

「地熱発電技術研究開発」

(事後評価)

(2018年度～2021年度 4年間)

プロジェクトの概要 (公開)

NEDO

新エネルギー部

2021年11月12日

I. 事業の位置づけ・必要性

- (1)事業の目的の妥当性
- (2)NEDOの事業としての妥当性

II. 研究開発マネジメント

- (1)研究開発目標の妥当性
- (2)研究開発計画の妥当性
- (3)研究開発の実施体制の妥当性
- (4)研究開発の進捗管理の妥当性
- (5)知的財産等に関する戦略の妥当性

III. 研究開発成果

- (1)研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義
- (2)成果の普及
- (3)知的財産権の確保に向けた取組

IV. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し

- (1)成果の実用化・事業化に向けた戦略
- (2)成果の実用化・事業化に向けた具体的取組
- (3)成果の実用化・事業化の見通し、波及効果など

◆事業実施の背景と事業の目的

社会的背景

- 2011年の東日本大震災以降、再生可能エネルギーの導入拡大が望まれている中、我が国は世界第3位の地熱資源ポテンシャルを有すると推定されており、地熱発電に大きな期待が掛かっている。
- 地熱は、再生可能性エネルギーの中でも安定した出力が得られるので、ベースロード電源として扱われており、注目されている電源である。

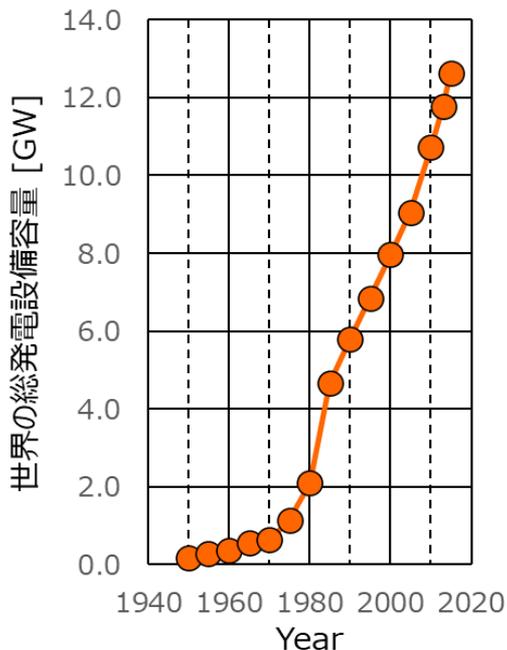
事業の目的

- 地熱資源の有効活用のための技術開発により、我が国の地熱発電の導入拡大を促進することを目的とする。具体的な事業テーマは以下のとおりである。
 - 発電所の環境保全対策技術開発
 - 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の活用に向けた技術開発
 - ・ 地熱発電システムにおける運転等の管理高度化に係る技術開発

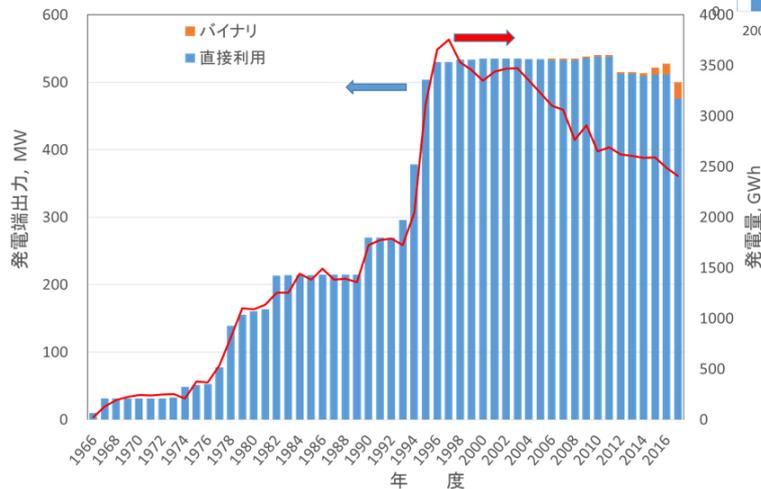
◆国内外の地熱発電動向

【海外動向】

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



出典：IGA website 火原協を基に作成



【国内動向】

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

出典：地熱発電の現状と動向 2018年（一財 火原協）

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



◆政策的位置付け

■ 「エネルギー基本計画(第6次)」(素案が公開)

- 2050年カーボンニュートラル実現に向けた課題対応、2050年を見据えた2030年に向けた政策対応(GHG削減量46%へ引き上げ)など。
- 再エネの主力電源化を最優先の原則のもとで最大限の導入に取り組み、水素・CCUSについても社会実装を進める。
- 再エネの電源構成比率が、現行22～24%から、36～38%へ引き上げ。地熱は現状維持<1.4-1.5GW、102-113億kWh>。

◆政策的位置付け

■ 再エネ規制総点検タスクフォース(2021年6月)

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

◆政策的位置付け

①洋上風力・太陽光・地熱産業（地熱）

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

	現状と課題	今後の取組
リスクマネーの供給、理解促進	<p>開発リスク・開発コストが課題</p> <p>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）</p>	<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"> ・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。 ・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。 ・「<u>地熱開発加速化プラン</u>」による改正地球温暖化対策推進法に基づく促進区域指定、地元理解のためのデータ収集・調査等の実施。
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） 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。</p> <p>（温泉法） 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。</p>	<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、「再生可能エネルギー等に関する規制等の総点検タスクフォース」での指示を踏まえて見直しを図る。</p> <p>（自然公園法）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・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。 <p>（温泉法）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・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
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。 ・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。 	<p>次世代地熱発電技術の確立、実用化</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"> ・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。

1. 事業の位置付け・必要性 (2)NEDOの事業としての妥当性

◆他の機関との関係

【NEDOの地熱技術開発の経緯】

2002年度
終了

1980年度NEDO設立⇒

	西暦	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04
	昭和・平成	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
資源調査関連	S48~S58	全国地熱基礎調査																															
	S55~H4	全国地熱資源総合調査																															
	H4~12	深部地熱資源調査																															
探査技術関連	S55~63	仙台・栗駒地域調査																															
	S59~63	高密度MT法																															
	S63~H8	断裂型貯留層探査法開発																															
	H9~14	貯留層変動探査法開発																															
掘削技術関連	S61~H2	逸水対策技術																															
	H3~13	MWDシステム開発																															
生産技術関連	S56~63	低温熱水還元																															
	S57~H1	熱水の地下還元メカニズム																															
	S58~60	硫化水素除去技術																															
	S59~60	炭酸カルシウム付着防止																															
	S60~63	熱水の最適生産手法																															
	H1~6	可採量増大技術																															
新タイプ発電関連	H4~13	深部地熱資源採取技術																															
	S55~H12	バイナリーサイクル発電																															
	S55~57	トータルフロー発電プラント																															
	S60~H14	高温岩体発電技術(要素技術)																															
S55~60	深層熱水																																

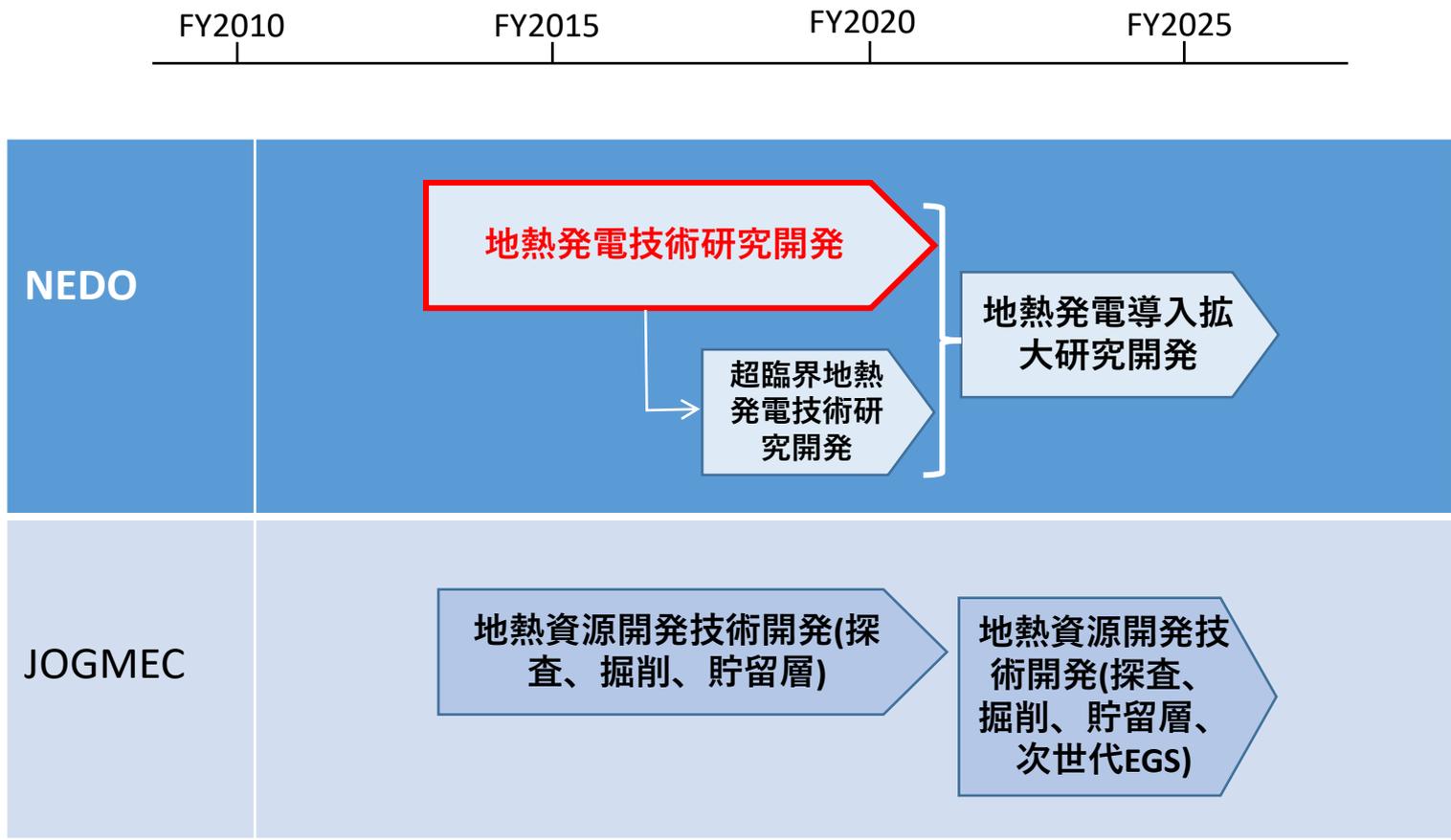
◆他の機関との関係

地熱発電開発の国の支援体制概要

対象		探査技術 (資源探査、貯留層、掘削等)	利用技術 (井戸～地上設備、環境保全技術等)
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	資工庁 固定価格買取 制度等
技術開発	在来型地熱・EGS	 JOGMEC 地熱発電技術研究 開発事業	 NEDO 地熱発電技術研究 開発事業
	超臨界地熱発電	 NEDO 超臨界地熱発電技術研究開発事業	

◆他の機関との関係

NEDOとJOGMECとの役割分担



地熱発電や地中熱等の導入拡大に向けた技術開発事業 令和2年度概算要求額 31.1億円 (29.6億円)

事業の内容

事業目的・概要

- 地熱発電は、天候等の自然条件に左右されず安定的な発電が可能なベースロード電源の一つであり、我が国は世界第3位の資源量 (2,347万kW) を有していることから、その導入拡大が期待されています。
- その一方で、(1)調査段階では、他の再エネと比べ、地下構造の把握や資源探査に係る開発リスク・コストが高いという課題、発電段階では、高性能な地熱発電システムや環境アセスメント関連の技術開発が求められ、(2)また、より発電能力の高い次世代の地熱発電 (超臨界) に関する技術開発が求められています。
- さらに、(3)地中熱など再エネ熱の活用は、エネルギー需給構造の効率化のために重要ですが、コスト低減等の課題があります。
- 本事業では、地熱開発や地中熱等の導入促進に向け、技術開発により諸課題の解決を図ることで、本格導入を後押しします。

成果目標

- (1)(2)地熱発電は、平成25年度から平成32年度までの8年間の事業であり、調査段階における坑井の掘削成功率を現状の約3割から約4割に向上 (改善率30%) することなどを目指します。
- (3)再エネ熱は、令和1年度から令和5年度までの5年間の事業であり、トータルコストの低減を図り、投資回収14年 (2030年までに8年) を目指します。

条件 (対象者、対象行為、補助率等)



事業イメージ

(1) 従来型地熱発電に関する技術開発 <委託・補助>

① 開発・運転の効率化 <委託・補助>

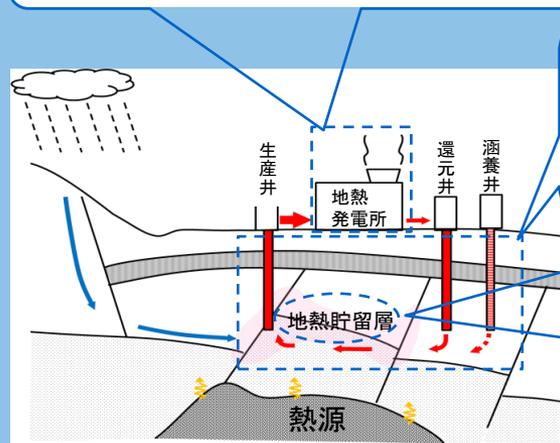
IoT-AI技術等を活用した運転管理技術の確立により、効率的な開発・運転を実現。また、環境アセスメントの迅速化に向けた環境評価技術の研究

② 出力安定化 <委託>

運転後の出力安定化のための評価・管理技術を確立し、長期に安定的な発電を実現

③ 探査精度と掘削速度の向上 <委託>

地下構造の詳細な把握を可能とし、開発リスクを低減するとともに、低コストかつ短期間での掘削を可能とする機材等を開発



※地熱貯留層とは、蒸気や熱水が溜まっている層

(2) 次世代の地熱発電に向けた技術開発 <委託>

- 地下の超高温・高圧の状態 (超臨界状態) にある水を利用する地熱発電 (超臨界地熱発電) に関する詳細調査を行います。

(3) 再エネ熱利用に係るコスト低減技術開発 <委託・補助>

- 再エネ熱の導入に関わる上流から下流までの事業者等を集めたコンソーシアム体制を構築し、導入コスト、ランニングコストの低減につながる各主体共通の技術開発や、業界・ユーザーの連携による普及策に取り組みます。

◆NEDOが関与する意義

社会的必要性が大きい

- **再生可能エネルギーの普及の拡大**による温室効果ガス排出量削減
- 国産のエネルギーの有効活用によるエネルギーセキュリティへの貢献と国内産業活性化

民間企業単独での実施が困難

- 目標としている発電設備容量達成には、迅速に対応する必要がある。
- **技術開発の難易度が高い。**
- 開発期間が長期であり、リスクが高い。

JOGMECとのデマケ

- **研究開発機関としてノウハウを有し**、JOGMEC(現行事業の支援)にない専門性(特に、革新的技術開発など)がある。
- お互い連携して進めることが現状の課題解決には不可欠。



NEDOが推進すべき事業である

◆国内の地熱技術開発の動向

- 地熱発電の導入拡大を進める上での課題は、①地下資源特有のリスク、②開発リードタイムが長いこと、③法令規制、④ステークホルダとの合意形成などが挙げられる。このうち、上記①から③については、探査技術、発電技術、環境保全対策技術、超臨界地熱発電技術などについては、2013年度以降、JOGMECやNEDOで技術開発事業が体系的実施されている。
- 一方、上記④への対応について、持続可能かつ地域共生型の地熱開発を実現するために、地域経済効果、地域環境への貢献、地域社会への貢献等について、地域関係者間で情報や意識を共有することが重要であり、こうした社会科学的なアプローチも少しずつ始まっている。
- 超臨界地熱発電以外の次世代技術として、CO₂を媒体した革新的な地熱発電の技術についても、その実現可能性について先導的な研究が開始された。水に比べてCO₂は、熱効率に優れ、発電設備規模を大幅に小型化できるという利点があり、次世代技術として期待される。
- 地熱発電以外の利用としては、未利用となっている強酸性熱水を用いて、水素製造や有価金属(希土類元素)回収が先導研究プログラムの中で開始された。地熱エネルギーの幅広い活用を図り、地域貢献・SDGsへ向けた取り組みとして期待される。

◆ 国外の地熱技術開発の動向

- **米国DOEプログラムによるGEOVISION**が報告された。これは、米国国内の地熱資源について、発電と熱利用とで2050年までにどの程度利用可能かのシナリオを提示したものである。技術開発を推進することで、60GW達成と示されている。
- 世界的には、技術開発の主流はEGSであるが、アイスランドでは、より深部の**超臨界地熱資源領域への還元・涵養**を通して、浅部の既開発領域からの蒸気生産量を増大するプロジェクト(DEEPEGS)があり、これは、3つのEGSタイプ(高温岩体、涵養、透水性改善)の組み合わせの手法という点で大変注目される。
- EGS(特に水圧破砕)では、誘発地震が懸念事項として挙げられるが、その対策技術として、水圧破砕時の**誘発地震発生を抑制**する技術開発が進められている。まだ、数値モデルでの検討であるが、フィールド実証が期待される。
- 地熱発電により発生した非凝縮性ガスを回収し地層処分する、さらに、**大気中のCO2を回収して地層処分する(DAC)技術開発**がアイスランドで実施されている。DACは、作業工程上、熱を必要とするが、こうした熱を地熱エネルギーを利用する手法も興味深い。
- 世界的に水素製造がめざましい勢いで進められている中、グリーン水素の製造として、再エネを用いたPtoGが検討されている。ニュージーランドの**地熱発電を用いて製造した水素を我が国へ供給するプロジェクト**も始まった。日本から大林組が参加している。

◆技術戦略

【NEDO事業の重点課題】

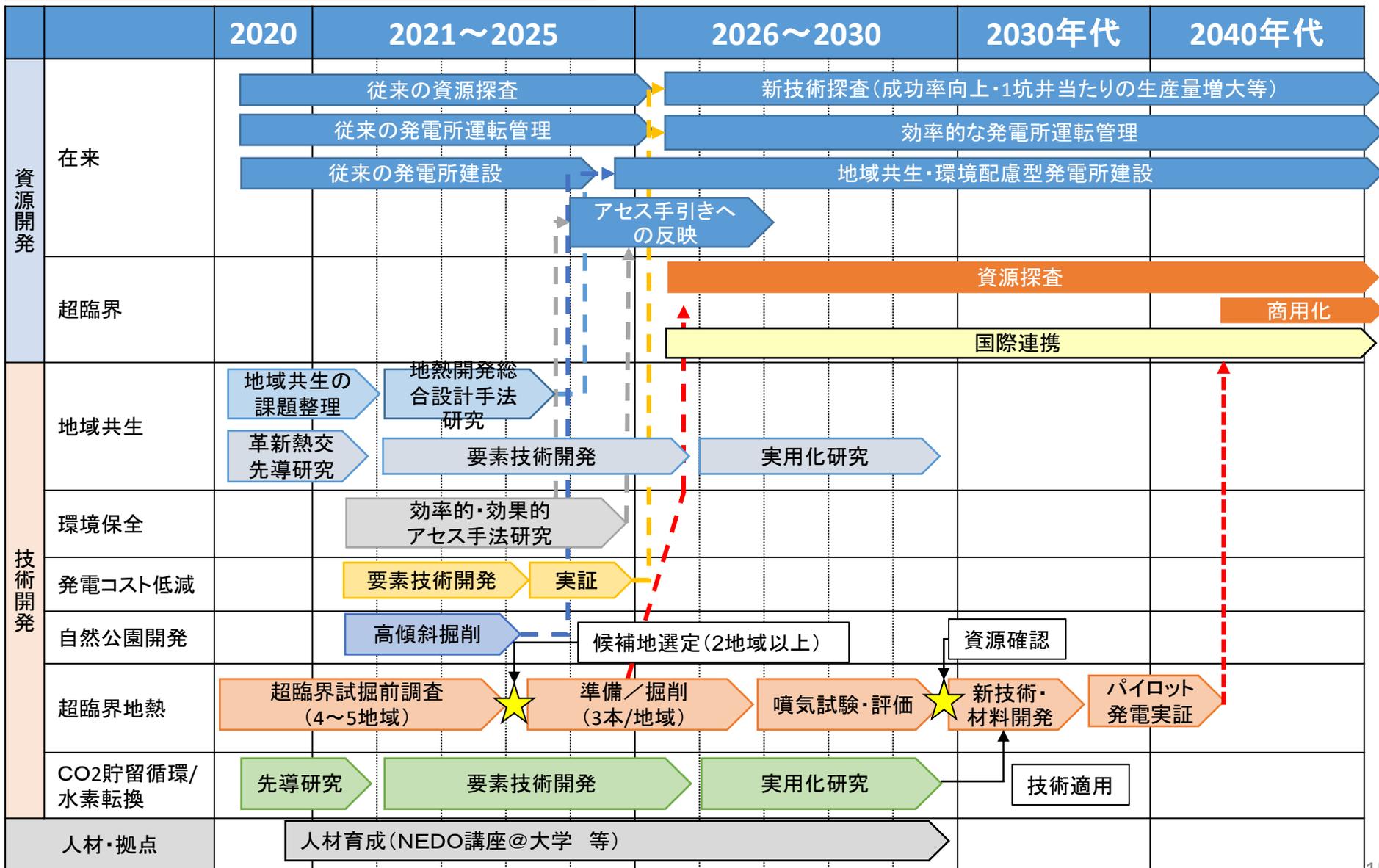
2019年度に2021年度以降の地熱技術戦略とテーマ探索が議論され、大規模開発導入拡大が一つのポイントとなり、重要課題として、

①発電原価低減化 ②地熱資源ポテンシャル拡大 ③地域共生・環境保全の3つの課題が抽出された。同課題を考慮し、2021年度より「地熱発電導入拡大研究開発」事業を開始した。



1. 事業の位置付け・必要性 (2)NEDOの事業としての妥当性

◆ 技術戦略

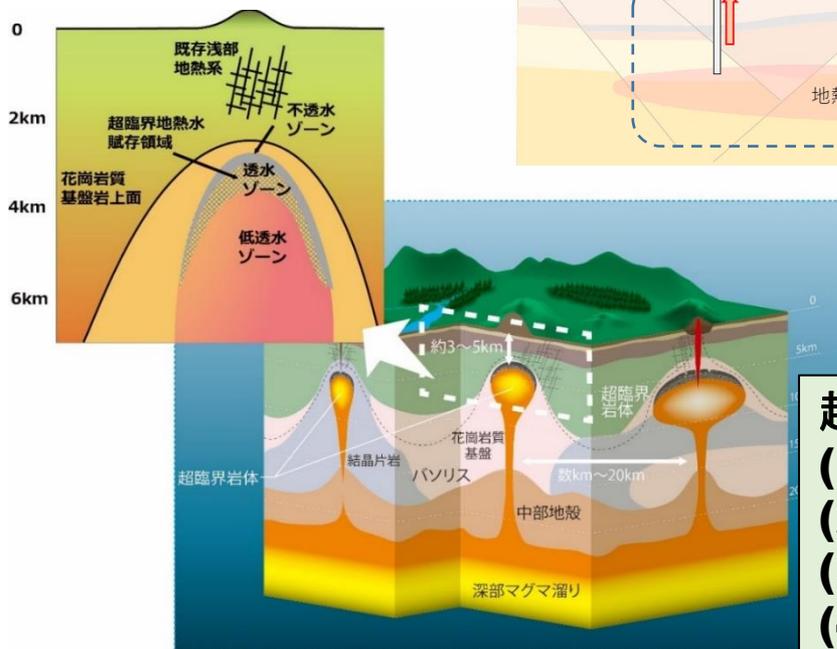


◆技術戦略

地熱発電技術研究開発

- (1) 環境保全対策技術
- (2)-1 酸性熱水対策技術
- (2)-2 地熱発電システム運転等
管理高度化技術

NEDO技術開発課題マップ



超臨界地熱発電技術研究開発

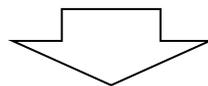
- (1) 超臨界地熱資源評価
- (2) 調査井資機材等の検討
- (3) モデリング技術手法開発
- (4) 調査井掘削に資する革新的技術開発

◆実施の効果（費用対効果）

- 2030年に、最大で約1.55GWの発電容量、及び113億kWhの発電量の達成が見込まれる。これによるCO2排出削減量は、約630万トン-CO2/年である。
- 地熱は、再生可能性エネルギーの中でも安定した出力が得られるので、ベースロード電源として扱われており、注目されている電源である。大規模開発では、競争力のある電源と位置づけられる。また、発電以外の熱利用などの多目的利用の特徴を有し、災害時にも強く、レジリエンス対策としての役割も担っている。

プロジェクト費用の総額

NEDO負担分 : 21.9億円 (FY2018～FY2021年度)



導入予測(2050年頃)

発電容量 : 最大で約1.55GW

発電量 : 113億kWh

市場規模予測 : 約1兆円

CO₂削減効果 : 約630万トン-CO₂/年

◆事業の目標**[研究開発項目と最終目標]****(1) 発電所の環境保全対策技術開発**

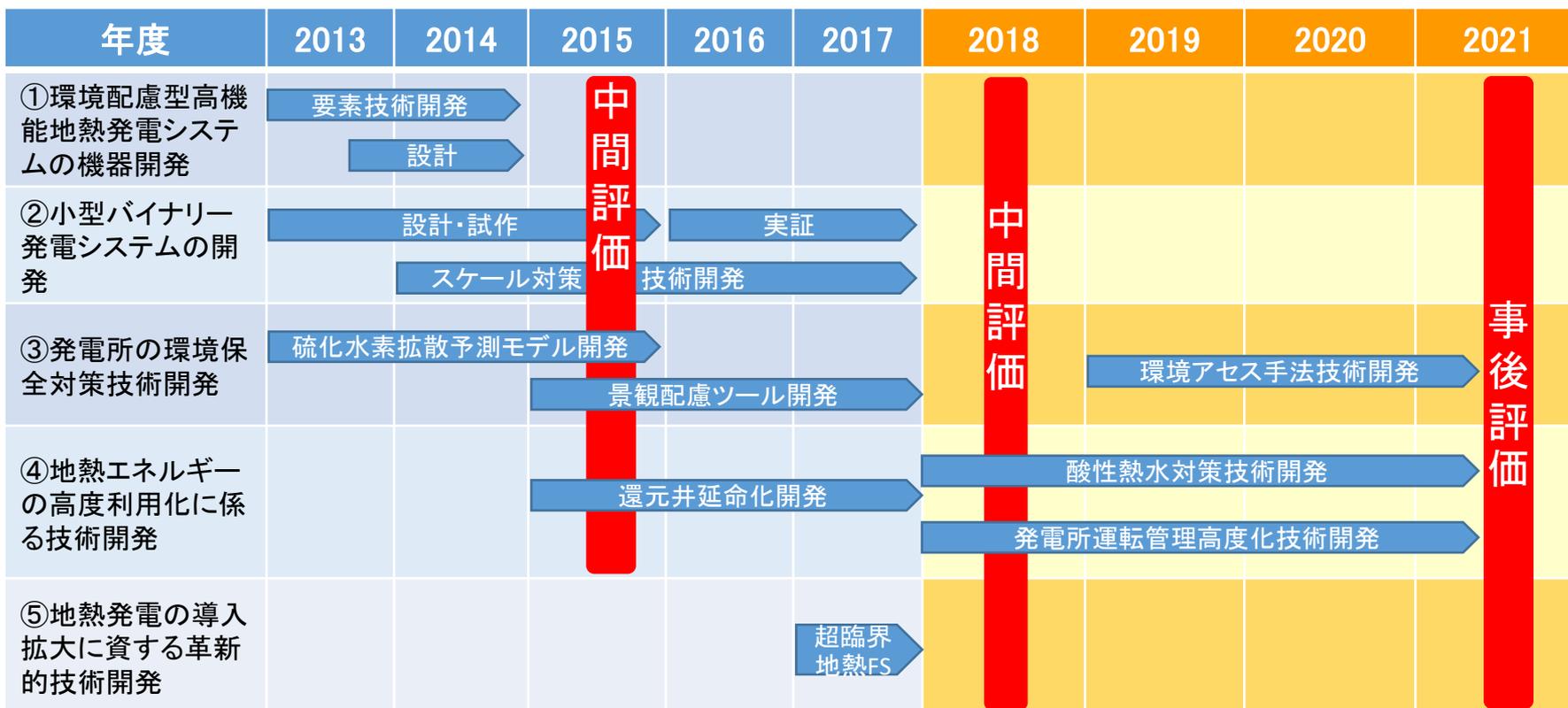
- ① 環境アセスメントにおける各種調査を最適化し、期間短縮に資する技術の開発を実施するとともに、定量的な知見に乏しい分野(硫化水素や着氷による植生への影響等)について、科学的知見を提示する。
- ② 自然公園内での地熱開発が円滑に進むように、必要とされる技術を確立する。

