

「地熱発電導入拡大研究開発」基本計画

新エネルギー部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

① 政策的な重要性

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の議論においては、地熱発電の2030年度における導入見込量として最大で約1.55GW（2017年度実績510MW）、発電電力量1.13TWh（2017年度実績2.4TWh）の導入拡大が掲げられている。一方、同基本計画では、2050年に向けた取組みについても言及されており、再生可能エネルギーなど、あらゆる選択肢を追求する「エネルギー転換・脱炭素化を目指した全方位での野心的な複線シナリオ」を採用することが掲げられている。

さらに、2050年を見据えた方針として2020年1月に策定された「革新的環境イノベーション戦略（内閣府）」においては、温室効果ガス排出量を削減するポテンシャル・インパクトが大きい有望な革新的技術として、エネルギー供給を含む5分野からなる16の技術課題と39テーマが選定され、その中に一つのテーマとして超臨界地熱発電の技術開発が特定され、その課題解決に向けた取り組みが期待されている。

② 我が国の状況

2011年の東日本大震災以降、再生可能エネルギー導入拡大が望まれる中、世界第3位となる地熱資源ポテンシャルを有する我が国において、地熱発電に大きな期待がかかっている。また、地熱は、太陽光や風力と異なり、安定した出力が得られるため、ベースロード電源として位置づけられるとともに、大規模開発は競争電源となるとの評価も得ている。

近年の地熱開発では、山葵沢・秋ノ宮地域（秋田県）において、2019年5月に10MW以上の大規模地熱発電として23年ぶりに運転（出力46MW）を開始するとともに、バイナリー発電では、既存発電所の未利用熱水を利用した滝上バイナリー発電所や山川バイナリー発電所が運転を開始している。さらに、安比地域（岩手県）や小安地域（秋田県）等で大規模の新規地熱開発が進捗している。

しかしながら、日本地熱協会（第47回調達価格等算定委員会資料）によると、多くの大規模案件は未だ調査・開発途上にあり、これらの公表出力は合計114MWと報告されており、2030年度の導入目標を達成するためには、更なる案件が必要である。従って、従来型地熱発電の更なる導入促進に向けその支援策として、新規発電所の立地促進に資する技術開発を実施することが重要である。また、既存の地熱発電所

の発電量低下も大きな課題となっており、既存発電所の発電能力の回復・維持・向上に資する技術開発にも取り組むことが必要である。

こうした状況の中、エネルギーミックスにおける導入目標達成に向け、NEDOでは、2013年度から2020年度にかけて「新規地熱発電所の立地促進」及び「既存地熱発電所の発電能力の回復・維持・向上」に資する技術開発に取り組み、主要なテーマ「環境保全対策技術」、「酸性熱水対策技術」、「IoT-AI 適用技術」等を実施し、成果を挙げてきた（例えば、環境アセスメント手続きの迅速化に係る硫化水素拡散予測数値モデルの開発に成功するなど）

一方、NEDOにおける超臨界地熱発電に係る研究開発においても、エネルギー・環境新技術先導プログラムである「島弧日本のテラワットエネルギー創成先導研究（2014～2015年度）、並びに、「超臨界地熱開発実現のための革新的掘削・仕上げ技術の創出（2015～2017年度）と合わせて、2050年頃の普及を目指すロードマップ（エネルギー・環境イノベーション戦略）の第Ⅰ及び第Ⅱフェーズにあたる「超臨界地熱発電の実現可能性調査、並びに試掘に向けた詳細検討」（2017～2020年度）」が実施され、超臨界地熱資源量の評価、超高温下で使用可能な資機材（特に、ケーシングやセメント）の検討、発電コストの試算等で有意義な知見が得られている。

③ 世界の取組状況

再生可能エネルギーの拡大が推進されている中、米国や欧州においても国家レベルで技術開発や導入拡大に向けた取組が実施されている。地熱発電についても、地熱資源国である米国、イタリア、ニュージーランドの先進国の他、フィリピン、インドネシア、メキシコ、アイスランド、トルコ、ケニア等の開発途上国での開発も目覚ましい勢いで進んでいる。2020年現在では、世界の地熱総発電容量は、16.0GWであり、近年、年間約270MWずつ増大している。

こうした中、米国では、DOEプログラムの一環として、米国版2050年地熱開発ビジョンが2019年に取りまとめられ、現在の発電設備容量3.8GWを2050年には、シナリオ別に6GW（基本シナリオ）、13GW（規制緩和シナリオ）並びに60GW（技術開発シナリオ）へ引き上げる構想が提示されている。

