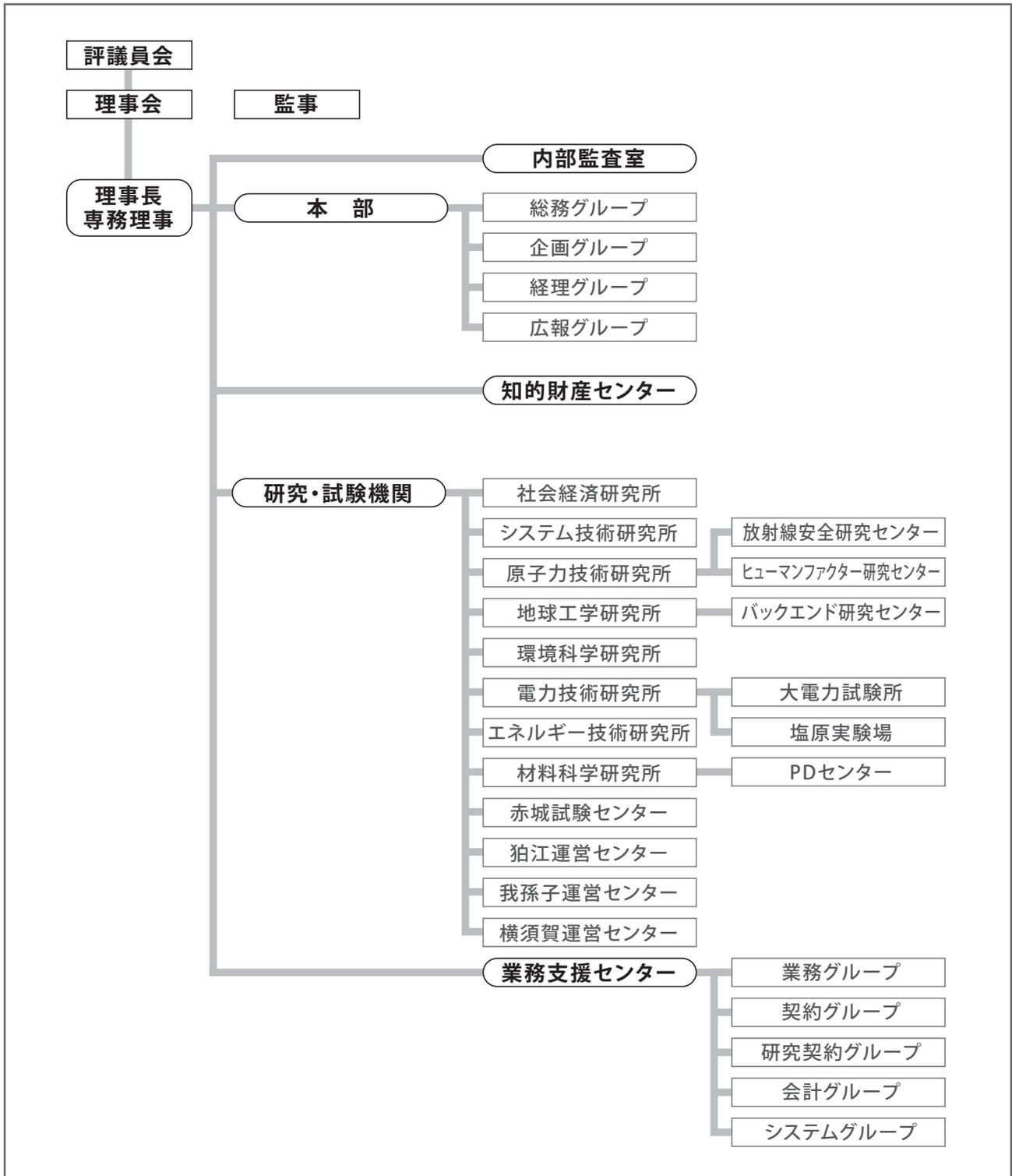


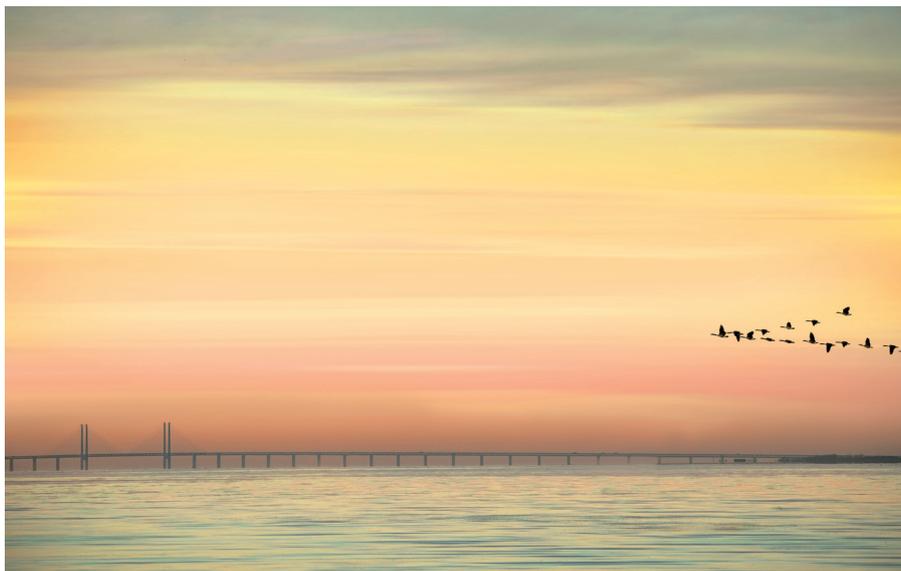
電力中央研究所
研究年報 2013 年度版
CRIEPI Annual Research Report Fiscal Year 2013



電力中央研究所の組織



電力中央研究所
研究年報 2013 年度版
CRIEPI Annual Research Report Fiscal Year 2013



目次 index

1. 研究活動概要	1
2013年度研究課題構成－研究の柱と8研究所	3

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
原子力施設に対する自然外部事象のハザード評価	8
自然外部事象に対する原子力施設のフラジリティ評価	10
放射性物質の拡散・長期動態に関する予測手法の開発	12
原子力施設における火災現象評価技術の確立	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
省エネ・環境制度の分析 ～経済・安全保障との調和の視点で～	30
科学・経済的合理性を持ったCO ₂ 排出削減シナリオの構築	32

設備運用・保全技術の高度化

原子炉圧力容器・炉内構造物健全性評価	34
軽水炉の機器・配管健全性評価	36
軽水炉のケーブル健全性評価	38
軽水炉機器・配管に対する非破壊検査技術の開発	40
高クロム鋼製高温機器の設備診断技術の開発	42
火力発電の大気環境総合評価技術の開発	44
生物多様性に配慮した電力施設の建設・運用支援技術の開発	46
ダム流域土砂管理のための統合システム開発	48
経年電力流通設備の維持管理技術の構築	50
経年鉄塔の健全性評価技術の開発	52

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	54
低品位資源利用技術の高度化	56

太陽光発電大量導入時の系統セキュリティ評価	58
次世代電力需給協調システムの開発	60
次世代通信ネットワークシステムの構築	62
日本型デマンドレスポンスの成立性評価	64
次世代ヒートポンプの開発と評価	66
高性能二次電池評価技術の確立	68
基盤技術課題	
社会経済研究所	70
システム技術研究所	72
原子力技術研究所	74
地球工学研究所	76
環境科学研究所	78
電力技術研究所	80
エネルギー技術研究所	82
材料科学研究所	84
3. 主要な新規研究設備	87
4. 活動実績	93
〈付表〉	
(1) 研究報告等	98
(2) 主要な出版物	104
(3) 主要な外部表彰	105
(4) 公刊物等一覧	107

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[Q13001]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

1. 研究活動概要

2013年度研究課題構成- 研究の柱と8研究所

1.研究活動概要

2013年度、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、堅固で柔軟なエネルギー需給構造の構築を目指した研究を、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。また、電気事業にとって喫緊の課題となっている軽水炉の安全性高度化や電力設備の自然災害対策について、当所の総合力を発揮し、最優先で取り組みました。

電気事業にとって現在または近い将来に必要な不可欠な技術のうち、当所が重点的に取り組み、維持・継承または発展させる32課題を重点課題として研究を推進しました。また、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、36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、現場での調査や実験・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。

2013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。

電気事業の技術基盤を支え、当所の基盤研究力を維持・強化するための大型研究設備については、陸上氾濫した津波特有の流れを再現可能な「津波・氾濫流水路」、電線やがいしへの強風・湿型着雪およびギャロッピング現象の観察および対策効果を検証する「実規模送電線雪害試験設備」、種々の燃料を用いた模擬燃焼が可能な「火力次世代燃料高度燃焼試験設備」、炭化燃料化技術における最適な条件設定を評価できる「炭化燃料化実験設備」、各種ヒートポンプ商品の性能評価に資する「ヒートポンプ開発試験設備」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

2013年度 研究課題構成 (2014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
- 原子力施設に対する自然外部事象のハザード評価
- 自然外部事象に対する原子力施設のフラジリティ評価
- 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

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
- ・雷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
- ・省エネ・環境制度の分析
~経済・安全保障との調和の視点で~
- ・科学・経済的合理性を持ったCO₂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
- ・生物多様性に配慮した電力施設の建設・運用支援技術の開発
- ・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
- ・次世代電力需給協調システムの開発
- ・次世代通信ネットワークシステムの構築
- ・日本型デマンドレスポンスの成立性評価

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
- ◆エネルギー変換・貯蔵材料
- ◆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ためには、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定量的リスク評価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

を施す必要がある。

本課題では、安全性向上策の評価システムを高度化し、それらの対策の有効性の定量的評価を目的としている。

主な成果

1 過酷事故解析コードのモデル解明

BWR代表プラントの全交流電源喪失に起因するTBU*1解析をできる限りモデルパラメータを合致させた上で、MELCOR2.1*2とMAAP5.01*3で実施し、両コードの解析モデルの違いが事象進展の解析結果に及ぼす影響を調べた。その結果、燃料落下開始までの事象発生時間は比較的よく一致するものの、炉心支持板破損から格納容器(PCV)破損までについては、いくつかの解析モデルの違いに起因して、事象発生時間に差が現れるこ

とが明らかとなった(図1)。また、原子炉容器(RPV)破損時に1次冷却系が高圧となるため、格納容器直接加熱(DCH)を考慮した場合、RPV破損直後にPCV破損が生じる結果となる(図1)。またその場合、ペDESTAL床と壁のコンクリートの侵食は発生せず、かつ溶融炉心-コンクリート相互作用(MCCI)による水素もほとんど発生しない結果となることがわかった(図2)[L13006]。

2 BWR原子炉建屋内水素／水蒸気挙動評価手法の開発

BWRの過酷事故時に、原子炉格納容器を経て建屋内空間に漏えいする水素挙動をCFD(数値流体解析)コードを用いて3次元解析を行った。また、これまでに開発したCFD解析の結果を予測する集中定数系(LP)モデルを、ブローアウトパネル等の側壁開口部を通る対向流が生じる場合(図3)も扱えるように拡張し

た。様々な開口条件についてCFD解析とLPモデルの評価結果を比較し、よい一致が確認された。これにより、計算コストの大きなCFD解析の実施に先立ち、LPモデルを用いて結果を予測することで効率的な評価を行うことが可能となった。

3 反応度事故(RIA)時の評価モデル高度化のための計測技術の開発

RIAは、制御棒落下などにより原子炉出力が急速に増大し、1秒未満の短時間に被覆管表面が乾く事象である。当該事象における沸騰気泡挙動と燃料温度を把握することは、反応度フィードバック*4を考慮する上で重要である。そのため、RIAを模擬する直接通電加熱

体系において、ボイド率と過渡温度の計測が可能となる技術を開発した。被覆処理を施したワイヤメッシュセンサで平衡回路を組むことで電位影響を消去できる3点式熱電対システムを構築し、時定数0.1秒以下の優れた応答性で高精度の二相流計測を可能とした(図4)。

4 外部事象による共通原因故障を考慮したレベル1PRAモデルの構築

2012年度作成した代表的BWRプラントの内部事象および地震影響レベル1PRA(炉心損傷頻度を評価する確率論的安全評価)モデルを基に、津波の重畳影響を考慮したプロトタイプモデルを構築した。また、このモデルに

入力するフラジリティデータを整備するため、プラントの津波影響に対し重要な設備である水密扉と海水ポンプの津波フラジリティ*5の評価を行い、津波ハザードとフラジリティを結合する際の課題を抽出した。

*1 電源喪失(DG起動失敗を含む)。

*2 MELCOR:NRC(米国)が開発している過酷事故解析コード。日本では、規制側が利用している。

*3 MAAP:EPRI(米国)が開発している過酷事故解析コード。主に事業者側が利用している。

*4 炉出力の急上昇時に燃料温度変化に対応して炉出力を抑制する効果。

*5 ある規模の津波に対する条件付き機能損失確率。

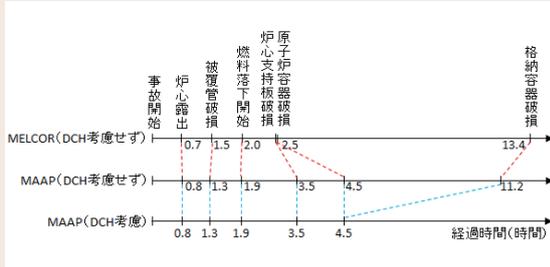


図1 TBUシーケンスにおける主な事象の発生時間の比較

炉心支持板破損以降の事象発生時間にMAAPとMELCORで大きな差が現れること、また1次冷却系が高圧状態で原子炉容器が破損したときに発生する可能性のある格納容器直接加熱(DCH)を考慮した場合、原子炉容器破損直後に格納容器破損が発生するという厳しい結果になることが確認された。

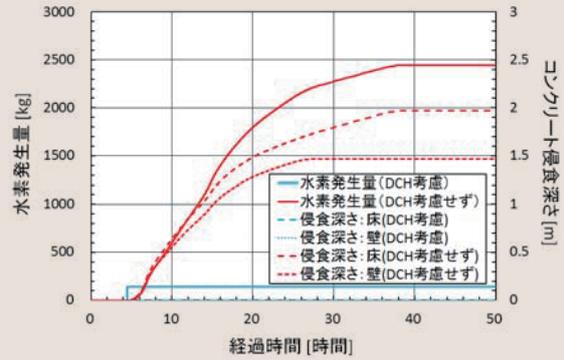


図2 TBUシーケンスに及ぼすDCHの影響(ペDESTALでの水素発生量とコンクリート侵食深さ)

DCHとは、RPV破損時に高温の炉心デブリが水蒸気等のガスとともに高圧でPCVへ放出され、PCVに熱的・機械的な負荷が発生する事象である。DCHを考慮した場合、デブリの大部分がペDESTALからドライウェルへと流出するため、ペDESTALでのMCCI発生が小規模となり、コンクリート侵食量および水素発生量ともに少なくなる。一方、DCHを考慮しない場合は、すべてのデブリがペDESTAL内に留まり、大規模なMCCIが発生する。

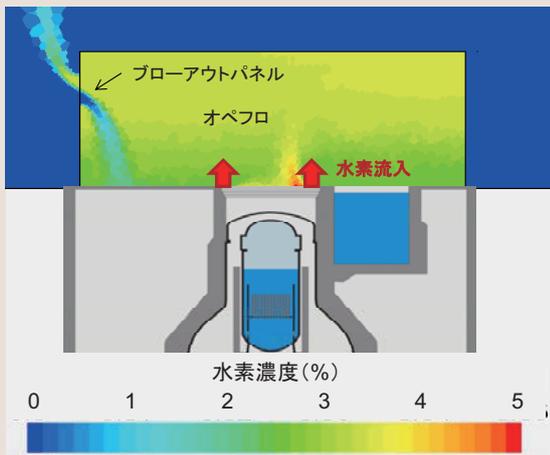


図3 建屋内水素挙動評価

BWRの過酷事故時に、原子炉格納容器から建屋内空間に漏えいする水素の詳細挙動に対してCFDコードを用いた3次元解析を実施した。ブローアウトパネルにおいて上側から排気、下側から吸気の対向流となることを考慮して、これまでの集中定数モデルを拡張した。

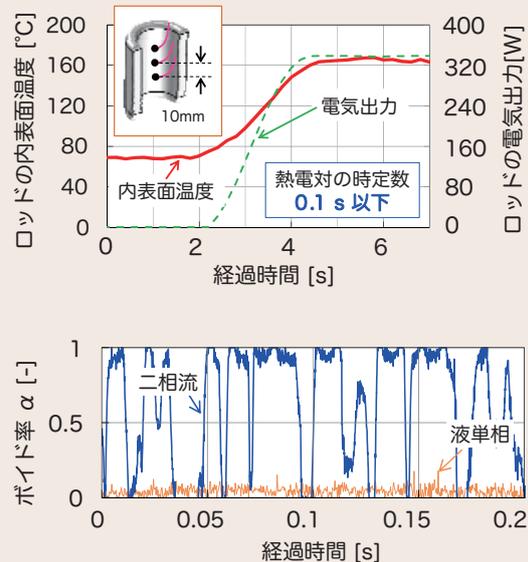


図4 RIAを対象とした計測技術の開発

RIAを模擬する直接通電加熱体系において、ボイド率と過渡温度の計測が可能な技術を開発した。模擬発熱体の表面温度を計測するために3点式熱電対システムを構築し、過渡的な温度変化に追従できることを確認した(上図)。また、ワイヤメッシュセンサを被覆処理により改良したセンサにより、直接通電時においても二相流計測を行うことが可能となった(下図)。

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、安全性確保の取組みに対する信頼回復に向け、自然外部事象に起因するハザードの評価手法を開発し、原子力施設の安全性向上と高度化を図る。

主な成果

1 長大活断層帯を対象とした合理的な強震動評価法

複数のセグメントが連動する100km超の長大活断層帯を対象とした強震動評価では、アスペリティ*を設定するための経験則が適用できない可能性が指摘されている。そこで、従来の経験則ではなく、地表で得られる活断層情報に基づいてアスペリティを設定する手法の開発を目的として、長大断層地震である

1992年Landers地震のパラメータ(アスペリティの位置やサイズ・すべり量等)と、それに伴い生じた地表変位量の分布の関係を整理した。その結果、アスペリティの幅やすべり量が定性的に地表変位量の分布と相関があることを見出した^[1]。

2 バランス断面法に基づく震源断層評価法

活断層の定量的な連動性評価手法の開発にあたり、震源断層端部の特徴を明確にする必要がある。そのため、1964年新潟地震震源域(海域)の2次元反射法地震探査によって求

めた堆積層の変形について、バランス断面法解析を行うことにより、2次元断層深部形状をモデル化した。さらに、2次元モデルの重ね合わせにより3次元断層構造を得た^[2]。

3 噴火実績と数値流体解析に基づく火山活動評価法

噴火実績に基づく火山活動の評価のため、北海道恵山火山における過去5万年間の噴火史(活動年代と噴出量)を整理・解析し、経験的噴火予測モデルを構築した。モデルの前提条件が正しいとみなされる場合は、最新の溶岩ドーム噴火から約9,000年が経過していることから、地下のマグマ溜りには、大きな体積のマグマが蓄積していると推定される^[3]。このようなモデルにより、原子力発電所の火山評

価ガイドや火山影響評価指針類(IAEA SSG-21やJEAG4625)に基づく、安全性評価手法の改良と精度向上を目指す。また、重要構造物に対する降灰のハザード評価の視点から、火山灰の輸送に関わる数値流体解析技術として、火山灰の移流・拡散・沈降評価および噴煙柱評価の現状と、今後取組みが望まれる空間的な評価が可能な多次元モデルの適用に関する課題を抽出・整理した^[4]。

* 断層境界上の凸部分で、強度(摩擦抵抗)が大きく、すべると大地震が起こる。

[1] 栗山・佐藤、日本地震学会2013年秋季大会予稿集、2013

[2] Kimura and Okamura, Abstract for 2013 AGU Fall Meeting, 2013

[3] Miura et al., GSA Bulletin, 125, 1503-1519, doi:10.1130/B30732.1, 2013

[4] 須藤・服部・土志田, 日本風工学会誌, 38, 416-425, 2013

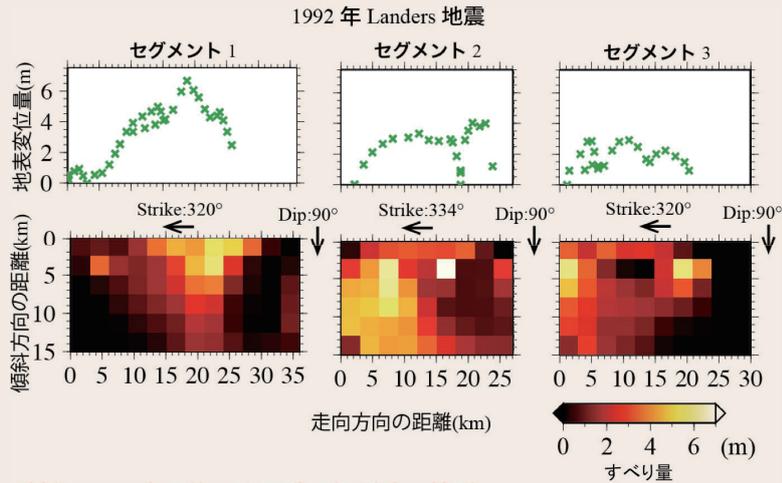


図1 長大活断層帯を対象とした合理的な強震動評価手法の検討

複数のセグメントが連動した1992年Landers地震について、震源断層パラメータ(Wald and Heaton, 1994)と地表変位量分布(Sieh et al., 1993)をセグメントごとに整理した^[1]。各セグメントについて、震源断層面上で相対的にすべり量が大きいアスペリティ領域の幅や出現位置が、定性的に地表変位量の分布と相関があることが示唆される。

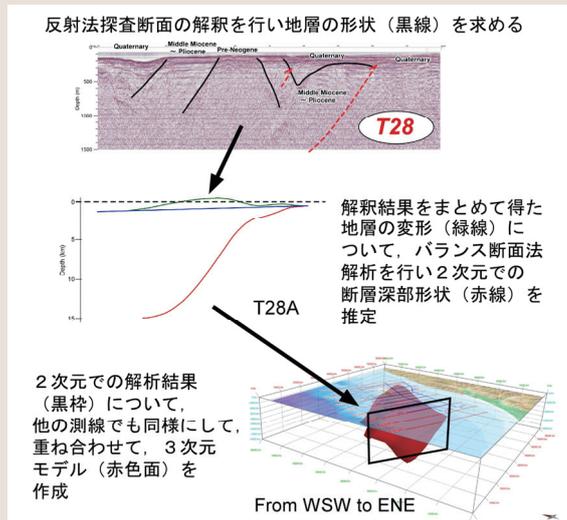


図2 バランス断面法に基づく震源断層評価法

1964年新潟地震(M = 7.5)震源域でバランス断面法による断層深部形状モデル作成の推定例^[2]。反射法地震探査→解釈→バランス断面→3D断面構造の順に地下構造をモデル化し、震源断層・連動性評価への活用を図る。

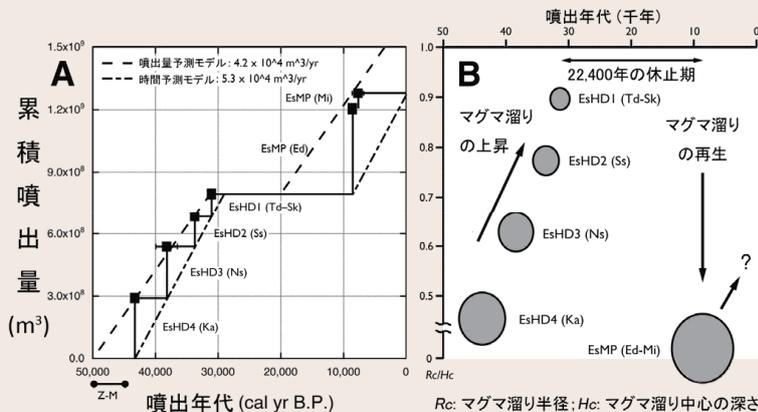


図3 経験的噴火予測モデルに基づく火山評価

北海道恵山火山における過去5万年間の噴火史に基づく経験的噴火予測モデル^[3]。A:時間一累積噴出量の実績図。B:マグマ溜りの移動によりAにみられる噴出量の変化を説明した概念図。EsMP, EsHD1, 2, 3, 4は主要な噴火活動の名称を示す。

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

2011年東北地方太平洋沖地震による福島第一原子力発電所の事故以来、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。原子力発電は、低炭素社会を実現するための有力な発電方式であるとともに、安定供給を支える重要電源である。このためには、安全に対する信頼回復

と将来の不安払拭に向けた継続的な取り組みが不可欠である。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安全性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し、以て電力の安定供給に資する。

主な成果

1 津波漂流物リスクの評価

原子力発電所における津波漂流物リスク評価手法の確立に向けて、津波漂流物の簡易移動判定手法(図1)および新しい漂流物衝突力の推定手法を提案するとともに、津波漂流物挙動解析モデルを用いた漂流物衝突確率

評価手法を開発した。これらの手法を用いることにより、津波漂流物リスクのスクリーニング、および津波漂流物に対する発電所設備・機器のフラジリティ評価における外力推定が可能となる。

2 津波・氾濫流水路の導入

原子力発電所施設・機器の対津波健全性評価試験が実施可能な大型研究設備「津波・氾濫流水路」(図2、3主要な新規研究設備参照)を開発・導入し、実用化のための動作確認試験を実施した。津波・氾濫流水路は、陸上氾濫した巨大津波の特徴である段波状の先端を持

つ長時間継続する速い流れを大規模に再現でき、津波による波圧や漂流物の衝突力、また、津波外力作用時における施設・機器を対象とした応答・破壊変形挙動の評価試験などに適用が可能である。

3 実規模免震破断試験による軽水炉向け免震装置の破断限界の評価*

原子力施設への建屋免震構造の適用性を検討する上で必要となる免震装置の終局特性を実験的に評価した(図3)。試験体には、軽水炉発電の実機プラントを想定して設計した直

径1600mm、支持荷重900トンの積層ゴムを実物大スケールで用いた。実験の結果、実物大の積層ゴムが従来の縮小試験等から予測された破断力学性能を有することを実証できた。

4 鉄筋コンクリート部材崩壊解析プログラムの開発

従来の鉄筋コンクリート構造物の耐震性評価は、一部材の破壊を評価基準としているが、部材が破壊した後の挙動まで追跡できるようになれば、冗長性(全体として求められている機能を維持する性質)を定量化でき、評価の合理化・設計想定を超えた場合に生じる現象の解明に役立てることができる。そこで、鉄筋

コンクリート部材・架構が崩壊に至るまでのシミュレーションを目的とした構造解析プログラムの開発を進めている(図4)。これまでに、コンクリート用平面要素、および幾何非線形性を考慮した梁(鉄筋)要素を組み込み、試験解析によってそれらが単体で機能することを確認した。

* 資源エネルギー庁補助事業「平成25年度発電用原子炉等安全対策高度化技術開発」ならびに電力共通研究「免震システム評価手法開発」の一部であり、公募研究として当所が破断試験を受託した。

[1] T.Hiraki et.al: Development of a evaluation method for seismic isolation systems of nuclear power facilities (Part 9), Proc. on the ASME-PVP,2004.

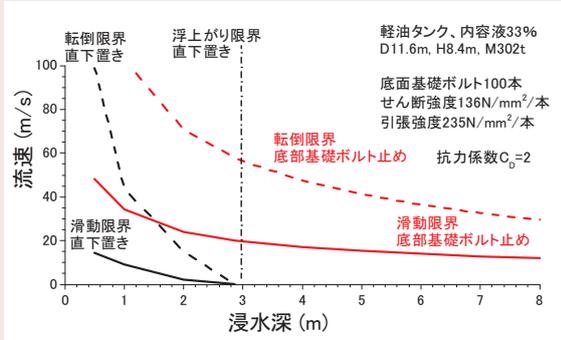


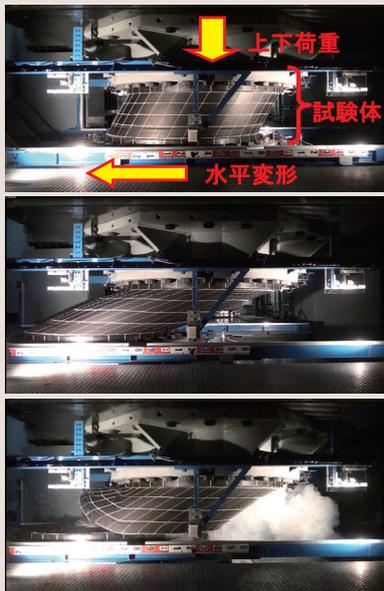
図1 津波による軽油タンクの簡易移動評価

直下置き(黒)、および、底部基礎ボルト止め(赤)された軽油タンクの滑動・転倒・浮き上がり限界と、流速・浸水深の関係を表している。破線は転倒限界を表し、実線は滑動限界を表し、一点鎖線は浮き上がり限界を表す。評価設備周辺の流速および浸水深の値が、滑動・転倒・浮き上がりの限界を表す各曲線よりも左・下の範囲であれば、津波による滑動・転倒・浮き上がりが生じない。



図2 津波・氾濫流水路での試験例

津波・氾濫流水路を用いた試験の一例。高さ1.5mの防潮堤に作用する波圧を調べる試験にて、大量の気泡が混入された津波先端部が防潮堤に衝突する直前の流れ(上図)と、衝突直後に水塊の跳ね上がりが生じた様子(下図)。



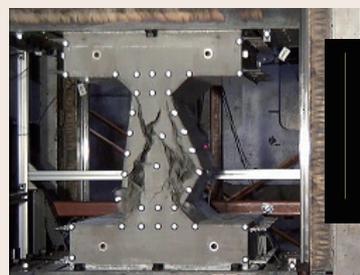
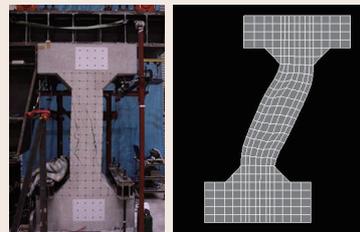
(a) 水平ひずみ100% (設計レベル)

(b) 水平ひずみ450% (破断直前)

(c) 水平ひずみ450% (破断後)

図3 実規模免震装置の破断試験映像^[1]

試験の一例として、定格荷重約900トンの上下荷重を作用させた状態で、水平方向の変形を徐々に大きくして破断に至った試験ケースにおける試験体の変形状況を示す。試設計された免震装置は、設計レベルを大きく超える変形性能を有することが確認された。



シミュレーションの目標 (2012年度実験)

図4 RC構造物崩壊解析プログラムの開発

左下写真のような状態に至るまでのシミュレーションを行うための構成要素の開発を進めている。せん断破壊過程の追跡精度に優れた前川の鉄筋コンクリート平面要素モデル(上)、および幾何非線形を考慮した梁要素(右)を当所の構造解析プログラムMastrdに組み込み、それらの動作確認を行った。

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

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

原子力発電所の安全性を評価し、継続的な向上を図るためには、過酷事故時の大気および海洋などの環境影響評価や原子力防災措置を事前に検討しておく必要がある。

本課題では、放射性物質の大気および海洋の環境中で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

当所が開発した大気拡散モデルを改良し、過酷事故時に大気放出された放射性物質の拡散・沈着量評価に加えて、地表沈着に伴う外部被ばく量なども評価できる機能を追加し、数10km範囲を対象として発電所からの放射性物質放出時における適用性を確認した(図

1)。また、広域大気輸送モデルの高解像度化を行い、既往の野外実験による観測値と比較した。格子解像度や放出源からの距離に応じた再現精度の評価を行い、現状の問題点を明らかにした。

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

福島第一原子力発電所事故時に放出された放射性物質の環境中実態把握のため、海洋中に直接漏洩した場合を想定し、大気からの放射性物質降下も考慮した北太平洋スケールの海洋中¹³⁷Cs濃度シミュレーションを実施した。その結果、海洋中層への沈み込みといった海洋特有の拡散特性を把握でき

た^[1](図2)。また、海底土の¹³⁷Csの存在量と移行を推定するとともに^[2]、食物連鎖による移行を含む海生生物移行シミュレーション解析から、初期の海水中¹³⁷Cs濃度とその減衰条件を設定し、海水および海生生物中の濃度減衰と両者の関係を明らかにした^[3](図3)。

3 環境中放射性物質の樹木における移行評価

千葉県北西部において、2011～2013年の夏期に17種51本の樹木から試料を採取し、枝と葉別に放射性Cs(¹³⁴Cs、および¹³⁷Cs)濃度を測定した。その結果、放射性Cs濃度は樹種によらず経年的な減少傾向が見ら

れた(図4)。一方、放射性Csは枝や葉の伸長を通して新芽などで高い場合も見られ、新たに展開した組織に移行している可能性を示した。これらの結果は、汚染樹木の伐採・管理等への応用が期待できる [V13008]。

[1] Tsumune, et al., Biogeosciences, 10, 5601-5617, 2013

[2] 三角和弘 他, 日本海洋学会, 2013年度日本海洋学会秋季大会, 2013

[3] 立田 穰, Isotope news, 719, 2014

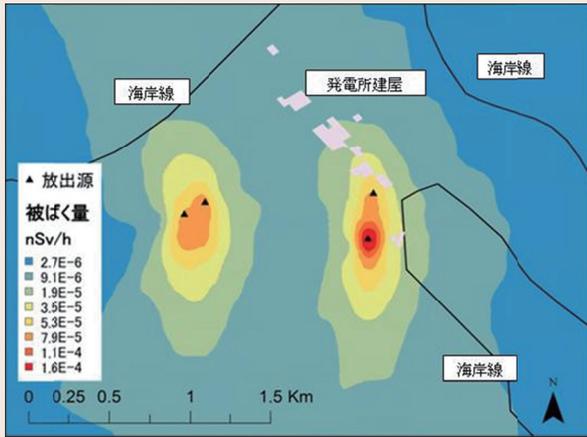


図1 大気拡散モデルによる計算例

仮想的な原子力発電所地点において、排出源高さや周辺の気象条件に基づき複数の放出源からの放射性プルームの大気拡散予測を行い、次いで放射性物質(Cs、I、希ガスなど)による外部被ばく量を評価した。

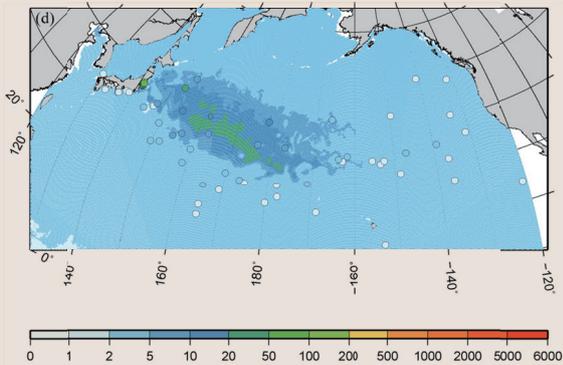


図2 2012年1月-3月における北太平洋の ^{137}Cs 濃度分布(Bq m^{-3})

^{137}Cs は北太平洋の東向きに拡散し、カラーカウンターはシミュレーション結果、丸印は観測結果の濃度に対応する色を示す。白丸印は福島事故以前のバックグラウンド濃度を示す。

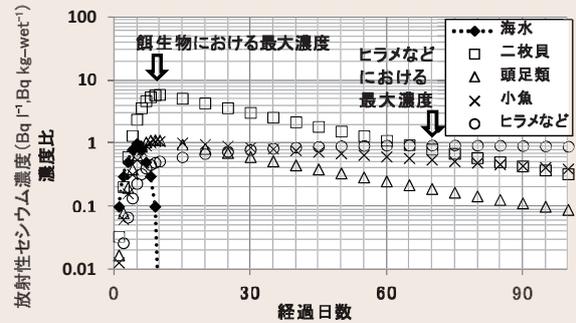


図3 海水と海生生物中の ^{137}Cs 濃度変化のシミュレーション結果

海水中濃度が5日間で 1Bq L^{-1} に達し、5日後に低下した条件で海生生物中の ^{137}Cs 濃度(Bq kg^{-1})を計算した。海水中最大濃度 1Bq L^{-1} に対する海生生物中の ^{137}Cs 濃度(Bq kg^{-1})と同時に濃度比も示す(縦軸)。

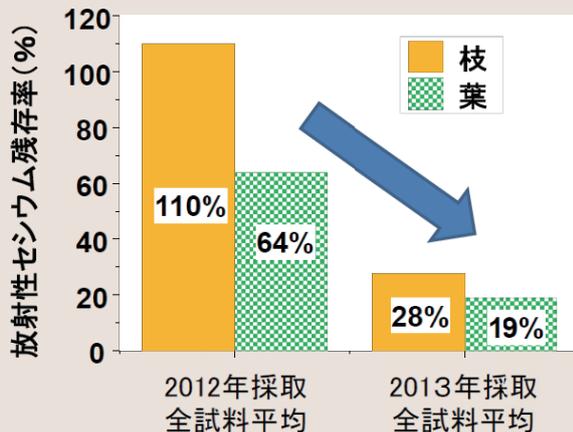


図4 枝葉別放射性セシウム残存率の経年傾向

枝、葉別に、各年次採取試料における放射性セシウム濃度を2011年採取試料に対する濃度比(放射性セシウム残存率;%)として表示した。2012年には樹体内の移動などにより特に枝において高い残存率であったが、2013年には枝で約30%、葉では20%まで低下しており、物理的な放射性セシウムの壊変に伴う減少(半減期は ^{134}Cs が2年、 ^{137}Cs が30年)を上回る大幅な減少が確認された。これらは、樹体の生長にともなう新芽への移行や風雨による洗浄の効果と考えられる。

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

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(補機油やケーブル火災、アーク火災等)に応じた燃焼挙動の予測精度向上により、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に寄与する。

主な成果

1 ケーブルトレイ内火災に対するチューブ式自動消火装置の施工方法の確立

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、チューブ式自動消火装置(図1)の施工が有望とされている。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実機最大幅(1.8m)の金属蓋付きケーブルトレイを用いて、2kAクラ

スの過電流による難燃性高圧電力ケーブルの火災消火試験(図2)を行った。その結果に基づいて、環境配慮型ハロゲン化物消火剤を充填した消火装置の最長対応範囲50mの消火能力となる施工方法を確認し、実施工への適用性の見通しを得た。

2 高圧スイッチギア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、アーク発生時の火災ハザード評価に向けて、2種類(6.4kVと8.0kV)の高圧スイッチギアを用いた内部アーク試験を行い、アークエネルギーが25MJ以下では、アークの発生位置にかかわらず、火災に進展しな

いことを明らかにした(図3)。さらに、高圧スイッチギア内に発生する圧力や筐体の破損に伴う高温ガスの放出状況を予測可能なCFDコード(数値流体解析コード)を開発し、内圧による筐体の破損形態や周辺への熱的影響範囲を同定できることを確認し、火災ハザード評価に適用できる見通しを得た。

3 火災解析コードFDS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)を合理的に算定する必要がある。代表的な火災解析コードの一つであるFDS(Fire Dynamics Simulator)*2は、複雑な形状で構成された区画の火災事象の詳細な評価に適しているが、その解析精度は入力条

件に大きく依存する。このため、火災上昇流や高温鉛直壁面の熱伝達を対象にしたFDSの検証試験を実施し、計算メッシュ間隔や火源の熱分解条件を適切に設定することによって空気温度等を高い精度で推定できる手法を確立した(図4) [N13010]。

*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を一緒に金属製筐体に収めたもの。

*2 米国NIST(National Institute of Standards and Technology)により開発された、火災時の熱流動や物質輸送等を主な対象とするCFDコード。計算負荷は比較的大きいが、空気温度の空間分布等の評価が可能である。

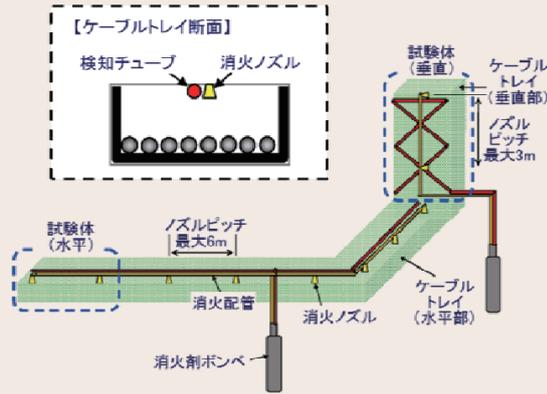
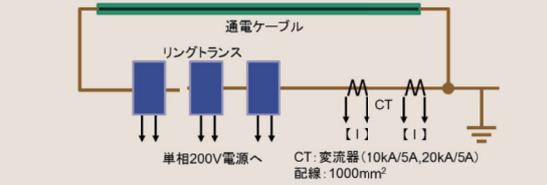


図1 チューブ式自動消火装置のケーブルトレイへの施工例

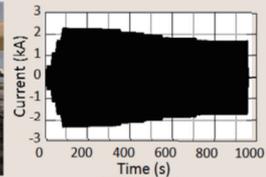
チューブ式自動消火装置は、消火剤ポンペ、検知チューブ、消火用配管、容器弁等にて構成される。作動原理は、窒素を加圧封入したポリアミド製の検知チューブが、火災の熱(感知温度:180℃)で破裂することにより、ポンペ入口の消火剤容器弁(空気作動弁)を作動させ、消火剤(Novec1230:常温液体、沸点49℃)が放出される。消火ノズルから消火剤を対象区域に噴射し、消火剤が有する燃焼反応の抑制作用および冷却効果により消火を行う。熱(温度異常)を検知して自動的に作動するため電源不要で、停電時にも消火が可能な自動消火設備である。



【試験回路図】



【試験概要】



【通電例】

図2 過電流によるケーブル火災試験概要

電力技術研究所・大電力試験所(横須賀地区)の過電流試験設備を用いて、非難燃性高圧電力ケーブル(6.6kV-CV-3C-150sq)の許容電流の約6倍(2kA)の過電流によるケーブル火災消火試験を実施した。試験では、リングトランスにより連続通電し、ケーブル火災を再現した。

消火剤配管の端部を模擬した耐火シートで被覆した実機最大幅(1.8m)の金属蓋付きケーブルトレイを用いて、垂直姿勢および水平姿勢における火災消火試験を実施し、チューブ式自動消火装置の最長対応範囲である50mの使用が可能であることを確認した。

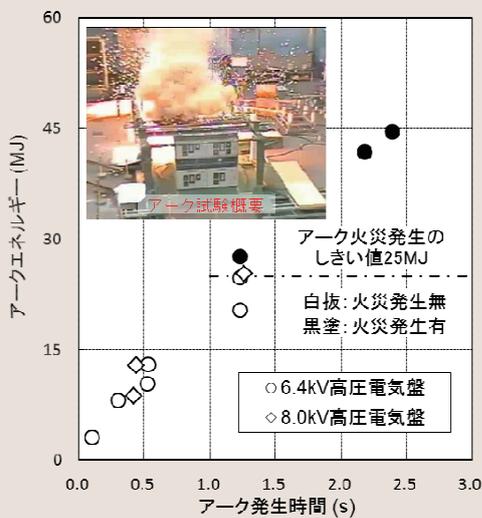
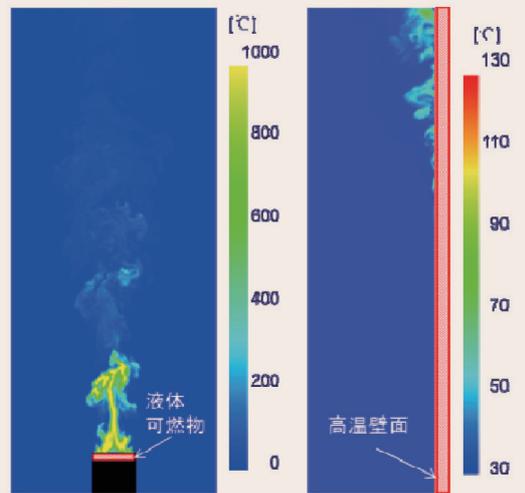


図3 高圧スイッチギア内部アーク試験で測定されたアークエネルギーと火災発生限界

2種類の高圧スイッチギア(電圧6.4kVおよび8.0kV, 三相三線式)を用いて、アーク発生時間をパラメータ(0.1~2.2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、アークが発生するエネルギー量*を測定した。アークエネルギーが25MJ以下では、アークの発生位置(遮断器室内および母線室内)にかかわらず、二次的な火災に進展しないことを確認した。

*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。



液体可燃物からの火災上昇流 高温鉛直壁面の自然対流

図4 火災解析コードFDSによる火災上昇流の解析例

火災解析コードFDS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。左図に示す液体可燃物(エタノール・火皿直径30cm)からの火災上昇流解析において、計算メッシュ間隔が火災特性長さ(発熱速度を基に定められる長さスケール)の1/20以下であれば、非定常状態の瞬時空気温度などが精度良く再現できる。また、右図に示す高温鉛直壁面近傍の自然対流解析においては、計算メッシュ間隔が層流対流境界層の相似変数(壁面からの規格化した法線方向スケール)の0.6以下であれば、壁面極近傍の非定常な熱流動が再現できる。

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

原子力施設の作業員の被ばくや、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の被ばくは、低線量率であるものの長期間にわたる被ばくとなる。このような被ばくは高線量率被ばくと異なり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、高自然放射線地域での疫学調査から示唆されており、その生物学的な機構を示すことは、放射線に対する不安の軽減や

防護基準の合理化につながる。また放射線リスク評価の基盤となる線量評価の精度向上も重要な課題となっている。

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旨とするとともに、放射線リスクの不確実性低減に向けた線量評価手法を開発する。