(2) 地熱エネルギーの高度利用化に係る技術開発

- ① 未利用地熱エネルギーの活用に向けた技術開発
掘削の結果、従来の方法では十分な発電量が期待できない坑井、地熱流体が酸性のため現状技術では利用できない坑井等、未利用の地熱エネルギーを活用可能にする技術開発を行う。
- ② 地熱発電システムにおける運転等の管理高度化に係る技術開発
IoTやAI技術等を活用することで、出力増大、トラブル回避、人員削減等の効率化、安全衛生の向上、技術向上等に資する技術開発を行う。

◆ 研究開発のスケジュール

- 2013年度当初は、5カ年計画としていたが、新規テーマの追加、次世代革新技術の独立プロジェクト化などの理由により、2017年度に3カ年延長の判断をして、2018年度から新規に公募採択契約を実施した。
- 2020年度にコロナ禍により多くの作業中断を余儀なくされたが、大方計画通り遂行できた。一部のテーマで作業遅延が発生したため、2021年6月まで期間延長した。



◆ 中間評価(2018年度実施)結果への対応

	前回の指摘	対応
1	<p>NEDOとともにJOGMECが技術開発を行っているので、NEDOの事業だけでは地熱分野の全体像がよく見えない。</p> <p>2030年のエネルギーミックス、また2050年のあるべき姿に向けて、両機関がどのように連携して取組んでいくのかを明示すべき。</p>	<p>2019年度に地熱技術を俯瞰した地熱技術戦略を策定し、2021年度以降の新規事業のテーマ探索・シナリオ策定を実施した。</p> <p>特に、NEDOは、これまで地上のみ課題が主体であったが、利用率向上には、地下の課題解決が重要であり、こちらにも関与出来ることとなった。</p> <p>NEDOの成果をJOGMECでフォローすることを提案し、適宜協議を行っている。</p>
2	<p>環境関連技術の実装により地元の理解が進む、また、発電所の高度利用化の研究開発が進捗し発電量の増加につながるなどのシナリオを含むロードマップが描けるとよい。</p> <p>その中で、発電設備容量と発電出力の急増に繋がるテーマの設定も必要。</p>	<p>2021年度より、地熱を含む再エネの実用化実証試験プログラムがスタートした。これらはより実用化に近い段階のテーマを対象とする(実用化支援)もので、こちらでフォローアップ出来ることとなった。</p>
3	<p>各要素技術の有効性を実証し、かつシステム統合を成し得るためにも、本事業の全ての技術を融合したパイロットプラントを今後事業化すべきである。</p> <p>また、既存プラントへの導入などの実証例を増やして頂きたい。</p>	<p>2021年度より、地熱を含む再エネの実用化実証試験プログラムがスタートした。これらはより実用化に近い段階のテーマを対象とする(実用化支援)もので、こちらでフォローアップ出来ることとなった。</p>

◆ 中間評価(2018年度実施)結果への対応

	前回の指摘	対応
4	<p>「発電所の環境保全対策技術」は、地元社会での合意形成に役立てる技術開発の側面が強く、新聞、雑誌等への掲載がもっとあってもよい。その中で、地域住民との合意形成に大いに役立つ成果であることを強調すべきである。</p> <p>より一層有用なツールとなるように、硫化水素の拡散シミュレーションでは予測精度の向上、エコランのシミュレーションでは冷却塔から立ち上る水蒸気など考慮すべき要素の追加が必要と思われる。</p>	<p>硫化水素予測については、稼働中の発電所において、実測値と予測モデル結果との検証を実施し、実際の現象を再現することが可能となった。今後さらに精度向上を図る予定。</p> <p>エコランでは、現行の地熱調査や開発地域をモデルフィールドとして、優良事例形成への有効性の検証を実施した。現在、環境省へ説明し、同手法のガイドラインへの引用を協議中。</p> <p>地域共生プログラムについても調査中であり、準備でき次第、開始する予定である。</p>
5	<p>地元の温泉事業者に協力していただくために、複数の地熱発電事業者からデータを収集、また温泉のモニタリングデータを収集して数値モデルを作成し、発電所の運転状況等を踏まえてシミュレーションによる現状および予測を行っていくことが重要。こうしたことが、温泉事業者の心配を払拭していくことにつながる。</p>	<p>現状技術では、数値モデルでの立証は課題が多く、地熱開発の影響についての実証試験を行うのみに限定した。今後、得られたデータを地熱開発事業者、温泉関係者、第三者機関などで地道な議論していくことが肝要。</p> <p>なお、地熱開発以外の変動要因解析は計画どおり完了した。</p>

◆ 研究開発目標と根拠

地熱発電技術研究開発

(1) 環境保全対策技術

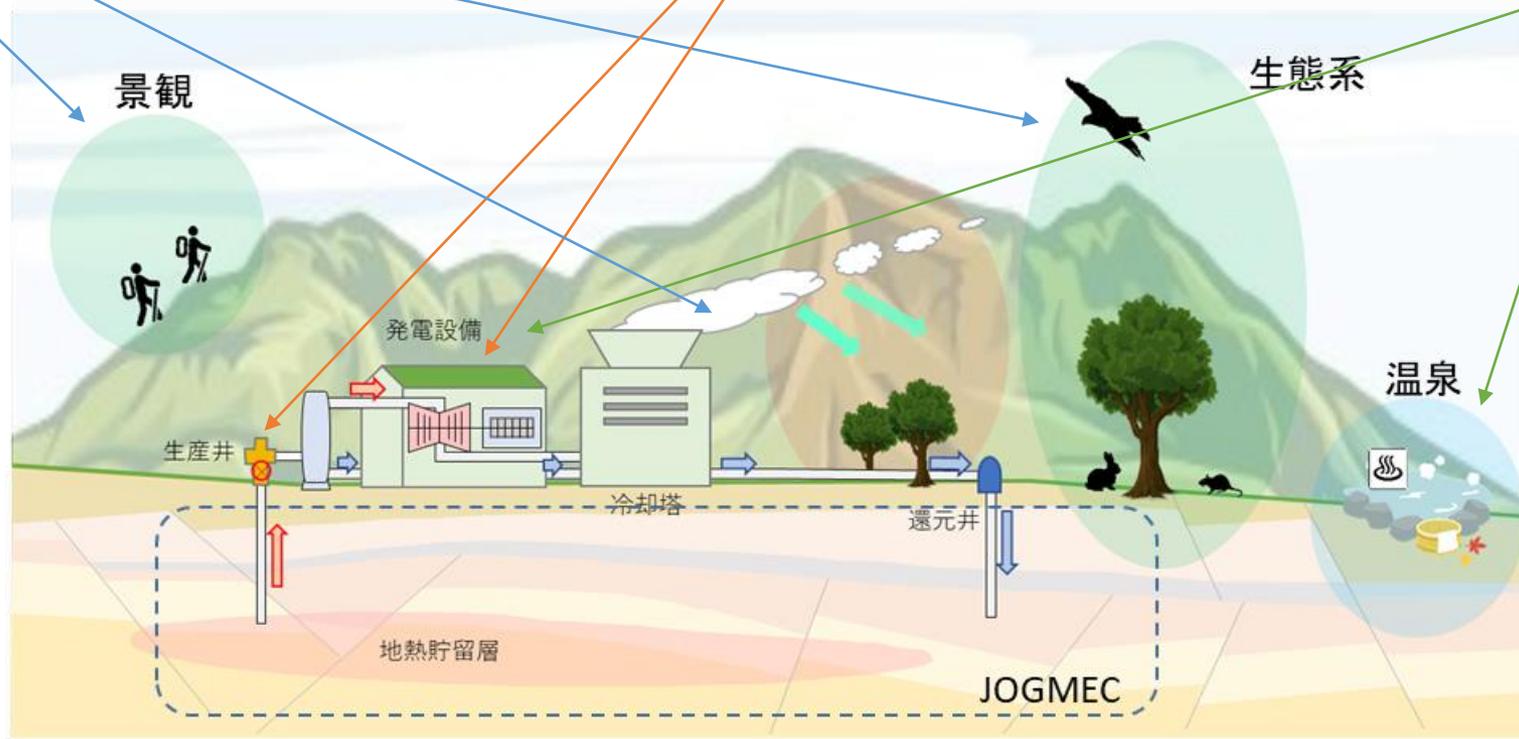
- 1.1) 優良事例形成の円滑化に資する環境保全対策技術に関する研究開発
- 1.2) 冷却塔排気に係る環境影響の調査・予測・評価の手法に関する研究開発

(2)-1 酸性熱水対策技術

- 2.1) 未利用地熱エネルギーの活用に向けた坑口装置の研究開発
- 2.2) 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
- 2.3) 酸性熱水を利用した地熱発電システム実現に向けた耐酸性・低付着技術の研究開発
- 2.4) 酸性熱水利用のための化学処理システム開発

(2)-2 地熱発電システム運転等管理高度化技術

- 2.5) 地熱発電システムにおける運転等の管理高度化に係る技術開発
- 2.6) 地熱資源適正利用のためのAI-IoT温泉モニタリングシステムの開発
- 2.7) IoT-AI適用による小規模地熱スマート発電&熱供給の研究開発
- 2.8) 地熱発電所の利用率向上に関する研究



◆ 研究開発目標と根拠

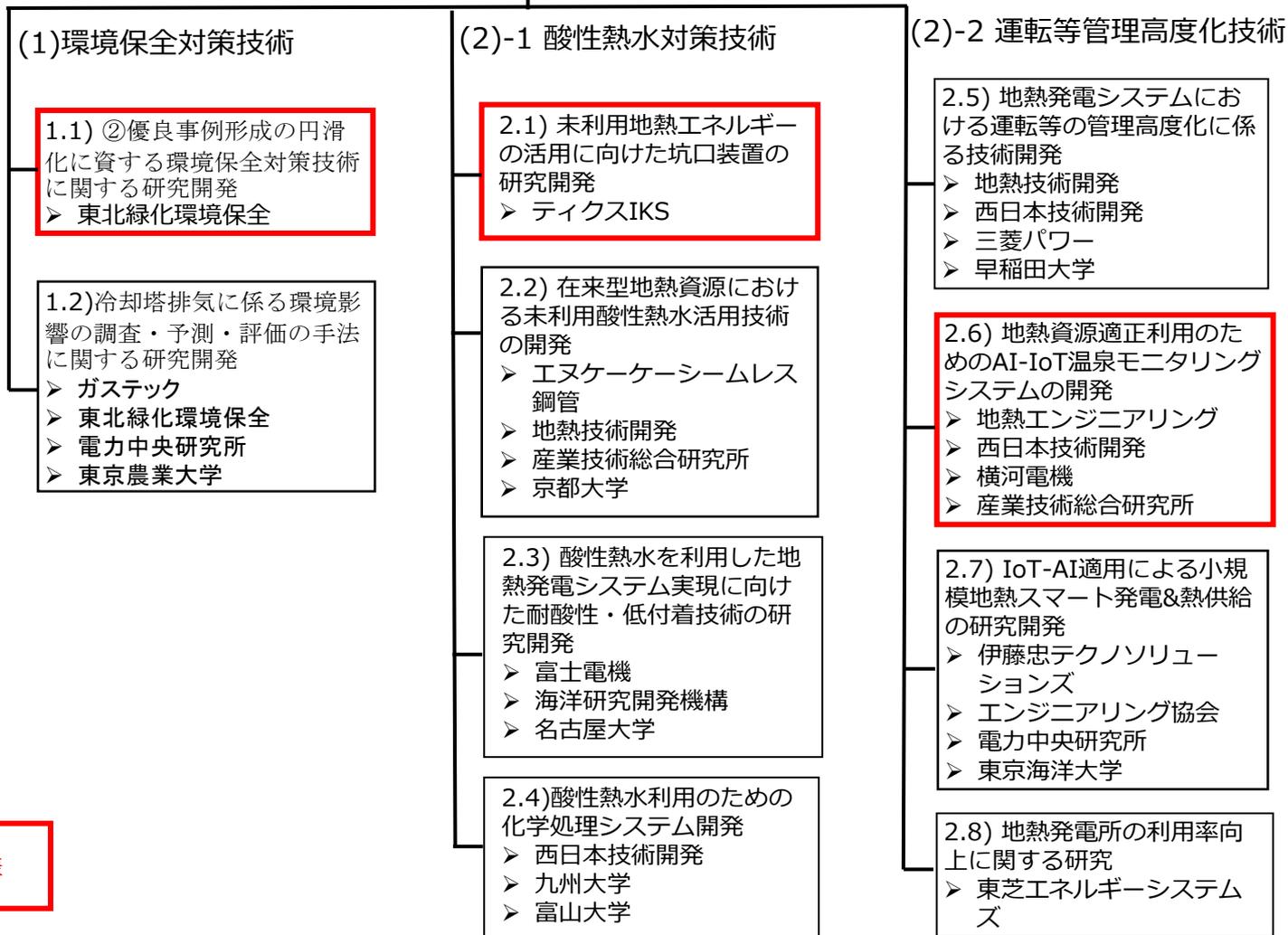
研究開発項目	研究開発目標	根拠
(1) 発電所の環境保全対策技術開発	<p>1.1) 自然公園内での地熱開発が円滑に進むように、必要とされる技術確立する。</p> <p>1.2) 環境アセスメントにおける各種調査を最適化し、期間短縮に資する技術の開発を実施するとともに、定量的な知見に乏しい分野(硫化水素や着氷による植生への影響等)について、科学的知見を提示する。</p>	<p>環境保全対策として、地熱事業では、環境アセスメントや国立公園内開発が重要な許認可手続きとなるが、これまで科学的な知見が乏しく、保全する管理者(環境省や自然保護団体など)の要求が高く、開発遅延の原因となっていた。</p>
(2) 地熱エネルギーの高度利用化に係る技術開発	<p>(2)-1 これまで未利用であった酸性熱水が噴出する地熱井のうち、pH3までの地熱井を利用可能にする技術の確立する。</p> <p>(2)-2 IoTやAI等のイノベーション技術を活用し、発電所のトラブル発生率を20%低減し、利用率を10%向上させる。</p>	<p>我が国の地熱発電の実績、特に、暦日利用率は、昨今、低下傾向となっており、同利用率向上が課題となっている。</p>

◆研究開発の実施体制

全体概要

研究開発テーマ名

NEDO



凡例

非公開発表

Ⅱ . 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

◆プロジェクト費用

◆費用実績

(単位:百万円)

研究開発項目	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度 ^{注)}	合計
(1)発電所の環境保全対策技術等 開発	0	140	150	9	298
(2)-1地熱エネルギーの高度利用化 に係る技術開発 (酸性熱水対策技術)	294	309	261	12	876
(2)-2地熱エネルギーの高度利用化 に係る技術開発 (高度利用化技術)	357	329	288	9	983
調査	19	0	15	0	34
NEDO負担額合計	670	778	713	30	2,190

注)2021年度は契約延長分(2020年度予算の繰り越し)

◆研究開発の進捗管理

- ① 開発項目の着実な実施と確実な達成に向け、適時、**技術委員会**を開催し、NEDOおよび実施者で実施内容や進捗を確認する会議を設け、必要に応じた対応方法の修正等を実施した。また、**ステージゲート審査**により、テーマの選択と集中や改善を図った。
- ② 地熱発電所開発への期待が高まる社会情勢を鑑み、追加公募を複数回実施する等、時勢を捉えた**新しい手法や取り組みを新規に採択(特に環境保全対策技術)**。また、当該事業の進め方・あり方について、外部有識者による検討委員会をNEDOにて設置し、これまでの開発項目のみならず、新たな開発項目に関する議論も実施した(**特に後継事業のテーマ探索など**)。
- ③ **地熱学会学術講演会オーガナイズドセッション**(2020年度)にて成果の進捗について報告し、第三者と多くの意見交換(特に今後必要となる技術開発テーマなど)を行うとともに、成果普及のためのアピールを実施した。
- ④ **日本地熱協会と技術交流会**を開催し、成果が得られている超臨界地熱資源量評価や革新的探査技術などの各テーマの紹介を行うとともに、2021年度以降の新規テーマについて意見交換を行い、地熱事業に関わる会社関係者から要望等(例えば、JOGMECとの連携強化や、地域共生の方策など)を受けた。
- ⑤ **JOGMEC**と2018年度以降、定期的に連絡会を実施し、お互いの事業について情報交換を行い、NEDO事業の成果の継承などを議論した。特に**温泉モニタリング機器**については、JOGMEC事業で活用したいとのことで、関係メーカーと協議を開始した。

◆ 動向・情勢の把握と対応

関係省庁との情報交換を密にすることにより、動向と情勢を把握しつつ、開発マネジメントに活かしている。

情勢	対応
内閣府で2016年4月に策定された「 エネルギー・環境イノベーション戦略(NESTI2050) 」において、温室効果ガス排出量を削減するポテンシャルが大きい、有望な革新的技術として超臨界地熱発電技術が挙げられた。	この政策を受け、2017年度には、「 超臨界地熱発電の実現可能性調査 」を実施した。2018年度以降は、地熱発電技術研究開発から独立した事業(プロジェクト)とさせた。
2019年度より地熱発電導入促進の課題の一つである温泉事業者との共存共栄について、 METI・JOGMECでは、地域共生策の支援プログラムが策定された。	NEDOで開発された 温泉についての遠隔連続モニタリング装置 について、METI・JOGMECからより早期の実用化の要請があり、同成果の報告を行うとともに、委託事業者の実証試験を支援した(ニュースリリース など)。
内閣府で2021年4～6月に2050年のカーボンニュートラルを目指す「 再エネ規制総点検タスクフォース 」及び「 グリーン成長戦略 」において、地熱開発加速プランなどが提示された。	NEDO事業成果である 環境アセスメント手法技術や国立公園優良事例形成 に向けた環境保全対策技術について、METIや環境省へプレゼンし、政策支援(NEDO成果の活用)を図った。

◆ステージゲート審査(2018年度実施)結果への対応

運転等管理高度化技術(4テーマ)を対象にステージゲート審査を実施した。本研究開発項目は、IoT-AI技術を地熱分野に適用するもので、従来未着手のテーマとリスクが高いため、見込みがないテーマの篩い落としを目的とした。

	指摘事項	対応
1	<p>1. 「地熱発電所の利用率向上に関する研究」</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 現在は、システム構築が先行した研究となっているが、実状に即したシステムを開発するには、現場情報を収集した上で、その課題解決に向けたシステムにすることが重要。 ➤ 各研究項目の関連付けを明確化することが重要。 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ ヒアリングにより得られた現場の課題を整理し、課題解決可能なテーマを選定してその解決に向け取り組んだ。 ➤ 井戸から地上設備を通して発電システムを網羅する統合的なシステムを構築するが、このシステムが連携して、利用率を引き上げられるような課題解決手法を提示した。
2	<p>3. 「IoT-AI適用による小規模地熱スマート発電&熱供給の研究開発」</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 運転等のデータ収集が肝要であるので、データが得られるよう、データ保有先に対する協力協議を継続することが重要。 ➤ 小規模バイナリー発電に係る利用率の定義を明確化することが重要。 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 実証試験場所の追加やデータ収集の加速化を実施した。データ収集が出来ないところでは、IoTデータ転送システムを導入した。 ➤ バイナリー発電は、所内率が入った発電出力となり、火原協の式をそのまま出来ないため、補正した式を導入して、評価することとした。

◆知的財産権等に関する戦略および知的財産管理

- ・開発成果に対する取り扱いとして、委託事業の成果に関わる知的財産権等については原則として、**すべて実施機関に帰属**させることとする(「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)。
- ・実施機関においては、我が国の産業競争力の強化に資するべく、開発した技術や成果の特徴を踏まえた知的財産マネジメントを実施する。
- ・案件別に**委託先間で知財合意書を締結**し、研究開発責任者の法人が知財マネジメント委員会を実施し、特許申請や成果の公表等を審議した。

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

研究開発項目	目標	成果	達成度	目標達成のために解決されるべき課題
(1) 発電所の環境保全対策技術開発	<p>1.1) 自然公園内での地熱開発が円滑に進むように、必要とされる技術を確立する。</p> <p>1.2) 環境アセスメントにおける各種調査を最適化し、期間短縮に資する技術の開発を実施するとともに、定量的な知見に乏しい分野(硫化水素や着氷による植生への影響等)について、科学的知見を提示する。</p>	<p>1.1) 改訂版エコラン・マニュアルに、掘削機械に関する環境配慮事例、新たに2パターン追加したパタン参考集、新たなGIS解析方法による地熱開発適地選定の手法、およびケーススタディを追加掲載した。併せて環境省、経産省等に対して、改訂版エコランセットをプレゼンし、好感触を得、検討会資料に同マニュアルが掲載された。</p> <p>1.2) 新たなモニタリング調査手法として、UAVを用いた植生指数によるモニタリング調査方法の手順、および着氷影響に対する環境配慮手順などを「ガイドライン(素案)」として取り纏めた。また、測定器や硫化水素モニタリングの現状および課題等を明らかにした。また、測定の際に干渉する火山性ガスの成分を明らかにした。</p>	<p>◎</p> <p>◎</p>	。

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部達成、×未達

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆各実施者の開発概要

(1) 環境保全対策技術

【環境影響評価における重要な環境要素とNEDOの取組】

地熱環境影響評価に重要な環境要素の区分

大気環境	硫化水素
水環境	温泉
植物	重要な種及び群落
生態系	地域を特徴づける生態系
景観	主要な眺望点及び景観資源等



八丁原発電所の遠景（出典：JOGMECウェブサイト）

風洞実験を代替する硫化水素
拡散予測モデル開発
(2013-2015)

実用化

硫化水素の影響評価、蒸気着
氷の影響評価手法の研究
(2019-2020)

マニ
ュアル
作成

温泉の遠隔・連続モニタリン
グ装置の開発(2014-2017)

試作品
完成

温泉モニタリングシステム開
発(2018-2020)

試作品
完成

エコロジカル・ランドスケー
プ・デザイン手法開発(2014-
2017)

マニ
ュアル
作成

自然公園内開発円滑化に向
けた環境配慮手法の実証評価
(2019-2020)

マニ
ュアル
作成

環境アセスメント調査早期実
施実証事業（前倒環境調査）
(2014-2016)

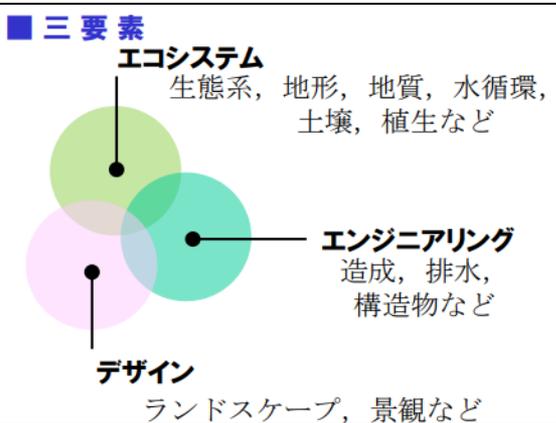
マニ
ュアル
作成

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆ 各実施者の開発概要

1.1) 環境保全対策技術(優良事例形成に資する研究開発)

エコロジカル・ランドスケープデザイン手法を活用したエコランセットとは・・・



- 三原則**
- 原則1:**
地域環境の潜在能力を見きわめる
- 原則2:**
人が手をつけてよいところと
いけないところを正しく認識する
- 原則3:**
人が1/2造り,
残りの1/2を自然に創ってもらう

エコランセット(3点セット)

自然環境・風致景観配慮マニュアル
配慮マニュアル

配慮手法
バタン参考集

汎用性3Dアプリ

自然環境・風致景観配慮マニュアル

地表調査・坑井調査。環境アセスの段階別に作業手順を整理

段階別作業フロー

自然環境分析

【凡例】地熱発電適地の対応程度

- 5 高
- 4 極めて高い
- 3 高い
- 2 中程度
- 1 低い

土地利用計画

配慮手法バタン参考集

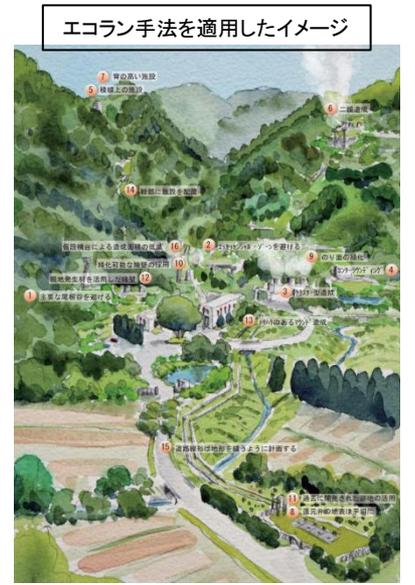
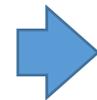
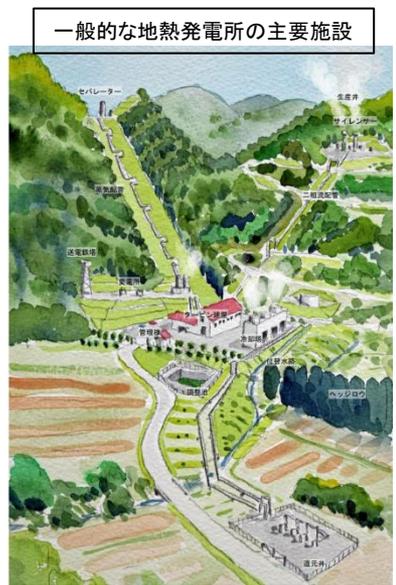
環境配慮の検討

汎用性3Dアプリ

3D化, 施設配置の検討

景観分析

- エコランセットの効用**
- ・判断基準, 手順の明確化により手戻りが減少
 - ・行政, 地域住民, 専門家等とのコミュニケーションが促進
 - ・自然環境・風致景観に調和した地熱発電導入の加速化
- 連動させることにより生態系, 造成, 景観の三要素を同時に解決**

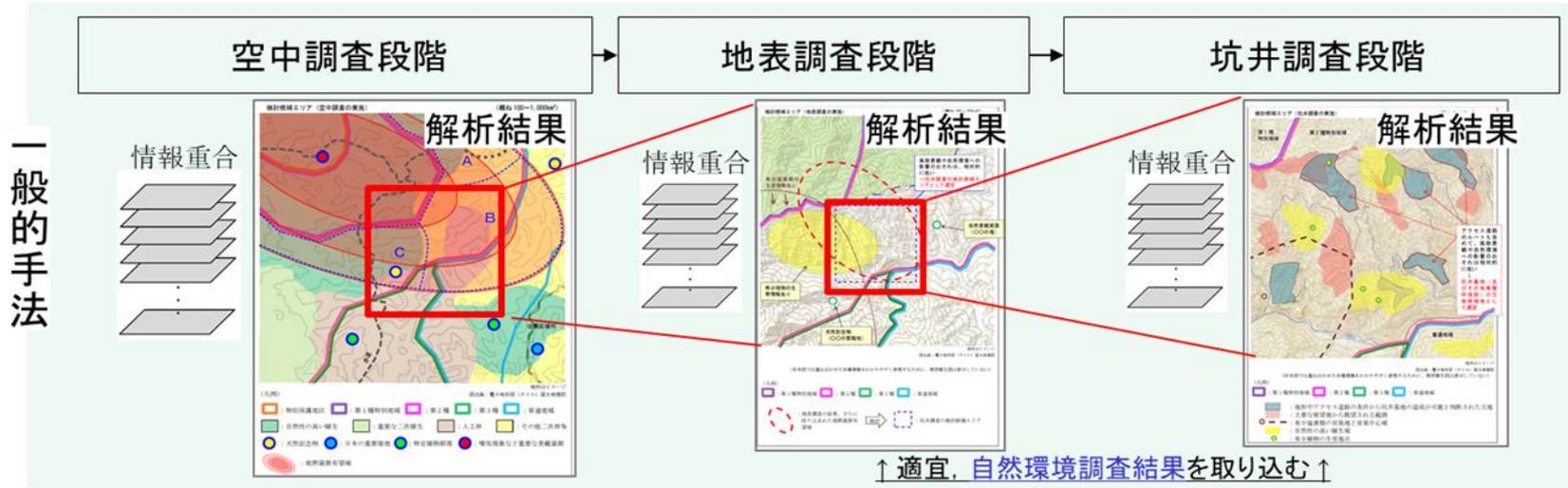


(出典) NEDO 成果報告会 (2021年度)

