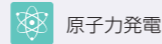


2-2. 成果の全体概要

原子力発電の利用価値向上



軽水炉の長期運転に必要な高経年化対策に向けて、原子炉压力容器や炉内構造物の経年劣化事象のメカニズム解明と劣化評価技術開発、機器・配管の管理の合理化や非破壊検査の信頼性向上に関する技術開発を進めました。また、軽水炉の稼働率向上を支援するため、燃料・被覆管の照射挙動評価、使用済燃料の合理的な貯蔵評価技術の開発、新型制御棒候補材料の特性評価、炉心熱流動現象の解明および実験データベースの構築等を進めました。

軽水炉の運転期間延長と保全・検査合理化のための技術開発

- 軽水炉の長期運転に伴う原子炉压力容器の照射脆化に対する予測法の精度・説明性を向上させるため、**先端的なナノスケール組織分析を用い、鋼材中のニッケル(Ni)濃度と照射温度の差異が脆化に及ぼす影響の理解を深化させました。** → p.40「2-3. 主要な研究成果(1)」参照

- 新規基準への対応により国内原子力プラントの検査箇所が増加する中、保全活動の合理化が求められています。作業安全リスクの考慮によって保全活動を合理化するため、**当所構築の「配管損傷時影響度」と「損傷頻度」を指標として現行の日本電気協会の保守管理規程・指針に加えた、保全重要度の判断基準を考案しました。**

- 長期利用されるコンクリート構造物では、鉄筋腐食につながる中性化の進行度を適切に評価することが重要です。**当所は、電気化学pH法^{*1}により構造物損傷を最小限に抑えつつ中性化の進行度を深さ方向に定量的に評価できることを、中性化促進環境における模擬材料での試験によって確認しました(上図)。**

*1 電気化学pH法：イリジウム上にイリジウム酸化物を形成させた金属/金属酸化物電極を用いる電気化学的pH測定方法。測定のためにコンクリート構造物表面へ小径孔加工を行う

- 超音波探傷(UT)の結果に対して機械学習によるきず判定を導入することで、検査結果の信頼性向上が期待されます。そこで、探触子を移動させながら連続で測定したデータに対して、UT波形の変化から探触子の移動距離を推定するとともに、**きず判定に必要な探触子位置と探傷信号強度の空間分布を表示する手法を考案しました。**

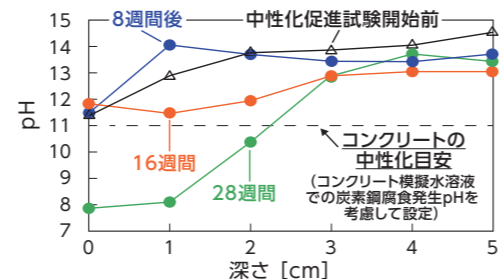
原子燃料・炉心の性能向上に向けた評価技術の開発

- 使用済燃料の湿式貯蔵^{*1}施設の容量不足が懸念されています。当所が開発した、使用済燃料の崩壊熱に応じて湿式貯蔵期間を個別に設定する手法について、**国内加圧水型原子炉(PWR)燃料の照射履歴に基づき、有効性を評価しました。その結果、従来の一律管理に対し、本手法を採用することで約半数の燃料の湿式貯蔵期間を15%程度短縮でき、湿式貯蔵施設容量の逼迫を緩和できる見通しを得ました。**

*1 湿式貯蔵：使用済燃料プール内で水を循環させながら使用済燃料を冷却して保管する方法。十分に冷えた後に、頑丈な容器(乾式キャスク)に収納して空気の流れで冷却する乾式貯蔵へ移行する

- 沸騰水型原子炉(BWR)では、炉心への制御棒の挿入ができなくなった場合、中性子吸収材(ホウ酸水)を冷却水に注入して原子炉を停止させます。そこで、炉内の状態に応じて冷却水流量が変わることを踏まえた**流体実験と数値計算を行い、原子炉内の冷却水が自然循環状態となるような低流量条件でも密度が高いホウ酸水が炉心に到達でき、十分な供給が可能で安全に停止できることを明らかにしました。**

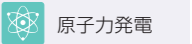
- 事故耐性の向上と長寿命化を目的とした新型制御棒を導入するためには、新型中性子吸収材の各種特性が設計適合性評価や安全審査のために必要となります。そこで、候補となる中性子吸収材の密度等の物理特性、弾性や硬さといった**機械特性を測定・蓄積しました。取得したデータから、材料組成が物理特性・機械特性へ及ぼす影響を明らかにするとともに、製造工程で吸収材中に生じる気孔率を管理することが重要であることを見出しました。**



中性化促進環境下における実機材を想定したモルタル(混合材あり)供試体の深さ方向のpH測定結果(週数は中性化促進試験開始後からの期間)

2-2. 成果の全体概要

原子燃料サイクル・バックエンド事業の推進支援



高速炉用の金属燃料の乾式再処理において、廃棄物の減容や溶媒の腐食性の定量化を目的とした技術を開発しました。また、高レベル放射性廃棄物について、処分場となる地下空洞周辺岩盤の安全性、微生物や置き方による経年変化への影響を明らかにしました。また、低レベル放射性廃棄物のバリア性能の不確実性に基づき被ばく線量を確率的に考慮した施設設計手法を提案し、放射性物質の地中移行に係るベントナイトの透水性評価手法やCO₂の環境動態把握技術を開発しました。

使用済燃料管理・原子燃料サイクル技術の開発

- 高速炉用金属燃料のリサイクルプロセスである乾式再処理では、地層処分時の環境負荷低減の観点から、使用済み溶媒(溶融塩)の処理プロセスで生じる廃棄物の容積の低減が重要です。そこで、これを可能とする高温処理プロセスとして、**シリコン(Si)を用いて希土類核分裂生成物を高濃度に回収し、これを酸化処理したものを別途ゼオライトに回収したアルカリ・アルカリ土類核分裂生成物とともに安定固化する新たな廃棄体化手法を開発しました。さらに、試験を通じて緻密な廃棄体が見出される条件を見出し、その成立性を実証しました。**

- 使用済金属燃料の乾式再処理の溶媒等として利用が検討されているアルカリハロゲン化物溶融塩^{*1}は、空気・水蒸気雰囲気下では高い腐食性を示すことが課題となっています。当所では、**再処理プラント機器の実用的な腐食管理・制御技術の開発を目的として、1か月以上にわたり溶融塩を安定的に循環させ、配管腐食試験を可能とする小規模溶融塩循環装置を開発しました。**

*1 アルカリハロゲン化物溶融塩：アルカリ金属(カリウムやリチウムなど)とハロゲン(塩素など)からなる塩を高温で溶融させたもの

放射性廃棄物処分場のサイト選定・施設性能評価技術の開発

- 高レベル放射性廃棄物を処分するための地下空洞周辺岩盤の安全性と透水性を定量的に評価するために、**地下空洞掘削時に生じる岩盤内の三方向の応力変化を再現する試験手法を開発しました。**

→ p.42「2-3. 主要な研究成果(2)」参照

- 原子力発電所の廃止措置の本格化に向け、低レベル放射性廃棄物処分の事業申請を技術的に支援するために、確率的アプローチを適用した安全評価方法を構築しました。この方法では、地下水移行などにより生活圏に**放射性核種が到達する場合の被ばく線量の評価に含まれる長期の不確実性を定量的に解析することができます。さらに、確率的線量評価に基づき、施設の設計オプションを選定する方法を具体化しました。**

→ p.44「2-3. 主要な研究成果(3)」参照

- 高レベル放射性廃棄物を地層処分する際に用いるガラス固化体を封入する容器(炭素鋼オーバーパック)は、微生物の影響によって腐食が進む可能性があります。そこで、JAEA幌延深地層研究センターの地下250m地点において、オーバーパックを覆う緩衝材(圧縮成型ベントナイト)の中に炭素鋼片を埋め込み、地下水が滞留するボーリング孔内に3年にわたり浸して、**微生物の増加の様子や炭素鋼片の腐食状況を調査しました。その結果、ベントナイトの密度が高い条件では、炭素鋼片の腐食量は小さく、微生物の活動も抑制されていることが確認でき、放射性物質が漏洩するリスクが低い条件を明らかにしました。**

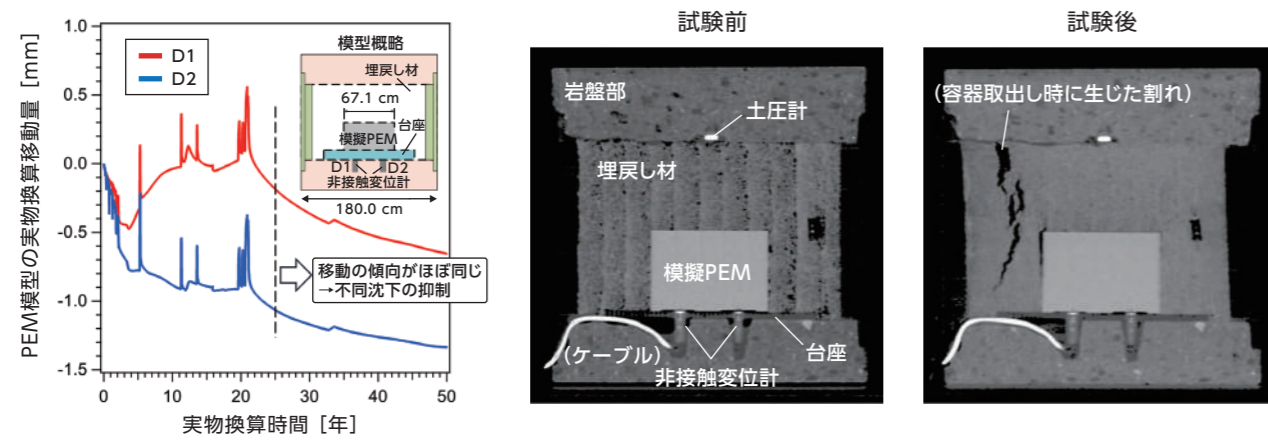
- 浅地中ピット処分施設で使われるベントナイト層には、層全体としての水の通しやすさを示す「巨視的透水係数」が十分に低いことを、施工後に説明することが求められます。実際に測定できる**密度データから直接測定が困難な巨視的透水係数をベイズ推定法^{*1}を用いて推定する方法を提案し、不確実性を考慮した係数を推定できるようになりました。**

