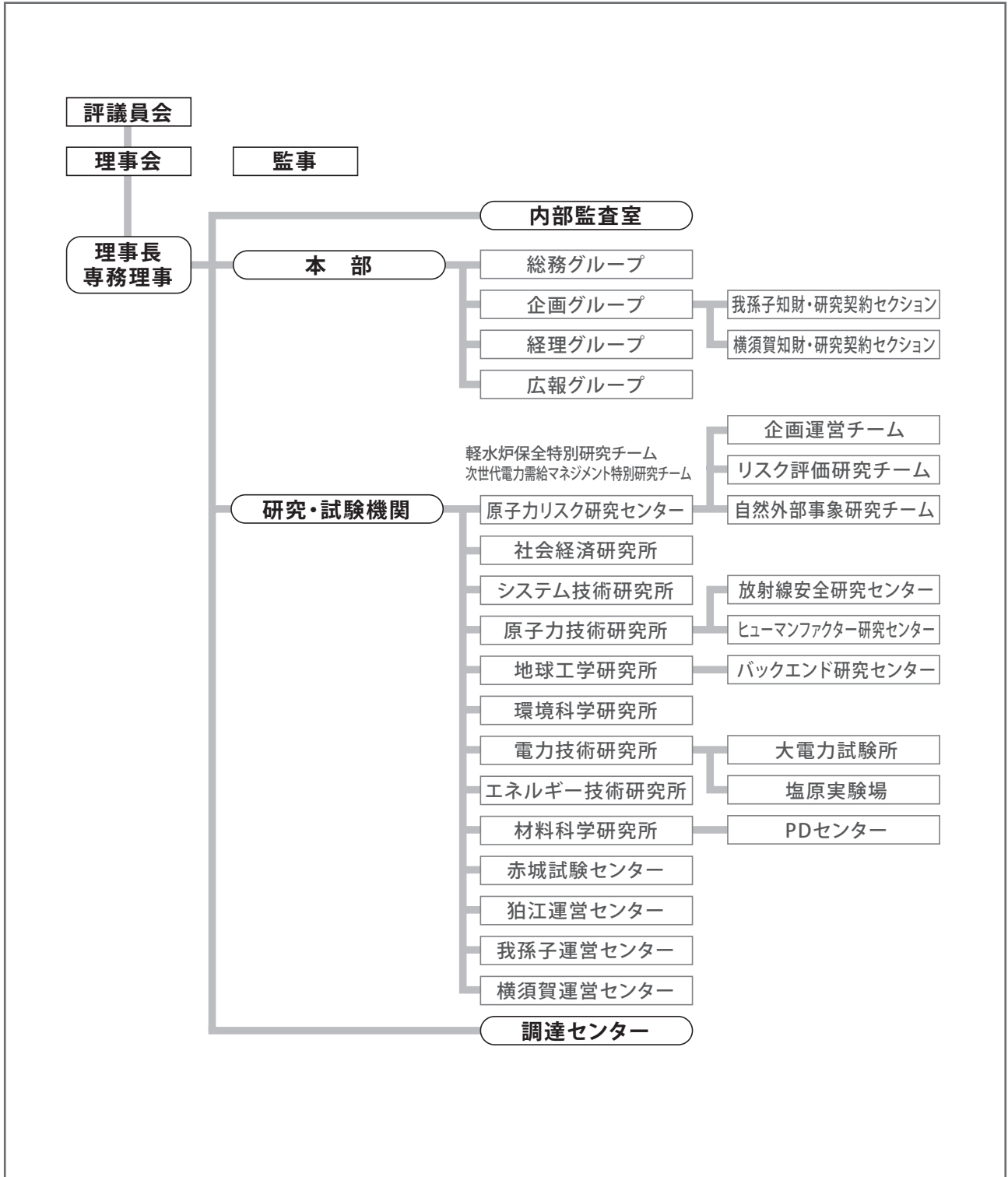
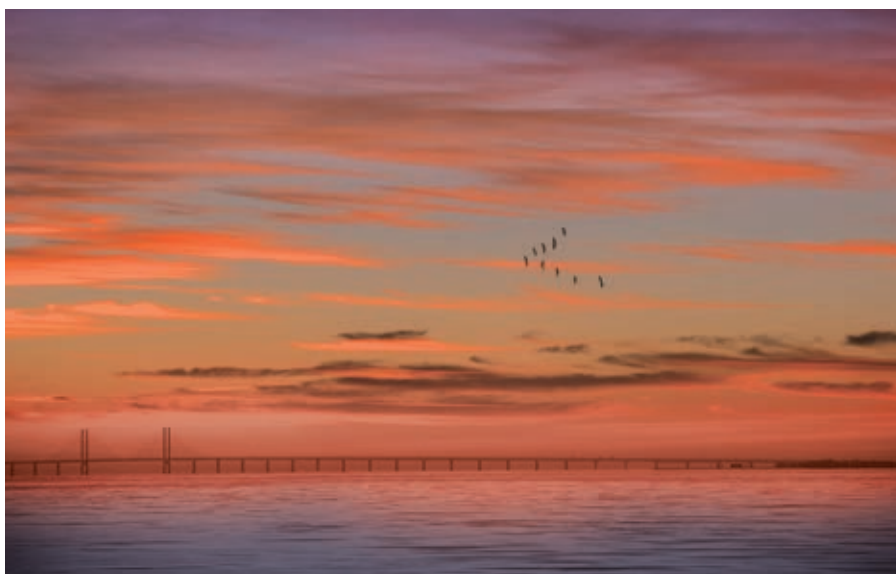


電力中央研究所  
研究年報 2014 年度版  
CRIEPI Annual Research Report Fiscal Year 2014

# 電力中央研究所の組織



電力中央研究所  
**研究年報 2014** 年度版  
CRIEPI Annual Research Report Fiscal Year 2014



# 目次 index

## 1. 研究活動概要 1

## 2. 主要な研究成果 5

### 重点／重点(プロジェクト)課題

#### リスクの最適マネジメントの確立

軽水炉のシステム安全評価	6
放射性物質の拡散・長期動態に関する予測手法の開発	8
原子力施設における火災現象評価技術の確立	10
自然外部事象に対する原子力施設のフラジリティ評価	12
原子力施設に対する自然外部事象のハザード評価	14
低線量放射線リスクの定量評価と放射線防護への反映	16
放射性廃棄物処分の長期安全性評価技術の体系化	18
使用済燃料の長期貯蔵管理技術の開発	20
電力設備に及ぼす気象・気候影響予測手法の開発	22
送配電設備の風雪害対策技術の実証	24
雷リスクマネジメント技術の構築	26
健全に機能する電力市場とネットワークの中立化	28
原子力事業の制度環境分析	30
温暖化対策制度の分析	32
科学・経済的合理性を持ったCO <sub>2</sub> 排出削減シナリオの構築	34

#### 設備運用・保全技術の高度化

原子炉压力容器・炉内構造物健全性評価	36
軽水炉の機器・配管健全性評価	38
軽水炉のケーブル健全性評価	40
軽水炉機器・配管に対する非破壊検査技術の開発	42
高クロム鋼製高温機器の設備診断技術の開発	44
火力発電の大気環境総合評価技術の開発	46
石炭灰の利用拡大支援技術の開発	48
生物多様性分野の環境アセスメント技術の開発	50
ダム流域土砂管理のための統合システム開発	52
経年電力流通設備の維持管理技術の構築	54
経年鉄塔の健全性評価技術の開発	56



## 次世代電力需給基盤の構築

微粉炭火力の燃料種拡大のための運用技術開発	58
低品位資源利用技術の高度化	60
太陽光発電大量導入時の系統セキュリティ評価	62
太陽光発電出力の高精度推定・予測技術の開発	64
次世代通信ネットワークシステムの実証と共通仕様化	66
次世代配電ネットワーク技術の開発	68
次世代需要マネジメントの価値評価	70
次世代ヒートポンプの開発と評価	72
高性能二次電池評価技術の確立	74

## 基盤技術課題

社会経済研究所	76
システム技術研究所	78
原子力技術研究所	80
地球工学研究所	82
環境科学研究所	84
電力技術研究所	86
エネルギー技術研究所	88
材料科学研究所	90

## 3. 主要な新規研究設備

---

93

## 4. 活動実績

---

101

〈付表〉

(1) 研究報告等	106
(2) 主要なソフトウェア	112
(3) 主要な出版物	113
(4) 主要な外部表彰	114
(5) 公刊物等一覧	116

---

電力中央研究所から公刊した報告書はウェブサイトにてダウンロードしていただくことができます。  
下記URLにアクセスし、本書内に[ Q14001]のような形式で示された報告書番号を用いて検索することで  
容易に入手することが出来ます。

[http://criepi.denken.or.jp/jp/kenkikaku/cgi-bin/report\\_reference.cgi](http://criepi.denken.or.jp/jp/kenkikaku/cgi-bin/report_reference.cgi)

# 1. 研究活動概要

# 1. 研究活動概要

当所は、我が国の経済活動の基盤を支える電力の安定供給に向け、将来の電力安定供給に不可欠となる技術やリスクの増大に備えた研究を、中期的な研究の方向性を示す「リスクの最適マネジメントの確立」、「設備運用・保全技術の高度化」、「次世代電力需給基盤の構築」の3つの研究の柱のもとで推進しました。具体的には、電気事業にとって喫緊の課題である、原子力発電所の地震・津波・竜巻等の自然外部事象に対する安全性評価と新規制基準適合性審査への対応、電力設備の自然災害対策等について、当所の総合力を発揮して最優先で取り組みました。また、発電設備・電力流通設備の合理的な維持・更新に資する設備診断・寿命評価技術の開発、再生可能エネルギーの導入拡大や需要サイドの能動化等、電力系統の変化に対応するための技術開発を着実に進めました。

電気事業にとって必要不可欠または今後必要とされる技術のうち、当所が重点的に取り組み、維持・継承または発展させる35課題を重点課題として研究を推進しました。重点課題の中でも、特に総合力を発揮して早急に解決すべき喫緊の10課題を重点(プロジェクト)課題とし、着実な成果の創出を図りました。なお、連携すべき重点課題および重点(プロジェクト)課題を11の課題群にグループ化し、効果的に研究を推進しました。また、35の基盤技術課題を設定し、8つの専門別研究所\*の特長と専門能力を活かした取り組みにより、電気事業の現場における課題解決の源泉となる

基盤技術力や専門分野毎の研究力を強化しました。具体的には、現地での調査や実験・計測によるデータ・ノウハウの蓄積、分析手法や解析手法の開発・整備・改良、新たな着想を具体化するための基礎研究などに取り組みました。

2014年度に得られた主要な研究成果を、重点課題については課題毎に、基盤技術課題については専門別研究所単位で、各研究課題の目的などと合わせて2章(主要な研究成果)に示します。

電気事業の課題解決に不可欠となり、当所の研究力・課題解決力を将来にわたり維持・発展するための大型研究設備については、実系統に近い環境で系統現象を高精度に解析できる「電力系統シミュレータ」の発電機模擬装置の更新、燃料集合体内の冷却状況を可視化できる「軽水炉模擬燃料冷却限界実験設備」、上下方向の大加速度に対する軽水炉機器の性能評価が可能な「共振振動台」、地震時の原子力発電所の基礎地盤および周辺斜面の安定性を評価できる「遠心载荷装置」への1方向振動試験機能の追加、実規模の直流架空送電線の電気環境を計測できる「直流架空送電試験設備」の再整備、リチウム二次電池の寿命評価および電池材料の調製・評価が可能な「電池性能評価・材料調製基盤設備」等を導入しました。

\* 「社会経済研究所」、「システム技術研究所」、「原子力技術研究所」、「地球工学研究所」、「環境科学研究所」、「電力技術研究所」、「エネルギー技術研究所」、「材料科学研究所」

設備運用・保全技術の高度化

次世代電力  
需給基盤の構築

重点/重点(プロジェクト)課題

リスクの最適マネジメントの確立

基盤技術課題

# 2014年度 研究課題構成 (2015年3月31日現在)

## 重点/重点(プロジェクト) 課題

重点課題: ● 重点(プロジェクト)課題: ○ 基盤技術課題: ◆ 課題群: 枠囲み (□:原子力、□:発電(原子力除く)、□:電力流通、□:需要サイド、□:社会・経済)

### リスクの最適マネジメントの確立

#### 軽水炉安全性高度化

- 軽水炉のシステム安全評価
- 放射性物質の拡散・長期動態に関する予測手法の開発
- 原子力施設における火災現象評価技術の確立
- 自然外部事象に対する原子力施設の脆弱性評価
- 原子力施設に対する自然外部事象のハザード評価

#### 放射線リスク解明

- ・低線量放射線リスクの定量評価と放射線防護への反映

#### バックエンド事業支援

- ・放射性廃棄物処分の長期安全性評価技術の体系化
- ・使用済燃料の長期貯蔵管理技術の開発

#### 電力流通設備の自然災害対策

- ・電力設備に及ぼす気象・気候影響予測手法の開発
- ・送配電設備の風雪害対策技術の実証
- ・電リスクマネジメント技術の構築

#### エネルギー・環境制度の評価・分析

- 健全に機能する電力市場とネットワークの中立化
- ・原子力事業の制度環境分析
- ・温暖化対策制度の分析
- ・科学・経済的合理性を持ったCO<sub>2</sub>排出削減シナリオの構築

### 設備運用・保全技術の高度化

#### 軽水炉保全支援

- ・原子炉圧力容器・炉内構造物健全性評価
- ・軽水炉の機器・配管健全性評価
- ・軽水炉のケーブル健全性評価
- ・軽水炉機器・配管に対する非破壊検査技術の開発

#### 発電施設の建設・運用・保全支援

- 高クロム鋼製高温機器の設備診断技術の開発
- ・火力発電の大気環境総合評価技術の開発
- ・石炭灰の利用拡大支援技術の開発
- ・生物多様性分野の環境アセスメント技術の開発
- ・ダム流域土砂管理のための統合システム開発

#### 電力流通設備の運用・保全支援

- 経年電力流通設備の維持管理技術の構築
- ・経年鉄塔の健全性評価技術の開発

### 次世代電力需給基盤の構築

#### 火力発電技術の高度化

- ・微粉炭火力の燃料種拡大のための運用技術開発
- ・低品位資源利用技術の高度化

#### 次世代グリッド技術の確立

- 太陽光発電大量導入時の系統セキュリティ評価
- ・太陽光発電出力の高精度推定・予測技術の開発
- ・次世代通信ネットワークシステムの実証と共通仕様化
- ・次世代配電ネットワーク技術の開発
- ・次世代需要マネジメントの価値評価

#### エネルギー高度利用技術の開発

- 次世代ヒートポンプの開発と評価
- ・高性能二次電池評価技術の確立

## 基盤技術課題

#### 社会経済研究所

- ◆電気事業経営
- ◆経済・社会システム
- ◆エネルギー技術評価

#### システム技術研究所

- ◆電力システム
- ◆需要家システム
- ◆通信システム
- ◆情報数理

#### 原子力技術研究所

- ◆原子炉システム安全
- ◆燃料・炉心
- ◆燃料サイクル
- ◆ヒューマンファクター

#### 地球工学研究所

- ◆地圏科学
- ◆地震工学
- ◆構造工学
- ◆流体科学
- ◆地下エネルギー利用技術

#### 環境科学研究所

- ◆大気・海洋環境
- ◆水域環境
- ◆生物環境
- ◆応用生物学
- ◆環境化学

#### 電力技術研究所

- ◆高電圧・絶縁
- ◆雷・電磁環境
- ◆高エネルギー
- ◆電力応用
- ◆大電流技術

#### エネルギー技術研究所

- ◆高効率発電
- ◆燃料高度利用
- ◆ヒートポンプ・蓄熱
- ◆エネルギー変換
- ◆熱流体・反応数値解析

#### 材料科学研究所

- ◆構造材料
- ◆機能材料
- ◆高性能SiCパワー半導体
- ◆材料評価共通技術





## 2. 主要な研究成果

重点／重点(プロジェクト)課題 - リスクの最適マネジメントの確立

設備運用・保全技術の高度化

次世代電力需給基盤の構築

基盤技術課題

重点／重点(プロジェクト)課題

リスクの最適マネジメントの確立

設備運用・保全技術の高度化

次世代電力需給基盤の構築

基盤技術課題

## 重点(プロジェクト)課題 - リスクの最適マネジメントの確立

## 軽水炉のシステム安全評価

## 背景・目的

原子力発電プラントの安全性を高めるには、詳細な現象を把握できる解析モデルによる事象進展シミュレーションと確率論的リスク評価(PRA)を行って脆弱な部分を明らかにし、安全性の向上に有効な設備改造や設備追

加などの対策を施す必要がある。

本課題では、安全性向上策の有効性を評価する手法を高度化し、その手法を用いて定量評価することを通じて、原子力発電プラントの安全性の継続的な向上に寄与する。

## 主な成果

## 1 地震PRAモデルの構築\*1

地震に起因する事象に対する確率論的リスク評価(地震PRA)に向け、対象となる原子力発電プラントの地震ハザードや地震動がプラントに及ぼす影響(フラジリティ)を評価する手法の高度化を図るとともに、重大事故対策等を考慮して事故の進展を評価するモデル(事故シーケンス評価モデル)を構築した(図1)。また、これを用いたプラント損傷の発生頻

度に基づき、格納容器機能喪失の発生頻度を評価するとともに、放射性物質放出量を評価するモデル(ソースターム評価モデル)を構築した。これらの評価モデルを用いて実プラントにおける試評価を行い、地震加速度レベルに応じた相対的な脆弱点や対策の有効性を評価できることを確認した。

## 2 確率論的リスク解析ライブラリーの開発

炉心損傷頻度を評価するレベル1PRAでは、フォールトツリー/イベントツリー(FT/ET)を用いた解析を行う。その解析の妥当性評価に、近似誤差を排除することができる二分決定図という方法を導入し、厳密に成功分岐を評価できる解析ライブラリー(解析関数群)を開発した。本ライブラリーによって精度

の高い事象進展の発生頻度(シーケンス発生頻度)を算出することが可能となり、通常使用される最小カットセット法がもつ近似誤差を評価することができる(図2)。これにより、誤差が大きくなる懸念のあった地震PRAなどにおいて、正確な評価が可能となった[O14001]。

## 3 レベル2PRAにおけるPRD\*2手法の構築\*1

格納容器からの核分裂生成物の放出を評価するレベル2PRAにおける、格納容器イベントツリーを構成する炉心損傷現象の発生確率の定量化にPRD手法を適用した。PRD手法とは、炉心損傷現象を頂上事象としてその要素事象を下位に展開し、要素間の因果関係を物理的な方程式で記述し、最下位事象の確率分

布から頂上事象の確率分布を評価する手法である。炉心損傷時に考えられる再臨界事象にPRD手法を適用することで、放出エネルギーを決定する臨界固有値や反応度挿入率などの非線形性が強い事象に対しても発生確率を定量的に評価できることを示した(図3)。

## 4 反応度事故(RIA)を模擬した過渡限界熱流束の評価

RIAは、制御棒落下などにより原子炉出力が急速に増大する事象である。RIA時の燃料棒除熱限界は、過渡状態での燃料棒表面の限界熱流束によって定められるため、過渡限界熱流束の評価が重要となる。その評価のため、直接通電による発熱バンドル体系(燃料棒を正方形格子に組み立てた燃料バンドルを模

擬したもの)で、原子炉停止中のRIA(低温時RIA)の過渡限界熱流束を評価できる実験装置を設計製作した(図4a)。低温時RIAで想定される初期水温および流速範囲において限界熱流束を評価し、バンドル体系特有の横流れや外周壁の影響を考慮した過渡限界熱流束データベースを構築した(図4b)。

\*1 経済産業省資源エネルギー庁からの受託研究「平成26年度 発電用原子炉等安全対策高度化技術基盤整備事業(原子力発電所のリスク評価、研究に係る基盤整備)」の一環として実施した。

\*2 Phenomenological Relationship Diagram。

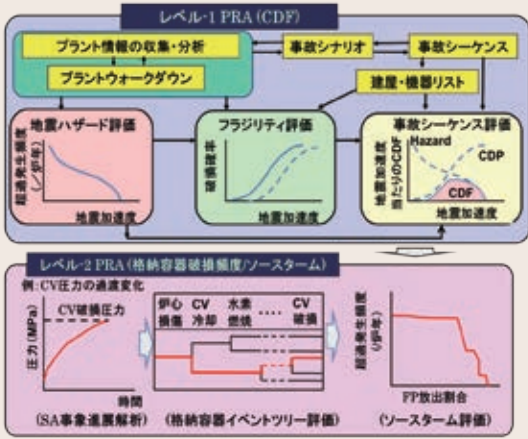


図1 地震PRA評価手法の概要

地震PRAは、地震加速度の超過発生頻度(地震ハザード)をサイトの地震特性に基づき評価し、耐震性及び地震応答等に基づきプラントの建屋、構造物、機器の地震による損傷確率(フラジリティ)を定量化する。これらを入力として、事故シーケンス評価により炉心損傷頻度を定量化する。さらに、事故シーケンス評価から得られるプラント損傷状態の発生頻度等を入力として、事象進展解析および格納容器イベントツリーの定量化により、格納容器機能喪失頻度及びソースタームを定量化する。これらの評価の結果から、プラントの相対的脆弱点及び対策の有効性等を明確にできる。これらの評価結果はリスク情報を活用した意思決定のインプットであり、プラントの実態に忠実な評価モデルによることが重要である。

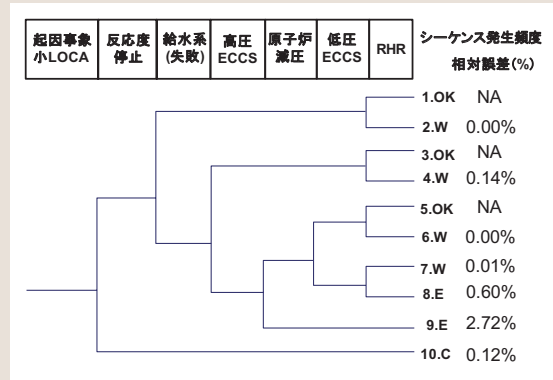


図2 小破断LOCAモデルにおける最小カットセット法の誤差

小破断LOCAとは、小口径配管の破断による原子炉冷却材喪失事故を指す。FT/ETで構築された小破断LOCAモデルを最小カットセット法と二分決定図によって評価することにより、最小カットセット法による誤差を同定した。本モデルでは従来懸念されていた最小カットセット法による誤差が小さく、小破断LOCAモデルが正確に評価されていることが確認された。

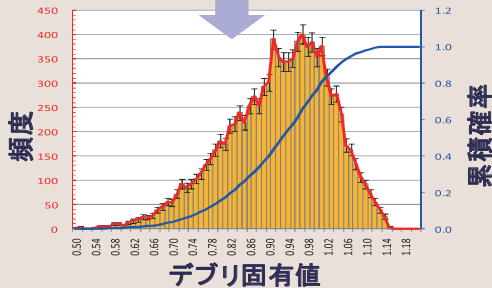
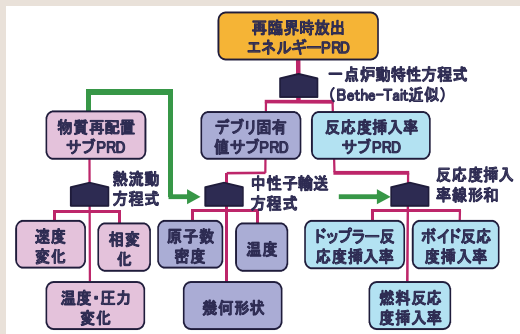


図3 過酷事故時の再臨界発生確率を評価するPRD

再臨界時の放出エネルギーの発生確率を評価するPRDは、物質再配置、デブリ固有値、反応度挿入率の各挙動を記述するサブPRDから構成される(上図)。デブリ固有値の発生確率は(下図)、中性子輸送方程式を関数とし、デブリの粒子径(幾何形状)、含水率(物質再配置)、ウラン対金属比(原子数密度)などの素事象(上図)の確率密度で決定される。

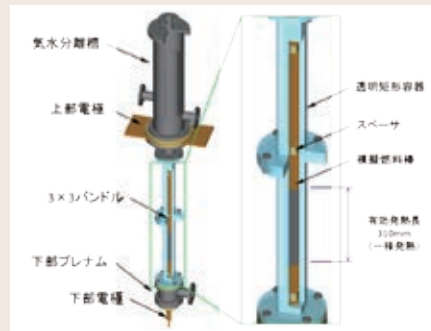


図4a 低温時RIA実験設備

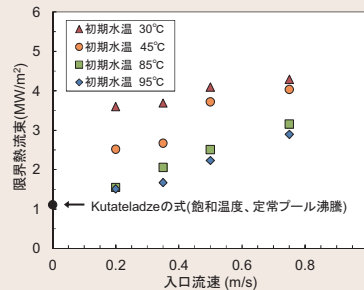


図4b 低温時RIA時の過渡限界熱流束

BWR燃料集合体を模擬した3×3バンドルを直接通電加熱によって軸方向及び径方向に対して一様に急速発熱させ、模擬燃料棒の温度変化から過渡限界熱流束を評価できる実験装置を設計製作した(図4a)。低温時RIAで想定される初期水温及び流速範囲に対して実験データを取得し、初期水温の低下あるいは流速の増大とともに過渡限界熱流束は増大する傾向を得た(図4b)。

### 重点(プロジェクト)課題 - リスクの最適マネジメントの確立

# 放射性物質の拡散・長期動態に関する予測手法の開発

#### 背景・目的

原子力発電所の継続的な安全性向上を図るため、過酷事故時などに放出される放射性物質による大気および海洋への環境影響評価手法やそれに応じた対策措置を事前に検討しておく必要がある。

本課題では、大気および海洋中における放

射性物質の拡散予測手法を開発するとともに、海生生物や森林等を対象とした環境放射能のモニタリング手法および放射性物質の移行を評価する手法を開発する。これらの手法の開発により、環境影響評価の側面から原子力発電の安全性向上に寄与する。

#### 主な成果

### 1 原子力発電所から放出された放射性物質の大気拡散予測

近距離を対象とした放射性物質の大気拡散予測に向け、水平解像度を数百mとした高解像度化した気象／拡散モデルを開発し、野外拡散実験との比較からモデルの適用性を検証した。その結果、ほとんどの観測条件下において地表煙軸濃度\*を再現できた(図1)

[O14004]。また、環境面での確率論的リスク評価(レベル3PRA)について、欧米等の事例を調査し、我が国で評価を行う際の課題を抽出・整理するとともに、大気拡散などの今後の検討すべき点をまとめた。

### 2 原子力発電所から放出された放射性物質の海洋拡散予測と海生生物移行評価

放射性物質による海洋への環境影響評価に向け、海洋拡散に加えて海底土および海生生物への移行を予測可能な数値モデルを開発している。本モデルによって実地点を対象に福島第一原子力発電所事故後3年半経過時の放射性物質の移行計算を実施した。その結果、経過時間に応じた海水および海底土の<sup>137</sup>Cs

濃度分布の変化<sup>[1]</sup>、海底土への移行量が海水へ放出された<sup>137</sup>Cs総量の10%以下であること(図2)<sup>[2]</sup>が明らかになった。また、餌生物からの<sup>137</sup>Cs移行が海底魚中の放射性物質濃度の低減を遅延させている可能性があることを指摘した<sup>[3]</sup>。

### 3 環境中(陸域森林)放射性物質の簡易測定手法の開発

大気に放出された放射性物質の陸上沈着について特に陸域森林域における放射性物質の移動や循環の把握<sup>[4]</sup>、さらには森林の伐採・管理などに活用するため、多大な労力を要する従来手法(GMサーベイメータ等)に代わり、高性能半導体型積算線量計(Dシャトル)を用いた簡易測定手法を開発した。サクラとスギ樹体を対象に本手法の適用性を検

討した結果、従来手法と同程度の精度が得られ、放射性物質による樹体汚染度の推定が可能となった。また、対象樹体の放射性Cs濃度(<sup>134</sup>Cs+<sup>137</sup>Cs)と積算線量計の値の相関をより高めるためには、樹体の遮蔽効果などを考慮した測定値の補正が必要であることを示した(図3)[O14002]。

\* 煙源から等距離の円弧上においてトレーサガスの濃度が最大となる中心軸上の地表濃度。

[1] 津旨 大輔, Isotope news, 729, 36-40(2015).

[2] Misumi et al., Journal of Environmental Radioactivity, 136, 218-228(2014).

[3] Tateda et al., Journal of Environmental Radioactivity, Doi: 10.1016/j.jenvrad.2015.05.013 (in press).

[4] Yoshihara et al., Journal of Environmental Radioactivity, 138: 220-226(2014).



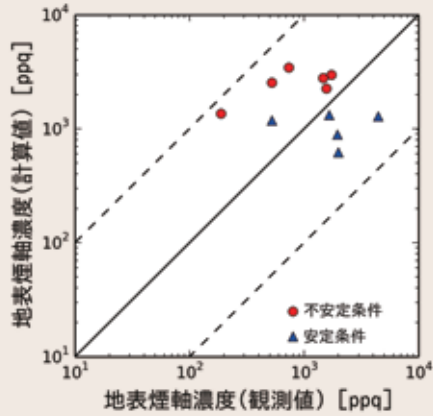


図1 地表煙軸濃度\*(30分平均)の比較

煙源から1500m風下の位置における地表煙軸濃度を、野外觀測値と気象／拡散モデルの計算値と比較した。不安定および安定条件に分類した全ての観測条件において、予測値は破線で示す観測値の1/10倍以上10倍以下の範囲内で一致した。

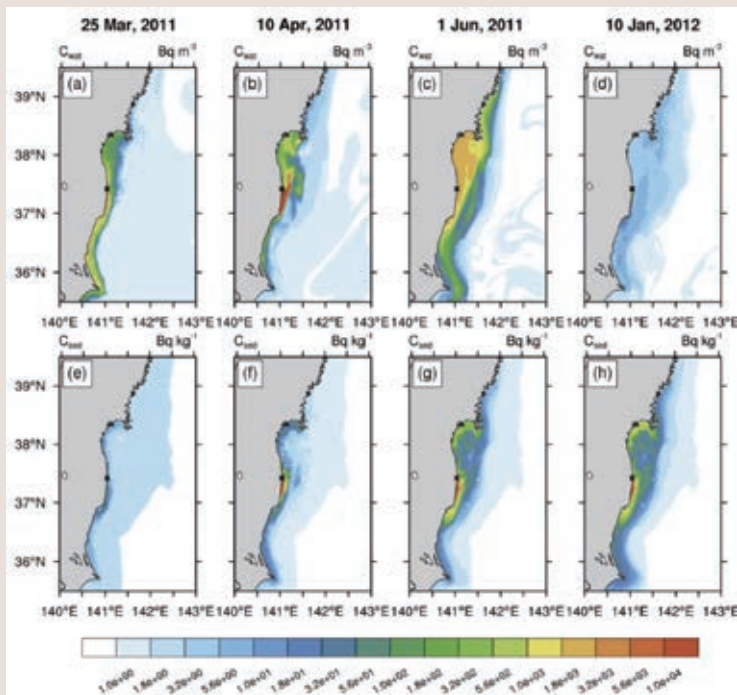
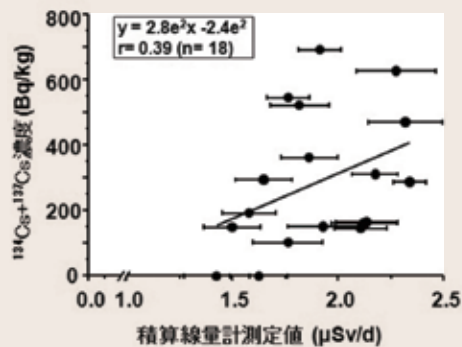


図2 海水と海底土の $^{137}\text{Cs}$ 濃度変化のシミュレーション結果

1年間のシミュレーションにおいて、海水濃度は供給フラックスの低下により減衰するが((a)~(d))、海底土の濃度は増加している((e)~(h))。海水と海底土のシミュレーション結果は観測結果と概ね一致した。なお、海底土への移行量は海水へ放出された総量の10%以下であった。



図3 積算線量計と鉛遮蔽体(30mm)を用いたスギ立木の測定



上左:使用した積算線量計(68×34×14mm、23g)と鉛遮蔽(30mm厚)、上右:スギ樹体への取り付け状況、下:バックグラウンド空間線量率が最大 $5.8\mu\text{Sv/d}$ の実環境中において、積算線量計実測値と樹体測定部位直下から採取したサンプルのGe半導体検出器分析値(放射性Cs濃度 [ $^{134}\text{Cs}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ ])間で相関があることを示した。

## 重点(プロジェクト)課題 - リスクの最適マネジメントの確立

## 原子力施設における火災現象評価技術の確立

## 背景・目的

原子力発電所の新規制基準適合性審査では、平成25年6月に制定された火災影響評価ガイドに従い、説明性の高い検証結果に裏付けられた火災影響軽減対策を提示する必要がある。さらに、再稼働後の定期安全レビューで求められる内部火災によるリスク低減のため、火災ハザード評価を行い、火災影響軽減対策脆弱部の継続的な改善を図る必要がある。

本課題では、火災影響軽減対策(消火設備等)の評価試験を行い、妥当性を確認する。さらに、火災源(補機油やケーブル、電気盤火災等)に応じた燃焼挙動予測の精度向上により、火災ハザード評価手法の高度化を図り、合理的かつ科学的な火災影響軽減対策の構築や内部火災PRAの実施に寄与する。

## 主な成果

## 1 ケーブルトレイ内火災に対する自動泡消火設備の施工方法の確立

原子力発電所の火災影響を軽減するために実施する対策のうち、ケーブルトレイ内火災に対する自動消火設備として、泡消火剤を適用した湿式の自動消火装置(図1)が検討されている。その有効な施工方法を確立するため、水平および垂直姿勢の幅0.6mの遮炎

シートで被覆したラダー型ケーブルトレイを用いて、2kA級の過電流による難燃性高圧・低圧電力ケーブルの火災消火試験(図2)を行った。その結果、泡消火剤の直接的な冷却効果や窒息効果による優れた消火性能を確認し、実施工への適用性の見通しを得た。

## 2 低圧電気盤の内部アーク火災発生限界の解明

東日本大震災の際に女川原子力発電所で発生した高圧電気盤(高圧スイッチギア\*1)の大規模アーク火災を踏まえ、アーク発生時の内部火災ハザード評価に向けて、高圧電気盤に引き続き、低圧電気盤(パワーセンター)を用いた内部アーク試験を実施した。その結果、比較的内容積の小さい低圧電気盤ではアー

クエネルギーが19MJを超えると、火災に進展することを明らかにした(図3)。この結果を内部火災PRA実施基準\*2におけるアーク火災の影響範囲の同定方法に反映することにより、内部火災リスク評価の高精度化に寄与する。

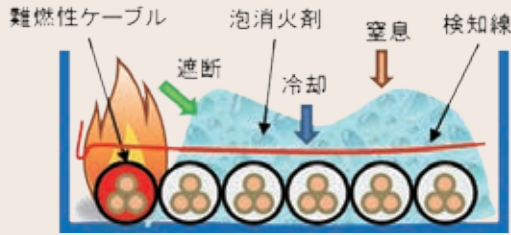
## 3 火災解析コードによる区画火災時の空気温度等の高精度推定方法の構築

火災影響評価においては、安全上重要な機器等の発火時間や損傷時間(損傷に至るまでの時間)を算定するため、火災源からの発熱量の時間的变化(発熱速度)を合理的に設定する必要がある。原子力発電所建屋内では、火災時においても作動が継続される換気空調の気流により火災源周辺の酸素濃度が変動するため、発熱速度が換気量に大きく依存する。この依存性を明らかにするため、単一火災区画

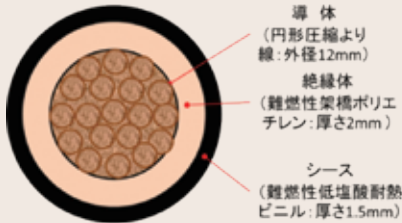
を模擬した燃焼室を用いた検証試験を行い、火災近傍の酸素量と発熱速度の相関性を明らかにした(図4)。さらに、複数火災区画を模擬した検証試験により、換気量や給排気位置が区画内温度や熱収支、区画間の熱伝達に及ぼす影響を明らかにした。これらの結果を、区画火災時の空気温度や伝播経路評価に使用される火災解析コードの入力条件設定手法に反映し、火災影響評価の高精度化に寄与する。

\*1 電力系統を保護・制御するためのしゃ断器等の保護継電器と高圧の母線と一緒に金属製筐体に収めたもの。

\*2 日本原子力学会、「原子力発電所の内部火災を起因とした確率的リスク評価に関する実施基準:2014」, AESJ-SC-RK007:2014.



【泡消火設備の消火原理】



【難燃性低圧電力ケーブルの断面】

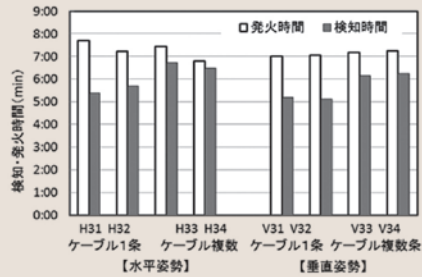
図1 泡消火剤による湿式自動消火装置の施工例

泡消火剤を用いた自動消火装置は、消火剤容器、駆動用窒素ボンベ、検知線、消火剤放出ノズル、消火用配管、火災受信器等にて構成される。消火剤放出ノズルから泡消火剤を対象区域に流し込み、泡消火剤が有する冷却効果および窒息効果により消火を行う。検知線が検知温度90℃で短絡した後、移報信号を火災受信器で受信し、自動的に作動する消火設備である。

試験で用いた難燃性低圧電力ケーブル(600V, 100mm<sup>2</sup>, 単芯)の最高許容温度は連続条件で90℃、短絡時で230℃である。



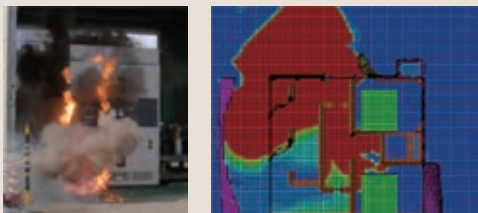
【発火後の燃焼と泡消火設備の作動状況】



【発火時間と検知時間の比較】

図2 過電流によるケーブル火災試験概要

水平姿勢(横置きケーブルトレイ)・垂直姿勢(縦置きケーブルトレイ)のいずれの試験においても、S字状に施工した検知線により、発火前に温度異常を検知できることを確認した。また、横置きケーブルトレイの場合、泡消火剤がケーブルトレイ内に均等に保持され、泡消火剤放出後、直ちに消火に成功した。縦置きケーブルトレイの場合でも、泡消火剤を保持するための鋼製スリットを20cm間隔で複数枚取り付けることにより、放出された泡消火剤の発泡効果がスリット間で保持され、消火可能であることを確認した。



(低圧電気盤の試験例) (影響評価解析例)

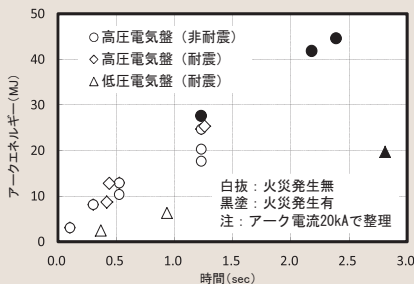


図3 電気盤内部アーク試験で測定されたアークエネルギーと火災発生限界

480V級低圧電気盤を用いて、アーク発生時間をパラメータ(0.1~3.0秒)として、三相短絡電流条件(約20kA)におけるアーク放電(母線材質:銅)試験を行い、アークに発生するエネルギー量<sup>\*</sup>を測定した。高圧電気盤(2013年度実施)に比べ内容積が比較的小さい低圧電気盤では、アークエネルギーが19MJを超えると二次的な火災に進展することを確認した。

<sup>\*</sup>アーク放電エネルギーにより盤内の空気が加熱され、その高温空気が盤外あるいは隣接する電気盤内へ噴出し、隣接機器へ熱的影響を及ぼす可能性がある。

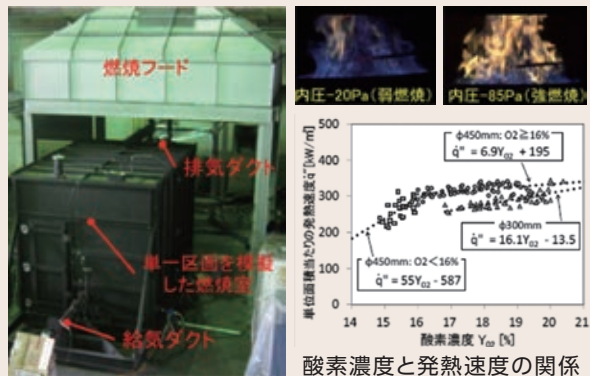


図4 換気制限下区画火災時の発熱速度の同定

火災解析コードでは、温度・流速・酸素濃度等の空間分布およびその時間的な変化が得られるが、その応答値は発熱速度や換気条件に大きく依存する。

この依存性を明らかにするため、単一火災区画を想定した耐火室(幅2.4m×奥行3.6m×高さ2.4m)を用いて、エタノールを火源とする燃焼試験を実施した。試験パラメータは、火皿の面積(直径30,45,60cm)や位置(中央)、換気流量(0~100m<sup>3</sup>/hour)や換気位置とし、空間温度や内圧、壁や天井への熱流束、換気流量、可燃物質質量減少速度、O<sub>2</sub>・CO<sub>2</sub>・CO濃度を測定した。火災の発達に伴い形成されるブルーム構造を計測し、火災近傍の酸素量と火源の発熱速度の相関性(上図)を明らかにした。火災解析コードでこの燃焼試験の再現解析を行った結果、耐火室内の温度を精度良く追跡できることを確認した。



## 重点(プロジェクト)課題 - リスクの最適マネジメントの確立

## 自然外部事象に対する原子力施設のフラジリティ評価

## 背景・目的

東日本大震災以来、原子力発電所の稼働率は著しく低下し、電力の安定供給への支障が指摘されている。安定電源の確保に向け、地震・津波等の巨大な自然外部事象に対する原子力施設の健全性を評価し、安全性を確保す

ることが喫緊の課題となっている。

本課題では、地震・津波等の自然外部事象に対する原子力発電施設のリスク評価手法を確立することにより、原子力発電所の安全性向上と信頼回復に貢献する。

## 主な成果

## 1 地盤の地震時安定性評価のための時刻歴非線形解析手法の開発

原子力発電所の基礎地盤および周辺斜面における地震時安定性評価の高度化を目的に、2次元時刻歴非線形解析手法で用いる有限要素モデルを開発した。本モデルは、ひずみ状態においてマルチスプリングモデル\*に基づき導出された応力-ひずみ関係にせん断

破壊・引張り破壊の影響を考慮したものである。斜面の動的遠心力模型実験を対象に再現解析を実施した。その結果、破壊が発生するタイミングや地盤内の残留変位量が実験結果とほぼ一致した(図1)。

## 2 津波作用時の傾斜堤(防波堤)の健全性評価

原子力発電所の防波堤の健全性の評価にあたり、防波堤を形成する消波ブロックの津波に対する安定性評価手法の開発を進めている。水理模型実験により、消波ブロックの質量と防波堤を越流する津波の流速を変えながら、消波ブロックのダメージの様相変化を観察した。その結果、越流する津波の流速と消波

ブロックの質量との関係式から、消波ブロックの安定限界を明らかにした(図2(a))<sup>[1]</sup>。また、防波堤を越流する津波の流速を評価する数値モデルを開発し、室内実験により得られた水位と流速データからモデルの適用性を検証した(図2(b))。

## 3 津波波力および漂流物の衝突力の評価

原子力発電所における津波に対する構造物・機器の頑強性評価手法の精度向上に向け、津波・氾濫流水路を用いて津波による外力を把握する大規模な水理実験を実施した。防潮堤や角柱構造物に作用する津波波力の計測実験から<sup>[2]</sup>、陸上遡上した津波の先端が構造物に衝突した際に発生する衝撃波圧の推

定手法を提案した(図3)<sup>[3]</sup>。また、漂流物衝突力評価手法の検証に向け、津波によって漂流する丸太や自動車の津波衝突実験を実施した(図4)。その結果、津波による流れの速度域では、衝突力は衝突速度に比例することが明らかとなった。

\* 多方向のせん断挙動を表すために剛壁で作られた円の中に多数のばねを配置したモデル

[1] 神山、土木学会論文集B2(海岸工学)、67、1\_791-1\_795(2011)。

[2] 高島 他、土木学会論文集B2(海岸工学)70、1\_1491-1\_1495(2014)。

[3] Kihara, N., et al., Coastal Engineering, 99, 46-63(2015)。

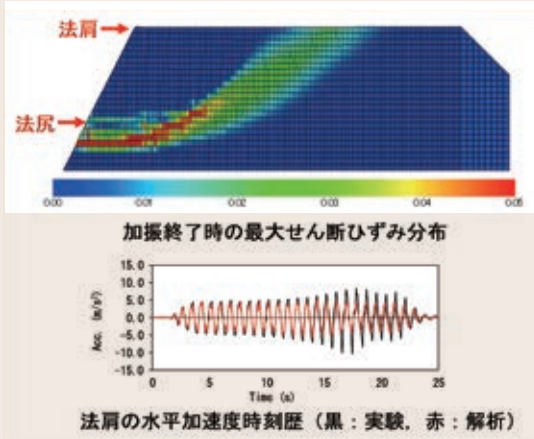


図1 斜面の遠心力模型実験のシミュレーション(上段:数値解析によるひずみ分布、下段:応答加速度の実験との比較)

地盤の時刻歴非線形解析手法の適用性を検証するため、斜面の動的遠心力模型実験の再現解析を実施した。その結果、実験結果と比較的良く一致することを確認した。

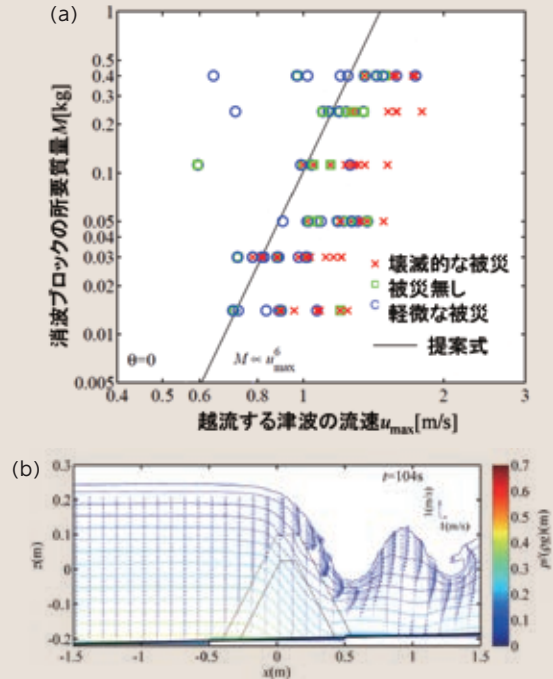


図2 津波による傾斜堤の健全性評価

津波が防波堤を越流した際に、流体力が消波ブロックの抵抗力よりも大きい場合に消波ブロックは津波によって流される。流体力は流速に依存し、消波ブロックの抵抗力は質量に依存する。消波ブロックの安定限界を見極めるために水理模型実験を実施し、流速と質量との関係を明らかにした(a)。また、防波堤を越流する津波の挙動を数値計算により高精度に再現した(b)。

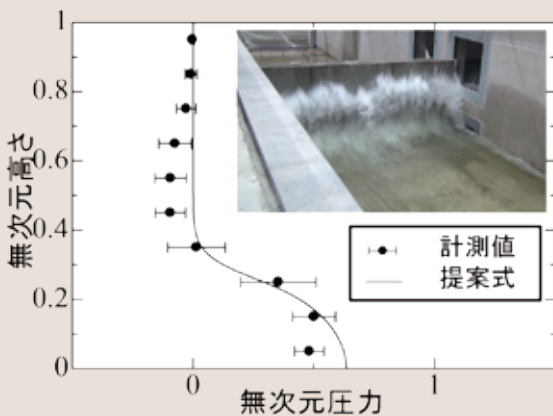


図3 衝撃的な津波波力の評価

陸上遡上した津波の先端部が構造物に衝突した時に発生する衝撃的な波圧の鉛直分布を推定する手法を提案した。

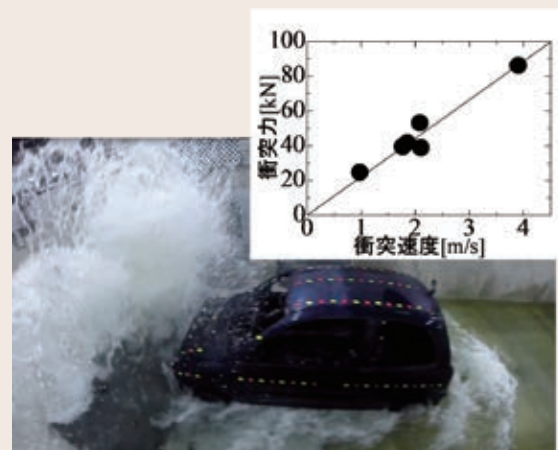


図4 津波に伴う漂流物の衝突力評価

図は、自動車の衝突速度と衝突力との関係を示している。自動車は段波状の流れに伴って漂流する。津波による流れの速度域では、衝突力は衝突速度に比例することが明らかとなった。



## 重点(プロジェクト)課題 - リスクの最適マネジメントの確立

## 原子力施設に対する自然外部事象のハザード評価

## 背景・目的

東日本大震災以降、原子力発電所の稼働率が著しく低下し、電力の安定供給への支障が指摘されている。地震・津波・火山噴火等の巨大な自然外部事象の規模や発生頻度を把握し、発生地点や敷地への到達時間など現象のメカニズムを理解した上で対策立案を進め、

原子力発電所の安全性を確保することが喫緊の課題となっている。

本課題では、自然外部事象に起因するハザードの評価手法を研究し、原子力施設の安全性向上とPRAの高度化を図る。

## 主な成果

## 1 常時微動を用いた地下構造探査における地震波干渉法の適用

耐震設計や地震防災における強震動予測のための深部地盤構造の推定に向け、常時微動測定による地下構造探査を、深部の地盤構造にも適用可能とする拡張を図った。本手法では、地震波干渉法によるグリーン関数を用いた位相速度の推定を可能とした。本手法を、若狭湾地域における常時微動の長期連続観測記録に適用した結果、微動探査\*と一致した

位相速度が得られるだけでなく、より長周期の位相速度が得られることを示した。さらに、微動探査\*と地震波干渉法を併せた広帯域の位相速度の逆解析から、地震発生層上端の一つの目安となるS波速度3.5km/s程度までの構造を推定し、その深さは大島半島で3.8~4.0km、音海半島で4.4~4.6kmとなることを明らかにした(図1) [N14020]。

## 2 有機物示標を用いた堆積物の起源推定

2011年東北地方太平洋沖地震による津波が到達したと予測される地点の堆積物を東北地域(19か所)で取得し、堆積物中の化学分析から堆積物の起源を推定した。その結果、有機炭素安定同位体比および炭素窒素比(C/N比)による解析手法から、砂浜・湾堆積物と津波の影響のない土壌を区別することができた<sup>[1]</sup>(図2a)。また、植生の少ない地域の堆積物に同手

法を適用した結果、津波由来と推察される砂主体の堆積物(津波堆積物)は概ね海水起源であり、津波堆積物の下部土壌は淡水起源または海水-淡水中間の起源であることを明確に示した<sup>[1]</sup>(図2b)。以上のことから、本手法により津波堆積物を科学的に判定することが可能となり、歴史時代以前等の過去の堆積物を解析する津波規模評価等に寄与する。

## 3 気象条件の影響を考慮した降下火山灰の計算手法の開発

噴煙・降下火山灰(降灰)の数値計算コードであるFall3Dを、当所の気象予測・解析システムNuWFASと組み合わせることで、降灰による発電所等の設備影響評価・対策立案に必要な、降灰の分布、気中個数濃度の時間変化の情報取得可能となる計算手法を開発した。

本手法を用い、霧島山(新燃岳)2011年噴火により発生した噴煙・降灰を再現できることを確認した(図3)。噴煙高度や気象条件の設定手法を段階的に高度化することで、原子力地点の降灰ハザード評価等への適用を図る [N14004]。

\* 表面波の位相速度を用いた地下構造探査手法の一つ。微動アレイ探査とも呼ぶ。

[1] Ito et al., The Origin of Organic Matter in the 2011 Tohoku-oki Tsunami Deposit Determined by Chemical and Isotopic Signatures, AOGS 2014, Sapporo (2014).

