

2019 年度実施方針

新エネルギー部

1. 件名 : 超臨界地熱発電技術研究開発

2. 根拠法 :

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

3. 背景及び目的、目標

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（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。

こうした状況の中、NEDOにおける超臨界地熱発電に係る研究開発において、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、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（2017年度）」が実施され、一定の成果が挙げられている。

一方、世界では、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。

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）も計画されている。

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。

そこで本プロジェクトでは、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）の提案を行うとともに、同調査井に必要な要素技術の研究開発等を実施する。

[委託事業]

研究開発項目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」

【ステージゲート時目標（2019年度）】

- 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。

【最終目標（2020年度）】

- 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。

研究開発項目②「調査井の資材（ケーシング材及びセメント材）等の開発」

【ステージゲート時目標（2019年度）】

- 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）。

【最終目標（2020年度）】

- 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。

研究開発項目③「超臨界地熱貯留層のモデリング技術手法開発」

【ステージゲート時目標（2019年度）】

- 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)以上の破砕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砕及び減圧破砕、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。

【最終目標 (2020年度)】

- 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。

4. 事業内容及び進捗状況

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・管理し、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た。基本計画に基づき、公募により委託先を決定し、以下の研究開発を実施した。また、研究開発項目①を補完する委託調査を実施した。

4. 1 2018年度までの(委託)事業内容

研究開発項目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」

テーマ名:「東日本・九州地域における超臨界地熱資源有望地域の調査と抽熱可能量の推定」

- (i) 当該テーマでは、我が国における超臨界地熱資源の分布と資源量の概略把握を目的として、超臨界地熱資源のモデルの精緻化を図り、国内3地域における超臨界水の状態把握と資源量評価を行う。2018年度は北海道、東北地域における各種規制・社会的条件、地理・地形条件、地質学的情報等に関する情報について文献調査を開始した。また九州地域において、文献調査、地表調査、MT法探査等を計画し、情報を取りまとめ、当該地域深部に低比抵抗帯の存在が明らかになった。また超臨界地熱資源の調査方法・資源量評価手法の開発に着手した。さらに次年度以降使用する抽熱シミュレーションソフトの開発を行った。

研究開発項目②「調査井の資材(ケーシング材及びセメント材)等の開発」

テーマ名:「超臨界地熱発電に必要な坑井及び地上設備仕様の調査・検討」

- (i) 当該テーマでは、経済的かつ技術的に実現可能な調査井・生産井及び発電システムの仕様を検討し、必要な技術課題を整理する。2018年度は、超臨界地熱坑井におけるケーシング材への要求性能を整理し、強度等の適合性検討に着手した。超臨界地熱セメント材・セメンチング手法についての海外事例調査及びアルミナセメント・既存高温用セメントの材料試験・評価に着手し、セメンチング作業中・硬化後の坑内温度・圧力状況の再検討を実施した。また、調査井・生産井の基本設計を

検討し、一つの事例として東北地域に適用することとした。高温用掘削仕様・ツールズ及び超臨界地熱流体地化学性状に係る国内外情報収集を実施した。地上設備においては過熱蒸気中のシリカ状態を想定し、シリカ除去メカニズムを検討し、室内実験から粒径数 μm オーダーのシリカ粒子を形成する可能性が判明した。

研究開発項目③「超臨界地熱貯留層のモデリング技術手法開発」

テーマ名：「水圧・減圧破碎による人工超臨界地熱貯留層造成に関する研究」

- (i) 当該テーマでは、人工的に貯留層を造成する技術手法の実現可能性を検討するため、水圧破碎、減圧破碎現象のメカニズム解明、モデリング技術の開発、減圧破碎ツールズの試験、地熱・石油ガス田開発における破碎事例調査を行う。2018年度は、人工貯留層造成のためのモデリング手法開発として、水圧・減圧破碎のモデル化に向けた室内実験、シミュレーションを実施した。また、減圧破碎については減圧破碎ツールの概念設計を終了した。さらに、国内外の地熱開発・油ガス田開発での破碎事例及び誘発微小地震観測事例の調査に着手した。