*1 ベイズ推定法：平均値や標準偏差等の統計値を点ではなく確率分布として推定する方法

2-2. 成果の全体概要

- 低レベル放射性廃棄物処分地周辺での地下水の流動・拡散の評価においては、地下水中のCO₂濃度の把握が重要です。そこで、青森県六ヶ所村の尾駈(おぶち)沼の炭素動態を明らかにするため、**三次元水理・生態系モデルを構築し、CO₂分圧の季節変動とその制御要因を定量的に評価**しました。その結果、河川・堆積物・海洋から供給される多様な栄養塩が年間を通じて植物プランクトンによる有機物の生産(一次生産)を支えており、尾駈沼が大気中のCO₂を吸収する状態にあることがわかりました。
- 高レベル放射性廃棄物の新しい処分方式(横置きPEM方式^{*2})における、長期的な熱、水理、力学相互作用を把握するため、**時間を早めて観察できる試験を実施**しました。縮尺模型に高い加速度を与える遠心力载荷岩盤模型実験装置を用いて現象の進行を早め、実物換算時間で50年分に相当する試験を実施しました。その結果、**20年程度経過すると、埋め戻し材中へ水が浸透して均一になり、内部応力の原因となるPEMの不均一な変位が生じなくなることを確認**しました(下図)。

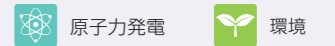
*2 PEM方式：廃棄物と緩衝材を工場でステンレス鋼製モジュール(PEM)に封入・一体化し、処分場に定置する方式



PEMの移動量の経時変化(左)、試験前後でのX線CT撮影結果(右)

2-2. 成果の全体概要

リスク評価・リスクマネジメントの高度化



原子力施設の安全性向上に向けた継続的な取り組みを支える確率的リスク評価技術の開発、地震や竜巻など自然外部事象を対象とした原子力施設の合理的なリスク評価技術の開発を進めています。また、低線量率の放射線防護、温排水拡散による環境影響の合理的な評価手法の開発を行うとともに、脱炭素化の流れを受けたアンモニア混焼等による窒素酸化物等の排出の合理的な管理の重要性について明らかにしました。

原子力施設におけるリスク情報活用の推進

- 原子力発電所では、格納容器の気密性を確認するために全体漏えい試験および局所漏えい試験が定期的に行われています。全体漏えい試験は、国内では通常、13か月～24か月以内に1回の定期検査のうち3回に1回または毎回実施されています。一方米国では、試験結果を踏まえて最長15年に1回と、より長い間隔で実施されています。**米国の運用手法を参考に検討した結果、試験間隔を延長してもリスクへの影響は小さいことを示しました。**
- 原子力発電所の運転中保全^{*1}ガイドラインについて、国内外の専門家による**外部レビューを踏まえ、特に外的事象リスクの評価と管理の充実を中心とした改訂案を作成**しました(下表)。本改訂案は、2026年度中に発刊予定です。

*1 運転中保全：原子炉の運転中に設備の点検・補修等を実施すること。定期検査中に集中している保全作業の負荷の平準化等により、保全品質の向上が期待できる

外部事象に対するリスク評価および管理措置の充実化

項目	改訂内容
リスク管理における外的事象PRAの活用	従来、外的事象によるリスクに関しては、保全作業による外的事象の発生頻度および規模への影響(例:可燃物の持ち込みによる火災発生への影響)並びに機器の保護状況の劣化(例:竜巻防護ネットの取り外し)といった定性的評価のみを実施していたが、確率的リスク評価(PRA)によるリスク管理を実施することを定め管理方法を規定した。
定性的評価による外的事象リスクへの対応の充実	内部溢水及び内部火災によるリスクについては、プラント個別の詳細なPRAモデルが整備されていない国内状況を踏まえ、原子炉を安全停止に導くことのできる安全機器の組み合わせの数(サクセスパス数)による定性的なリスク評価とそれに基づくリスク管理措置の実施方法を追加し、リスク管理を強化した。

原子力施設の統合的なリスク評価の実現に向けた技術開発

- 原子力発電プラントの施設内部で発生する漏水(内部溢水)の確率的リスク評価(PRA)を効果的・効率的に実施するため、**最新の技術的知見を取り入れ国際水準と整合した内部溢水PRAガイドを策定**しました。

→ p.46「2-3. 主要な研究成果(4)」参照

- レベル2マルチユニットPRA(MUPRA)^{*1}では、格納容器の機能喪失による他ユニットの事故緩和に及ぼす作用がリスク評価上重要です。そこで、この作用を構成する複数の事象の従属性を考慮して、**詳細・簡易解析および工学的判断を統合した、新たなリスク評価手法を開発**し、レベル2MUPRA特有の事象の生起確率を定量評価できるようにしました。

*1 レベル2マルチユニットPRA：マルチユニットPRA(MUPRA)は、複数原子炉で同時に事故が発生した場合の原子炉格納容器の機能喪失に対するPRA。レベル2PRAでは、放射性物質の放出頻度、放出量の評価までを行う

- 原子力発電プラントの内部火災事象を対象とした人間信頼性解析^{*2}では、中央制御室内で火災が発生した際の運転チームの認知・判断・行動のタイミングや内容等の評価が求められますが、従来の訓練シミュレータでは再現が困難です。そこで、プラント運転員に対する**バーチャルリアリティ(VR)を用いた模擬環境(右図)での検証**を行い、プラントの安全性確保と人的被害防止のために重大な決断を実施する際には、事前にチーム内で退避タイミング等の共通認識を形成しておく必要があることなどを明らかにしました。



VRプラントシミュレーションシステム(当直長の視点)

*2 人間信頼性解析：PRAにおいて、人間の過誤の可能性・頻度とその影響を定性的・定量的に評価すること

2-2. 成果の全体概要

原子力施設における自然外部事象評価・対策技術の開発

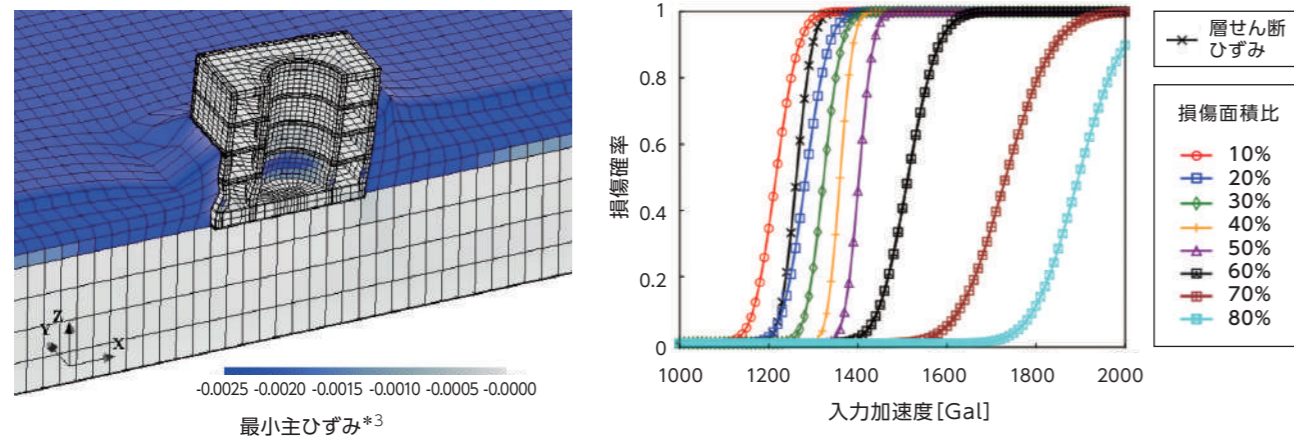
●実際の地質構造を反映させた地盤解析モデルを用いて、地震や地震に伴う液状化による地盤変位を確率論的に評価する手法を開発しました。 → p.48「2-3. 主要な研究成果(5)」参照

●孤立した短い活断層を対象に震源モデルを構築するため、地表に現れる断層変位の範囲と、強い揺れを生む領域(SMGA)との関係を、動的破壊シミュレーションによって検討しました。その結果、長さが数kmの活断層に対し、Mw*16.5を想定した場合は、断層を中心に5km四方が強い揺れとなることを確認しました。

*1 Mw：モーメントマグニチュードの略語。断層の面積、変位量、剛性率の平均の積で表される地震の規模を表す指標値

●鉄筋コンクリート造建屋の地震フラジリティ(損傷確率)評価のため、要素レベルでの損傷が拡大して部材・構造物全体が限界状態と判定できる状態まで評価できる指標として損傷面積比*2を新たに提案し、その有効性を検討しました。また、東京大学が開発した三次元有限要素法解析ツール「COM3」をもとにフラジリティ評価ツールを開発し、地盤と四層建屋が連成するモデルを対象にフラジリティ解析を試みしました(左下図)。その結果、損傷面積比を閾値としたフラジリティ曲線を作成することができるようになりました(右下図)。

*2 損傷面積比：損傷部分の面積を、着目部材の面積または全水平断面面積で除した指標



建屋フラジリティの試評価(損傷面積比に応じたフラジリティ曲線の変化)

*3 最小主ひずみ：対象物体内の点においてせん断ひずみがゼロとなる主平面で発生する3つの垂直ひずみのうち、最も値が小さいひずみ

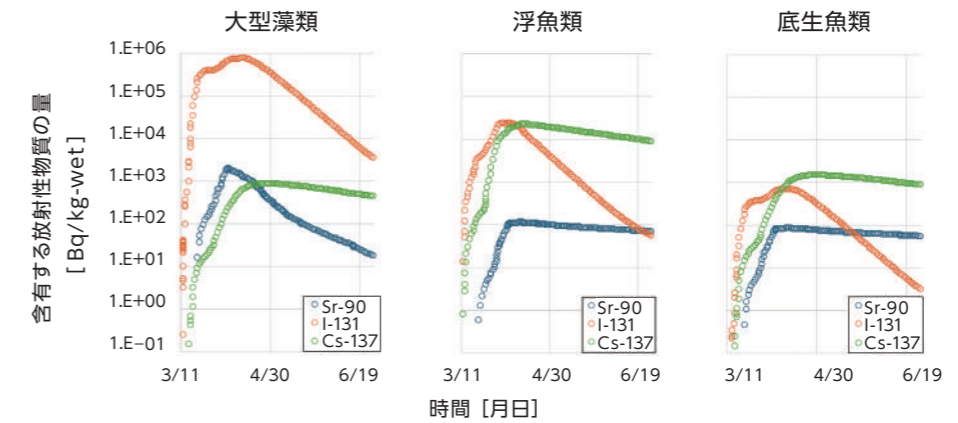
適正な放射線防護に向けたリスク評価技術の開発

●放射性廃棄物として扱う必要がないことを示すための基準値「クリアランスレベル」には、安全を見込んだ設定がされています。しかし、資源を有効に活用するためには、合理的な基準値の設定が重要です。そこで、クリアランスレベルにどの程度の安全裕度が含まれているのかを定量的に評価し、資源のリサイクル率を高めるために検討すべき論点を明らかにしました。