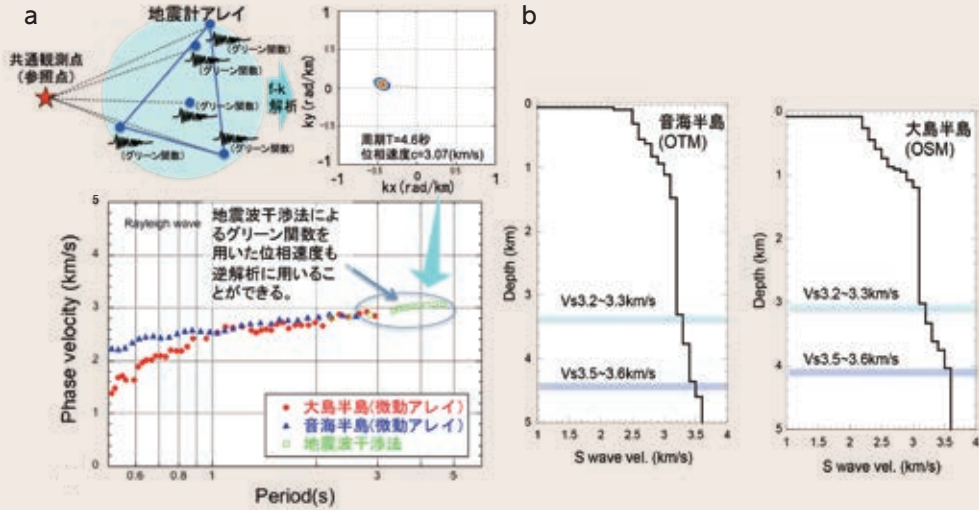


図1 地震波干渉法によるグリーン関数を用いた位相速度の推定と深部地盤構造の推定

共通の観測点(参照点)に対し、地震計アレイ内の複数の地点で合成されたグリーン関数の周波数-波数(f-k)スペクトル解析から、位相速度を推定する方法を提案した。若狭湾地域への適用では、f-kスペクトルのピーク位置は参照点すなわちグリーン関数の加振点方向に現れ、微動アレイより長周期の位相速度が得られた(図1a)。地震発生層上端の目安となる層( $V_s$ 3.5km/s程度)の深さは、音海半島側が若干深い連続的であり、緩やかに変化する構造であることが示唆された(図1b)。

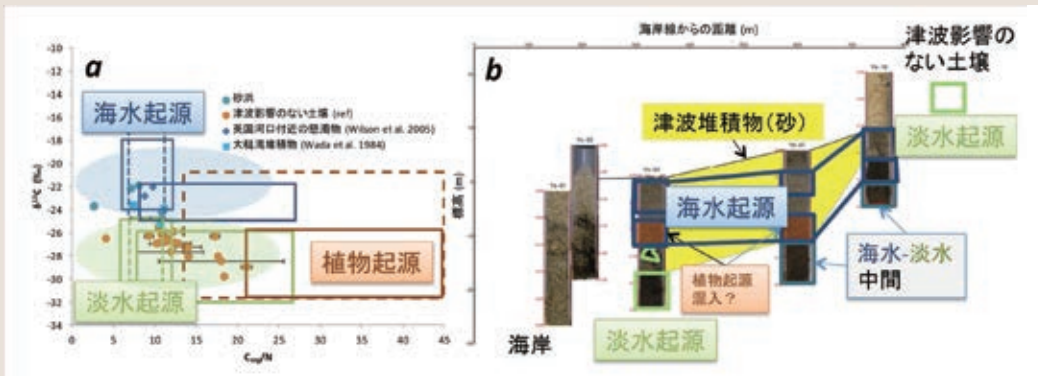


図2 砂浜・湾堆積物および津波の影響のない土壌中の有機炭素安定同位体比とC/N比プロット(a)および植生の少ない地域における有機物指標を用いた堆積物の起源の推定(b)

東北地域で採取した砂浜・湾堆積物(Beach)および津波の影響のない土壌(ref)中有機物について炭素安定同位体比とC/N比をプロットすると、既報の海水起源有機物および淡水起源有機物の領域(長方形の色枠)とほぼ一致する(図2a)。植生の少ない地域における堆積物について、有機物の炭素安定同位体比-C/N比プロットから示される起源を推定した。砂主体の津波堆積物については概ね海水起源、津波堆積物の下部土壌は、淡水起源または海水-淡水中間の起源であった(図2b)。

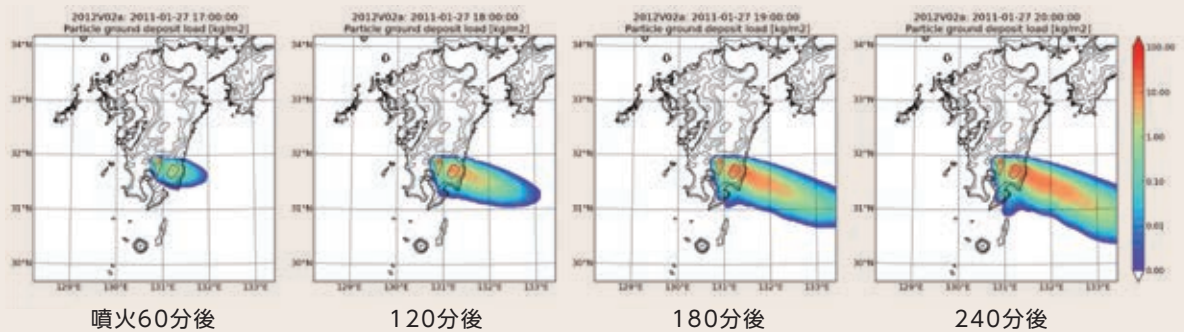


図3 降灰分布の時間変化(霧島山2011年1月噴火)

霧島山(新燃岳)2011年噴火により堆積した降灰量の分布を、噴火開始後1時間おきに図示する。噴火が発生した1月27日の気象条件に基づき、降灰の分布域が南側に拡大していることが再現された。本手法は、各地点の累積降灰量や気中濃度の時間変化を計算できる強みがある。このため、降灰が発電所等の設備に及ぼす、荷重、付着、閉塞等の多様な影響評価に活用可能である。

## 重点課題 - リスクの最適マネジメントの確立

## 低線量放射線リスクの定量評価と放射線防護への反映

## 背景・目的

原子力事故等によって生じた放射性物質による環境汚染から受ける公衆被ばくや、原子力施設の作業員の被ばくの特徴は、低線量率の放射線を長期にわたって被ばくすることにある。このような被ばくでは健康リスクが増大しないこと、すなわち線量率効果があることが高自然放射線地域の疫学調査から示唆されている。その裏付けとなる生物学的な機構を示すことは、放射線に対する社会の不安軽減や科学的かつ合理的な放射線防護体系の構築に必要である。また、放射線利用全般を対象とした防護体系の見直しにも有用である。

本課題では、低線量率での放射線影響の根拠となる生物学的機構を実験的研究により解明し、線量率効果を放射線防護体系に反映することを目指す。また、福島第一原子力発電所事故により明らかになったリスク評価と放射線防護における課題を明確にし、その解決を支援する。

がんは組織幹細胞\*1(以下、幹細胞)の集団(以下、幹細胞プール)に障害が蓄積することで生じると考えられている。高線量率被ばくの場合は、多くの幹細胞が同時に放射線を受けて細胞死を生じる。幹細胞プールは一定の大きさで維持されるため、失われた幹細胞プールに対して予備の幹細胞による補充(以下、幹細胞補充)が行われる。これは放射線の障害を幹細胞プールに蓄積する方向に作用すると考えられる(図1右)。一方低線量率被ばくでは、一部の幹細胞だけが損傷を受け、損傷を受けた幹細胞が細胞の入れ替わり(ターンオーバー)や健全な幹細胞との競合で排除さ

## 主な成果

## 1 線量率効果の機構仮説の構築とその検証

れ、障害が蓄積しないとする機構仮説を考案した(図1左)。

この機構仮説の検証に向けて、幹細胞プールが失われると組織の色が変化する遺伝子組換え動物に同じ集積線量の放射線を異なる線量率で照射し、幹細胞補充によって幹細胞プールが維持された割合を評価した。1Gyの放射線を高線量率で照射した場合、幹細胞補充が観察されたが、低線量率で照射した場合には幹細胞補充は観察されなかった(図2)。この結果は、低線量率被ばくでは高線量率被ばくとは異なる機構が作用することを明確に示すものである。

この結果は、低線量率被ばくでは高線量率被ばくとは異なる機構が作用することを明確に示すものである。

この結果は、低線量率被ばくでは高線量率被ばくとは異なる機構が作用することを明確に示すものである。

## 2 福島第一原子力発電所事故評価の分析による今後の重要な解決策の提示

福島第一原子力発電所事故による放射性物質の放出に伴う公衆の放射線被ばくや収束作業に携わる作業員の放射線被ばくに関し、国内外の専門機関による被ばく線量やリスクの推定が行われ、放射線防護上の課題が指摘されている。この事故の経験を防護対策や放射線防護体系の改善につなげるため、それぞれの視点から指摘された多くの課題を俯瞰的に整理し、重要な解決策を抽出することが必要である。

そのため、国際機関等の報告書\*2で指摘さ

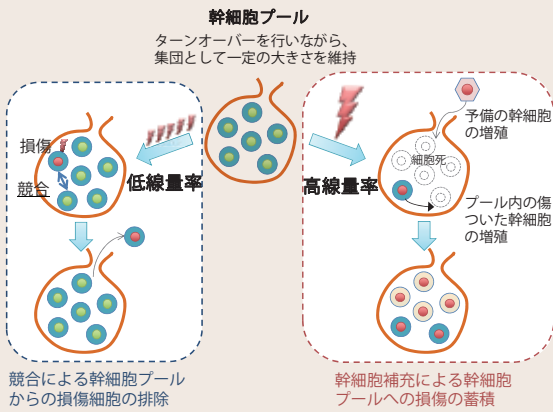
れた線量評価およびリスク評価の不確かさの要因を、代替手段の有無や不確かさを低減する方策の観点から分類・評価するとともに、放射線防護の課題との関係性を明確にした。その結果、線量評価・リスク評価に係る課題と放射線防護に係る課題に共通する重要な解決策は、線量評価の不確かさを低減するための緊急時被ばく状況\*3における個人モニタリングの実施と、リスク評価の妥当性判断や放射線防護基準の基盤となる低線量放射線リスクの定量評価であることを見出した(図3)。

\*1 組織内にごくわずかに存在し、生涯にわたって体を維持する役割の機能細胞を作る組織の源の細胞。

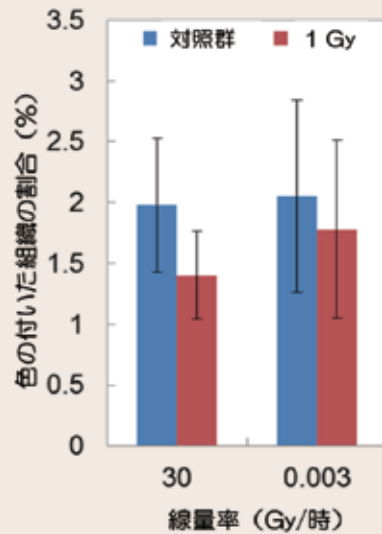
\*2 世界保健機関(WHO)、原子放射線の影響に関する国連科学委員会(UNSCEAR)、国際放射線防護委員会(ICRP)、ならびに日本保健物理学会等の報告書を調査対象とした。

\*3 放射線被ばくのリスクを回避或いは低減するために緊急の対策を必要とする状況。

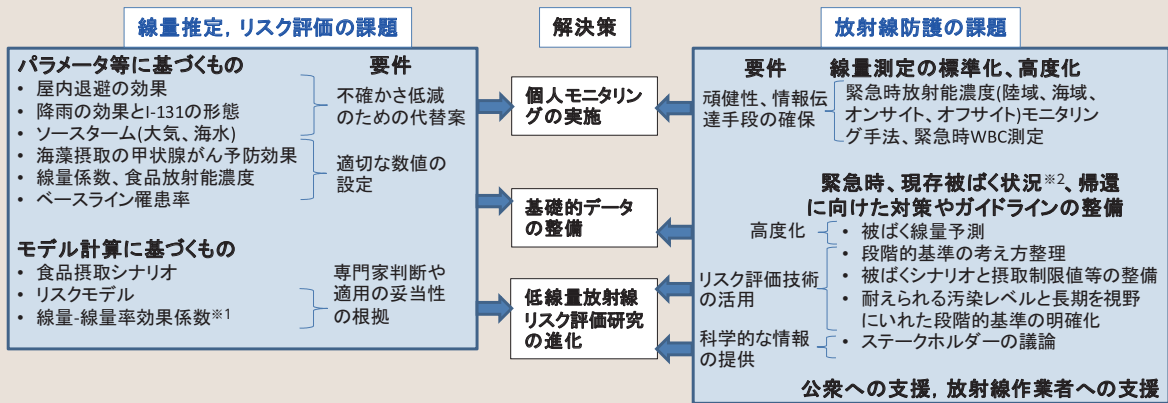




**図1 線量率効果の機構仮説と幹細胞補充の概念図**  
高線量率では幹細胞補充で幹細胞プールが維持されるためリスクの蓄積が起こる(右)が、低線量率ではターンオーバーと競争による損傷細胞の排除が生じる(左)と考えられる。しかし、その境界となる線量率は実験的に明らかになっていない。特定の時期の幹細胞と、その幹細胞が分裂・増殖してできた細胞を青く着色した遺伝子組換えマウスを用いると、高線量・高線量率放射線の致死効果により失われた幹細胞に対する、色の付いていない予備の細胞による幹細胞補充が評価可能であると示した。



**図2 幹細胞補充の線量率効果**  
30Gy/時の高線量率、もしくは3mGy/時の低線量率で、集積線量1Gy(赤)を照射した場合に、残存する色の付いた組織の割合を示す。照射をしない対照群(青)と比べて、高線量率では有意な幹細胞補充が観察されるが(有意確率 $p=0.04$ )、低線量率では有意な差が観察されず、線量率による幹細胞維持機能の差異を確認した。



**図3 線量推定、リスク評価ならびに放射線防護に係る問題点の整理と、今後の解決策**  
被ばく線量推定およびリスク評価に係る不確かさの要因は、その評価のパラメータ数値と計算モデルに内在しており、前者については事故直後の外部被ばく線量など事後の不確かさの低減が困難なものが、後者については線量-線量率効果係数などの専門家判断の妥当性が、重要な課題として抽出された(図左側)。また、各専門家機関がそれぞれの視点から指摘した放射線防護に関連した様々な課題の整理を行った(図右側)。これらの被ばく線量推定およびリスク評価に係る不確かさの課題と放射線防護の課題の両者の解決のためには、個人モニタリングの実施と低線量放射線リスク評価研究が、解決策として特に重要であることを示した(図中央)。

<sup>\*1</sup> 低線量・低線量率放射線被ばくにおけるリスクを推定する場合に考慮されるリスクの低減係数。  
<sup>\*2</sup> 原子力事故後の長期被ばく状況のように、線源が既に広く存在してしまっている状況。

## 重点課題 - リスクの最適マネジメントの確立

## 放射性廃棄物処分の長期安全性評価技術の体系化

## 背景・目的

原子力発電所の運転に伴って発生する低レベル放射性廃棄物の貯蔵容量が逼迫してきており、浅地中ピット処分施設ならびに余裕深度処分施設の設置を遅滞なく進める必要がある。また、高レベル放射性廃棄物については、国による将来の安全確保や調査地区の選定等の制度化、直接処分の検討が進められている。

本課題では、放射性廃棄物処分事業の円滑な推進に資する信頼性の高い処分技術を構築するため、低レベル放射性廃棄物処分の人工バリアのガス移行評価手法の開発と、吹付けコンクリートによる岩盤への影響を評価する。また、高レベル放射性廃棄物処分では、地質環境の調査・評価技術の適用性を確認する。

## 主な成果

## 1 ベントナイト系材料のガス移行評価手法の確立

余裕深度処分、浅地中ピット処分でそれぞれ用いられる可能性のあるNa型ベントナイト、Ca型ベントナイト混合土などのベントナイト系材料は透気性が低く、金属腐食等による水素ガス発生時の挙動を評価する必要がある。そこで、密度や配合率を変化させたガス移行試験を各ベントナイト系材料に対して行い、ガス移行メカニズムを明らかにした。さら

に、それに基づくガス移行解析を行うため、力学連成気液2相流モデルに基づく解析コードGasDeform2Dを開発し、試験結果のシミュレーションを行ったところ、Na型ベントナイトの試験結果、Ca型ベントナイト混合土の試験結果ともに精度良く再現できることがわかった(図1)[N23]。

## 2 地下坑壁岩盤の風化と吹付けコンクリート由来のアルカリ成分による変質の分析

新第三紀の堆積岩の分布する地点において、空洞掘削から約5年経過した岩盤の露出箇所と、コンクリート吹付け箇所での岩のブロック試料を採取し、風化とアルカリ影響の状況を分析した。露出岩盤は壁面から約1.5~3cmの深さまで酸化により褐色化し、硫化物量が減少していた。吹付けコンクリートに覆われた岩石は、コンクリートとの境界から

20cmの深さまで間隙水のCa濃度とpHの上昇(pH10程度)が認められた。境界面近傍では、岩石を構成する非晶質相がコンクリートからの溶脱成分と反応し、カルシウムシリケート化合物(C-S-H)を生成することで、空隙が充填されていることを明らかにした(図2)[N14010]。以上の結果は、坑道周辺の地化学環境の長期変遷の推定に資する。

## 3 処分地の選定調査における不確実性の低減を考慮した調査方法\*

処分地の選定調査に必要となる地質環境の調査・評価技術の適用性の確認を、当所横須賀地区を試験サイトとして進めてきた。これにより、深部地質環境を地表から調査・評価するためのボーリング調査、物理探査等の適用性を確認している<sup>[1]</sup>。さらに、地質環境特性把握における不確実性を低減する目的で、既存孔

に対し、ボーリング調査と孔間調査・試験を併せて追加実施することにより、沖積層下の基盤地質の分布・性状、三浦層群の内部構造や基盤面構造、水理地質構造等を詳細に把握可能であることを示し、地質環境の理解の向上に有用であることを確認した(図3)。

\* 本研究は原子力発電環境整備機構(NUMO)との共同研究で実施した。

[1] 近藤浩文 他, 地質学雑誌, 120-12, 447-471 (2014).



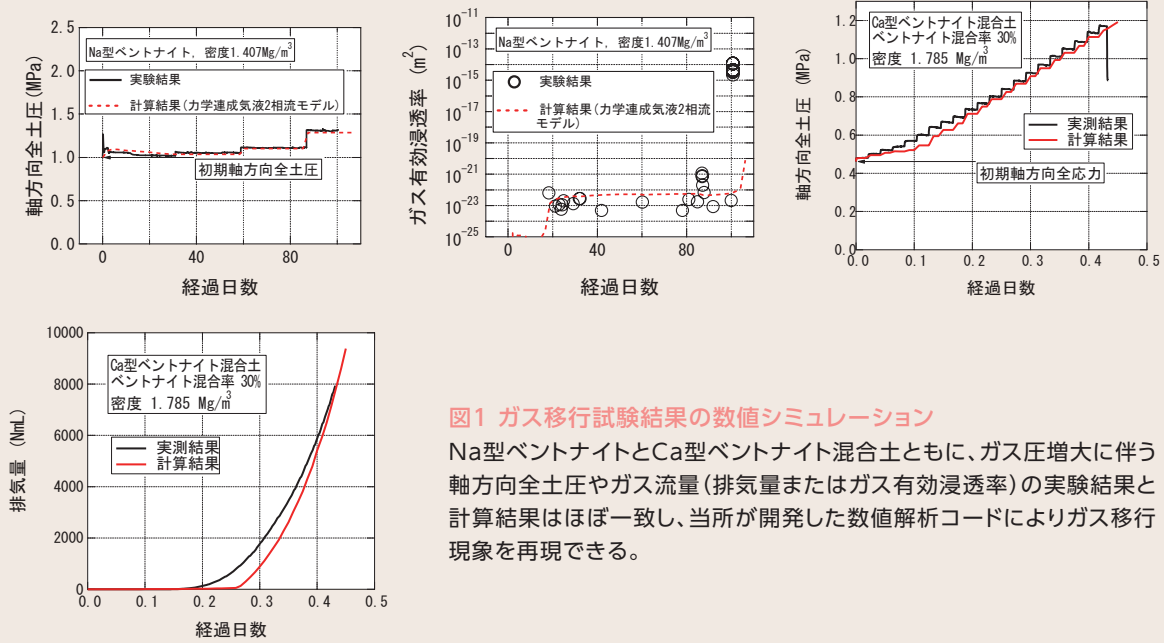


図1 ガス移行試験結果の数値シミュレーション

Na型ベントナイトとCa型ベントナイト混合土ともに、ガス圧増大に伴う軸方向全土圧やガス流量(排気量またはガス有効浸透率)の実験結果と計算結果はほぼ一致し、当所が開発した数値解析コードによりガス移行現象を再現できる。

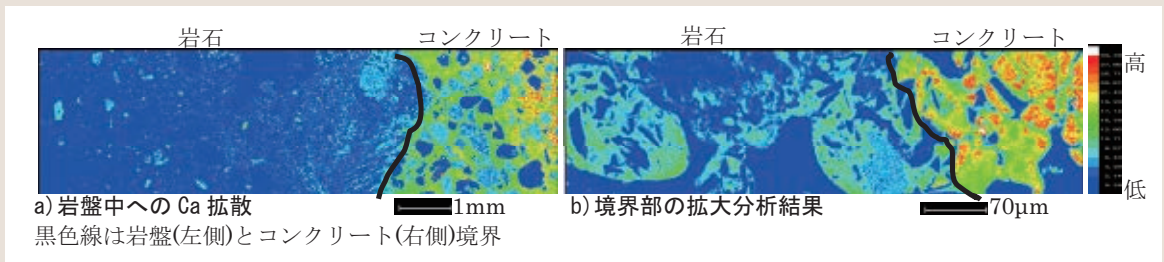


図2 界面近傍におけるCa濃度分布

コンクリートから溶脱したCaとOH<sup>-</sup>が岩盤火山ガラスの空隙中を移行し、火山ガラス表面および空隙中の粘土と反応することでカルシウムシリケート化合物(C-S-H)が生成し、緻密化する(図中岩石範囲の黄緑領域)。このため地下水による希釈効果とともに岩盤へのアルカリ成分の移行が抑制される。

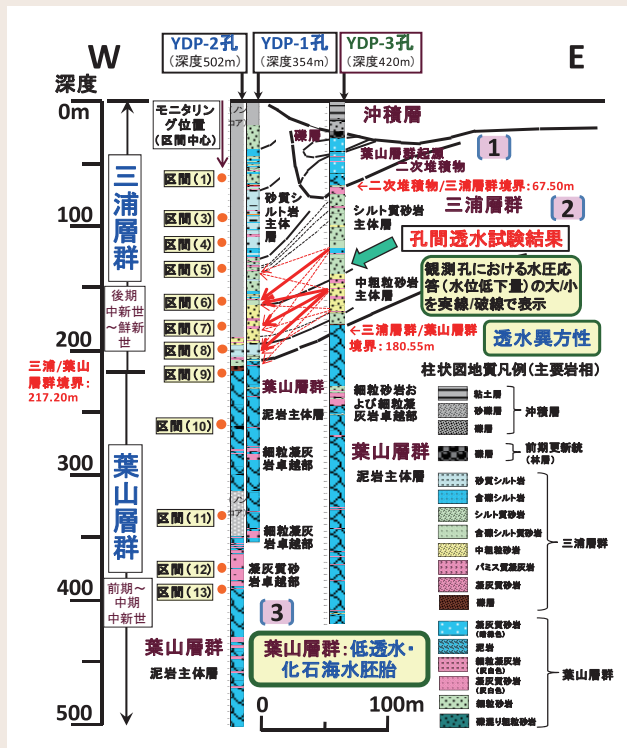


図3 電中研横須賀地区YDP-3~2孔間断面におけるボーリングおよび孔間調査・試験のまとめ

電中研横須賀地区を試験サイトとした地質環境の調査・評価技術の実証研究での段階的な調査において、既存のボーリング孔(YDP-1,2孔)に対して、新規ボーリング調査(YDP-3孔)と孔間調査・試験(YDP-3~2孔間での孔間透水試験等)を追加で実施することにより、①沖積層下の基盤地質の分布・性状、②三浦層群の孔間での地質学的な連続性と水理的な異方性、③葉山層群が低透水性で滞留性の高い地下水(化石海水)が胚胎していること等が信頼性をもって把握可能となり、地質環境の理解の向上に有用であることを確認した。

## 重点課題 - リスクの最適マネジメントの確立

## 使用済燃料の長期貯蔵管理技術の開発

## 背景・目的

原子力発電所から取り出された使用済燃料は、再処理するまでの間、安全に中間貯蔵する必要がある。さらに、貯蔵量の増大や貯蔵期間の長期化に備えることも重要である。中間貯蔵の方式として、金属キャスクを使った乾式貯蔵は、国内外で数多くの実績があるが、今後、貯蔵期間中の経年劣化を考慮し、貯蔵後のハンドリングや輸送時の安全性を明らかにする必要がある。また、貯蔵技術の多様化とし

て、経済性の観点で優れたコンクリートキャスクの実用化が望まれている。

本課題では、金属キャスク密封部の経年劣化を評価する手法を開発するとともに、コンクリートキャスクで課題となるキャニスタ\*1溶接部の応力腐食割れ(SCC)に関する評価技術や検査方法を確立し、使用済燃料の安全な中間貯蔵に資する。

## 主な成果

## 1 沿岸の実環境における気中塩分計測装置の性能確認

キャニスタのSCC評価を行うためには、貯蔵サイトの気中塩分量を把握する必要があり、気中塩分量を長期間連続かつ自動で簡易に計測できる装置を開発した。当所横須賀地区臨海

暴露試験場に、開発した装置と従来の計測装置であるフィルタパック計測装置を設置し、気中塩分濃度を同時計測することで、両者は同等の性能を有することを確認した(図1)。

## 2 気中塩分量とキャニスタ付着塩分量との関係の評価

これまで、室内および実環境(銚子:内陸4km)で付着塩分量の計測を行ってきており、さらに海岸に近い場所のデータを拡充するため、当所横須賀地区臨海暴露試験場の試験施設で計測を行った。試験施設では、試験片を設置した鉛直姿勢の簡易風洞内(水平及び鉛直姿勢)にブローで一定量の外気を取り込み、

試験片表面に付着する塩分量を測定した。鉛直面への付着量は、今回の試験時間の範囲内(最大約6900時間)では、従来(銚子)の結果同様、塩素濃度10mg/m<sup>2</sup>以下であった(図2)[N14019]。この値は、従来得られている橋梁や電気機器等の塩害評価の値や応力腐食割れの発生限界値に比べ、十分低い値である。

## 3 キャニスタ付着塩分量の遠隔計測機器の開発

コンクリートキャスクの貯蔵期間中には、キャニスタ表面に付着した塩分量を測定してSCC発生の可能性を評価し、健全性を確保することが重要である。しかし、キャニスタ周囲が高放射線環境であることから、遠隔操作による計測が不可欠となる。これまで、レーザー誘起ブレイクダウン分光法(LIBS)\*2を用いて計測が可能なることを明らかにしており、コンクリート容器とキャニスタの間隙で作動できる機器を開発し、実機を想定した実験系で

計測精度の検証を行った。試験では、離隔距離5m、隙間約50mmの条件で、挿入機器を上下させ、隙間側面に設置した試験片の付着塩分を計測した(図3)。その結果、塩素濃度0~100mg/m<sup>2</sup>の範囲では、LIBSによる算定値(塩素と酸素の発光強度比より算定した値)がイオンクロマトグラフィによる測定値と概ね一致した(図4)。このことから、貯蔵されたキャニスタ表面の塩素濃度をLIBSを用いて遠隔計測できることが検証された[H14004]。

\*1 使用済燃料を収納したステンレス鋼製の円筒容器で、コンクリートキャスクの中に収納される。

\*2 パルスレーザー光を計測対象物に照射し、その際に生じるプラズマを分光計測することにより対象物に含まれる各元素の濃度を計測する方法。



気中塩分計測装置

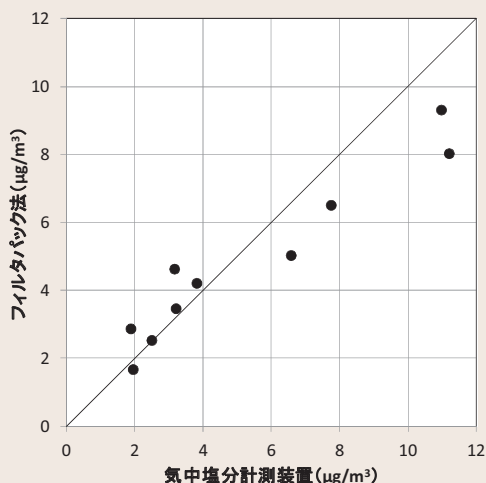
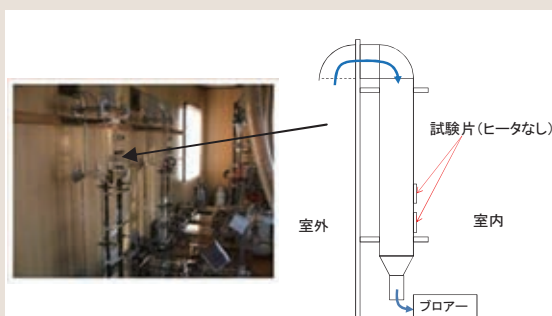


図1 開発した気中塩分計測装置と従来法の測定値(空气中のCl<sup>-</sup>量)の比較

気中塩分計測装置の性能を明らかにするため、従来、測定に使われているフィルタパック法との比較を行った。気中塩分測定装置は、フィルタパック法と同等の性能を有することが明らかとなった。



新規取得データ

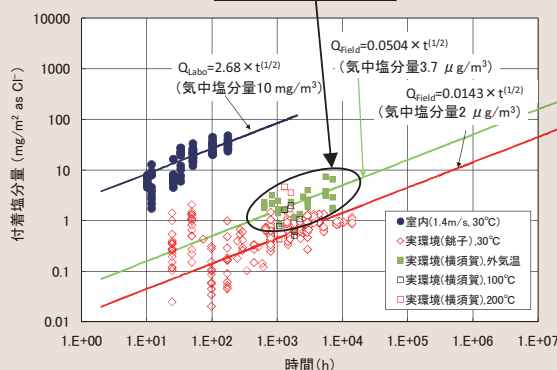


図2 鉛直姿勢での付着塩分量と時間の関係

コンクリートキャスクの流路を模擬した簡易風洞内部に外気を導入し、試験片表面への付着塩分量を測定した。鉛直姿勢の試験で、従来の測定点に加え、異なる環境条件での付着塩分量と時間の関係が得られた。従来と同様の時間依存性を示し、データのバラツキは小さかった。

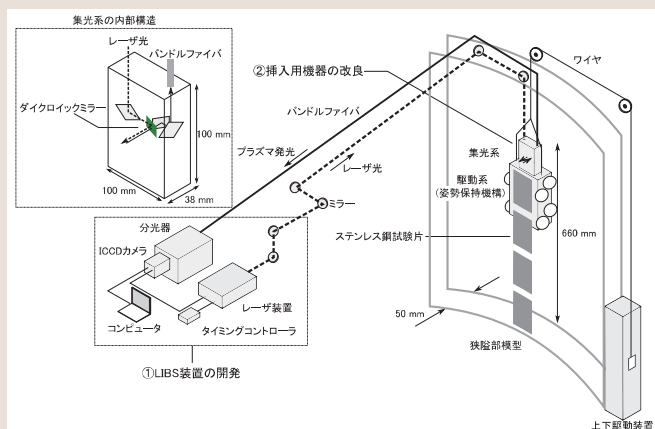


図3 貯蔵中のキャニスタを想定した付着塩分計測実験装置の概要

付着塩分計測に適したLIBS装置の開発やLIBSに必要な光学系部品が搭載された狭隘部挿入用機器(集光系)の改良を行った。実験では、キャニスタとコンクリート容器の曲率や間隔を模擬した狭隘部模型を用いて、その側面に人工海水が噴霧された塩素濃度の異なるステンレス鋼試験片を設置して、付着塩分を計測した。離隔計測を行うために、ミラーを用いてレーザー光を送った。

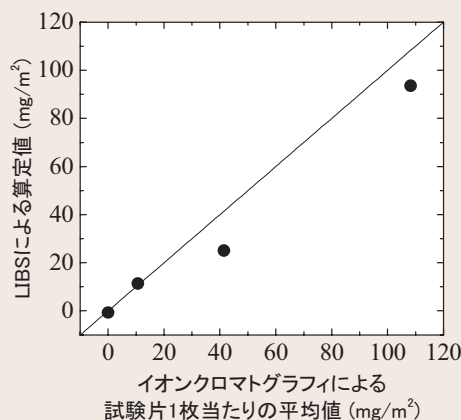


図4 LIBSによる計測方法の検証

試験片に付着した塩素量の測定結果をLIBSによる方法とイオンクロマトグラフィによる方法と比較した。二つの結果はよく一致することがわかり、LIBSによる計測方法の有効性を検証した。



## 重点課題 - リスクの最適マネジメントの確立

## 電力設備に及ぼす気象・気候影響予測手法の開発

## 背景・目的

巨大台風や急速に発達する低気圧、局地的豪雨・豪雪、竜巻等の突風に伴う災害が頻発している。中には既往最大を上回る極端な事象も発生しており、地球温暖化の影響も懸念されている。

本課題では、日々の運用において災害を事前に回避し、被災した後でも迅速に復旧する

ための支援技術として、極端な気象災害の予測評価手法や予測結果の活用法、気象・海象ハザード評価法を開発するとともに、原子力発電所の竜巻影響評価に係る技術を開発する。これにより、電力設備の健全性と供給機能確保に貢献する。

## 主な成果

## 1 降水短時間予測システムの開発

気象庁・国土交通省の気象レーダを活用した2種類の降水短時間予測システム(全国版地域版)を開発した。1つは、9時間先までの日本全国の降水を3km解像度で予測するシステム、もう一つは2~3時間先までの特定の地域(例えば関東地方)の降水を1km解像度で頻度高く(例えば10~20分毎に)予測するシス

テムである(図1)。いずれのシステムも、時々刻々得られる気象レーダの情報や地上観測データ(アメダス、ウィンドプロファイラ等)を自動処理する。さらに、これら観測データを用いて、既開発のNuWFAS(気象予測・解析システム)を用いた予測結果を逐次更新することで、短時間先の降水の予測精度を向上した。

2 気象庁週間アンサンブル予報<sup>\*1</sup>データの利活用方法の提案

気象庁の週間アンサンブル予報結果をもとに、空間解像度の高い降水予測を行うため、①NuWFASによる気象力学的手法(水平解像度5~15km)を活用した、2日程度先までの時間降水量予測手法<sup>[V14013]</sup>、②統計的な

パターン認識技術を活用した1週間先までの日降水量予測手法をそれぞれ開発した(図2)。両手法とも、各要素の変動幅や時間的ずれ幅を見積ることができるため、予測の信頼性に応じたユーザの意思決定をサポートする。

## 3 原子力発電所の竜巻影響評価に係る技術開発

国内既往最大規模(藤田スケール<sup>\*2</sup>:F3)以上の竜巻の発生しやすさの地域性を評価するために、当所が作成した高解像度・長期気象・気候データ(CRIEPI-RCM-Era2)を用いて、突風関連指数<sup>\*3</sup>を評価する手法を考案した。我が国および米国で発生したF3~F5規模の竜巻の気象解析結果をもとに手法の適切性を検証した。また、沿岸域で竜巻発生数が多い、我が国の特徴を考慮した竜巻ハザード評価手法(TOWLA)を開発するとともに、竜巻飛来物の挙動評価手法(TONBOS)の使用性を向

上させた<sup>[N14002]</sup>。

竜巻飛来物対策として開発した、高強度金網を用いた防護手法に関し、当所提案の金網吸収エネルギー算定手法の適用条件を重錘落下試験から明らかにした<sup>[N14009]</sup><sup>[1]</sup>。さらに、金網による飛来物捕捉率を担保するために、補助金網を追加設置する効果を実証した(図3)<sup>[N14018]</sup>。これまで実施してきた研究で得られた知見をもとに、日本保全学会による竜巻影響評価ガイドラインの策定や日本機械学会による規格策定に貢献する。

\*1 アンサンブル予測とは、初期値等に人工的な誤差を与え複数の予測を行うこと。また、予報と予測の用語について、気象庁などの機関が天気を予測しその結果を社会に報告する場合を予報、それ以外は予測として使用する。

\*2 構造物等の被害状況から推定された竜巻の強さに関する指標。当指標は竜巻風速と対応付けられ、例えば、F2竜巻の風速は50~69m/s(7秒間平均)、F3竜巻の風速は70~92m/s(5秒間平均)とされている。

\*3 気象庁による竜巻注意情報の発令や竜巻ナウキャストに利用されている上空大気不安定度や風向・風速差等に関する指標。当所提案手法では、対流位置有効エネルギーCAPE、ストームの動きに相対的なヘリシティーSReH、ならびにエネルギー・ヘリシティー・インデックス EHI(=CAPE×SReH/160,000)を用いている。

[1] 南波・白井・坂本, 土木学会構造工学論文集, Vol.61A, 958-969 (2015).

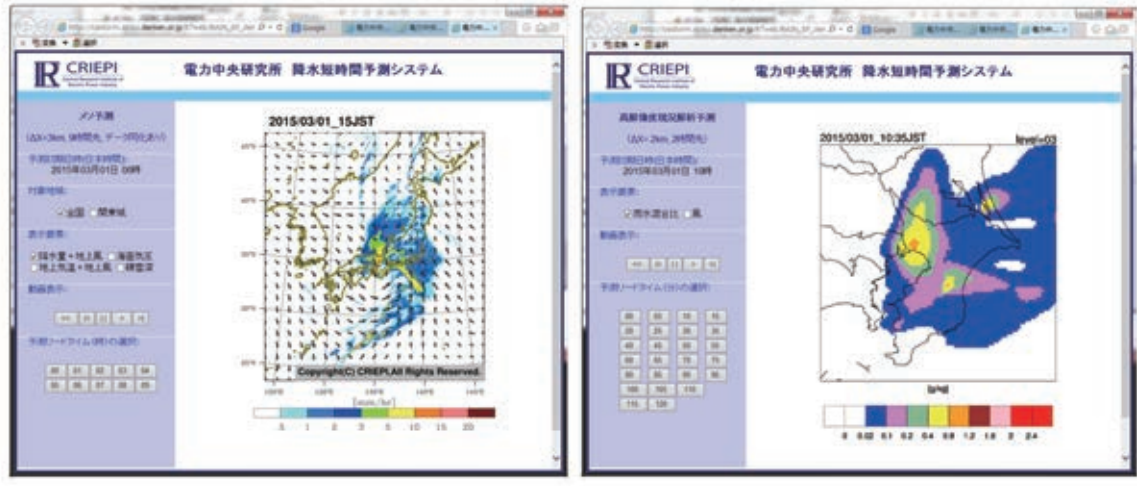


図1 降水短時間予測システム(左:全国版, 右:地域版)

既開発のNuWFASによる翌日予測の結果に、気象レーダ等により得られる降水の実況値を逐次反映させることによって、数時間先までの降水量の予測精度の向上を図った。全国版では、3次元変分法同化手法(WRFDA)を用いて9時間先までの予測精度を向上した。地域版では、4次元変分法同化手法(VDRAS)を用いて、より高解像度で、更新頻度も高くすることにより、狭い領域で急激に発達する降水の予測精度を向上した。予測期間、および計算領域の広さ等は用いる計算機能力によって容易にカスタマイズ可能である。

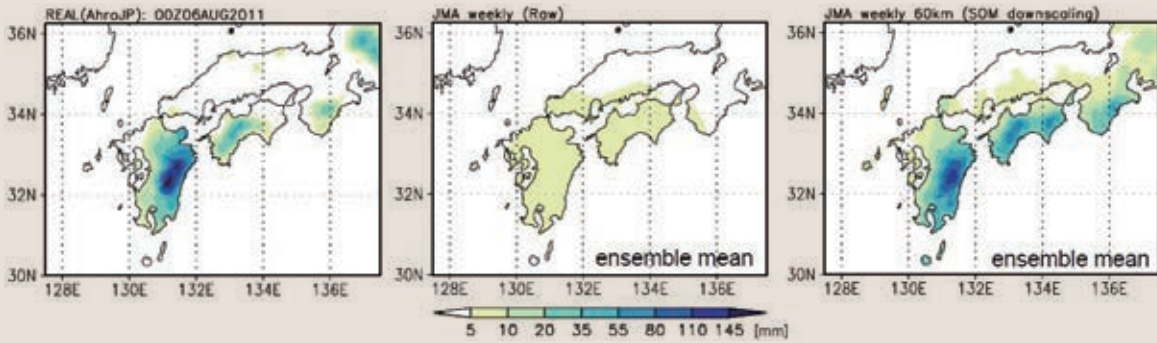
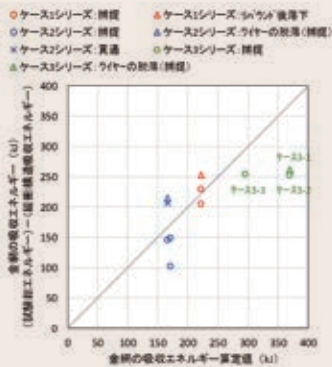


図2 パターン認識技術を活用した1週間先までの日降水量の予測手法(1日先予測例)

(左:観測値, 中:気象庁アンサンブル予報, 右:開発手法)

自己組織化マップと呼ばれる統計的なパターン認識手法を過去の気象解析データや降水量データに適用し、空間解像度の粗い気象要素(500hPaにおける風向・風速等)の空間分布と空間解像度の高い降水分布との間の関係性を数百パターン抽出した。この抽出パターンを活用すれば、元とする気象庁の予報が豪雨域を予測できない場合でも、上空の空間解像度の低い気象予報結果と抽出した豪雨パターンから、豪雨域を1週間程度先まで即座に予測できる。



金網吸収エネルギーと算定値の比較



角型鋼管付き重錘の捕捉状況

図3 高強度金網を用いた竜巻防護対策に関する検討例

外形寸法の異なる金網の落錘試験で確認した金網吸収エネルギーと当所提案手法算出値の比較から、提案手法の妥当性を確認した(左図)。また、補助金網を設置することによって角形鋼管付き重錘の衝突による局部貫通を防止し、重錘を捕捉可能であることを確認した(右写真)。

## 重点課題 - リスクの最適マネジメントの確立

## 送配電設備の風雪害対策技術の実証

## 背景・目的

2005年12月、日本海側の送電設備において、過大な着雪の重みによる送電鉄塔の一部損壊や、電線のギャロッピング\*1による短絡事故、塩分を含む多量の雪が、がいしに付着したことによる絶縁低下(塩雪害)が発生した。これを受けて、当所では、電力各社の協力の下、10カ年計画(2007年度～2016年度)で雪害対策研究を開始した。

本課題では、主に送電設備の雪害事象解明や対策効果検証を目的として現地観測を中心に推進した第一期研究(2007年度～2011年度)を踏まえて、2012年度から、効果的な雪害対策と実用的な解析・予測手法の提案を目標とする第二期研究を進めている。併せて、得られた知見の配電設備の雪害対策への応用を目的とした検討も進めている。

## 主な成果

## 1 送電設備の雪害現地観測の継続と取得データの一元管理・分析

2013年度に竣工した実規模送電線雪害試験設備(釧路試験線)において、顕著な強風湿型着雪事例数件を取得し、代表的な難着雪化対策品である難着雪リングについて、効果が発現しやすい条件や通電時の電線発熱の影響を解明した(図1)。また、雪害の現地観測システム(全国8箇所)の運用を継続するととも

に、当所が一元管理している、電力各社の雪害事例と関連気象情報を格納した雪害データベースに、新たに663件の雪害事例情報\*2を追加した。収集した観測および事例データは、雪害発生気象の解明や予測手法検証、対策効果検証へ活用される。

## 2 雪害現象の解明とその予測手法の開発

送電鉄塔の耐雪設計への活用を目的としてこれまでに開発した簡便な着雪量推定手法を、過去の気象官署データに活用することで、手法の妥当性を検証した。また、ギャロッピングが発生しやすい箇所の推定への活用

を目的に、過去の気象官署データ分析や気象モデル解析値を元にしたギャロッピング発生ハザードマップ等を作成した(図2)。これらの成果は、合理的な雪害対策法の構築に活用される。

## 3 電線着雪融解・落雪モデルの開発

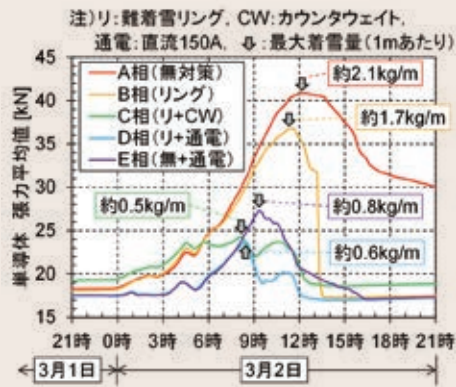
当所開発の電線着雪シミュレーションコードSNOVAL(Ver2)の拡張と精度向上を進めた。外気との熱交換等による融解過程を考慮して着雪体の含水率を計算し、求めた含水率に基づいて着雪密度・着雪率を与える新たな着雪融解モデルを考案し、SNOVAL(Ver2)へ導入した。また、上記含水率に基づいて着雪体の付着力を評価し、着雪体に作用する重

力や空気力、あるいはそれぞれの力に付随するモーメントの大小関係から落雪時刻を評価できる落雪モデルを導入した(図3)。拡張したSNOVAL(Ver3)では、電線着雪の開始から落雪に至るまでの過程を再現でき、これを用いた解析から得られる知見は、上記2.の簡便な着雪量推定手法の精度向上やギャロッピング解析に必要な着雪形状推定に活用される。

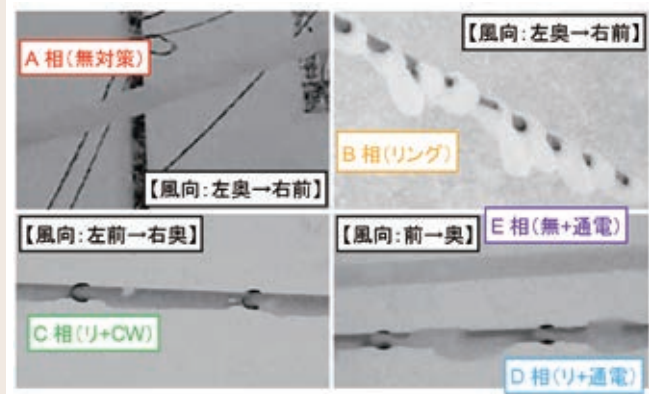
\*1 着雪した電線が、風を受けて上下に大きく揺れる自励的な振動現象。振幅が大きくなると電線短絡などの電気事故に、あるいは大きな振動が継続すると疲労で設備損傷に至る場合もある。

\*2 着氷雪に起因する送電線事故事例(電気事故、および電気事故には至らなかったが支持物・電線など電気工作物に被害が発生したもの)。





(a) 電線張力の10分毎平均値の時系列変化



(b) 2日10時の鉄塔から30-40m付近(径間長300m)の着雪状況

図1 釧路試験線における単導体電線への着雪観測事例(2015年3月1-2日)

各相ともに、着雪に伴い張力が増加しているが、難着雪リング付き電線では、無対策電線に比べて着雪による張力増加が抑制されており、CW併設のC相ではさらに大きく着雪量が抑制されている(左図)。また、難着雪リング付き電線では、難着雪リングによって着雪体が分断され、脱落が促される状況が画像で確認されている(右図)。他にも、通電による発熱とこれによる着雪体の融解、電線表面での滑りの誘発により、上記の難着雪リングの効果が、無通電相に比べて顕著に現れた事例も得られている。

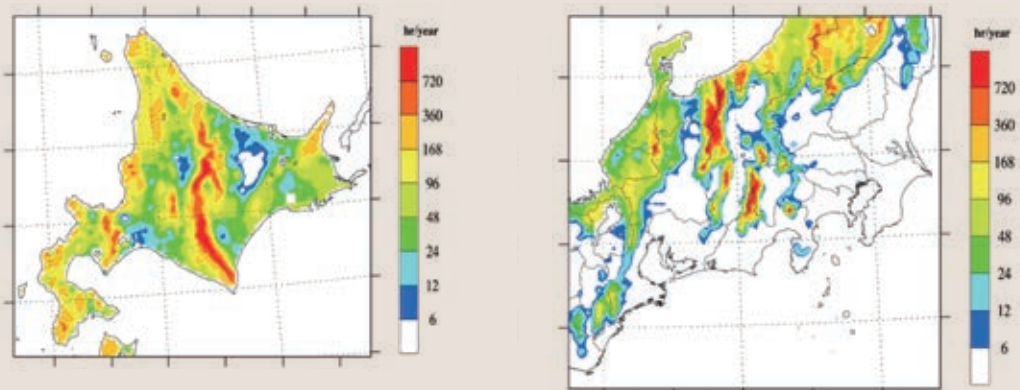


図2 ギャロッピング発生ハザードマップ

気象予測・解析システムNuWFASを用いて構築された高解像度・長期気象・気候データベース(CRIEPI-RCM-Era2)を活用して、全国のギャロッピング発生可能時間(1年間に、送電線に着雪があり、かつ、一定以上の風速がある時間)を線路走向別に作成した。各地のギャロッピングの発生しやすさを簡便に評価することができ、ギャロッピングの発生しやすい箇所の抽出等に活用できる。

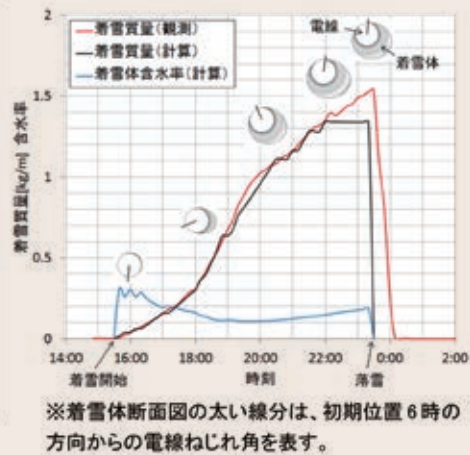
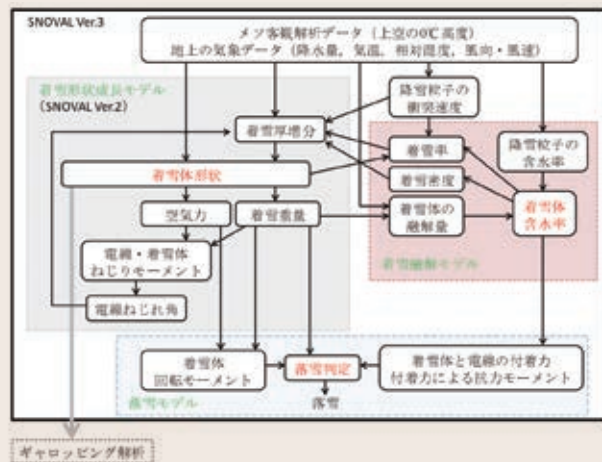


図3 拡張したSNOVAL(Ver.3)の構成と解析事例

SNOVAL(Ver.3)は、SNOVAL(Ver.2:着雪形状成長モデル)をもとに、地上・上空の気象データの入力、融解過程を考慮した着雪融解・落雪モデルを導入して拡張している(左図)。これらのモデル導入により、着雪開始から着雪成長、落雪に至るまでの全ての過程を精度良く再現できる(右図)。

## 重点課題 - リスクの最適マネジメントの確立

## 雷リスクマネジメント技術の構築

## 背景・目的

これまでに、送電、変電、配電設備の雷害対策の研究が進められてきており、電力設備の基本的耐雷設計技術は確立されている。一方、スマートメータなどの情報通信技術 (ICT) などの導入や、風力発電・太陽光発電などの再生可能エネルギーの導入が拡大し、このような新たな設備に雷被害がおよぶことが予想される。このため、既存の電力機器に加え、情

報通信機器や再生可能エネルギー関連の設備に対する雷害対策が求められている。

本課題では、各種電力設備・機器に対する雷リスク評価技術の開発、ICT適用電力機器(制御・通信機器)のイミュニティ(電磁耐性)を考慮した雷害対策指針を確立し、電力設備の合理的耐雷設計に活用する。

## 主な成果

## 1 高建造物への雷撃と気象条件の関係の解明

UHV送電線などの超高建造物への雷撃特性の解明を目的として、高さ634mの東京スカイツリーの雷観測\*1を行った結果、2012年～2014年度に約40件の落雷を観測した。観測結果の分析から、このような高建造物への雷撃であっても、構造物から雷が発生する上向き雷のみならず、雷雲からの雷放電進展による下向き雷も生じることを確認した。雷撃時の気象条件の解析により、上空の-10℃

高度が5,500m以上では下向き雷が、5,500m以下であれば上向き雷が主として発生することを見出した(図1)。また、雷撃電流波高値と-10℃高度の関係、雷撃電流波高値や放電電荷量の統計分布を明らかにした(図2)[H14015]。これらのデータの蓄積により、雷データの精緻化による雷リスク評価と耐雷設計技術の高度化が可能となる。

## 2 電気所におけるIP機器のイミュニティ評価手法の構築

変電所などの電気所において、汎用IP機器が適用された機器の導入が進んでいるが、電気所内に設置されるIP機器は、サージなどに起因する電磁雑音にさらされる一方、その動作電圧は低いため誤動作の懸念がある。このため、IP機器のイミュニティ(電磁耐性)性能を簡便に評価する手法の提案に向け、IP機器のデータ伝送に及ぼす外部から

のバースト性雑音\*2の影響を、実験に基づき評価した。この現象に対し、バースト性雑音の継続時間と周期、およびパケットの伝送時間をパラメータとしたパケット損失率推定モデルを構築した。また、電気所へIP機器を導入する際、外部バースト性雑音からの影響を許容値以下にするためのイミュニティ評価スキームを開発した(図3)[H14012]。

## 3 落雷位置標定システムのデータに基づく、雷データベースの構築

電力会社の協力のもと、落雷位置標定システムの雷観測データ(落雷発生数(フラッシュ数)、雷撃電流値、落雷の極性など)を集積し、2013年度までの雷データベースを構築した。このデータベースを用い、日本の落