◆各実施者の開発概要

1.1) 環境保全対策技術(優良事例形成に資する研究開発)

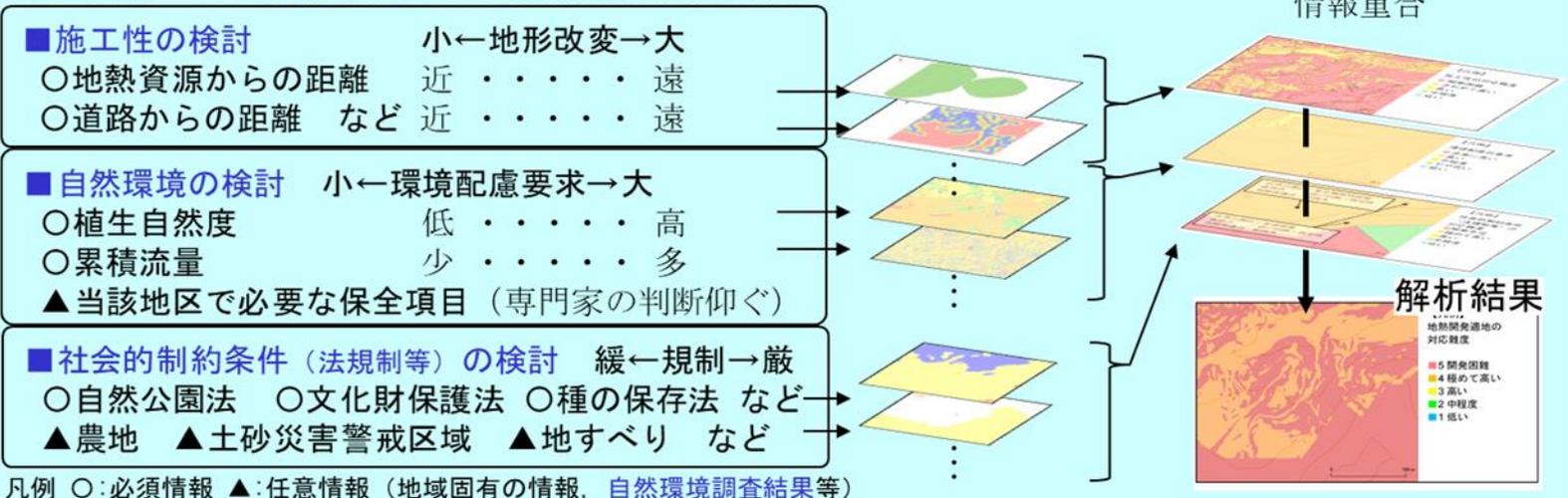
【地熱開発適地選定におけるGIS解析】



一般的手法

予め解析に用いる情報・判断基準を準備
調査進展に応じ新情報を追加し地熱開発適地を絞り込み

エロロン手法



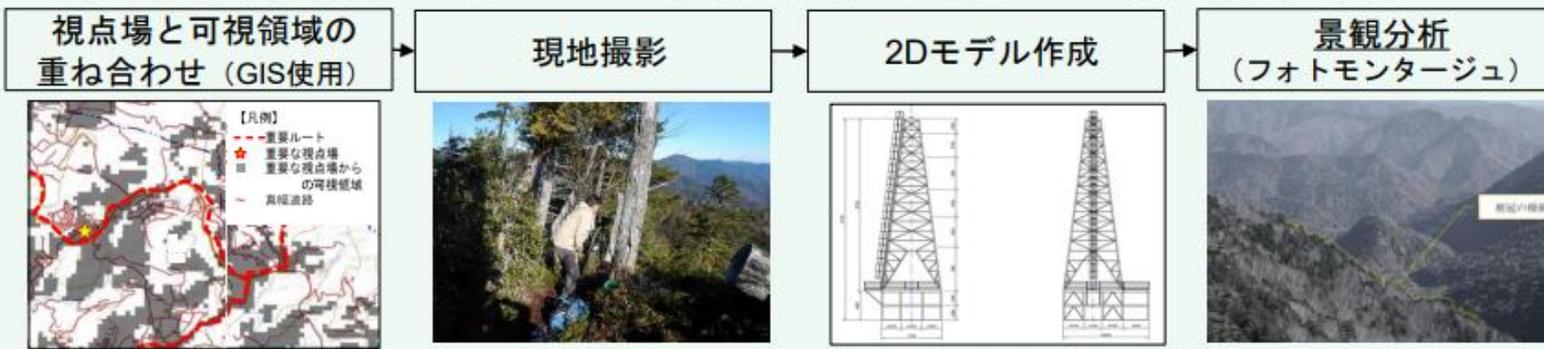
◆各実施者の開発概要

1.1) 環境保全対策技術(優良事例形成に資する研究開発)

【景観分析】

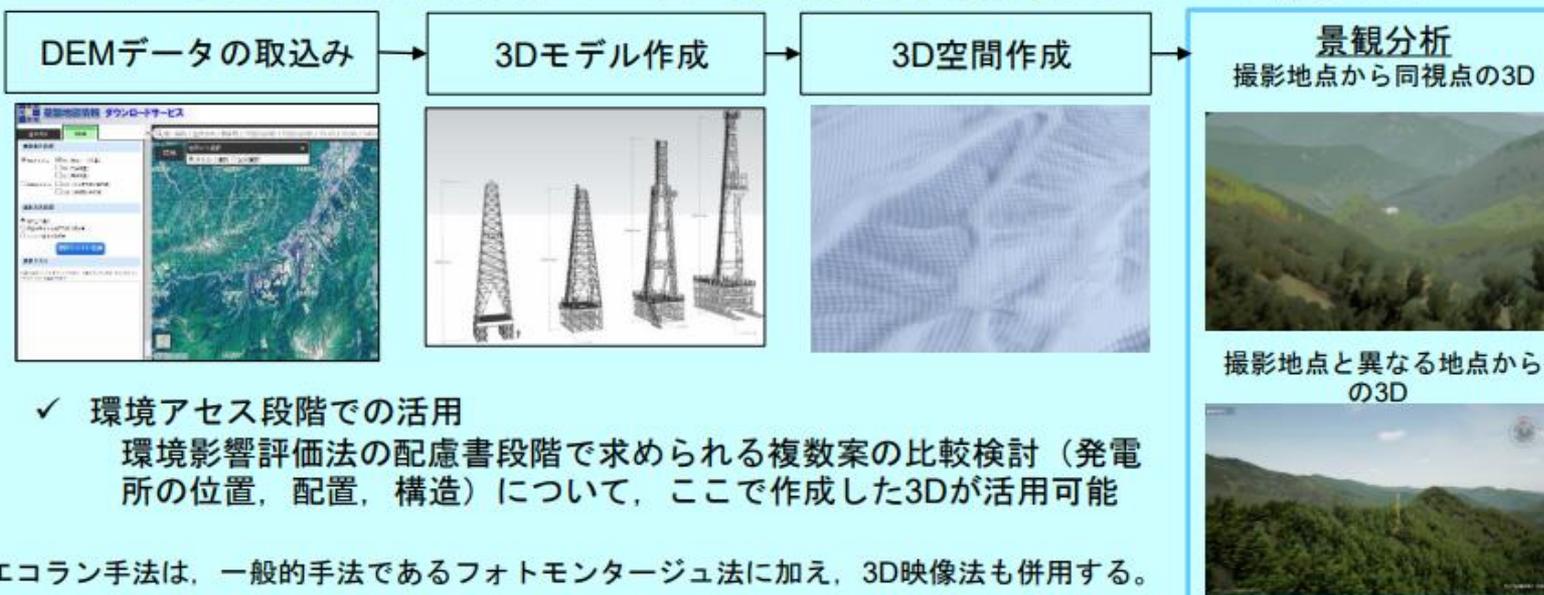
一般的手法

- 写真の水平画角、俯角等より、2Dモデルを適切な位置・大きさにして写真に合成する。



エコラン手法

- DEMデータから3D空間を作成し、3Dモデルを適切な位置・大きさにして3D上に配置する。



注意：エコラン手法は、一般的手法であるフォトモンタージュ法に加え、3D映像法も併用する。

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆ 各実施者の開発概要

1.2) 環境保全対策技術(冷却塔排気に関する研究開発)

【硫化水素拡散予測】

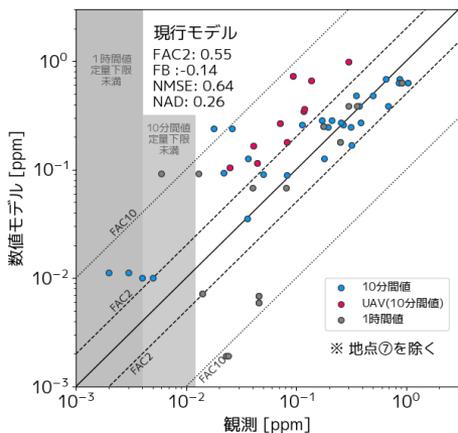
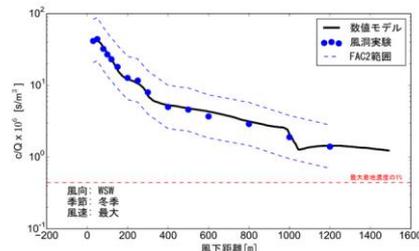
- 既設の地熱発電所における硫化水素の拡散実態と既に開発されている2つの硫化水素の予測モデルの予測結果とを比較し、以下の結果を得た。
 - 既に「発電所アセス手引き」で採用されている詳細予測数値モデルの予測精度は十分高いことを確認した。
 - 簡易予測数値モデルについても一定の予測精度を有することを検証した。
- 環境アセスメントにおける、2つの予測モデルの適切な使い分けや予測・評価の条件の明確化による最適化を図るための考え方を、事業者が参照しやすいよう「ガイドライン(案)」として取りまとめた。



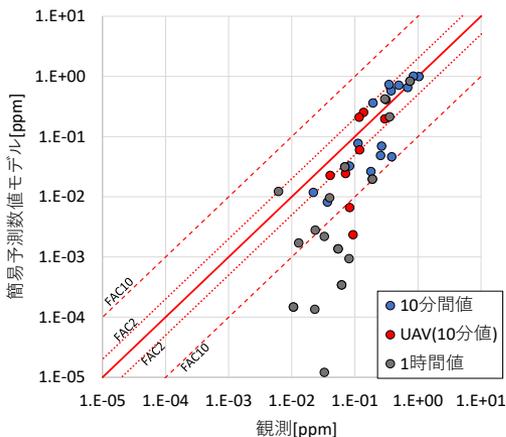
硫化水素の測定は、高所作業車やUAVを用いて、地上高以外の高さでも実施して、拡散実態を把握

【FY2017までの成果】

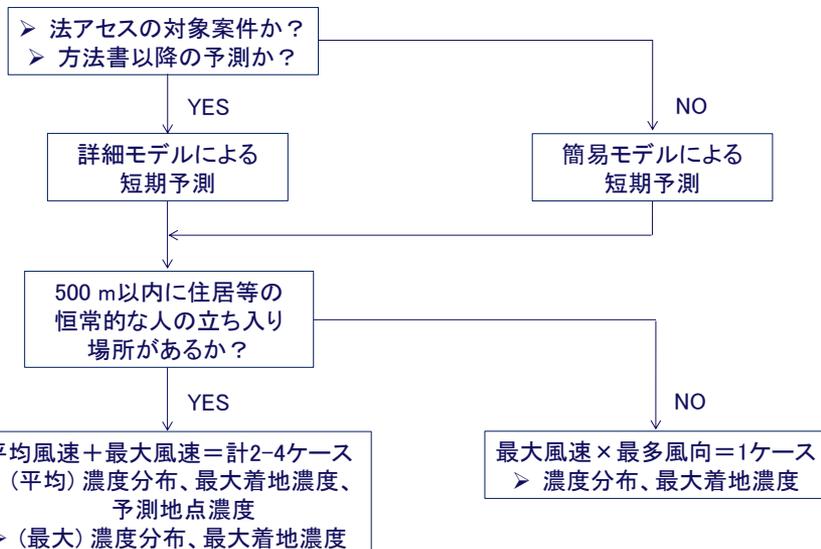
- FY2013～FY2015により、従来の風洞実験を代替する数値モデルを開発(詳細予測数値モデル、簡易予測数値モデル)
- 詳細予測数値モデルについては、「改訂・発電所に係る環境影響評価の手引(経済産業省)」に反映(2017年5月)。実際のアセス案件での利用実績あり。



現地測定値と詳細予測モデルによる予測値との比較



現地測定値と簡易予測モデルによる予測値との比較



「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)」における基本的な考え方

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆ 各実施者の開発概要

【硫化水素測定器開発】

■ 試作機的主要仕様

項目	内容
測定原理	定電位電解式
外形	210×160×130mm(突起部を除く)
重量	約2kg
内部電源	単3乾電池×4本
連続測定	3日間程度(単3アルカリ乾電池×4本)
表示範囲	0.000~9.999ppm
採気方式	内蔵ポンプによる吸引:0.15L/min
データ格納	microSD(クラウドへの転送も可能)
備考	ゼロ校正の制御方法を2パターンを設定 ・制御1:測定下限値の精度は0.01ppm程度 ・制御2:測定下限値の精度は0.04ppm程度

1.2) 環境保全対策技術(冷却塔排気に関する研究開発)

野外試験による性能評価

- 自然噴気地周辺において、試作機による硫化水素測定を実施した(2020年度に実施)。メチレンブルー吸光光度法による測定を同時に実施し、結果を比較した。
- 試作機の測定値は、**制御1、制御2ともメチレンブルー吸光光度法の測定値と高い相関**が得られた。

■ ゼロ校正の制御パターン

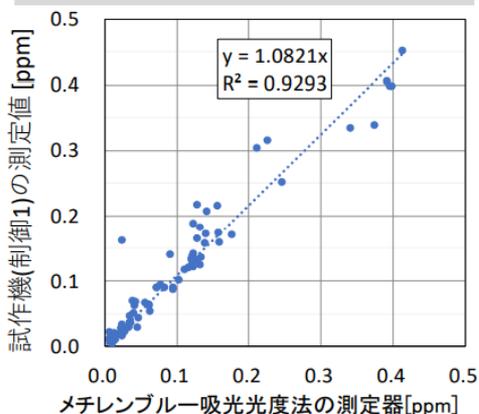
項目	制御1	制御2
測定/ゼロ校正	10分サイクル (2分測定/8分校正)	30分サイクル (1分測定×25回連続/5分校正)
特徴	・高い精度を期待	・測定していない時間が短い ・1分値を連続取得(時間分解能:高)



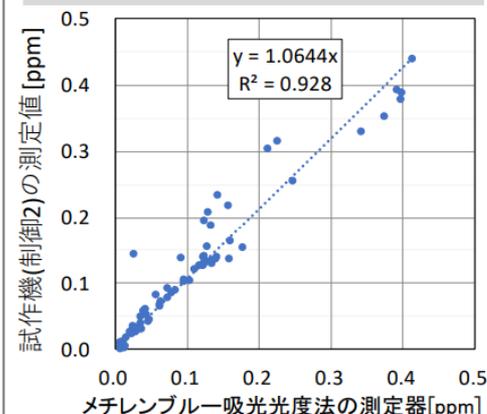
試作機
(無線親機含む)
:約2kg

メチレンブルー吸光光度法
用機材:約46kg

メチレンブルー吸光光度法vs試作機[制御1]



メチレンブルー吸光光度法vs試作機[制御2]



1時間平均値の相関(24時間連続観測×3地点の速報値)

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆ 各実施者の開発概要

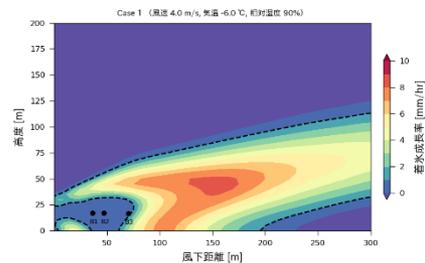
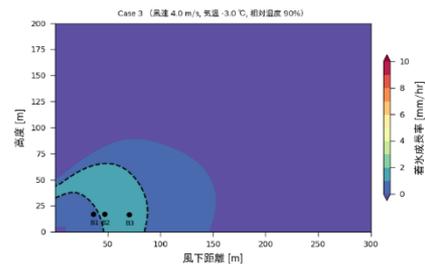
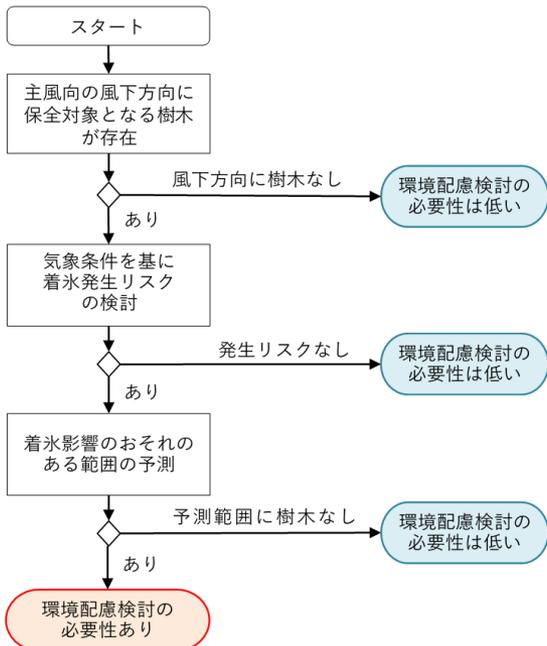
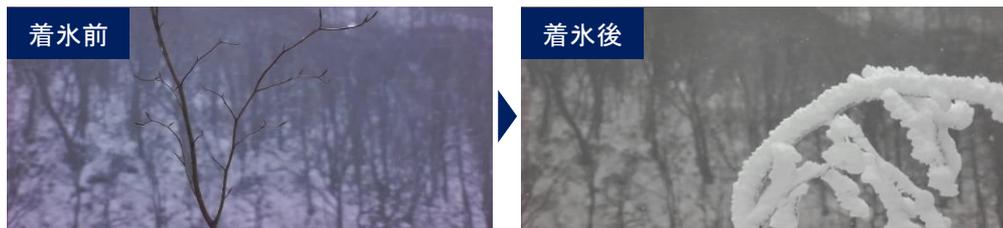
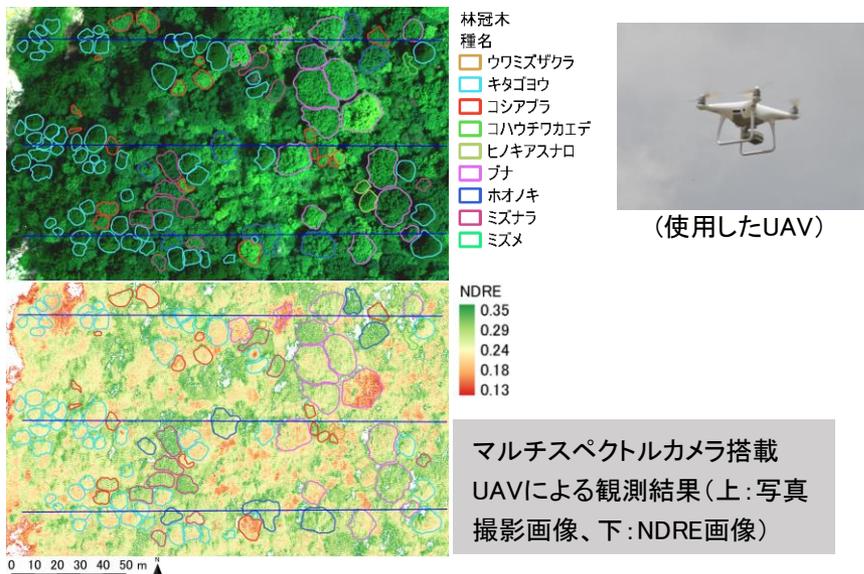
【硫化水素に係る植物モニタリグ手法】

- 硫化水素による植生への影響について、マルチスペクトルカメラ搭載 UAV を用いた樹冠レベルの観測により、植生指数 (NDRE) を用いて把握できる可能性を示す結果を得た。
- UAV で撮影した画像から確認する調査方法の手順などを事業者が参照しやすいよう「ガイドライン(素案)※」として取りまとめた。
※地熱発電所における UAV を用いた樹木モニタリング調査手法ガイドライン(素案)

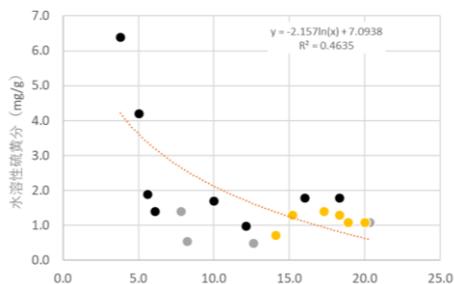
1.2) 環境保全対策技術(冷却塔排気に関する研究開発)

【冷却排気による樹木着氷影響予測】

- 地熱発電所の冷却塔から排出される蒸気により、着氷現象が発生することを確認し、その結果を基に蒸気による樹木への着氷影響を予測する手法を開発した。
- その手法等を事業者が参照しやすいよう「ガイドライン(案)」として取りまとめた。



予測手法の検討 (風速4m/s、上: -3°C、下-6°C)



注: ●フナ、●ミズナラ、●コシアブラ

落葉広葉樹の葉中硫黄濃度

「地熱発電所の新設・更新に係る冷却塔から排出される蒸気による樹木への着氷影響に関する環境配慮ガイドライン(案)」における基本的な考え方

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

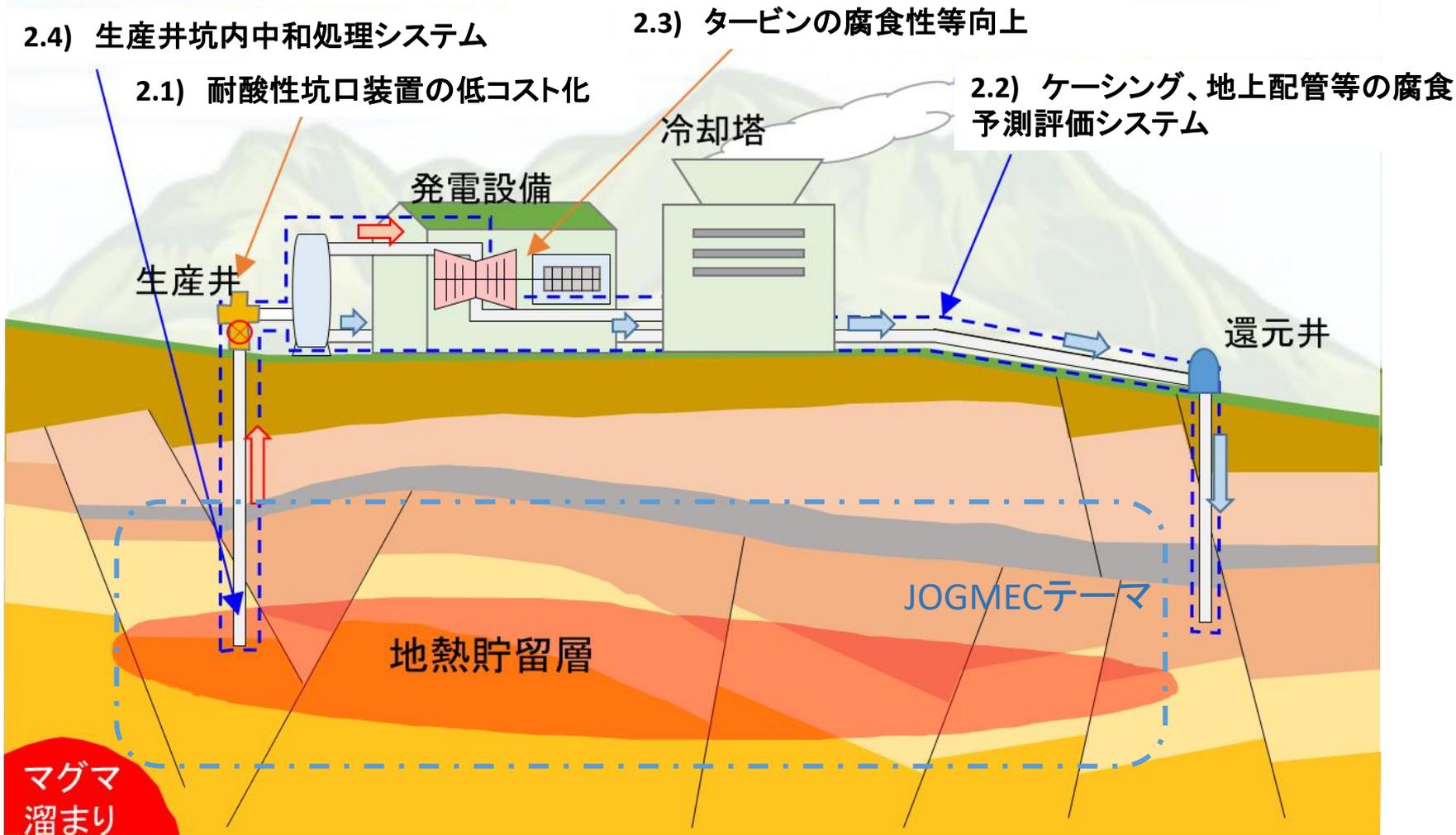
研究開発項目	目標	成果	達成度	目標達成のために解決されるべき課題
(2)-1 地熱エネルギーの高度利用化に係る技術開発 (酸性熱水対策技術)	これまで未利用であった酸性熱水が噴出する地熱井のうち、pH3までの地熱井を利用可能にする技術の確立する。	<p>2.1)レーザー溶接機を導入し、内面を耐食盛金した鍛造部品の溶接が十分な品質であることを確認するため、製品と同じ構造を持つテストピースを製作、溶接接合部の評価を実施し、目標値を満たす結果となった。また、内部を盛金した鍛造部品を溶接接合して試作バルブを完成させた。</p> <p>2.2)地熱発電プラントリスク評価システムを構成する機能として、腐食速度予測技術、論文データベース、経済性評価モジュール、ならびに、腐食速度データのグラフ表示機能をもつ、統合型システムを開発した。</p> <p>2.3)炭素系のコーティング膜の構造を制御することで、スケールの主成分であるシリカの付着を低減可能なコーティング材料および成膜技術を確立した。本コーティング材では、タービン材料と比較して、シリカの付着量を 1/8以下とすることができた。</p> <p>2.4)モデルフィールドの酸性熱水対策としては NaOHに一部EDTA・4Naを添加した中和処理が有効である。そのための設備の概念設計を行った結果、10年以内に設備費の回収が見込める。</p>	○ ○ ○ ○	

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部達成、×未達

◆ 各実施者の開発概要

(1) 高度利用化技術(酸性熱水対策に関する研究開発)

開発目標：酸性（pH3程度）の熱水を利用可能とする技術開発（採算性考慮）



◆各実施者の開発概要

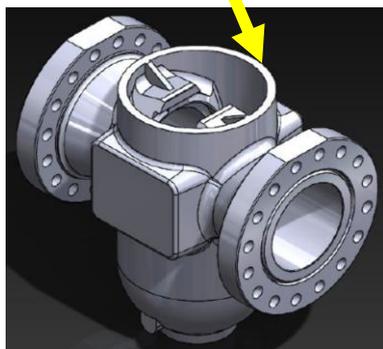
(2)-1 高度利用化技術(酸性熱水対策に関する研究開発)

