

2-2. 成果の全体概要(1) <2030年戦略研究>



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導入拡大、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。

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

- 電力系統の安定性維持に向け系統状態の高度な監視機能を構築するため、エリアごとの系統慣性*1をリアルタイムで推定する解析手法を開発しました。 → p.38「2-3. 主要な研究成果(1)」参照

*1 系統慣性：電力系統内の同期発電機やタービン等有する回転エネルギーの総和。系統慣性が高いほど、系統周波数の変動を小さくできる。

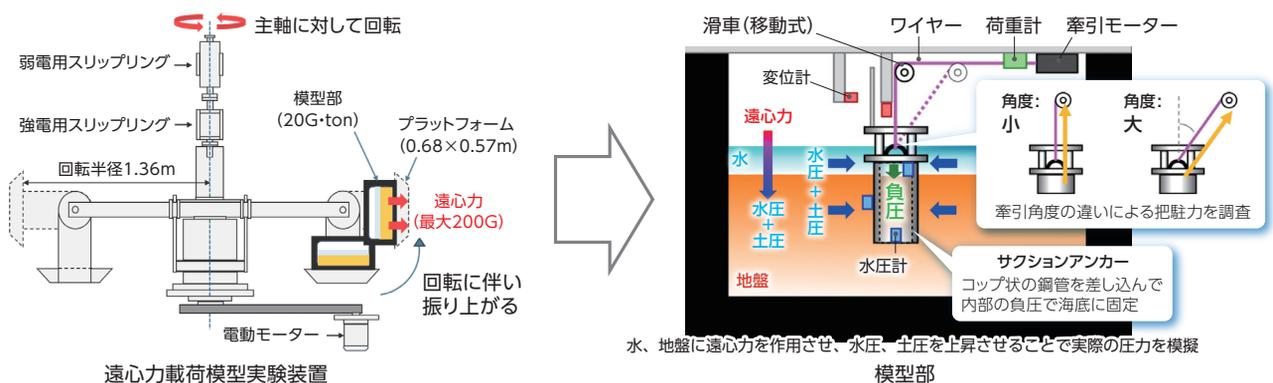
- 系統周波数などの維持に貢献する次世代インバータであるGFM*2について、大規模系統解析において様々な出力応答を表すことが可能な数値モデルを開発しました。 → p.40「2-3. 主要な研究成果(2)」参照

*2 GFM：Grid-Formingインバータ。再エネ電源を系統連系するインバータの一種で、電圧源として動作する特性を持つ。

洋上風力発電の立地・運用保守を支援する技術の開発

- 洋上風力発電機のブレードは、雨滴の衝突によって摩耗し劣化します(エロージョン)。エロージョンの進行を予測するため、ブレード表面に形成される液膜による雨滴衝撃力の緩和作用を考慮した数値解析手法を開発しました。 → p.42「2-3. 主要な研究成果(3)」参照

- 浮体式洋上風力発電所の係留基礎に対する地震動の影響を評価するため、遠心力荷重模型実験*1装置を用いて2種類のアンカーの風力設備を固定する能力(把駐力)を調べました(下図)。海底に埋め込むドラッグアンカーは深く埋設するほど把駐力が強く、中空の円筒を水圧差で固定するサクシオンアンカーは地盤に対する牽引角度が小さいほど把駐力が強くなることから、実物の水圧や土圧を遠心力で模擬することで明らかになりました。



遠心力荷重模型実験装置を用いたアンカー牽引試験の概念図(サクシオンアンカーの例)

- *1 遠心力荷重模型実験：地盤や基礎構造物などの挙動を解明するには、実物大の建造物を用いて試験を行うのが理想的であるものの、現実には困難である。ここでは、縮尺模型に応じた遠心力を加えることで、建造物に実際に作用する重力や水圧、土圧の状態を再現。

