

# 「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)

分科会資料抜粋版

NEDO

新エネルギー部

2021年11月12日

### I. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的の妥当性

#### ◆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。

#### ③資料3-3(別添)\_PJ概要(熱利用)

##### 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

◆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）

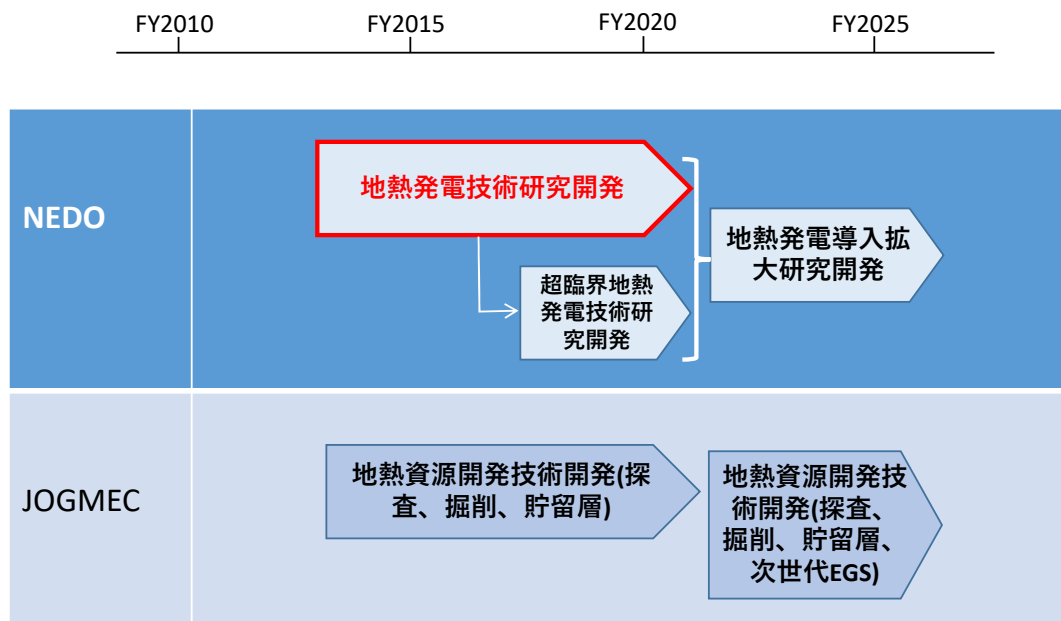
◆ 地熱発電はベースロード電源となりえる再生可能エネルギーである。リスクマネーの供給・地元理解の促進、関連法令の運用見直しなどを通じて、更なる地熱発電の大幅な導入を目指す。これに加えて、2050年に向けては、世界にない革新的な地熱発電技術を実現し、地熱発電システム全体をパッケージで海外に展開する。

	現状と課題	今後の取組
リスクマネーの供給、理解促進	<p><b>開発リスク・開発コストが課題</b></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><b>各種リスクマネーの供給、さらなる理解の促進</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>助成金、出資、債務保証等のリスクマネーの供給、国による地熱資源調査、掘削技術向上のための技術開発等の実施。</li> <li>エネルギーの多段階利用（地熱発電所の蒸気で作った温水を農業用ビニールハウスに活用）等の地域と共生した持続可能な開発を促進、優良事例の全国発信。</li> <li>「地熱開発加速化プラン」による改正地球温暖化対策推進法に基づく促進区域指定、地元理解のためのデータ収集・調査等の実施。</li> </ul>
関連法令による規制	<p><b>関連法令の運用見直しが課題</b></p> <p>(自然公園法) 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><b>運用見直しを通じた開発の加速化</b></p> <p>主に以下の規制を対象に、「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) ・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> <p>(温泉法) ・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</p>
次世代型地熱発電技術（超臨界地熱発電）	<p><b>要素技術の開発段階、世界的にも技術未確立</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>従来の地熱発電の資源量は2,347万kW。より深い超臨界地熱資源（超臨界状態の熱水）を活用出来れば、抜本的な資源量の拡大と大規模・高効率の開発が期待出来る。</li> <li>超臨界地熱資源は、超高温かつ酸性濃度が非常に高く、この環境下に耐え、安定的な発電を可能とするための部材・素材・掘削技術の開発が必要。世界的にも技術は未確立。</li> </ul>	<p><b>次世代地熱発電技術の確立、実用化</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>2030年まで：調査井の掘削・試験を実施。開発した掘削技術やケーシング材等の部材・素材の検証。</li> <li>2040年まで：パイロットプラントによるタービン等の地上設備を含めた発電システム全体の検証。</li> <li>2050年頃：世界に先駆けて商用化・普及を目指す。世界に技術を展開。</li> </ul>

出典：内閣府（グリーン成長戦略、2021）

◆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)