【耐酸性坑口装置(主弁)の開発】

鑄造製作によるバルブ
～スルーコンジットゲード弁～

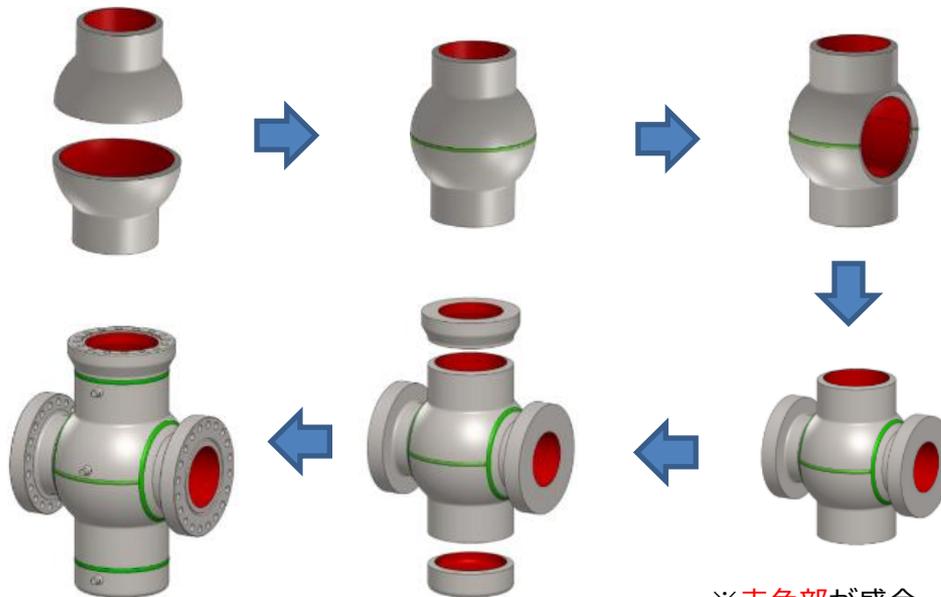
課題

- ①耐腐食性の材質では高コスト
- ②内面コーティングが困難



鍛造化の特徴

鍛造製の場合、シンプルな形状の部品を組み合わせて製作するため**内面全面が盛金**可能



※赤色部が盛金

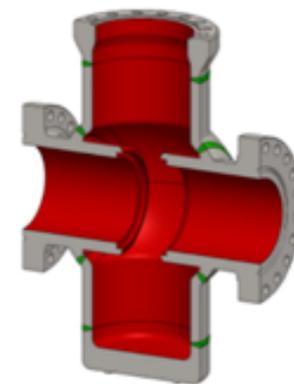
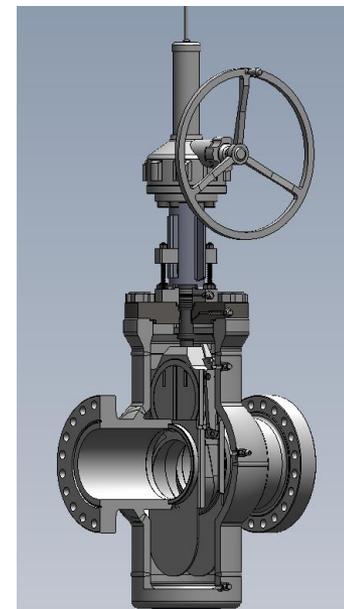
課題(TIG溶接)

- 熱による歪
- 母材のコンタミ

対応策

レーザー溶接機導入により、従来製品より製造コスト半減化

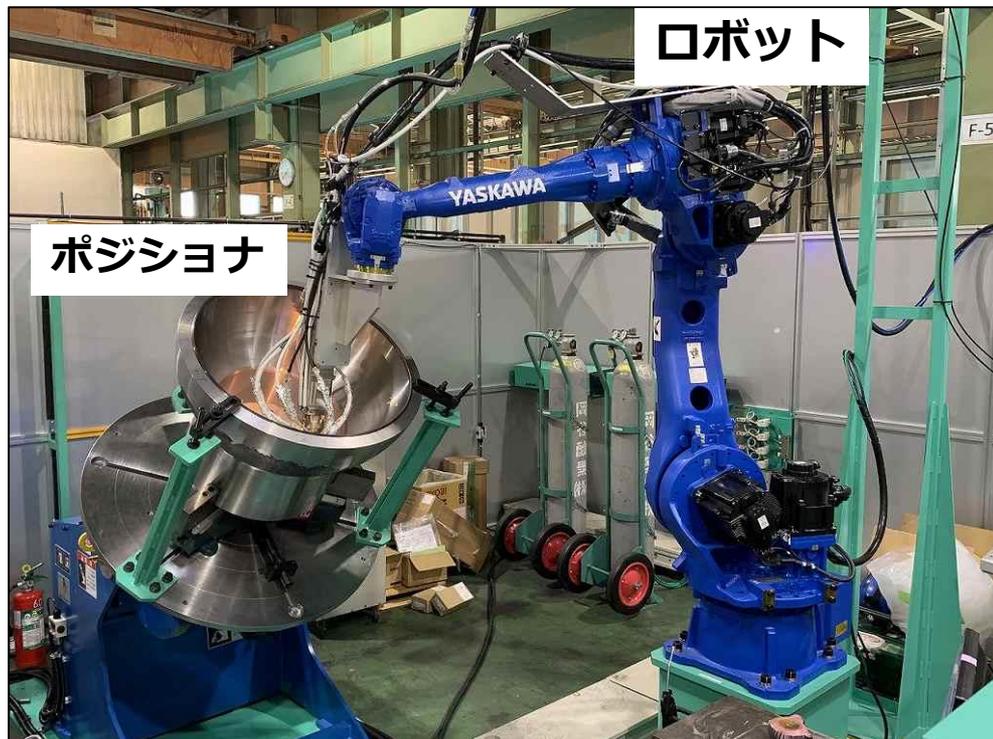
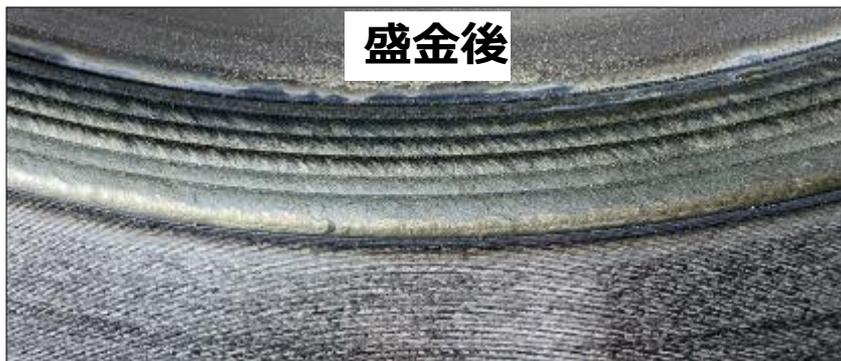
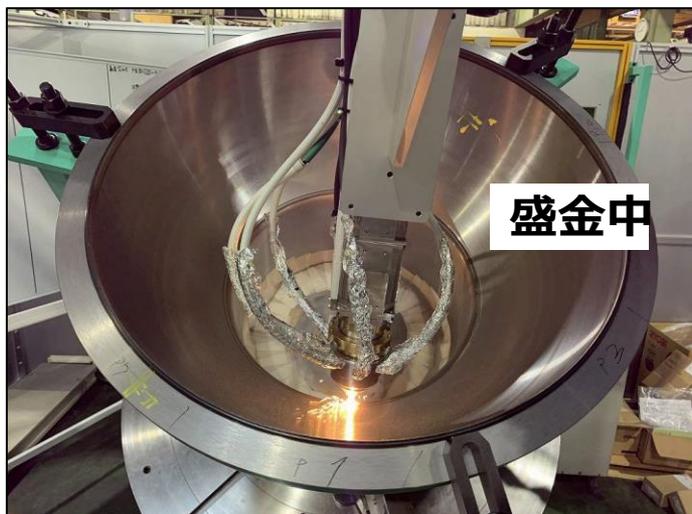
完成予定図



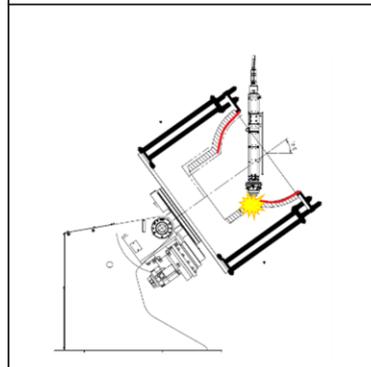
◆ 各実施者の開発概要

(2)-1 高度利用化技術(酸性熱水対策に関する研究開発)

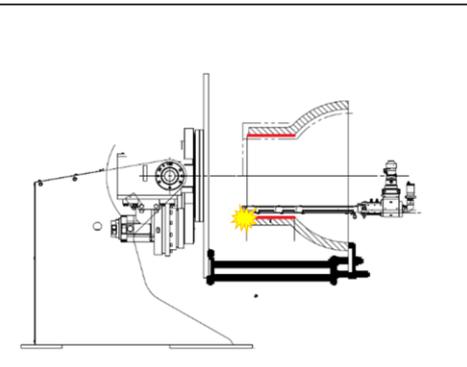
【耐酸性坑口装置(主弁)の開発】

レーザー盛金
～ロボットの条件出し～ロボットとポジショナを同期させて自動で盛金を行う。
※各ワーク形状に合わせて 条件出しが重要。

通常ヘッダー(COAX8)



内径用ヘッダー(NUTECH)*



◆各実施者の開発概要

(2)-1 高度利用化技術(酸性熱水対策に関する研究開発)

【耐酸性坑口装置(主弁)の開発】

レーザー盛金 ~テストピースによる評価~

◎盛金条件比較

レーザー出力、パウダー供給量、盛金速度



溶接部断面写真

切断

※参考例としてステライトNo.6 レーザー出力変化の比較を記載



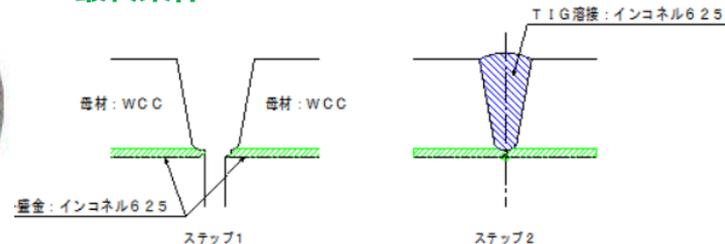
溶接部評価

初期の計画



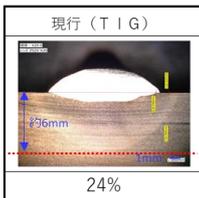
※熱影響による割れが発生

最終条件



【溶接部評価 評価基準】

評価項目	評価基準 (インコネル625)
硬度測定	盛金部: HRC35以下、母材部: HRC22以下 (HV345以下) (HV248以下)
引張試験	母材の最小規定引張強さ(485MPa)を下回らないこと
曲げ試験	試験片の側面でいかなる方向に測定しても、3mmを超える溶接部、熱影響部の開口した不連続がないこと
マクロ観察	<ul style="list-style-type: none"> 全て完全溶け込み溶接であること 内外面のアンダーカットが当該部分の最小肉厚を割り込んでいないこと ピンホールと露出したスラグがないこと



出力	5Kw(50%)	4.5Kw(45%)	4Kw(40%)	3.5Kw(35%)
断面				
希釈率	21%	12.50%	0.90%	0%

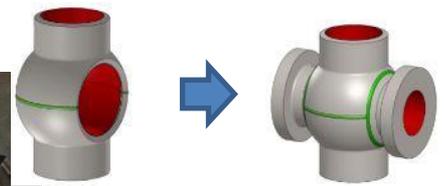
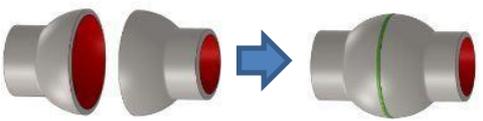
レーザー溶接は従来のTIG溶接に比べて熱影響が少ない

外部公的機関(新潟工業技術総合研究所)に、上記の評価基準における溶接施工法試験を依頼

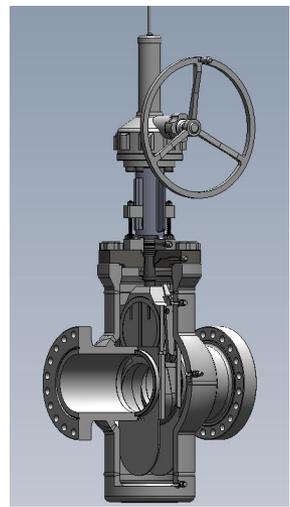
◆各実施者の開発概要

(2)-1 高度利用化技術(酸性熱水対策に関する研究開発)

【耐酸性坑口装置(主弁)の開発】



バルブ組立完了



Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

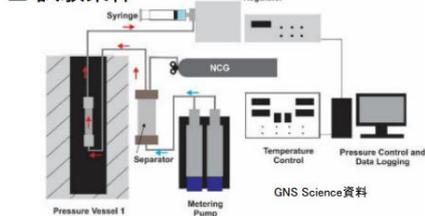
◆ 各実施者の開発概要

(2)-1 高度利用化技術(酸性熱水対策に関する研究開発)
【プラントリスク評価の開発】

■ 材料選定チャート

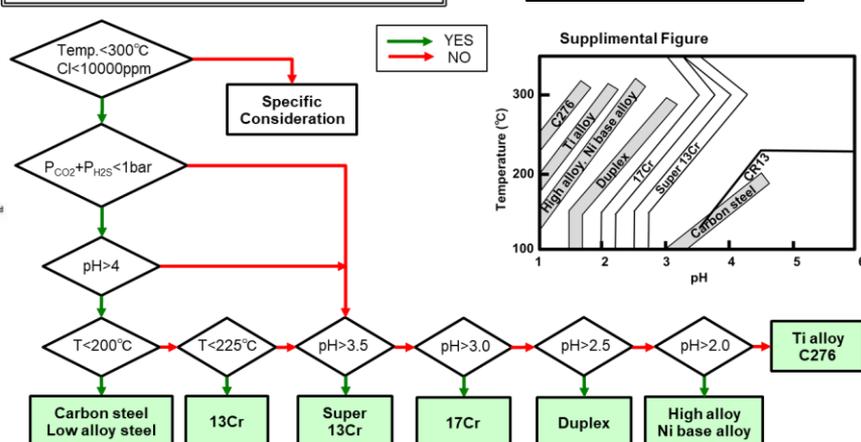
- ✓ 前回事業「地熱発電プラントのリスク評価・対策手法の研究開発(スケール/腐食等予測・対策管理)」で開発した材料選定チャートをベースに高温域へ拡張した材料選定チャートを作成。
- ✓ これまでの材料選定チャートは、0-250°C程度を対象としており、温度によるpHの変化はそれほど影響がないことから、ユーザーは地表で測定したpHに対して、目的とする温度と照らし合わせることで材料選定を行う仕様であった。本開発では、この考え方を踏襲し、地表のpH測定値を入力値として使用できる形で高温部のチャートの改定を行った。

■ 試験条件



- 温度 150, 250, 300, 350°C
- pH: 2, 3, 3.5
- Cl- (Salinity) : 10,000ppm
- NCG in steam (Vol%): 3%
- CO2 in NCG (Vol%): 96 %
- H2S in NCG (Vol%): 4%

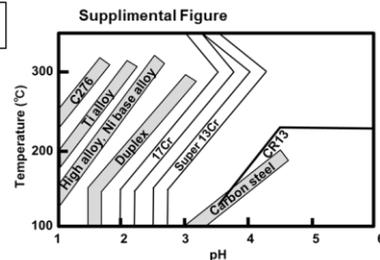
Material Selection Chart for Geothermal Environment



[SSC]	
Temperature	Grade
All temperature	Sour service material
T > 66°C	C95
T > 79°C	P110
T > 107°C	Q125

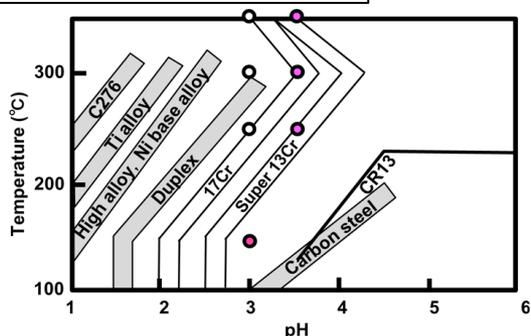
in accordance with NACE

材料選定チャート



付図はH10年度サンシャイン計画成果報告書「深部地熱用金属材料の解析評価」の図に追記

耐食材料特性 (温度vs pH)

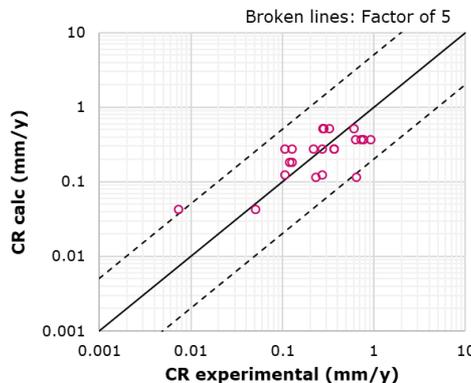


- 2019年度実施
- 2020年度実施

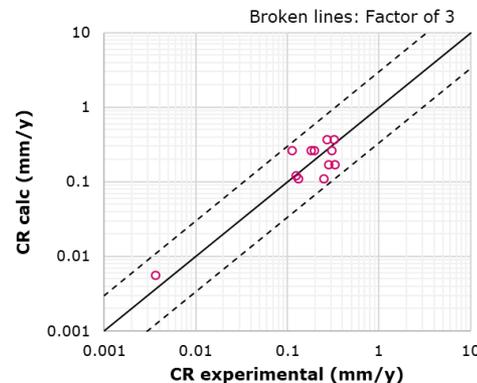
GNSフロー式腐食試験での腐食速度 (mm/y) *試験期間2~8日間

	17Cr		Super 13Cr	
	pH 3.0	pH 3.5	pH 3.0	pH 3.5
350 °C	0.06~0.31	0.13~0.25	0.11~0.37	0.27
300 °C	0.27~0.32	0.12	0.28~0.61	0.12~0.13
250 °C	0.28~0.34		0.63~0.91	0.23~0.65
150 °C	0.00		0.01~0.05	

腐食速度回帰式の更新



Super 13Cr腐食速度試験値と回帰式計算結果の比較



17Cr腐食速度試験値と回帰式計算結果の比較

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆ 各実施者の開発概要

(2)-1 高度利用化技術(酸性熱水対策に関する研究開発)
【プラントリスク評価の開発】

熱水単相における腐食速度の試算
(葛根田での腐食試験結果)

腐食速度計算

サンシャインプロジェクト/GNS腐食試験データベースによる

2021.2.19
CRcal.ver.0.4

Input		Others	17Cr, Cr13S
Case #	Case 1	使用データ範囲	150~350
Temp(°C)	147	100°C~250°C	2~5
pH	3.00	pH1~pH6	0~10000
Cl(ppm)	1850	0~121000ppm	0~30
CO2(bar)	0	0~16bar	0.001~1
H2S(bar)	0	0~3bar	

Corrosion rate (mm/y)	Material	Rate	Ratio	Notes
K55	2.023	1/3~3倍	100~	
CrMo	0.845	1/3~3倍	1~100	
13Cr	0.964	1/5~5倍	0.3~1	
Duplex	0.004	1/3~3倍	0.03~0.3	
C276	0.007	1/5~5倍	~0.03	
Super 13Cr	0.037	1/5~5倍		New
17Cr	0.005	1/3~3倍		New

↓ 現地腐食試験



白水越 N13-SZ-4の化学性状によるケーシング材料選定試算

■ 地化学条件

pH : 2.4 ※地表採取時
温度 : 250°C 深部平衡温度
Cl濃度 : 1450ppm
非凝縮性ガス:0.1bar

■ 生産条件

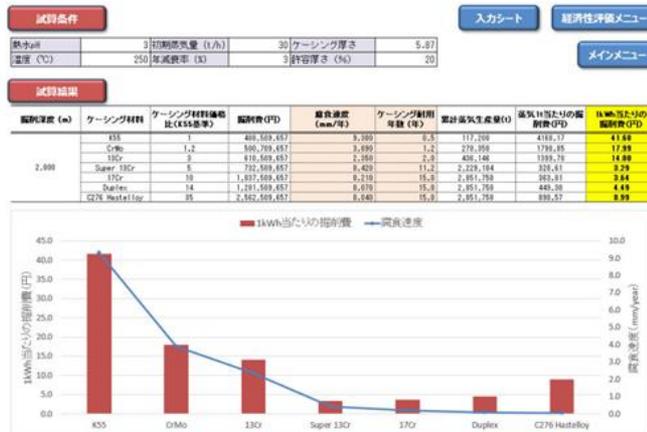
初期生産量 : 30 t/h
年減衰率 : 3 %
利用率 : 90 %
評価年数 : 15年

■ ケーシング条件

ケーシング厚さ : 7" 17.20lbs 5.87mm
許容厚さ : 初期厚さの20 %

■ 試算結果

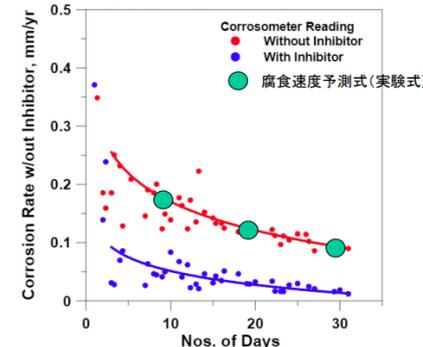
- ケーシング耐用年数はK55~Super 13Crについては15年未満となる。
- 17Cr鋼以上は15年の耐用年数を持つが、材料単価より17Cr鋼が3.64円/kWと最も安価となる。



熱水単相における腐食速度の試算(フィリピンでの腐食試験結果)

- Nasuji Sector, Southern Negros Geothermal Production Field, Philippinesで実施されたpH調整試験結果を基に腐食速度予測式を適用した。
- シリカ対策ならびに熱量を活用するため、硫酸によりpH4.5に調整し、温度を120°Cにした場合の腐食速度を測定。
- 最長30日間の試験を実施した結果の炭素鋼での腐食速度値に対して、腐食速度予測式(実験式)を用い、暴露日数に伴う腐食速度を試算した。
- その結果、両者は非常に良い整合性が認められた。

温度 (°C)	pH	暴露時間 (h)	K55腐食速度 (mm/年)
120	4.5	24	0.58
120	4.5	240	0.183
120	4.5	480	0.13
120	4.5	720	0.106



Alvin I. Remorosa, Elham Dorodochi I, Behdad Moghtaderi/Corrosion, Inhibition of Acid-Treated Geothermal Brine - Results from Pilot Testing in Southern Negros, Philippines. Proceedings World Geothermal Congress 2010 Bali, Indonesia, 25-29 April 2010

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

研究開発項目	目標	成果	達成度	目標達成のために解決されるべき課題
(2)-2 地熱エネルギーの高度利用化に係る技術開発(IoT-AI適用技術)	IoTやAI等のイノベーション技術を活用し、発電所のトラブル発生率を20%低減し、利用率を10%向上させる。	<p>2.5)対象地熱発電所をベースとした模擬モデルにおいて、S発電所で実際に生じている生産井の不安定化と系統除外問題をモデル化してトラブル発生率抑制100%、利用率向上15%を得ることができた。</p> <p>2.6)回帰学習型AI および統計数学の原理に基づく温泉データ解析手法を検討し、それらを比較的容易に利用可能にするソフトウェアパッケージを開発した。大分県別府市所有温泉配管を対象に、給湯システムの管理を、クラウドを介して半自動で行えるAI-IoT システムを開発し、温泉管理者の作業時間を現状に比して20%程度低減できるAI-IoT システムのプロトタイプを実現した。</p> <p>2.7)エネルギーマネジメントプラットフォーム(EMP)プロトタイプを構築した。データに整理・登録・検証を通じて、小規模地熱発電所におけるEMPの課題点やあるべき姿に関して整理した。AIを適用した地熱発電に関わる計測データ等の予測解析を実施し、発電量、スケール厚さ、異常予兆等の予測において適用可能な事例を示した。</p> <p>2.8)地熱向け予兆診断システムをA発電所の過去のトラブル事例に適用した結果、9件中4件は予兆可能であることが分かり、20%以上のトラブル発生率を抑制できることを確認した。</p>	○ ○ ○ ○	

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆ 各実施者の開発概要

(2)-2 高度利用化技術 (IoT-AI適用技術に関する研究開発)

開発目標：トラブル発生率20%低減、利用率10%向上

地熱発電システムにおける**運転等の管理高度化**に係る技術開発(2018-20)

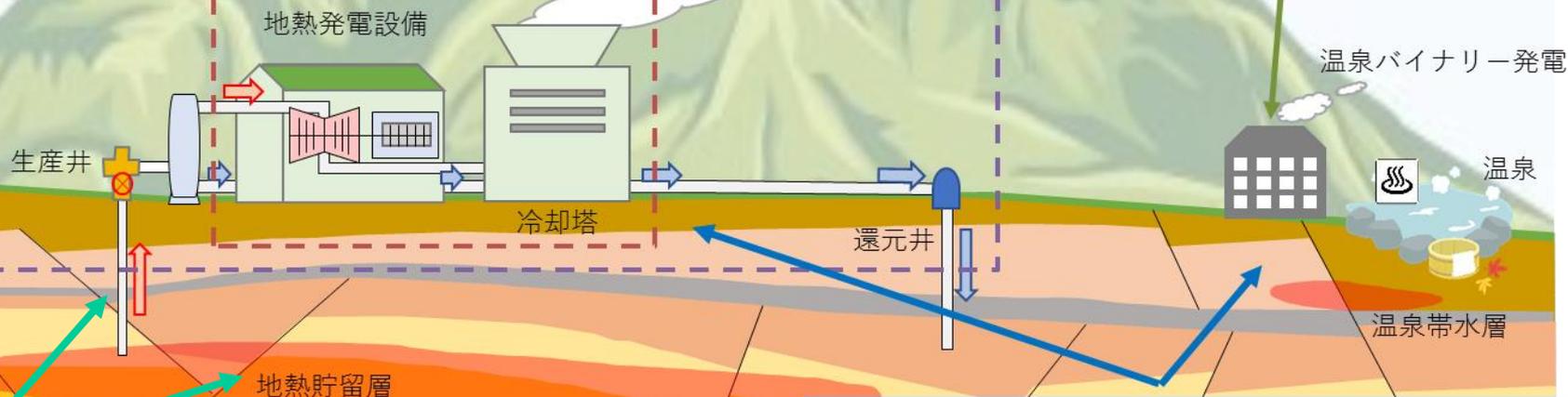
発電プラント模擬シミュレータ、M2Mセンサ技術

地熱発電所の**利用率向上**に関する研究(2018-20)【助成】

運転データのビッグデータ解析

IoT-AI適用による**小規模スマート発電&熱供給**の研究開発(2018-20)

運転管理支援ツール



地熱資源適正利用のための**温泉モニタリングシステム**開発(2018-20)