●ミクロな細胞集団が非常に低い線量率で放射線を受けた場合の影響を、生物実験だけで検出するのは困難です。そこで、低線量率で放射線を受けた場合に、細胞集団に生じるダメージを予測・可視化するプログラムを開発しました。これにより、実験では把握しにくいダメージの修復過程や細胞同士の競合といった現象を反映した影響予測が可能となります。

●原子力発電所事故時の放射性物質の海洋放出による海洋生物への影響を評価するため、フランスの原子力安全・放射線防護機関が開発した「動的海洋生物移行モデル」を導入し、藻類や魚類などの海洋生物に放射性物質がどのように移行するかを試算しました。福島第一原子力発電所事故後の海水中の核種濃度を入力して、放射性ストロンチウム(Sr-90)、放射性ヨウ素(I-131)、放射性セシウム(Cs-137)の移行を算出したところ、各核種の物理的・化学的な特徴や、海洋生物の食べ物や代謝などの生物学的な特徴を反映した濃度変化が得られました(右ページ上図)。

2-2. 成果の全体概要



2011年3月11日を基準とした多核種に対応した動的海洋生物移行モデルの計算結果

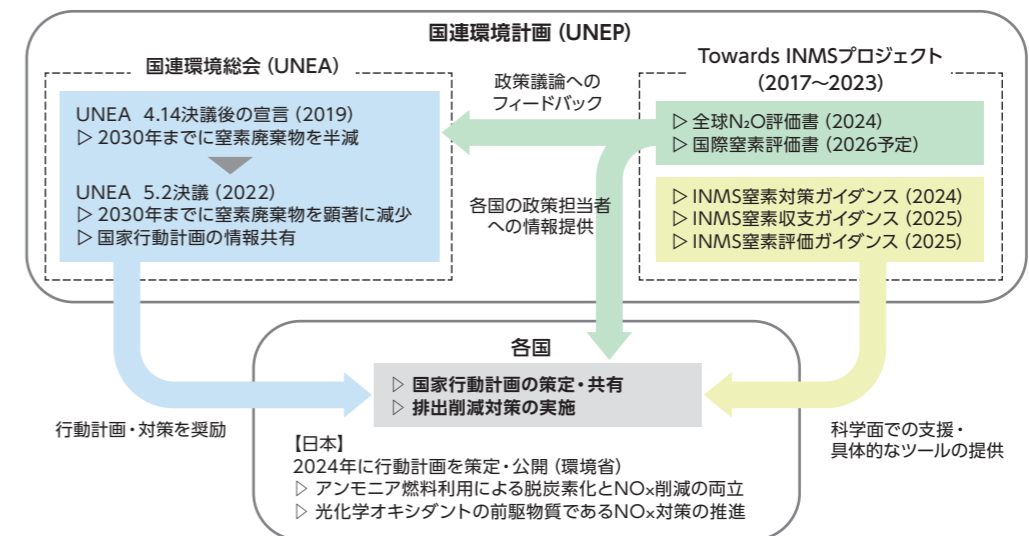
地球温暖化問題に係る動向分析と環境リスク評価

●排出量取引制度(GX-ETS)における排出枠の価格安定化策や上・下限価格の設定方法を分析するとともに、J-クレジット価格の変動要因を踏まえた政策提言を行い、我が国におけるGX実現に向けた制度設計に貢献しました。

→ p.50「2-3. 主要な研究成果(6)」参照

●人為的に製造された反応性窒素*1に起因する環境汚染への対応のため、2022年度に採択された国連環境総会における持続可能な窒素管理に関する決議後の国連環境計画の動きや、わが国での行動計画の策定など、持続可能な窒素管理に関する国内外の動向を整理しました。これにより、アンモニア燃料等を利用して脱炭素化を進める火力発電所においても、窒素管理の重要性が一層高まることを示しました。

*1 反応性窒素：化学的に安定な窒素分子(N₂)を除いた窒素化合物の総称で、燃焼排ガスに含まれる窒素酸化物(NO_x)や亜酸化窒素(N₂O)等が含まれる

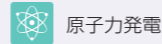


持続可能な窒素管理に関する国内外の主な動き

●電力会社の事業開発・運営に関する生物多様性の保全・再生の動向を把握するため、2022年12月に採択された「昆明・モントリオール生物多様性枠組」を踏まえ、民間資金を自然再生に振り向ける仕組みが先行する英国と豪州の事例を分析しました。その結果、英国では、開発前後で生物多様性増加を開発事業者が義務付ける「生物多様性ネットゲイン制度」が2024年に施行され、制度導入初期から自然再生への投資が進展していることがわかりました。一方、豪州では、自主的な市場に委ねる「自然修復市場」の整備が進むものの、現時点では制度下での自然再生事業数が少なく、投資促進や生物多様性の保全・再生への寄与の評価には一定の期間を要すると考えられます。

2-2. 成果の全体概要

次期原子炉の導入支援



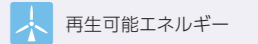
次世代革新炉の導入に向けて取り組むべき技術課題を整理し、パッシブ安全系を中心とした安全設計・安全評価技術の高度化や不確かさ低減手法の開発、安全評価に向けた国際連携を進める上での国内関係機関での枠組みの構築、海上設置や地下立地といった立地の選択肢を拡大する新概念炉の安全評価手法の検討等を進めました。

次世代革新炉の設計評価技術の開発

- 事故時に原子炉内に生じる熱流動現象の安全評価に用いる数値解析モデルに対して、機械学習を活用して実験結果と解析結果の差からモデルの不確かさを推定し精度向上に活用する手法を開発しました。本手法を配管破断事故時の燃料被覆管表面温度の解析に適用した結果、予測精度が向上することが確認され、安全評価の信頼性向上に向けた見通しを得ました。
 - 次世代革新炉の安全評価では、人材育成、最適評価コード*1やその妥当性確認用の実験データの整備を一体的に進めることが不可欠です。これらを国際共同研究の枠組みの中で一体的に解決するため、経済協力開発機構/原子力機関(OECD/NEA)のSYSTHERプロジェクト*2について、電力会社・プラントメーカー・規制機関・研究機関が連携するオールジャパン体制での参画に向けた意思決定を促し、関係機関での合意を形成しました。
- *1 最適評価コード：事故の事象進展や複雑な現象を、より実現象に近く予測できる原子炉システム解析プログラム
 *2 SYSTHERプロジェクト：原子炉システム(主に自然循環や重力などの自然現象を利用する安全機能であるパッシブ安全系)の熱流動実験と解析ベンチマークの国際プロジェクト
- 次世代革新炉の立地の選択肢の一つである浮体式原子力発電所は、海上設置により地震や津波などの自然災害リスク低減が期待される一方で、波浪による揺動や傾斜といった陸上設置とは異なる条件を考慮した安全評価が必要です。そこで、事故発生時に沈没が重なる厳しい事象を想定して、構造解析および注水による凝縮・減圧を考慮した熱流動解析手法を構築しました。これにより、格納容器の内外圧力差を適切に管理するための圧力調整機構や注水時の過度な減圧の回避など、事故進展と沈没挙動が連成した動的な熱流動・圧力応答の評価が可能となります。また、本手法での解析を通じて、沈没時の水圧に耐えられる原子炉格納容器上部の厚さを明らかにしました。
 - 地下立地は次世代革新炉における立地の選択肢となります。当所では、革新軽水炉*3および小型モジュール炉を対象に地下立地レイアウトの検討を進め、地下化した原子炉建屋の地震応答解析や設計規準を超える事故の事象分析を実施しました。これにより、地下立地特有の安全設計上の着眼点を明らかにするとともに、安全評価手法構築に向けた基礎的な知見を取得しました。
- *3 革新軽水炉：福島第一原子力発電所事故の教訓を踏まえ、熔融炉心対策や大型航空機衝突への対策など、安全機能を高めた軽水炉

2-2. 成果の全体概要

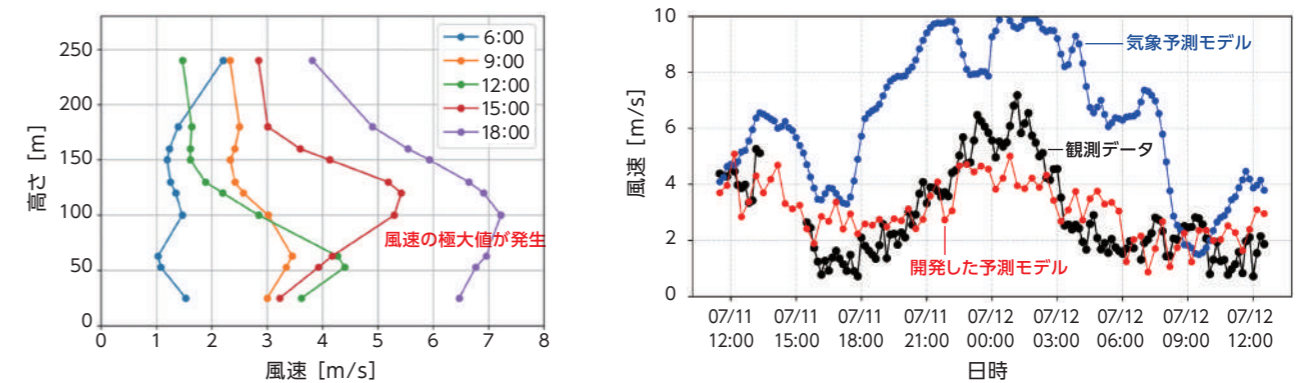
再生可能エネルギー発電技術の確立



洋上風力発電出力の予測に必要な風況予測の精度や信頼性の更なる向上を図るとともに、風車のブレードが雨によって浸食を受ける季節や地域ごとの進行度を明らかにしました。また、カーボンニュートラルへの貢献も期待されるCO₂地熱発電の模擬試験装置を改良し、手法の妥当性検討のためのデータを取得しました。