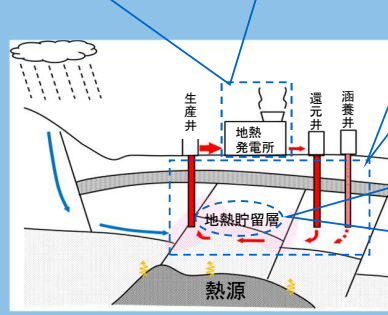


## 事業イメージ

### (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



※地熱貯留層とは、蒸気や熱水が溜まっている層

#### 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、長年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

### (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。

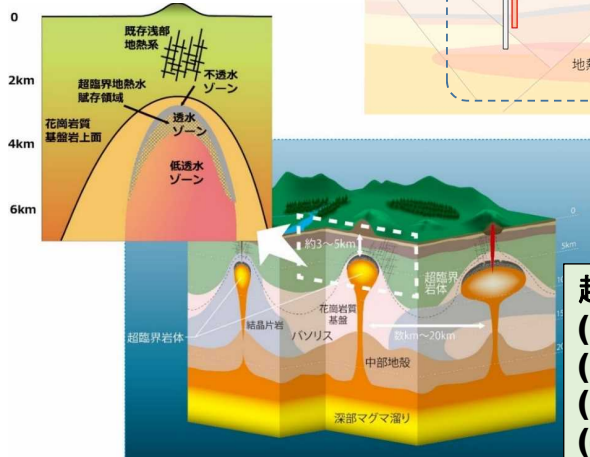
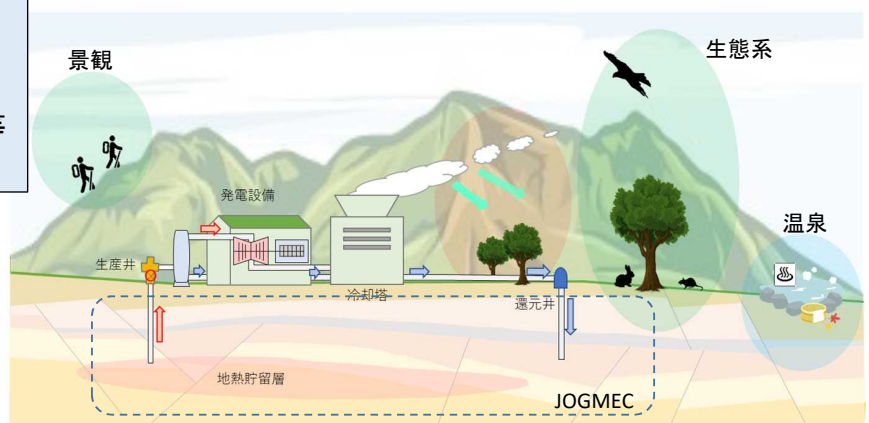
## 1. 事業の位置付け・必要性 (2)NEDOの事業としての妥当性

### ◆ 技術戦略

#### 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



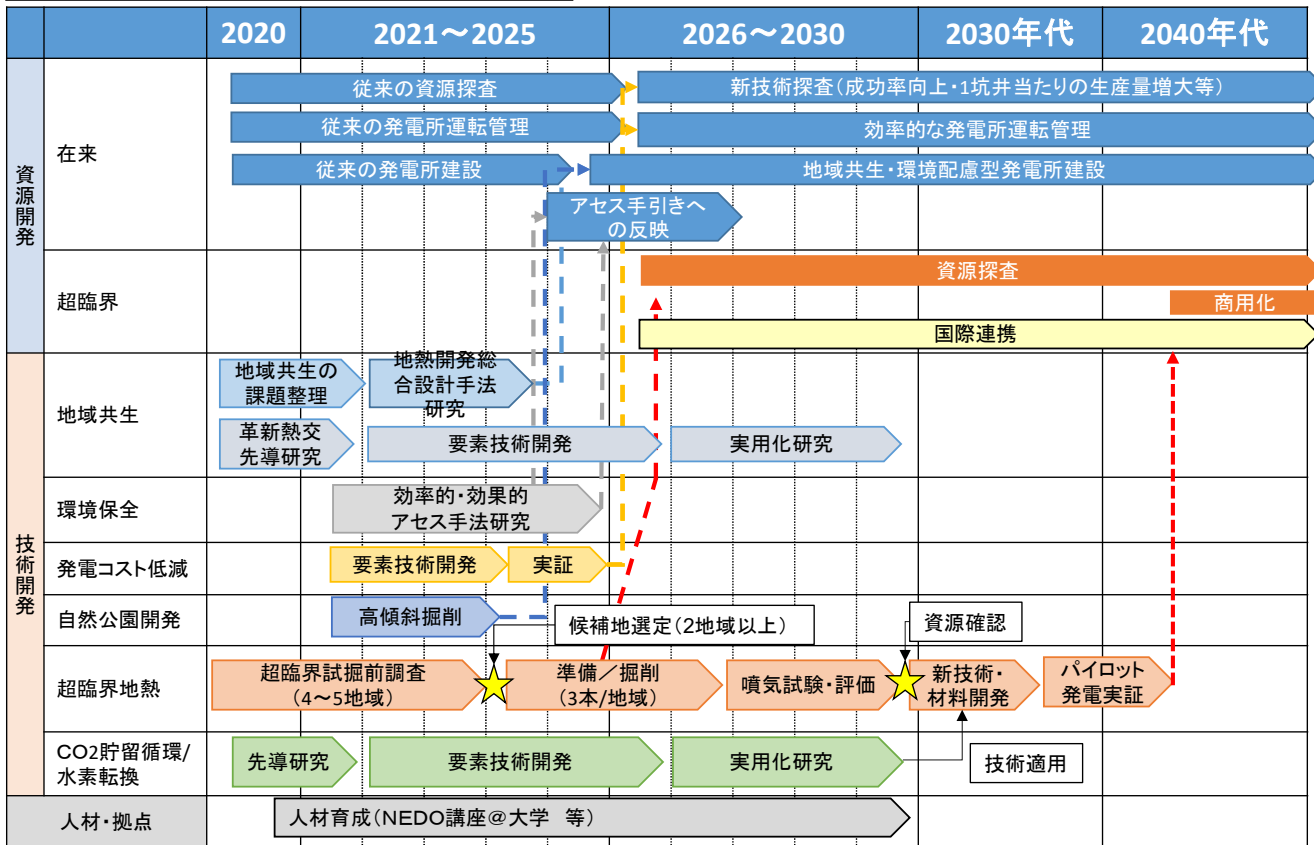
#### 超臨界地熱発電技術研究開発

- (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



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



出典：NEDO技術委員会資料(2020)

