

## 平成 28 年度実施方針

新エネルギー部

1. 件名 : 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

(1) 本事業の背景及び目的

①政策的な重要性

2014 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。

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 位となる地熱資源を有する我が国では、ベース電源として活用可能な地熱発電が大きな注目を集めている。

我が国における地熱資源の有効活用に向けて、導入ポテンシャルの高い自然公園内での開発が重要とされており、環境省において、第 2 種特別地域、第 3 種特別地域における地熱開発の規制が緩和された。しかしながら、自然公園内での新規地熱発電所建設を行う場合、依然として、小規模で風致景観等への影響が小さいものが求められることから、環境に配慮した取組が必要不可欠となっている。

また、近年、比較的温度の低い蒸気や熱水でも、低沸点媒体を熱変換して利用することで発電可能なバイナリー発電の導入が米国を中心に進みつつある。特に、我が国では、低温地熱エネルギーの中でも温泉熱エネルギーが全国各地に分布し、温泉熱を発電に利用することで地域分散型の電源として活用できることから、バイナリー発電の導入拡大が期待されている。

さらに、環境保全対策や新規発電所建設に係る環境アセスメントの円滑化に資する技術開発により地熱開発を促進する取組や、地熱発電所の発電能力や利用率の回復・維持・向上に資する技術開発の取組が重要である。

### ③世界の取り組み状況

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。

世界最大の設備力を持つ米国は、バイナリー方式の地熱発電の開発に積極的で、多くの商用プラントが稼働している。2015年7月時点でアイスランド、オーストラリア、スイス、ニュージーランドとの5カ国間で地熱技術国際パートナーシップを締結し、国際協力を通じて地熱発電の技術開発を加速させている。また、EUは高温岩体の研究開発で世界を主導している。

## (2) 研究開発の目標

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、既存の発電設備よりも、小型かつ高効率の地熱発電システムの機器開発及び低温域の地熱資源を活用したバイナリー発電システムを開発するとともに、環境保全対策や環境アセスメント円滑化等に資する取組を行う。

### ①環境配慮型高機能地熱発電システムの機器開発

地熱発電システムの高効率化に資する技術（熱効率を20%以上に向上させる技術等）を確立する。

### ②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

未利用の温泉熱を利用した低温域のバイナリー発電について、熱効率7%以上に資するシステムを確立するとともに、スケール対策、腐食対策、二次媒体の高性能化に係る技術を確立する。

### ③発電所の環境保全対策等技術開発

ガス漏洩防止技術や拡散シミュレーション技術、高度利用化に向けた技術（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。

## 4. 実施内容及び進捗（達成）状況

以下の研究開発を実施した。

プロジェクトマネージャーにNEDO新エネルギー部 生田目統括研究員を任命して、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た。

#### 4. 1 平成 27 年度までの事業内容

##### 研究開発項目①「環境配慮型高機能地熱発電システムの機器開発」

###### (i) 地熱複合サイクル発電システムの開発

- ・バイナリータービン及び各種熱交換器の機器開発・設計を完了した。

##### 研究開発項目②「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」

###### (i) 無給油型スクロール膨張機を用いた高効率小型バイナリー発電システムの実用化

- ・3kW 級の無給油型スクロール膨張機及び小型バイナリー発電システムを製作し、温泉地で実証実験を実施し、発電効率を評価した。
- ・スクロール膨張機の摺動部について加速実験を行い、30000 時間の連続運転ができることを確認した。

###### (ii) 炭酸カルシウムスケール付着を抑制する鋼の表面改質技術の開発

- ・耐スケール鋼の基盤技術を実地試験用の機器や試験片へと適用し、スケール付着量の比較試験を実施し、スケール抑制効果を阻害する要因を分析した。
- ・各スケール成分の付着傾向を解析し、スケール付着を抑制する運転条件を明らかにした。

###### (iii) 温泉の蒸気と温水を有効活用し、腐食・スケール対策を施したハイブリッド型小規模発電システムの開発

- ・蒸気発電システムの二次試作機及び気水分離器の開発を行い、蒸気発電を行った結果、安定した発電ができることが確認された。
- ・開発した温水発電機及び蒸気発電システムの二次試作機、気水分離器を温泉地に持ち込みハイブリッド発電の実証試験を行った。

###### (iv) スケール対策を施した高効率温泉熱バイナリー発電システムの研究開発

- ・高効率温泉熱バイナリー発電システムの構成要素となる、スケール除去フラッシュタンク、蒸気/冷媒熱交換器、低圧蒸気制御システム、蒸発式凝縮器について、各機器実機を開発、試作し、各機器の性能とシステム全体での性能評価及び課題の抽出、機器の一部改良を行った。