洋上風力発電の立地・運用保守支援技術の開発

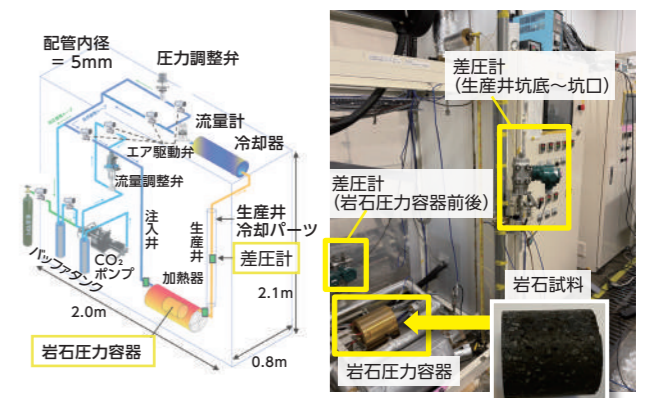
- 雨滴衝突による風車ブレードの摩耗・劣化(レインエロージョン)のリスクを地図上で可視化し、風力発電プロジェクトの計画段階におけるリスク評価やエロージョン低減対策の検討に活用できる日本版「エロージョンアトラス」を、他機関に先駆けて作成しました。
 → p.52「2-3. 主要な研究成果(7)」参照
 - 洋上の風況の現象理解と予測精度向上のため、観測データの解析と予測モデルの構築を行いました。国内の洋上の風況は陸域の影響を強く受け、特にハブ高さ*1付近で生じる風速極大値が洋上風力発電の運用に影響を及ぼす可能性があります。そこで、観測データの解析により、この風速極大値の発生が、大気安定度の変化に起因することを明らかにするとともに、気象モデルと機械学習を組み合わせることで翌日以降の洋上の風況を高精度に予測できる手法を開発しました(下図)。
- *1 ハブ高さ：地表から風力発電機のブレードが取り付けられた中心部までの高さ。発電量や風況評価の基準となる



ハブ高さ付近で生じる風速極大値の発生事例(左)と洋上風況(ハブ高さ相当)の予測結果(右)

地熱発電導入拡大のための立地支援・運用技術の開発

- カーボンリサイクルCO₂地熱発電*1を模擬する当所の室内試験装置を開発しています。本試験装置は、高さが2m程度と実スケール(数百メートル)と比べて小さいため、配管下部と上部の間数十Pa程度のごく小さな圧力差を正確に測れる差圧計を導入しました。また、地盤を模擬した岩石試料内部にCO₂を圧入できる圧力容器を新たに製作・設置しました(右図)。これにより、発電量評価に用いる坑井内および発電サイクルのシミュレーションの妥当性検証に必要な温度・圧力・流量のデータを、本試験装置で取得できるようになりました。

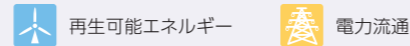


室内実験装置の外観図 (黄色い四角で囲った部分が改良箇所)

*1 カーボンリサイクルCO₂地熱発電：熱水が不足/枯渇した地熱貯留層中にCO₂を圧入し、高温になったCO₂で発電を行う。圧入されたCO₂の一部は貯留層内に固定される

2-2. 成果の全体概要

次世代グリッドの安定運用技術の確立



再生可能エネルギー電源の導入拡大を見据えた次世代グリッドの安定運用を実現するため、太陽光・風力発電の予測手法を高度化するとともに、インバータ電源や高圧直流送電を活用した新たな系統安定化技術の開発を進めました。さらに、次世代電力システムを支える情報通信技術として、厳しい通信環境下における信頼性の高い広域通信技術の開発にも取り組みました。

太陽光・風力発電出力の把握・予測の次世代技術開発

- 太陽光発電(PV)や風力発電の出力変動に対し、初期値が異なる複数の気象予測(アンサンブル気象予測)と機械学習を組み合わせた確率予測手法を開発しました。気象条件と発電出力の関係を学習することで、予測誤差の低減と信頼区間幅の適正化を高いレベルで実現しました。
- 残余需要*1の予測誤差が電力の需給運用に与える影響を無視できないため、需要・PV・風力発電の予測誤差に基づく基礎検討を実施しました。その結果、需要・PV・風力発電の予測誤差はそれぞれ異なる傾向を示すこと、また、需要の予測誤差は地域間で類似した動きを示し、そのため残余需要の誤差も連動する可能性があることを明らかにしました。

*1 残余需要：総需要(正味の需要)から太陽光発電出力と風力発電出力を差し引いた残りの需要

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

- 基幹系統事故時に配電系統へ接続されているPCS*1の停止有無を精度よく判定するため、配電系統で生じる電圧位相変動の発生メカニズムを明らかにし、その電圧位相変動を概略的に推定する手法を開発しました。

→ p.54「2-3. 主要な研究成果(8)」参照

*1 PCS：Power Conditioning System。太陽光発電などの分散エネルギー資源の系統連系に用いられ、直流電力を系統と同期した交流電力に変換し、保護機能も備える装置

- 適地が偏在する洋上風力などの再生可能エネルギーの電力を広域で活用するために、長距離大容量の高圧直流送電(HVDC)が注目されています。2つの交流系統間での大電力送電時には、片方の交流系統での系統事故の影響がもう一方の交流系統にも及び場合があります。このため、HVDC両端の変換器にあるキャパシタを利用し、系統事故後に送電電力の一部を吸収することで需給不均衡を緩和できる制御手法を考案しました。

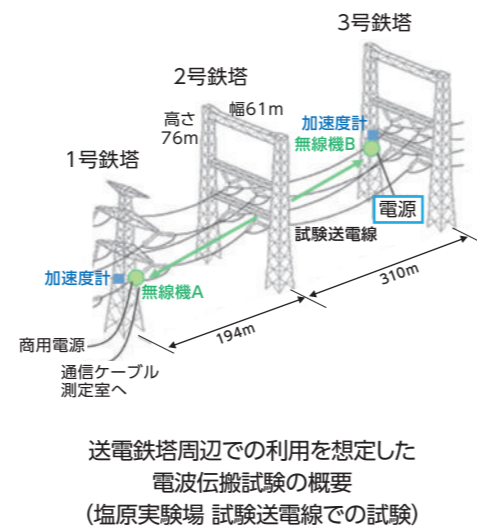
次世代電力システムを実現する情報通信技術の開発

- 当所が提唱するTOWER LINK®*1の実現に向け、送電鉄塔周辺でのミリ波・テラヘルツ波の利用を想定した電波伝搬試験を実施しました*2。その結果、送電線近傍の高電界環境においても、また送電線が電波を遮るように無線機を配置しても、良好な広帯域通信が維持できることを確認しました(右図)。

*1 TOWER LINK：Transmission tower based Optical and Wireless Extremely Reliable Link。送電鉄塔に取り付けた広帯域無線機と鉄塔に敷設されている光ファイバーの融合により、信頼性の高い通信ネットワークを実現する構想

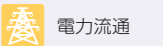
*2 国立研究開発法人情報通信研究機構の委託研究(JPJ012368C04901)により実施

- 電力保安用通信網では、従来の回線交換方式からIP系ネットワークへの移行が進んでいます。一方で、IPに対応していない電力設備も存在しており、これらの設備で使用している信号をIPネットワークで伝送するための変換技術の適用可能性を評価しました。その結果、電力システムの運用に求められる遅延時間内で通信が行えることを確認しました。



2-2. 成果の全体概要

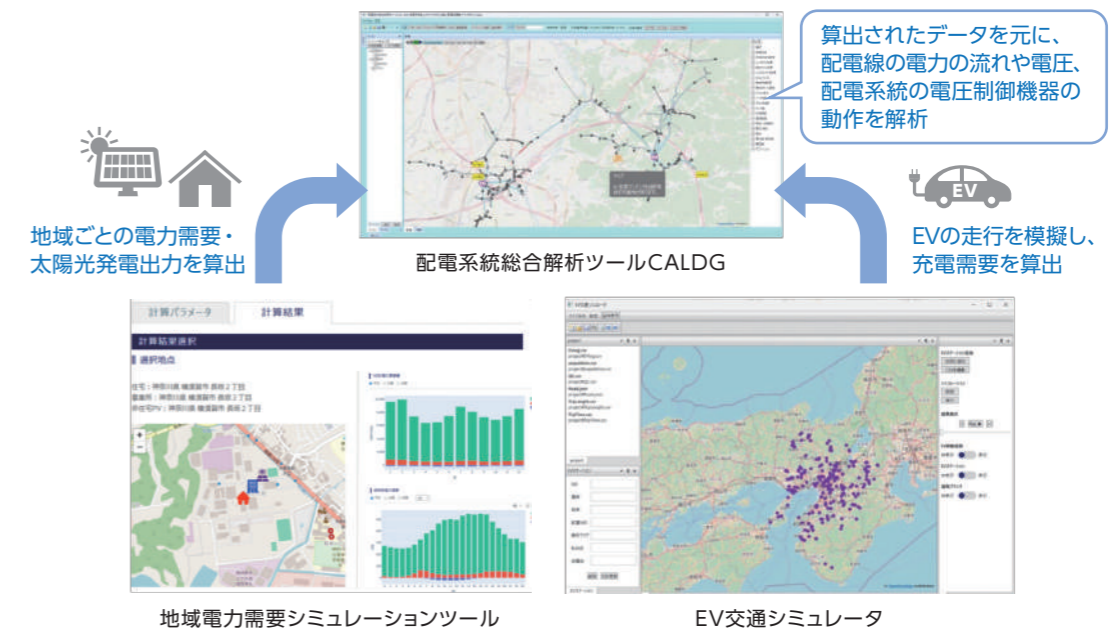
地域エネルギーグリッドのプラットフォーム化



分散エネルギー資源や電気自動車(EV)の普及拡大に備えて、次世代地域グリッドにおける配電系統へのこれらの影響を評価するための各種解析ツールを連携し、電力需要や太陽光発電、EV充電の影響分析と電圧維持に向けた制御手法を含む運用技術の高度化に取り組みました。

次世代地域グリッドの構成・運用技術の開発

- 地域グリッドにおける分散エネルギー資源について、その活用と配電系統への影響を検討するため、当所開発の配電系統総合解析ツールCALDGと各種ツールを連携し、地域電力需要やEV充電需要の算出と配電系統解析を連動できる環境を構築しました(下図)。これらのツールにより算出した地域電力需要・太陽光発電出力・EV充電需要データを用いて、配電線の潮流・電圧や電圧制御機器の動作の解析を容易に実施できることを確認しました。



地域グリッド解析ツール群におけるデータ連携のイメージ

- EVの普及に伴うEV充電需要の増加により、配電系統では電圧変動が懸念されます。現在、国内の急速充電器の多くは出力が150kW未満ですが、今後は150kW以上の超急速充電器の導入も見込まれるため、これらの充電器の普及を想定したシミュレーションを行い、EV急速充電が系統電圧へ与える影響や急速充電器による電圧変動抑制対策として力率一定制御*1を導入した場合の、系統運用への影響緩和の効果を評価しました。

