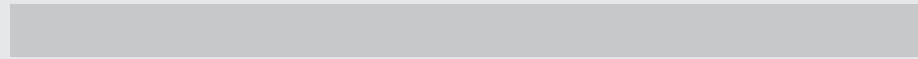


電力中央研究所
研 究 成 果 報 告 会
2 0 2 5

「電力インフラの価値向上に向けたマネジメント」
—環境変化への対応、長期運用、更新判断に寄与する技術開発—



予 稿 集

2025年11月13日(木)

目次・プログラム

13:20	開会	
	開会挨拶	
	理事長 平岩 芳朗	
	【概要紹介】	
	電力インフラの価値向上に向けたマネジメント —環境変化への対応、長期運用、更新判断に寄与する技術開発—	1
	理事長 平岩 芳朗	
13:35	【報告1】	
	電力流通設備のアセットマネジメントへの貢献	9
	研究参事 グリッドイノベーション研究本部 ファシリティ技術研究部門 副部門長 高橋 紹大	
13:55	【報告2】	
	火力発電設備の運用変化に伴う課題への対応	23
	理事待遇 エネルギートランスフォーメーション研究本部 研究統括室長 渡辺 和徳	
14:15	【報告3】	
	水力発電設備の高経年化・自然災害リスクへの対応	35
	サステナブルシステム研究本部 研究統括室 分野統括（水力）上席研究員 佐藤 隆宏	
	質疑応答（10分）	
14:45	休憩（20分）	
15:05	【報告4】	
	電力流通設備の災害復旧支援システムの開発と実務適用 —災害情報共有プラットフォームの活用拡大—	45
	研究参事 サステナブルシステム研究本部 構造・耐震工学研究部門 朱牟田 善治	
15:25	【報告5】	
	電力設備の電気化学的手法による腐食劣化評価 —送電鉄塔とコンクリート構造物への適用—	57
	エネルギートランスフォーメーション研究本部 エネルギー化学研究部門 主任研究員 前田 真利	
15:45	【報告6】	
	電力設備用パワー半導体の長期信頼性評価と SiC パワー半導体による技術革新	71
	研究参事 エネルギートランスフォーメーション研究本部 材料科学研究部門 研究推進マネージャー（パワー半導体） 土田 秀一	
	質疑応答（10分）	
16:15	閉会挨拶	
	専務理事 曽根田 直樹	
16:20 (予定)	閉会	



【概要紹介】

電力インフラの価値向上に向けたマネジメント

—環境変化への対応、長期運用、更新判断に寄与する技術開発—

研究成果報告会2025

2025年11月13日

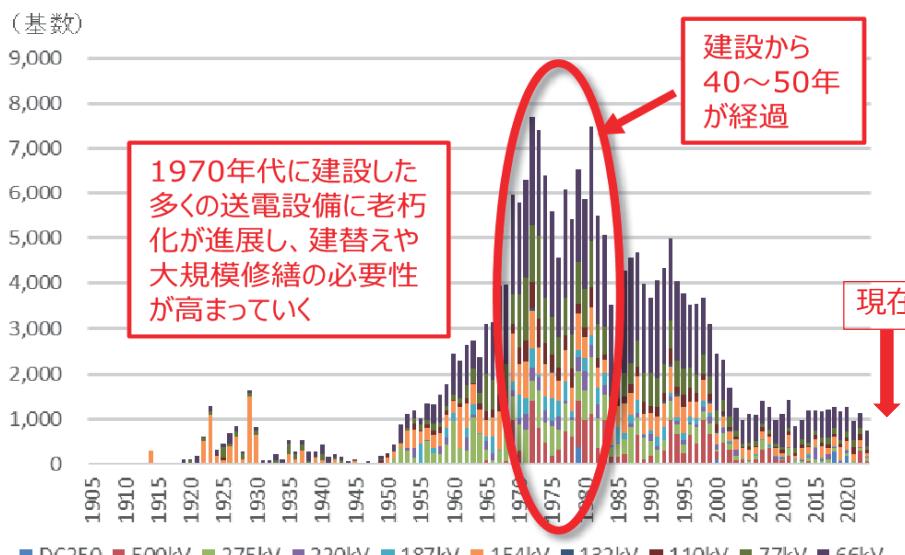
電力中央研究所

© CRIEPI 2025

電力中央研究所

全国の送電鉄塔の建設年別の基数（2023年度末）

■送電鉄塔の高経年化も、他の社会インフラと同様に進展

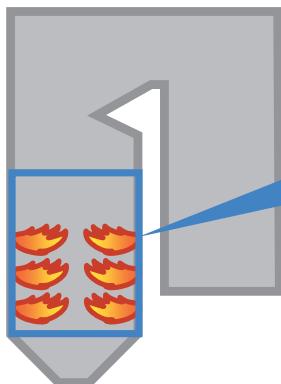


© CRIEPI 2025

1

火力発電のボイラ水冷壁管の劣化事例

■ボイラ側面図



■硫化腐食による減肉

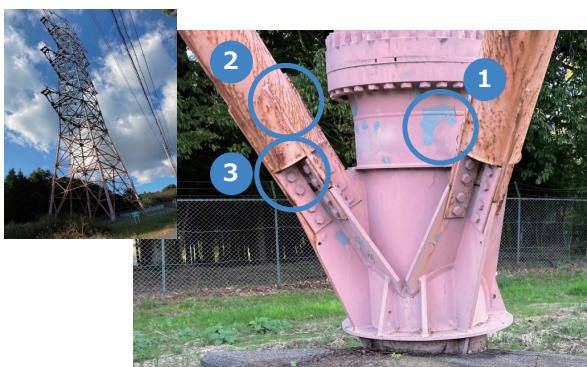
■溝状腐食
(ファイヤークラック)

© CRIEPI 2025

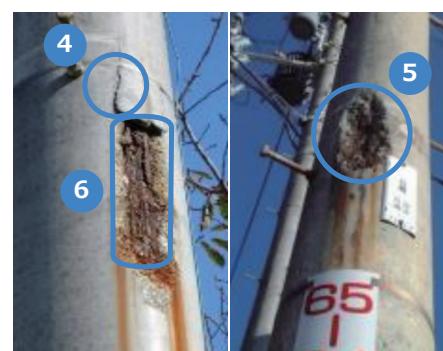
2

鉄塔塗装とコンクリート構造物の劣化事例

試験鉄塔（電中研・赤城試験センター）



コンクリート電柱



出典：参考文献1の図2を元に電中研作成

- 1 塗膜の劣化（剥離やひび割れ）
- 2 鑽の発生
- 3 腐食の進行

- 4 コンクリートのひび割れ
- 5 コンクリートの剥離
- 6 鉄筋の露出や腐食

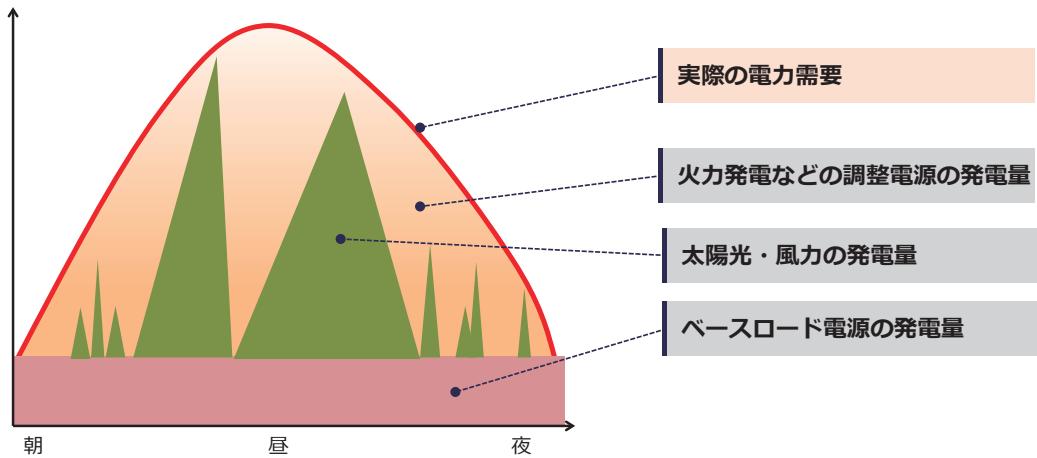
参考文献1：橋本達朗ほか、コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.1, 2014, pp.982-987.

© CRIEPI 2025

3

変動性再エネの大量導入に伴う運用変化

- 変動性再エネが大量導入される中で需給バランスを維持するには、
調整電源やバックアップ電源が不可欠
- 出力調整（起動・停止含む）可能な火力発電などは、調整電源等の役割が高まる

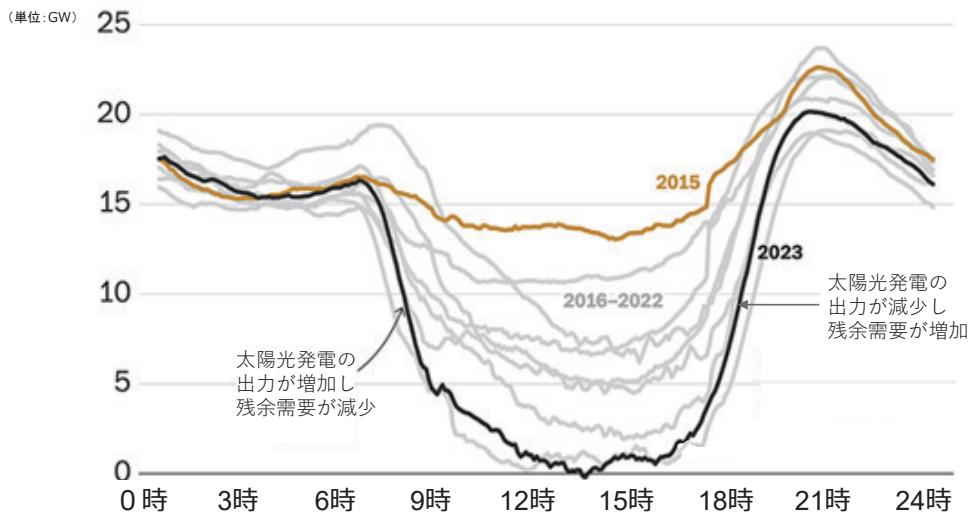


出所：資源エネルギー庁「再生可能エネルギー拡大に欠かせないのは「火力発電」！？」より抜粋・作成

(参考) 米国カリフォルニアにおける1日の残余需要※の変化

※電力需要から太陽光発電と風力発電を差し引いたもの

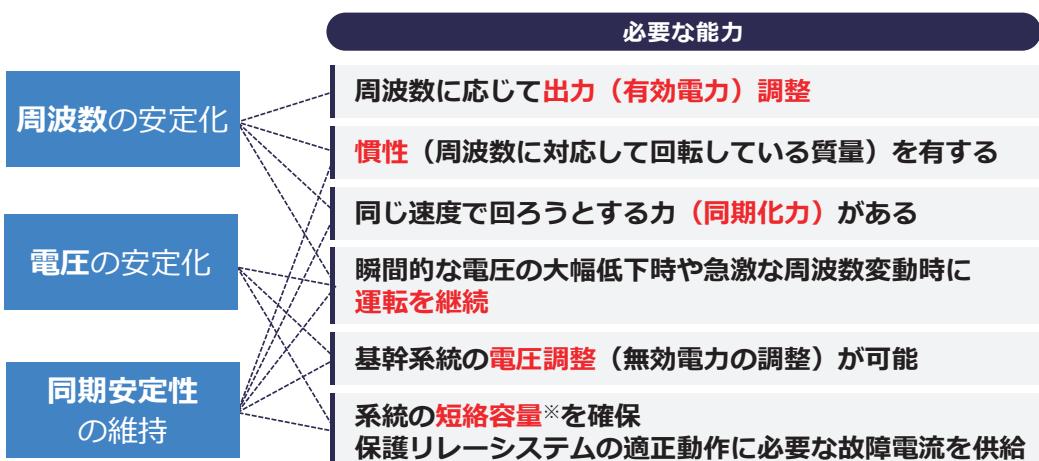
- 太陽光発電等の増加により、調整対象となる残余需要の変動が年々拡大



注) データ:毎年春(3月～5月の間)の残余需要が最も低い日
出典:米国エネルギー情報局(EIA)、カリフォルニア独立系統運用機関(CAISO)の情報をもとに作成

電力システムの安定性維持に必要な能力

■電力システムの安定性（周波数・電圧・同期安定性等）を維持するためには、様々な能力が必要であり、現状では、主に大容量の同期電源（火力発電機等）が保有・提供



自然災害の激甚化による電力設備への影響



早期電力復旧情報プラットフォーム構成イメージ図

早期電力復旧情報プラットフォーム (RESI)

△ 情報連携



電力インフラの役割とニーズの高まり

電力システムの役割

安定・安価・低炭素の電気エネルギーの供給

- 設備容量 (kW)
- 特に低炭素発電量 (kWh) の確保
- 供給力、調整力、系統の安定運用、...

ニーズの高まり

長期運用

経年劣化の影響が少ない、運用変化に強い、補修・更新が容易

判断基準の高度化

状態監視保全 (CBM)、データ活用、シミュレーション解析の活用

労働力減少

保守性

点検・調査が容易、作業に伴う運転停止が短い

新技術の活用

省力・省人化

IoT/データ活用技術、センシング/ドローン/衛星データ

防災・減災

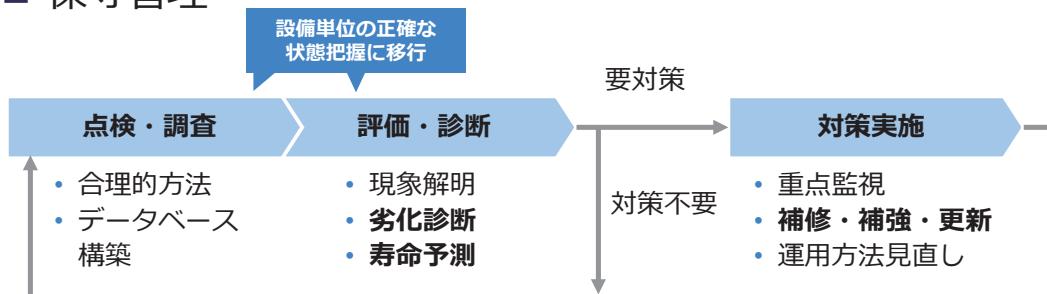
事故・自然災害への耐性、公衆災害の防止

レジリエンス

事故・自然災害時の早期復旧

保守管理とマネジメント

■ 保守管理



■ マネジメント

- 設備単位
- 相互に関連する設備集合
- システム・ネットワークレベル
- LCC評価、費用対効果分析
- レジリエンス確保

パフォーマンス
(機能・性能)

リスク

高経年化等

最適な運用
長期計画策定

コスト

補修・補強・更新

電力インフラの価値向上の要素と報告会の構成

価値向上の要素

**更新判断と
高経年化対策**

**運用変化
対応**

**自然災害
対応**

**設備保全・
合理化**

**性能向上・
非化石等増発電**

報告会の構成

報告 1 電力流通設備のアセットマネジメントへの貢献

レベニューキャップ
制度の導入

設備のリスク評価
精緻化

リスクベースから
バリューベースへ

報告 2 火力発電設備の運用変化に伴う課題への対応

調整電源+
バックアップ電源

脱炭素燃料の利用

運用変化に応じた
設備の保守・管理

報告 3 水力発電設備の高経年化・自然災害リスクへの対応

土砂流入の予測評価・
軽減

損壊リスク評価の
合理化

補強・補修技術の
開発

報告 4 電力流通設備の災害復旧支援システムの開発と実務適用

— 災害情報共有プラットフォームの活用拡大 —

報告 5 電力設備の電気化学的手法による腐食劣化評価

— 送電鉄塔とコンクリート構造物への適用 —

報告 6 電力設備用パワー半導体の長期信頼性評価と SiCパワー半導体による技術革新

原子力プラントの運用を支援する研究開発 (1/2)

設備保全・合理化

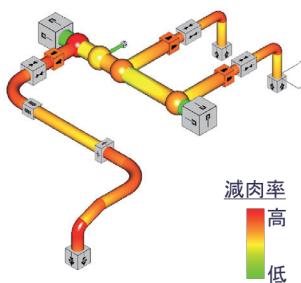
■配管減肉現象の予測評価法の開発や規格化を進め、設備保全・合理化に寄与

■PDセンターを設置・運営し、原子力プラントの適切な健全性評価に基づく
安定運転や技術基準適合確認などに貢献

PD : Performance Demonstration

■配管破損時の漏洩挙動の解明と影響評価、照射脆化メカニズムの解明と予測技術開発、応力腐食割れ(SCC)評価、腐食抑制等に向けた給水管理なども実施

当所独自開発の配管減肉予測ソフトウェア
FALSETによる解析例、JSME規格化



PDセンターの運営

軽水炉ステンレス鋼配管溶接部の
亀裂高さ測定の超音波探傷の検査
能力を確認する資格・認証制度に
おいて、当所はPD資格試験機関の
許認可を受け、技量試験を実施

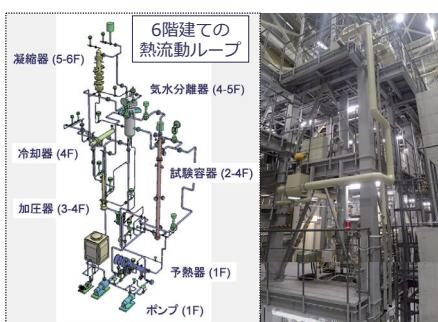


原子力プラントの運用を支援する研究開発 (2/2)

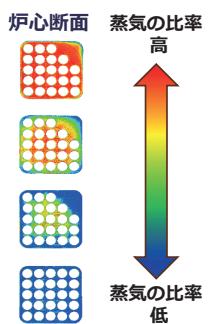
原子燃料・炉心の性能向上

- 独自の高解像度計測装置を備えた実験設備を所有。炉内熱流動挙動の解明と解析コードの高精度化、新型燃料等の許認可に不可欠な検証データの提供等に貢献
- 事故耐性燃料（ATF）・制御棒等の事故時挙動評価なども実施

