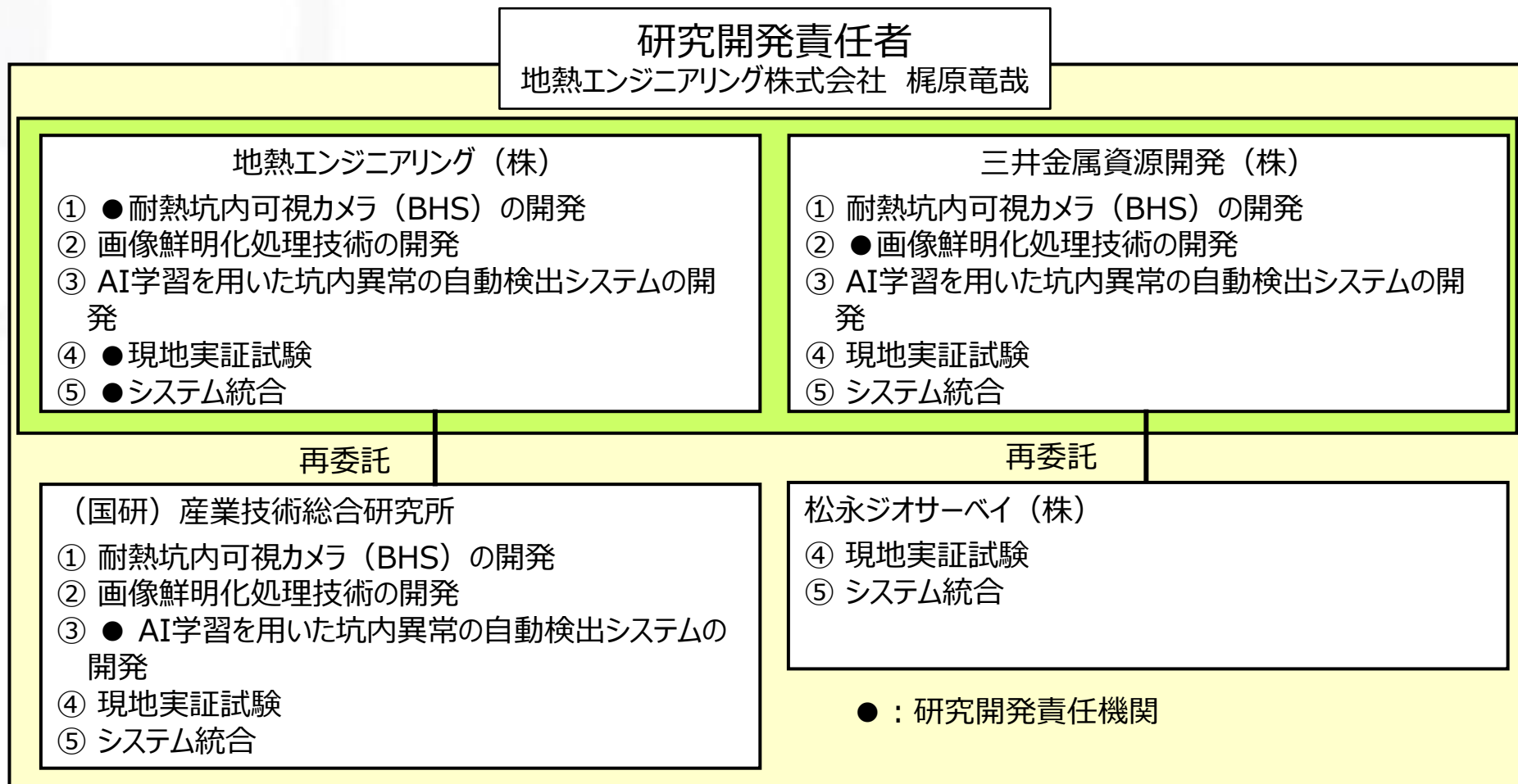
奥会津地熱(株)：本事業終了直後から同社蒸気生産設備に組み込んだシステムを稼働させ、蒸気生産量増大及び利用率向上に結び付ける。

産総研，奥会津地熱(株)：日本地熱協会等を通じてPRを行い，導入希望する企業へAIシステムのコア部分を無償提供し，利用拡大を図る。

産総研，会津大：システムのブラッシュアップによる機能性の向上，解析技術・ノウハウが十分でない事業者への支援等により導入促進へ寄与する。

実施項目	FY2026～2030	FY2031～FY2040
奥会津地熱(株)での導入	システム運用・ブラッシュアップ	
蒸気生産事業者での導入	システム導入・ブラッシュアップ	
奥会津地熱(株)，産総研，会津大によるPR	協会・学会等でのPR活動	
産総研・会津大による導入支援	蒸気生産事業者・発電事業者等への技術指導	導入各社で実施
	定期的バージョンアップ	導入各社で実施

