

「超臨界地熱発電技術研究開発」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

2014年（平成26年）4月に「エネルギー基本計画」が閣議決定され、エネルギーミックスの議論において、地熱発電の2030年度（平成42年）における導入見込量として最大で約155万kW（2012年度実績 53万kW）、発電電力量113億kWh（2012年度実績 26億kWh）の導入拡大が掲げられている。

これに加え、2016年（平成28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（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次世代地熱発電技術が位置づけられた。その具体例として超臨界地熱発電の技術開発が特定され、2050年頃の普及を目指すロードマップが策定されている。

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も注目を集めている。

現状の地熱開発でも山葵沢・秋ノ宮地域（秋田県）や安比地域（岩手県）等で大型の新規地熱開発が進捗している。またバイナリー発電では、メディポリス指宿発電所、菅原バイナリー発電所や滝上バイナリー発電所等が運転を開始している。

しかしながら、「地熱発電の推進に関する研究会 平成28年度報告書（経済産業省）」によると、平成28年度末時点において、初期調査から開発段階にある地熱開発案件すべてを含めても出力規模が約35万kWであり、平成42年度の導入目標を達成するためには、更なる案件（約60万kW）が必要と報告されている。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、平成25年度から平成29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、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の成果が上がっている。

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（平成 26～27 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（平成 27～29 年度）」と合わせて、前述の 2050 年頃の普及を目指すロードマップの初めのステップにあたる「超臨界地熱発電の実現可能性調査（平成 29 年度）」が実施され、一定の成果が挙げられている。

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、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。

こうした中、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 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 3 万 kW 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。2018 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。

④ 本事業のねらい

本事業は、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発電技術の研究開発を実施し、より一層の地熱発電の導入拡大を促進することを目的とする。

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。

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

平成 29 年度実施された「実現可能性調査」において、超臨界地熱水の状態把握、当該貯留層からの熱抽出の検討、人工貯留層造成の検討、高温環境で使用可能な機材・資材の検討、経済性評価等に関する調査がそれぞれ実施され、以下の知見を得た。

- アイスランドでは、超臨界地熱資源をターゲットとして調査井が 2 本掘削され、1 本あたり数万 kW 規模の出力が得られることが確認された。
- 数値モデルから、一定の前提条件を与えることにより、上記結果と同様の出力が得られることを確認した。
- 岩石物性試験の結果、超臨界条件においても亀裂の生成が確認され、その結果を用いたモデリングから亀裂の進展について検討がなされた。
- 掘削用資材として、ケーシング材では SiC 製の特性を調査するとともに、セメント材ではアルミナセメントの基礎試験を行った。
- 経済性評価では、一定の前提条件を与えた結果、採算性は確保できることが示された。

上述の成果を受け、同調査で指摘された課題についての継続的な調査及び先行しているアイスランドの事例をさらに調査するとともに、我が国で超臨界地熱資源存在可能性が高いと想定される複数地域での詳細な調査による資源量の評価や複数モデルの提示等のほか、調査井掘削に必要な技術課題の整理と、具体的な調査井に必要な仕様（安全・環境対応等を含む）の提案を行う。併せて、同調査井に必要な要素技術の研究開発を実施する。具体的には以下のとおり。

- （i）地表調査（地質、地化学、物理探査等）を行うことで、地下 5km 以浅に比較的若い年代のマグマが定置した箇所を特定する。
- （ii）約 4,000～5,000m 及び温度 500℃の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仕様を提案する。
- （iii）掘削に必要な酸性環境かつ高温（500℃）に耐えうるケーシング材並びにセメント材を開発する。併せて、機器・材料の開発として、坑井および発電システムについて検討するとともに、それらの経済性を調査する。
- （iv）超臨界地熱貯留層のモデリング技術手法開発として、熱輸送・化学反応・岩石物性を扱う貯留層シミュレータを開発するとともに、人工貯留層造成

に関する基礎実験・モデリングの手法開発を実施する。

②アウトカム目標

2050 年頃に、超臨界地熱資源を活用した地熱発電所(10 万 kW 級)の普及 (1 か所以上) を目指す。これによる CO₂削減量は、約 40 万トン-CO₂/年である。

③アウトカム目標達成に向けた取組

NEDOによる調査井掘削に至った場合には、有望地の探査並びに調査井掘削については、JOGMECによる地熱調査助成金事業や地熱探査出資事業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、自然公園特別地域が開発対象地域になる場合を想定し、環境保全対策技術の研究開発にも同時並行して進め(NEDO地熱発電技術研究開発)、その成果に基づき、環境省との情報交換を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、以下の研究開発項目について、別紙1の研究開発計画及び別添の研究開発スケジュールに基づき研究開発を実施する。なお、本研究開発項目は、実用化まで長期間を要するハイリスクな「基盤的技術」に対して、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。

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「PM」という)に、NEDO新エネルギー部加藤久遠主任研究員を任命して、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

PM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

PM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標準化施策等との連携

地熱発電技術分野に関わりのある、国際標準化機関やフォーラムの活動概要、これらの機関における規格、ガイドライン等の検討・策定状況及びその概要、主なプレイヤーの参加状況及び日本のポジション等について調査等を行う。

④研究開発テーマの評価

研究開発を効率的に推進するため、「(別紙 1)研究開発計画 2. 研究開発の具体的内容(1)、(2)及び(3)」を対象として、ステージゲート方式を適用する。ステージゲート審査を実施するにあたり、PMは、外部有識者による審査を活用し、平成 32 年度以降の研究開発テーマの継続是非を平成 32 年 3 月までに決定する。

