

## 2. 研究報告

### 2-1. 成果の概要 <2030年戦略研究>

「2030年戦略研究」では、7つの目標を達成すべく2030年に向けて強化・加速する11の研究テーマについて、当所の総合力を活かして研究成果を創出しました。

#### パワーコンディショナ (PCS)

直流電力を交流電力に変換し、発電電力の制御機能や系統連系保護機能を有する装置。

#### CPAT

当所が開発している電力系統統合解析ツール。

#### WOMBAT (Windfarm Operations and Maintenance cost-Benefit Analysis Tool)

米国の国立再生可能エネルギー研究所で開発された、風力発電所の運用管理・保守に係る費用に対し、予想される効果や利益を評価するツール。

#### LSTM (Long Short-Term Memory)

時系列データを扱える機械学習アルゴリズムのうち、入力された情報の一部を記憶したまま機械学習ができるように改良された技術。

#### アンサンブル予測

多数の初期値から予測を行い、平均やばらつき程度の統計的な情報を利用して気象・海象等の発生を確率的に評価する予測手法。

#### ドップラーライダー

ドップラー効果による周波数の変移を観測することで、観測対象の相対的な移動速度と変位を観測することのできるレーザー画像検出と測距の一種。

#### 内部境界層

海岸線付近のように地表面特性(凹凸や温度など)が急激に変化する場所で発達する境界層。



## 2030年戦略研究

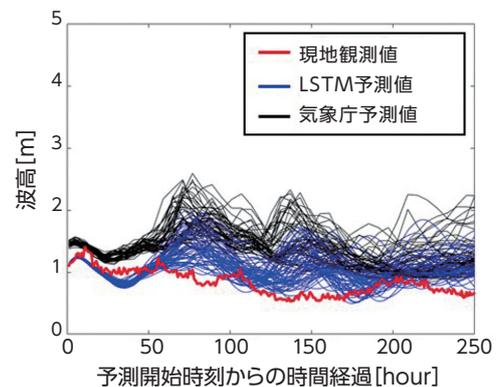
洋上風力発電などの再生可能エネルギーの主力電源化、蓄電池などの分散型エネルギーリソースの導入促進、および原子力発電の更なる活用などに寄与する革新的な技術の創出に向けた研究開発を推進しました。これらの研究を通じて、電気事業や社会における脱炭素化、電力系統の次世代化に貢献していきます。

### 再生可能エネルギー導入拡大時の系統安定化技術の開発

- メガソーラ等で用いられる三相の**パワーコンディショナ(PCS)**の国内外7機種について、当所が保有する電力系統シミュレータ設備を用いて系統事故時の応動を把握し、**CPAT**による系統解析用として精度の高いPCSモデルを開発しました。
- インバータを介して電力系統に連系する発電設備や負荷設備の電圧の特性を系統解析において適切に考慮できる手法を考案し、インバータによる電圧制御の安定性判別等に活用できることをシミュレーションにより検証しました。

### 洋上風力発電の立地支援・運用管理技術の開発

- 洋上風力発電所の運用管理・保守費用低減を目的として、米国の評価ツール**WOMBAT**に風況・波浪の高解像度再現解析データベースを組み込み、運用管理・保守の最適化にあたって必要な意思決定を支援するシステムのプロトタイプを開発しました。また、深層学習LSTMを用いて気象庁予測値に現地観測値を取り込むことにより、短時間先の風況・波浪を気象庁予測値より高い精度で予測でき、運用管理・保守の作業可否判断を支援する技術を開発しました(右図)。



LSTMニューラルネットワークにより予測開始時刻から約250時間後までの波高をアンサンブル予測した例

- 我が国の洋上風力発電所の離岸距離は短いものが多く、風況を予測する際には陸域との相互影響を考慮する必要があります。このため、ドローンによる気温観測値や**ドップラーライダー**による風況観測値を解析することで、陸風が洋上の内部境界層の発達や風況に及ぼす影響を明らかにしました。
- 浮体式洋上風力発電設備への地震の影響を評価するため、地震動を要因とする海面の揺れ(海面地震動)が係留基礎に与える影響をシミュレーションにより評価し、海面地震動の基礎的な特性を明らかにしました。