(3)-2. BHSカメラ : 実施体制



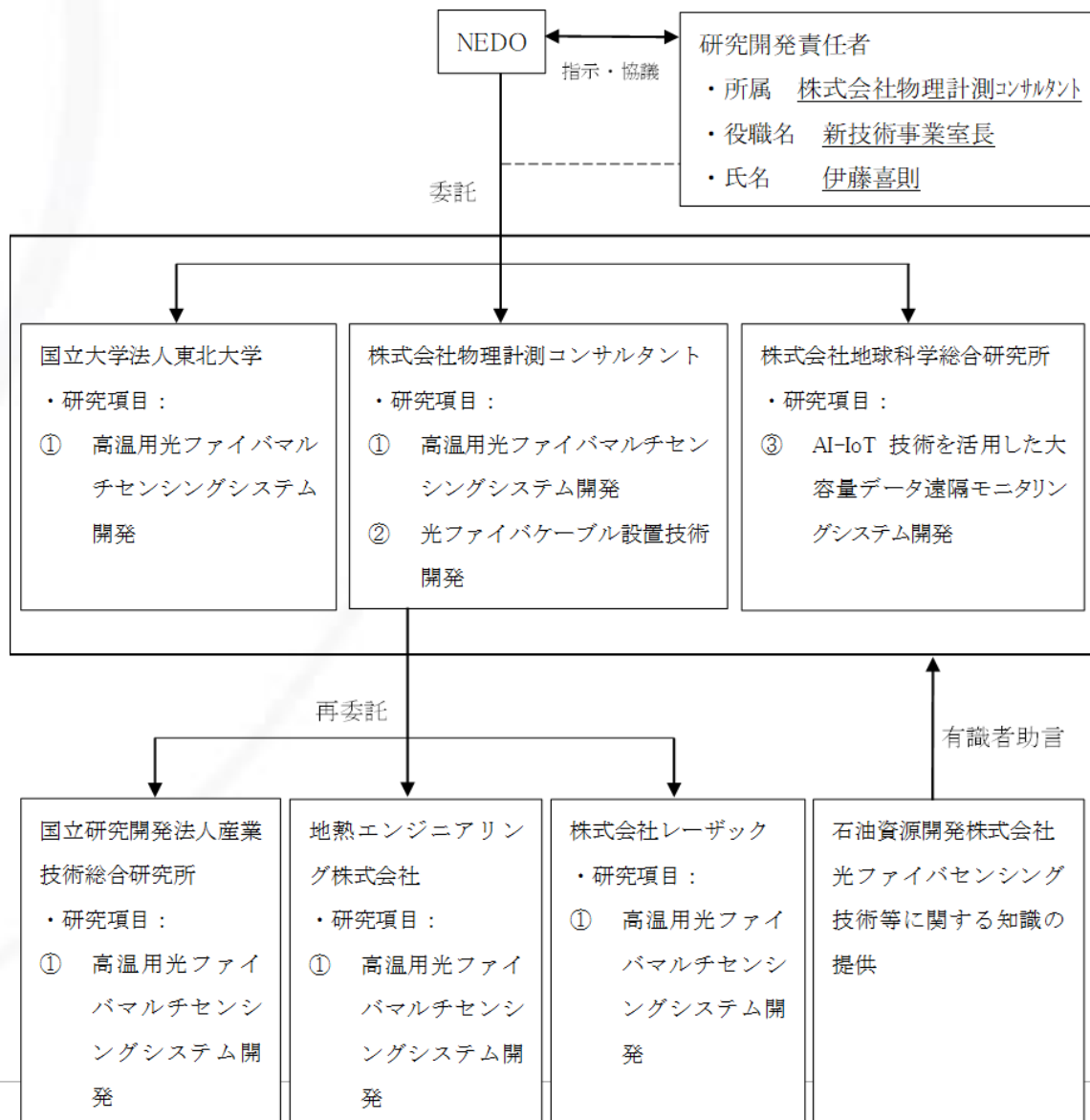
(3)-2. BHSカメラ：目標と根拠

研究開発項目	中間目標(FY2022末)	最終目標(FY2023末)	根拠
①耐熱坑内可視カメラ（BHS）の開発	200℃・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。	200℃、2,000m程度の環境下で4時間以上作業ができるBHSが開発されていること。また、BHSで確認したスケールを採取する装置が開発されていること。	実用的に坑内作業が確実に実施できる状況と考えるため
②画像鮮明化処理技術の開発	浮遊物等のノイズを低減・除去できる画像鮮明化処理が可能な3次元ノイズフィルターをはじめとするシステムのプロトタイプが完成し、坑壁画像が視認できる状況に改善されていること。	画像処理システムのハードウェアへの組み込みが完了し、現場において、鮮明化した画像を視認できる状況になっていること。さらに、画像鮮明化処理システムとAIによる異常検出システムを統合すること。	現場作業中にほぼリアルタイム処理にて、坑壁画像を把握することで、坑内異常を検出できる状況にするため
③AI学習を用いた坑内異常の自動検出システムの開発	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が実現していること。	生画像および鮮明化処理後の画像からスケール付着・ケーシング損傷部を自動検出できるシステムが完成し、解析時のデータ処理時間が従前（マニュアル）の1/3程度となること。	坑内異常を自動検出できて、解析時の作業時間を低減することで作業の効率化、異常箇所の見逃しリスク低減を図ることができるため

(3)-2. BHSカメラ：目標達成状況

研究開発項目	最終目標 (2024年3月)	成果 (2023年3月まで)	達成度 (見込み)	達成の根拠 ／解決方針
①耐熱坑内可視カメラ (BHS) の開発	200℃、2,000m程度の環境下で4時間以上作業可能な測定器開発。スケール採取装置が開発されていること。	200℃、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。	○ 2023年12月に達成見込み	内部温度シミュレーションから前面からの流入熱量を軽減することで目標達成が見通せることが示されたため/前面の断面積削減(熱流入量削減)・保冷機構容量増大・断熱材の追加等による断熱性能向上(センサー前面・ヘッド側)と実証
②画像鮮明化処理技術の開発	画像処理システムのハードウェア化完了、現場で鮮明化した画像を視認できる状況になっていること。	かすみ除去・2次元及び3次元ノイズフィルタを組み合わせて画像鮮明化を実現	◎ 2023年12月に達成見込み	複数のノイズフィルタを組み合わせることで画像中のノイズを大幅に軽減できているため/ソフトウェア・ハードウェアの製作と検証
③AI学習を用いた坑内異常の自動検出システムの開発	画像からスケール付着・ケーシング損傷部の自動検出システムが完成し、解析時間が従前の1/3程度となること	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	○ 2023年12月に達成見込み	正答率向上とケーシング損傷の判別(学習データ数が少ない)が課題/類似画像を取り除いた学習によるAI機能の向上と損傷事例の追加、再学習機能開発を付加することで、随時機能向上できるシステムとする

(3)-3. 光ファイバマルチセンシング : 実施体制



(3)-3. 光ファイバマルチセンシング：目標と根拠

研究開発項目	中間目標	最終目標	根拠
①高温用光ファイバマルチセンシングシステム開発	<ul style="list-style-type: none"> 高温用光ファイバケーブルの性能評価 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の確認 2手法の圧力・流量計測性能評価・以後の開発方針策定 	<ul style="list-style-type: none"> 坑内の温度・圧力・振動・流量を光ファイバによってマルチセンシングできるモニタリングシステムを確立する 坑内機器に関しては、深度3000m、400℃の坑内で2年間以上の耐久性があることを確認する 	<ul style="list-style-type: none"> 地熱発電高度利用化の実現には、地熱貯留層の高温高圧環境下で適正に動作し、持続的に使用できる高耐久性のモニタリングシステムが必要である
②光ファイバケーブル設置技術開発	<ul style="list-style-type: none"> 確実・安全な光ファイバケーブルの降下・設置手法の提案 確実な坑口シール方法の提案 	<ul style="list-style-type: none"> 光ファイバケーブルに損傷・断線・変形等を与えることなく、確実に降下・設置が可能なことを実証する 坑口装置については、坑口圧力20MPa、温度260℃で10日間、坑口圧力20MPa、温度125℃で1年間以上の耐久性があることを確認する 	<ul style="list-style-type: none"> システムを長期間安定的に運用するには、光ファイバケーブルの確実な降下・設置が必須であり、坑口圧力をシールする坑口装置は、地熱井における噴気試験および圧入試験に耐える仕様である必要がある
③ AI-IoT技術を活用した大容量データ遠隔モニタリングシステム開発	<ul style="list-style-type: none"> AI機能試作 遠隔モニタリングシステム試作 機能評価 	<ul style="list-style-type: none"> 遠隔地から常時確認可能なモニタリングシステム構築 	<ul style="list-style-type: none"> 迅速かつ安定的なイベント検出・監視をお長期にわたり可能となる 情報抽出に掛かる人的コストを90%削減できる

(3)-3. 光ファイバマルチセンシング：目標達成状況

研究開発項目	中間目標 (2024年3月)	成果 (2023年3月まで)	達成度 (見込み)	達成の根拠 ／解決方針
①高温用光ファイバマルチセンシングシステム開発	<ul style="list-style-type: none"> 高温用光ファイバケーブルの性能評価 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の確認 2手法の圧力・流量計測性能評価・以後の開発方針策定 	<ul style="list-style-type: none"> 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 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 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 	○ 2024年3月までに達成見込み	<ul style="list-style-type: none"> 高温用光ファイバケーブルの入手が可能であり、特性・性能試験が実施できる環境にある 室内およびフィールド実験でシステム構築の実現性の成果が見込まれる
②光ファイバケーブル設置技術開発	<ul style="list-style-type: none"> 确实・安全な光ファイバケーブルの降下・設置手法の提案 确实な坑口シール方法の提案 	<ul style="list-style-type: none"> 降下・設置技術を調査し、目的に合った手法を選定 降下・設置条件に合った設置器具および坑口装置を選定 	○ 2024年3月までに達成見込み	<ul style="list-style-type: none"> 既存製品および技術を応用・改良することで成果が見込まれる
③ AI-IoT技術を活用した大容量データ遠隔モニタリングシステム開発	<ul style="list-style-type: none"> AI-IoTシステムのプロトタイプ完成と概念実証 	<ul style="list-style-type: none"> 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 遠隔監視システムのプロトタイプを試作 	○ 2024年3月までに達成見込み	<ul style="list-style-type: none"> AI実装による自動化で、更なる効率化を達成 転送速度を数倍向上により、年間100TBのデータの恒久保存が実現される見込み

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

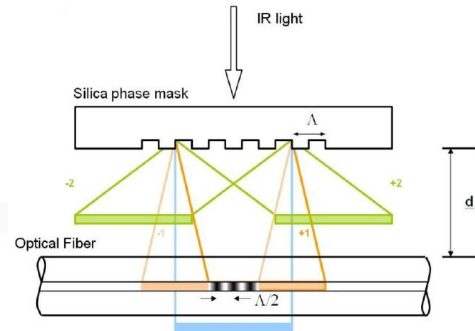
(3)-3. 光ファイバマルチセンシング：成果

目的：地熱貯留層のような高温高压な環境下で長期安定的に、貯留層全体の時間・空間的变化を詳細に把握することを目的として、温度・振動・圧力・流量を計測可能な光ファイバマルチセンシングシステムを開発する。