*1 力率一定制御：無効電力を調整し、電圧への影響を抑えるように出力を制御する方式。PV用PCSの制御方式として用いられている

2-2. 成果の全体概要

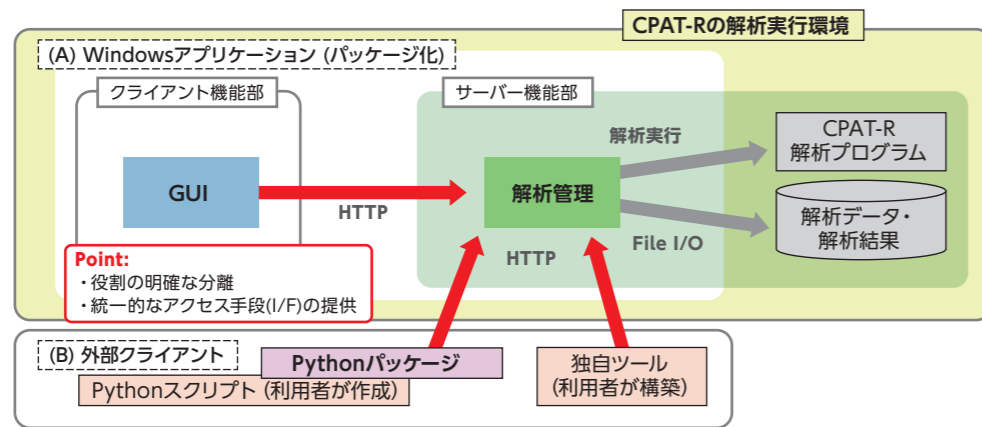
電力システムの合理的な広域運用技術の確立



再生可能エネルギー電源の大量導入や系統構成の複雑化を背景に、広域的な視点で電力系統を合理的に運用するための解析・評価技術の高度化に取り組みました。また、系統解析基盤の拡張性・利便性向上と、再エネの電圧制御特性を考慮した解析機能の整備を進めました。

電力システムの安定性維持・広域連系支援技術の開発

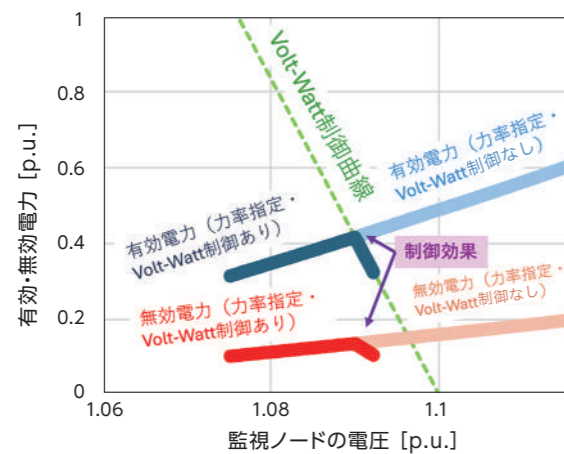
- 多様化する電力システムの解析業務に柔軟に対応するため、当所が開発した電力系統統合解析ツールCPATの後継版CPAT-R向けの解析実行環境のプロトタイプを開発しました。HTTPに基づく統一したインターフェースを採用することで、GUIなどのクライアント側の機能と解析管理などを行うサーバー側の機能を独立に開発できるようにし、保守性と拡張性の高い構成としました(下図)。



CPAT-R向け解析実行環境のプロトタイプ版の構成

- 系統電圧上昇時におけるインバータの出力特性を考慮した電圧・潮流の分析を可能とするため、CPAT-Rの潮流計算プログラムLFAに、再エネなどのインバータ電源の電圧制御方式の一つであるVolt-Watt制御^{*1}の模擬機能を組み込みました。標準的な電力系統解析モデルであるIEEE118試算システムを用いた定常シミュレーションを行った結果、系統電圧上昇時に特性どおりに再エネの有効電力が抑制され、系統電圧の上昇が低減されていることが確認できました(下図)。

*1 Volt-Watt制御：過電圧時に有効電力を制限する制御で、北米等のグリッドコードでも採用されている代表的な電圧制御方式の一つ

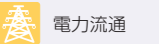


※ 力率指定値は遅れ0.95(発生側)を想定、Volt-Watt制御の特性は北米のIEEE 1547-2018に規定されている参考定数範囲で想定

電圧上昇を想定した定常シミュレーションにおける再エネ接続点の電圧と有効電力・無効電力の推移

2-2. 成果の全体概要

広域災害に対する防災・減災・復旧技術の確立



台風・強風等による電力設備被害の軽減と早期復旧を目指し、送配電設備を対象に、被害リスクの評価、設計の高度化、停電復旧時間の予測に関する研究を進めました。また、将来気候を考慮した風リスク評価や、実務で活用しやすい設計・復旧支援技術の整備を通じて、電力流通設備のレジリエンス向上に取り組みました。

電力流通設備の自然災害リスク評価・対策技術の開発

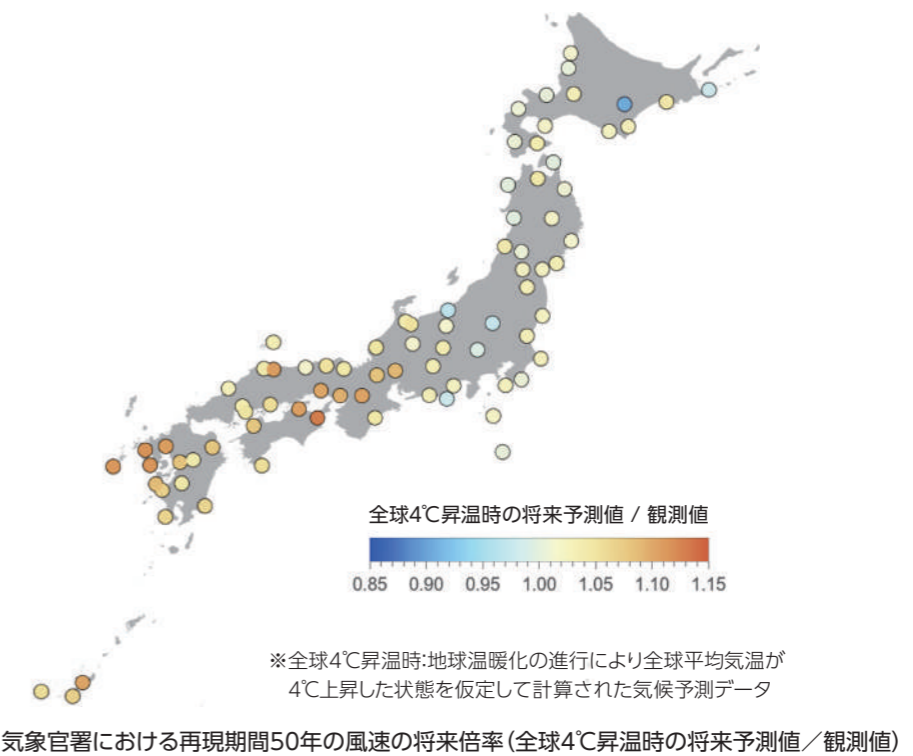
- 数値気象モデルの高精度化と新機能実装により、日本海寒帯気団収束帯(JPCZ)に伴う大雪の早期検知、積雪深予測の精度向上、雪害時の復旧支援・巡視計画の高度化を実現しました。

→ p.56「2-3. 主要な研究成果(9)」参照

- 送電用鉄塔部材に生じる渦励振^{*1}起因の疲労き裂リスクを的確に把握するため、部材継手部の疲労試験結果に基づき各地の気象データから寿命を評価する手法を開発しました。これにより、鉄塔の位置や部材の細長比^{*2}などの情報から、損傷リスクの高い部材を簡単に抽出できるようになりました。

*1 渦励振：風を受けた部材の背後に発生する渦に起因した振動現象
*2 細長比：部材の細長さを表す指標であり、この値が大きいほど部材が長く、断面が小さいことを表す

- 文部科学省のプロジェクトで作成された高解像度の気候予測データを用いて、風速極値の将来変化を推定しました(下図)。その結果、送電用鉄塔の設計等で参照される再現期間50年(50年に一度)の風速は、全球平均気温が4℃上昇した状態を仮定した場合、西日本で最大1割程度増加する可能性があることがわかりました。



※ 全球4℃昇温時:地球温暖化の進行により全球平均気温が4℃上昇した状態を仮定して計算された気候予測データ

気象官署における再現期間50年の風速の将来倍率(全球4℃昇温時の将来予測値/観測値)

- 当所開発の簡易発生軸力評価プログラムTCLOAD2と三次元非線形有限要素解析コードCAFSSを連携させ、送電用鉄塔を三次元の骨組構造として表現し、風などの外力作用時に各部材に生じる力を全体として計算できる送電用鉄塔設計支援システム「TAFSL」を開発しました。本システムは、送電用鉄塔設計標準JEC-5101および電気設備技術基準に準拠した鉄塔設計を、電力各社のGUI環境で実施できることが特長です。

2-2. 成果の全体概要

CCSや水素等を用いた火力のゼロエミッション化



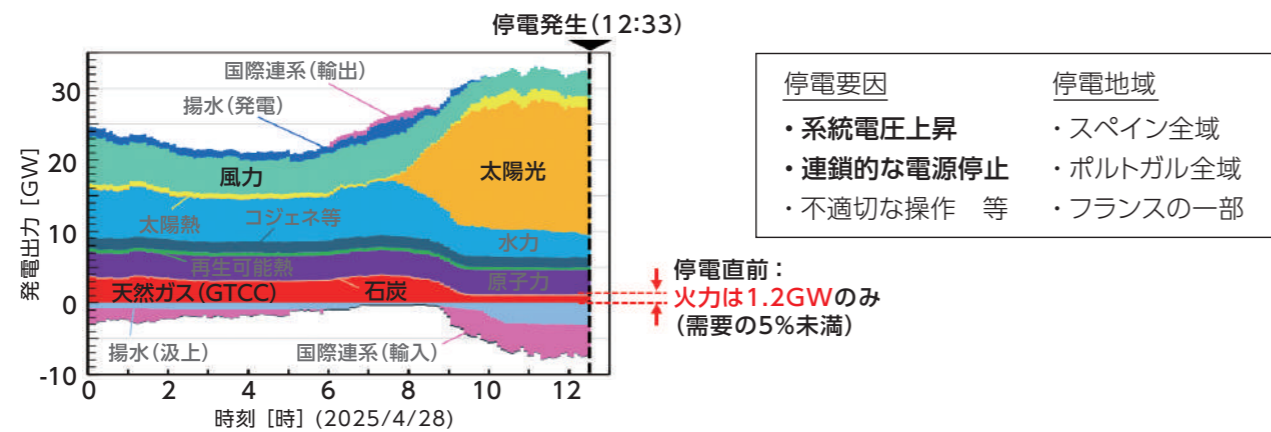
火力発電プラントにおける化学吸収法CO₂回収設備の数値モデルを構築するとともに、水素・アンモニア等の脱炭素燃料の利用に向けて、アンモニア混焼のプラント性能評価技術の構築や、実機ボイラの腐食環境の数値解析による評価を行いました。また、金属粉末燃焼のエネルギー源としての利用に関する海外動向を調査するとともに、実験により鉄粉が石炭と同等以下の温度で燃焼可能であることを確認しました。さらに、再エネ大量導入時の大規模停電事例を分析し大型の火力発電設備による電圧調整能力の重要性を示しました。