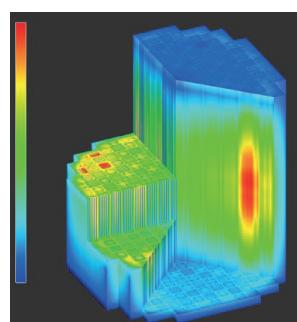
軽水炉三次元熱流動実験設備



炉心内の気液二相流の
再現実験と計測例



炉心出力分布の詳細解析



© CRIEPI 2025

12

ご清聴ありがとうございました

IR 電力中央研究所

Central Research Institute of Electric Power Industry



© CRIEPI 2025

13



【報告 1】

電力流通設備の アセットマネジメントへの貢献

電力中央研究所 研究参事
グリッドイノベーション研究本部 ファシリティ技術研究部門
副部門長 高橋紹大

研究成果報告会2025
2025年11月13日
 電力中央研究所

© CRIEPI 2025

 電力中央研究所

本報告でお伝えしたいこと

本報告では**電力流通設備の高経年化対策**（経年劣化への対策）について、
日本の新託送料金制度を踏まえて説明する

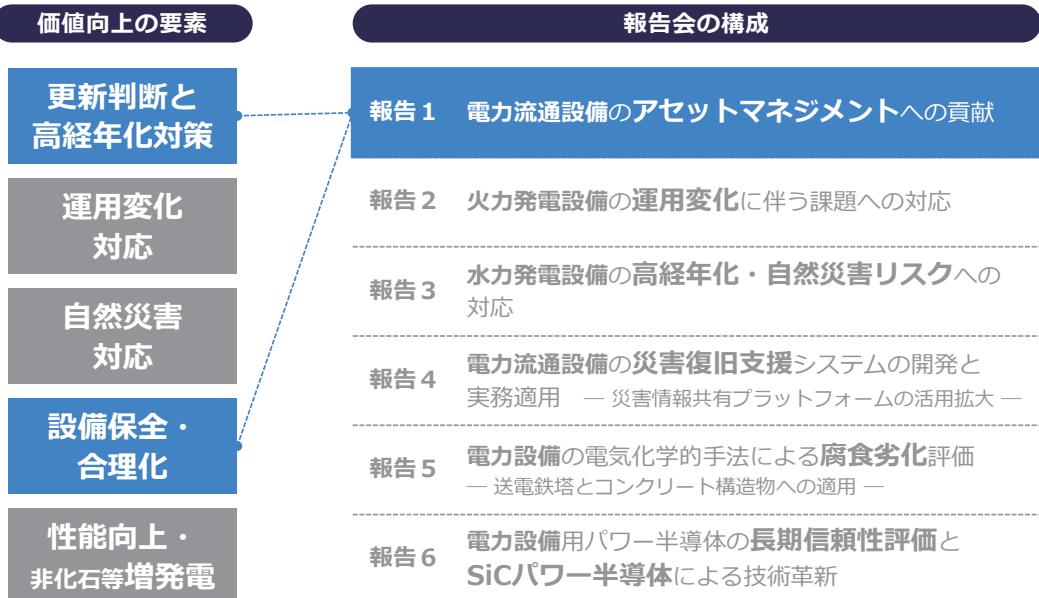
新託送料金制度では**日本全体で共通のリスク評価手法**がOCCTOの「高
経年化設備更新ガイドライン（GL）」（2021年策定）の中で規定され
たが、当所では**その策定に寄与したデータ**、および**今後の改定への寄与が
見込まれるデータ**を取得・蓄積してきており、その状況について紹介する

最後に今後の方向性として、ISO55000シリーズで言う「アセットから
の価値」を評価指標とすべく、**リスクベースからバリューベースへの移行**
を展望する

© CRIEPI 2025

1

本報告の内容は電力インフラに対し どのような価値向上の要素を持っているか



報告内容

1. 日本における電力流通設備のアセットマネジメント（現状）

2. リスク評価精緻化に向けた当所の取組み

- ① 送電設備（送電用CVケーブル）
- ② 変電設備（油入変圧器）
- ③ 配電設備（配電用CVケーブル）

3. おわりに

1. 日本における電力流通設備のアセットマネジメント（現状）

従来より、一送各社では社会的コストダウン要請に対応し、また、託送料金に対する説明責任を果たすため、設備保全方策の合理化を進めてきた

これに対し当所は主要設備を対象とした状態診断技術開発を進め、個別設備のアセットマネジメントへの貢献を志向してきた

(例) 送電設備：架空線、地中線（OFケーブル/CVケーブル）、鉄塔
 變電設備：油入変圧器、ガス絶縁開閉装置（GIS）/ガス遮断器（GCB）、避雷器
 配電設備：配電用CVケーブル、柱上変圧器、コンクリート柱/腕金

高経年化設備更新ガイドラインについて

■我が国では2023年度よりレビュー・キップ制度を導入した新しい託送料金制度に移行

新託送料金制度への移行にあたり、近年の設備の高経年化に対する問題意識を受け、高経年化した設備を合理的に更新できるよう、アセットマネジメントの考え方を取り入れた「高経年化設備更新ガイドライン（GL）」（2021年）がOCCTOにより策定され、更新計画作成に活用されることとなった

評価対象：鉄塔、送電線、送電用ケーブル、変圧器、遮断器、電柱、配電線、配電用ケーブル、柱上変圧器

※ それぞれ主要種別・電圧階級が対象

GLの評価手法は「全国統一の手法」として導入され、今後も規制期間の切替りごとに改定・維持されることが見込まれる

GLの基本的考え方

GLの基本的な考え方は**リスク量 = 故障影響度（円換算）×故障発生率（故障率）**として求める値を評価指標とすること

設備状態で決まる**故障率**は設備ごとに、経年に加えて使用環境や使用状況等が補正係数により反映された「ヘルススコアH」により算出される計算式から求められる（英國CNAIMの手法に準拠）

$$\text{故障率 } \lambda(H) = K \cdot \left\{ 1 + C \cdot H + \frac{(C \cdot H)^2}{2} + \frac{(C \cdot H)^3}{6} \right\}$$

※単調増加の三次関数、Cは一定値、Kは設備ごとに設定

$$H = 0.5 \cdot \exp \left\{ \ln \left(\frac{5.5}{0.5} \right) \cdot \frac{t}{t_0} \right\} \cdot A_3 \cdot A_4$$

※ t:経年、t₀:標準期待年数（標準仕様状態で劣化の兆候が表れ始める年）、A₁:場所係数、A₂:使い方係数、A₃:ヘルススコア係数、A₄:信頼度係数

※ GL策定にはK値、標準期待年数、場所係数等の設備実態に合わせた設定が必要

各種パラメータの根拠データ

GL策定時は、日本の設備実態に合った故障率の値が得られるよう、対象設備の故障実績や劣化様相分析結果が活用された

また第二規制期間以降に向けた改定の中で、設備実態データをさらに拡充し、精度向上を図ることが提言されている

2. リスク評価精緻化に向けた当所の取組み

① 送電設備（送電用CVケーブル）

送電用CVケーブルの経年劣化特性把握

貢献の概要

撤去ケーブルの残存性能試験（前駆遮断試験）により、布設環境別の経年劣化特性（標準的な性能低下傾向）の把握を進めている。このデータはGLのヘルススコア算出で使用されるパラメータ（K値、標準期待年数、場所係数等）算出に寄与した

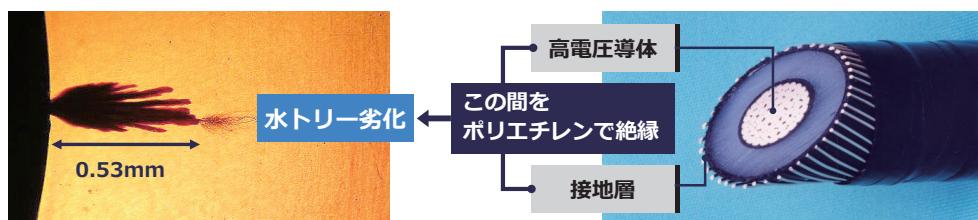
- 現行GL策定時に利用された撤去品データは、主に「非遮水・非洞道」タイプの66/77kV CVケーブルについて取得されたもので、少数の遮水層付きケーブルのデータと合わせてパラメータ設定に活用された
- 遮水層付きケーブルの適用拡大・経年進行を背景に、近年は遮水環境（洞道布設を含む）のデータ拡充を進めている
- さらに電圧階級の高いケーブルのデータも必要となると想定され、110/154kV用の試験設備導入を進めている

経年CVケーブルの劣化特性の取得（送電）

電力各社（当時）では高経年化が進むCVケーブルの劣化特性を把握すべく、H13～H15年に中央電力協議会（当時）要請研究を設定、当所は前駆遮断試験設備を有する試験棟を建設のうえ、各社からの撤去ケーブル（22kV～77kV）に対し試験を実施、要請に応えた

以後、個別・共同の受託研究等、およびH23年度以降は再び全電力（全一送）共同の枠組みにて、継続的に撤去ケーブルの残存性能試験を実施

非遮水ケーブルについては概ね特性把握が終了し、以後は遮水構造または非遮水構造のうち非水場設置環境にあったケーブルを中心でデータを取得、またより高電圧クラス（110/154kV）への対応を進めている

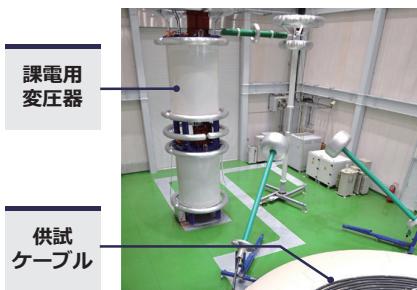


CVケーブル前駆遮断試験

- 通常の破壊試験と異なり、撤去ケーブルの残存耐電圧値に加え、耐電圧値を下げる要因となる水トリーを見つけることができる

- 高電圧課電によりに水トリー先端で発生する部分放電（絶縁破壊の前駆現象）を検出
 - 印加電圧を瞬時に遮断
 - **水トリーを残したまま耐電圧値を取得**
 - 水トリーの位置を標定し、ケーブル絶縁体から切り出して形状、長さを取得

CVケーブル前駆遮断試験設備

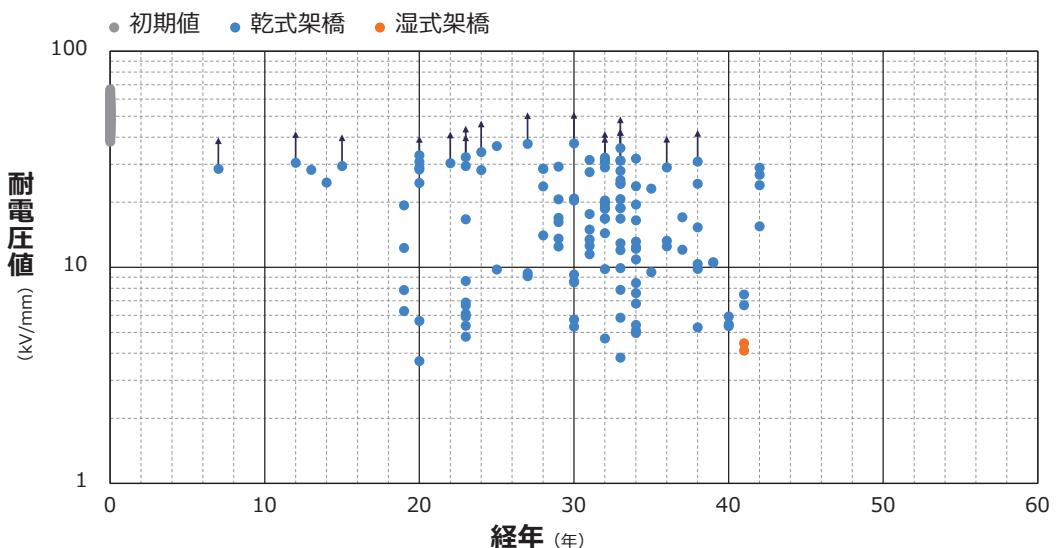


- 200m程度までの長尺CVケーブル全体の試験が可能
 - 10cm程度の分解能で水トリー位置を標定可能
 - 水トリーを破壊することなく取り出し可能
→ 世界的にも唯一の装置

© CRIEPI 2025

10

経年と残存耐電圧値の関係 (66/77kV、非遮水・非洞道布設)

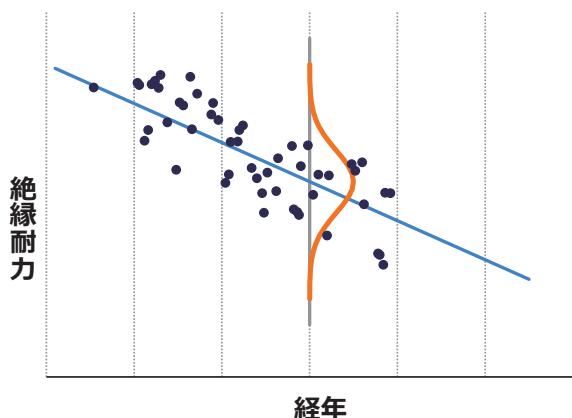


※上矢印付プロットは、設備の課電電圧上限値で前駆遮断しなかったデータを示す

© CRIEPI 2025

11

残存耐電圧特性から 故障率-経年特性を把握する手順

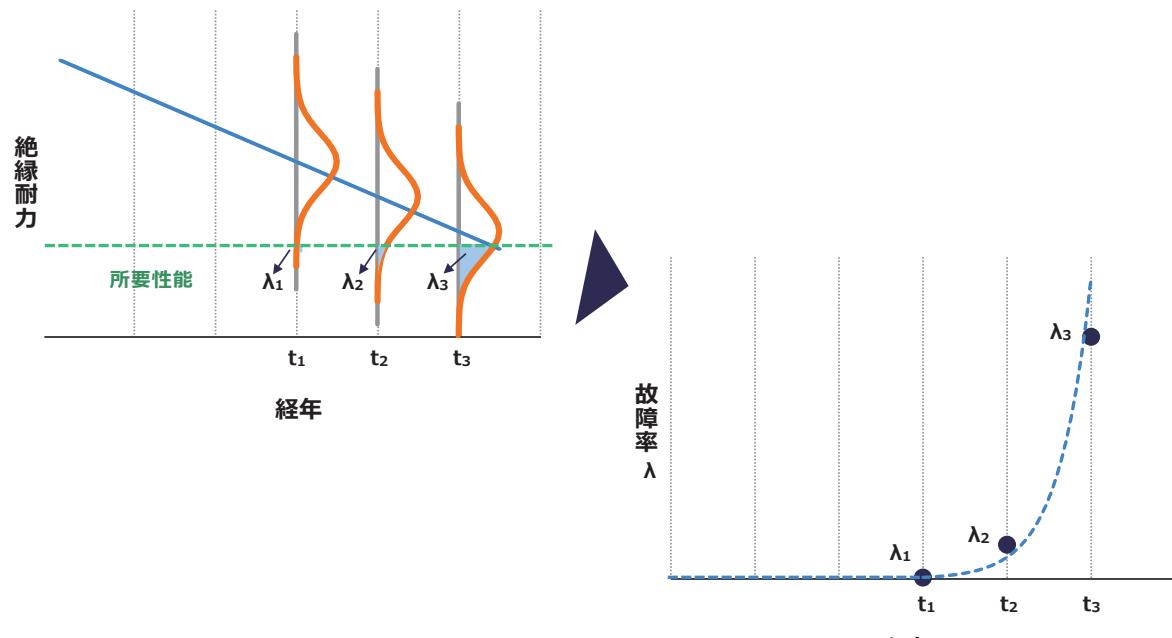


※データはイメージ

© CRIEPI 2025

12

残存耐電圧特性から 故障率-経年特性を把握する手順



※データはイメージ

© CRIEPI 2025

13

ケーブル種別・布設形態の分類（水分影響の観点）

※CVケーブルの耐電圧値は水トリー劣化様相で決まる

→水分影響で故障率特性が変わる（これまでの主対象は水分影響ありの条件）

ケーブル種別：遮水層の有無

■ 遮水層付きCVケーブルの構造イメージ



布設形態

■ 洞道内布設



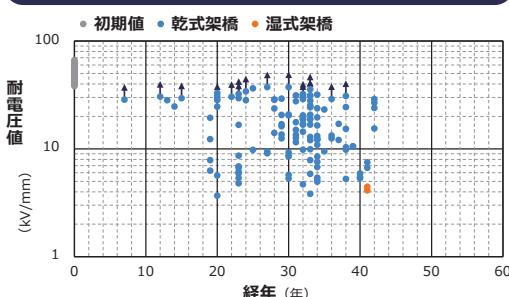
■ 管路布設



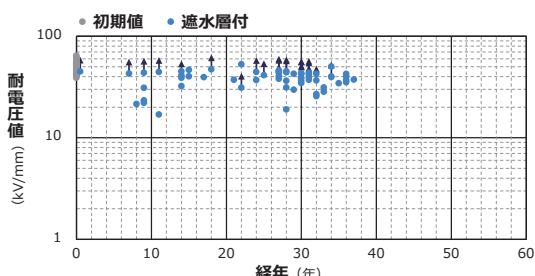
遮水層付or洞道布設では絶縁体が水分に触れにくく、
劣化進行が遅いと想定される

経年と残存耐電圧値の関係（66/77kV）

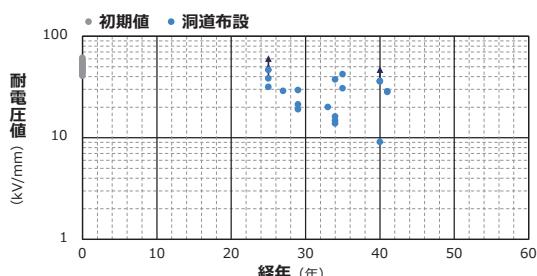
非遮水・非洞道（従来の主対象）



遮水層付（近年の拡充対象）



洞道布設（近年の拡充対象）



2. リスク評価精緻化に向けた当所の取組み

② 変電設備（油入変圧器）

油入変圧器の余寿命評価技術の開発

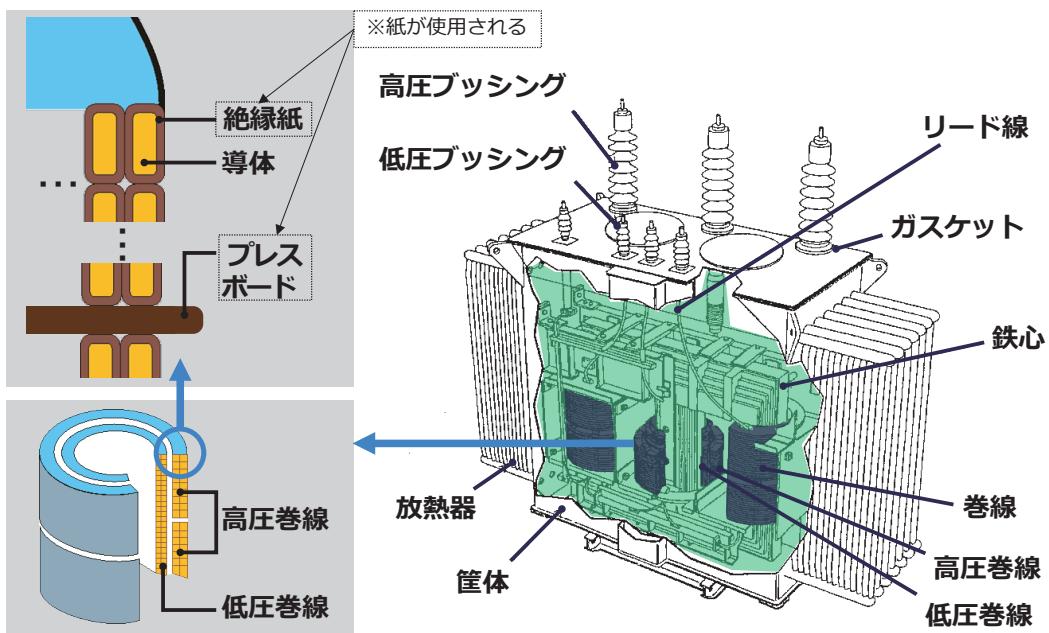
貢献の概要

寿命指標と考えられている**巻線絶縁紙の機械強度低下**に基づき、**負荷実態を反映した余寿命評価法を開発**してきた。従来の変圧器は絶縁紙には普通紙、絶縁油には鉛油を用いているが、近年**耐熱紙や植物油を採用する変圧器が増加**していることを受け、これらに対応できる劣化特性データ*を取得し、評価法の拡張を行った