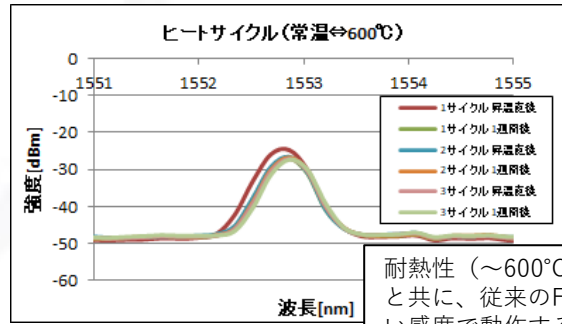
例1) 圧力センサの検討・開発

a) FBG(Fiber Bragg Grating)圧力センサ

多連でセンサを接続でき、分布型センサになり得る可能性がある。



フェムト秒レーザーによるFBG製造

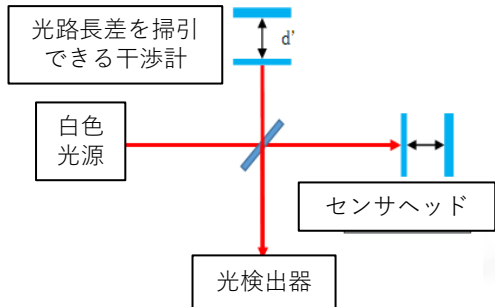


ヒートサイクル試験による性能確認

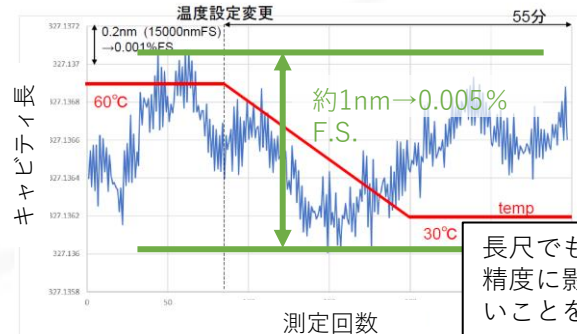
耐熱性(～600°C)を確認すると共に、従来のFBGと遜色ない感度で動作することを確認

b) ファブリ・ペロー(FP)干渉型圧力センサ

FBGセンサと比較すると精度は高いが、ポイント型センサとなる。



ファブリ・ペロー干渉型センサの概念図



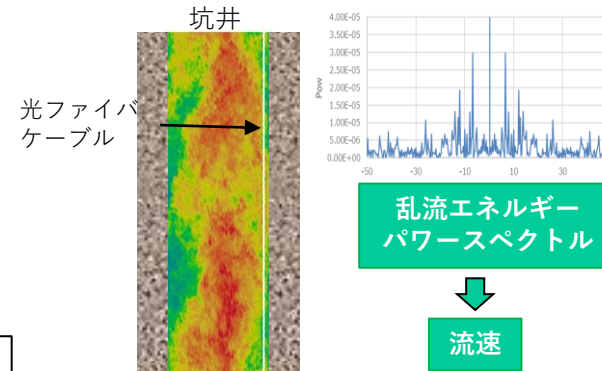
長尺光ファイバの影響確認試験

長尺でもセンサ精度に影響がないことを確認

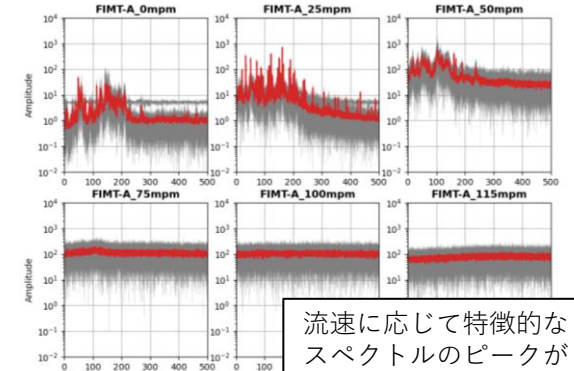
例2) 流量計測手法の検討・開発

a) 乱流振動法による流量計測

坑内流動によって生じた光ファイバ周辺の乱流振動をスペクトル解析し、流速に換算する手法。高流速向けとして検討中。



乱流振動法の概念図

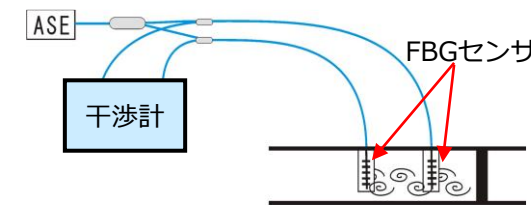


流速に応じて特徴的なスペクトルのピークが立つことを示唆。

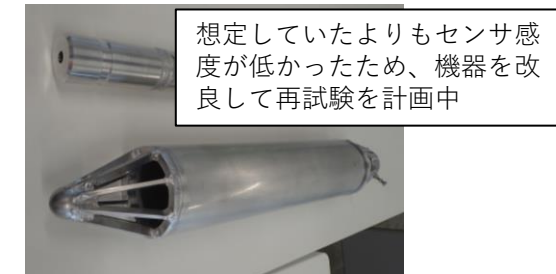
室内試験の結果
(流速ごとの周波数解析結果)

b) カルマン渦式FBG法による流量計測

カルマン渦の発生周波数と流速の比例関係性を利用する手法。低速速向けとして検討中。



カルマン渦式FBG法流量計測概念図



センサ筐体

(3)-3. 光ファイバマルチセンシング：実用化・事業化の見通し(1)

内容	2026年度	2027年度	2028年度	2029年度	2030年度
短期実用化計測 (実用化)	地熱井等				
システム改良・製作 (実用化)	70百万円/案件 投資				
地熱貯留層 モニタリングサービス (事業化)			サービス提供 (2件/年)		
			サービス提供 (既存2件+新規5件/年)		
				サービス提供 (既存7件+新規10件/年)	
					サービス提供 (既存17件+ 新規10件/年)
圧力センサ販売 (事業化)		7百万円/案件 投資			
他分野への展開 (事業化)	石油・天然ガス、CCS、HLW、社会的インフラ、防災・減災、防犯等				

(3)-3. 光ファイバマルチセンシング：実用化・事業化の見通し(2)

【プロジェクト終了後の5年間】

- ・ 開発システムを利用した長期地熱モニタリングサービスの事業化
- ・ 他分野への適用を視野に入れた事業展開

【GSC】

- ・ 顧客坑井を利用した短期実用化計測の実施
- ・ 改良点を抽出し、実用化のためのシステム製作
- ・ 光ファイバマルチセンシングの有効性理解促進のための営業活動
- ・ 公的資金による助成制度導入への働きかけ

【JGI】

- ・ 既存モニタリングシステムへの適用可能性を広く発信
- ・ 他分野への大容量データ遠隔モニタリングシステムマーケットの拡大
- ・ AI-IoTシステムを既存探査システムへ適用することによる地熱貯留層探査技術の高度化と低コスト化の推進

