

2020 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、同調査井に必要とされる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。

【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、研究開発項目①に係る追加公募により委託先を決定するとともに、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 2019 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) 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した。

探査等の結果に基づき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、資源量の評価を行った。その結果、いずれの地域でも目標値である 1 地域あたり出力 10 万 kW 規模の発電能力が推定された。有望地点の選定に向けて、追加的な詳細調査、シミュレーションを実施した上で、資源量規模の具体的な評価が必要。

テーマ名:「八幡平地域における超臨界地熱資源の評価に関する研究開発」

- (i) 八幡平地域において MT 法電磁探査の補足調査を実施し、深部低比抵抗帯が特徴的な分布形状であることを明らかにした。本調査結果に基づき、本地域の地熱構造モデルの考察を行い、超臨界地熱資源の賦存状態について検討した結果、目標規模の発電能力 (出力 10 万 kW 規模) を十分有する事が推定された。有望地点の選定に向けて、超臨界地熱資源の存在状態に関するデータを補完するために、地熱構造モデルの精緻化、資源量評価の精度向上が必要。

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) 2017 年度の調査により、ケーシング材については、SiC 材質以外に代替するケーシング材の検討の必要性が示され、セメント材については、アルミナセメントの特性の再評価、それ以外的高温用セメントの評価が必要との結果が示されたことから、各材料の評価を行い、開発方針の提案を行った。具体的には、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各種材料試験・技術検討を実施し、推奨材料を提案した。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、試作アルミナセメント・既存高温用セメントの材料試験・評価により、施工性が改善されることを確認するとともに、技術的およびコスト面での開発目標を提案した。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した。地上設備は、シリカ濃度をスクラバ出口で 0.1mg/kg とすることを開発目標としたシリカ除去システムの概念設計と発電出力を検証した。これらを踏まえ、超臨界地熱発電の発電コストについて、過熱蒸気直接利用・100MWe・のケースで発電原価が従来地熱と同程度になることを確認した。

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、2018 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した。水圧破砕では、超臨界地熱貯留層を生産可能な浸透率以上の破砕が可能なことをシミュレーションにより立証するとともに坑井周辺に数 100m 規模の人工貯留層を造成する手法のシナリオを提案した。減圧破砕では、破砕ツールを試作し、地上作動試験による評価を行った。また、貯留層造成シミュレーションを行った。その結果、亀裂の進展が坑井周辺に限定されとの結果が得られ、現時点では、貯留層造成効果が不十分であることが示された。ステージゲート審査の結果を踏まえ、今後は水圧破砕に絞って検討する。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

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、深部熱構造の推定において、ニューラルネット、スパースモデリング、ベイズ推定が最適手法の候補であることを示し、この手法を取り入れた AI

プログラムの基礎部分の開発を実施し、葛根田モデル等を対象に温度推定が動作することを確認した。

(ii) 掘削技術

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し、予測結果とマッドロギングデータを複合的に解釈することでビットのベアリング異常を検知できる可能性があることを示した。

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) 神岡鉱山の水平坑井および陸上設備と試験片を用いた小口径（HQ サイズ）のコアリング試験を行って二重コアビットツールの動作を検証した。そして、検証により判明した課題に対する対応策を検討し、ツールの基本構造を決定した。次年度、対応策の有効性を確認するための小口径実験ツールの動作試験を追加的に行う必要がある。また、コアリング試験で得られたコアに本提案手法を適用して評価した地殻応力（あるいは試験片に負荷した圧縮応力）が妥当であることを検証した。これらの結果を踏まえて大口径（8-1/2in サイズ）の超臨界地熱井を想定した二重コアビットツールを設計した。理論的考察によって、コアを坑底から地表に回収する際の温度変化が地殻応力評価に影響しないことを明らかにした。

テーマ名：「革新的超臨界地熱場観測技術の研究開発」

- (i) 2018 年度に引き続き、浅部簡易実証試験を実施した。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し、縦波と横波の変化や地震波の速度を分析することで、深部の地下構造の異常域を推定できた。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した。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した。