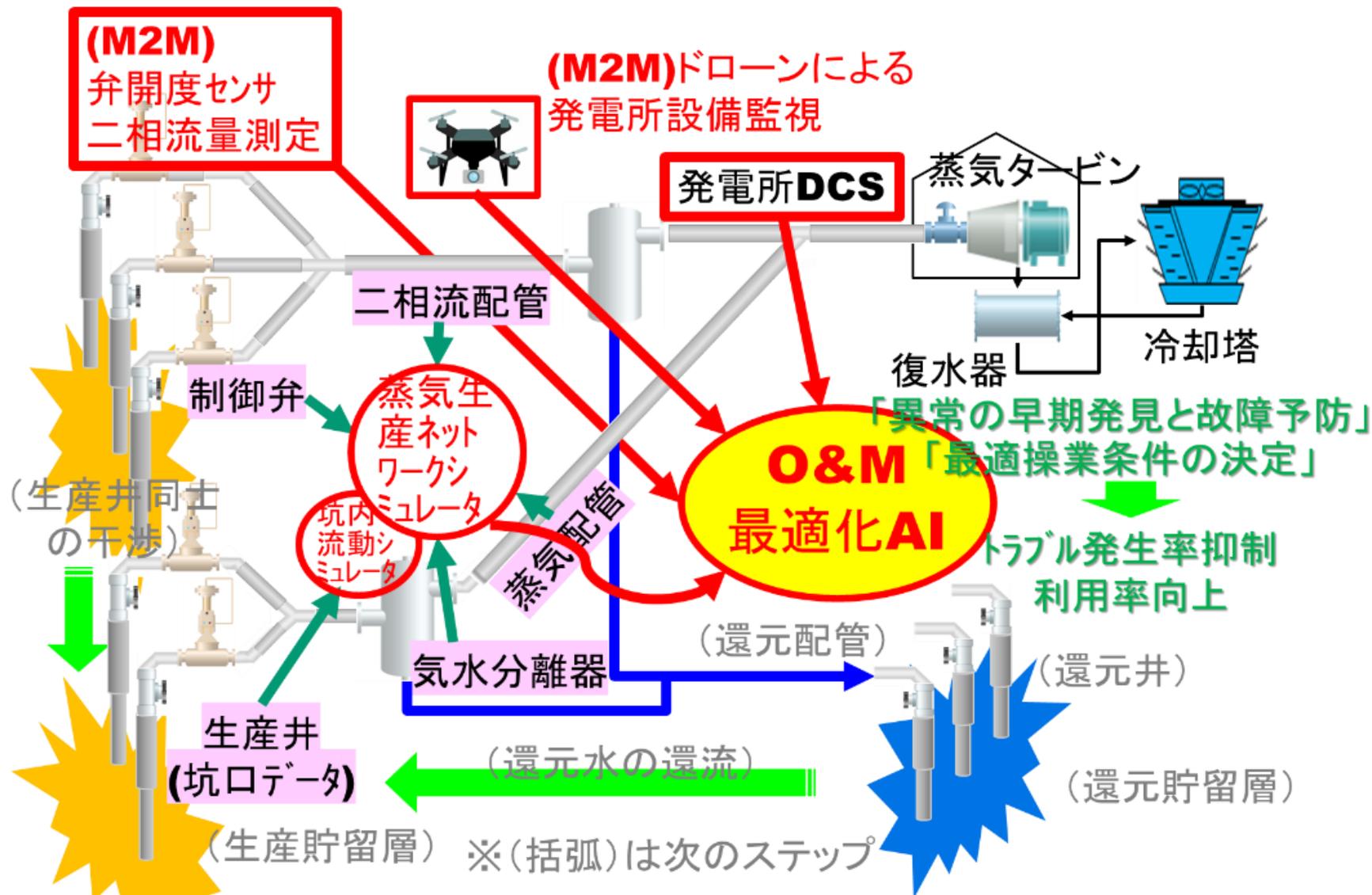
温泉水の変動要因解析、温泉利用の適正管理システム

【参考：超臨界地熱】

AIによる超臨界地熱資源評価・掘削技術開発

◆各実施者の開発概要

(2)-2 高度利用化技術 (IoT-AI適用技術に関する研究開発)
【地熱発電システム】



Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆ 各実施者の開発概要

課題

噴気変動後、生産停止する井戸を延命化し、利用率向上を図る。

＜対象とする井戸の坑内特性＞

生産井

坑内への質量流量

$$s = PI_S (reS - fzS)$$

低温貯留層
・ 地下水

貯留層条件：

比エンタルピー・
圧力・生産指数

h_{reS}, reS, PI_S

fzS

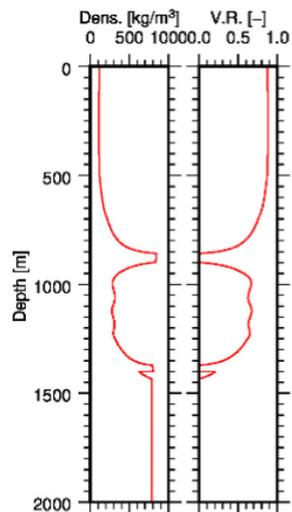
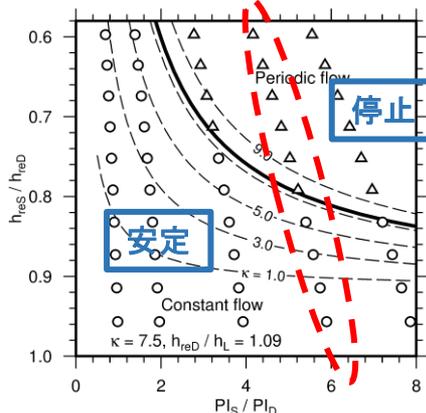
$$D = PI_D (reD - fzD)$$

高温貯留層

h_{reD}, reD, PI_D

fzD

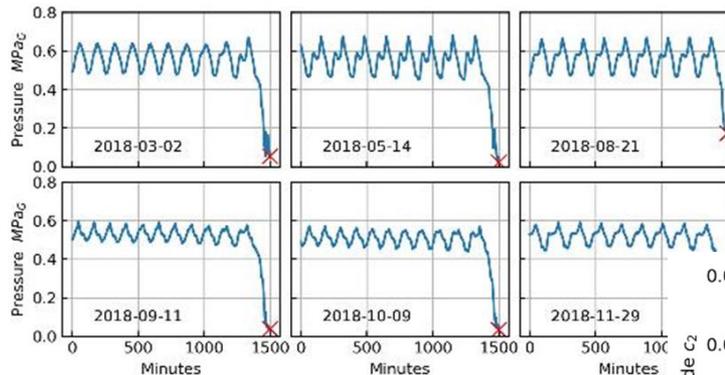
＜安定/噴気停止の条件＞



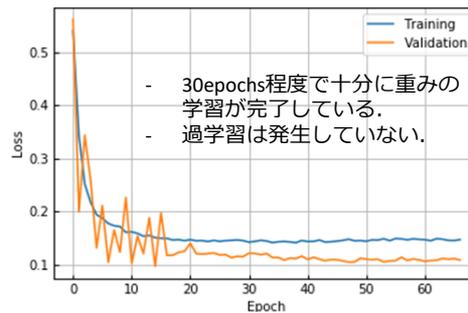
※延命化に必要な制御条件は抽出困難
⇒貯留層特性を含めた検討が必要

(2)-2 高度利用化技術 (IoT-AI適用技術に関する研究開発) 【地熱発電システム】

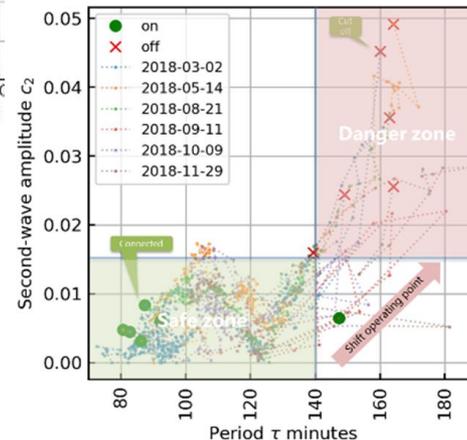
＜異常予兆検知の解析＞



※周期変動の波形特性を解析したところ、2倍波の振幅や周期などに関係があることが判明



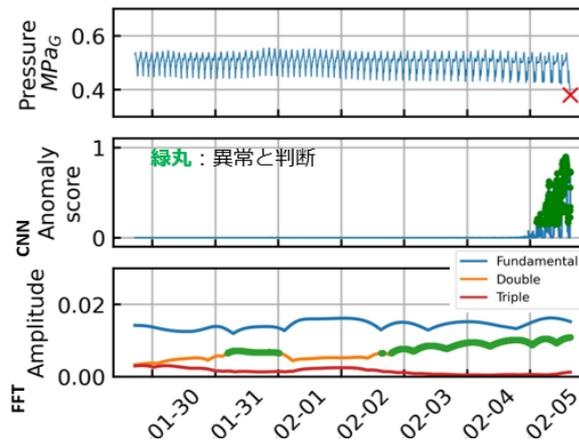
- 30epochs程度で十分に重みの学習が完了している。
- 過学習は発生していない。



＜異常予兆予測手法の構築＞

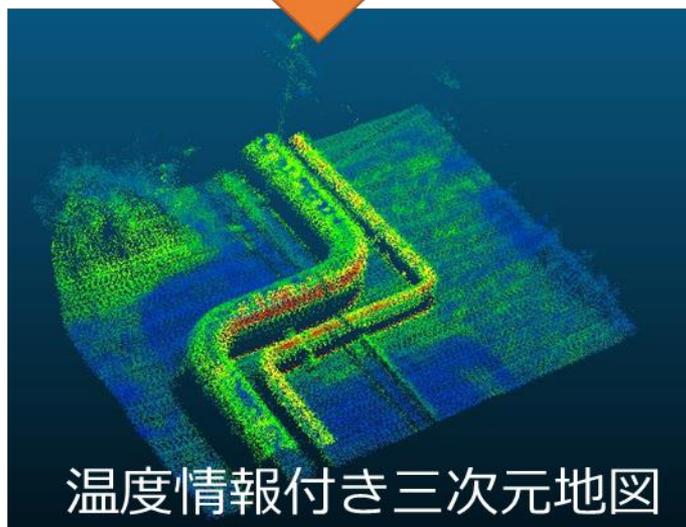
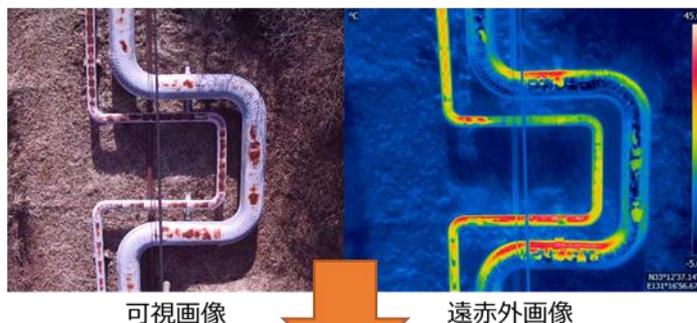
【成果】

- ◆ 圧力急減の24時間前には異常度が、48時間前には2倍波振幅が増加する
- ◆ これらの2つの指標を運転員に通知することで、振動を抑制するような操作を加える時期を明らかにする見込みを得た。

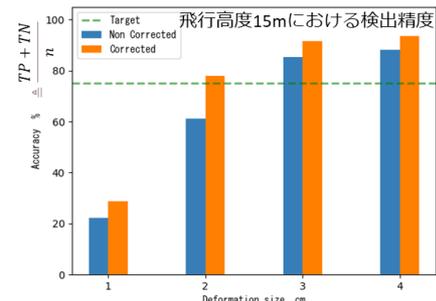
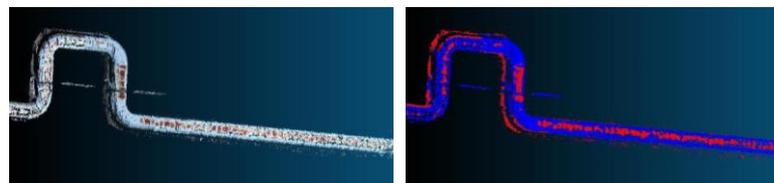
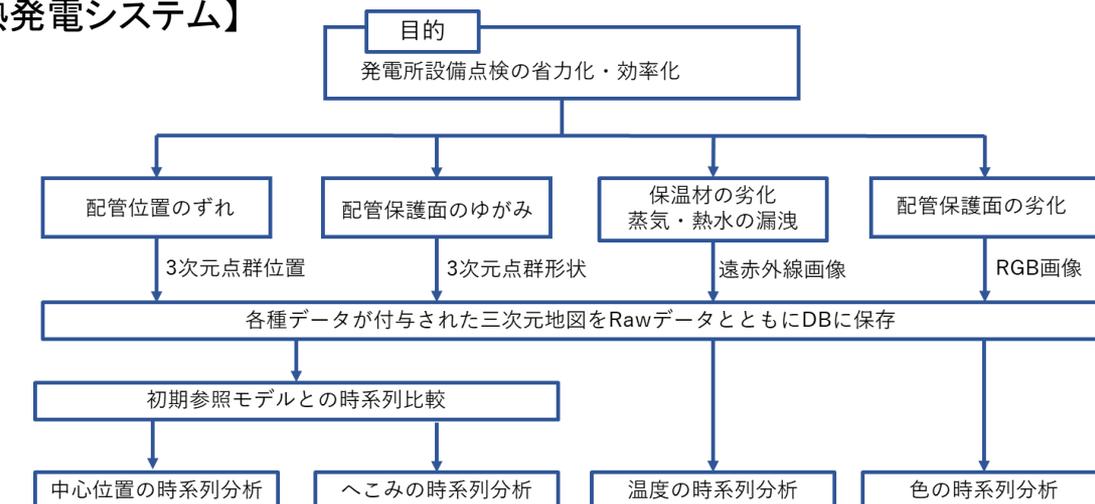


Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆ 各実施者の開発概要



(2)-2 高度利用化技術 (IoT-AI適用技術に関する研究開発) 【地熱発電システム】



ドローンによる配管点検

- 配管系等の位置ずれ, 変形, 変色, 温度変化を検知をする手法を提示.
- 上記モデルおよびアルゴリズムの改良により, 各種識別精度向上.
- 配管系統の点群データから3次元配管系モデルを自動推定するアルゴリズム構築.
- 配管系統異常の自動認識精度は飛行経路制御の改善によりさらなる精度向上が期待.

Ⅲ. 研究開発成果

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆ 各実施者の開発概要

(2)-2 高度利用化技術 (IoT-AI適用技術に関する研究開発)
【温泉モニタリング】

温泉モニタリング装置



泉温、泉質(導電率)、流量のIoT測定器



クラウド上のセンタマ場面表示



40kmに及ぶ配管系統図



別府市全体に分散された施設図



スマホ画面

クラウド(データ収集から解析)

【温泉資源適正利用のためのIoT-AIシステム】

II-① AI-IoT温泉モニタリングシステムの概念設計・仕様策定



作業日報・現場データ



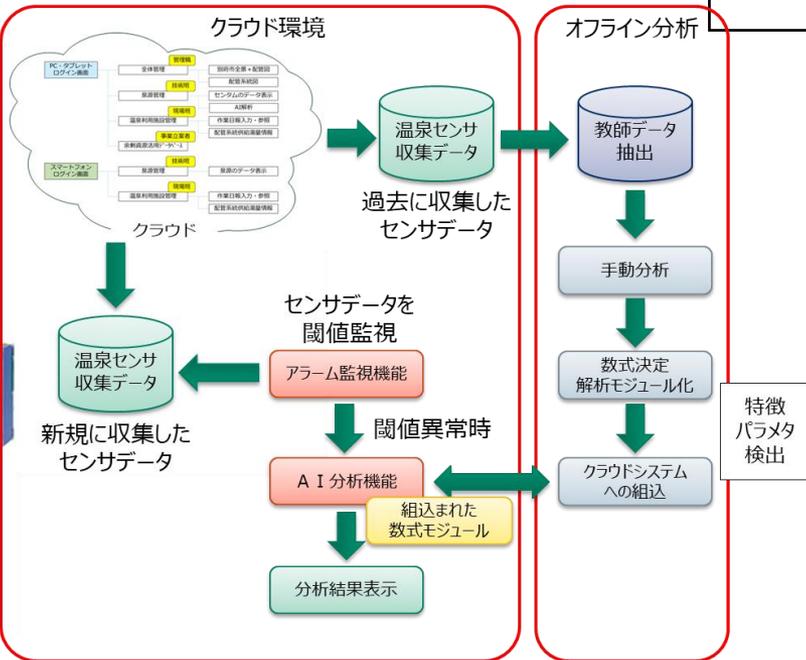
新規装置データ

流量
温度
データ
等

Leading Edge Controller
FA-M3V

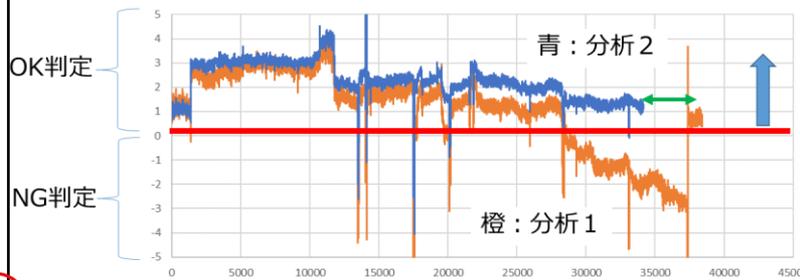
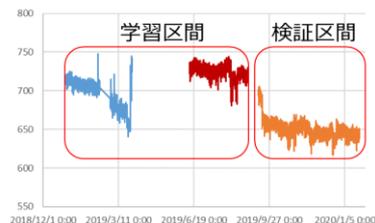


既存システムデータ (泉源)



【AI機能精度評価】

OK/NGを学習させ、異なるデータで評価を実施。分析2では、高い正答率(99%)を得た。



温度差発電ユニット



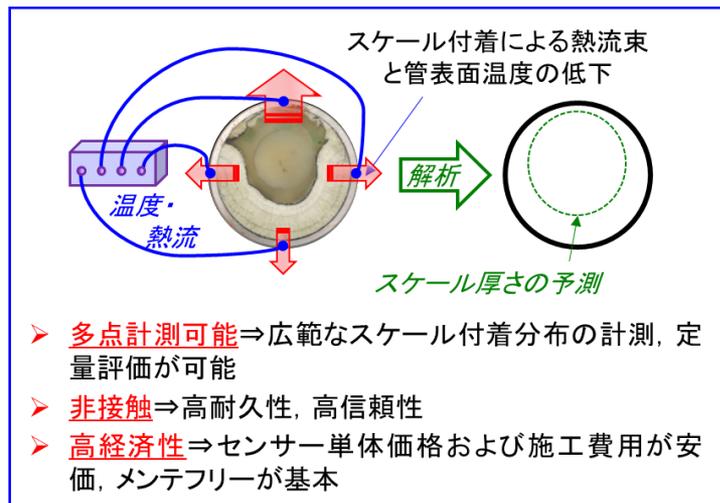
別府地域でのモバイル機器充電, LED照明等を目的とした温度差発電ユニットの設計・製作・評価を継続する。温度差発電による年間20kWh以上の発電が可能であることを実証

Ⅲ. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

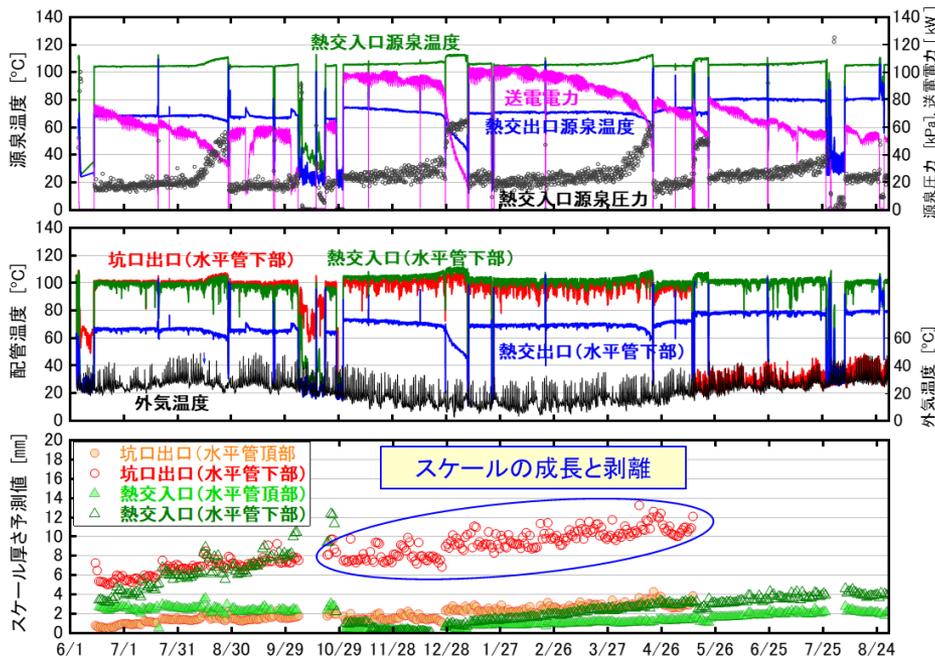
◆ 各実施者の開発概要

(2)-2 高度利用化技術 (IoT-AI適用技術に関する研究開発)
【小規模スマート発電・スケールモニタリング】

温度計測式スケール付着モニタリング技術 (H26~H29NEDO委託業務にて開発)



源泉熱交換器前後の配管表面に熱電対と熱流束センサを設置してスケール付着状態をモニタリングし、発電データとの関係を分析⇒運転管理への活用方法を検討。



モニタリングデータ(2019年6月15日~2020年8月31日)

剥離スケールの熱交換器プレートへの集積が圧力上昇と発電量低下の主たる要因。



熱交換器入口に集積した剥離スケール

◆ 知的財産等の取得、成果の普及

- 成果の普及については、NEDOは、技術情報流出に配慮しつつ、実用化・事業化を促進するため、情報発信を行うように指導。
- NEDO自身も、学会・シンポジウムでの講演、専門誌への寄稿等を行っている。2021年6月末時点で講演4件、専門誌への寄稿2件。

	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	計
特許出願(うち 外国出願)	0(0)	1(0)	4(1)	0(0)	5(1)
論文(うち 査読 付き)	0(0)	0(0)	6(4)	1(1)	7(5)
研究発表・講演	4	23	27	5	59
新聞・雑誌等へ の掲載	1	8	0	0	9
その他 (展示会出展 等)	1	7	0	0	8

※2021年6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

◆ 知的財産等の取得、成果の普及

【特許出願例】

(2.3) 酸性熱水を利用した地熱発電システム実現に向けた耐酸性・低付着 技術の研究開発

No	出願日	出願番号	出願に係る特許等の標題	出願人
2	2020/12/1	PCT/JP2020/044606	蒸気タービン部材	富士電機株式会社、国立大学法人 東海国立大学機構

概要

地熱蒸気タービン翼などのスケール付着の激しい部材表面に炭素コーティングを設ける
⇒ スケール付着を抑制し、発電能力を
長期維持可能な地熱蒸気タービンを提供する。

権利範囲

- 【構成】 母材上に炭素膜を設けた蒸気タービン部材
- 【構造】 炭素膜の化学状態や組成を規定

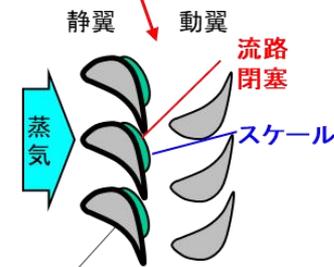
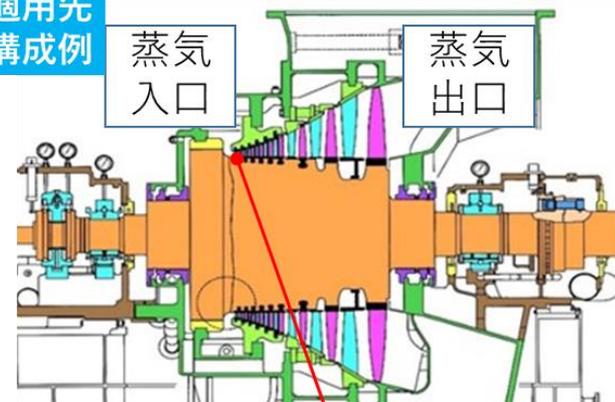
解決課題

地熱発電における発電出力低下やタービン停止要因となるスケールの付着を抑制可能な部材を提供する

解決手段/効果

蒸気タービン部材表面に炭素膜を設けることで、スケールの付着量を1/8以下に低減する。

適用先 構成例



スケール付着の激しい段のタービン翼表面を全面コーティング

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

本事業における「事業化・実用化」とは、当該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)が開始されることであり、さらに、当該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)に貢献することをいう。

◆ 実用化・事業化に向けた戦略

FY2021～

事業者により実用化・事業化に向けた取り組み

FY2018～FY2021

地熱発電技術研究開発

- 環境保全対策技術
- 酸性熱水対策技術
- 高度利用化技術

NEDO事業で継承

- 環境保全対策技術
- 高度利用化技術

◆ 実用化・事業化に向けた具体的取組 (1.2)

1. 研究概要

環境アセスメントにおいて地熱発電所に特有の影響要因の一つである、冷却塔から排出される硫化水素及び蒸気に係る影響に関して、より適切な調査・予測・評価手法を確立するための知見を得ることを目的に研究開発を実施した。

2. 主な研究成果

① ガイドライン

今後の環境アセスメント等において、円滑化・効率化が見込まれるガイドラインを作成した。

- 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
- 地熱発電所におけるUAVを用いた樹木モニタリング調査手法ガイドライン
- 地熱発電所の新設・更新に係る冷却塔から排出される蒸気による樹木への着氷影響に関する環境配慮ガイドライン

② 硫化水素測定器

現在のメチレンブルー吸光光度法に代わる簡易な硫化水素測定器の開発にむけ、試作機を作製し、最小検出感度0.01ppm程度の製品開発の道筋をつけた。

3. 実用化計画

① ガイドライン

公表後、実務への適用が期待される※。活用するためには、事業者等の認知度向上が必要である。

※2021年9月時点で、予測評価を終えていない環境アセスメント手続き中の案件は1件だが、今後新たな案件が期待される。また、現在工事中の案件等にて、運転開始後のモニタリングでの活用も期待される。

② 硫化水素測定器

誤差要因の影響低減、用途に応じた仕様の最適化など課題を解決した上で(次期研究開発で継続)、商品化・販売を図る。



観察された樹木着氷



試作機 (無線親機含む) : 約2kg

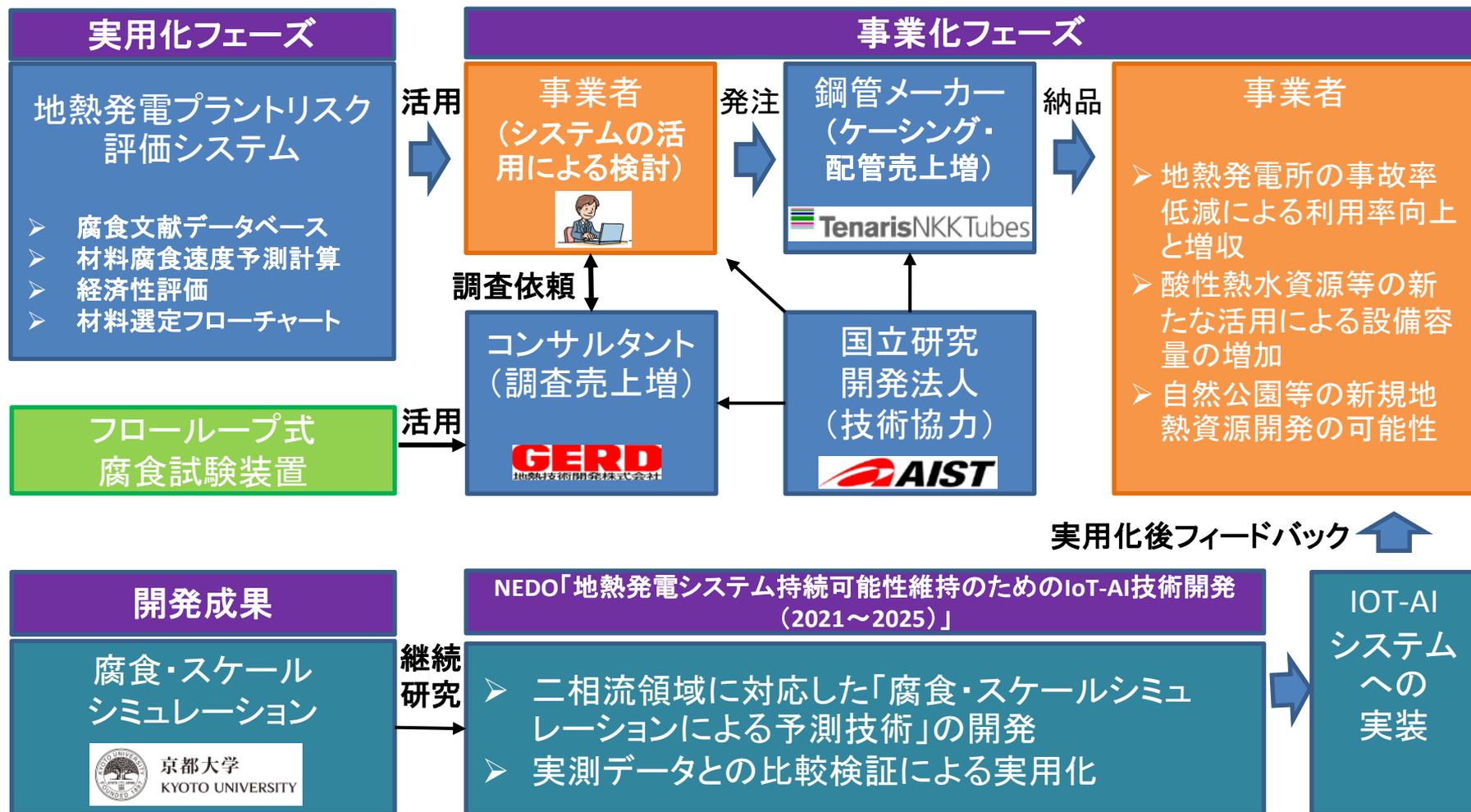
メチレンブルー吸光光度法 用機材: 約46kg

開発した硫化水素測定器の試作機

項目	2021	2022	2023	2024	2025	2026
ガイドライン	(公表)	実務適用				
硫化水素測定器	研究開発					商品化・販売

◆ 実用化・事業化に向けた具体的取組 (2.2)