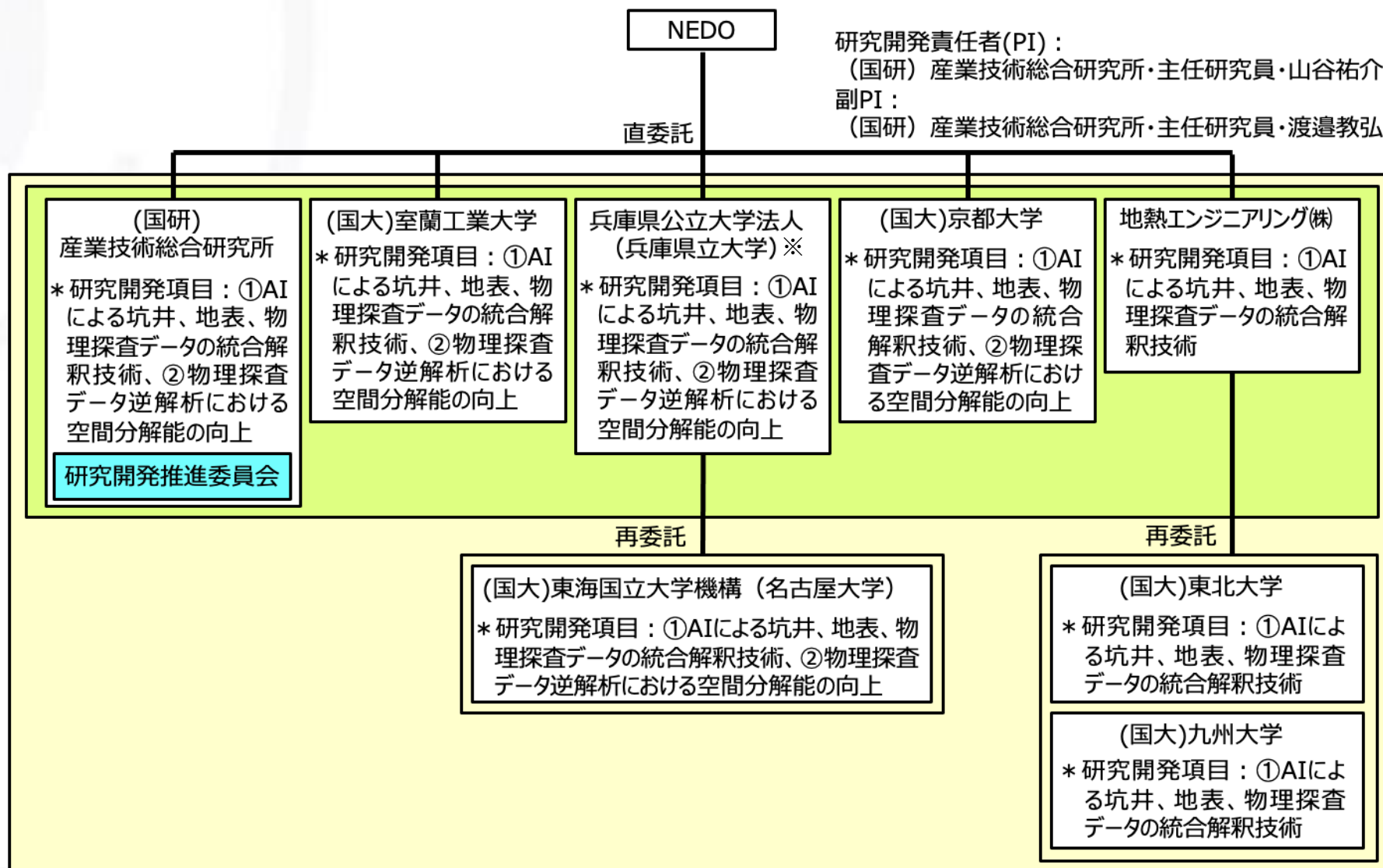
【LZ、Geo-E】

- ・ これまでの実績を活用した貯留層・坑井モニタリングサービスマーケットの拡大

【東北大、AIST】

- ・ 理論的検討と実験的検討を継続
- ・ 光ファイバマルチセンシングの有効性を学会や業界団体に広くアピール
- ・ 光センシングに対する講習会実施や解析支援等でマーケット拡大に寄与

(3)-4. AIを利用した在来型地熱貯留層：実施体制



(3)-4. AIを利用した在来型地熱貯留層：目標と根拠

研究開発項目	中間目標	最終目標	根拠
①AIによる坑井、地表、物理探査データの統合解釈技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> 坑井、地表地質、物理探査データ等を使用して温度分布および高透水性領域の分布を推定するAI的手法の全体設計を行い、それに基づいて基本機能の開発を完了する。 	<ul style="list-style-type: none"> 坑井、地表地質、地理情報、物理探査データ等からAI的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。 人工データ等を使用して、温度等の時間変化の抽出方法を検討し、その結果を整理する。 上記機能の開発のために必要なデータの種類、量、取得方法等を検討し、既存文献・データベース、実験、シミュレーション等により収集し、整理を完了する。 	<ul style="list-style-type: none"> 先行研究による温度推定の誤差を5%上回る精度改善を行うとともに、高透水性領域の分布を推定することで、在来型貯留層の掘削成功率を向上させるため。 時間変化抽出法を提示し、貯留層管理への応用技術開発に展開するため。 AI機能開発に必要なデータを使用可能とするため。
②物理探査データ逆解析における空間分解能の向上	<ul style="list-style-type: none"> スパースモデリング等を導入した新たな2次元、3次元比抵抗構造逆解析手法について、基本機能の開発を完了する。 	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	<ul style="list-style-type: none"> 地熱貯留層までの深さを対象に、従来の逆解析の空間分解能を上回る解析ツールを実用化するため。

(3)-4. AIを利用した在来型地熱貯留層：目標達成状況

研究開発項目	最終目標 (2024年3月末)	成果 (2023年3月まで)	達成度 (見込)	達成の根拠／解決方針
①AIによる坑井、地表、物理探査データの統合解釈技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> 坑井、地表地質、地理情報、物理探査データ等からAI的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。 人工データ等を使用して、温度等の時間変化の抽出方法を検討し、その結果を整理する。 上記機能の開発のために必要なデータの種類、量、取得方法等を検討し、既存文献・データベース、実験、シミュレーション等により収集し、整理を完了する。 	<ul style="list-style-type: none"> 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。 開発に必要なデータの種類、量、取得方法等を検討した。既存文献・データベース等から実データを収集し、AIへ適用するための加工を行なった。また、実験、シミュレーション等によりデータを収集し、人工データセットの初版を作成した。 	<p>○</p> <p>2024年3月末迄に達成見込み</p>	<ul style="list-style-type: none"> 温度分布および高透水性領域の分布を推定可能なAIの基本機能は完成済みで、温度は特定の条件で15%以下の誤差を達成している。今後両者ともに推定精度の向上のための改良を実施する。 人工データセットおよび整備したCNNアプリで温度時間変化の検討を行う。 補足的なデータ収集、加工と人工データセットのアップデートを実施する。
②物理探査データ逆解析における空間分解能の向上	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	<p>○</p> <p>2024年3月末迄に達成見込み</p>	<ul style="list-style-type: none"> 開発済みの3次元順解析コードを使用して逆解析コードを完成させる。人工データセットを用いて、パラメータチューニングと性能の評価を行う。

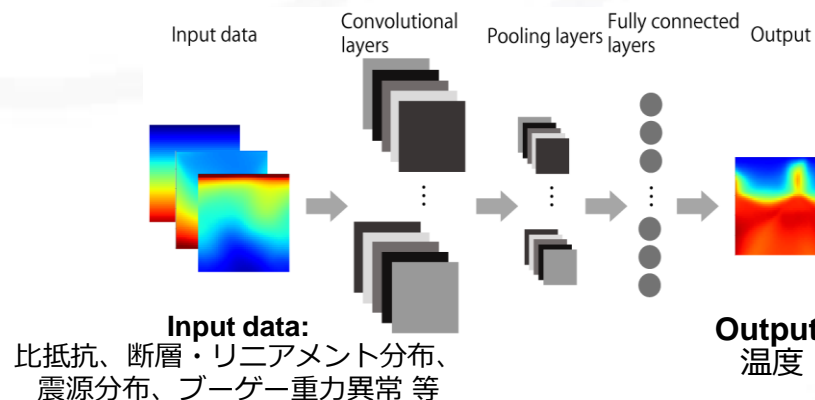
(3)-4. AIを利用した在来型地熱貯留層：成果

目的：限られた数の坑井、地質学的情報、物理探査等の地表で得られる多項目データを人工知能（AI）的手法によって総合的に解釈し、地下の温度分布および高透水性領域の分布を高精度で推定可能な技術を確立する。

例) 温度推定AIの開発

2種類のアプローチにより温度構造を推定するAIの開発や地熱開発地域への適用を想定した手法の評価を進めている。

A. 多項目の観測データを考慮した畳み込みニューラルネットワーク（CNN）



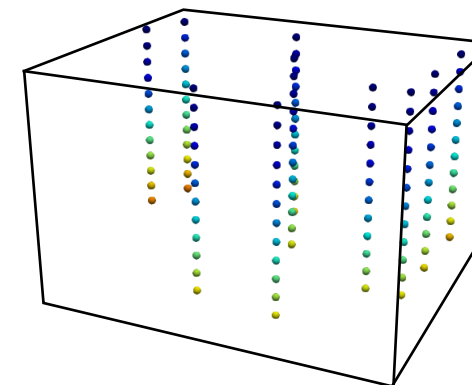
- ✓ 入力データの空間的に隣接する情報も考慮
- ✓ アプリケーション化を完了
- ✓ 入力データの種類や組合せを検討し、多種データを用いる等により、性能評価を実施予定