雷発生状況の年度変化、地域や季節による雷の特性の変化状況、気象条件と落雷発生との関係、落雷数と送電線雷事故率との関係などに相関があることを確認した。

## 4 電力保安用通信線の接地抵抗緩和の可能性

電力保安用通信線の接地に関する規程緩和を目的として、雷、交流混触、電磁誘導の3つの観点から、実規模実験もしくは計算機シ

ミュレーションによる検討を行い、接地抵抗値および接地間隔の規制が緩和できる可能性があることを明らかにした。

\*1 東京大学、東武タワースカイツリー社と共同で実施。

\*2 間欠的に繰り返し発生するパルス性雑音の列。パルス個数、雑音継続時間、繰り返し周期などにより特徴付けられる。

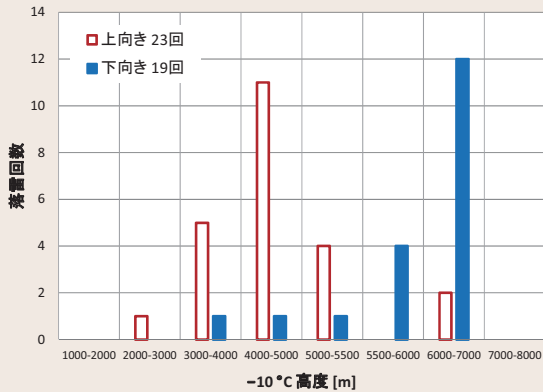


図1 上向き雷・下向き雷の発生と-10℃温度高度との関係

これまで、500mを超えるような超高建築物では、上向き雷の発生率は90%以上と考えられていた。しかしながら、東京スカイツリーでは上向き雷の発生率が大きく異なる結果が得られた。そのため、落雷発生時の高層気象を調査したところ、上向き雷が発生する場合には-10℃の高度がほとんど5,500m以下であることが判明した。

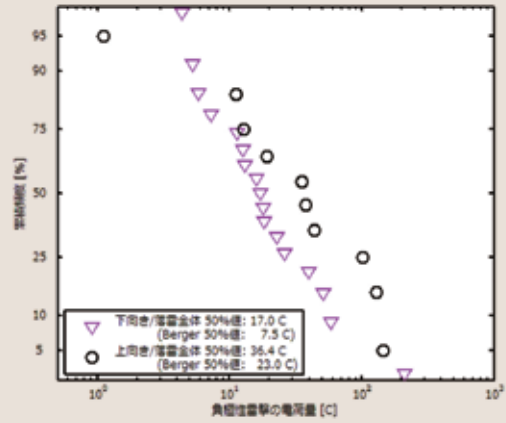


図2 上向き雷・下向き雷の雷撃時電荷量の累積分布

雷撃電流、雷撃時電荷量などの雷パラメータについては、スイスでBergerらによって観測されたものが世界的に通用している。今回、東京スカイツリーで得られたデータを整理すると、雷撃電流の累積頻度分布はこれまでと同様であったが、雷撃時電荷量の50%値はこれまで知られている値より1.6~2.3倍大きく、地域による差が明確に現れた。

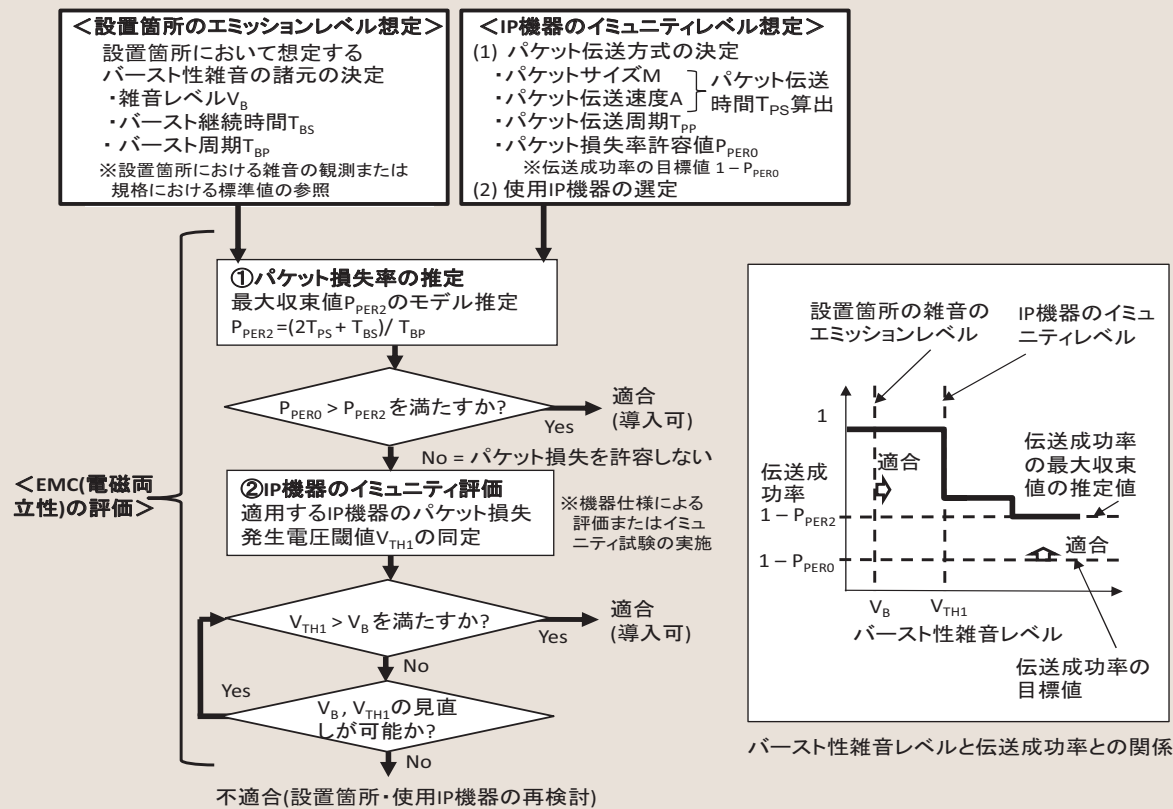


図3 電気所にIP機器を設置する場合の免疫性評価手順

伝送成功率は挿入図のように、あるバースト性外部雑音レベルで急変し、バースト信号の周期や継続時間、パケット伝送周期などで決まる一定値に収束する。免疫性評価では、伝送方式および上記のバースト性雑音の特性に基づき、伝送成功率の目標値との比較を行う。これを満たさない場合には、導入を検討するIP機器のパケット損失が発生する雑音閾値を設置環境において想定される雑音レベルと比較し、適合性を評価する。



## 重点(プロジェクト)課題 - リスクの最適マネジメントの確立

## 健全に機能する電力市場とネットワークの中立化

## 背景・目的

エネルギー政策の方向性が示されつつある中、電力システム改革は着実に進められようとしている。諸外国では、電力自由化後の原子力発電の維持や、再生可能エネルギーの導入促進に伴う問題への関心が高まっているが、我が国でも今後、エネルギー政策と電力システム改革の整合性を図っていくことがより重要となる。

本課題では、電力システム改革の詳細制度設計の課題について検討するとともに、競争下での原子力発電や、再生可能エネルギーの活用など、エネルギー政策との関係において特に重要となる問題について、海外事例の評価などを通じ、改革後の適切な事業環境整備に資する。

## 主な成果

## 1 欧州における自由化後の原子力発電維持に関する経済的手法の評価

欧州における自由化後の原子力発電の新增設等を促すための経済的手法を評価した(表1)。イギリスでは、政府が差額決済方式による固定価格買取(FIT-CfD)の長期契約を事業者と結び、新增設の促進を企図してい

るが、適切な買取保証価格の設定が課題となる。欧州では他に、事業者が大口の需要家と長期買取契約を結ぶ例もあるが、競争の促進や小口の需要家の不公平感に対する配慮が必要となる[Y14007]。

## 2 発送電分離後の再生可能エネルギー大量導入に伴う問題と対応策の評価

主にドイツの広域需給調整メカニズムや送電網の開発プロセス、卸電力取引の実態について調査した。ドイツでは、周辺国とも需給調整を行う仕組みを導入しつつあるが、現時点では、エネルギー取引終了後に国際連系線の空き容量がある場合にのみ、各国間でインバランスエネルギーの融通を行うに留めている(図1)[Y14021]。また、4つの系統運用者(TSO)と規制機関が協調し、長期送電ネットワーク開発計画を策定する仕組みが導入さ

れ、近年、送電設備への投資が増加傾向にある。しかし、系統運用上必要とされる送電線の増強計画の遅延から、送電線混雑解消に要する費用の削減効果が見られず、系統運用上の課題が円滑に解決できていないことがわかった(図2)[Y14019]。電力取引においては、再生可能エネルギーの増加に伴い重要性を増す火力電源等の運用柔軟性の価値が、金融工学の手法で評価されている[Y14012]。

## 3 小売全面自由化後の競争に関わる課題

イギリスの電気事業規制官庁による競争法(独禁法)執行の現状と課題を調査した。イギリスは事業規制官庁と競争当局による二重規制を回避するための調整制度を設けており(図3)、日本においても、新規制組織と公取委の不要な二重規制を避ける上で参考となり得る[Y14006]。また、アンケート調査に基づき、日本の産業・業務用需要家による小売電気事業者の選択行動を分析した。料金水準以外に、大口需要家では要望する料金メニュー

の種類、小口需要家では多様なエネルギー関連サービスが、電力購入先の選択にとって重要となり、非価格面での競争が進展し得ることがわかった[Y14022]。アメリカの電力小売市場において、規制料金から競争料金への移行が進んでいけば、既存の電力会社の子会社が提供する競争料金のシェアが大きくなり、新規参入が限定的であっても、競争的であると評価されている地域があることも明らかにした[Y14001]。

表1 欧州における原子力発電の維持活用に向けた経済的手法

	FIT-CfD 差額決済契約の固定価格買取	マンカラ・モデル 需要家との 共同体事業	大口需要家コンソーシアムとの 長期契約	
国	イギリス	フィンランド	フランス	ベルギー
契約相手	政府	大口需要家から成る株主	大口需要家 コンソーシアム	大口需要家 コンソーシアム
契約内容	政府機関が交渉で合意したストライクプライスと市場価格の差額を精算して買い取る	出資者が株式のシェアに応じて発電した電力を発電原価で買い取る	契約開始時に資本費相当額を支払い、発電した電力を発電原価で買い取る	発電した電力を発電原価で買い取る権利が与えられる
適用対象	新規	新規	既設・新規	既設・新規
問題や留意点	ストライクプライスが交渉で決まり、競争が働かず、それが高過ぎれば政府補助（国民負担）が増える	・原子力は非営利事業として運営 ・買い取る電気が非課税で税金逃れの仕組みとの批判も	・原子力事業者の市場シェアが高いため、競争を制限する恐れがある ・契約を結ばない需要家との不公平感が生じる ・長期契約の役割は限定的	

競争下での原子力発電の増設や既設炉の維持のため、欧州では原子力事業者が政府や需要家との長期契約を結ぶ例が目立っているが、それぞれに課題や留意点もある。イギリスのFIT-CfDは、直接補助金を与える仕組みではないが、買取保証価格となるストライクプライスが高過ぎれば、政府からの補助が増える点に留意が必要となる。欧州では大口需要家が共同で出資し、発電した電力を発電原価で買い取る長期契約も用いられているが、長期間の契約が競争を制限する恐れや、同じようなメリットを受けられない小口の需要家からの反発に対する対応が必要となる。

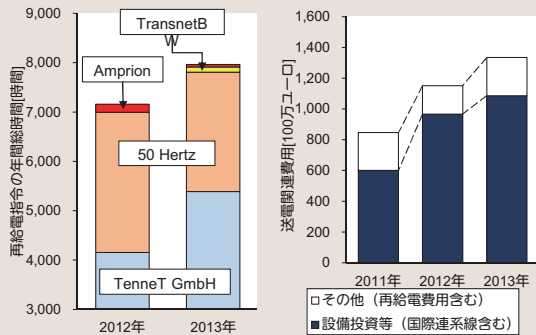


図2 ドイツの送電費用の増加と再給電指令の推移  
ドイツでの送電投資費用は増加しているものの、2009年に想定された、今後ドイツで必要とされる送電線増強（総計1,855km）のうち、2014年までに完了したのは約23%（438km）に過ぎない。このような送電線増強の遅れと、送電ネットワーク開発計画の策定時の想定を上回る再生可能エネルギー電源の連系増大により、一部の系統運用者（TSO）では、計画外の火力電源の出力調整（再給電指令）の年間総時間が増加している（左図）。また、2013年のドイツ全国での再給電指令などの費用は、2億ユーロ程度である（右図）。ドイツでは調整能力の確保や送電ネットワークの整備のための仕組みづくりが進められているが、現状では、送電システムの信頼度維持に要する費用の軽減がなされているとは言い難い状況である。

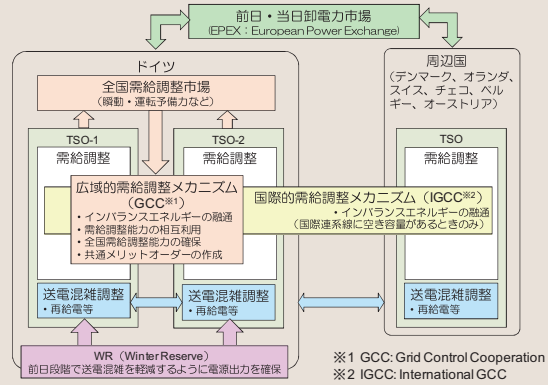


図1 ドイツとその周辺国の広域的需給調整  
ドイツ国内では、再生可能エネルギー電源が一部の地域に偏って導入され、各系統運用者（TSO）が各自エリアのみで需給バランスを保つことが難しくなっている。そこで、各TSOがエネルギー取引終了前に、全国需給調整市場を通じて調整能力を確保し、全エリア共通で作成したメリットオーダーに基づき需給調整能力を相互利用する仕組みが導入された。実運用時に、送電混雑が発生した場合には、需給調整力は利用されず、各TSOにより計画外の火力電源の出力調整（再給電）指令が行われる。この再給電指令でも送電混雑の解消が難しいと思われる場合には、前日段階で利用の指令を送る送電混雑の調整力（WR）を、市場を通さず交渉ベースで確保できる。なお、国際連系線に空き容量がある場合は、各国間でインバランスエネルギーの融通を実施している。

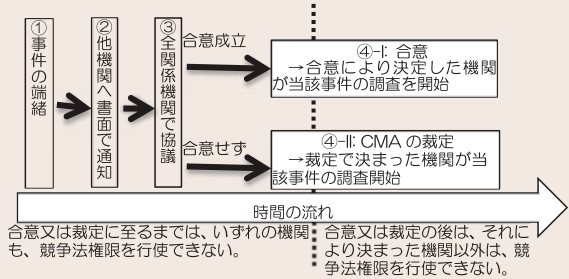


図3 事業規制官庁と競争当局による競争法の重複適用を回避するための仕組み  
新設される規制組織に市場競争監視・確保の諸権限を付与する際には、独禁法を所管する公正取引委員会との不要な二重規制を回避することが求められる。イギリスでは、電気事業の規制官庁（Ofgem）と競争当局（CMA）の双方が競争法の執行権限を有するため、両当局による二重適用回避の仕組みが設けられている。具体的には、いずれかの機関が競争法を行使しようとするときは、まずその意図を書面で他方に通知せねばならない（①）、これに基づきCMA・Ofgemその他すべての事業規制官庁が協議し（③）、合意（④-I）又はCMAの裁定（④-II）により、事件を担当する機関を決定する。以上の手続きを定めることにより、イギリスの事業規制官庁と競争当局は、同一の行為に対する二重適用を回避している。

## 重点課題 - リスクの最適マネジメントの確立

## 原子力事業の制度環境分析

## 背景・目的

福島第一原子力発電所事故の反省と教訓を踏まえ、原子力利用の推進と規制の分離や、安全規制の拡充、さらには地方自治体との関係の再構築等、原子力事業を取り巻く制度環境は大きく変化した。原子力事業の担い手である電力各社は、これら制度環境の変化に着実に対応していくことが求められており、そのためには、制度分析はもとより、それら変化の原

動力の一つとなっている社会意識を的確に捉えることが必要となる。

本課題では、制度環境の変化をもたらす社会意識をも含めて分析し、今後の制度改革の方向性を探索するとともに、海外事例や他産業等における制度環境変化への対応事例等を分析し、我が国原子力事業への示唆を得る。

## 主な成果

## 1 東日本大震災後の環境・エネルギー問題に関する国民意識の現状と変化

全国11箇所の成人男女3600名を対象とした世論調査(直接訪問し、アンケート用紙を後日回収する方法)により、東日本大震災後のエネルギー問題に対する人々の関心の程度や考え(図1)、エネルギーに関わる組織や機関に対する信頼度・認知度を把握するとともに(図2)、原子力発電技術について評価する際に最も重視する点が、前回調査と比較してどのように変化したかを明らかにした(図3) [Y14004]。また、意識調査の分析から、電気事業が今後地域住民や一般市民に対して情報提

供や対話を行う際には、①電気事業の活動に理解を求める前提として、資源の安定確保などエネルギー問題全般への関心を喚起すること、②情報提供の対象者を属性で区切るのではなく、関心や知識、行動パターンなどでセグメント化し、提供する情報内容をセグメント毎にカスタマイズすること、③信頼回復を目指すには、エネルギー問題や原子力発電についての人々の懸念や重要視している問題について、電気事業者がそれを理解することが重要であることを示した。

## 2 原子力立地地域における会議体の海外事例分析

英仏等の原子力立地地域では、地域の主なステークホルダーを集めた会議体が存在している。英国ではSSG(サイト・ステークホルダー・グループ)が、「参加」を通じた意思決定の質向上を主な役割としており、フランスではCLI(地域情報委員会)が、事業者・規制機関・立地地域間の情報共有とコミュニケーションを通じた透明性確保にあたっている(表1)。た

だし、いずれも原子力施設の運転等に対する同意権限は持っておらず、議論が鋭く対立し得るような問題についての「合意形成」を行う機能は担っていない。これら会議体の自治体の制度上における位置づけの明確化や住民意見の反映方法等の点は、我が国にとっても示唆的であることを明らかにした。

## 3 原子力分野以外におけるステークホルダー会議体の傾向分析

原子力以外の分野でもステークホルダーを集めた会議体を設置している例があり、それらの比較分析から二つの傾向を明らかにした(表2)。①提言型の委員会は、河川の流域計画策定やごみ処理場・斎場等の立地選定に際し、具体的な方向性や立地候補地の評価を示すものであり、最終的な意思決定に委員会の意見が強く影響する。「合意形成」を直接・間接に企図した委員会もあるが、それは複数選択肢ないしゼロベースからステークホルダーが

議論しつつ着地点を探索するものである。②監視・対話型会議体は、短期的・直接的な合意形成よりも、委員会による監視・対話を通じた中長期的な信頼関係構築に重点がおかれ、各地のPCB処理監視委員会や化学産業等にその事例が多く見られる。我が国の原子力分野への示唆として、参加型での監視・対話を重ねて中長期的な信頼関係構築を目指す方が適切と考えられる。



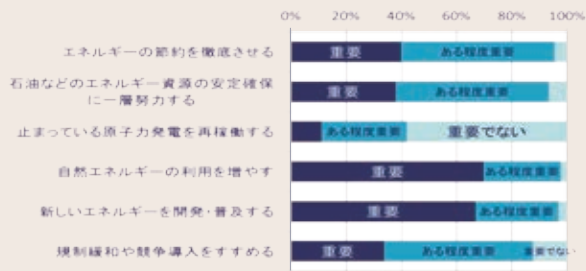


図1 今後の日本のエネルギー政策において何を重要と考えるか

自然エネルギー・新エネルギーの利用への期待が高い一方、原子力発電の再稼働を重要だと考えている回答者は少ない。

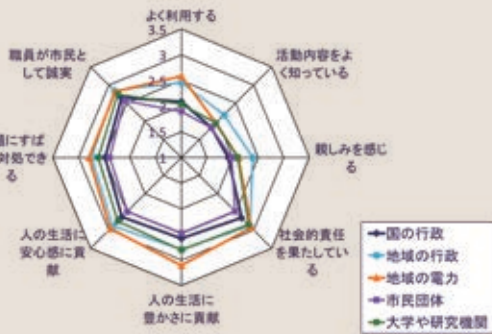


図2 エネルギーに関わる組織や機関に対する信頼度・認知度

電力会社に対する信頼は相対的に低く、人々の生活の安心感や豊かさに貢献していると評価される一方、活動内容は知られていない。

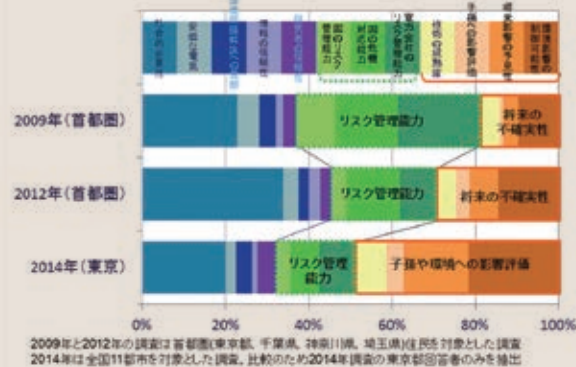


図3 原子力発電技術を評価する際に最も重視する点  
震災前は「リスク管理能力」の有無を起点に原子力を考える人が多かったが、現在は将来や環境に対する影響を重視している人が多い。

表1 英仏原子力立地地域におけるステークホルダーを集めた会議体の概要

	SSG(サイトステークホルダーグループ)	CLI(地域情報委員会)
主な役割	参加を通じた「 <b>インプット重視</b> と意思決定の質向上	関係者間の <b>情報共有</b> と <b>コミュニケーション</b> を通じた <b>透明性確保</b>
主な特色	・計画策定時の「協議」で参加の場を提供 ・地域の経済・雇用に係る論点も議論の対象	・CUへの情報提供義務とCUからの質問権を明記 ・自治体が規制体系のなかに位置づけられたと解釈可能
意思決定への影響	地域の意見がNDA・事業者の意思決定に <b>実質的に強く影響</b>	議論の場であるCUと事業者等の <b>意思決定と明確に分離</b>
制度基盤	NDAのガイドライン	原子力透明化法+政令
議長	地元の首長経験者等(NDA・事業者との利益相反を排除)	立地県の県議会議員
費用	NDAが負担	規制機関及び立地県が分担
地元範囲	・論点に応じて柔軟に選定	・緊急時計画範囲で「線引き」

フランスCLIは合意形成を目的としないが、透明性確保のために法令に基づいて設置されるフォーマルな会議体である。一方、英国SSGは、事業者の意思決定の過程においてステークホルダーからの情報インプットを重視する、ガイドラインベースで柔軟に設置される会議体である。いずれの会議体も、原子力施設の運転等に関する「同意」権限を持たないが、自治体の制度上での位置づけの明確化や、住民意思の反映方法等の点において、我が国にとって示唆的な側面を有している。

表2 原子力分野以外におけるステークホルダー会議体の傾向分析

	提言型	監視・対話型
主な特徴	・事業計画等の策定時に <b>具体的な方向性を示す</b> ・ごみ処理場立地等について具体的な <b>選定方針や候補地とその評価を示す</b>	・事業者や行政からの説明や情報提供と質疑が中心 ・短期的・直接的な合意形成よりも <b>中長期的な信頼関係構築</b> に重点
意思決定への影響	行政等の最終的な意思決定に、委員会の意見が <b>実質的に強く影響</b>	議論のなかで良い意見が出れば事業者や行政が <b>適宜反映</b> する
主な課題	・行政等が考えていた内容と <b>違う方向性が示された場合の対応</b> ・行政等の組織内での委員会に対する認識の乖離	・出された <b>意見が反映されない</b> (ように見える)と会議体の意義が疑問視される ・双方向を標榜しつつも実態は <b>説明偏重</b> になることも
主な事例	・各地の流域委員会・流域協議会(特に淀川第1期) ・各地のごみ処理場や畜場のあり方検討委員会	・各地のPCB処理監視委員会 ・化学産業の「レスポンスフル・ケア」事例 ・本土の米軍基地の協議会

原子力以外の分野におけるステークホルダー会議体の事例として、各地の流域委員会・流域協議会、ごみ処理場や畜場のあり方検討委員会、PCB処理監視委員会、本土の米軍基地協議会等を調査・分析した。その結果、各種会議体には、大きく分けて、①計画策定や立地選定に際して具体的な方向性や立地候補地の評価を行い、会議体の意思決定がそれらに大きな影響を及ぼす「**提言型会議体**」と、②事業者や行政からの説明提供と質疑応答が中心であり、短期的・直接的な合意形成よりも、ステークホルダー間の中長期的な信頼関係構築に重点を置く「**監視・対話型会議**」の二つの傾向があることが示された。

## 重点課題 - リスクの最適マネジメントの確立

# 温暖化対策制度の分析

### 背景・目的

2015年12月の国連気候変動枠組条約第21回締約国会議(COP21)を期限に2020年以降の新枠組みの交渉が行われ、国内でも削減目標や国内対策に関する議論が進んでいる。電気事業の環境対策は、これらに大きく左右される。

本課題では、国内の温暖化対策や国際交渉の分析を通じて、エネルギーの安定供給や経済の健全な発展と調和した実効的な温暖化対策制度のあり方を検討し、今後の対策を考える上で鍵となる最新の知見を社会に提供する。

### 主な成果

#### 1 温暖化対策に関する総合的検討

統括執筆責任者として取りまとめに寄与した「気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第五次評価報告書」に基づき、地球全体で温暖化を2℃に抑制するという目標の達成は実際には困難であることを論じた。また日本の政策パッケージのあり方について検討を行い、産業界の自主的取組みは省エネ法等の政府

の政策手段を補完する政策手段であり、かつ今後も日本においては環境と経済のバランスをとるために中心的な政策手段とすべきであることを明らかにした。産業構造審議会における専門委員としての活動等を通じ、政策形成に資するこれらの知見を提供した(図1、図2)。

#### 2 米国における火力発電所規制動向の分析

米国で検討が進む火力発電所へのCO<sub>2</sub>排出規制の動向は、日本において望ましい温暖化政策のあり方を考える上で重要な参考情報となる。2014年6月に提示された既設火力発電所規制案(Clean Power Plan, CPP)の詳細を分析し、①規制案がCO<sub>2</sub>排出削減達成の前提とする石炭から天然ガスへの大幅な燃料

転換は、安価な天然ガス資源を持つ米国特有の事情を反映していること、②規制案に含まれる排出削減策の範囲や州・連邦間の権限問題が訴訟で争われ、その結果次第では目標値が大幅に緩和される可能性があること、を示した(図3)[Y14005]。

#### 3 国際交渉動向の分析

2020年以降の国際枠組みは、国内の削減目標の策定を支配する重要な前提条件となる。2014年の交渉では、約束草案の対象範囲が温室効果ガス排出の削減を中心とするのか、温暖化による環境変化への適応や途上国支援も含むのが争点となったが、同年12月のCOP20では「削減」を含めることにしつつ、「適応」を任意で含んでよとの決着をみ

た。一方、「削減」については①目標年・サイクル、②約束の登録方法、③約束の法的拘束性、④透明性確保のルール等について各国の見解が出揃った(表1)。これらの見解を踏まえ、2015年のCOP21で合意を得るには、①削減、適応、途上国支援のバランス、②米国参加、③2℃目標との整合性という3つの課題を乗り越える必要があることを示した[Y14020]。

#### 4 省エネルギー政策の分析

温暖化対策の国内貢献を示す上で、省エネルギーに大きな期待が寄せられている。費用対効果の優れた省エネルギー政策のあり方について、これまでの所内研究や文献調査をもとに検討し、①省エネルギー政策は市場の失敗や市場バリアを解消するために費用対効果に優れた施策のみ実施すべきこと、②費用対効果を考慮した省エネルギー行動促進の

ために行動経済学の知見を活用すべきこと、③中小企業の省エネルギー推進のために省エネ法の判断基準等を情報提供や教育的な効果に注目したものにすべきこと、④年間約2,000億円に上る省エネ補助金には費用対効果が疑問な事業もあり検証が必要であることを示した(図4)。

炭素価格: コスト計算を変える 税、ETS...	合理的活動促進: 情報や協調の不足を 除く 省エネ法 自主的取組み	長期的投資: 民間だけで出来ない 投資 技術開発政策...
--------------------------------	---	--

図1 温暖化政策における自主的取組み

温暖化への対応には、多面的かつ環境と経済のバランスに配慮した総合的な政策パッケージが求められる。ここでは、産業部門毎の自主的かつ合理的な活動を促進する「自主的取組み」が、国による炭素価格政策や長期的施策を補完する上で重要である。

※ 温室効果ガス排出枠取引制度。



図2 IPCC第五次評価報告書(左)、書籍「地球温暖化とのつきあいかた」(右)

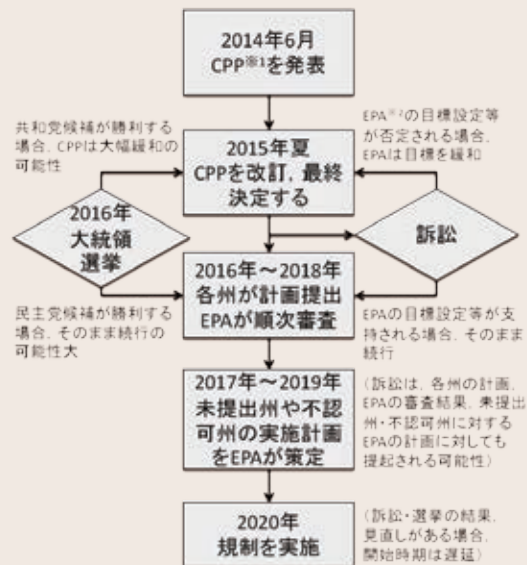


図3 米国火力発電所の規制開始プロセス

連邦政府の規制案発表時の想定のとおり、2020年に規制を実現するには、図中長方形で示す様々なステップを通過する必要があると同時に、菱形に示す外的要因が実施に向けたスケジュールに大きな影響を及ぼす。

※1 Clean Power Plan、連邦環境保護庁による既設火力発電所に対するCO<sub>2</sub>排出規制案。

※2 連邦環境保護庁。

表1 2020年以降の国際枠組み:「削減」に関する論点と各国の見解

論点	各国の見解
目標年・サイクル	① 10年サイクル(日本、EU、カナダ、韓国、インド等) ② 5年サイクル(米国) ③ 5年間の約束+その後の5年間の示唆的約束(ブラジル、南アフリカ等)
約束の法的拘束性	① 約束に法的拘束力をもたせる(EU、後発開発途上国等) ② 約束そのものではなく、約束の提出、その達成のための措置の実施、実施へのレビューを受けることに法的拘束力をもたせる(日本) ③ 約束そのものではなく、約束の提示や透明性確保に拘束力をもたせる。また、国内法で拘束力をもたせる(ニュージーランド。米国が関心を表明)

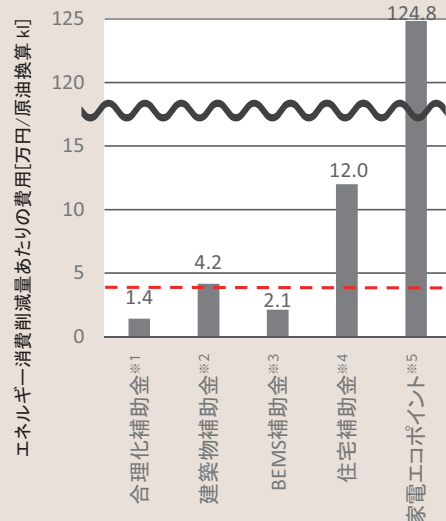


図4 省エネ補助事業の費用対効果の評価例

これまでの省エネ補助事業における、エネルギー消費削減量あたりの費用(削減単価、縦軸)の評価例によると、削減単価が低く効率性が高い事業もあった反面、これらの補助事業の実施期間における回避可能原価(破線)を大きく上回る削減費用を要した事業も一部に存在した。

※1～3は電中研報告[Y13028]、※4は電中研試算、※5はArakawa & Akimoto (2014)による。

※1 エネルギー使用合理化事業者補助事業。

※2 住宅・建築物高効率エネルギーシステム導入促進事業(建築物)。

※3 BEMS導入促進事業。

※4 住宅・建築物高効率エネルギーシステム導入促進事業(住宅)。

※5 J. Arakawa, K. Akimoto, J. Jpn. Inst. Energy, 94, 333-339 (2014).



## 重点課題 - リスクの最適マネジメントの確立

科学・経済的合理性を持ったCO<sub>2</sub>排出削減シナリオの構築

## 背景・目的

国内ではエネルギー政策の見通しが不確実な状況が続く一方、国際的には大幅なCO<sub>2</sub>排出削減が喫緊の課題となっている。排出削減の前提となる地球温暖化の科学的知見には不確実性が避けられないが、合理的な削減に向けて新しい知見を適宜反映する必要がある。また、排出削減につながる低炭素技術の開発については、最新の技術動向と潜在的なリスク

を踏まえて、適切な見通しを示す必要がある。

本課題では、世界全体のCO<sub>2</sub>排出量の制約を科学的観点から精査し、技術的裏づけのある低炭素化に向けた見通しを得て、我が国の長期エネルギー計画の立案に貢献することを目指す。また、将来の導入議論に備えるため、CO<sub>2</sub>回収・貯留(CCS)の導入に係るリスクの評価を実施する。

## 主な成果

## 1 気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の最新知見の分析

2013-14年に発表されたIPCC第5次評価報告書(AR5)では、CO<sub>2</sub>等の排出削減の長期目標の前提となる、気候変化のリスクレベルと世界気温の上昇量の関係について、更新された評価結果が示された。AR5で評価されたリスクレベルは、2007年の第4次評価報告書に比べて高くなり、確信度も増している。この情報を精査した結果、AR5では、観測

や将来予測の新しい知見に加え、リスクの対象や関連する社会経済的な要因をより広範囲に扱う方針も関係することが判明した(図1) [V14012]。リスクレベルが社会経済的な要因に依存することは、世界の発展の方向性によってCO<sub>2</sub>等の排出制約が異なることを示唆している。

## 2 エネルギー・経済・気候の統合評価モデルの改良

AR5におけるCO<sub>2</sub>等の排出削減の長期シナリオでは、近い将来の大幅な排出削減が難しいことから、100年規模の遠い将来に負の排出(正味の吸収)を実現する技術(CCS付きバイオマス発電など)が注目されている。このような将来技術の可能性を気候予測の不確実性とともにより詳細に検討するため、既開発の統合評価モデルと簡易気候モデルを改良した\*1。統合評価モデルについては、各種パ

ラメータ(発電効率、設備単価など)を更新するとともに、エネルギーフローの拡充(水素等)、バイオマスモデルとの結合などの開発を行った(図2)。簡易気候モデルについては、気候感度\*2の不確実性を扱う仕組みを開発した(図3)。今後、本モデルを用いて現実的な長期(2050年)目標を検討し、我が国の長期エネルギー計画の立案に貢献する。

## 3 CCSの技術・政策動向の整理

国外のCCSプロジェクトの動向を整理した。石炭火力発電へのCCS導入では、カナダBoundary DamプロジェクトがCO<sub>2</sub>排出規制(2015年7月施行)の下で政府の資金支援を受けて商用化されたが、世界的な普及は進んでいない(表1)。この背景には事業成立の不確実性があることから、現時点のCCSの商用化には、政府の政策的あるいは資金的な支

援、回収CO<sub>2</sub>の売却によるコスト補填等が不可欠であるといえる。一方、国内では、現状の電源構成やCCS等の各発電技術に対する認知度が低いこと、また今後の火力発電や原子力発電の利用には多様な意見も見られることから、CCS導入の議論では、我が国のエネルギー事情や気候変動対策の意義等も含めた、広範にわたる社会的理解が必要である。

\*1 モデル改良の一部は、文部科学省の気候変動リスク情報創生プログラムで実施した。

\*2 各種の気候変化要因の加熱・冷却効果によってどの程度の気温変化が生じるかを表す指標で、大気CO<sub>2</sub>濃度の倍増による世界平均の気温上昇で表される。CO<sub>2</sub>濃度倍増による気温上昇は、最終的な平衡状態と変化途中の過渡状態で区別され、それぞれに対応する平衡気候感度と過渡気候応答が定義されている。



項目	説明
(1) 気候変化のリスクレベル	
↑ 専門家判断に基づくアンバーダイアグラム ↓	アンバーダイアグラム
(2) 世界気温の上昇量	RFC (Reasons For Concern)
↑ 近似的な比例関係 ↓	気候変化のリスク
(3) CO <sub>2</sub> の累積排出量	AR5の評価 (以前の評価との比較)
↑ 2100年の濃度で分類されたシナリオ群の削減量 ↓	
(4) 2050年の温室効果ガス削減量	
各作業部会の評価報告書は(1)-(4)の相互依存関係に集約	

図1 AR5のポイント(左)と気候変化のリスク評価(右)

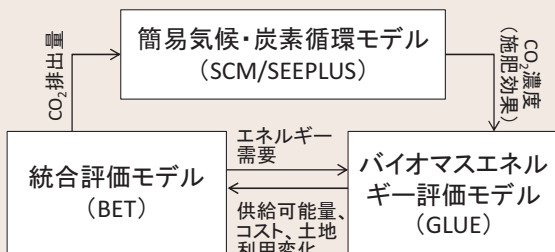


図2 CO<sub>2</sub>排出削減目標を検討するモデルの構成

括弧内はモデルの名称。SCMは、世界平均気温と大気・海洋・陸域のCO<sub>2</sub>交換を計算するモデル。SEEPLUSは、SCMを操作するウェブアプリケーション。BETは、エネルギー・経済・気候の相互依存を統合的に評価するモデル。GLUEは、バイオマスに関連するエネルギーフローを計算するモデル。

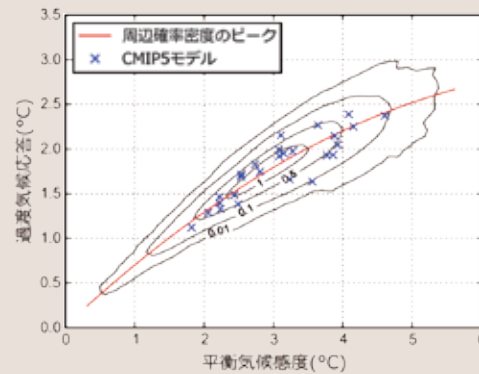


図3 平衡気候感度と過渡気候応答の確率密度

AR5で評価された多数の複雑な気候モデル(CMIP5モデル)のばらつきを考慮して、両指標で代表される気候応答の不確実性を定式化。SCM(図2)による気温計算で、CMIP5モデルの不確実幅や、AR5の気候感度情報を反映した評価が可能となる。

表1 国外CCSプロジェクトの中止・保留状況(2012~2013年)

プロジェクト名	国	プロジェクト段階	中止・保留理由
<b>【中止事例】</b>			
PurrGen One	米国	最終投資判断の直前段階	投資判断
Betchatow	ポーランド		資金不足
Taylorville Energy Center	米国		経済状況の変化、法規制の未整備
Tenaska Trailblazer Energy Center		フィージビリティスタディ段階	天然ガス複合火力発電プロジェクトへの変更
Cash Creek			
<b>【保留事例】</b>			
Swan Hill Synfuels	カナダ	最終投資判断の直前段階	ガス価格の見通しを得た段階で最終決定
Hydrogen Power Abu Dhabi	アラブ首長国連邦		他プロジェクトの推進(鉄鋼関連)
Green Hydrogen	オランダ	フィージビリティスタディ段階	EU支援(NER300 <sup>※</sup> )の獲得失敗
Eemshaven CCS			
Pegasus Rotterdam			
Southland Coal and Fertiliser	ニュージーランド		他プロジェクトへの投資集中
Marista	ブルガリア	概念設計段階	不明

※ 欧州の排出量取引(EU-ETS)における排出枠売却収入の一部(CO<sub>2</sub> 3億トン分)を革新的再生可能エネルギー技術およびCCSの実証プロジェクトへ資金支援するプログラム。

## 重点課題 - 設備運用・保全技術の高度化

## 原子炉压力容器・炉内構造物健全性評価

## 背景・目的

軽水炉の安定運転を継続するためには、核燃料と冷却水を保持する原子炉压力容器とその内部の重要機器である炉内構造物に欠陥が生じた場合の構造健全性を的確に評価し、安全性を担保できることが必要である。

本課題では、原子炉压力容器・炉内構造物の経年劣化現象のメカニズムの解明、経年劣化事象の予測手法の開発と改良、構造健全性評価といった技術的基盤を拡充することで、軽水炉の安全・安定運転に寄与する。

## 主な成果

## 1 マスターカーブ法の実機適用技術の開発

原子炉压力容器の健全性評価に用いる監視試験片の有効活用のため、試験済みのシャルピー衝撃試験片\*1から採取可能な平面寸法10ミリメートル角程度の超小型試験片を用いたマスターカーブ法\*2による破壊靱性評価ついて、国内外の多くの機関が参加する試験を主催した。各機関が個別に試験・評価した参照温度(破壊靱性の大小を温度によって示す指標)は、どの実施機関においても同等であった(図1)。また、計272点の超小型

試験片の破壊靱性のばらつきは、マスターカーブ法で仮定するワイブル分布に従い、かつ標準的に用いられる1インチ厚さの試験片を用いた試験結果ともほぼ一致することがわかった<sup>[1][2]</sup>(図2)。この成果は、超小型試験片を用いたマスターカーブ法の有効性を確認するものであり、日本電気協会の規格\*3への反映を通じて、監視試験片の有効活用による安全性向上に貢献する。

## 2 原子炉压力容器貫通部の高温強度評価法の開発

福島第一原子力発電所事故では、原子炉压力容器下部の貫通部は運転温度を超える高温条件下に曝されていたと考えられる。同様な過酷事故を想定し、压力容器が破損する限界条件を評価する手法を整備しておく必要がある。原子炉压力容器貫通部を構成する材料について、温度とひずみ速度を変え

た高温引張試験を実施し、その結果をもとに材料の非弾性変形挙動を精度良く表現できる非弾性変形解析用の応力とひずみの関係を示す構成式を導いた(図3)<sup>[Q14016]</sup>。これにより、過酷事故時の高温強度評価法を構築する目的を得た。

## 3 压力容器鋼の照射脆化に係わる健全性評価手法の高度化

压力容器鋼の照射脆化に及ぼす熱と中性子照射の影響を解明するため、压力容器鋼を単純化した鉄-銅-ニッケル-マンガン四元系モデル合金を対象に、熱時効\*4あるいは中性子照射を行い、原子レベルの組成分析が可能なアトムプローブ観察を行った\*5。その結果、照射脆化の原因となる溶質原子クラス

ターのNiとMnの含有量は、中性子照射材よりも熱時効材で高く、時効時間によらずほぼ一定であることが判明した。このことから、熱時効または中性子照射による加速試験では、溶質原子クラスターの形成機構が異なることが示された(図4)。

\*1 ハンマーを振り下ろし、材料を衝撃破壊するシャルピー衝撃試験に用いる切欠きを有する角柱状の試験片。

\*2 材料の破壊靱性値の分布をワイブル分布と仮定し、分布の中間値の温度依存性を1本の曲線とする方法。

\*3 日本電気協会、原子力発電所用機器に対する破壊靱性の確認方法、JEAC4206-2007。

\*4 材料を一定温度で保持する熱処理により、材料特性が変化する現象。

\*5 東京大学との共同研究により実施した。

[1] M. Yamamoto et al., Procs. ASME 2013 Pressure Vessels & Piping Division conference, PVP2013-97936(2013).

[2] M. Yamamoto et al., Procs. ASME 2014 Pressure Vessels & Piping Division conference, PVP2014-28898(2014).

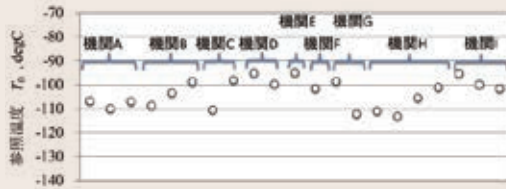


図1 国内外の各機関が試験・評価した参照温度  $T_0$  の比較

同一の圧力容器鋼鍛造材から製作された複数の試験片を用いた評価では、試験を行った機関によらず同等の参照温度が得られた。各機関が評価した試験片毎の参照温度の差異は、関連規格 (ASTM E1921-10a) に規定されたばらつきの範囲内であった。

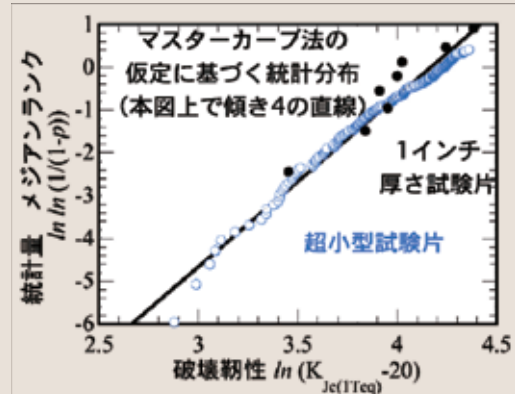


図2 各機関で得られた破壊靱性の全データの統計的プロット

マスターカーブ法は、破壊靱性のばらつきがワイブル分布に従うことを仮定している。各機関から得られた全て (272点) の超小型試験片の破壊靱性のばらつきは、この分布特性 (図2中で傾き4の直線) によく一致し、かつ標準的に用いられる1インチ厚さの試験片の統計分布特性ともよく一致することが確認された。

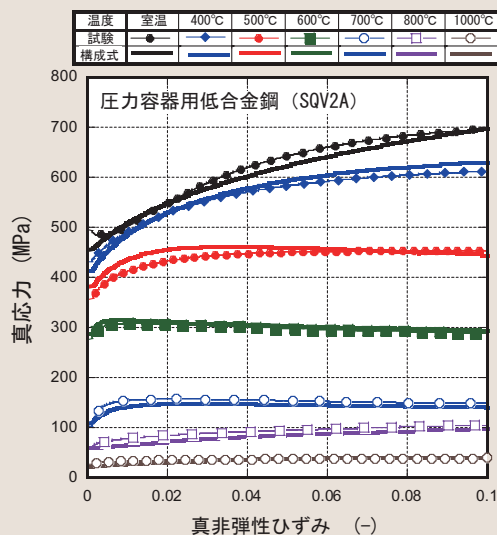


図3 高温引張試験結果と構成式による予測

圧力容器鋼鍛造材に対して室温から1000°Cまでの温度で実施した引張試験結果と構成式による予測を比較した結果を示す。いずれの温度においても、本材料の引張変形挙動を表現できることがわかる。

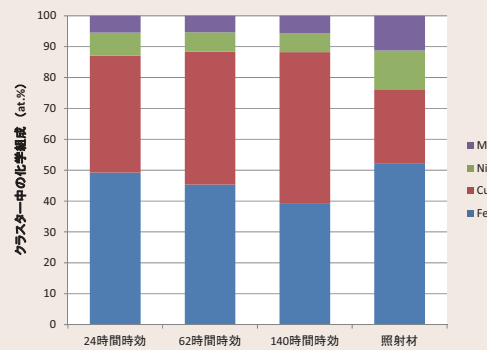


図4 鉄-銅-ニッケル-マンガンモデル合金中に形成した溶質原子クラスター中の化学組成の比較

鉄に銅、ニッケル、マンガンを追加したモデル合金を450°Cで24~140時間熱時効した材料と290°Cで  $5.4 \times 10^{18} \text{ n/cm}^2$  ( $E > 1 \text{ MeV}$ ) まで中性子照射した材料で形成した溶質原子クラスター中の化学組成。熱時効材ではニッケル、マンガンの組成は時効時間によらずほぼ一定の値を示す。中性子照射材ではニッケル、マンガンの組成がより高くなっており、同一材料であっても熱時効と中性子照射では形成されるクラスターの成分が異なる。

## 重点課題 - 設備運用・保全技術の高度化

## 軽水炉の機器・配管健全性評価

## 背景・目的

軽水炉の安定運転には、様々な機器・配管等の経年劣化を予測し、各機器等の機能を維持するための保全技術が不可欠である。

本課題では、軽水炉の構造材料の信頼性

向上や保守点検時の作業員の安全性向上に向け、軽水炉の機器・配管の健全性評価手法を開発することで、軽水炉の安定運転に寄与する。

## 主な成果

## 1 高い安全性を有するSN材の高温強度特性の評価

軽水炉プラントの支持構造物等に使用されている従来材(一般構造用圧延鋼材:SS材)に比べ、優れた溶接性と高い靱性を有する建築構造用圧延鋼材(SN材)を使用可能とするため、原子力発電設備規格材料規格の策定に必要な高温条件(~400℃)および、シビアアクシデント時の構造健全性評価を見越した更なる高温条件(~650℃)に

て、引張特性を評価した。降伏点や引張強さの温度依存性は、鋼種や板厚の違いによらずほぼ同じであり、鋼材のチャージ\*1による違いは小さいことを確認した(図1)。この結果から、SN材の高温強度を室温強度で規格化した値の温度依存性を示すトレンドカーブの近似式を導出し、材料規格への反映を可能とした[Q14006]。

## 2 配管減肉予測ソフトウェアFALSETの検証

軽水炉プラントの配管の肉厚測定結果との比較による予測精度の検証を行っている配管減肉予測ソフトウェアFALSETについて、新たにPWRプラント1基を追加し、PWRプラント4基分の復水・給水系配管(水単相流系統)の肉厚測定データ(合計980点)と

の比較を行った。その結果、残余肉厚の予測精度は、実測値の±10%以内であった(図2)。また、FALSETによる予測を用いることで、減肉率が低い低温系統配管を除くほとんどの配管部位に対して、保守的な管理が可能となることを確認した。

## 3 ステンレス鋼の熱時効評価

一次冷却水配管等に用いられるステンレス鋼は、高経年化に伴う熱時効\*2によって脆化し、破壊靱性が低下することがある。熱時効による脆化を定量化するため、300℃~450℃で最大15000時間の熱処理を施し、破壊靱性値と硬さの測定を行った。時間が増

加するにつれて、破壊靱性値は減少し、硬さは増加する傾向が認められた(図3)。硬さと破壊靱性値の相関を明らかにすることで、ステンレス鋼の硬さを指標として破壊靱性値を予測できる可能性を示した。

## 4 分散剤添加による軽水炉一次系線源低減技術の開発

軽水炉一次系の線源低減技術の開発に向け、線源となる腐食生成物の除去効果が期待される分散剤(PAA:ポリアクリル酸)の添加について、PWR一次系条件におけるPAAの放射線分解挙動を評価した。γ線照射試験によって生成される化合物は主に二酸化炭

素と酢酸イオンであり、軽水炉材料の腐食を促進する因子は確認されなかった。また、PAA水溶液の放射線分解シミュレーションによる結果は試験結果と一致し、生成物の大半はPAAラジカル\*3の主鎖切断によって生じることを明らかにした(図4)[Q14014]。

\*1 溶解炉から取り出される取鍋毎の溶鋼。

\*2 材料がある温度に晒されることで、材料特性が時間経過とともに変化する現象。

\*3 鎖状の多原子分子構造の中に不対電子(原子間の結合が解離して電子軌道中の電子が1つになった状態)を持ったポリアクリル酸。



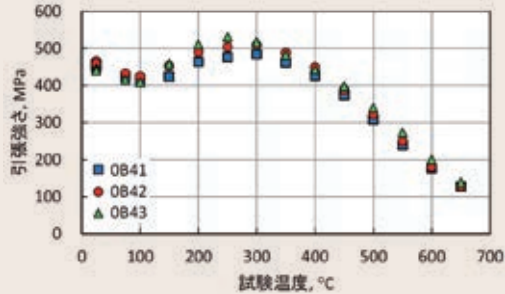


図1 SN材の引張強さに及ぼす試験温度の影響 (SN400B)

鉄鋼材料の高温引張試験方法に関するJIS規格に適合するひずみ速度条件 (降伏前:  $0.00007\text{s}^{-1}$ 、降伏後  $0.0014\text{s}^{-1}$ ) で、厚さ40mmのSN400Bについて、チャージの異なる3種の鋼材を用いた引張試験を実施し、いずれも同等の引張特性を有することを示した。

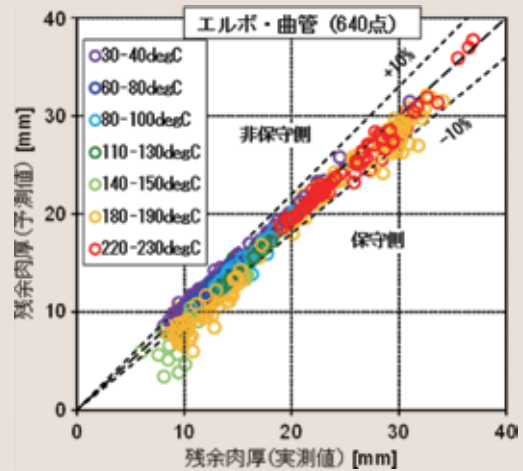


図2 PWR 4プラントの曲管におけるFALSETによる残余肉厚の予測精度

PWR 4プラントの復水・給水系統の980点のデータの中で、エルボ・曲管640点に対して残余肉厚の予測精度を検証し、予測した配管部位の99%は、実測値の非保守側+10%よりも小さな予測値となることを示した。

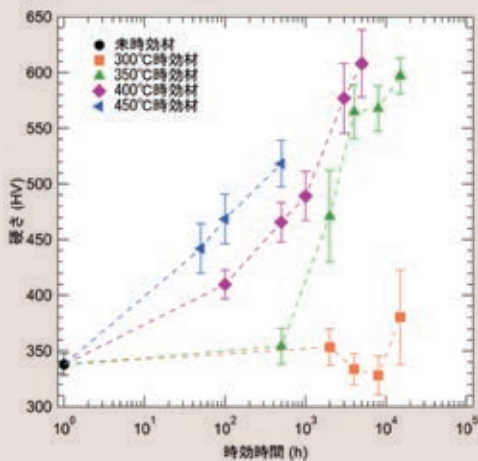


図3 ステンレス鋼のフェライト相の硬さと時効条件の関係

時効温度が高いほどフェライト相の硬化が早く進行する傾向を示した。300°C時効材については、8000時間までは未時効材とほぼ同等の硬さであったが、15000時間で硬化の開始が認められた。

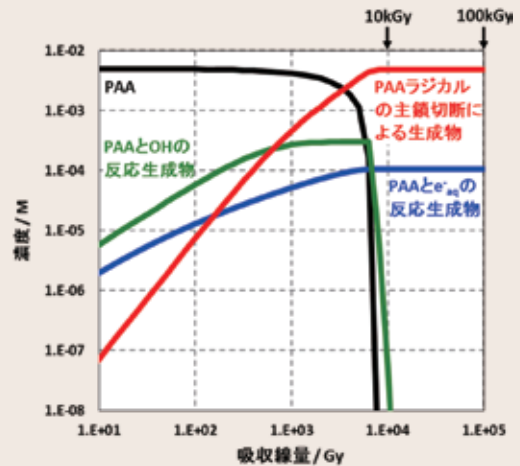


図4 PAA水溶液の放射線分解シミュレーションの結果(PAA 500ppm、300°C、中性pH)

吸収線量が数kGyまではPAAラジカルの主鎖切断が支配的であり、5kGyを超えるとPAAが枯渇する。それ以上の吸収線量では、分子量の緩やかな変化が確認されていることから、酸化数の増加と減少が同時に起こる不均化反応が支配的な段階に移行するものと考えられる。

### 重点課題 - 設備運用・保全技術の高度化

# 軽水炉のケーブル健全性評価

#### 背景・目的

軽水炉を安全・安定に運転するためには、熱と放射線に曝されることで経年劣化した材料の構造健全性を適切に評価する手法が不可欠である。計装制御電線(安全系ケーブル)の経年劣化については、従来の評価法\*1を適用した場合、軽水炉で使用されたケーブルの実態と乖離することが指摘されている<sup>[1]</sup>。

本課題では、熱と放射線の影響を受けた軽水炉のケーブル材料等の分析・評価を行うことで、従来の経年劣化評価法の精緻化を図る。さらに、種々の環境条件を考慮したケーブルの寿命評価手法を確立することで、原子力プラントの安全・安定運転に寄与する。

#### 主な成果

### 1 実機ケーブルの経年劣化傾向把握と劣化メカニズムの推定

軽水炉より撤去された実機ケーブルの劣化状態<sup>[1,2]</sup>を統計的に解析した結果、実機ケーブルの劣化状態は、従来の経年劣化評価法で予測される劣化状態よりも緩やかに進行していることが明らかとなった(図1)<sup>[2]</sup>。また、実機ケーブルに対して追加的に加速劣化試験\*2を実施し、新品ケーブルの加速劣化試験における劣化挙動と比較した。その結果、実機ケーブルの加速劣化試験におけ

る劣化過程では、酸化劣化が抑制され、運転中の低酸素環境で進行したと想定される架橋反応\*3が顕在化することにより、劣化が緩やかに進行することが明らかになった(図2)[H14002]。これらの結果から、従来の経年劣化評価法を精緻化し、ケーブルの寿命評価法を確立するためには、実機ケーブルの使用履歴(低酸素環境等)を考慮できる評価手法とする必要があることが明らかとなった。

### 2 加速劣化試験の加速倍率に関する検討

ケーブル材の劣化試験は、温度や照射量ならびに照射線量率による加速試験として実施されるため、試験条件に応じた加速倍率を高精度に評価することが重要である。これまで、数Gy/hの低線量率で照射試験が実施されてきた難燃エチレンプロピレンゴム(EPR)<sup>[1]</sup>について、1000Gy/hまでの高線量率照射による劣化試験を行った。その結

果、劣化時間の補正計算に用いる解析パラメータを最適化することで、従来の評価より高線量率の照射試験結果に対して、劣化挙動を統一的に説明できることを明らかにした(図3)。このことにより、より広範囲の環境条件下で得られた加速劣化試験の結果を経年劣化評価に活用できるようになった。

\*1 ACA(Assessment of Cable Aging for Nuclear Power Plant) 研究をまとめた原子力安全基盤機構のJNES-SS-0903, 2009による経年劣化評価法。

\*2 実機ケーブルについては、放射線劣化相当量を考慮して、熱劣化試験を実施した。

\*3 高分子同士が化学反応により結合してつながること。ゴム材料では、一般的に弾力性を失い、固く脆くなる。

[1] Y. Eguchi, 2012 Equipment Qualification Technical Meeting (2012).