委託調査

テーマ名：「2019 年度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℃以上を確認した地域の中で、2018 年度実施した以外の地域を抽出し、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。その結果、国内において最大 11.6 GW 相当の資源ポテンシャルが存在することが示された。

テーマ名：「2019 年度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、マグマ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	2019 年度
実績額（需給）（百万円）	277	405
特許出願件数（件）	1	3
論文発表数（報）	1	3
フォーラム等（件）	13	58

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 2020 年度（委託・共同研究）事業内容

2020 年度は以下の研究開発を行う。また、2019 年度の先導調査で成果が出た地点等での資源量評価や調査井資材（ケーシング材及びセメント材）等の開発、超臨界貯留層のモデリング技術手法開発のための追加公募を実施する。加えて、必要に応じ調査を行い、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 法探査等の追加調査を実施し、各地域での地表調査結果及びシミュレーション結果を総合評価し、超臨界地熱資源量の規模を具体的に評価する。また、当該評価結果と海外の高温地熱開発プロジェクトを実施している地域の資源量の相互比較を行う。

テーマ名：「八幡平地域における超臨界地熱資源の評価に関する研究開発」

- (i) 2019 年度に確認した深部低比抵抗帯と熱源（地下 5km 以浅に比較的若い年代のマグマが定置した箇所）の関係を検討するため、現地調査として微小地震観測を実施し、熱源の位置を特定した地熱構造モデルの完成を目指す。並行して、超臨界領域

を含む貯留層数値モデルの精緻化を図り、生産予測シミュレーションによる資源量評価を行う。

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」

公募・採択を行い、調査井に必要となる酸性環境かつ高温度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」

公募・採択を行い、超臨界地熱貯留層のモデリング技術の手法開発として、熱・水・化学・力学を考慮した連成貯留層シミュレータの開発を行う。

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 年度に引き続き追加データの収集を必要に応じて実施するとともに、開発した AI に実データを適用し、深部構造の推定、可視化および能力の評価を行う。また、これまでの結果を総括し、設定した目標の達成度評価、課題の抽出、将来への提言を行う。

（ii）掘削技術

2019 年度に構築したビット評価手法のアルゴリズムを踏まえたシステムへの実装と検証、掘削挙動に関する実データを用いた AI システムの検証と評価、機械学習のシステム改良と実証試験等を実施する。

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）8-1/2in サイズの超臨界地熱井を想定した二重コアビットツールの試作機（高温対策は無し）を製作し、その動作試験を行う。その結果ならびに室内実験と数値シミュレーションを実施した結果に基づいて目標誤差 20%以内の精度で地殻応力を測定できる応力レベルと岩体温度の範囲などの測定条件を提示する。さらに、製作した二重解放コアビットの仕様に基づき、超臨界地熱貯留層に作用する地殻応力を直接あるいは間接的に測定する方法を明らかにする。

テーマ名：「革新的超臨界地熱場観測技術の研究開発」

（i）解析・イメージング技術の開発では深部微小地震計測による地熱場観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を完了する。耐環境性光ファイバーの開発では 2019 年度研究で検討したコーティングについて耐環境性能を評価するとともに、長尺光ファイバーへの施工性検討とその経済性も評価

する。深部実証試験は超臨界地熱源にできるだけ接近した深度での DAS 計測を行い、高温地熱場における解析制度を向上させ、地震学的超臨界地熱開発に資する観測技術を確立する。

5. 2 2020 年度事業規模

需給勘定 270 百万円（NEDO負担分）（継続・新規）

※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

2020 年 3 月頃に 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。

(3) 複数年度契約の実施

2018 年度～2020 年度の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

2020 年 3 月中旬・・・公募開始

3 月下旬・・・公募説明会

4 月中旬・・・公募締切

5 月中旬・・・契約・助成審査委員会

6 月下旬・・・採択決定

9. 実施方針の改定履歴

(1) 2020 年 3 月 5 日 制定。

(別紙) 実施体制図