B. 物理的な制約を考慮したニューラルネットワーク

- ✓ 観測データに加えて温度の物理現象としての制約を考慮
- ✓ 実際の地熱開発地域を想定した条件下での手法の評価を実施予定

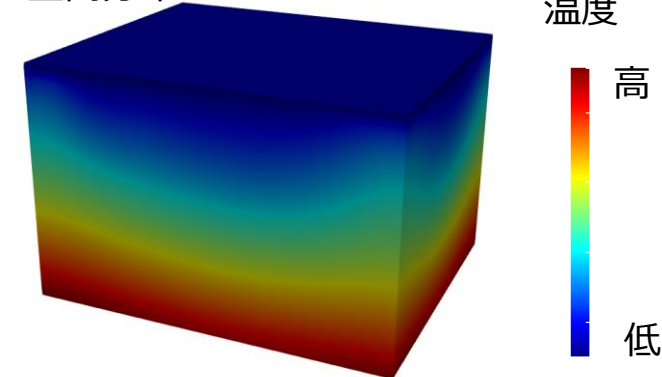
温度推定AIの概念

坑井位置で観測された温度等



温度推定AI

温度の空間分布

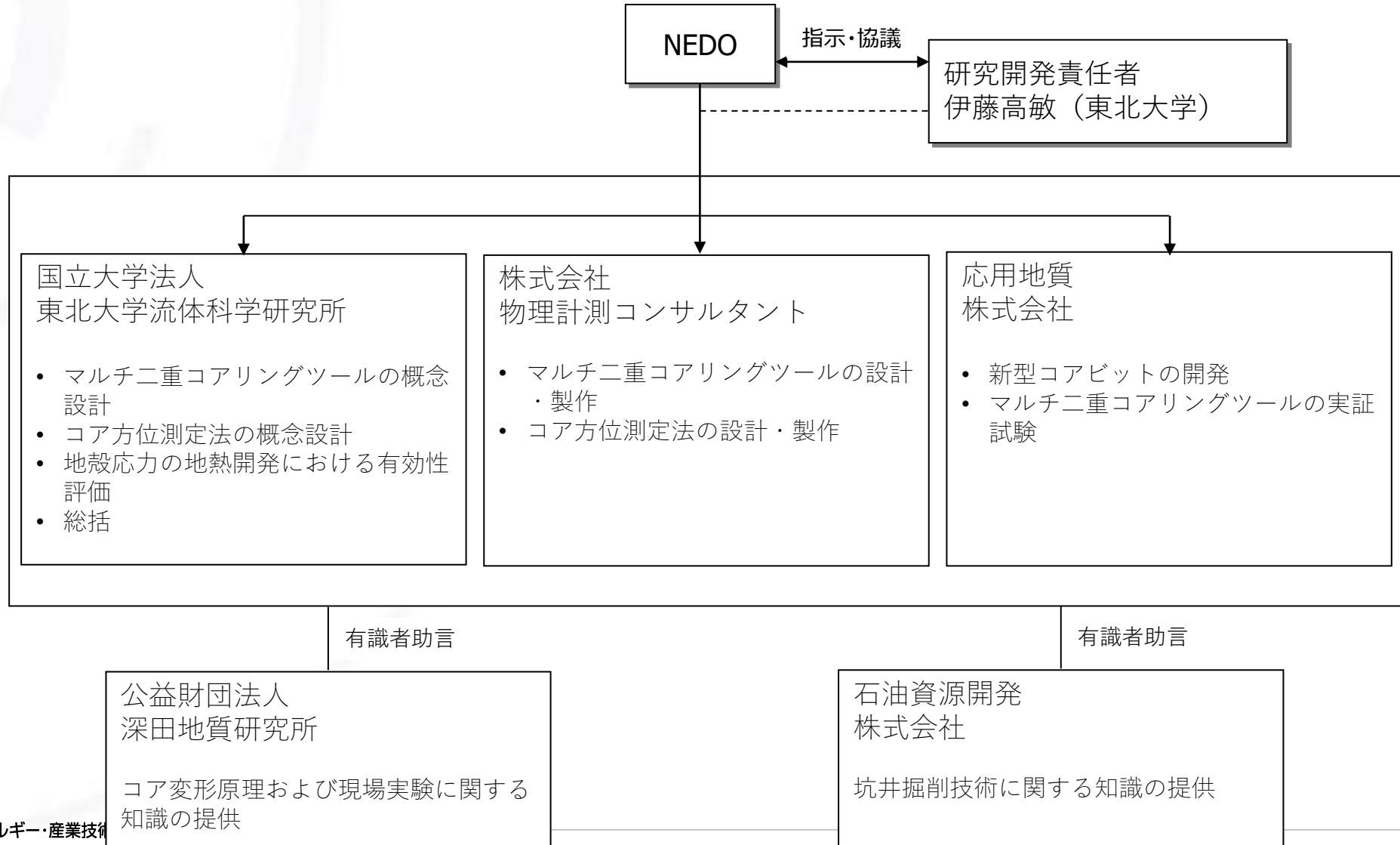


(3)-4. AIを利用した在来型地熱貯留層：実用化・事業化の見通し

- * 高温・高透水領域推定技術は、順次既開発地での貯留層評価サービスとして展開するとともにデータ蓄積、汎用化を進め、新規フィールドでの開発事業者向けのサービスを開始する。
- * 地熱開発・地下探査コンサル事業者を対象に、製品・サービス化および普及の支援を行う。また、開発事業者、貯留層管理事業者を対象に、担当者への技術指導、解析結果の評価支援等を行う。

実施内容と実施者	FY2024	FY2025	FY2026	FY2027	FY2028
設計・製品化 (国研、大学、企業)	ソフトウェア・パッケージ統合		ソフトウェア改良、アップデート		
	初期課題	統合初版 リリース	課題	汎用版 リリース	
サービス化 (企業)	既存フィールドでのサービス実施		新規フィールドでのサービス実施		
サービス化支援 (国研、大学)	地熱・地下探査コンサル企業との連携によるサービス化支援				
地熱分野での応用技術開発、他分野への展開 (国研・大学)	各応用先への拡張 各要素技術の開発			ソフトウェア・パッケージ化および検証	各分野におけるサービス化支援
技術支援 (国研、大学)	地熱開発事業者等への技術指導				
PR活動 (国研、大学)	学協会を通じたPR活動				

(3)-5. 大深度地殻応力測定：実施体制



(3)-5. 大深度地殻応力測定：目標と根拠

研究開発項目	中間目標	最終目標	根拠
①マルチ二重ビットコアリングツールの開発	250℃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。また、これに基づいて実証試験の詳細計画を提示する。	2.5 km以上の深度で2個以上の応力記録コアを定方位で連続的に採取でき、250℃以上の耐熱性能を有する二重ビットコアリングツールを完成させる。また、数値シミュレーション結果に基づき、地殻応力を考慮することで調査・生産井の掘削および貯留層維持・管理に要するコストを10～20%削減できることを明らかにする。	地熱開発での地殻応力測定を一般化し、地殻応力に基づく開発を可能にすることで、生産量増大、コスト削減、利用率向上等を実現し、地熱発電の導入拡大を促進するため。
②コア方位測定方法の開発	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地熱開発における地殻応力の有効性評価	現実に即した断裂型貯留層の構造モデルを決定する。		

(3)-5. 大深度地殻応力測定：目標達成状況

研究開発項目	中間目標 (2023年3月)	成果 (2023年3月まで)	達成度 (見込み)	達成の根拠 ／解決方針
① マルチ二重ビットコアリングツールの開発	250℃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。また、これに基づいて実証試験の詳細計画を提示する。	<ul style="list-style-type: none"> 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。 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。 	○ 2023年3月に達成	<ul style="list-style-type: none"> 改良ロッド型に加えて次年度に予定していたワイヤーライン型の製作および実坑井での動作試験まで完了したこと。 2方式のいずれも250℃以上の耐熱性能があり、それを大型にすれば2.5 km以上の深度でも使用できる見込みであること。
② コア方位測定方法の開発	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。	<ul style="list-style-type: none"> 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。 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。 	○ 2023年3月に達成	<ul style="list-style-type: none"> 高温の坑底でも二重ビットコアリングツールで採取されたコアの方位を測定できる装置を具体化できたこと。 同装置の耐熱温度が目標値の250℃よりやや小さいが、このギャップは、方位測定装置を降ろす前に泥水循環で坑底を冷却することで回避できる見込みであること。
③ 地熱開発における地殻応力の有効性評価	現実に即した断裂型貯留層の構造モデルを決定する。	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。	○ 2023年2月に達成	国内の地熱発電所における地質構造と熱構造の代表的な形態が、適用予定のせん断型貯留層シミュレータ“SHIFT”で模擬できる見込みであること。