開発成果である「地熱発電プラントリスク評価システム」の配布を通じて、事業者において酸性熱水活用の検討が以前より増えることで、その後のコンサルタント調査、ならびに耐腐食性材料を使用したケーシング・配管材料の売上増を目指すとともに、地熱発電所の利用率向上、設備容量の増加を目指す。



◆実用化・事業化の見通し (2.6)

①実用化・事業化を行う製品・サービス

【産業技術総合研究所】中立的な立場で「地熱発電と温泉の共生」のための正確な科学的データを提供するために本事業の成果を使用する。また、同時に温泉を含む広義の地熱資源の最適利用システム設計にも利用する。

(環境省、JOGMECでFS、試験運用開始予定)

【横河電機(株)】地熱発電企業、蒸気生産管理企業、温泉関連業者、温泉管理を行う自治体等を対象として、**温泉モニタリングシステムの販売・サービス**を行う。

【地熱エンジニアリング(株)、西日本技術開発(株)】個人温泉業者(権利者)、温泉事業団体、温泉事業を管轄する地方自治体、地熱開発ディベロッパーを対象に**温泉モニタリング装置のインストールに関するコンサルティング業務、メンテナンス業務**を実現する。

②実用化・事業化への取組

【産業技術総合研究所】「地熱発電と温泉の共生」のためAIシステムのブラッシュアップを行うとともに、本システムのアウトプットをベースにした**発電事業者と源泉所有者の合意形成法、温泉への影響判断のための枠組み、補償体制等**を検討する。**(環境省で検討開始)**

【横河電機(株)】AI-IoT温泉モニタリングシステムの機能向上を図るとともに**他分野への展開や海外マーケットの開拓**を行う。

【地熱エンジニアリング(株)、西日本技術開発(株)】システムとモニタリングデータの価値を高めるための**インストール法、メンテナンス法**を開発する。

事業化計画 (横河電機)

	FY2021	FY2022	FY2023	FY2024	FY2025
PoC		▲製品へ移行			
システム設計	設計完了▲	▲評価完了		▲機能拡張完了	
サービス準備		▲販売準備完了		▲海外販売準備完了	
システム供給					
販売		▲受注開始	5システム/年	10システム/年	▲海外市場へ投入
経営	◇システム設計実施判断	◇製品販売判断	◇追加投資判断	◇海外販売判断	

◆ 実用化・事業化の見通し (2.7)

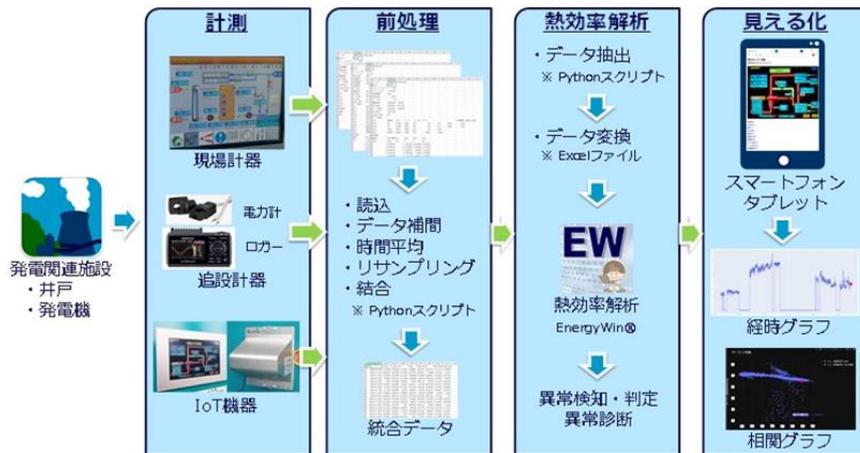
出典: 事業者提供資料

1. 研究概要

小規模地熱発電所および熱利用施設を対象に、IoT-AI技術を適用することによって、出力増大、トラブル回避等の効率化を図ることを目的に研究開発を実施した。

2. 研究成果

本事業で開発した「①運転管理支援ツール」では、設備運転状態の監視と異常診断の両面において高い実用性と有用性を示し、活用方法によっては、暦日利用率の10%以上向上を見込むことができた。さらに、管理面にコストをかけられない小規模地熱事業者の事業性向上のため、発電所の収益を簡便に見える化し、事業利益を最大化するツールとして「②事業性評価支援ツール」を開発した。



3. 実用化計画

① 運転管理支援ツール (電中研)

現状の支援ツールのモニター募集・設置により、さらなる検証と改良を行い、利便性と汎用性の向上を図ったうえで、発電機メーカー等における採用可否の可能性について検討を行う。

② 事業性評価支援ツール (電中研・ENAA)

本ツールは現状で完成形となることから、エンジニアリング協会HPにてツールのダウンロードを可能とし、無償提供を行う環境を整備する。また、小規模地熱発電事業者への支援ツールとしての活用のほか、コンサルティング事業者の営業ツールとしての活用ができないか等についても検討・PRを実施していく。

	FY2021	FY2022	FY2023	FY2024	FY2025
【運転管理支援ツール】					
モニター募集	■				
設置・データ採取		■	■	■	■
装置改良・検証			■	■	■
実用化検討					■
【事業性評価支援ツール】					
無償提供環境整備	■				
無償提供 (実用化)	■	■	■	■	■
PR・普及活動	■	■	■	■	■

◆ 実用化・事業化の見通し (2.8)

出典: 事業者提供資料

News Release

2019.10.23

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
東芝エネルギーシステムズ株式会社

地熱発電所のトラブル予兆診断技術の実証試験をインドネシアで開始 —IoT・AI技術を活用し、発電所のトラブル発生率20%低減を目指す—

NEDOの地熱エネルギーの高度利用化に向けた技術開発事業において、インドネシアで地熱発電所の利用率向上に向けた、IoT・人工知能(AI)技術を活用した地熱発電所のトラブル予兆診断技術の実証実験を開始しました。

本実証試験では、NEDO事業において2018年より東芝エネルギーシステムズ(株)が開発してきた「ビッグデータ解析技術を活用した予兆診断技術」を現地国営地熱発電会社であるPT Geo Diga Energi (Persero)(GDE社)のパトハ地熱発電所の発電設備に搭載し、トラブル予兆の検知が可能かどうかを評価するとともに、技術の導入による効果検証を行います。

本実証試験を通じて地熱発電所のトラブル発生率の20%低減を目指し、発電所の停止期間の短縮を図ります。設備の利用率が上がり発電量増加と発電コスト低減が可能となれば、今後の地熱発電の導入拡大への貢献が期待できます。



図1 予兆診断のイメージ

1. 概要

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、「脱炭素化」への挑戦などが掲げられ、これらに対する取り組みとして2030年のエネルギーミックスの確実な実現を目指すこと、再生可能エネルギーを主力電源とするため低コスト化などを回ることなどが記載されています。世界第3位の地熱資源ポテンシャルを有する日本では、地熱発電は、安定した出力が得られることから、ベースロード電源¹⁾として大きな期待がかかっており、エネルギーミックスの中で、2030年までに地熱発電容量で最大約155万kWの導入目標が立られています。

このような背景の下、日本では新たな大型地熱発電所の運転開始など、近年新規の地熱発電所の立地計画が進んでおります。一方で、既設の地熱発電所は、発電設備の老朽化によるトラブルやタービンに付着した地熱蒸気成分の除去作業により停止するなど、層日利用率²⁾が60%程度と低い状態で、発電コスト低減のためには、利用率向上が喫緊の課題となっています。そこで、国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の地熱エネルギーの高度利用化に向けた技術開発事業に

年度	導入ユニット数	内容
2021	1	海外B発電所における実証試験の継続
2022	5	海外B発電所での有償化サービス開始 国内外の新設地熱発電所への導入開始 当社設備納入済み地熱発電所への導入開始
2023	10	国内外の新設地熱発電所への導入 当社設備納入済み地熱発電所への導入
2024	20	国内外の新設地熱発電所への導入 当社設備納入済み地熱発電所への導入 他社設備納入済み地熱発電所への導入
2025	30	国内外の新設地熱発電所への導入 当社設備納入済み地熱発電所への導入 他社設備納入済み地熱発電所への導入



パトハ地熱発電所(インドネシア)
定格出力 60MW
国営地熱発電会社であるGDE社による運営管理

日本でのモニタリング状況

予兆診断装置(右: 現地設置状況)



◆ 実用化・事業化の見通し

【海外展開】

1. 環境保全対策技術

- ① 硫化水素測定器（ガステック）
世界的に希少なシステム
- ② 硫化水素・蒸気拡散モデル（電中研）
世界的に希少なシステム

2. 酸性対策技術

- ① 耐食性坑口装置（ティクスIKS）
アイスランド・超臨界地熱プロジェクト
- ② 耐腐食対応タービン（富士電機）
世界の地熱タービンの1～2割のシェア
- ③ プラントリスク評価（GERD）
米国、ザ・ガイザース地熱地帯で実証試験



IDDP-1噴気テスト(アイスランド)
(出典: IDDPウェブサイト)

3. 高度利用化技術

- ① 発電システム（東芝）
予兆検知システム（インドネシア）
- ② 温泉供給・発電システム（横河電機、電中研・伊藤忠テクノソリューションズ）
温泉等地熱利用システム（欧州など）

◆ 実用化・事業化に向けた戦略

前基本計画のスケジュール
(2018年度～2020年度)

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

2021年度以降の「地熱発電導入拡大研究開発」事業の基本計画スケジュール

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

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

◆ 実用化・事業化に向けた戦略

【地熱発電導入拡大研究開発】

(1) 超臨界地熱資源技術開発

モデルフィールドにおける資源量評価と要素技術開発 (探査手法)

(2) 環境保全対策技術開発

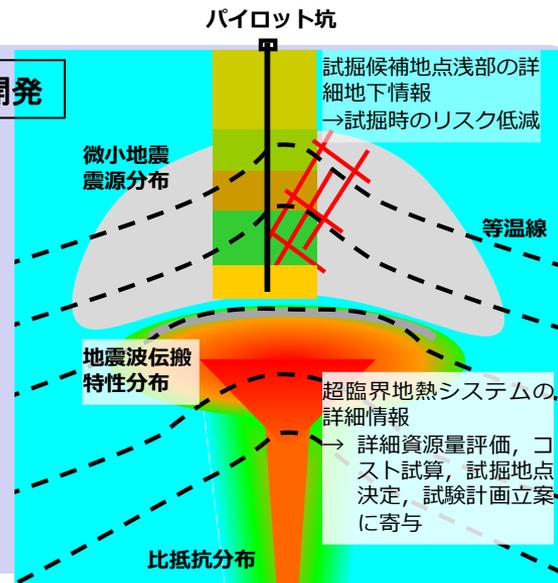
環境アセスメント手法開発 (硫化水素モニタリング装置開発と気象モデリング技術)

(3) 発電所高度利用化技術開発

貯留層計測・解析による貯留層管理技術とドローンを利用した設備管理技術

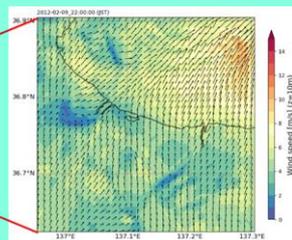
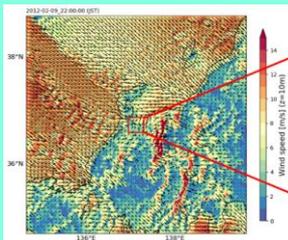
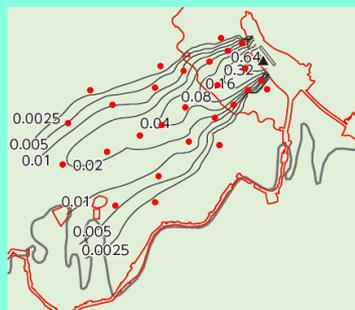
超臨界地熱資源技術開発

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



環境保全対策技術開発

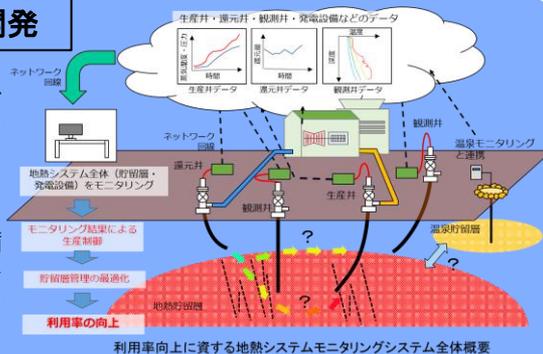
- * 小型軽量で連続モニタリング可能な硫化水素測定器を開発し、時間・空間データを多量に取得することで、予測評価の精度向上を図る。



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

発電所高度利用化技術開発

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



利用率向上に資する地熱システムモニタリングシステム全体概要



◆ 実用化・事業化に向けた戦略

<研究開発項目>

<アウトプット>

<実用化・事業化>

FY2025

FY2030

FY2050

【超臨界地熱資源】
モデルフィールドでの
検証と要素技術開発

高精度
な資源
量評価
の実現

調査井掘削と噴
気試験による詳
細資源量評価

地上設備検討
と実証試験

JOGMEC資源調査

民間による資源
調査・開発

アウト
カム達
成

CO2削
減量
4,500万
t-CO2
/年

波及効果

①新規ビジ
ネス創出に
よる地域経
済発展

②分散型電
源確保によ
るレジリエ
ンス対策向
上

③海外技術
移転による
国際CO2ビ
ジネスの拡
大

民間による地熱開発事業

【環境保全対策技術】
硫化水素測定器及び気
象モデリング手法

環境ア
セス手
法最適
化の達
成

手法のマ
ニュアル化

硫化水素測定器の
商品化

アウト
カム達
成

CO2削
減量
630万
t-CO2
/年

【高度利用化技術】
貯留層管理及び設備管
理の最適化

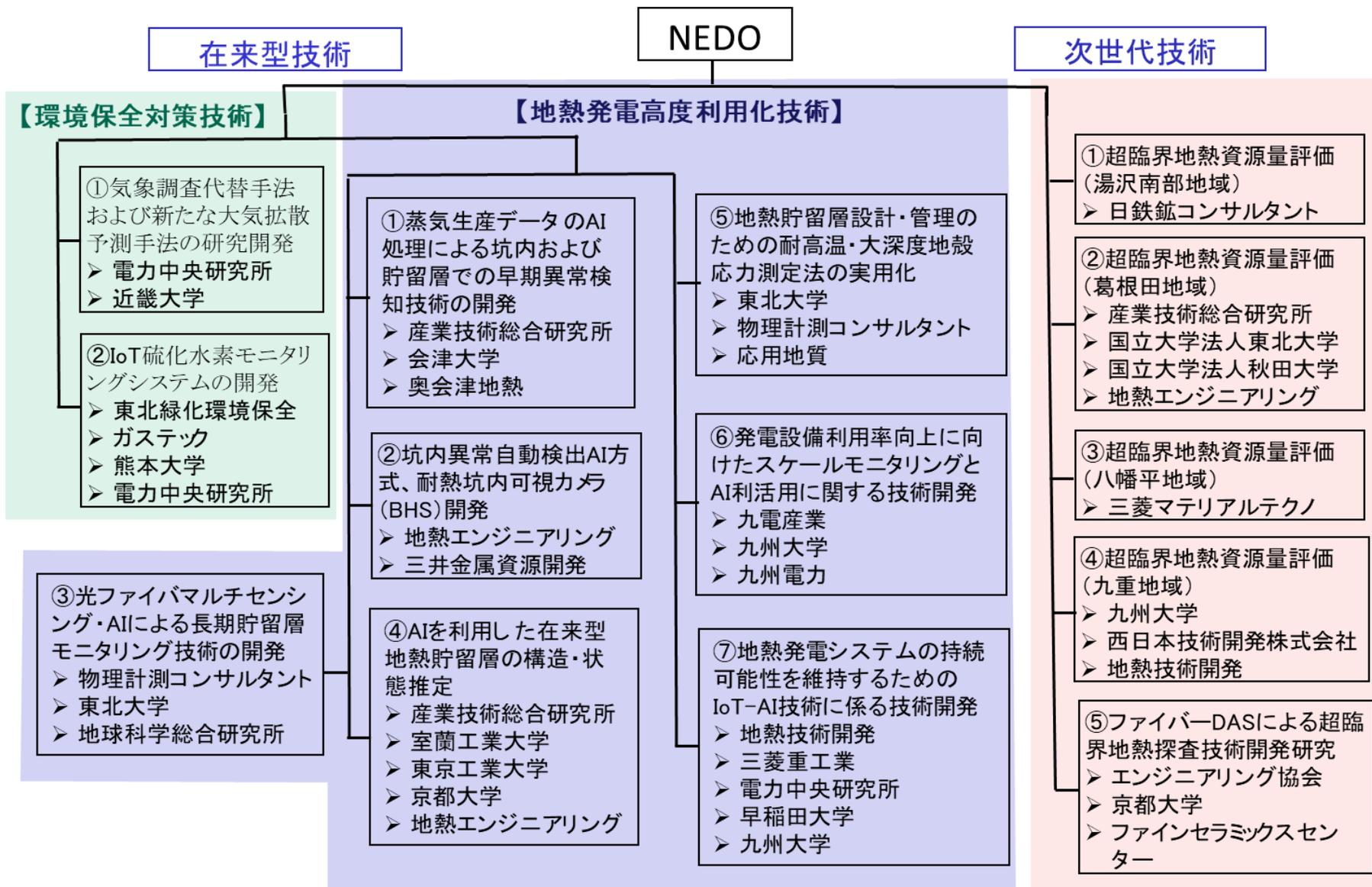
発電量
増、コ
スト削
減、利
用率向
上の達
成

手法のマ
ニュアル化

貯留層管理ツールの
商品化

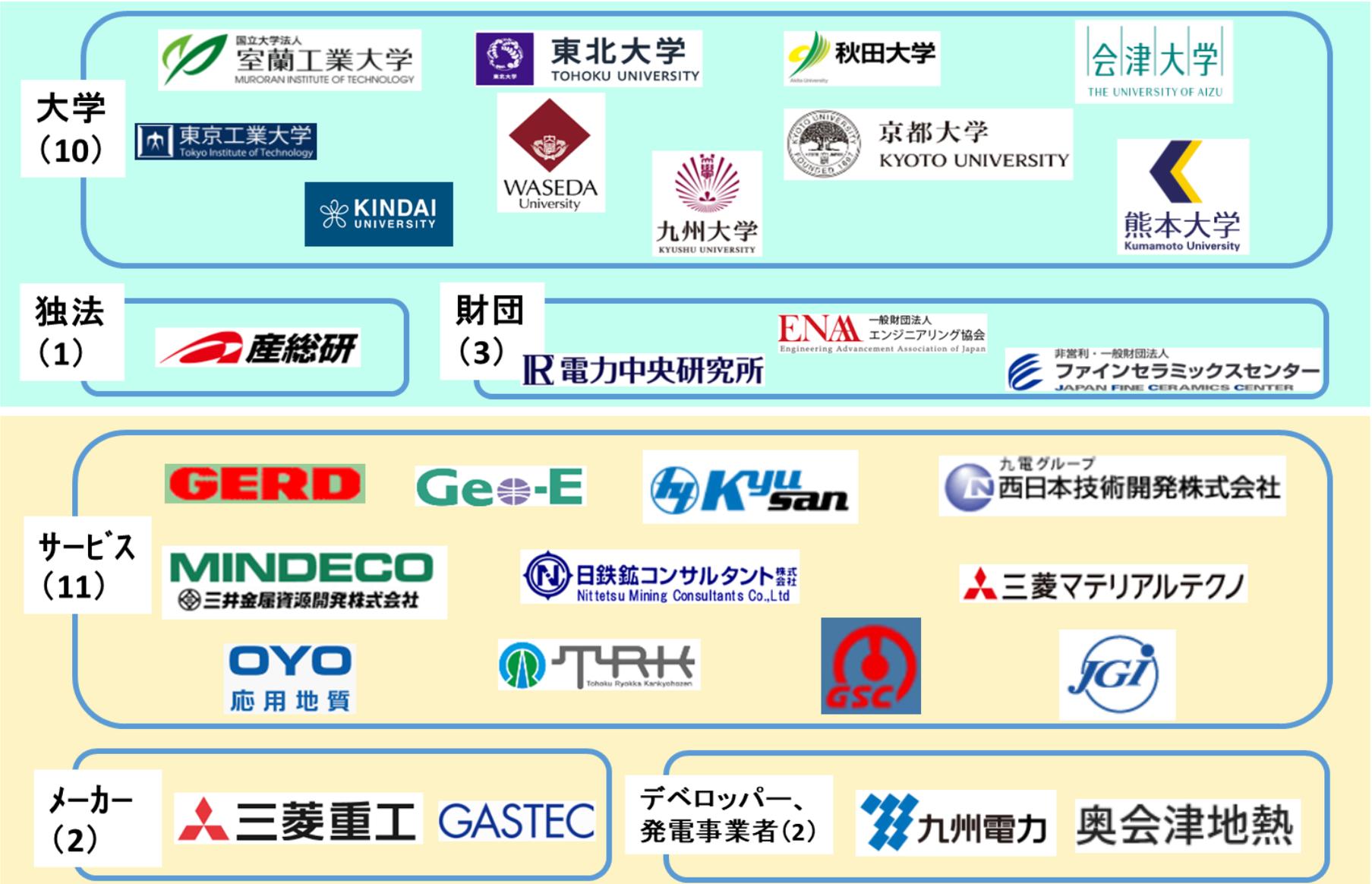
設備管理ツールの
商品化

◆ 実用化・事業化に向けた具体的取組(2021年度以降の実施体制)



IV . 成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し (2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

◆ 実用化・事業化に向けた具体的取組 (委託先の職種構成)



◆ 成果の他分野への波及効果

環境保全対策技術・エコロジカル・ランドスケープ手法(エコランツール)については、地熱開発以外でも**風力発電風車建設や送電線鉄塔建設等、山間部での開発**における景観予測ツールとなり、いろいろな分野での活用が期待。

環境保全対策技術・硫化水素測定器開発では、地熱アセスのみではなく、**掘削・噴気試験、温泉地、火山地帯などでのモニタリング**などで普及拡大。

小規模スマート発電システムにおける運転管理支援ツールでは、地熱発電のほか、**バイオマスやコジェネなどのシステム**や、その他再エネ用EMSとして活用。

温泉資源適正化利用モニタリングシステムでは、温泉管理のみではなく、温泉発電を行う上でも利用可能な技術であり、資源の有効活用を図る上で普及が急がれる。併せて、温泉以外の**水利用プラント**においても管理システムとして適用可能であり、幅広い分野での活用が期待。

腐食予測シミュレーションについては、**他分野のプラント管理**へ適用が可能であり、いろいろな事業の条件での検証・実証を行い、汎用的なシステムを構築。

酸性熱水対策対策・低コスト坑口装置開発については、**超臨界地熱資源開発**において適用される技術であり、国内外での普及が期待。坑口装置だけでなく、**配管(特にダメージを受けやすい曲がり部(エルボーやT字管など))**にも適用拡大。

ご清聴ありがとうございます。



参考資料

I. リスク認知拡大

- ①他地域からのネガティブな情報取得
- ②温泉変化(環境変化等の影響)

II. メリット不十分

- ①直接的温泉事業者
- ②地域全体

III. 不満、信頼感損失

- ①基本的参加機会の欠如
- ②温泉変化への対応不十分
- ③地下構造把握の不確定性

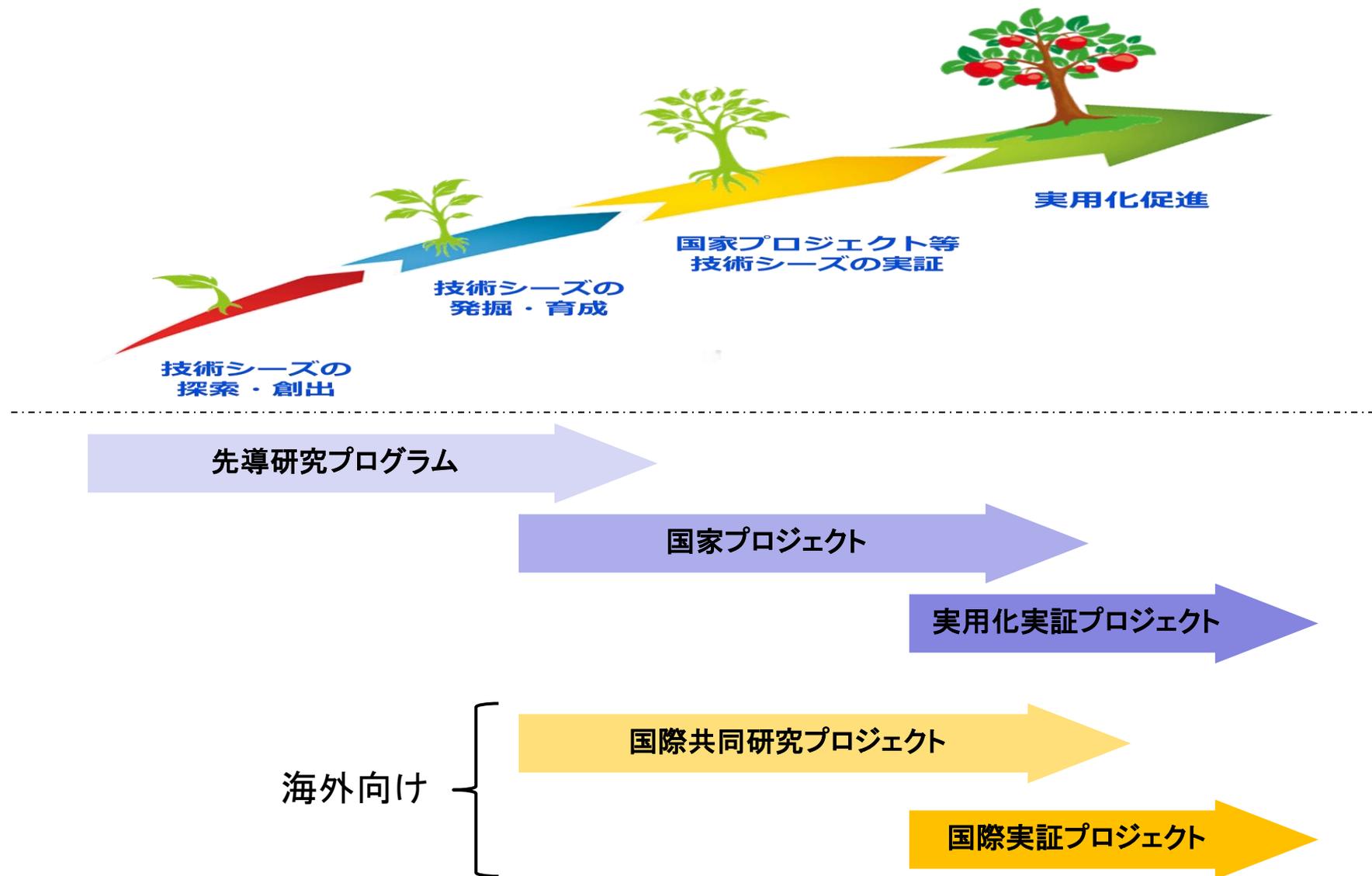
参考)上地ほか(2016): 地熱発電開発を巡る紛争の要因分析

ローカルファースト
(持続可能な社会づくりへ)