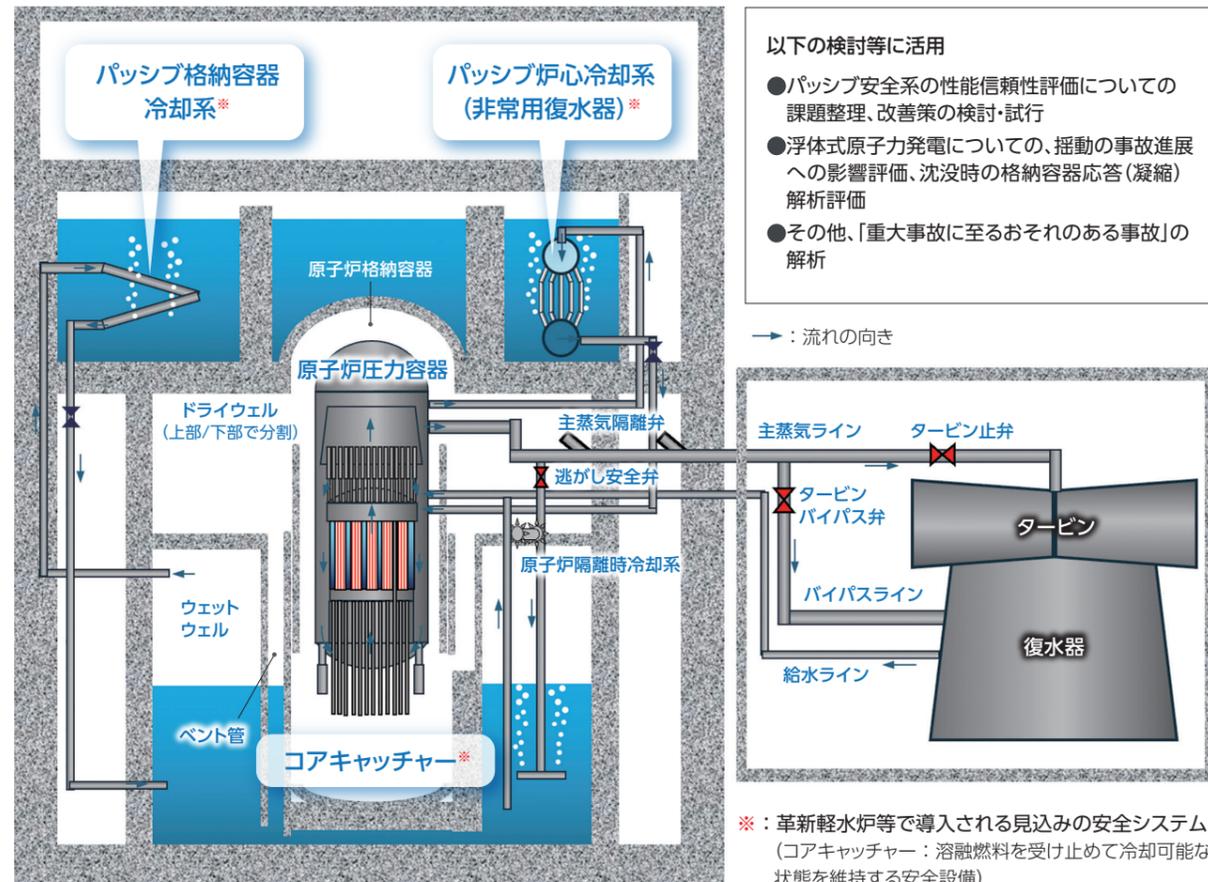
- ドローンによる観測で得られた風や温度の鉛直方向の分布データをアンサンブル平均*2することで、従来の観測手法では評価できない、陸域から沿岸域までの大気の詳細な空間構造を得る手法を確立しました。これにより、洋上風況観測の低コスト化および風況予測技術の高度化や、洋上風力運用手法の効率化・合理化に貢献します。