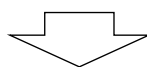
1. 事業の位置付け・必要性 (2)NEDOの事業としての妥当性

◆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

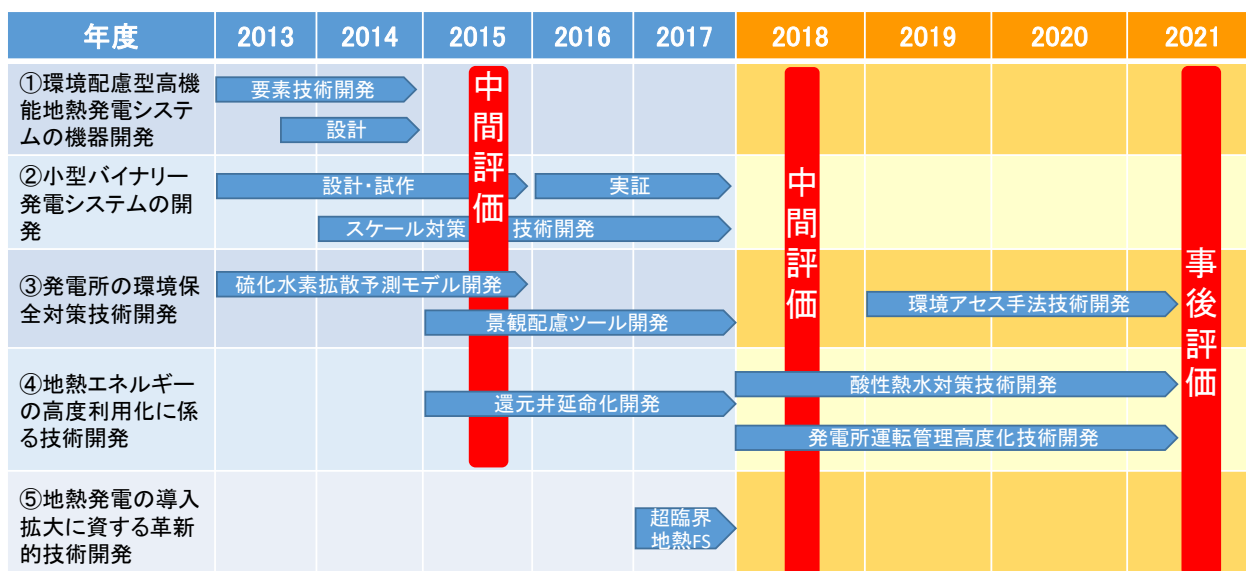
- ① 環境アセスメントにおける各種調査を最適化し、期間短縮に資する技術の開発を実施するとともに、定量的な知見に乏しい分野(硫化水素や着氷による植生への影響等)について、科学的知見を提示する。
- ② 自然公園内での地熱開発が円滑に進むように、必要とされる技術を確立する。

(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。



◆ 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

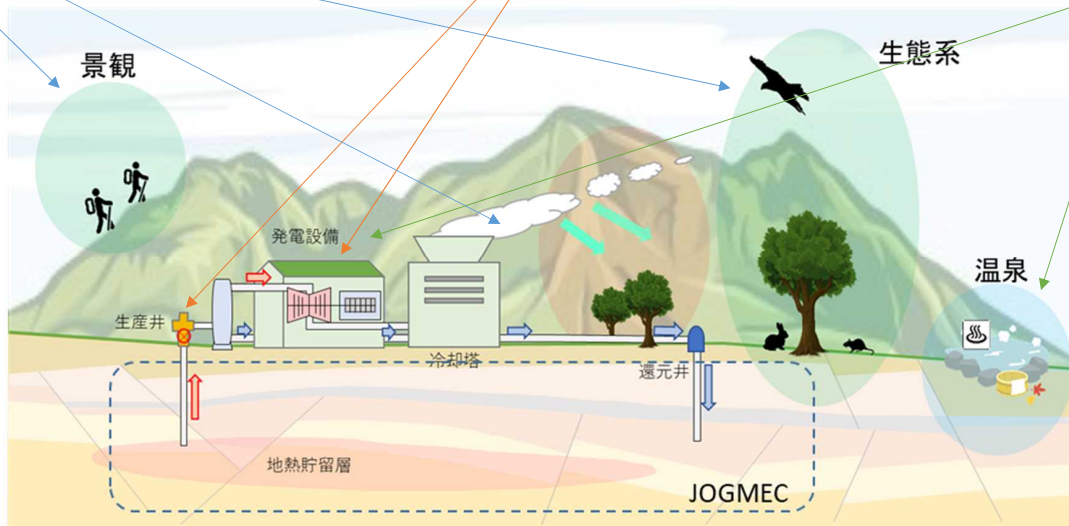
- 1.1) 優良事例形成の円滑化に資する環境保全対策技術に関する研究開発
- 1.2) 冷却塔排気に係る環境影響の調査・予測・評価の手法に関する研究開発