[2] N. Fuse et al., IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., 21(5), 2012-2019 (2014).

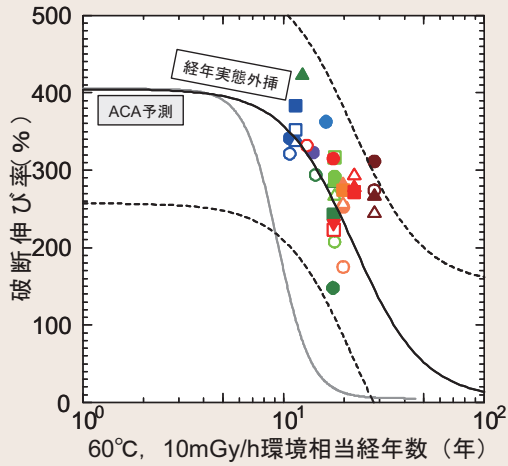


図1 平均的運転環境下での実機難燃EPR絶縁体の経年トレンド実態

プロット35点はBWR格納容器内より撤去された各実機絶縁体<sup>[1,2]</sup>に対する評価結果。黒曲線:回帰曲線。上下の黒破線:95.4%予測区間。灰色曲線(ACA予測)は国プロの研究による予測\*<sup>1</sup>。統計解析の結果、予測された劣化傾向に比べ、実態は2倍程度緩慢な速度で材料劣化が進行することがわかった。

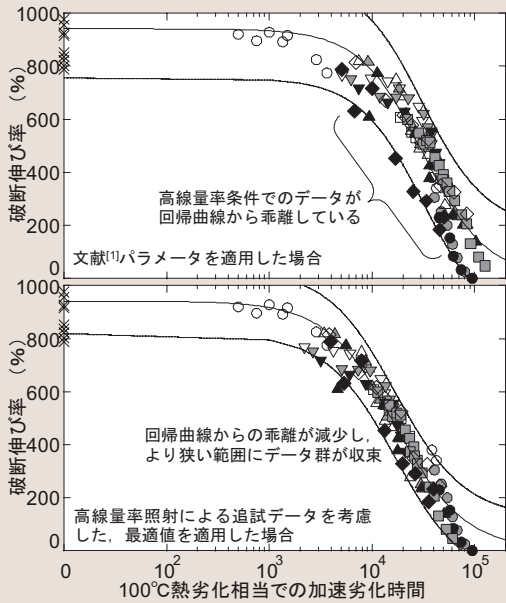


図3 難燃EPRの劣化挙動に関する、加速倍率の検討(データ乖離の解消)

上図:従来法による解析結果。下図:高線量率追試データを考慮した解析結果。×:未劣化。○、●、△、▲、▽、▼:低線量率(0~18Gy/h)での試験結果\*<sup>1</sup>。◇、◆:高線量率(650Gy/h、1000Gy/h)での追試結果(本研究で実施)。新しい回帰曲線により、高線量率データに見られた乖離を減少させることができた。

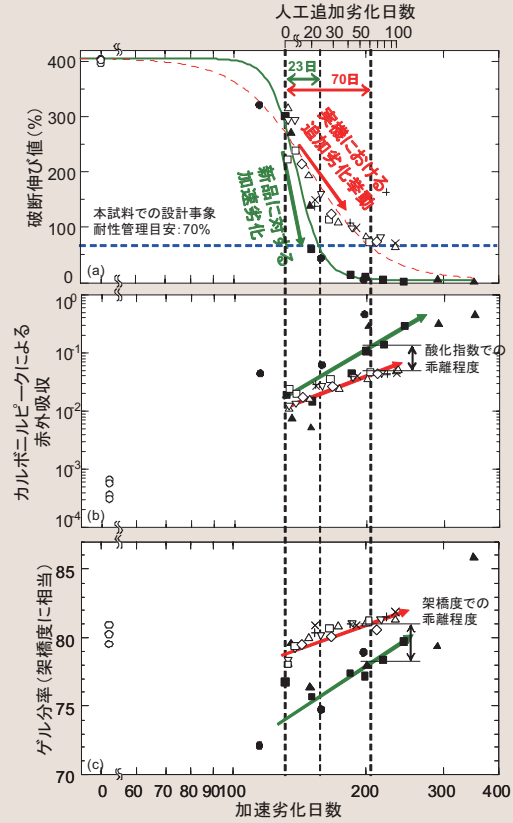


図2 新品試験体と実機ケーブルの加速劣化試験における劣化特性

ACA研究における110℃熱環境での加速劣化試験(黒色プロット)\*<sup>1</sup>、ならびに実機追加劣化(白抜きプロット)挙動を示す。○:未使用材料。各プロットは、時間依存データの重ね合わせ手法により、110℃相当挙動としている。(a)の曲線はロジスティック関数による回帰曲線であり、実機試験の劣化速度(耐性管理値に至るまでの期間)は予測の3倍程度緩慢であることがわかった。(b)赤外吸収強度(酸化指数に相当)、(c)ゲル分率(架橋度に相当)測定結果には、人工追加劣化70日における酸化指数および架橋度の乖離を示す。実機材料は、新品試験体に対する加速劣化結果に比べ酸化劣化が抑制されるとともに、分子鎖架橋が進んでいることが明らかになった。

## 重点課題 - 設備運用・保全技術の高度化

## 軽水炉機器・配管に対する非破壊検査技術の開発

## 背景・目的

原子力発電施設をはじめとする電力関連設備を適切に維持・管理し、安全性を確保するために、機器を構成する金属材料の欠陥の有無を非破壊で検査する技術が重要である。本課題では、軽水炉の安全に関連する重要

な機器について、最適な非破壊検査手法を開発するとともに、その検査手法の規格化やPD認証制度<sup>\*1</sup>化などの取組みを通じ、非破壊検査技術の信頼性を向上することで軽水炉の安定運転を支援する。

## 主な成果

## 1 異種金属溶接継手部のき裂深さ測定技術の開発

原子炉容器等の異種金属溶接継手(DMW:低合金鋼とステンレス鋼配管をニッケル基合金で溶接した継手)は、継手部に発生した応力腐食割れのき裂先端を捉える事が困難であることから、超音波探傷試験(UT)が難しい部位とされている。DMW部の探傷技術として、フェーズドアレイUT技

術<sup>\*2</sup>を活用し、き裂面からの反射波を画像化することによりき裂の形状を推定する技術を開発した(図1)。画像化されたき裂形状によって、金属組織などのノイズからき裂先端の信号を容易に判別でき、き裂の深さや長さ方向の広がりを高精度に推定することが可能となった。

## 2 仮想的超音波探傷システムの試作

超音波探傷による評価結果の信頼性は、特に手動で探傷する場合、探傷者の技量などによる影響を受けることがある。このため、種々の欠陥を模擬した多数の試験体を用いたPD認証試験や探傷者の訓練を行う必要がある。そのため、効率的な試験や訓練を可能とするために、超音波探傷を模擬した作業に応じて、任意の超音波探傷波形を表示

できる仮想的超音波探傷システムを試作した(図2)。本システムでは、保存された多数の超音波波形を仮想超音波波形として表示するため、模擬配管試験体を用いた仮想的超音波探傷が可能となる。この仮想的超音波探傷システムをPD認証試験や探傷者の訓練に活用することで、効果的な試験や訓練の実施が可能となる[Q14007]。

## 3 鋭敏化ステンレス鋼の応力腐食割れ発生評価手法の開発

検査間隔の設定根拠として活用できるSCC発生評価手法の構築に向け、微小き裂の合体・成長機構を取り入れた従来の数値計算手法<sup>\*3</sup>に対して、き裂深さ分布を評価できる数値計算手法を開発した。これまで数値計算による鋭敏化ステンレス鋼のき裂深さの分布の再現は確認されていないため、本手法により、

き裂深さの分布を算出した。き裂先端の応力拡大係数がしきい値以上になると一定速度でき裂進展すると仮定して算出したき裂深さの分布は、正規分布によく適合し、鋭敏化ステンレス鋼の試験結果<sup>\*4</sup>を再現できることを確認した(図3)[Q14013]。

\*1 軽水炉の非破壊検査における超音波探傷試験システムの性能実証による技術者の認証制度。

\*2 多数の超音波振動子を電子的に制御し、超音波の伝搬方向などを制御する技術。

\*3 K. Tohgo, H. Suzuki, Y. Shimamura, G. Nakayama, T. Hirano, Corrosion Science, 51, p.2208-2217 (2009).

\*4 明石正恒, 川本輝明, 防食技術, 32(1), p.9 (1983).



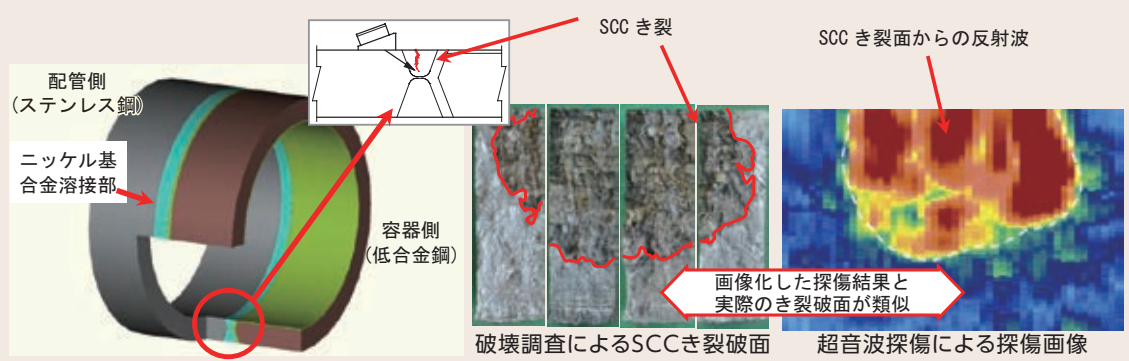


図1 DMW部のSCCき裂形状の推定

フェーズドアレイ超音波探傷技術を活用し、き裂面からの反射波を画像化することにより、き裂以外のノイズからき裂先端の信号を容易に識別することが可能となった。その結果、DMW部に発生したSCCき裂の深さや長さの測定信頼性を向上することができた。



図2 仮想的超音波探傷試験システムの試作機

プラスチック製の模擬配管に探触子(超音波センサー)を模擬した模擬探触子を接触させ、その状態に応じて超音波探傷波形を表示させ、実際の配管の超音波探傷作業を再現できるシステムを試作した。探傷者は、実際の探傷作業と同様に、表示された波形をもとに欠陥の有無やその長さなどを測定する訓練や、探傷技量の評価を行うことができる。表示させるデータは欠陥の数や位置などを任意に編集可能で、多数のバリエーションのある探傷訓練や、通常ではあまり経験できない損傷事例の訓練を行うこともできる。

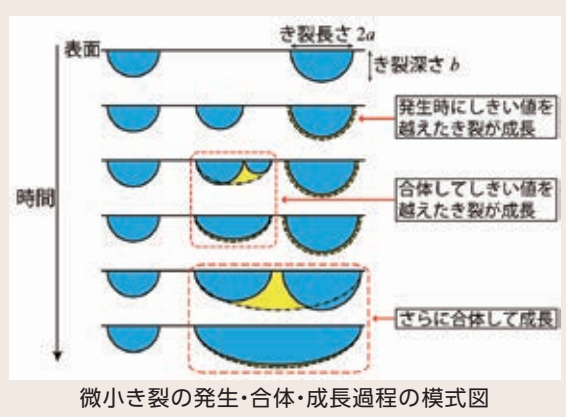
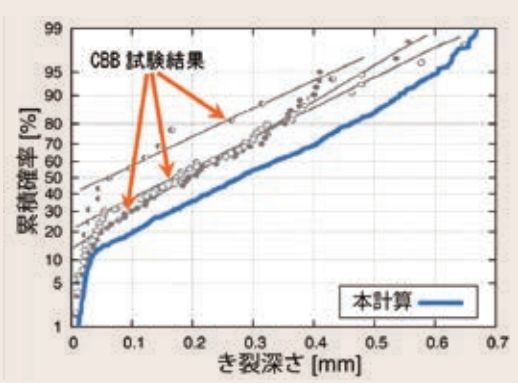


図3 微小き裂の合体・成長モデルによるSCC発生シミュレーション

シミュレーションには、ランダムに発生したアスペクト比 $b/a$ 一定の微小き裂が発生・合体により臨界サイズを越えると、き裂進展速度一定で成長すると仮定した微小き裂の合体・成長機構を取り入れた。深さが $0.05\text{mm}$ 以上のき裂の分布が正規分布に適合するという鋭敏化ステンレス鋼の試験結果\*4を再現できた。



試験時間100時間後の鋭敏化ステンレス鋼のき裂深さ分布の正規確率プロット

## 重点(プロジェクト)課題 - 設備運用・保全技術の高度化

## 高クロム鋼製高温機器の設備診断技術の開発

## 背景・目的

高効率かつ大規模電源である超々臨界圧(USC)火力発電所において、高クロム鋼(9Cr鋼、12Cr鋼)製大径管の各種溶接部でクリープ\*1損傷に起因する不具合が発生した事例がある。大径管の不具合はUSC火力発電所の安定運用に支障をきたすことから、これを未然に防止するために、高クロム

鋼製高温機器に対する信頼性の高い設備診断技術の確立が求められている。

本課題では、高クロム鋼製大径管の周溶接部や管台溶接部のクリープ損傷に対する設備診断技術を開発し、現場の保守・管理へ反映することで、USC火力発電所の安定運用を目指す。

## 主な成果

## 1 溶接履歴を考慮した9Cr鋼継手のクリープ寿命評価法の開発

溶接開先\*2の角度、再溶接の位置などが異なる9Cr鋼溶接継手試験片を用いて、650℃でクリープ試験を実施した。同一応力条件におけるクリープ寿命を評価した結果、標準的な継手と比べて最大で約1/5まで寿命が低下する継手が存在することが明らか

となった。また、開先角度および再溶接の位置をパラメータとするクリープ寿命評価法を考案し、本クリープ試験条件における評価に適用することで、溶接履歴に依存する9Cr鋼継手のクリープ寿命を、一定の精度で評価できることを確認した(図1)。

## 2 9Cr鋼周溶接継手に対する非破壊検査技術の適用

周継手を有する9Cr鋼高温再熱蒸気管を試験体として、温度650℃、周方向と軸方向の応力比が1:1の条件下において内圧曲げクリープ試験を約6500時間まで実施した。試験時間の約半分となる3500時間で実施した中途止め検査において、フェーズドアレ

イ超音波探傷法を用いた結果、管厚方向の内部にクリープ損傷と推定される欠陥が検出された(図2)。9Cr鋼周継手配管の場合、超音波非破壊検査法による管厚内部の欠陥検出が有効である可能性が示唆された。

## 3 新たなクリープ損傷指標“ボイドクラスタ”の考案

従来の代表的クリープ損傷指標であるボイド個数密度の場合、計測者によって寿命後期の観測値に差異が認められた。この差異は、連結・合体過程のボイドについて、ボイドと判断する基準が明確ではないことに起因することが判明した(図3) [R14009]。そこで、結晶粒レベルで近接するボイドをまとめて一つの単位とする“ボイドクラスタ”とし、クリープ損傷指標とすることを考案した。9Cr鋼溶接継手のクリープ損傷評価に

“ボイドクラスタ”を適用することで、寿命後期における計測者による評価の差異がほとんど見られないことを確認した(図4)。さらに、“ボイドクラスタ”をボイド識別の判断基準に採用した画像処理による計測手法を開発した。この手法を9Cr鋼溶接継手のクリープ損傷指標の評価に適用した結果、計測結果の再現性が高く、計測処理速度が向上することを確認した。

\*1 材料に一定の応力が持続して作用することにより、時間とともに変形が進行する現象。

\*2 溶接する母材間に設ける溝。

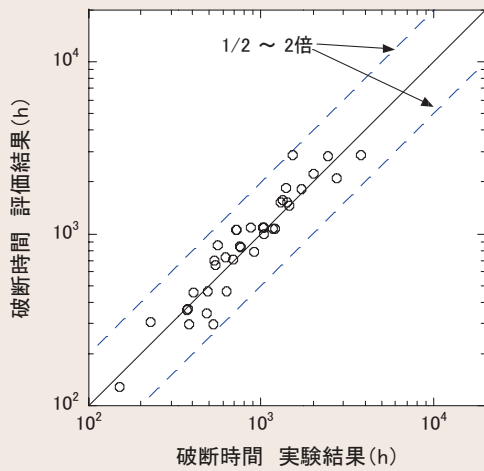


図1 9Cr鋼継手のクリープ寿命評価の結果  
開先角度や再溶接の位置を考慮することによって、溶接施工の条件に依存する9Cr鋼継手のクリープ寿命を一定の精度で評価することができた。

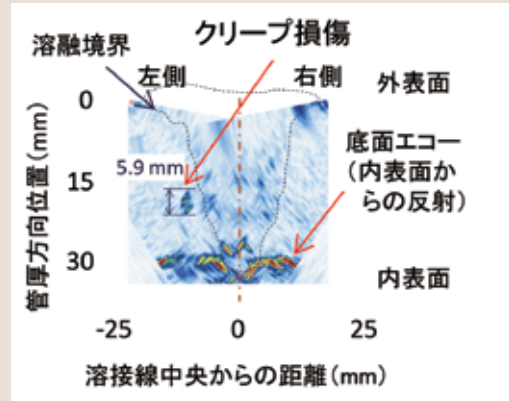


図2 9Cr鋼周継手試験体の探傷結果  
管厚方向内部に生じたクリープ損傷を検出することができた。

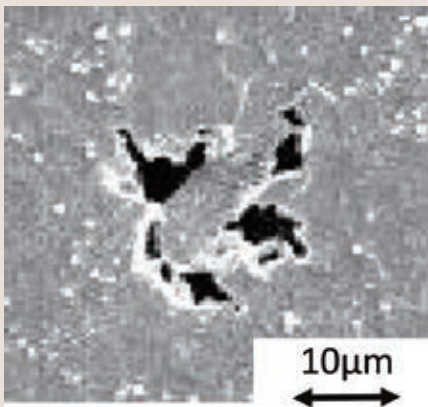


図3 連結・合体過程のポイド(9Cr鋼)  
寿命後期では、連結・合体過程のポイドが見られる。上記写真の場合、視野内のポイドの数は計測者によって1~8と異なった。このため、ポイド個数密度の値は計測者に依存した。

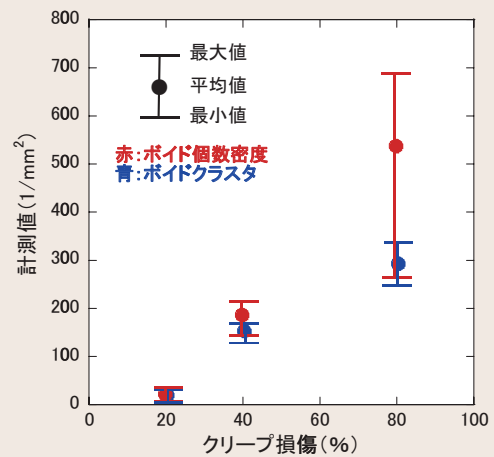


図4 クリープ損傷指標の提案  
ポイド個数密度と比べて、計測による差異が小さい、新たなクリープ損傷指標“ポイドクラスタ”を考案した。上記グラフにおける最大値、最小値、平均値は、9人の計測者による結果を集計した値である。



## 重点課題 - 設備運用・保全技術の高度化

## 火力発電の大気環境総合評価技術の開発

## 背景・目的

原子力発電の長期休止に伴い、火力発電への依存度や、再生可能エネルギーのうち安定供給が可能な地熱発電への関心が増している。一方、火力発電や地熱発電の新・増設およびリプレースの際の環境影響評価(アセスメント)では、国の方針等もあり、一層の迅速・低コスト化が求められる。また、火力発電には、微小粒子状物質PM<sub>2.5</sub>や光化学オキシダントに代表される二次大気汚染原因物

質の発生源としての懸念があり、今後、それらへの対応を求められる可能性がある。

本課題では、大気環境に係るアセスメントを簡易、迅速、低廉化する手法やツール(ソフトウェア)を開発するとともに、二次大気汚染物質の評価手法の開発を通して発生源の影響度等を明らかにし、合理的な排出対策の策定に寄与する。

## 主な成果

## 1 火力発電の大気環境アセスメント支援ツールの開発

火力発電の新・増設やリプレース時の大気環境アセスメントの実施を簡易・迅速化するため、「大気アセスメント支援ツール」の開発を進めてきた。石炭火力発電所に係る建設・リプレースにも対応するために、硫酸化物とばいじんに対応した予測機能(煙源諸元の設定、バックグラウンド濃度の取得等)を追加した。また、リプレース前後の着地濃

度や複数条件による感度解析結果を簡便に比較検討できる機能を追加した。これらの機能追加により、本ツールは経済産業省「発電所に係る環境影響評価の手引」(2007年改訂)の排ガス拡散予測にほぼ準拠するとともに、環境省のリプレース合理化ガイドライン(2013年改定)\*1に沿った予測評価が可能となった(図1)[V14017]。

## 2 地熱発電の大気環境アセスメント用拡散予測数値モデルの開発\*2

地熱発電に係る大気環境アセスメントにおいて従来行われてきた風洞実験を代替可能な大気拡散の数値モデル開発を進めている。簡易型・詳細型\*3の2種類のモデル開発、およびこれらモデルの検証用データ取得のための風洞実験を実施した。簡易型モデルについては、建屋・地形影響を組み込んだモ

デルのテスト計算を行うとともに白煙予測機能を統合した。詳細型モデルについては、単純地形を対象とした風洞実験結果を良好に再現することを確認した(図2)。また、表面粗度や丘陵地形と建屋の複合影響等を考慮した数値モデルの検証に向け風洞実験を実施した。

3 PM<sub>2.5</sub>に対する国内火力発電所の影響度評価手法の開発

公開されている最新(2005年度)の大気汚染物質排出量データを使用して広域の濃度シミュレーション計算を実施し、炭素成分を除く主要なPM<sub>2.5</sub>成分の濃度を良好に再現することを確認した。また、我が国の

PM<sub>2.5</sub>に対する国内外発生源の影響度をタグ付きトレーサ法\*4によって評価した結果、PM<sub>2.5</sub>の47%が国外からの影響であり、国内の火力発電所の影響度は3%であることを明らかにした(図3)[V14005]。

\*1 設備の更新により環境負荷が改善される場合にアセスメントの期間短縮など手続きの合理化を定めたもの。

\*2 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)との共同研究として実施した。

\*3 比較的単純な地形に適用しパソコンで動作可能な簡易型、複雑な地形と建屋を考慮した高精度な詳細型。

\*4 排出された原因物質にタグ(発生源情報)を付けて追跡し発生源の影響度を評価する方法。



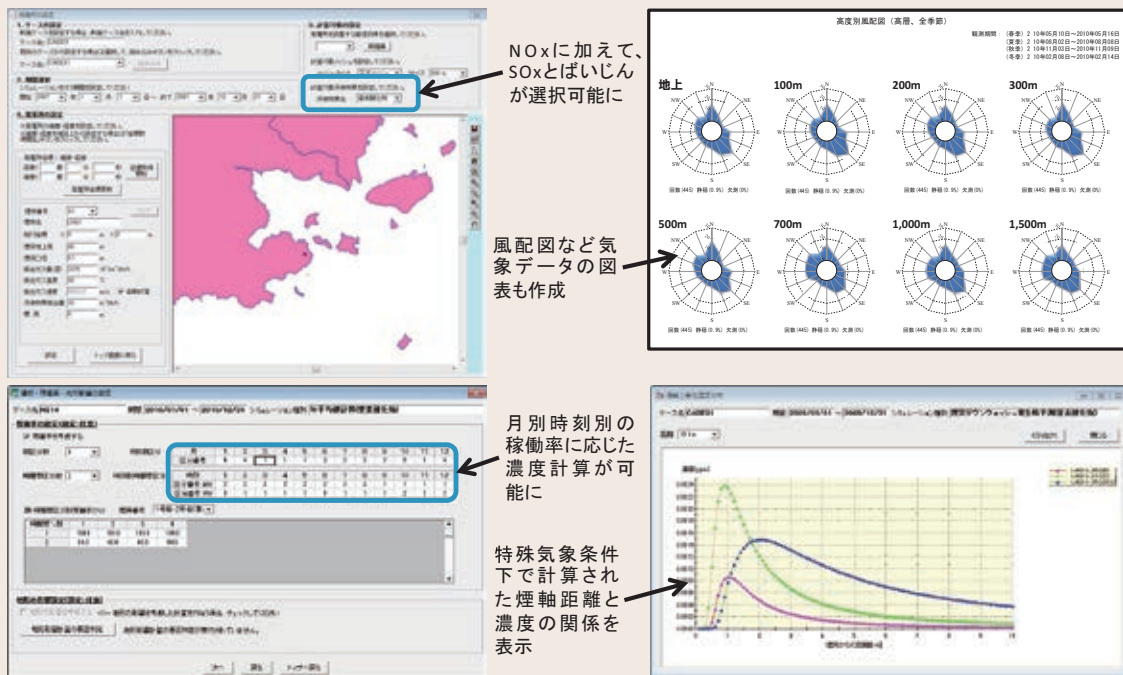
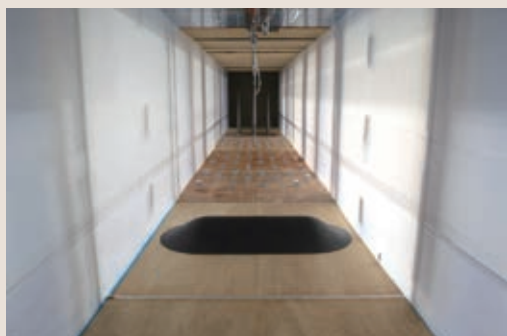
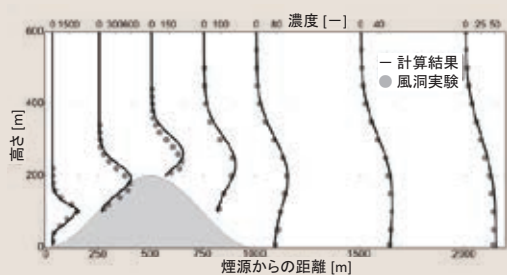


図1 大気環境アセスメント支援ツールのおもな改良点

既開発の大気環境アセスメント支援ツールに以下に示す新たな機能を追加した。(1)NO<sub>x</sub>に加えSO<sub>x</sub>とばいじんの選択(左上図)、(2)発電所稼働時の負荷率を考慮した拡散予測(左下図)、(3)現地で観測された気象データ(地上、上層、高層)の整理・解析と帳票・グラフの作成(右上図)、(4)リプレース前後の着地濃度や複数の気象条件を対象とした煙軸上着地濃度分布の比較(右下図)。



3次元丘陵地形を対象とした風洞実験の様子



各風下距離における基準化濃度分布の比較

図2 風洞実験による数値モデル検証用データの取得(上)および風洞実験を対象とした詳細型モデルによる検証結果(下)

数値モデルの検証用データとして、模型表面粗度および地形と建屋の複合影響を考慮した風洞実験を実施した。

また、風洞実験を対象に詳細型モデルの精度検証を行い、再現性が高いことを確認した。

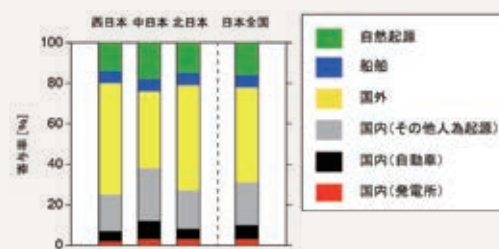
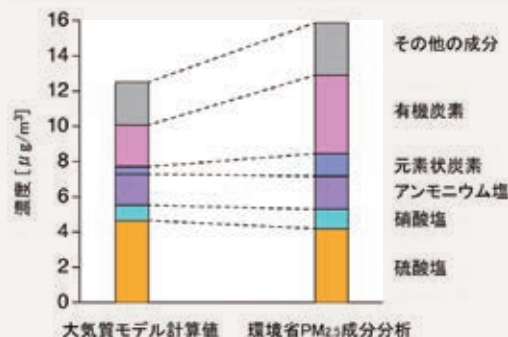


図3 全国6ヶ所で観測されたPM<sub>2.5</sub>に対する計算結果(上)と、計算された各地域の年平均PM<sub>2.5</sub>発生源影響度(下)

計算結果は炭素成分の濃度が低いものの、発電所が関係する硫酸塩と硝酸塩の濃度を的確に予測している(上)。発電所の影響度は他の発生源に比べて小さいことがわかる(下)。

※ 西日本(九州、中国、四国)、中日本(近畿～関東)、北日本(東北、北海道)

## 重点課題 - 設備運用・保全技術の高度化

## 石炭灰の利用拡大支援技術の開発

## 背景・目的

東日本大震災以降、石炭火力発電所はベース電源として高稼働の状態が続いており、年間の石炭灰発生量は900万トンに達しようとしている。その内、約65%は、セメント原料としてセメント会社に引取られ利用されているが、その引取量はほぼ上限に達しており、セメント原料以外の活用策が求められている。加えて、埋立処分場を保有しない、ま

たは残容量が数年以下の発電所では、灰の有効利用の拡大が急務となっている。

本課題では、コンクリート混和材や土木分野(人工地盤材料、コンクリート二次製品等)での利用促進を目的に、これらの利用を推進する上で隘路となっている、品質規格の整備と、品質・量の安定確保に向けた技術開発と提案を行う。

## 主な成果

1 SiO<sub>2</sub>量の迅速定量法の開発とJISへの反映

石炭灰のコンクリート混和材利用に際しては、石炭灰中のSiO<sub>2</sub>がセメント中の水酸化カルシウムと反応し強度を発現するため、安定した強度確保に向けた品質管理においてはJIS A6201に準拠したSiO<sub>2</sub>分析が必要となる。従来法では測定に3日を要すること、試験過程で有害ガスが発生するなどの問題があった。そこで、石炭灰の性状に合わせた

粉碎を行い(図1)、加圧成形した後、蛍光X線分析装置を用いて定量する手順を策定した[N14021]。本法では半日で測定結果を得ることが可能となり、ガス発生もないことから、効率的で安全な品質管理に寄与できる。本成果は2015年3月のJIS A6201改正に反映された。

## 2 セメントを使用しないコンクリートの開発～フライアッシュ硬化体の開発～

セメントは製造時の環境負荷が大きいことから、セメントを使用せずにコンクリートを製造する技術が注目されている。当所においては、石炭灰とアルカリ水溶液を原料とし、蒸気養生によって製造する硬化体(フライアッシュ硬化体)の開発に取り組んでいる。フライアッシュ硬化体の持つ高い耐硫酸性を

活かしてヒューム管\*への適用を検討した。課題となっていた圧縮強度(50N/mm<sup>2</sup>以上が必要)に関して、無機粉体の少量混和と練混ぜ手法の工夫により、60N/mm<sup>2</sup>以上の値が得られることを確認し、本用途への適用の目途を得た(図2)。

## 3 ホウ素含有量・フッ素溶出量の迅速評価法の開発

石炭灰利用の際には環境安全性への配慮が不可欠であり、微量物質の含有量と溶出性評価が鍵となる。これまでに、環境安全性に配慮すべき微量物質のうち、クロム、セレン、ヒ素について迅速測定技術を開発してきたが、同様に重要なホウ素とフッ素についても、迅速測定技術が必要とされている。そこで、熱中性子がホウ素に捕獲される性質を利用して、石炭灰中のホウ素量を5分程度(従来法の1/20)で簡易・迅速に定量できる中

性子ホウ素計を開発した[V14003]。また、フッ素に関して、湿式ボールミルを用いることで試料からの溶出操作に要する時間を従来の1/12に短縮できる新たな試験法を開発した[V14004]。これらの技術を組合せることで、微量物質等が溶出しにくい環境安全性の高い石炭灰を短時間で選別することができ、石炭灰を主原料とした人工地盤材料等の製造時の品質管理に有効である(図3)。

\* 灌漑用水や下水道に用いられる鉄筋コンクリート製の導水管。高い強度と耐酸性が求められる。

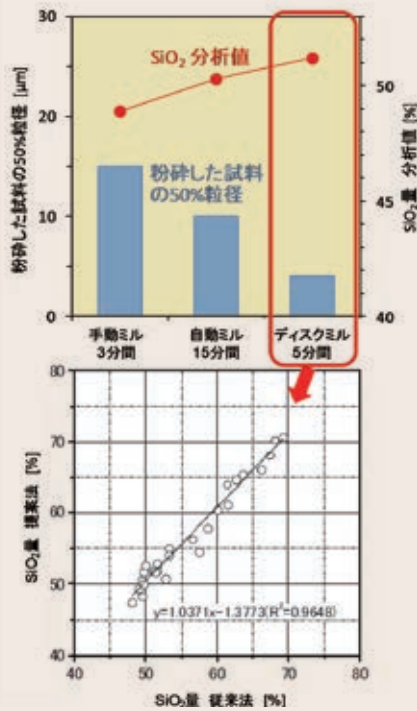


図1 粉碎方法がSiO<sub>2</sub>分析値に与える影響 (上図)と従来法との相関(下図)

蛍光X線分析装置で石炭灰中のSiO<sub>2</sub>量を精度良く測定するためには、試料をディスクミルで十分に粉碎した後に加圧成形することが有効である。

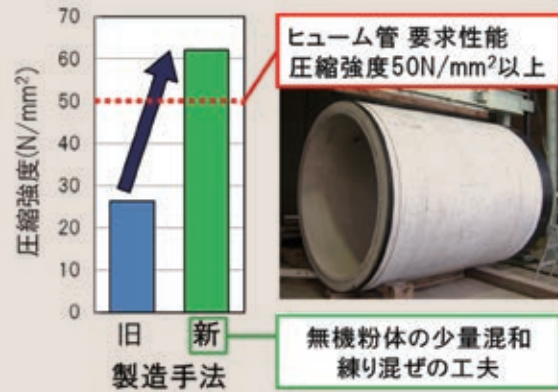


図2 フライアッシュ硬化体の高強度化

2013年度までの硬化体製造手法では、最大でも27N/mm<sup>2</sup>程度の圧縮強度であった(左カラム)。無機粉体の少量混和、練混ぜ手法の工夫、及び水粉体比<sup>\*</sup>の低減を進めることで、圧縮強度60N/mm<sup>2</sup>、曲げ強度7N/mm<sup>2</sup>以上の高強度なフライアッシュ硬化体が製造可能であることを示した。

<sup>\*</sup> 水粉体比:(練混ぜ水質量)/(粉体質量(フライアッシュ+無機粉体))の百分率(%)

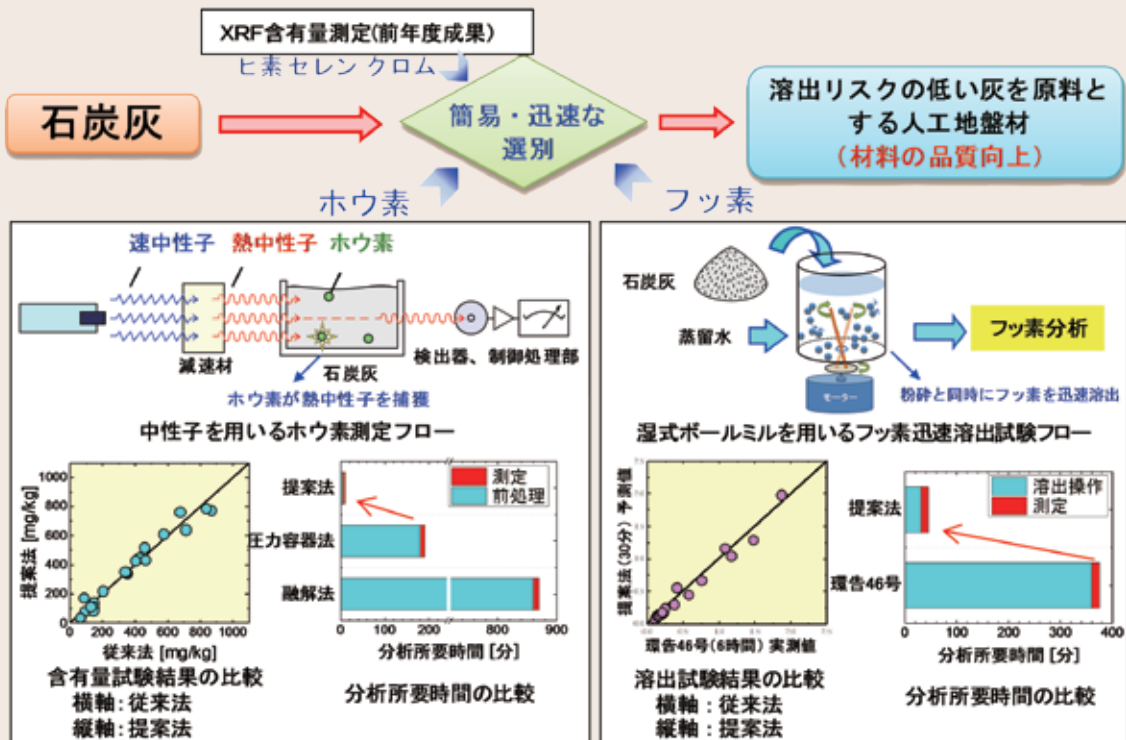


図3 熱中性子を用いた石炭灰中ホウ素含有量、湿式ボールミルを用いたフッ素溶出量の簡易迅速測定技術  
熱中性子または湿式ボールミルを用いることで、ホウ素含有量とフッ素溶出量を、短時間かつ従来法と同程度の精度で分析可能であることを示した。



## 重点課題 - 設備運用・保全技術の高度化

## 生物多様性分野の環境アセスメント技術の開発

## 背景・目的

2011年に改正された環境影響評価法では、計画段階環境配慮書での生物多様性評価や環境保全措置等の結果公表が義務づけられ、風力発電が新たな対象事業として追加された。また、生物多様性オフセット<sup>\*1</sup>や海域生態系の影響評価の必要性に関して国等で

議論が始まっており、新たな規制・制度導入に対応する技術開発の必要性が高まっている。

本課題では、発電所の円滑な建設、更新および運用に寄与するため、生物多様性評価と保全に有効な技術を開発する。

## 主な成果

## 1 鳥類飛翔の3次元座標化システムの開発

風力発電所建設の際の環境アセスメントでは、風車への鳥類衝突数を推定するため、風車高度の飛翔頻度を明らかにする必要があるが、従来の目視観測では多大な労力を要するうえに誤差が大きいことが課題となっている。鳥類飛翔の高度データを効率的に取得するため、カメラ2台により同時録画した鳥類飛翔軌跡を立体的に把握する3次元

座標化システムを開発した。本システムによる長時間の飛翔観測と3次元座標化の結果から、風車回転面に相当する高度の飛翔頻度を的確に把握できることを確認した(図1)。今後、可搬型システムの開発と様々な環境での実証試験を行い、汎用性の高い手法開発から環境アセスメントに向けた適用を図る。

2 植物重要種<sup>\*2</sup>移植の必要性判定に用いる個体数変化予測手法の開発

環境アセスメントで植物重要種の移植による代償措置の必要性を判定する際には、変更区域のレイアウト案の変更を含む様々な保全措置による影響低減の程度を示すことが重要となる。そこで、個体分布状況により推定した生存率・繁殖率などのパラメータ

と複数の変更区域のレイアウト案から、将来の個体数に対する影響低減の度合いを効率的かつ定量的に予測する手法を開発した(図2)。今後、現地データによる検証と改良を進め、環境保全措置にかかる不確実性の回避やコスト低減への活用を図る。

## 3 藻場の繁茂期海藻生育量推定技術の開発

海域生態系の中で、藻場生態系は高い生物生産と多様な生物の生息場として重要な役割を担っている。環境アセスメント調査で必要となる藻場の繁茂期海藻生育量の把握には、多大な時間とコストを要する潜水調査等が必要となる。そこで、公共機関の公開データ(日射・海水温・透明度)を活用した簡便な生育量推定数値モデルを構築している<sup>[1]</sup>。

2014年度は、全国の内湾砂地に形成されるアマモ場を対象にモデルを構築し、実測値との比較からその有効性を確認した(図3)。本モデルの活用により、各地のアマモ場における生育量を面的に算出することが可能となり、アセスメント調査の迅速化・低コスト化に貢献する。

\*1 開発事業において現地における生態系保全が十分に確保できない場合、別の場所において生態系を創出・保全することにより、事業による生態系への負の影響を相殺すること。

\*2 絶滅が危惧される、環境影響を受けやすいなどの観点から、国や自治体により法令等で指定された種。

[1] 本多正樹, 藻類, 62, 143-151 (2014).



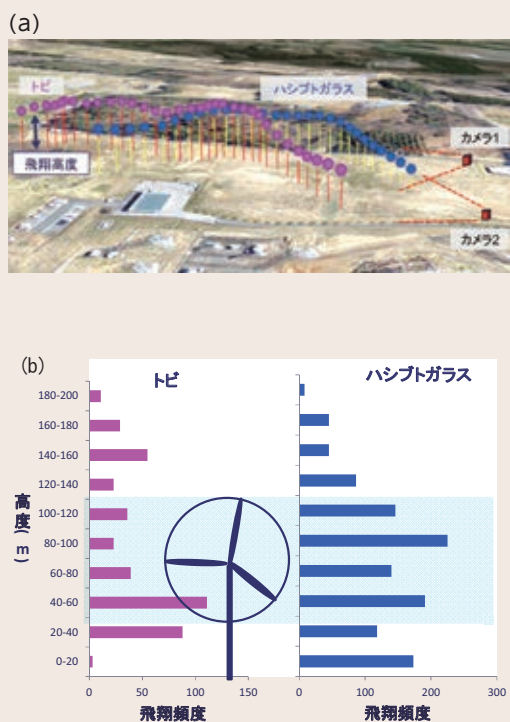


図1 鳥類飛翔3次元座標化システムによる飛翔高度の定量化

カメラ2台によって同時録画された映像から立体的に示された飛翔軌跡の例(各色の●は鳥類個体の飛翔軌跡を示す)(a)。50時間の録画により定量化した鳥類2種の飛翔高度の頻度分布(b)。両種とも風車回転面に相当する高度を40%以上利用していた。本技術を活用することで、鳥類衝突推定に必要な飛翔データを高い精度で効率よく取得することが可能である。

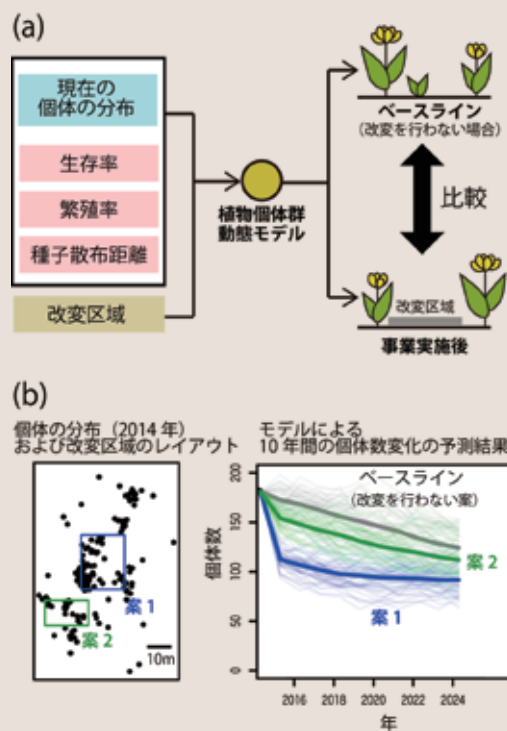


図2 植物個体群動態モデルによる個体数変化の予測

生存率・繁殖率・種子散布距離等のパラメータと、現在の個体の分布および改変区域のレイアウトから、植物重要種の個体数の変化を予測する(a)。植物重要種の一つであるキンランで改変区域のレイアウト2案をベースライン(改変を行わない場合)と比較した結果、案1に対して案2では影響低減が図られていることが示された(b)。

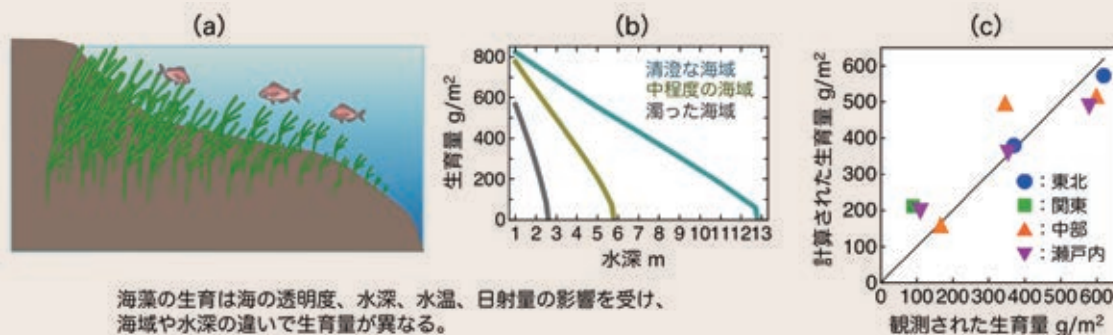


図3 生育量推定数値モデル

各海域の日射量、海水温、透明度の環境データから水深毎に繁茂期の海藻生育量を算出する(a, b)。国内で詳細な生態調査が実施されているアマモ場(東北、関東、中部、瀬戸内各地方)について、調査で得られた繁茂期生育量・分布水深と計算結果を比較し、いずれも再現できることを確認した(c)。

## 重点課題 - 設備運用・保全技術の高度化

## ダム流域土砂管理のための統合システム開発

## 背景・目的

ダムの通砂や排砂を行う際には、ダム下流における河床状態や魚類への影響が懸念される。その影響を評価し、合理的なダム土砂運用を行うには、貯水池等に堆積する土砂挙動の予測が不可欠である。現状では、河床・側岸の侵食量を的確に把握できないことから、山地から供給され河道や貯水池に堆積する土砂の挙動を精度良く予測することは難

しい。

本課題では、高精度な洪水予測に基づいて土砂や水質の挙動を予測するシステムを構築するとともに、既開発の気象予測・解析システムや流動堆積モデルと組合せた統合システム（以下、統合システム）を開発し、実用的な土砂挙動予測手法を提供することで、水力発電の安定運用に寄与する。

## 主な成果

## 1 上流山地からの土砂生産量予測技術の開発

下層木がないスギ林ならびにヒノキ林の斜面を対象とした土壌流出観測の結果、スギ林ならびにヒノキ林ともに、雨量の増加とともに土壌流出量が増加することを明らかにした（図1上）。また、下層植生がないヒノキ林の土壌流出量は、スギ林に比べて1桁大きい。レーザー測量により取得したデータから

ダム上流域の森林の樹高、樹冠、下層植生の遮断率、地表面到達率を算出し、これらを基に土壌流出の指標となる雨滴エネルギーを広域試算した（図1下）。これにより、ダム上流からの平時の土砂生産ポテンシャルの評価が可能となった。

## 2 広域斜面を対象とした斜面崩壊危険度評価法の改良

斜面の地質要素ごとの浸透・力学特性は同一と仮定し、入力するパラメータを斜面の傾斜角、長さ、基盤深さ、および降雨パターンに限定することで、斜面崩壊危険度評価手法を簡素化した（図2）。また、浸透現象に影響を及ぼす可能性のある集水地形・林道・地表流の存在、河川・貯水池水位の変化を解析

モデルに組み込み、これらを表現できるように改良した[N14016]。この結果、斜面崩壊危険度の予測精度が向上し、広域斜面を対象としたハザードマップを作成できる見通しを得た。この土砂発生量推定手法を統合システムに組み込むことで異常豪雨による土砂増加の影響を評価することが可能となる。

## 3 リアルタイム流況観測システムによる濁度とウォッシュロード\*観測事例

通砂運用を計画しているダムの下流から河口付近まで連続的に設置した、リアルタイム流況観測システム（通信機能を持つ水質計および採水機）を用いて、前線性降雨による出水5事例、台風による出水7事例にわたり、リアルタイムで流況を観測した。ダム

放流に対する支川からの流入の影響を明らかにするため、本川と支川における濁度とウォッシュロードを分析し、支川の影響を分離した。本観測の継続による実河川での適用性検証により、出水時のダム下流の土砂動態の把握が可能となる。

## 4 洪水と土砂輸送を予測するための統合システムの開発

上流から河口までの洪水時の流況と土砂の挙動を同時に予測・解析する統合システム（図3）を開発した。本システムを、複数のダムによる連携通砂運用を検討している河川に適用し、既往最大洪水が襲来したときの通

砂運用の有無による河床の堆砂・洗掘をそれぞれ予測するとともに、貯水池と河川の水位に及ぼす影響を定量的に示した。統合システムは、ダム上下流の洪水氾濫リスクや河川環境影響の評価への活用も可能である。

\* 河床砂礫よりも細かい粒径（0.1～0.2mm以下）の土砂で構成されている流砂。

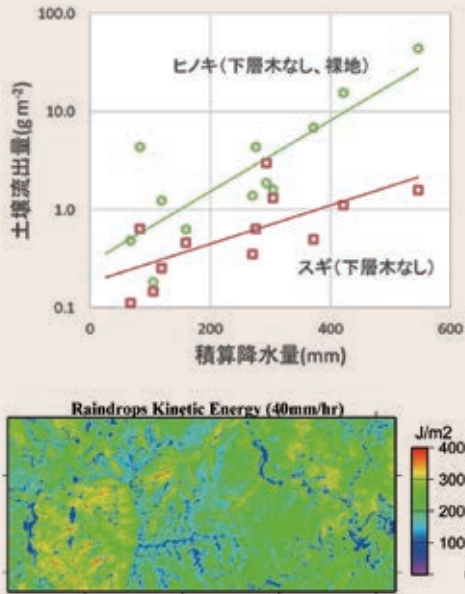


図1 上流山地土砂生産予測の技術開発例

上図は積算雨量に対する土壌流出量の関係を示しており、下図は土壌流出発生を引き金となる雨滴エネルギー分布を示している。森林タイプ毎に雨滴エネルギーと土砂流出量との関係を整理し、これらを組合せた土壌流出モデルを用いてダム上流域の土砂生産マップを構築する。