地熱技術開発の分野においては、これまで同様にEGS（Enhanced Geothermal System）を中心として、掘削、AI適用技術、地域共生プログラム、CO₂対策とのコラボレーション等のプロジェクトが進行している。EGS技術では、米国では高温岩体事業（例えばFORGE）が開発地域周辺の高温資源を対象に実証試験を含めて進められている。また、高温岩体フィールドでの水圧破碎作業で特に課題となる誘発地震発生に対してもその抑制技術の取り組みも着手されている（例えば、DESTRESS）。ここでは、数値シミュレーションを適用し、誘発地震数減少やマグニチュードの低減が実証された。

統合的なEGSとしては、アイスランドにおいて、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。

さらに、従来の開発深度よりも深部の高温領域をターゲットとすることで、生産量を増大しようとする試みがいくつかの国で着手されつつある。この発端には、我が国で、1990年代後半に、岩手県葛根田地域で実施された「NEDO地熱探査技術等検証調査/深部地熱資源調査」があり、同調査において深度4,000m級の調査井が計画・実施されたのを受け、2000年代以降いくつかの国で開始された。

特に成果を挙げているのは、アイスランドの大深度高温域への掘削プロジェクト（IDDP：Iceland Deep Drilling Project）である。ここでは、2008～2012年にかけて、IDDP-1号井（Krafla地域）を掘削し、噴出試験にも成功し、坑口状態で、温度450℃、圧力14MPa、出力30MW相当の過熱蒸気の噴出が確認された。その後、2016～2017年にかけて、IDDP-2号井（Reykjanes地域）を掘削し（深度4,650m）、坑底温度427℃及び圧力34MPaにより、地熱流体が超臨界状態で存在しているであろうとの知見を得た。2020年以降に噴出試験を計画している他、次の掘削計画（IDDP-3）もある。

現在は、国際エネルギー機関（IEA）においても、地熱プログラムの一つのテーマ（Deep Roots of Volcanic Geothermal Systems）として取り上げられ、アイスランド以外でも、イタリア、米国、メキシコ及びニュージーランドといった地熱開発先進国で同様のプロジェクトが始まっている。

一方、次世代型のプロジェクトとして、CO₂適用技術では、地熱蒸気中のCO₂ガス回収や地熱エネルギーを利用した大気中のCO₂回収（DAC）の技術開発プログラム（GECO）や、地熱フィールドにおいて、熱効率が低いCO₂を媒体とした発電システム（クローズドやオープンシステム）の構築（米国）等が検討されており、それぞれ期待される。

④ 本事業のねらい

2019年度に地熱技術戦略策定のために、国内外の地熱開発・地熱技術開発動向を調査し、技術開発シナリオ策定の検討がなされた。ここで、地熱発電の導入拡大として2030年及び2050年目標達成のために必要な技術開発ロードマップが議論された。その知見を下記に示す。

- 現状の課題を考慮し、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としては、資源量増大、発電原価低減化、そして、環境・地域共生の3つに集約される。さらに、長期的には、次世代へ向けた取り組み（CO₂対策、水素製造等）や我が国で培った技術の海外展開も課題となる。
- 資源量増大は、固定価格買取制度開始以降増加した地熱発電設備容量は約80MWに留まり2030年導入目標の半分にも至っていないという喫緊の課題

がある。これに対して、地熱資源量が多く賦存する国立・国定公園特別地域の開発のより早期実現（約 5GW）や、より深部に存在すると想定される超臨界地熱資源開発（約 11GW）が重要課題と位置づけられる。

- ▶ 発電原価低減化は、第 5 次エネルギー基本計画に提示されている「再エネの主力電源化」とこれを実現するための「発電原価低減化」に同調するものであり、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とともに、利用率低下の原因は地下に起因することが過半数を占めると判明している。発電原価低減により、対象事業の採算性が向上し、開発可能資源は約 3 割増大すると試算された。
- ▶ 環境・地域共生に関し、地熱調査やその開発にあたり、ステークホルダーとの合意形成を獲得することに時間を要する（或いは、撤退を余儀なくされる）ケースが多く、重要課題の一つとなっている。地域共生に資するツール（ハードやソフト等）の開発の他、すでに、科学・技術以外の専門性（経済学や法律等）を含めた議論が進められつつある中、こうしたアプローチを積極的に取り入れる必要がある。合わせて、環境保全対策として、これまで実施してきた環境アセスメントに資する手法開発についてもさらに取り組んでいく必要がある。