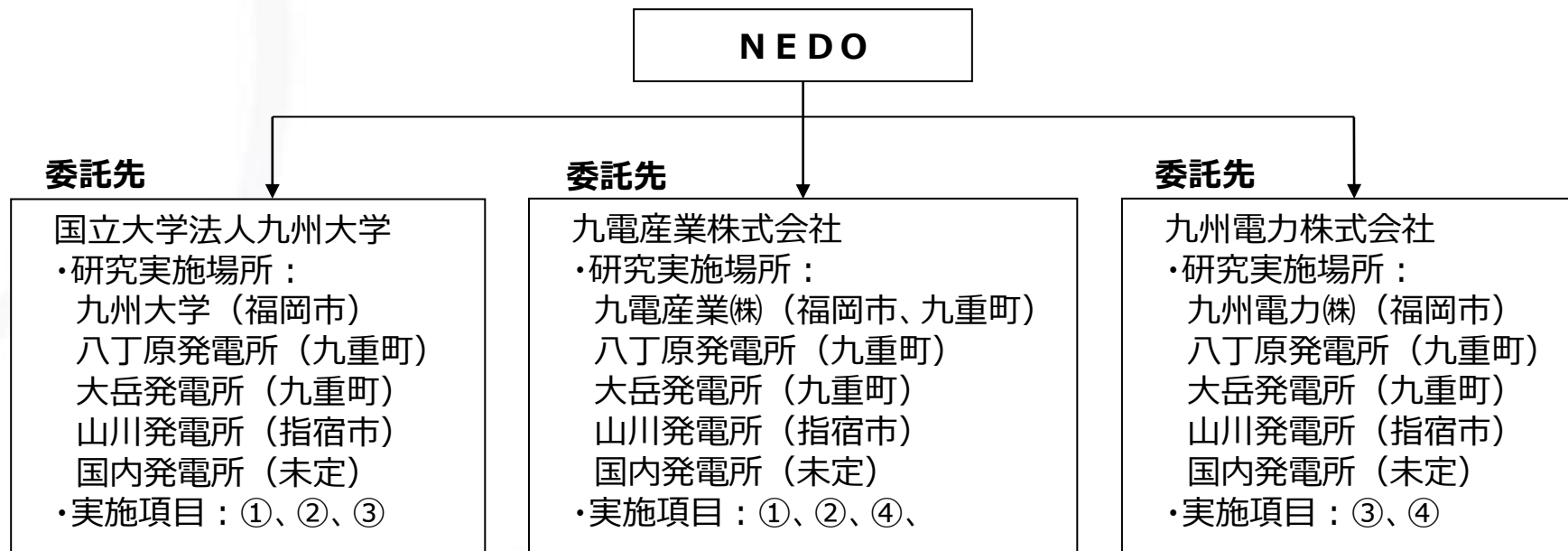
(3)-5. 大深度地殻応力測定：実用化・事業化の見通し(1)

- 研究開発段階（2021～2024年度）では、マルチDBCツールの開発とコア方位測定方法の開発を進め、製品化を目指す。
- 研究開発終了後は、完成させたツールを用いて様々な条件での実証を行い、それらを使用した地殻応力計測サービス業務を事業化し、計測サービスを開始する。
- 2025年度以降は、地熱調査井（ヒートホール）や地質調査井などの小口径孔井（HQ孔）における地殻応力計測が定常業務となるよう、マルチDBCツールの利便性・必要性をアピールしながら営業活動に重点を置く。その後、大深度地熱調査・開発井での使用へと適用範囲を拡大する。
- 地殻応力測定サービスの対象となる孔井は、地熱調査・開発坑井のほか、石油・天然ガス坑井、CCS調査井、高レベル廃棄物地層処分（HLW）の調査井、断層調査井などである。サービス提供先は、地熱デベロッパー、石油・天然ガス開発企業、CCS調査・実施事業者、HLW事業者、地質コンサルタント、大学、公的研究機関などが見込まれる。海外案件へのサービスもありうる。
- 計測サービスの拡大に合わせて、二重コアリングツール、直径計測装置のラインナップを製作する。
- 地熱調査では、将来的には超臨界井でのサービス提供も視野に入れながら、対応ツール製作や計測も試みる。

(3)-5. 大深度地殻応力測定：実用化・事業化の見通し(2)

年度	2025年度	2026年度	2027年度	2028年度	2029年度
HQ孔での実証	▲地熱HH井、HLW調査井など				
大深度井での実証	▲CCS、地熱調査井など				
超臨界井用ツール製作		▲製作、25,000万円調達			
超臨界井での測定				▲超臨界井での測定	
二重コアリングツール ラインナップ製作			設計・製作 ▲500万円投資	▲500万円投資	
コア直径測定装置製作			設計・製作 ▲500万円投資		
計測サービスの展開	営業活動(利便性/必要性のアピール、周知)				
	▲サービス開始 (1件/年)	▲サービス継続 (2件/年)	▲サービス拡大 (5件/年)	▲サービス拡大 (10件/年)	▲サービス拡大 (15件/年)
			売上額 3,500万円	売上額 7,000万円	売上額 10,000万円

(3)-6. スケールモニタリング：実施体制



- ①：定量的スケールモニタリング法の確立
- ②：定量的スケールモニタリング法によるデータセットの収集
- ③：スケール生成予測を実現するAI利活用に関する研究開発
- ④：フィールドでの実証実験

技術検討委員会

委員長 千葉 仁
（岡山大学 自然科学研究科）
委員 柳澤 教雄
（国立研究開発法人 産業技術総合研究所）
委員 高山 純一
（日鉄鉱業株式会社）

有識者

鮫島 浩行
（九電みらいエナジー株式会社）
波津久 達也
（東京海洋大学）
盛田 元彰
（東京海洋大学）
井原 智則
（東京海洋大学）
川本 大祐
（岡山理科大学）