(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

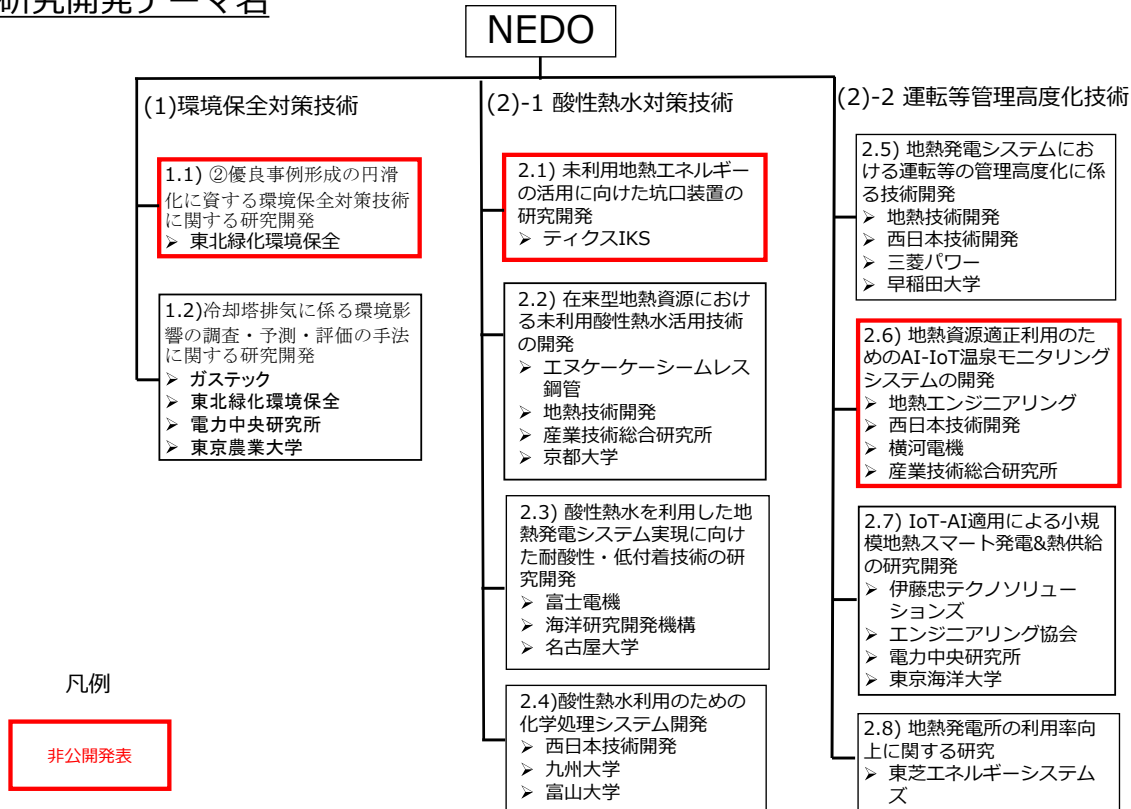


◆ 研究開発目標と根拠

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	1.1) <b>自然公園内での地熱開発</b> が円滑に進むように、必要とされる技術を確認する。 1.2) <b>環境アセスメント</b> 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。	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。
(2) 地熱エネルギーの高度利用化に係る技術開発	(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、 <b>pH3までの地熱井を利用可能</b> にする技術の確認する。 (2)-2 IoTやAI等のイノベーション技術を活用し、 <b>発電所のトラブル発生率を20%低減し、利用率を10%向上</b> させる。	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。

◆研究開発の実施体制 全体概要

研究開発テーマ名



◆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 <sup>注)</sup>	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
<b>NEDO負担額合計</b>	<b>670</b>	<b>778</b>	<b>713</b>	<b>30</b>	<b>2,190</b>

注)2021年度は契約延長分(2020年度予算の繰り越し)



◆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	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。 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。	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ーン参考集、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。 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。	◎          ◎	。

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部達成、×未達

◆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。	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。 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。 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。 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。	○          ○    ○    ○	

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部達成、×未達

◆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。	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。 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。 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。 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。	○  ○  ○  ○	

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部達成、×未達

◆知的財産等の取得、成果の普及

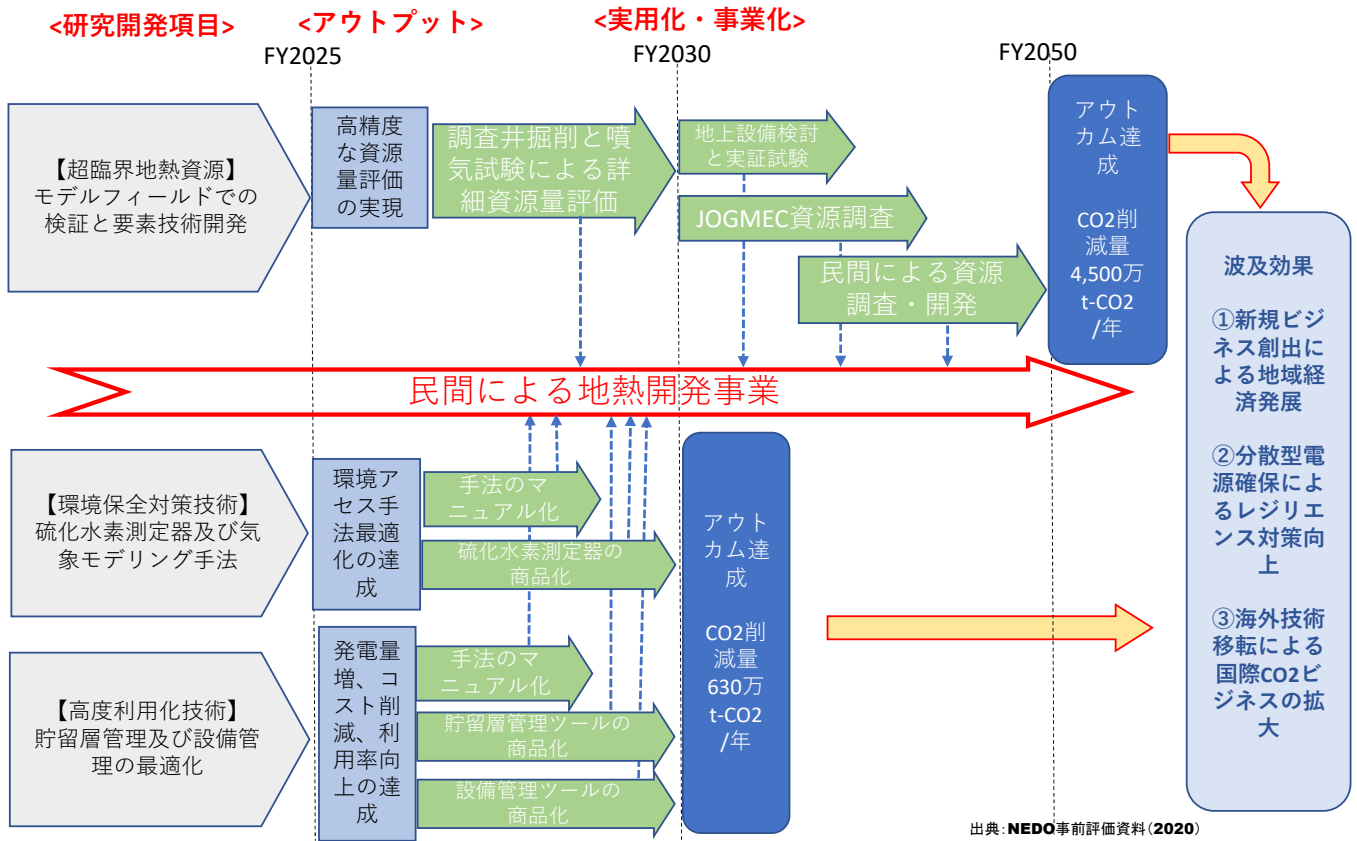
- 成果の普及については、NEDOは、技術情報流出に配慮しつつ、実用化・事業化を促進するため、情報発信を行うように指導。
- NEDO自身も、学会・シンポジウムでの講演、専門誌への寄稿等を行っている。2021年6月末時点で講演4件、専門誌への寄稿2件。