主な成果

1 線量率効果の解明に向けた組織幹細胞の放射線影響評価手法の開発

がんは組織幹細胞*1(以下、幹細胞)に障害が蓄積することで生じる。通常、生体組織内においては、複数の幹細胞が集団を形成して機能を維持していることが知られている。低線量率放射線被ばくでは、放射線によって傷ついた幹細胞と傷ついていない健常な幹細胞が集団内に混在するような状況が生じる。このとき、傷ついた幹細胞と健常な幹細胞との間で競合が起こり、傷ついた幹細胞が排除されれば、放射線による幹細胞の障害は集団全体として蓄積しにくくなると考えられる。当所は、これが線量率効果のメカニズムの一つで

あると考えて、その検証に取り組んでいる。

この競合を詳細に解析するために、腸管幹細胞のオルガノイド*2培養技術(図1)を用いた実験系を開発し、0~4 Gyの照射を受けた幹細胞の生存率を明らかにした(図2左)。さらに、この実験系を応用して、2 Gy以上の高線量照射後に生き残った幹細胞の組織を再生する能力が高くなっていることを定量的に明らかにした(図2右)。このように、本実験系は放射線照射後の幹細胞の挙動を試験管内で定量的に解析可能で、幹細胞間の競合による線量率効果の検証に適用できることを確認した^[1]。

2 クリアランス検認*3における放射線計数効率の経年影響の評価

原子力施設から搬出される廃棄物等のクリアランス検認では、低い放射線量を正確に計測する必要があることから、線量計測の精度向上が課題となっている。精度の高い計測を困難にしている要因の一つが、金属廃棄物に発生するさびの影響である。さびによって放射線が遮へいされる場合に、放射性物質による汚染を過小評価しないために、さびが放射線計測に及ぼす影響を評価する必要がある。

本研究では、放射性同位元素(α 核種として ^{241}Am 、 β 核種として ^{60}Co)を付着させた金属

試験片を用いて、さび発生試験を実施し、さび量と放射線計数効率の低減度の関係を明らかにした(図3)。また、原子力関連施設倉庫内の実環境におけるさびの発生状況を1年以上にわたって観測し(図4)、実環境での金属廃棄物の放射線計数効率の低下を推定することを可能にした。さらに、放射線のエネルギーの違いを考慮することで、ウランで汚染した廃棄物についても、経年変化による不確実性の影響を適切に評価したクリアランス検認を可能とする評価方法を提示した^[2,3]。

*1 組織を構成する細胞の源となる細胞。自己増殖する特徴から発がんの起源であるとされる。

*2 幹細胞から分化して生じた各種機能細胞が生体内組織と同様な細胞配置を示す立体的な組織構造体。

*3 放射性物質として取り扱う必要がないレベルの放射性物質濃度以下であることの確認。

[1] Yamauchi, M. et al., J Radiat Res, 55(2), 381-390, 2014

[2] 伊知地・河村, Jpn. J. Health Phys., 48(4), 171-179, 2013

[3] 伊知地・河村, Jpn. J. Health Phys., 48(4), 200-205, 2013

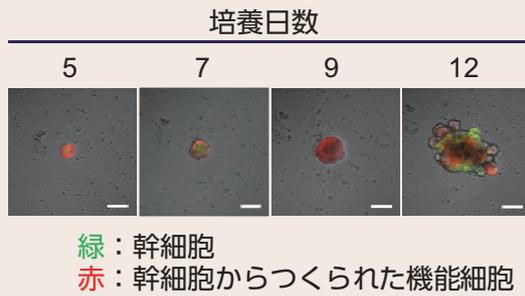


図1 腸管幹細胞オルガノイド培養実験系

マウス小腸から分離した幹細胞を含む小腸組織細胞を試験管内で培養して得られたオルガノイド。緑は幹細胞、赤は幹細胞が分裂してつくられた細胞。培養日数が進むにつれて、金平糖状になり、小腸の絨毛の根元に存在するクリプトに類似した突起が生じた。さらに、生体内における分布と同様に、その底部に緑色の幹細胞が存在することが確認できた。

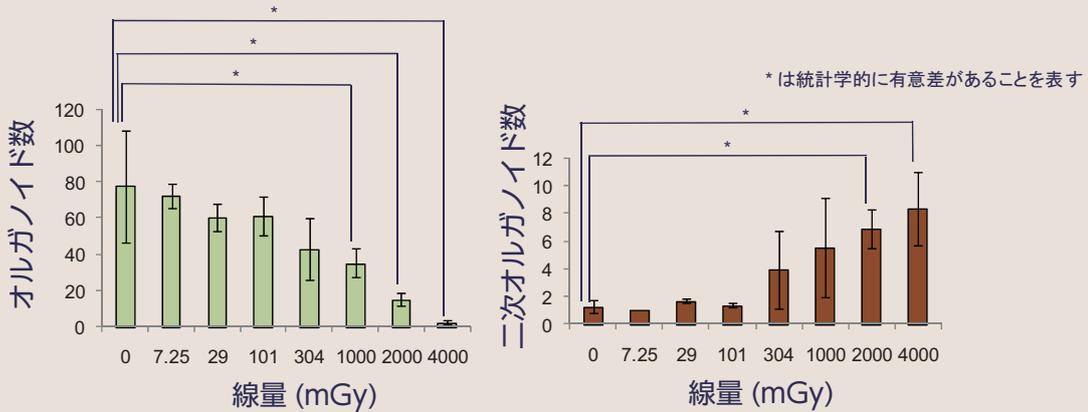


図2 オルガノイド実験系による放射線影響評価

放射線照射後に形成されたオルガノイドの数(左)。オルガノイドは幹細胞からできるため、オルガノイド形成効率は幹細胞の放射線照射後の生存率を表す。非照射群と比べて1000 mGy以上で有意に減少することが分かった。

また、放射線照射後に傷ついた組織を修復するため、生き残った幹細胞は活発に組織再生すると考えられるが、これを定量的に評価したデータはこれまでなかった。そこで、照射後に形成された一次オルガノイドを細胞に分解し、再度培養して二次オルガノイドを形成させて、幹細胞の組織再生能を評価した(右)。1個の一次オルガノイドから形成された二次オルガノイドの数を計測し、照射線量が大きいほど増加することを定量的に明らかにした。

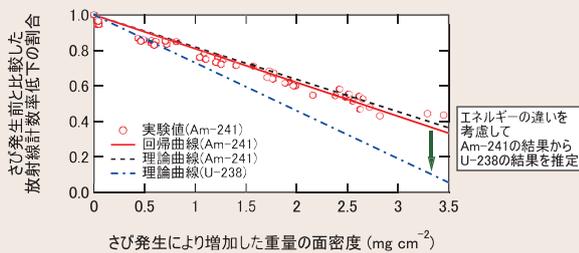


図3 さびによる放射線計数効率の低下(試験結果及び理論値)

炭素鋼に α 核種である ^{241}Am を滴下した試験結果を、例として示す。試験結果はほぼ理論値と一致した。

このことから、エネルギーの違いによる理論式の傾きの違いを考慮することで、さびによる ^{238}U の放射線計数効率低下度を推定することが可能となる。

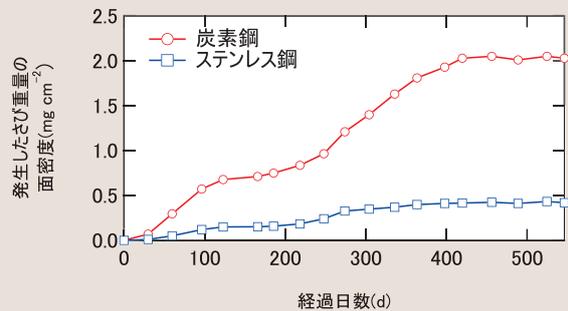


図4 原子力関連施設倉庫内の実環境におけるさび発生試験結果

炭素鋼とステンレス鋼を原子力関連施設倉庫内の実環境に設置し、経年変化によるさびの発生量を観測した。図3の評価から、 ^{238}U で汚染した炭素鋼では500日経過後には放射線計数効率が0.4~0.5程度に低下すると推定できる。

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を対象に透水試験法およびガス移行評価手法を開発する。また、高レベル放射性廃棄物処分では地下水年代評価手法および処分場で使用するセメントの選定方法を開発する。

主な成果

1 Ca型ベントナイト混合土の透水試験法の開発

浅地中ピット処分施設で用いられる可能性があるCa型ベントナイト混合土の透水係数は小さく、我が国で広く用いられているJISの透水試験法で測定することは困難である。そこでJISの試験法に改良を加えて供試体の飽和

度を事前に評価する方法、および透水中の細粒分移動による透水性変化の影響の軽減方法を示し、透水係数を高精度で測定する方法を提案した(図1)。今後、この測定法を学会等の規格・基準に反映していく[N13005]。

2 Ca型ベントナイト混合土のガス移行特性評価

Ca型ベントナイト混合土は透気性が低く、金属腐食等により発生する水素ガスの挙動を評価する必要がある。そこで、ガス移行試験を実施するとともに当所が開発した力学連成気液二相流解析コードによる数値シミュレーシ

ョンを行った。その結果、実際の地点におけるガス移行特性の正確な評価には、混合土の材料特性の把握とともに、その地点の初期応力状態や境界条件を考慮する必要があることがわかった(図2)[N13011]。

3 掘削水が混入した地下水の年代評価法

放射性廃棄物処分場選定では、候補地周辺における地下水流動の把握が重要である。そのために地下水の滞留時間(地下水年代)が有用な情報として用いられている。有機物は岩石と相互作用しにくいため、有機物に含まれる放射性炭素(^{14}C)は地下水年代指標とし

て期待されるが、調査孔掘削時に地下水に混入する蛍光染料によって、 ^{14}C の正確な測定が阻害される。そこで、合成吸着樹脂への吸着挙動の違いを利用して天然の有機物と蛍光染料を分離する方法を確立し、正確な地下水年代の評価を可能にした(図3)^[1]。

4 処分場の各部位に用いるセメント種類の選定

処分場で用いるセメント系材料を適切に選定するために、その適用が想定される部位ごとに材料への要求特性を検討・整理した。さらに、処分場閉鎖後の長期間のセメント劣化お

よび変質による状態変遷の推定を試行した。この試行を通じて、処分システムの安全確保において相対的に重要な部位の抽出が可能であることを確認した(図4)[N13009]。

[1] Nakata, K., Kodama, H., Hasegawa, T., Hama, K., Iwatsuki, T., Miyajima, T., Journal of Hydrology, 489, pp.189-200, 2013

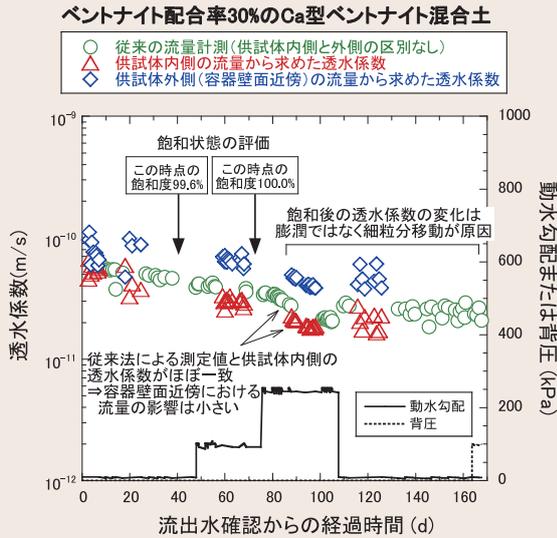


図1 新たな試験手順を反映した透水試験の結果
 試験中に飽和を確認することにより、飽和後の透水係数の変化が飽和度の変化によるものか、あるいは、細粒分移動による目詰まりによるものかを判別できる。また、Ca型ベントナイト混合土では、従来の測定でも供試体内部の透水係数が得られることを確認した。

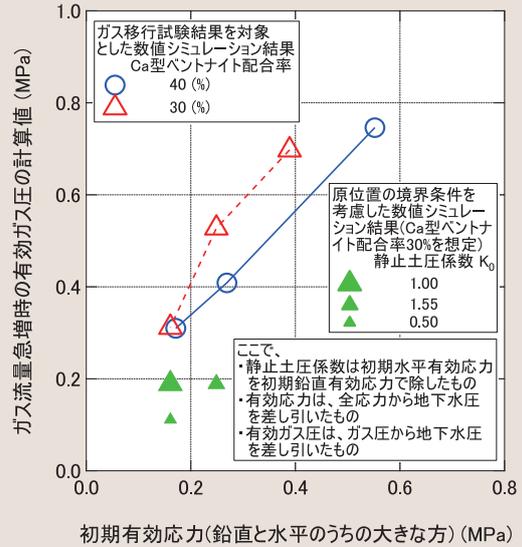
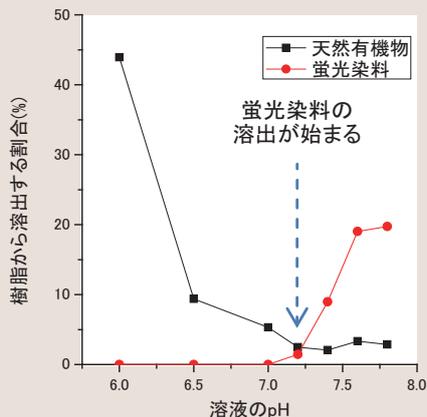


図2 ガス流量急増時のガス圧の評価結果
 ガス流量急増時の有効ガス圧は、ガス移行試験における供試体に比べて実際の地点(原位置)における方が小さい。これは、ガス移行試験における供試体に比べて原位置における初期有効応力ならびにガス圧増大に伴う反力による有効応力の大きさが小さいためである。



カラムに流す溶液 pH と溶出する割合の関係

図3 天然有機物と蛍光染料の分離方法
 pH7.0の溶液では合成吸着樹脂(DAX-8)に、天然有機物がほとんど吸着しないのに対して、蛍光染料はほとんどが吸着することを利用して、これらを分離する手法を確立した。

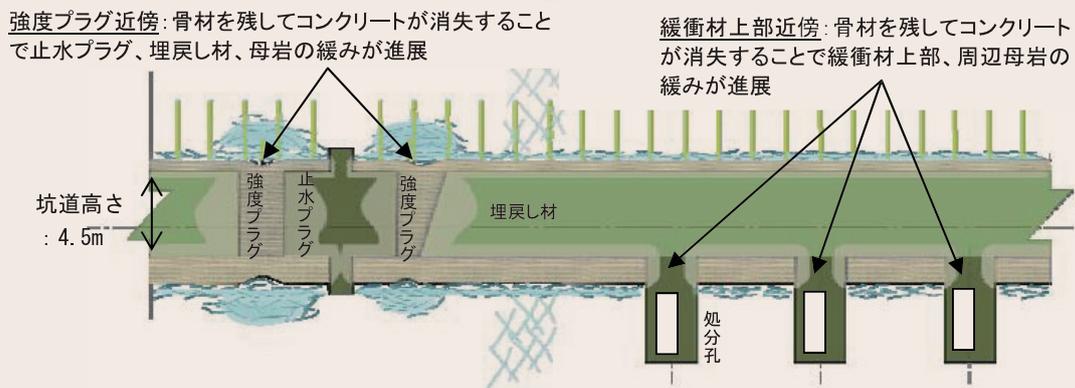


図4 化学的影響ならびに物理的变化によるHLW処分坑道(縦置き方式)周辺の状態変遷の予測例
 コンクリート中のセメント成分の溶脱が進展し、強度プラグおよび緩衝材上部近傍のコンクリート周辺部位に緩みが生じる。長期変遷を考慮したこれらのコンクリート部位の設計技術の確立が優先課題となる。

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

原子力発電所から出る使用済燃料は、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た貯蔵後輸送の安全性を明らかにする必要がある。また、米

国等で実績があり、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に着目した評価手法を開発するとともに、コンクリートキャスクの実用化上の課題であるキャニスタ*1溶接部の応力腐食割れ(SCC)に関する対策技術や溶接検査方法を確立することで、使用済燃料の安全な中間貯蔵の実施に資する。

主な成果

1 金属ガスケットの長期密封性能評価手法の開発

金属ガスケットの長期密封性能評価に必要なデータを取得するため、断面径の異なる二種類の銀被覆のガスケットを用いた応力緩和試験を実施した^[1]。温度一定条件では、試験時間50,000時間以上経過後の金属ガスケットの

残留線荷重は、材料のクリープ特性を表すラーソン・ミラー・パラメータ(LMP)と高い相関があることを明らかにした(図1)。この結果に基づく長期密封性能評価手法の開発を通じて金属キャスクの貯蔵期間の長期化に寄与する。

2 コンクリートキャスクの日本機械学会規格改訂案の作成

使用済燃料を収納するキャニスタ一次蓋の初層溶接は、水蒸気環境下で欠陥が生じる可能性がある。水蒸気環境下での溶接試験を行った結果、溶接時のバックシールドガスの流量の安定性や酸素濃度管理(5%以下)が不十分な場合、初層溶接部に割れが発生する恐れ

があることを明らかにした(図2)。この結果を含め当所の成果は、2013年度作成のキャニスタ構造に関する日本機械学会規格*2の改訂案に反映された。今後、民間規格の整備を通じてコンクリートキャスク貯蔵の実現に寄与する。

3 キャニスタ表面塩分量遠隔計測機器の開発

貯蔵期間中のキャニスタのSCC発生をモニタリングするためには、キャニスタ表面の塩分量検査の実施が有効である。検査手法として、レーザー誘起ブレイクダウン分光法(LIBS)が有力であることを確認しているが、キャニスタとコンクリート容器との狭隘な間隙に機器を

挿入しての遠隔計測が課題となっていた。そこで狭隘部で上下に移動可能な機器を考案・試作し、性能確認試験を行った(図3)。その結果、レーザー光を実機で想定される約22m伝送した場合でも、塩分量を計測できることを確認した[H13004]。

4 ヘリウム漏えいを考慮したキャニスタ内熱流動解析モデルの構築

貯蔵中のキャニスタの密封性能をモニタリングする方法として、キャニスタ上部と下部の温度差を常時監視する方法を提案している。キャニスタ内部のヘリウムガスが漏えいした場合に生じるキャニスタ上下温度差の変化を評価するため、ヘリウムガスの密度変化(圧縮

性)を考慮した非定常熱流動解析モデルを構築した(図4)[N13008]。今後、この方法を検証しキャニスタの密封性能評価法を確立することで、コンクリートキャスク貯蔵の実現に寄与する。

*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設置されている。

*2 日本機械学会, 使用済燃料貯蔵施設規格(JSME S FBI-2003)

[1] A.Béziat, M.Wataru, K.Shirai et al., 17th International Symposium on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials, 2013年8月

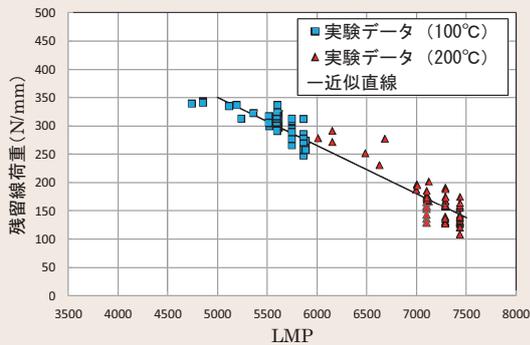


図1 銀被覆金属ガスケットの残留線荷重とLMPの関係

上図は金属ガスケットの断面径が6.2mmφのデータであり、横軸は $LMP = T^*(C + \log(t))$ で、 T は絶対温度(K)、 C は材料定数(ここでは $C=11$)、 t は時間(hr)である。縦軸は、金属ガスケットの残留線荷重である。温度100,200℃における残留線荷重とLMPは、高い相関があることが確認された。断面径8.4mmφのデータも同様である。本研究は、フランス原子力・代替エネルギー庁(CEA)およびドイツ原子力サービス会社(GNS)との共同研究として実施し、試験は、今後、10万時間(2015年度)まで継続する。

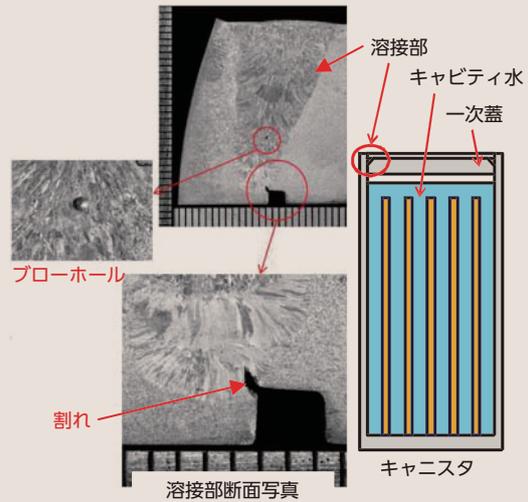
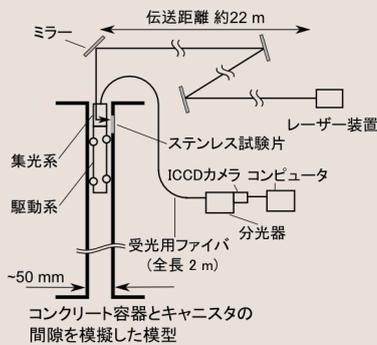
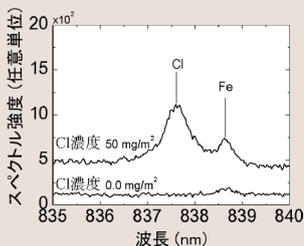


図2 水蒸気環境下での蓋溶接部施工試験で観察された欠陥

使用済燃料装荷後のキャニスター一次蓋溶接時には、燃料の崩壊熱により、キャビティ水が温められ、水蒸気を含む環境下での溶接となる。SUS304L材の小規模試験体(直径50cm、肉厚12.6mm)で溶接施工確認試験を行った結果、バックシールドガス(Arガス)流量が減少した場合やArガス中の酸素濃度が5%を超えた場合、初層に欠陥が発生した。これより、水蒸気環境下での自動溶接では、溶接士や検査員のトレーニングの充実が必要なことや施工前の実機大の溶接施工試験実施の重要性を規格改訂案に反映させた。



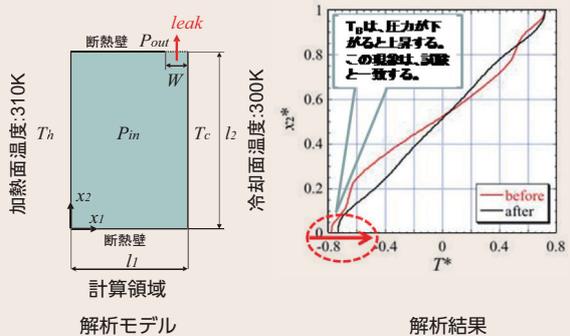
コンクリート容器とキャニスタの間隙を模擬した模型



レーザー光長距離伝送後のLIBS結果

図3 コンクリートキャスクの狭隙部を模擬した模型を用いた遠隔計測実験

キャニスタ表面の付着塩分を遠隔で計測するための機器(レーザー光の集光とプラズマ受光機能を備えたもの)をキャニスタとコンクリート容器の間隙を模擬した模型に挿入し、LIBS計測を行った。ミラーを用いて、空間的にレーザーを約22m伝送した場合でも、塩分中の塩素の発光が計測可能であり、塩分量を推定できることを確認した。



解析結果 (縦軸は無次元高さ、横軸は無次元温度である。)

流体:ヘリウム
 計算領域の各方向長さ: $l_1 = 0.1$ [m]、 $l_2 = 0.2$ [m]
 開放壁面幅 $W : 1.0 \times 10^{-3}$ [m]
 容器内初期平均圧力 $P_{in} : 1.5$ [atm]
 容器外圧力(大気圧) $P_{out} : 1.0$ [atm]

図4 二次元矩形を対象としたヘリウムガス漏えい解析

既往の圧縮性解法では、基礎式を非保存型で表し、時間経過を段階的に進める手法がとられてきた。本手法では、保存型かつ安定して解析が行える圧縮性解法モデルを構築した。本手法を検証するため、二次元矩形の一部からヘリウムが漏えいする事象の熱流動解析を行い、安定した解が得られることを確認した。今後、実機への適用のための三次元化、さらにキャニスタ内部構造を模擬した複雑形状での解析により、本手法を検証する。

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、電力施設・設備の設計において想定すべき極端気象・海象の規模を設定するための基礎データとして、長期間かつ高

解像度の気象データベースを作成し、各種ハザードおよび温暖化影響を評価する。また、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、一週間先までの暴風雨雪をさまざまなリードタイムに対して予測する手法を開発し、現場での利便性を考慮したシステム化を図る。

主な成果

1 高解像度長期気象・気候データベース

数日先までの気象予測を目的とした気象モデルNuWFASに対し、数十年先までの気候計算を、計算誤差が蓄積することなく実行できるよう改良した(図1)。ヨーロッパ中期予報センターの全球の再解析データ(1958年～2010年、解像度約120km)をもとに5kmメッシュ(地表～上空20km)・1時間毎の風速、気

温、気圧、降水量等の気象要素を53年間にわたって算出し、CRIEPI-RCM-Era2としてデータベース化した[N13004]。この長期データベースは汎用性があり、高い解像度を有しているため、送配電設備をはじめとした電力設備の各種ハザードの評価に活用できる(図2)。

2 水力施設の防災に役立つ大雨の短時間予測技術

国内の気象ドップラーレーダの観測データを用いて、気象モデルの計算初期値を改善するためのレーダデータ同化手法を、VDRAS*1をもとに構築した。これにより、気象モデルの適用精度が低い大雨事例に対しても、局地的に発達した雨雲における降雨および風向・風

速分布の再現・予測精度を改善した(図3)。また、レーダが観測した降雨分布の動きを単純に外挿して予測した結果と気象モデルによる予測結果をリアルタイムで融合させるシステムを開発した。

3 火力・原子力発電所の高潮・高波ハザード評価技術

海洋モデルROMS*2を用いて高潮計算モデルを開発した。台風通過時の潮位計算に適用した結果、観測結果を的確に再現できた(図4)。進路・気圧・暴風半径等に関する過去の観測実績をもとにモデル台風に対して本手法

を適用し、台風に伴う高潮ハザードを評価できることを確認した。さらに、CRIEPI-RCM-Era2をもとに高波ハザード評価に適用するための長期波浪推算データベース(CRIEPI-OWCM05)を作成した。

4 原子力発電所の竜巻影響評価技術

CRIEPI-RCM-Era2を用いて巨大積乱雲に伴う大きな竜巻の発生に関する地域性を明らかにした(図5)。この地域性にもとづき、発電所立地地点と竜巻発生観測点において類似の地域を抽出し、過去の発生記録をもとに地域内の竜巻風速のハザードを確率的に評価できる手法を開発した。また、想定飛来物の挙動(飛来速度、飛散高さ等)を評価可能なツ

ルTONBOSを開発した(図6)。さらに、飛来物の衝撃に対する対策工としての防護ネットの効果実証試験を実施し、設置工法や吸収エネルギー算出方法を提案した[N13014]。これらの結果は、原子力発電所の新規制基準適合性評価で求められている各評価項目への対応に活用された。

*1 米国大気研究センター(NCAR)が開発したレーダデータ同化システムを指す。

*2 Rutgers大学やUCLA等の米国の大学機関が中心となって開発している海洋モデルを指し、そのソースコードは無償公開されている。

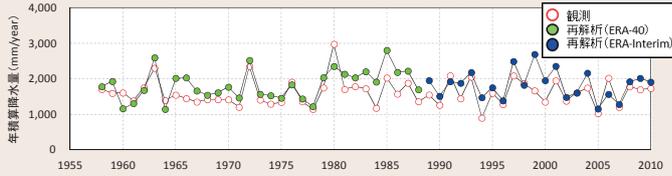


図1 年積算降水量の53年間解析結果

高解像度計算のもととなるヨーロッパ中期予報センターの再解析データは、データベースの作成対象期間に2種類ある(ERA-40およびERA-Interim)が、データ種類が変わることによって解析結果が不連続になる、あるいは誤差が蓄積・増大する影響は見られず、観測データの推移が解析期間を通じて的確に表現できていることを確認した。

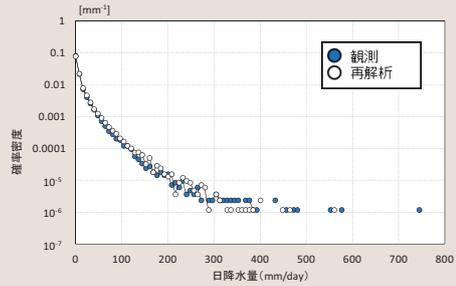


図2 日降水量の確率密度分布

観測値と解析値との間で確率密度パターンが整合しており、本データベースは、極値解析・ハザード解析に活用できる精度を有している。

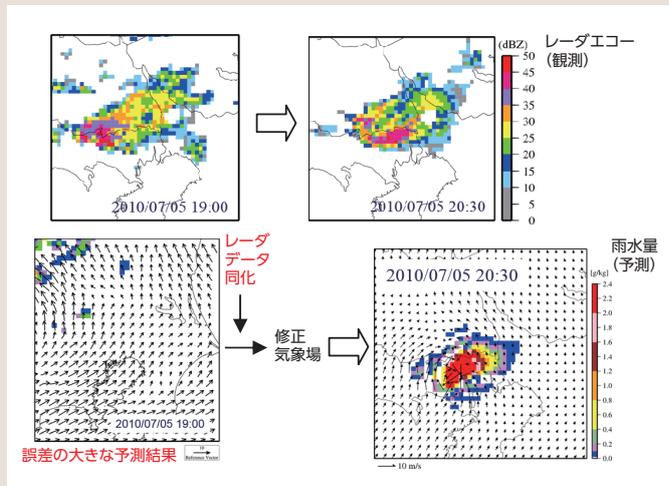


図3 NCAR VDRAS^{*1}による短時間降雨予測精度の向上

気象モデル計算の初期値または予測結果に誤差があるために予測困難な集中豪雨に対しても、一定期間に取得された4次元レーダデータを同化して気象力学的に修正することにより、予測精度が大きく改善する。

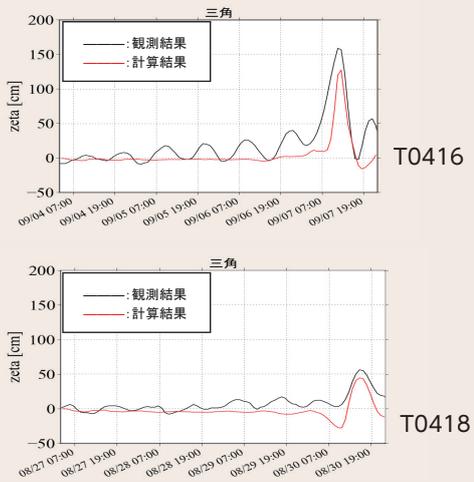


図4 潮位観測値と計算値の比較

2004年台風16、18号による高潮を計算し、九州沿岸9箇所の潮位観測結果と比較した結果、日周期による変動を除き、両者の高潮はほぼ一致した。

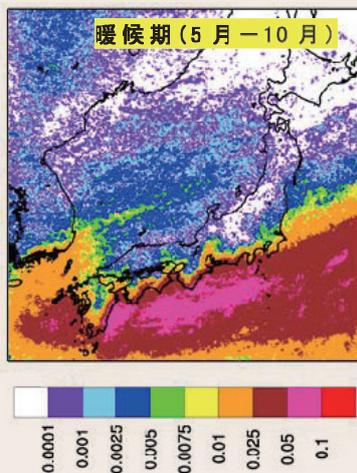


図5 F3規模以上の竜巻の発生しやすさ

下層層度の親雲への輸送量や大気不安定度が設定閾値を超過する頻度を分析した結果、茨城県以西の太平洋側で特に発生しやすいという実態に整合する地域性が見られた。

暖候期間内において、竜巻発生条件(渦度や大気不安定度)がある設定閾値を超過する確率(%)

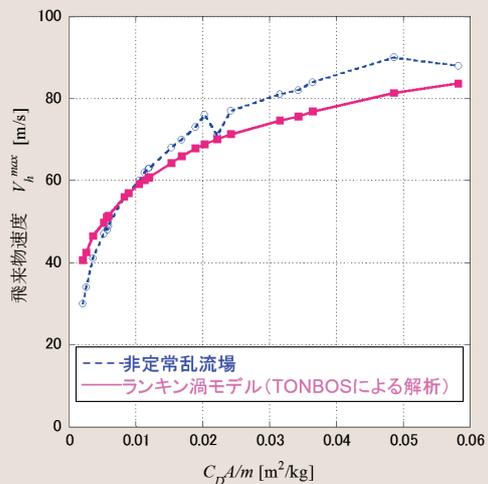


図6 飛来物の最大飛来速度の算出例

地上高40mにある飛来物が地上に落下するまでにとる最大飛来速度は、抗力係数 C_D ・断面積 A ・質量 m で表される物性値で決まり、風速場の違いによる影響は小さい。

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・予測ツール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

雪害の現地観測システム(全国7箇所)により、雪害発生気象や対策効果検証に関わるデータを蓄積した。また、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の一元管理を継続するとともに、新たに223

件の雪害事例情報*2を収集してデータベースへ格納した。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 電線着雪に対する熱収支の影響評価

当所開発の動的着雪シミュレーションコードSNOVAL-dynにおいて、外部との熱収支(外気との熱交換、日射、電線発熱等)の影響や着雪体の含水率と付着力を考慮可能なコードに改良した(図1、2)。これにより、電線に付

着した雪の融解や脱落も評価ができ、着雪現象のより精緻なシミュレーションが可能となるとともに、既開発の簡易着雪モデルの予測精度向上を図る。

3 着雪がいしのフラッシュオーバー機構の詳細解明

着雪したがいしがフラッシュオーバーに至る過程で、風雪の息継ぎと雪の導電率が、放電の進展に及ぼす影響を評価するため、一定電圧で課電した33kV長幹がいしへ風雪を供給し、着雪を成長させてフラッシュオーバー過程を観測した。その結果、風雪の導電率が高いほど、課電時間経過とともに、(1)放電発生が活発になり、フラッシュオーバーに進展する局部アーク放電が多数発生するが、(2)反対に、がいし着雪へ

の入熱も大きくなり、着雪が融雪・脱落して耐圧する可能性も高くなることを見いだした。また、散水による人工雪の生成と最高35kVまでの課電試験が可能な「着雪がいし放電・閃絡特性測定設備」(図3)を横須賀地区に新たに設置した。今後は、より詳細な局部アーク放電信号の観測や、当所が開発した着雪がいし耐電圧試験法の妥当性の確認などを進める。

4 新規雪害現地観測システム「実規模送電線雪害試験設備」の設置

北海道釧路市に、電線やがいしへの強風・湿型着雪およびギャロッピング観測を目的として、新たに「実規模送電線雪害試験設備」を設置して運用を開始した(図4)。本設備は、4導体2相、単導体5相、着雪観測用サンプルが

いしと各種気象測定器等で構成され、着雪やギャロッピングの発生気象に関わるデータ蓄積と、ルーズスペーサのギャロッピング対策効果や、難着雪リングおよびカウンタウエイトの難着雪化効果の検証を進める。

*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)。

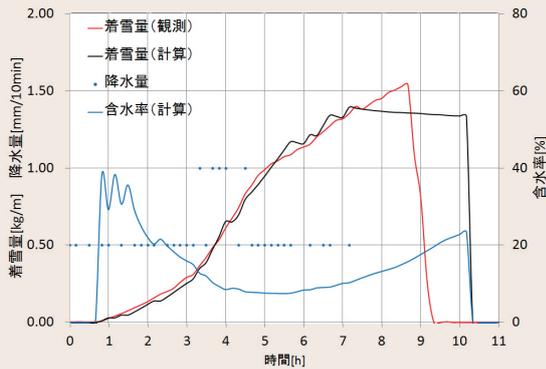


図1 熱収支を考慮した動的電線着雪シミュレーション (SNOVAL-dyn)による着雪量と含水率の時間変化

ワイヤ支持式着雪サンプル上において観測された着雪量の増加傾向を気象観測データ(降水量、気温、湿度、風向・風速)をもとに計算により再現した例を示す。着雪体と外気との熱交換も考慮しており、時々刻々と着雪体内の融雪量や含水率の変化を計算でき、着雪開始時間や落雪時間も予測できる。

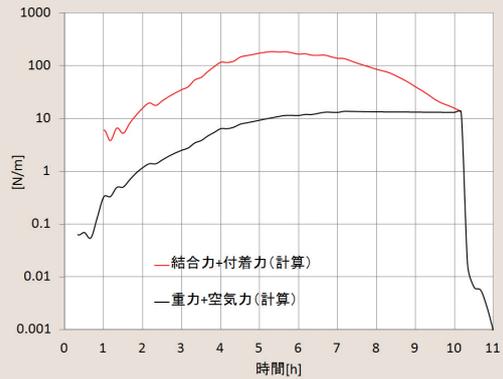


図2 結合力と付着力、重力と空気力の時間変化

着雪体内の雪粒同士の結合力や着雪体と電線の間の付着力は含水率の関数である。含水率が増加し、結合力や付着力が小さくなり、着雪量増加に伴って着雪体に作用する重力と空気力が大きくなると落雪する。図中赤線と黒線の交点から、図1に示すような落雪のタイミングを推定できる。

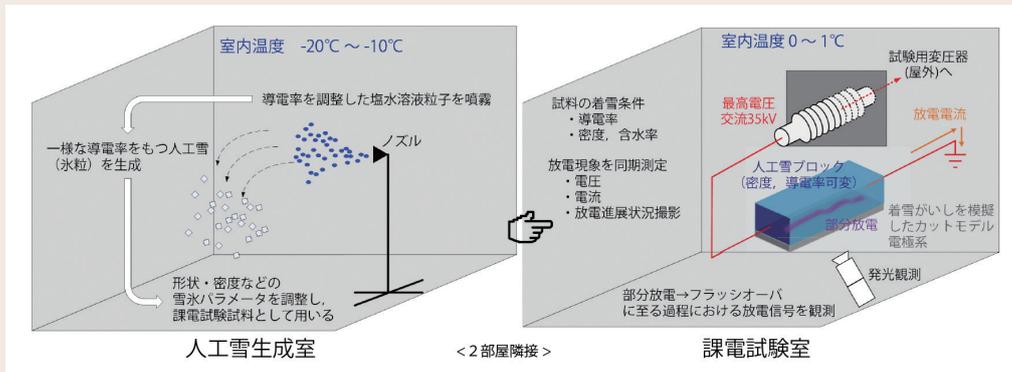


図3 着雪がいし放電・閃絡特性測定設備の概要

がいしフラッシュオーバーのメカニズム解明に向けて、横須賀地区に環境試験設備を設置した。人工雪生成室内では、氷点下の雰囲気で食塩水溶液粒子を噴霧(散水)することにより、導電率を調整した人工雪(氷粒)を生成することが可能である。隣接した課電試験室では、着雪がいしを模擬したカットモデル電極系に高電圧を印加して、各種放電信号を測定する。フラッシュオーバーに至るまでの放電信号の推移は、フラッシュオーバーメカニズムを推定する上で重要な指標となり得る。

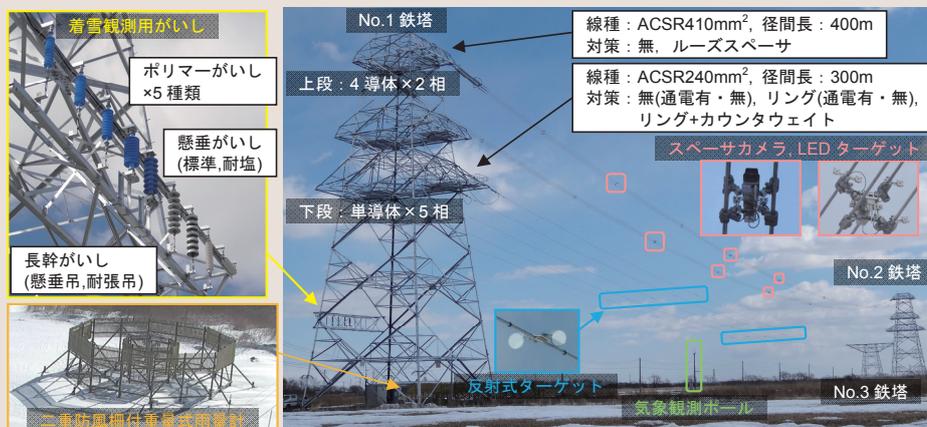


図4 実規模送電線雪害試験設備(略称:鉗路試験線)の概要

鉄塔と気象観測ポールに取付けられた各種測定器で気象データを取得し、電線支持部に取付けられた張力計・振角計、赤外線投光器・WEBカメラや径間内のターゲット、スペーサカメラにより電線の挙動を観測する。また、着雪特性を比較するための複数のがいしを設置しており、強風時でも降雪量を高精度に観測することが可能な雨量計も導入している。詳細は89ページ参照。

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、今後、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及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）の電磁耐性（イミュニティ）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 超高建造物への雷撃特性の解明

我が国の雷電流波形データの精緻化および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に広帯域の雷撃電流観測装置を設置し、2012年より観測を開始した*。超高建造物では接地側の構造物からの上向き雷撃が主と考えられていたが、2か年の雷撃電流観測の

結果、東京スカイツリーでは上向き雷と共に通常の下向きの雷撃もかなりの頻度で発生することが明らかとなった（図1）。上向き雷と下向き雷の発生は、雷撃発生時の気象条件の違いに起因するものと考えられる。雷撃電流のピーク値は、これまでの観測例と比較して、従来と同程度であることを確認した[H13012]。

2 サージ解析プログラム[VSTL REV]の高速化と鉄筋コンクリート造建築物の雷サージ解析への適用

建築物などの三次元構造物や接地網などの接地構造物のサージ現象を高精度に予測するために、数値電磁界解析技術に基づくサージ解析プログラム VSTL REVを開発してきた。2013年度は、並列およびGPU(Graphics Processing Unit)コンピューティングにより、複数のGPUに基づく並列計算にVSTL REVを対応させ、高速化を実現した。これにより、CPUの場合に比べて40倍以上に高速化させることが可能と

なった。高速化したVSTL REVのサージ解析例として、実規模の鉄筋コンクリート造建築物を対象に、直撃雷および近傍雷が発生した際の建築物内部に発生する電磁界を計算した。これにより、コンクリートの存在や鉄筋コンクリート構造（壁の存在、壁の構造）が建築物内部の電磁界に大きく影響すること、建築物内部に布設したグリッド状シールドによって電磁界を低減可能であること（図2）を定量的に明らかにした[H13009]。

3 電気所におけるIP機器のイミュニティ特性の評価

電気所におけるIP機器の適切なイミュニティ性能の試験法の確立に向け、伝導性のバーストノイズに対するIP機器のケット単位での挙動を観測可能とした。観測の結果、バーストノイズを電源線に印加した場合と、通信線に印加した場合とでは、ケットロス

出現の様相が異なり、通信線印加時はバーストノイズのパルス列に同期したケットロスが生じるのに対し、電源線印加時は、この同期は見られず、ノイズ印加電圧の上昇に伴いケットロスが増加することを明らかにした（図3）。