研究開発項目④「調査井掘削に資する革新的技術開発」

テーマ名：「AIによる超臨界地熱資源評価・掘削技術」

- (i) 超臨界地熱資源評価

既存の研究より、物理探査データ（特にMTデータ）と温度の相関性については良好な関係であると評価されている。当該テーマでは、超臨界地熱資源評価の一助とするため、こうした知見に基づき、データに乏しい深部の温度構造を、浅部の温度分布や深部の物理探査データからAIを適用して解析する技術を開発する。2018年度は、収集可能なデータの調査（種類、量、権利等）とデータ収集を行うとともに、文献調査により、既存手法の特徴を整理した。

- (ii) 掘削技術

深部ほど掘削のスピードが低下していくため、大深度の調査井掘削時には、ビット摩耗度を地上で得られる各種データから評価し、掘削コストの削減と掘削スピードを向上させる技術が必要である。当該テーマでは、既存のマッドロギング手法とオープンソースのAIソフトウェアを組み合わせることで、低い運用コストでビット摩耗度の予測とそれに伴うリスク評価を行う掘削アシスト型AIシステムの開発を行う。2018年度は、全体システムの概念設計、掘削挙動モデルの調査、現状のマッドロギングデータの抽出を実施した。

テーマ名：「二重解放コアを用いた地殻応力測定法の研究開発」

- (i) 超臨界地熱において人工貯留層を造成する際に、破碎で生成する割れ目の方向性を調整するためには、事前に岩体の地殻応力を把握することが重要である。当該テ

ーマでは、地殻応力を把握するため、超臨界地熱の大深度かつ高温で測定可能な二重解放コアを用いた測定方法を開発する。2018年度は、応力測定の前になるコアを小口径（HQ サイズ）試験坑井から採取するための小口径実験ツールを製作するとともに、それを用いて実証試験を行うための試験坑井の掘削に着手した。また、正しく地殻応力を測定できるよう、コア形状に与える外乱要因の影響を定量評価するための数値シミュレーションに着手した。

テーマ名：「革新的超臨界地熱場観測技術の研究開発」

- (i) 調査井掘削前に超臨界地熱資源の位置・状態を正確に把握すること重要であるが、現状技術ではピンポイントで把握することは困難である。そこで当該テーマでは、現在石油ガスフィールドで適用されている DAS 計測システムを超臨界地熱場に応用することにより、超臨界地熱貯留層のイメージング・モニタリングを可能にする技術を開発する。2018年度は、浅部簡易実証試験において、坑内光ファイバーDAS計測データ及びその解析結果を地表に設置した地震計データと対比することにより、自然地震を利用した坑内光ファイバーDAS計測の有効性を確認した。解析・イメージング技術の開発では試験坑のモデル化を行い、次年度以降の検討に備えた。耐環境性光ファイバーの開発では、ベンチマーク材となる汎用光ファイバーを超臨界水環境下で処理し、その劣化状態を評価することによりベンチマーク材の耐食性を明らかにした。

委託調査

テーマ名：「超臨界地熱資源ポテンシャル調査」

- (i) 全国の地熱地帯で 250°C以上を確認した地域の超臨界地熱資源量に関するポテンシャル調査を文献により実施した。

テーマ名：「超臨界地熱資源先導調査」

- (i) 1地域において先導調査（MT法調査）を行い、既存の地熱貯留層の下位に、マagma溜りや貯留層を示唆する低比抵抗帯の存在を確認した。

4. 2 実績推移

	2018年度
実績額（需給）（百万円）	277
特許出願件数（件）	1
論文発表数（報）	1
フォーラム等（件）	13

5. 事業内容

PM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・管理し、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。