火力発電プラントにおける脱炭素燃料利用とCCSへの対応

- 化学吸収法によるCO₂回収設備を火力発電プラントに導入する際の熱効率や運転状況を評価するため、CO₂を回収する吸収塔や、吸収後のCO₂を取り出す再生塔といった機器ごとの数値モデルを組み合わせた解析技術を開発しました。
→ p.58「2-3. 主要な研究成果(10)」参照
- 水素・アンモニア発電の実用化に向け、ボイラやガスタービンの数値解析により、燃焼条件の変化に伴う収熱量*1の変動を算出し、その結果を反映して火力発電プラント全体の熱・物質収支を解析するツールを構築しました。一例として、石炭ボイラにおけるアンモニア混焼を解析し、ボイラでの収熱量増加に伴い発電出力が向上することを確認しました。

*1 収熱量：燃料を燃やして発生した熱のうち、水や蒸気に伝わった熱の量

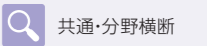
- 石炭火力でのアンモニア混焼時の腐食リスク評価に向け、炉内アンモニアおよび腐食要因の硫化水素の濃度を数値解析により算出し、石炭専焼時との比較から壁面の腐食環境変化を明らかにしました。また、石炭専焼およびアンモニア混焼のガス組成や温度条件を模擬した腐食疲労試験により、ボイラ材料の疲労寿命に有意差がないことを確認しました。
- 金属粉末の燃焼による化石燃料代替の可能性を調査するため、海外の関連施設や企業を実地調査し、燃焼後に生成する酸化金属の再生に多量の水素を使用するなど、コスト面で課題があることを明らかにしました。加えて当所設備で鉄粉末の燃焼反応試験を行い、石炭より高い反応性を示し、通常石炭ボイラ内より低温で燃焼が進行することを示しました。
- 再エネが拡大する中での火力発電の役割を示すため、スペインで発生したイベリア半島大規模停電について公表レポート等をもとに発電状況を分析しました(下図)。直前は太陽光発電量が多く、火力発電は出力低下状態にあり、系統電圧上昇に伴い連鎖的に電源が停止していました。このことから、火力発電による電圧調整能力の重要性を明らかにしました。



停電当日のスペインの発電状況(2025年4月28日0時~13時)

2-2. 成果の全体概要

資源循環・カーボンリサイクルの確立



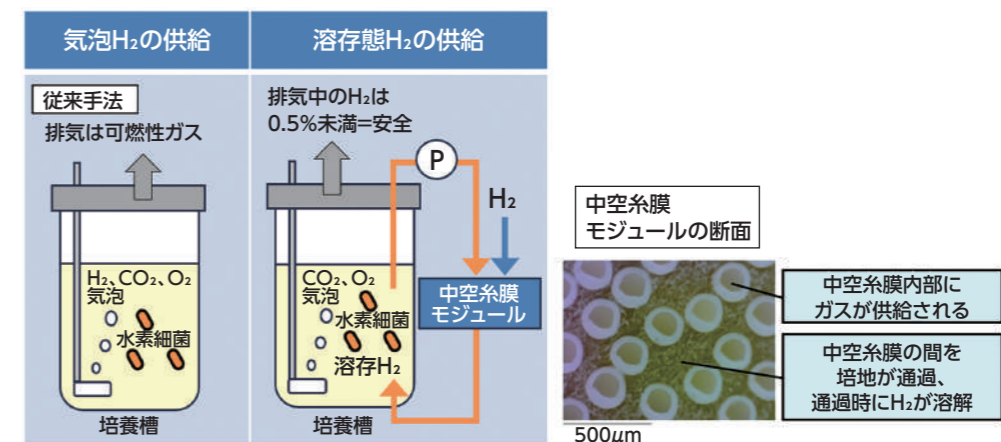
カーボンニュートラルの実現に貢献するため、火力発電所等の脱炭素化を中心にCO₂を資源として活用する技術と、その効果を適切に評価する手法の開発を進めました。水素細菌の培養技術の高度化手法や、発電所排気ガスを用いたコンクリート廃材へのCO₂固定・再利用技術を開発するとともに、CO₂固定量の評価手法や規格化の検討を通じて、社会実装に向けた技術基盤の整備を進めました。

電気事業に係る資源再利用技術の開発

- CO₂を原料とした有用物質生産への利用が期待される水素細菌について、安全かつ効率的な培養技術を開発しました。従来の手法では、可燃性混合ガス(H₂、O₂、CO₂)を泡として吹き込む必要があり、安全性と効率の両立が課題でした。それを改良すべく、中空糸膜モジュールを介して溶存態*1としてガスを供給する方法(下図)などの新たな技術を開発するとともに、これらを適用可能な数十リットル規模の培養システムを構築しました*2。

*1 溶存態：気体が水などの液体中に溶け込んだ状態

*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GI基金事業 委託業務(JPNP22010)により実施



中空糸膜を用いた水素細菌への溶存態H₂の供給

- 火力発電所の排気ガスを直接利用し、コンクリート廃材にCO₂を固定してコンクリート用骨材*3等として再利用する技術を開発しました。あわせて、CO₂固定量の評価手法と、発電所実装時のCO₂固定量・環境負荷・コストを統合的に評価する手法を開発しました*4。CO₂固定量の評価手法については、JIS原案作成委員会に評価精度向上策を提案して原案を作成するとともに、それらをもとにISO規格の制定を進めるため、プロジェクトリーダーとしてISO内にWGを設置し、委員会原案*5を審査段階まで進めました。

*3 コンクリート用骨材：コンクリートの骨格をつくる砂、砂利、砕石などの材料

*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(JPNP21023)により実施

*5 委員会原案:委員会内で審議・意見集約を行うためのCommittee Draft。その後の国際投票、修正作業後にISO規格になる

2-2. 成果の全体概要

エネルギー変換・貯蔵・輸送システムの構築

共通・分野横断

カーボンニュートラルの実現に向け、次世代エネルギー変換、水素・アンモニア利用、蓄電池技術に関する研究を推進しました。廃プラスチックやバイオマス、アンモニア、熱を活用した新たな資源・エネルギー変換技術を創出するとともに、水素輸送や製造・貯蔵に関するコスト評価と水素生成電解セルの強度評価を行いました。さらに、全固体電池の劣化要因解明や高耐久化に取り組みました。

脱炭素化の実現に向けた次世代エネルギー変換技術の開発

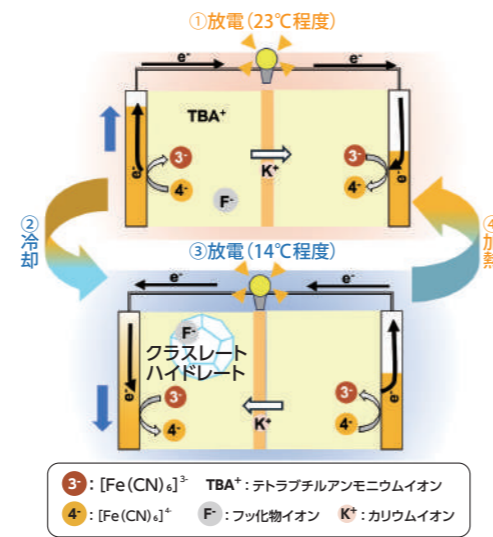
- 安息香酸を含む液体アンモニアに通電することにより、高付加価値のニトリル化合物を直接合成できることを見出しました。これにより、液体アンモニアの新たな用途を開拓しました。

→ p.60「2-3. 主要な研究成果(11)」参照

- バイオマスを利用して廃プラから化学原料や液体燃料を製造する技術の開発として、バイオマス炭化物で廃プラの熱分解を促進し、さらに生成した重質成分を吸着して炭化物の発熱量を増加できることを検証しました。また、事業化に向けて装置大型化に伴う技術課題を抽出しました。

- 常温付近の小さな温度変化を発電に利用するため、電解液中のクラスレートハイドレート*1の生成・分解に伴う相変化により電位差が生じる現象を利用した電気デバイスを創出しました(右図)。

*1 クラスレートハイドレート：複数の水分子が形成する籠状構造の中にほかの分子が包接された物質(包接水和物)



常温付近の小さな温度差を利用する電気化学的発電の概要

水素・アンモニアの製造・輸送・貯蔵、利用技術の開発

- 国内製造水素の適切な輸送方法を示すため、既設ガス導管へ注入し輸送後に分離利用するケースのコストを試算しました。既設ガス導管活用により、トレーラー輸送等に比べ圧縮、積込、車両輸送等の負担を抑制できることなどから、輸送距離が2~60km、輸送量が3,000~20,000m³N/日の場合は、ほかの方法より低コストとなることを明らかにしました。

- プロトン伝導セラミック電解セル*1用固体電解質の健全性評価に向け、実セルの薄膜電解質の代替として同組成の焼結体試料を用い、破壊強度を評価しました。得られた強度分布を統計解析し、欠陥の影響を考慮した強度下限評価に必要な基礎データを得ました。

*1 プロトン伝導セラミック電解セル：水素イオン(プロトン)をキャリアとして伝導するセラミックスを電解質に用いた水電解装置

蓄電池の用途別評価技術および次世代全固体電池の開発

- 酸化物系全固体電池の劣化原因を詳細に評価するため、正負極の個別測定や、特定の充電状態での電極情報取得を可能とする7層構造の多層特殊セルを考案しました。このセルを用いた電気化学測定により、低電圧時に固体電解質が分解し、キャリアイオン(電気を運ぶイオン)が電池反応に寄与しにくくなるのが劣化の主因であることを明らかにしました。

- 酸化物系全固体ナトリウム電池について、焼結条件の最適化により、電極材料の性能を維持しつつ、ナトリウムイオンが移動しやすい構造を形成し、液系電池と同等の放電特性を有する電池を作製しました。この作製条件を従来の小型セルより大きい直径25mmセルに適用して1,000回以上の充放電サイクルを達成し、大型化と長寿命化を実現しました。

2-2. 成果の全体概要

電力設備の運用・保守技術の革新

火力発電

水力発電

電力流通

共通・分野横断

火力・水力・流通設備の運用保守合理化とリスク低減のため、運転解析、混焼評価、腐食・劣化診断、雷・事故電流対策、生態系影響評価などの高度化に取り組みました。さらに、DXやIoT・センサ技術、先進材料、パワー半導体の評価・活用を通じて、設備運用の高度化とスマート保安の実現に貢献する研究を進めました。