* 東京大学、東武タワースカイツリー社と共同で実施。

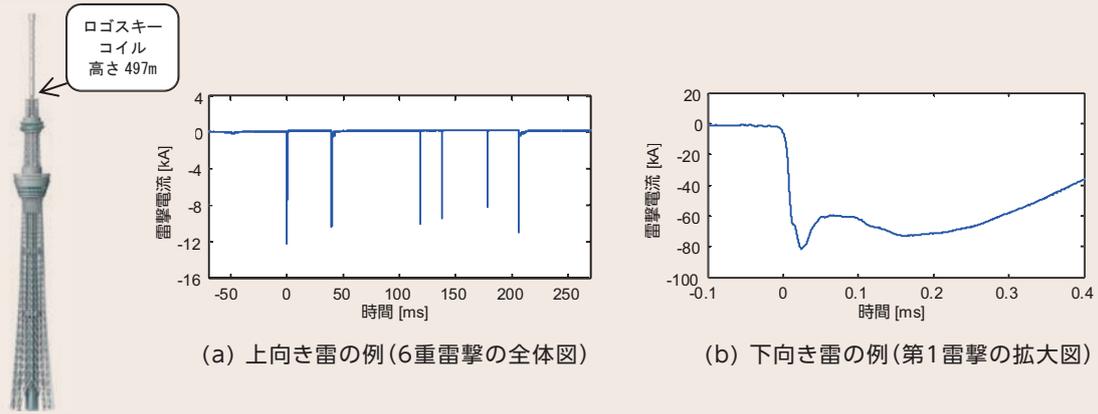


図1 東京スカイツリーで観測された上向き雷と下向き雷の電流波形の観測例

夏季雷の場合、一回の雷放電には複数の雷撃が含まれることが多い。また下向き雷の例のように、雷撃電流波形の立ち上がり時間はマイクロ秒のオーダーである。

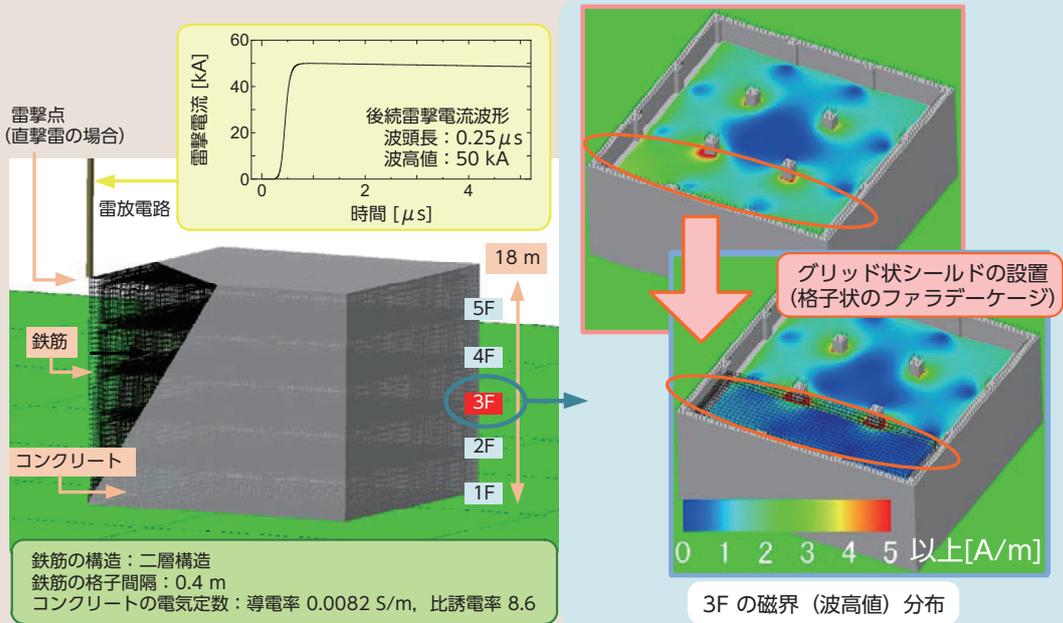


図2 雷撃を受けた鉄筋コンクリート造建築物内部の電磁界解析

建物屋上に雷が直撃した状況を模擬して、建物内部に発生する電磁界分布を計算し、建物内に布設したグリッド状シールドによる電磁界低減効果を確認した。

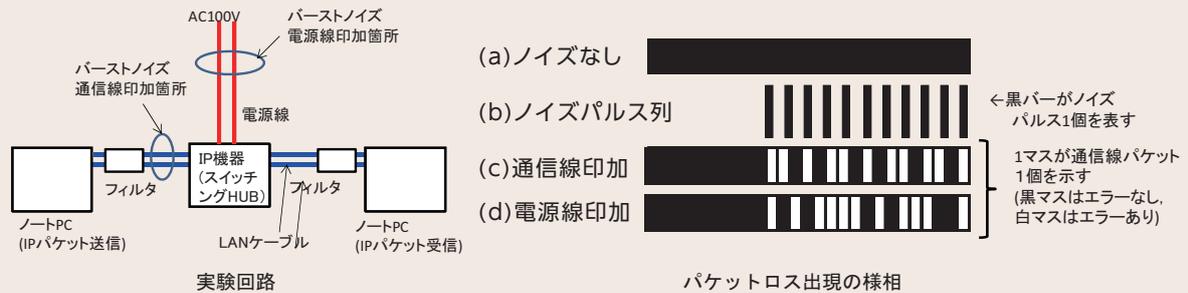


図3 電源線および通信線へのバーストノイズ印加時のパケットロス出現の様相

通信線へのバーストノイズ印加時は、バーストノイズのパルス列が重なったパケットに損失が生じるのに対し、電源線印加時は、ノイズパルスとの同期は見られず、ノイズ印加電圧の上昇に伴いパケットロスの数が増加する。

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

我が国では、政府の電力システム改革の方針を受け、詳細制度設計の議論が進んでいる。電力システム改革が社会にとって有益であるためには、諸制度に潜むリスクを予め特定し、その軽減策を提示していくことが重要である。特に、先行的に自由化を進めてきた海外の事例を客観的に評価することは、我が国が

電力システム改革を進める上での留意点を明らかにする上で有益である。

本課題では、電力システム改革で検討されている様々な制度設計の論点について、海外事例の評価などを通じて、潜在的なリスクを解明し、我が国にとって真に有益な改革に資することを目的とする。

主な成果

1 欧米の容量メカニズムの比較分析

欧米における自由化後の供給力を確保するための仕組みについて調査した(図1)。米国の容量市場には、ニューヨークなど北東部の集中管理型容量市場とカリフォルニアの相対契約型容量市場がある。相対契約型は、取引を事業者同士に委ねるため、価格の透明性が低いといったデメリットがあり、集中管理型には複雑な制度設計が価格を歪めるリスク

がある。また、域内統一市場を目指す欧州では、イギリスで集中管理型の容量市場、フランスで(相対契約を中心とする)分散型容量市場の創設が予定されている他、様々な容量メカニズム*1が導入されており、供給力を確保する最適な仕組みはまだ確立されていない [Y13011] [Y13013]。

2 ドイツの発送電分離の評価

ドイツの4大電気事業者の発送電分離について調査した(図2)。「法的分離」を選択した2社では、送電部門に対し厳格な行為規制を伴うITO*2化により、親会社が送電事業を戦略的にコントロールできなくなった。このため、「所有権分離」を実施した2社との違いは実質的には少ない。ただし欧州でも、配電事業には厳格な分離が求められておらず、持株会社

の下で戦略的に位置付けられている。発送電分離後は、発電所の立地に関する発電と送電の調整が難しくなり、将来的に送電網の形成が非効率になる恐れがある。我が国でも、分離後の発電と送電の設備形成の調整をどのように図っていくのか、検討を重ねる必要がある [Y13029]。

3 小売市場の競争評価と規制料金の課題

英国規制当局が約15年間行っている電力の小売市場の競争評価の事例を調査した。市場シェアや供給者変更率などの指標のみでは、競争実態を捉えることは難しいと考えられており、規制当局は、需要家アンケートを含めるなど定性的評価を取り入れつつ、指標の見直しを余儀なくされている(図3)。

また、わが国家庭用需要家へのアンケート調査にもとづき規制料金が残る中での自由料金の選択要因を分析した(図4)。規制料金に料金査定があることが強調されると自由料金の選択が進まない可能性がある一方、自由料金の選択を促すには自由料金から規制料金への回帰を認めることなどが有効であることが分かった [Y13005] [Y13017]。

*1 自由化後に、長期的に必要な供給力を確保する仕組みのこと。

*2 Independent Transmission Operator(独立送電事業者)。

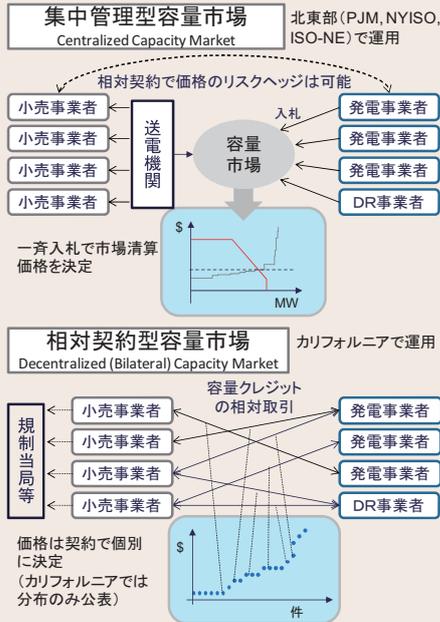


図1 米国の容量市場の類型化

米国で運用されている容量市場には、北東部の集中管理型容量市場（上図）とカリフォルニアの相対契約型容量市場（下図）がある。一斉入札で価格を決める集中管理型の容量市場は、制度設計のリスクが大きい。取引を事業者同士に委ねる相対契約型の容量市場には、価格の透明性が低いなどのデメリットはあるが、容量市場を創設するのであれば、単純な相対契約型から始めて、段階的に改善を図っていくことも考えられる。

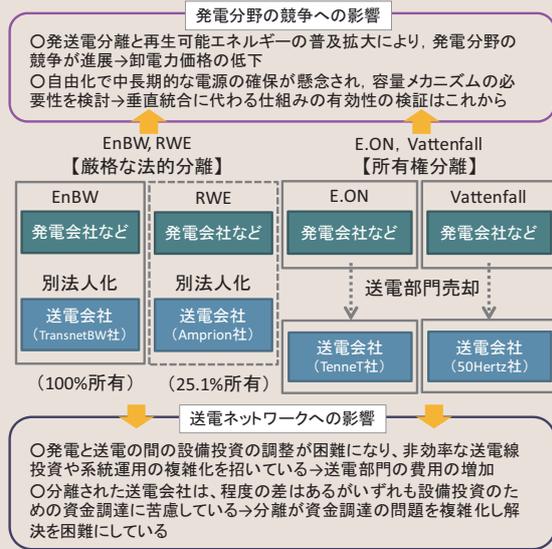


図2 ドイツの発送電分離の現状と課題

ドイツでは発送電分離により、発電と送電の間の設備投資の調整が困難になり、非効率な送電線投資や系統運用の複雑化を招いている。また、分離された送電会社は、程度の差はあるがいずれも設備投資のための資金調達に苦慮しており、分離が資金調達の問題を複雑化し解決を困難にしている。発電分野の競争は、再生可能エネルギーの普及拡大もあって進んだが、将来的な電源不足が懸念されており、現在検討中の容量メカニズムが有効に機能することが重要となる。

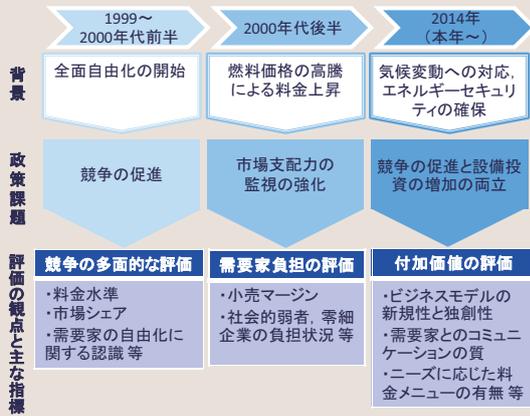


図3 英国の競争評価の指標の変遷

英国の競争評価では、市場シェアや供給者変更率などの指標を補足するために、アンケート調査による需要家の自由化に関する認識を含めた定性的な指標も利用している。また2000年代後半に燃料価格の高騰を背景に、小売マージンを重視したものの、正しく推定することが困難になっている。さらに近年になると、エネルギーセキュリティの確保や気候変動への対応など、設備投資の必要性が高まり、競争評価の指標は、ビジネスモデルの新規性や獨創性など定性的な指標の多用を余儀なくされている。今後、わが国でも競争評価を行うことになるが、英国の事例に見るように電気料金の上昇局面では指標の選定に困難な作業が予想される。

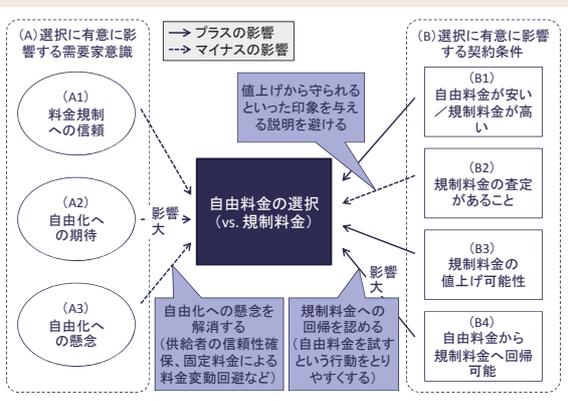


図4 規制料金と自由料金の選択要因と対応策

わが国家庭用需要家を対象としたアンケート調査にもとづき規制料金が残る中で自由料金の選択要因を分析した結果、(A) 需要家の意識と (B) 契約条件がそれぞれ影響しうることが明らかとなった。

(A) 需要家の意識のうち、特に料金低下など自由化への期待が高いと自由料金が選択されやすい傾向にある (A2)。一方、自由化による悪質な営業、料金規制の撤廃、料金変動の拡大などへの懸念が大きいと自由料金の選択を躊躇する可能性がある (A3)。

(B) 契約条件のうち、規制料金に査定があることを需要家が認識すると、自由料金の選択が阻害される可能性がある (B2)。他方、自由料金から規制料金への回帰を認めると、自由料金が選択されやすい傾向が見られる (B4)。

重点課題 - リスクの最適マネジメントの確立

省エネ・環境制度の分析～経済・安全保障との調和の視点で～

背景・目的

地球温暖化問題に関する国際動向としては、2015年の合意期限に向けて、各国が2020年以降の枠組みについて新提案を行い、交渉を開始している。一方、国内では、2020年以降の国内CO₂削減目標をはじめ、国内政策のあり方の議論が2014年度に本格

化すると見られる。

本課題では、温暖化対策制度(自主的取組、省エネルギー、再生可能エネルギー、排出量取引等)について、その実施実態の調査と制度の実効性の評価を行い、経済や安全保障と調和した温暖化対策制度の形成に資する。

主な成果

1 省エネ・節電の分析

東電・関電管内の家庭と、全国の事業所を対象にアンケート調査やインタビューを実施し、2011～2013年夏の節電率や対策実施率、意識の変化等を明らかにした[Y13010][Y13014]。節電の取組み水準は全体的にやや緩和の傾向にあるが、削減実績は2010年比10%前後で推移していることや、その理由として、節電行動の緩和を補う形で、高効率技術の導入効果が累積しつつある点などが考えられることを示した(図1、図2)。

省エネ補助金を利用した事業所へのアンケート調査に基づき、補助事業の費用対効果を評価した[Y13028]。エネルギー価格やCO₂価格に換算した日本全体での費用対効果は、政策全体としては妥当な水準であったが、アンケートデータからは補助金がなくとも同じ投資をしたフリー・ライダーが5～6割と推定され、制度改善の余地があることを明らかにした。

2 再エネ制度の分析

我が国で2015年度に予定されている固定価格買取制度(FIT)の見直しに向け、欧州のFIT先行国における太陽光発電(PV)の急増に対する賦課金抑制策を整理し、制度設計の課題を抽出した[Y13031]。FIT先行5ヶ国(ドイツ、イタリア、スペイン、フランス、イギリス)の全てで、買取価格の大幅な切り下げ、買取価

格改定時期の高頻度化、量的規制がPVの急増対策として実施されている(表1)。FITは導入量を直接調整するものではないが、これらの対策により、PV導入量と、その裏返しとしての費用負担の調整が実施されていることを明らかにした。

3 自主的取組の評価視点の確立

業界団体による環境自主行動計画の策定と企業による自発的な温暖化対策の実施との因果関係について、アンケートデータを用いて定量的に調べたところ、自主行動計画によって技術情報の企業間での共有化が図られ、特に中小企業の自発的な活動が促進されたことを明らかにした。また、その役割は、産業界のCO₂総量の規制ではなく、企業の経済合理的

な範囲内での最大限の対策促進にあることを示した。これらに基づき、今後の経団連低炭素社会実行計画では、数値目標に過度に注目するよりも、省エネの実施など企業の具体的な活動に注目して評価すべきとした。当所のこの提案は、経済省「自主行動計画の総括的な評価に係わる検討会」においても報告された。

4 温暖化問題の国際動向の分析

温暖化問題をめぐる国際交渉動向について各国の主張を整理した(図3)。その結果、先進国と一部途上国の間で、「自国の排出削減に関する目標・取組を自国決定する、ただし、決定の前に、目標・取組の草案を事前提示し、草

案に対する国際的な協議・評価を行う」というハイブリッドアプローチへの関心が高まっている一方、中国・インド等は、先進国はトップダウン・途上国はボトムアップとする立場に固執していることが明らかになった[Y13020]。

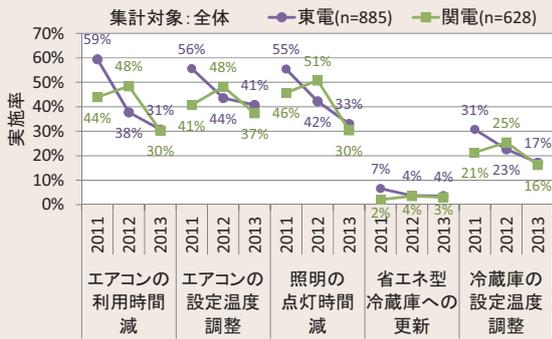


図1 家庭の主な節電対策の実施率の変化

実施率は2013年にかけて低下傾向にあった。一方、調査対象世帯の7~9月分電気使用量(kWh)は、気温影響控除後で2010年水準を約1割下回ったままである。統計分析によれば、エアコン・冷蔵庫・テレビ・照明の購入や交換がもたらす使用量減は、2013年には3%弱にまで積み重なっているものと推定された。同程度の需要抑制が維持されているものの、これら高効率化効果の蓄積も含まれるため、節電の定着という点では、利用行動関連の効果が減少傾向にあることに注視が必要である。

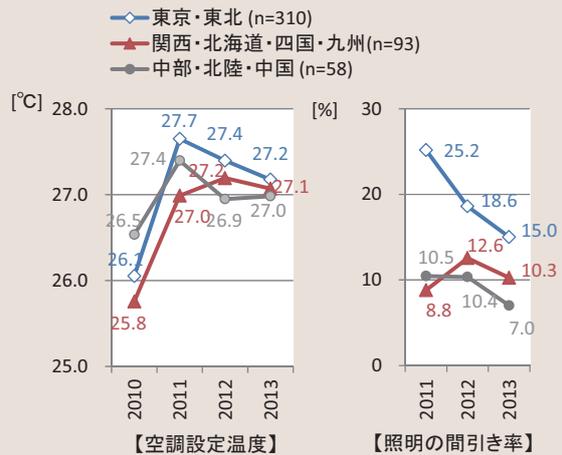


図2 業務系事業所における夏の空調温度設定温度と照明間引き率の平均値の変化

2011年夏から2013年夏にかけて事業所における節電行動は緩和傾向にあるが、震災前のレベルには戻っていない。例えば、オフィスでは照明間引きの実施率は低下しているが、2013年でも平均10%程度が間引きされており、冷房設定温度も2010年より1℃程度上回っていた。これらの行動は今後も次第に緩和されていくと考えられるものの、短期間で震災前の水準に戻ることはなく、相当の間にわたって継続すると推察される。

表1 欧州FIT先行国におけるPV急増に対する賦課金抑制対策

想定していたPV年間導入目標を大幅に超過する、いわゆるPVバブルは、欧州FIT先行5ヶ国の全てで発生した。これらの国々では、3つの対策(買取価格の大幅な切り下げ、買取価格改定時期の高頻度化、量的規制)によって、導入量(費用負担)のコントロールが不可欠になっている。

	買取価格の最大減少率(陸上設置型)	買取価格改定時期の高頻度化	量的規制
ドイツ	▲76% 2006年1月~12月	2009年以降半年。2012年5月以降は毎月買取価格を改定	2012年改正で、累積導入量5200万kWでPVをFIT対象から除外。
イタリア	▲76% 2006年1月~12月	2011年6月から、毎月~半年毎に価格改定を実施。	2011年6月から年間買取費用を60億€。2012年8月から68億€に引き上げ。
2013年6月に量的規制の上限に達したため、FIT終了			
スペイン	▲72% 2007年1月~12月	2010年4月以降、四半期毎。	年間導入量の上限: 2009年は50万kW、2010年46万kWを設定。
フランス	▲76% 2006年7月~2007年12月	2009年以降、四半期毎。	年間導入目標: 2013年以降「年間100万kW」
イギリス	▲78% 2010年4月~2012年3月	2010年以降、四半期毎。	2011~14年までの買取総額: 10.6億ポンド。

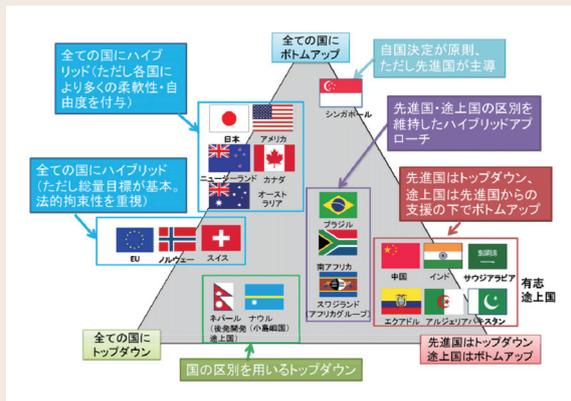


図3 2013年に表明された見解から読み取った各国・各グループの意見分布

先進国は、多少の相違はあるが、全ての国にハイブリッドアプローチを適用することを提案した。ブラジルや南アフリカは、先進国・途上国の区別を實質維持する形のハイブリッドアプローチを提唱した。中国・インド等の有志途上国は、先進国はトップダウン・途上国はボトムアップとすることを求めた。後発開発途上国等は全ての国へのトップダウンアプローチ適用を志向している。

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CO₂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はまだ不透明なもの、国際的には、大震災前と同様に、CO₂排出削減が重要な課題である。排出削減の前提となる地球温暖化の科学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各種リスクを踏まえて、適切な見通しを示す

必要がある。

本課題では、当所における気候科学と低炭素技術の知見を総合的に活用し、CO₂排出削減の長期目標に関して、技術的裏づけと経済的合理性の見通しを得て、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、CO₂回収・貯留(CCS)の導入に係る各種リスクの評価を実施する。

主な成果

1 気候科学の新知見が長期目標におよぼす影響の分析

2013年9月に発表されたIPCC(気候変動に関する政府間パネル)第1作業部会(気候科学分野)の第5次評価報告書(AR5)について、長期目標の観点から重要事項の整理・分析を行った。同報告書では、世界平均の気温上昇が、産業革命前から累積したCO₂排出量とほぼ比例関係にあるという新見解が示され、こ

の関係は当所の気候モデルにおいても確認された(図1)。ただし、気温上昇と累積CO₂排出量との比例定数はモデルによって大きく異なり、気候安定化目標(気温上昇の上限)と累積CO₂排出量との関係は確定的ではない[V13013]。

2 統合評価モデル(BET)による長期のCO₂排出削減目標の分析

IPCC第3作業部会(緩和策分野)の第5次評価報告書(AR5)に引用された当所開発の統合評価モデル(BET)は、所定の累積CO₂排出量に対し、世界の人口やGDPの見通しとエネルギー資源等の条件を考慮して、経済最適な排出削減経路を評価することができる。本モデルを用い、2℃目標*に適合する累積排出量の条件を評価した。その結果、目標達成に

は、電化推進に加え、バイオマス利用とCCSを組み合わせる技術の世界規模で展開する必要があり、利用可能なバイオマス資源量によっても2050年時点の排出量が大きく異なることが示された(図2、3)。排出削減の長期目標は、気候科学の知見も考慮し、低炭素技術の発展とともに柔軟に見直す必要がある[V13015]。

3 低炭素技術導入による潜在的な環境・健康リスクの比較

今後、日本においても石炭火力発電所へのCCSの導入議論が予想されることから、低炭素技術におけるCCSの位置づけを明確化しておく必要がある。そこで、発電技術のライフサイクルにわたる環境・健康リスクを評価する手法を構築し、CCS付き石炭火力発電、太陽光発電、地熱発電を対象とした評価を実施した

(図4)。この結果、CCSの導入は地球温暖化以外の項目では通常の石炭火力発電と比べて環境負荷が増大することなど、各技術で特徴的な違いが明らかになった。低炭素技術の技術導入については、環境・健康リスクを幅広く考慮して、より慎重に検討する必要がある[V13021]。

* 産業革命前を基準とする世界平均気温の上昇を2℃に抑える目標。気候変動枠組条約の締約国会議の合意文書(2010年、カンクン合意)に盛り込まれた。2℃は義務ではなく理念的目標。

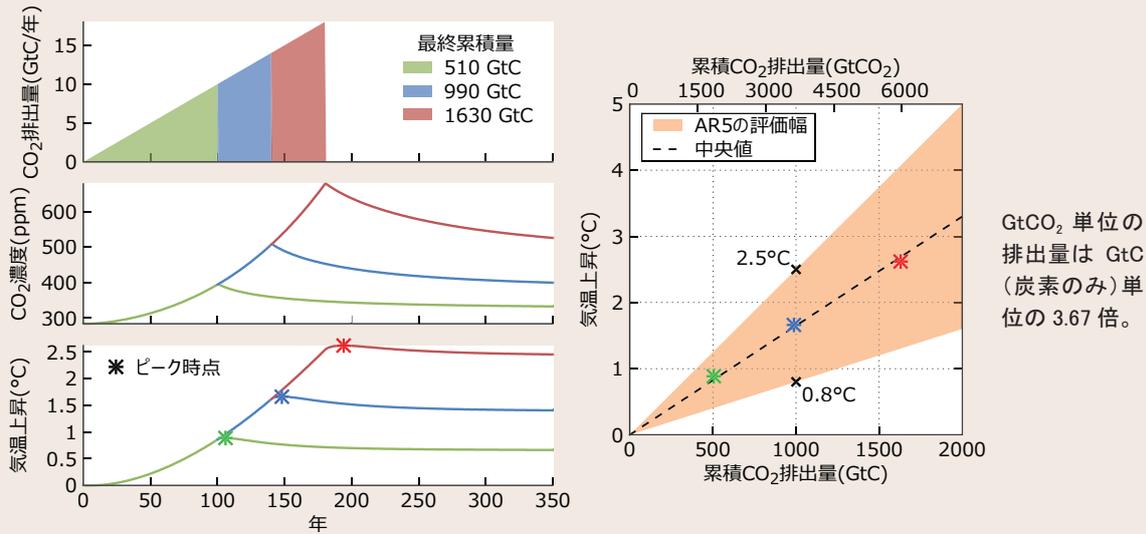


図1 世界全体の累積CO₂排出量と世界平均の気温上昇の関係

排出量を年0.1 GtCずつ増加させて、100、140、180年目以降ゼロとする条件で、CO₂濃度と気温上昇を計算した結果。IPCC第5次評価報告書(AR5)では、1000 GtC当たりの気温上昇を0.8—2.5°Cの範囲(66%確率)と評価(右図の色塗りされた部分)。右図の点線は50%確率で所定の温度目標を達成するための排出上限を表す。

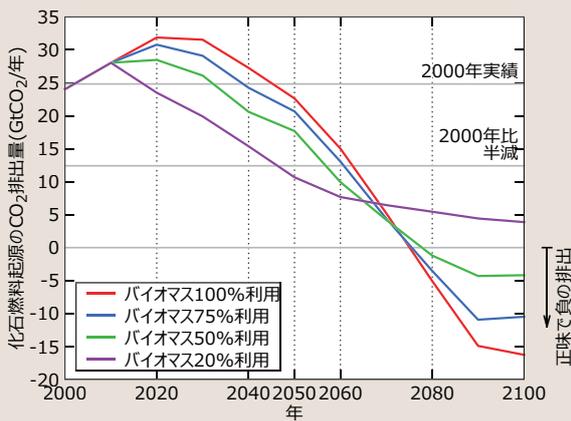


図2 2°C目標に適合する化石燃料起源CO₂排出量の推移

図2は2°C目標が達成可能なシナリオのCO₂排出経路を利用可能なバイオマス資源量を4通りに設定して計算した結果。図3に示されたように、何れのシナリオでも電化率の向上は必須である。また、将来的なマイナス排出を達成するためには、革新技術(ヒートポンプ、電気自動車、ハイブリッド貨物車等)に加え、バイオマス利用とCCSを組み合わせるCO₂除去技術が必要となる。

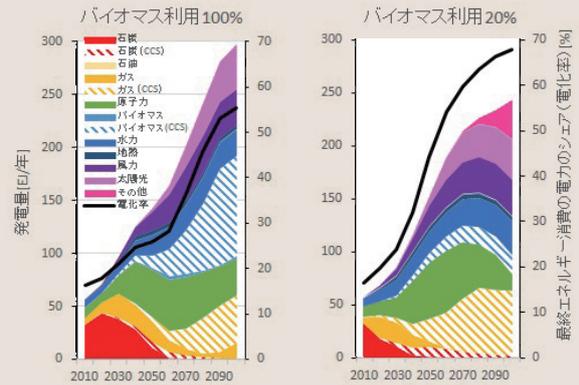


図3 2°C目標に適合する世界の発電構成(左軸)と電化率(右軸、実線)の推移(EJ=10¹⁸J)

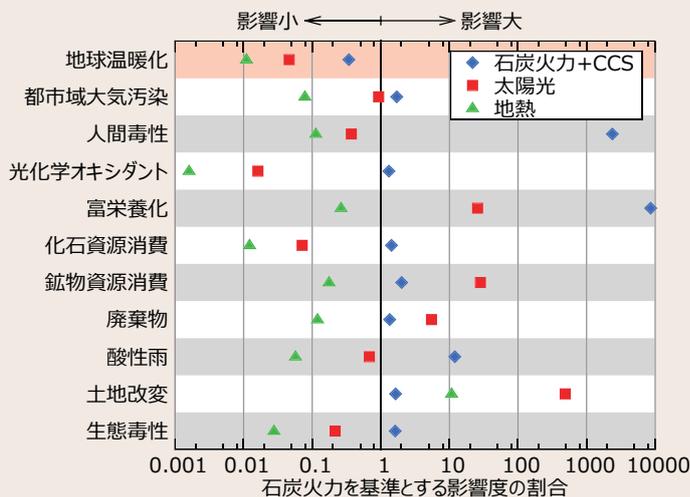


図4 低炭素発電技術のライフサイクルにわたる領域別環境影響の比較

通常の石炭火力を基準とした各発電技術の環境影響の割合を示す。石炭火力にCCSを導入した場合、地球温暖化以外では環境影響が増加する。太陽光はパネル製造に伴う鉱物資源消費等による環境影響が顕著。地熱は土地改変以外の環境影響は相対的に小さい。

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

軽水炉の安全かつ安定な運転を実現するため、原子炉压力容器・炉内構造物を対象として、経年劣化に関する諸現象のメカニズムの解明、予測手法の開発と改良といった技術的基盤の拡充と強化を図る。これにより、原子炉压力容器・炉内構造物の構造健全性を的確に評価することによって、リスクの定量

的な把握を目指す。

本課題では、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、ステンレス鋼のマイクロ組織変化に関する照射影響評価、マスターカーブ法の実機適用技術の開発、ノズルコーナーき裂に対する破壊評価法の適用性を検証する。

主な成果

1 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

廃炉となった压力容器鋼のナノ組織を原子レベルで観察できるアトムプローブトモグラフィ（APT）で観察した。国内廃炉材は入手できないため、既に廃炉となったドイツ グライフスバルト発電所の压力容器溶接金属を対象とした。国内の压力容器鋼とは異なった規格の材料ではあるが、運転中の中性子

照射によってナノメートルオーダーの溶質原子クラスターが形成していることが確認された（図1）。また、溶質原子クラスター以外にも、材料の強度に関係する微細炭化物も観察されるなど、今後国内廃炉材を分析する上で重要な知見を得た。

2 ステンレス鋼のマイクロ組織変化に関する照射影響評価

照射誘起応力腐食割れ（IASCC）の原因の一つに考えられている、結晶粒界での元素の偏析をAPTで調査した。中性子照射により実機において劣化が観察されるレベルの5.5 dpa*まで損傷した304ステンレス鋼におい

て、粒内および粒界での元素偏析が観察された（図2上）。粒界にはNi、Si、P、C、Bが偏析し、Cr、Mnが欠乏しており（図2下）、今後これらの偏析がIASCCに及ぼす影響を明らかにする。

3 マスターカーブ法の実機適用技術の開発

監視試験片は貴重であるため、シャルピー衝撃試験で使用した試験片を再加工して作製した平面寸法10ミリ角程度の超小型試験片を使ったマスターカーブ法を開発した。図3に示すように、超小型試験片を使用しても、大型試験片と同等の破壊靱性を評価で

きることを確認した。同法の妥当性を確認するため、国内外の研究機関の参加の下、ラウンドロビン試験を主導し、他機関でも同様の結果を得たことから、規格への反映を関係機関と協力して進めていく^[1]。

4 ノズルコーナーき裂に対する破壊評価法の適用性検証

日本電気協会の規程^[2]では、原子炉容器のノズル内面コーナー部に仮想欠陥を想定した場合でも健全性が確保されることを評価することが求めている。国内の原子炉においては、運転期間延長認可制度への対応の

適否を把握する必要があることから、各種の評価式に基づく応力拡大係数の予測結果を有限要素解析結果と比較し、評価式の適用性が検証されたことから、評価手法の整備を進めていく（図4）。

* dpa (displacement per atom): 材料の原子が一個当たり何回はじき出されたかを示す値。

[1] M. Yamamoto, et al., Sixth International Symposium on Small Specimen Test Techniques, 2014

[2] 日本電気協会, 「原子力発電用機器に対する破壊靱性の確認試験方法」, JEAC4206-2007

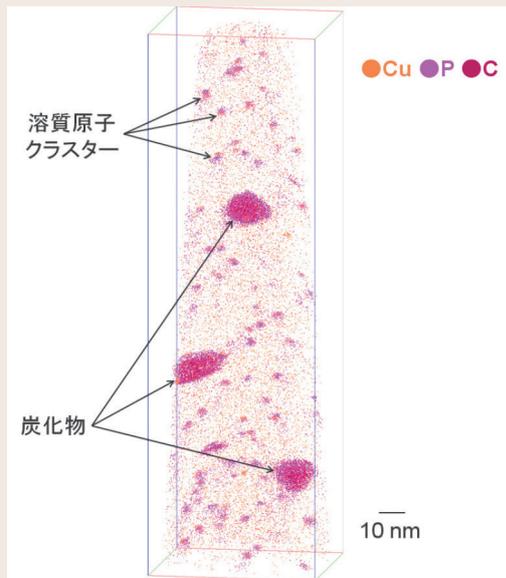


図1 廃炉となった実機プラントの圧力容器溶接金属の原子マップ

廃炉となったドイツ グライフスバルト発電所4号機の圧力容器から切り出された溶接金属のAPT観察結果を示す。中性子照射によって形成したと考えられる銅、リンの偏析を特徴とする溶質原子クラスターの形成が確認できる。また、鋼材中の微細炭化物とその周りにリンが偏析している様子も観察されている。

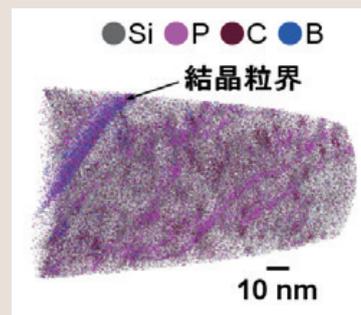


図2 中性子照射された304ステンレス鋼の原子マップ(上)および粒界分析結果(下)

照射により5.5dpaまで損傷した304ステンレス鋼のAPT観察結果を示す。原子マップより、粒内でシリコン、リン、炭素の偏析が確認され、粒界においてはニッケル、シリコンが偏析し、クロムが欠乏している様子が確認できる。

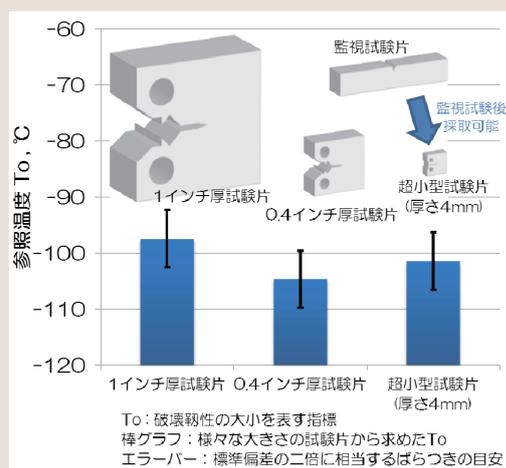


図3 超小型試験片、より大きな試験片を用いて得られた参照温度の比較

マスターカーブ法にしたがって計算された参照温度(破壊靱性の大小を温度で表した指標)の比較結果を示す。超小型試験片から得られた参照温度は、より大きな試験片から得られたそれとほぼ同等であることがわかる。

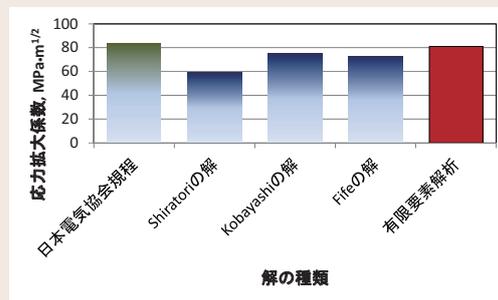
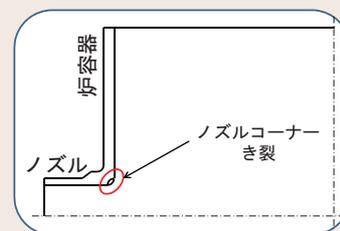


図4 ノズルコーナーき裂の応力拡大係数の比較

有限要素解析結果に比べ、いずれの評価式もこれに近い応力拡大係数を与えている。ただし、日本電気協会規程の評価式は炉容器に働く一様応力しか扱えないのに対し、それ以外の評価式はノズルコーナー部の複雑な応力分布を考慮できるといった特長を備えている。

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

配管の主要な劣化事象である流れ加速型腐食(FAC)や液滴衝撃エロージョン(LDI)に対しては、日本機械学会の配管減肉管理技術規格に基づき、肉厚測定による配管減肉管理がなされている。同規格の改訂ロードマップに従い、FACやLDIの機構に基づく精度の高い予測手法を開発することにより、減肉管理に係わるより効果的な資源配分が期待される。

また、発電プラントで一般的に多く使用されている従来材(一般構造用圧延鋼材:SS

材)については、さらなる安全性向上を図るため材料規格からの削除が検討されており、その代替として溶接性や靱性に優れた建築構造用圧延鋼材(SN材)が有力な候補として挙げられているが、原子力プラントへの適用には詳細材料特性の評価に基づく早期の規格化が求められている。

本課題では上記に関して、配管減肉予測手法の開発・高度化と実機プラントへの適用に向けた実用化を図ると共に、SN材の規格化に向けた高温強度特性の評価を行っている。

主な成果

1 水単相流系統配管データによる配管減肉予測ソフトウェアFALSETの検証

当所では、FACおよびLDI減肉予測手法を、実際にプラントの減肉管理に適用することを目的として、配管減肉予測ソフトウェアFALSET[L11007]を開発している。PWRプラントの復水・給水系配管(水単相流系統)の減肉データを用いて本ソフトウェアの検

証を行った結果、減肉後の残余肉厚を概ね±10%以内で予測できることを確認した(図1)[L12403]。今後、実機データを用いた更なる検証・改良の積み重ねによる予測精度の向上と、学会管理規格への導入を図り、減肉管理ツールとしての実用化を目指す。

2 気液二相流条件下の流れ加速型腐食の予測に向けた評価手法の構築

発電プラントの抽気・ドレン系配管等において発生しうる気液二相流条件下のFACに対する予測モデルの開発を目的として、当該配管において想定される流動様式(環状流)に特有な現象の評価手法を構築した。流動因子に関しては、管内壁に生成される液膜の挙動(厚さ・流速)の実験値を精度良く予測できる解析手法を開発した(図2)[L12008]。

また、水化学因子に関しては、pH調整剤の気液分配挙動を考慮して、液膜pH値の計算手法を整備した(図3)[Q11025]。水単相流条件とは異なるこれらの評価事項を考慮し、今後、既存の予測手法を気液二相流条件へと拡張し、実験・実機データを用いた検証を経て、FALSETの適用範囲の拡大を目指す。

3 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(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)を実機で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下での引張データを体系的に取得した。降伏点や引張強さの温度依存性は材料、

板厚の違いによらず定性的にほぼ同じであり、鋼材のチャージによる違いは小さいことを確認した(図4)。また、不純物元素であるPまたはSの含有量やひずみ速度は引張特性に及ぼす影響が小さいことを明らかにした[Q13009]。

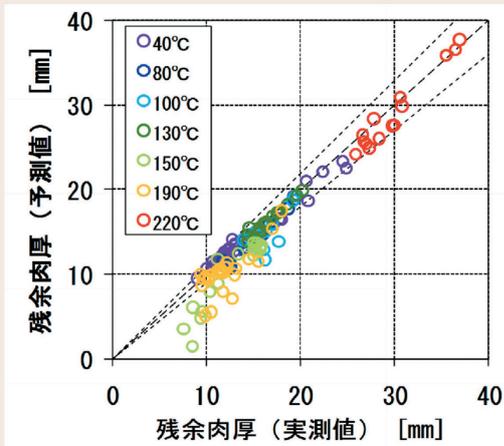


図1 実機プラント配管(单相流)の残余肉厚の実測値とFALSETによる予測値との比較

代表PWRプラントの復水・給水系統配管のエルボ約160体における減肉による残余肉厚に対し、FALSETによる評価は、一部に過小評価が見られるものの、概ね±10%以内の精度で予測できる。

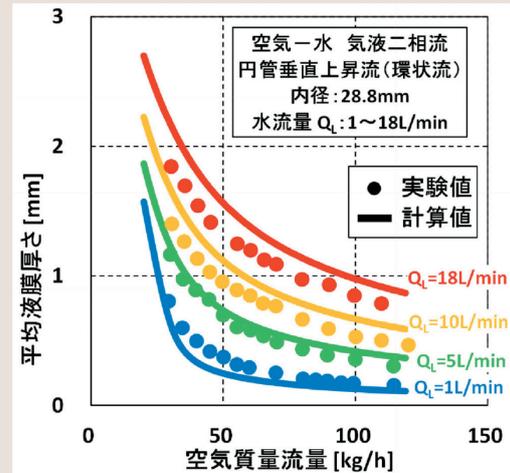


図2 気液二相流(環状流)における液膜厚さの評価

既存文献⁽¹⁾から引用した気液二相流体系実験の液膜挙動データ(平均液膜厚さ)を、当所開発の解析手法により概ね定量的に予測できる。

(1) 植田、能勢、日本機械学会論文集39、325 (1973)

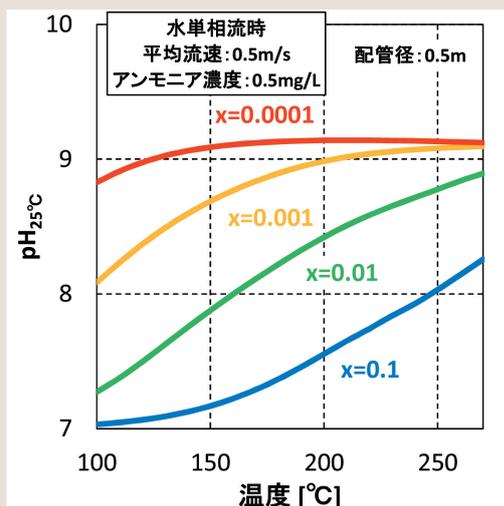


図3 気液二相流条件におけるpH調整剤の気液分配挙動に伴うpH値の評価

pH調整剤(アンモニア)の気液各相への分配挙動を考慮し、液膜pH値の温度および乾き度(x)への依存性を、簡便に評価できる。

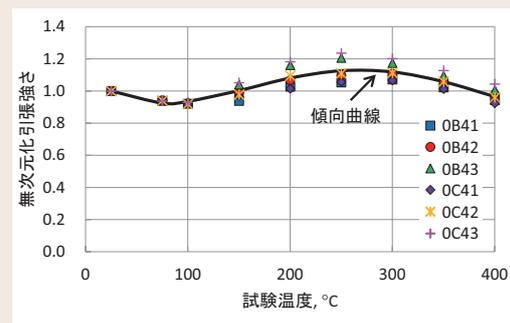


図4 SN材の引張強さの温度依存性

高温での引張強さを常温での引張強さで無次元化してその温度依存性を示した。OB41～OB43はチャージの異なるSN400B鋼(厚さ40mm)、OC41～OC43はチャージの異なるSN400C鋼(厚さ40mm)を表す。両鋼の主たる違いは不純物元素(PまたはS)の含有量であるが、温度依存性は一本の傾向曲線で表すことができる。

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

原子力発電プラントを安全かつ安定に運転するためには、プラント内で使用されている計装・制御系ケーブルの健全性を確認することが重要である。特に、これらケーブルの絶縁材料は、熱と放射線に同時に曝されるため、その影響を正しく考慮した健全性評価手

法の確立が求められている。

本課題では、熱・放射線ストレスを受けた実機ケーブル材料等の劣化特性評価を行い、既に提案されている劣化モデルの精緻化を図り、環境条件を考慮した、より高精度な寿命評価手法を開発することを目的とする。

主な成果

1 実機経年ケーブルの劣化評価による健全性の確認

既往研究(ACA研究)^[1]では、加速劣化試験に基づく劣化予測において、一部の難燃エチレンプロピレンゴム絶縁体について想定される供用期間はこれまでと比べかなり短いと評価された。これと同種で、実プラントより撤去された経年ケーブル試料に対し、伸び率

測定等による機械特性評価と顕微FT-IRによる酸化劣化評価、酸化誘導時間(OIT)測定による酸化防止剤残量推定等を実施した。その結果、布設24年(実稼働年数16年)においても、当該ケーブル材料が健全性を保持していることを確認した(図1)。

2 実機データの統計解析による劣化予測と実態の乖離評価

既往研究と同種の難燃エチレンプロピレンゴム絶縁体について、これまでに報告されている実機破断伸び評価結果^[2]を統計解析し、加速劣化試験による劣化予測と実機経年変化の差を評価した。対象となる実機ケーブルの布設温度・線量率条件が互いに異なるため、実機絶縁体の破断伸びデータを、実プラント条件を模擬した60℃、10 mGy/h相当

の経年数へ換算し、この環境下での経年変化として統計解析を行った(図2)。得られた実機経年変化を参照曲線として、個々の破断伸びデータについて、推定供用期間を算出した結果*1、ACA研究での劣化予測手法による評価結果^[1]は、実際より相当に短く見積もられていることが示唆された[H13002]。

3 Wear-out人工追加劣化試験による実機劣化特性評価

原子力プラントより撤去された経年ケーブル試料に対し、Wear-out法*2による人工追加劣化試験を行い、その劣化様相の分析から実機劣化特性評価を行った(図3)。その結果、実機試料の追加劣化挙動は、ACA研究における未使用試料に対する加速劣化試験結果よりも緩慢であることが確認され(図

4)、実プラントでの熱や放射線によるストレスは、ACA研究における加速劣化試験の条件よりも小さかったことが示唆された。また、ロジスティック関数による回帰解析を行うことにより、劣化が緩慢であることが定量的に示された^[3]。