*現行GLでは鉛油・普通紙の組合せを想定したパラメータ設定が行われたが、将来の改定時には耐熱紙／植物油採用変圧器への対応が必要とされることも想定され、標準期待年数を設定する根拠データとして活用可能

- 耐熱紙**はアミン系化合物等の添加により普通紙よりも熱劣化が抑制される
- 絶縁紙の熱劣化は紙の中の水分により加速されるが、**植物油**は鉛油よりも飽和水分量が大きく、紙から水分を吸収するため熱劣化が抑制される

油入変圧器の構造

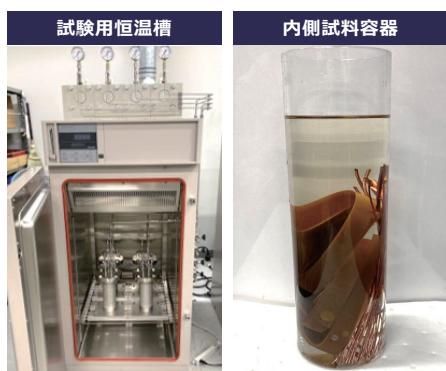


絶縁紙の熱劣化特性（熱加速劣化試験）

配電変電所用クラスの変圧器を模擬した劣化条件を設定

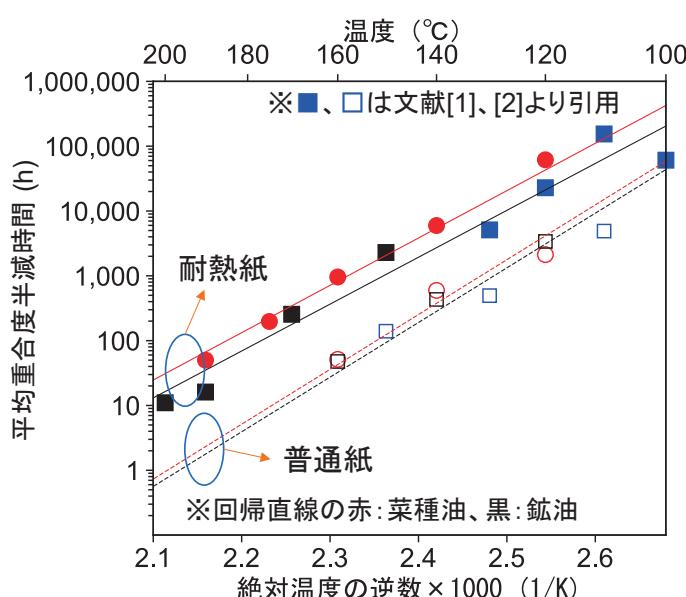
- 変圧器構成材料である銅（電線）、ケイ素鋼板（鉄心）、普通紙／耐熱紙、鉱油／植物油（菜種油）を容器に封入し、恒温槽にて加熱
- 紙の機械強度と相関のある平均重合度（残率）を評価指標とする
- 劣化条件：最長の加熱時間で絶縁紙平均重合度残率が50%を下回る想定にて設定

	150°C	170°C	190°C	200°C
22時間				●
36時間				●
72時間			●	●
216時間	●	●	●	●
360時間		●	●	
720時間	●	●	●	
2160時間	●	●		
6480時間	●			



※熱劣化条件例（耐熱紙－鉱油）

平均重合度半減時間の温度特性 (アーレニウスプロット)



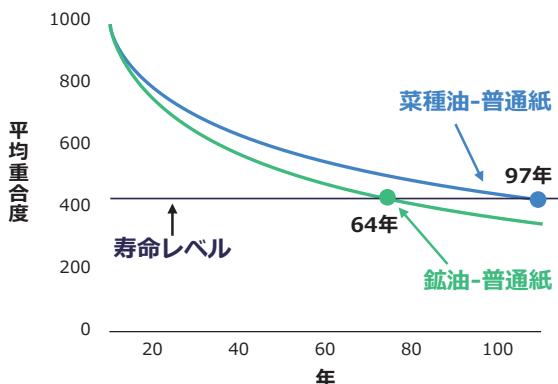
平均重合度半減時間は、普通紙と比較して耐熱紙の方が長く、また普通紙、耐熱紙とも鉱油中よりも植物油（菜種油）中の方が長い、すなわち劣化進行が遅い

※アーレニウスプロットの傾きからセルロースの分解反応速度が温度の関数として得られる。これにより、任意の温度履歴を経た絶縁紙の平均重合度が計算できる

文献 : [1] 的場他, 絶縁油分科, No.2 (2022)
[2] 山中他, 絶縁油分科, No.10 (2018)

絶縁紙寿命評価例

実変圧器を想定した普通紙の寿命評価結果



■鉱油と比べて菜種油中で絶縁紙が約1.5倍の長寿命化、巻線平均温度が6°C上昇すると鉱油中と同等の寿命になる

▼
菜種油使用によりコンパクト化や冷却器削減、あるいは通電電流量増による増容量化や長期の過負荷運用の便益が見込まれる

2. リスク評価精緻化に向けた当所の取組み ③ 配電設備（配電用CVケーブル）

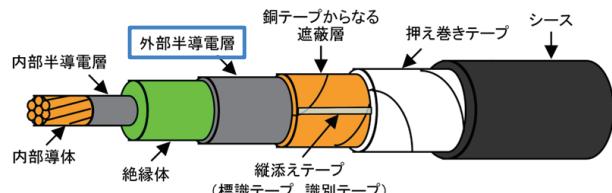
■配電用6.6kV CVケーブルについてはこれまでE-Tタイプについて絶縁劣化特性が調査され、寿命基準等が提案されているが、電気事業ではE-Eタイプが主流となっており、当所ではその経年劣化特性を撤去品調査を通じて進めてきた

配電用CVケーブルの経年劣化特性把握

貢献の概要

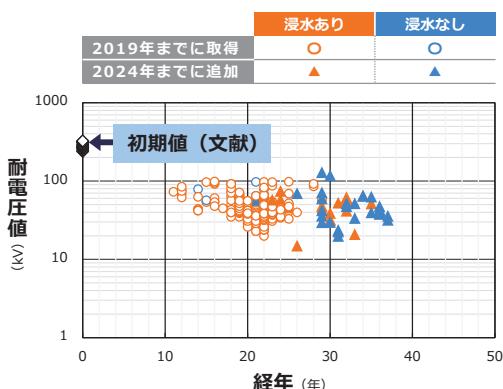
撤去ケーブルの残存性能試験（絶縁破壊試験、前駆遮断試験）により、布設環境別（水没／非水没）の経年劣化特性（標準的な性能低下傾向）の把握を進めている。このデータはGLのヘルススコア算出で使用されるパラメータ（K値、標準期待年数、場所係数）算出に寄与

※ E-Tタイプは外部半導電層を半導電テープ巻きで形成するが、E-Eタイプは絶縁体と同時に押出し形成するため、界面の突起形成・電界集中が抑えられる



経年CVケーブルの劣化特性の取得（配電）

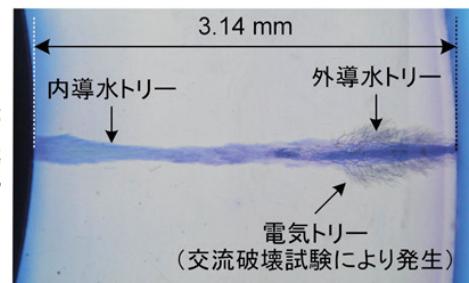
- 高経年（30年超）E-Eタイプケーブルの絶縁性能を撤去品調査を通じて調査し、経年劣化特性の取得を進めている
- 劣化様相はE-Tタイプと同様に水トリー劣化の進行であるが、E-Tタイプを対象に開発してきた各種診断手法の判定基準適用可否についても確認を進めている（現行基準にて橋絡水トリーを診断できる見込み）



(文献) 橋詰, 他. 電気学会論文誌A, Vol.111, No.7, pp.659-666, 1991

© CRIEPI 2025

■ 内外半導電層を橋絡している水トリー例



22

リスクベースからバリューベースへ（1/2）

当所では各種電力流通設備を対象に劣化メカニズムの分析と状態診断技術開発を進めており、個別設備のアセットマネジメントへの貢献を志向してきた。これはTBM (Time Based Maintenance) からCBM (Condition Based Maintenance) への移行の支援となる

一方、日本ではレベニューキャップ制導入に伴い、GLによるリスク量評価に基づく設備の高経年化対応を行うこととなった。これはリスク評価可能な設備に対するRBM (Risk Based Maintenance) 導入を意味する

GLは日本全体で統一の評価手法であり、今後の規制期間切り替えに伴う定期的な改定の中で、全一送共通でより広範にRIDM (Risk-Informed Decision Making) が求められていくと想定される

当所はこの流れに対し、各種電力流通設備の状態評価（故障率評価）を通じた貢献を継続実施する

© CRIEPI 2025

23

リスクベースからバリューベースへ (2/2)

なお、アセットマネジメントの国際規格ISO55000シリーズでは、「アセットマネジメント」を「アセットからの**価値**を実現化する組織の調整された行動」と定義している

「**価値 (Value)**」には「**財務的価値**（収益やコスト低減など）と**非財務的価値**（環境・安全、社会的責任など）」があり、アセットマネジメントとはこれらの項目を複数、適切に組み合わせた評価を行うものと考えられる

これまでの電力流通設備を対象としたアセットマネジメント評価技術導入の検討では、コストやリスクの低減分のみを**価値**ととらえ、また設備数（規模、所要品質）は変えない前提で評価することとしている

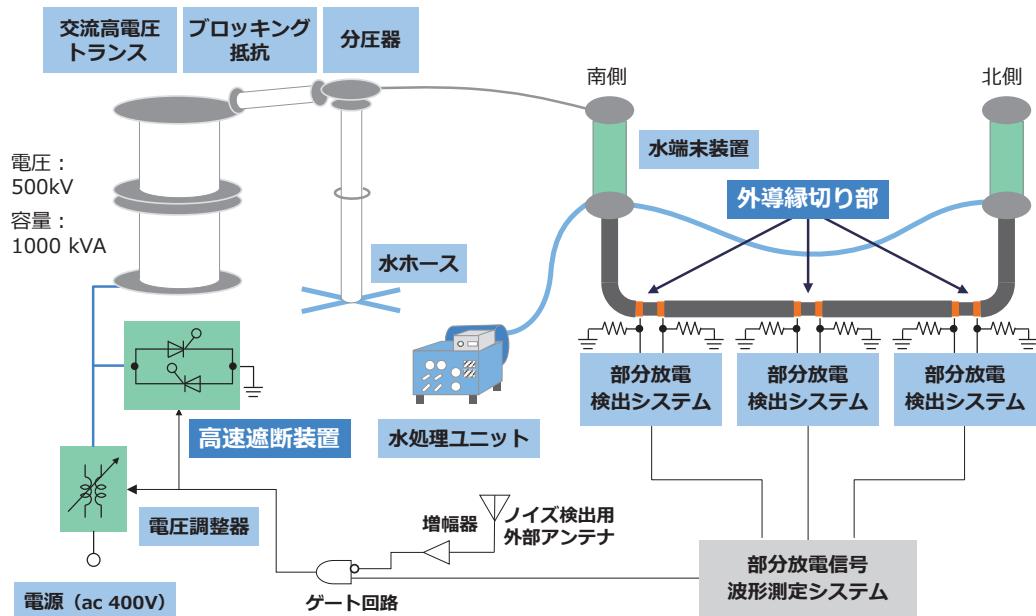
そこで将来的には、多面的な**価値評価**に基づくアセットマネジメント手法として、例えば、地域や需要の特性に基づく**個々の価値**の考慮方法を検討し、設備構成（設備規模など）や設備運用（過負荷を許容する運用など）の最適化検討に資する、**バリューベースの評価指標**の構築・提案、および評価ツールの開発を目指したい

ご清聴ありがとうございました

 **電力中央研究所**

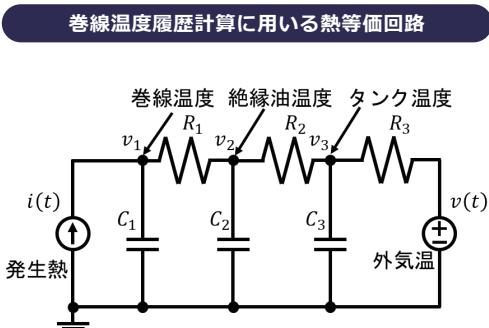
Central Research Institute of Electric Power Industry

【参考】前駆遮断試験装置の構成



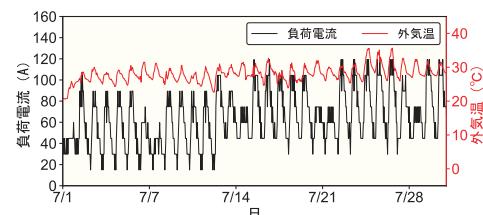
【参考】当所既開発の絶縁紙寿命評価手法

- 巻線温度履歴を計算して変圧器内の絶縁紙寿命を評価
- 負荷及び外気温の履歴（将来推定含む）を元に熱等価回路から巻線温度を算出

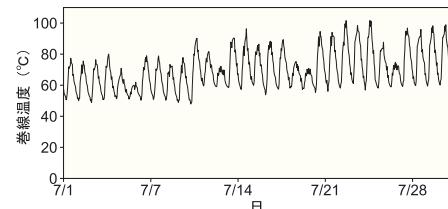


あらかじめ取得した絶縁紙の熱劣化特性に基づき、巻線温度履歴から平均重合度低下推移を計算

年間負荷パターンおよび外気温データ（抜粋）



計算で得られた巻線温度履歴（抜粋）





【報告2】 火力発電設備の運用変化に伴う 課題への対応

電力中央研究所 理事待遇
エネルギー・トランスフォーメーション研究本部
研究統括室長 渡辺和徳

研究成果報告会2025
2025年11月13日
電力中央研究所

© CRIEPI 2025

電力中央研究所

本報告でお伝えしたいこと

太陽光発電などの変動性再生エネの導入拡大に伴い、火力発電の調整力への期待が増しており、現状でも頻繁な起動・停止や出力変化等を伴う過酷な運転をせざるを得ない状況にある

火力発電が直面する運用変化と脱炭素燃料利用への変化に対応するためには、それらが原因で生じる、従来とは異なる機器劣化に応じた保守・管理が必要になる

運用変化に対しては、プラント動特性の把握ならびに熱疲労や起動停止に伴う水質悪化が、脱炭素燃料利用に対しては、燃焼ガス性状の変化やバイオマス貯蔵時の自然発熱や粉じん爆発が、機器劣化に及ぼす影響の評価と対応する保守・管理が重要になる

© CRIEPI 2025

1

本報告の内容は電力インフラに対し どのような価値向上の要素を持っているか

価値向上の要素



報告会の構成

報告 1 電力流通設備のアセットマネジメントへの貢献

報告 2 火力発電設備の運用変化に伴う課題への対応

報告 3 水力発電設備の高経年化・自然災害リスクへの
対応

報告 4 電力流通設備の災害復旧支援システムの開発と
実務適用 — 災害情報共有プラットフォームの活用拡大 —

報告 5 電力設備の電気化学的手法による腐食劣化評価
— 送電鉄塔とコンクリート構造物への適用 —

報告 6 電力設備用パワー半導体の長期信頼性評価と
SiCパワー半導体による技術革新

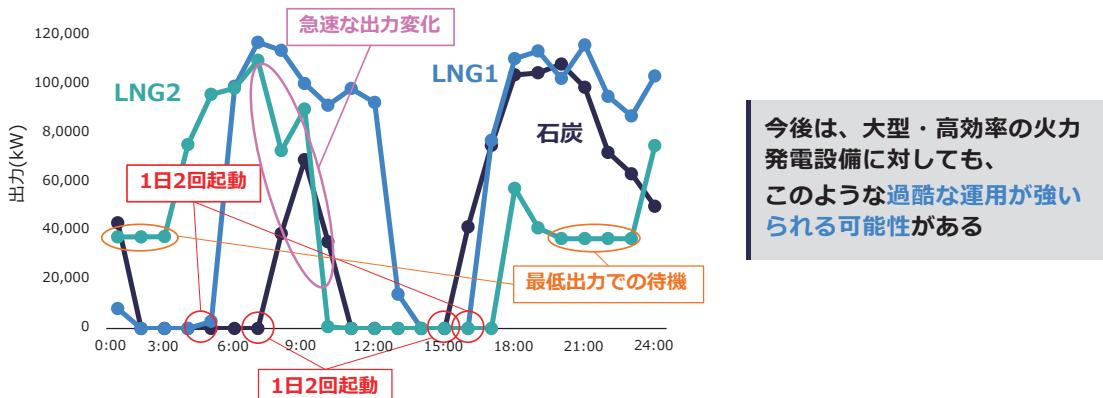
報告内容

1. 火力発電の運用変化と求められる性能
2. 想定される設備劣化と当所の取り組み
 - ① 運用変化に対応する保守技術
 - ② 脱炭素燃料利用に対応する保守技術
3. 将来に向けた保守に係る課題の展望
4. まとめ