###### (v) 環境負荷と伝熱特性を考慮したバイナリー発電用高性能低沸点流体の開発

- ・熱交換器シミュレーションにより熱流動特性から要求される低沸点流体の物性値指針として、液相熱伝導率を向上させるという第 1 次指針を獲得した。
- ・低沸点流体の伝熱性能評価のための疑似バイナリーシステムの基本設計を完了し、テストベンチの構築を進めた。

- ・コンパクト熱交換器設計のための気液2相流解析技術を構築した。3次元熱流体解析に基づき、流路形状及び熱物性の熱流動特性に及ぼす影響の初期検討を行った。
- ・実在のハロゲン含有低分子化合物の物性データベースを作成し、物性推算、逆設計システムを構築した。
- ・対象沸点近傍の流体のうち、低GWPが期待できる、主にフルオロオレフィンやフルオロケトンに関する合成ルート開発の予備検討を開始した。

(vi) 水を作動媒体とする小型バイナリー発電の研究開発

- ・水媒体用バイナリー発電システムの設計を行い、タービン発電機の製作、熱交換器の組み込みを実施し、試運転を行った。
- ・温泉地でのフィールドテストに向けて基本設計及びサイトの選定を行った。

研究開発項目③「発電所の環境保全対策等技術開発」

(i) 硫化水素拡散予測シミュレーションモデルの研究開発

- ・複雑地形を再現した風洞実験を実施し、硫化水素拡散予測数値モデルの妥当性の検討及び評価を実施し、本数値モデルの性能評価の結果を得た。
- ・開発した数値モデルの環境影響評価手法への反映方法の検討を実施した。

(ii) 地熱発電所に係る環境アセスメントのための硫化水素拡散予測数値モデルの開発

- ・簡易予測数値モデルの開発では、過去に行われた風洞実験結果と比較を行い、排気諸元や地形及び建屋条件等を適切に設定することにより、最大着地濃度を概ね良く再現できることを確認した。
- ・詳細予測数値モデルの開発では、複雑地形を再現した風洞実験を行い、実験データを整理しモデルの妥当性の検討及び評価を実施し、風洞実験の代替として環境アセスメントに用いるために十分な精度を有していることを明らかにした。

(iii) 温泉と共生した地熱発電のための簡易遠隔温泉モニタリング装置の研究開発

- ・室内性能評価用プロトタイプ機を製作し、性能評価、課題抽出を行った。
- ・温泉地域及び地熱地域でセンサーのスケール付着試験を開始した。
- ・実証試験用プロトタイプ機を設計した。

(iv) エコロジカル・ランドスケープデザイン手法を活用した設計支援ツールの開発

- ・国内外の地熱発電所を調査し、配慮手法のパタン集の作成を進めた。
- ・GISを活用した自然環境分析手法の全体構成を整理し、また、コンピュータシミュレーションに基づく景観分析手法のプロセスを明らかにし、仮想地点での解析試行を行った。

- ・エコロジカル・ランドスケープ支援アプリの3次元樹木モデル、発電所施設モデルを作成するとともにデータの互換性に係る検討を進めた。

(v) シード循環法によるシリカスケール防止技術の研究開発

- ・凝集剤とシリカ及びアルミニウムの反応メカニズムに関する検討を行った。
- ・実証試験用連続処理プラントの設計を進めた。

研究開発項目④「その他 上記①～③以外で地熱発電の導入拡大に資する革新的技術開発」

(i) 低温域の地熱資源有効活用のためのスケール除去技術の開発

- ・実用化に向けた磁気分離装置の製作及び試験結果から出力50kW程度以上の地熱水シリカ対策用磁気分離システム評価を行った。
- ・磁気分離装置の大型化に対応した磁気分離システム及び磁気分離フィルターの設計指針を決定した。
- ・温泉発電の可能性が見込める地域の温泉水を採取して、シリカ濃度及びナトリウム、カルシウムなどの化学分析を行った。
- ・地熱水シリカ対策用磁気分離システムを導入した際の低温域の地熱資源有効活用に関するビジネスプランを作成した。

(ii) 地熱発電適用地域拡大のためのハイブリッド熱源高効率発電技術の開発

- ・ハイブリッド熱源発電システムの既設地熱発電所への適用性評価やシステムインテグレーションの検討を行い、所定の実運転条件においてシステム熱効率が20%HHV以上となる結果を得た。
- ・簡易式過熱装置を用いて、実地での蒸気・熱水を用いた通水試験を行い、スケール沈殿反応をリアルタイムでモニタリングできることを確認した。