革新軽水炉

福島第一原子力発電所事故の教訓を踏まえ、炉心溶融等への対策として、安全機能を高めた軽水炉。

革新軽水炉をはじめとする次期原子炉の設計評価技術の開発

- 次期原子炉の増設や建替の審査に必要となる、安全性の確認および経済性の維持のための計算プログラムの開発に向け、最新知見を用いて炉心シミュレータの解析技術や解析モデルの整備を進めました。また、**革新軽水炉**の安全設計や評価に必要な解析を行うための情報やデータを準備しました。
- 次期原子炉の立地の自由度を拡大できる浮体式原子力発電所の開発の一環として、設計基準を超える事故が起き、1万年に一度の嵐の条件で浮体が揺れた際の模擬実験とシミュレーションを行い、浮体の揺動は炉心の燃料被膜管の最高温度にほとんど影響を与えず、浮体の揺れは事故進展に著しい悪影響を及ぼさないことを確認しました※。

※NEXIP(Nuclear Energy × Innovation Promotion)事業の一つである経済産業省資源エネルギー庁の「社会的要請に応える革新的な原子力技術開発支援事業」として実施。

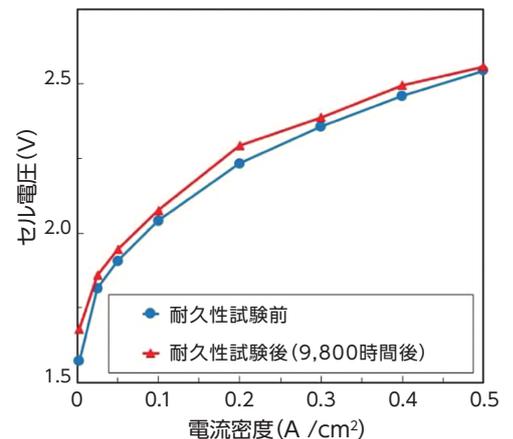
水素・アンモニアの製造、貯蔵・輸送、利用技術の開発

- 宮古島等の離島における再生可能エネルギー導入拡大に伴う課題を解決するため、水電解によるオンサイト水素製造・利活用モデルを提案し、その実現可能性を調査しました※。

➔ p.26「2-2. 主要な研究成果(1)」参照

※NEDO(国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構)の委託業務(JPNP14026)により実施。

- 水素製造用のアルカリ形水電解単セルについて、太陽光発電出力変動パターンを模擬した過酷な条件での耐久性試験を行った結果、9,800時間経過しても、電解特性に大きな変化は見られず、劣化傾向も認められないことがわかりました(右図)。引き続き、実用に近い複数積層セルでの耐久性試験に着手しています。
- 水素社会における需給調整用の業務・産業用燃料電池として高い発電効率が見込まれる**プロトン伝導セラミック燃料電池(PCFC)**について、中型単セル(面積16cm<sup>2</sup>)の発電特性として動作温度600℃での最高出力8.3W(520mW/cm<sup>2</sup>)を達成しました。今後はセルの容量拡大に向けて、プロジェクトの目標値である20W(550℃)を目指した改良を進めます※。



耐久性試験前後でのアルカリ形水電解単セルの電解特性

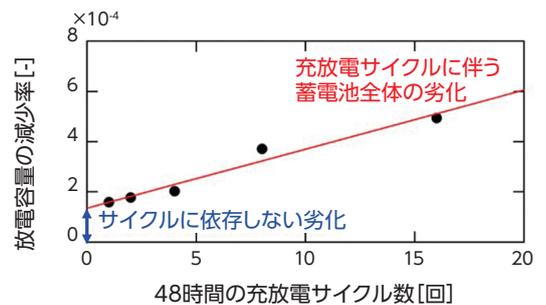
※NEDO(国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構)の委託業務(JPNP20003)により実施。

プロトン伝導セラミック燃料電池(PCFC)

セラミックス電解質膜とそれを挟む空気極と燃料極からなる三層構造を有し、空気中の酸素、および水素などの燃料を利用して発電する燃料電池。セラミック電解質膜中をプロトン(水素イオン)が透過することで電池として作動。