ステークホルダ(自治体、住民、地場産業、観光客等)の期待に応え、社会課題の解決に貢献する。

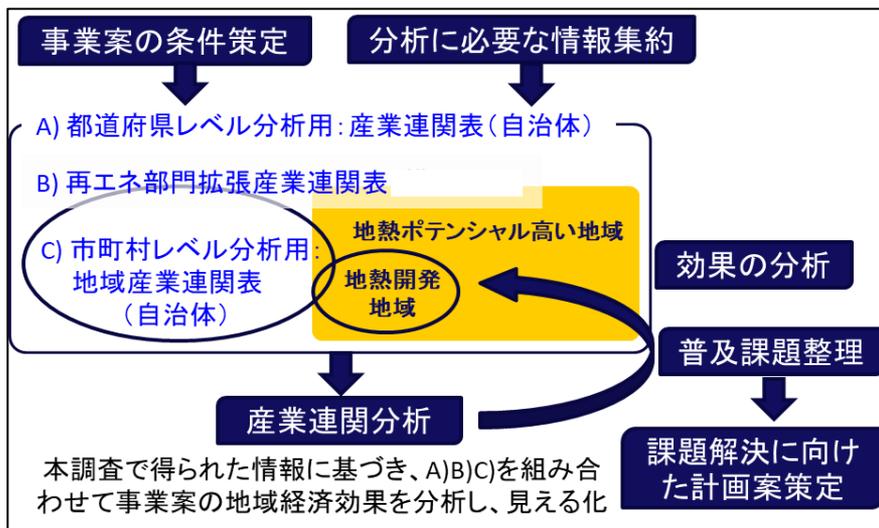
研究開発テーマ探索

- a. 社会受容性分析
- b. 地熱調査・地熱開発の在り方見える化(VR)
- c. 環境保全対策
- d. 電熱供給・資源回収システム
- e. 温泉の変動解析・資源適正利用

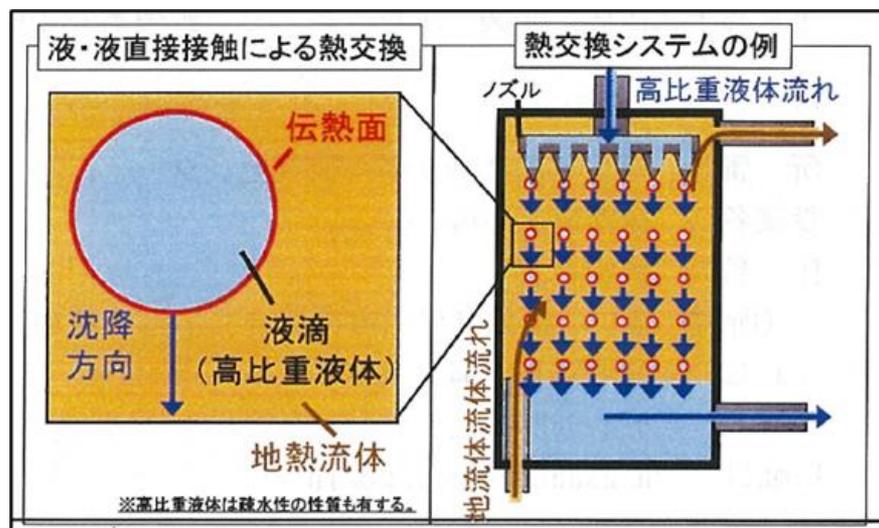


◆国内の地熱研究開発の動向

【地域への経済効果の検討】



【革新的熱交換器の検討】



○調査項目と目標

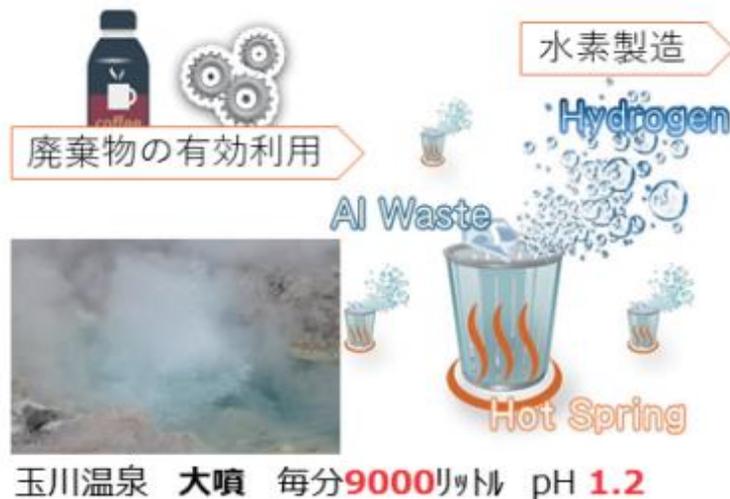
研究項目	最終目標
産業連関分析	地域経済に貢献する事業案の条件を策定し、事業案の地域経済効果を見える化する。
手法の効果分析、課題整理・解決策	分析結果の効果进行调查し、手法上の課題整理する。手法の普及課題解決に向け計画案を策定する。

○調査項目と最終目標

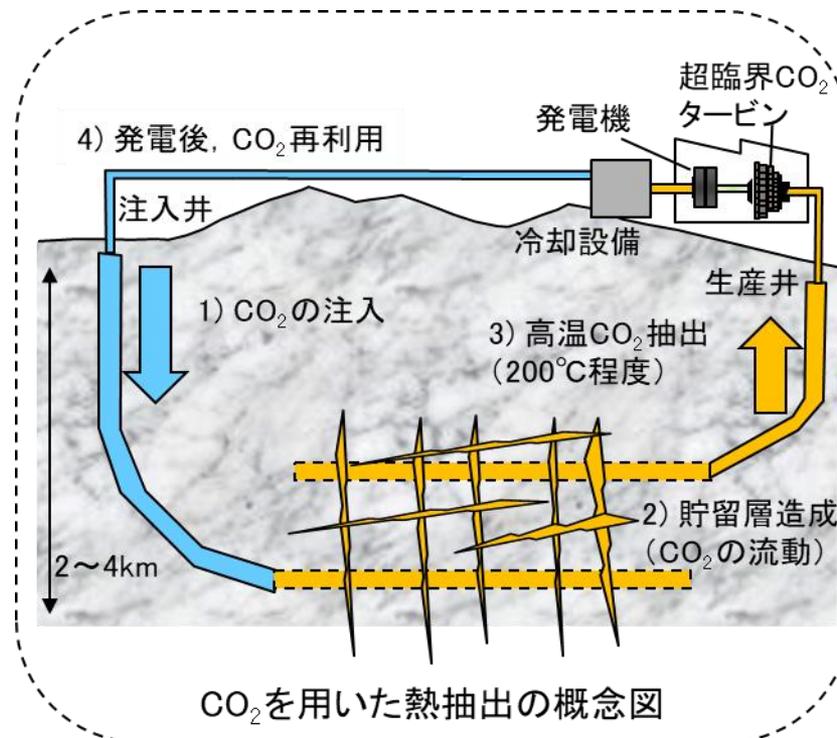
調査項目	最終目標
熱交換技術のデータ収集	液体直接接触式熱交換システムの熱効率に関するデータ整理
耐食・耐析出物技術のデータ収集	耐食設計方法とその課題整理、および熱交換器の耐スケール性の課題整理
高比重液体の適用可能範囲の調査	高温・高圧下での高比重液体の適用範囲調査、および分解条件の調査
実用化に向けた設計手法の提案	液体直接接触式導入時の適用範囲を示す。

◆国内の地熱研究開発の動向

【酸性地熱水による水素製造等】



【CO₂循環型地熱発電システムの検討】



研究開発項目

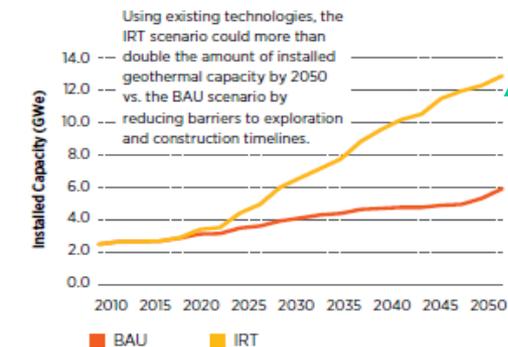
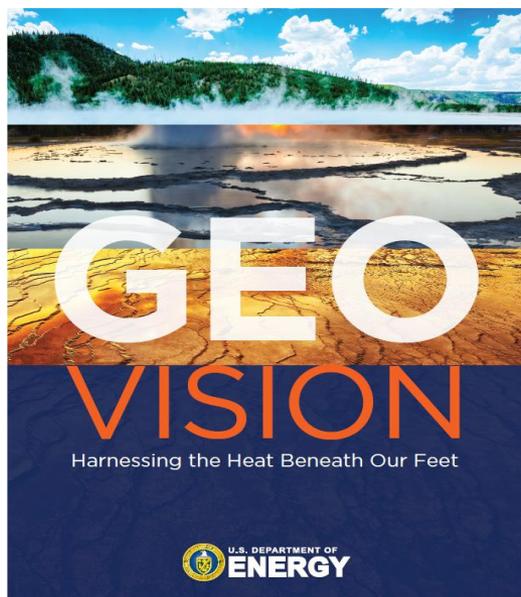
1. CO₂地熱先事例調査・実証実験計画策定
2. CO₂循環の最適熱抽出概念モデルの提示
3. CO₂循環システムの室内実験による検証
4. CO₂循環システムの発電電力量推定
5. 室内試験によるCO₂循環時物性変化取得

◆ 国外の地熱研究開発の動向

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

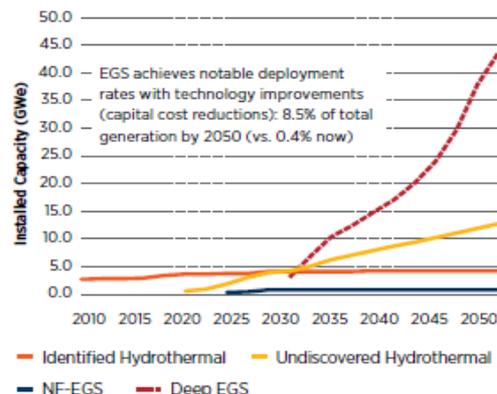
これは、米国国内の地熱資源について、発電と熱利用とで2050年までにどの程度利用可能かのシナリオを提示したものの。結論は、**広範囲の地熱利用は実現可能で、米国に幅広い直接的な利益をもたらす。**

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



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

BAU : Base as usual
IRT : Improved regulatory timeline



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

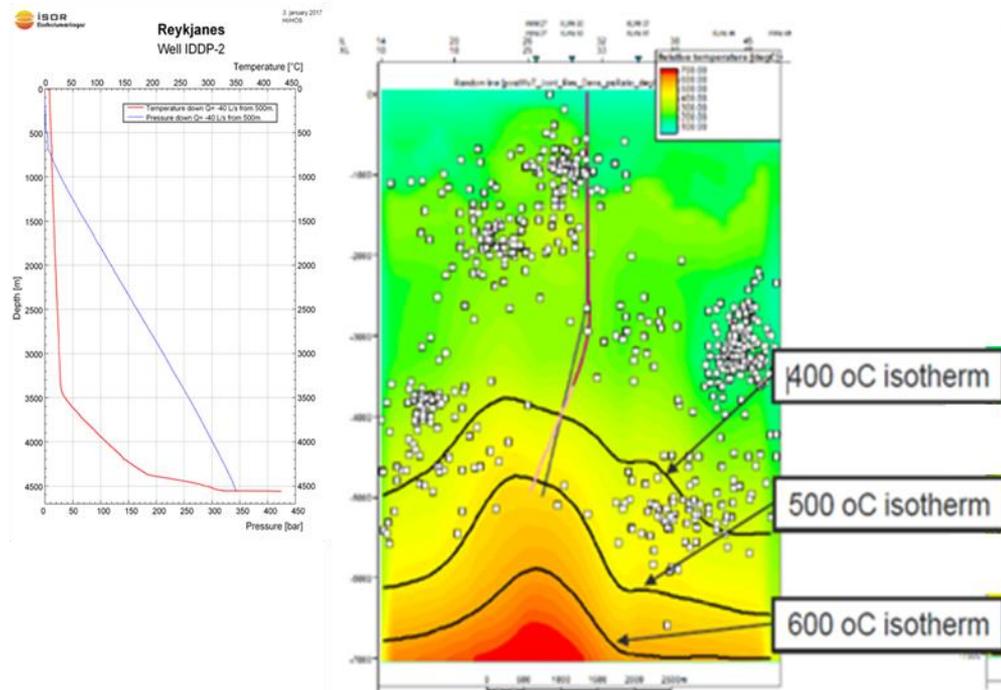
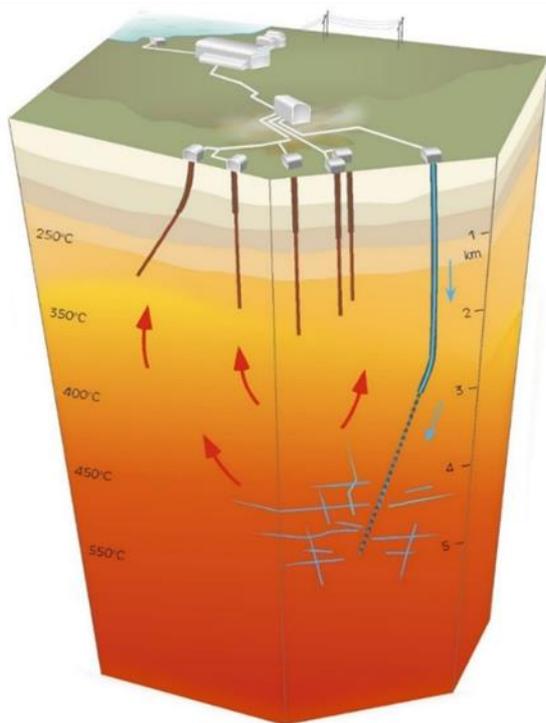
TI : Technology investment

◆ 国外の地熱研究開発の動向

P J の例 : DEEPEGS

(出展)NEDO技術委員会資料(2019)

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

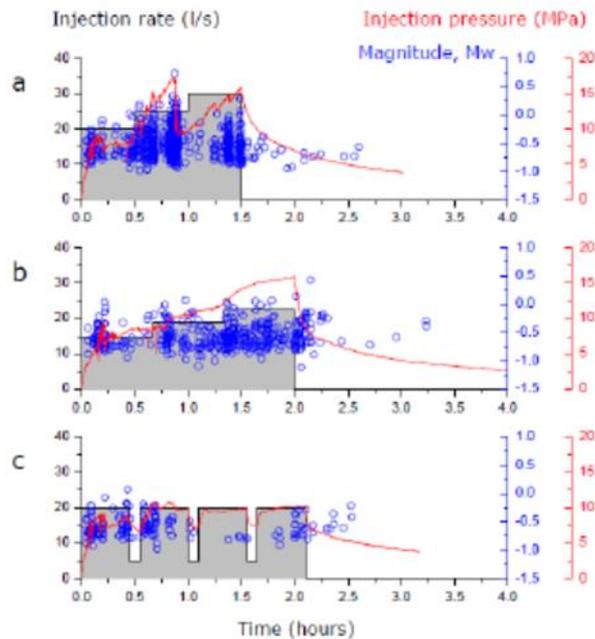


DEEPEGSの概念図 (HS-Orka, Personal Comm.) 。玄武岩質基盤岩内部の天然亀裂システム (超臨界状態) と浅部熱水系を接続し、抽熱可能量の増大を目指している。

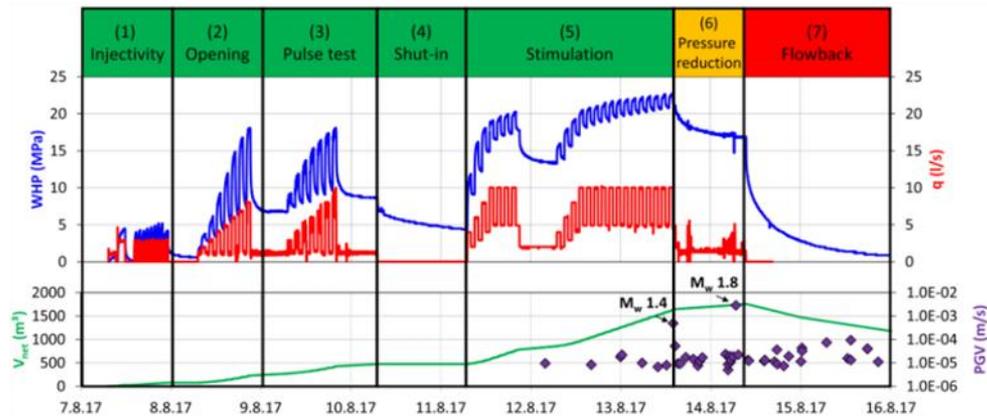
IDDP-2井の温度・圧カプロフィール (左) と比抵抗プロフィール・微小地震震源分布 (HS-Orka, Personal Comm.)

◆ 国外の地熱研究開発の動向

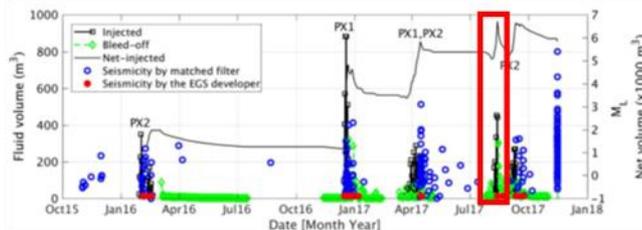
P J 名	期間	委託元	主な受託者	総予算 (推定値)	概要
DESTRESS	FY2016~ FY2020	EU (H- 2020)	OGFZ, ETH, KICT, U. Strasbourg	27.7M€	<ul style="list-style-type: none"> * 誘発地震発生を抑制した水圧破砕法の開発と実証試験 * シミュレーションにより「Cyclic Stimulation」の有効性を提示 * 韓国Pohangサイトでの実証試験で、誘発微小地震発生を抑制した水圧破砕を実現



水圧破砕シミュレーション結果の例 (Farkas et al. 2018)。Cyclic stimulation (c)では誘発地震の発生数が少ないことがわかる。



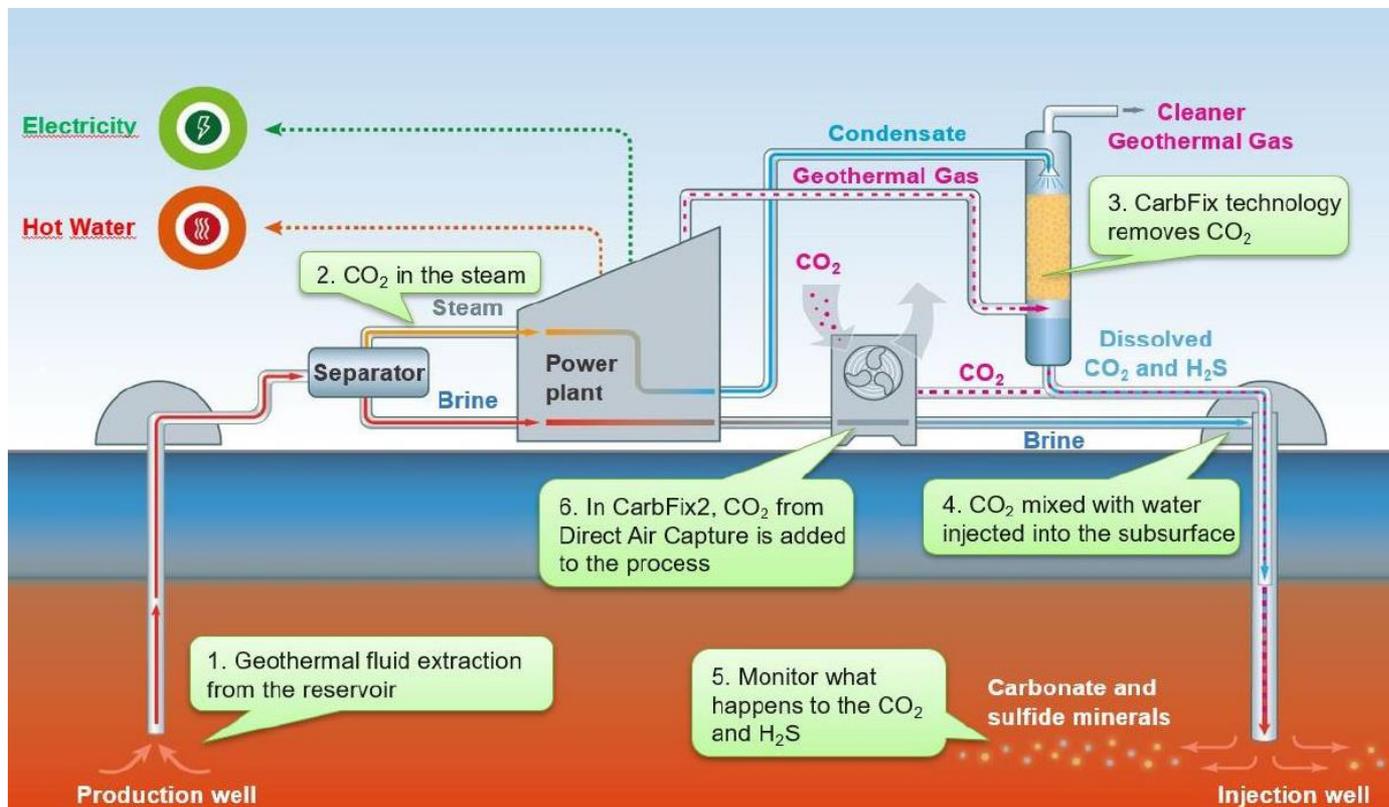
韓国Pohangでの水圧破砕実験結果 (Hofmann et al. 2018)。Cyclic stimulationを行うことにより、誘発微小地震数、マグニチュードを抑制することに成功した。



Pohangサイトでの水圧破砕履歴 (Kim et al. 2018)

◆ 国外の地熱研究開発の動向

P J 名	期間	委託元	主な受託者	総予算 (推定値)	概要
GECO	FY2018～ FY2022	EU (H- 2020)	OReikjavik Energy, ISOR, CNRS, GEORG	18.2M€	* 地熱井から放出されるガス (CO ₂ , H ₂ S) および大気中のCO ₂ の回収・利用に関する技術の開発 * 実証試験予定地 アイスランド (高温・玄武岩質) イタリア (高温・片麻岩質) トルコ (高温・火山砕屑物) ドイツ (低温・堆積岩質)

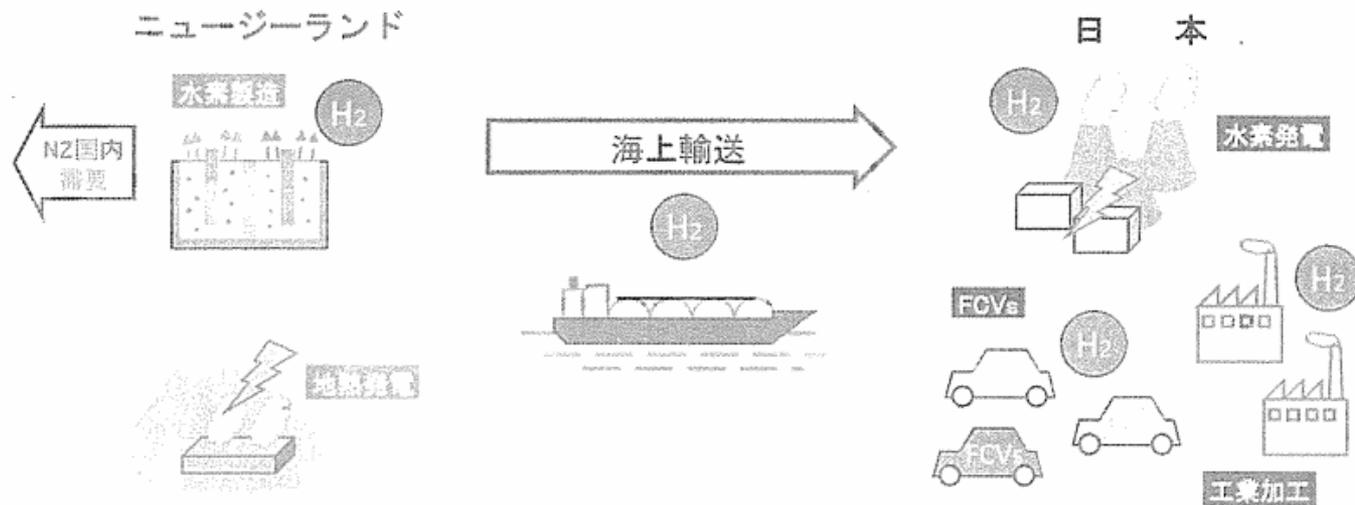


アイスランドでの試験の概念図
<https://www.or.is/sites/or.is/files/pressfacsheet.pdf>

◆ 国外の地熱研究開発の動向

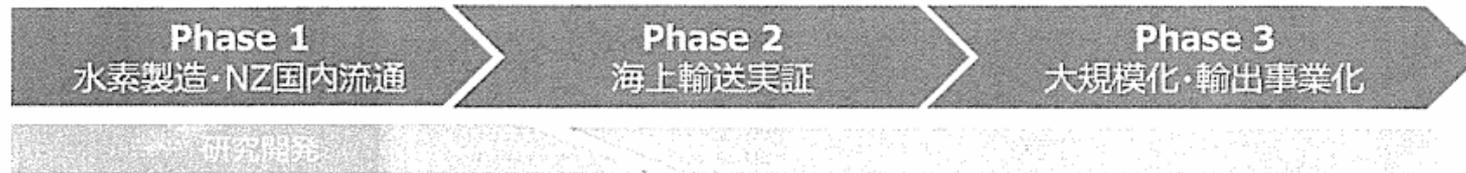
プロジェクトの全体構想

概要 電力の安定的供給が見込めるニュージーランドにおいて、地熱発電を利用したCO₂フリー水素の製造・貯蔵を行い、需要地へ運搬・供給する。



プロジェクトの発展段階(案)

FY 2018-2023



- ・ 調査コスト削減（掘削成功率向上等）
- ・ 建設コスト削減
- ・ 運転コスト削減（管理の効率化等）
- ・ リードタイム短縮
（地域共生 ※国立・国定公園）

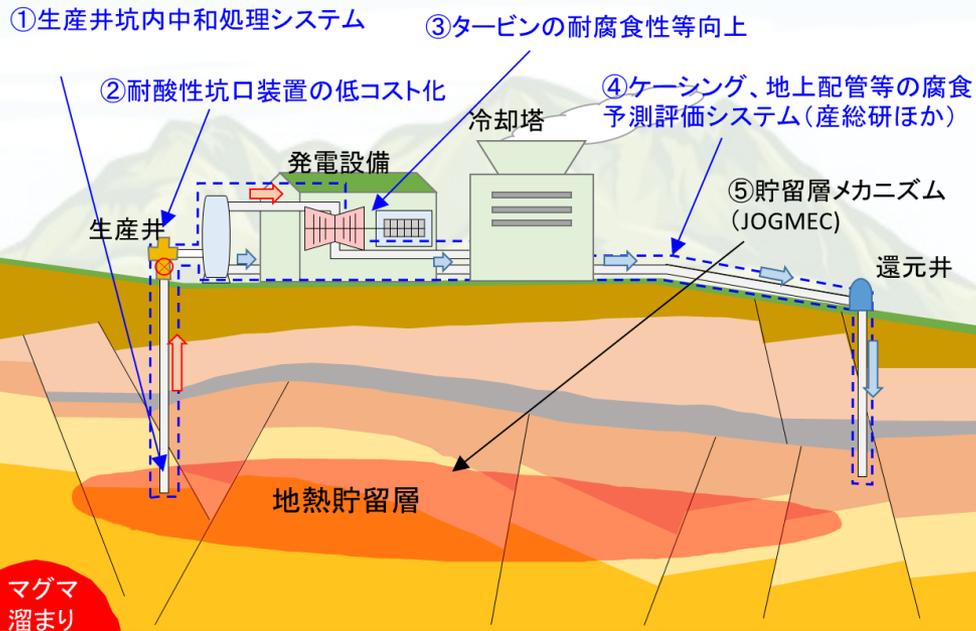
$$\text{発電原価} = \frac{\text{円}}{\text{kWh}}$$

- ・ 生産量増大（人工涵養技術等）
- ・ 利用率向上（貯留層・設備の最適化等）

地熱エネルギーの高度利用化に係る技術開発（酸性熱水対策）

- 過去のアンケート調査の結果、全噴出坑井の約14%からpH5以下の酸性熱水が噴出したこと明らかとなっている。
- 開発が望まれる発電ポテンシャルの高い貯留層は、高温酸性熱水の賦存可能性が高い（賦存する資源量は同調査の結果、全地熱資源量の約30%と見込まれている）。
- これらは、その腐食性等から未利用となっており、地熱の資源探査におけるリスクを高める一因となっている。
- そこで本事業において、発電設備、坑口装置の耐食性向上、坑内中和処理、ケーシング・地上配管の腐食予測評価等に係る技術開発を行い、酸性熱水（pH3程度）を活用可能にすることで、開発リスクの低減及び活用可能な資源量の増大を目指す。