*2 アンサンブル平均：同じ条件下で複数回測定した値の平均を算出する方法。

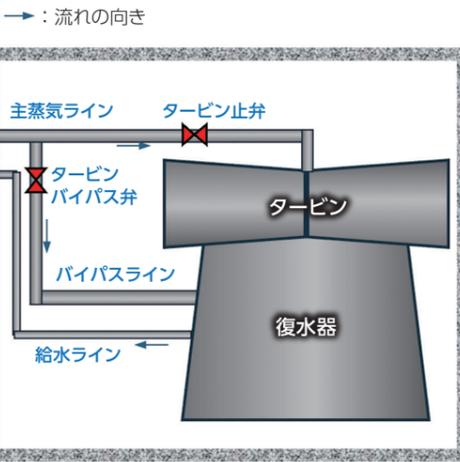
2-2. 成果の全体概要(1) <2030年戦略研究>

次世代革新炉の設計評価技術の開発

●パッシブ安全系*1を新たに加えた革新軽水炉*2に対して、安全設計や安全評価が規制要求や国際標準等の要件に適合していることを示す上で必要な解析基盤となる標準モデル(下図)を、当所独自に構築しました。また、国際的にも課題とされてきた、パッシブ安全系の性能信頼性評価の改善策として考案した新たな手法の適用性の確認、および浮体式原子力発電所の概念設計における安全設計と安全評価に当所の標準モデルを活用し、次世代革新炉の設計評価技術を高度化しました*3。



- 以下の検討等に活用
- パッシブ安全系の性能信頼性評価についての課題整理、改善策の検討・試行
 - 浮体式原子力発電についての、揺動の事故進展への影響評価、沈没時の格納容器応答(凝縮)解析評価
 - その他、「重大事故に至るおそれのある事故」の解析



※：革新軽水炉等で導入される見込みの安全システム (コアキャッチャー：溶融燃料を受け止めて冷却可能な状態を維持する安全設備)

本モデルは、原子炉圧力容器、原子炉格納容器、パッシブ安全系、およびアクティブ安全系等を含めた詳細な原子炉施設のフルモデルで、原子炉プラント全体の動特性解析プログラムの入力データとして原子炉圧力容器内部の機器まで詳細にモデル化し、種々の事象について最適評価による安全評価へ対応可能である。

構築した革新軽水炉の標準モデル

- *1 パッシブ安全系：電源やポンプを必要とせず、自然対流、浮力、圧力差、重力落下などの物理現象を利用して原子炉を安全に停止・冷却するシステム。ここでは、非常用復水器やパッシブ格納容器冷却系を指す。静的安全系ともいう。
- *2 革新軽水炉：福島第一原子力発電所事故の教訓を踏まえ、溶融炉心対策や大型航空機衝突などへの対策として安全機能を高めた軽水炉。
- *3 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。

●浮体式原子力発電所の原子炉システムの特性、および既存炉との安全システムの差異の整理による概略的な事故シナリオ分析に基づいた、簡易なリスク推定手法を考案しました。本手法を、既設炉にパッシブ安全系を追加した構成の浮体式原子力発電所の設計段階に適用し、原子炉特性を踏まえてリスク評価を要するハザードや起因事象を特定しました。事故シナリオの整理と試評価の結果から、海上で使われる場合にリスク上重要な事故シナリオを抽出し、概念設計に反映しました*3。

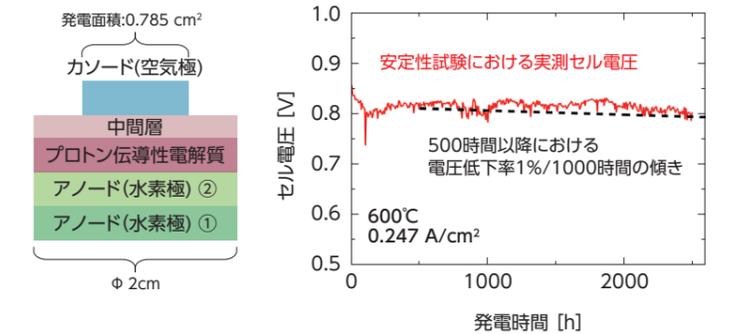
2-2. 成果の全体概要(1) <2030年戦略研究>

水素・アンモニアの製造、貯蔵・輸送、利用技術の開発

●固体酸化物型燃料電池(SOFC)*1の長期発電性能を予測するため、2万時間連続発電試験の結果を用いて、当所開発の電池の性能解析手法を改良しました。この手法を用いて13万時間(15年相当)経過後のセル電圧を見積もったところ、セル電圧の低下幅は一般的な寿命の指標(交換目安)である初期セル電圧の10%未満であると予測されました*2。