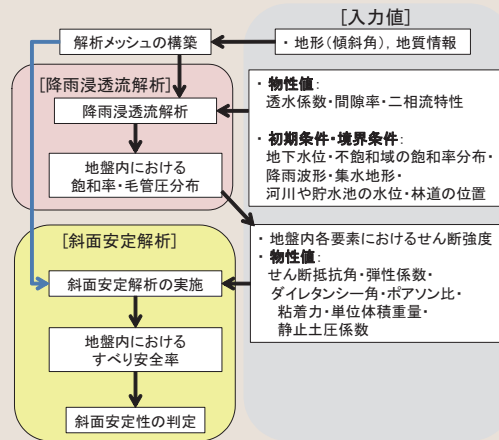


図2 斜面危険度評価法の計算フロー図

対象とする降雨波形を入力し、降雨浸透流解析によって斜面の飽和率と毛管圧分布を計算する。2014年度は、集水地形、河川や貯水池の水位ならびに林道からの雨水流入の効果を反映できる手法に改良した。時々刻々と変化する飽和率と毛管圧分布から各要素のすべり安全率を計算し、さらには斜面全体の安定性を判定する。

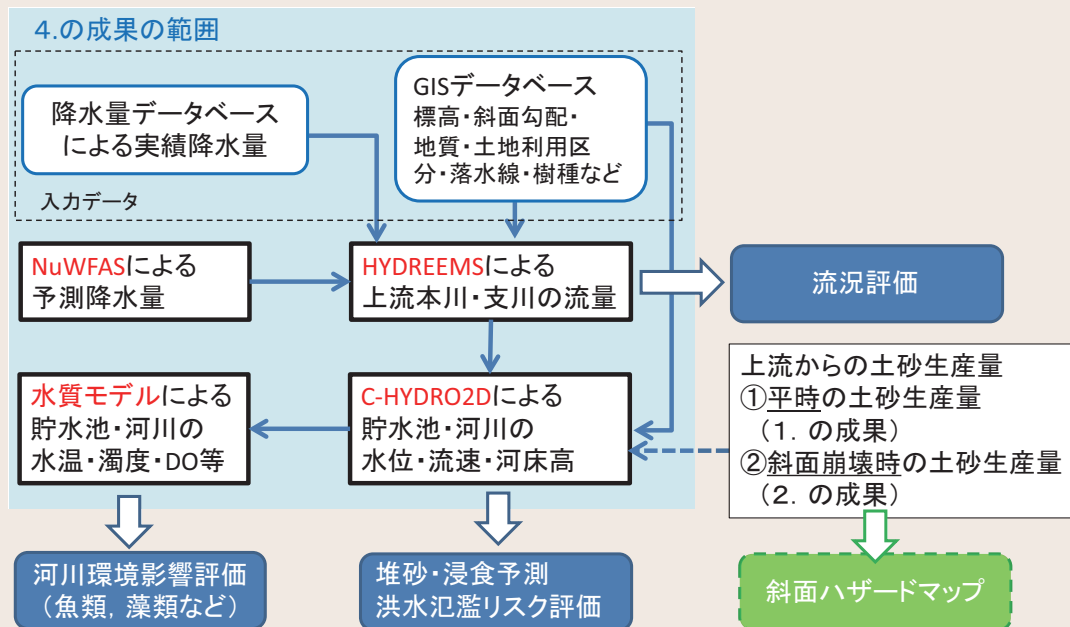


図3 洪水・土砂輸送予測統合システム構成図

本研究で開発した統合モデルは、上図に示すように気象予測・解析システムNuWFAS、降雨流出解析モデルHYDREEMS、流動・堆積モデルC-HYDRO2D、水質モデルを連携させ、将来の堆砂・浸食予測や水質を予測する構成としている。降水量は過去の実績を入力するケースと当所のNuWFASによる予測雨量を使用するケースを使い分けることができる。HYDREEMSとC-HYDRO2Dは、GISデータを利用し、全国の地点に簡易に反映できる仕組みとしている。



## 重点(プロジェクト)課題 - 設備運用・保全技術の高度化

## 経年電力流通設備の維持管理技術の構築

## 背景・目的

高度経済成長期などに大量導入された電力流通設備の高経年化が進んでおり、これらの更新が今後大量に生じることが予想される。経年電力流通設備に対して、費用対効果等を考慮した合理的な維持管理技術を構築し、改修や更新の平準化を図っていくことが重要である。

本課題では、合理的な設備維持管理に必須な設備診断技術の高度化を図るとともに、設備更新計画の策定を支援するために、設備運用情報や機器信頼度などを評価軸に加えた設備更新計画策定支援ツール(アセットマネジメント支援ツール)の提供を目指している。

## 主な成果

## 1 油入変圧器の診断技術開発

電力用油入変圧器の電磁力による内部構造の変化(巻線の異常)を、周波数応答解析(FRA: Frequency Response Analysis)を用いて検出する診断技術を開発している。運用中または撤去された変圧器(64台)に対してFRAを適用し、巻線異常が疑われるものは内部調査結果と照合することにより、雷サージ侵入等の不具合の懸念時の応急診断や点検時の詳細診断に分類して現場で適用可能な巻線異常判定基準を

提案した(表1)。応急診断は、雷サージの侵入など突発的な外乱により、巻線短絡や重度の巻線変形が懸念される変圧器に対してこれらの異常を判定するものであり、同一変圧器の過去データが無くても適用できる。また、点検時の詳細診断は、従来手法では検出が困難であった、経年劣化したプレスボード\*1の収縮による巻線位置ずれ等の軽微な巻線異常を診断可能である(図1)[H14010]。

## 2 OFケーブル\*2の診断技術開発

OFケーブルについては、近年、油中ガス分析で異常なしと判定されたにも関わらず、解体調査の結果、ケーブル絶縁層や補強絶縁層で部分放電(PD: Partial Discharge)の痕跡が認められる事例が報告されており、心線近傍の微小空隙(ボイド)における部分放電が原因で劣化が進展し、絶縁破壊に至る可能性が指摘されている。OFケーブルの部分放電による劣化進展様相の解明を目指して、実ケーブルシステムの構造に近い、同軸円筒形状で油圧

調整システムを備えたケーブルモデル絶縁系を用い(図2a)、部分放電発生から絶縁破壊に至るまでの部分放電の特性を評価した。油隙欠陥内に最低許容油圧付近の油圧が加わった状態でも高頻度の部分放電が発生・継続し得ることや、ある程度のリードタイムを経て絶縁破壊に至ることを明らかにした(図2b)。これらの結果から、実線路における部分放電計測により、劣化の進展が検出できる可能性を示した[H14011]。

## 3 アセットマネジメント支援プログラムの開発と階層別アセットマネジメント支援技術

合理的な設備維持管理のため、「アセットマネジメント技術」の導入が検討されている。日本では従来から高い供給信頼度の維持が前提とされ、低事故率の設備を予防保全的に運用してきたため、事故リスクの評価に加え通常運用中の保守管理コストに注目する必要がある。当所では、保守管理計画策定において重要となる、利用データの精度や評価プロセスの客観性の担保を支援する技術を「アセットマネジメント支援技術」と定義し、保守関連データと保守実態

の調査結果に基づき、各種送変電設備に対する支援プログラムを試作した。アセットマネジメント支援において、一般に利用可能データの詳細度は対象設備や運用条件で異なることから、利用可能データの詳細度に応じた評価を行う「階層別アセットマネジメント支援技術」を提案した[H09]。各種設備の維持・更新計画案に対してアセットマネジメントの観点に立った評価を加えることにより、設備の合理的な高経年対策の策定への活用が期待される。

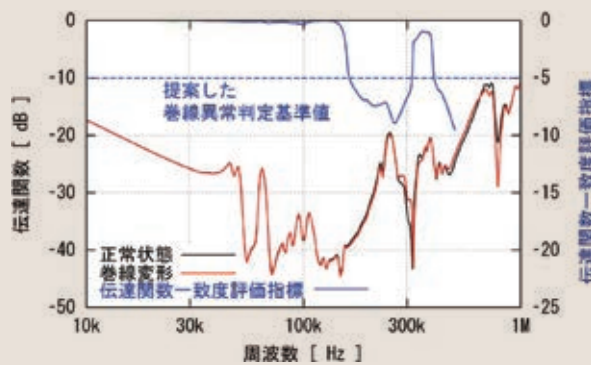
\*1 良質の植物繊維ですいた湿紙を重ね合わせ加圧して製造したもので、油入変圧器内でスペーサ等の絶縁材料として使われている。

\*2 絶縁体に絶縁油と絶縁紙を用いたケーブル。外部から油を供給し、油圧を大気圧以上に保つことでボイドの発生や空気、水分の侵入を抑制している。

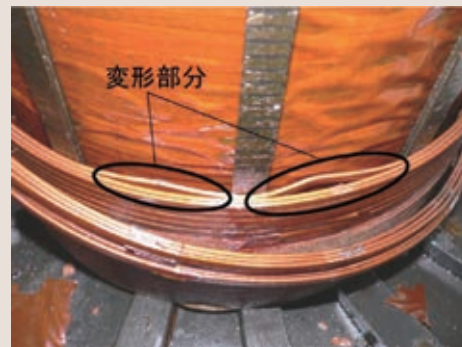


表1 提案した巻線異常判定基準

適用場面	診断対象	判定方法例
応急診断	重度の変形	各相の伝達関数差(1 kHz)に着目して判定
	巻線短絡	各相の第一共振周波数の差に着目して判定
詳細診断	軽微な巻線変形・ずれ	正常状態のデータと比較し、伝達関数一致度評価指標が閾値以下であれば異常と判定



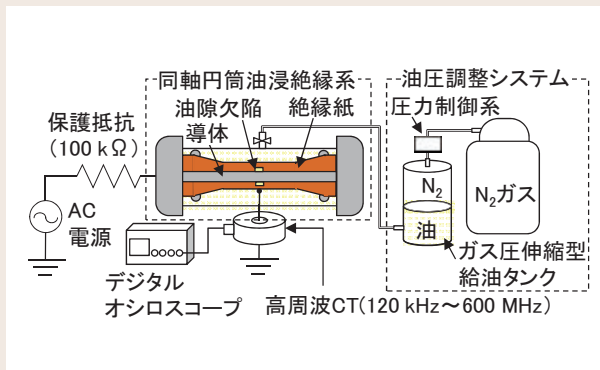
(a) 変圧器の伝達関数と一致度評価指標



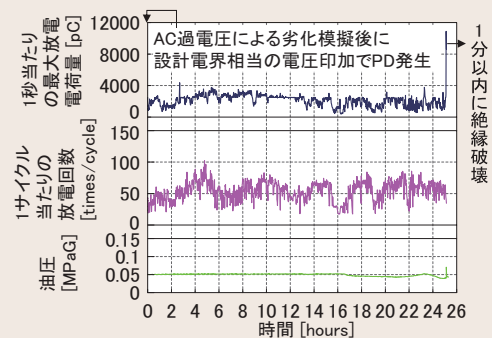
(b) 巻線の変形状況

図1 強制的に巻線変形させた変圧器のFRAによる診断例

FRAでは、変圧器伝達関数を正常状態の時に測定しておいた過去データと比較し、その変化の有無から巻線異常を検出する。この時、比較する2つの伝達関数の一致度を客観的に評価する指標を提案し、同指標を用いた巻線異常判定基準を提案した。



(a) 同軸円筒形状モデルと試験系の概要



(b) 絶縁破壊に至るまでの部分放電様相

図2 OFケーブル接続部モデル試験の概要

(a)のように同軸円筒電極間を絶縁油と絶縁紙で絶縁し、その一部に実設備で発生し得る油隙欠陥を設け、大気圧より高い油圧下で部分放電を発生させた。高周波CTとデジタルオシロスコープを用いて部分放電を観測した結果、(b)のように高頻度の部分放電が継続し、最終的に絶縁破壊に至ることが明らかになった。また、絶縁破壊直前に比較的電荷量が大きく、高頻度の部分放電が継続発生する期間があった。この特性の変化が絶縁破壊の兆候を示していると考えられる。

## 重点課題 - 設備運用・保全技術の高度化

## 経年鉄塔の健全性評価技術の開発

## 背景・目的

高度経済成長時代に設置された送電用鉄塔の経年劣化が進んでおり、改修・建替等の平準化・効率化が求められている。一方で、東北地方太平洋沖地震では、兵庫県南部地震を超える最大加速度が観測されており、このような高レベル地震動に対する耐震性能の把握も必要となっている。

本課題では、腐食や疲労に対する余寿命評価手法・効率的な点検手法、および不同変位・地盤変状に対する安全性診断法を開発する。また、高レベル地震動に対する弾塑性挙動を考慮した耐震裕度を明らかにし、経年鉄塔の合理的な維持管理の実現に資する。

## 主な成果

## 1 鋼管内面を対象とした腐食量推定・点検法の開発

ACMセンサ\*による鋼管内腐食速度分布と、鋼管断面の肉厚測定による実腐食速度分布とを比較し、ACMセンサの有効性を実証した(図1)[Q14004]。加えて、数値流体解析を活用した鋼管内面の海塩付着量評価手法を構築し、暴露鋼管から取得した付着塩分量分布により検証した。また、鋼管内面概略

点検に関し、実腐食部材に磁歪センサによるガイド波測定法を適用した結果、鋼管内面の減肉が検知され、本手法の有効性が明らかになった(図2)[Q14003]。さらに、乾湿サイクル数の増加による腐食加速試験法を開発し、加速試験データと実環境データとの比較により、その有効性を示した。

## 2 腐食環境因子マップと腐食速度式の提案

横須賀地区と成田地区における腐食環境因子観測を継続し、腐食環境評価法の検証用データを取得した(図3)。また、海塩輸送量評価システムNuWiCC-STおよび気象予測・解析システムNuWFASによる53年間超高解像度気象再現データを用いて、腐食環境因子パラメータである飛散海塩量、気温、湿度等に関するマップ(全国版)を作成した

(図4)。加えて、既往の暴露試験データをもとに、ISO9223、9224の腐食速度式を基本とした日本版腐食速度式を提案した。本評価式とマップから面的な広がりをもって設置されている鉄塔の相対的な概算腐食量を比較できるため、巡視・点検などの保守計画策定における優先順位付けに活用可能である。

## 3 経年鉄塔データベースの構築と試運用

全電力会社の設備・保全データ、気象観測記録、腐食撤去部材に関する事例調査資料、および提案した腐食速度式と腐食環境因子マップ等をデータベース化した。また、簡易

検索、ダウンロード、地図表示できる機能に加え、鉄塔の相対的な概算腐食量が比較可能なデータベースシステムを構築し、試運用を開始した。

## 4 ボルトすべりを考慮した鉄塔部材接合部の非線形解析モデルの開発

不同変位発生時、あるいは高レベル地震動や強風発生後の鉄塔の健全性確認においては、部材接合部のボルトすべりを考慮したより現実的な評価が求められている。本検討に寄与するため、鉄塔の部材接合部におけるボルトすべりを、当該箇所を導入した二重節

点と両節点間の非線形ばね要素でモデル化する構造解析手法を考案した。これにより、ボルトすべりによる応力再配分が考慮され、より高精度に健全性を評価することが可能となった(図5)。

\* 環境因子により電気化学的に発生する金属の腐食電流を計測するセンサ。

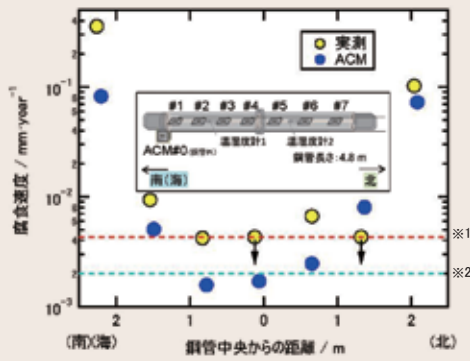


図1 鋼管内腐食速度分布

2年4ヶ月暴露した鋼管断面の残存肉厚(ACMセンサ設置位置近傍で切断し、周方向8点で求めた残存肉厚の平均)から得た腐食速度は、ACMセンサによる評価結果と同様の分布になった。

※1 断面観察における定量下限値。  
 ※2 ACMセンサ検出下限値。

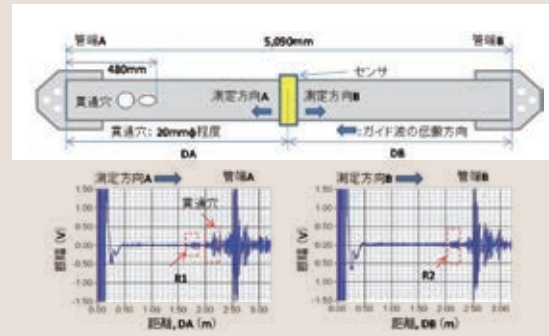


図2 ガイド波による鋼管内面減肉測定結果

外面のみペンキ塗装された実鋼管腐食部材に対し、ガイド波を管端A、Bに向けて送信した結果、管端および貫通穴以外に管端付近の位置R1およびR2において反射源が測定された。超音波厚さ測定の結果、R1、R2において程度の異なる減肉が確認された。

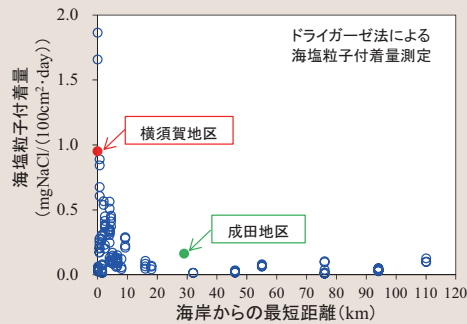


図3 腐食環境因子測定結果の一例

横須賀地区と成田地区におけるドライゲージ法(代表的な飛散塩分量測定法:JIS Z2382)による年平均飛散塩分量を表す。その他の青丸プロットは、国内文献値である。海塩付着量は海岸からの距離に応じて減じられる傾向が確認できた。

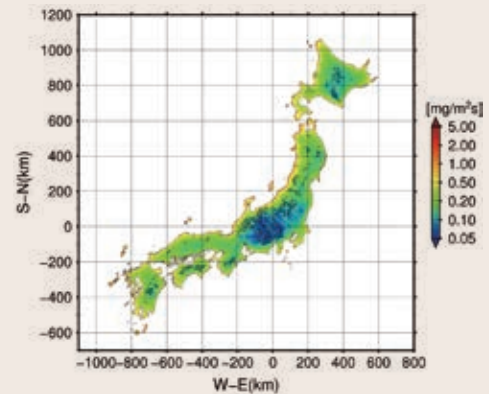


図4 年平均飛散海塩量マップ(全国版)

地上高50m、空間解像度1kmの年平均飛散海塩量のマップを表す。NuWFA53年間気象再現解析による8風向の洋上風速の頻度分布を入力条件に、NuWiCC-STにより作成した。

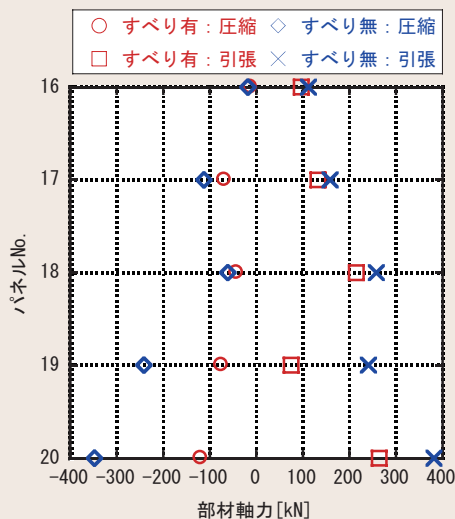


図5 ボルトすべりを考慮した風応答解析

500kV送電用鉄塔(高さ69.5m、全20パネル)を対象に、ボルトすべりを考慮した場合と無視した場合の支柱材の発生軸力を比較した。図5は、風荷重作用時に発生した16パネルから20パネル(最下パネル)の軸力の最大・最小値を表す。すべり有の値の方が小さく、すべりを考慮しない場合、過大評価となる可能性があることが示唆された。

### 重点課題 - 次世代電力需給基盤の構築

# 微粉炭火力の燃料種拡大のための運用技術開発

#### 背景・目的

微粉炭火力においては、これまで利用されていない石炭の活用など、燃料種の拡大が求められている。また、燃料多様化に伴い顕在化しているボイラ水冷壁管の硫化腐食や、排煙・排水処理プロセスにおける微量物質（水銀、ホウ素、セレン等）排出などへの対応が必要になっている。

本課題では、これまで利用されていない低HGI炭\*1（粉砕し難い石炭）の適正な粉砕・燃焼条件および混炭法の策定、ボイラ水冷壁管の硫化腐食対策技術や排煙・排水における微量物質排出抑制技術の開発により、既設微粉炭火力発電所における燃料種拡大に寄与する。

#### 主な成果

### 1 低HGI炭混炭における粉砕機運用条件の明確化

豪州スラット炭田の低HGI炭は、燃焼性が良く、含まれる窒素も少ないが、粉砕し難いため、通常設定される粉砕時の粒径（75  $\mu\text{m}$ 以下の粒子の割合：70～80%）では、低HGI炭と混炭する瀝青炭の燃料比\*2が低くなるほど粉砕動力が高くなり、粉砕機が許容する動力以下で利用できる低HGI炭の混炭率の範囲は狭くなる。

この対策として、粉砕機の分級機回転数を減らして、75  $\mu\text{m}$ 以下の粒子の割合を30～50%程度まで下げ、粒径を大きくする

ことで、燃料比が低い瀝青炭との混炭においても高い混炭率が可能となることを確認した。また、微粉炭粒子を粗くした場合、低HGI炭と混炭する瀝青炭の燃料比が高くなるほど、低HGI炭の混炭による燃焼効率の向上効果が大きくなることがわかった。

上記およびこれまでの低HGI炭専焼および混炭時の粉砕・燃焼特性に関する成果をもとに、低HGI炭を既設火力発電所で利用する際の運用方策を取りまとめた（図1）。

### 2 耐硫化腐食コーティング技術の実機での検証

ボイラ水冷壁管の硫化腐食対策として、当所が開発した安価で簡便な耐硫化腐食コーティング技術について火力発電所での検証を行った。8ユニットでの検証結果から、スプレー塗装により短時間（施工面積100  $\text{m}^2$ 弱を3日間）でコーティングを施

工できることを明らかにした。さらに、このコーティングは生成する腐食層の厚さを未施工時の1/4以下に抑制できること、2年以上の耐久性を有することを確認した（図2）[M04]。本技術は、2ユニットのボイラに適用された。

\*1 石炭の粉砕性を評価する指標。HGI (Hardgrove Grindability Index)の数値が小さくなるほど粉砕しにくくなる。現在利用されている瀝青炭のHGIは40～70であり、低HGI炭は40以下の石炭を示す。

\*2 石炭に含まれる固定炭素分に対する揮発分の割合。燃料比が低くなると燃え易くなるが、粉砕し難くなる。



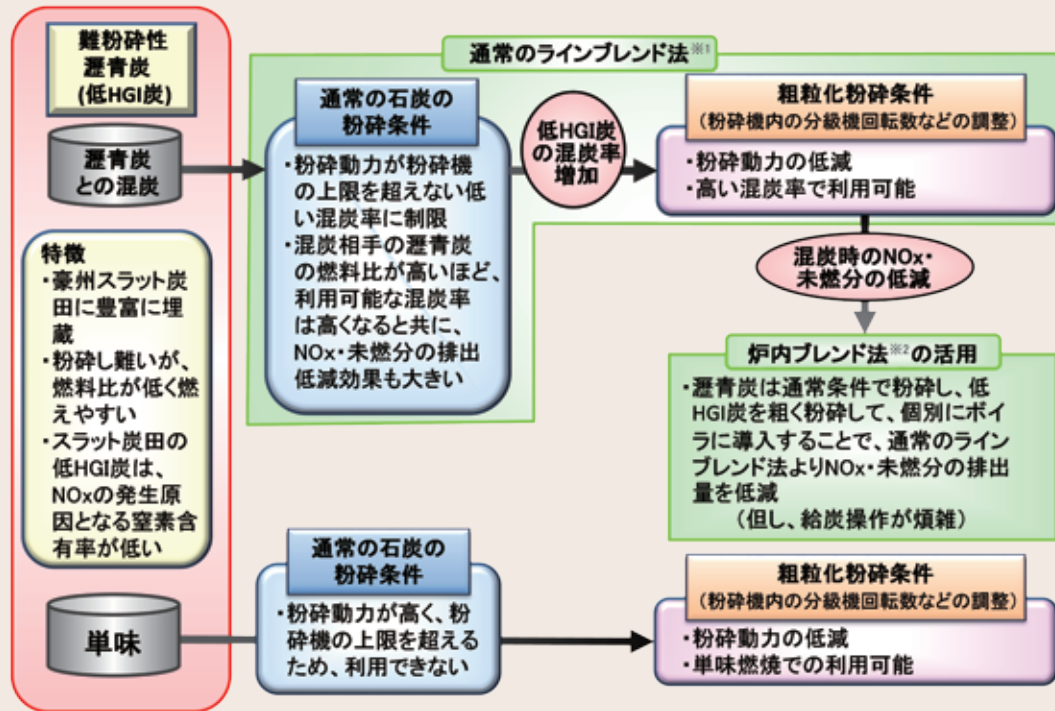


図1 低HGI炭の運用方策

既設の微粉炭火力発電所において低HGI炭の単味燃焼利用および瀝青炭との混炭時の混炭率を高める方策について取りまとめた。

※1 粉碎機の前で石炭を混合して全てのバーナにおいて同じ混炭率で燃焼させる方法。

※2 混炭する石炭を個別に粉碎して異なるバーナで燃焼させる方法。

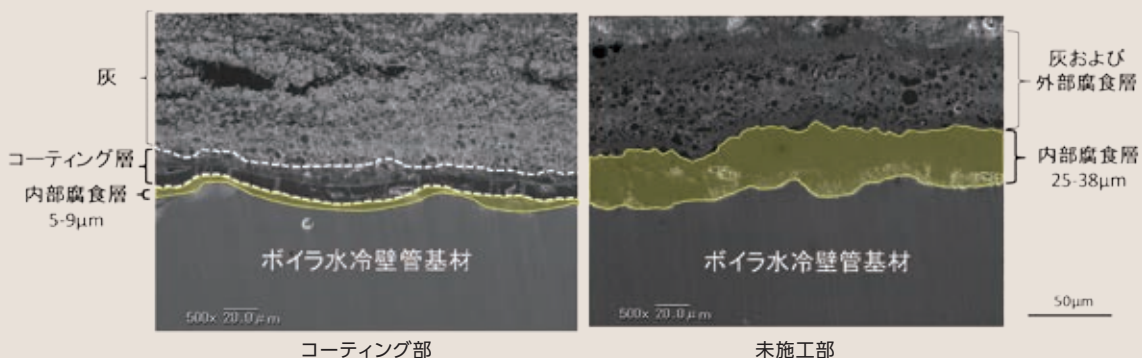


図2 耐硫化腐食コーティングの構造

当所で開発した耐硫化腐食コーティングは基材側から、SiO<sub>2</sub>、TiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TiO<sub>2</sub>の4層構造となっている。また、スプレー塗装により短期間(施工面積100m<sup>2</sup>弱を3日)で施工可能。このコーティングを施すことで、生成する硫化腐食層を大幅に低減できることを実証した。

## 重点課題 - 次世代電力需給基盤の構築

## 低品位資源利用技術の高度化

## 背景・目的

石炭火力のCO<sub>2</sub>排出原単位低減策として、木質バイオマスの混焼利用が進められているが、石炭に比べてバイオマスは粉碎し難いなどの理由から、既設の石炭火力での混焼率は数%に留まっている。

本課題では、石炭火力における木質バイオマスの混焼率向上、未利用バイオマスの混焼

利用、これらによる石炭火力のCO<sub>2</sub>排出原単位低減を目的に、粉碎性や発熱量の向上が期待できるバイオマス炭化燃料化技術を開発するとともに炭化燃料の評価技術を開発する。さらに、石炭火力で混焼利用する際の評価指針を確立するとともに、その規格化を目指す。

## 主な成果

## 1 炭化燃料化技術と炭化燃料評価技術の開発

炭化燃料の製造においては、得られる炭化燃料の燃料性状(高位発熱量等)の安定化が要求される。炭化燃料の燃料性状は、炭化機への原料供給量、炭化温度、炭化時間といった運転条件によって変化するため、これを安定化するには、炭化燃料の燃料性状を連続的に把握し、製造時の運転条件に反映する必要がある。

当所の炭化燃料化実験設備を用いた木質バイオマスの炭化試験結果から、炭化燃料の燃料性状と収率\*1に強い相関があることを明

らかにした\*2(図1)[M14012]。炭化燃料の収率は、原料供給量、原料水分、炭化燃料製造量の情報から容易に把握することが可能であり、収率を製造時の運転指標とすることで、燃料性状の安定化を図ることが可能となる。また、炭化燃料の燃料性状(高位発熱量等)と色相角\*3に強い相関があることを見出した<sup>[1]</sup>(図2)。これにより、炭化燃料を受け入れる際には、炭化燃料を粉碎して色彩を測定することで、従来の測定法に比べ容易に燃料性状を推定することができる。

## 2 石炭と木質炭化燃料の混焼特性評価

木質炭化燃料の高混焼利用に向けて、高混焼時の燃焼特性評価のため、当所の石炭燃焼試験設備で混焼試験(混焼率\*4は熱量基準で10%、30%)を実施した結果、バーナ

付近のガス温度分布は、石炭のみの燃焼とほぼ同等であり\*2(図3)、燃焼率\*5は、混焼率の増加とともに向上することがわかった(図4)。

## 3 石炭と木質炭化ペレットの混合粉碎性評価

木質炭化燃料のかさ密度を向上させることにより、輸送コストの削減、貯蔵管理の省スペース化が期待できる。木質炭化燃料をペレット成形することで(直径6mm、長さ15~25mm)、かさ比重は成形前の4倍以上に向上する。これを石炭と混合し(混合率は熱

量基準で5%、10%)、当所のローラミル試験装置により粉碎試験を実施し、粉碎に必要な動力、粉碎物の粒度は、石炭のみを粉碎した場合とほぼ同等であることを明らかにした(図5)。木質炭化燃料の粉碎性が向上すると、より高い混焼率での利用が可能となる。

\*1 炭化燃料製造量[kg/h]と乾燥原料供給量[kg/h]の比率(製造時の炭化燃料は無水と仮定)。

\*2 環境省からの受託研究として実施した。

\*3 色彩の構成要素(色相、明度、彩度)のひとつである色相(色合い)を表す尺度。

\*4 混合率、混合割合と同義、ここでは重量基準ではなく熱量基準で定義。

\*5 燃料中に含まれる可燃分に対する燃焼した可燃分の比率。

[1] 多喜 他, 第10回バイオマス科学会議予稿集, pp.11-12(2014).

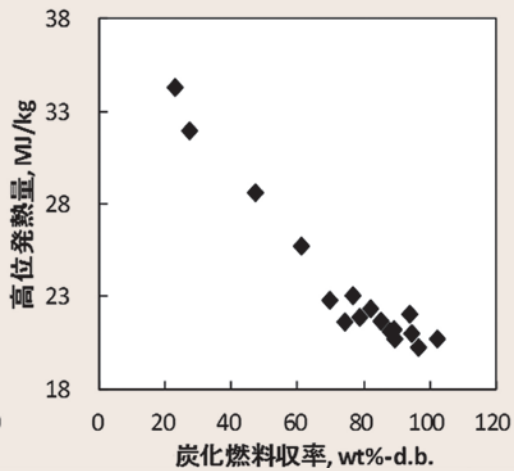


図1 炭化燃料の高位発熱量と収率の関係

原料供給量、炭化温度などの炭化条件によらず、炭化燃料の収率は、高位発熱量と強い相関を示す。

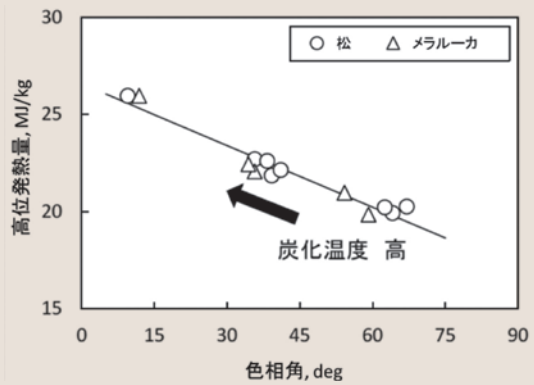


図2 炭化燃料の高位発熱量と色相角の関係

炭化燃料の高位発熱量を色相角で整理すると、両者は直線的な関係を示す。予め、原料種ごとに両者の関係を把握しておくことにより、極めて短時間に炭化燃料の燃料性状を推定することができる。

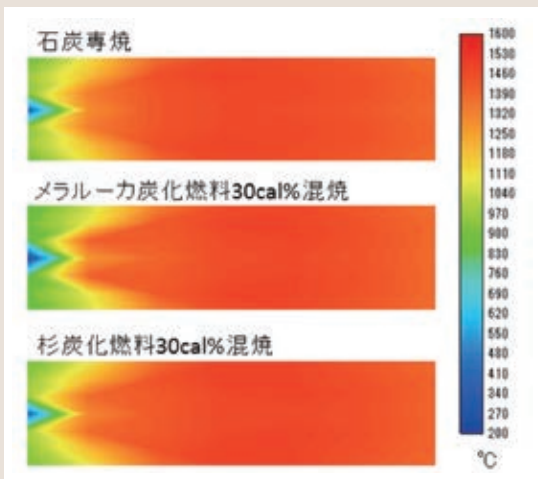


図3 木質炭化燃料混焼時のガス温度分布

バーナ中心軸を含む平面上のバーナ付近のガス温度分布を示す。木質炭化燃料混焼による温度分布への影響は見られない。

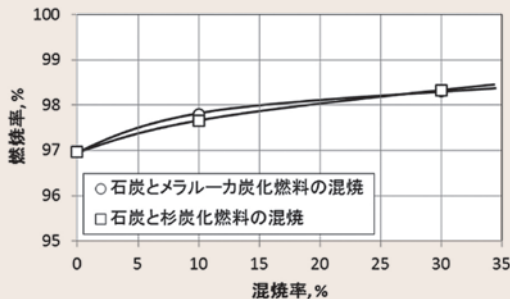
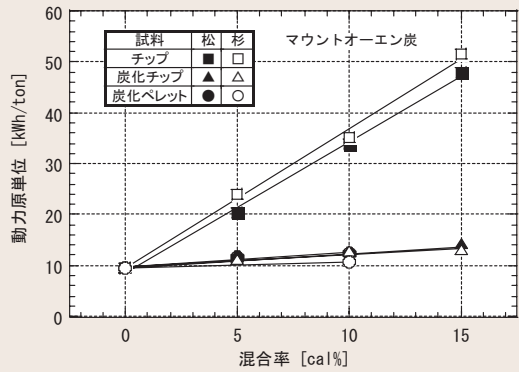


図4 燃焼率と混焼率の関係

石炭に比べて灰分が少なく揮発分の多い木質炭化燃料の混焼率を増やすことにより、燃焼率が向上する。

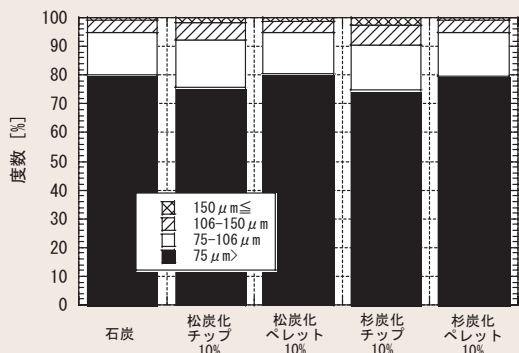


図5 石炭と木質炭化ペレットの混合粉砕性

石炭と木質炭化ペレットの混合粉砕性は、石炭単味の場合とほぼ同等となる。



## 重点課題 - 次世代電力需給基盤の構築

## 太陽光発電大量導入時の系統セキュリティ評価

## 背景・目的

太陽光発電(PV)をはじめとする再生可能エネルギー(再エネ)大量導入のもとでの系統セキュリティ(系統安定度、周波数、電圧安定性など)の確保は重要な課題である。

本課題では、PVに用いられるパワーコン

ディショナ(PCS)などのY法\*1シミュレーション用モデルを開発・改良し、PV大量導入時の系統事故時の系統セキュリティを評価することにより、電力系統の安定運用に資する。

## 主な成果

## 1 系統事故時の安定度解析に向けたY法シミュレーション用PVモデルの改良

住宅用PVが大量に連系された場合の安定度解析の精度向上のため、PV用PCSのリレー応動を単相毎に模擬可能なY法シミュレーション用PVモデルを、PCS停止後の復帰特性や不足電圧リレー判定後のリレー再動作機能などについて改良した。さらに、系統事故発生時の系統動揺の際にPVから出力される有効電流

の過渡的な応動の模擬精度を向上させるため、PCSの有効電流リミッタを、定格電流の超過の有無に応じて変化させるように改良した。これらの改良より、PVの運転状態や導入地点などの系統条件に応じた、より精度の高い安定度解析が可能となる。

## 2 PV用PCSの周波数フィードバック機能が系統安定度に及ぼす影響評価

住宅用PVのPCSには単独運転検出リレーが備わっており、日本電気工業会規格では、その標準方式としてステップ注入付周波数フィードバック方式を定めていることから、今後、本方式を採用するPCSが増加することが予想される。本方式は、周波数偏差に応じたフィードバック機能により無効電力を出力するもので、この応動が系統安定度に及ぼす影響を評価するため、電力系統シミュレ-

タにおいて実機試験を行った(図1)。その結果、PCSから出力される無効電力変動の位相はPCS内部における周波数偏差の演算方法に起因するものであり、系統事故時の動揺周期が長いほど、検出した周波数変動の逆相に対して無効電力変動の位相が進むこと、その位相進みが小さい場合は系統安定度が低下し、位相進みが大きい場合は系統安定度が向上することを確認した(図2)。

## 3 各種系統条件が基幹系統の系統安定度に及ぼす影響評価

再エネ大量導入時の系統事故が基幹系統の系統安定度に及ぼす影響は、発電機や再エネの運転状態、導入地点、系統事故時の再エネ脱落の有無などの系統条件によって大きく異なるため、その影響把握が困難となっている。そこで、実系統データを用いた安定度解析結果から得た知見を活用し、再エネ大量導入時の各種系統条件が系統安定度に及ぼす基本的な影響を取りまとめた(図3)。実系統では、66kV以下の電圧階級に多くの負荷お

よび再エネが接続されていることから、500kV送電線で連系した各電力会社の系統を簡易模擬するモデル\*2に下位系統モデルを追加し、各種系統条件の影響を確認・整理した。さらに、同系統モデルを用いた再エネ大量導入シナリオ(表1)を設定し、各種系統条件が複雑に影響する場合でも、系統安定度に及ぼす影響とその要因を把握することが容易となることを示した(図4)[R14013]。

\*1 当所開発の電力系統動特性解析プログラム。我が国の全電力会社において使用されている。

\*2 電気学会 WEST10 機系統モデル。



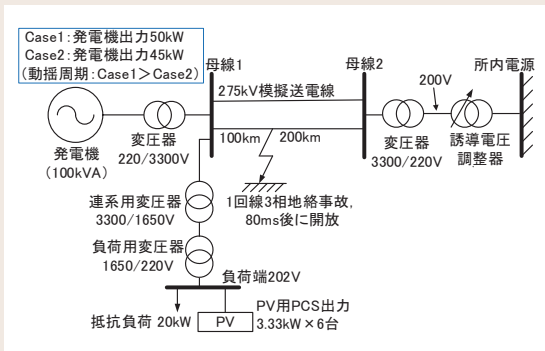


図1 電力システムシミュレータ試験システム

動揺周期の異なる発電機出力50kWまたは45kWのそれぞれのケースにおいて、PCSの周波数フィードバック機能をONまたはOFFとして系統安定度への影響を比較した。

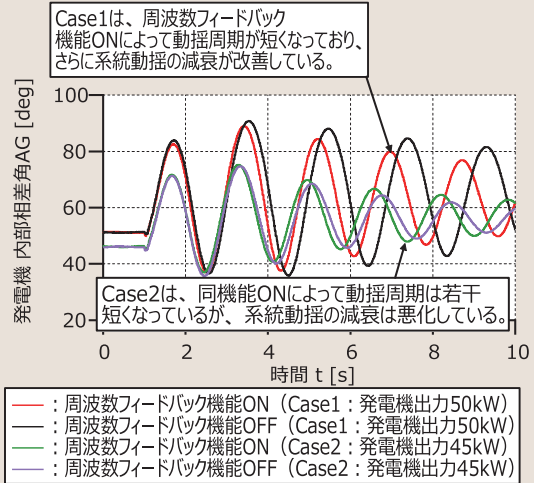


図2 電力システムシミュレータ試験結果

発電機出力が大きいほど系統事故時の動揺周期が長くなり、PV用PCSから出力される無効電力変動の位相は進む傾向となる。この位相進みが大きい場合は系統安定度が向上した。

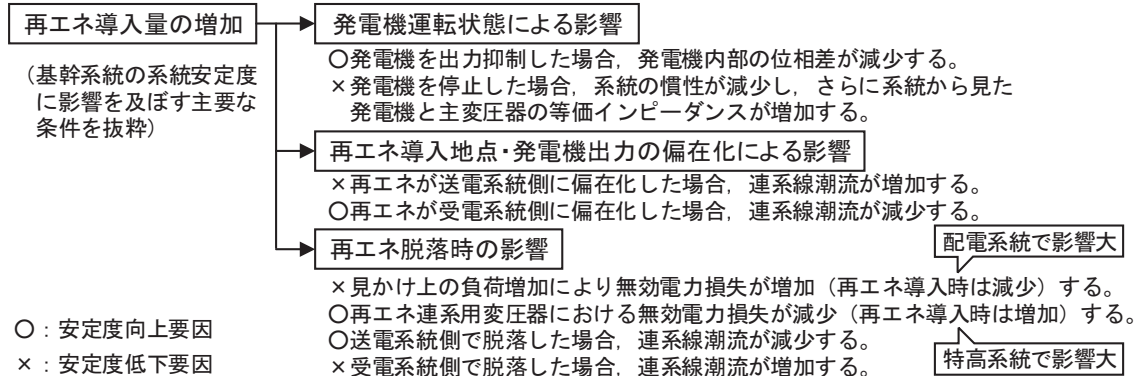


図3 各種系統条件が基幹系統の系統安定度に及ぼす影響

表1 モデルシステムにおける再生エネルギー大量導入シナリオ

ベース断面	電気学会WEST10機系統 オフピーク断面
再生エネルギー出力合計	導入前: 同期発電機容量合計72GVA PV 0 GW, 風力発電(WT) 0 GW
	中間導入: 同期発電機容量合計70.83GVA <sup>*1</sup> PV 11.25 GW, WT 2.81 GW
	最終導入: 同期発電機容量合計55.56GVA PV 21.30 GW, WT 5.33 GW
発電機最低負荷	発電定格の40%
停止させる発電機容量の上限	再生エネルギー導入前の50% <sup>*2</sup>
事故条件	WEST10機系統の変電所間の500kV送電線(LINE40)の中間地点における1回線3相地絡事故、70ms後に開放
PVとWTの脱落	・無し ・有り(事故点近傍で2割を脱落)

\*1 中間導入時は、ほとんど発電機を停止させていない。  
\*2 停止させる発電機容量の上限を超えて再生エネルギーが導入された場合は、余剰分をWEST10機系統の発電機(G10)方向に送るために連系線潮流を増加させた。

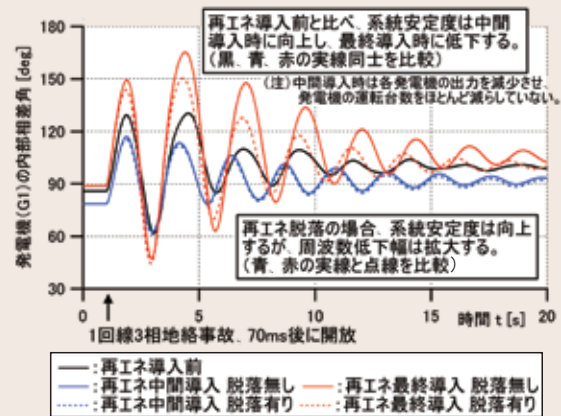


図4 再生エネルギー大量導入シナリオにおける系統安定度への影響評価例

図3に示した影響を考慮することで、各種系統条件が系統安定度へ及ぼす影響と、その主要因を把握することが容易となる。

## 重点課題 - 次世代電力需給基盤の構築

## 太陽光発電出力の高精度推定・予測技術の開発

## 背景・目的

電力の需給運用に必要となる供給予備力の著しい増大など、太陽光発電(PV)の導入拡大による需給運用への影響を極力回避するため、精度の高いPV出力推定・予測技術の開発が課題となっている。

本課題では、需給運用等の系統運用にお

けるコスト低減に資するため、PV出力をリアルタイムで地点毎や電力系統全域で推定する手法、数時間以内の短時間先、数時間以上の長時間先のPV出力を予測する手法、およびこれらの手法を統合した高精度推定・予測システムを開発する。

## 主な成果

## 1 PV出力把握に向けた気象衛星画像を用いた日射量現況値推定技術の開発

需給運用では、最短1分間隔程度でPV出力現況値を高精度に推定することが重要となる。そのためには、気象衛星からの画像データを利用し、日射量を推定する方法があるが、この画像データの送信間隔は現状では30分である。そこで、広域での日射量は短時間で変動しにくいことを利用して、画像データを時間内挿することにより1分間隔で日射量を推定した。2011年の1年間について、30分間隔の画像データから1分間隔で推定した日射量を、

関東6地点の気象庁全天日射観測データ(リアルタイム補正なし)と比較した結果、二乗平均平方根誤差(RMSE)で $61.6\text{W}/\text{m}^2$ (平均日射量に対して12.9%)となり、日射量30分平均値推定と同程度以上の推定精度を得た(図1)。この結果は推定誤差の上限値として捉えることができ、さらに、次期気象衛星から画像データの年間データを用いることにより、推定精度が向上できることから、需給運用において利用できる見通しを得た[Q14012]。

## 2 高精度なPV出力把握に資する散乱日射量比率推定法の開発

需給運用においてPV出力を高精度で把握するためには、太陽電池のアレイ面に入射する日射量を利用することが有効である。太陽電池アレイ面に入射する日射量を算出するためには、日射計から得られる全天日射量\*に対する散乱日射量の比率を求める必要がある。そのため、放射伝達モデルを利用して、全

天日射量から雲の特性を表す「光学的厚さ」を推定し、これにより散乱日射量の比率を算定する手法を開発した。観測値と比較した結果、観測値に近い時間変化を得たことから、散乱日射量の比率を高い精度で推定できることを確認した(図2)[V14018]。

## 3 PV出力変動予測のための多数地点で観測した日射データ分析技術の開発

短時間先(30分から数時間まで)のPV出力変動を予測する場合、多数地点で観測した日射データを用いることで予測精度の向上が期待できる。しかし、過去分も含めるとデータ量は膨大なものとなるため、前処理としてのデータ分析が重要となる。そこで、(1)各観測地点の予測への寄与度をもとに、予測に有効な地点や気象情報データを抽出し回帰分析する手法、ならびに、(2)異地点間の日射変動パ

ターンの類似度を評価し、この結果より雲の移動時間を予測する手法、を開発した(図3)。(1)の手法を評価した結果から、予測精度の向上に有効な地点や気象情報データを抽出できることを確認した。また、(2)の手法により得た雲の移動時間を予測に利用する追加情報として用いることにより、予測精度の向上が期待できる[R14019][R14014]。

\* 太陽から直接地表に到達する直達光の日射量(直達日射量)と、雲や大気中の塵などにより多重反射して地表に到達する散乱光の日射量(散乱日射量)の和。

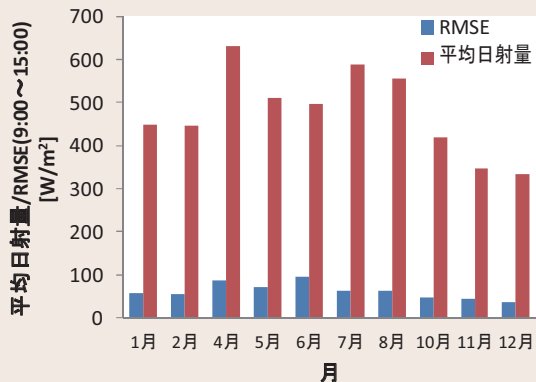


図1 気象衛星による各月の推定誤差

各月の9:00~15:00の日射量1分値の二乗平均平方根誤差(RMSE)を示した。3月と9月は、衛星による日射量推定の際に用いる統計値の決定に観測値を使用したため、誤差評価から除外した。各月のRMSEの平均値は $61.6\text{W/m}^2$ (平均日射量に対して12.9%)であった。

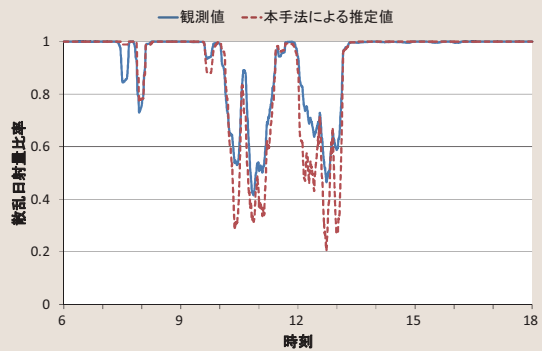


図2 散乱日射量比率を推定する手法の検証例

(電中研我孫子地区構内、2014年11月6日)

全天(直達+散乱)日射量に含まれる散乱日射量の比率を推定する経験的な手法は、これまでに提案されているが、放射伝達過程を物理的に扱っている本手法は、多様な大気状態に対して汎用性があり、精度の高い推定が可能である。本手法による推定値は、値が小さい(雲が光学的に薄い)ときに観測値と比べてやや小さいが、時間的な変化の傾向は観測値とほぼ合致している。

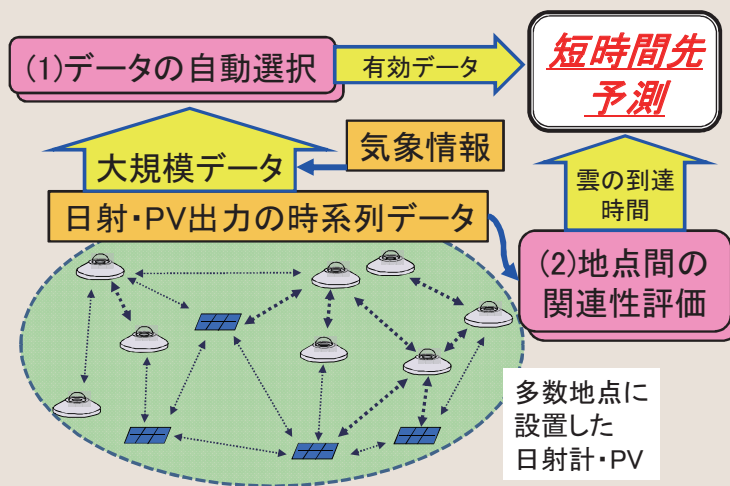


図3 日射データ分析技術の概要

(1) 観測地点の中には予測に用いるとかえって精度が悪化してしまうものも含まれるため、予測に有効な地点を予測への寄与度から自動選択する手法を開発した。約60地点に適用したところ、地点数は15程度まで絞られ予測精度が向上した。

(2) 異地点間の日射変動の時間遅れから、雲の到達時間を把握できると考えられるため、全地点間の出力変動パターンの類似度の評価結果から時間遅れを求める手法を開発した。30地点に適用したところ、出力変動の時間遅れを適切に提示する結果を得た。

### 重点課題 - 次世代電力需給基盤の構築

# 次世代通信ネットワークシステムの実証と共通仕様化

#### 背景・目的

系統保護制御用通信には電力会社の独自方式が用いられており、現状ではIP(インターネットプロトコル)などの汎用的な方式に十分対応できていない。また、スマートメータ等に用いられる需要家用通信や流通設備の保全・監視用通信については、ネットワークを整備する必要がある。さらに、これら

の通信についても汎用・標準的な通信方式の利用が期待される。

本課題では、これまでに開発した、汎用技術を活用する通信ネットワークの要素技術の改良と検証を進め、電力用通信ネットワークの構築コストの低減に資する。

#### 主な成果

### 1 IP方式を用いたマイクロ波無線の送電線保護用通信への適用性の評価

基幹系統の送電線保護用通信にIP方式を適用し、電力用通信ネットワークの信頼性を維持しながら低コスト化を図るためには、IP方式を適用したマイクロ波無線が利用できることが必要である。遅延時間、遅延時間変動の面から適用性を確認するため、遅延に関する厳しい制約を持つ送電線保護用通信に対して、IP方式を適用した場合の伝送遅延特性を

評価した(図1)。その結果、マイクロ波無線装置に時刻同期機構を組み込むことにより、送電線保護用通信回線が構築できる見通しを得た。さらに、マイクロ波無線通信に収容できる通信回線数とその距離は、マイクロ波無線装置のインタフェース速度と中継するマイクロ波無線装置の数に応じて定まることを明らかとした(表1)[R14007]。

### 2 PLCシステム設計のための住宅側インピーダンスの算定方法の開発

スマートメータ用の有力な通信手段の一つであるPLC(Power Line Communication)について、集合住宅での適用可否を簡易に判定するためには、棟内幹線から住宅側全体をみたインピーダンス(住宅側Z)を見積ることが必要である。実際の住宅での測定結果より、大半の家電機器のインピーダンスは極めて低く、住宅側Zは宅内配線ケーブルのリアク

タンスが主となることを明らかにした。これらの結果に基づき、配線ケーブル長の平均値と並列回路数から住宅側Zを算定する計算式を示した(図2)。本計算式を用いることより、集合住宅の各家庭の家電機器の特性を調査することなく、PLCの集合住宅への適用可否を判定することが可能となる[R14004]。

### 3 光ファイバ給電型多点センサシステムの屋外フィールド評価

送電線などの広域にわたる設備監視への適用を目的に、現地での電源確保が不要である遠隔光ファイバ給電を用いた多点センサシステムの開発を進めている。屋外設置を想定して設計した光ノードを試作し、赤城試験センターの実験用配電線に設置して、屋外フィールドにおける連続運転試験を実施した(図3)。