以上のように、今回実施したいずれの試験でも、ACA研究におけるケーブル劣化評価手法は、保守的な評価であることが示された。

*1 破断時伸びの耐性管理値を70%とし、この値に至ると推定される実稼働年数を設計想定事故環境を考慮した供用期間とした。

*2 材料寿命が疲労(ダメージ)の積算で求まるとして、経年試料にさらに人工追加劣化を行った場合、経年数と追加劣化より求まる「使いきり」時間の相関関係より、寿命推定ができるものとされるもの。

[1] 原子力安全基盤機構:JNES-SS-0903, 2009(Assessment of Cable Aging for Nuclear Power Plant, ACA研究:原子力プラントのケーブル経年変化評価技術調査研究)

[2] Y. Eguchi: 2012 Equipment Qualification Technical Meeting, San Antonio, TX, 2012

[3] 布施 他:電気学会誘電・絶縁材料/電線・ケーブル合同研究会、DEI-14-42, EWC-14-3, 2014

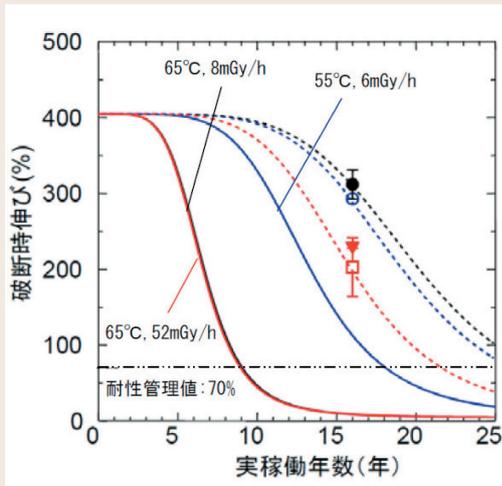


図1 実機経年ケーブルの劣化特性評価結果とACA研究予測の比較

実機経年ケーブルについて、各種機器分析により健全性を評価した。ACA研究評価結果(実線)と実機経年傾向とが異なることを確認した。波線は、実機データ(プロット)に合わせて、実線のACA予測曲線をシフトさせた。

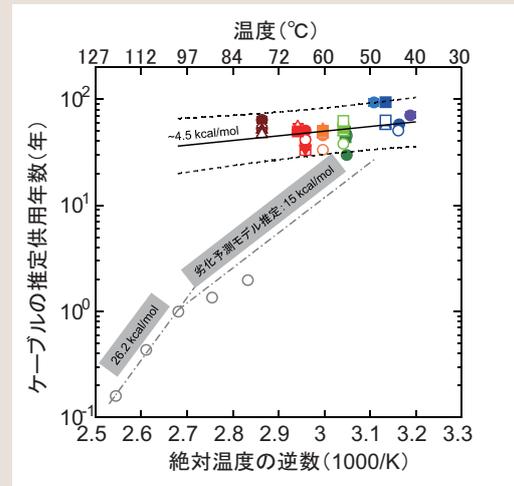


図2 実機ケーブル推定供用期間(実稼働年数)とその温度環境(アレニウスプロット)

カラーのプロットは、それぞれ異なる実機ケーブルの推定供用期間を示している。統計解析より、推定された回帰直線を黒実線で示し、黒破線は99.7% (3 σ) 予測区間を表す。

これらと比較するため、ACA研究が80~120°Cで実施した加速劣化試験結果を示す(灰色プロット)。灰色一点鎖線は、劣化予測手法による推定供用期間である。

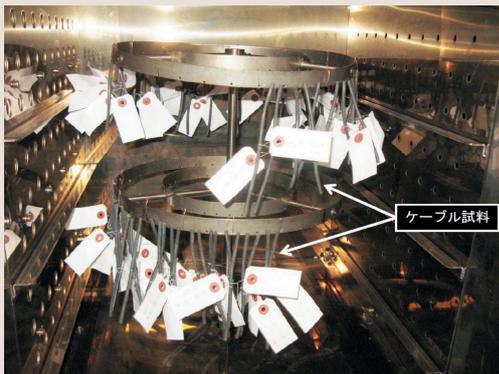


図3 Wear-out法による人工追加劣化試験の実施状況(恒温槽内の様子)

実機経年ケーブルに対し、110°C熱環境での人工追加劣化を行った。試験は、JIS規格に則り、ギア式恒温槽内で1回/時間以上の換気を行い、最大で100日間連続して実施した。各試験片とも、試験前に導体を引き抜いた状態で供試した。

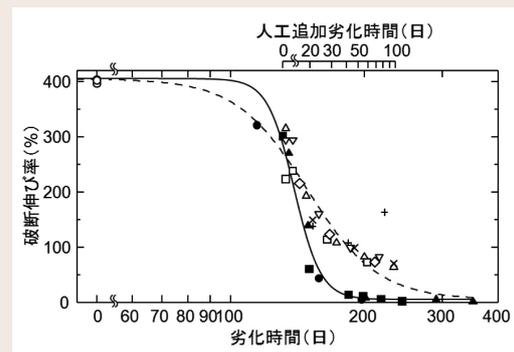


図4 Wear-out法による実機劣化特性評価結果とACA研究予測の比較

ACA研究における110°C熱環境での加速劣化試料(黒色プロット)、ならびに実機追加劣化(白抜きプロット)挙動を示す(○:未使用試料)。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°C相当挙動としている。曲線は、それぞれロジスティック関数による回帰曲線である。

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、最適な非破壊検査技術を開発するとともに、その検査手法の「規格化」や、必要に応じた「PD認証制度化*1」などの取組みを通じ、軽水炉の安定運転を支援することを目的とする。

主な成果

1 埋込み基礎ボルトの疲労き裂測定手法の開発

原子力発電所の大型機器を固定している埋込み基礎ボルトに発生した疲労き裂を非破壊で検査する手法の開発に向け、フェーズドアレイ超音波法*2で探傷する場合の超音波の伝搬シミュレーションを実施し、2つのピークが出現することを見いだした(図1)。さらに、き裂を模擬した人工欠陥付与ボルトに対する探傷検査を実施して2つのピークを

観測し、シミュレーション結果を確認した。これらの反射ピークはき裂深さと相関を有することから、本手法によりボルトに発生したき裂の深さを推定することが可能であることが確認できた。なお、本手法によるき裂深さの推定値は実際のき裂深さより2mm程度大きく見積もる結果となっている。

2 低炭素ステンレス鋼の応力腐食割れ発生・成長挙動の解明

沸騰水型軽水炉の再循環系低炭素ステンレス鋼配管の応力腐食割れ(SCC)発生・成長挙動を解明するため、実験室加速試験法として知られるすきま付定ひずみ曲げ(CBB)試験法*3を用いてSCC発生挙動を観察した。その結果、CBB試験片に発生したSCCき裂の深さ分布は、試験片表面のひずみ条件によらないこと、また20ミクロン(表面か

らの1粒界分の平均深さに相当)以上のき裂の発生数は初期には時間とともに緩やかに、その後は急激に増加する傾向にあること(図2)を明らかにした。本試験で観察された20ミクロン以上のき裂は、微小き裂の合体の結果として生じた可能性もあることから、さらにき裂の合体過程を評価する必要がある[Q13008]。

3 PD認証制度の有効性を確認

日本非破壊検査協会のPD認証規格(NDIS0603)に基づく沸騰水型軽水炉の再循環系ステンレス鋼配管溶接部のSCC深さサイジングのPD試験の結果(2006年3月から2013年1月まで、合格者:44名、受験者:89

名)を分析し、合格者の測定誤差はばらつきが非常に小さいことを示した(図3)^[1]。これはPD認証制度が機能し、SCCき裂深さの高精度測定を通じて、軽水炉の維持・管理に有効であることを示唆している。

*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の制度。

*2 複数の素子から構成される探触子に対して各素子の送受信タイミングを電子的に制御し、異なる伝搬方向と集束位置の超音波を励起させる技術をもちいた探傷方法。

*3 試験片を曲げて応力を付与し、隙間により環境条件を厳しくする加速試験方法。

[1] H. Shohoji et al., E-Journal of Advanced Maintenance Vol.4, 125-132, 2013

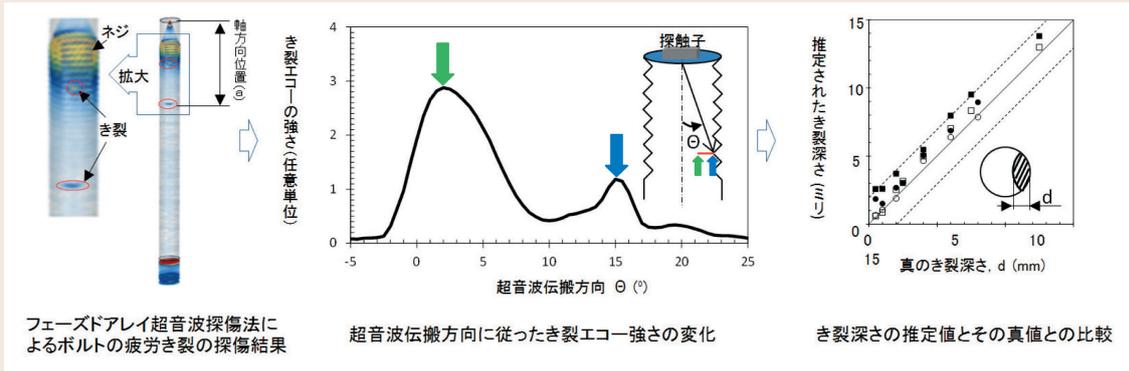


図1 埋込み基礎ボルトの疲労き裂測定手法

フェーズドアレイ超音波法でボルトに発生したき裂を探傷すると、き裂の開口部と先端付近での反射に対応する2つのピークが出現する(き裂が浅い場合は両ピークが重なり見かけ上1つとなる)。このき裂先端からの反射ピークはき裂深さと相関があることから、き裂深さの推定が可能となる。

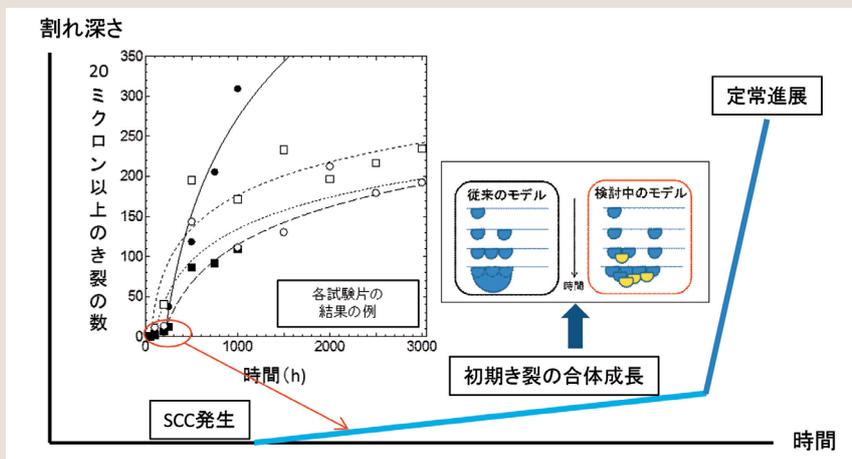


図2 低炭素ステンレス鋼のSCCき裂(20ミクロン以上)数の経時変化

低炭素ステンレス鋼のCBB試験で得られた20ミクロン以上のき裂の数は、初めは穏やかに増加し、その後急激な増加へと変化する。初期の穏やかな増加は、表面き裂が合体後すぐに進展に進む従来モデルでは説明できず、微小き裂の合体が引き続き生じていると考えられることから、今後、応力腐食割れ発生・成長挙動の解明には、き裂の合体過程の詳細な検討が必要である。

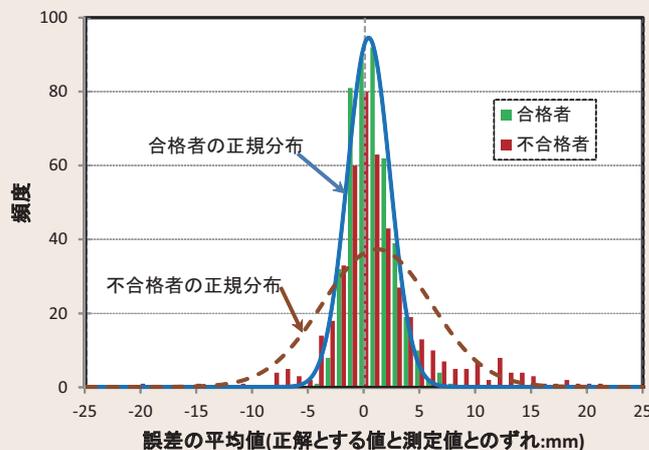


図3 PD試験結果の分析結果

合格者のSCCき裂深さの測定誤差の平均値は0.33mmで、標準偏差は1.92mmであり、不合格者の平均値は1.05mmで、標準偏差は4.87mmであった。

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)製大径管の各種の溶接部でクリープ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懸念事項である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・管理への反映を目指す。

主な成果

1 内圧曲げクリープ条件下における12Cr鋼周溶接部の破壊形態の解明

周溶接部の破壊形態の解明を目的として実施した12Cr鋼大径管周溶接試験体の内圧曲げクリープ試験において急激な変形を捉えて試験を停止したところ、曲げによる軸方向引張応力が作用する側の周溶接部で表

面き裂が確認された(図1)。試験体を切断し溶接部断面を詳細に観察した結果、クリープき裂の起点は配管内部であり、母材の溶接熱影響部(HAZ)細粒域に沿ってき裂が進展することが明らかとなった。

2 12Cr鋼周溶接部のクリープき裂／寿命に対する検査と評価

周溶接部に対する設備診断技術の確立に向けて、切断調査の前に12Cr鋼大径管周溶接試験体に対して超音波非破壊検査法を適用したところ、肉厚内部の広い範囲でクリープき裂の存在が示唆された。この検査結果を断面観察結果と比較したところ両者の間

には相関があり、非破壊検査法の有効性が実証された(図2)。また、これまでに当所で開発してきた解析技術に基づき本試験体の寿命評価を実施したところ、ひずみを基準に評価することで概ね妥当な精度で寿命を評価することができた。

3 9Cr鋼溶接部のクリープ寿命への影響因子の検討

溶接部に対する信頼性の高い設備診断技術を開発するために、9Cr鋼溶接部のクリープ寿命に対する各種影響因子について実験により調査したところ、溶融線と応力方向のなす角度(開先角度)が小さいほどク

リープ寿命は低下することが明らかとなった(図3)。本試験結果より、溶接部を評価する際には開先角度も考慮すべきであることが示唆された。

4 9Cr鋼再溶接部のクリープ寿命の評価

9Cr鋼溶接部の劣化損傷材に対して初期溶接部と交差するような再溶接を施した後、クリープ試験を実施したところ、再溶接の無い場合と比べて顕著な寿命の低下が認められた。9Cr鋼溶接材の場合、一般的には母材のHAZ細粒域でき裂が生じるのに対して、本試験片は溶接金属内HAZ(初期溶接

と再溶接の交差箇所)にき裂が生じた。溶接部の各位置での材料特性を詳細にモデル化しクリープ解析を実施したところ、溶接金属内HAZにおいてひずみの集中が認められた(図4)。この結果より、複雑な開先形状を有する再溶接部に対して解析的評価が有効である可能性が示唆された。

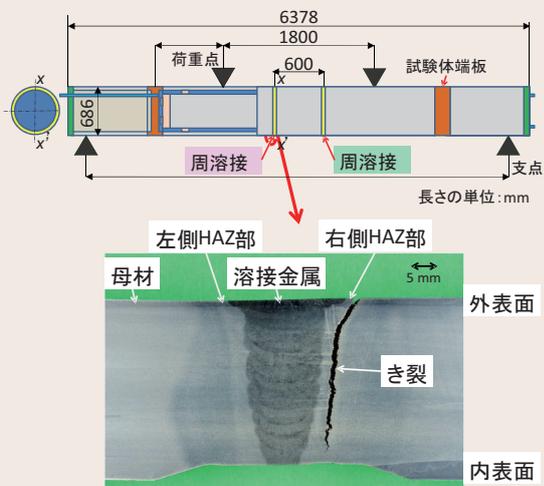


図1 内圧曲げクリープ試験後の12Cr鋼周溶接試験体の断面

温度650℃で約8,000時間試験後に、曲げによる引張力が作用する周溶接部のHAZに沿って巨視き裂が発生・進展していた。

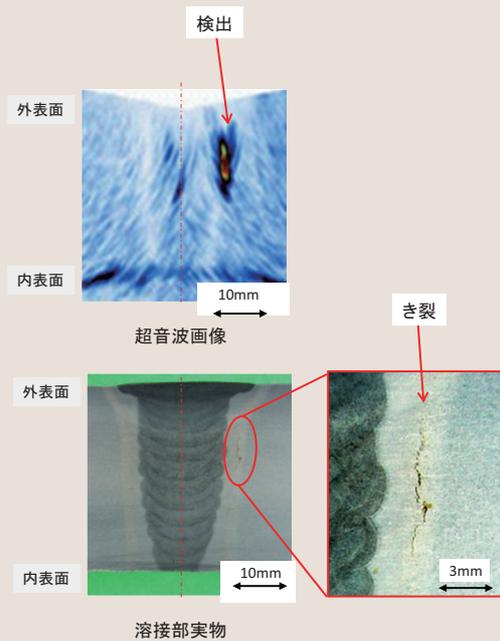


図2 超音波非破壊検査法の有効性の実証

12Cr鋼周継手試験体に生じていた内部き裂を、超音波法により検出することができた。

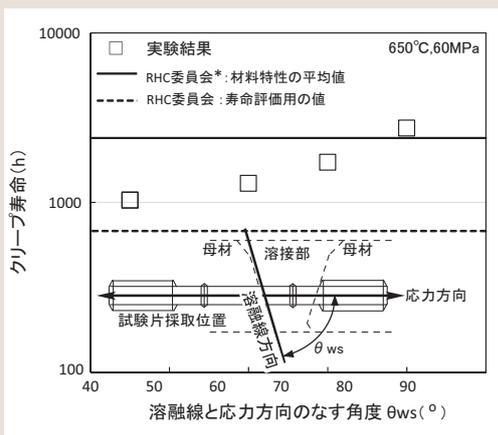


図3 9Cr鋼溶接部のクリープ寿命への影響因子

溶融線と応力方向のなす角度が小さいほど、クリープ寿命が低下した。

*RHC委員会:国が設置した「高効率火力発電設備健全性調査委員会」

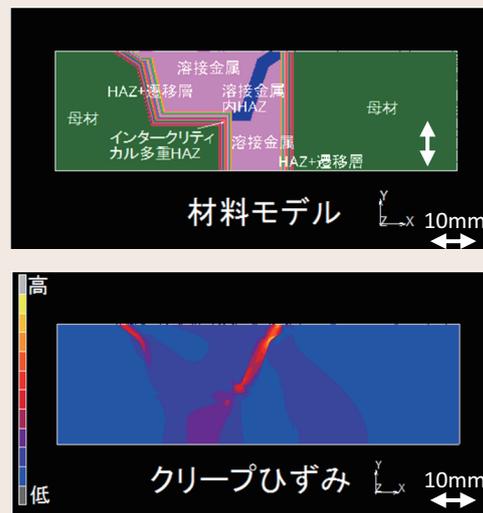


図4 9Cr鋼再溶接材のクリープ解析

材料特性を詳細にモデル化した9Cr鋼再溶接材のクリープ解析において、実験でき裂が確認された溶接金属内HAZ(初期溶接と再溶接の交差箇所)でクリープひずみの集中が見られた。

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

原子力発電所の長期運用停止に伴い、火力発電への依存や、再生可能エネルギーで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・増設やリプレース時の環境影響評価(アセスメント)では、一層の迅速・低コスト化が求められている。また、火力発電には、微小粒子状物質PM_{2.5}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、それらに対して科学的な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に、大気環境アセスメントの事前検討から環境影響評価書の作成まで幅広く活用可能な支援ツールを開発した。本ツールはパソコンによる操作が可能であり、煙源条件(位置、煙突高さ、排ガス諸元)などを入力することで、大気中の排ガス拡散計算を実行し、拡散した排ガスの濃度分布を地図上に描くことがで

きる。また、一般に公開されている環境濃度データを自動的に取得し、周辺環境に及ぼす排ガスの影響を容易に評価できる。さらに、複数煙源からの排ガス拡散計算や、煙源情報や地形データから高濃度をもたらす特殊気象条件および地形影響の自動判定が可能といった特徴を有する(図1) [V13020]。

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^{*1}

地熱発電に係る大気環境アセスメントを迅速・低コスト化するため、拡散予測で用いられる風洞実験に代わる数値モデルの開発に着手した。比較的単純な地形に適用可能な簡易型モデルを構築し迅速な数値解析へ

の対応に向けたプロトタイプ版を作成した。さらに、複雑な地形と建屋の影響を扱える詳細型モデルではベースとなる乱流モデルの精度を明確にするため風洞実験の結果と比較し、モデルの課題を抽出した(図2)。

3 二次大気汚染に対する発生源影響度の評価手法の開発

オゾンは、窒素酸化物と有機化合物の共存下で生成される二次大気汚染物質であるとともに、PM_{2.5}の生成にも深く関与している。そこで、オゾンに対する発生源影響度^{*2}の評価手法として、高精度の高次感度解析法^{*3}と計算コストに優れるタグ付きトレーサ法^{*4}の適用性を比較した。その結果、後者は前者より発生源の近傍で影響度を大きく見積もる

ことがわかった。また、オゾンの消滅過程の扱いを考慮した概念(ポテンシャル・オゾン^{*5})を導入し同様の解析を実施したところ、両手法の結果はほぼ一致した。このことから、タグ付きトレーサ法がオゾンの発生源影響度評価手法として有効なことが示された(図3)。本成果は、二次大気汚染に対する火力発電の影響評価等に活用する。

*1 (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構との共同研究として実施した。

*2 評価対象地点で観測された大気中オゾン濃度に対して、周辺の各地域(各国)の発生源がどのような割合で影響を及ぼしているかを示す指標。効率的な発生源対策を講じる上で有用な情報となる。

*3 原因物質排出量に対する大気中濃度の応答(感度)から影響度を求める方法。

*4 排出された原因物質に印(タグ)を付けて追跡し、影響度を求める方法。

*5 オゾンは一酸化窒素との化学反応により消滅し、二酸化窒素が生成する。このオゾン消滅過程において、ポテンシャル・オゾン(=オゾン+二酸化窒素)の濃度は保存される。

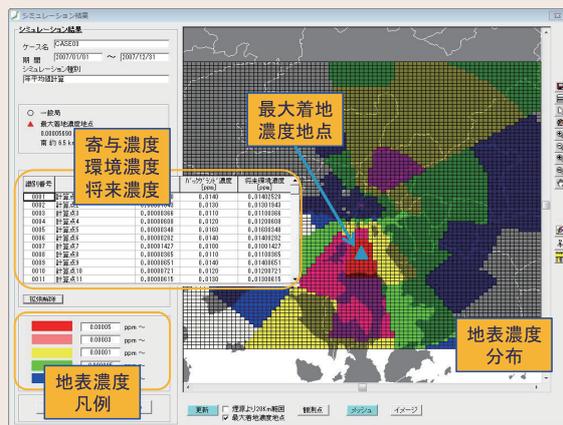


図1 大気環境アセスメント支援ツールの結果表示画面

計算期間と煙源条件を入力して拡散計算を行った結果が、地図上に示される。カラーコンターは年平均濃度分布を示し、最大着地濃度地点には三角印が描かれている。また、煙源周辺の大気環境濃度測定局とデータを国立環境研究所の公開データベースより自動的に抽出し、現況の環境濃度として表を作成する。

- 主な実装機能
- ・地理情報システム GIS に連動
 - ・グラフィカル・ユーザ・インターフェースによる操作
 - ・気象官署等の気象データの取り込み
 - ・風速の高度補正
 - ・大気安定度の判定、地上・上層の変換
 - ・特殊気象条件の判定
 - ・拡散式（パフ式、ブルーム式）
 - ・環境濃度の自動取り込み
 - ・ひとつの地域に複数の煙突を設定可能
 - ・年平均値、日平均値の重合計算

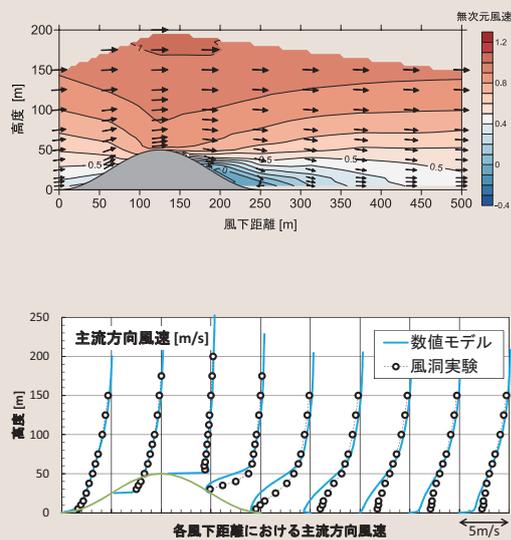


図2 風洞実験結果(上)と地熱発電の大気拡散数値モデル(詳細型)の比較(下)

詳細型モデルは、複雑な気流を再現するための乱流モデルをベースとして開発を進めている。風洞実験による単純な地形で結果を比較したところ、一般的な乱流モデルでは地形背後の主流方向風速をやや過小評価する傾向があった。

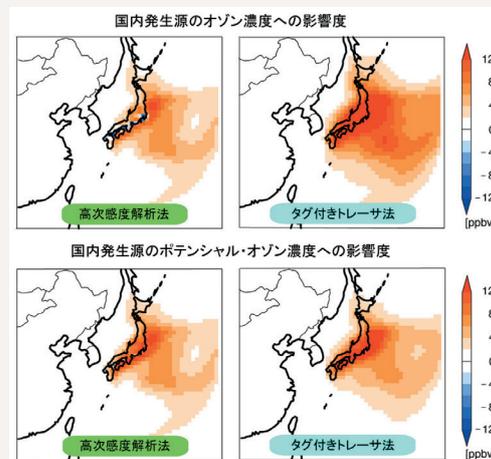


図3 高次感度解析法とタグ付きトレース法による国内発生源の影響度

大気環境基準値を超過した春季の高濃度事例に対して影響度の評価を行った。タグ付きトレース法によるオゾンの発生源影響度(右上)は、発生源付近で高次感度解析法(左上)より大きくなる傾向にあった。ポテンシャル・オゾンではこの過大傾向は大幅に抑制され、両手法の整合性が高まった(下)。国内発生源は発電所や自動車などのすべての人為起源発生源を対象としている。

重点課題 - 設備運用・保全技術の高度化

生物多様性に配慮した電力施設の建設・運用支援技術の開発

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*1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 動植物重要種*2の生息・生育可能性推定手法の開発

計画段階環境配慮書における影響予測は、原則として既存資料を用いた簡易な手法で実施する。動植物の項目では、レッドデータブック等に掲載された重要種が対象となるが、事業の計画範囲と重ね合わせて影響を検討できるような、分布位置が示されている資料はほとんどない。そこで、周辺地域に

おける生物リストと植生などの地図情報をもとに、事業対象地点における重要種の生息・生育可能性を推定する手法を構築した(図1)。本手法を適用することで、広い地域で確認されている多数の重要種の中から、計画地点に生息、生育可能性のある種を絞り込むことが可能になる[V13004]。

2 藻場生育量推定技術の開発

海域生態系の中でも、藻場生態系は高い生物生産性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は繁茂期の藻場生育量の把握が求められるが、そのためには多大な時間とコストを要する潜水作業等の調査が必要となる。そこで、公共機関が公開しているデータ(日射・水温・透明

度等)を活用し、繁茂期の藻場生育量を簡便に推定できる数値モデルを構築するとともに、実測値との比較から数値モデルの有効性を確認した(図2)。本モデルを用いることにより、対象海域の藻場の生育量を面的に算出することが可能となり、アセスメントにおける調査の迅速化・低コスト化に貢献する。

3 鳥類飛翔の簡易調査技術の開発

風力発電設備への鳥類衝突が懸念されており、環境アセスメントにおいても鳥類への衝突影響を予測評価する必要がある。予測評価に必要なデータを得るため、目視による鳥類飛翔の観測が行われているが、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。そこで、2012年度に開発した鳥類飛翔観測装置を用いて、2台のカメラによる

同時録画映像から同一個体の飛翔軌跡を2方向から画像化し、飛翔を立体的に把握できる鳥類飛翔3次元座標化ソフトウェアを開発した。これにより目視では困難だった鳥類飛翔のルートや高度などのデータを高い精度で取得することが可能となった(図3)。今後は現地調査を通して検証を行い、鳥類に関する環境アセスメントの省力化につなげる。

*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、あるいは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。



図1 動植物重要種推定手法

過去に実施された全国の発電所アセスメント49件で記録された重要種の調査結果をもとに、マツ林、工場地など26の環境区分における出現状況を整理し、各区分の生息・生育可能性を評価する判定表を構築した(上表)。この表と植生図を対比することにより、多数の重要種の中から予測対象種を絞り込むことが可能になる(下図)。

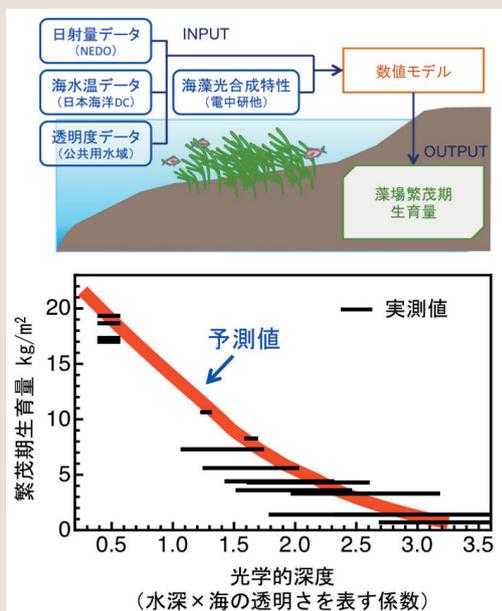


図2 藻場生育量計算数値モデル

日射量、海水温、透明度などの環境データを入力し、繁茂期の生育量を算出する(上図)。国内で詳細な生態調査が実施されているカジメ藻場(神奈川、静岡、三重)について、調査で得られた繁茂期生育量(各地各水深の生育量最大値)と予測値を比較し、生育量を再現できることを確認した(下図)。

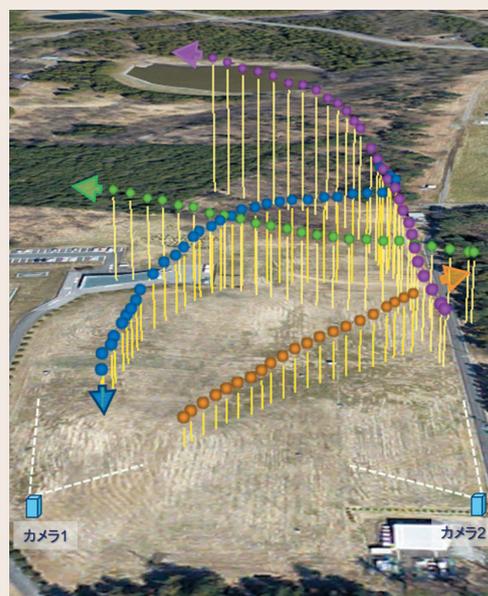


図3 立体的に把握された鳥類の飛翔軌跡

カメラ2台によって同時録画された映像から、鳥類個体の飛翔のルートや高度を計測することができる(各色の●は鳥類個体の飛翔軌跡を示す。黄線は高度)。風車の回転空間を飛翔する鳥類の状況を的確に把握することが可能であり、鳥類衝突影響予測の信頼性向上が期待できる。

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手法が不可欠である。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、既開発の降雨・出水予測システムと組み合わせた統合システムを開発し、実用的な土砂挙動予測技術を電力各社に提供する。

主な成果

1 上流山地からの土砂生産量予測技術

ダム上流の広域な土砂発生量を把握するため、レーザープロファイラーデータから4年間の地形変化を定量化し、新規崩壊地の探知と崩壊土砂量を推定した(図1)。

一方、世界各国で広く用いられている農地を対象とした土壌流出モデルEUROSEM*1を用い、森林斜面の表面流出や濁水の経時

変化を解析し、このモデルの森林の土壌流出評価への適用性を明らかにした[V13001]。さらに、より詳細な土壌流出解析を行うため、森林からの土壌侵食量が無電源で簡易に計測できるシステムをダム上流域の斜面に複数台設置し、森林斜面からの土壌移動の実態解明を開始した(図2)。

2 豪雨時の斜面安定性評価法の開発

2012年度に構築した豪雨時の斜面安定性評価手法[N12014]を、既往最大雨量を記録した台風によって崩壊した斜面に適用し、雨量とともに変化する斜面安定度の変化を評価

した。斜面全体の安全率から、降雨開始70～100時間後の間に斜面崩壊した推定結果が得られ、実現象とほぼ一致する評価結果が得られた(図3)。

3 河川貯水池のリアルタイム流況観測システムの構築

ダム下流の土砂動態を把握するため、河川・貯水池の水質をリアルタイムに観測できる装置を開発した。この装置は、太陽光パネルやバッテリーを用いて無電源化し、長期間の観測が可能な仕様とした。この装置をダム下流から河口まで計7地点に設置し、水質データの連続観測を開始した[V13007]。取得したデータは携帯電話

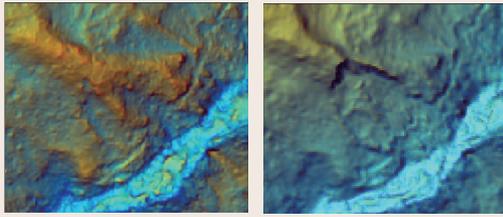
通信網により当所内のサーバに送信され、自動的にデータを蓄積し、遠隔地から河川水質を確認することができる(図4)。このシステムでは、あらかじめ設定した濁度以上となると自動的に河川水を採水する機能や遠隔地から採水を指令する機能を有し、観測に要する労力を大きく軽減させることができる。

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

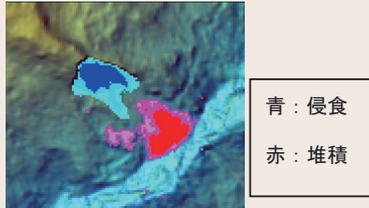
当所で開発した土砂流動解析プログラムC-HYDRO-2Dを用いて、洪水時の河川・貯水池における土砂堆積状況と貯水池水位低下による洗掘の効果を計算した。また、これに水質予測システムを組合せ、水温やDO(溶存酸

素)の数日間の変化状況を予測できることを確認した。この検証により、ダム下流から河口までの降雨・出水予測から水質予測までのシステム全体の動作確認を行い、統合システム完成の目処をつけた。

*1 英国Cranfield Univ.が開発した土壌流出モデル。



(1)LP地形起伏図(2009) (2)LP地形起伏図(2013)



(3)2時期の地形変化量図

図1 レーザープロファイラー(LP)差分解析による崩壊土砂量推定事例

2009年および2013年の航空機からのレーザープロファイラーにより、林道から遠く、確認が難しい新規崩壊地が検出された。崩壊地からの土砂発生量と堆積量を定量化し、今後現地調査を行いつつ、河道に流下した土砂量を推定する。

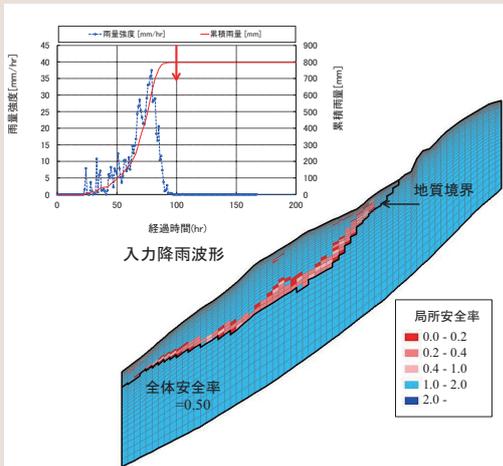


図3 滑りを生じた斜面を対象とした豪雨時の斜面安定解析結果(降雨開始から100時間後、総雨量800mm)

局所安全率は降雨の浸透に伴って旧崩壊堆積物と岩盤の境界付近において安全率の低下する領域が広がり、100時間後にはこれらが連続する。全体安全率を計算すると、初期、70時間後(総雨量400mm)、100時間後(同800mm)の順にそれぞれ1.25、1.06、0.50となり、70時間~100時間後の間に崩壊したものと推定された。



図2 土壌侵食量観測システムの概要

当所で開発した土壌侵食量観測システム[V11030]は、複数の土壌サンプラと表面流量計測装置に、降水量などの気象観測装置から構成されている。本研究では、土壌を採取するサンプラの状態をWEBカメラにより遠隔から監視することができ、サンプルの回収やメンテナンスを合理的に行うことを可能とした。

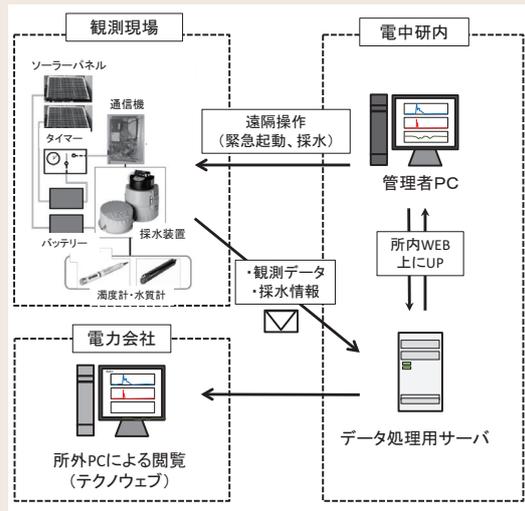


図4 リアルタイム流況観測システムの概要

7地点から送信されてくる大量のデータを処理し、リアルタイムで入手される河川水質のモニタリングを容易にしたGUIソフトウェアを開発した。また、PC上のデータをチェックしながら採水の実行・停止が可能な機能も有している。

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

高度経済成長期等に導入された電力流通設備の更新が今後大量に生じることが予想され、高経年化した電力流通設備に対して、改修や更新の平準化、費用対効果の考慮等の合理的な設備維持管理技術の構築が重要である。

本課題では、合理的な設備維持管理に必

須な劣化診断技術の開発と判定のベースとなる劣化データの蓄積を図るとともに、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)を提供する。

主な成果

1 周波数応答解析による異常診断技術の開発

変圧器巻線等の構造劣化による異常検出技術として、周波数応答解析(FRA)に注目した診断技術の開発を行っている。電力系統の調相設備として変電所に設置されている、変圧器と巻線構造が類似のシャントリアクトル実器に対して、FRAによる内部異常診断を

電力会社と共同で実施し^[1]、巻線の異常を検出した(図1)。診断後の解体調査からは一致した巻線での異常が確認されており、FRAによる診断技術のシャントリアクトルへの適用性が明らかとなった。

2 CVケーブルとOFケーブルの診断技術の開発

電力会社から提供された22~77kV撤去CVケーブルを対象に、劣化の主要因となる水トリーの進展データなど絶縁劣化様相データを蓄積し、標準的な設備に対する残存絶縁性能の経年変化を明らかにしてきた。今後は、ケーブル布設環境等の条件別の余寿命推定による維持・更新基準の構築を図る。

OFケーブルでは、接続部の撤去品調査結果などから部分放電(PD)の痕跡が認められるなどの状況を受け、従来の油中ガス分析

を基にした保守に加え、PD測定の実用による新たな劣化診断手法の確立が求められている。OFケーブル接続部に発生しうる異常を想定し、図2(a)に示すような油隙欠陥を有する油浸紙複合絶縁系モデル試験体を用いたPDの連続測定により、絶縁破壊に至るまでのPD発生の変移を明らかにした。PDの発生頻度・継続期間や放電電荷量をトレンド管理することで、劣化進展を検知できる可能性を見出した(図2) [H13014]。

3 送変電設備の塗膜劣化診断技術の開発

送変電設備の塗膜劣化評価に向け、当所では、有機塗膜に対し高い透過性を示す上、錆には強く吸収される特性を持つテラヘルツ波(THz波)を用いた劣化診断技術の開発を進めている。臨海地域に暴露して塗膜下

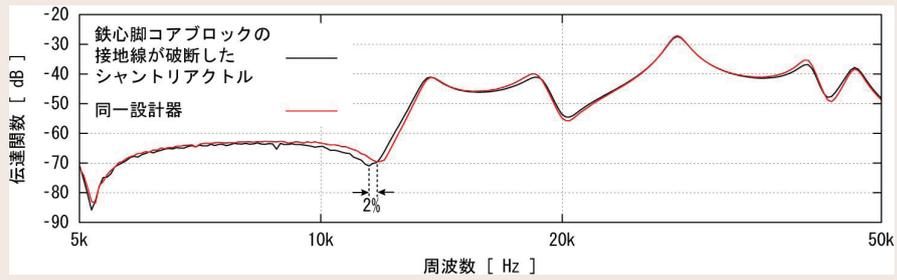
腐食を生じさせた塗装鉄板に対し、この手法を適用し、可視光では見えない塗膜下の腐食程度を定量的に検出できる見通しを得た(図3)^[2]。

[1] 宮崎 他、平成25年電気学会電力エネルギー部門大会資料No.405、2013

[2] 布施 他、電気学会次世代産業システム研究会資料IIS-13-64、2013



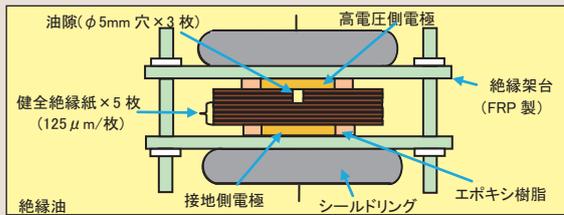
(a) 主な仕様



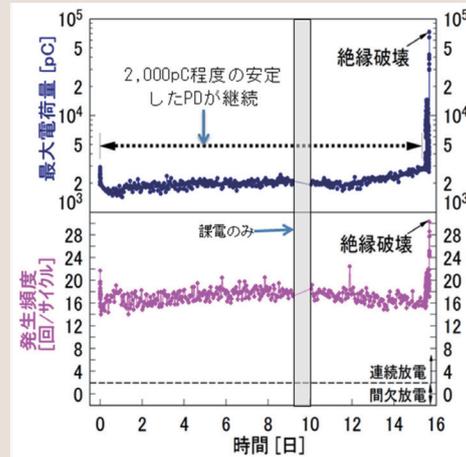
(b) FRA診断結果

図1 シャントリアクトル巻線の異常検出例

測定したシャントリアクトルの概要と測定結果を示す。同図に示す様に12kHz付近にある下向きのピーク位置が若干低周波側に移動している。この周波数応答解析により検出した異常は、実験終了後の解体調査により確認された。このことから周波数応答解析を用いることにより巻線の異常を定量的に評価できることを明らかにした。



(a) 油隙欠陥を有する油浸紙複合絶縁系モデル試験体



(b) PD特性の推移

図2 OFケーブルモデル電極による部分放電発生推移の実測例

シート試料を用いた連続課電試験にて、絶縁破壊に至る前に2000pC程度の放電がほぼ連続で発生し、絶縁破壊までに相当の時間が見込める事を明らかにした。これにより、連続放電が発生する以前から部分放電測定を実施することで、劣化進展状態を検知できることを明らかにした。

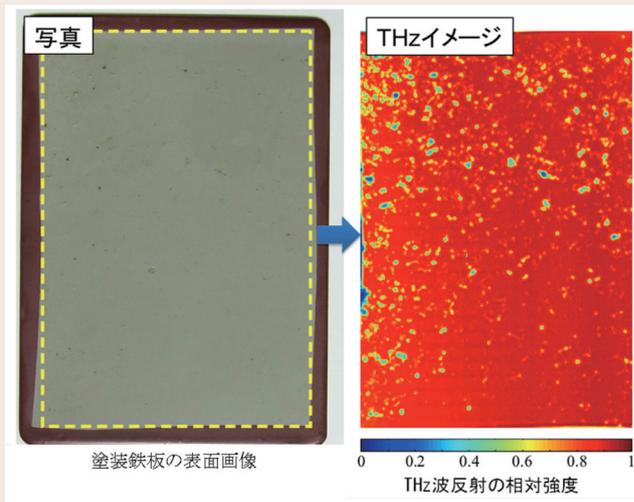


図3 ポリウレタン塗装鉄板のTHz画像による分析結果

9×12cmのペンキ塗装鉄板を臨海地域に暴露して塗膜下腐食を生じさせ、THzイメージングを実施した。THz波はペンキ面に垂直に入射し、その反射時間と反射量を測定して劣化データとする。写真では劣化の痕跡が見える程度であるが、THzイメージ図に示す様に劣化進行を定量的に明確に表現できることを明らかにした。イメージ図の相対強度は入射波に対する相対強度で、1はすべて反射、0は吸収を表しており、0に近いほど腐食が進行している。

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 腐食環境因子の観測とマップ化

内陸域における腐食環境因子の定量化を目的に、既設送電用鉄塔(千葉県成田市)に新たに腐食環境測定装置を設置し、観測を開始した。また、電中研気象予測・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ベース(CRIEPI-RCM-Era2)と

海塩輸送シミュレーションコードNuWiCC-STを用いて年間平均飛散海塩量マップ(関東地方)を試作した。NuWFASのデータを用いた年間平均飛散海塩量の推定結果は、海塩付着量の観測値の定性的な傾向を再現していることを確認した(図1)。