5. 1 2019年度（委託・共同研究）事業内容

2019年度は以下の研究開発を行う。また、政策当局の理解を得たうえで、2018年度の実験調査で成果が出た地点での資源量評価のため追加公募の実施、必要に応じた調査を行い、事業の補強・加速を図る。

研究開発項目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」

テーマ名：「東日本・九州地域における超臨界地熱資源有望地域の調査と抽熱可能量の推定」

- (i) 北海道、東北、九州地域において、地表調査、MT法探査等を引き続き実施する。超臨界地熱システムのモデルを暫定的に決定し、抽熱シミュレーションを行い、資源量評価を行うとともに資源量評価結果の妥当性を検証する。

研究開発項目②「調査井の資材（ケーシング材及びセメント材）等の開発」

テーマ名：「超臨界地熱発電に必要な坑井及び地上設備仕様の調査・検討」

- (i) ケーシング材への要求性能を仕様書にまとめ、材料検討と耐腐食性能向上のための材料試験・技術検討を完了する。超臨界地熱発電用のセメント材及びセメンチング手法の海外事例精査を完了し、アルミナセメント・既存高温用セメントの材料試験・評価を行う。掘削仕様・ツールスに関わる国内外情報収集、超臨界地熱流体地化学性状に係る情報収集を完了し、基本設計をもとに掘削候補地における具体的な坑井掘削計画と調査井・生産井・還元井の仕様を検討する。地上設備はシリカ除去システムの概念設計と発電出力を検証する。これらを踏まえ、発電コストの試算を行う。

研究開発項目③「超臨界地熱貯留層のモデリング技術手法開発」

テーマ名：「水圧・減圧破砕による人工超臨界地熱貯留層造成に関する研究」

- (i) 人工貯留層造成のためのモデリング手法開発として、前年度に続き、水圧・減圧破砕のモデル化を実施し、フィールドスケールでの貯留層造成シミュレーションを可能にする。また減圧破砕ツールの開発に関して、試作したツールの地上作動試験を行い、破砕効果を評価する。さらに、国内外の地熱開発・油ガス田開発での破砕事例及び誘発微小地震観測事例の調査を継続し、破砕のリスクとその低減・回避

策や技術課題などを取り纏める。

研究開発項目④「調査井掘削に資する革新的技術開発」

テーマ名：「AIによる超臨界地熱資源評価・掘削技術」

(i) 超臨界地熱資源評価

2019年度は、2018年度に引き続きデータ収集を継続して実施するとともに、開発するAI機能の仕様を整理し、AIプログラムの基礎部分の開発を行う。

(ii) 掘削技術

2019年度は、2018年度のビット摩耗度の数学的モデルやドリリングデータの解析を踏まえて、検証試験用データの作成、AIシステムの検証と評価、ビット評価手法のアルゴリズムの構築、機械学習の模擬試験等を実施する。

テーマ名：「二重解放コアを用いた地殻応力測定法の研究開発」

- (i) 超臨界地熱の大深度かつ高温岩体の地殻応力の測定が可能な二重解放コアを用いた測定方法の開発において、前年度に製作した実験ツールを用いて試験坑井からコアを採取する。また、同じ岩盤の地殻応力を他の標準的手法で測定し、コアを用いて得られた結果と比較検討する。その結果を踏まえ、実際の超臨界地熱井に適用可能な口径での二重コアビットを設計する。一方、室内実験と数値シミュレーションに基づいて測定の外乱因子が及ぼす影響を定量的に評価する。