- *1 固体酸化物型燃料電池(SOFC)：700℃以上の高温で酸化物イオン(O²⁻)が伝導するセラミック電解質と、それを挟み込む空気極と燃料極の3層構造を有し、空気中の酸素と水素等の燃料を利用して発電するデバイス。多様な燃料にも対応可能。
- *2 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。

●次世代の燃料電池として期待されるプロトン伝導性セラミック燃料電池(PCFC)*3の劣化特性を把握するため、直径2cmのコインセルを用いて、約2,500時間の安定性試験を実施しました*4。本試験時間において、初期のセルの電圧低下は大きいものの、500時間以降の電圧低下はプロジェクトの開発目標である1,000時間ごとに1%未満であることを確認しました(右図)。

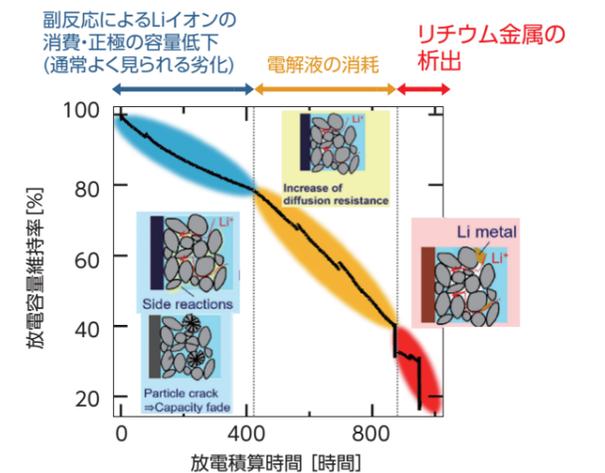


PCFCのコインセルの模式図と劣化特性試験の結果例

- *3 プロトン伝導性セラミック燃料電池(PCFC)：SOFCの一種で、SOFCとは異なる水素イオン(H⁺)が伝導するセラミック電解質膜を用いた、作動温度が600℃程度の発電デバイス。
- *4 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。

蓄電池の安全性・性能評価

●電気自動車などに普及している市販のリチウムイオン電池の劣化特性を把握するため、高温での充放電サイクル試験を行い、電池容量が2段階で低下することを明らかにしました(右図)。インピーダンス解析や容量低下後の電池試料の解体分析の結果などから、電池容量の低下は、主に電解液の消耗とリチウム金属の析出による電極抵抗の増大が原因であると推定されました。



充放電サイクル試験における電池容量の測定結果

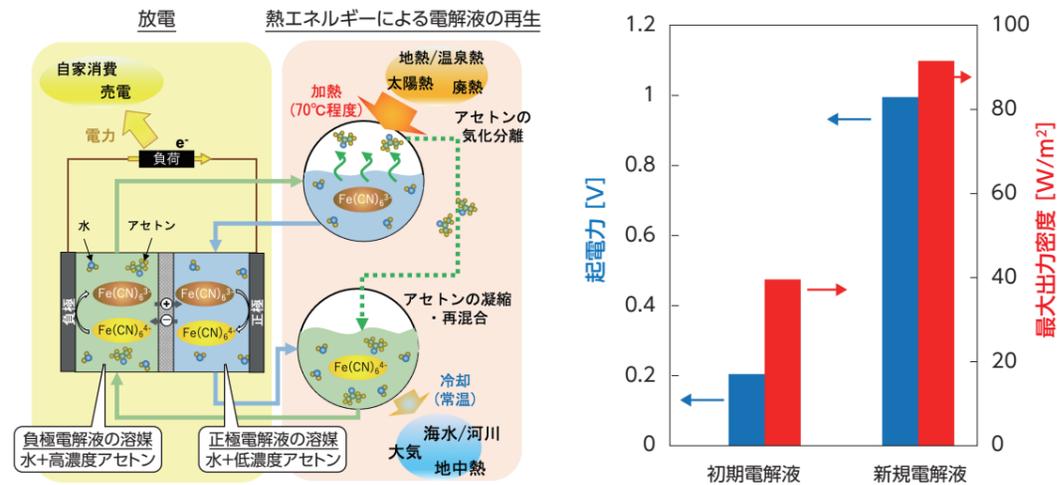
●安全性が高い電池として期待されているオール酸化物型全固体ナトリウム電池*1の開発に向け、正極表面のNa₃PO₄-Al₂O₃によるコーティングが電池容量などの性能に及ぼす影響を調査しました。コーティングにより、主に固体電解質の分解が抑制され、充放電レート特性*2が向上することで、充放電回数に対する電池容量の低下が小さくなることを明らかにしました*3。