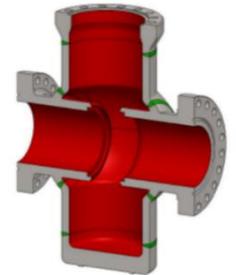
【酸性熱水対策技術開発の概要】



【具体的な取り組み例】

坑口装置の耐食性向上

装置内面をレーザー溶接技術で耐食性金属を盛金することで、低コストで耐食性の高い装置を開発

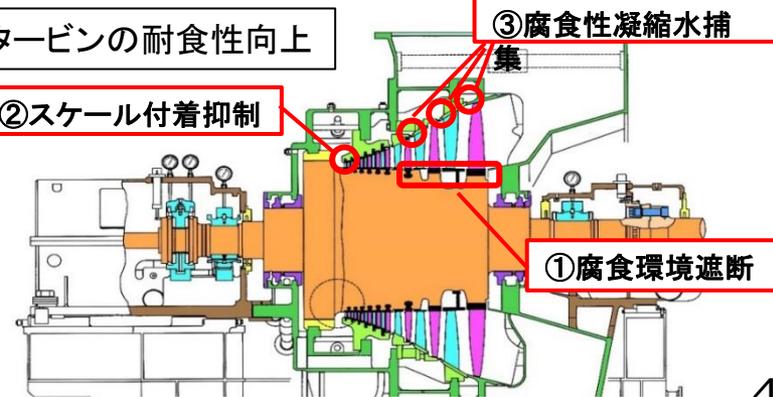


タービンの耐食性向上

②スケール付着抑制

③腐食性凝縮水捕集

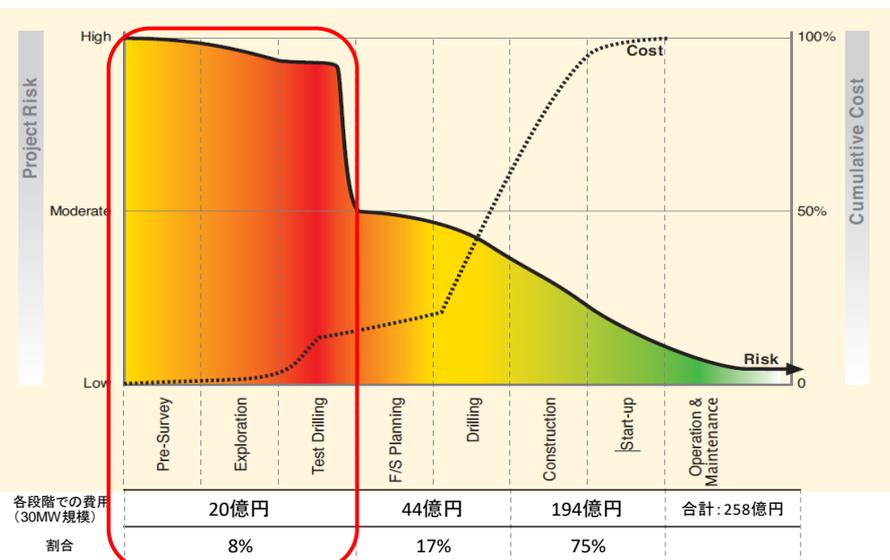
①腐食環境遮断



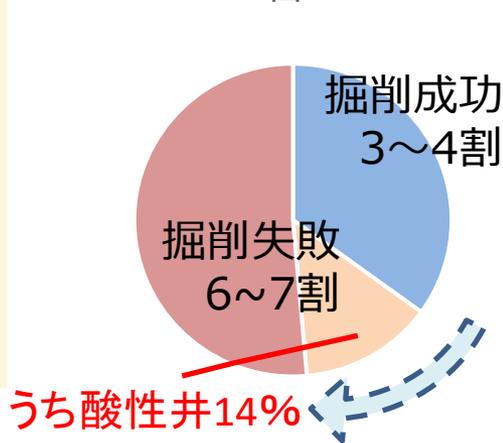
発電原価低減（掘削率向上と酸性熱水資源）

- 地熱発電事業における最大のリスクは、掘削した結果、十分な蒸気・熱水が得られない場合、それまでに要した費用が無駄になることであり、コストに大きく影響する。
- 現在の掘削成功率は3～4割。成功率向上が必須。
- 過去の調査で、酸性井戸のため、活用できなかった井戸の割合は、13.6%。
- 酸性熱水資源を活用可能にすれば、掘削成功率向上が期待。
- 酸性熱水資源は、全資源の3割に及ぶとされており、活用可能な資源の増大も期待。

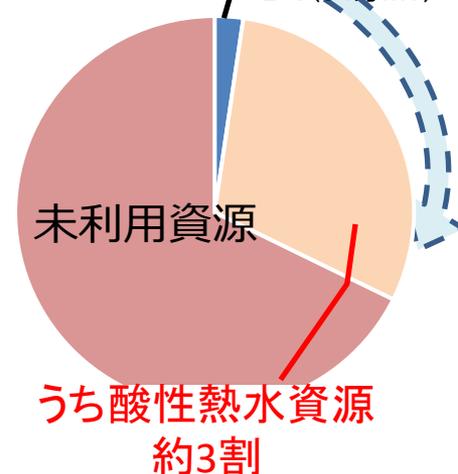
地熱発電の開発リスク（イメージ）と各開発段階の事業費概算



掘削成功率と酸性井の割合



地熱資源23GWの内
発電設備容量
2% (54kW)



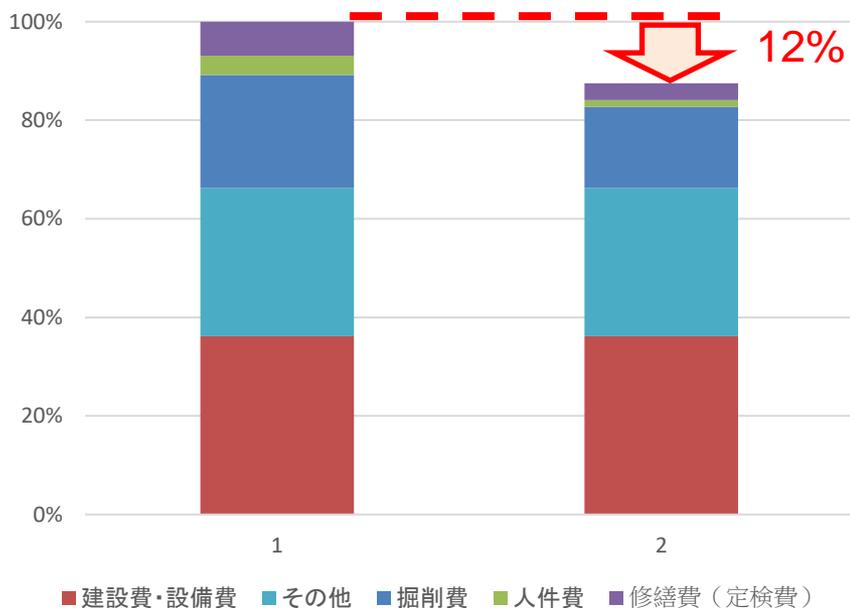
出所：Geothermal Handbook (World Bank, 2012) 及び第3回調達価格等算定委員会（経済産業省, 2012）資料をもとにNEDO技術戦略研究センター作成(2015)

「酸性熱水の対策技術等に関する調査研究」（NEDO, 平成5年）をもとにNEDOが作成

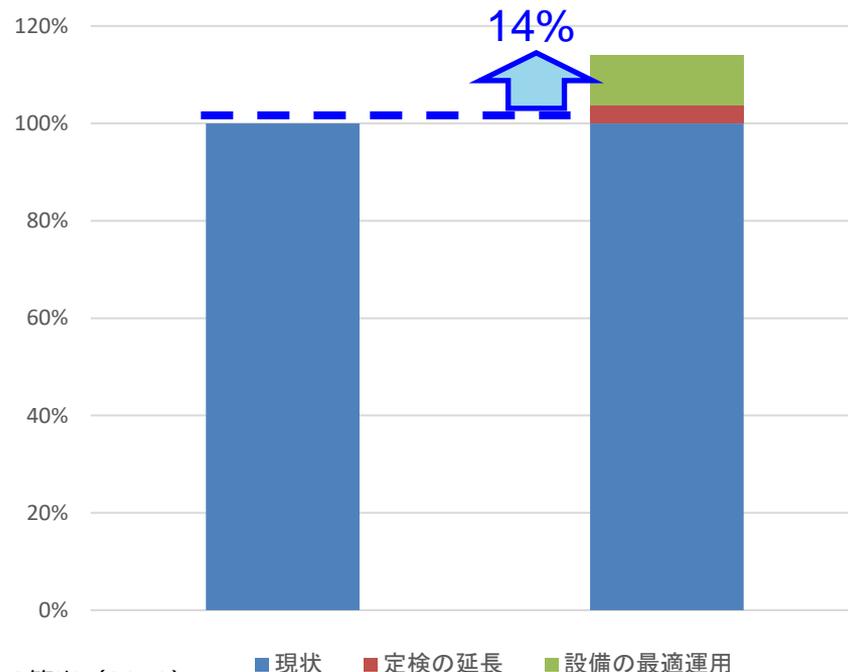
発電原価低減（掘削成功率、運転管理効率、利用率向上の効果試算）

- 掘削成功率向上（13.6%up）により、掘削費用低減。
 - 運転管理の効率化による人員（人件費）削減（2分の1削減）
 - 定検間隔の延長による定検費の削減（半分） & 定検停止期間の短縮化（半分）
 - 設備の最適運用による利用率の向上（発電電力量10%up）
- ⇒発電原価を約20%削減（費用減額分/電力量増大分）

費用の低減効果試算

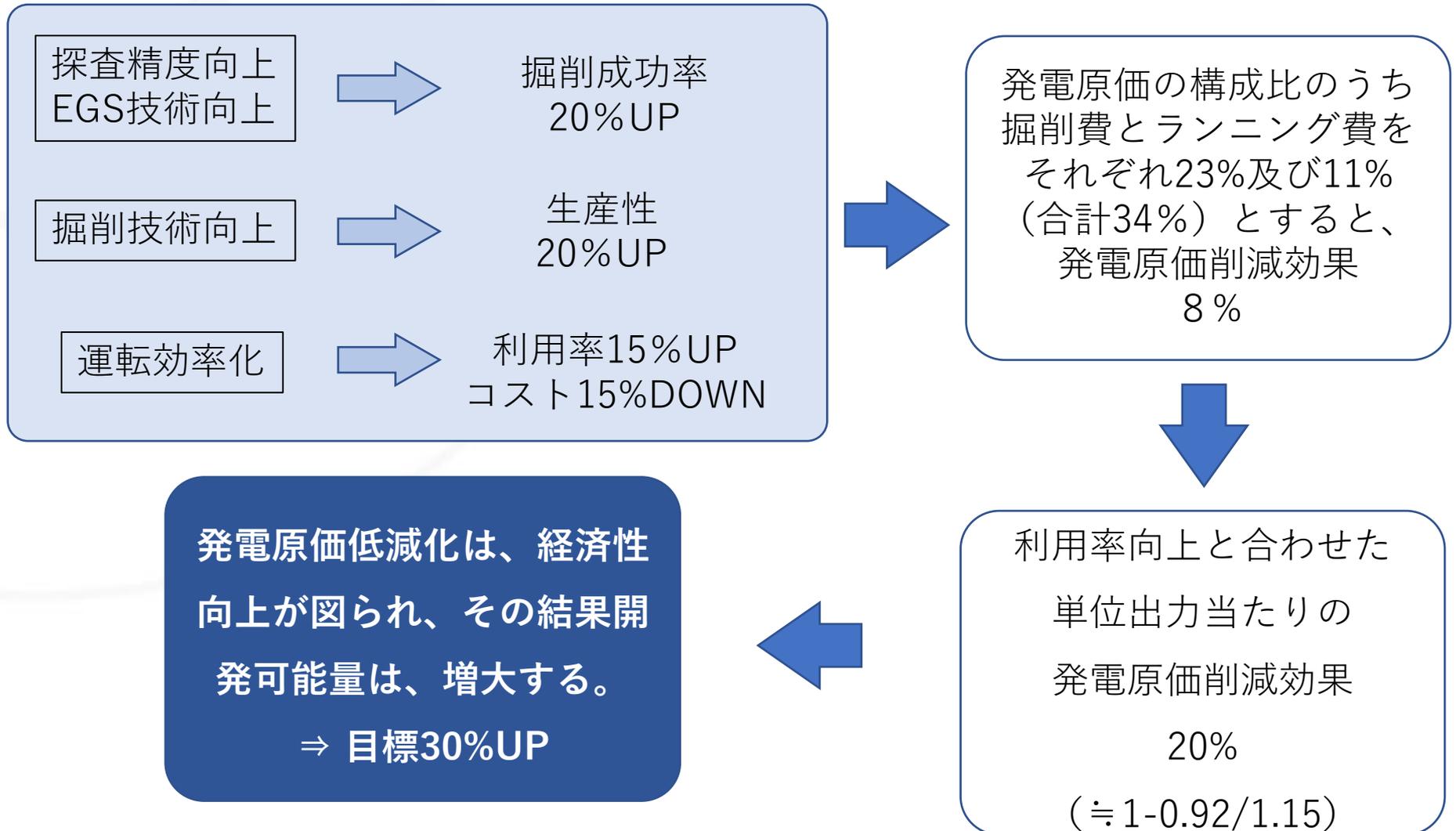


発電電力量の増大効果



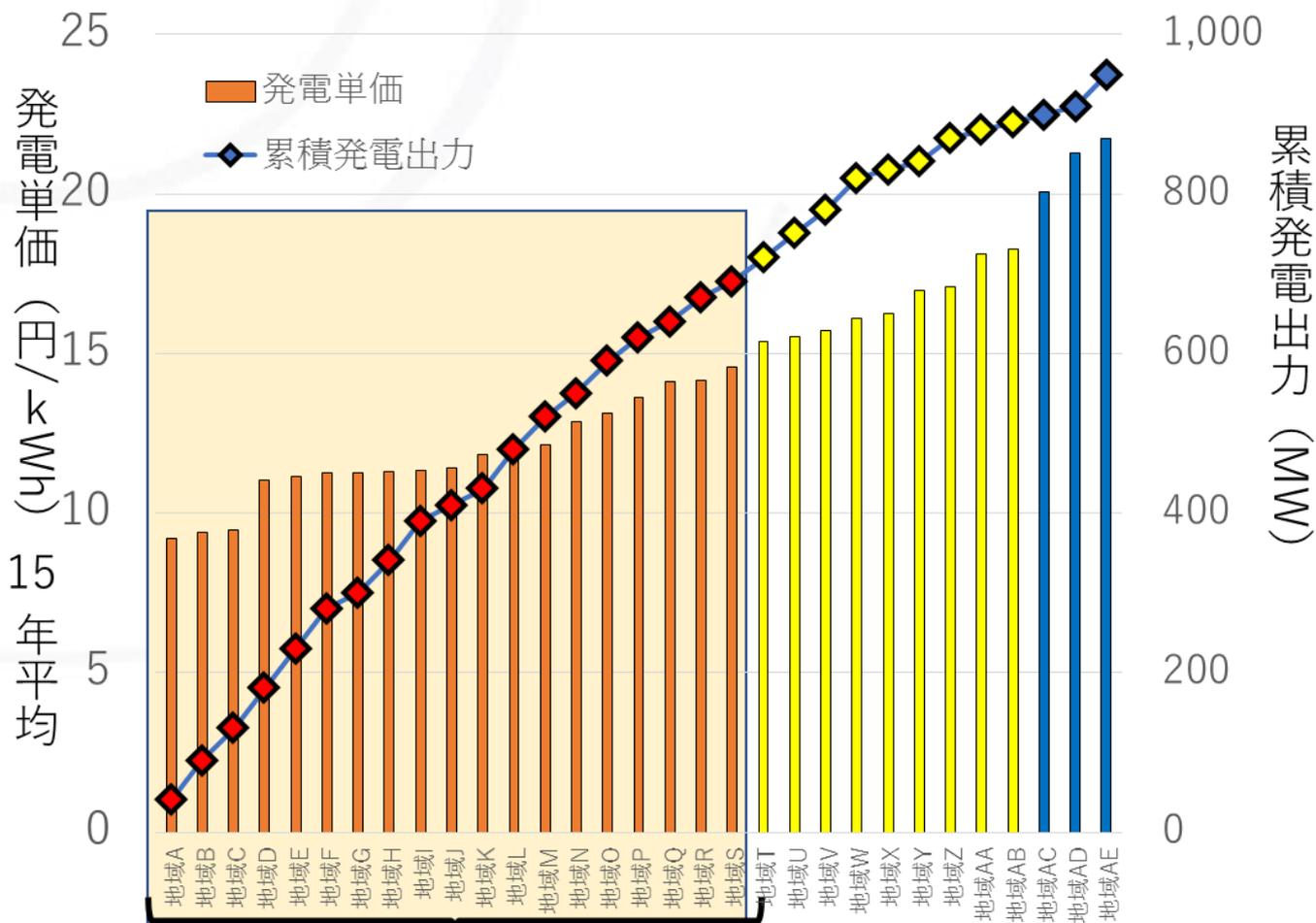
地熱エネルギーハンドブックを元にNEDO算出（2019）

発電原価低減による効果の試算



発電原価低減がもたらす効果の試算 (促進調査データより)

地熱開発促進調査 開発可能性調査 (平成13年度)



開発移行の意思決定を15円/kWhと仮定 (赤棒)



コスト20円/kWhまでにコスト低減20%が実現されると、15円/kWh以下に収まる (黄棒)



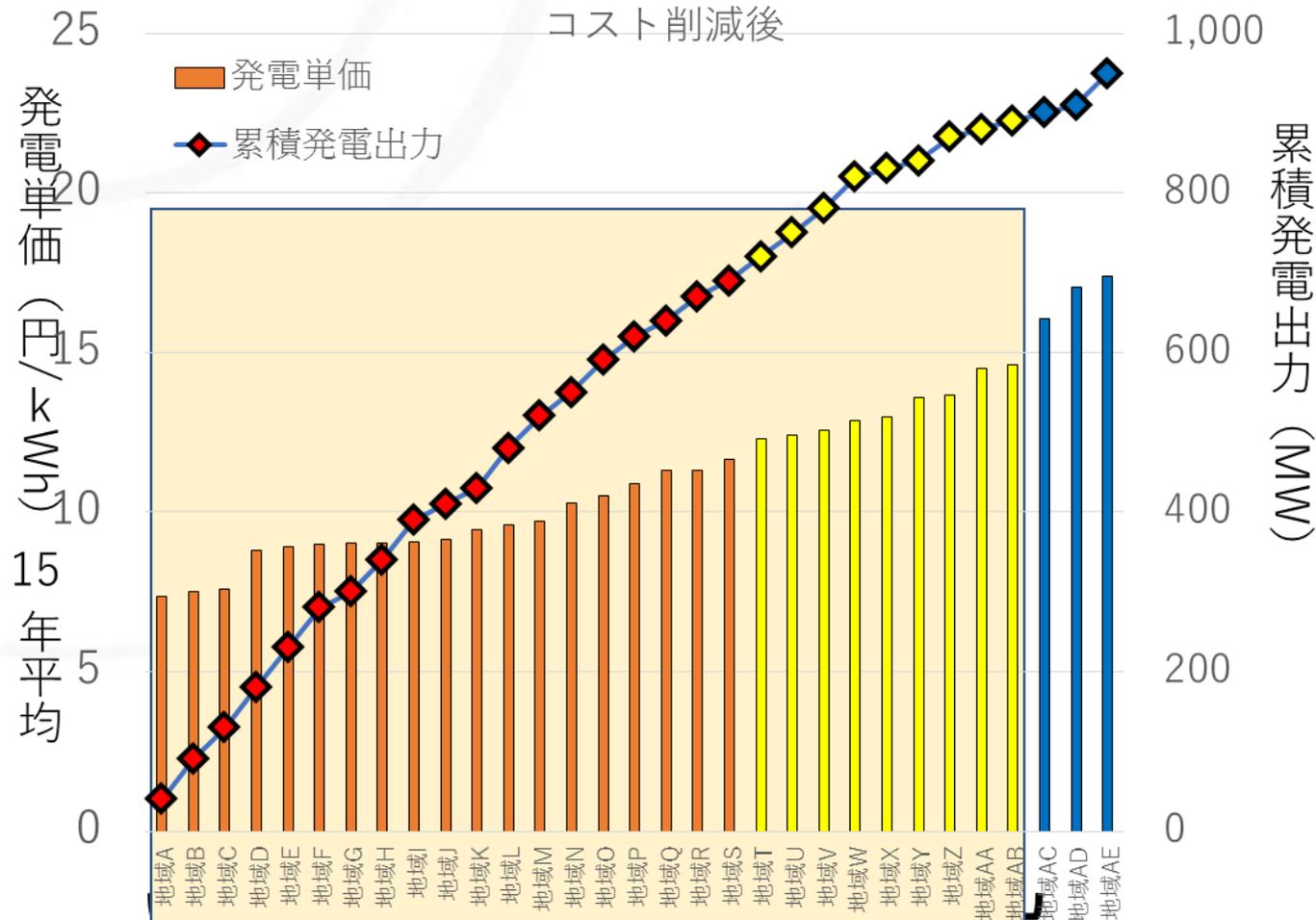
これより開発可能な資源量が、約30%増 (≒ (890-690)/690)

開発可能な資源

発電原価低減がもたらす効果の試算 (促進調査データより)

地熱開発促進調査 開発可能性調査 (平成13年度)

コスト削減後



開発移行の意思決定を15円/kWhと仮定 (赤棒)



コスト20円/kWhまでにコスト低減20%が実現されると、15円/kWh以下に収まる (黄棒)

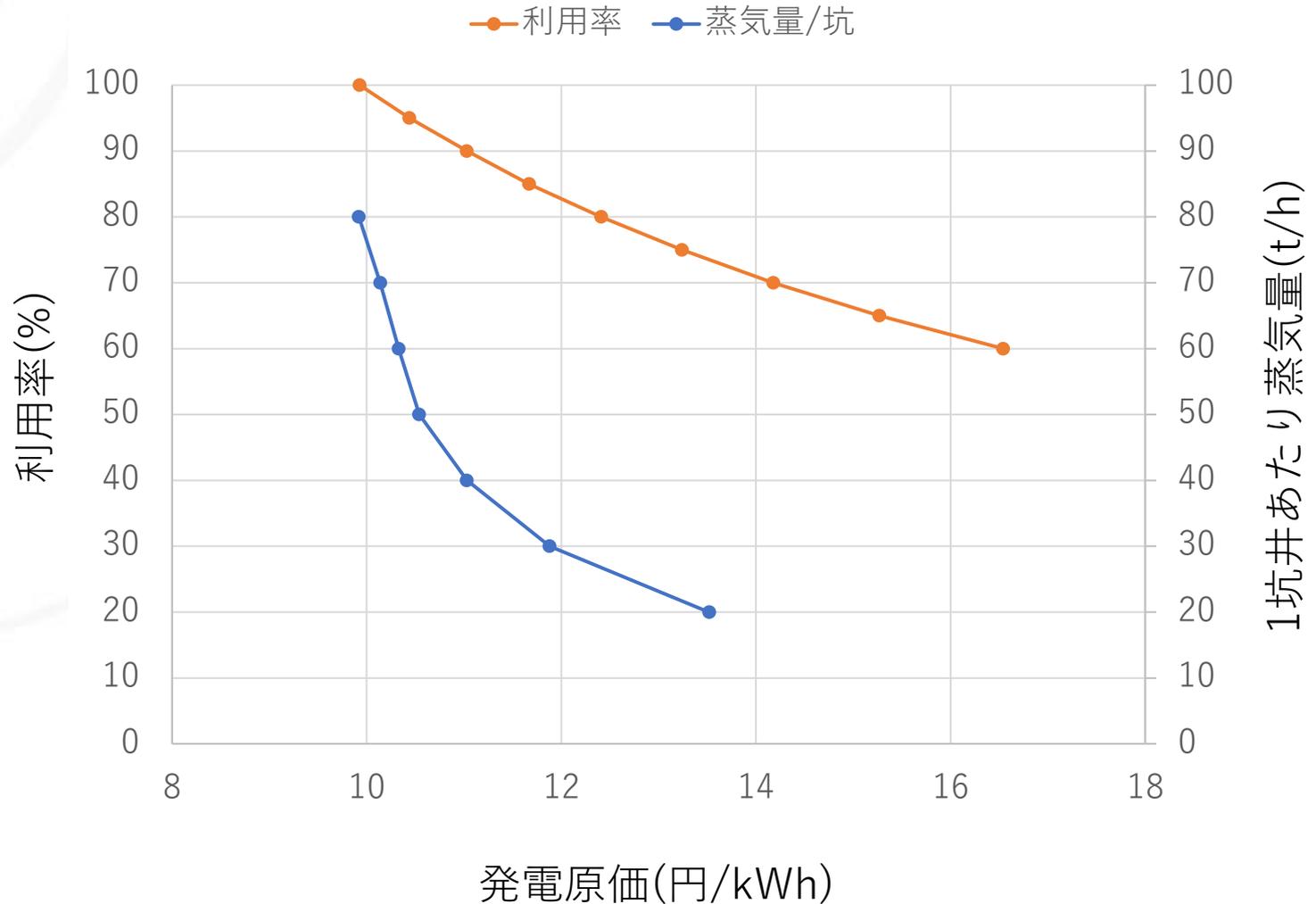


これより開発可能な資源量が、約30%増 (≒ (890-690)/690)

開発可能な資源

発電原価の感度解析

出典：平成13年度地熱開発促進調査開発可能性調査（NEDO, 2002）



◆ 研究開発のスケジュール

■ 契約期間延長したテーマ一覧

研究開発項目	テーマ名	2018	2019	2020	2021
環境保全対策技術	冷却塔排気に係る環境影響の調査・予測・評価の手法に関する研究開発		→	→	→ 5/末
	優良事例形成の円滑化に資する環境保全対策技術に関する研究開発		→	→	→ 6/末
高度利用化技術	未利用地熱エネルギーの活用に向けた技術開発	→	→	→	終了
	酸性熱水を利用した地熱発電システム実現に向けた耐酸性・低付着技術の研究開発	→	→	→	終了
	酸性熱水利用のための化学処理システム開発	→	→	→	→ 5/末
	未利用地熱エネルギーの活用に向けた坑口装置の研究開発	→	→	→	→ 5/末
	地熱発電システムにおける運転等の管理高度化に係る技術開発	→	→	→	終了
	地熱発電所の利用率向上に関する研究	→	→	→	終了
	IoT-AI適用による小規模地熱スマート発電&熱供給の研究開発	→	→	→	→ 5/末
	地熱資源適正利用のためのAI-IoT温泉モニタリングシステムの開発	→	→	→	終了

コロナ禍により、当初2020年5月の現地調査が8月へ延期された。同調査の遅延により、その結果を利用して実施される硫化水素拡散予測モデルの検証・改良、及び硫化水素拡散予測評価最適手法ガイドも順延を余儀なくされ、このため3ヶ月間の契約期間延長を実施する。

本テーマは、国立・国定公園特別地域で実施している地熱調査・開発案件の協力が不可避であるところ、コロナ禍により同案件事業者の活動が遅延し、それを受け、本事業の遅延が余儀なくされた。併せて、景観解析ソフトの不具合が発覚し、代替ソフトでの作業が追加となった。これらにより、契約期間を4ヶ月延長する。

コロナ禍による緊急事態宣言で実験室の完全閉鎖や学内で散発して発生したコロナ感染クラスター等により断続的に強い制限がかかった影響で、予定していた室内試験の順延を余儀なくされた。時間短縮のための措置を講じたものの、遅延の吸収が難しいため、一部試験及びそれらを用いた評価試験の繰り越しを行いたい。

コロナ禍による緊急事態宣言の影響により、購入した機械装置の修理が予定期間内に収まらなかった（海外製品）。さらに、工場内の溶接作業が、年度の前半に見送られていたものが、年度後半に集中したことで、NEDO事業の作業も遅延を余儀なくされた。

本テーマでは、地熱発電所から操業データを取得する必要があるが、コロナ禍による出張制限により、バイナリー発電所での現地調査が延期され、これにより解析作業の遅れを余儀なくされた。さらに、予兆検知システム開発も順延となり、契約期間内に作業終了が困難となった。これより、3ヶ月の期間延長を実施する。