11月より3月までの実験では、低温期においても光ファイバ給電のための回路と、給電光を受けたセンサが動作し、そのデータを安定して収集できることを確認した。これにより、冬季の送電線の設備監視などのための光ファイバ給電型多点センサシステムを構築できる見通しを得た。



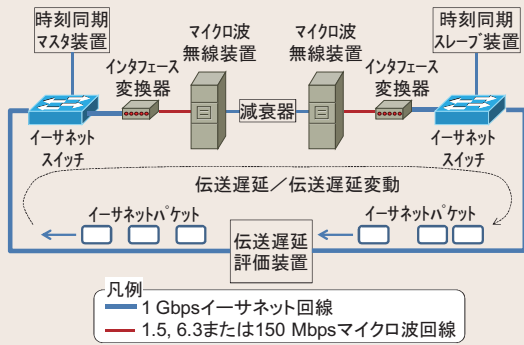


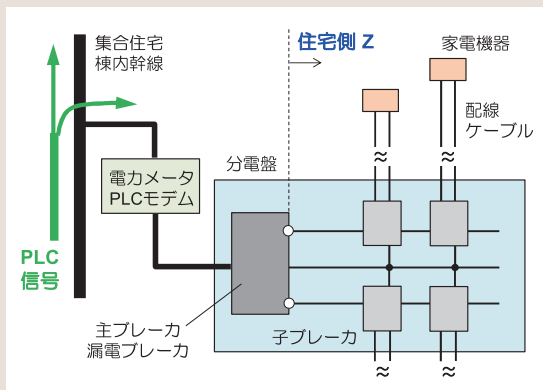
図1 伝送遅延特性の評価システム構成

時刻同期マスタ装置、スレーブ装置にイーサネットスイッチ(IP装置)を有線接続し、対向するマイクロ波無線装置から構成される無線通信区間を経由する場合の伝送遅延特性を評価した。

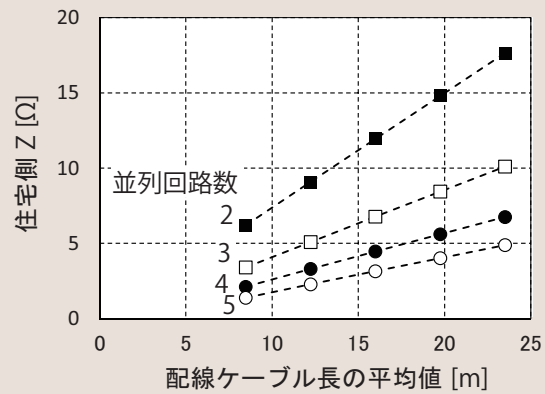
表1 マイクロ波無線装置インタフェース速度と収容可能な保護制御用通信回線数

無線装置インタフェース速度[Mbps]	回線分岐の有無	中継装置数	通信距離[km]	通信回線数
1.5	無	1	100	2
6.3	無	4	250	3
	有	1	100	3
150	無	4	250	5

マイクロ波無線に収容可能な通信回線数と通信距離は、回路分岐の有無、中継局数に応じて定まる。なお、途中に回線分岐がある場合、分岐された回線からのフレームにより待ち合わせが発生するため、伝送可能な距離が短くなる。



(a) 住宅側の配線構成と住宅側Zの定義



(b) 住宅側Zの算定結果

図2 住宅側インピーダンスの算定方法

住宅内の配線・家電機器全体をみたインピーダンスを住宅側Zと定義した。住宅側Zは、配線ケーブル長の平均値と分電盤での並列回路数に依存するため、これらから算定することができる。

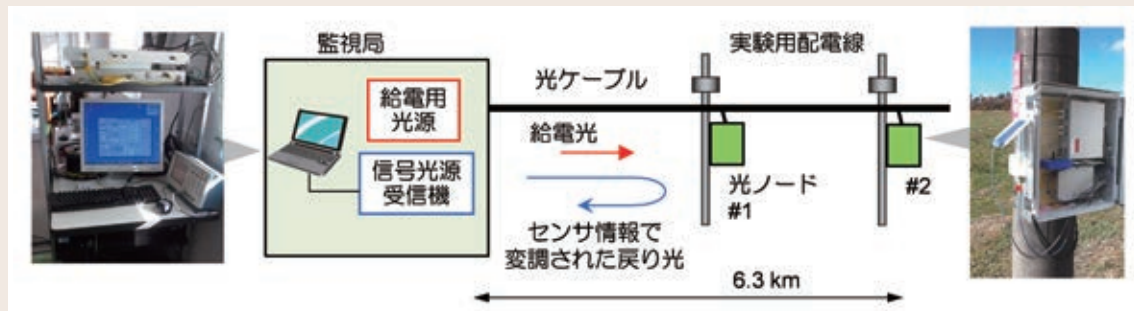


図3 光ファイバ給電型多点光センサシステムのフィールド実験システムの構成

監視局から送出する給電光により、6.3km離れた光ノードを駆動する。また、給電光とは異なる波長の信号光を用いて、光ノードで収集したセンサ情報を監視局へ伝送する。

## 重点課題 - 次世代電力需給基盤の構築

## 次世代配電ネットワーク技術の開発

## 背景・目的

固定価格買取制度により住宅用に加え非住宅用の太陽光発電(PV)の導入が急速に増加したため、一部地域では送・配電線の過負荷や配電線逆潮流(発電電力の消費電力超過)が発生し、安定供給に支障が生じ始めている。

本課題では、これらの問題へ対応するため、

PV大量導入時における配電システムの運用・制御に関する課題を抽出し、対策方式を開発するとともに、近年整備されてきている配電線センサ等を活用した常時および事故時運用・負荷管理方式を開発し、配電システムの安定性維持に寄与する。

## 主な成果

## 1 PV大量導入に適した配電用変電所変圧器の電圧制御方式の評価

PV大量導入時には、配電線から配電用変電所への逆潮流を考慮して、配電用変電所変圧器の電圧制御を行う必要がある。そのため、主要な電圧制御方式であるプログラムコントロール(プロコン)方式\*1やLine Drop Compensator(LDC)方式\*2について、当所開発の「配電システム総合解析ツール」を用いて、PV導入可能量(率)を評価した(図1)。その結

果、変圧器の逆潮流や通過潮流の力率の考慮が可能なベクトル型LDC方式が最もPV導入可能量が多い電圧制御方式であることを明らかにした。さらに、これらの電圧制御方式の評価・検討においては、配電用変電所の上位送電システムの電圧から末端需要家のPVの電圧までを対象とする必要があることを明らかにした[R14021]。

## 2 高圧配電線の三相不平衡改善手法の開発

三相の高圧配電線では、各相に柱上変圧器(Tr)を介して接続される負荷やPVに偏りがあると、三相不平衡を生じる。今後PVが大量に導入されることにより、高圧配電線の三相不平衡は増大する場合がある。その解決に向けて、相毎の負荷やPVのアンバランスと三相不平衡の関係を計算シミュレーションにより明らかにした。これに基づき、センサ等で計測した電圧情報から、三相の中で負荷が

大きい(重負荷)相から負荷が小さい(軽負荷)相へのTr接続相の変更、または、軽負荷相へのTr新設を実施することで三相不平衡を改善する手法を開発した。この手法のTr接続相変更による改善効果を、高圧配電システム解析モデルを用いて評価した結果、線間電圧の絶対値から重負荷相と軽負荷相を判定する従来手法よりも、三相不平衡を大きく改善できることを確認した(図2) [R14003]。

## 3 配電線センサ情報を活用したPV出力推定手法の開発

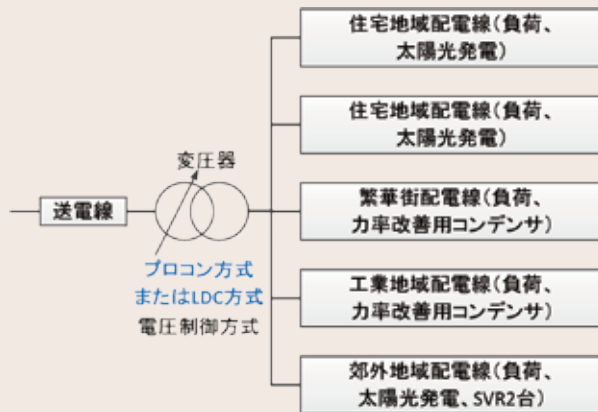
PVが大量に連系された配電線の円滑なシステム運用に資するため、計測時刻毎に配電線センサにより得られる有効電力と無効電力の情報(潮流変動ベクトル)を、負荷変動ベクトルとPV出力変動ベクトルに分解し、PV出力変動ベクトルに含まれる有効電力成分を計測時刻毎に積算するPV出力推定手法を開発した(図3)。実測値との比較によりこの手法の精度を検証した結果、10日間での容量誤差率\*3の平均は10%であった。PV出力変動

の大きな日では、計測誤差の影響が小さくなり、容量誤差率は平均で7%に向上した。また、PV力率を90~100%に変化させて検証した結果、容量誤差率はPV力率によらず概ね一定となった[R14012]。この精度の評価結果と、本推定手法はリアルタイムの推定が可能であることから、配電システムの設備計画に加え、配電システムの事故時運用の融通操作可否の判定に適用可能であることを確認した。

\*1 配電用変電所の変圧器の負荷量に応じてタップをスケジュール運転する方式。

\*2 配電用変電所の変圧器の通過電流から負荷中心点が目標電圧に近づくように制御する方式。

\*3 PV容量誤差率とはPVの出力推定値と真値の差の絶対値のPVの設備容量の合計に対する百分率。



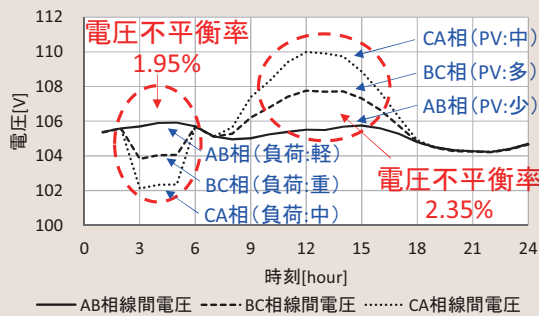
(a) 評価用バンクモデル

バンク電圧制御方式	PV導入可能量
プログラムコントロール	20%以下
スカラーLDC	20%以下
ベクトルLDC	40%
ベクトルLDC+PV力率一定制御	60%

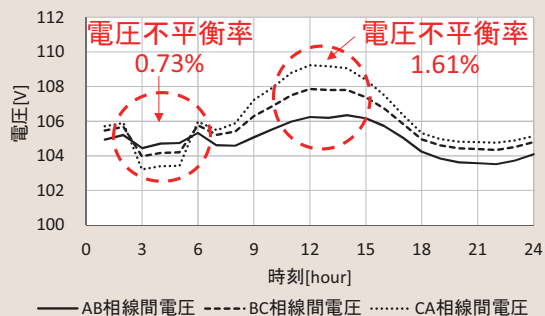
(b) 解析結果

### 図1 配電用変電所の変圧器(バンク)の電圧制御方式の比較結果

図1(a)に示すような、比較的條件が厳しい配電用変電所の変圧器(バンク)モデルにおいて、PVの導入量を増加させながら電圧解析を行い、電圧逸脱が開始する導入量(PV導入率)でバンクの電圧制御方式を比較・評価した(図1(b))。



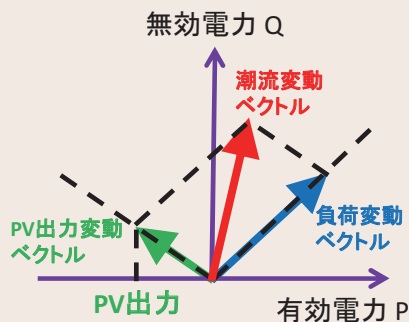
(a) 改善手法適用前



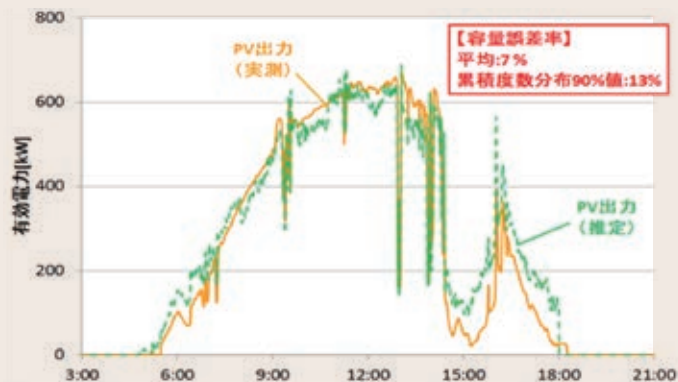
(b) 改善手法適用後

### 図2 三相不平衡改善手法を適用した場合の解析例

一般的な配電線モデルを用いて解析した結果であり、本手法を適用することで、24時間にわたり電圧不平衡が低減していることを示している。



潮流変動のベクトル分解



### 図3 太陽光発電出力推定手法の概要と推定結果

図3左に示すように、配電線センサを用いて計測した潮流変動ベクトルを、負荷変動ベクトルとPV出力変動ベクトルに分解し、そのPV出力変動ベクトルから有効電力成分を求めることにより、図3右のPV出力が推定できる。

## 重点課題 - 次世代電力需給基盤の構築

## 次世代需要マネジメントの価値評価

## 背景・目的

震災後の節電の定着動向や、電気料金の変化等によりピーク抑制や負荷移行を促すデマンドレスポンス(DR)を活用する試みが注目されている。また、太陽光発電(PV)の急速な普及や電力システム改革への対応を含め、DRを電力システムの安定化に活用することが期待されている。

本課題では、将来望ましい需要マネジメント方策の選定と、その実現に向けて解決すべき課題や必要な制度を分析するために、節電行動の分析に加え、DRによる電力需要マネジメントの可能性について、電気事業と需要家の双方の視点から評価する。

## 主な成果

## 1 事業所および家庭における2011年～14年節電行動の継続状況

2011年～2014年の4年間にわたる節電に関するアンケート調査結果から、事業所・家庭とも夏季の節電水準が維持されているが、節電意識や取組みレベルは低下傾向にあったことを明らかにした(図1、図2)。設備や機器の効率化や電気料金の上昇による省エネ

ギーが、節電意識や取組みレベルの低下傾向を補うというような、節電要因の変化が起こっている可能性が高いことを明らかにした。この調査結果は、電気事業者による需要想定にとって重要な知見である[Y14013][Y14014]。

## 2 スマートメータデータの活用に向けた需要分析技術の動向と予備的検証

着実に導入が進むスマートメータのデータを活用することを念頭に、住宅4世帯の電力需要の実測値を1時間、100Wh単位に変換したデータを①気温感応需要、②変動需要、③固定需要の3種類に回帰分析により分解

し、気温感応需要が冷暖房需要と比較的良く一致することを確認した(図3)。本手法は、系統最大電力を抑制するため、節電アドバイスの提示や、暮らしに役立つ新サービスの提案などに活用することが期待できる[Y14003]。

## 3 太陽光発電大量導入時における電圧上昇対策の費用対効果分析

配電線に連系された太陽光発電(PV)からの逆流により発生する配電線の電圧上昇対策として、無効電力を補償する方法がある。近年、PVの設置場所に近い需要家側に補償装置を設置することが提案されている。無効電力補償による電圧上昇対策のコスト分析手法を開発し、4種類の設置方法(表1)について、様々なPVの導入パターンに対し、対策

費用を最小にする設置方法とその際の必要容量を算出した。柱上設置ケースや需要家設置ケースは最適配置により装置容量を少なくできるため、総容量が最少となる(図4)。これらのケースは、逸脱箇所に応じて装置を最適に配置することから、PVの普及率が低く、電圧逸脱が局所的に発生しているような場合に費用対効果が高い[Y14010]。

## 4 米国におけるアンシラリーサービス供給のための需要側資源の活用動向

米国の主要な6つの系統運用機関(ISO)/地域送電機関(RTO)における、アンシラリーサービス供給源としての需要側資源活用動向について、主に文献により調査した(表2)。我が国が注目すべきISO/RTOは、周波数調整の観点では、最大需要や風力・PV導入割合を考慮するとテキサス州電力信頼度評議会(ERCOT)である。また、太陽光発電が大量導入される予定の我が国では、同じく太陽光発

電の導入が進むカリフォルニア独立系統運用者(CAISO)についても今後の動向には注目が必要となる。我が国で需要側資源をアンシラリーサービス供給源として利用する際は、需要側資源の信頼度を確認しながら徐々に導入量を増やすこと、需要側資源の応答性の評価方法を設定し、信頼度を維持できる資源のみが参加できるような制度にすることが重要である[Y14011]。



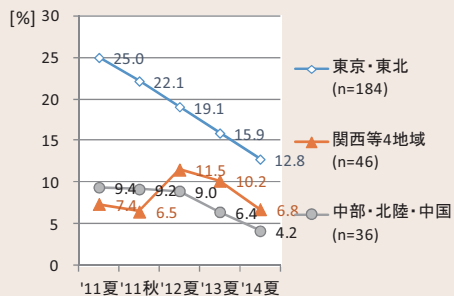


図1 夏期の業務系事業所(オフィス他)における照明の間引き率の推移

震災前に比べた蛍光灯や電球の数の削減割合は低下している。推移は、間引き不実施の事業所における間引き率をゼロとし、2010~14年すべてのデータを有するサンプルのみを集計した。



図2 家庭部門における主な用途の節電意識

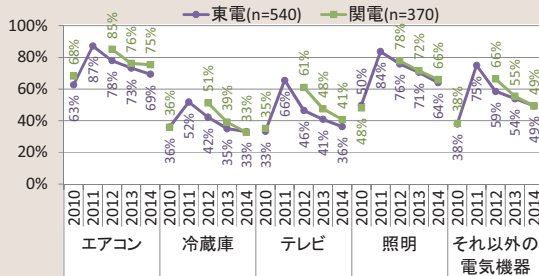


図3 時刻別の気温感応需要の推定結果(年間平均、朝時間に冷暖房を多用する世帯の例)

ある世帯における気温感応需要(推定値)の年間平均を、冷暖房需要(参考実測値)と比較すると、深夜から早朝にかけては冷暖房をほとんど利用せず、7時頃から利用し始めて一度需要ピークを迎え、昼間時間帯に利用が一旦低下し、夕方以降再度需要ピークを迎える傾向を再現できていることがわかる。

表1 無効電力補償装置の設置ケース設定

ケース名	無効電力補償装置のタイプ	設置箇所
高圧設置	静止型無効電力補償装置(SVC)	● 高圧線の末端ノード ● 設置容量は300kVA ごとの離散値
PVノード設置	需要家が所有するインバータ機器	● PVを設置したノード
需要家設置	あるいは専用機器	● 全需要家ノードのうち、総容量が最小となるように最適配置
柱上設置	柱上設置機器	● 全柱上ノードのうち、総容量が最小となるように最適配置

総容量が最も小さいのは需要家設置ケースと柱上設置ケースで、次いでPVノード設置ケース、高圧設置ケースの順となった。無効電力補償による電圧上昇抑制効果はリアクタンス分に左右されるため、リアクタンス分の小さい低圧引込線の手前に設置する柱上設置ケースと後方に設置する需要家設置ケースは、ほぼ同容量となった。

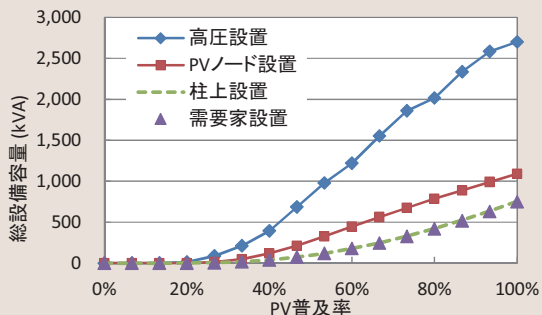


図4 無効電力補償装置の総設備容量(乱数を使って作成した、1000通りのPV導入パターン)の平均値を算出した結果)

表2 各ISO/RTOにおけるアンシラリーサービス供給型DR(AS/DR)の導入状況

ISO/RTO	ERCOT	PJM	NYISO	ISO-NE	MISO	CAISO
最大需要 (MW)	68,305 (2013年)	163,848 (2011年)	33,956 (2013年)	27,379 (2013年)	130,000 (2011年)	46,847 (2013年)
風力・PV導入割合 (最大需要比)	16.1% (2013年)	6.5% (2012年, 2013年※1)	4.3% (2013年)	4.7% (2013年)	9.2% (2013年)	22.3% (2013年)
AS/DR制度の有無	○	○	○	○	○	×
周波数調整型DR 参加状況	37 MW (2014年)	2.46 MW (2013年)	100MW※3 (2012年)	—	—	—
瞬動予備力型DR 参加状況	3,300 MW (2014年)	605.521MWh※2 (2013年)	—	—	—	—

ERCOT: テキサス州電力信頼度評議会, NYISO: ニューヨークISO, ISO-NE: ISO ニューイングランド, MISO: ミッドコンティネントISO, CAISO: カリフォルニアISO  
 ※1 州により集計時期が2012年, 2013年と異なる  
 ※2 契約容量[kW] × 契約時間数[h]の積  
 ※3 周波数調整と予備力の合計

風力発電の導入が著しく、他の系統との交流連系のないERCOTでは、早い応答を要する瞬動予備力向けに需要側資源を活用している。一方、周波数調整に需要側資源を活用することは、どのISO/RTOでもまだ試験段階か、もしくは活用されていない。

## 重点(プロジェクト)課題 - 次世代電力需給基盤の構築

## 次世代ヒートポンプの開発と評価

## 背景・目的

ヒートポンプは、省エネルギー・CO<sub>2</sub>排出削減技術として国内外で大きな注目を集めており、更なる高効率化、低コスト化、コンパクト化、低GWP(地球温暖化係数)冷媒の利用、適用可能な熱需要分野と地域の拡大が望まれている。

本課題では、家庭・業務用の給湯・暖房や産業用の加熱プロセスなどの熱需要分野を対象に、高性能ヒートポンプの商品開発と性能評価を行い、ユーザにとって魅力的で、かつ、省エネルギー・CO<sub>2</sub>排出削減に優れた機器の市場への投入と普及促進に貢献する。

## 主な成果

1 家庭用CO<sub>2</sub>冷媒ヒートポンプ給湯機のエネルギー消費効率等の評価

様々な家庭用CO<sub>2</sub>冷媒ヒートポンプ給湯機(エコキュート)を対象に、給湯負荷や外気温・湿度等を変えた場合のエネルギー消費効率等を明らかにした。今回得られた様々な条

件下でのエネルギー消費効率等は、ヒートポンプ給湯機に関する国の省エネルギー基準策定等に活用する。

## 2 業務用ヒーティングタワーの着霜・除霜特性の解明

外気から熱を奪いヒートポンプが暖房用の温水を生成する際の熱源として利用されるヒーティングタワー\*1を対象に(図1)、外気温・湿度や除霜方式等を変えた場合の着霜・除霜特性\*2等を明らかにした。また、エネ

ルギー消費量が少なく、かつ短時間に霜を融かすことが可能な新しい除霜方式を考案した。今回得られた着霜・除霜特性や新しい除霜方式等は、ヒーティングタワーの性能向上や適用地域拡大等に活用する。

## 3 産業用蒸気生成ヒートポンプの蒸気生成量等の評価

蒸気生成ヒートポンプSGH165\*3を対象に(図2)、熱源水入口温度や生成蒸気圧力等を変えた場合の蒸気生成量やシステムCOP\*4等を明らかにした(図3)。また、蒸気の生成・利用に関するユーザ等へのヒアリング調査を行

い、蒸気生成ヒートポンプ普及のための課題等を明らかにした。今回得られた機器性能、ユーザ要望、普及課題等は、蒸気生成ヒートポンプの改良や新技術開発等に活用する。

\*1 外気(屋外空気)からブライン(不凍液)が熱を奪うための熱交換システムで、加熱塔とも呼ばれる。ブラインが外気から奪った熱は、ヒートポンプが暖房用の温水を生成する際の熱源として利用される。ヒートポンプが冷房用の冷水を生成する際には、ブラインが外気へ熱を捨てるためのクーリングタワー(冷却塔)となる。電力3社とメーカーによる共同開発商品で、東京スカイツリー等にて稼働中。

\*2 ヒーティングタワー(HT)が0℃近傍の低温・高湿な外気から熱を奪う際に、外気に含まれる水分がHTの伝熱管の外表面に付着・凍結する現象を“着霜”と呼ぶ。また、伝熱管の外表面で成長した霜は、外気から熱を奪う際の妨げ(熱抵抗&外気流れ遮蔽)となるため、この霜を融かす“除霜(デフロスト)”が必要となる。

\*3 各種工場における加熱プロセス(殺菌・濃縮・乾燥・蒸留など)に使用される蒸気(スチーム)を作るヒートポンプ。40~70℃程度の排温水から熱を奪って蒸気を生成する。生成蒸気温度が120℃のSGH(スチーム・グロウ・ヒートポンプ)120と、165℃のSGH165の2機種がある。電力3社とメーカーによる共同開発商品で、バイオエタノールの製造工場等にて稼働中。

\*4  $\{生成した蒸気の熱量\} \div \{機器全体の電力の消費量\}$ で求めるエネルギー消費効率。この値が1を超えるのは、蒸気生成に熱源水(工場の排温水)から奪った熱を利用するため。

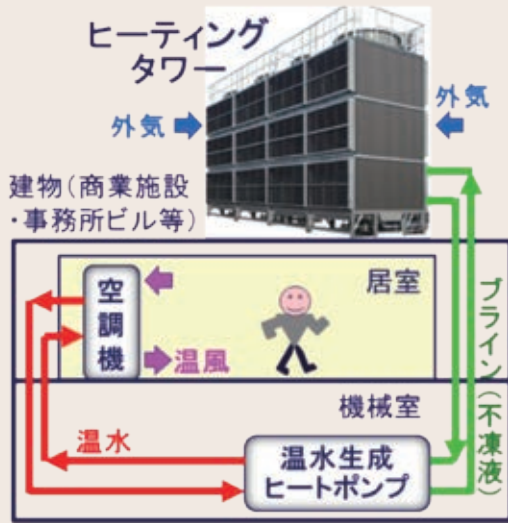


図1 ヒーティングタワーの適用イメージ

- ・ヒーティングタワーにおいて、ブライン（不凍液）が外気から採熱する。
- ・温水生成ヒートポンプがブラインから採熱して温水を製造する。
- ・空調機において、温水が室内空気に放熱して居室を暖房する。

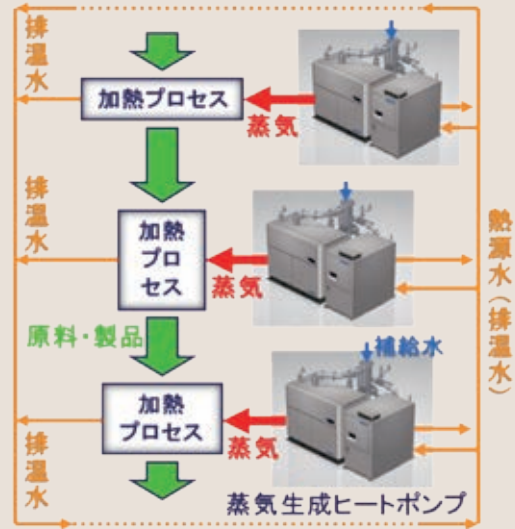


図2 蒸気生成ヒートポンプの適用イメージ

- ・蒸気は、工場内の様々な加熱プロセスで使われた後、液化して排温水となる。
- ・この排温水の持つ熱を回収することにより、排熱の有効利用が可能となる。
- ・排熱回収温度が高いほど、蒸気生成ヒートポンプのエネルギー消費効率は向上する。

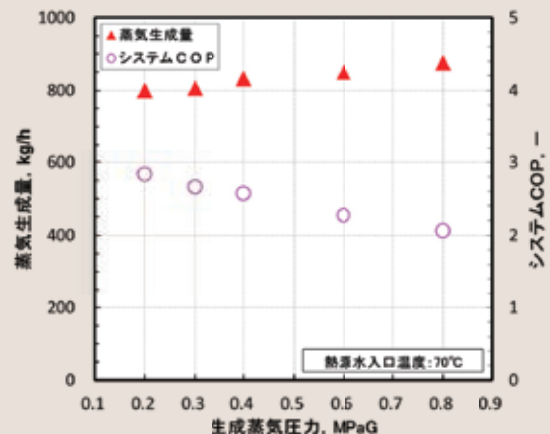
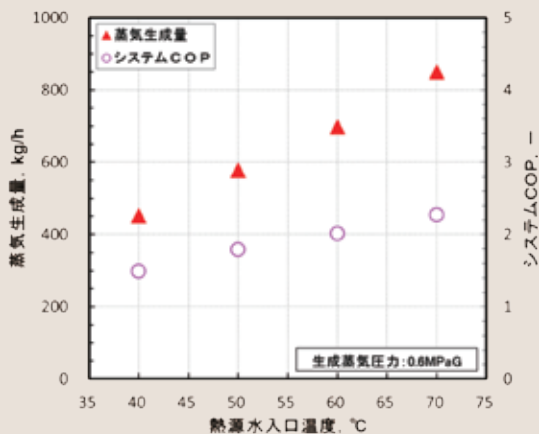


図3 蒸気生成ヒートポンプSGH165の性能評価結果

左図は熱源水（工場の排温水に相当）のヒートポンプ入口温度を、右図は生成する蒸気の変えた場合の蒸気生成量（▲）とシステムCOP（○）を表す。SGH165の定格運転条件は、生成蒸気圧力0.6MPaG（飽和蒸気温度165℃）、熱源水入口温度70℃。

### 重点課題 - 次世代電力需給基盤の構築

# 高性能二次電池評価技術の確立

#### 背景・目的

効率が高く、応答性のよい二次電池は、電力貯蔵のみならず、太陽光発電や風力発電等に対して電力系統を安定に保つために利用することが期待されており、長期にわたる運用に必要な寿命特性の把握や、安全性をさらに向上する技術が重要である。

本課題では、高いエネルギー密度と充放電

効率が期待できるリチウムイオン電池(Liイオン電池)の容量変化要因を明らかにし、電池寿命を把握できる技術の確立を目指すとともに、長寿命化、安全性向上の観点から電池材料評価技術を開発し、合理的な電池の導入および運用方法の開発に貢献する。

#### 主な成果

### 1 充放電サイクル劣化試験による電池容量変化の測定

実用的な定置用二次電池として、チタン酸リチウム(LTO)を負極としたLiイオン電池\*1を用い(図1)、定電流充放電によるサイクル劣化試験を行った。サイクル試験は劣化を加速するため45℃にて行い、寿命評価のためのデータとして電池容量の変化を定期的に

25℃で取得した[Q14009]。ほぼ1年間で最大5000サイクルのサイクル劣化試験を実施した結果、最も容量が変化した電池で初期の98.9%以上を維持し、本電池は長寿命な特性を持つことが明らかになった。(図2破線Q)

### 2 電池容量変化量の解析手法

電池の劣化には様々な因子があるため、電池の劣化特性を把握するには、容量変化を因子毎に分離し、その特性を把握することが重要である。電池容量の低下量を大別すると、通電せずに保存するだけで低下する容量(エージング因子: $\Delta Q_t$ )と充放電(通電)により低下する容量(通電因子: $\Delta Q_e$ )となる。

充放電を繰り返すサイクル劣化試験では通電因子のみを分析できないため、通電を行わずに保持する保存劣化試験からエージング因子を求め、通電により低下した電池容量( $Q_e$ )を解析する手法を考案した(図2)。この手法により、初期容量と通電により低下した容量の差分として、通電因子の定量化が可能となった。

さらに、複数条件の通電電流値を用い、

電池の容量確認試験を行うことで、通電因子を電池の内部抵抗の影響を受けない因子( $\Delta Q_{eC}$ )と受ける因子( $\Delta Q_{eR}$ )に分離できることを明らかにした(図3(a))。電池の内部抵抗の影響を受ける通電因子( $\Delta Q_{eR}$ )は、充放電試験時間の平方根に比例して増加することから、一般的に言われる電極表面の被膜成長に起因するものと示唆される(図3(b))。

これらの解析手法により、電池の容量低下をエージング因子と通電因子のうち内部抵抗の影響を受ける因子と受けない因子の3つに定量的に分離することが可能となり(図4)、それぞれの容量変化メカニズムを明らかにすることで、電池の劣化評価を定量化し、電池の長期運用方策の立案に活用できる。

\*1 株式会社東芝製SCiB™、定格容量20Ah。





図1 本研究で用いたリチウムイオン電池と充電電  
試験装置

試験温度を一定に制御する恒温槽内(写真右)に単電池  
(写真右下:株式会社東芝提供)を設置し、連続試験が  
可能な充電電源(写真左)による充電を行った。

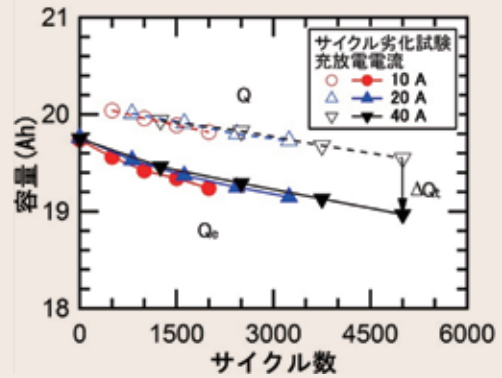


図2 サイクル劣化試験後の放電容量Q、エージング  
因子( $\Delta Q_t$ )を除外した通電により低下した容  
量 $Q_e$ のサイクル数依存性

サイクル劣化試験の放電容量Qからエージング因子  
 $\Delta Q_t$ を取り除くことで、通電(充電)により低下した  
容量 $Q_e$ が得られる。エージング因子 $\Delta Q_t$ は保存劣化  
試験前後の電池容量の差として求める。プロットは各  
条件3サンプルの平均値。

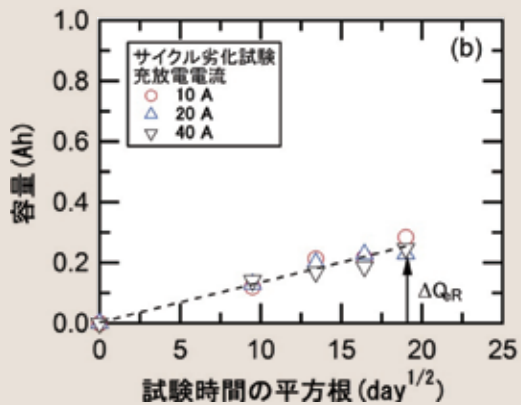
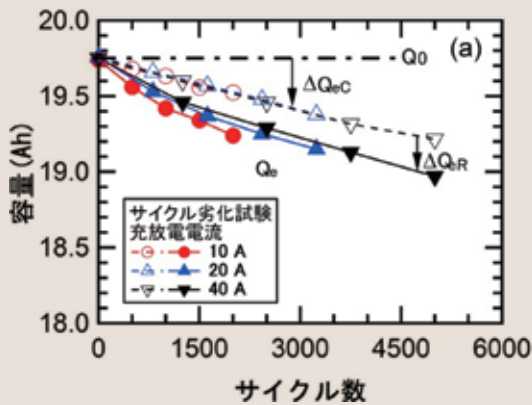


図3 サイクル劣化試験時の、通電因子のうち内部抵抗の変化によらない変化量( $\Delta Q_{ec}$ )、および内部抵抗の  
変化による変化量( $\Delta Q_{eR}$ )のサイクル数および運転時間依存性

容量確認試験時の電流値(10Aと20A)に対して放電容量をプロットし、この二点を結ぶ直線を電流値0Aに外挿す  
ることにより、内部抵抗分極が限りなく小さくなったとみなす電流0Aの時の仮想的な容量( $Q_{ec}$ )を算出した。この  
仮想的な0A の容量( $Q_{ec}$ )の初期容量( $Q_0$ )からの変化量を $\Delta Q_{ec}$ とし、通電因子( $\Delta Q_e: (Q_0 - Q_e)$ )から $\Delta Q_{ec}$ を引  
いた残りを $\Delta Q_{eR}$ とした。プロットは各条件3サンプルの平均値。

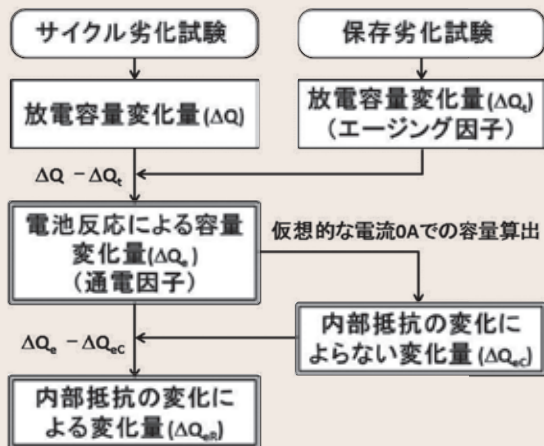


図4 本研究の容量変化量解析フロー図

サイクル劣化試験による放電容量Qから、通電によら  
ず自然に変化する放電容量変化量であるエージング  
因子( $\Delta Q_t$ )を差し引くことにより、通電により変化す  
る放電容量 $Q_e$ が求まる。さらに通電因子( $\Delta Q_e$ )を内  
部抵抗の変化による変化量( $\Delta Q_{eR}$ )と内部抵抗の  
変化によらない変化量( $\Delta Q_{ec}$ )に分離する。

## 基盤技術課題

## 社会経済研究所

## 概要

社会経済研究所は、経済社会やエネルギー情勢の変化に対し、堅固で柔軟な電力供給構造に必要な制度や技術を多面的に評価し、今後の社会における電気事業のあるべき姿や、電力技術開発の目標と順位付けを示すことを目指し、研究を展開している。

課題毎の  
概要と  
主な成果

## 電気事業経営

当面の電力システム改革への対応を終えた後の電気事業の姿や、その際の事業戦略、成長分野や重視すべき経営資源について、参考となる諸外国の事例分析を行うとともに、望ましい方向性を提示する。

■小売自由化によって地域独占が撤廃された後、既存の電気事業者と供給地域の関係性に変化が生じる中で、事業者の「地域密着戦略」が成立し得るのかを、イギリスの既存電気事業者SSE（元スコティッシュ&サザンエナジー）の事例等をもとに検証した。その結果、競争が活性化し、かつ電力需要が減退しているイギリスにおいても、SSEは民営事業者でありながら、地域密着戦略を維持していることを明らかにした。ただし、これを中長期的にも持続可能なものとするためには、地域内において新たな価値を継続的に提供することが必要となっている[Y14008]。

■小売全面自由化後のイギリスやドイツでは、主要エネルギー事業者の料金メニューの多様化が進み（表1）、電力の購入先を変更していなくても、料金メニューを変更する需要家が少なくないことが調査によりわかった。また、電力・ガス販売以外のサービスを提供し、多くの利用者を獲得している事業者もあること（例：イギリスのCentrica）、サービスの提供には対面の顧客接点や多くの従業員がサービス技術者として活用されていることなどを明らかにした[Y14023]。

## 経済・社会システム

高齢化社会の進展、産業活動の動向が、日本経済やエネルギー・電力需要に与える影響を分析し、電力需要の想定に資する情報を提供するとともに、電気事業が直面する社会経済面からのリスクを提示し、その影響を定量的に評価する。

■地域別・世帯形態別世帯数の変化を予測した結果、各地域の高齢者単独世帯の比率が、2010年の8～12%から、2030年には13～18%まで上昇することがわかった。さらに、節電による需要減少率や電化率は一定という条件の下、各地域の世帯形態の変化が2010～2030年の世帯当たり電灯需要に及ぼす影響を分析した結果、単独世帯数の増減等により、首都圏のみ年率0.04%増となるが、他の10地域は減少し、全国で0.04%減となることが明らかとなった（図1）[Y14009]。

■近年新たに整備された「都道府県別エネルギー消費統計」データを活用し、地域別産業用・業務用電力需要の動向分析を行った結果、産業部門の電力需要は東京や関西を中心に落ち込む一方、業務部門は全国的に伸びていることがわかった。さらに、電力需要の変化要因を分析した結果、観測期間（1990～2010年）を通じて電気料金は低下傾向にあったが、料金低下による需要増への影響は限定的であることが明らかとなった[Y14015]。

## エネルギー技術評価

再生可能エネルギーの大量導入や原子力発電の長期停止等の状況の中、従来のエネルギーシステム分析手法では扱えない制度的・技術的課題に対し、今後の持続可能なエネルギーの安定供給に資する、実効的な対策立案のための新たな方法論を開発・整備する。

課題毎の概要と主な成果

■ 太陽光・風力発電の大量導入時に、電力の需給バランスだけでなく、LFC\*1調整力の確保や部分負荷運転による発電効率低下等も考慮して電源構成と電源運用を最適化する手法を開発した。本手法により、大量導入による系統電源の削減量や運転モード\*2の変更、太陽光・風力の出力抑制の必要量等が決定され、その際の増分コストを把握することができる[Y14002]。

■ 陸上・洋上(着床式・浮体式)ウィンドファームのライフサイクルCO<sub>2</sub>排出量(LC-CO<sub>2</sub>排出量)評価を行った結果、浮体式洋上ウィンドファームでは浮体の素材所要量が大きく、陸上及び着床式洋上ウィンドファームのLC-CO<sub>2</sub>排出量と比較して4倍程度のLC-CO<sub>2</sub>排出量となることを示した。本評価により、過去の成果と併せて、2009年基準による電源間LC-CO<sub>2</sub>排出量比較を完成した(図2) [Y14018]。

\*1 負荷周波数制御。電力系統の周波数偏差等を検出・伝送して発電機出力を自動制御する。比較的短周期の需給調整を担う。  
\*2 定格運転、部分負荷運転、バンキング(埋火)、停止、プレヒーティングの5運転モード。

表1 イギリス、ドイツの主要エネルギー事業者における料金メニュー・サービスの多様化の現状

	イギリス				ドイツ	
	Centrica/British Gas	SSE	E.ON UK	EDF Energy	RWE	E.ON
料金メニュー (付属サービス含む)	変動料金(単価変動)	○	○	○	○	○
	固定料金(単価固定)	○	○	○	○	○
	電気・ガスセット販売	○	○	○	○	×
	グリーン電力料金	×	×	×	×	△(受付停止中、2015年2月)
	オンラインアカウントを利用	○	○	○	○	○
有料サービス (電力等の契約とは別に利用可能)	給湯・暖房機器	・機器販売・設置 ・メンテナンス	・機器販売・設置 ・メンテナンス	×	メンテナンス	×
	HEMS 関連機器	・暖房制御ツール	・暖房制御ツール	×	・暖房制御ツール	・HEMS 関連機器(空調照明制御ツールなど)
	その他	・電気機器、キッチン・ガス機器メンテナンス ・排水管メンテナンス ・EV急速充電システムなど	・配線点検など ・通信サービス	×	×	・エネルギーコンサルティング(節電アドバイス) ・省エネ機器販売 ・EV急速充電システム、住宅用太陽光発電、蓄電池

○:あり, ×:なし, △:提供されているが利用が制限されているもの。

(出所) 各社ウェブサイトに基づき、電力中央研究所にて作成。

小売全面自由化後のイギリスやドイツでは、主要エネルギー事業者の料金メニューの多様化が進み、電力・ガス販売以外のサービスを提供し、多くの利用者を獲得している事業者もある。

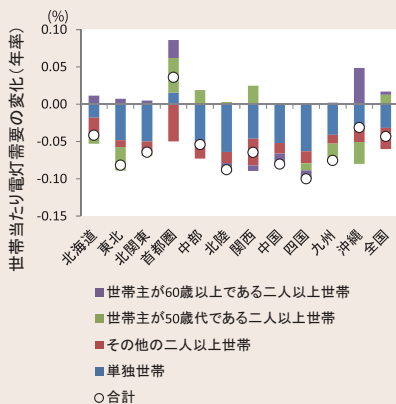


図1 2010～2030年における世帯当たり電灯需要の変化(年率、%)

節電による需要減少率や電化率は一定とした場合、世帯当たり電灯需要は、単独世帯数の増減等により、首都圏のみ年率0.04%増加するが、他の10地域は減少し、全国で0.04%減となる。

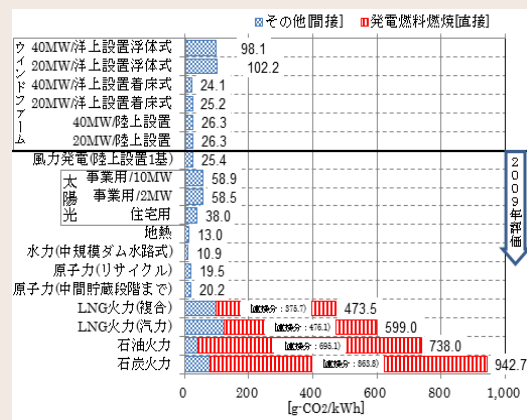


図2 2009年基準による電源別LC-CO<sub>2</sub>排出量比較

浮体式洋上ウィンドファームのLC-CO<sub>2</sub>排出量は、浮体の素材所要量が大きいことから、陸上及び着床式洋上ウィンドファームのと比較して4倍程度となる。これにより、2009年基準による電源間LC-CO<sub>2</sub>排出量比較を完成。



## 基盤技術課題

## システム技術研究所

## 概要

システム技術研究所は、大規模電源や分散形電源によって発電された電力を需要家に安定に供給するための電力システム、配電システム、通信システムにおける計画・運用・制御技術や解析技術、電気を有効に利用するための需要家サービス技術の開発・試験・評価などに取り組んでいる。

課題毎の  
概要と  
主な成果

## 電力システム

電力の経済的かつ安定な供給を支える基盤技術として、電力システムの解析・評価技術、制御・保護技術を開発する。また、これら基盤技術をもとに、再生可能エネルギー導入拡大、広域連系・運用の進展等の重要課題への対応策を明らかにし、社会への的確な情報発信を行う。

■再生可能エネルギー大量導入による常時の周波数の調整力不足等の需給への影響が懸念されている。この影響を検討するため、調整電源の主体である火力(汽力およびコンバインド)プラントについて、設定が簡易で、様々な発電プラントに汎用的に利用できる需給・周波数制御シミュレーション用モデル\*1を開発した。シミュレーション結果と実機応動の対比により、開発モデルが良好な解析精度を有していることを検証した[R14018]。

■広域連系へ対応するための周波数変換・直流連系設備の増強が計画されている。その設備の性能の向上に有効なモジュラーマルチレベル変換器(MMC)\*2の一種であるフルブリッジMMCに適用可能な新しい制御方式を開発した。開発した制御方式により、従来では不可能であった設備の高速な起動(長距離直流送電時)や、交流電圧上昇時の運転継続が可能となる[R14016]。

## 需要家システム

省エネルギー・負荷平準化支援技術として、空調を中心とした住環境マネジメント技術の開発や業務用電化厨房の換気設計基準の提案を行うとともに、電力品質維持のための合理的な高調波抑制法、分散形エネルギーシステムの自律分散制御方式を開発する。

■省エネルギーと快適性の両立を支援するため、様々な家庭用エアコン機種を対象とすることができ、部屋の気温や気流分布に応じて家庭用エアコンの消費電力を推定するための熱源特性モデルを開発した[R09]。さらに、同モデルを活用し、多様な住まい方に対応できる、エアコン選定の支援ツールを作成した[R14010]。また、同モデルを組み込んだ室内温熱環境設計ツールCADIEE-Airflowの暖冷房時の気流環境と電力消費の計算精度を検証した[R14005]。

■配電線に連系された負荷から発生する高調波電流は、電圧ひずみを引き起し、一般に第5次高調波電流が最も大きく影響することから、その対策技術を開発する必要がある。そのため、実際の配電線に連系された負荷毎の第5次高調

波電流の時間推移を分析することにより、その原因が負荷構成の違いであることを明らかにした[R14002]。さらに、地域の負荷種別構成に応じた第5次高調波電流を推定し、力率改善用コンデンサなどの高調波電圧への影響を明らかにした[R14011]。

■需要地域のエネルギーシステム(コミュニティ)の経済性評価のためのコミュニティ評価モデルを構築した(図1)。同モデルを用いた年間シミュレーションにより、現状の各種料金体系におけるコミュニティ運用者の利益を試算した。この結果、商業地域にコジェネを導入し、排熱の利用・販売まで行うとほぼ全てのケースで利益が得られること等を明らかにした[R14017]。

## 通信システム

電力設備の運用・制御に必要な電力用通信ネットワークの高い信頼性を確保するため、通信システムの耐障害性向上技術、電力設備被災時の復旧支援通信システム構築技術及び制御系システムのセキュリティ技術を開発する。

■マイクロ波無線設備では雷による導波管からのサージ電流の侵入が問題であり、耐雷性向

上のために、導波管の代わりに光ファイバを活用する方式を開発している。通信鉄塔のアンテ



課題毎の  
概要と  
主な成果

ナ近傍に設置するための屋外仕様の無線送受信装置を試作し、信号の送受信と駆動電源の供給の双方を、光ファイバのみで可能であることを実証した。さらに、実無線機からの信号を本方式に適用した際の通信特性を評価し、従来の構成と同等の通信品質が得られることを示した[R14006]。

■災害時に有人拠点と現場間の臨時回線を長距離マルチホップ無線LANを用いて構築する際、音声・テレビ電話に必要な通信速度が確保可能な範囲(通信距離)をフィールドでの実測により明らかにした。さらに、迅速・確実に回線を構築するために、現場作業員により実施する必要がある作業(アンテナの方向調整や受信レベルの確認など)を抽出し、基本構築手順を考案した。

情報数理

数理的手法を活用した情報技術により、電力設備の保守・点検業務に活用できる画像処理・機械学習技術、大規模で複雑なシステムについての最適化技術の開発などを進める。

■水力発電所では、点検時に水車羽根の壊食を計測し、水車羽根の更新時期を決定している。効率的に点検作業を進めるため、簡便に壊食部の深さを計測できることが望まれている。点検時の取扱いが容易な小型カメラに小型レーザと固定足を取り付け、三角測量の原理で壊食

部の深さを計測する計測装置を考案、試作した(図2)。試作装置を用いて、水車羽根の壊食部の深さを計測した結果、計測誤差が0.5mm以下となり、点検時に壊食部の深さを計測できる見通しを得た[R14008]。

\*1 出力指令値の変更および常時の周波数変動(±0.2Hz程度)に対する出力の変化を精度良く解析できるモデル。

\*2 半導体を用いたオンオフスイッチの最小単位(セル)を多段に接続する次世代型の交直流変換器。高電圧化・大容量化が期待されている。

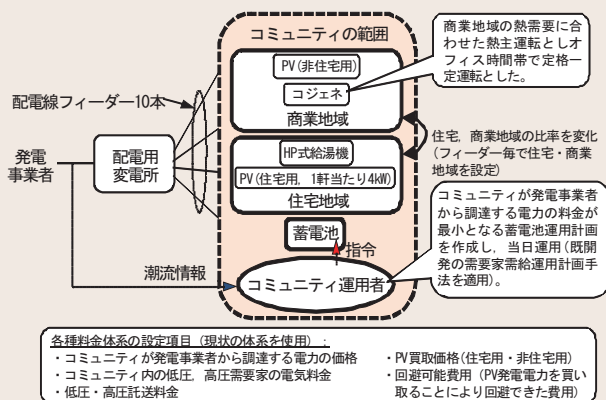


図1 コミュニティ評価モデル

コミュニティ内の各住宅需要家の需要家機器(ヒートポンプ式給湯機、蓄電池)、コミュニティ構成機器(蓄電池、コージェネ)の各経済運用を考慮した電力・熱需給シミュレーションにより、コミュニティの構成形態(PV導入率、住宅・商業地域の比率、コミュニティ蓄電池・コージェネの容量)とコミュニティ運用者の利益との関係を分析できる。



図2 試作した壊食部深さ計測装置

壊食部に直線状のレーザ光を照射し小型カメラで撮影すると、撮影した画面上ではレーザ投影線の位置が壊食部の深さに応じて移動する。この画像をWiFi経由で携帯端末上に表示する。携帯端末の画像にレーザ投影線の位置が移動した変位量を計測するための目盛を表示し、利用者は変位量を読み取ることで壊食部の深さを計測できる。

## 基盤技術課題

## 原子力技術研究所

## 概要

原子力技術研究所は、軽水炉の再稼働、安全・安定運転および福島第一原子力発電所事故の着実な収束に向けた活動を支える基盤技術開発を推進し、原子力エネルギー利用が社会に受け入れられることを通じて、エネルギー問題や地球環境問題の解決に貢献することを目指している。

## 課題毎の概要と主な成果

## 原子炉システム安全

軽水炉の継続的な安全向上のためには、事故防止方策および発生した場合の緩和技術、緊急時における原子炉システム安全に関する信頼性向上技術、および運転時の高い信頼性を保つための技術が重要となる。そこで、関連する熱流動およびリスク情報活用に関する基盤技術を構築する。

■ 原子炉の過酷事故緩和策として要求されているフィルタベント装置について、ヨウ素除染性能試験を実施し、実機の運用範囲において高い除染性能が得られることを確認した(図1)。

■ 過酷事故時の炉心冷却特性を明らかにするため、模擬燃料棒を正方格子に組立てたバンドル試験体を用いて沸騰二相流動試験を実施した。大気圧条件下でのバンドル内流動(気泡の径や割合など)を径方向熱出力分布や、流速、水温の関数として数式化することで定量的に評価することを可能とした。

■ 原子力安全推進協会(JANSI)の国内機器一般故障率パラメータならびに起因事象発生頻度のベイズ推定手法において、事象件数が稀な場合に

生じるモンテカルロ計算の収束性の問題を改善する方法を開発した。JANSIは国内機器一般故障率を29ヵ年データに更新する予定であり、その更新に本ベイズ推定手法が適用されることとなった。

■ 実機プラントで想定される湿り蒸気中の圧力脈動による機器配管の振動疲労評価のため、脈動源の一つである配管分岐部の音響共鳴について、湿り蒸気中の液滴が共鳴周波数に及ぼす影響を定量化した。その結果、湿り度が数%以上で共鳴周波数が数百Hz以下の場合には、液滴による共鳴周波数の低下が機器配管の振動疲労評価において無視できないことが明らかとなった[L14006]。