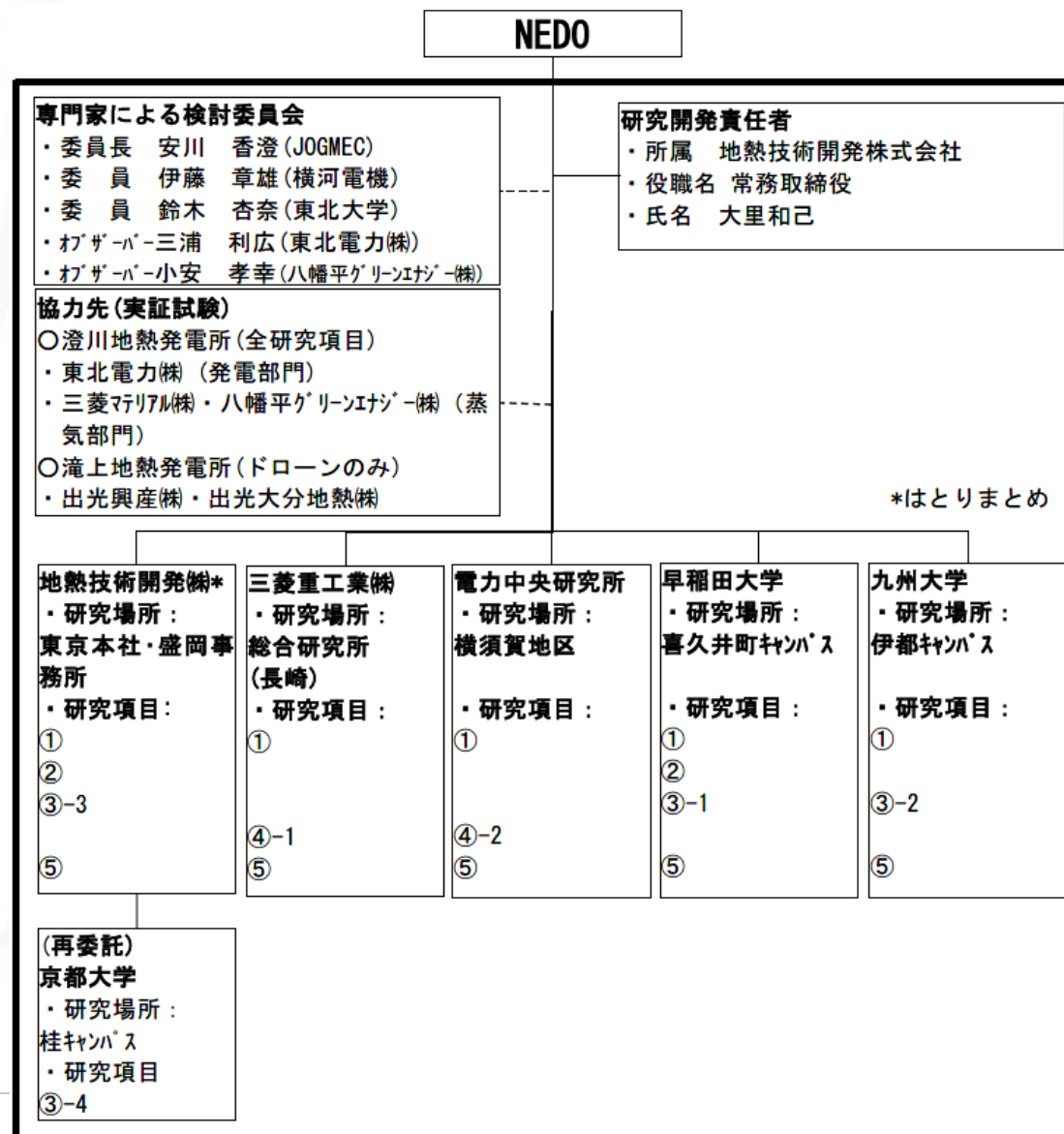
(3)-6. スケールモニタリング：目標と根拠

研究開発項目	中間目標	最終目標	根拠
① 定量的スケールモニタリング法の確立	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を決定し、標準化案の検討を完了する	補完的な実験も含めて500条件程度のAI入力データセットを取得する。	現時点においては、地熱流体からのスケール生成をモニタリングする標準的な方法は存在せず、精度よく将来のスケール生成を予測するためには、モニタリング法の確立・標準化が必須であり、AIによる学習・予測を達成するためには、標準法で取得された多くのデータセットが必要であるため。
② 定量的スケールモニタリング法によるデータセットの収集	決定した条件をベースとして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）、二相流および上記からのシリカスケール沈殿のケース（フィールド試験）を20条件以上のデータセットを収集する		
③ スケール生成予測を実現するAI利活用に関する研究開発	シリカスケール生成予測を実現するAIの概念設計を完了し、試験によって得られた情報等によりスケール生成予測を試行する	スケール生成予測の結果を求める一連作業を可能とするアルゴリズムを作成し、模擬試験装置等を利用した実証実験により、システム利用率を10%～20%向上できることを明らかにする。	スケールを予測するAIは存在せず、精度の高い予測を行うには、データセットの収集と並行して、AIに関するワークフローの概念を固める必要があるため。
④ フィールドでの実証実験	実証試験装置を製作し、実証試験を実施する。実証試験によって得られた結果と、モデル計算等との比較・評価を行う		システム利用率を向上させる条件を明らかにするためには、実証試験装置によって得られる結果とAIによって得られる予測の比較・評価が必要であるため。

(3)-6. スケールモニタリング：目標達成状況

研究開発項目	中間目標 (2024年3月)	成果 (2023年3月まで)	達成度 (見込み)	達成の根拠 ／解決方針
① 定量的スケールモニタリング法の確立	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を決定し、標準化案の検討を完了する	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が、分析の妥当性の検討等が未実施。	○ 2023年12月に達成見込み	2023年度の現地試験において、テストピースの材質選定や分析の妥当性の検討を計画しているため。
② 定量的スケールモニタリング法によるデータセットの収集	決定した条件をベースとして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）、二相流および上記からのシリカスケール沈殿のケース（フィールド試験）を20条件以上のデータセットを収集する	中間目標として挙げた条件数に対する進捗率は約7割を達成している。	○ 2023年12月に達成見込み	八丁原発等での現地試験を計画しており、中間目標に対して相当数のデータセットの取得を見込んでいるため。
③ スケール生成予測を実現するAI利活用に関する研究開発	シリカスケール生成予測を実現するAIの概念設計を完了する	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。	○ 2023年12月に達成見込み	現在、取得したデータの整理およびAIの概念設計を進めており、ワークフローが確定しつつあるため。
④ フィールドでの実証実験	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	実証試験装置を製作し、実施可能な発電設備を検討中。	○ 2024年3月に達成見込み	2022年度に実証試験装置を製作し2023年度において試験・評価を実施する計画のため。

(3)-7. IoT-AI技術開発：実施体制



(3)-7. IoT-AI技術開発：目標と根拠(1)

研究開発項目	中間目標	最終目標	根拠
① 全体システム設計	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	<ul style="list-style-type: none"> 対象発電所に適用した場合に、2019年度データと比較して15%程度の利用率向上が可能なことを示す。 	<p>先行研究において、問題の発生している発電所で問題を解決すれば約15%の利用率改善が可能な見通しを得ていた。</p>
② IoTセンサ技術の研究開発	<ul style="list-style-type: none"> エッジデバイスによる坑井データの計測・データ収集が可能であることを示す。 非在来型センサデータを加えることによる、生産井の停止現象の予兆を捉える効果を整理する。 エッジデバイス対応型の二相流量計、配管厚計測計について、開発可能な目処を付ける。 開発するシステムの産業サイバーセキュリティ対策要件を確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> 坑口に設置した変動予兆検知センサによって連続監視を行い、大きな変動前の微小な変化から予兆検知が可能であることを実証する。 開発したセンサを設置して、エッジデバイスでの計測とクラウド環境下でのデータ収録が可能であることを実証する。 汽水比 1 以下で使用可能かつ、精度10%以内のエッジデバイス対応型二相流量計を開発する。 地熱蒸気配管（二相流配管含む）で発生するエロージョンの長期計測を目的に、管厚の変化を精度10%以内で検出可能なエッジデバイス対応型配管厚計測計を開発する。 	<p>二相流量計の室内試験およびIoT加速度・ドローンのフィールド試験を実施し性能評価した。</p>

(3)-7. IoT-AI技術開発：目標と根拠(2)

研究開発項目	中間目標	最終目標	根拠
③蒸気生産部門のO&M最適化の研究開発	【③-1】 ・既存のAI機械学習モデルの認識精度を5%向上させる。 ・準オンライン環境にて、オフライン環境と同程度のAIモデルの認識精度を達成する。	【③-1】 ・センサーフュージョン技術を活用した在来型・非在来型センサデータの統合手法と各機能について、実データを基に検証する。	地熱発電の必要とされる経験的な値から論拠を得ていた。
	【③-2】 ・坑内流動の安定条件を定式化する。 ・坑井・貯留層の連結シミュレータの動作検証が完了し、実用性を備えていることを示す。	【③-2】 ・生産井の不安定な坑内流動の発生メカニズムについて貯留層の流体流動を含む包括的な解釈を示す。 ・開発したシミュレータで評価および予測精度の向上が認められること。 ・開発したシミュレータのユーザー向けマニュアルの整備。	地熱発電の必要とされる経験的な値から論拠を得ていた。
	【③-3】 ・生産井・還元井の干渉問題（複数の流体流入点からの流体性状の予想）をAIにより解く。 ・最適化アルゴリズムの確立と単純なモデル事例での検証が完了すること。	【③-3】 ・最適化アルゴリズムにより、人間の手で実施する場合と比較して1/3以下の時間で適正解に到達できること。	地熱発電の必要とされる経験的な値から論拠を得ていた。
	【③-4】 ・GPUによる汎用計算を用いてシミュレーション計算アルゴリズムの最適化を行い、現在の計算速度を2倍以上高速化する。	【③-4】 ・腐食・スケール成長シミュレーションで実測値より10%程度早く成長を予測できること。	地熱発電の必要とされる経験的な値から論拠を得ていた。

(3)-7. IoT-AI技術開発：目標と根拠(3)

研究開発項目	中間目標	最終目標	根拠
④地熱発電プラント全体のO&M最適化の研究開発	<p>【④-1】</p> <ul style="list-style-type: none"> 発電設備向けおよび蒸気設備向けの管理アプリを開発する。 	<p>【④-1】</p> <ul style="list-style-type: none"> 澄川地熱発電所において地上設備（発電設備・蒸気設備）と地下設備（坑井設備・地熱貯留層）を統合した発電プラント全体の操業管理ツールを開発し、試運用と総合評価を行う 	<p>地熱発電システム全体の利用率向上のためには、地上設備（発電設備、蒸気生産設備）の情報を集約して地下の適切な管理を行うことが必要。</p>
	<p>【④-2】</p> <ul style="list-style-type: none"> EnergyWinを用いて、蒸気生産設備の定常シミュレーションモデルを組み込んだプラントシミュレータを構築する。 EnergyWinとTOMONIとの連携のため、クラウド環境を整備して、対象とする地熱発電所専用に地熱発電プラント性能評価ツールをマイクロサービス化するREST API等を開発する。 	<p>【④-2】</p> <ul style="list-style-type: none"> 開発したツールおよび最適化手法を用いて、地熱発電所の定検前後におけるプラント性能変化を解析・評価するとともに、本開発ツールおよび最適化手法の有用性を評価する。 	<p>地熱発電の必要とされる経験的な値から論拠を得ていた。</p>
⑤技術実証	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	<ul style="list-style-type: none"> 本事業で開発した技術を地上設備（発電設備・蒸気設備）と地下設備（坑井設備・地熱貯留層）を統合した発電プラント全体のシステムとしてまとめ、澄川地熱発電所において、その有用性について実証試験を行う。 澄川地熱発電所において2019年度比較で利用率が向上することを実証する。（実証にあたっては、事業者が実行した部分の改善率と各種事情で実行できなかった部分の理論的な改善率を合算して15%以上の利用率改善の見通しを示す） 	<p>所有者である東北電力・三菱マテリアル（八幡平グリーンエネギー）から協力を取り付けていた、</p>