	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

◆ 実用化・事業化に向けた戦略



# 概要

	最終更新日	2021年10月13日	
プログラム名	エネルギーイノベーションプログラム		
プロジェクト名	地熱発電技術研究開発	プロジェクト番号	P13009
担当推進部/ PMおよび担当者	<b>【新エネルギー部】</b> PM：主任研究員/加藤 久遠（2017年4月～現在） 担当者：主査/長谷川 真美（2021年4月～現在） 主査/和田 圭介（2019年10月～現在） 主査/石川 一樹（2021年4月～現在） 主査/本田 洋仁（2021年7月～現在）		
0. 事業の概要	(1) 地熱資源の有効活用のための「環境保全対策や環境アセスメント円滑化に資する技術開発」、「地熱エネルギーの高度利用化に係る技術開発」等により、我が国の地熱発電の導入拡大を促進する。(委託及び共同研究 (NEDO 負担率 2/3)) (2) 事業期間：2013年度～2021年度 (9年間)		
I. 事業の位置 付け・必要性 について	<p><u>(1)政策上の位置づけ</u></p> <p>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。</p> <p>2012年には、再生可能エネルギーの固定価格買取制度が施行され、地熱では15MW未満では40円/kWh、15MW以上では26円/kWhという買取り価格が設定され、地熱開発事業者にとって、一定の採算性が確保されるに至った。</p> <p>2018年7月に「第5次エネルギー基本計画」が閣議決定され、同計画において地熱発電は、発電コストも低く、安定的に発電を行うことが可能なベースロード電源を担うエネルギー源と位置付けられている。エネルギーミックスにおいては、地熱発電の2030年度における導入見込量として最大で約155万kW（2017年度実績 51万kW）、発電電力量113億kWh（2017年度実績 24億kWh）の導入拡大が掲げられている。</p> <p>また、2015年10月には、環境省自然環境局から出された「国立・国定公園における地熱開発の取り扱い」の通知により、これまで開発が認められていない国立・国定公園第2種及び第3種特別地域での開発が条件付きで承認され、今後、地熱資源ポテンシャルが高い同エリアでの地熱開発が、積極的に推進されていくことが予想される。</p> <p><u>(2)NEDOが関与する意義</u></p> <p>NEDOは、1980年設立当初より地熱事業に携わっており、地熱資源の調査として「地熱開発促進調査」を実施した。これは全国の地熱資源が賦存されると推定される地域を対象として、約70地域で実施された（1980～2010年）。こうした当時のNEDO事業の成果が多くの事業者にも利用され、新規地熱発電所の立地に大いに貢献している。</p> <p>また、上記の地熱資源調査の他、技術開発事業においても、「地熱探査技術等検証調査」や「熱水利用発電プラント等開発」が実施された（1980～2003年）。これより、地熱探査技術、地熱井掘削技術、貯留層評価・貯留層管理技術、EGS技術、地上設備・発電システム技術等の研究開発により、地熱開発の導入・促進に貢献した。</p> <p>2012年の独法見直しにより、NEDO業務の多くがJOGMECへ移管されて以降、NEDOは、技術開発事業のうち、地熱発電利用技術、環境保全対策技術、次世代地熱発電技術（超臨界地熱発電技術）等を担当している。</p> <p>こうした中、2015年より「地熱発電の推進に関する研究会」（資源エネルギー庁）が開催され、エネルギー基本計画の2030年目標達成のための3つの柱（①新規開発地点の開拓、②事業環境の整備、③地域理解の促進）が提示された。このうち、「②事業環境の整備」の中に技術開発事業が含まれており、NEDOが果たすべき役割は大きく、その成果が期待されている。</p> <p>2013年度以降、地熱分野の研究開発は、JOGMECと役割分担して進められているところ、NEDOは研究開発機関としてノウハウを有し、JOGMEC（現行事業の支援を主とした業務）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となる。</p>		