2 鋼管部材の内面腐食を対象とした部材配置による影響評価

横須賀地区で実施した大気腐食モニタリングセンサ(ACMセンサ)*1による暴露試験に基づき、水平材と斜材の鋼管内腐食速度分布を評価し、斜材では水平材よりも腐食速

度が大きいことを明らかにした(図2)。これらの結果は、部材・部位別腐食量推定や、保全業務において優先的に点検すべき部材・部位の特定に活用する[Q13007]。

3 腐食実態調査と経年鉄塔データベース化

腐食に起因する経年劣化が生じている全国25線路、41基の鉄塔を対象に腐食実態調査を行った。全国沿岸部から山間部までを対象に調査した結果、沿岸部では海塩による腐食、山間部では霧や結露が原因と考えられる

腐食が確認され、環境条件による腐食状態の特徴が明らかとなった。また、気象情報、設備情報とともに今回の調査結果等を集約し、経年鉄塔の効果的な維持管理方策の策定に資する経年鉄塔データベースを構築した。

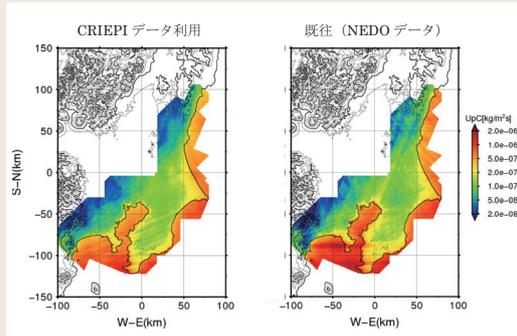
4 鉄塔基礎鋼管杭および基礎周辺地盤の状態計測

軟弱地盤中の鉄塔基礎・鋼管杭の地震時等の応答特性把握を目的に、実規模送電線雪害試験設備(北海道釧路市)に、基礎上地震動および杭頭ひずみ観測装置を設置した(図3)。観測に先立ち、各建設段階(基礎工事後、鉄塔組立工事後、架線後)での杭頭ひずみの経時変化を明らかにした。

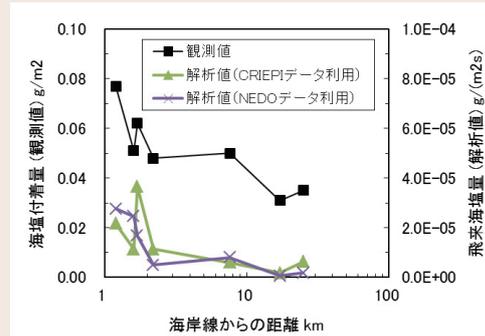
また、明瞭なすべり面が形成されず、挙動メカニズムが不明な山岳斜面(長崎県西海市)を対象に、当所開発の光ファイバFBGセンサ*2による孔内傾斜計を設置し、斜面変位観測を開始した。本センサの設置により、鉄塔基礎地盤の安定性評価手法開発の基礎データを取得する。

*1 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。

*2 従来の計測に比較して、変位が生じている地山内の変位を20cmピッチで連続して計測できる。



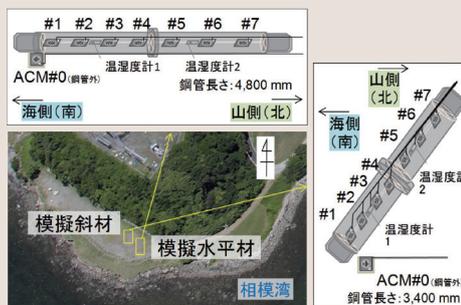
(a) 年間平均飛散海塩量マップ(関東地方)



(b) 観測値(東京電力提供ACMセンサ計測値)との比較

図1 年間平均飛散海塩量マップの試作

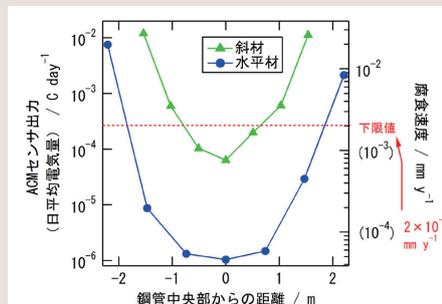
NuWFASを用いた53年間気象再現解析による洋上風速の頻度分布に基づくマップ(CRIEPIデータ利用)と、既往(NEDOデータ;LAWEPS)の洋上風速の頻度分布に基づくマップ(既往(NEDOデータ))を作成した。海塩付着量の観測結果と飛来海塩量に関する推定値を比較した結果、CRIEPIデータによるマップは、NEDOデータによるマップよりも定性的な傾向を再現していることがわかった。



(a) 水平材と斜材の配置とセンサ設置状況



(b) 暴露試験の実施状況(斜材)



(c) 2013年6月における水平材と斜材の鋼管内腐食速度分布

図中の下限値は、腐食速度算出に有意なACMセンサの最小値を表す。

図2 水平材と斜材の鋼管内腐食速度に関する暴露試験結果

臨海暴露試験場に模擬水平材鋼管および模擬斜材鋼管を設置し、それぞれにACMセンサを鋼管内に7枚、鋼管外に1枚配置し、暴露試験を行った。その結果、斜材では端部、中央部ともに水平材よりもセンサ出力が大きく、特に中央部では両者の差が大きくなった。原因として、腐食起因物質の流入過程の差異が影響していると推察された。

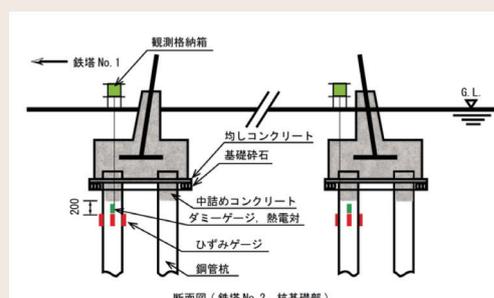
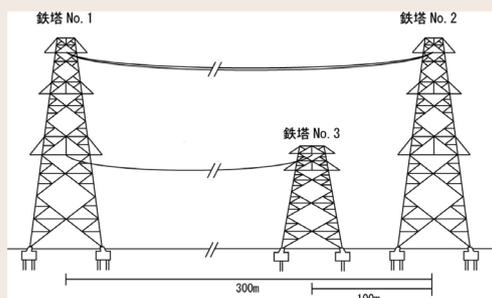


図3 鉄塔杭基礎の動態観測装置

実規模送電線雪害試験設備(北海道釧路市)の鉄塔No.2に、基礎上の地震動および杭頭ひずみの観測装置を設置した(2014年3月設置、8月頃動態観測開始予定)。

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、これまであまり利用されていない石炭の活用など、燃料供給源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に関する対策や、排煙・排水処理プロセスにおける微量物質排出抑制など、保守点検コストの低減、および環境対策技術が求められている。

本課題では、低HGI炭*1(粉碎し難い石炭)、高燃料比炭(燃焼し難い石炭)など、今

まで利用されていない石炭を対象に、既設微粉炭火力発電所における適正な粉碎・燃焼条件および混炭法などの利用指針を策定する。また、硫化腐食の対策技術として、硫化腐食環境評価ツールおよび安価な耐硫化腐食コーティング技術を開発する。さらに、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)の挙動予測と排出抑制技術を開発する。

主な成果

1 低HGI炭と瀝青炭の混炭時の粉碎・燃焼特性評価

豪州の低HGI炭は、燃焼性が良く、含まれる窒素も少ないので、燃料比が高く燃えにくい瀝青炭と混炭(ラインブレンド*2)するとNO_x・灰中未燃分濃度を低減できる。しかし、通常設定される粉碎時の粒径(75μm以下の割合:70~80%)では、混炭率を高くすると許容粉碎動力を超えてしまうため、許容範囲に収まるように混炭率を設定する必要がある(図1)。また、粉碎動力を低減するため、粒径を粗くするとNO_x・灰中未燃分濃度

は、通常の粉碎粒径での混炭に比べて高くなる。

炉内ブレンド法を用いて、低HGI炭の粒径を粗くし、瀝青炭を通常の粒径になるように個別に粉碎して異なるバーナで燃焼させると、NO_x・灰中未燃分濃度は通常の粒径で混炭燃焼した時と同等となり、炉内ブレンド法は低HGI炭に対して有効な混炭法であることがわかった(図2)。

2 耐硫化腐食コーティング技術および硫化腐食評価技術の開発

安価で簡便な耐硫化腐食コーティング技術の実用化に向け、施工業者への技術移転を含む実施体制を構築することにより、同一施工期間で、今までの50倍の面積(3日間で100m²)をコーティングできるようにした(図3)。

ボイラ内の硫化腐食の可能性を事前に評

価する硫化腐食環境評価ツールの高度化を目的に、未整備であった硫化腐食と酸化腐食の境界領域付近にあるガス雰囲気下における腐食速度データを取得した(図4)。このデータを硫化腐食環境評価ツールに組み込むことにより、ボイラ内水冷壁に対する適用範囲を拡大した。

3 石炭火力における微量物質の挙動解明と排出抑制技術の確立

近年、脱硫排水中には4価未満のセレンも含有していることが明らかにされている。この4価未満のセレンを含めた全てのセレン(4価未満、4価、6価)の排水処理プロセス

での挙動について、基礎実験ならびに実機排水試料の分析を行って調査した。その結果、4価未満のセレンは排水処理で除去されることを明らかにした。

*1 石炭の粉碎性を評価する指標としてHGI(Hardgrove Grindability Index)が使われている。この数値が小さくなるほど粉碎しにくくなる。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 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する方法。

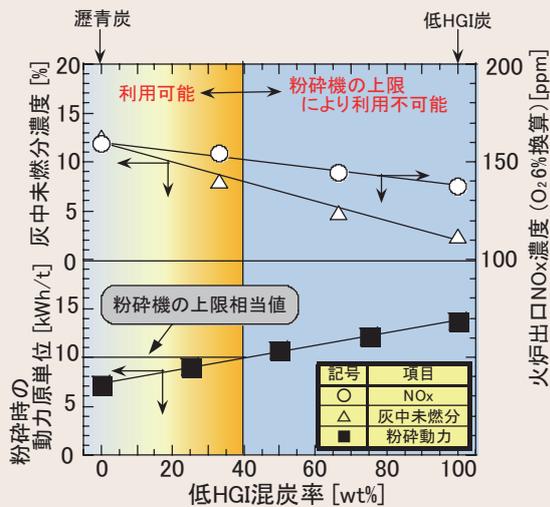


図1 低HGI炭混炭時の粉砕・燃焼特性

低HGI炭は、燃料比が低く、窒素含有率が低いため、混炭して燃焼すると、NO_x・灰中未燃分濃度は、瀝青炭燃焼時よりも低くなる。しかし、瀝青炭に低HGI炭を混炭して粉砕すると、粉砕動力が高くなり、ローラミルの粉砕能力の上限に達するため、混炭可能な比率にも上限があることがわかる（本図の場合、約40wt%）。

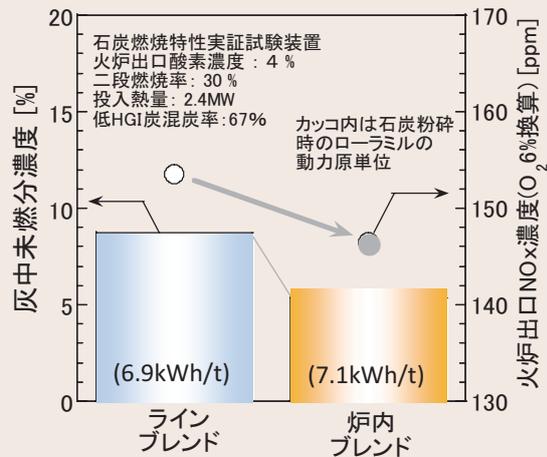


図2 低HGI炭の混炭法の効果

粒子径を粗くすると、低HGI炭の混炭率は高くできるが、NO_x・灰中未燃分濃度は増加する。低HGI炭を粗くし、瀝青炭を通常の粒径で個別に粉砕して、火炉内に投入する炉内ブレンド法を用いると、NO_x・灰中未燃分濃度は粒子径を粗くしたラインブレンド法よりも低減できることがわかった。

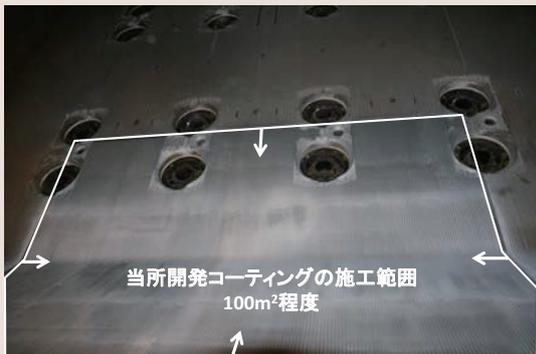


図3 耐硫化腐食コーティングの施工状況

開発コーティングの実機施工例。コーティングは基材側から、SiO₂、TiO₂、Al₂O₃、TiO₂の4層。施工面積100m²弱で施工6時間、各層の施工間隔は乾燥のため6時間以上とした（4層合計を3日間で施工）。

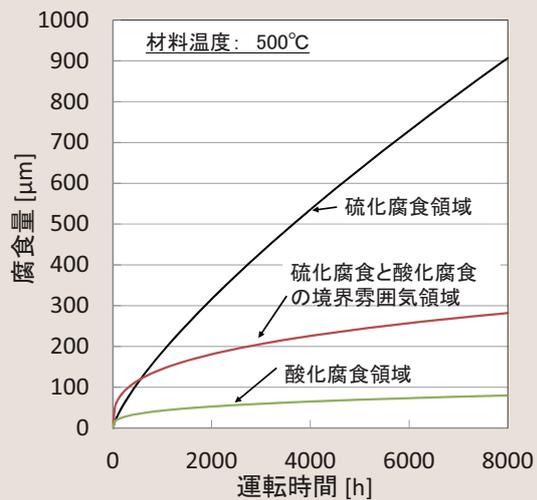


図4 ボイラ内雰囲気における腐食速度例

実験室規模の試験装置を用いて得られた硫化腐食と酸化腐食の境界領域における腐食量の経時変化を示した。境界領域付近のガス雰囲気下における腐食量は、硫化腐食領域と酸化腐食領域の中間点での値であり、材料温度の上昇、硫化腐食領域に近づくことにより増加することがわかった。

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CO₂排出原単位低減策として、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にくいいため、その混焼率は数%に留まっている。また、石炭火力の燃料種拡大策として、褐炭利用が挙げられるが、褐炭は水分が多く低発熱量で、乾燥すると強い自然発火性を示すため、長距離輸送が難しく、これを輸入利用する場

合、脱水乾燥工程の高効率化と自然発火抑制が技術課題となる。

本課題では、石炭火力における低品位資源（バイオマス、褐炭など）の利用拡大を目的に、粉碎性や発熱量の向上が期待される炭化燃料化技術を開発するとともに、様々な低品位資源およびその改質燃料の評価技術を確認する。

主な成果

1 木質バイオマスの炭化燃料化技術の開発

1) 炭化燃料化実験設備の熱収支評価

処理量4t/日、最高炭化温度650℃での運転が可能な実証規模の炭化燃料化実験設備を用い、杉チップ（水分約40%）を原料とする炭化（原料供給量130～145kg/h、炭化温度340～400℃）を行い、燃料比^{*1}0.19～0.91の炭化燃料を得た（表1）。いずれの炭化条件においても、炭化燃料化実験設備への入熱（原料入熱と補助燃料）における、補助燃料の割合は約20%を占め、原料入熱の約1/4の補助燃料が必要となること、また、出熱（炭化燃料、熱分解ガス、機器放熱、熱風炉排ガス）のうち、機器放熱と熱風炉排ガスとして放出される熱の合計は、入熱の10%程度と実機並みに低く抑えられており、より

大規模な商用プロセスの評価が可能であること、などが明らかとなった（図1）。

2) 炭化燃料および炭化プロセスの特性評価

上記の杉チップを原料とする炭化において、炭化燃料の熱的な品質指標である熱量残留率^{*2}、炭化プロセスの性能指標である炭化効率^{*3}は、炭化温度の上昇とともに減少し、390～400℃で減少率が増加すること、一方、炭化燃料の燃料比は、炭化温度390～400℃で急増することから、同温度域で急激に炭化が進行することがわかった（図2）。今後、他のバイオマスについて、同様のデータを蓄積することにより、商用規模の炭化プロセスにおける炭化特性を原料の燃料性状や熱分析結果から予測することが可能となる。

2 石炭火力における木質炭化燃料の高混焼率利用時の粉碎性評価

石炭火力における木質バイオマス炭化燃料の高混焼率利用を想定し、炭化燃料化実験設備で製造された、燃料比の異なる3種類の杉チップ炭化燃料（燃料比0.19、0.25、0.58）、ならびに原料（未炭化の杉チップ）を石炭と混合し、ローラーミルにより粉碎特性を明らかにした。炭化燃料および原料の石炭

との混合率（熱量基準）は3～30%とした。いずれの試料においても、混合率の増加にともなって粉碎動力は増加するが、炭化することにより、粉碎動力の増加は大幅に抑えられ、混合率10%を越える高混焼率利用の可能性が確認された（図3）。

*1 燃料中の固定炭素と揮発分の比率、炭化の進行にともない増加する。

*2 炭化燃料の熱的な品質指標のひとつ、（炭化燃料の発熱量×製造量）を（原料の発熱量×供給量）で除した値。

*3 炭化プロセスの性能指標のひとつ、（炭化燃料の発熱量×製造量）を（原料の発熱量×供給量）と（補助燃料の発熱量×供給量）の和で除した値。

表1 炭化条件と原料および炭化燃料の燃料性状

炭化燃料化試験の炭化条件と試験に用いた原料(杉チップ)および製造された炭化燃料の工業分析値と炭化度を示す。

Run No.	単位	原料	燃料比				
			Run1	Run2	Run3	Run4	Run5
炭化温度	°C	-	340	360	380	400	400
原料供給量	kg/h	-	146	128	134	146	129
灰分	% db	0.2	0.3	0.3	0.3	0.5	0.7
揮発分	% db	85.7	83.8	82.1	81.3	63.1	52.1
固定炭素	% db	14.1	15.9	17.6	18.4	36.4	47.2
燃料比	-	0.16	0.19	0.21	0.23	0.58	0.91
高位発熱量	MJ/kg	20.6	20.7	21.2	21.6	25.7	28.6

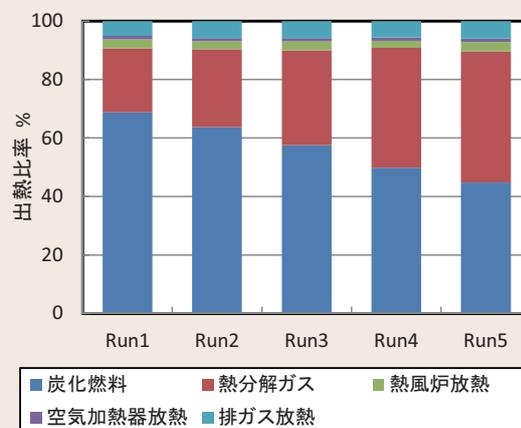
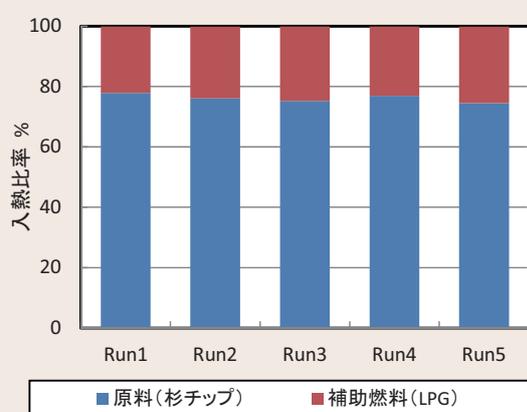


図1 炭化燃料化実験設備の熱収支(左:入熱,右:出熱)

炭化燃料化実験設備の熱収支として、入熱と出熱の熱量構成比率を示す。入熱の熱量構成は、原料(杉チップ)と補助燃料(LPG)であり、出熱の熱量は、炭化燃料、熱分解ガス、機器放熱、排ガスから構成される。得られた炭化燃料化プロセスの熱収支情報は、炭化条件の最適化や実機の設計・運転データとして活用可能である。

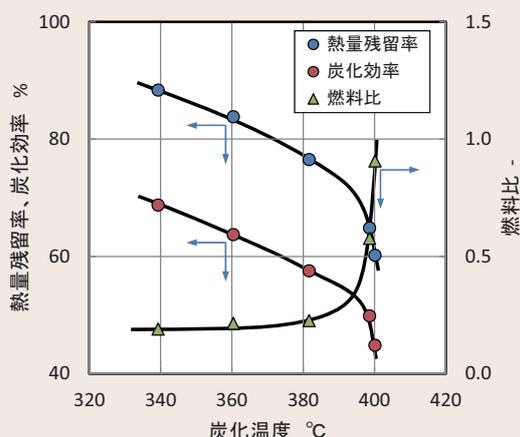


図2 炭化燃料熱量残留率と炭化効率に対する炭化温度の影響

炭化燃料の熱量残留率、炭化燃料化実験設備の炭化効率と炭化温度の関係を示す。これらのデータは、今後実施する炭化燃料化試験の炭化条件設定、炭化条件の最適化検討、炭化燃料性状予測ツールの開発などに活用可能である。

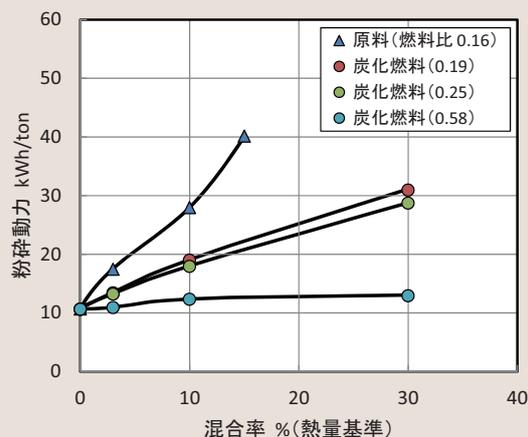


図3 原料および炭化燃料の粉碎動力と混合率の関係
石炭火力での高混焼率利用を念頭に、原料と炭化燃料(燃料比0.19、0.25、0.58)の石炭との混合粉碎試験(混合率3~30%)を実施した。原料(杉チップ)の混合率30%での混合粉碎は困難であったが、炭化することにより、粉碎性が大きく改善されることが明らかとなった。

重点(プロジェクト)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

今後予想される太陽光発電(PV)をはじめとする分散形電源大量導入のもとでの系統事故時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。これまでPV大量導入時の系統事故が系統セキュリティに及ぼす影響の検討はほとんどなされておらず、影響評価、安定化対策

の開発・実証が重要な課題となっている。

本課題では、実験的な検証により系統事故時のPV用パワーコンディショナ(PCS)の特性を解明するとともにシミュレーション解析用モデルを開発し、事故時を含めた系統セキュリティの評価を行い、系統セキュリティ維持技術の確立に資する。

主な成果

1 シミュレーション解析用PVモデルの利便性向上

当所電力系統シミュレータにおける住宅用PV用PCSの特性把握のための実機試験から、系統事故時のPCSの一時的な停止には、インバータの制御系のみならず、単独運転検出リレーが大きく関わっていることが明らかとなったため、これまでに各種の単独運転検出方式

を模擬したY法^{*1}シミュレーション用PVモデルを開発してきた。今般、PV大量導入が系統セキュリティに及ぼす影響の効率的評価に資するため、代表的な3種類のPVモデル(表1)を標準モデルとしてY法へ組み込み、Y法ユーザの利便性を向上させた。

2 能動的単独運転検出機能の応動によるPCSの無効電力振動現象の発生条件の実験的抽出

これまでの電力系統シミュレータにおける一部の試験において、PV用PCS^{*2}の能動的単独運転検出機能の応動に起因してPCSの無効電力が周期的に変動する現象(周期0.1秒程度)が観察された。この現象の発生条件を調べるため、負荷端にPCSと抵抗負荷を連系し(図1)、275kVおよび66kV模擬送電線の距離とPV連系容量をパラメータとして変化させ、系統に外乱を加える(ここでは抵抗

負荷の開閉)試験を実施した。その結果、送電線の距離が長く負荷端の電圧が変動し易い(短絡容量が小さい)試験条件、また、PVの連系容量が大きい試験条件において^{*3}、この現象が発生する傾向があることを確認した(図2)。今後、この現象の詳細な発生条件、実系統における発生可能性等について検討を進める。

3 再生可能エネルギー発電の大量導入が系統安定度へ及ぼす影響の評価

太陽光発電および風力発電が大量導入された場合の系統安定度へ及ぼす影響を評価するため、実規模の様々な系統モデル(図3)においてY法シミュレーションを実施した。その結果、再生可能エネルギー発電の導入量・導入位置、系統の潮流条件・事故条件等により

系統安定度へ及ぼす影響が異なることを示した。なお、これらの影響は対象系統の特性にも大きく依存するため、今後標準的な系統モデルにおいても解析を行い、系統特性との関係も含めて系統安定度へ及ぼす影響について整理する。

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

*2 電力系統シミュレータに設置されているステップ注入付周波数フィードバック方式の単独運転検出方式(能動的方式)を具備する住宅用PV用PCS。

*3 ここでの試験では、短絡容量比(負荷端の短絡容量/PV連系容量)がある値以下となると、この振動現象が生じる傾向となった。なお、PCSのメーカー・機種などによって、このしきい値は異なるものと推察される。また短絡容量比以外の要因も発生条件に関与している可能性がある。

表1 PV標準モデル(3種類の単独運転検出方式を選択可能)

モデル1	ステップ注入付周波数フィードバック方式(能動的方式)、周波数変化率検出方式(受動的方式)
モデル2	周波数シフト方式(能動的方式)、電圧位相跳躍検出方式(受動的方式)
モデル3	無効電力変動方式(能動的方式)、電圧位相跳躍検出方式(受動的方式)

(注)モデル定数については、典型的な値をデフォルトの値として設定した。

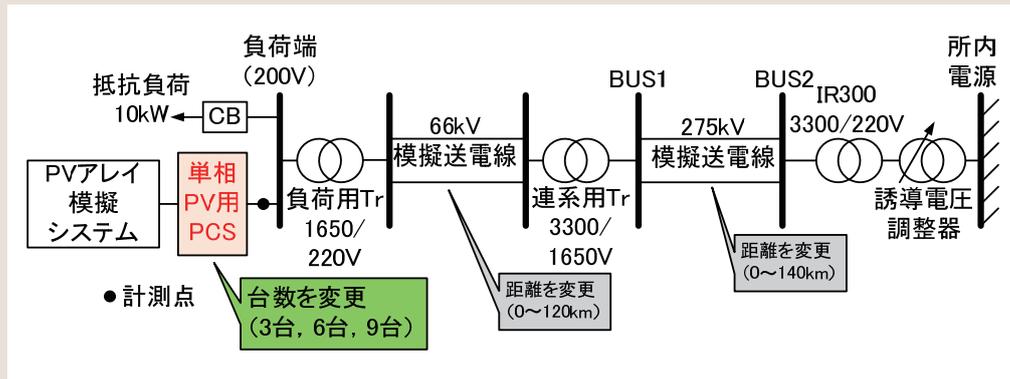
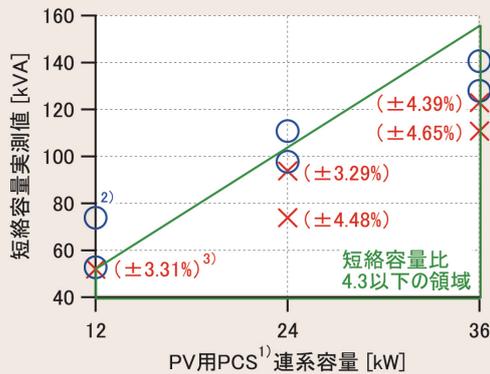


図1 電力システムシミュレータ試験システム(抵抗負荷10kW開閉試験)



【注】

- 1) PV用PCS: 定格出力 4kW, ±1kVar/台
- 2) ×: 無効電力の振動が発生した
○: 発生しなかった
- 3) 括弧内はPV用PCSが無効電力を1台あたり±1kVar出力したときの自端電圧変動幅

PCSの連系容量が大きいほど、また、短絡容量が小さいほど、能動的単独運転検出機能の応動による無効電力の振動が発生しやすい傾向が見られた。ただし、メーカー・機種によって能動的単独運転検出の制御パラメータは異なるため、本現象が発生する短絡容量比も異なると推察される。

図2 電力システムシミュレータにおいてPCSの無効電力振動が発生した試験条件(短絡容量比)

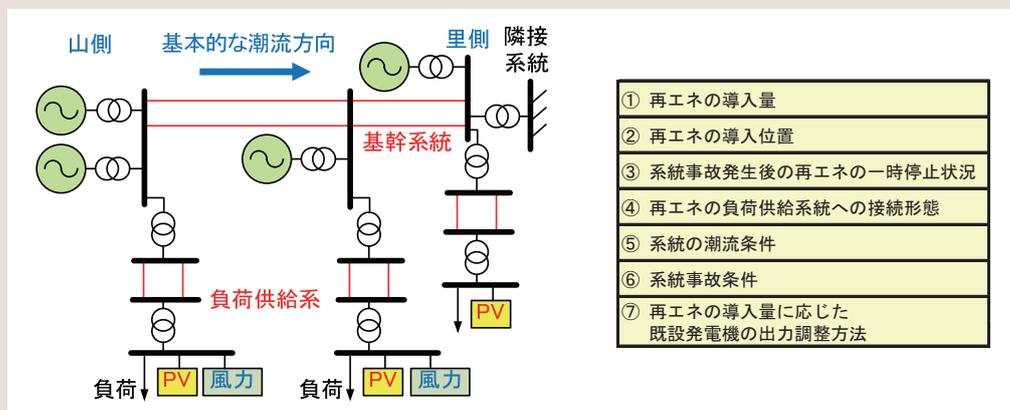


図3 大規模システムイメージ図と系統安定度に影響するパラメータ

再エネの導入量・位置(山側、里側等)により、潮流に及ぼす影響が異なるため、系統安定度に及ぼす影響も異なる。上表に示す他の条件もそれぞれ系統安定度に影響を及ぼす。

重点課題 - 次世代電力需給基盤の構築

次世代電力需給協調システムの開発

背景・目的

太陽光発電(PV)を中心とした再生可能エネルギーへの期待が高まっており、電力システムへの大量導入が見込まれている。このため、再生可能エネルギーの有効利用と大量導入時のシステムの電力品質、安全性、および安定性の維持を効率よく低コストで実現する技術が

求められている。

本課題では、電圧変動の抑制や事故時の保護協調などの配電線レベルでの基本技術を確立すると共に、分散形電源の有効活用技術を含めた需要サイドと供給サイドの連携・協調を実現する技術を開発する。

主な成果

1 二次送電システム事故時の単独運転検出特性の評価

PVの導入拡大により、二次送電システム(66kV)の事故時に発生する可能性のある広範囲での単独運転(図1)を防止する技術の確立が必要であり、2012年度は実験および解析により典型的なシステムによる単独運転特性を明らかにした[R12020]。2013年度は、さらに、電力会社の種々の運用形態(システム構成・事故時運用・接地形態等)を勘案し、配電塔を想定した非接地システムの場合や、事故時の遮断器開放位置および開放時間が異なる場合の特性を実験と解析*により評価した。

その結果、抵抗接地システムに比べ非接地システムの方が単独運転を早く検出できる傾向があること、送電線の遮断器(図1のA点)開放と同時に地絡過電圧リレー(OVG、図1のB点)の動作で事故点が消失する場合は検出に時間を要すること、および送電線の遮断器開放時間は開放後の検出時間にほとんど影響しないことを明らかにした(表1)[R13025]。これらの成果を踏まえて、電力会社の設備・運用形態、分散形電源の導入形態に応じた単独運転防止のための設備対策・運用対策の検討を進める。

2 配電線三相不平衡化の是正制御方式の開発

PVやヒートポンプ式給湯機などの大容量単相機器の導入拡大により、高圧配電線の三相不平衡が増大し、電圧管理が難しくなることが懸念されている。この対策として、配電線電圧制御装置として利用が考えられているSTATCOMを対象に、三相の電圧を独立に制御する不平衡是正制御方式を考案し、

有効性を解析により評価した。

その結果、考案したSTATCOM電圧制御によりPV導入増加に伴う電圧不平衡率の増大を防止でき(図2(a))、PV導入率40%以上において電圧逸脱地点数および時間を大きく低減できることを明らかにした(図2(b))[R13024]。

3 太陽光発電出力変化に応じた新しいPCS無効電力制御方式の開発

配電線へのPV導入量が増えると、電圧変動の抑制のために、応答速度の速い高コストの電圧制御機器(SVC)の必要容量が増大する可能性がある。そこで、PV出力の時間変化率に応じてパワーコンディショナ(PCS)の無効電力を変化させ、配電線電圧調整器(SVR)の動作を補完してSVCの必要容量を低減する制御方式を考案している[R12012]。

考案方式は、配電用変電所の負荷時タップ切替変圧器(LRT)の制御を補完することも期

待できるため、シミュレーションにより有効性を評価した。その結果、考案したPV用PCS無効電力制御方式は変電所LRTの制御も補完することが可能であり、SVR・LRTの両制御を補完することによりSVC必要容量を一層低減できることを明らかにした(図3)[R13019]。なお、PV用PCSを力率一定制御させた場合も同様の効果が得られるが、考案方式は配電線路損失への影響が小さいという点で有利である。

* 実験は赤城試験センター需要地システム実験設備で実施。解析は当所開発のXTAPによる瞬時値シミュレーションによるもの。

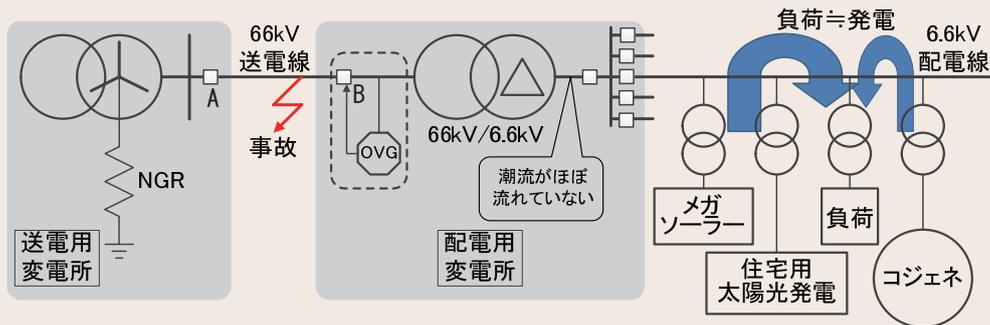


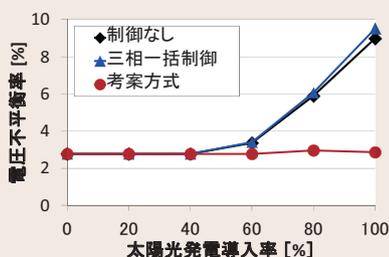
図1 単独運転発生時の送電用変電所以下の系統状態

66kV送電線において事故が発生し、A点の遮断器開放またはA点と同時にB点の遮断器を開放した場合に、配電用変電所以下の負荷と分散形電源の出力がバランスしていると、複数の6.6kV配電線を含む広範囲での単独運転が発生する可能性がある。

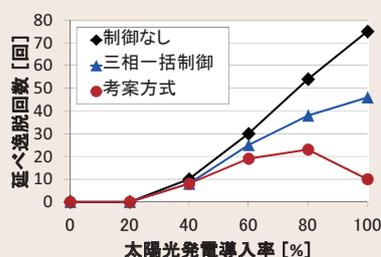
表1 系統構成・事故時運用の違いによる単独運転検出時間への影響(シミュレーション結果)

コジェネ等同期発電機(2MW)、PV用PCS(600kW、新型能動的方式装備)の混在時において66kV系統で一線地絡事故を発生させた場合の結果。単独運転検出時間は、接地形態によらず、送電線の遮断器開放と同時に事故点が消失する場合に延び、また事故発生からの送電線遮断時間には依存しない。さらに、事故点が残る場合は非接地系統の方が早く単独運転を検出する。

		(a) 抵抗接地系統			(b) 非接地系統		
		送電線遮断器開放時間 [sec]			送電線遮断器開放時間 [sec]		
中性点接地方式: 200A 抵抗接地		0.5	1.0	2.0	中性点接地方式: 非接地(配電塔)		
単独運転検出時間 [sec]	事故点が残る場合	0.856	0.856	0.856	0.327	0.326	0.327
	事故点が消失する場合 (A点とB点同時に開放)	3秒以上	3秒以上	3秒以上	3秒以上	3秒以上	3秒以上



(a) 電圧不平衡率

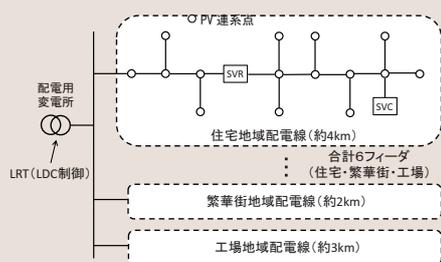


(b) 一日の延べ電圧逸脱回数*2

図2 太陽光発電導入率*1に対する三相一括制御と提案方式の比較

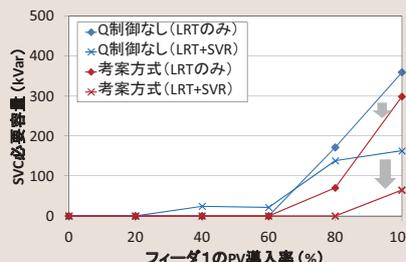
*1 太陽光発電導入率 = PV 設備総容量 / 回線容量

*2 一日の延べ電圧逸脱回数 = $\sum_{i=1}^{24} n_i$ (n_i : 単位時間 (=1 時間) 当たりの電圧逸脱地点数)



(a) シミュレーションの配電系統モデル

変電所LRTやSVRを含めた配電系統バンクを模擬し、6フィーダ(住宅地域・繁華街地域・工場地域)で構成。PVは全フィーダに導入。



(b) SVC必要容量低減効果(LRT、SVRを補完)

住宅地域配電線1フィーダにおけるPV導入率とSVC必要容量との関係を示す。

図3 提案方式によるSVC必要容量低減効果

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構築

背景・目的

電力用通信ネットワークは、発電・送変電・配電設備の運転自動化用を主体に既に十分に整備されているが、スマートメータ等の需要家系通信や、流通設備の保全・監視系通信は整備が不十分である。また、系統保護制御関連の通信は独自方式で、汎用的なIP（インターネットプロトコル）などの通信方式に未対

応である。

本課題では、配電・需要家用の通信ネットワーク、流通設備の保全・監視用センサネットワーク、汎用IP系技術に対応した広域系統監視・保護制御用通信ネットワークについて、要素技術を統合し実用性を高めるとともに、設計手法やツールを開発する。

主な成果

1 スマートメータ用マルチホップ無線ネットワークの構築支援技術の開発

スマートメータ用マルチホップ無線集約局の配置箇所の設計支援に向けて、市街地や郊外などのエリアの種別や建物の影響などを考慮して電波の到達範囲を推定するツールを開発した(図1) [R13014]。また、集合住宅でのマルチホップ無線の適用性に関する基礎的な検討として、パイプシャフト内に設置されたスマートメータからの電波伝搬の特性を、模擬

パイプシャフトによる実測や電波伝搬特性解析ソフトウェアにより把握し、メータ間の伝搬損失推定手法を考案した[R13006]。これらにより、マルチホップ無線方式によるネットワーク構築における集約局の効率的な配置や集合住宅への適用可否の判断を支援することが可能となる。

2 変電所設備保全センサネットワークのプロトタイプ構築

設備保全業務を効率化するために開発を進めている設備保全センサネットワークではセンサ設置作業の簡易化・迅速化が重要である。このための要素技術であるプラグアンドプレイ(PnP)機能と無線センサネットワークとを連携した設備保全センサネットワークのプロトタイプを構築し、温度および音センサを対象として、センサ起動からデータ収集までの一連の動作を確認した(図2)

[R13020]。また、無線センサネットワークによるデータ収集を安定化するための要素技術として、データ欠落時の原因を周囲の電波環境変化から推定する手法を考案した[R13011]。さらに、センサと設置設備の対応付けを効率化するための要素技術として、サンプリング同期信号の配信機能と音センサを用いた無線ノードの設置位置推定手法を考案した[R13005]。

3 広域系統監視・保護制御ネットワークの電力系統シミュレータでの検証

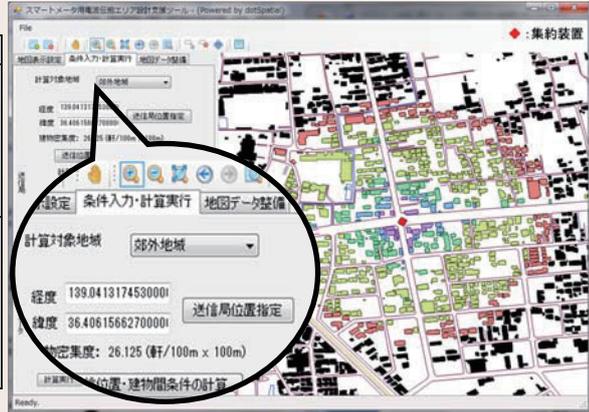
これまで個別に開発してきた広域のイーサネット通信や時刻同期、機能モジュール型の監視・保護制御装置を統合したネットワークシステム上に、電流差動型広域保護と負荷遮断安定化制御を備えたシステムを構築した。当所の電力系統シミュレータを用いてシステムの動作を検証した結果、適正な動作と開発方式の有効性を確認した(図3) [R13012]。

広域の系統監視・保護制御システムでは複

数のサブネットワークから構成される大規模な通信ネットワーク上で、電流・電圧値のサンプリングタイミングの同期(時刻同期)機構を実現する必要がある。このための時刻同期網の大規模化・高信頼化手法を考案し、実機による評価を行った結果、ネットワークに障害が発生した場合であっても同期精度は数十 μ s以下に収まる*ことが確認でき、時刻同期網の大規模化と高信頼化の見通しを得た[R13023]。

* サンプリングタイミングの時刻同期に必要な精度は 100 μ s 以下である。

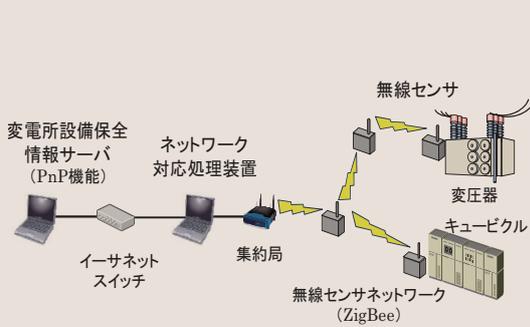
	項目
入力情報	地域種別 (住宅/市街/郊外/農村(平野)/農村(郊外))
	送信局 (集約局) 位置 (緯度経度 または 地図指定)
	送信出力 (dBm 値)
	無線周波数 (400MHz, 920/950MHz, 2.4 GHz 帯対応)
	通信区間 (集約局-メータ間/メータ-メータ間)
出力情報	受信感度 (dBm 値)
	メータボックス (樹脂製/金属製)
	送信局位置表示 (地図上)
	周辺建物までの直線距離
	周辺建物までの遮蔽状況
	計算エリア内の建物密集度
	地図上の電波伝搬エリア
各建物における受信電力	
電波伝搬エリア内の建物軒数	
電波伝搬エリアの面積	



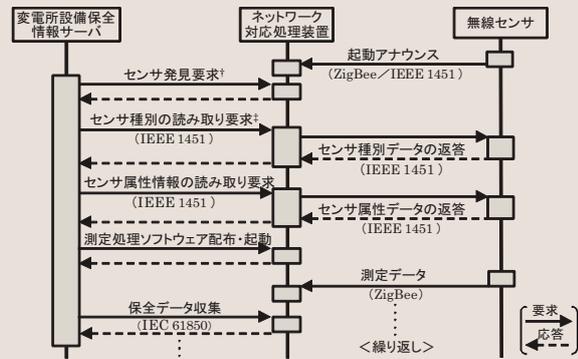
注：建物地図は国土地理院基盤地図情報を利用

図1 スマートメータ用マルチホップ無線伝搬エリア設計支援ツールの入出力情報と画面イメージ

地域種別、送信局の位置、などを入力することにより、集約局からの電界強度が地図上に表示される。併せて、建物周辺の遮蔽状況や各建物における受信電力が算出され、表示される。



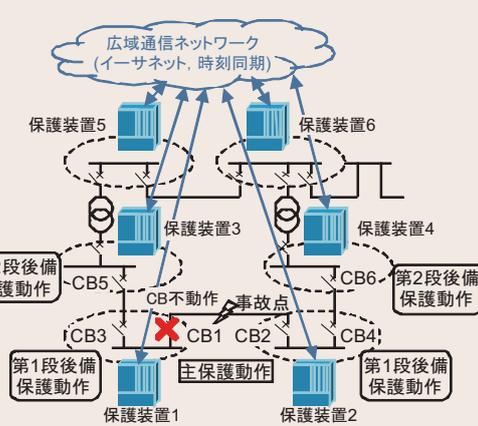
(a) システム基本構成



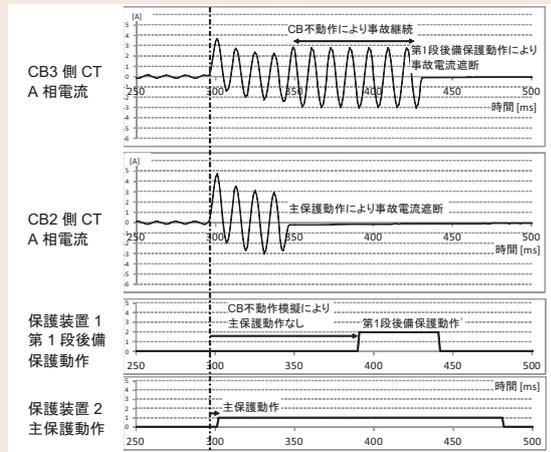
(b) センサ設置から計測開始までの動作

図2 設備保全センサネットワークのプロトタイプにおける基本構成と動作

センサの諸元情報の取得、無線区間のデータ伝送はそれぞれの標準技術を組み合わせて行い、また測定処理ソフトウェアをPnP機能により配布することで、センサ起動からデータ収集までの機能が連携して実行される。