## 燃料・炉心

軽水炉の燃料と炉心の安全性を向上させるため、被覆管の腐食・劣化機構の解明、事故時の燃料の特性と挙動の解明、炉心解析技術の高度化などを進める。また、熔融燃料の特性評価や未臨界度測定技術開発などを進め、福島第一原子力発電所の廃止措置に貢献する。

■ 大型放射光施設SPring-8の高強度マイクロビームX線を用いて、被覆管表面の酸化膜内部の応力分布を測定した。酸化膜の結晶の向きが揃っている場合は、高応力状態での酸化膜の破壊、酸素や水素の被覆管表面への侵入が抑制される結果、被覆管の耐食性が維持されることが明らかとなり、酸化膜の結晶の向きを制御すれば、被覆管の効果的な改良が可能となる見通しが得られた。

■ 炉心熔融事故における熔融物の層状化や構造材の破損に関わる現象の解析を目指して、物

体を粒子の集合として取扱う解析手法(粒子法)に熱伝達、表面張力、熔融・凝固等のモデルを組入れた大変形や分裂飛散、熔融凝固等の相変化を計算できる解析コードを開発した。燃料棒と制御棒の熔融・落下や熔融燃料の炉内の挙動などの複雑な現象を忠実に再現できる見通しを得た。

■ 使用済燃料の反応度低下を考慮して使用済燃料貯蔵施設等の設計合理化を図るためには使用済燃料の燃焼履歴情報を確認する方法が必要となる。そこで、約56GWd/tの高燃焼度使用済燃料

棒から発生するγ線を測定し、核分裂生成物の放射能比<sup>134</sup>Cs/<sup>137</sup>Csおよび<sup>154</sup>Eu/<sup>137</sup>Csを求めた。これらの測定値は燃料棒の燃焼履歴を考慮した解析値と概ね一致したことから、γ線測定に

基づく放射能比を用いた燃焼履歴情報の確認方法は、高燃焼度使用済燃料でも適用できることが明らかになった[L14003]。

## 燃料サイクル

六ヶ所再処理工場の早期竣工や新增設に向けて必要な試験等の実施や、過酷事故時の汚染拡大防止技術の開発を行うとともに、炉心熔融事故により発生する破損燃料の処理への乾式再処理技術の適用性評価等を実施することで、核燃料サイクルの実現に貢献する。

■再処理工場の使用済燃料溶解工程で発生し、ハル廃棄物(燃料被覆管の廃材)等に付着するモリブデン酸ジルコニウムに関し、付随する結晶水等の蒸発挙動を解明した。さらに、保管容器内のハル廃棄物が高温に晒された場合に発生する水蒸気による内圧上昇を評価し、廃棄物保管時の安全性評価に必要な知見を得た。

■福島第一原子力発電所の汚染水処理システムの運転を支援するとともに、港湾内の除染を目的とし、ゼオライトによる放射性核種の吸着・除去と、ゼオライトの再生および再生液からの放射性核種の沈殿分離の組合せにより、海水から効率よく放射性核種を回収する技術を考案した。

## ヒューマンファクター

平時のみならず緊急時においても適切に行動できる組織の構築に貢献するため、個人やチームの特性を活かしたヒューマンエラー未然防止方策、安全文化醸成方策などを開発する。

■良好事例調査を通じて、危険感受性向上手法の体系化を図り、いくつかの手法を組合せることで、「危険の恐怖」、「自己評価と現実の歪」、「他者からの評価」の3点を作業者に気づかせることが重要であることを明らかにした。これらに留意した教育訓練を行うことで、危険感受性向上教育の実効性向上が期待される。

■過度に詳細な安全ルールは結果に対して自信を与える一方で時間的負担感を誘発させるなど、作業者の心理プロセスに与える影響を考慮に入れた事象対策立案時の安全ルール導入方策体系を提案した。これにより、エラー対策として導入する安全ルールの過剰な導入の抑制が可能となる。

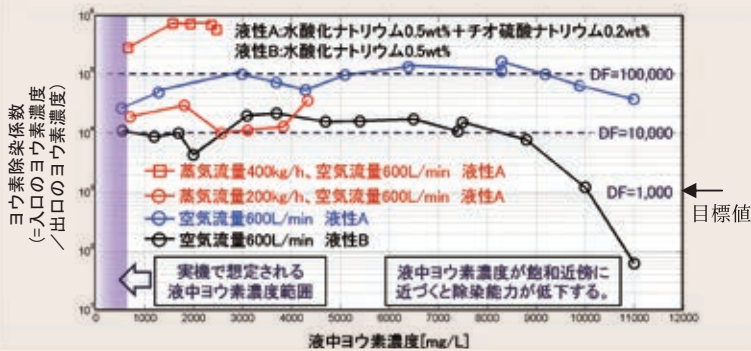


図1 ヨウ素のフィルターベントによる除染係数の実験結果

実高フィルターベント試験設備を用いてヨウ素の除染性能(縦軸)を溶液中のヨウ素濃度(横軸)に対して示す。図中左側の実条件(600mg/L)を超えた範囲でもヨウ素を1/1000以下に低減できることが示された。



## 基盤技術課題

## 地球工学研究所

## 概要

地球工学研究所は、電力施設に係る土木技術、自然災害対策、原子燃料サイクルバックエンド事業支援に必要となる、地圏科学、地震工学、構造工学、流体科学ならびに地下エネルギー利用技術に関わる基盤的研究を推進している。

課題毎の  
概要と  
主な成果

## 地圏科学

電力施設の立地、建設、維持管理に関わる課題解決のため、断層活動性、火山噴火規模、地下構造物の安定性、地下水による物質移行に関する評価法を高度化する。

■岩盤内の断層破碎帯において、ヘリカルX線CTスキャナなどを用いて最新の断層面を求め、それに沿う鉱物の破壊の有無を電子顕微鏡などにより解析し、断層の活動性を評価するフローを電力会社と協力して確立した。

■主断層(横ずれ断層)の周辺に副断層が分布する状況を想定し、動力学的断層破壊解析に基づいた活断層周辺の副次的な断層の変位量解析を実施した。これにより、敷地周辺の主断層が地震により活動した時の敷地内での地表変位を評価できることを示した[N14007]。

## 地震工学

電力施設・設備における、地震を中心とした自然災害への対応・対策法を確立するとともに、コストを抑えた維持管理手法を構築する。

■変電機器の耐震設計における全国一律の地震力の妥当性を評価するため、今後100年で全国の変電所が見舞われる震度を分析した。その結果、約9割が震度6弱以下であり、設計レベルの目安となることを明らかにした。さらに、震度6弱の地震動レベルを近年の地震データに基づき統計分析し、震度6弱の加速度応答スペクトルの平均レベルと現行指針の動的設計地震力が同等レベルであることを示した。

■高レベル地震動を入力したセンタークランプ方式ブッシングの加振試験により、ブッシングの非線形応答、並びに継続的な漏油被害となるブッシング下端からのパッキンはみ出しの実データを取得するとともに、実験結果を良好に再現できるファイバーモデル\*を用いた新たな解析手法を開発した[N14012]。

## 構造工学

鋼構造物・コンクリート構造物の安全性・信頼性の確保と寿命延伸に寄与するため、地震・風・雪等の自然外力や、塩害・凍害・温度変化等による経年変化を考慮した構造性能評価法を開発する。

■せん断破壊した鉄筋コンクリート部材の変形指標に基づく損傷評価法を構築するため、せん断裕度の小さい鉄筋コンクリート部材の静的載荷実験を実施し、部材の横膨張量とせん断破壊発生後の耐力低下との関係を明らかにした<sup>[1]</sup> (図1)。これにより、部材の横膨張量の計測値を介して、実際の部材の損傷レベルを判定することができる。

■フライアッシュのコンクリート用途での利用を拡大するため、相組成(セメント硬化体を構成する物質の種類と割合)の概念を用いたセメント硬化体の特性評価に着目した研究の現状を分析した。この結果、相組成の概念は、強度をはじめ多くの特性評価に応用できる可能性があるが、フライアッシュの品質変動や配合条件の影響も含めて検討した例は少なく、今後の技術開発が望まれることを明らかにした[N14014]。



## 流体科学

原子力発電設備への火山噴火や施設内火災等の影響評価、ならびに水力・太陽光・風力等の電力設備の建設・運用・保守・自然災害軽減に役立てるため、これら設備に関わる水・大気等の流体の流れを評価する基盤技術を開発する。

■ 気流解析の流入側境界条件として必要となる非定常流速を適切に与える手法として、気象場に応じて変化し得る乱流長さスケール(乱流中の渦の大きさ)等の乱流性状をパラメータとして与えつつ流れの各種保存則を満足する手法を確立した。本手法は、複雑な実在気流の再現性向上等に寄与し、電力設備の耐風設計や降下火山灰影響評価等における非定常気流シミュレーションへの応用が可能である[N14011]。

■ 鉛直加熱壁近傍の自然対流境界層における層流状態および乱流状態での熱伝達特性、流れ特性を、近似式を介さずに再現するためのシミュレーション手法を構築し、熱流動場が静穏な状態から空間偏差の大きい状態へ変化する様子を可視化した。本手法を火災シミュレーションツールに適用することで、発電所設備の耐火性能設計に資する[N14013]。

## 地下エネルギー利用

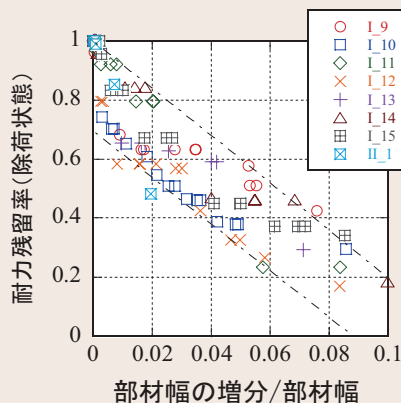
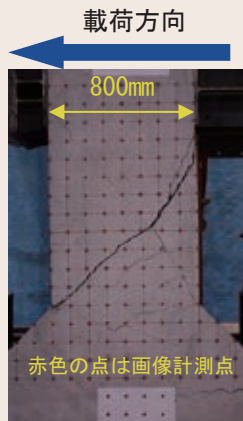
CO<sub>2</sub>地中貯留、地熱発電、大規模電力貯蔵、国産天然ガス開発等、地下エネルギー開発や地下空間利用に関する国内外の動向を調査し、必要な地下調査・評価技術を開発する。

■ 電気事業としてのCCSへの対応の検討に資するため、CCSの国内外の技術・政策動向について調査した[N14005]。カナダでは2014年に世界で初めて石炭火力発電所においてCO<sub>2</sub>の回収と貯留が商業ベースで開始された。これは国による発電所のCO<sub>2</sub>排出基準の設定や、CO<sub>2</sub>の石油増進回収への売却による利益が大きい。

■ 地熱発電の出力を安定させるための地熱増産システム(EGS)技術について、国内外の技術開発の現状を調査し、これらの汎用性を高めるため、①貯留層への人為的な注水による涵養、②貯留層の岩盤への亀裂造成による透水性改善、③人工的な貯留層の造成の3つに大別して課題をまとめた[N14017]。これらの課題解決により、EGS技術の汎用性向上に資する。

\* 有限要素法における梁部材の非線形モデルの一種、2方向曲げや軸方向との連成を考慮することができる。

[1] 宮川・永田・松村, 土木学会論文集E2, Vol.70, No.4, pp.402-416 (2014).



凡例の「I\_9~I\_1」は試験体番号であり、配筋(鉄筋量)や軸力(上載荷重)が異なる8つの試験体のデータをそれぞれ示している。

図1 鉄筋コンクリート部材の横膨張(見かけの部材幅の増大)と耐力低下の関係

ひび割れの拡幅がもたらす見かけの部材幅の増大(の部材軸に沿った最大値)を画像計測によって取得した(左)。グラフは、試験体別にマーカーを分けており、1プロットが1損傷時点の画像に対応している。部材幅の増大が、耐力残存率と密に関連していることがわかる(右)。

## 基盤技術課題

## 環境科学研究所

## 概要

環境科学研究所は、電力施設の円滑な立地や運用、低炭素社会の構築、さらに電気事業に関わる様々な環境リスクの軽減に向けて、大気・海洋・水域・生物・環境化学などに関わる基盤的研究を推進している。

課題毎の  
概要と  
主な成果

## 大気・海洋環境

原子力発電所等に関連した大気環境問題や放射性物質の海洋拡散等に対応するため、大気・海洋環境の予測・評価技術を開発する。

■原子力発電所の建屋近傍における排ガス拡散に対する大気安定度\*1の影響を評価するため、温度成層化した安定時の拡散計算が可能な数値流体力学モデルを開発した。本モデルを用いることにより、風洞実験よりも短時間・低コストで、強安定時の排ガス拡散を予測することが可能となった。

■生物起源粒子に吸着しやすい放射性核種の海洋拡散評価に資するため、北太平洋規模の高解像度領域海洋モデルに生物化学過程を組み込んだ。従来のモデルで考慮されていなかった植物プランクトンの役割を再現することで、放射性物質の沈降挙動の正確な評価が可能となった[V14009]。

## 水域環境

水力発電所に関連した河川・貯水池の水環境問題や、火力、原子力等の臨海発電所に関連した沿岸の環境問題の解決に向け、モニタリング技術や予測・評価技術を開発する。

■海洋レーダによる流動観測に自己組織化マップ法\*2を組合せることにより、沿岸流動のパターンやその出現頻度を解析する手法を開発した。本手法により、流速計による観測点の低減が可能となり、臨海発電所立地に係る環境影響評価における流動観測のコストダウンが期待される

[V14015]。

■水力ダムにおける水利権更新や通砂運用を支援する河川環境総合評価ツールの構築に資するため、河川生態系の健全性を評価する際の重要項目である藻類等の一次生産力を河川水の酸素濃度の連続測定により評価する手法を開発した[V14011]。

## 生物環境

電力の安定供給や保守合理化に貢献するため、付着生物・クラゲ対策技術、および鳥獣などの電力施設迷惑生物対策技術を開発する。また、電磁界の健康影響に関する社会一般の理解に資するため、商用および中間周波磁界の生物影響を解明する。

■送配電線や変電所での鳥獣に起因する短絡事故に関して、現場に残された糞や羽などのDNA分析から原因種を特定する技術や、夜間でも鳥類の飛来行動を観測できる技術を開発した。本技術によって原因動物の種類や行動特性に合わせた事故対策が可能となる[R14015]。

■水力発電所において管路閉塞の原因となる外来付着性二枚貝(カワヒバリガイ)について、国外の対策事例を調査するとともに、オゾンや銅合金製ストレーナーにより防除する技術を開発した。複数の技術から各発電所に最適な対策を選定することにより、付着によるトラブル発生予防や定期清掃時の塵芥量低減に貢献できる[V14010]。

## 応用生物学

微量PCB汚染変圧器処理の経済的処理、未利用炭素資源の高度利用、およびヒートポンプ等の農業分野での活用に関する技術を開発する。

■微量PCB汚染機器の加熱強制循環洗浄について、処理施設の設置許可申請(環境省)に必要な生活環

境調査や洗浄条件など技術事項の作成に関する全社共通の手引きを策定した。

■低品位炭である褐炭の利用性を高めるため、バイオマス残渣(米糠、ジャトロファ搾油かす、ユーカリチップ)との混合ペレットを作成し、燃料特性などを評価

した。このうち、米糠では褐炭の混合率50%程度までは、成形性、発熱量とも高く維持されることを見出した[V14008]。

## 環境化学

石炭火力発電所の高稼働・安定運用を支援するため、発電所排水に含まれるセレン等の微量物質の低コストの管理・処理技術を開発する。火力発電に起因する環境リスクについて、環境対策の効果と妥当性を評価する。

■石炭火力発電所における脱硫排水中セレンを対象に、微生物による還元工程を含む生物化学的処理技術を開発した(図1)。小規模装置を用いた現場試験から、発電所排水中のセレンを排水基準値以下に処理できることを実証した(図2)。従来の化学的セレン処理に比べて、薬剤費用を約半分に、汚泥処理費用を1/10に削減できる見通しを得た。

■火力発電所排水における水質汚濁の指標である化学的酸素要求量や総窒素濃度の原因物質となる含硫窒素化合物(NS化合物)の検出・定量化に向けた分析技術を確認した。本手法により、石炭火力発電所の既設排水処理設備では除去されないNS化合物を特定できることを確認した[V14002]。

\*1 大気鉛直方向の混合しやすさの指標。例えば、「強安定」状態では物質が拡散しにくい。

\*2 ニューラルネットワークの一種。教師なし学習により多次元データのパターン分類ができる多変量解析手法。

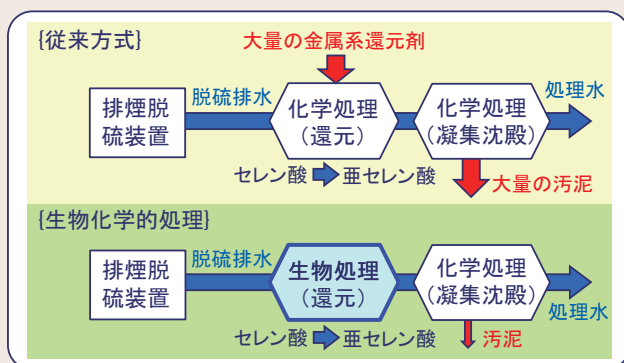


図1 石炭火力発電所排水のセレン処理工程

従来の化学的セレン処理(上段)と生物化学的処理(下段)。従来の処理法は、①金属系還元剤の投入によるセレン酸の還元、②還元後の亜セレン酸の凝集沈殿という2段階で構成され、還元剤の使用、ならびに還元剤由来の汚泥発生にともなうコスト高が課題であった。

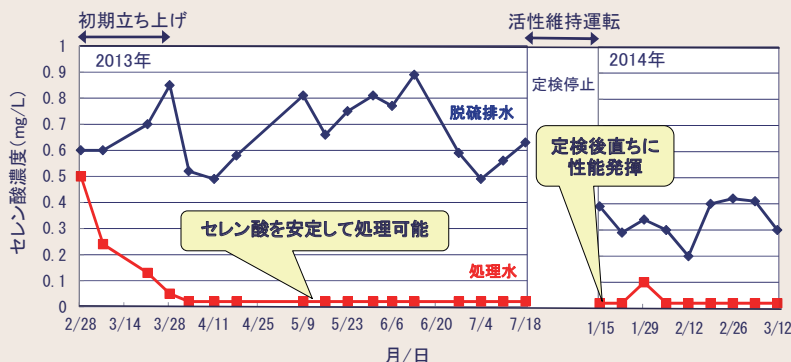


図2 生物学的セレン還元槽(左)と発電所実証試験での処理例(右)

試験開始時の活性発現に1ヵ月程度の時間を要したが、その後は安定的に処理できた。定期検査による処理停止後も、運転再開とともに速やかな再立ち上げ(1月15日以降)が可能であった。

## 基盤技術課題

## 電力技術研究所

## 概要

電力技術研究所は、電力流通設備に関わる、高電圧、絶縁、耐雷、電磁環境、大電流技術等のコア技術の研究に取り組むとともに、次世代の電力機器開発、瞬時値解析技術開発、アークのシミュレーションと応用に関する技術、パワーエレクトロニクス応用技術、レーザー応用等の新しい電力技術に関する基礎・基盤的研究も推進している。

課題毎の  
概要と  
主な成果

## 高電圧・絶縁

電力機器の高経年化に伴う各種固体絶縁材料の劣化機構の解明、がいし類の外部絶縁技術およびガス絶縁機器の異常診断手法の高度化、ならびに高電圧計測精度の向上を図る。次世代機器用の新しい絶縁材料の探査を行う。

■電力会社との共同研究において、パルス課電残留電荷法を特別高圧CVケーブルの撤去品に適用し、劣化信号継続時間と絶縁耐力の関係を明らかにした。これにより、同法の特別高圧CVケーブルへの適用可能性を確認した。

■実フィールドのガス絶縁開閉装置(GIS)の各部位に、SF<sub>6</sub>分解ガスに着目したGISの状態診断手法を適用し、実用レベルで異常を検出できることを確認した。

## 雷・電磁環境

情報通信技術(ICT)社会に対応した電力・エネルギー需給システムのための耐雷設計や絶縁協調技術を開発する。また、電力流通設備・需要家設備における電磁両立性(EMC)・電磁環境評価技術を構築する。

■送配電設備の耐雷設計の高精度化や雷事故点の効率的な検出に資する新型落雷位置標定システム(LLS:Lightning Location System)の開発に向け、現行システムの位置標定誤差の要因を明らかにするとともに、センサ間隔の工夫により位置標定誤差が数十mの落雷位置標定システムが構築可能であることを明らかにした[H14007]。

■スマートメータの雷害対策の確立に向け、スマートメータの計量部と同等の性能を有する電子式電力量計の内部構造と耐雷性能の関係を、雷インパルス電流印加試験により把握するとともに、雷による故障率を算定する手法を提案した(図1)。これにより、スマートメータの耐雷設計指針の作成の見通しを得た[H14009]。

## 高エネルギー

電力機器の内部アーク試験を補完する圧力上昇・伝搬シミュレーション技術を開発する。また、レーザー・光技術を用いた革新的計測技術を開発し、設備診断等への適用を図る。さらに、難溶融物質の溶融処理に資するため、アークプラズマ溶融処理技術を開発する。

■続流遮断型アークホーンの低コスト化や短絡電流に対する強度向上のため、遮断部内部の圧力を求める数値流体解析や超音速流を生み出すノズルの設計方法により、遮断部を現行の2本から1本に簡素化することで低コスト化を達成した。また、アークの熱に伴う遮断部内部の圧力を低減する圧力開放穴を設けることにより、強度向上を実現した(図2)[H14001]。

■火力発電用ガスタービンの遮熱コーティング(TBC)トップコートはく離の一因とされる、界面酸化層を非破壊で検出する可搬型システムを開発した。本システムを用いて、空気中において加熱したTBC試験体を測定した結果、高濃度のCr<sup>3+</sup>に起因すると考えられる発光が観測され、界面酸化層の領域を判定可能であることを検証した[H14006]。



## 電力応用

電力品質に関わる解析技術の確立を図るとともに、需要家側機器と協働した電力品質維持・向上技術を開発することにより、様々なパワーエレクトロニクス機器を含むシステムの合理的な設備形成と運用に寄与する。

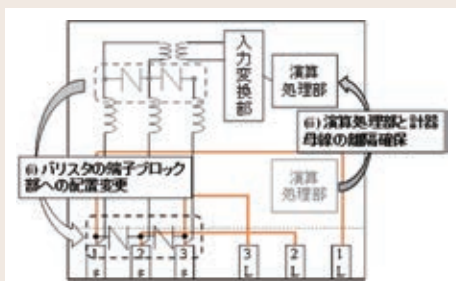
- 電力システムの瞬時値解析に用いる送電線の周波数依存線路モデルに、新たにFDTD法(Finite Difference Time Domain)を適用し、モード分解を必要としない広い周波数範囲の特性の模擬が可能で、計算安定性の高い線路モデルを開発した[H14013]。
- 配電系統における再生可能エネルギーの普及に伴う電圧問題対策として用いられるパワーエレクトロニクス機器のスイッチング動作を考慮した動的な電圧解析のため、配電用無効電力補償装置(STATCOM)の瞬時値解析モデルを開発した[H14014]。

## 大電流技術

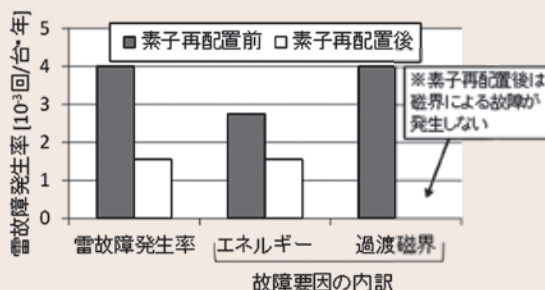
高機能化する電力機器の故障時の事象を的確に評価するための短絡試験技術を高度化するとともに、交流大電流計測技術を確立する。

- 日本の電力系統における電流遮断時の過渡回復電圧上昇率がJEC2300「交流遮断器」で規定されている値を上回る条件を特定し、それら

に対し当所の大容量電力短絡試験設備で遮断性能を評価できる範囲を明らかとした。



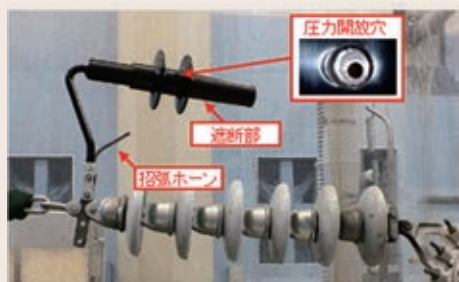
(a) 素子の再配置による対策例



(b) 電子式電力量計の雷事故発生率

### 図1 電子式電力量計の雷害対策例とその適用効果

実験により得られた電子式電力量計の雷による故障要因とその発生閾値を用いて、電子式電力量計の雷故障発生率を算定するとともに、効果的な雷害対策手法の検討を行った。この結果、(i)避雷素子の端子ブロック部への移動および、(ii)演算処理部と計器母線の離隔の確保を行うことにより雷故障発生率は大きく低下し、雷害対策上効果的であることがわかった。



遮断電流と遮断回数	7kAを繰り返す3回
遮断時間	交流1サイクル以内
防爆電流(※)	15kA

※ 遮断部が破損しない最大の電流値

### 図2 高強度タイプの77kV架空送電用統流遮断型アークホーン

アークによる遮断部内部の圧力を低減する圧力開放穴と、過大な短絡電流が流れた際にアークの経路を遮断部の外部に移行させて遮断部の損傷を軽減する招弧ホーンを設けることにより、遮断部が破損しない最大の電流値が現行品の10kAから15kAへと大きくなり、強度向上を実現した。

## 基盤技術課題

## エネルギー技術研究所

## 概要

エネルギー技術研究所は、エネルギー資源を高効率かつクリーンに利用する火力発電技術の開発、需要家サイドに向けた高機能な熱利用システム・機器開発を通じて、エネルギーセキュリティの確保、電力・エネルギー需給システムの創生を目指している。

課題毎の  
概要と  
主な成果

## 高効率発電

火力プラントの信頼性確保と運用保守コスト低減、将来の高効率化・低炭素化に寄与するため、ボイラ伝熱面管理やガスタービン高温部品保守・管理の合理化、非在来液体燃料の火力プラントへの適用性評価技術の開発、IGCC商用機の円滑な導入支援、次世代石炭火力システムの評価を行う。

- ボイラ給水に酸素処理法を適用した微粉炭ボイラについて、実機抜管材のクリープ試験およびメタル温度解析によりクリープ損傷状態を評価し、損傷の進行は軽微であることから、ボイラチューブ内の化学洗浄間隔の延伸が可能な見通しを得た。
- CO<sub>2</sub>排出原単位削減の一方策であるバイオ液体燃料の貯蔵時の燃料劣化挙動を把握し、従来の指標では評価が困難であった劣化現象(固形物析出等)に新たな指標として分子量分布を導入することで、評価できる可能性があることを見出した[M14005]。
- 遮熱コーティング(TBC)を施工したガスタービン動翼の基材表面き裂の検査に、非破壊検査法の一つである渦電流法が適用できることを明らかにした。また、き裂、減肉等複数の損傷劣化に対するTBC施工動翼の効率的な検査フローを考案することで、TBC再施工周期の延伸判断に寄与する非破壊検査法を確立した[M14006]。
- 低炭素化の将来オプションとして開発中の「CO<sub>2</sub>回収型高効率IGCCシステム」について、3炭種(インドネシア炭、中国炭、豪州炭)を対象とした熱物質収支解析を行い、いずれの炭種においてもCO<sub>2</sub>回収後で43%以上の高い送電端効率となる試算結果を得た\*。

## 燃料高度利用

火力発電用エネルギー資源の拡大と環境保全性の維持向上に向け、難燃性燃料の利用促進技術、褐炭改質技術、自然発火対策技術、微量成分の計測技術、ボイラ内クリンカ対策技術、石炭灰の有効活用技術および石炭運用評価システムの開発を進める。

- 石炭粉碎時の発火に関する課題を抽出するため、発火事例を調査し、原因と対策を取りまとめ、発火の要因は主に粉碎機内において局所的に堆積した微粉炭の発火に起因することが明らかとなった。また、微粉炭の発熱・発火性、浮遊する微粉炭の粉じん爆発に影響を及ぼす因子を明らかにした。
- フライアッシュ(FA)の利用拡大に向けて、セメント添加や加熱処理の不要な貝殻含有FA固化物の製造条件を明らかにした。固化時にかかる振動数やFAと貝殻の配合比などを調整し、既に実用化されている粒状固化物と同程度の強度を有する固化物が得られた。また、1~2mmの粒状固化物において、製造時点の規制物質の溶出濃度は環境基準値以下であることを確認した[M14011]。

## ヒートポンプ・蓄熱

省エネルギー性の高いヒートポンプの開発・普及を目指した革新的な技術の探索・評価と需要家への省エネソリューション提案を支援する技術を開発する。

- 当所が考案した無着霜空気熱源ヒートポンプに関し、吸着剤塗布熱交換器の熱・物質移動特性を実験的に把握・分析し、給湯ヒートポンプユニットの試設計を行った。その結果、上記熱交換器と蒸発器を上下に配置することで、既存のエコキュートと同等サイズでの製品化が可能であることを

明らかにした(図1) [M14004]。

- 需要サイドにおける省エネルギー診断・改善を支援する需要家エネルギー消費解析ツール(開発中)に関し、多数軒数および多数負荷に対する

負荷平準化効果を解析できるようにした。また、実負荷データを基に蓄熱機器の運用変更シミュレーションを行い、最大電力削減効果や電力負荷シフト効果を定量的に示した。

## エネルギー変換

火力発電所や地熱発電所の運用性向上ならびに高効率化の実現に向けて、熱効率評価技術、燃料電池や材料・環境分析等に関連する基盤技術の開発を行う。

- 石炭ガス化複合発電(IGCC)などの石炭火力発電の高効率化およびCO<sub>2</sub>排出原単位の削減には、酸素製造設備の効率向上の効果が高いことを示した。また、高効率酸素製造技術の開発動向を調査した結果、内部熱交換型深冷分離法や高温酸素分離膜法について、石炭火力発電への適用可能性が高いことを明らかにした[M14010]。
- 固体酸化物形燃料電池(SOFC)の出力応答性(瞬時~秒オーダー)を市販セルで評価した結果、2秒程度までの時間範囲で燃料制御なしに運転出力の1.25倍まで出力応答できることを確

認し、SOFCは再生可能エネルギー等による瞬時出力変動への対応が可能であることを確認した[M14007]。

- SOFCの加圧条件(SOFCトリプルコンバインドサイクル運転時)における性能評価を可能とする性能表示式を導出し、これまで分離できなかったセル内のガス流配性能も精度良く分離することが可能となり、SOFCガス流路設計における効率的な性能改善が期待できることを示した[M14009]。

## 熱流体・反応数値解析

火力発電所の現場の課題解決や新技術開発の効率化に向け、火力機器内の複雑な諸現象を、十分な精度で解析可能な数値解析ツールを開発する。

- 微粉炭ボイラの内部状態を評価可能な数値解析手法の構築に向けて、数値解析の精度向上に不可欠な各バーナからの旋回空気流入条件を、プラント運転データおよびバーナ部分の局所的な数値解析により決定する手法を構築した。ま

た、ボイラ内の輻射伝熱を評価する際に重要な、微粉炭火炎内のすす濃度に関して、膨大な素反応過程を簡略化することにより、短い時間で、高精度にすす濃度の予測を可能とする数値解析手法を開発した。

\* 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)からの受託研究として実施した。

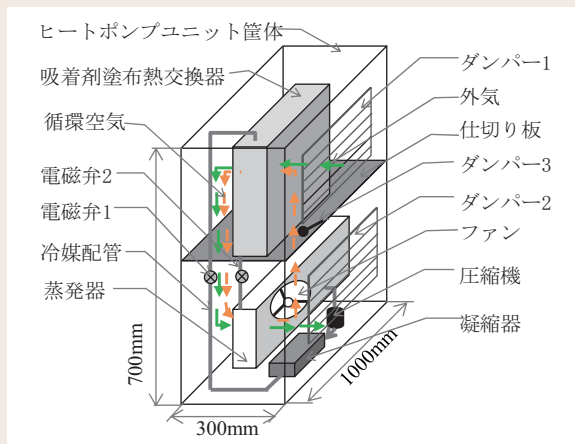


図1 無着霜給湯ヒートポンプユニットの構造

- 給湯-吸着モード時、電磁弁1,2を絞り、ダンパー1,2を開き、ダンパー3を閉じ、外気が吸着剤塗布熱交換器で除湿され後蒸発器に入るの、蒸発器に着霜することなく給湯加熱を行う。
- 給湯-脱着モード時、電磁弁1を開き、電磁弁2を絞り、ダンパー1,2を閉じ、ダンパー3を開き、冷媒の凝縮熱で吸着剤塗布熱交換器を脱着させ、さらに、循環空気流路を有することで、脱着時の排気による熱損失がゼロになり、高効率で連続給湯が可能である。



## 基盤技術課題

## 材料科学研究所

## 概要

材料科学研究所は、発電プラントの現場適用技術、自然エネルギー利用技術、省エネルギーのための新材料探索技術、などの基盤技術開発を実施し、電力の安定供給および低炭素社会の構築に貢献することを目指している。

課題毎の  
概要と  
主な成果

## 構造材料

火力・原子力発電プラントなどの構造材料を対象に高温強度、腐食特性などの各種データの収集・整備を図るとともに、経年劣化事象の評価法、機器の設備診断手法、寿命評価手法の開発・改良を進め、発電プラントの信頼性向上や安定運用に貢献する。

- 新規USCプラントでの採用が進んでいる改良型の9Cr鋼のGrade92鋼について、材料のクリープ破断データのみから変形挙動を推定できるクリープひずみ式を開発した\*1。本式により、破断に至るまでのクリープ変形に伴う損傷の時間的変化の高精度予測が可能となった<sup>[1]</sup>。
- 電気炉を用いた静止場ガス腐食試験により、ボ

イラ内の周期的なガス組成変動が、微粉炭火力発電のボイラ水冷壁管の硫化腐食に及ぼす影響を明らかにした。また、硫化腐食発生箇所を低コストかつ迅速に特定できる非破壊検査手法を火力発電プラントに適用し、ボイラ内の硫化腐食範囲および硫化腐食による減肉部位を推定した(図1)。

## 機能材料

革新的な機能・特性を持つ超伝導材料や有機材料などの固体材料、イオン液体などの液体材料の創出およびその利用方法の開拓を目的とし、基礎物性制御技術、固体結晶成長技術、化学合成技術により次世代の電子機能材料を開発する。

- 超伝導現象の発現機構の解明に向け、鉄カルコゲナイド超伝導体 $\text{FeSe}_{1-x}\text{Te}_x$ 薄膜の磁場中低温電子輸送現象の精密測定・解析を行い、基板と組成を変化させ特別な電子状態になるように結晶構造を制御することで、超伝導転移温度が最も高く(18K超)なることを解明した<sup>[2]</sup>。
- 電気化学発光セルは軽量・安価な面発光照明用途への応用が可能で、省エネルギーにつながる。この主要部品である電解質に対し、半導体ナノ量子ドット\*2を添加することで輝度が1桁高くなり、実用レベルの輝度が得られることを見出した。

## 高性能SiCパワー半導体

再生可能エネルギー導入や連系強化・広域運用に対応する次世代低損失電力制御装置の実現に向けて、大容量・低損失SiCパワー半導体の製作のための高品位SiC単結晶を開発する。

- 複数の企業との共同研究により、高電圧・低損失パワー半導体素子に適用可能な高品位SiC単結晶膜の量産技術開発を進め、低欠陥密度かつ膜厚やドーピング濃度の均一性が高いSiC単結晶膜を直径6インチの大口径基板に安定的に高速製造する技術を確立した。
- SiC単結晶成長の高速・高品位化に取組み、原料にガスをを用いた手法(ガス法)により、従来の手法(昇華法)を大幅に上回る2.1mm/hの結晶成長速度で、高品質種結晶と同等な品質を有するSiC成長結晶を得た<sup>[3]</sup>。
- SiC単結晶中の結晶欠陥の低減に向けて、非破壊の光学的手法(2光子励起フォトルミネッセンス\*3)によって転位を3次元可視化するとともに<sup>[4]</sup>(図2)、基板に段差パターンを形成して結晶成長することで転位の伝播方向を制御できることを明らかにした<sup>[5]</sup>。

## 材料評価共通技術

計算材料科学手法や分析手法などの基盤技術の組合せにより、マルチスケール材料強度評価法の開発や高クロム鋼材料の組織変化の評価に取組む。



課題毎の  
概要と  
主な成果

■材料の微視組織に基づいた強度評価手法の構築に向け、UVレーザーアトムプローブ\*4を用いた高クロム鋼のナノレベル組成分析を実施し、微細析出物や微量炭素の分布状態を明らかにした。

■高クロム鋼のクリープ変形に対する微細組織の影響を理解し、対策技術を開発するため、特徴的な微細組織であるラス組織\*5の崩壊を模擬した結晶塑性を解析する有限要素解析コードを開発し、塑性ひずみの増大を再現することでその妥当性を検証した。

- \*1 米国電力研究所 (EPRI) との共同研究で実施した。
- \*2 ナノメートル(10億分の1メートル)サイズの粒径をもつ化合物半導体の粒子。
- \*3 2つの光子を同時吸収し、入射光エネルギーの2倍のエネルギー準位に励起された電子による蛍光発光。
- \*4 試料に紫外線レーザーをパルス照射することで、効率的に電界蒸発を発生させ、質量分析を行う装置。
- \*5 無拡散で結晶構造が変化したマルテンサイト組織の中にある薄い木片状の最小構成単位。ラス構造の崩壊(=転位密度の低下)は高クロム鋼のクリープ強度低下の原因の一つと考えられている。

[1] 茂山 他, 日本材料学会第52回高温強度シンポジウム前刷集 (2014).  
 [2] I. Tsukada et al., Jpn. J. Appl. Phys. 54, 043102 (2015).  
 [3] N. Hoshino et al., Appl. Phys. Express 7, 065502 (2014).  
 [4] R. Tanuma et al., Appl. Phys. Express 7, 121303 (2014).  
 [5] H. Tsuchida et al., J. Cryst. Growth 402, 260 (2014).

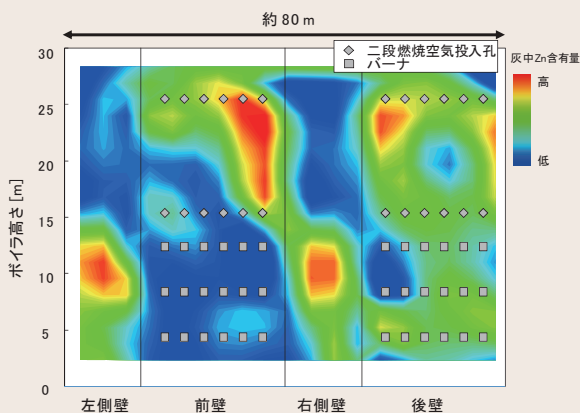


図1 微粉炭火力ボイラ水冷壁管の硫化腐食発生推定箇所の分布図

水冷壁管表面付着灰中Zn含有量が高い箇所は硫化腐食発生箇所と一致すると推定。携帯型分析装置を用いた測定により、ボイラ全体の硫化腐食発生箇所を数時間内に特定可能。

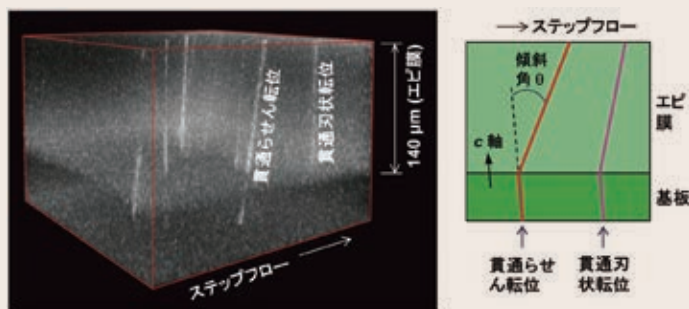


図2 2光子励起フォトルミネッセンスにより取得したSiCエピタキシャル単結晶膜(エピ膜)中の転位(貫通らせん転位、貫通刃状転位)の3次元像

貫通らせん転位と貫通刃状転位がステップフロー方向(結晶成長時の原子ステップの進行方向)に傾きながらSiCエピ膜中を伝播の様子が3次元像で可視化された。



# 3. 主要な新規研究設備

# 電力系統シミュレータの発電機模擬装置の更新

## 設置目的

電力系統シミュレータは、発電機、送電線などの模擬装置で構成されている大形のアナログシミュレータであり、落雷などの系統の事故による発電機の応動や系統現象を模擬でき、その現象の解明および、その対策

技術の開発・検証に有効である。電力系統シミュレータの主要装置である原子力発電機模擬装置の制御盤と発電機運転操作盤(以下、原子力機)および火力発電機模擬装置一式(以下、火力機)を更新した。

## 概要・特徴

原子力機と火力機は、周波数制御系(ガバナ系)模擬機能および有効電力Pの変化分( $\Delta P$ )や回転数の変化分( $\Delta \omega$ )の信号を用いて系統動揺を抑制するための $\Delta P$ 形および $\Delta P+$

$\Delta \omega$ 形PSS(Power System Stabilizer)を装備している。さらに原子力機は、これらのPSSと比べて長周期動揺抑制能力が優れた多入力PSSを装備している。

## 主な仕様

- 全機共通  
定格端子電圧220V、定格周波数50または60Hz、自動同期並入機能、ガバナ系模擬機能(火力)、 $\Delta P$ 形PSS、 $\Delta P+\Delta \omega$ 形PSS
- 原子力機(1および2号機)  
定格容量100kVA、定格出力90kW、多入力PSS、ガバナ系模擬機能(水力、ディーゼル、コンバインドサイクル)、プラント模擬機能(火力、コンバインドサイクル)、脱調検出リレー、横流補償機能
- 火力4号機  
定格容量60kVA、定格出力54kW
- 火力5号機  
定格容量90kVA、定格出力81kW

### 【設置場所・時期・所管研究所】

狛江地区・2014年2月(原子力機)、  
2015年3月(火力機)・システム技術研究所



原子力機制御盤



火力発電機(4,5号機)模擬装置一式



発電機運転操作盤



# 軽水炉模擬燃料冷却限界実験設備

## 設置目的

福島第一原子力発電所の事故を教訓に、従来の安全審査で要求された設計基準事象の範囲を超えた過酷事故時の炉心損傷防止のための安全性向上策が必要である。原子力発電プラントの安全評価では、燃料が損傷するまでの燃料露出過程、さらに過酷事故

(SA)に至る、より厳しい条件での評価とSAを抑制する事故マネジメント(AM)策の高度化が重要である。そこで、原子炉内流動を模擬し精緻に可視化できる大型実験設備を導入することにより、SA解析コードやAM策の高度化を図る。

## 概要・特徴

軽水炉模擬燃料冷却限界実験設備は、原子炉内流動を模擬する伝熱流動実験ループと流動を精緻に可視化するX線CT/リアルタイムラジオグラフィ装置により構成される。伝熱流動実験ループは沸騰水型軽水炉(BWR)の定格運転条件を模擬できる高温高圧ルー

プであり、実機と同寸の模擬燃料集合体を用いた冷却限界実験が可能である。X線CT/リアルタイムラジオグラフィ設備は、压力容器内の模擬燃料集合体と内部流動を三次元可視化するCT機能と、沸騰気泡や液膜変動の透過像を高速度撮影できる機能を有する。

## 主な仕様

### 伝熱流動実験ループ

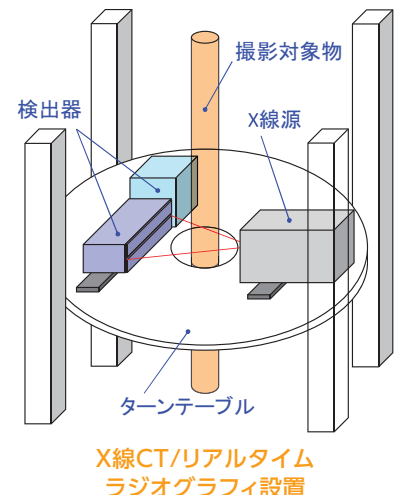
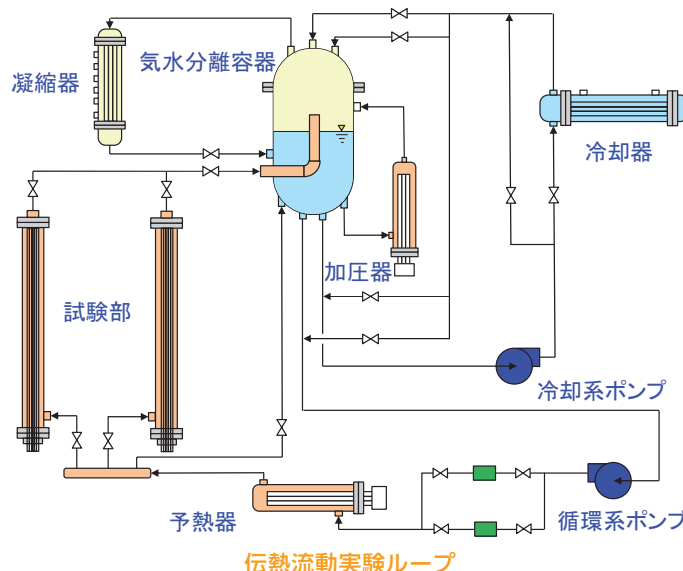
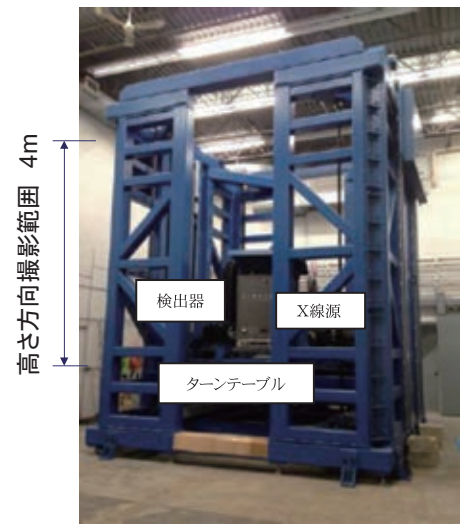
- 最大使用圧力:9MPa
- 最高使用温度:305°C
- 最大流量:24m<sup>3</sup>/h

### X線CT/リアルタイムラジオグラフィ設備

- X線源:高エネルギー直線電子加速器
- 撮影視野:最大直径700mm
- 高さ方向撮影範囲:4m

### 【設置場所・時期・所管研究所】

横須賀地区・2014年10月・原子力技術研究所



# 共振振動台

## 設置目的

原子力発電所の安全性の向上に向けて、重要機器や建屋を対象とする高加速度振動に対する耐震安全性評価手法が求められている。特に、地震時に原子力発電所の安全性を確保する上で重要な主蒸気逃がし安全弁や各種電動弁などの重要機器の耐震性能の限界値※1は振動試験機の加速度上限性能

(10G)で実質的に決まっていたため、それらの耐震性能の実力を評価することは、安全性の評価・向上を図るうえで重要な課題である。そのため、これまでの振動試験機の上限を大きく上回る加速度性能を有する試験機を開発・導入し、重要機器等の耐震性能の評価を行う。

※1 重要機器が正常に動作することを確認した加速度の大きさであり、機能確認済み加速度と呼ばれている。

## 概要・特徴

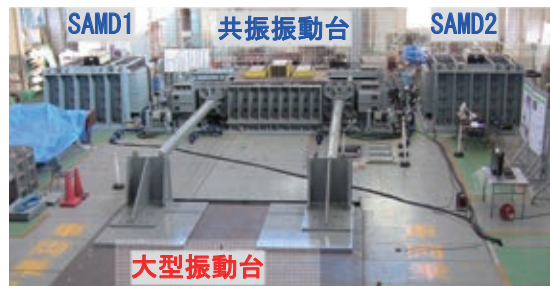
共振振動台は、共振現象を利用して大型振動台(既設)の振動を数十倍に増幅する振動試験機であり、単一振動数の正弦波加振による振動試験が実施できる。その原理には当所が考案した「二重ばね別置き方式」が用いられており、基礎反力を利用することで、

従来比2倍に相当する最大加速度20Gの世界最高性能の高加速度振動試験を実現している。基礎反力による周辺地盤振動を抑制するため、セミ・アクティブ・マス・ダンパー2基(SAMD1、2)を併設している。

## 主な仕様

項目	共振振動台	【参考】 大型振動台
加振振動数	10 Hz	DC~50 Hz
最大加速度	20 G	2 G
搭載重量	5トン	60トン
テーブルサイズ*	2 m×2 m	5 m×5 m
加振方向	水平一軸	水平一軸

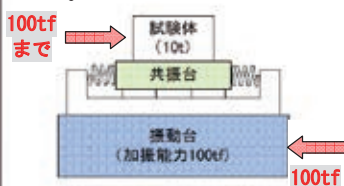
2015年2月時点での性能仕様。  
振動数や搭載重量は調整可能である。



## 【設置場所・時期・所管研究所】

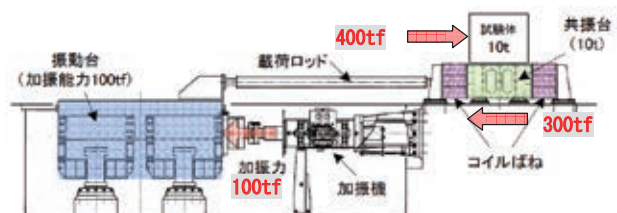
我孫子地区・2015年2月・地球工学研究所

従来型の共振振動台の原理を採用した場合、当所所有の大型震動台の能力の制約で、10tの試験体で、最大加速度が10Gまでしか達成できなかった。



従来の共振振動台(親子亀方式)

当所が新たに開発した二重ばね別置き方式では、共振振動台の反力の半分を振動台基礎で支えることができるため、当所所有の大型振動台であっても最大加速度で20Gまで加振が可能となった。



電中研の共振振動台(二重ばね別置き方式、特願 2012-144202)

## 共振振動台の原理

# 遠心载荷装置への1方向振動試験機能の追加

## 設置目的

原子力施設の新規制基準適合性審査では、耐震設計上の重要度分類Sクラスの建物・構築物の設計にあたって、精度の高い基準地震動（設計用地震動）の策定、サイト敷地の地下構造の三次元的な把握等が必要となっている。また、再稼働後に実施が予定されている安全性向上評価において実施予定の確率論的リスク評価（PRA）では、設計を超える地震力に対する建屋基礎地盤・施設・設備等の健全性評価が必要となっている。これに対応

するため、地盤の破壊箇所や変形量を評価できる時刻歴非線形解析や、破壊した後の斜面の崩落挙動を評価できる不連続体解析の開発・実用化が急務となっている。新しい解析手法の適用に際しては、実験による解析手法の検証が国から求められている。そこで、遠心場で実物の地盤の地震時の応力状態を再現することが可能な振動台（一方向加振）を導入した。

## 概要・特徴

当所が所有する遠心载荷試験装置のプラットフォームに模型実験用の振動台（一方向加振）を設置したものである。本装置では、1/25～1/50の地盤の模型に対して、

500gal～1000galの地震（周波数0.4～8Hz程度）再現を可能である。模型を乗せる振動台のテーブルの大きさは、30cm×70cmである。

## 主な仕様

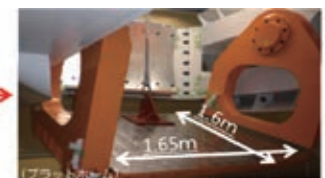
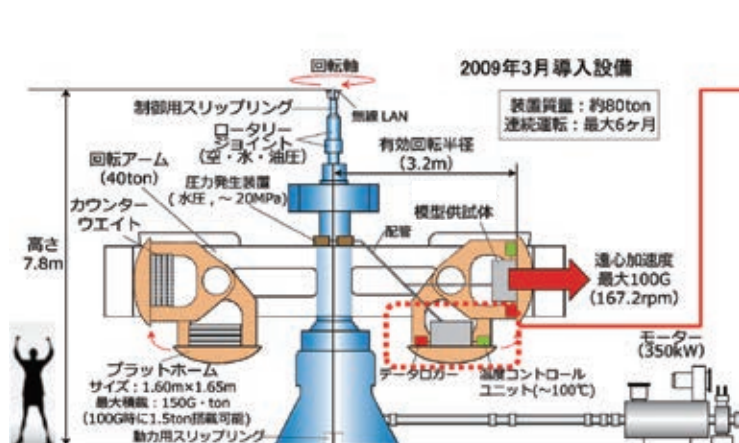
### 【設置場所・時期・所管研究所】

我孫子地区・2015年2月・地球工学研究所

項目	スペック
加振方向	水平一方向のみ
遠心加速度	25～50 G
加振加速度	±35 G
加振速度	±80 cm/s
加振周波数	10～400 Hz
波形	地震波・正弦波

### 遠心加速度50Gの場合の相似則

物理量	実物	模型
スケール	1	1/50
応力	1	1
ひずみ	1	1
時間：動的現象	1	1/50
加振加速度	1	50倍
加振周波数	1	50倍



プラットフォーム写真  
この上に「振動台」を設置する。

サーボアクチュエータ サーボバルブ



振動台（一方向加振）

回転することにより、プラットフォーム（オレンジ部）が振り上がり、模型供試体に遠心力を作用させることができる。

遠心载荷試験装置



# 直流架空送電試験設備の再整備

## 設置目的

電力系統利用協議会の提言を受け、東京-中部間ならびに北海道-本州間の直流送電による連系強化のため、関係電力で基本設計が進められている。計画されている直流架空送電線の電気環境特性については、その固有性から、これまでの知見に基づく予測・評価に限

界がある。このため、直流架空送電試験設備のうち、試験導体を架線する門型鉄塔や直流電圧発生装置、イオン流現象測定エリアを再整備し、直流電気環境に係る現有の予測・評価手法の高度化を図る。