以上の検討結果を受け、本事業では、国立・国定公園特別地域での地熱開発を含め、地熱発電の導入拡大を促進することを目的とし、2030 年のエネルギーミックス実現に向けて、我が国の地熱発電設備容量最大 1.55GW の達成を図るとともに、前述のとおり、次世代のイノベーション技術として注目される超臨界地熱資源を対象とした地熱資源評価に係る研究開発を実施し、より一層の地熱発電の導入拡大を促進する。

次世代型では、在来型よりも深部に存在するといわれている超臨界状態（またはそれに準ずる状態）の水を利用することで、地熱発電容量のさらなる増大を目指すとともに、在来型地熱資源開発促進のための技術開発としても、探査、掘削や貯留層評価等において波及効果も期待される。

併せて、超臨界地熱発電では、生産井 1 本あたりの生産能力が従来の数倍以上と高い。これゆえ、従来と比べ単位 kW あたりの敷地改変面積を低減することが可能となるため、環境への負荷が低いというメリットもある。地熱開発は自然度の高い地域（自然公園特別地域含む）で行われることが多く、当該技術は環境面での価値も高く期待できる。

（2）研究開発の目標

①アウトプット目標

上述の検討を踏まえ、NEDO 事業では、JOGMEC による資源開発分野に関する技術開発事業と連携することで効率的な技術開発の推進が期待され、具体

的な研究開発項目とそれぞれのアウトプット目標として下記を選定した。

a) 超臨界地熱資源技術開発

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（合計で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。

b) 環境保全対策技術開発

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。

c) 地熱発電高度利用化技術開発

これまで適用されていないIoTやAI技術等を利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%）。

②アウトカム目標

2030年頃に、地熱発電所の平均利用率並びに発電原価を、現状よりそれぞれ20%pt向上並びに低減化し、最大で約1.55GWの発電容量、および11TWhの発電量の達成が見込まれる。これによるCO₂削減量は、約630万トン-CO₂/年である。

さらに、2040～2050年頃に、超臨界地熱資源を活用した地熱発電所(100MW級を5カ所)の普及を目指す。推定資源量は、11GWと試算され、これによるCO₂削減量は、約4,500万トン-CO₂/年である。

③アウトカム目標達成に向けた取組

JOGMECによる地熱調査助成金事業、地熱探査出資事業及び技術開発プログラムと連携させることにより、地熱開発事業者の参入を促進させるような情報提供を行い、社会実装をより早期に実現できるよう取り組む。また、環境省や温泉事業者団体等との情報交換も積極的に進めていく。

(3) 研究開発の内容

上記目標を達成するために、別紙1の研究開発計画及び別紙2の研究開発スケジュールに基づき研究開発を実施する。実施形態（委託、助成等）については、下記のとおりとする。

①超臨界地熱資源技術開発

[委託]

実用化には長時間を要し、産学官で取組むリスクが高い技術の開発に該当し、委託として実施する。

地表調査（地質、地化学、物理探査等）及び地熱構造調査試錐を行うことで、地下 5km 以浅に超臨界水領域の（或いはそれに準じる）地熱資源の賦存を推定し、その資源量を評価するとともに、次フェーズで計画される調査井掘削および噴気試験のそれぞれの仕様を提案する。併せて、深部地熱資源探査手法を実施し、地熱資源開発のリスク低減化を図る。

② 環境保全対策技術開発

[委託]

安全性基準の開発に該当し、委託として実施する。

環境保全対策技術開発として、環境アセスメントに資する手法開発を実施する。これにより、国立・国定公園内等での地熱開発において、開発リードタイムを短縮し、早期に新規地熱開発を実施することで地熱発電量を引き上げる。

③ 地熱発電高度利用化技術開発

[委託、または助成（NEDO負担率：1/2～2/3）]

産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ちより協調して実施するものであり、委託事業として実施するとともに、企業単独で実用化に近いフェーズの開発内容については助成事業として扱う。

生産量増大、コスト削減、並びに利用率向上に資する技術開発として、地熱発電設備や地熱貯留層のそれぞれの管理を効率化・最適化する手法開発を実施する。これにより、発電原価低減化を図ることで、開発可能発電量並びに既存発電設備の発電量をそれぞれ引き上げる。