テーマ名：「革新的超臨界地熱場観測技術の研究開発」

- (i) 2018年度に引き続き、浅部簡易実証試験を実施し、人工震源及び自然地震を利用したDASデータと地震計のデータを対比することでDASの特徴、利点を把握する。解析・イメージング技術の開発では地震計とDAS計測データの比較と、浅部実証試験データをもとに自然地震と人工地震計測から地熱場計測の可能性を確認するとともに、DAS計測に基づくタイムラプス技術開発に着手する。耐環境性光ファイバーの開発ではベンチマーク材を凌駕する光ファイバーの超臨界水環境下の耐水素対策、耐食対策方法を決定する。深部実証試験は2020年度実施予定の坑内DAS計測に備えて、試験用光ファイバーの手配等必要な準備を行う。

5. 2 2019年度事業規模

需給勘定 360百万円（NEDO負担分）（継続）

※事業規模については、変動がありうる。

6. 事業の実施方式

6. 1 公募

(1) 掲載する媒体

「NEDOホームページ」及び「e-Rad ポータルサイト」で行う他、新聞、雑誌等に掲載する。

(2) 公募開始前の事前周知

公募開始の1か月前にNEDOホームページで行う。本事業は、e-Rad 対象事業であり、e-Rad 参加の案内も併せて行う。

(3) 公募時期・公募回数

2019年4月に1回行うほか、必要に応じ、追加して実施する。

(4) 公募期間

原則30日間とする。

(5) 公募説明会

NEDO本部（川崎）にて開催する。

6. 2 採択方法

(1) 審査方法

e-Rad システムへの応募基本情報の登録は必須とする。

委託事業者の選定・審査は、公募要領に合致する応募を対象にNEDOが設置する審査委員会（外部有識者で構成）で行う。審査委員会（非公開）は、提案の内容について外部専門家（学識経験者、産業界の経験者等）を活用して行う評価の結果を参考に、本事業の目的の達成に有効と認められる委託事業者を選定した後、NEDO はその結果を踏まえて委託事業者を決定する。

提案者に対して、必要に応じてヒアリング等を実施する。

審査委員会は非公開のため、審査経過に関する問い合わせには応じない。

(2) 公募締切から採択決定までの審査等の期間

45日間とする。

(3) 採択結果の通知

採択結果については、NEDOから提案者に通知する。なお不採択の場合は、その明確な理由を添えて通知する。

(4) 採択結果の公表

採択案件については、提案者の名称、研究開発テーマの名称を公表する。

6. 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。

7. その他重要事項

(1) 評価の方法

NEDOは、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、技術評価実施規程に基づき、プロジェクト評価を実施する。事後評価を2021年度に実施する。

(2) 運営・管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDOは、経済産業省と密接な関係を維持しつつ、事業の目的及び目標に照らして本研究開発の適切な運営管理を実施する。また、外部有識者や産業界の意見等を踏まえ、NEDOは研究進捗把握、予算配分、情報共有、技術連携等のマネジメントを行う。

なお、本事業への参加者は、これらのNEDOのマネジメントに従い、地熱発電の開発普及のために必要な取組に協力するものとする。

研究開発を効率的に推進するため、研究開発項目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、2020年度以降の研究開発テーマの継続是非を、ステージゲート時点（2020年2月予定）での成果をもって、2020年3月までに決定する。

(3) 複数年度契約の実施

原則複数年度契約を行う。

(4) 知財マネジメントにかかる運用

「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。

(5) データマネジメントにかかる運用

「NEDOプロジェクトにおけるデータマネジメントに係る基本方針」に従って、プロジェクトを実施する。

8. スケジュール

8. 1 本年度スケジュール

2019年 3月下旬・・・公募開始

3月下旬・・・公募説明会

4月下旬・・・公募締切

5月下旬・・・契約・助成審査委員会

6月上旬・・・採択決定

8. 2 来年度の公募について

事業の効率化を図るため、2019年度中に2020年度公募を開始する(ただし、事業の内容は別途2020年度実施方針定める)。

9. 実施方針の改定履歴

(1) 2019年2月19日 制定。

(2) 2020年1月28日 改定。公募、採択に伴い実施体制図を変更。「来年度の公募について」を追加。

(別紙) 実施体制図