火力発電プラントの保守管理合理化と運用変化への対応

- 石炭火力発電所での粉じん爆発が懸念される木質ペレットについて、発生する木質粉じんを高濃度域までリアルタイムに監視できる技術を開発しました。 → p.62「2-3. 主要な研究成果(12)」参照
- 既存燃料とは異なる水素・アンモニアの燃焼特性を踏まえた火力プラントの運用検討に向け、当所開発の動特性解析ツールに水素・アンモニアの発熱量や物性、混焼率・流量比を考慮できる機器モデルを組み込みました。これにより、負荷指令に対する応答性を含め、混焼時の熱効率や各部温度などを評価できるようになりました。
- 海水冷却水系統への付着生物による発電所の取放水の阻害を回避するため、電解塩素の連続注入に高濃度間欠注入を組み合わせる方法や、残留塩素濃度をモニタリングして目標濃度を維持する制御注入を行うことで、付着生物量の低減に有効であることを確認しました。
- 水-蒸気系統の腐食抑制剤候補であるオレイルプロパンジアミン(OLDA)を評価しました。低圧タービン材料でOLDA有無による腐食の起こりやすさを比較し、OLDAにより孔食*1が発生しにくくなる可能性を示しました。

*1 孔食：金属表面に小さな穴が点々とできて深部に向かって進行する局部腐食

水力発電設備の運用保守合理化・リスク対応

- 水車発電機固定子巻線の絶縁劣化を対象に、運転中に得られる電気信号と巻線温度を用いた劣化状態の簡易診断法を提案し、計画外停止リスク低減と稼働率向上に貢献しました。 → p.64「2-3. 主要な研究成果(13)」参照
- 貯水池堆砂対策としてダム下流へ土砂を戻す「土砂還元」では、生態系への影響が懸念されます。そこで、耳川の通砂運用と黒部川の排砂運用を対象に生態系への影響を評価した結果、底生動物の種数の増加などが確認され、土砂還元が河川・沿岸生態系の生物多様性の維持・向上に寄与する可能性を示しました。
- 水車の樹脂製スラスト流体軸受*1の損傷評価および異常診断への適用を目的に、起動・停止時などの過渡条件下における潤滑挙動を評価可能な解析プログラムを開発しました。本コードを水車の起動から停止までの一連の運転に適用した結果、起動時には潤滑油膜の形成遅れにより摩擦が増大すること、停止時には回転停止直前まで油膜が維持されることで油膜圧力の低下が抑制されることを明らかにしました。

*1 スラスト流体軸受：水車や発電機の回転部を潤滑油の膜で支える軸受

電力流通設備の運用保守合理化・リスク対応

- 従来の回路解析では十分に考慮されていなかった雷放電路から放射される電磁界の影響を評価可能な、雷サージ*1解析用送電鉄塔モデルを構築しました。 → p.66「2-3. 主要な研究成果(14)」参照

*1 雷サージ：落雷の影響によって瞬間的に発生する、非常に大きな過電圧・過電流による過渡的な電気現象

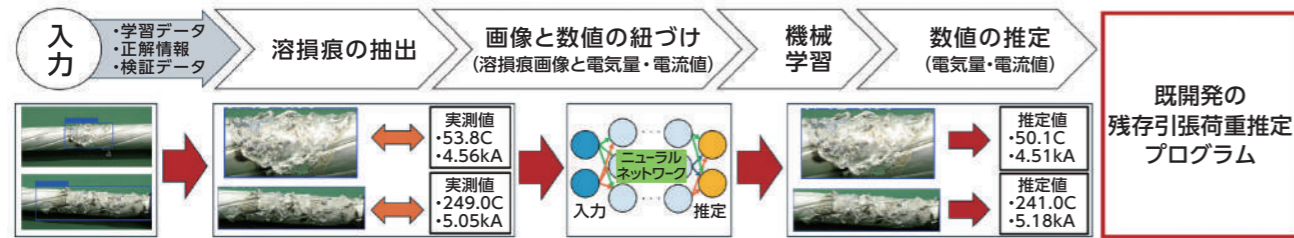
- 劣化による接触不良を模擬した架空送電線圧縮形接続管*2の通電性能を評価することで、事故電流通電時の異常過熱や溶損等の異常を判定する手法を開発しました。 → p.68「2-3. 主要な研究成果(15)」参照

*2 圧縮形接続管：電線同士を接続するための金属製の管(スリーブ)で、専用工具により外側から圧縮することで、電線を強固かつ低抵抗に接続する方式。送電線や配電線の接続部で広く用いられ、機械的強度と電氣的信頼性を確保できる

2-2. 成果の全体概要

- 雷撃を受けた架空地線の補修・張替え要否の判断に使用する残存引張荷重推定手法*3について、雷を模擬した放電による溶損を様々な電流値や電流量で発生させ、その値と溶損痕画像を機械学習させることで、**溶損痕画像から電流量や電流値を推定する手法を開発しました**(下図)。

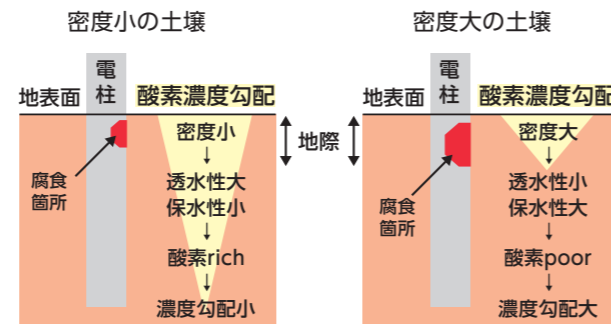
*3 残存引張荷重推定手法：雷などによる溶損後の架空地線が、どの程度の引張力に耐えられるかを推定する方法



架空地線の溶損痕画像に基づく電流量および電流値の推定手法

- 配電用鋼製電柱や支線棒の地際腐食*4挙動を把握するため、臨海地域の複数地点において、**炭素鋼試験片の現地ばく露試験および採取土壌の分析を実施し、腐食速度と土壌特性との関係を明らかにしました**(右図)。ばく露初期4か月では海塩由来イオン濃度と腐食速度の相関が確認されました。一方、1年後には土壌密度などの土壌構造特性との相関が認められました。

*4 地際腐食：鋼構造物が地表と接する付近(地際部)において集中的に進行する腐食



土壌密度は土中への酸素拡散速度、水分量などに影響

土壌密度が腐食に与える影響を示す模式図

便益評価に基づく流通設備のアセットマネジメント技術開発

- 実変電所4か所の変圧器を対象とした部分放電測定*1において、**測定周波数の選定、複数箇所での同時測定、および位相分解部分放電パターン*2の解析を組み合わせることで、従来は困難であった絶縁劣化による内部部分放電信号と外来ノイズの識別を可能とする手法の開発への手がかりが得られました**。

*1 部分放電測定：絶縁劣化の初期兆候となる微小な放電を検出し、設備健全度を評価する測定

*2 位相分解部分放電パターン：交流電圧の各位相での部分放電信号の大きさと発生頻度の関係を可視化した解析手法

- 実使用環境から撤去された**ポリマーがいし**を対象に、色差計などの携帯機器を用いた測定結果から外被材(シリコンゴム)表層の白亜化や撥水性の経年変化が定量評価できることを示し、**劣化進行・異常兆候の把握が可能な現場適用性の高い診断手法を提案しました**。

送配電・発電事業におけるDXの推進

- CIM*1を利用することで、ウェブブラウザ上で**指定された電力システムの解析モデルを設備データベースから自動生成するシステムを、送変電系統用と配電系統用にそれぞれ試作しました**。本システムにより生成した解析モデルを用いて、潮流計算や電圧計算、瞬時値計算などを実施できる見通しが得られました。

*1 CIM：Common Information Model. 電力設備や系統情報を共通の形式で表現・共有するための国際標準モデル

- 高圧需要家において、電気の基本料金は契約電力(過去1年間の**デマンド値*2のピーク**)に基づいて算出されるのが一般的です。この**ピークを簡易に可視化するツールと生成AIを組み合わせ、需要家ごとに適した省エネアドバイスを自動生成する手法を開発しました**。実際の電力消費データを用いて、契約電力の90%以上の需要が続く期間を可視化するとともに、消費傾向を踏まえたアドバイスが提供できることを確認しました。

*2 デマンド値：ある30分間(通常は毎時0~30分、または30~60分)に使用された平均使用電力(kW)

2-2. 成果の全体概要

電力設備のスマート保安を支援するIoT・センサ技術の開発

- 全固体電池は充放電に伴う電圧変化に過去の入力の影響が残るため、**物理リザーブコンピューティング*1**へ応用することで、従来のコンピュータの計算の一部を電池デバイスが担える可能性があります。そこで、充放電電流を入力、電圧応答を出力とした計算を行った結果、標準的な時系列予測の問題(NARMA2モデル)を高い精度で予測できました。

*1 物理リザーブコンピューティング：振動・光・回路などの自然な応答を「計算の器」として使い、入力に対する複雑な変化をそのまま特微量として取り出し、簡単な学習で結果を得る計算手法

- 送電線の制振とセンサ用電源を両立するため、送電線振動と振動子の共振で発電する**振動発電ダンパを開発しました**。約3か月の振動データをもとに振動子の固有振動数を調整し、風速3m/s前後の微風でmWレベルの発電を実現しました。

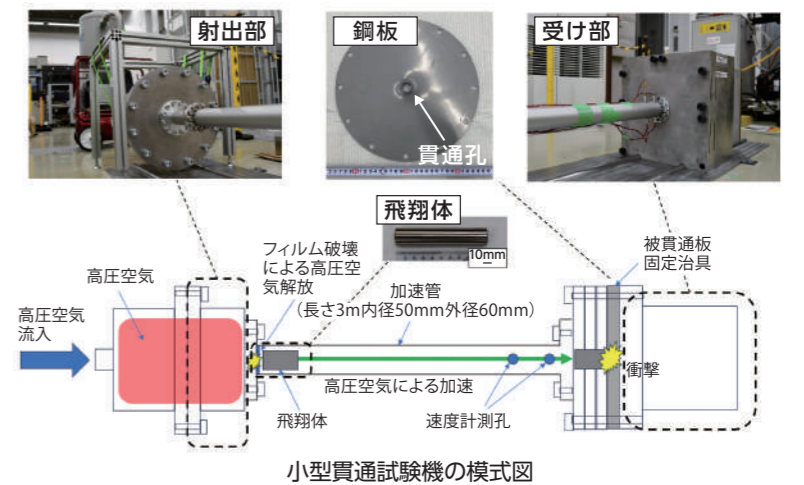
構造材料の先進評価・製造技術の開発

- **金属積層造形**において、設計自由度が高く精密な造形が可能なレーザー粉末床溶融結合法(LPBF)*1を活用し、**軽量かつ高強度を実現する骨組み状の内部構造(ラティス構造)を試作しました**。また造形時の熱伝導の解析と、セルオートマトン法*2とを組み合わせることで、LPBFにおける結晶粒の溶融・凝固の過程を解析する手法を整備しました。