火力発電の運用変化



火力発電の調整電源としての運転実績例



© CRIEPI 2025

OCCTO ユニット別発電実績公開システムを基に電中研でグラフを作成 4

電力供給面から火力に求められる能力

調整力運転の増加 に伴い設備利用率が下がる一方で、

変動性再エネの導入が拡大するほど

バックアップとしての供給力・予備力（設備容量）はさらに必要

求められる能力

火力の特長

電力の確実な供給力

高効率・大容量の設備による安定した供給力

電源不足を補う予備力

燃料があれば発電でき、正味のエネルギーを供給

今日でも我が国の発電電力量の約2/3を供給

需給バランスを保つ調整力

事故等による他電源の脱落の際に確実に発動

変動性再エネの発電状況を踏まえて出力を増減

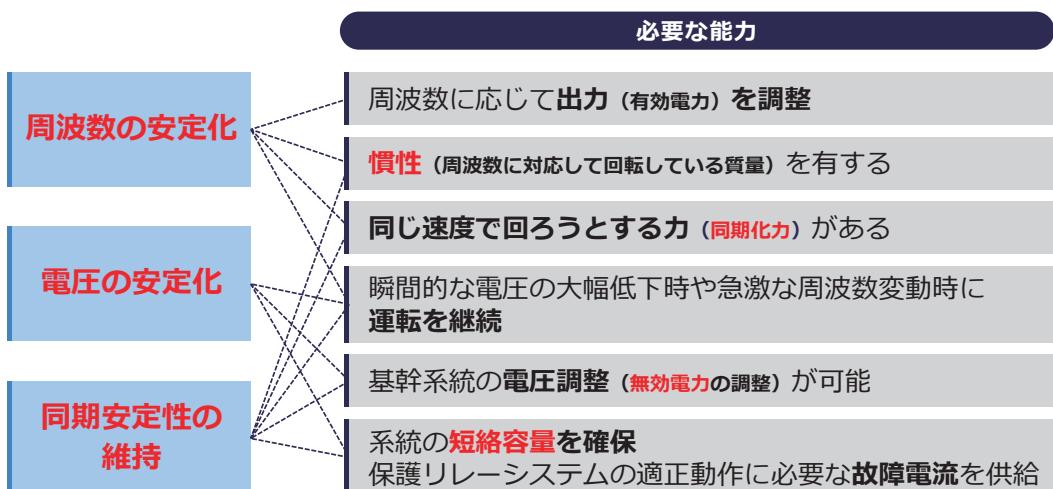
出力変化や起動停止等の機動性に優れる柔軟な運用性

© CRIEPI 2025

5

電力システムの安定性維持に必要な能力

下図の **赤字箇所は火力発電が従来備えている能力** であり、
変動性再エネの導入拡大や電力系統安定への貢献価値を保有



今後の火力設備活用の方向性と価値

■第7次エネルギー基本計画

『電力需要を満たす供給力、出力変動や周波数変動を補う調整力、系統の安定性を保つ慣性・同期化力として重要な役割を担っている』

火力発電設備活用の方向性

非効率な石炭火力

フェードアウト ⇒ カーボンニュートラル対応火力へのリプレース

既設ガスタービン複合発電や高効率石炭火力

バイオマス、アンモニア、水素等の脱炭素燃料との混焼 (+CCUS) によりトランジション期に活用

長期脱炭素電源オークションにより導入される**高効率ガスタービン複合発電**
LNGから脱炭素燃料への移行とCCSの導入を念頭に**2050年以降も活用**

**変動性再エネのさらなる導入拡大により、
電力供給、系統安定維持に対して現状以上の能力が必要**

▼
**火力発電の重要性は増加し、
適切な設計がなされた機器の導入が不可欠**

火力発電が今後も役割を果たしていくための課題

運用変化への対応に必要な技術の開発

- ・火力発電が持つ調整力に係る性能向上
 - ・起動時間の短縮
 - ・出力変化速度の向上
 - ・最低出力の引き下げ、等

本日の報告

既に顕在化しつつある多様で過酷な運転条件に耐える合理的な設備保守技術について、当所の取り組みと今後の展望を報告する

火力に適用するCO₂排出削減技術の開発

- ・脱炭素燃料利用技術の確立

火力が持つ価値の理解促進に向けた分かりやすい情報発信

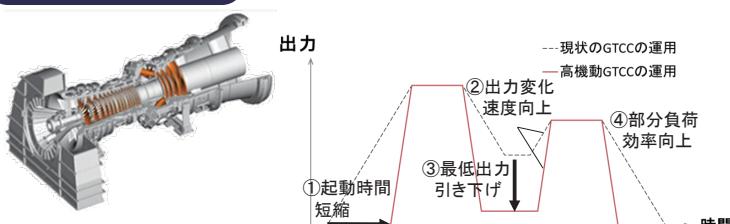
設備利用率が下がる状況下における事業成立性の確保

(参考) 当所の技術開発の実施例

運用変化への対応に必要な技術の開発

ガスタービン複合発電の機動性向上技術の開発

ガスタービンイメージ図



現在、NEDO事業において、左下記仕様の設備の実証に向けて、CO₂排出量削減や電力系統安定に及ぼす効果について、FSを実施中

開発目標

項目	目標値(2015年以前の性能)	主な効果
①起動時間短縮	10分（60分程度） ※ホットスタート	再エネ発電量予測はづれへの対応
②出力変化速度向上	20%/分（5%/分）	インバランスの解消
③最低出力引き下げ	10%（45%程度） ※一軸式GTCC	再エネの受け入れ拡大
④部分負荷効率向上	-10%（-15%） ※1/2負荷時における定格時の効率からの低下分（相対値）	燃料消費量およびCO ₂ 排出量の削減

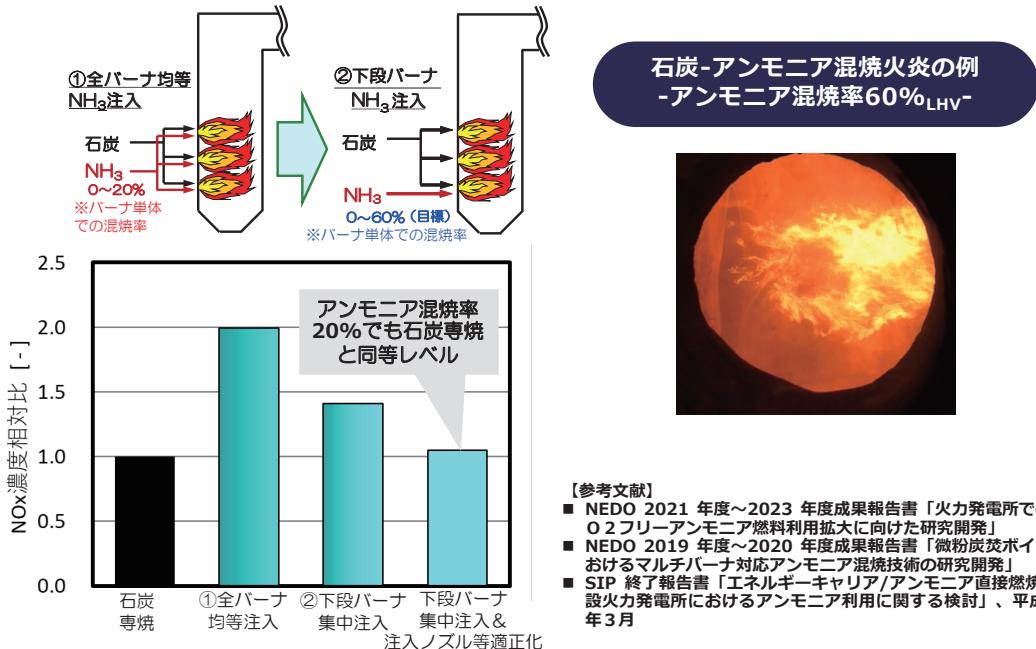
【参考文献】

- NEDO 2018年度～2021年度成果報告書「機動性に優れる広負荷帯高効率ガスタービン複合発電の要素研究」
- NEDO 平成29年度成果報告書「機動性に優れる広負荷帯高効率GTの開発」
- NEDO 平成28年度成果報告書「再生可能エネルギー大量導入時の電力系統安定化における火力発電の役割とガスタービンの負荷変動吸収能力の向上によるCO₂削減効果に関する調査研究」
- 平成26年度～平成27年度成果報告書「エネルギー・環境新技術先導プログラム「再生可能エネルギー大量導入時代の系統安定化対応先進ガスタービン発電設備の研究開発」」

(参考) 当所の技術開発の実施例

火力に適用するCO₂排出削減技術の開発

石炭火力発電におけるアンモニア混焼技術の開発



© CRIEPI 2025

10

2. 想定される設備劣化と当所の取り組み

①運用変化に対応する保守技術

プラント動特性評価技術

■起動停止の増加や頻繁な出力変化などの運用変化は、多くの既設設備では**設計外運転** ⇒設備に生じる異変や性能変化の知見がなく、**プラント動特性の把握が重要**

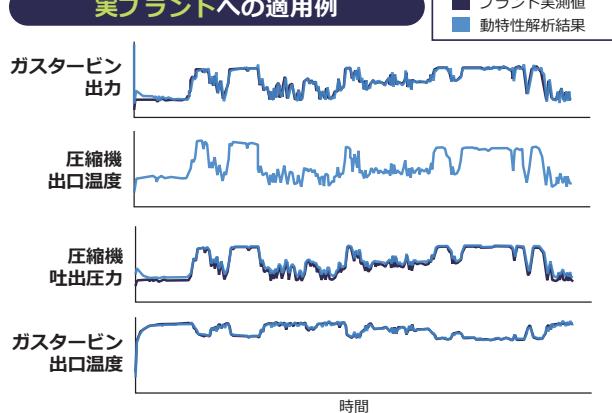
取り組み状況と今後の展開

- 出力変化速度など運転条件の変更に対応する動特性解析ツールを構築し、運転制約を考慮した調整力向上方策の提案を可能とした
- 数理解析技術の適用により、出力変化時の運転データからでも定格出力時の熱効率を評価可能とした

今後の展開

高速かつ高精度な熱疲労解析アルゴリズムを適用し、リアルタイム損傷評価の実現を目指す

実プラントへの適用例



出力指令値や運転実績値を入力することで、構成機器の動作や性能など、出力変化時の状態量を精度良く再現

© CRIEPI 2025

11

①運用変化に対応する保守技術

高温配管に対する余寿命診断技術

ロビー展示にて
詳細を紹介
しています

想定される設備劣化

- 頻繁な出力変化や起動停止により劣化の主要因がクリープ^{*1}から熱疲労^{*2}に変化

取り組み状況と今後の展開

- 過半数の電力会社の高効率石炭火力発電プラントを対象に、高温配管から微小サンプルを採取し、破壊試験結果に基づく実機配管の寿命に関する知見と実績を蓄積した
- 国の「余寿命診断に関する指針」への本技術の追加について、2025年度から専門委員会での審議が開始された



従来比1/8厚(0.5mm)のサンプル試験技術を確立し、実機配管からのサンプル採取を実現
(高効率石炭火力発電プラントにおいて世界初)

*1 高温下で使用中に負荷応力と時間で変形が進行する

*2 繰返応力によりき裂が発生・伝播する

今後の展開

運用変化に対応すべく、クリープ損傷だけでなく
「クリープ+熱疲労」損傷に関する診断技術の開発に展開する

①運用変化に対応する保守技術

ボイラ給水処理の最適化技術

ロビー展示にて
詳細を紹介
しています

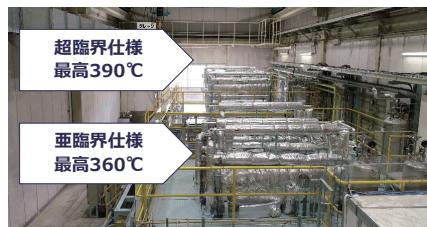
想定される設備劣化

- 高頻度の起動停止に伴う水質悪化により、管内面に腐食やスケールが生成

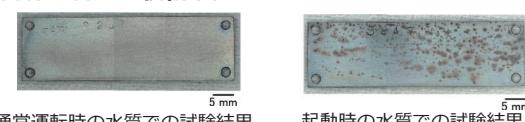
取り組み状況と今後の展開

- 火力発電プラントの水質模擬に特化した「火力給水処理試験設備」を導入した
- 通常運転時と起動時のそれぞれの水質において配管材の腐食試験を実施し、溶存酸素濃度が高い等の理由により起動時の水質では腐食が生じやすいことを明らかにした
- 発がん性が疑われる水処理薬剤（ヒドラジン）の代替候補物質を対象に、広範な温度域における腐食影響を評価した

■ 火力給水処理試験設備



■ 配管材の腐食試験結果例



今後の展開

起動時等の水質変動下でも腐食を抑制できる最適なボイラ給水処理技術の検討を進める

②脱炭素燃料利用に対応する保守技術

ボイラ伝熱面の腐食対策技術

ロビー展示にて
詳細を紹介
しています

想定される設備劣化

- バイオマスの燃焼により発生するNaCl等の溶融塩による腐食

1. クリーピーコート®の開発

取り組み状況

- 短期施工かつ安価な耐腐食コーティング（クリーピーコート®）を開発し、その効果を実機ボイラにおいて検証するとともに、7年の耐久性を確認した
- 既存の腐食対策である溶射皮膜の上から施工し、溶射皮膜の延命効果を検証した

実機ボイラにおける
クリーピーコート®
施工箇所

今後の展開 バイオマス等による溶融塩腐食対策に適した耐腐食コーティングの開発を進める

2. 腐食箇所を特定する非破壊検査技術の開発

取り組み状況

- ボイラ伝熱面に紫外線を照射することで得られる発光から、非接触で高速に広範囲の硫化腐食箇所を特定できる簡易な手法を開発した

今後の展開

検査結果の定量化やドローンへの搭載など、実用化に向けた検討を行う

②脱炭素燃料利用に対応する保守技術

バイオマス利用時の自然発熱監視・抑制技術

想定される設備劣化

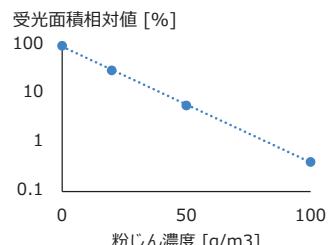
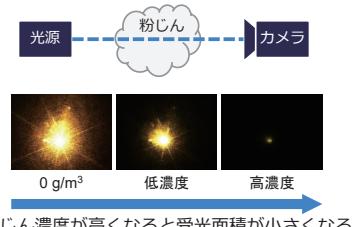
- 貯蔵・運搬時の自然発火や粉じん爆発による設備の大規模損傷

取り組み状況と今後の展開

- 石炭の自然発熱現象の知見を活用し、水分吸着、発酵、低温酸化の過程に分けて、バイオマス燃料の自然発熱の現象解明を実施中

- 運搬時の粉じん濃度を適切に把握するため、粉じん爆発が生じ得る高濃度領域(～100 g/m³)に対応する濃度測定方法を開発した

- 当所開発の高濃度粉じん濃度測定方法および粉じん濃度と受光面積との関係



今後の展開 貯蔵時の発熱により発生する臭気やガス成分に着目した早期に発熱を検出可能な監視技術を開発し、発電所の貯蔵所の監視に適用する

②脱炭素燃料利用に対応する保守技術

アンモニア混焼時の腐食評価技術

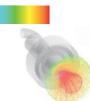
想定される設備劣化

- アンモニア混焼によりボイラ内での腐食の発生位置や伸展速度に変化

取り組み状況と今後の展開

- 実機ボイラを対象に、アンモニアの熱分解特性を反映した燃焼数値解析技術を開発した
- 蓄積した腐食試験データに基づき腐食環境の評価手法を開発中

低 高



バーナ
アンモニア混焼時の
バーナ・ボイラ温度の数値解析の例

腐食環境予測技術

アンモニア熱分解特性の取得

腐食試験データ蓄積

アンモニア混焼環境を模擬した腐食試験

アンモニア熱分解特性を反映した数値解析技術の開発

ガス組成、材料温度、材料種、試験時間等の影響把握

アンモニア混焼時の実機ボイラの燃焼解析

アンモニア混焼時の腐食環境評価手法の提案

アンモニア混焼時の腐食環境評価

アンモニア混焼模擬環境における
ボイラ材料腐食時の断面写真



今後の展開

腐食環境の評価結果を踏まえたボイラの保守計画の合理化に向けた判断材料を提供する

②脱炭素燃料利用に対応する保守技術

水素利用ガスタービンの保守・管理技術

想定される設備劣化

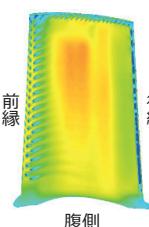
- 水素燃焼に伴う燃焼ガス中水蒸気濃度の増加により材料が劣化

取り組み状況と今後の展開

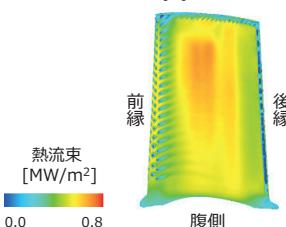
- ガスタービン動翼の寿命推定に向けて、数値解析により30%vol.水素混焼時の動翼表面の熱流束分布を把握した
- 水素混焼時の燃焼ガスを模擬した雰囲気下の実験により、遮熱コーティングの劣化データを取得した

■ ガスタービン動翼熱流束分布の解析結果例

(a) メタン (LNG主成分)



(b) 水素



このレベルの混焼率では現状と大差なし

今後の展開

水蒸気への耐性が懸念されるコーティング材料の劣化等に対応するための技術開発を行う

今後の技術開発の方向性

火力発電の燃料は化石燃料から水素やアンモニア等の脱炭素燃料に変わっていくが、火力発電は今後も電力供給、系統安定維持の役割を果たすことが期待される

当面は変動性再エネの導入拡大が続くことを踏まえると、現状以上に厳しい条件下でも柔軟な運用ができる技術開発が不可欠。適切な設計がなされた機器の導入が必要になるとともに、より過酷な運用にも耐えうる保守技術の確立が重要となる