2. 研究開発の実施方式

(1) 研究開発の実施体制

プロジェクトマネージャー（以下「PMgr」という）に、NEDO新エネルギー一部近藤 洋裕主任を任命して、プロジェクトの進行全体を企画・管理や、そのプロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させる。

本研究開発は、NEDOが単独ないし複数の原則本邦の企業、大学等の研究機関（原則、本邦の企業等で日本国内に研究開発拠点を有していること。なお、国外の企業等（大学、研究機関を含む）の特別の研究開発能力、研究施設等の活用または国際標準獲得の観点から国外企業等との連携が必要な部分を、国外企業等との連携により実施することができる。）から公募によって研究開発実施者を選定後、委託または助成して実施する。

(2) 研究開発の運営管理

NEDOは、研究開発全体の管理・執行に責任を負い、研究開発の進捗のほか、外部環境の変化等を適時に把握し、必要な措置を講じるものとする。運営管理にあたっては、効率的かつ効果的な方法を取り入れることとし、次に掲げる事項を実施する。

① 研究開発の進捗把握・管理

PMgr は、経済産業省及び研究開発実施者と緊密に連携し、研究開発の進捗状況を把握する。また、外部有識者で構成する技術検討会を組織し、定期的に技術的評価を受け、目標達成の見通しを常に把握することに努める。

② 技術分野における動向の把握・分析

PMgr は、プロジェクトで取り組む技術分野について、内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について調査し、技術の普及方策を分析、検討する。なお、調査等を効率的に実施する観点から委託事業として実施する。

(3) その他

特になし。

3. 研究開発の実施期間

本研究開発の期間は、2021 年度から 2025 年度までの 5 年間とする。

4. 評価に関する事項

NEDO は技術評価実施規定に基づき、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、プロジェクト評価を実施する。評価の時期は、中間評価を 2023 年度、並びに、終了時評価を 2026 年度とし、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

5. その他の重要事項

(1) 研究開発成果の取扱い

① 成果の普及

本研究開発で得られた研究成果については、NEDO、委託先とも普及に努めるものとする。

② 標準化施策等との連携

得られた研究開発成果については、知的基盤整備事業との連携を図ることとし、データベースへのデータ提供を積極的におこなう。

③ 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。

④知財マネジメントに係る運用

「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）。

⑤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。

(2)「プロジェクト基本計画」の見直し

PMgrは、当該研究開発の進捗状況及びその評価結果、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向、研究開発費の確保状況等、プロジェクト内外の情勢変化を総合的に勘案し、必要に応じて目標達成に向けた改善策を検討し、達成目標、実施期間、研究開発体制等、プロジェクト基本計画を見直す等の対応を行う。

(3) 根拠法

本プロジェクトは、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1号イ及び第3号及び第9号に基づき実施する。

6. 基本計画の改訂履歴

- (1) 2021年2月、制定。
- (2) 2022年4月25日、改訂。プロジェクトマネージャー変更のため。
- (3) 2024年2月、改訂。プロジェクトマネージャー変更、及び、超臨界地熱資源技術開発のステージゲート審査廃止。その他、誤字脱字等修正。

(別紙1) 研究開発計画

研究開発項目①「超臨界地熱資源技術開発」

1. 研究開発の必要性

地熱発電導入拡大の課題の一つに、地熱資源量増大が挙げられる。近年、これまで開発してきた深度よりも深いレベルから熱量が高い地熱蒸気を採取し、発電電力を向上させるという技術開発が複数の国々で開始されており、成果が出ている。我が国においても、NEDO超臨界地熱発電技術研究開発（2018～2020年度）としてプロジェクトを実施し、超臨界地熱資源が賦存する地域やその資源量ポテンシャルが概略把握された。今後、同資源賦存可能性の高い地域での調査井掘削・噴気試験による具体的な資源量評価が必要となるが、その前段におけるモデルフィールドを想定した地域での資源量評価（精査）が実施されることが喫緊の課題となる。併せて、同開発リスクを低減するための要素技術開発（探査手法）も必要となる。

2. 研究開発の具体的内容

- (i) 地表調査（地質、地化学、物理探査等）及び地熱構造調査試錐を行うことで、地下5km以浅に超臨界水領域（或いはそれに準じる）地熱資源の賦存を推定し、その資源量を評価するとともに、想定される地下環境で掘削可能な資材・機材を選定し、安全面・環境面にも対応した目標達成可能な調査井及び噴気試験仕様を提案する。併せて、経済性について再評価を実施する。
- (ii) 地熱資源探査手法として期待される地震波モニタリング手法、並びにより高温環境に耐えうる測定機器を開発する。