(a) 検証システム構成



(b) 検証結果

図3 電流差動型広域保護システムの電力システムシミュレータを用いた動作検証

各保護装置は時刻同期機構を備えたイーサネット型の広域通信ネットワークで相互に接続されており、同一タイミングでサンプリングされた電流データを用いて演算(事故区間判定)を行い、事故区間を遮断する(主保護動作)。遮断器(CB1、CB2など)の不動作などにより主保護失敗の場合は、第1段、第2段と保護範囲を拡大して事故を除去する(後備保護)。

重点課題 - 次世代電力需給基盤の構築

日本型デマンドレスポンスの成立性評価

背景・目的

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、電気事業者のピーク抑制型料金メニューの実験や、スマートコミュニティ関連の実証事業の形で一部開始されている。しかし、需要家の参加率や負荷削減幅、料金の変化に対する需要家の反応度合いなど、DRに関する知見は十分には蓄積されていない。

本課題は、ピーク抑制に加え、系統安定化などの新たな利用可能性を含むDRの成立性を、受容性や費用対効果の面から評価する。そして、料金メニューやサービスの多様化、再生可能エネルギーを含むエネルギー利用の全体最適化に関する知見を洗い出し、電気事業者がDRに取り組む際に必要となる情報を提供する。

主な成果

1 効果的なDR協力者抽出のための支援ツールの開発

オフィスビルの執務者を対象に、DR通知に対する確認行動を把握するツールを開発し、その効果を調べるため、実際の小規模オフィスビル(執務者数約30名)で実証試験を行った(図1)。参加者9名のうちDR通知を確認した

3名を抽出し、通知の確認時間の計測と訪問調査により、本ツールで把握した確認行動がDRへの関心度合いと相関を持つことを確認した(図2)[Y13016]。

2 我が国におけるアンシラリー機能に期待するDRの導入可能性の検討

風力発電や太陽光発電など出力変動が激しい再生可能エネルギー電源が大量に系統連系された際に、需要側の機器制御によるアンシラリー機能に期待するDRを活用して需給調整を行った時に想定されるメリットとデメリットを整理した。メリットは需給調整力の増強と需給調整コストの低減可能性であり、デメリットはDR実施時の生産プロセス等への影響である。また、DRによる需給調整量の不確実性が課題として挙げられた。

さらに、アンシラリー機能に期待するDRの導入可能性がある対象について検討し、通年・24時間で需要があり、エネルギー貯蔵能力を活かした需要調整実績がある上水道事業や下水道事業、冷凍冷蔵倉庫に加え、ビル空調は季節や時間帯によって需要が大きく異なるため対象者や時間帯が限定されるものの、全体の需要規模が大きいため導入対象となりうることを明らかにした(表1)[Y13030]。

3 欧州におけるスマートメーターの費用便益分析

我が国でも導入が進むスマートメーターについて、欧州主要国での一斉設置検討段階で行われた費用便益分析の手法や結果を調査したところ、12か国で便益が費用を上回る経済性が認められている(表2)。ただし、分析結果の評価にあたっては、便益の範囲として需

要家の便益や社会的便益を考慮するかどうかや、便益評価における不確実性の影響が特に省エネ効果で大きいうえに、小売競争の促進、新サービスの創出等の定性的に評価される非金銭的な便益も現時点では限定的と考えられることに留意すべきことを示した[Y13022]。

4 欧米のスマートグリッドの費用便益分析手法調査と我が国への適用時の課題提示

スマートグリッド(SG)展開の鍵となる費用便益分析に関し、先行する欧米の手法を調査した。米国電力研究所(EPRI)の分析手法の基本的な枠組みは、様々な目的や内容のSGプロジェクトに適用しうる柔軟性を有していることを明らかにした(表3)。さらに、欧州委員会

が、EPRIの手法に独自の視点を加えた欧州での費用便益分析のガイドラインを、実在する欧州のSGプロジェクトに適用した事例を示した。その上で、EPRIの手法を我が国に適用する際には、電力設備の形成や運用方法に適合できるようにするため、便益の金銭価値換算など、手法の細部を見直す必要があることを示した[Y13019]。

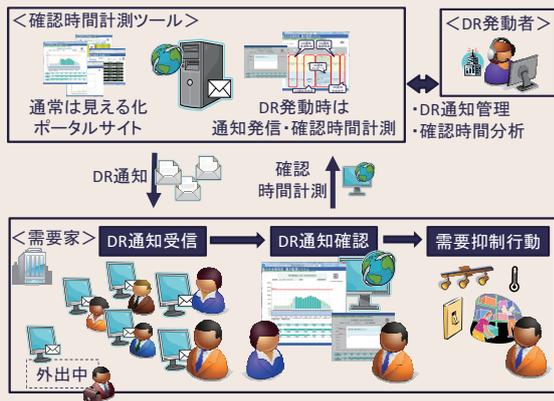
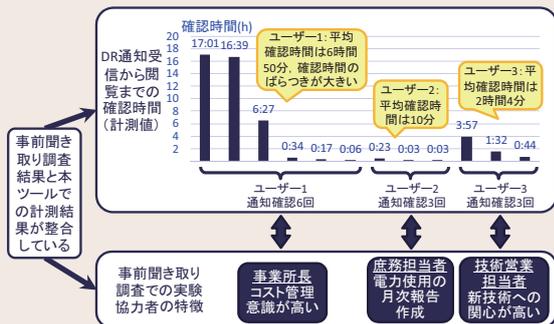


図1 DR協力者抽出のための支援ツールの概要



※DR 通知は全部で 9 回発信された。
 ※これら 3 名以外の 6 名は DR 通知を確認していない。

図2 DR通知の送信から閲覧までの確認時間

表1 アンシラリーサービス型DRの潜在的導入対象における需要調整の可能性

これらの需要用途の平均消費電力は、例えば東北・東京電力管内で試算・集計すると、浄水場、下水処理場、冷凍冷蔵倉庫が各々30万kW前後(年平均)であるのに対し、ビル空調は790万kW(夏季平日・昼間平均)~160万kW(中間季休日・昼間平均)と変化が大きい。

	上水道	下水道	冷凍冷蔵倉庫	ビル空調
需要調整の可能性がある時間帯	季節	通年	通年	通年
	日	平休日	処理水量が少ない日	平休日(平日の方が需給余力が大きい)
	時間帯	24時間	24時間	24時間
需給調整の方向	需要削減、需要造成	需要削減	需要削減、需要造成	需要削減、需要造成
調整手段の例	送水・配水ポンプの運転制御	揚水ポンプの停止、水処理量のピークシフト	冷凍機の運転制御	空調機・熱源機の運転制御

表2 欧州のスマートメーターの費用便益分析の実施状況と一斉設置の状況

ドイツでは、需要家の便益等を考慮しても、一斉設置には経済性が認められないとしている。一方、イギリスでは、設置主体である配電事業者の便益だけでは費用を下回るが、需要家の便益や社会的便益を考慮すれば、トータルでは便益が費用を上回ると評価している。

費用便益分析		一斉設置の状況		該当する国
実施状況	分析結果	方針の決定	設置状況	
○実施済	○経済性あり	○実施を決定	○一斉設置中	オーストリア, デンマーク, フィンランドなど4カ国
			△一斉設置前	フランス, イギリス, オランダ, ノルウェーなど8カ国
	×経済性なし	△限定的設置	△一斉設置前	ドイツ
			×不実施を決定	△一斉設置前
×不実施	○実施を決定	○実施を決定	◎全戸設置済	スウェーデン
			◎全戸設置済	イタリア
			○一斉設置中	スペイン

※スマートメーターの一斉設置自体は求められなかったが、月毎の検針が義務付けられた配電事業者はスマートメーターを設置して対応せざるを得なかった。

表3 欧米のスマートグリッドの費用便益分析に関する主な調査結果

	主な調査結果	得られた示唆
欧米の取組み	<ul style="list-style-type: none"> ●米国EPRIがスマートグリッドの捉え方やその便益、費用及び分析手法を明確化 ●欧州委員会(EC)はEPRIの費用便益分析の手法をガイドラインとして活用 ●ECは、EPRIの分析手法を基本として欧州の実在するSGプロジェクト(InovGrid; ポルトガル)へ同手法を取り入れて検証^注 	<ul style="list-style-type: none"> → 様々なSGプロジェクトにおいて具体的な費用対効果の把握が期待できる → EPRIの手法は米国以外にも広く認識された手法 → EPRI手法は実際のSGプロジェクトへの適用可能性があることを確認
我が国への展開	<ul style="list-style-type: none"> ●スマートグリッドへの取組みに対する基本的な思想は日本も欧米も大きな違いはない ●欧米と日本における電力設備の形成や運用方法、技術の進展度は異なる ●スマートコミュニティやスマートシティ等とスマートグリッドの捉え方や取組みには類似部分あり 	<ul style="list-style-type: none"> → EPRIによる費用便益分析の基本的な考え方やフレームワークは我が国へも適用が期待できる → 日本の設備形成や運用に適合させるべく、EPRIの手法の細部については見直しの余地がある → スマートグリッド以外のスマート事業の経済性分析への応用も期待できる

※ 欧州に適したケーススタディとして複数プロジェクトの中から選定。現時点で同様な詳細検証事例は他では確認されていない。

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・CO₂排出削減技術として国内外で注目を集めており、さらなる高性能化、低GWP(地球温暖化係数)冷媒の利用、様々な熱需要分野への適用拡大が推進されている。

本課題では、産業用の加熱プロセスや家庭用の暖房・給湯などの熱需要分野を対象に、

イニシャルコストが低く、コンパクトで、エネルギー消費量が少ない、低GWP冷媒ヒートポンプの商品開発と性能評価を行う。これにより、ユーザにとって魅力的で、かつ、省エネルギーとCO₂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 ヒートポンプ開発試験設備の試運転調整と本格運用開始

業務用の各種ヒートポンプに加え、産業用の蒸気製造ヒートポンプや熱風製造ヒートポンプの商品機や試作機等の性能評価が可能な試験設備として、「ヒートポンプ開発試験設備」の設計・製作と試運転調整を行い、2013年度下期から本格運用を開始した(図1)。

今後、各種ヒートポンプの性能評価を当所

単独あるいはメーカ等と共同で行い、①ユーザ等が必要とする様々な運転条件下での性能データの取得、②試験方法と評価手法の構築、③蒸気等の製造・利用技術に関する知見の蓄積、④ユーザやメーカ等との関係の強化に繋げていく。

2 蒸気製造ヒートポンプの性能評価

産業用加熱プロセスに適用可能な蒸気製造ヒートポンプであるSGH(スチーム・グロウ・ヒートポンプ)*¹(図2)の蒸気製造能力やエネルギー消費効率等を明らかにするため、上述の「ヒートポンプ開発試験設備」を用い、

熱源水の温度(工場内の排温水の温度に相当)や蒸気の温度等をパラメータとした試験に着手した。今後、各種条件下での試験を実施し、蒸気製造ヒートポンプの性能評価を進める。

3 大型空調システムの性能評価

ヒーティングタワー*²(図3)と水熱源温水製造ヒートポンプとを組み合わせた大型空調システムの着霜特性や除霜性能*³等を明らかにするため、上述の「ヒートポンプ開発試験設備」を用い、環境試験室内の空気の温・湿度

(外気の温・湿度に相当)等をパラメータとした試験に着手した。今後、各種条件下での試験を実施し、大型空調システムの性能評価を進める。

*¹ 工場内の殺菌・濃縮・乾燥・蒸留などの加熱プロセスに適用可能な蒸気製造ヒートポンプ。工場内の50℃前後の排温水(ドレン)から熱を回収し、所定の温度の蒸気(スチーム)を製造する。120℃の蒸気を製造するSGH120と、165℃の蒸気を製造するSGH165(当所試験対象機)がある。

*² 外気からブライン(不凍液)が採熱する熱交換システム。水熱源温水チラー(温水製造ヒートポンプ)は、ヒーティングタワーと組み合わせることにより、外気の熱を使った温水の製造が可能となる。

*³ 外気温が低いとき、熱交換器の伝熱管表面に、空気中の水分が結露して凍ることを「着霜」と呼ぶ。また、霜は、熱交換器内の空気の流れの障害物になるとともに、空気からブラインへ熱が伝わる際の抵抗(熱抵抗)にもなることから、適宜、霜を融かす必要があり、これを「除霜(デフロスト)」と呼ぶ。

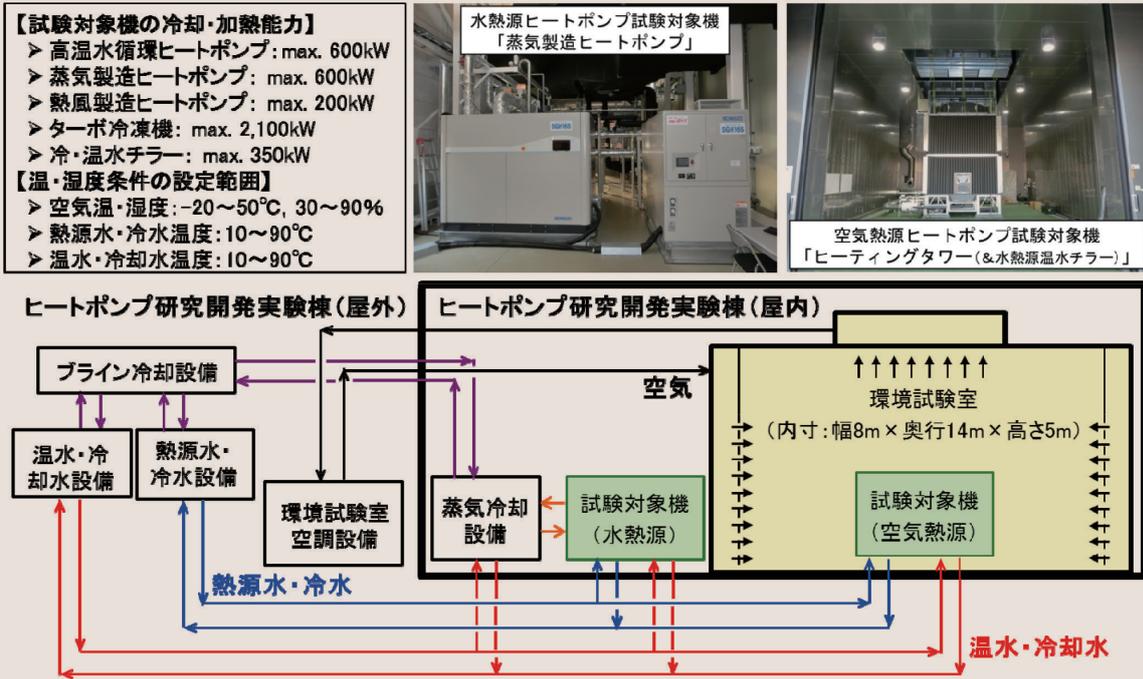


図1 ヒートポンプ開発試験設備の概要

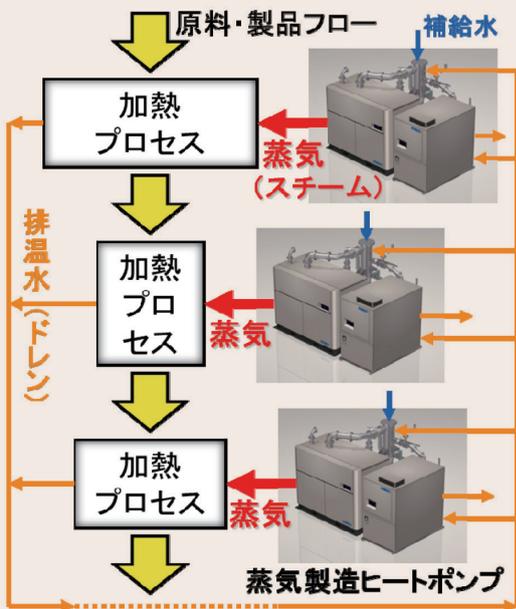


図2 蒸気製造ヒートポンプの概要

- ◆ 蒸気は、工場内の様々な加熱プロセスで使われた後、液化して排水水となる。
- ◆ この排水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、蒸気製造ヒートポンプのエネルギー消費効率は向上する。

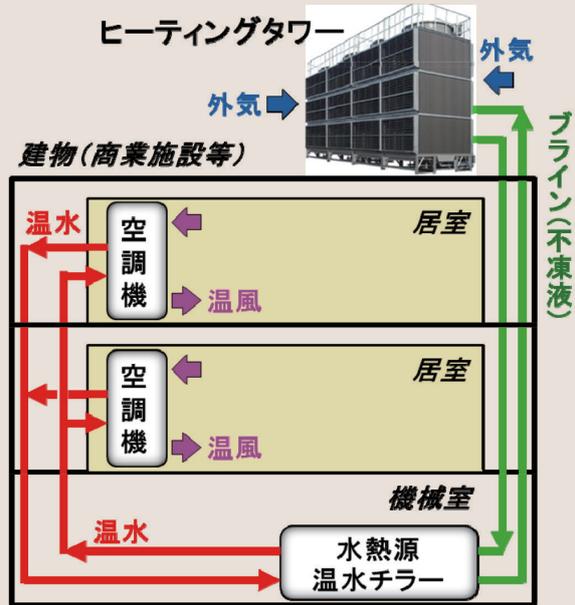


図3 ヒーティングタワーの概要

- ◆ 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。
- ◆ 水熱源温水チラー(温水製造ヒートポンプ)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。

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)の容量低下要因を明らかにし、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みた電池材料評価技術を開発する。

主な成果

1 サイクル試験後電池の容量低下要因の解明

電池容量の低下要因を解明するためには、Liイオン電池内部の反応挙動を捉え、正・負極それぞれの電極での挙動を把握する必要がある。容量が低下した市販Liイオン電池(Mn系正極、グラファイト負極)を解体し、金属リチウムと正・負極とを個別にコイン型電池として組み立てた(図1)。それぞれの対極に導入した金属リチウムを擬似参照極として利用することにより、正・負極それぞれの電位変化を把握できる構成とした。このコイン型電池の個別電位挙動を解析することにより、

電池容量低下の主因は、正極と負極の容量運用域の「ずれ」であること、これに加えて正極自体の一部が利用できなくなる(活物質*の失活)による充放電可能な容量(可逆容量)の低下も電池容量低下に寄与していることを明らかにした(図2) [Q13404]。今後は他の材料系を用いたLiイオン電池における容量低下が同様の要因であるかを確認し、電池容量が低下しにくい材料の提案や、電池容量低下予測手法の開発などにつなげる。

2 混合正極中の容量低下成分を特定する手法の開発

Liイオン電池の正極材料では、高容量化、長寿命化等を目指して二種類の正極活物質を混合して用いる場合がある。この正極混合による寿命延伸の効果を検証するためには、混合正極内の二種類の活物質それぞれの容量を把握することが必要である。そこで、電圧に対する電池容量の変化率を詳しく解析した結果、個々の正極活物質に特徴的な電圧でピークが現れる特性から、混合正極中の

容量をそれぞれの活物質の容量に分割する手法を開発した。これにより、混合正極の容量は、混合正極に含まれる単一組成正極活物質の容量の和で説明でき(図3)、それぞれの容量低下割合を評価すれば、容量が低下する活物質を特定できる可能性が得られた^[1]。今後、様々な材料を用いた場合の正極混合による寿命延伸効果の検証に活用していく。

3 固体電解質適用時の電池内部抵抗増大要因の分析

電力貯蔵システムとして系統に設置される蓄電池の更なる安全性改善が求められている。近年導入が進むLiイオン電池では、揮発性の高い有機溶媒に代わり、高分子固体電解質(SPE)を用いることが安全性改善に有効である。この全固体Liイオン電池(正極: $\text{LiNi}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{O}_2$ 、負極: グラファイト)について、図1と同様の構成を用いて、長期

運転時の電池内部インピーダンスの推移を解析した。その結果、劣化指標の一つである電池内部インピーダンスの増加は、主に正極と電解質の界面抵抗の増大に起因することが明らかとなり(図4)、正極と電解質の界面制御により改善する可能性があることが分かった^[2]。

* 電池の充放電時の反応を担う物質。

[1] T. Kobayashi et al., J. Power Sources, 245, 1-6, 2014

[2] K. Shono et al., J. Power Sources, 247, 1026-1032, 2014

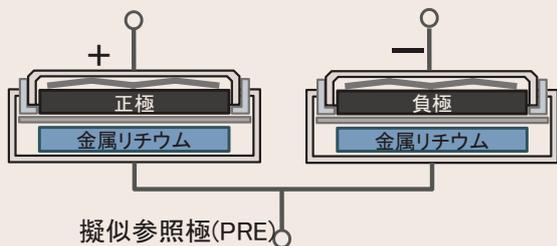


図1 個別電位挙動を解析するために疑似参照極を導入した簡便な電池構成

これまで、正・負極の間に参照電極を導入するためには、特殊な電池構造を必要としたが、金属リチウムを疑似参照極として利用することにより、最も汎用的に用いられるコイン型電池の構造を可能にした。アルゴンガス置換のグローブボックス中で電池を解体して正・負極の再組み立てを行い、解体前の電池と容量を比較した結果、電池容量が変化しないことを確認した。

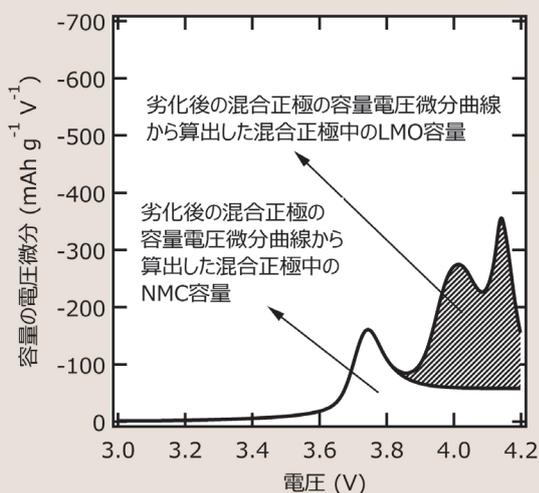


図3 混合正極中の容量分離手法

マンガンを主成分とする正極は、異なる組成の正極活物質材料を混合して用いることが多い。ここでは LiMn_2O_4 [LMO]と $\text{LiNi}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{O}_2$ [NMC]との混合正極中における容量を電圧で微分することにより、個々の正極活物質材料の特性からそれぞれの活物質の容量(図中の各領域の面積に相当)に分割する手法を開発した。

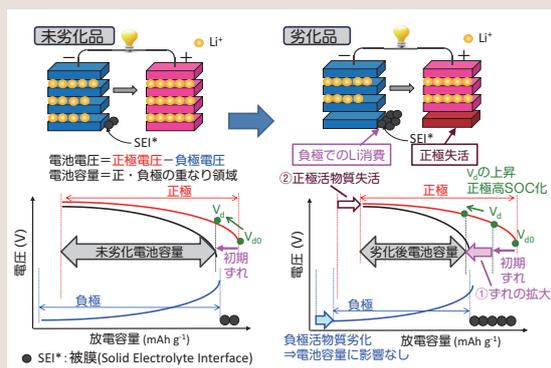


図2 電池解体、再組み立てにより推定される電池容量低下要因

Liイオン電池の容量は、正極と負極の容量運用域の重なった領域の大きさで説明できる。未劣化電池では、初期の充放電において負極での被膜形成によりリチウムが消費される(図中●)ことが知られていた。容量が低下した劣化電池では、このリチウム消費の継続に伴う正極、負極容量運用域の「ずれ」(図中①)の拡大、および正極自体の一部が利用できなくなる(活物質の失活)による充放電可能な容量(可逆容量)の低下(図中②)が電池容量低下の原因となることを、正極放電終了時の電圧 V_d の上昇(正極の高SOC化)などから明らかにした。

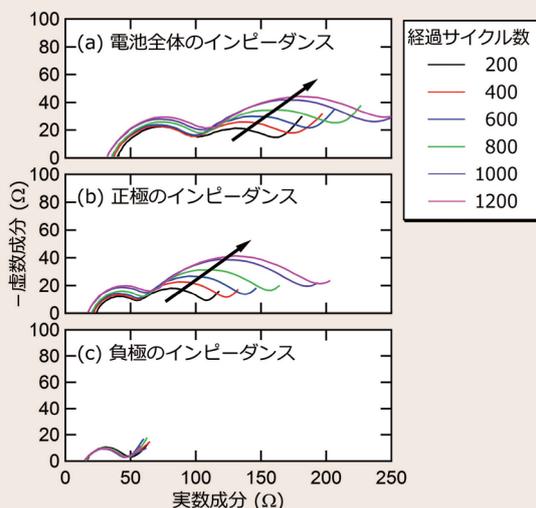


図4 全固体Liイオン電池の長期運転時電池内部インピーダンスの解析

図1と同様の構成を用いて、高分子固体電解質を適用したLiイオン電池のサイクル運用時のインピーダンスをFRA法^{*1}を用いて解析した。その結果、電池全体のインピーダンス(a)増加は、正極と電解質界面(b)インピーダンスの増加が主因(図中の矢印)である一方、負極と電解質界面(c)はほとんど変化しないことを見出した。

*1 FRA (Frequency Response Analyzer: 周波数応答解析)法は、交流インピーダンス測定法の一つで、印加する電圧の周波数を変化させインピーダンスの実数成分(横軸)と虚数成分(縦軸)をプロットして特性を解析した。

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・エネルギー情勢の変化に対し、堅固かつ柔軟な電力供給構造に必要な需要側、供給側双方の技術の多面的評価を行い、電力技術研究の目標設定や優先順位付け、社会における電気事業の役割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

将来の電気事業の姿や事業戦略、さらには成長分野や重視すべき経営資源について探索するべく、電源構成や財務など分析の方法論の確立を目指すとともに、試論を提示し、議論に呈することを通じて、望ましい方向性を明らかにしていく。

■ 電力自由化の先行する欧州で、大手電気事業者に設立されているトレーディング部門に対してインタビュー調査を行い、その目的や役割、組織的な特徴や人材獲得の実態を、発電部門や小売部門等との関係を踏まえ明らかにした(図1)。また、欧州と従来わが国における電力供給システムの違いを整理した上で、この様なトレーディングの仕組みを我が国の電気事業者が導入するメリットや、それが有効に機能する条件について提示した[Y13004]。

■ これまでに国内で実施されたエネルギー問題・環境問題に関する世論調査や意識調査データを収集し、その分析を行った。2000年頃からの約10年間は、地球環境問題への関心の高まりを背景に原子力の必要性や安全性に対する認識が高まったが、大事故(TMI、チェルノブイリ、福島)が発生すると、その傾向が急激に逆転したことが観察された。

経済・社会システム

経済・エネルギー政策の最新動向を踏まえつつ、日本経済やエネルギー・電力需要への影響を分析し、電力需要想定に役立つ情報を提供するとともに、電気事業が直面する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。

■ 北米からシェールガス等を原料とする割安なLNGの輸出が開始される直後の2020年を対象に、北米域内のエネルギー需給動向の変化がLNG輸出に与える影響を、量と価格の両面から分析した。北米産LNG輸入によって我が国のLNG平均輸入単価の低減効果への期待が高まっているが、新たに開発した北米エネルギー需給モデルによるシミュレーションの結果、米国の省エネの進展度合いや天然ガス生産動向によっては、当初見込まれる1割程度の価格低減効果は、半分以下まで縮小する可能性があることが明らかになった[Y13023]。

■ 電中研短期マクロ計量経済モデルを活用し、日本経済と電力需要の短期予測を実施した[Y13001]。最新予測(2013年12月)では、2014年度の実質GDPは消費増税後の需要鈍化から前年度比0.6%増と伸びが鈍化するが、販売電力量は同0.3%増と4年ぶりの増加を見込んだ。さらに、産業連関モデルを用いて、原油価格が10%上昇した場合の産業影響を分析した(図2)。価格上昇の影響は、石油製品(生産者価格5.5%上昇、生産額2.4%減)、非鉄金属精錬・精製(4.0%上昇、1.9%減)などエネルギー多消費産業で大きいことが分かった[Y13027]。

エネルギー技術評価

震災以後の情勢変化とその帰結から派生した、従来のエネルギーシステム分析手法では扱いきれない新たな制度的・技術的課題に対し、適切な洞察を加えて実効ある対策を立案するための新たな方法論を開発・整備し、今後の持続可能なエネルギー安定供給の確保に資する。

課題毎の概要と主な成果

■国際原子力機関 (IAEA) の核セキュリティ関連指針、特にそれを貫く「核セキュリティ文化」に関するIAEAの考え方に関して事業者や国等が講ずべき具体的対応を明らかにするため、IAEAの実施指針及び関連文献の分析、並びに国内外の原子力施設等で発生した不法侵入などの脅威事案の分析を通じて、わが国が執るべき核セキュリティ対策の具体像を明らかにした [Y13002]。

■原子力発電所敷地内破砕帯問題が提起した、科学的知見の規制への反映手続きの不備などの制度的課題を抽出・整理した。また、課題解決のための方策として、専門技術的判断を行う調査審議組織の法定化や、原子力規制委員会におけるリスク評価とリスク管理の機能的分離の確保などを提案した (図3) [Y13024]。

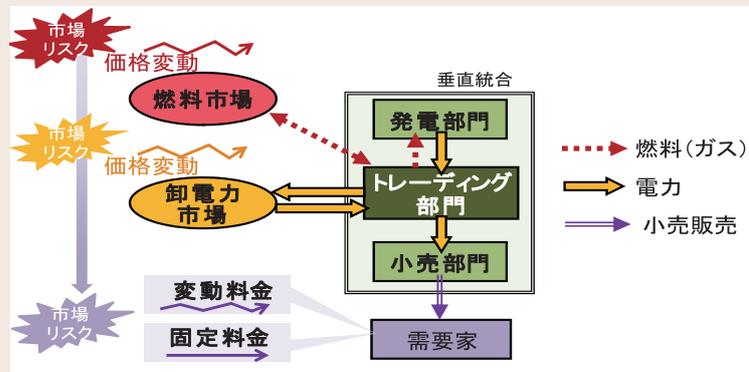


図1 欧州における代表的なトレーディング部門の位置づけと取引フロー

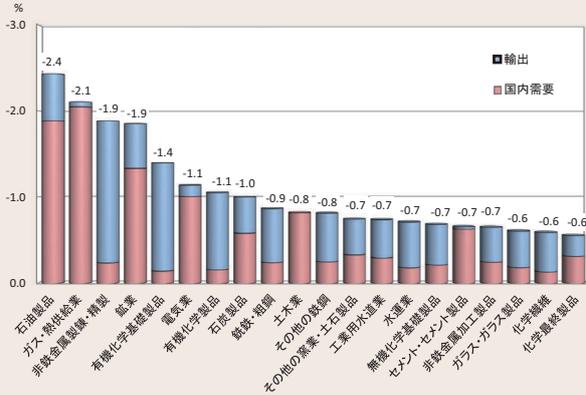


図2 原油やLNG価格が上昇した場合の生産額への影響 (上位20産業)

原油価格10%、LNG価格7%の上昇が生じた場合の生産額への影響について産業連関モデルを用いて試算した。縦軸は燃料価格が上昇しない場合と比較した生産額の減少率、内訳はその寄与度を示している。石油製品 (2.4%減)、ガス・熱供給業 (2.1%減)、非鉄金属精錬・精製 (1.9%減) などエネルギー多消費産業でマイナス影響が大きい。

破砕帯問題が提起した制度的課題	制度的課題の背景要因	課題解決のためのアプローチ	具体的解決試案の提示
不確実性を内包する事象に関連する科学的知見を適切に規制に反映させるための手続の整備が不十分	規制の統治態様において、科学的な不確実性を内包する事象と、規制・規制運用との間の結節点となる手続やフレームワークが未整備	行政裁量の規律・統制を通じた、行政の自己拘束とアカウンタビリティの向上	後続の行政処分を与える影響が大きく、処分自体の当事者への影響も大きい、専門技術的判断を行う専門的調査審議組織を法定化
原子力規制委員会内部における、リスク評価機能とリスク管理機能の未分離			原子力規制委員会におけるリスク評価とリスク管理との機能的分離を確保
行政作用の是正や、作用によってもたらされる不利益に対する法的救済が実際問題として困難			専門的調査審議に係る諸手続やルールを行政規則化し、可視化の上、自己規律の実効性を向上

図3 破砕帯問題が提起した制度的課題と課題解決に向けた方策

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、これら基盤技術を基に、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。

■ 流通設備の高経年化への対応として、個別に立案された各設備の保守・更新の初期計画を系統全体として整合のとれた計画に調整できる手法が望まれている。このため、初期計画からの変更の最小化、コスト・供給障害リスク(全体の大きさや年度ごとのばらつき)の最小化・平準化の5項目を多面的に評価しながら保守・更新計画を調整できる手法を開発した(図1) [R13021]。

■ 直流送電用変換器として導入が進んでいるモジュラーマルチレベル変換器(MMC)*では、小型の変換器(セル)を100セル以上直列接続するため、系統事故時等の動特性を解析する際の計算時間が

膨大となる問題があった。そこで、多数のセルを一組の抵抗と電圧源のみで等価置換して解析を行う手法を開発し、MMC解析の大幅な高速化(検討例では15倍程度)を実現した[R13027]。

■ 当所既開発のDC-DCコンバータによる昇圧方式を用いた直流送電システムにおいて、系統事故時でも運転の継続を可能とする制御方式を開発した。シミュレーションによる事故時の動作検証によりシステムが想定通りに動作することを確認した。本方式は、長距離海底ケーブルを介した大規模な洋上風力発電の直流送電等への適用が考えられる[R13017]。

需要家システム

需要家における省エネルギーの促進を支援するための要素技術やツールを開発する。また、配電線の電力品質維持・向上のため、需要家から発生する高調波の推定・対策法を支援する要素技術を開発する。

■ 現在の建築設備設計基準に基づいた厨房換気設計では、個々の調理機器の熱や湯気発生の特性が反映されないため、調理機器を複数台まとめて覆う排気フード(連続フード)の必要換気量が過大となる可能性がある。このため必要換気量を実験により評価し、連続フードの必要換気量は調理機器単体を覆う排気フードの必要換気量の和と見なせ、設計基準の換気量よりも小さくなることを明らかにした[R13015]。

■ 省エネルギーの促進を支援するために開発した、家庭用エアコンの冷暖房時の消費電力を推定するエアコン熱源特性モデルを、時間変化する

熱負荷等の利用条件に応じて熱処理量・消費電力を推定できるように改良し、その妥当性を実験により検証した[R13016]。

■ 需要家から発生する第5次高調波電流(大きさや位相)は高圧需要家三相負荷とそれ以外の負荷の2つのグループに分類できることをこれまでに明らかにした。この特徴を用いて、配電用変電所1箇所といった計測地点数が限られる場合でも、複数の需要家各々の第5次高調波電流を推定できる手法を考案し、7ノードから成る配電線モデルを用いて適切に推定できることを確認した[R13004][R13028]。

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、およ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、耐雷性能向上の

ために導波管の代わりに光ファイバを活用する方式の実現に向けて、光ファイバ給電による無線受

課題毎の概要と主な成果

信系の特性評価を行い、十分な品質を確保できることを確認した。また、無線送信系と無線受信系を接続した総合的な通信品質特性を評価し、所要の通信品質を確保できることを明らかにした。さらに、光給電による無線送信系の出力効率向上方法を考案し、実験により実用レベルに近い出力の無線信号を得る見通しを得た[R13008]。今後、実用化に向けて出力向上方策の改良等を行う。

■災害時に臨時通信回線を迅速に構築するための

長距離マルチホップ無線LANの設計指針作成に向けて、被災現場での利用を想定した長距離・低地上高の通信特性とマルチホップ特性を定量的に評価した。その結果、伝送路上の障害物の種類(建物、樹木帯、鉄塔など)と遮蔽面積から現場で損失を推定できる見通しを得た。また、区間の距離を変えてマルチホップ通信の特性を測定した結果、全体の通信速度は距離の長い区間の特性によって支配されることを確認した[R13009]。

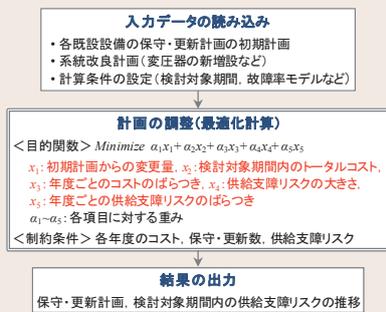
情報数理

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。

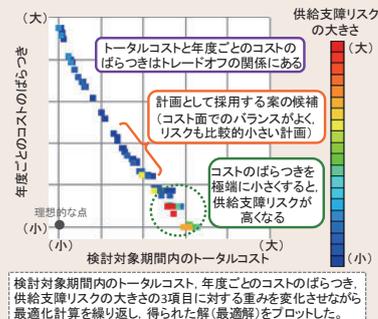
■再生可能エネルギー(再エネ)大量導入に伴う予備力の不足や余剰電力の発生等の対策検討に向けて、再エネ出力の不確実性の下での各種電源や貯蔵設備等の需給運用を模擬する需給運用シミュレータの基本設計を行った。シミュ

レータ開発の第一段階として、確定的な再エネ出力を対象に月間計画から翌日計画へと必要な情報を受け渡ししながら1ヶ月分の需給運用計画を効率良く策定するプロトタイプを開発した(図2)[R13013]。

* 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変換器で、高電圧化・大容量化が期待されている。



(a) 保守・更新計画調整プログラムのフロー



(b) 適用結果の一例

図1 多面的評価に基づく保守・更新計画調整手法

本手法では、5つの評価項目の重み付け和を指標としており、ユーザが考える重要性に応じて各評価項目の重みを設定することで、ユーザの評価方針に即した計画検討が可能である。また、重みを変化させて計算を行えば、評価項目間のトレードオフの関係などを把握しながら、計画を検討することも可能である。

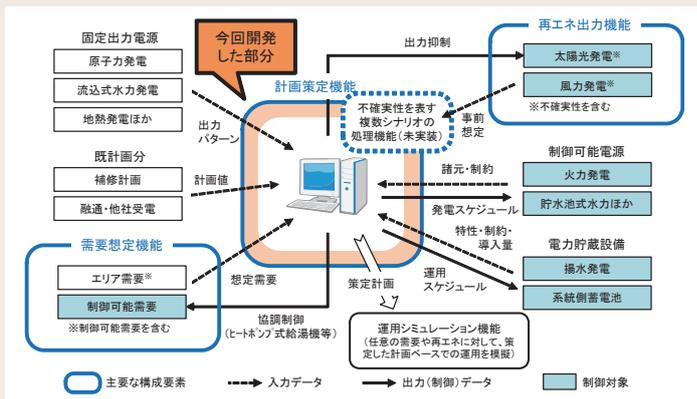


図2 需給運用シミュレータの概要

本シミュレータの中心的な機能である計画策定機能では、計画期間の長さや要求精度に応じて、一部の制約条件の省略や燃料費関数の近似を行うことで、現実的な時間での需給運用計画の策定が可能である。

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

軽水炉の弛まぬ安全性向上のためには、原子炉システム安全に関する信頼性を維持・向上する技術や事故防止および発生した場合の影響緩和技術が重要である。本課題では、これらの技術の基盤を支える熱流動およびリスク情報活用に関する研究開発を行う。

■ 米国原子力規制委員会(NRC)が開発し、各国の規制活動で標準的に使用されている原子炉安全解析コードTRACEの高度化に関する共同研究をNRCと行っている。熱出力と冷却材流量が急速に減少する過渡事象を模擬した試験を実施し、TRACEを用いた解析によって、出力が異なるチャンネル間の流量再配分が精度良く再現できることを確認した。これにより、TRACEコードが過渡現象を十分に高い精度で再現できていることを示した。

■ 過酷事故時に原子炉容器内の水位が低下して露出した燃料棒の冷却特性を明らかにするため、燃料集合体を模擬した試験体を用いて冷却試験を実施した(図1)。大気圧条件下で、流速、熱出力、水温が冷却材の流動特性(気泡割合や気泡速度、気泡径など)や燃料温度変化に及ぼす影響を明らかにし、大気圧下で燃料露出から燃料溶融に至るまでに要する時間を正確に把握することを可能とした*1。

■ 過酷事故時の格納容器減圧設備として有望なフィルタベント装置の設置にあたっては、多様な事故状況における同装置の性能を把握し、様々な条件下での除染性能に関するデータベースを構築しておく必要がある。そのため、実サイズの実験装置を用いて大気圧条件下のエアゾル、ヨウ素(I_2)、有機ヨウ素(CH_3I)に対する除染性能を評価するとともに、実機条件下で試験が可能な大型試験体系(図2)を構築した*1。

■ 原子力発電所のリスク評価の実施に向け、その支配要因の一つである共通原因故障(CCF)の分析結果を原子力安全推進協会(JANSI)のNUCIAシステムにデータベース化した。また、JANSIの機器一般故障率パラメータの国内プラントリスク評価への適用において生じた故障率分布計算の収束性に関する技術上の課題について解決策を提示した。

燃料・炉心

原子力発電の安全性を向上させるため、燃料被覆管の腐食・劣化機構の解明、事故時の核燃料の化学的特性と熱的・機械的挙動の解明、炉心の燃焼特性の解析技術の高度化などを進める。また、溶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。

■ 軽水炉の過酷事故時の未臨界を確実に維持するため、燃料棒より先に溶融せず、燃料棒の溶融後も溶融した核燃料物質と共に存在し、従来の制御棒と同様の運用が可能な「事故耐性の高い制御棒」*2の概念を考案した。それに適した材料の選定に向け、炉心解析と材料試験を行い、適切な中性子吸収材候補と基本構造を得た[L13005]。

■ 福島第一原子力発電所の燃料デブリ取り出し準備に向けて、模擬燃料デブリを製造する「超高温加熱装置」を燃料の溶融に必要な2700℃以上まで加熱できるように改良し、燃料デブリに近い融点を持つジルコニウム-カルシウム混合溶融酸化物(ZrO_2-CaO)を作製した*3。

燃料サイクル

六ヶ所再処理工場の早期竣工に向け、新規規制基準に適合するために必要な試験や、過酷事故時の汚染拡大防止技術として、汚染水処理技術の改良等を行う。また、炉心溶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、これまで開発した乾式再処理に関する技術基盤を維持する。

■再処理工場の過酷事故のひとつである高レベル濃縮廃液の蒸発・乾固時に放出される放射性核種の挙動を解明するため、実廃液を用いた蒸発・乾固試験を実施し、リスクの支配的な核種であるRuの放出率を明らかにした。さらに、再処理工程の不溶解残渣(Mo、Ru、Rh、Pd、Te合金粒子)が事故時に想定される高温に晒されても、Ruはほとんど放出しないことを確認した。

■炉心溶融事故により発生した破損燃料の処理への乾式再処理の適用に向け、溶融塩化物中における模擬デブリ燃料(U、Pu、Zr)O₂の電気化学的特性、還元挙動に関する特性を評価した。さらに、TMI事故で発生したデブリ燃料の還元処理試験を実施し、適用性判断のための基礎データを得た。

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生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。

■平時・緊急時の状況に係わらず必要な安全行動の定着化・遵守を促すため、文献調査ならびに模擬実験を通じて、安全行動に対する作業者心理*4に影響する作業条件(切迫、面倒などの作

業特性・体制)などを明らかにした。これら条件の影響を考慮した安全ルールを導入することで、作業者の自律的な安全行動の促進が期待できる[L13001][L13004]。

- *1 経済産業省 平成25年度発電用原子炉等安全高度化技術基盤整備事業で実施。
- *2 「事故耐性の高い制御棒」は日米政府間の民生用原子力協力枠組み(CNWG)の協力項目である。
- *3 日本原子力研究開発機構からの受託研究として実施。
- *4 「危険の主観評価」、「安全行動によるポジティブな結果の想定(リスク回避、満足感)」、「安全行動によるネガティブな結果の想定(効率低下、負担増大)」により、安全行動選択の是非が決まるプロセス。(例:リスク回避可能で負担感の低い安全行動は、リスクがわかりにくい場合でも実行される。)

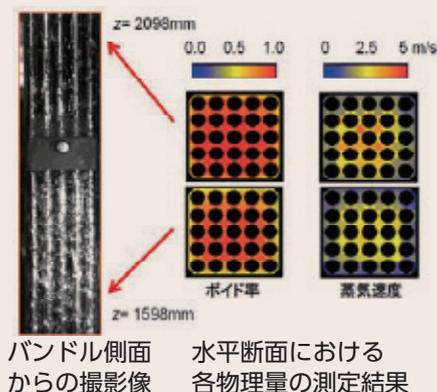


図1 5×5バンドルの模擬燃料集合体中の沸騰二相流の可視化結果
(入口流速 0.3m/s、入口サブクール度 1K、バンドル熱出力 37.5kW)

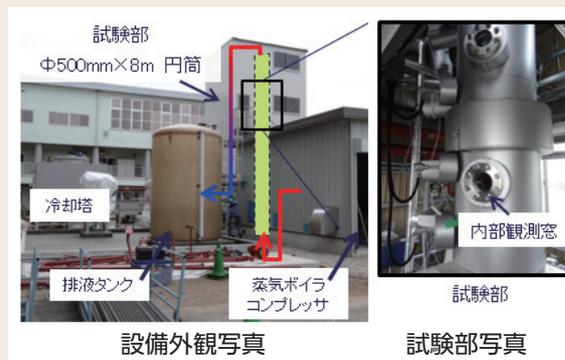


図2 実条件フィルタベント試験設備
(内径500 mm高さ8 m円筒、最大圧力1.6 MPa)