	<p>(3)実施の効果</p> <p>2030年頃に、最大で約155万kWの発電容量、及び110億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620万トン-CO2/年である。</p> <p>また、これまでのバイナリー発電システム開発やIoT-AI技術等を適用した運転管理の高度利用化技術の成果等により、多くの温泉地等で中小規模地熱発電や熱利用が普及し、地域経済の活性化も見込まれる。これは、大規模地熱開発へも、地域との合意形成等に役立つ資料を提供し、その導入・拡大に資する。</p>
--	--

II. 研究開発マネジメントについて

事業の目標	<p>ポテンシャルの高い地域への地熱発電の導入拡大を目的とし、下記の日標を設定する。</p> <p>(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認するとともに、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>(2) 地熱エネルギーの高度利用化に係る技術（発電能力や利用率の回復・維持・向上のための技術、付加価値増大を実現する技術等）として、未利用地熱エネルギーを活用可能にする技術、並びに発電所の運転管理高度化に係る技術を確認する。具体的には、これまで未利用であった酸性熱水が噴出する地熱井を利用可能にする技術の確立、IoTやAI等のイノベーション技術を活用による発電所の利用率を10%向上させることを目指す。</p>											
事業の計画内容	主な実施事項	2013 fy	2014 fy	2015 fy	2016 fy	2017 fy	2018 fy	2019 fy	2020 fy	2021 fy		
	環境配慮型高機能地熱発電システムの機器開発	発電システムの高効率化										
	低温域の地熱資源有効活用のための小型バイナリー発電システムの開発	バイナリー発電システム										
		スケール対策、腐食対策										
		低沸点流体										
	発電所の環境保全対策技術等開発	硫化水素拡散予測技術										
		景観デザイン・温泉計測等						環境アセスメント手法開発				
発電所の運転管理高度化												
地熱発電の導入拡大に資する革新的技術開発				超臨界地熱発電技術								
地熱エネルギーの高度利用化に係る技術開発									未利用地熱活用			
									運転管理高度化技術			
開発予算 (会計・勘定別に事業費の実績額を記載) (単位：百万円)	会計・勘定	2013 fy	2014 fy	2015 fy	2016 fy	2017 fy	2018 fy	2019 fy	2020 fy	2021 fy	総額	
	一般会計	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	
	特別会計(需給)	182	619	1,349	1,415	1,138	670	778	713	30	6,893	
	開発成果促進財源	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	
	総予算額	182	619	1,349	1,415	1,138	670	778	713	30	6,893	
	内訳	(委託)	75	455	1,164	1,379	1,133	596	693	649	27	6,172
(共同研究)負担率2/3		107	164	184	35	5	-	-	-	-	495	
(助成)		-	-	-	-	-	74	85	64	3	226	
開発体制	経産省担当原課	資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部 新エネルギー課										

	<p>プロジェクト リーダー</p>	<p style="text-align: center;">—</p> <p><b>(1) 発電所の環境保全対策技術等開発</b>  <b>[研究目標]</b>  <b>環境アセスメントにおける各種調査最適化、期間短縮に資する技術の確立</b>  (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  ・東北緑化環境保全株式会社</p> <p>(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  ・東北緑化環境保全株式会社  ・一般財団法人電力中央研究所  ・学校法人東京農業大学 東京情報大学  ・株式会社ガステック</p> <p><b>(2) 地熱エネルギーの高度利用化に係る技術開発</b>  <b>[研究目標]</b>  <b>発電所の高度利用に向けた技術（発電能力や利用率の回復・維持・向上のための技術、付加価値増大を実現する技術）等の確立</b></p> <p><b>(2) -1 酸性熱水対策技術</b>  (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  ・株式会社ティクス I K S</p> <p>(2.2) 未利用地熱エネルギーの活用に向けた技術開発（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）  ・地熱技術開発株式会社  ・国立研究開発法人産業技術総合研究所  ・エヌケーケーシーMLS鋼管株式会社  ・国立大学法人京都大学</p> <p>(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  ・富士電機株式会社  ・国立研究開発法人海洋研究開発機構  ・国立大学法人東海国立大学機構</p> <p>(2.4) 酸性熱水利用のための化学処理システム開発  ・西日本技術開発株式会社  ・国立大学法人九州大学  ・国立大学法人富山大学</p> <p><b>(2) -2 IoT-AI 適用技術</b>  (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  ・地熱技術開発株式会社  ・西日本技術開発株式会社  ・三菱パワー株式会社  ・学校法人早稲田大学</p> <p>(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  ・国立研究開発法人産業技術総合研究所  ・横河電機株式会社  ・地熱エンジニアリング株式会社  ・西日本技術開発株式会社</p> <p>(2.7) IoT-AI 適用による小規模地熱スマート発電&amp;熱供給の研究開発  ・一般財団法人エンジニアリング協会  ・一般財団法人電力中央研究所  ・国立大学法人東京海洋大学  ・伊藤忠テクノソリューションズ株式会社</p>
--	------------------------	--