当所は、機器性能の維持、保守・管理の低コスト化、業務の合理化等、設備ユーザの視点をもって、本日紹介した技術をはじめとする保守技術開発に注力していく

今後取り組む必要があると考える技術課題

- ・長期保管技術など予備電源（バックアップ）への対応
- ・火力設備に付帯するCCUS設備の保守技術
- ・発電所現場における保守要員減少への対応、など

まとめ

火力発電が直面する運用変化と脱炭素燃料利用への変化に対応するためには、それらが原因で生じる、従来とは異なる機器劣化に応じた保守・管理が必要になる

火力発電が持つ確実な供給力、変動性再エネの導入拡大時の調整力・予備力、電力系統安定への貢献等の価値を発揮し続けるために、火力発電設備は適切に維持されなければならない

併せて、今後想定されるより厳しい運用に対応しうる適切な設計がなされた機器の導入、火力発電の価値の理解促進に向けた分かりやすい情報発信、設備利用率が低下しても事業が継続できる仕組みも必要である

ご清聴ありがとうございました



Central Research Institute of Electric Power Industry



【報告3】 水力発電設備の高経年化・ 自然災害リスクへの対応

電力中央研究所 サステナブルシステム研究本部
研究統括室 分野統括（水力）
上席研究員 佐藤隆宏

研究成果報告会2025

2025年11月13日

電力中央研究所

© CRIEPI 2025

電力中央研究所

本報告でお伝えしたいこと

我が国では、**非化石エネルギー**である**水力発電電力量の増加**に向けて様々な取り組みがなされている一方、**長期運用の発電所が多く、水路延長が長い**発電設備は**高経年化・自然災害のリスク**に晒されている

高経年化に伴う水力発電設備の劣化に対して、当所は状態把握や予測評価の合理化・簡便化、設備の延命化や発電停止期間の短縮につながる対策技術の開発を進めている

地震や豪雨などの自然災害に対し、当所は水力発電設備の効率的な事前調査や損壊リスク評価の合理化、発電運用支障の少ない対策技術の開発を進めている

将来の社会環境変化を踏まえた高経年化・自然災害によるリスクの合理的な評価にあたり、当所は省力化・省人化や定量化・見える化が図れる技術開発を行う

© CRIEPI 2025

1

本報告の内容は電力インフラに対し どのような価値向上の要素を持っているか

価値向上の要素



報告会の構成

報告 1 電力流通設備のアセットマネジメントへの貢献

報告 2 火力発電設備の運用変化に伴う課題への対応

報告 3 水力発電設備の高経年化・自然災害リスクへの
対応

報告 4 電力流通設備の災害復旧支援システムの開発と
実務適用 — 災害情報共有プラットフォームの活用拡大 —

報告 5 電力設備の電気化学的手法による腐食劣化評価
— 送電鉄塔とコンクリート構造物への適用 —

報告 6 電力設備用パワー半導体の長期信頼性評価と
SiCパワー半導体による技術革新

報告内容

1. 水力発電の最近の動向と本報告の視点
2. 高経年化に係わる諸課題の解決を支援する技術
3. 自然災害リスクを低減する技術
4. 高経年化・自然災害リスクに対する今後の備え

水力発電電力量増加に向けた取り組み

第7次エネルギー基本計画・水力発電電力量の電源構成比率

■2023年度：7.6%

■2040年度見通し：8～10%（130～450億kWh増に相当）

発電施設の新設

遠山川11,400kW、成瀬5,800kWなど18地点、約5.1万kW※

既設発電所の改修・更新による増電

丸山+13,000kW(151,000kW⇒138,000kW)など32地点、約5.5万kW(増加分)※

ダムの運用高度化による増電

融雪出水の活用、洪水放流の一時的な貯留、複数ダムの連携運用、AIを活用したダム流入量予測の導入、AIを活用した貯水池式水力発電計画策定の最適化

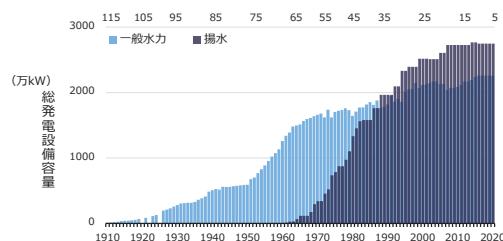
揚水発電の活用拡大

変動性再エネ拡大に対する系統安定性の確保

※ 令和6年度全国工事中水力発電所（九電力会社、電源開発、公営）、電力土木、No.438、2025.7

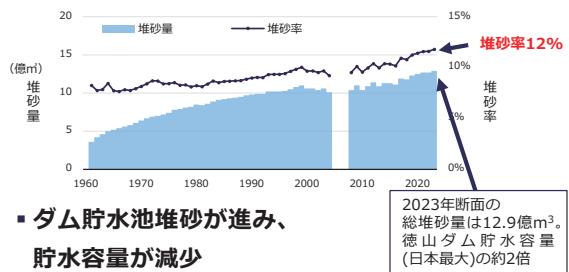
水力発電設備の高経年化の動向

総発電設備容量の推移と運転からの経過年数



- 一般水力は発電設備容量の1/2以上が60年超
- 近年稼働率の高い揚水発電も1/2以上が40年超
- 設備更新を順次進めているが、延命化や補修も必要

ダム貯水池堆砂量と堆砂率の推移



水車ランナの侵食状況



- 水車の土砂摩耗や劣化が進行

出典：日本経営史研究所「日本電力業史データベース」、資源エネルギー庁データベース、電力土木技術協会誌「発電用貯水池・調整池堆砂状況」、国土交通省「全国のダム堆砂の状況」などを基に作成

水力発電設備への自然災害の影響

■ 地震起因の斜面崩壊による設備損壊事例



2016年熊本地震・黒川第一発電所

■ 既往最大超過洪水による設備損壊事例



2005年台風14号・西郷ダム

大規模地震による影響評価

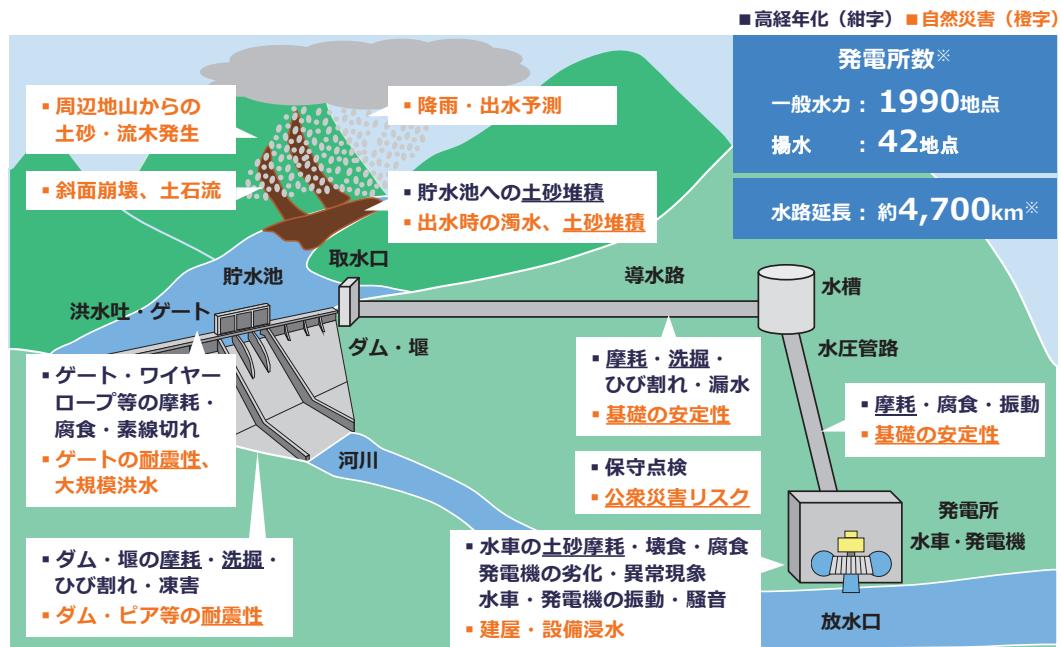
- ダムの耐震性能照査は完了^注
- 総延長が長い水路や水槽などについては、公衆災害リスクと地すべり等のリスクを踏まえた優先順位付けに応じた対策を実施中

気候変動による影響評価

- 台風・豪雨の激甚化・頻発化
 - 洪水流量の増加
 - 地すべり・斜面崩壊の増加
 - 土砂生産量の増加
- 出水期の変化
 - 融雪期の早期化
- 気候予測データを活用した河川流量の将来予測評価を実施中

注 経済産業省「第23回電気設備自然災害等対策WG」（20250618）で示された新たな南海トラフ巨大地震の想定地震動については現在検討中

高経年化・自然災害に係わる主な技術課題



※ 資源エネルギー庁ホームページ

本報告の視点

水路延長が長い水力発電設備

高経年化への
対応

- 状態把握と予測評価の合理化・簡便化
- 発電停止期間短縮のための対策技術

自然災害
リスクの低減

- 設備の損壊リスク評価の合理化
- 運用支障の少ない補強技術

発電電力量の増加

高経年化に係わる電中研の取り組み

コンクリート構造物（ダム・堰、導水路、水槽等）

- 劣化損傷部材・劣化対策部材の構造性能評価
- 土砂摩耗・損傷予測評価



鋼構造物（ゲート、水圧管路等）

- 健全性診断マニュアル
- 取替判断指標
- 局所腐食の限界状態評価
- 土砂摩耗・損傷予測評価



出典：柴田ほか（2014）：水圧鉄管伸縮部の腐食事象、電力土木、No.374

ダム貯水池

- 堆砂予測評価
- 堆砂対策技術
- 排砂・通砂影響評価



機械設備（水車、発電機）

- 水車の土砂摩耗予測評価・対策技術
- 土砂流入予測評価
- 土砂流入軽減技術
- 発電機器の劣化・異常判定技術
- 水車ランナの摩耗・損傷

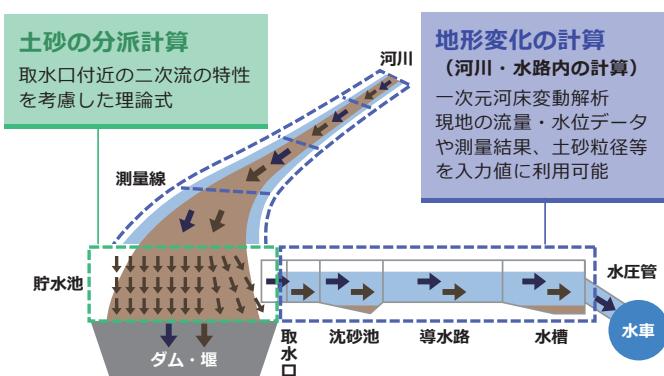


水車への土砂流入予測評価技術

■出水規模や発電運用パターンによって大きく変化するダム・沈砂池等の堆砂量や水車への流入土砂量を実務者が簡便に算定できる解析ソフトを開発

土砂動態シミュレータSuiricの開発

河川から水車までの土砂の挙動や堆積状況を簡便かつ一体的に計算可能



出典：太田、米澤（2023）「河川・取水施設の一体的な流砂解析」、電力中央研究所研究報告SS23005 を基に作成

© CRIEPI 2025

活用例

- 発電運用による沈砂池や水槽の土砂堆積量、水車への流入土砂量を算定可能
- 累積土砂堆積量は効率的な排砂や発電運用に利用可能
- 累積水車流入土砂量は水車部品交換の目安に利用可能
- 発電電力量と溢水電力量※・土砂処理・水車補修費用の算定に活用可能
- 電力各社にて利用開始

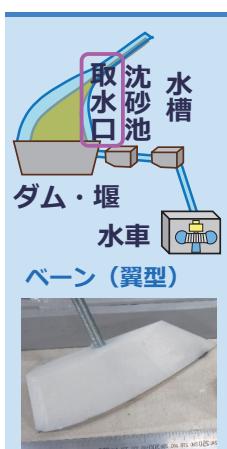
※洪水時に水車土砂摩耗・損傷などを防ぐために水を有効に発電できず、放流せざるを得ないことで失われる電力量

10

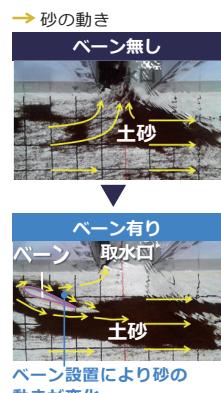
取水口への土砂流入軽減技術

■豪雨の頻発化に伴う土砂生産増加による水車土砂摩耗の加速の懸念に対し、出水中の発電停止期間の短縮が可能な取水口の土砂流入軽減技術を開発

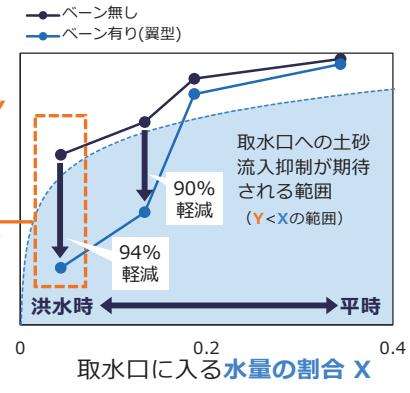
取水口前面へのベーン設置による取水口への土砂流入対策



■洪水時の砂の流れ



■実験で得られたベーン設置の効果



- 洪水時の土砂流入量が大幅に減少
- 現在、現地施工に向けて検討中

出典：太田ら（2024）「ベーン工による水力発電用取水口の土砂流入制御に関する実験」、河川技術論文集 を基に作成

© CRIEPI 2025

11

自然災害リスクに係わる電中研の取り組み

地震

主な対象
▪ ダム・堰
▪ ゲート
▪ ピア
▪ 導水路
▪ 水槽
▪ 水圧管路

取り組み
▪ 耐震性評価
▪ 耐震補強技術
▪ 耐震性スクリーニング手法

降雨

主な対象
▪ 洪水吐

■ 1000年確率洪水波形の計算結果例

地震・降雨共通

主な対象
▪ 斜面
▪ 貯水池
▪ 周辺地域（公衆災害）

取り組み
▪ 斜面崩壊危険度評価
▪ 崩落斜面の土砂移動評価
▪ 天然ダムの形成・決壊・洪水伝播評価
▪ 土砂流入に伴う貯水池段波評価
▪ 濁水挙動評価
▪ 溢水・浸水解析ソフト
▪ 土石流解析ソフト
▪ ドローン電磁探査

■ 斜面崩壊危険度評価の計算結果例

© CRIEPI 2025

12

CFRP※接着工法によるダムゲート補強

■ダムゲートの供用中も施工可能で、かつ、大型仮設備が不要となる廉価なダムゲート耐震補強工法として、CFRP接着工法の効果を実験により確認

CFRP接着工法によるローラゲート主桁端部の補強

貯水の隔離方法の比較

CFRP接着工法によるローラゲート主桁端部補強の実験結果

平行貼り(実験後)

- 軽量で施工性に優れ、部材加工が不要なCFRPの接着により、剛性および最大耐力が向上
- ラジアルゲートを対象に現地実証中

※ Carbon Fiber Reinforced Plastics、炭素繊維強化プラスチック

出典：府川、塙竜（2023）「CFRPによる荷重作用下での変断面I形桁端部の補強効果」、鋼構造年次論文報告集 を基に作成

© CRIEPI 2025

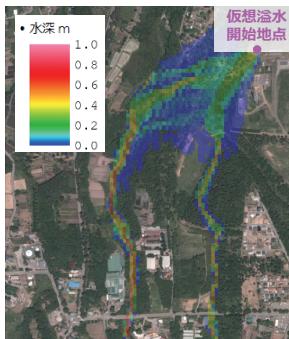
13

- 41 -

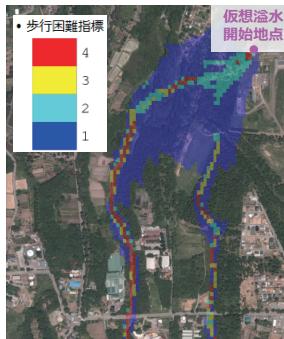
公衆災害リスク評価技術

■自然災害に起因する水力設備損壊がもたらす公衆災害リスク（溢水・浸水影響）
を簡便かつ合理的に評価できる溢水・浸水解析ソフトを開発

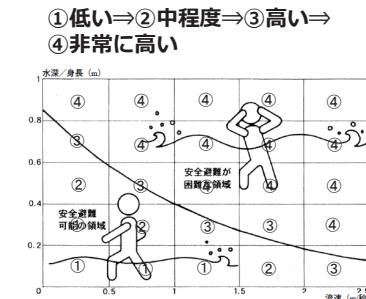
解析例（水深）



解析例（歩行困難指標）



(参考) 歩行困難指標



出典：国土交通省：地下空間における浸水対策ガイドライン＜技術資料＞，2002。

- 設備損壊箇所の緯度・経度と流量波形を入力条件として、溢水影響範囲の水深や流速、流体力を評価可能
- GPU並列により一般的な洪水氾濫解析の**10倍以上の計算速度**
- 電力各社に採用され、**水力発電設備の公衆災害リスクの評価と対策検討に活用**

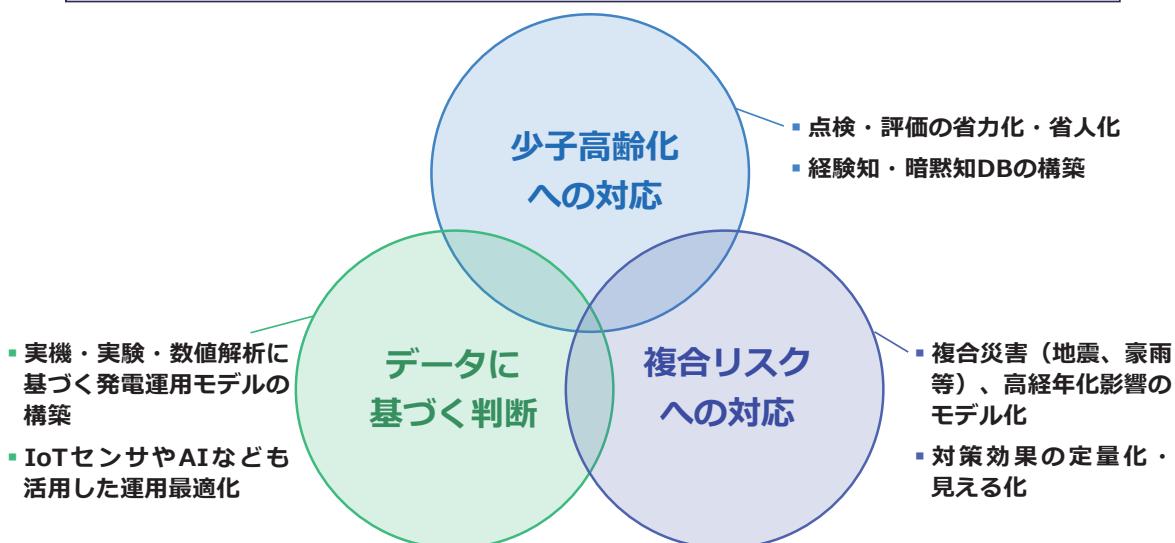
出典：新井、太田（2019）「水力設備の公衆災害リスク評価を目的とした浸水解析ソフトウェアの開発」、新エネルギー財団第115回中小水力発電技術に関する実務研修会を基に作成