基盤技術課題

地球工学研究所

概要

地球工学研究所は、電力施設に関わる土木技術や自然災害対策、原子燃料サイクルバックエンド事業支援に必要な地圏科学、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。

■断層の上部に地層が堆積していない地点でも断層活動性を評価可能にするため、1943年鳥取地震の震源域において、活断層と既に活動を停止した断層の周辺部で微小な亀裂の性状や分布密度を調査した。その結果、活断層に近づくに従い、鉱物に充填されていない微小な開口亀裂の分布密度が高くなる傾向が認められた。この傾向に着目し、断層周辺での開口亀裂の分布密度の増加の有無に基づく新たな断層活動性評価手法を開発した。

■CO₂地中貯留における地下からのCO₂ガスの上方移行特性を明らかにするため、断層破砕帯沿いの天然ガスの湧出箇所周辺部を対象とした調査・試験を行い、ガス湧出現象の概念とこれに基づく水理地質構造モデル・二相流モデルを構築した。このモデルを用いて、天然ガスの上方への移行を数値解析した結果、地盤の毛管圧、飽和率、断層破砕帯の存在を考慮することで天然ガスの上昇挙動を再現することができた。

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。

■2004年留萌地震(M6.1)により震源近傍で大加速度を記録したK-NET港町地点を対象とした現地での物理探査から、原子力発電所の基準地震動を設定する解放基盤相当の岩盤の深さが従来の調査結果よりも深いことを明らかにした。さらに、新たな地盤モデルと地盤試料の室内試験結果に基づき基盤地震動の推計を行った(図1) [N13007]。この成果は、原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査において「震源を特定せず策定する地震動」の策定に活用された。

■ダム・貯水池周辺や送電鉄塔基礎周辺の斜面挙動メカニズムを解明するため、従来よりも高い精度で変位を計測できる光ファイバセンサを用いた孔内傾斜計を開発した。現地適用の結果から、従来は困難であった年間数mm程度の緩慢な動きを検知できることを確認した。また、本装置で抽出された斜面地中の変位集中箇所、初生すべりの前段階を示す地質現象が生じていることをボーリングの詳細な解析により明らかにした [N13006]。

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。

■重力式コンクリートダム、並びに重要付帯設備であるダムゲートを対象として、有限要素解析を用いた耐震性能照査の枠組み、照査方法の特徴、解析モデル化などの技術事項・事例等を整備し、それらを取りまとめた「耐震解析・照査マニュアル」を策定した。このマニュアルは、

国土交通省「大規模地震に対するダム耐震性能照査指針(案)・同解説」(2005年3月)などと同等の広く照査法全般を対象にした実用的な解説書として、大規模地震に対するダムの健全性評価に活用されることが期待される [N21] [N22]。

■コンクリート構造物の塩害劣化予測に必要な物性値の一つである、コンクリート中の塩化物イオン実効拡散係数を電気抵抗率から推定する評価式を提案した。電気抵抗率は比較的容易

に現地計測が可能であるため、火力発電所などの臨海地域に位置するコンクリート構造物の点検・調査の効率的な実施に活用されることが期待できる[N13002]。

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。

■配電設備に対する風圧荷重の合理的な設定を行うため、風が通りやすいように配置した2階建て家屋の街区(建蔽率25%)を対象とした風洞実験を行い、風圧荷重が基準設計値の1/2以下(丙種風圧荷重)となる場所を特定した。本成果は、丙種風圧荷重の適用可能範囲への科学的な根拠を提示するものであり、電気事業における配電設備の風圧算定に活用される[V13016]。

■地上設置型太陽光パネル群の風力係数を数値シミュレーションによって評価し、単独で設置されるパネルよりも風力係数が1/2以下となる場所を明かにした。これにより、パネル架台の耐風設計を合理的に行うことが可能となり、建設費の低減が可能となった[N13012]。

地下エネルギー利用技術

CO₂地中貯留、地熱発電、大規模電力貯蔵等、地下空間の利用や地下エネルギー開発に役立つ地下調査・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。欧州では景気の低迷などにより、CCSの普及は政策的な見通しを下回っているが、複数のCO₂排出企業が連携する取り組み

も進められている。一方、北米では国内エネルギー資源開発によるエネルギーセキュリティ確保の方針のもと、国産の石油開発を進めるため、回収したCO₂をEOR(石油天然ガスの増進回収)に活用している状況を把握した。

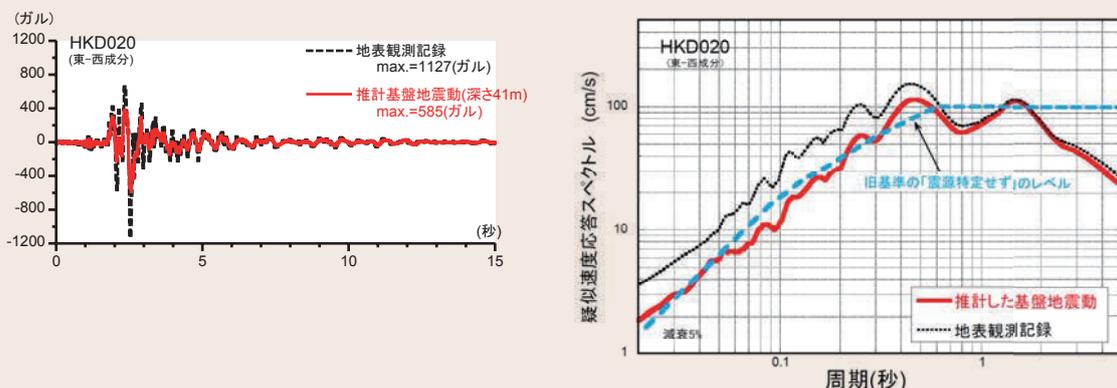


図1 2004年北海道留萌支庁南部の地震の観測記録と推計基盤地震動の比較

K-NET港町地点では、本震時に最大加速度1127ガルを記録した。現地調査の結果から、原子力発電所で基準地震動を設定する解放基盤に相当する岩盤の深さが従来よりも深いGL-41mであることを明らかにした。表層6mの地盤の非線形性を考慮した等価線形解析により、基盤地震動は585ガルと推計された(左)。疑似速度応答スペクトルの比較から、解放基盤相当で推計した地震動が、原子力発電所の旧耐震設計基準の「震源を特定せず策定する地震動」とほぼ同等のレベルであることがわかった(右)。

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・化学・バイオテクノロジー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

火力・地熱・原子力発電所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。

■ 発電所からの排ガス拡散に対する建物と大気安定度*の相互影響を解明するため、安定時の温度成層が再現可能な風洞実験手法を開発した。本手法を用いて建屋近傍から排出された排ガスを対象に実験を行い、大気安定度が地表面の排ガス濃度に及ぼす影響は小さいことを明らかにした。

■ 放射性物質の海洋拡散評価に資するため、北太平洋中層における低温・低塩分水の沈み込みが再現可能なモデルを構築し、放射性物質の鉛直方向の移行評価や、表層域における拡散計算を高精度に実施することを可能とした[V13009]。

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。

■ 水カ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、地上型3Dレーザースキャナー、写真測量および無人機を組み合わせることで、渓流域の複雑な河道地形などを視覚化する技術の開発に見通しを得た。

■ 臨海発電所において、水中放水された温排水の拡散範囲の迅速な推定が、パソコン上で容易に実施できるよう、簡易モデルの計算条件の入力や予測結果の表示などのインターフェースを整備するとともに操作マニュアルを作成し事業者への導入整備を図った。

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。

■ 臨海発電所に来襲するクラゲパッチを、超音波により自動的に定量評価できるクラゲ監視装置を開発した。本装置は、水深約50mまでのクラゲパッチを検出可能であり、発電所の前面海域に設置することで、ロータリースクリーン等のクラゲ対策設備の効率的運用に寄与することができる。

■ 家電製品等から発生する中間周波磁界に関して、これまで知見の少なかった20kHz磁界についてラットを用いた動物実験を行った。血液および組織学的検査を含めて影響は認められず、既に実施した60kHz磁界の結果と合わせ、中間周波磁界は健康一般に対して影響を及ぼさないことが分かった[V13010]。

応用生物学

微量PCB汚染変圧器の経済的処理、未利用炭素資源の高度利用、および農業分野需要家向け省エネルギー活用のための関連技術を開発する。

■ 開発中の加熱強制循環洗浄と課電自然循環洗浄が環境省からPCB汚染変圧器の無害化処理技術として評価された。また、加熱強制循環洗

浄の活用指針(ガイドライン)が環境省から公表され、本指針に基づいた汚染変圧器の処理施設実現に向けた見通しが得られた。

■ 発電用ディーゼルエンジンへのジャトロファ油の利用に関して、ジャトロファ油と軽油の混合比を1:4程度以下とすることで、燃費や排ガス性状などに関して軽油と同等のエンジンへの適性を有することを明らかにした[V13011]。

■ 国内における下水や畜産汚泥等の高含水性廃棄系バイオマスの発生量を基に、メタン発酵により生産されるバイオガスによる発電ポテンシャルを評価した。その結果、事業可能性がある発電量1,000kWを超える対象は、下水汚泥で約60の処理場、家畜糞尿では約130の市町村と推定された[V13012]。

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、発電所で発生する石炭灰や脱硫石膏の有効利用技術、および発電所排水中の微量物質の低コストな管理・処理技術を開発する。

■ 脱硫石膏の品質管理の効率化を図るため、フッ素溶出量の迅速評価が可能な試験法を開発した。本法では、溶出工程に湿式ボールミルを用い、操作条件を最適化することで、これまで長時間を要していた溶出工程を大幅に短縮することが可能となった[V13014][V13015]。

■ 石炭灰の有効利用促進に資するため、灰に含まれるSe、As、Crの濃度を、蛍光X線分析装置を用い、1時間で同時定量する方法を開発した。本法は、従来の湿式分析法に比べ、煩雑な前処理と高度の分析技術を必要とせず、測定時間を1/15に短縮できることから、現場における石炭灰の品質管理に有効である(図1)[V13023]。

* 大気鉛直方向の混合しやすさの指標。一般に、不安定時に排ガスはよく拡散し、安定時には拡散しにくい。

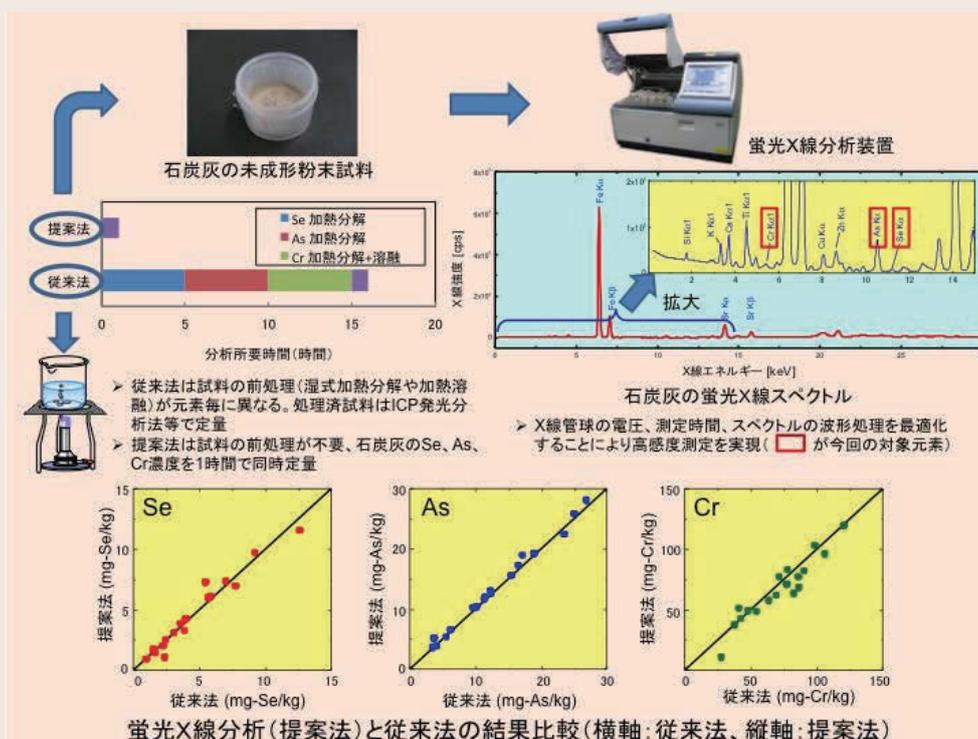


図1 石炭灰中のSe、As、Crの簡易迅速定量

18種の実機灰を用い開発した手法の精度を検証したところ、従来の湿式分析法と高い正の相関が得られた。本法は、スペクトルの波形処理により妨害成分の影響を最小化し、測定時間を最適化することで、迅速・簡便な分析を実現した。現場における石炭灰の品質管理・選別技術として活用できる。

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、絶縁、高電圧、耐雷、電磁環境、大電流技術等のコア技術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解明、がいし類の外部絶縁技術の高度化、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。

■ ガス絶縁機器等に用いられるオリングの劣化は、機器の寿命等に影響を与える。このため、オリングの劣化評価手法の構築を目的に、粘弾性モデルに基づいて、圧縮永久ひずみ*1の経年変化を推定可能な手法を提案した。この手法により、オリングの物性値や温度などの使用環境条件から圧縮永久ひずみ率を推定することが可能となった(図1)*2[H13013]。

■ インパルス高電圧計測トレーサビリティの確保のため、我が国の標準システムとしての運用を検討している国家標準級開閉インパルス高電圧標準計測システムの不確かさを評価し、主要各国の国家標準計測システムと比較して同等以上の性能を有していることを明らかにした*3 [H13003]。

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。

■ 77~154kV送電線の雷による多相事故の事故率予測精度向上を目的として、並列に設置した2つのアークホーン*4における同時放電(フラッシュオーバー)現象を放電特性(50%フラッシュ

オーバー電圧、放電進展様相)に基づいて実験的に明らかにした。この結果、フラッシュオーバーが同時に発生する割合は印加電圧波高値に比例することを見出した[H13008]。

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。

■ 受配電盤などでは、機器内部のアーク故障による圧力上昇を制御するため、放圧口や内部の区画に金属メッシュなどを設ける場合がある。内部の圧力上昇・伝搬特性を数値解析により評価するため、メッシュを圧力損失媒体とエネルギー蓄積媒体とする簡易モデルを開発した。このモデルを用い、メッシュで区画された受配電盤内の圧力上昇を再現でき、モデルの妥当性を検証した(図2) [H13011]。

■ 火力発電用ガスタービンの遮熱コーティングトップコート膜厚(約300 μm)のテラヘルツ波を用いた測定に関して、トップコートの表面粗さの影響を考慮することによって測定精度を向上した。本手法を実機部品(ガスタービン翼)へ適用した結果、トップコート膜厚の測定値は翼断面の顕微鏡観察結果と6%以内で一致し、本手法の妥当性を検証した^[1]。

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。

課題毎の
概要と
主な成果

■ 電力系統瞬時値解析プログラムXTAPの計算速度の向上を図るため、汎用PC(マルチコアCPU)に適用可能な内部状態更新過程を並列に処理する手法を開発した。また、XTAPを用いた比較的規模の大きいシステムの瞬時値解析においては、遠方系統を単相実効値模擬により解析

することで計算速度の高速化を図る手法を開発した[H13005][H13010]。

■ 配電系統において、電圧管理のための動的電圧解析を簡易に行うため、配電変電所および自動電圧調整器(SVR)のXTAP用解析モデルを開発した[H13007]。

大電流技術

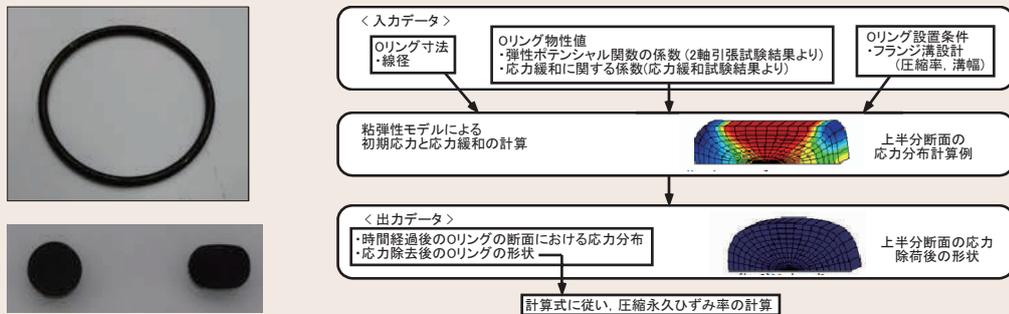
高機能化する電力機器の故障時の性能を的確に評価するための短絡試験技術を高度化するとともに、交流大電流計測技術を確立する。

■ 架空送電線で使用される鋼心アルミより線(ACSR)の短絡故障時の交流アークによる素線溶断特性の計算手法を開発した。開発し

た手法で計算した結果は、これまでの試験結果とよく一致し計算手法の妥当性を確認した[H13001]。

- *1 圧縮変形させた力を除去した後も残存する変形を表す指標。
- *2 筑波大学との共同研究で実施。
- *3 国家標準級システムは千葉工業大学所有、日本電機工業会の日本高電圧インパルス試験所委員会(JHILL)のもとで運用されている。
- *4 がいし連のフラッシュオーバに伴うアーク放電からがいしを保護するため、がいし連の両端に取り付ける金具。

[1] 福地 他、電気学会論文誌A Vol. 133 No. 7 pp.395-401, 2013



(a) 新品(左)と経年劣化したOリング(右)

(b) 計算フロー

図1 経年Oリングの写真と圧縮永久ひずみ率推定のための計算フロー

Oリングの物性値、線径、設置条件をもとに、粘弾性モデルにより初期応力とその応力緩和を計算することで、任意時間経過後のOリングの断面における応力分布や応力除荷後の断面形状に基づく圧縮永久ひずみ率を推定可能である。

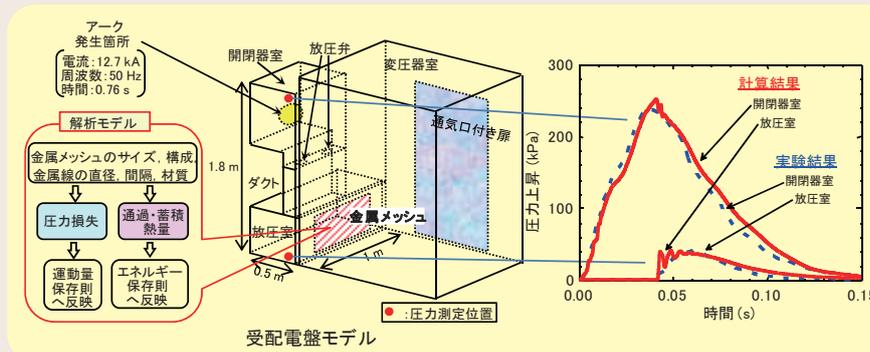


図2 受配電盤内でアークが発生した場合の実験結果*と計算結果との比較

開閉器室内でアーク故障により発生した圧力上昇が、放圧弁の動作や金属メッシュを有する放圧室によって抑制されている状況を良く再現できた。

* A. B. Wahle: Untersuchungen zum Einsatz von Energieabsorbieren in Ringkabelschaltanlagen im Störlichtbogenfall,アーヘン工科大学学位論文(2007)

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、電気を使う側での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。

- ボイラの化学洗浄時期適正化のため、実機ボイラのメタル温度解析、抜管材のクリープ試験を実施し、発電所の運用実態に即したボイラ管の損傷状態予測を行うことにより、化学洗浄時期を延伸できる可能性を見出した。
- ガスタービン高温部品に施工された遮熱コーティングに対し、当所が開発した、はく離の非破壊検出手法における、計測条件の適正化を進めた。その結果、コーティング厚さに応じた適切な計測条件を見出すことができ、実機のはく離を正確に検出できる見通しが得られた[M13007]。
- 2013年度より商用運転を開始した常磐共同火力勿来発電所10号機(IGCC実証機)に対し、運転データの解析・評価や使用候補炭のガス化特性事前評価などを行い、プラント性能の経時変化や炭種適合性に関する知見を蓄積するとともに、円滑な商用運転に貢献した。
- 低炭素化の将来オプションとして提案している「CO₂回収型高効率IGCCシステム」の酸素-CO₂吹きガス化技術に関し、3トン/日規模の石炭ガス化研究炉試験と反応解析から、ガス化剤中CO₂濃度の増加が炭素転換率の向上に寄与していることを明らかにした[M13005]。

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。

- 石炭やバイオマスの自然発火事例、自然発火に対する運用方法や監視技術について調査した。自然発火事例が多い屋内式(特にサイロ式)の燃料貯蔵場における監視技術として臭気センサーを用いた監視が有効であることを明らかにした。
- 石炭ガス化ガス中の微量成分測定法に関して、ホウ素を対象に、模擬石炭ガスを用いて燃焼排ガス中ホウ素濃度測定法の適用性を検証した。その結果、模擬ガスで設定したホウ素濃度と測定値が一致し、適用可能であることが明らかになった。
- フライアッシュ(石炭灰)の有効活用を想定し、貝殻とフライアッシュを混ぜた固化物を低コストで量産可能とする製造方法の検討を行った。その結果、振動締め固め手法を用いることによって、セメントの添加なしに土工材として利用可能な強度を有する固化物が得られることがわかった。

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、水分吸着剤塗布熱交換器の実験結果を基にシステム実用化の可能性を評価した。その結果、寒冷地条件(気温-7℃、相対湿度80%)において、現行システムのデフロスト間隔と同程度の無着霜運転時間(40分以上)とシステム

COP3.0を達成できる見通しを得た。

- 当所で開発中の需要家エネルギー消費解析ツールに関し、ヒートポンプや蓄熱システムなどに加えて、太陽光発電や蓄電システムの評価

ができるように改良した。また、実工場において、電力および機器の使用実態を解析してエネルギー消費診断を行い、改善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。

- 技術開発が進んでいるSOFCについて、既存ガスタービンコンバインドシステム(GTCC)へのトッピング効果を検討した。1250℃級GTCCへのトッピングにより、発電効率は53%LHVから69%に向上し、1500℃級では59%から71%に向上することを明らかにした(図1) [M13003]。
- 太陽光、風力の出力変動(数秒~数十分)による周波数変動の抑制に向けて、SOFCの適用性を実験的に検討した。SOFCは1秒以内の出力変

動に十分対応できることを明らかにし、併せてSOFC負荷応答モデルを提案した [M13002]。

- 石炭灰や汚泥に含まれる微量な水銀の化学形態の同定に、SPring-8の放射光を活用するXAFS分析技術を適用した。XAFS吸収スペクトルの微分パラメータを適切に選定することで、石炭灰に含まれる1ppm以下の水銀に対して化学形態を推定できる見込みを得た [M13004]。

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。

- 微粉炭燃焼火炎内において、微粉炭からの揮発分の放出、すすの生成、輝炎の形成等の詳細な火炎構造をレーザ計測技術を用いて解明した。また、これらの現象を予測するため、揮発タールの分解・重合反応に関する膨大な素反応過程について、実用的な計算時間での解析を可能とする手法を開発した。

- 石炭火力発電所の排煙脱硝装置における触媒劣化要因の一つが灰粒子による触媒表面の被覆であることを化学分析によって確認するとともに、この現象を予測するための数値解析による触媒表面への灰粒子付着特性評価法を構築した。

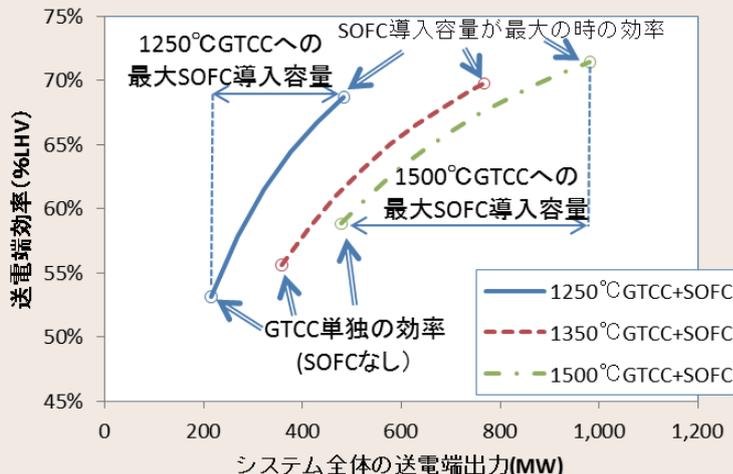


図1 既存GTCCにSOFCをトッピングした場合の出力と効率の関係

トッピングする最大SOFC導入容量は、GTCCからSOFCに供給できる最大空気量で決まり、1250℃級GTCCで250MW、1500℃級GTCCで460MWである。トッピングするSOFC導入容量に対する発電効率の上昇割合は、1250℃級GTCCで16%/250MW、1500℃級GTCCで12%/460MWであり、1250℃級GTCCでは少ないSOFC導入容量で発電効率が大きく向上する。

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から、自然エネルギー利用技術、省エネのための新材料開発、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、機器の設備診断技術、寿命評価のための手法の開発・改良を進め、プラントの信頼性の向上や安定運用に貢献する。

- 実機で長期間供用した9Cr鋼のエルボ溶接部について、クリープ破壊試験および組織観察、硬さ試験を実施し、背側よりも腹側で余寿命が短いこと(図1)、クリープ損傷の実態であるボイドの発生領域と材料硬さとの間に相関が見られることを明らかにした^[1]。
- A-USCプラントの候補材であるNi基合金Alloy617の破断延性のひずみ速度依存性(図

2)や疲労寿命特性など、クリープ疲労評価を行う上で重要な基礎的知見を得た[Q13001]。

- 微粉炭火力ボイラの硫化腐食について、管表面付着灰を用いた腐食位置特定手法の実機適用を進めるとともに、炉内で周期的に生じる雰囲気変動が腐食挙動に及ぼす影響の解析から、複数の火力プラントで適用されている当所開発の腐食速度予測手法の高精度化に必要なデータを取得した。

エネルギー変換・貯蔵材料

太陽光発電の大量導入に向けた屋外発電特性評価技術の開発、電気化学応用技術を用いた再生可能エネルギーの有効利用に関する材料/評価技術の開発を進める。

- 太陽光発電出力把握の広域運用で重要になる日射観測の簡素化のために、1年以上の日射・気象観測データの分析から、日射変動を表すのに適した天気分類を提案した。この天気分類を用いることで、アメダスの情報をもとに日射量推定が可能となる見通しを得た[Q13005]。

- 水素エネルギーキャリアの候補であるアンモニアについて、熔融塩を反応場とした電解合成法の基礎検討を進めている。アンモニアの高収率化を阻害する一因が、水素ガス電極上での副反応によってハイドライドイオンが生じることに伴いアンモニアが電解浴中に溶解するためであることをつきとめ、その反応機構を明らかにした[Q13004]。

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の創出を目的とし、基礎物性制御と結晶成長技術を駆使して次世代の電子機能材料を開発する。

- 鉄カルコゲナイド超伝導体薄膜の成長技術を高め、基板の選定により意図的な格子歪を加えることにより、FeSe薄膜において約1.5倍(8K→12K弱)、FeSe_{0.5}Te_{0.5}薄膜において約1.3倍(14.2K→19K弱)の超伝導転移温度向上を達成した^[2]。この物質は高磁場中においても高い臨界電流密度が確認される等、将来の実用化線材での利用が期待される。

- ディスプレー用に必要なRGB3色の発光が可能な電気化学発光素子を開発した(図3)。この素子には電流反転によるリフレッシュ効果(劣化を回復させる効果)が認められ、長期安定性の確保と交流駆動発光の要素技術として特許化した^[3~5]。

高性能SiCパワー半導体

再生可能エネルギー大量導入や連系強化・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。

課題毎の
概要と
主な成果

■複数の企業との共同研究開発により高品位・高生産SiC単結晶膜成長技術の開発を進め、高速成膜(成膜速度50 μ m/h)と高均一化を同時に実現し、低損失SiCパワー半導体の量産を可能とする、直径6インチ、高速、低欠陥密度のSiC単結晶膜の成膜技術を確立した^[6]。

■耐電圧13kV級の超高耐圧SiCトランジスタに適用可能な超厚膜・多層SiC単結晶ウェハを作製可能とし、特性検証用素子においてSiCの限界に近い良好な通電特性を実証した。

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み合わせによる新たな成果の創出を目指して、物性予測手法や局所応力評価手法の開発に取り組む。

■Fe-Cr-C系を表現できる原子間ポテンシャルモデルを開発し、それを用いた古典分子動力学法計算により、フェライト系耐熱鋼における

Cr₂₃C₆析出物界面付近の析出物粗大化挙動を明らかにした。

[1] S. Nagai et al., Proc. 7th Int. Conf. on Advances in Materials Technology for Fossil Power Plants, 609-701, 2013

[2] F. Nabeshima et al., Appl. Phys. Lett., 103, 172602, 2013

[3] 特願2013-145690「イオン性素子の製造方法」

[4] 特願2013-145691「イオン性素子および電子機器」

[5] 特願2013-145692「イオン性素子モジュールおよび電子機器、ならびにイオン性素子の駆動方法」

[6] H. Fujibayashi et al., Appl. Phys. Express, 7, 015502, 2014



図1 9Cr鋼廃却材のエルボ溶接部のクリープ試験結果の一例

長期使用エルボ溶接部を対象としたクリープ試験において、腹側から採取した試料の方が背側から採取した試料よりも短い破断時間を示した。

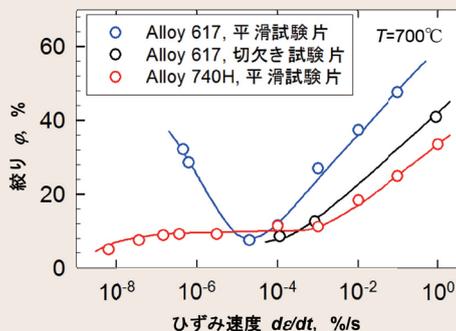


図2 引張試験とクリープ試験におけるひずみ速度と破断絞り(破断延性)の関係(700°C)

いずれにおいてもひずみ速度によって破断延性は大きく変化するが、Alloy617の平滑試験片では中間的なひずみ速度で極小値を持つ特異な挙動を示した。

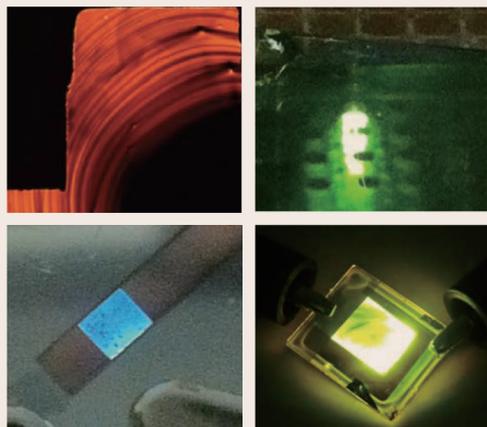


図3 電気化学発光セル(LEC)による多色発光(赤色、緑色、青色、黄色の例)

省エネの新型照明や新型ディスプレイ開発が期待され、更なる高輝度化や耐久性に関して研究開発を進めていく。

3. 主要な新規研究設備

津波・氾濫流水路

設置目的

原子力規制委員会のもとで、新しい規制基準への原子力発電所の適合性に係る審査が進められている。加えて、再稼働後に提出が予定されている安全性向上評価書では、発生頻度が低い巨大な津波に対する敷地内浸水時における施設・設備の健全性・頑強性の評価を含むPRA(確率論的リスク評価)の実施が求められている。これらへ対応するにあ

り、敷地内浸水時における水密扉等の敷地内施設・設備の耐津波性能の検証・確認方法の確立・体系化が早急な課題となっている。そこで、陸上氾濫した津波現象を再現可能な大型水理実験設備を導入することにより、津波に対する電力施設・設備の健全性・頑強性に関する実証試験に活用する。

概要・特徴

津波・氾濫流水路は、陸上氾濫した巨大津波の特徴である段波状の先端を持つ長時間継続する速い流れを、世界で初めて実現象に近い規模で再現できる大型水理実験設備である。例えば、東日本大震災において気仙沼市で観測された浸水深が約5mの陸上氾濫した津波を1/3の大きさで再現できる。本設備

によって、サイトによって津波流れの条件が異なる場合においても、津波に対する施設・設備の頑強性を評価する実証試験が実施可能となる。また、津波波圧や津波漂流物の衝突力の推定、さらに、津波に伴う応力作用時に対する施設・機器の応答・破壊変形挙動を評価する試験などに活用可能である。

主な仕様

- 最大流速:7m/s
- 最大流量:10t/s
- ヘッドタンク
 - 容量:650t
 - 最大水深:6.5m
- 試験水路
 - 長さ:20m
 - 幅:4m
 - 高さ:2.5m
 - 洗掘ピット深さ:1m

【設置場所・時期・所管研究所】

我孫子地区・2014年2月・地球工学研究所



水路への流水の様子



設備全体の様子

津波・氾濫流水路

実規模送電線雪害試験設備

設置目的

広域供給支障につながる大規模な雪害を低減するためには、強風・湿型の着雪および着雪下における多導体ギャロッピングへの対策が重要となる。各種対策品の効果検証や着雪・ギャロッピング特性の解明のため、冬季に

発達した低気圧が道東南岸を通過する際に北～北東の強風を伴う着雪の発生頻度が高い釧路市大楽毛地区に、実規模送電線雪害試験設備を設置した。

概要・特徴

本設備は、4導体および2導体架線用の主鉄塔2基および単導体架線用の中間鉄塔1基からなる。鉄塔および観測ポールには、各種気象測器、WEBカメラなどが取付けられてお

り、遠隔から現地の状況を監視することができる。単導体送電線のうち2相は直流通電が可能であり電線発熱の影響を評価できる。

主な仕様

【架線可能な送電線】

上段(径間長400m、高さ40m):

4導体送電線×2相、ACSR810mm²電線まで

中段(径間長400m、高さ31m):

2導体送電線×2相、ACSR1160mm²電線まで

下段(径間長300m、高さ25m):

単導体送電線×5相※、ACSR810mm²電線まで

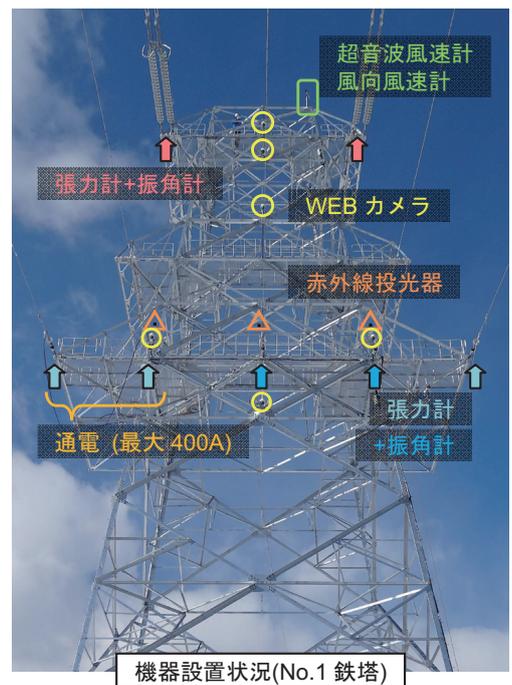
※支持点高低差9m、単導体送電線のうち2相は最大400Aまでの直流通電可

【取得データ】

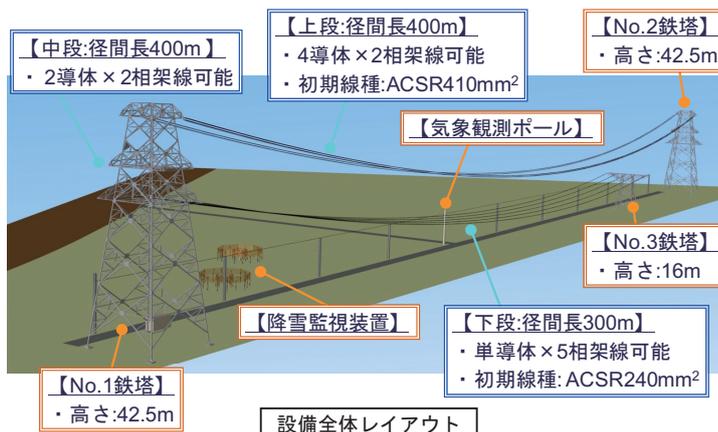
風向・風速(プロペラ式、超音波式)、気温・湿度、気圧、降雪量(転倒マス式、二重防風柵付き重量式)、放射収支(長短、上下)、電線張力、電線振角(水平・鉛直)、WEBカメラ映像、スペーサカメラ映像、電線変位(ターゲット)、電線表面温度(通電相)、降雪粒子形状

【設置場所・時期・所管研究所】

釧路市大楽毛地区・2014年3月・地球工学研究所



機器設置状況(No.1 鉄塔)



実規模送電線雪害試験設備



機器設置状況(気象観測ポール)

火力次世代燃料高度燃焼試験設備

設置目的

わが国の微粉炭火力発電所では、石炭の安定調達を図る上で、低品位炭などの燃料種の拡大が重要であり、そのためには既設ボイラで多様な燃料の利用を可能とする燃焼技術を開発する必要がある。本設備は、2つの火炉(シングルバーナ炉および乱流燃焼モデリング炉)で構成されている。シングルバー

ナ炉は、実機燃焼場を模擬しており、種々の燃料の燃焼特性を事前に評価することを目的としている。乱流燃焼モデリング炉は、燃焼場の詳細計測を行い、これを基に様々な燃料の燃焼現象を解明し、燃焼に関する数値解析技術の高度化を図り、新たな燃焼技術の開発を効率的に行うことを目的としている。

概要・特徴

・シングルバーナ炉

火力発電所と同様の燃焼場が模擬でき、低品位炭やバイオマスなどの固体燃料の粉砕・燃焼特性および環境汚染物質の排出特性などが評価できる。さらに、幅広い低品位燃料の燃焼技術の開発に向けて、酸素富化燃焼や多種液体燃料の燃焼を可能としている。

・乱流燃焼モデリング炉

レーザ等の高度計測装置を駆使して、燃焼場のガス流速、温度、粒子径およびガス組成な

どを高精度に計測することが可能である。この計測結果を基に、種々の燃料の燃焼現象を詳細に解明すると共に、燃焼数値解析技術の発展を図る。これによりシングルバーナ炉を用いて開発した燃焼技術のスケールアップを容易にし、実機への適用を加速化できる。

・2つの装置を用いた実験的手法と理論的手法の融合により、従来よりも効率的な燃焼技術開発が可能となる。

主な仕様

・シングルバーナ炉

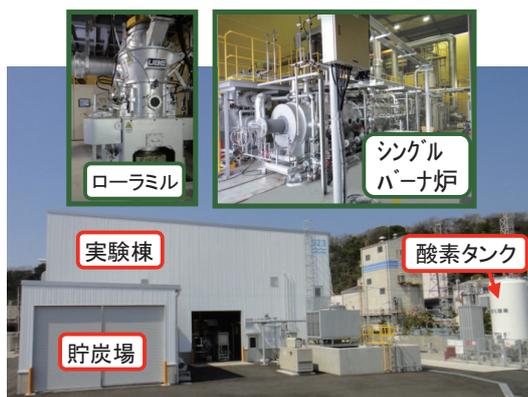
- 粉砕装置: 堅型ローラミル
(定格粉砕量: 約300kg/h)
- 火炉: 水冷式横置円筒炉
(内径850mm×長さ8,000mm)
- 投入熱量: 760kW
- 機能: 石炭燃焼機能(約100kg/h)
液体燃焼機能(約30L/h)
酸素燃焼機能(排ガス循環、
酸素供給(最大200m³/h))

・乱流燃焼モデリング炉

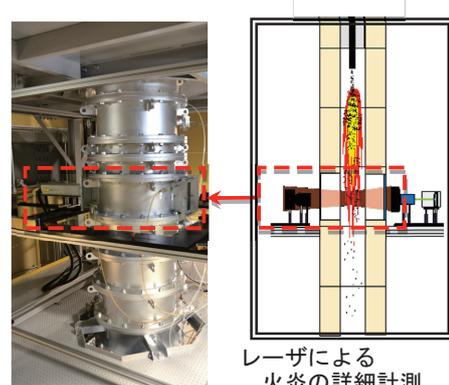
- 火炉: 堅型円筒炉
(内径250mm×長さ2,000mm)
- 投入熱量: 40kW
- 機能: 石炭燃焼機能(約5kg/h)
液体燃焼機能(約3L/h)
- 計測装置: 粒子速度・粒径同時計測装置
二次元温度計測装置
ガス濃度計測装置等

【設置場所・時期・所管研究所】

横須賀地区・2014年1月・エネルギー技術研究所



シングルバーナ炉および実験棟
火力次世代燃料高度燃焼試験設備



乱流燃焼モデリング炉

炭化燃料化実験設備

設置目的

電気事業では、石炭火力における木質バイオマス等の混焼利用を進めており、年間約40万トンの木質バイオマスが混焼利用されているが、粉碎性が低いなどの課題から、その混焼率は数%に留まっている。バイオマスの高混焼率利用が可能となれば、石炭火力のCO₂排出原単位を大きく低減することができる。石炭火力におけるバイオマス高混焼率利用技術のひとつとして、炭化燃料化技術が挙げられる。木質バイオマス等を炭化燃料化

することにより、粉碎性の改善、発熱量の向上、撥水性の発現(屋外貯蔵が可能)といった効果が期待できる。一方、炭化燃料化に伴うエネルギー損失、自然発火性の発現、微粉化などの課題がある。本設備は、炭化燃料の原料となるバイオマスの選択、炭化燃料化のメリット、製造時のエネルギー低減、製造された炭化燃料の安全性、などの視点から、炭化温度、滞留時間、原料水分やサイズといった炭化条件の最適化を目的とする。

概要・特徴

本設備は、木質チップなどの低含水バイオマスに加え、食品加工残渣や脱水汚泥などの高含水バイオマスについても、専用の搬送装置や乾燥設備により、炭化燃料化を可能としている。また、炭化プロセスへの投入エネルギー低減や炭化条件の最適化を図る上で必要不可欠な、熱物質収支および炭化性能を把

握するため、プロセス情報(温度、圧力、流量などの測定点約170)を経時データとして記録するとともに、熱分解ガス中タールやガス成分の分析も可能である。将来的な商用化を想定し、炭化機には、数百t/日規模までスケールアップ実績のある間接加熱型ロータリーキルンを採用している。

主な仕様

- 高温連続炭化機

原料供給量:~200kg/h
(原料中水分30%の場合)
炭化温度:200~600℃
滞留時間:20~60min

- 熱風式乾燥機

原料供給量:~500kg/h
(原料中水分80%の場合)
乾燥物水分:10~30%

- 分析装置

micro GC, GC-MS, HPLC, UV-Vis-NIR

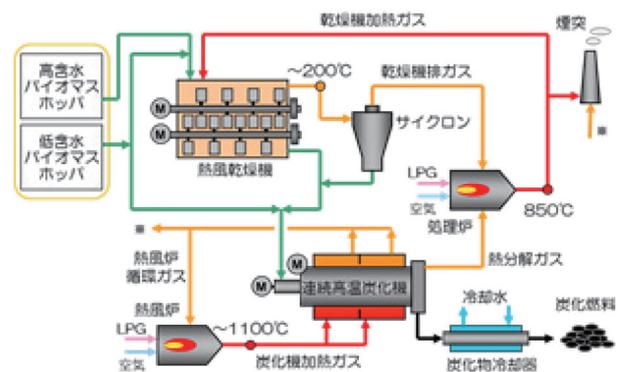
【設置場所・時期・所管研究所】

横須賀地区・2013年7月・エネルギー技術研究所



設備全体の様子

炭化燃料化実験設備



実験設備の概略系統図

ヒートポンプ開発試験設備

設置目的

ヒートポンプは、省エネルギー・CO₂排出削減技術として国内外で注目を集めており、さらなる高性能化、低GWP(地球温暖化係数)冷媒の利用、様々な熱需要分野への適用拡大が推進されている。本設備では、様々な

熱需要分野を対象に、イニシャルコストが低く、コンパクトで、エネルギー消費量が少ない、低GWP(地球温暖化係数)冷媒ヒートポンプの商品開発と性能評価を行う。

概要・特徴

産業用の蒸気・熱風製造ヒートポンプやターボ冷凍機など、幅広い用途のヒートポンプの商

品機や試作機等を幅広い試験条件で性能評価可能な設備である。

主な仕様

(1) 試験対象

- ◎高温水循環ヒートポンプ
加熱能力:最大600kW
温水温度:最高90℃
- ◎蒸気製造ヒートポンプ
加熱能力:最大600kW(蒸気1t/h相当)
蒸気温度:最高200℃
- ◎熱風製造ヒートポンプ
加熱能力:最大200kW
熱風温度:最高200℃
- ◎大型の冷水製造ヒートポンプ(ターボ冷凍機)
冷却能力:最大2,100kW
- ◎中型の冷・温水製造ヒートポンプ(冷・温水チラー)
冷却・加熱能力:最大350kW

(2) 温・湿度の設定範囲

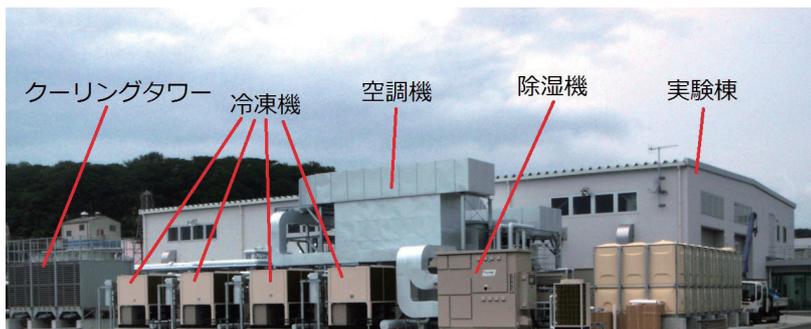
- 空気温度(環境試験室):-20~50℃
- 空気湿度(環境試験室):30~90%
- 熱源水・冷水温度:10~90℃
- 温水・冷却水温度:10~90℃