委託先（\*委託先が管理法人の場合は参加企業数及び参加企業名も記載）

		(2.8)地熱発電所の利用率向上に関する研究 ・東芝エネルギーシステムズ株式会社
情勢変化への対応	<p>2018年7月に閣議決定されたエネルギー基本計画においても地熱発電は、発電コストも低く、安定的に発電を行うことが可能なベースロード電源を担うエネルギー源として位置づけられており、重要なテーマであるとの認識のもと、本事業の事業期間をさらに3カ年延長の決定を行い、2018年度以降追加公募を実施した。なお、コロナ禍により計画通りの作業中止を余儀なくされ、最終的には、2021年度上旬まで延長した。</p> <p>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」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地下の超高温・超高压の状態（超臨界状態）にある水を利用する地熱発電（以下、超臨界地熱発電）が挙げられた。こうした政府の政策を受け、2017年度には、「超臨界地熱発電の実現可能性調査」が実施した。この案件は、次世代に向けた取り組みのため、2018年度以降は、地熱発電技術研究開発から独立させ、「超臨界地熱発電技術研究開発」というテーマで継続することとなった。</p> <p>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。これを受け、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。</p> <p>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。これを受け、NEDO事業の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。</p>	
中間評価結果への対応	2018 年度基本計画修正	
評価に関する事項	事前評価	2012 年度実施 担当部 新エネルギー部 2012 年度実施 NEDO POST3
	中間評価	2015 年度実施 担当部 新エネルギー部 2018 年度実施 担当部 新エネルギー部
	事後評価	2021 年度実施 担当部 新エネルギー部
Ⅲ. 研究開発成果について	<p><b>【地熱発電技術研究開発】</b></p> <p><b>1. 最終目標(2021年度)</b></p> <p>ポテンシャルの高い地域への地熱発電の導入拡大を目的とし、環境保全対策や環境アセスメント円滑化に資する取り組みを行うとともに、発電所の還元井延命化技術や未利用地熱エネルギーを活用可能にする技術を行う。なお、公募により研究開発実施者を選定後、目標の具体化等を行うこととする。</p> <p><b>(1) 発電所の環境保全対策技術等開発</b></p> <p>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開発を実施するとともに、定量的な知見に乏しい分野について、科学的知見を提示する。さらに、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><b>(2) 地熱エネルギーの高度利用化に係る技術開発</b></p> <p>発電所の高度利用に向けた技術（発電能力や利用率の回復・維持・向上のための技術、付加価値増大を実現する技術）等を確立する。</p> <p><b>2. 全体の成果(2021 年度)</b></p> <p><b>(1) 発電所の環境保全対策技術等開発</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 従来版エコラン・マニュアルの課題を洗い出して刷新した改訂版エコラン・マニュアルとして整備した。汎用性3Dアプリを開発し、改訂版エコランセットに仕上げた。</li> <li>➢ 高性能センサの新規開発により効率的に作業可能な測定機器開発の方向性を提示できた。硫化水素や着氷影響に対する環境配慮手順等を「ガイドライン（案）」として取り</li> </ul>	

まとめた。

## (2) 地熱エネルギーの高度利用化に係る技術開発

- ▶ 生産井の不安定化と系統除外問題をモデル化し、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。
- ▶ 耐酸性を有する樹脂材料をタービン材に高強度に密着させるレーザ接合技術を確立し、酸性熱水を模擬した腐食環境下にて、16 年相当の寿命を満足することを確認した。
- ▶ 地熱発電と温泉の共生のための A I - I o T システムの具体的な仕様を決定した。想定される温泉泉質の変動要因を 100%判別可能なシステムを実現した。
- ▶ 地熱向け予兆診断システムを開発し、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。

## 3. 個別テーマの成果

### (1) 発電所の環境保全対策技術等開発

(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

従来版エコラン・マニュアルの課題を洗い出し大幅刷新した改訂版エコラン・マニュアルとして整備した。新たな GIS 解析方法による地熱開発適地選定の手法を作り出し、事業者から評価された具体例を「ケーススタディ」として改訂版エコラン・マニュアルに掲載した。支援アプリの性能上の課題を解決した汎用性 3 D アプリを開発し、改訂版エコランセットに仕上げた。この改訂版エコランセットを環境省、および経産省にプレゼンし、好評を得た。

(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

高性能センサの新規開発では、より効率的に作業可能な測定機器の開発の方向性を提示できた。既存の小型連続測定器の精度向上では、最小検出感度 0.01ppm まで高められる見込みを得たとともに、実用化に向けた道筋を示せた。冷却塔排気の上昇高さは地上 200~300m 程度であることを確認できた。UAV を用いた植生指数による調査方法の手順、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 (案)」として取りまとめた。

### (2) 地熱エネルギーの高度利用化に係る技術開発

#### (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

常盛金用ヘッダー、および内面盛金用ヘッダー大小の導入を完了した。バルブ適用に最適と思われる盛金条件を決定した。テストピースに盛金を行い、硬度試験・曲げ試験・マクロ観察・化学成分分析を外部機関で実施した。通常盛金用ヘッダー及び内面盛金用ヘッダー(大・小)ともに、目標値を達成した。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し、溶接接合部の評価を実施し、目標値を達成した。内部を盛金した鍛造部品の溶接接合して試作バルブを完成させた。本開発で製作したバルブを実際の酸性環境井戸で評価するため方針を決定した。

(2.2) 未利用地熱エネルギーの活用に向けた技術開発 (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)

金属材料腐食速度予測技術、論文データベース、経済性評価モジュールを統合したプラントリスク評価システムを完了した。5 種類の金属材料に対し、複数の高温環境下において、腐食試験を予定通り実施し、露点腐食に係る腐食データを取得した。腐食試験データを基に、回帰分析により腐食速度予測式を確立した。葛根田にて暴露試験を実施した試験片の解析結果、実験室での性能評価試験結果を踏まえ、インヒビターの適用環境、ランニングコスト評価を完了した。オリフィス配管の局所的な減肉、ならびにエルボ一部前後に局所的な減肉が発生することを再現し、更に、絶対時間をシミュレーションに組み込めるよう、腐食・スケール付着双方の実験データ取り込みの技術を確立した。葛根田での実証試験条件を対象とし、開発した重金属シミュレーションを用いたモデル化を実施し、重金属腐食条件について明確にした。