蓄電池の安全性・性能評価

- 系統用蓄電池などの定置用蓄電池として期待されるリン酸鉄系正極のリチウムイオン電池(LIB)について、当所が構築した精密充放容量測定装置により劣化試験を実施しました。電池の劣化度合いを表す放電容量の減少率と、48時間の充放電の繰り返し回数(サイクル)に直線関係があることがわかりました。この回帰直線からの推定により、サイクルに依存しない劣化が評価できるようになりました(右図)。



リン酸鉄系正極リチウムイオン電池の劣化試験結果

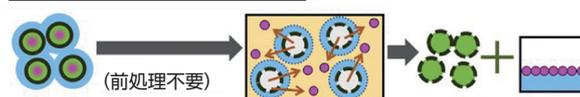
## 2-1. 成果の概要 &lt;2030年戦略研究&gt;

- 電池劣化を予測する当所開発の電圧解析プログラムVOLCALOの予測精度向上に向けて、正極にマンガン酸リチウム、負極にチタン酸リチウムを用いたLIBにおいて、電力市場の運用条件下での容量低下の要因が電池内部の局所的な温度上昇による電極材料の加速劣化であることを、模擬実験を通じて初めて明らかにしました。

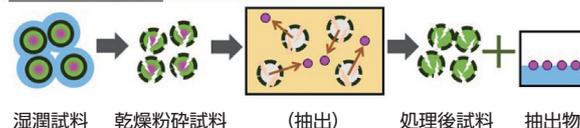
### ゼロエミッション火力における物質循環プロセスの開発

- 様々な有機物、無機物、水を同時に溶解する液化アンモニアの性質を利用したバイオマス試料(植物バイオマス5種類、微細藻類10種類)の脱水・成分抽出特性を評価しました。本抽出技術により、エネルギー消費量が多い試料の乾燥、粉碎が不要となり、既存の抽出技術と比べて高い抽出率で、バイオ燃料の原料となる脂質成分や、化成品の原料となる有機酸が得られることを明らかにしました(右図)。

#### 液化アンモニアによる抽出技術



#### 既存の抽出技術



液化アンモニアによる抽出技術と既存の抽出技術の比較

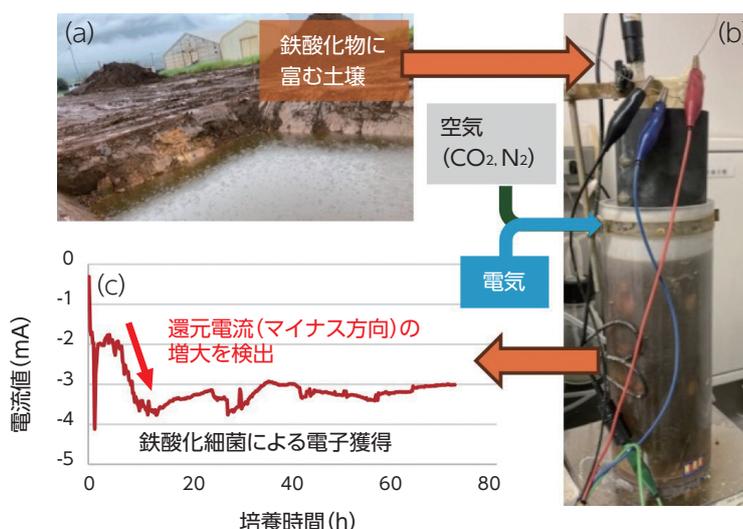
#### ダイレクトバイオマス燃料電池(DBFC)

当所開発の溶融炭酸塩を用いた燃料電池。反応場に、木質系バイオマス燃料を直接投入し、バイオマスの化学エネルギー(固定炭素、揮発成分)を電気エネルギーに直接変換。

- 当所が開発を進めている未利用バイオマスを直接投入して効率良く発電できる**ダイレクトバイオマス燃料電池(DBFC)**の実用化のために必要な長時間連続運転の検証について、杉炭化物を燃料とした基礎検討を行い、小規模エネルギー供給システムの実用性評価として、800時間以上の連続発電に初めて成功しました。