3. 達成目標

(1) 中間目標

資源量評価に必要な概念モデルを構築するとともに、数値モデルに必要な前提条件を提示する。

(2) 最終目標

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（合計で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。

研究開発項目②「環境保全対策技術開発」

1. 研究開発の必要性

我が国における地熱資源量は、国立・国定公園特別地域にその半分以上が賦存すると推定されており、昨今、地熱開発を促進するために、同特別地域第1～3種に該当する区域での開発が条件付き（優良事例への対応等）で許可された。これにより、全国的に当該区域での地熱調査が開始されているが、ステークホルダーとの合意形成に時間を要し、開発スケジュール遅延の発生という課題がある。その一つの解決策として、環境保全対策技術の向上・強化が指摘されており、過去NEDO事業においても（例えば、地熱発電技術研究開発（2013～2020年度）、環境アセスメントに資する手法開発に着手し、一定の成果が挙げられている。今般、環境アセスメントにおいて、常に問題視されている大気質（特に硫化水素拡散について）をテーマに、環境問題の課題解決（安全基準策定等）へ向けた手法開発に取り組む。

2. 研究開発の具体的内容

環境アセスメントに資する手法開発として、国立・国定公園特別地域内での地熱開発が円滑に進むよう、環境アセスメントにおける各種（例えば、大気質等）の調査・予測・評価において、それぞれの手法開発、具体的にはデータの質・量を大幅に向上させ、予測・評価の精度を引き上げることに資する硫化水素連続モニタリング装置開発、並びに、気象観測を代替し、調査期間を大幅に短縮させるための気象モデル手法開発を実施し、環境保全対策技術の向上を図る。

3. 達成目標

(1) 中間目標

最終目標達成の準備として、概念設計を完了し、実証試験の詳細計画を提示する。

(2) 最終目標

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。

研究開発項目③「地熱発電高度利用化技術開発」

1. 研究開発の必要性

発電原価低減化は、再エネの共通課題として位置づけられる。発電原価は、総括原価を総発電量で除した値であり、地熱の場合、発電原価は資源開発の特性を強く受けるため、地熱資源の質・量に依存するという避けられない特徴がある。しかしながら、総発電量を上げるとともに総括原価を削減することは技術的に可能であり、その技術課題として昨今、様々な事業分野・領域で活用され始めているIoT-AIを適用することで、発電量増大、コスト削減、あるいは利用率向上を図ることが期待されている。

既に、「地熱発電技術研究開発（2018～2020年度）並びに超臨界地熱発電技術研究開発（2018～2020年度）」の各プロジェクトにおいて、同技術開発についての事前検討が実施された。設備利用率の低下要因は、地下に原因があることが多く、その課題解決のテーマを追加する必要がある。発電所～蒸気設備～坑井～地熱貯留層の各データを連成させることにより、故障予兆の把握や操業最適化を図り、利用率向上を実現することを目的とする。

2. 研究開発の具体的内容

生産量増大、コスト削減、並びに利用率向上に資する技術開発として、地熱発電設備や地熱貯留層のそれぞれの管理を効率化・最適化する手法開発を実施する。

涵養水の移動経路や貯留層の温度・圧力の影響、並びに、振動（地震）を、リアルタイムで時空間的にモニタリングする技術を開発する。要素技術としては、高温用光ファイバーのマルチセンサー化と長寿命化の開発、モニタリング結果を活用した涵養水の流路、流動状態の評価技術（シミュレーション技術）の開発、貯留層特性を把握する計測技術の開発等を行う。

さらに、発電・蒸気設備の監視技術としては、国産ドローンによる自動航行監視、振動や異音を検知するマルチセンサー技術を開発する。

3. 達成目標

(1) 中間目標

最終目標達成の準備として、概念設計を完了し、実証試験の詳細計画を提示する。

(2) 最終目標

これまで適用されていないIoTやAI技術等を利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%）。

(別紙2) 研究開発スケジュール

研究開発項目	FY21	FY22	FY23	FY24	FY25
超臨界地熱資源 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				
環境保全対策技 術	硫化水素連続モニタリング装置開発				
	気象モデリング手法開発				
高度利用化技術	貯留層管理手法開発				
	発電設備管理手法開発				