- *1 オール酸化物型全固体ナトリウム電池：電荷を貯蔵する電極材料や固体電解質に酸化物を使用しているため安全性が高く、リチウムのような貴金属を使用しないため安価。リチウムイオン電池に比べてエネルギー密度が低いが、広い温度範囲で安定して作動するため、過酷な環境下でも使用できる。
- *2 充放電レート特性：充放電電流に対する電池性能のこと。電池の内部抵抗により、充電時は電圧上昇、放電時は電圧降下が起こるため、電流値が大きくなるほど充放電容量は少なくなる。
- *3 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(JPNP10020)により実施。

2-2. 成果の全体概要(1) <2030年戦略研究>

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

- 当所が開発を進めている液体アンモニアによるバイオマスからの有用成分抽出技術について、各種バイオマスから化成品原料等の有用成分を効率的に抽出できることを明らかにしました。
→ p.44[2-3. 主要な研究成果(4)]参照
- 石炭と廃プラスチックを混合してガス化するポリジェネレーションシステムについて、石炭ガス化試験炉を用いた実験的検討や社会実装を想定したコストの試算を行い、本システムが技術的に実現可能で、経済的にも成立性が高いことを実証しました。
→ p.46[2-3. 主要な研究成果(5)]参照
- 低品位な未利用熱を利用してエネルギーを蓄えるフロー電池*1の開発を進めています。これまでに比べて本電池の起電力と出力密度が飛躍的に高くなる電解液の組み合わせを見出しました(下図)。

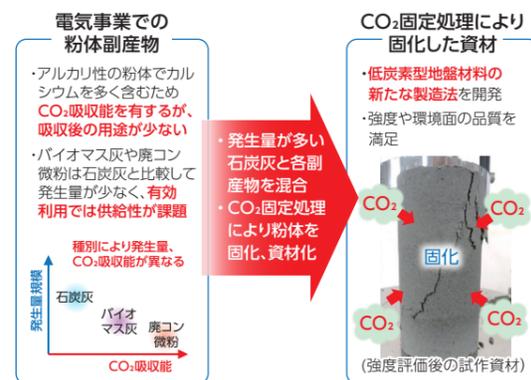


開発中のフロー電池の起電力と出力密度に及ぼす溶媒主成分の影響

*1 液体の電解質を使ってエネルギーを蓄える新しいタイプの蓄電池。電解質は正極と負極の間で電子をやり取りすることで電力を発生(放電)。電気による電解液の再生(充電)の他に、未利用熱エネルギーを活用しても電解液の再生(蓄電)ができる特徴を有する。

カーボンリサイクル・資源再利用技術の開発

- コンクリートに固定したCO₂量を測定する手法である酸分解-逆滴定法*1について、測定器具の材質や規格等を最適化することで測定精度を向上させるとともに、セメントや細骨材等のコンクリートを構成する材料へ測定対象を拡大させました*2。これにより、本法はCO₂固定量の測定方法として標準化を進めているJIS A 1016に組み込まれる予定です。
- *1 酸分解-逆滴定法：CO₂が炭酸カルシウムとして固定されたコンクリートなどに酸を添加し、炭酸カルシウムの分解によってガス化したCO₂を逆滴定によって定量する手法。
- *2 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(JPNP21023)により実施。
- 使用済みの配電柱などから生じる廃コンクリート微粉や、バイオマス火力発電所から副生されるバイオマス灰などの粉体副産物を有効活用するため、石炭灰を母材にこれらを混合・成型し、CO₂固定処理により固化させる低炭素型地盤材料の新たな製造法を開発しました(右図)。