© CRIEPI 2025

14

高経年化・自然災害に対する今後の課題

■2050年カーボンニュートラル実現に向けて水力発電電力量増加に取り組みつつ、設備の状態評価や余寿命予測、自然災害リスク評価、対策技術等の開発を進めるとともに、下記の課題への取り組みが必要



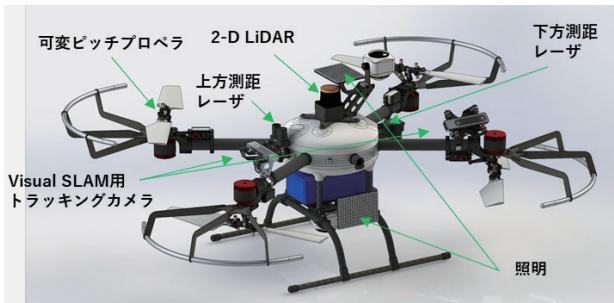
© CRIEPI 2025

15

省力化・省人化のための自動点検技術

■今後、設備の高経年化に伴い損傷リスクが増大する懸念がある一方で、**発電停止期間の短縮や点検の省力化・省人化**が望まれている

これらの解決の一助として、数kmに亘る**導水路トンネル**を自動かつ短時間で点検する技術として、**自律飛行ドローンと自己位置同定技術**の開発を進めている



特徴

過酷環境に使用可能な高性能な機体

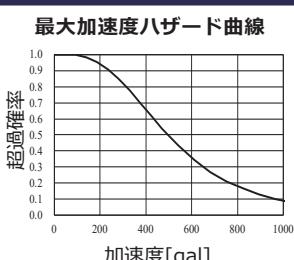
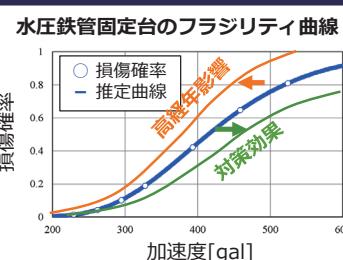
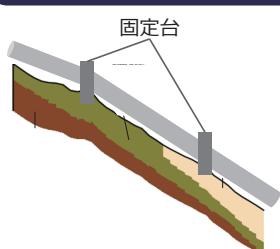
特殊環境に対応可能な安定・ロバストな自律制御システム

長距離飛行を可能とするエンジン・バッテリーの搭載

複合リスクと対策効果の定量化・見える化

■今後、複合災害（地震、台風・豪雨等）、高経年化に対する備えが求められるが、水力発電設備は水路延長が長いため、これらのリスクと対策の効果を適切に評価し、優先度を合理的に判断しながら、戦略的に対策を進める必要がある
その解決の一助として、複合リスクと対策効果の定量的評価手法ならびにリスクマネジメント手法の開発を進めている

地震による水圧鉄管固定台の損傷確率算定イメージ



▶ 固定台の年間損傷確率 1.20%

特徴

複合災害、設備の高経年化、対策効果等を考慮して複数地点の損傷確率を算定

リスクの大きさ、対策効果、発電電力量などを勘案し、優先度を合理的に判断

まとめと今後の備え

当所は、発電停止期間の短縮や発電運用支障の減少につながる、高経年化や自然災害のリスク低減のための計測・評価技術や対策・補修技術を開発し、現地適用を進めてきた

今後、電気事業において、点検の省力化・省人化と評価の合理化につながる技術開発、ならびに水路延長が長い発電設備のリスクと優先順位の定量化・見える化を可能とする技術開発が必要である。当所は所有する基盤技術を活用・発展させ、これらの技術開発を着実に実施する

ご清聴ありがとうございました

 電力中央研究所

Central Research Institute of Electric Power Industry



【報告4】

電力流通設備の災害復旧支援システムの開発と実務適用

－災害情報共有プラットフォームの活用拡大－

電力中央研究所 研究参事
サステナブルシステム研究本部
構造・耐震工学研究部門
朱牟田善治

研究成果報告会2025
2025年11月13日
電力中央研究所

© CRIEPI 2025

電力中央研究所

本報告でお伝えしたいこと

災害時の復旧支援技術のニーズ：想定以上の自然災害の発生により、電力流通設備に被害が生じた場合において、早期復旧を行うことが一般送配電事業者には求められている

早期電力復旧情報プラットフォーム（RESI）とは何か：当所は、停電復旧時間を推定することを主目的とする早期電力復旧情報プラットフォーム（RESI）を開発し、主に配電部門をターゲットとした運用を行ってきた。RESIの実運用を通じて、早期電力復旧（停電時間最小化）に寄与できるように継続的にその機能改善が行われてきた

RESIの課題と地域連携の必要性：停電時間最小化に寄与するためには、RESIの独自機能となる設備被害予測、復旧見通し予測の継続的な精度向上が必要である。同時に、配電部門はもとより、他部門、他業種との連携を通じた予測情報共有の在り方を検討することが必要である

© CRIEPI 2025

RESI:early power **R**ESToration **I**nformation platform 1

本報告の内容は電力インフラに対し どのような価値向上の要素を持っているか

価値向上の要素



報告会の構成

報告 1 電力流通設備のアセットマネジメントへの貢献

報告 2 火力発電設備の運用変化に伴う課題への対応

報告 3 水力発電設備の高経年化・自然災害リスクへの
対応

報告 4 電力流通設備の灾害復旧支援システムの開発と
実務適用 — 災害情報共有プラットフォームの活用拡大 —

報告 5 電力設備の電気化学的手法による腐食劣化評価
— 送電鉄塔とコンクリート構造物への適用 —

報告 6 電力設備用パワー半導体の長期信頼性評価と
SiCパワー半導体による技術革新

報告内容

1.RESIの技術開発コンセプト

2.RESIの技術概要と適用事例

3.RESIの課題と地域連携の必要性

電力会社による一般的な非常災害対応（台風）



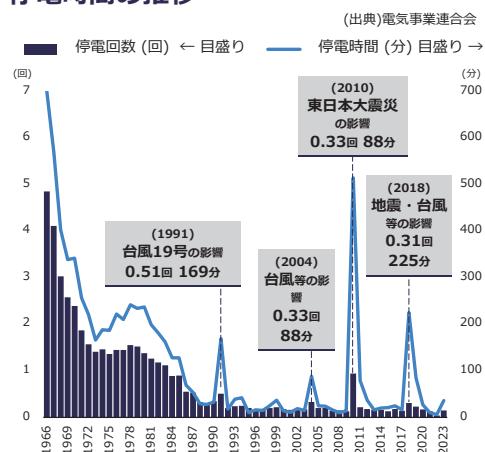
© CRIEPI 2025

4

停電時間の変化と自然災害

- 上位系統や配電系統の自動化や冗長化、保守・点検技術の進化などにより、停電回数・時間は1960年代に比べて大きく減少している
- 一方で、大きな自然災害が発生した年は、停電回数・時間が増加する傾向にある

■お客様1軒当たりの年間停電回数と停電時間の推移



■自然災害（停電）への対応方法

従来技術（人海戦術による情報収集）

- 過去の経験則による主観的な判断
- 被害状況把握に現地出向が必要
- 関係者間での情報共有に時間を要す

革新技術（DX化、IoT化による情報収集）

- 現況・予測情報による客観的な判断
- ドローン、SNS、各種センサー等により被害状況を把握し、現地出向が不要
- 関係者間でのリアルタイムな情報共有

開発
コンセプト

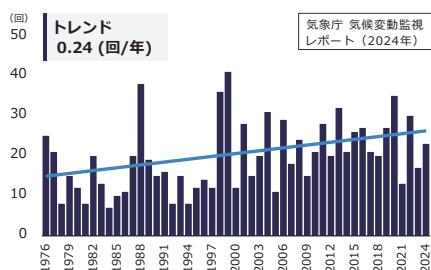
大規模自然災害時の停電時間を
短縮（レジリエンス強化）

© CRIEPI 2025

5

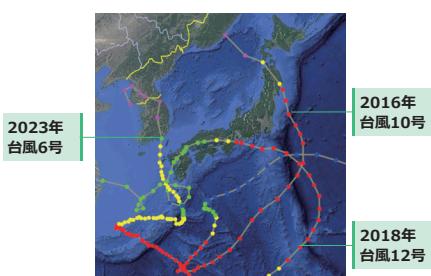
近年の自然災害

■ 1時間降水量80mm以上の発生数／年



- ・極端な降雨の発生件数の増加
- ・典型的な台風進路とは異なる台風の増加

■ 典型的な台風進路とは異なる例



配電設備の2次被害が多発し、復旧が長期化

■ 倒木 ■ 飛来物 ■ 地盤被害



早期電力復旧情報プラットフォーム（RESI）

■ 従来技術

災害が発生した後に、人海戦術により収集した被害情報を基に復旧対応

災害時の停電時間短縮（レジリエンス強化）を実現するために

early power REStoration Information platform (RESI:レジ)

RESIを電中研で開発し、運用・機能改善を継続中

停電時間短縮のために、RESIが着目した機能

- ・設備被害予測 ▶ 災害発生前の人員・資材の最適配置支援
- ・リアルタイムな災害情報共有 ▶ 災害復旧関係者間の迅速な広域連携支援
- ・停電復旧見通し ▶ 被災地域全体のレジリエンス強化支援

■ RESIの狙い

- ・被害発生前の予測に基づく合理的な復旧準備
- ・現地出向せずとも、被害・復旧状況・推移の共有

停電復旧見通し情報の提供
災害復旧時間の短縮

注：2020年度、2021年度に経産省からの委託事業として推進。2022年度は、一送10社からの限定研究としてRESIの試験運用を実施、2023年度、2024年度は一送10社を主に対象とした運用を開始して技術開発を継続中

RESIの3つの基本機能

■RESIは、主に下記の3つの機能を保有しており、**被害予測情報の把握、停電状況等の広域的な把握、復旧時間推定**が可能



© CRIEPI 2025

8

設備被害予測情報の見える化



従来 主観的判断に基づき応援調整



・他の営業所も大変！
・私たちで対応しよう！

他営業所の被害予測を見る化

現在 客観的指標に基づき応援調整

・他の営業所から応援！
・皆で対応しよう！



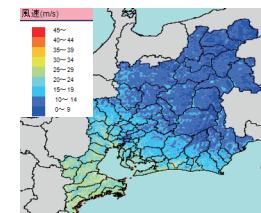
被害予測に合わせた応援派遣で、
迅速な復旧対応を実現

台風襲来前にRESIから取得可能な情報

- 台風ハザード情報 ▶ 最大風速・風向・発生日時
- 配電設備被害予測情報 ▶ 電柱・電線の被害
- 表示単位 ▶ 電力全体・県・営業所・1kmメッシュ

2023年8月台風7号の例

■風速・風向予測



■設備被害予測



■総括表(一覧表)

番号	名称	気象予測情報			被害予測情報		
		最大風速 m/s	暴風域突入/離脱 突入	暴風域突入/離脱 離脱	折損 (本)	傾斜 (本)	断混線 (怪間)
1	営業所A	22.1	-	-	0	0	2
2	営業所B	32.8	8月14日 22時50分	8月15日 10時50分	0	2	8
3	営業所C	33.8	8月14日 23時00分	8月15日 11時20分	1	2	8
4	営業所D	32.3	8月14日 23時00分	8月15日 11時10分	0	0	5
5	営業所E	26.7	8月15日 07時40分	8月15日 09時40分	0	0	1

© CRIEPI 2025

9

継続的な設備被害予測精度の向上

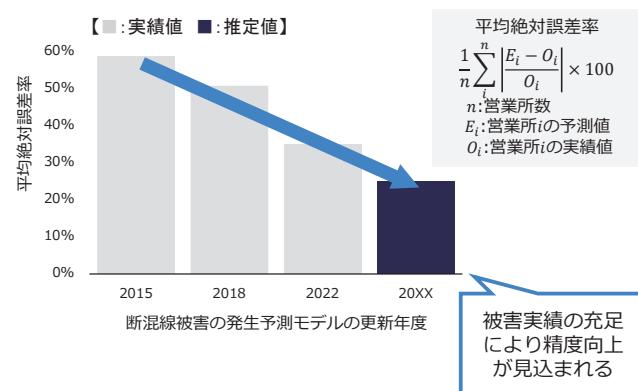


- 個々の電柱の力学特性、周辺環境・被害時の気象条件および被害実績（電柱折損・傾斜、断混線被害）を継続的に収集・データベースに蓄積
- その情報を活用して設備被害予測モデルを更新する仕組みを運用
- 継続的に改善されている設備被害予測モデルは地域を限定せずに、日本全国で適用可能

■至近の鹿児島県へ上陸した台風

上陸年月	台風番号
2016年9月	台風16号
2017年9月	台風18号
2021年9月	台風9号
2022年9月	台風14号
20XX年X月	台風X号
⋮	⋮

■鹿児島県内の営業所を例とした平均絶対誤差率の推移



各種災害情報の収集・表示



従来 巡視により被害状況を把握

- 設備被害・土砂崩れ・道路被害・冠水



現地出向しないと分からぬ

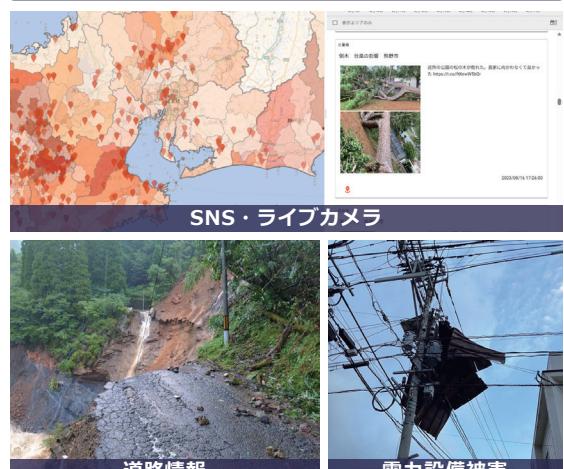
様々な情報をRESIで集約・一元化

現在 様々な情報から現地状況を把握
(台風通過中から情報収集が可能)

道路通行支障の少ない
エリアから巡視・復旧
を始めよう！

現地情報を踏まえた適切な指示により、
迅速な初動対応を実現

RESI



道路被害や電力設備被害を把握可能

- SNS: 写真・動画・コメント
- ライブカメラ: 道路・河川状況

停電関連情報の収集

台風襲来前・
事前準備台風
通過中被害把握・
復旧作業

従来

他社の被害状況、停電発生状況を把握するうえで統一的な方法はなかった（担当者の裁量に任されており、情報収集に個人差が発生し、長時間を要した）



被災電力さんの応援要請があるまで応援人員を調整しない（ブル型応援）

各社停電戸数情報をRESIで集約・一元化

現在

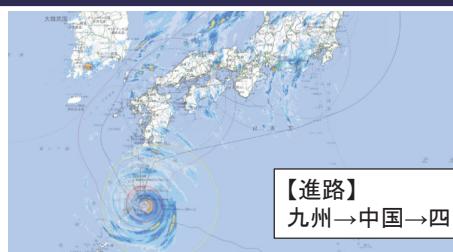
他社の被害・停電情報を一元的に集約（RESIにより、他社で発生している停電戸数、ピーク、推移等をリアルタイムに、関係者間で共有）