### カーボンリサイクル・資源再利用技術の開発

- 空気中のCO<sub>2</sub>と窒素(N<sub>2</sub>)を吸収し増殖することによって有価物を生産する鉄酸化細菌株を取得するため、鉄分を多く含む土壌を対象に新規微生物を探索しました。採取した鉄酸化細菌に電気エネルギーを用いる電気培養試験を行った結果、既知の鉄酸化細菌に比べ電気エネルギーをより多く取り込み、高い増殖能力を示す菌株の取得に成功しました(下図)。



新しい鉄酸化細菌株の探索とCO<sub>2</sub>変換に係る増殖性能評価

- (a) CO<sub>2</sub>を取り込み有価物へ変換することが期待される鉄酸化細菌の取得、(b) 電気培養試験装置、(c) 鉄酸化細菌(新規分離株)の増殖性能を電子獲得能力(取り込む電気エネルギーの大きさ)で評価。

## 2-1. 成果の概要 <2030年戦略研究>

- 石炭火力発電所から廃棄物として生成される石炭灰の一部は、コンクリートに混ぜる材料としてJIS規格による品質管理が行われています。石炭の輸入先拡大やバイオマス混焼率の変化などによって多様化する石炭灰の品質を短時間で分析する手法を開発しました。

→ p.28「2-2. 主要な研究成果(2)」参照

### 次世代地域グリッドの構成・運用技術の開発

- 電気自動車(EV)と急速充電の大量普及を想定すると、充電時間帯集中により、最大電力の発生する懸念が指摘されています。そこで、当所開発のEV交通シミュレータを駆使して、EVの充電時のシフトと系統用蓄電池を併用する最大電力の抑制方策を提案しました。

→ p.30「2-2. 主要な研究成果(3)」参照

- EVが普及すると、普通充電器や急速充電器の配置次第で、局所的に配電系統の電力需要が増加する問題が想定されるため、シミュレーションにより系統混雑や電圧変動の評価・分析を行いました。配電系統の設備容量の超過や配電線の電圧変動が発生するケースを特定し、対策に関する指針を策定しました。

### 電力流通設備のアセットマネジメント技術の開発

- 電力流通設備の合理的な維持・更新計画の策定においては、適切な故障リスク評価が重要となります。そこで必要となる各種設備の故障率について、電力流通設備の実運用実績(稼働実績および故障実績)に基づき統計的に評価する際に、故障発生のタイミングがばらつくことに起因する故障率の過小評価を避ける手法を考案しました。
- スマートメータの情報を活用し、柱上変圧器個々に対して通過する電流値から内部の熱劣化を評価する手法を開発しました。現場測定データによる検証の結果、スマートメータから得られる30分間隔の電流値で実用上十分な精度の評価が可能であることを明らかにしました。

### 電気事業のデジタル化推進技術の開発

- 国内外の電気事業におけるAI(人工知能)・DS(データサイエンス)の活用事例、ならびにAI・DSの関係法令や倫理的課題を調査しました。また、これらの調査結果に基づき、AI・DSの専門家や一般の技術者を対象として業務のデジタル化推進に関する講習会を開催しました。

### 脱炭素化に向けたエネルギー政策の評価

- 脱炭素電源への投資を促す制度として、英国で新たに建設される予定の原子力発電所Sizewell Cに適用される規制資産ベース(RAB)モデルを調査しました。RABモデルでは、規制された料金による投資回収が建設期間中から可能であり、建設開始後の費用変動への対応としてその料金の改定が認められます。また、着実な建設と効率的な運転を促すための様々なインセンティブが組み込まれています。
- バックエンド事業における長期的な不確実性への対処について分析するため、英国で将来建設される原子力発電所のバックエンド事業費用に関する動向を調査しました。英国では、発電期間の安定的な収益が約束されるFIT-CfD制度等の事業環境整備がなされた上で、「廃止措置および廃棄物管理計画」と「資金調達計画」から構成される廃止措置基金プログラムを設けて、様々な不確実性を考慮した制度が整備されています。

#### 規制資産ベース(RAB)モデル

建設プロジェクトの投資回収の予見性を高めて資金調達コストを低減するために、総括原価方式に基づく規制料金による費用の回収を通じて利益を安定化させる仕組み。

#### FIT-CfD制度

Feed-in-tariff Contract for Difference。低炭素電源が発電した時の卸電力の市場価格と、あらかじめ定められた買取価格の差額を精算することにより、発電による収入が一定となるような制度。