(3) その他

本プロジェクトは、非連続ナショナルプロジェクトとして取り扱う。

3. 研究開発の実施期間

本研究開発の期間は、平成 30 年度から平成 32 年度までの 3 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、事後評価を平成 33 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。

③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）。

④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

PM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号イに基づき実施する。

6. 基本計画の改訂履歴

（1）平成30年5月、制定。

(別紙 1) 研究開発計画

研究開発項目「超臨界地熱発電技術研究開発」

1. 研究開発の必要性

超臨界地熱発電は、2016 年（平成 28 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（内閣府）」において、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位置づけられ、2050 年頃の普及を目指すロードマップが策定されている。

本プロジェクトでは、当該ロードマップの初めのステップにあたる「超臨界地熱発電の実現可能性調査（平成 29 年度）」を受け、指摘された課題について調査を継続するとともに調査井掘削実現に向けた技術開発を実施する。

2. 研究開発の具体的内容

(1) 超臨界地熱資源の評価と調査井仕様の詳細設計

- ① 我が国で超臨界地熱資源の存在可能性が高いと想定される複数地域で地表調査を実施し、当該地域の超臨界地熱資源の資源量評価を実施する。併せて、超臨界地熱資源の探査手法の開発を行う。
- ② 国内外の掘削トラブル事例を精査し、暴噴リスクへの対策を含む超臨界地熱資源の掘削に必要な安全衛生・環境保全対策の手法を開発する。
- ③ アイスランド・プロジェクト（IDDP）での掘削工事を精査し、①での評価を踏まえ、その貯留層環境下に適用する調査井に必要な仕様（工法、工程、費用を含む経済性評価等）を提案する。

(2) 調査井の資材（ケーシング材及びセメント材）等の開発

- ① 経済性のある酸性環境かつ高温（400～500℃）に耐えうるケーシング材並びにセメント材の開発方針を提案し、評価する。
- ② 機器・材料の開発として、坑井および発電システムについて検討するとともに、それらの経済性を調査する。特に、坑井に関しては、生産井仕様と調査井仕様をそれぞれ検討する。また、発電システムについては、技術課題となる蒸気清浄化対策や腐食対策について最適なシステムを提案する。

(3) 超臨界地熱貯留層のモデリング技術手法開発

- ① 人工貯留層造成のためのモデリング手法開発として、透水性不十分となる貯留層に遭遇する場合を想定し、水圧破碎等により人工的に貯留層を造成するためのより実フィールドに近いモデリング技術を開発し、リスク評価（シェールガスや高温岩体の事例調査等）も含め現場適用のシナリオを提案する。併せ

て、室内実験により、基礎データの取得や新たな岩盤の破碎手法の開発も実施する。

- ② 国内事例に基づき、超臨界地熱資源システムの詳細検討に基づき、同貯留層のモデリング技術の手法開発を実施する。ここでは、熱・水・化学・物性を考慮した連成シミュレータの開発も併せて行う。

(4) 上記(1)～(3)以外で超臨界地熱資源への調査井掘削に資する革新的技術開発

3. 達成目標

上述の研究開発内容に対する具体的な達成目標は以下のとおりである。なお、「2. 研究開発の内容」(1)から(3)の各テーマについては、2か年の終了時にステージゲート評価を実施する。

(1) 超臨界地熱資源の評価と調査井に必要な仕様の詳細設計

1) ステージゲート時目標

- ① 我が国の火山地帯においてモデルフィールドとして、1地域あたり出力10万kW規模の発電能力が推定されることを提示する。

2) 最終目標

- ① 地表調査(地質、地化学、物理探査等)を行うことで、地下5km以浅に比較的若い年代のマグマが定置した箇所を特定し、超臨界地熱資源量の規模を具体的に評価する(1地域あたり10万kW規模)。
- ② 約4,000～5,000m及び温度500℃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に必要な仕様を提案する。

(2) 調査井の資材(ケーシング材及びセメント材)等の開発

1) ステージゲート時目標

- ① 調査井仕様の掘削費が40億円規模となることを確認する。
- ② 蒸気清浄化により、必要とされる蒸気中のシリカ濃度の基準値を明確化し、これに伴う熱量の範囲の提示及び試掘ステージにおける開発目標を策定する。
- ③ 想定される超臨界地熱資源の開発に最適な坑井並びに発電システムを提案し、従来開発と同等の発電コスト(9～12円/kWh)となることを確認する(現存技術と将来技術のケース別)。
- ④ 超臨界地熱環境下(500℃、pH3前後)で適用可能で経済性のあるケーシング材・セメント材の材料開発方針を提案する(現存技術と将来技術のケース別)。

2) 最終目標

- ① 調査井に必要な酸性環境かつ高温度(500℃)に耐えうるケーシング材並びにセメント材を開発する。

(3) 超臨界地熱貯留層のモデリング技術手法開発

1) ステージゲート時目標

- ① 水圧破碎及び減圧破碎、またはいずれか一方において、生産可能な浸透率 (10^{-15}m^2 オーダー) 以上の破碎が可能なことを室内試験かつ数値シミュレーションにより立証する。
- ② 超臨界地熱環境下で水圧破碎及び減圧破碎、またはいずれか一方により、坑井周辺の数 100m 規模の人工貯留層造成手法のシナリオを提案する。

2) 最終目標

- ① 超臨界地熱資源システムのモデリング技術において、天然貯留層や人工貯留層造成の手法を開発する。

(別添) 研究開発スケジュール