(3)-7. IoT-AI技術開発：目標達成状況(1)

研究開発項目	中間目標 (2024年3月)	成果 (2023年3月まで)	達成度 (見込み)	達成の根拠 ／解決方針
①全体システム設計	・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。	<ul style="list-style-type: none"> ・EnergyWIN、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。	○ 2024年3月までに達成の見込み	全体システムの設計における各要素技術の連携を図れるようにインターフェースを統合するとともに、左記以外の各要素技術も積み上げることで、更なる利用率の向上を示す。

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

(3)-7. IoT-AI技術開発：目標達成状況(2)

研究開発項目	中間目標 (2024年3月)	成果 (2023年3月まで)	達成度 (見込み)	達成の根拠 ／解決方針
② IoT センサ技術の研究開発	<ul style="list-style-type: none"> エッジデバイスによる坑井データの計測・データ収集が可能であることを示す。 非在来型センサデータを加えることによる、生産井の停止現象の予兆を捉える効果を整理する。 	<ul style="list-style-type: none"> 腐食モニタについて、エッジデバイスとして計測可能であることを試験により実証した。 加速度の計測により、坑井内の状態変化の予兆を掴め、適切な操作の実施により生産井の脱落を防止できる予兆の推定に用いることが可能なことを明らかにした。 	○ 2024年3月までに達成の見込み	加速度データを1分あるいは10分間隔で通年収集でき、在来型データと加速度データとを併用した機械学習モデルにより予兆推定制度を向上することを確認した。
	<ul style="list-style-type: none"> エッジデバイス対応型の二相流量計、配管厚計測計について、開発可能な目処を付ける。 	実フィールドでの検証試験により、気水比が低い場合、高い場合それぞれの計測における課題について整理した。	○ 2024年3月までに達成の見込み	気水比が低い領域、気水比が高い領域それぞれの対策を行い、2023年度に改めて検証試験を実施し、開発要件を整理する予定。
	<ul style="list-style-type: none"> 開発するシステムの産業サイバーセキュリティ対策要件を確認する。 	システムにおけるセキュリティに関して現状の発電事業者の状況についてアンケート調査によって整理した。その結果、電力制御システムセキュリティガイドラインの制約から、専用線を使用している事業者が大勢を占め、一般的なインターネットを利用する事業者は僅かであることを確認した。	○ 2024年3月までに達成の見込み	調査結果より、電力制御システムセキュリティガイドライン(JESC Z0004(2019))、電力制御システムセキュリティに関する社内規定等への準拠が必要であり、本システムもこれらに合致する形で運用することが望ましい。今後、各規程の詳細について整理し、システムの考え方に反映する。

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

(3)-7. IoT-AI技術開発：目標達成状況(3)

研究開発項目	中間目標 (2024年3月)	成果 (2023年3月まで)	達成度 (見込み)	達成の根拠 ／解決方針
③ 蒸気生産部のO&M最適化の研究開発	【③-1】 ・既存のAI機械学習モデルの認識精度を5%向上させる。 ・準オンライン環境にて、オフライン環境と同程度のAIモデルの認識精度を達成する。	生産井の系統除外現象を予測できた。 坑井の集合セパレータの手前で、エネルギーの変化傾向を予測することができた。	○ 2024年3月までに達成の見込み	AIモデルに最新のネットワーク構造を適用し、今後取得する実フィールドの生産井計測データを用いてモデルを再学習することで、順次、予測精度を改善していく見込み。
	【③-2】 ・坑内流動の安定条件を定式化する。 ・坑井・貯留層の連結シミュレータの動作検証が完了し、実用性を備えていることを示す。	坑内流動の安定条件を定式化した。 坑井・貯留層の連結シミュレータのベースとなる坑井シミュレータと貯留層シミュレータの動作検証完了。	○ 2024年3月までに達成の見込み	数値実験を説明できる経験式を導出。複数の独立したコード間の整合性を確認したことから、今後、実フィールドのデータを用いて実用性を示す。
	【③-3】 ・生産井と還元井の流体流入点の変化を坑口データを用いて予測する。 ・最適化アルゴリズムの確立と単純なモデル事例での検証が完了すること。	2次元モデルを造り、それを教師データとして予想した結果、線形性の高い正解率を得ることが出来た。	○ 2024年3月までに達成の見込み	モデルでの高い正解率を得ることができたことから、2023年度に、澄川のフィールドでの検証を行う予定。
	【③-4】 ・物理的に配管の腐食現象やスケール付着現象を解く ・GPUによる汎用計算を用いてシミュレーション計算アルゴリズムの最適化を行い、現在の計算速度を2倍以上高速化する。	層流から乱流領域を扱え、単相から二相に問題の解法を拡張して、問題を現実に近いモデルに置き換えた。	○ 2024年3月までに達成の見込み	より汎用な発電所の問題を取り扱えるようにした。／層流を仮定し検証に用いた実験データを、新しいモデルで再度検証し、計算の有効性を確認した。今後並列計算化を行い高速化を達成する。

(3)-7. IoT-AI技術開発：目標達成状況(4)

研究開発項目	中間目標 (2024年3月)	成果 (2023年3月まで)	達成度 (見込み)	達成の根拠 ／解決方針
④ 地熱発電プラント全体のO&M最適化の研究開発	【④-1】 ・発電設備向けおよび蒸気設備向けの管理アプリを開発する。	・発電設備向け管理アプリの完成、および試運用開始	○ 2024年3月までに達成の見込み	2022年9月までに仕様書完成、システム製作中であり、2023年度に実フィールドでの検証を実施予定。
	【④-2】 ・EnergyWinを用いて、蒸気生産設備の定常シミュレーションモデルを組み込んだプラントシミュレータを構築する。 ・EnergyWinとTOMONIとの連携のため、クラウド環境を整備して、対象とする地熱発電所専用に地熱発電プラント性能評価ツールをマイクロサービス化するREST API等を開発する。	・EnergyWinを用いて、プラントシミュレータを構築、またTOMONIとの連携システムを整備中（2023年度に完成予定）。同システムの要素技術を活用して、実証試験地で2022年度に実施された定期検査（定検）の期間前後で発電所の性能変化を分析できた。	○ 2024年3月までに達成の見込み	要素技術の作動を確認し、定検前後の性能分析に用いることができた。2024年3月までには、地熱発電プラントの性能評価を可能とする連携システムが完成する見込み。
⑤ 技術実証	・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。	・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。	○ 2024年3月までに達成の見込み	個別の要素技術毎の検証を行い有用な結果を得ることができた。2023年度も最新のデータ提供を受けての検証を実施予定。

(3)-7. IoT-AI技術開発：実用化・事業化の見通し

- 既存の地熱発電設備向けTOMONIソリューションをベースに、本プロジェクトにおいて蒸気設備と発電設備を統合した地熱発電プラント全体を管理する手法を検討している。
- 今後、既存の発電設備向けソリューションの拡販活動の際に地下に起因する困りごとについて発掘を行い、顧客から要望があれば現象の解析と対策の検討を行いプレゼンを行う。
- プレゼンの結果、採用がきまれば具体的なシステム製作、運用を開始する。

項目	2026年度	2027年度	2028年度	2029年度	2030年度～
TOMONIソリューション	既存の発電設備向けソリューションの拡販活動				
顧客ヒアリングによる対象案件発掘	プラント性能診断活動を通して地下に関する困りごとヒアリング				
製作（カスタマイズ）	困りごと相談があり次第 現象の解析、対策の検討		システム設計	最適管理システムの提案 (本プロジェクトで開発した技術をカスタマイズ) 受注が決まれば製作開始	
			システム製作	システム運用開始 以後、定期的なフォローアップによる継続受注	