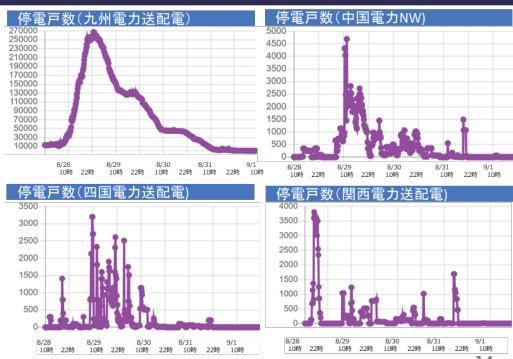
被災電力さんの応援要請がある前に他社へ応援人員を調整（プッシュ型応援）

一元的に各社の被害状況を把握することで、迅速な広域応援対応を実現

2024年台風10号



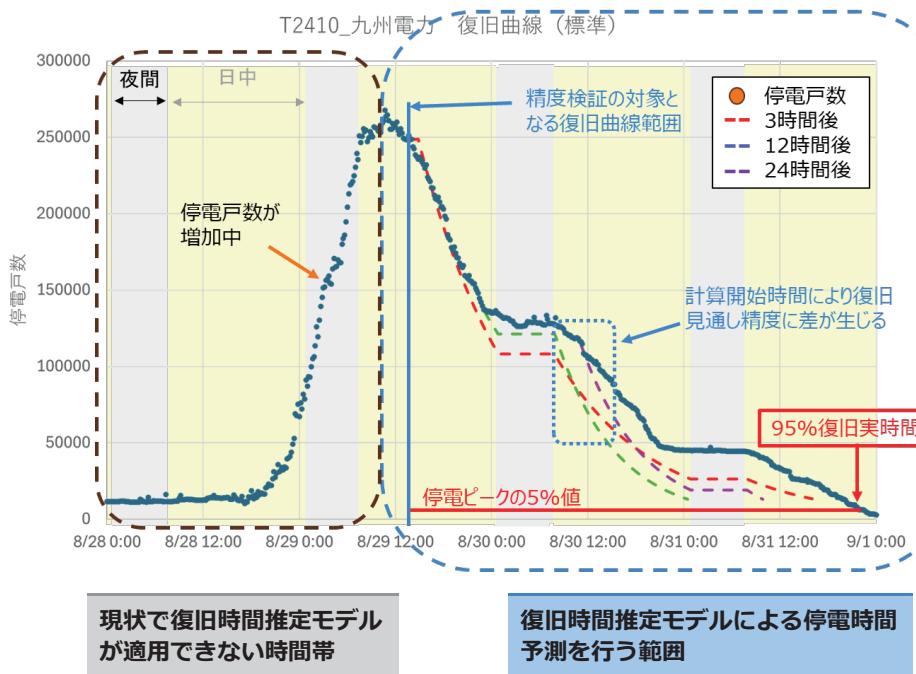
停電一覧



© CRIEPI 2025

12

停電復旧時間推定の考え方

台風襲来前・
事前準備台風
通過中被害把握・
復旧作業

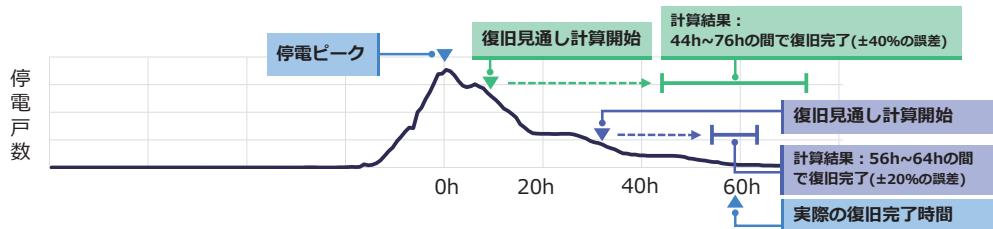
© CRIEPI 2025

13

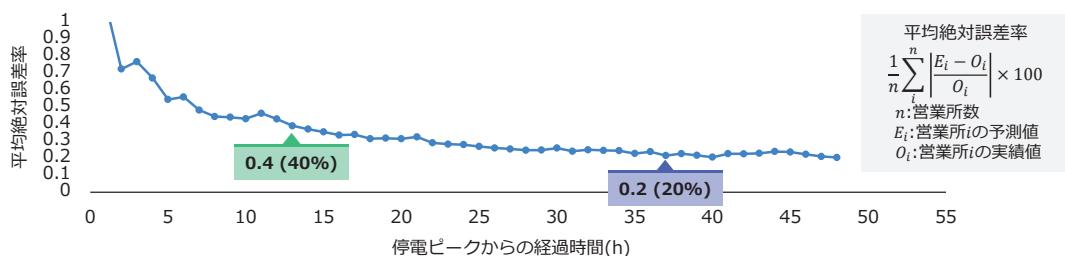
停電復旧時間推定の現状精度

台風襲来前・事前準備 → 台風通過中 → 被害把握・復旧作業

現状の復旧見通し精度の目安



停電復旧時間の実績と予測値の誤差（市町村単位例）



2022-2023 : 7台風*による精度検証例 *T2208, T2211, T2212, T2214, T2215, T2306, T2307

3. RESIの課題と地域連携の必要性

RESIの課題（復旧時間推定精度の向上）

2023年7号台風

※関西電力送配電ヒアリング

和歌山電力本部エリアの2変電所3配電線に関わる停電事故（4,000戸超）が影響

■三重県南部エリア（2変電所2配電線）

15日AM 事故発生

倒木により車両進入不可（巡回確認）

自治体に道路復旧要請

※15日中の対応困難

16日 道路復旧作業

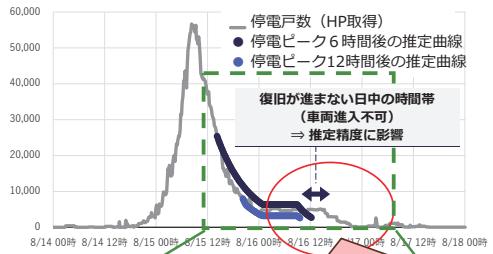
停電復旧作業（夕方復旧完了）

RESIとの情報連携なし

道路通行止めが集中したエリアで停電復旧の遅延が発生
▼
停電復旧への影響大
▼
道路関連情報（予測・現況・啓開見通し情報）の共有化が重要

復旧時間推定曲線

■現行



■将来



RESIの予測機能の高精度化

RESIの3つの機能

被害予測情報の把握
(RESI独自機能)

各種災害情報の
収集・表示
(復旧阻害要因)

復旧時間推定ツール
(RESI独自機能)

RESIの予測機能の高精度化にキーとなる情報

毎年変化する樹木
分布等の地域特性

樹木倒壊、道路閉塞の
現況および周辺施設被
害状況

樹木倒壊、道路閉塞・
道路啓開の現況および
周辺施設被害の復旧見
通し

キーとなる情報の取得方法（今後の展開）

衛星関連技術の活用

他部門・他業種との連携

衛星関連情報の活用

衛星情報への期待

地域特性の現況把握

自然災害による広域
かつ迅速な被害把握

危険地域の逐次把握
による公衆安全・
作業者の安全確保

課題

- 衛星観測頻度
- 衛星解像度
- コスト
- 被害箇所抽出技術



衛星情報・技術が高度化（頻度・範囲・解像度等）することで、他インフラや電力設備の被害状況を早期かつ詳細に把握し、巡回や復旧作業等の非常災害対応の効率化（早期電力復旧）が期待できる

他部門・他業種との連携



出所：東京電力HDウェブサイト
台風15号に伴う停電復旧対応（自衛隊・電力会社からの応援）
<https://photo.tepco.co.jp/date/2019/201909-j/190913-03j.html>

今後の課題
不確実な予測情報の不用意な共有は、現場が混乱してしまう。そのため、地域社会全体で予測情報を効果的に共有するためには、他部門・他業種との連携強化や予測情報の特性を踏まえた提供のタイミングや出し方を検討する必要がある

まとめ

電力流通設備の災害復旧支援システムの開発と実務適用 —災害情報共有プラットフォームの活用拡大—

1. RESIの技術開発コンセプト

- 精緻な停電復旧見通しを通じて地域レジリエンスを強化
- 停電復旧の3フェーズで停電復旧に必要な災害情報を提供
- 停電復旧関係者間でのリアルタイムな情報共有

2. RESIの技術概要と適用事例

- 設備被害予測による台風襲来前に要員派遣等の判断支援（事前対応期）
- 復旧阻害要因の現況情報収集による巡回支援（台風通過中）
- 復旧見通し予測による復旧作業の判断支援（応急復旧期）

3. RESIの課題と地域連携の必要性

- 予測精度の向上（衛星関連技術および地域被災情報の収集力の向上）
- 予測情報の連携方法の検討（予測情報の特性を踏まえた他部門・他業種との情報連携と提供のタイミングや出し方の検討）

ご清聴ありがとうございました



Central Research Institute of Electric Power Industry



【報告5】

電力設備の電気化学的手法による 腐食劣化評価

—送電鉄塔とコンクリート構造物への適用—

電力中央研究所
エネルギー・トランスフォーメーション研究本部
エネルギー化学研究部門
主任研究員 前田真利

研究成果報告会2025
2025年11月13日
電力中央研究所

© CRIEPI 2025

電力中央研究所

本報告でお伝えしたいこと

【社会的課題とニーズ】

インフラ構造物において、腐食による経年劣化が進行している
膨大な点検対象の合理的な優先順位付け、
目視点検に代わる定量的で高精度な評価手法の導入が強く望まれている

【当所の取組み】

- ・ インフラ構造物の腐食に関して、
材料側と環境側の視点から評価手法の開発や寿命予測を行ってきた
- ・ 塗装構造物やコンクリート構造物に適用できる、
電気化学的手法を用いた新たな劣化評価手法を開発した

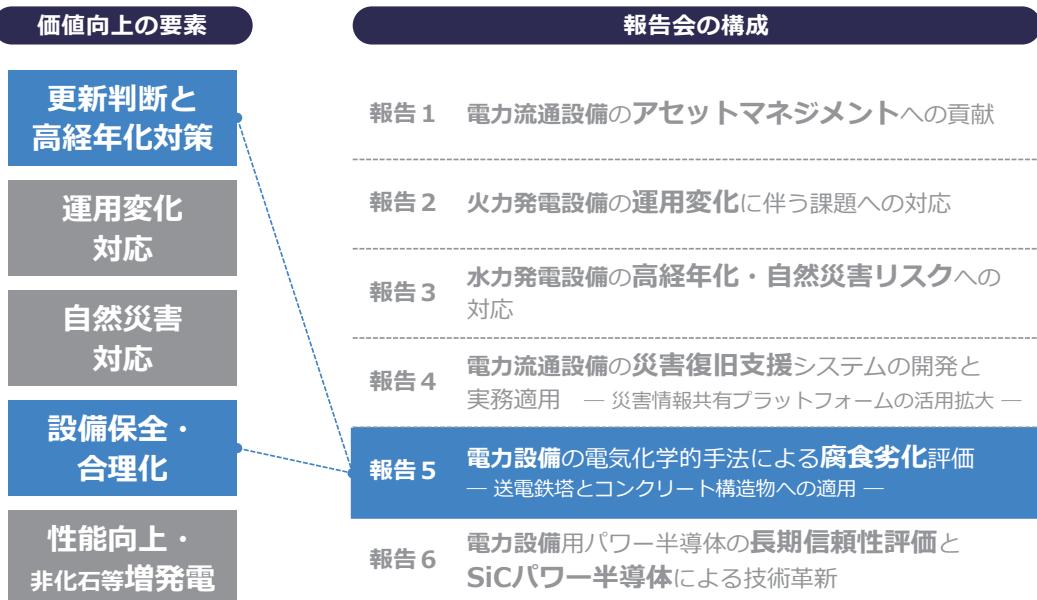
【開発手法の適用効果】

本開発手法は、高経年化した構造物の健全性確保に寄与でき、
適確な補修時期を示すことで維持管理コストの低減に貢献できる

© CRIEPI 2025

1

本報告の内容は電力インフラに対し どのような価値向上の要素を持っているか



報告内容

1. インフラ構造物の経年劣化と課題
2. 電力設備のインフラ構造物と当所の腐食評価に関する取組み
3. 電気化学的手法を用いた新たな評価手法の開発と評価事例
 - 3.1 塗装構造物の劣化評価手法の開発（塗装鉄塔）
 - 3.2 コンクリート構造物の中性化深さ評価手法の開発（原子力発電所設備）
4. 社会実装に向けた今後の展開

インフラ構造物の経年劣化



日本では高度経済成長期（1955～1973年）に数多く建設

構造物の耐用年数を超える設備が増加し、経年劣化の進行が問題
(50年以上)

劣化状況の調査・診断・補修などの維持管理が必要

インフラ構造物の劣化要因と対策

経年劣化の要因のひとつ ⇒

鋼材腐食



● 腐食対策方法

- 適した材料選定、腐食しろを考慮した設計
- 防食施工：めっき、塗装、電気防食

→ 経年により
事故発生の懸念あり



● 腐食対策費用※

2015年の総額は4兆3,000億円 (Uhlig方式による推定)

→ 内訳：表面塗装 58 %、表面処理 27%、耐食材料 8%、腐食研究 0.7%、、、



→ **安全確保とコスト削減のため供用中の点検・評価が必要**

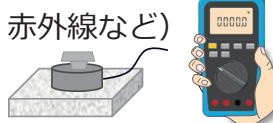
※我が国における腐食コスト、腐食コスト調査委員会、材料と環境、69, p.283-306 (2020)

インフラ構造物の腐食の点検・評価方法と課題

● 腐食の点検・評価方法

材料の評価

- 目視点検
- 電気化学的評価 (自然電位、電気抵抗など)
- 非破壊検査 (超音波、赤外線など)



環境の評価

- 腐食環境因子の評価

(pH, 塩分濃度, 温湿度, 酸素濃度など)



● 点検における共通課題

- 高経年化した構造物の数が膨大 ➤ 保守作業への人員不足の懸念



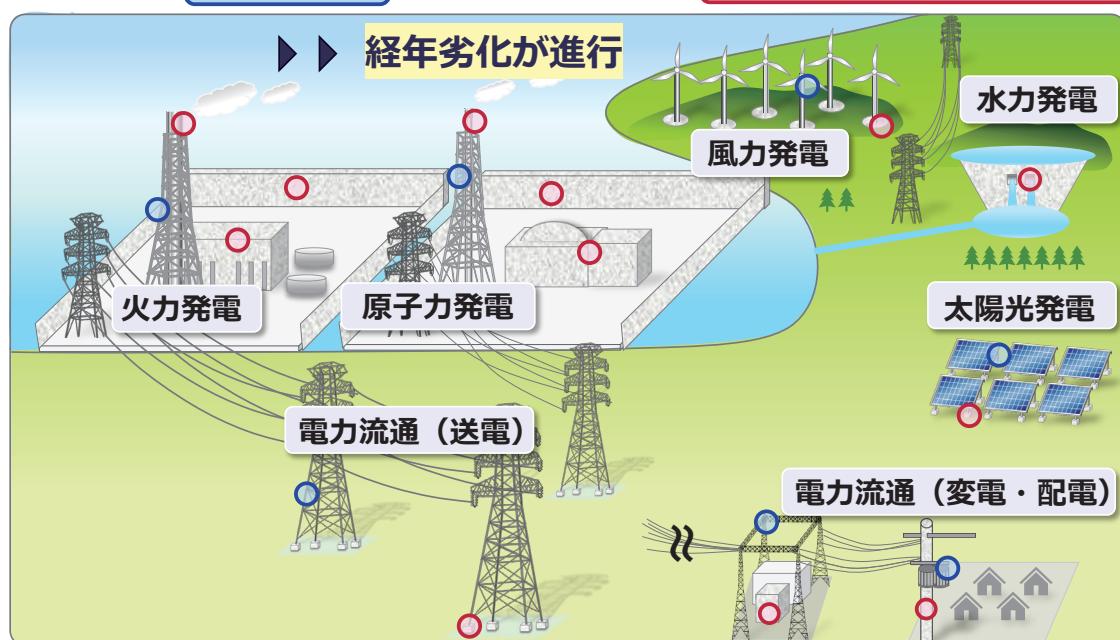
**点検対象の合理的な優先付け、
簡易で定量的な精度の高い評価手法が望まれている**

電力設備のインフラ構造物

○: 鋼構造物



○: 鉄筋コンクリート構造物



当所の代表的な腐食評価に関する取組み

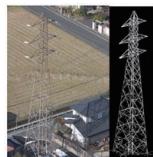
鋼構造物

(送電鉄塔)

■ 材料評価

- 塗装すべき経年鉄塔の選定に役立つ
画像処理技術の開発

空撮画像・機械学習



石野隆一ら、電力中央研究所報告C17013、2018

- 電気化学的手法を用いた塗装鉄塔
の劣化評価

⇒ [ご報告内容](#)

■ 環境評価

- 日本全国の環境因子マップ
および腐食マップの構築



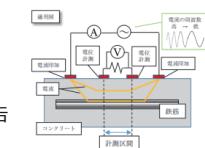
※詳細は展示で

堀康彦ら、電力中央研究所報告H18009、2019

鉄筋コンクリート構造物

■ 材料評価（電気化学的手法）

- 非破壊による
鉄筋腐食の評価

金光俊徳ら、電力中央研究所報告
N18005、2019

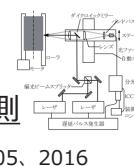
- コンクリート中のめっき金属
(Zn, Al, Zn-Al) の腐食評価

前田真利ら、腐食防食学会 第71回材料と環境討論会
講演集、C-116、2024

■ 環境評価

- レーザ誘起ブレイクダウン
分光法を用いた塩分濃度計測

江藤修三ら、電力中央研究所報告H15005、2016



- 電気化学的手法を用いたコンクリート
の中性化(pH)評価手法

⇒ [ご報告内容](#)

© CRIEPI 2025

8

報告内容

1. インフラ構造物の経年劣化と課題

2. 電力設備のインフラ構造物と当所の腐食評価に関する取組み

3. 電気化学的手法を用いた新たな評価手法の開発と評価事例

3.1 塗装構造物の劣化評価手法の開発（塗装鉄塔）

3.2 コンクリート構造物の中性化深さ評価手法の開発 (原子力発電所設備)

4. 社会実装に向けた今後の展開

© CRIEPI 2025

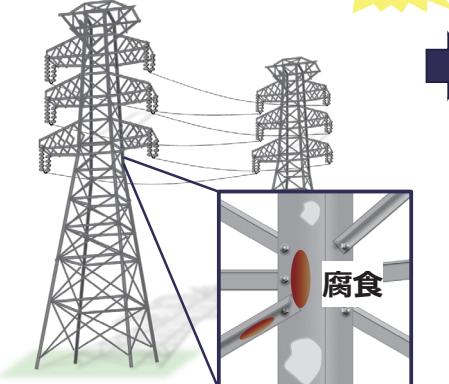
9

送電鉄塔（鋼構造物）の経年劣化と補修塗装

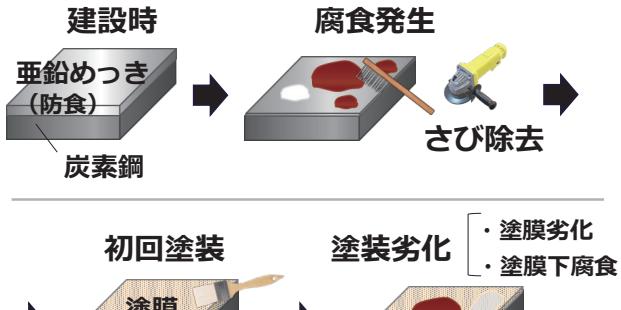
送電鉄塔：全国約25万基

2025年時点で、約半数が経年50年以上*

主な経年劣化の要因 ⇒ **腐食**



腐食対策：塗装



**塗装鉄塔：全体の約半数
(12~13万基)**

*電気学会：「架空送電設備の鋼材腐食・摩耗現象」，電気学会技術報告，第1163号，pp.4-5 (2009)

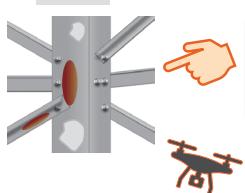
*電気協同研究会：「架空送電設備の劣化対応技術」，電気協同研究，第76巻，第2号，pp.6-8 (2020)