(iii) 電気分解を応用した地熱発電用スケール除去装置の研究開発

- ・温泉水の水量、水温、水質条件を調査しデータの整理を行った。
- ・電解水によるスケール析出抑制/除去効果について数式モデルの構築に着手した。
- ・温泉水に対応した無隔膜式電解装置の試作機を製作し、実証試験によりスケール除去/抑制効果及び有効範囲を確認した。
- ・有隔膜式電解装置によるスケール抑制効果について基礎実験を行い実証試験の準備を行った。

(iv) 地熱発電プラントのリスク評価・対策手法の研究開発（スケール/腐食等予測・対策管理）

- ・リスク評価システムを構成する各モジュールの統合、及びリスク評価システムの判

定部分に関する基本設計を完了した。

- ・腐食及び侵食予測やスケール付着予測に関する基本モジュールを製作し、地熱開発事例を利用した動作検証を行い、改良点等の課題を抽出した。
- ・国内外における金属材料の腐食特性に関する情報収集及びデータベース化を行った。
- ・金属材料の腐食速度を予測するための腐食モニタリングシステム及び地上配管のスケールの断面分布を計測可能なスケールモニタリングシステムを製作し、動作確認を行った。

(v) 温泉熱利用発電のためのスケール対策物理処理技術の研究開発

- ・超音波及び高周波電磁処理によるスケール防止効果をスケール付着量比較基礎実験により確認した。
- ・スケール防止装置の高周波電源を製作し、耐熱プローブの試作品を開発した。
- ・電磁処理導入事例整理及び現地調査による温泉水等のデータベース拡充を実施した。
- ・実証試験候補地においてスケール防止装置の試運転を実施した。

(vi) バイナリー式温泉発電所を対象としたメカニカルデスケーリング法の研究開発

- ・スケール、熱水試料の収集及び分析を実施し、鉱物学及び結晶学的見地からスケール除去装置の設計指針を作成した。
- ・ウォータージェットやピグによるスケール除去実験を実施可能な実験装置を製作した。
- ・スケール付着状況とスケール除去の効果を非破壊で外部から測定可能なモニタリング装置を開発した。

(vii) 事業採算性と環境保全を考慮したバイナリー発電システムに供するタービン発電機の開発設計

- ・作動媒体にした低沸点媒体ランキンサイクルの熱力学的特性を分析し、システム熱効率を算出した。
- ・軸出力50 kW～250 kWのタービンを想定し、上記で得られたサイクル特性から、タービン入口の作動媒体の温度と圧力、同出口の圧力、流量を定め、タービン設計点の諸元とした。

(viii) 還元熱水高度利用化技術（熱水中のスケール誘因物質の高機能材料化による還元井の延命・バイナリー発電の事業リスク低減）

- ・シリカ回収事業のビジネスプランの検討、事業性についてフィージビリティスタディを行った。
- ・コロイダルシリカ回収プロセスの基本設計を行った。

#### 4. 2 実績推移

	平成 25 年度	平成 26 年度	平成 27 年度
需給勘定（百万円）	450	1400	1400
特許出願件数（件）	1	2	4
論文発表件数（件）	0	9	17
講演件数（件）	0	16	59
プレスリリース（件）	0	0	1

#### 5. 事業内容

平成 28 年度は以下の研究開発を行う。また、必要に応じて調査、追加公募を行い事業の補強・加速を図る。

プロジェクトマネージャーに NEDO 新エネルギー部 生田目統括研究員を任命して、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。

##### 5. 1 平成 28 年度（委託・共同研究）事業内容

研究開発項目②「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」

(i) スケール対策を施した高効率温泉熱バイナリー発電システムの研究開発

- ・開発したバイナリー発電システム実機を用いて、温泉地（温泉井戸）での実証試験を行う。

(ii) 環境負荷と伝熱特性を考慮したバイナリー発電用高性能低沸点流体の開発

- ・テストベンチを用いた評価実験を行い、低沸点流体の伝熱性能評価のための疑似バイナリーシステムの構築を完了する。
- ・詳細な熱流動構造に基づき、よりコンパクトな熱交換器を設計するための指針を得る。
- ・要求仕様を満たす可能性がある新流体について、合成ルートを考案し実際の合成を行う。