(3) 環境試験室の寸法

- 幅8m×奥行14m×高さ5m(内寸法)

【設置場所・時期・所管研究所】

横須賀地区・2013年6月・エネルギー技術研究所



実験棟南東から屋外設置機器を見た様子

蒸気製造ヒートポンプ SGH165



ヒーティングタワー



試験対象機設置の様子

4.活動実績

4.活動実績

当研究所の2013年度における活動実績を以下に示す。

1 人的資源

2014年3月31日現在、要員は820名で、このうち、研究系が722名、事務系が98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、409名で、内、73%が工学系、10%が理学系である。

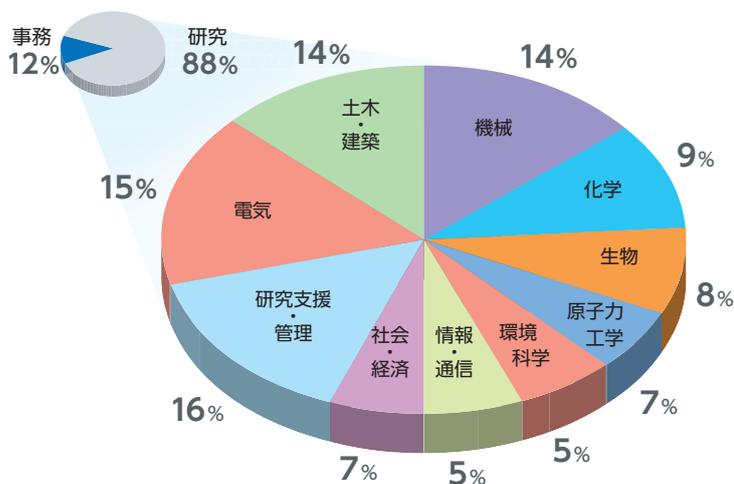


図1 要員分野別内訳(2014年3月31日現在)

2 研究報告書

合計436件の「電力中央研究所報告」等を取りまとめた。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166件である。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名は付表(1)に掲載した。これら研究報告等の本文およびリーフレット*1は当研究所のウェブサイトよりダウンロードできる。

*1 本文とリーフレットの公開時期は異なる場合がある。

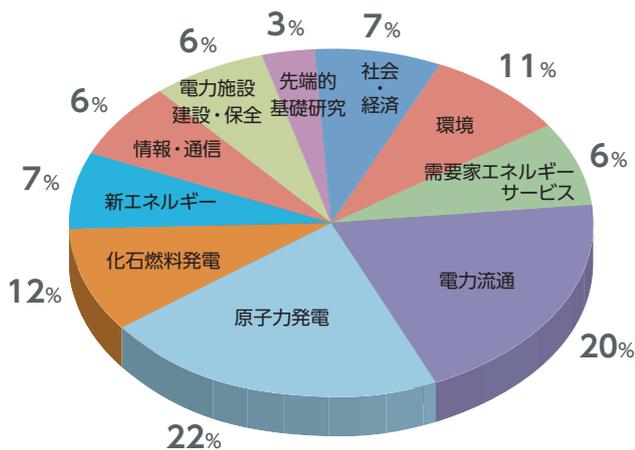


図2 報告書分野別内訳

3 論文発表

合計1,409件の研究論文を学会誌、学術誌、学会大会等にて発表した。うち、査読付き論文は360件である。研究論文全体の分野毎の内訳を図3に示す。論文の件名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。

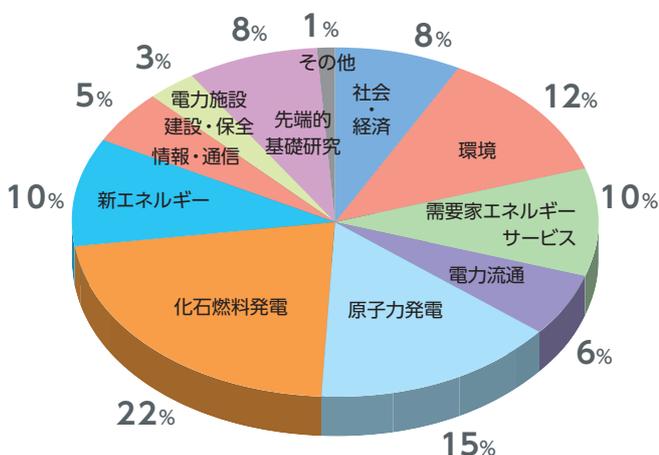


図3 論文分野別内訳

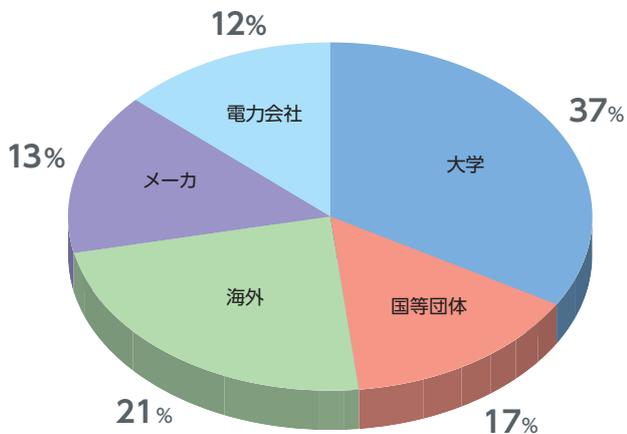


図4 共同研究先分類

4 研究協力・交流

4-1 共同研究

総計187件の共同研究を実施した。共同研究先の内訳は図4に示すように大学が37%、国等の研究所が17%などとなっている。

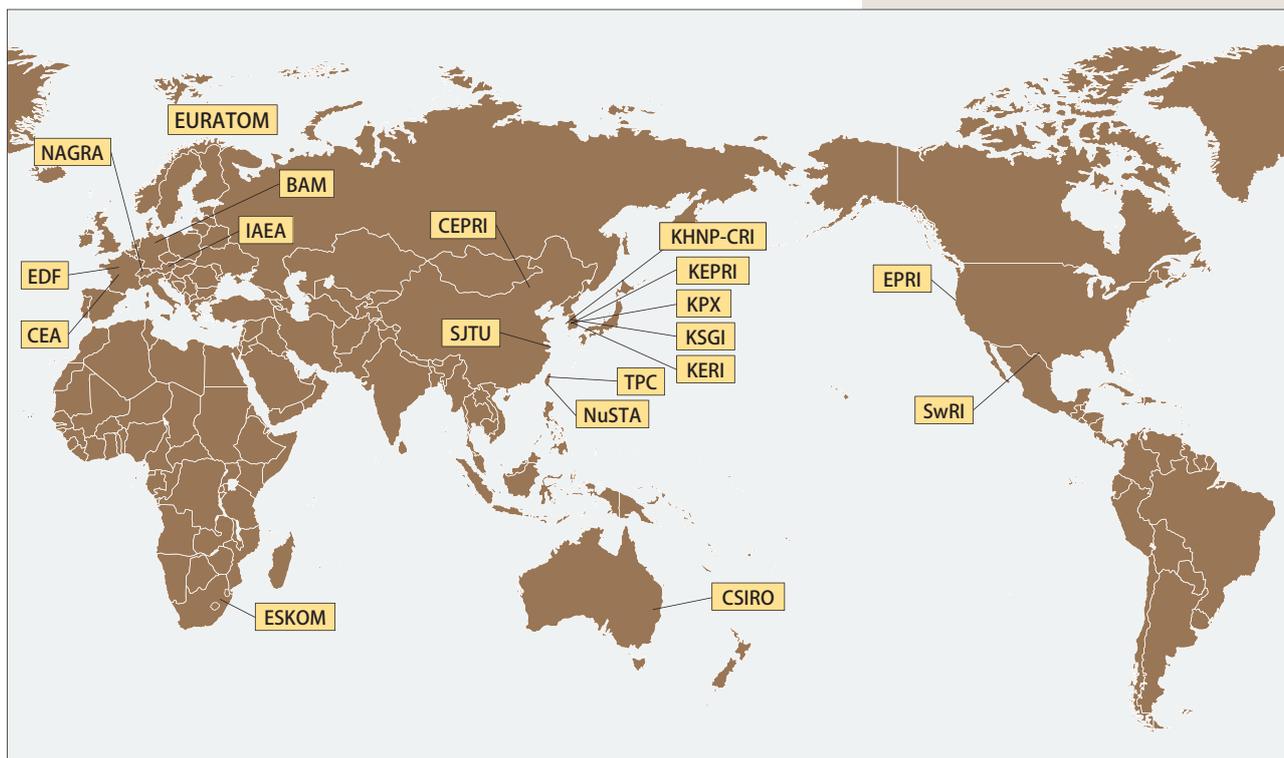


図5 研究協力協定を締結している主な機関

欧州原子力共同体 (EURATOM) は、欧州地区に位置する。

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ている。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。

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)	国網電力科学研究院 (SGEPRI：中国)
韓国電力取引所 (KPX)	上海交通大学 (SJTU：中国)
韓国スマートグリッド事業団 (KSGI)	台湾電力公司 (TPC)
韓国水力原子力発電会社中央研究所 (KHNP-CRI)	台湾核能科技協進会 (NuSTA)
アメリカ	
米国電力研究所 (EPRI)	サウスウェスト研究所 (SwRI)
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：韓国)
原子力研究所 (KAERI：韓国)	高麗大学 (韓国)
アメリカ (近隣国含む)	
米国電力研究所 (EPRI)	米国原子力規制委員会 (USNRC)
アイダホ国立研究所 (INL)	米国技術標準研究所 (NIST)
米国大気研究センター (NCAR)	米国エネルギー省 (DOE)
ヨーロッパ	
フランス原子力庁 (CEA)	超ウラン元素研究所 (ITU：ドイツ)
フランス電力公社 (EDF)	ドイツ原子力サービス (GNS)
フランス放射性廃棄物管理公社 (ANDRA)	ドレスデン-ロッセンドルフ研究所 (HZDR：ドイツ)
放射線防護原子力安全研究所 (IRSN：フランス)	ドイツ連邦経済技術省 (BMWi)
スウェーデン核燃料廃棄物管理会社 (SKB)	ドレスデンライブニッツ個体・材料研究所 (ドイツ)
Studsvik Nuclear (スウェーデン)	イェナフリードリヒ・シラー大学 (ドイツ)
VTT フィンランド技術研究センター	トリノ工科大学 (イタリア)
ポシバ社 (POSIVA：フィンランド)	国立研究評議会 (イタリア)
チェコ放射性廃棄物貯蔵庁 (RAWRA)	トウェンテ大学 (オランダ)
ブラチスラバ コメンスキー大学 (スロバキア)	オランダエネルギー研究機構 (NRG：オランダ)
経済協力開発機構原子力機関 (OECD/NEA)	エネルギー技術研究所 (IFE：ノルウェー)
欧州原子力共同体 (EAEC/EURATOM)	
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：オーストリア)	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2013

「電力安定供給を支える火力発電・流通設備の信頼性確保に向けて」

2013年5月23日(木) 東京(イイノホール)

●研究所公開

2013年 5月26日(日) 赤城試験センター

2013年10月5日(土) 我孫子地区

2013年10月19日(土) 横須賀地区

2013年10月27日(日) 狛江地区

6 産業財産権

特許登録は140件、出願は計81件であった。特許・ノウハウの新規の実施許諾件数*2は19件であった。

7 ソフトウェア

当研究所では著作権管理のためのソフトウェア登録制度を設けている。また、これらのソフトウェアについては電気事業者やその他の営利企業、大学な

どの要請に応じて使用許諾を実施している。新規の登録と使用許諾は、それぞれ74件および312件(1,127本)であった。

8 その他

当研究所あるいは当研究所の役職員が執筆・編集した主な出版物は7件、当研究所役職員が受けた主な外部表彰は52件(延べ67名)で、それぞれ付表(2)および(3)に示す。また、当研究所の公刊物の一覧を付表(4)に示す。

一般からも検索できる情報サービスとして、

平成7年度より本格運用を行っているインターネット上の電中研ホームページを引き続き運用した。当「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の要旨、ならびに「電中研ニュース」等の広報情報を提供している。

*2 許諾した知的財産権・ノウハウ数に基づく件数。

付表(1) 研究報告等

報告書番号の区分

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
Y13001	研究報告	日本経済と電力需要の短期予測 －世界経済停滞・長期金利上昇・消費税率据置のシミュレーション分析－	林田 元就
Y13002	研究報告	我が国の核セキュリティ文化醸成に関する考察 － IAEA 実施指針や国内外の脅威事案の分析を通じて－	稲村 智昌
Y13004	調査報告	欧州のエネルギー事業者におけるトレーディング部門の役割	筒井 美樹
Y13005	調査報告	英国における小売全面自由化後の競争評価と競争促進策の課題	澤部 まどか
Y13006	研究報告	電灯需要の構造分析とシミュレーション － 47 都道府県データによる実証分析－	大塚 章弘
Y13007	研究報告	需要側機器による無効電力補償の経済価値分析 － 太陽光発電大量導入時の電圧上昇抑制対策－	高木 雅昭
Y13008	研究報告	電力小売自由化後の家庭の供給者変更行動と情報探索の役割 － 欧州および日本の家庭用需要家を対象にした調査・分析－	蟻生 俊夫
Y13009	研究報告	電気自動車による地域別充電負荷の推計 － 日中の充電行動を考慮して－	田頭 直人
Y13010	研究報告	家庭における 2013 年夏の節電の実態	西尾 健一郎
Y13011	調査報告	米国における電力自由化後の供給力確保に関する制度の比較分析	服部 徹
Y13013	調査報告	欧州における容量メカニズムの動向と課題 － イギリス、フランス、ドイツの事例を中心に－	後藤 美香
Y13014	研究報告	東日本大震災後の事業所節電行動の継続状況（2013 年版） － 3 年間のアンケート調査の比較－	木村 幸
Y13015	研究報告	長期の地球温暖化対策における二酸化炭素除去技術の役割	杉山 昌広
Y13017	研究報告	小売全面自由化後の家庭用需要家による規制料金と自由料金の選択要因の分析	後藤 久典
Y13018	調査報告	ドイツ・イギリスの需給調整メカニズムの動向と課題 － 需給調整能力の確保と費用決済－	古澤 健
Y13021	調査報告	電力取引における先物市場の活用 － 米国 PJM の事例－	遠藤 操
Y13023	研究報告	シェール革命後の北米のエネルギー需給からみた天然ガス輸出シナリオの定量的検証	星野 優子
Y13024	研究報告	原子力規制体制の制度的課題とその解決策 － 敦賀発電所敷地内破砕帯問題－	田邊 朋行
Y13025	研究報告	原子力事業と立地地域との関係再構築に向けた提案 － 英国事例からの示唆－	菅原 慎悦
Y13027	研究報告	短期マクロ経済＝産業連関システムの構築 － 燃料価格上昇が日本経済・産業に与える影響の感度分析－	間瀬 貴之
Y13028	研究報告	省エネ補助金の追加性と費用対効果の評価 － NEDO 補助事業の事例分析－	木村 幸
Y13029	調査報告	ドイツにおける発送電分離の評価 － 事業者の対応と課題－	後藤 美香
Y13031	調査報告	我が国の固定価格買取制度に関する費用負担見通しとその抑制策の検討	朝野 賢司

■2.環境分野

報告書番号	種別	報告書名	主報告者氏名
V13001	研究報告	森林からの土壌流出予測における EUROSEM の適用性の検討	池田 英史
V13003	研究報告	水温上昇による付着生物生息分布の変化 - 現場分布調査と文献情報による検討 -	立田 穰
V13004	研究報告	計画段階環境配慮書における動植物重要種の影響評価手法の開発 - 発電所アセスメントデータを活用した重要種の生息・生育可能性の推定 -	阿部 聖哉
V13005	調査報告	貯水池・河川・感潮域における微細粒子の挙動に関する調査報告	鈴木 準平
V13008	研究報告	樹木の枝・葉における放射性セシウム濃度の経年変化 (2011 ~ 2013)	吉原 利一
V13009	研究報告	放射性物質の分布評価のための北太平洋モデルの開発 - 北太平洋中層水形成の再現性向上 -	坪野 考樹
V13010	研究報告	中間周波磁界の生物影響評価 - ラットを用いた 20 kHz 磁界の亜慢性毒性評価 -	西村 泉
V13013	調査報告	IPCC 第 1 作業部会の第 5 次評価報告書の要点と地球温暖化緩和策への示唆	筒井 純一
V13014	研究報告	脱硫石膏フッ素溶出量の簡易迅速定量法の開発 (その 1) - 石膏溶出操作の迅速化と分析の簡易化検討 -	安池 慎治
V13015	研究報告	脱硫石膏フッ素溶出量の簡易迅速定量法の開発 (その 2) - 湿式ボールミルを用いた迅速溶出法の適用と評価 -	安池 慎治
V13017	研究報告	海洋酸性化に対する生物応答の解明 (その 3) - 複数種の植物プランクトン単離株による培養実験 -	芳村 毅
V13018	研究報告	海洋酸性化に対する生物応答の解明 (その 4) - 複数地点の外洋域プランクトン群集による培養実験 -	芳村 毅
V13019	調査報告	ミズクラゲの個体数変動機構と発生量予測手法に関する文献調査	鈴木 健太郎
V13020	研究報告	火力発電所用大気アセスメント支援ツールの開発	佐藤 歩
V13021	研究報告	日本における CCS 付き石炭火力発電のライフサイクルアセスメント (その 2) - 太陽光発電、地熱発電との環境影響比較評価 -	湯 龍龍
V13022	研究報告	発電技術に対する社会的受容性の現状と課題 - CCS と地熱発電を事例とした意識調査 -	窪田 ひろみ
V13023	研究報告	エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置を用いた石炭灰中セレン、ヒ素、クロムの簡易・迅速定量	正木 浩幸
Y13020	調査報告	ハイブリッドアプローチに基づく 2020 年以降の温暖化対策の国際枠組み - 2013 年の交渉動向と 2015 年の合意期限に向けた課題 -	上野 貴弘

■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
Q13006	研究報告	擬似参照極手法による市販リチウムイオン電池の劣化要因分析	庄野 久実
R13004	研究報告	低圧需要家から発生する高調波電流特性 - 関東都市部における冬ピーク期の分析結果 -	雪平 謙二
R13015	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 6) - 連続フードにおける必要換気量の低減可能性 -	岩松 俊哉
R13016	研究報告	家庭用エアコンの熱源特性モデルの開発 - その 5 : 非定常状態への適用 -	上野 剛
R13026	研究報告	家庭用エアコン選定支援ツールの開発 - その 1 プロトタイプ構築 -	安岡 絢子
R13028	研究報告	需要家の第 5 次高調波電流特性を用いた高調波状態推定法	岡田 有功
V13002	調査報告	電気事業における植物工場への支援方法に関する調査研究 - 植物工場技術の国内開発動向 -	庄子 和博
Y13016	研究報告	デマンドレスポンス通知に対する受信者の確認時間計測ツール	山口 順之
Y13019	調査報告	欧米のスマートグリッドの費用便益分析手法とわが国への適用に向けた課題	河村 清紀
Y13022	調査報告	欧州におけるスマートメーターの費用便益分析 - 分析上の課題を踏まえた結果の評価 -	服部 徹
Y13030	調査報告	再生可能エネルギー電源大量連系に対応するアンシラリーサービス型デマンドレスポンスの導入可能性の検討	高橋 雅仁

■4.電力流通分野

報告書番号	種別	報告書名	主報告者氏名
H13001	研究報告	交流アークによる ACSR 素線溶断特性の計算手法の開発	岩田 幹正
H13003	研究報告	開閉インパルス高電圧標準計測システムの構築 –測定の不確かさ評価–	宮崎 悟
H13005	研究報告	電力系統瞬時値解析プログラムの開発 (その7) –回路部品の内部状態更新処理の並列化による XTAP の高速化–	米澤 力道
H13007	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1) –配電用変電所および SVR のモデル化–	長嶋 友宏
H13008	研究報告	送電線雷事故率の予測精度向上に関する研究 (その2) –2並列アークホーンの同時フラッシュオーバー特性におけるギャップ長依存性–	田中 大樹
H13009	研究報告	FDTD 法に基づくサージ解析プログラム (VSTL REV) の高速化とその鉄筋コンクリート造建築物の雷サージ解析への適用	立松 明芳
H13010	研究報告	電力系統瞬時値解析プログラムの開発 (その8) –遠方系統の単相実効値模擬による解析高速化–	野田 琢
H13011	研究報告	受配電盤内のアーク故障を想定した圧力上昇シミュレーション手法の開発	岩田 幹正
H13012	研究報告	東京スカイツリーにおける雷観測 –雷電流波形観測システムの構築と 2012 年～ 2013 年の観測結果–	三木 貴
H13013	研究報告	ガス絶縁機器用 O リングのシール性能に基づく寿命評価手法の開発 –O リングの実用的な圧縮永久ひずみ率推定手法–	水谷 嘉伸
H13014	研究報告	OF ケーブル油浸紙–絶縁油複合絶縁系の部分放電基礎特性	岩下 雄宇
N13004	研究報告	領域気候モデルを用いた過去 53 年間の気象・気候再現	橋本 篤
R13002	研究報告	油中ガス分析による OF ケーブル接続部の異常判定手法 –サポートベクターマシンを活用した判定基準の提案–	篠原 靖志
R13013	研究報告	再生可能エネルギー大量導入に対応した需給運用シミュレータ –需給運用計画策定機能のプロトタイプ開発–	渡邊 勇
R13017	研究報告	洋上風力発電を対象とした直流昇圧方式による直流送電システムの制御法	佐野 憲一朗
R13019	研究報告	PV 用 PCS の無効電力制御による SVC 容量低減効果のシミュレーション評価	八太 啓行
R13021	研究報告	電力流通設備の保守・更新計画調整プログラムの改良 –多面的評価機能の組み込みによる実用性の向上–	竹原 有紗
R13022	研究報告	需要家機器による太陽光発電余剰電力有効利用手法の改良 –当日の計画補正機能の追加と検証–	大嶺 英太郎
R13024	研究報告	STATCOM による配電線の電圧不平衡是正制御方式の開発	上村 敏
R13025	研究報告	二次送電系統事故時の単独運転検出特性 –中性点接地方式と地絡事故後の遮断器開放時間等を考慮した評価–	上村 敏
R13027	研究報告	高速な瞬時値解析を可能とするモジュラーマルチレベル変換器モデルの開発	菊間 俊明

■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
H13002	研究報告	原子力発電所格納容器内より採取された安全系ケーブル絶縁体の統計的機械特性経年変化解析	布施 則一
H13004	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 –使用済燃料貯蔵中での適用に向けた狭隘部における遠隔計測–	江藤 修三
L13001	調査報告	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 –作業者の立場に立った安全ルール導入の基本的考え方–	弘津 祐子
L13002	研究報告	再処理工場で発生する不溶解残渣の高温反応	宇佐見 剛
L13003	調査報告	放射線防護基準の進展に関与する国際組織の動向	佐々木 道也

報告書番号	種別	報告書名	主報告者氏名
L13004	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2） －作業条件が安全行動選択に至る心理プロセスへ及ぼす影響の調査－	武田 大介
N13005	研究報告	Ca型ベントナイト混合土の透水試験方法（その1） －室内締固め供試体に対する剛性容器を用いた方法－	渡邊 保貴
N13008	研究報告	キャニスタの長期密封性能評価手法の開発（その1） －ヘリウム漏えい検知のための解析手法の基礎的検討－	竹田 浩文
N13009	調査報告	処分場を構成する各部位に適用するセメント種類の選定に向けた検討 ー各部位の要求特性の抽出と状態変遷の推定に基づく重要度の検討（電中研－NUMO共同研究）－	山本 武志
N13010	研究報告	火災モデルFDSによる大規模区画内火災解析（その3） －液体可燃物の熱分解速度・壁面熱伝達の精度評価－	須藤 仁
N13011	研究報告	飽和したCa型ベントナイト混合土のガス移行特性評価	田中 幸久
N13014	研究報告	竜巻飛来物に対する防護ネットの評価手法と対策工法の提案	南波 宏介
Q13002	研究報告	欠陥評価に用いる応力拡大係数解の適用性検討	三浦 直樹
Q13003	研究報告	溶質原子クラスター形成による原子炉圧力容器鋼の照射脆化機構の計算科学的検討 －三元系鉄合金（FeCuMn, FeSiMn, FeNiMn）の転位芯構造と剛性率－	大沼 敏治
Q13008	研究報告	すきま付定ひずみ曲げ試験における低炭素ステンレス鋼の応力腐食割れ深さの基本分布	宮原 勇一
Q13009	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	三浦 直樹
L13006	研究報告	MAAP5.01及びMELCOR2.1を用いた軽水炉代表プラントの過酷事故解析 －BWR-5/Mark-II改良型プラントの全交流電源喪失解析の比較－	西村 聡
L13005	研究報告	事故耐性の高い軽水炉用制御棒概念の構築	太田 宏一

■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
M13001	研究報告	アドバンスト高温分空気利用ガスタービン（AHAT）システムの研究開発 －第3報 40MW級総合試験装置による重構造ガスタービンを用いたシステムの成立性検証と特性解析－	高橋 徹
M13005	研究報告	3t/日石炭ガス化研究炉を用いたCO ₂ 富化ガス化特性の評価 －リダクタ部ガス化反応に及ぼすCO ₂ 投入の影響	濱田 博之
M13006	調査報告	石炭ガス化スラグの海域環境改善資材への活用に向けた調査 －深掘り跡埋め戻し資材としての評価－	沖 裕壮
M13007	研究報告	ガスタービン用遮熱コーティングを対象としたはく離の非破壊検出手法の開発（第2報） －適正な加熱条件に関する検討－	尾関 高行
M13008	調査報告	ガスタービン用吸気フィルタの保守管理の実態調査	藤井 智晴
Q13001	研究報告	Ni合金 Alloy 617の母材および溶接継手の高温引張および疲労特性評価	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
M13002	研究報告	SOFC 負荷応答モデルの提案	森田 寛
M13003	研究報告	既存 GTCC の SOFC によるリパワリング時の性能	吉葉 史彦
M13009	調査報告	FIT 導入に伴う国内バイオマス発電設備の動向と石炭火力混焼発電への影響調査	多喜 真之
N13003	研究報告	太陽光発電出力予測のための衛星画像データを用いた日射量推定・予測モデルの開発	橋本 篤
N13013	研究報告	太陽光発電のための日射量予測手法の開発（その2） - 予測誤差の分析と精度改善法の検討 -	田村 英寿
Q13005	研究報告	太陽光発電出力把握の実運用に向けた基礎分析 - 日射変動からの天気分類の提案と日照時間による日射量推定法の論理的説明 -	宇佐美 章
R13018	研究報告	PCS を用いた太陽電池モジュールの故障判定（その2） - PV 用 PCS を用いた I-V 計測による判定法の実証 -	八太 啓行
V13006	調査報告	二酸化炭素変換に関わる触媒技術の動向	巨理 龍
V13011	研究報告	ジェットロファ燃料油のディーゼルエンジンへの適用性評価（その2） - ジェットロファ混合燃料のエンジン性能と排ガス特性 -	土屋 陽子
V13012	研究報告	廃棄物系バイオマスによるバイオガス発電の発電能力の評価	渡邊 淳
Y13003	研究報告	油中脱水にて乾燥した褐炭の発電所炉前コストの分析 - 日本の発電事業における褐炭利用可能性の基礎検討 -	坂東 茂
Y13012	調査報告	世界の褐炭の需給動向とインドネシア・豪州の炭鉱別資源量等に関する調査	井内 正直

8.情報・通信分野

報告書番号	種別	報告書名	主報告者氏名
R13001	研究報告	長距離マルチホップ無線 LAN による災害復旧支援通信システムの基礎検討	萩生田 研一
R13003	研究報告	国内の変電所監視制御システムに対する IEC 61850 の適用 - 共通化を指向した機能仕様に基づく監視制御装置の試作と評価 -	大谷 哲夫
R13005	研究報告	設備保全フィールドセンサネットワークの構成手法（その3） - 無線センサノードの位置推定に関する基礎検討 -	宮下 充史
R13006	研究報告	集合住宅におけるスマートメータ通信のための電波伝搬損失推定手法の基礎検討	三上 満
R13007	研究報告	遠隔光給電を用いた多点光センサシステムの基礎検討 - 実用化に向けた光ノード構成の改良と耐温度性能の評価 -	小川 理
R13008	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2） - 無線送受信系に光電波融合技術を用いた通信品質特性の評価 -	池田 研介
R13009	研究報告	災害復旧時の利用を想定した長距離マルチホップ無線 LAN の基礎特性評価	萩生田 研一
R13010	調査報告	配電系統・需要家エリアの電力用通信プラットフォームに対する要件整理とプロトコル選択	大谷 哲夫
R13011	研究報告	変電所設備保全用無線センサネットワークの管理方法の提案と基礎評価	遊佐 博幸
R13012	研究報告	汎用・標準技術に基づく広域系統監視・保護制御システムのアーキテクチャと電力系統シミュレータでの検証	芹澤 善積
R13014	研究報告	スマートメータ用電波伝搬エリア設計支援ツールの開発	土屋 弘昌
R13020	研究報告	変電所設備保全センサネットワークの構成手法 - 無線とプラグアンドプレイ機能によるプロトタイプ構築と基礎評価 -	黒野 正裕
R13023	研究報告	広域電力系統の高速制御ネットワークの大規模・高信頼化方式の開発 - IEEE 1588 による時刻同期網の大規模化・高信頼化手法とその検証	藤川 冬樹

■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
N13001	研究報告	電中研気象予測・解析システム NuWFAS の超高解像度化 による暴風シミュレーション (その1) -実気象場を対象とした再現性評価-	服部 康男
N13002	研究報告	コンクリート中の塩化物イオン実効拡散係数の材齢依存性とその簡易評価方法の提案	松井 淳
N13006	研究報告	緩慢に変位する岩盤斜面の安定性評価手法の開発 (その1) - FBG 光ファイバセンサを用いた斜面の計測方法の開発 -	小早川 博亮
N13007	研究報告	物理探査・室内試験に基づく 2004 年留萌支庁南部の地震による K-NET 港町観測点 (HKD020) の基盤地震動とサイト特性評価	佐藤 浩章
N13012	研究報告	数値流体解析に基づく地上設置型太陽光パネル群の風荷重特性の評価	村上 貴裕
N21	総合報告	有限要素解析を用いた重力式コンクリートダムの耐震性能照査マニュアル	西内 達雄
N22	総合報告	有限要素法を用いたダムゲートの耐震解析マニュアル	山本 広祐
Q13007	研究報告	送電鉄塔用鋼管内腐食に及ぼす影響因子の検討 -第1報: 地面に対する鋼管の設置角度および気象の影響-	長沼 淳
V13007	研究報告	土砂動態を把握するための水質観測システムの構築と試験運用	鈴木 準平
V13016	研究報告	風洞実験による街区内の風速低減効果の把握	道岡 武信

■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
H13006	研究報告	後方散乱 γ 線のエネルギー分布特性に着目した非破壊検査手法の提案 - 2 回散乱 γ 線を用いた配管減肉検知 -	大石 祐嗣
M13004	研究報告	XAFS 法による微量な水銀の化学形態分析法	山本 融
Q13004	研究報告	常圧アンモニア電解合成法の高収率化に向けた要素技術開発 - H ⁺ 共存下での NH ₃ 溶解機構 -	芹澤 信幸

付表(2) 主要な出版物 –当所役職員が出版もしくは協力した書籍–

書名	編・著者	当所協力	出版社	出版年月
太陽電池技術ハンドブック	小長井 誠 植田 謙 共編	小林 広武 山下 光司	(株) オーム社	2013年5月
専門家が答える暮らしの放射線 Q&A	日本保健物理学会 「暮らしの放射線 Q&A 活動委員会」	荻野 晴之	(株) 朝日出版社	2013年7月
自由研究ヒント BOOK 2013	吉光 司 監修		(一社) 日本電気協会新聞部	2013年7月
改訂 磁気工学の基礎と応用	電気学会 マグネティックス 技術委員会編	中園 聡 山崎 健一	(株) コロナ社	2013年10月
「エネルギー学」への招待 –持続可能な発展に向けて	内山 洋司 編著	山本 博巳	(株) コロナ社	2014年2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		(株) 成山堂書店	2014年3月

付表(3) 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
The Japan Society for Analytical Chemistry	Hot Article Award	Pretreatment Method for Immunoassay of Polychlorinated Biphenyls in Transformer Oil Using Multilayer Capillary Column and Microfluidic Liquid-Liquid Partitioning	青田 新
電気学会	電気学術振興賞(論文賞)	監視制御通信におけるシーケンスを考慮した侵入検知	木内 舞
土木学会	第59回構造工学シンポジウム論文賞	モード重ね合わせ法を用いた送電線のギャロッピングの時刻歴応答解析	松宮 央登 西原 崇 雪野 昭寛
セルロース学会	平成24年度技術賞	セルロースフィルターを利用した高感度・高精度なPCBバイオセンサーの開発	大村 直也 佐々木 和裕
日本塗装技術協会	塗装工学編集委員長賞	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非破壊検査技術	福地 哲生 布施 則一 岡田 満利 藤井 智晴
日本風工学会	出版賞	Sea Breeze Blowing into Urban Areas: Mitigation of the Urban Heat Island Phenomenon	速水 洋
電力土木技術協会	高橋賞	配電設備の台風被害予測手法の提案とシステム化	石川 智己 朱牟田 善治
電気学会	電気学術振興賞 著作賞	高電界現象論 基礎と応用	岡本 達希
電気学会	電気学術振興賞 進歩賞	配電系統に連系された電源の運転状態推定手法の開発	浅利 真宏 中野 幸夫
電気学会	電気学術振興賞 論文賞	テラヘルツ波の反射測定による遮熱コーティングのトップコート屈折率・膜厚測定	福地 哲生 布施 則一 岡田 満利 藤井 智晴
物理探査学会	創立65周年記念式典功労者表彰	永年の学会運営、発展の功績	海江田 秀志
日本溶接協会	貢献賞	原子力研究委員会での原子力技術の安全性と信頼性の向上への貢献	高橋 由紀夫
土木学会	土木学会論文奨励賞	土壌中の化学成分を用いた津波浸水域の調査方法	吉井 匠
土木学会	土木学会論文奨励賞	着氷時の4導体送電線のギャロッピング観測結果とその発現条件の考察	松宮 央登
The 14th International Conference on Intergranular and Interphase Boundaries in Materials	Jany Thibault-Pénisson Award (Best poster award)	Atomistic simulation of grain boundary sliding at Yttrium segregated α -Al ₂ O ₃	中村 馨
Marquis Who's Who	Who's Who in the World	Innovative Ultra Rapid Cooling and Atomizing Process Utilizing Vapor Explosion and Production of New Functional Powders	古谷 正裕
エンジニアリング協会	創立35周年記念協会功労者表彰協会功労	協会事業運営への貢献	海江田 秀志
電気学会	優秀論文発表賞	大規模疎行列求解アルゴリズムの改良による瞬時値解析の高速化	米澤 力道
環境科学会	論文賞	東京都狛江市における降水組成の経年変化	藤田 慎一 高橋 章
電気学会	電気学会 電子・情報・システム部門大会 企画賞	企画セッション「システムのモデリングとシミュレーション」	松井 正一
電気学会	電気学会 優秀論文発表賞	第一原理計算と進化アルゴリズムによる結晶構造予測	中村 馨
日本セラミックス協会	感謝状	[セッション] エネルギー変換・貯蔵セラミックス材料・デバイスの新展開の企画・運営	森 昌史
日本セラミックス協会	感謝状	[合同セッション] 先進エネルギートランスデューサ技術の企画・運営	森 昌史
電気学会	平成25年電気学会全国大会優秀論文発表賞	PV大量導入が系統事故時の基幹系統に与える基本的な影響に関する実験的検証	白崎 圭亮

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
日本分析化学会	奨励賞	マイクロ多相流の基盤技術開発と分析化学的応用	青田 新
電気学会	優秀論文発表賞	直流事故電流を抑制可能な自動式直流送電システムの制御保護方式	菊間 俊明
情報処理学会 CDS 研究会	情報処理学会 CDS 研究会優秀論文賞	非常災害時における宅内自立動作時の HEMS 制御技術	浅利 真宏
Radiation Research Society	Michael Fry Research Award	Michael Fry Research Award	浜田 信行
日本金属学会	第 19 回若手講演論文賞	Energetic Stability and Thermoelectric Property of Alkali-Metal-Encapsulated Type-I Silicon Clathrate from First-Principles Calculation	中村 馨
土木学会	平成 25 年度地球環境優秀講演賞	福島第一原子力発電所事故によって海洋に放出された放射性セシウムの総量と挙動	津旨 大輔 坪野 考樹
大気環境学会	論文賞 (学術部門)	感度解析手法 HDDM の東アジアスケールのソース・リセプター解析への応用	板橋 秀一
FAN シンポジウム 運営委員会	ベストプレゼンテーション賞・和田賞	ヒートポンプ式給湯機と電力貯蔵装置を用いた太陽光発電余剰電力活用手法	大嶺 英太郎
火力原子力発電技術協会	平成 25 年度論文賞	高クロム鋼長手溶接部のクリープ寿命評価法の開発と検証	屋口 正次 酒井 高行
Fuel Cell Seminar & Energy Exposition	Honorable Mention 2013 Poster Presentation	Development of SOFC performance evaluation technology(5)	吉川 将洋
日本原子力学会 関東・甲越支部	第 12 回若手研究者発表討論会奨励賞	Quantitative evaluation of the bentonite/hyperalkaline-fluids interaction in the radioactive waste disposal system by X-ray CT and geochemical modeling	中林 亮
日本原子力学会 関東・甲越支部	第 12 回若手研究者発表討論会奨励賞	不確実性解析に向けた臨界計算における代用モデルの検討	曾我 昇太
土木学会	第 68 回年次学術講演会優秀講演者表彰	水平載荷を受ける鉄筋コンクリート製ボックスカルバートの崩壊挙動	宮川 義範
土木学会	第 68 回年次学術講演会優秀講演者表彰	濁水に対する河川底生昆虫のストレス応答	鈴木 準平
日本鋼構造協会	鋼構造シンポジウム 2013 アカデミーセッション 優秀発表賞	経年劣化した水圧鉄管の当て板補修対策の解析的評価に関する検討	佐藤 雄亮
土木学会	海岸工学論文奨励賞	任意の流速・浸水深を有する津波氾濫流の再現実験手法	太田 一行
土木学会	第 50 回環境工学研究フォーラム 環境技術・プロジェクト賞	水族館の生物ろ過槽に組み込み可能な脱窒装置の開発 - 葛西臨海水族園における長期実証試験 -	植本 弘明
日本大学理工学部	平成 25 年度学会・協会賞	[Development of SOFC performance evaluation technology] 等	吉川 将洋
日本機械学会	20 周年記念特別貢献賞	関東支部神奈川ブロックの幹事としての活動	渡辺 和徳
電気科学技術奨励会	電気科学技術奨励賞	広帯域大型ロゴスキーコイルによる風車への雷撃電流観測手法の開発	浅川 聡 三木 恵
地盤工学会	第 48 回地盤工学研究発表会 優秀論文発表者賞	軟岩のせん断破壊後の変形特性に関する繰返し三軸試験	石丸 真
日本活断層学会	論文賞	糸魚川 - 静岡構造線活断層系神城断層における地中レーダー探査	木村 治夫
日本燃焼学会	日本燃焼学会 論文賞	Effects of fuel droplet size on soot formation in spray flames formed in a laminar counterflow	渡邊 裕章
日本燃焼学会	日本燃焼学会 奨励賞	微粉炭燃焼場におけるレーザ計測と数値シミュレーションの高度化に関する研究	橋本 望
土木学会	第 42 回岩盤力学に関するシンポジウム 優秀ポスター賞	高レベル放射性廃棄物処分場の熱 - 水 - 応力長期相互作用を考慮した遠心力模型実験	西本 壮志
水晶体研究会	第 40 回水晶体研究会 セッション優秀賞	放射線白内障のモデル解析	藤通 有希
電気学会 電子・情報・システム部門	平成 25 年 電子・情報・システム部門 技術委員会奨励賞	ヒートポンプ式給湯機と電力貯蔵装置を用いた太陽光発電余剰電力活用手法	大嶺 英太郎
放射線影響協会	平成 25 年度放射線影響研究奨励賞	X線マイクロビームを用いた放射線誘発バイスタンダー応答の機構解明	富田 雅典

付表(4) 公刊物等一覧

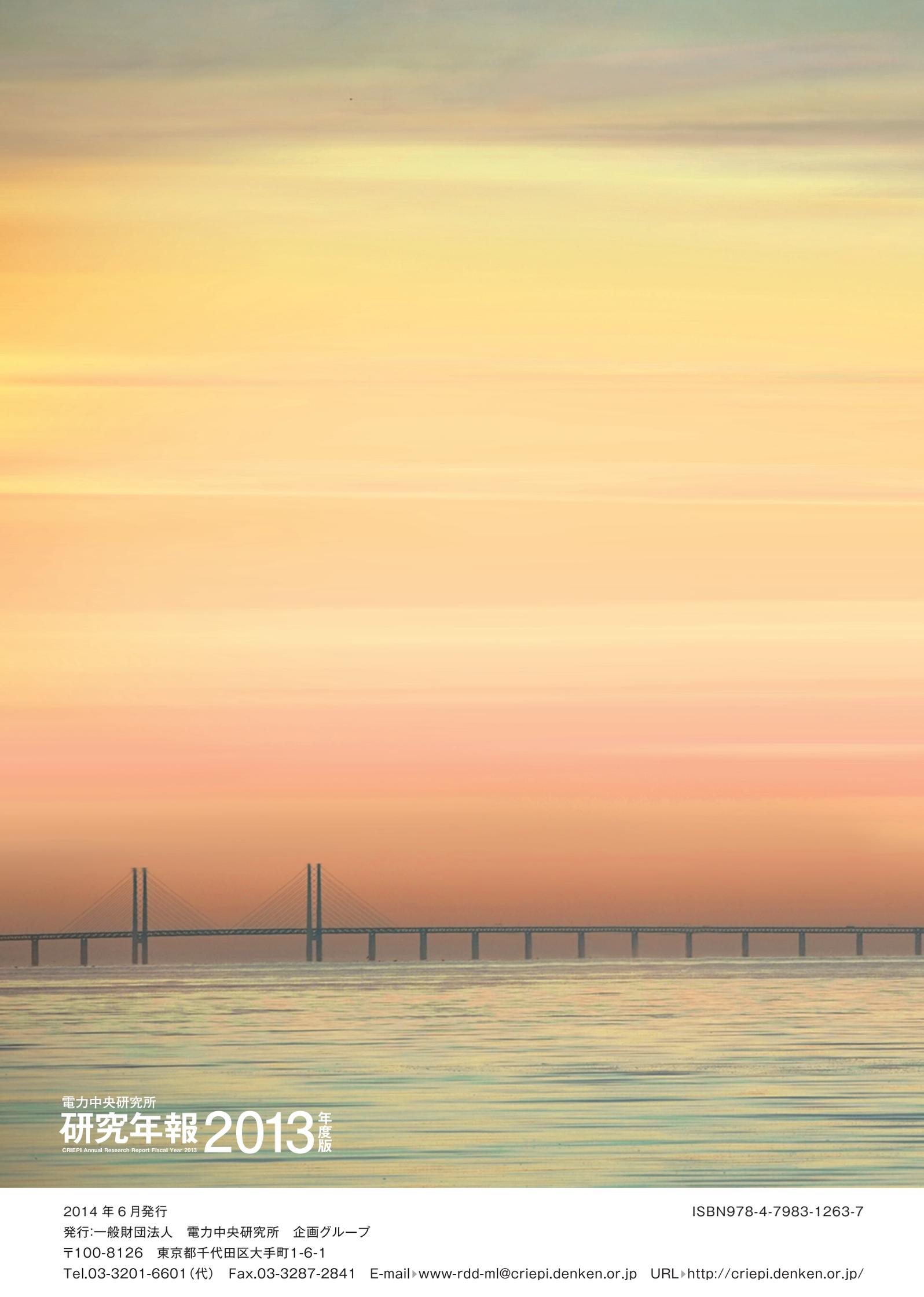
～より詳しい情報をお求めの方に～

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
社会経済研究 (学術論文誌) 社会経済分野における所内外の最新の研究成果を紹介	A4, 約 100p 約 3MB	白黒	年 1 回
▶ http://criepi.denken.or.jp/result/pub/			
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	B5, 4p 約 1MB	総カラー	随時
▶ http://criepi.denken.or.jp/research/news/			
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
▶ http://criepi.denken.or.jp/research/pamphlet/			
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
▶ http://criepi.denken.or.jp/intro/pamphlet/			
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
▶ http://criepi.denken.or.jp/research/review/			
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
▶ http://criepi.denken.or.jp/research/topics/			
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
▶ http://criepi.denken.or.jp/intro/info/			

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
 - ・社会経済研究所 TEL 03-3201-6601
- **狛江地区**.....
 - ・知的財産センター 〒201-8511 東京都狛江市岩戸北2-11-1
 - ・システム技術研究所 TEL 03-3480-2111
 - ・原子力技術研究所
 - └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
 - ・業務支援センター
- **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
- **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 2013 年度版

CRIEPI Annual Research Report Fiscal Year 2013

2014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 URL▶<http://criepi.denken.or.jp/>

ISBN978-4-7983-1263-7