粉体副産物を混合して製造する地盤材料の概念

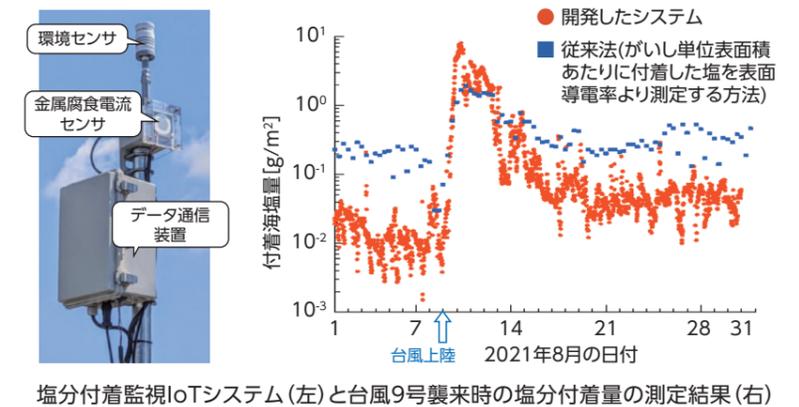
2-2. 成果の全体概要(1) <2030年戦略研究>

次世代地域グリッドの構成・運用技術の開発

- 電気自動車や系統用蓄電池の普及が進むと、充放電による配電系統の電圧への影響が想定されます。そこで、EVの急速充電器や系統用蓄電池のインバータに無効電力制御*1を採用した場合の潮流計算を実施した結果、無効電力による電圧変動抑制効果を確認できた一方、条件によっては逆効果となるケースがあるなどの課題があることを明らかにしました。
*1 無効電力制御：電力系統の電圧を一定に保つために無効電力を調整すること。
- 系統のレジリエンス強化のため、地域グリッドの一部を、常時あるいは一時的に独立型マイクログリッドとして運用することが検討されています。当所開発の配電系統総合解析ツールCALDGを改良し、マイクログリッドの設計や課題を検討する機能として、オフグリッド時の潮流計算機能、マイクログリッド内の故障計算機能等を構築・実装しました。

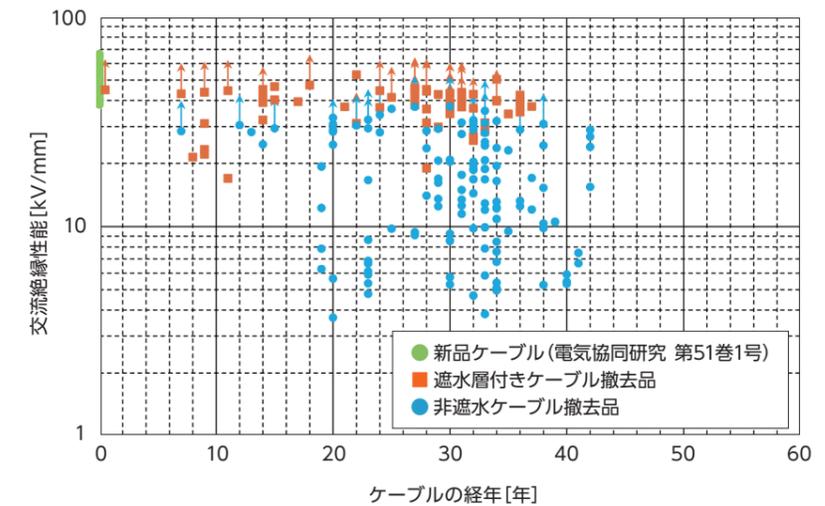
電力流通設備のアセットマネジメント技術の開発

- がいし洗浄等の保守行動を最適化するため、台風や季節風による海塩粒子付着で生じる急速汚損情報を沿岸域の変電所等に迅速に提供する、塩分付着監視IoTシステムを開発を進めています。本システムは、小型で変電所構内壁面などに装着でき、塩分付着量の常時計測が可能となっています。従来法との比較から、本システムにより台風襲来時の急速な塩分付着量変化を測定できることを確認しました(右図)。
- 送電設備のアセットマネジメントや高経年化設備更新ガイドラインの更新に資する、CVケーブルの絶縁性能劣化の基礎データ取得のため、66/77kV CVケーブルの撤去品に対する前駆遮断試験*1および交流破壊試験を実施しました。遮水層なしのケーブルに対して、遮水層付きケーブルでは経年に伴う絶縁性能低下が大幅に抑制されることを明らかにしました(下図)。