(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

耐酸性を有する樹脂材料をタービン材に高強度に密着させるレーザ接合技術を確立した。本接合は酸性熱水を模擬した腐食環境下にて、16 年相当の寿命を満足することを確認した。タービンの一般的な運用 (4 年毎の定期点検で対応可能な SCC 対策の要素技術を確立した。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。タービンの一般的な運用（4 年毎の定期点検で対応可能なスケール対策の要素技術を確立した。タービン翼を模擬した計算モデルおよび回転試験法を確立し、タービン翼端から飛散する水滴量を推定する技術を確立した。腐食性凝縮水による腐食を防止でき、かつ、タービン効率が向上できる要素技術を確立した。

(2.4) 酸性熱水利用のための化学処理システム開発

腐食試験を行った結果、八丁原で腐食とスケール生成を共に抑制する条件として pH=4~5 を選定した。中和後のスケール生成を抑制するには、鉄イオンの反応抑制や pH のコントロールが有効であると評価した。溶射やシリカスケール、ナノバブルによるコーティング効果を確認する耐食試験の結果より、酸性熱水および NaOH 溶液への耐食効果が共に高い材質は、SUS304、Alloy825 であることが判明した。中和処理を行うことにより酸性井の稼働率を過去 2 年の平均で 87% から 96% に上げられる見込みで、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と評価した。

(2) -2 IoT-AI適用技術

(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

生産井の不安定化と系統除外問題をモデル化し、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。既設の地熱発電所の O&M の状況に関して要因を検討し蒸気生産量低下の発生メカニズムを分析し、坑井間の関係性の評価から対応案を提示した。定検サイクル最適化検討のための発電設備モデルおよびシミュレーション手法を確立し、坑内二相流動シミュレータの開発を行い、実際の坑井で発生する系統除外現象の解明を行った。深層畳み込みニューラルネットワーク・圧力波形予測・FFT 等による坑口圧力異常検知手法を開発して運転員に替わり、圧力急減という異常の予兆を検知する見込みを得た。

(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

地熱発電と温泉の共生のための AI-IoT システムの具体的な仕様を決定した。想定される温泉泉質の変動要因を 100% 判別可能なシステムを実現した。地熱発電が温泉へ影響を及ぼした場合に、それを検出可能な能力を有する装置を実現した。別府市所有温泉配管・施設を対象とした AI-IoT システムの構成、機能、性能等を策定した。温泉資源利活用モデル、データベース等を構築し、クラウド上へ組込可能にした。給湯システムの管理を半自動で行える AI-IoT システムを開発し、温泉資源の適正な供給に資するデータを提供可能にするとともに、温泉管理者の作業時間を現状に比して 20% 以上低減できる AI-IoT システムを開発した。温度差発電による年間 20kWh 以上の発電を実現した。

(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 か所の小規模地熱発電所の地熱流体輸送配管に IoT 機器を設置し、生産井の健全性評価を実施し、生産井の状態に起因した発電異常がないことを明らかにし、配管内におけるスケール成長の将来予測が可能であることを実証した。運営計画について簡便にシミュレーションする事業性評価支援ツールを開発し、発規模地熱発電所 2 地点に対し高い実用性、有用性があることを実証した。実証試験を実施した 2 発電所のデータに対して、開発した異常予兆検知ソフトを適用した結果、予兆検知可能なトラブル事象の件数は、実際に発生したトラブル事象の総件数の 20% 以上と試算した。また、蒸発器の異常診断を受けて修繕を早期に実施することで、暦日利用率の 10% 以上の向上が見込まれることを明らかにした。

(2.8) 地熱発電所の利用率向上に関する研究

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。スケール付着抑制効果の高い薬剤を選定し、A 発電所にて実蒸気を使った実証試験を行った。薬液噴霧によるスケール付着抑制効果を分析した結果、20% 以上のスケール抑制効果を確認した。

2018~2021 年度（事後評価）	
投稿論文	査読付き：5 件 その他：2 件
特 許	出願済：5 件（うち国際出願 1 件） 登録：1 件 ※特記事項は特になし

	その他の外部発表 (プレス発表等)	研究発表・講演 : 59 件 新聞・雑誌等への掲載 : 9 件 展示会への出展等 : 8 件
IV. 実用化・事業化の見通しについて	<p>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では、ガイドライン(案)の認知度を高める必要がある。高性能センサの新規開発については、実用化に向けて研究開発の継続する必要がある。そのため、補助金等を活用して、実証研究を検討する。また、積極的に学術誌・イベント等の外部発表を実施して、認知向上を図る。</p> <p>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では、試作バルブを完成したが、当初目標としていた製作費に対して大幅にコストがかかる結果となった。今後の事業化に向けて、更なるコスト削減を図るため、施工時間や加工時間の短縮、および盛金厚さの見直し等の課題に取り組んでいく。</p> <p>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では、開発したAI-IoT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。さらなる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。</p> <p>IoT-AI適用による小規模地熱スマート発電&amp;熱供給の研究開発では、開発成果に基づいて、多数の発電事業者、メーカーの計測データや処理・解析知見を知識データベース化することにより、国内の小規模地熱全体の効率・利用率の改善を目指す。</p>	
V. 基本計画に関する事項	作成時期	2013年4月 作成
	変更履歴	2015年9月 研究開発項目③に「高度利用化に向けた技術」を追加し改定 2017年2月 研究開発項目に「超臨界地熱発電の熱抽出に関する実現可能性調査等」を追加し改定 2018年2月 研究開発の実施期間の延長及び研究開発項目の拡充等のため改訂 2018年4月 PM変更のため改定 2019年2月 研究開発目的の修正および研究開発の進捗把握・運営管理に「技術開発ロードマップの策定」を追加し改定 2020年12月 研究開発期間を1年間延長のため改定