*1 粉末床溶融結合法(LPBF)：Laser Powder Bed Fusion. 金属粉末をレーザーで溶かして固め、立体形状を成形する方式

*2 セルオートマトン法：格子状の空間に配置された「セル」が、周囲の状況に応じたルールに基づいて時間的・空間的に状態を変化させる計算モデル

- インフラ設備材料の衝撃破壊挙動を評価するため、**圧縮空気により加速させた飛翔体を鋼板に衝突させる小型貫通試験機を開発しました**。ステンレス円柱の先端に銅球を組み合わせた飛翔体を用いて、既往の台風で観測された最大風速に近い射出速度(91m/s)を再現し(右図)、自然災害時に厚みによっては鋼板の貫通が起こり得ることを示しました。



小型貫通試験機の模式図

パワー半導体の材料合成技術と評価技術の開発

- 火力発電所の通常運転時に故障した励磁装置用サイリスタ*1 2個を入手し、同程度に経年使用した同型の健全品と比較しました。その結果、健全素子は高い抵抗値を示し漏れ電流にも異常がなかったのに対し、故障素子は抵抗値が極端に低く短絡状態にあることが確認されました。**故障素子からウエハを取り出して各種分析を行った結果、漏れ電流の増加が故障の要因であると推定されました**。さらに、今後の劣化評価や故障解析に必要な素子構造の情報を取得しました。

*1 励磁装置用サイリスタ：発電機の起電力を発生させる磁界を作り出すための装置において電力制御に用いられるパワー半導体素子。特定の信号でオフ状態からオン状態にすると大電流を流すことができる

- SiC/パワー半導体*2の信頼性向上に向け、通電劣化の要因となる積層欠陥*3を対象に、SiC単結晶膜中で積層欠陥が拡大する際の光照射強度測定、および光照射時における膜中キャリア密度*4分布のシミュレーションを行いました。両者の結果に基づき、**積層欠陥の周囲におけるキャリア密度の低下によって欠陥の拡大が生じることを見出しました**。

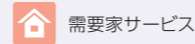
*2 SiC/パワー半導体：パワーエレクトロニクス機器の低損失化・小型化を実現する新型のパワー半導体。従来のSiパワー半導体と比べ、耐電圧性能、低損失性能、放熱性能に優れる

*3 積層欠陥：SiC単結晶に含まれる面状の結晶欠陥。デバイスの通電時や光照射時に拡大し、電流の流れを著しく妨げる性質を持つ

*4 キャリア密度：半導体中の電気伝導を担う電子およびホール(正孔)の密度

2-2. 成果の全体概要

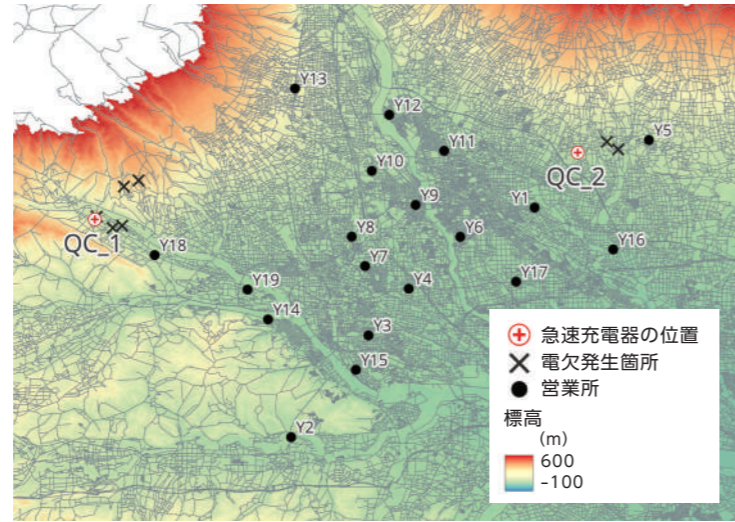
電気利用技術の高度化



需要側の電化および電気利用技術の高度化によって脱炭素と電力の安定供給を両立させるため、電気自動車や工場用・家庭用ヒートポンプ給湯機、エアコン暖房などに関する研究を進めました。また、地域レベルでの電力需要のシミュレーションツールの高度化など、電力需要推定に関する研究にも取り組みました。

DERによるフレキシビリティ供給の活用向上に資する技術開発

- 当所で開発した商用EV交通シミュレータに、EV配送車の電欠回避策を検討する機能を追加しました。データ計測に協力を得た事業者様の営業所19か所、配送車318台を対象に走行ルートを模擬し、電欠発生箇所の推定や電欠回避に必要な急速充電器の設置台数を導出しました(右図)。
- 当所で開発した空調電費計算モデルを利用して、冷暖房利用時のEVバスの電費(km/kWh)を予測する方法を構築しました。都市部の路線EVバスの実測結果と予測結果の誤差が少なく、本手法の妥当性を確認できました。



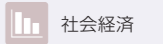
電欠発生箇所と急速充電器の設置箇所

需要サイドの省エネ・電化促進技術の開発

- 当所開発の地域電力需要シミュレーションツールについて、スマートメータデータと機械学習を活用して精度向上と高速化を実現しました。
→ p.70「2-3. 主要な研究成果(16)」参照
- 産業部門の電化に向けて、生産プロセスを起点とした工場全体の熱の流れを俯瞰し、工場への産業用ヒートポンプの導入によって高いエネルギー効率を実現するための方法論を構築しました。また、エネルギー・コンサルタントによる産業用ヒートポンプの導入提案を支援するため、省エネ性などの導入効果の試算を含む提案手順を作成しました。
- 家庭用ヒートポンプ給湯機のエネルギー消費効率向上のため、水道水の水質管理、住宅への給水方式、貯湯タンクの殺菌運転事例等をもとに、レジオネラ菌の殺菌手段の追加など、レジオネラ症感染リスクを抑制しつつ沸き上げ温度を低減することで効率を向上させる3通りの方策を考案しました。
- 住宅における暖房の電化に向けて、人体の部位別の放射・対流放熱量を算出することにより、壁面温度の不均一性や上下温度差に起因する局所的な放射・対流が人体の温冷感に与える影響を定量的に評価する手法を構築しました。この手法を低断熱住宅と高断熱住宅に適用した結果、高断熱化による放射場の改善が主要因となりエアコン暖房でも十分に高い温熱快適性を実現できる可能性を示しました。

2-2. 成果の全体概要

エネルギー政策の先導



持続可能な電気事業の構築に向けて、データセンターの電力需要の推計を行うとともに、電力システム改革検証後の電力市場やレベニューキャップ制度等の課題について、海外調査等に基づいて分析を行いました。また、原子力発電の活用に向けた事業環境の整備に関連して、英国、米国、カナダの規制見直しの事例や英国政府の支援策を調査しました。

電気事業の制度設計とエネルギー需給構造の分析

- サーバーの電力需要や床面積等を主要変数とするボトムアップ法を用いて、2050年度までのデータセンター(DC)電力需要を推計しました(右図)。今後10年間のDC電力需要が示されている電力広域的運営推進機関(OCCTO)の供給計画の想定値が実現した上で、主要変数の増加が続くと仮定すると、DC電力需要は、2050年に197TWhに達する可能性があります。一方、今後のDC電力需要は、AI利用に伴う計算負荷の増減やビッグテックによるDC立地戦略等に依存しています。それらを考慮し将来のDC電力需要は、上振れ・下振れもあるため、適宜見直すことの重要性を指摘しました。
- 供給力確保に有効と評価される英国の容量市場制度を調査しました。需給に関する複数のシナリオを踏まえた目標調達量の設定、最低調達量を設定する実需給前年のオークションの毎年の開催、新設電源等に対する複数年契約の付与など、我が国の制度設計において電源投資の予見性を高め、また供給力を安定的に確保するための示唆を得ました。
- 英国とドイツのレベニューキャップにおける物価調整制度を調査しました。その結果、消費者物価指数に加え、一般送配電事業者の原価における主要費目の価格指数を考慮することで、費用実態に近い水準で収入上限を設定し得ることを示しました。また、物価調整の運用にあたっては、収入上限への反映が翌期以降となる場合に利息を考慮する必要性を指摘しました。

ボトムアップモデルの採用

サーバーの設置台数・一台当たり電力需要等の個別技術を積み上げる方法

[主要変数]
サーバー一台当たり電力需要
サーバー計算負荷の増加傾向を踏まえ、級数的に増加する前提
DC床面積
線形で増加する前提

供給計画の情報を反映

今後10年間は、2025年に公表されたOCCTO供給計画の想定値(2034年度までに44TWh増)が実現することを前提

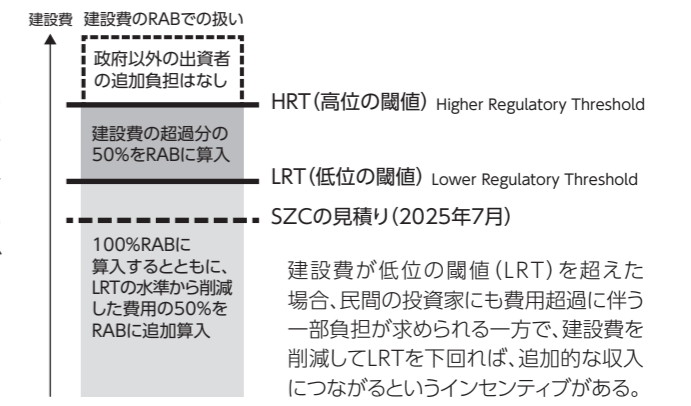
なお、供給計画では、系統接続情報をもとに、補助金採択状況等を踏まえ、一般送配電事業者が蓋然性が高いと判断する案件について、DC電力需要を個別に計上

2050年度におけるDC電力需要：197TWh

2050年度におけるDC電力需要の分析

原子力政策の再構築に向けた社会経済的課題への対応

- 英国・米国・カナダにおける、原子力関連規制の効率化に向けた取り組みの状況を調査し、3か国の取り組みの特徴や共通する傾向等について分析しました。
→ p.72「2-3. 主要な研究成果(17)」参照
- 英国で建設予定のSizewell C発電所に適用されるRABモデル*1の制度設計や資金調達の実態を調査しました。RABモデルでは、投資回収の予見性を確保しつつ効率化を促すため、投資家や事業者にも一定のリスクを負わせつつ、効率化インセンティブを動かせるための仕組みが採られており(右図)、その設計において費用の想定とその上振れリスクの見極めが重要であることがわかりました。



建設費に関するリスク分担とインセンティブ

*1 RABモデル：「規制資産ベース(Regulated Asset Base)モデル」のこと。特定のプロジェクトを対象とする政府の支援策