塩分付着監視IoTシステム(左)と台風9号襲来時の塩分付着量の測定結果(右)

*1 前駆遮断試験：交流高電圧をステップ的に昇圧課電し、絶縁破壊の前駆現象である部分放電を検出後、直ちに課電を停止する試験。



66/77kV CVケーブルの経年による絶縁性能低下特性

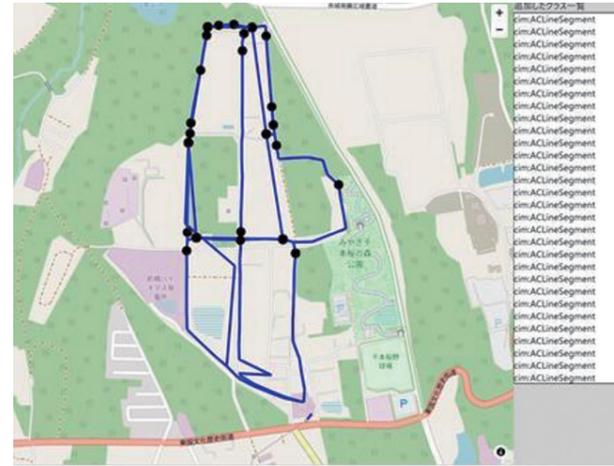
2-2. 成果の全体概要(1) <2030年戦略研究>

電気事業におけるDXの推進

- 電力会社が保有する設備データベースから、CIM*1を用いて**任意の電力システムの解析モデル*2**を自動的に作成するシステムを、送変電系統用と配電系統用にそれぞれ試作しました(右図)。当所開発のWSF (Web Simulation Framework) 技術によりウェブブラウザを通じて作成可能で、従来の人手による作業を省力化できることが特長です。得られた解析モデルを当所開発のソフトウェアに適用することで、潮流計算・電圧計算・安定度計算・瞬時値計算などを行うことができ、電力システムの安全性や信頼性確保に貢献します。

*1 CIM: Common Information Model の略で、管理対象となる機器の識別や機器間の関係を記述するためのモデル。国際規格IEC 61970 で定義される。

*2 解析モデル: 電力システムの構成要素(発電機、変圧機、送電線、負荷など)を数理的に表現したもの。



設備データベースから自動的に作成された解析モデルの例
(当所赤城試験センターの配電系統をサンプルとして表示)

- 電気自動車(EV)の走行データをクラウド上に収集し、そこから**劣化を考慮した搭載バッテリーの実容量を推定する手法を開発**しました。収集から推定までを人手を介さずに実行するため、容量測定に伴うダウンタイムや作業コストが発生せず、EVの商用車としての運用や保守に貢献できます。

原子力政策の再構築に向けた社会経済的課題への対応

- バックエンド事業における官民の役割分担と資金管理方策について、英国において民営化された既設の原子力発電所の動向を調査しました。**英国ではその歴史的経緯を踏まえ、拠出金協定に基づく固定額を原子力債務基金に拠出することのみが事業者の責任であり、基金の不足分を賄うのは政府の責任である点が特徴**です。
- 諸外国で見られる原子力発電所に対するファイナンス面の具体的な支援策の一つとして、**国による債務保証の動向を調査し、競争環境下での保証料率の設定の課題等を分析**しました。米国では、自由化されていない州で建設された発電所において初回の保証料が免除された事例がある一方、自由化された州で建設が計画されていた発電所においては保証料率が極めて高く設定されており、事業者が申請を取り下げた経緯があることがわかりました。