(iii) 水を作動媒体とする小型バイナリー発電の研究開発

- ・温泉地に適合したバイナリー発電システムの製作及び温泉地へ設置を行う。
- ・温排水を利用したテストを行い、送電出力できることを実証する。

研究開発項目③「発電所の環境保全対策等技術開発」

(i) 温泉と共生した地熱発電のための簡易遠隔温泉モニタリング装置の研究開発

- ・実証試験用プロトタイプ機を製作し、国内温泉地での実証試験を行う。

- ・実証試験により得られた課題を解決し、実用モデルの設計を行う。
- (ii) エコロジカル・ランドスケープデザイン手法を活用した設計支援ツールの開発
- ・ケーススタディを実施し、エコロジカル・ランドスケープの適用手法の明確化、支援アプリの適用課題の抽出を行う。
  - ・CG、フォトモンタージュ等を利用し、景観要素、景観構成に係る印象、評価の傾向を分析する。
- (iii) シード循環法によるシリカスケール防止技術の研究開発
- ・凝集剤による過飽和シリカ除去能等の基本情報を収集し、凝集剤とアルミニウム及びシリカの効率的な反応条件を探る。
  - ・実証試験用連続処理プラントの設計及び製作を行う。
  - ・シリカ除去後の処理熱水が還元井に与える影響を検討するため、カラム通水試験や処理熱水と岩石との反応試験を実施する。

研究開発項目④「その他 上記①～③以外で地熱発電の導入拡大に資する革新的技術開発」

- (i) 地熱発電適用地域拡大のためのハイブリッド熱源高効率発電技術の開発
- ・試験機を制作し、実験室での検証を行った後、実際の地熱流体を用いた、実証実験を行う。
- (ii) 電気分解を応用した地熱発電用スケール除去装置の研究開発
- ・有隔膜式電解装置による最適なスケール対策方法を検討、経済性の評価を行う。
  - ・有隔膜式電解装置を用いたスケール析出防止効果に係る実証試験を行う。
- (iii) 地熱発電プラントのリスク評価・対策手法の研究開発（スケール／腐食等予測・対策管理）
- ・リスク評価システムに海外先進事例情報を反映させ、そのプロトタイプ開発を完了する。
  - ・腐食試験等を実施し、その結果を材料データベースシステムへ反映する。
  - ・実証試験を行い、リスク評価システムの検証し、課題の抽出、手法の改良を行う。
- (iv) 温泉熱利用発電のためのスケール対策物理処理技術の研究開発
- ・超音波及び高周波電磁処理によるスケール防止効果を、実証試験により確認する。
  - ・実証試験と並行して基礎実験を継続し、実証試験データとの整合を図る。
  - ・ハイブリッドスケール防止装置の経済性評価を実施する。

- (v) バイナリー式温泉発電所を対象としたメカニカルデスケーリング法の研究開発
  - ・温度モニタリング装置及びスケール除去装置を用いて、現場性能確認実験を実施し、装置の動作確認や効果の検証を行う。また、スケール除去作業時間及び作業費用を分析し、コスト低減方法を見出す。
  - ・ウォータージェットによるデスケーリングにおいて、スケールに働く応力分布を解析し、効率良くデスケーリングできる噴射条件を検討する。
  
- (vi) 事業採算性と環境保全を考慮したバイナリー発電システムに供するタービン発電機の開発設計
  - ・高速発電機の選定及びタービン最高回転数において、最も効率良く出力できる発電機ロータの形式を設定する。
  - ・磁気軸受搭載の回転体（ロータ）設計を行う。
  - ・タービン内の作動媒体の流れを3次元CFD解析し、タービンノズル、タービン翼の形状を設計する。
  
- (vii) 還元熱水高度利用化技術（熱水中のスケール誘因物質の高機能材料化による還元井の延命・バイナリー発電の事業リスク低減）
  - ・コロイダルシリカ回収プロセスの基本設計を行う。
  - ・パイロットプラントの設計及び製作を行う。
  - ・リチウム吸着分離剤を開発し、吸着分離特性の評価を行う。

以上の研究開発に加え、多用途含め展開・普及を期待できる成果について広報活動を行う。

## 5. 2 平成28年度事業規模

需給勘定 850百万円（NEDO負担分）

※事業規模については、変動がありうる。

## 6. その他重要事項

### (1) 研究開発の運営管理

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。

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。

(2) 複数年度契約の実施

複数年度契約による研究開発を実施することを基本とする。

7. 実施方針の改定履歴

(1) 平成 28 年 3 月 31 日 制定。

(別紙) 実施体制図

NEDO

プロジェクトマネージャー

・所属 新エネルギー部

・氏名 生田目 修志