## 概要・特徴

直流架空送電試験設備は、試験送電線と電源系、測定系から構成される。試験送電線はUHV級の2回線直流送電線までの試験に対応できる鉄塔構成であり、測定系間を挟む2基の門型鉄塔は導体支持部が可動式であり、導体地上高や極間距離を自由に変更できる。直流電圧発生装置は、整流器の接続方向が

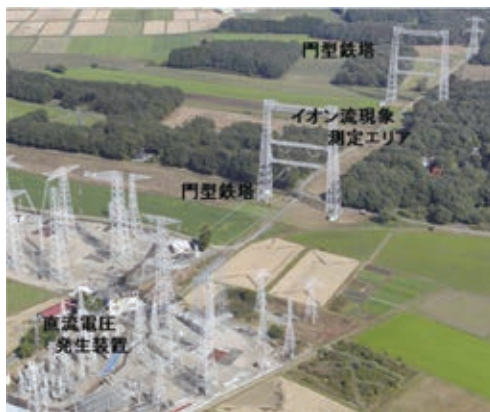
変更できるため、発生電圧の極性を任意に選択することができ、電圧値も任意に設定できる。測定系間中央部に設置されたイオン流現象測定エリアは30m×80mの面積を有し、イオン流現象の分布特性や気象条件による変動を評価することができる。

## 主な仕様

- 試験送電線:2回線(全巨長750m、測定系間310m)
- 電源系:直流電圧発生装置2台(±800kVまで)
- 測定系
  - イオン流帯電電圧(円板電極):12チャンネル
  - 地表電界(ガード電極):5チャンネル
  - 地表イオン電流密度(平板電極):12チャンネル
  - コロナ電流:4チャンネル
  - コロナ騒音:2チャンネル
  - ラジオ雑音:2チャンネル
  - 気象系:風向風速、温度、気圧、湿度、感雨、雨量、日射

### 【設置場所・時期・所管研究所】

塩原実験場・2015年3月・電力技術研究所



直流架空送電試験設備



イオン流現象測定エリア



# 電池性能評価・材料調製基盤設備

## 設置目的

リチウムイオン電池は近年、電池の大型化、長寿命化が進み、携帯端末用途から電気自動車用途、家庭用途、さらには電力系統安定化用途へ広がりがつつある。電力系統において、動作条件に適した電池の導入および長期利用が可能な運用を行うためには、系統運用

時の電池性能を把握するための性能評価技術が必要である。大型電池の性能評価試験や新材料を用いた各種改良型電池の性能評価を実施するために、電池の解体分析、再組立て、電極・電池の試作が可能な本設備を導入した。

## 概要・特徴

電池の内部材料は水分と反応・劣化する材料が多いため、水分量を極限まで減らしたドライルーム、および不活性ガス(Ar)で置換されたグローブボックスを連結し、水分の影響を極力少なくできる設備である。各種小型電池から、電力用途に適用されている大型電池

(50Wh級)までを解体でき、個々の材料を速やかに分析し、グローブボックス内での再組立てにより個々の電極性能を把握できる。また、大型電池に使用されている電極、あるいは改良型電極を合成、試作できる装置を集約設置している。

## 主な仕様

- ドライルーム:100m<sup>2</sup>、吹き出し露点-70℃(水分3ppm)以下
- 真空置換グローブボックス:ドライルーム直結、吹き出し露点-100℃(水分0.01ppm)以下
- ウルトラドライ発生装置:局所吹き出し露点-90℃(0.1ppm)以下
- 電池材料合成装置:電気炉温度1000℃以上、各種ガス(O<sub>2</sub>, Ar, N<sub>2</sub>)供給可能

## 【設置場所・時期・所管研究所】

横須賀地区・2015年3月・材料科学研究所



電池性能評価・材料調製基盤設備



# 4.活動実績

# 4.活動実績

当研究所の2014年度における活動実績を以下に示す。

## 1 人的資源

2015年3月31日現在、要員は796名で、このうち、研究系が697名、事務系が99名である。研究員の分野別内訳は図1の通りで、幅広い分野にわたって構成されている。また、当研究所の役職員の博士号取得者は、401名で、内、73%が工学系、11%が理学系である。

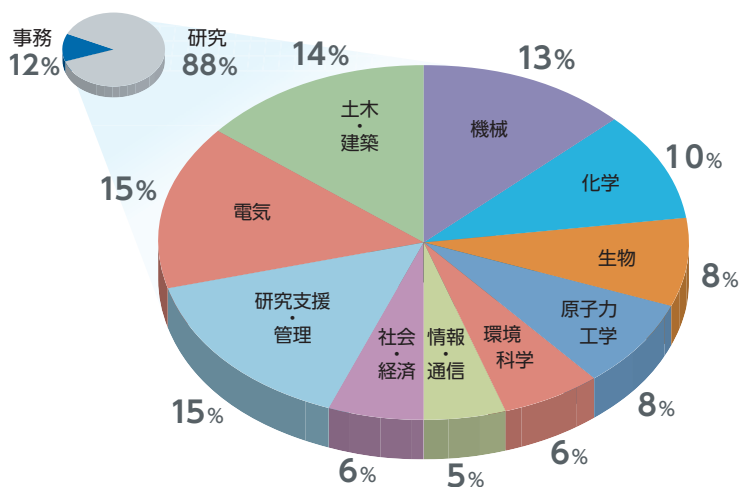


図1 要員分野別内訳 (2015年3月31日現在)

## 2 研究報告書

「電力中央研究所報告」等は453件を取りまとめた。このうち研究報告等270件、電力会社や国からの受託報告が183件である。報告書全体の分野毎の内訳を図2に示す。公開している研究報告等の件数を付表(1)に示す。これら研究報告等は当研究所のウェブサイトよりダウンロードできる。

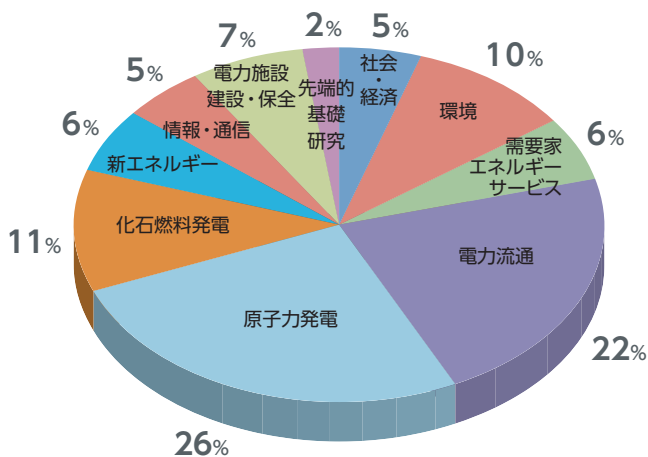


図2 報告書分野別内訳

## 3 論文発表

研究論文は学会誌、学術誌、学会大会等にて1,412件を発表した。うち、査読付き論文は350件である。研究論文全体の分野毎の内訳を図3に示す。論文は当研究所ウェブサイトの「研究成果／報告書など」の論文データベースに収録している。

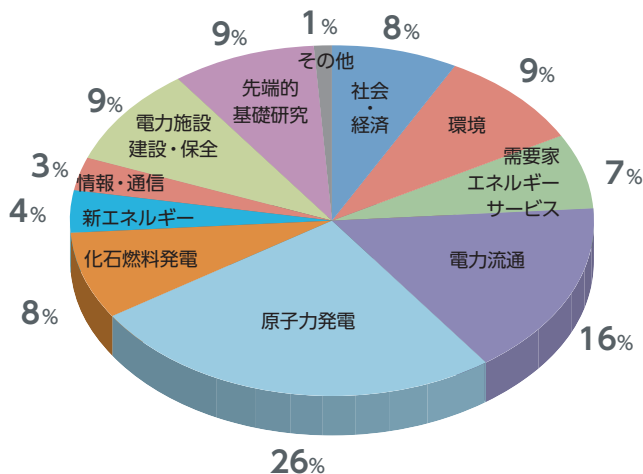


図3 論文分野別内訳



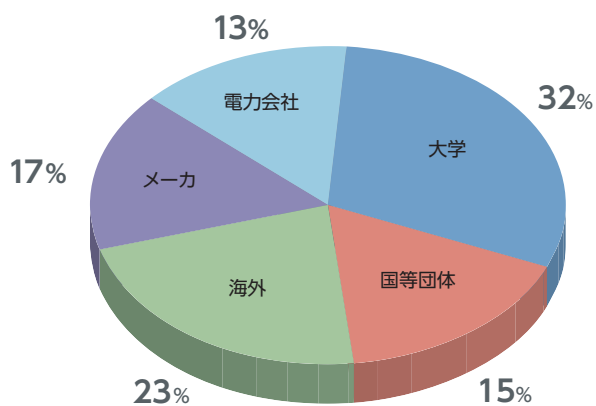


図4 共同研究先内訳

## 4 研究協力・交流

### 4-1 共同研究

共同研究は181件を実施した。共同研究先の内訳は図4に示すように大学が32%、国等の研究所が15%などとなっている。

### 4-2 主な国際協力・交流

海外の研究機関等と共同研究、情報交換および人的交流を進めた。図5に国際協力協定を締結している主な機関を、表1に主な国際協力・交流先を示す。

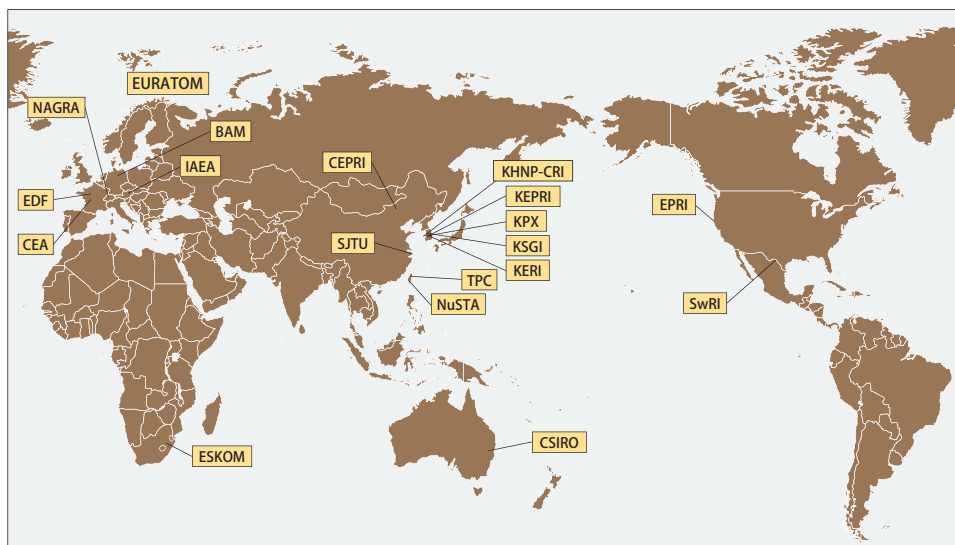


図5 研究協力協定を締結している主な機関  
EURATOM(欧州原子力共同体)は、欧州地区に位置する。

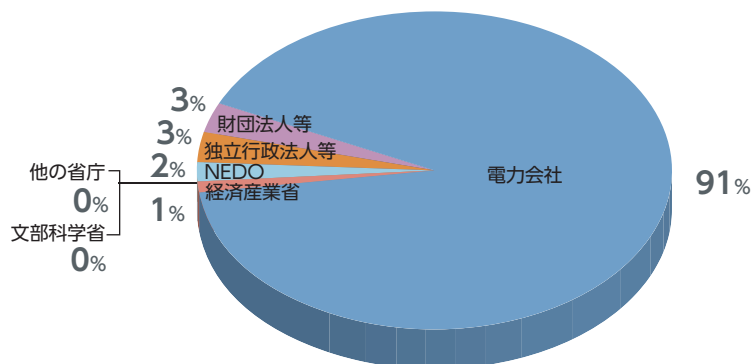


図6 受託研究およびコンサルティングの受託元の内訳

### 4-3 受託研究およびコンサルティング

受託研究は、693件を実施した。受託研究の委託元の内訳を図6に示す。コンサルティングは25件を実施した。

# 4.活動実績

表 1 主な国際協力・交流先

研究協力協定を締結している主な機関	
アジア	
韓国電力研究院 (KEPRI)	中国電力科学研究院 (CEPRI)
韓国電気研究院 (KERI)	上海交通大学 (SJTU：中国)
韓国電力取引所 (KPX)	台湾電力公司 (TPC)
韓国スマートグリッド事業団 (KSGI)	台湾核能科技協進会 (NuSTA)
韓国水力原子力発電会社－中央研究所 (KHNP-CRI)	
北アメリカ	
米国電力研究所 (EPRI)	サウスウェスト研究所 (SwRI：アメリカ)
ヨーロッパ	
欧州原子力共同体 (EURATOM：EU)	フランス電力会社 (EDF)
スイス放射性廃棄物管理組合 (NAGRA)	ドイツ連邦材料研究所 (BAM)
フランス原子力庁 (CEA)	国際原子力機関 (IAEA：オーストリア)
オセアニア	
豪州科学産業研究機構 (CSIRO)	
アフリカ	
南アフリカ電力公社 (ESKOM)	
共同研究を実施している主な機関	
アジア	
台湾電力総合研究所 (TPRI)	韓国原子力安全技術院 (KINS)
原子力研究所 (KAERI：韓国)	高麗大学 (韓国)
北アメリカ	
米国電力研究所 (EPRI)	米国原子力規制委員会 (NRC)
アイダホ国立研究所 (INL：アメリカ)	米国技術標準研究所 (NIST)
米国大気研究センター (NCAR)	カナダ原子力公社 (AECL)
米国エネルギー省 (DOE)	
ヨーロッパ	
フランス原子力庁 (CEA)	エネルギー技術研究所 (IFE：ノルウェー)
フランス電力会社 (EDF)	欧州原子力共同体 (EAEC/EURATOM)
フランス放射性廃棄物管理公社 (ANDRA)	超ウラン元素研究所 (ITU：ドイツ)
放射線防護原子力安全研究所 (IRSN：フランス)	ドイツ原子力サービス (GNS)
スウェーデン核燃料廃棄物管理会社 (SKB)	イエナフリードリッヒ・シラー大学 (ドイツ)
Studsvik Nuclear AB (スウェーデン)	ドレスデンライプニッツ個体・材料研究所 (ドイツ)
スイス放射性廃棄物管理共同組合 (NAGRA)	原子炉安全協会 (GRS：ドイツ)
ブラチスラバ コメンスキー大学 (スロバキア)	ジェイコブス大学プレーメン (ドイツ)
ベルギー原子力研究センター (SCK・CEN)	トリノ工科大学 (イタリア)
経済協力開発機構原子力機関 (OECD/NEA)	国立研究評議会 (イタリア)
欧州技術開発有限会社 (ETD：イギリス)	トウェンテ大学 (オランダ)
	オランダエネルギー研究機構 (NRG：オランダ)
その他 (複数機関が関与しているもの)	
モンテリコンソーシアム	ハルデン炉プロジェクト
国際機関への参加	
国際原子力機関 (IAEA)	世界原子力協会 (WNA)
欧州電気事業連合会 (EURELECTRIC)	電力研究国際協力機構 (IERE)
東アジア・西太平洋電力協会 (AESIEAP)	EMTP DCG 委員会

## 5 研究発表会等

以下の研究発表会を開催した。

### ●研究成果報告会2014

「限りある燃料資源と環境との共生に向けて」  
2014年5月22日(木) 東京(イイノホール)

### ●研究所公開

2014年5月24日(土) 赤城試験センター  
2014年10月4日(土) 我孫子地区  
2014年10月18日(土) 横須賀地区  
2014年10月26日(日) 狛江地区

## 6 産業財産権

特許登録は115件、出願は84件であった。特許・ノウハウの新規の実施許諾件数は52件であった。特許登録と出願の分野毎の内訳を、それぞれ図7および図8に示す。

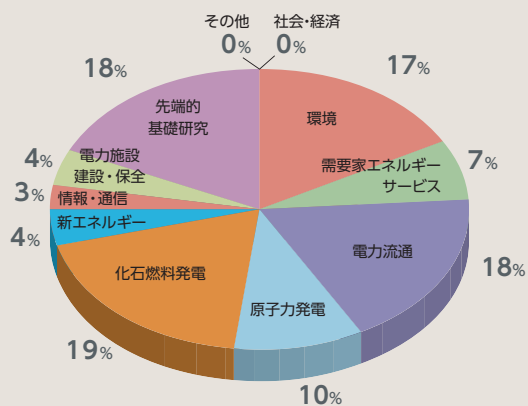


図7 特許登録の分野別内訳

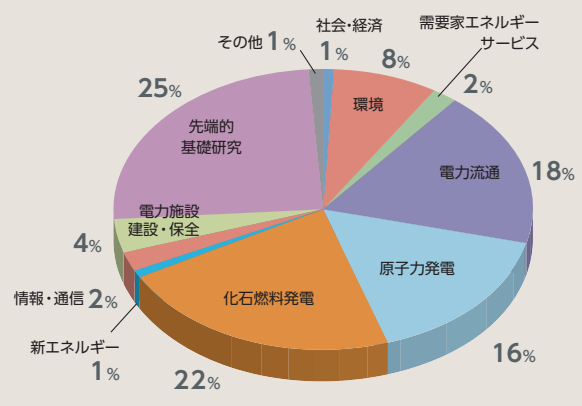


図8 特許出願の分野別内訳

## 7 ソフトウェア

新規の登録と使用許諾は、それぞれ78件および440件(1,978本)であった。使用許諾件数の多い主要なソフトウェアを付表(2)に示す。

## 8 その他

当研究所あるいは当研究所の役職員が執筆・編集し、当所が出版契約を結んだ主な出版物は5件で、付表(3)に示す。当研究所役職員が受けた主要な外部表彰は30件(延べ52名)で、付表(4)に示す。また、当研究所の公刊物の一覧を付表(5)に示す。

一般から検索できる情報サービスとして、インターネット上で電中研ホームページを運用しています。「電中研World Wide Webインフォメーションサービス(<http://criepi.denken.or.jp/>)」では、公開可能な研究報告、ならびに「電中研ニュース」等の広報情報を提供しています。

# 付表(1)研究報告等

報告書番号区分

O:原子力リスク研究センター Y:社会経済研究所 R:システム技術研究所

L:原子力技術研究所 N:地球工学研究所 V:環境科学研究所

H:電力技術研究所 M:エネルギー技術研究所 Q:材料科学研究所

## ■1.社会・経済分野

報告書番号	種別	報告書名	主報告者氏名
Y14001	調査報告	米国の業務・産業用電力小売市場における新規参入の実態評価	筒井 美樹
Y14002	研究報告	再生可能エネルギーの大量導入が電源の設備量と運転モードに及ぼす影響評価 －揚水式水力の精緻化と全国大での試算－	山本 博巳
Y14003	研究報告	スマートメータデータ分析情報の活用 －分析技術の動向調査と需要分析の予備的検証－	小松 秀徳
Y14004	研究報告	環境・エネルギー問題に関する世論調査 －東日本大震災から3年後の人々の意識－	小杉 素子
Y14006	調査報告	電気事業の新規制組織と公正取引委員会の相互関係 －英国の事業規制官庁による競争法執行制度を題材に－	佐藤 佳邦
Y14007	調査報告	欧州における競争環境下の原子力発電の維持に資する経済的手法の有効性と課題	服部 徹
Y14008	調査報告	自由化による電力会社の地域密着戦略への影響 －欧州電力会社の事例－	筒井 美樹
Y14009	研究報告	高齢化と世帯人員の変化が電灯需要に及ぼす影響 －地域別・世帯形態別・住宅の建て方別世帯数の予測－	中野 一慶
Y14010	研究報告	低圧用無効電力補償装置の設置方策の検討 －PV導入時における電圧上昇対策の費用対効果分析手法の提案－	高木 雅昭
Y14012	調査報告	電力・燃料トレーディングとアセット最適運用による発電事業の収益管理 －ドイツ事業者の事例－	遠藤 操
Y14013	研究報告	事業所における2011～14年夏の節電の実態 －東日本大震災以降の定点調査－	木村 幸
Y14014	研究報告	家庭における2011～14年夏の節電の実態 －東日本大震災以降の定点調査－	西尾 健一郎
Y14015	研究報告	「都道府県別エネルギー消費統計」を活用した地域別産業用・業務用電力需要の分析	大塚 章弘
Y14016	研究報告	2016年度までの日本経済と電力需要の短期予測 －原油価格変動と原子力稼働のシミュレーション分析－	林田 元就
Y14017	研究報告	2030年までのマクロ経済・産業構造展望 －エネルギー需給展望に向けた日本経済の成長力の見方－	浜淵 純大
Y14018	研究報告	洋上・陸上ウィンドファームのライフサイクルCO <sub>2</sub> 排出量評価	今村 栄一
Y14019	調査報告	欧州における発送電分離後の送電系統増強の仕組みとその課題	岡田 健司
Y14021	調査報告	ドイツの需給調整メカニズムの広域化の動向と課題	古澤 健
Y14022	研究報告	産業・業務用需要家から見た小売電力市場の競争状況の分析 －料金メニュー・サービス多様化を巡る競争の可能性－	後藤 久典
Y14023	調査報告	小売全面自由化による電気事業者の料金メニュー・サービス多様化に関する調査 －英独事業者の事例調査および国内需要家調査－	後藤 久典

## ■2.環境分野

報告書番号	種別	報告書名	主報告者氏名
O14002	研究報告	半導体型積算線量計による環境放射能の測定(その1) －従来測定法との比較による可能性評価－	吉原 利一
O14003	研究報告	環境中に拡散した放射性物質対策に関する基礎的検討(その4) －土壌中の放射性セシウムの深度分布特性に及ぼす影響因子の抽出－	長岡 亨
O14004	研究報告	高解像度気象モデルの狭域スケール拡散予測への適用性に関する検討	瀧本 浩史
Y14005	調査報告	米国における火力発電所CO <sub>2</sub> 排出規制の動向と今後の展開 －連邦環境保護庁の規制『Clean Power Plan』提案を巡って－	若林 雅代



報告書番号	種別	報告書名	主報告者氏名
Y14020	調査報告	2020年以降の温暖化対策の国際枠組みに関する交渉動向 － COP20の結果と2015年合意に向けた課題－	上野 貴弘
R14015	調査報告	鳥類の観測業務を支援する撮影装置 －装置の要件と試作－	伊藤 憲彦
V14001	調査報告	送電線下の植生管理に関する現状と合理化に向けた技術的課題の抽出	中屋 耕
V14002	研究報告	難処理性 COD 成分としての NS 化合物の管理技術 － NS 化合物の合成および分析条件検討、脱硫排水中 NS 化合物の特定－	青田 新
V14003	研究報告	中性子を用いる石炭灰中ホウ素の簡易・迅速定量法の開発（その1） －中性子ホウ素計の試作と石炭灰への適用性－	正木 浩幸
V14004	研究報告	石炭灰中規制対象物質溶出量の簡易迅速測定法開発 －湿式ボールミルを用いたフッ素・ホウ素溶出試験－	安池 慎治
V14005	研究報告	トレーサー法を用いたわが国の PM2.5 濃度に対する発電所の寄与評価	板橋 秀一
V14006	研究報告	水中セレンの簡易モニターの開発（その5） －メンテナンス性向上のためのセンサ部の改良－	大山 聖一
V14009	研究報告	領域海洋生態系モデルの開発 －日本近海への適用－	三角 和弘
V14010	調査報告	海外発電所における淡水付着性二枚貝の汚損対策	中野 大助
V14011	研究報告	溶存酸素濃度連続測定による河川生産力の評価法	中野 大助
V14012	調査報告	IPCC 第 5 次評価報告書のアンバーダイアグラムによるリスク評価について	筒井 純一
V14015	研究報告	自己組織化マップ法を用いた効率的な恒流評価手法の提案 －若狭湾における冬季海洋レーダ観測への適用－	坂井 伸一
V14016	調査報告	生物多様性条約に関わる国際動向調査 －電気事業の事業活動や環境経営の視点から－	小林 聡
V14017	研究報告	火力発電所用大気アセスメント支援ツールの改良	佐藤 歩

### ■3.需要家エネルギーサービス分野

報告書番号	種別	報告書名	主報告者氏名
Y14011	調査報告	米国におけるアンシラリーサービス供給のための需要側資源の活用動向	坂東 茂
R09	総合報告	家庭用エアコンの熱源特性モデルの開発	上野 剛
R14002	研究報告	電力系統の第 5 次高調波電圧に対する負荷種別ごとの影響の定量分析	雪平 謙二
R14005	研究報告	家庭用エアコン暖冷房時の気流環境と消費電力の同時計算ツールの開発 －熱源特性モデルを組み込んだ CADIEE - Airflow の精度検証	宮永 俊之
R14010	研究報告	家庭用エアコン選定支援ツールの開発 －その 2 ライフスタイルや選好を考慮したツールの構築－	安岡 絢子
R14011	研究報告	配電系統における第 5 次高調波電圧の形成要因の分析	岡田 有功
R14020	研究報告	業務用電化厨房にふさわしい換気設計手法に関する研究（その 7） 調理機器の必要換気量に及ぼす排気フードの張り出し長さの影響	岩松 俊哉
V14007	研究報告	温室におけるヒートポンプと石油暖房機との多面的な比較 －冬期トマト栽培－	後藤 文之
V14014	研究報告	業務用厨房の排気フードにおけるオイルミスト捕集率の評価方法の開発と適用	田中 伸幸
M14004	研究報告	無着霜ヒートポンプ給湯システムに関する研究開発 －第 2 報：吸着剤塗布熱交の熱・物質移動特性の把握及びシステムの試設計	張 莉
M14008	研究報告	電気自動車の運用を支援する地理情報システムの試作	岩坪 哲四郎
Q14009	研究報告	定置用リチウムイオン電池の寿命評価手法の開発（1） －容量変化要因の分離による電池容量変化の分析－	吉田 洋之

## ■4.電力流通分野

報告書番号	種別	報告書名	主報告者氏名
R14003	研究報告	三相計測機能付開閉器データを活用した配電系統電圧不平衡を改善する柱上変圧器接続法	奥村 貴博
R14012	研究報告	配電線センサー情報による区間単位での太陽光発電出力推定手法の開発	坂口 潤一
R14013	研究報告	再生可能エネルギー大量導入時の各種系統条件が基幹系統の系統安定度に及ぼす定性的な影響	白崎 圭亮
R14016	研究報告	フルブリッジセルを用いたモジュラーマルチレベル変換器による直流送電システムの制御保護方式 －その2：交流電圧上昇時の運転継続制御および高速な起動方式の開発－	菊間 俊明
R14017	研究報告	スマートコミュニティの経済的成立条件の検討 －蓄電池とコジェネの導入を考慮したコミュニティ利益の試算－	大嶺 英太郎
R14018	研究報告	需給・周波数制御シミュレーション用火力プラントモデルの開発	徳光 啓太
R14021	研究報告	太陽光発電大量導入時における配電用変電所変圧器の電圧制御方式の比較評価と対策	上村 敏
N14002	研究報告	竜巻による物体の浮上・飛来解析コード TONBOS の開発	江口 譲
N14012	研究報告	変圧器センタークランプ方式ブッシングの地震応答解析におけるファイバーモデルの適用性	宮川 義範
H09	総合報告	電力流通設備のアセットマネジメント支援に関する研究 －個別設備群を対象とした保守計画支援プログラムの開発－	高橋 紹大
H14001	研究報告	77kV 架空送電線用低コスト・高強度統流遮断型アークホーンの開発（その1） －プロトタイプの開発－	大高 聡也
H14003	研究報告	無線通信鉄塔雷撃時の配電系統および需要家機器の雷害対策に関する実験的検討	石本 和之
H14005	研究報告	レーザー距離計を用いた電線地上高連続計測システムの開発	大石 祐嗣
H14007	研究報告	新型落雷位置標定システム（新型 LLS）開発のための基礎検討（1） －位置標定誤差の要因分析－	齋藤 幹久
H14008	研究報告	磁気共鳴方式によるインバータを用いた双方向非接触給電回路の提案（その3） －損失分析および kW 級出力の効率向上可能性の評価－	名雪 琢弥
H14009	研究報告	雷による低圧電子式電力量計の故障発生率算定手法の開発 －電力量計の回路構成と雷による故障様相の関係－	石本 和之
H14010	研究報告	周波数応答解析（FRA）による変圧器巻線異常判定基準の提案	宮崎 悟
H14011	研究報告	油隙欠陥を含む OF ケーブルモデル絶縁系の部分放電特性推移	牧野 裕太
H14012	研究報告	電気所に設置される IP 機器のイミュニティ試験法（2） －バースト性雑音の継続時間とパケット伝送時間を考慮したパケット損失率推定モデルの構築－	山崎 健一
H14013	研究報告	モデル同定過程に問題を生じない瞬時値解析用周波数依存線路モデルの開発（その1） － FDTD 法に基づく線路モデルの解析性能－	野田 琢
H14014	研究報告	瞬時値解析による配電系統の動的電圧解析手法（その2） －配電用 STATCOM のモデル化－	長嶋 友宏
H14015	研究報告	東京スカイツリーにおける雷観測（その2） － 2014 年の観測結果および落雷発生時の気象分析結果－	三木 貴
H14016	研究報告	テラヘルツイメージングによる送電鉄塔腕金撤去材の塗膜下腐食分析	布施 則一
H14017	研究報告	電力ケーブルの現場劣化診断のための部分放電測定の前層化手法の提案	高橋 俊裕
Q14015	研究報告	電力流通設備における塗膜劣化評価手法の検討 －塗膜劣化度評価用小型計測器の試作とその基礎特性－	河合 登

## 5.原子力発電分野

報告書番号	種別	報告書名	主報告者氏名
O14001	研究報告	確率論的リスク解析ライブラリー DenPRA の開発	曾我 昇太
L14001	研究報告	気液二相流条件下の流れ加速型腐食に対する流動因子の評価と物質移動係数評価式の構築 (その3) - 気液二相流 FAC 減肉実験に基づく現象把握 -	佐竹 正哲
L14002	研究報告	液滴衝撃エロージョンによる減肉速度の予測モデルの高度化 - 液膜挙動を考慮した液膜厚さモデルの導入 -	森田 良
L14003	研究報告	高燃焼度 PWR 燃料の放射能比測定と燃焼解析	佐藤 駿介
L14004	研究報告	安全行動促進に向けた安全ルール導入方策に関する検討 (その3) - 事象対策立案時の安全ルール導入検討手順・支援方法の提案 -	弘津 祐子
L14005	調査報告	緊急時対応力向上のためのノンテクニカルスキル向上訓練および評価に関わる基本的な枠組みの提案	長坂 彰彦
L14006	研究報告	主蒸気配管分岐部における音響共鳴現象の評価 (その3) - 湿り蒸気流における圧力振幅低下の主要因子の影響評価 -	内山 雄太
L14007	調査報告	危険感受性向上のための教育・訓練手法の検討 - 教育・訓練手法の体系的整理および教育・訓練要件の抽出 -	廣瀬 文子
L14008	研究報告	気液二相流条件下の流れ加速型腐食に対する流動因子の評価と物質移動係数評価式の構築 (その4) - 流体力学因子と水化学因子の影響評価 -	佐竹 正哲
L14009	調査報告	線量率効果に関する疫学結果とその生物学的機構仮説の調査	岩崎 利泰
L14010	調査報告	福島第一原子力発電所事故後の線量評価と放射線防護の重要課題 - 国内外専門機関報告書の俯瞰的なレビューから -	佐々木 道也
N23	総合報告	ベントナイトならびにベントナイト混合土のガス移行特性評価	田中 幸久
N14001	研究報告	コンクリートキャスク方式による使用済燃料貯蔵の実用化研究 - ステンレス鋼製キャニスタ蓋溶接部検査手法の提案 -	後藤 将徳
N14003	研究報告	遠心力载荷装置を用いた高レベル放射性廃棄物処分場周辺の長期挙動評価 (その4) - 加熱型廃棄体を用いた等方応力拘束条件下における熱-水-応力連成模型実験 -	西本 壮志
N14007	研究報告	動力学的破壊進展解析による地表断層変位予測手法の提案	澤田 昌孝
N14008	研究報告	チューブ式自動消火設備のケーブルトレイ火災への適用性評価	白井 孝治
N14009	研究報告	竜巻飛来物に対する硬鋼線製防護ネットの耐貫通性能に関する実験的評価	白井 孝治
N14010	研究報告	地下岩盤の地化学環境調査・評価技術の開発 (その4) - 坑壁岩盤の風化とコンクリート影響 -	山本 武志
N14011	研究報告	非定常風況解析のための流入乱流生成法 (その1) - 乱流長さスケールを調整できるリニアフォーミングの提案 -	須藤 仁
N14013	研究報告	鉛直加熱壁に沿う自然対流境界層の周囲流体の流れ込みを考慮した数値計算	中尾 圭佑
N14018	研究報告	角型鋼管の先端形状を有する竜巻飛来物に対する二段積防護ネットの耐貫通性能に関する実験的評価	白井 孝治
N14019	研究報告	コンクリートキャスクのキャニスタ表面付着塩分量評価 (その3) - 長期気中塩分量の測定と付着塩分量の評価 -	巨 真澄
H14002	研究報告	沸騰水型原子炉格納容器から採取されたエチレンプロピレンゴム安全系ケーブル絶縁体の経年状態分析	布施 則一
H14004	研究報告	レーザーを用いたキャニスタ付着塩分計測技術の開発 - 計測装置開発および使用済燃料貯蔵中を想定した付着塩分濃度計測 -	江藤 修三
Q14001	研究報告	原子炉容器ノズルコーナーき裂に対する破壊評価法に関する検討	三浦 直樹
Q14006	研究報告	高い安全性を有する SN 材の高温強度特性の評価 - 高温引張データの拡充 -	三浦 直樹
Q14007	研究報告	技量認定試験に使用可能なバーチャル UT システムの試作	東海林 一
Q14008	研究報告	基礎ボルトに対する超音波探傷法の開発 - 第2報: フェーズドアレイ超音波法による疲労き裂の非破壊検査手法の開発	林 山
Q14010	研究報告	放電プラズマ焼結法を用いた筐体一体型金属/酸化物電極の開発	橋本 資教

報告書番号	種別	報告書名	主報告者氏名
Q14013	研究報告	応力腐食割れにおける微小き裂成長挙動のモンテカルロ・シミュレーション	別役 潔
Q14014	研究報告	分散剤添加による軽水炉一次系線源低減技術の開発 － PWR 一次系条件におけるポリアクリル酸の放射線分解と金属酸化物溶出試験－	堂前 雅史
Q14016	研究報告	原子炉容器貫通部構成材料に対する高精度非弾性解析モデルの開発	高橋 由紀夫

## ■6.化石燃料発電分野

報告書番号	種別	報告書名	主報告者氏名
R14009	研究報告	画像処理によるボイド自動計測手法の提案	中島 慶人
N14015	調査報告	台湾電力総合研究所による CO <sub>2</sub> 地中貯留実証実験における注入 CO <sub>2</sub> の移行事前予測評価	末永 弘
M04	総合報告	火力ボイラ水冷壁管における耐硫化腐食コーティングの開発	河瀬 誠
M14001	研究報告	CO <sub>2</sub> 回収型高効率 IGCC システムにおけるガスタービンの基礎燃焼特性 －第 1 報 基礎燃焼試験装置の設計・製作と大気圧試験結果－	百合 功
M14002	研究報告	CO <sub>2</sub> 回収型高効率 IGCC システムにおけるガスタービンの基礎燃焼特性 －第 2 報 量論比条件における基礎燃焼特性－	百合 功
M14003	研究報告	非在来液体燃料の火力プラントへの適用性評価 －第 1 報 火力次世代燃料高度燃焼試験設備による燃焼特性の評価－	西田 啓之
M14005	研究報告	非在来液体燃料の火力プラントへの適用性評価 －第 2 報 バイオ系液体燃料の劣化とその評価法の検討－	西田 啓之
M14006	研究報告	ガスタービン動翼の遮熱コーティングを対象とした非破壊検査手法の開発 －基材表面のき裂への渦電流法の適用性検討と複数種類の損傷劣化を対象とした検査フローの提案－	藤井 智晴
M14010	調査報告	高効率酸素製造技術の開発動向 －石炭火力発電における酸素製造設備－	浅野 浩一
M14011	研究報告	振動締固め法による貝殻含有フライアッシュ固化物の製造法の検討 －材料強度向上のための調製条件－	日恵井 佳子
Q14002	研究報告	実機高クロム鋼溶接部の損傷状態および余寿命評価に関するデータベースの構築 －第 1 報：エルボ長手溶接部の観察事例およびクリープ破壊試験法の適用性－	長井 誠示
Q14011	研究報告	740H および 617 合金のクリープ変形および破壊挙動の評価 －平滑および環状切欠き試験片による検討－	張 聖徳

## ■7.新エネルギー分野

報告書番号	種別	報告書名	主報告者氏名
R14014	研究報告	太陽光発電出力の予測に用いるための多数地点で観測した日射強度群の関連性評価 －自己組織化マップに基づく日射波形類似性評価手法の提案－	由本 勝久
R14019	研究報告	地上気象観測データに基づく短時間先日射予測 －多数地点の日射計データを用いた予測手法の検討－	比護 貴之
N14005	調査報告	再生可能エネルギー導入のための圧縮空気によるエネルギー貯蔵技術	末永 弘
N14017	調査報告	地熱増産システム (EGS) 技術開発の現状と課題	海江田 秀志
V14008	研究報告	バイオマス残渣の燃料利用技術の探索 －褐炭・バイオマス残渣混合ペレットの試作－	土屋 陽子
V14018	研究報告	日射量予測モデルを検証するための雲の光学的厚さと散乱比率の推定法	西澤 慶一
M14007	研究報告	SOFC 瞬時負荷応答性の評価	森田 寛
M14009	研究報告	平板型 SOFC 単セルの加圧運転と性能解析	浅野 浩一
M14012	研究報告	4t/d 炭化燃料化実験設備の運転条件が炭化燃料性状に及ぼす影響の評価	庄司 哲也
Q14005	研究報告	負荷条件下における交流インピーダンス測定を用いた SOFC 性能分析手法の提案とその適用範囲の検討	安本 憲司
Q14012	研究報告	太陽光発電の出力把握に向けた日射量現況値推定への気象衛星の適用性評価	宇佐美 章



## ■8.情報・通信分野

報告書番号	種別	報告書名	主報告者氏名
R14001	研究報告	利用者のトレーニング履歴を取り入れた危険予知トレーニング用 IT ツールの開発 －プロトタイプ開発と業務用車両安全運転への適用－	堤 富士雄
R14004	研究報告	kHz 帯 PLC システム設計のための住宅配線インピーダンスの推定法 －住宅配線インピーダンスのモデル化－	小川 理
R14006	研究報告	光ファイバを活用したマイクロ波無線設備の耐雷性能向上（その3） －実無線機による通信品質評価と信頼度確保の検討－	池田 研介
R14007	研究報告	IP 系保護リレーに対応するマイクロ波無線通信システムのインタフェースに関する基礎検討	柴山 恵司
R14008	研究報告	画像を用いた水車羽根損傷の簡易計測手法の提案 －キャビテーションによる壊食の計測－	中島 慶人

## ■9.電力施設建設・保全本分野

報告書番号	種別	報告書名	主報告者氏名
N14004	研究報告	数値シミュレーションによる降下火山灰の輸送・堆積特性評価法の開発（その1） －新燃岳噴火の降灰挙動における気象影響評価－	服部 康男
N14006	研究報告	水理構造物付近の洗掘・堆砂を再現できる三次元非平衡流砂モデルの開発 －室内排砂実験への適用－	太田 一行
N14014	調査報告	フライアッシュを混和したセメント硬化体の相組成に関する研究の現状	大塚 拓
N14016	研究報告	豪雨時における斜面崩壊危険度評価手法の改良 －広域斜面への適用に向けて－	末永 弘
N14020	研究報告	常時微動を用いた地下構造探査における地震波干渉法の適用 －若狭湾地域での深部地盤構造の推定－	佐藤 浩章
N14021	研究報告	粉末加圧成形体を用いた蛍光 X 線法によるフライアッシュの SiO <sub>2</sub> 定量手法	山本 武志
V14013	研究報告	確率気象予測のための領域アンサンブル予測手法の開発	野原 大輔
Q14003	研究報告	送電鉄塔における内面腐食に対する点検技術の開発 －第二報 減肉に対する軸対称ねじりモードのガイド波の適用性に関する検討－	福富 広幸
Q14004	研究報告	送電鉄塔用鋼管の内面腐食速度および海塩付着量分布評価	長沼 淳

## ■10.先端的基礎研究分野

報告書番号	種別	報告書名	主報告者氏名
H08	総合報告	テラヘルツ波を用いたガスタービン用遮熱コーティングのトップコート膜厚測定技術の開発	福地 哲生
H14006	研究報告	光ルミネッセンス法によるガスタービン用遮熱コーティングの界面酸化層の可搬型検出システムの開発	福地 哲生

## 付表(2) 主要なソフトウェア

ソフトウェア名称	主な機能
電力系統瞬時値解析プログラム XTAP	電力系統など電気回路の瞬時値解析
電力系統動特性安定度解析プログラム (Y 法)	電力系統の過渡的な安定性のシミュレーション
潮流計算プログラム (L 法)	電力系統各部の電力潮流・電圧の計算
気流解析コード NuWiCC version2	地形、標高、地表面粗度を考慮した 3 次元気流シミュレーション
竜巻飛来物速度評価ソフト TONBOS	原子力発電所の安全設計で考慮すべき竜巻飛来物速度を計算
確率分布計算システム	クリアランス判定に必要となる安全裕度を計算
電力系統定態安定度解析プログラム (S 法)	固有値解析による電力系統の定態安定度の判別
電力系統縮約計算プログラム (Q法)	大規模系統の過渡安定度解析の効率化のために外部系統を縮小表現する
高調波計算プログラム (H 法)	電力系統における任意次数の高調波分布を計算
保護リレー信頼度解析システム (Ver5.1)	リレー設備や故障情報の管理により、デジタルリレーの経年に対する信頼度への影響等を評価
短絡容量計算プログラム (T 法)	電力系統の全てのノード事故時の事故電流を一括して計算
パソコン版データファイルシステム (DFS)	複数の Y 法データを結合し 1 つの連系システムデータを生成する系統結合プログラム
ヒューマンパフォーマンス事象分析支援ツール	ヒューマンエラーによる事故・トラブル、ヒヤリハットの各事象の原因分析と防止対策の検討支援
ガスタービン高温部品保守最適化支援システム	ガスタービン高温部品の管理
発電システム熱効率解析汎用プログラム	発電システムを主としたエネルギーシステムの熱物質収支を解析 (熱効率計算)
CAFSS EVOLUTION PRO ver.1.0.1	着氷雪により断面形状の変化した送電線のギャロッピングのシミュレーションコード
温排水拡散簡易予測プログラム ver3	水中放水の簡易シミュレーション手法を組み込んだ温排水の拡散範囲を簡易的に予測
3次元気流解析コード (第3版) (L-WIND Ver-3)	地形、標高、地表面粗度を考慮した 3 次元気流シミュレーション

### 付表(3) 主要な出版物 –当所役職員が執筆もしくは執筆協力した書籍–

書名	編・著者	当所役職員	出版社	出版年月
越境大気汚染の物理と化学	藤田 慎一 三浦 和彦 大河内 博 速水 洋 松田 和秀 櫻井 達也 共著	藤田 慎一 速水 洋	(株) 成山堂書店	2014年4月
使用済核燃料貯蔵の基礎	電力中央研究所	三枝 利有	(株) ERC 出版	2014年4月
自由研究ヒント BOOK2014	電力中央研究所 監修	吉光 司	(一社) 日本電気協会新聞部	2014年6月
地球温暖化とのつきあいかた	杉山 大志 著	杉山 大志	(株) ウェッジ	2014年9月
おもしろサイエンス 粉体の科学	内藤 牧男 野田 直希 牧野 尚夫 著	野田 直希 牧野 尚夫	日刊工業新聞社	2014年11月

## 付表(4) 主要な外部表彰

表彰を受けた団体名	賞の名称	受賞した論文名(または受賞理由)	当所研究関係者
溶接学会	平成 25 年度溶接学会ベストオーサー賞	火力発電プラントにおける高クロム鋼溶接部の寿命評価	屋口 正次
日本保全学会	平成 26 年度日本保全学会論文賞	Method for Thinning Shape Evaluation of Elbow due to LDI and Representative Thinning Shape for Seismic Evaluation of Eroded Elbow	森田 良 稲田 文夫 酒井 理哉 松浦 真一
日本機械学会	日本機械学会賞 (論文)	変位と速度に応じて減衰特性の変化するパッシブ式 MR ダンパの開発	村上 貴裕 酒井 理哉
日本風工学会	平成 25 年度日本風工学会ベストペーパー賞	4 導体送電線の大振幅ギャロッピング振動時における空気力モデルの検討	松宮 央登 西原 崇
電気学会	電気学術振興賞 論文賞	高圧需要家受電点の第 5 調波電流による電圧ひずみ抑制効果	雪平 謙二
日本環境測定分析協会	協会功労者表彰	日本環境測定分析協会への貢献	伊藤 茂男
ASME International Gas Turbine Institute	Ceramics Committee 2013 Best Technical Paper Award	Development of Nondestructive Testing Method for Examining Thermal Resistance of Thermal Barrier Coatings on Gas Turbine Blades	酒井 英司 藤井 智晴 尾関 高行 福地 哲生 布施 則一
日本 CIGRE 国内委員会	CIGRE パリ大会日本論文優秀賞	Study of seismic design and guideline of substation equipment based on the Great East Japan Earthquake	佐藤 浩章
電気学会	電気学術振興賞 論文賞	Characteristics of Upward Leaders of Winter Lightning in the Coastal Area of the Sea of Japan	三木 恵
日本地震工学会	日本地震工学会論文賞	原子力サイトにおける 2011 東北地震津波の検証	蛸沢 勝三
Asian Concrete Federation	ACF Best Paper Award (YRGS2014)	Development of a Novel Non-Destructive Test Method to Evaluate the Distribution of Air Permeability in the Depth Direction in Concrete	蔵重 勲
第 51 回アイトープ・放射線研究発表会	若手優秀講演賞	ヒト水晶体上皮細胞に放射線を照射すると何が起こるのか	藤通 有希
大気環境学会	大気環境学会誌 平成 25 年論文賞	何故 2013 年冬季の中国で PM2.5 が高濃度になったか?	板橋 秀一
日本原子力学会 炉物理部会	平成 26 年度日本原子力学会 炉物理部会賞	軽水炉使用済燃料の核種組成解析による集合体燃焼計算手法の検証	鈴木 求
応用物理学会	応用物理学会 講演奨励賞	大気圧条件下でパルスレーザー照射されたステンレス鋼表面の残留応力分布測定	江藤 修三
大気環境学会	論文賞 (学生若手論文)	冬季の日本海沿岸地域における降水による粒子状物質の取り込み	大原 信 杉本 聡一郎 高橋 章
日本電気協会	第 59 回 濹澤賞	学術研究	新藤 孝敏
粉体工学会	研究奨励賞	ハニカム型脱硝触媒セル内の劣化機構, 反応機構の解明に関する研究	丹野 賢二
粉体工学会	技術賞	石炭灰粒子の利用拡大に向けた灰性状予測技術の開発	丹野 賢二 白井 裕三 池田 道隆 牧野 尚夫
Cooperative International Network for Earth Science and Technology (CINEST)	Best paper award	Estimation of soil thermal conductivity by geophysical surveys - Relationship between thermal conductivity and electrical resistivity -	窪田 健二



表彰を受けた団体名	賞の名称	受賞した論文名(または受賞理由)	当所研究関係者
第23回風工学シンポジウム運営委員会	風工学シンポジウム薫風賞	4 導体送電線におけるルーズスペーサのギャロッピング抑制メカニズム	松宮 央登
WCPEC-6 Organizing Committee	WCPEC-6 Young Researcher Award	Utilization Method of Surplus Power of Photovoltaic Generation System by Using Heat Pump Water Heater and Battery Energy Storage System – Improvement for Re-Planning and Real Time Control of Heat Pump Water Heater and Electric Vehicle –	大嶺 英太郎
土木学会水工学委員会	水工学論文奨励賞	ステレオ PIV 計測と数値解析によるゲート排砂時の洗掘過程に関する検討	太田 一行
日本電気技術規格委員会	日本電気技術規格功績賞	高調波抑制対策技術指針の改定における寄与	雪平 謙二
日本電気技術規格委員会	日本電気技術規格功績賞	系統連系ガイドラインおよび系統連系規程	小林 広武
Marquis Who's Who	Who's Who in the World 2015	IGCC 技術の開発とガス化反応性に関する研究業績	梶谷 史朗
日本電気協会 日本電気技術規格委員会	功績賞	電力貯蔵用電池規定の改定に関して	池谷 知彦
電気学会	電気学術振興賞 論文賞	CV ケーブルにおける人工水トリー劣化手法の検討	栗原 隆史 倉石 隆志 高橋 俊裕 高橋 紹大 岡本 達希
The Institute of Industrial Applications Engineers	Best Paper Award (ICIAE 2015)	Surface Roughness Measurement Using Terahertz Waves	福地 哲生 布施 則一
電気学会	平成 26 年 電気学会優秀論文発表 A 賞 (IEEJ Excellent Presentation Award)	瞬時値解析用モジュラーマルチレベル変換器モデルの高速化 (PE-14-210)	菊間 俊明

## 付表(5) 公刊物等一覧

～より詳しい情報をお求めの方に～

名称/内容	様式		刊行時期
電力中央研究所報告 研究の成果等を公表する報告書	A4, 約 20～40p	白黒	随時
電中研報告リーフレット 電力中央研究所報告の内容要旨を速報的に紹介	A4, 2p 約 1MB	白黒/カラー	随時
知的財産報告書 知的財産の特徴や活用、技術移転の考え方や実績等を紹介	A4, 約 40p 約 3MB	総カラー	年 1 回
電力経済研究 (旧 社会経済研究) 電気事業、電力産業に関わる社会経済・制度問題を紹介	A4, 約 100p 約 20MB	白黒	年 1～2 回
▶ <a href="http://criepi.denken.or.jp/result/pub/">http://criepi.denken.or.jp/result/pub/</a>			
電中研ニュース インパクトのある最新の個別研究成果を、タイムリーに写真・図版を交えて分かりやすく紹介	A4, 4p 約 1MB	総カラー	随時
▶ <a href="http://criepi.denken.or.jp/research/news/">http://criepi.denken.or.jp/research/news/</a>			
研究紹介パンフレット 個別の研究活動を詳しく紹介	B5, A4 約 1～10MB	総カラー	随時
▶ <a href="http://criepi.denken.or.jp/research/pamphlet/">http://criepi.denken.or.jp/research/pamphlet/</a>			
電中研紹介パンフレット 各所・地区等の概要・活動を紹介	A4, 約 10～20p 約 2～6MB	総カラー	随時
▶ <a href="http://criepi.denken.or.jp/intro/pamphlet/">http://criepi.denken.or.jp/intro/pamphlet/</a>			
電中研レビュー 主要課題に関わる複数の研究成果を総合的かつ体系的に取りまとめ、研究の「流れ」として当該研究の全体像を紹介	A4, 約 50～150p 約 5～40MB	総カラー	随時
▶ <a href="http://criepi.denken.or.jp/research/review/">http://criepi.denken.or.jp/research/review/</a>			
電中研 TOPICS さまざまなテーマを切り口として、所内各研究所の関係する研究活動・成果の現況を総合的に取りまとめ課題（テーマ）ごとに紹介	A4, 約 15～20p 約 15MB	総カラー	隔月刊行
▶ <a href="http://criepi.denken.or.jp/research/topics/">http://criepi.denken.or.jp/research/topics/</a>			
事業計画書・収支予算書 次年度の研究計画・業務計画と予算書	A4, 約 20p 約 400KB	白黒	毎年 3 月
事業報告書・収支決算書 前年度の研究成果・業務報告と決算書	A4, 約 40p 約 700KB	白黒	毎年 6 月
▶ <a href="http://criepi.denken.or.jp/intro/info/">http://criepi.denken.or.jp/intro/info/</a>			

## 電力中央研究所 所在地一覧

- **大手町地区**.....
  - ・本部 〒100-8126 東京都千代田区大手町1-6-1
  - ・原子力リスク研究センター TEL 03-3201-6601
  - ・社会経済研究所
- **狛江地区**.....
  - ・システム技術研究所 〒201-8511 東京都狛江市岩戸北2-11-1
  - ・原子力技術研究所 TEL 03-3480-2111
    - └放射線安全研究センター
    - └ヒューマンファクター研究センター
  - ・狛江運営センター
- **我孫子地区**.....
  - ・地球工学研究所 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子1646
  - └バックエンド研究センター TEL 04-7182-1181
  - ・環境科学研究所
  - ・我孫子運営センター
  - ・調達センター
- **横須賀地区**.....
  - ・電力技術研究所 〒240-0196 神奈川県横須賀市長坂2-6-1
  - └大電力試験所 TEL 046-856-2121
  - ・エネルギー技術研究所
  - ・材料科学研究所
    - └PD センター
  - ・横須賀運営センター
- **赤城試験センター**.....
  - 〒371-0241 群馬県前橋市苗ヶ島町2567
  - TEL 027-283-2721
- **塩原実験場**.....
  - 〒329-2801 栃木県那須塩原市関谷1033
  - TEL 0287-35-2048









電力中央研究所

# 研究年報 2014 年度版

CRIEPI Annual Research Report Fiscal Year 2014

2015年6月発行

発行:一般財団法人 電力中央研究所 企画グループ

〒100-8126 東京都千代田区大手町1-6-1

Tel.03-3201-6601(代) Fax.03-3287-2841 E-mail▶[www-rdd-ml@criepi.denken.or.jp](mailto:www-rdd-ml@criepi.denken.or.jp) URL▶<http://criepi.denken.or.jp/>

ISBN978-4-7983-1424-2