塗装鉄塔の塗替えと塗装劣化評価

塗装鉄塔

点検や補修時の**塗替え（再塗装）の優先順位付け**のため、
塗装劣化評価を行い、適切な塗替え時期の把握が必要

● 現行の塗替え時期の判断



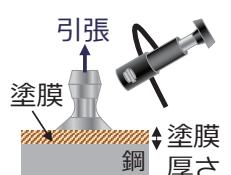
現場での昇塔による
目視点検

- 点検者に依存（主観的判断）
- 表面に劣化が表れないと劣化の初期段階で判断が難しい

ドローンによる画像判断（一部）

● その他の評価手法（現場・実験室）*

- 塗膜厚さ測定** → 塗替え履歴に依存、絶対値判断が難しい
- 塗膜の付着力測定** → 経時的評価が難しい（破壊的検査）



定量的で非破壊の評価方法が求められる

*前田 真利, 電気学会論文誌B(IEEJ Transactions on Power and Energy), 45, 2025, pp.284-287

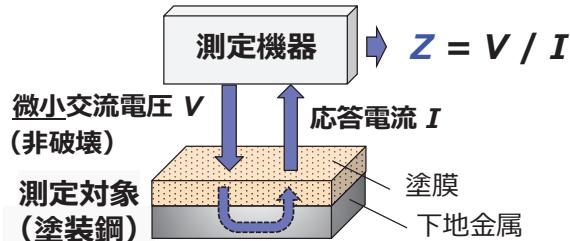
電気化学的手法による塗装劣化評価

電気化学的手法（インピーダンス測定）に着目

インピーダンス測定とは

インピーダンス Z

→ 交流回路での
“電流の流れにくさ”
→ 劣化抵抗の指標



● インピーダンス測定による塗装劣化評価

既往研究※ の課題

- 試験条件（仕様）と劣化度合いとの関係整理が不十分
- 屋外でのインピーダンス測定を用いた
現場試験法が確立されていない（簡便性・精度）

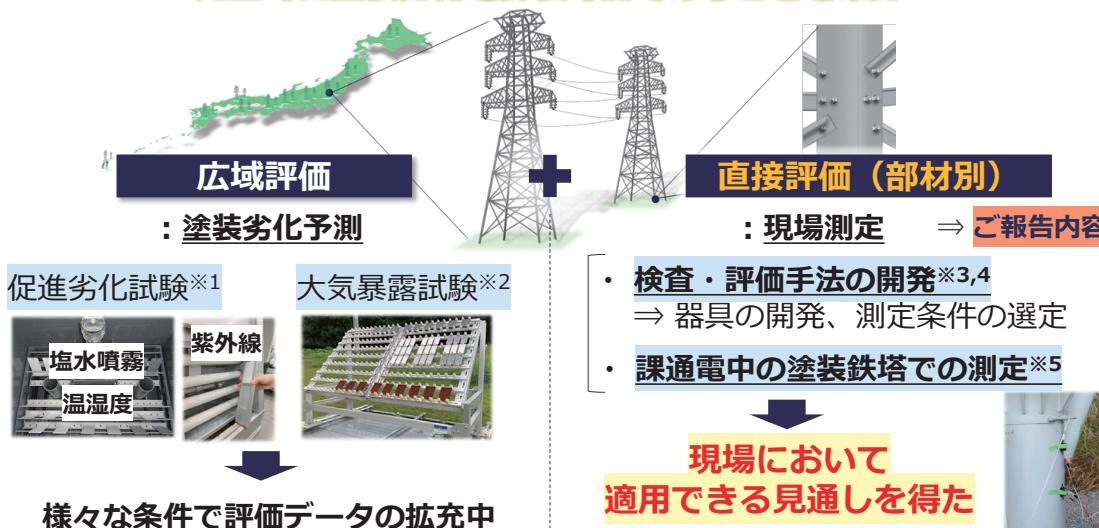
※M. Hattori et al., Corrosion Science, 52, 2010, 2080-2087

※L.G.S Gray et al., CORROSION 2003, 2003, 1-32

当所の塗装鉄塔の劣化評価

当所のインピーダンス測定による塗装劣化評価

定量的に塗装劣化を評価可能であることを確認

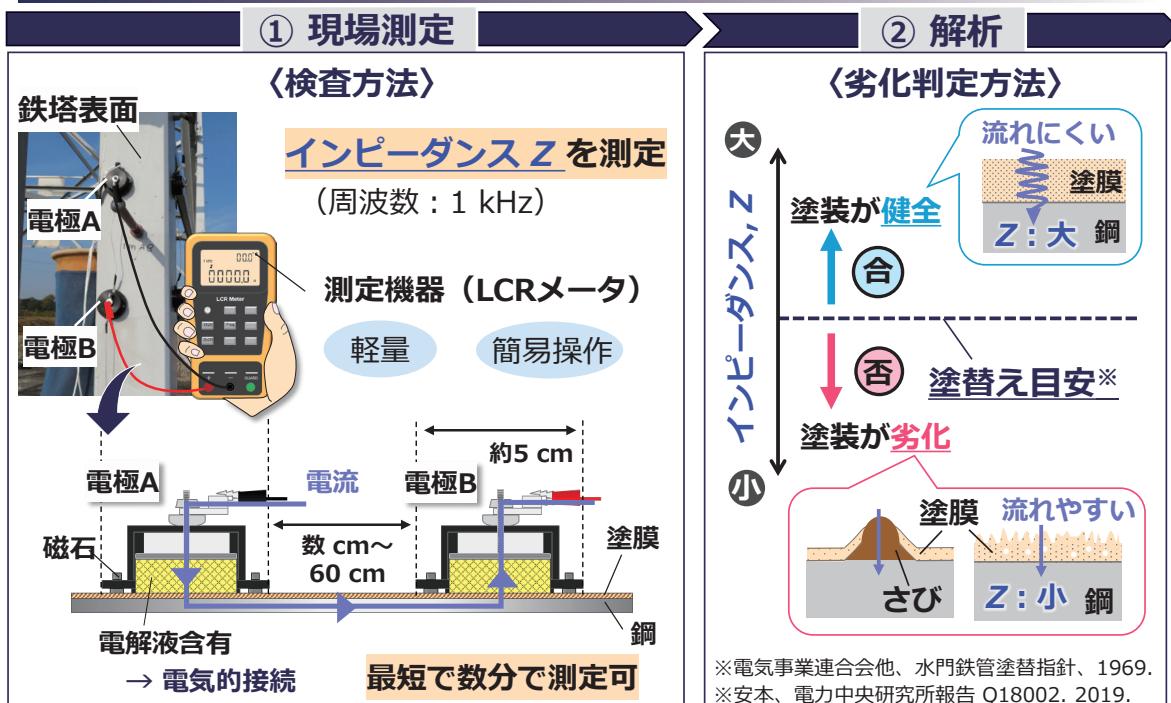


※1:前田, 電力中央研究所報告 EX21015, 2022.
※2:前田, 電力中央研究所報告 EX21014, 2022.

※3:安本, 電力中央研究所報告 Q20001, 2021.
※4:前田ら, 電力中央研究所報告 Q20008, 2021.
※5:前田ら, 電力中央研究所報告 EX22012, 2023.

【開発した手法】

塗装鉄塔のインピーダンス測定による劣化評価手法



© CRIEPI 2025

14

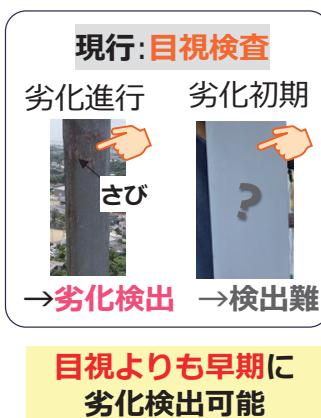
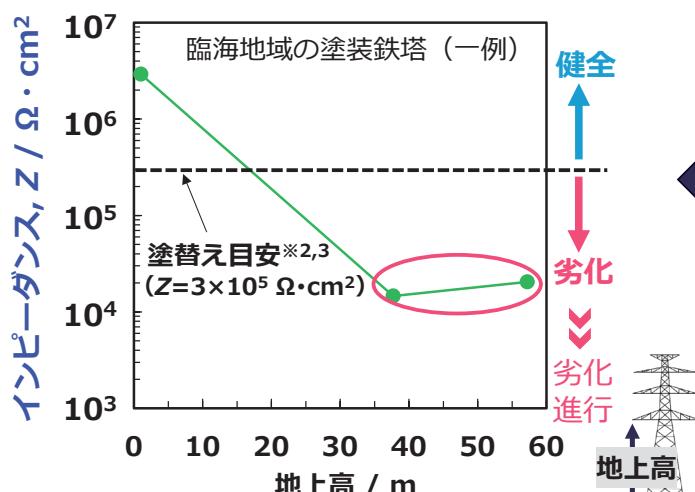
【現場適用例】

塗装鉄塔でのインピーダンス測定と劣化判定

国内数十か所の課通電中の塗装鉄塔において評価を実施

● 塗装鉄塔の各測定箇所のZ値^{※1}

※1:前田ら. 電力中央研究所報告 EX22012. 2023.



→ Z値で各箇所の塗装状態を定量的に把握可能

※2: 電気事業連合会他、「水門鉄管塗替指針」(1969) ※3: 安本、電力中央研究所報告 Q18002. 2019.

© CRIEPI 2025

15

まとめ（1）

塗装鉄塔の現場で適用可能なインピーダンス測定による塗装劣化評価手法（検査および劣化判定方法）を開発し、成果を紹介

➤ 本手法の適用効果

- ・ インピーダンス（Z）値で各測定箇所の塗装状態を
非破壊で、定量的に把握でき、塗替え目安を基に劣化判定可能
- ・ 現行の目視検査だけでは劣化判定が難しい箇所も、
Z値から**早期に**塗替えが必要な部位を検出可能
- ・ 十分に裕度のある管理が行われているが、本手法で**的確な塗替え時期を提示**し、地域に応じて塗替え周期を延ばすことが可能

➤ 今後の予定

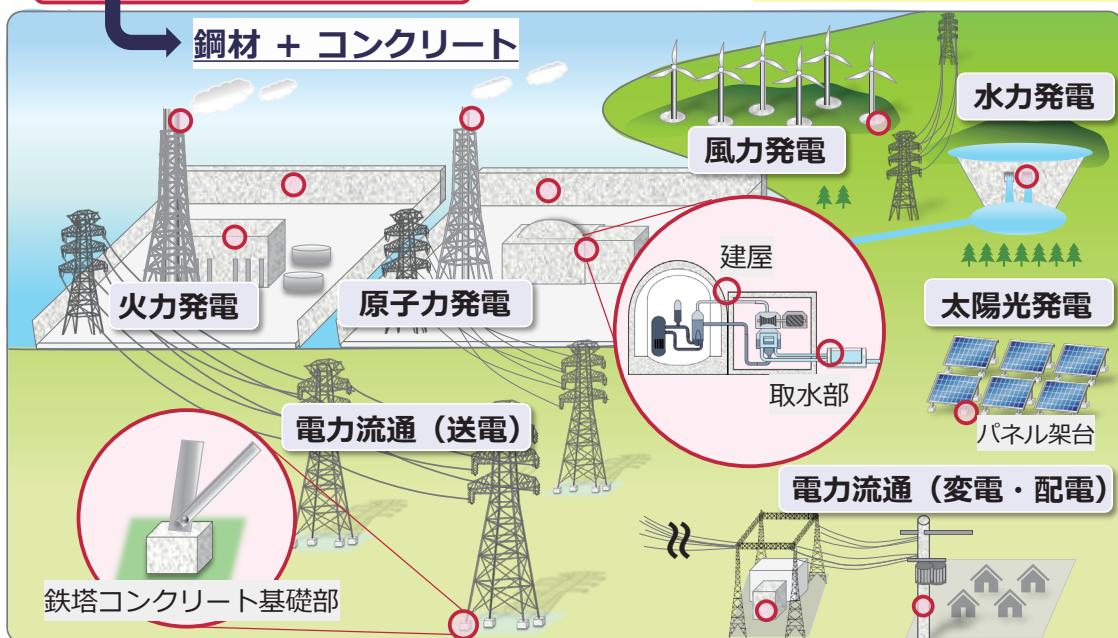
- ・ **塗替え目安の値**（現在：既存の値）
→当所や現場で得られた塗装劣化評価データを反映して提案
- ・ 塗装鉄塔だけでなく、**他の塗装構造物への適用**を提案

報告内容

1. インフラ構造物の経年劣化と課題
2. 電力設備のインフラ構造物と当所の腐食評価に関する取組み
3. 電気化学的手法を用いた新たな評価手法の開発と評価事例
 - 3.1 塗装構造物の劣化評価手法の開発（塗装鉄塔）
 - 3.2 コンクリート構造物の中性化深さ評価手法の開発（原子力発電所設備）
4. 社会実装に向けた今後の展開

電力設備のコンクリート構造物

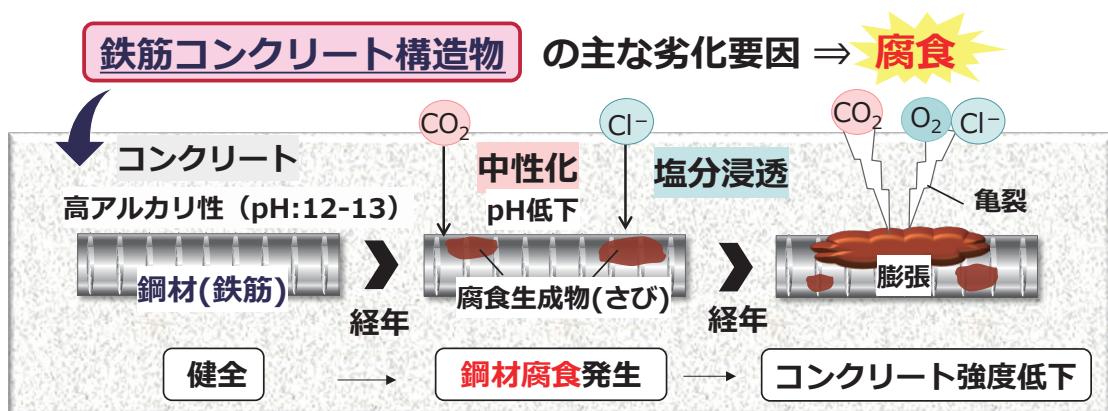
○：鉄筋コンクリート構造物 の評価技術 → 分野を問わず広く適用可



© CRIEPI 2025

18

鉄筋腐食によるコンクリート構造物の劣化と評価法



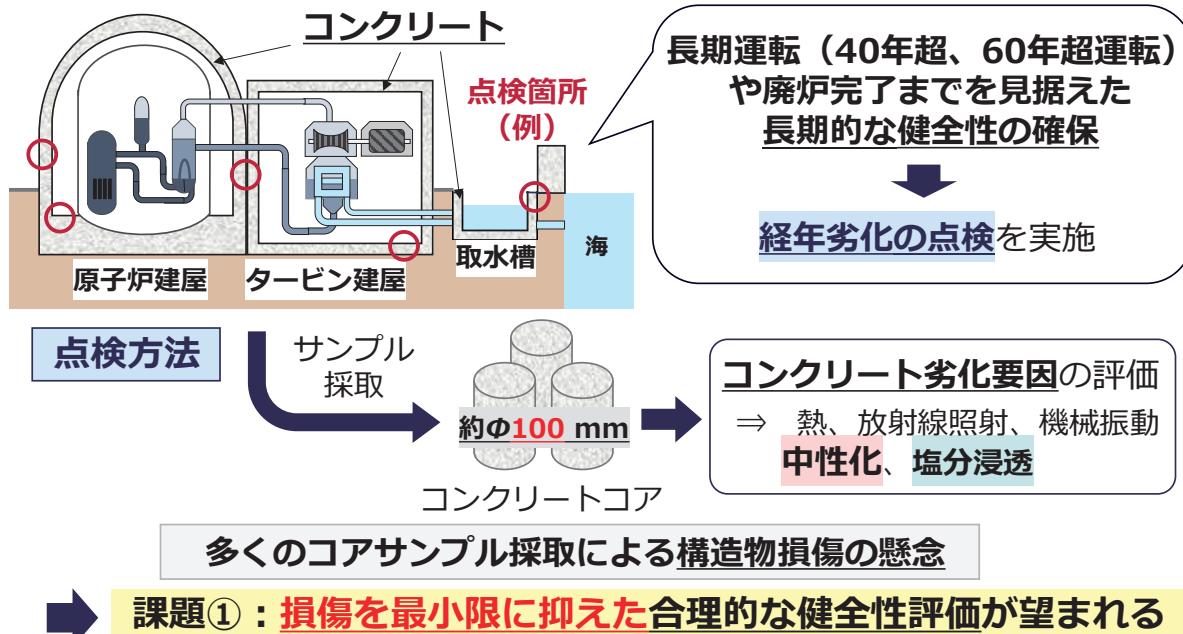
- [
- 材料評価：鉄筋腐食
 - 環境評価：コンクリートの状態変化（中性化・塩分浸透）

© CRIEPI 2025

19

原子力発電所のコンクリート構造物の点検

原子力発電所内のコンクリート構造物



© CRIEPI 2025

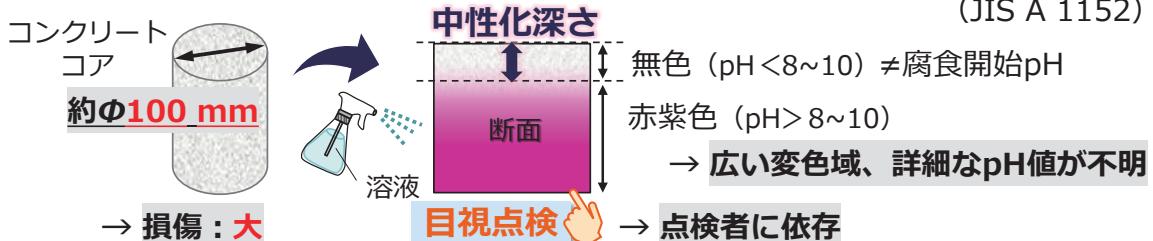
20

原子力発電所のコンクリートの中性化評価法

現行

- 指示薬を用いた化学的手法*：呈色反応による中性化深さ測定

(JIS A 1152)



→ **課題②：pHの値に基づく定量的な中性化の評価手法が望まれる**

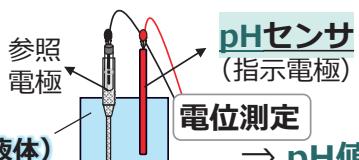
検討

- pHセンサを用いた電気化学的手法

〈原理〉

測定環境

(市販品対象：液体)



固体コンクリート中でも
使用できる手法を検討

(少量の液体、アルカリ環境)

※島本ら、コンクリート構造物の劣化影響評価について、日本原子力学会誌、Vol.61, No.2 (2019)

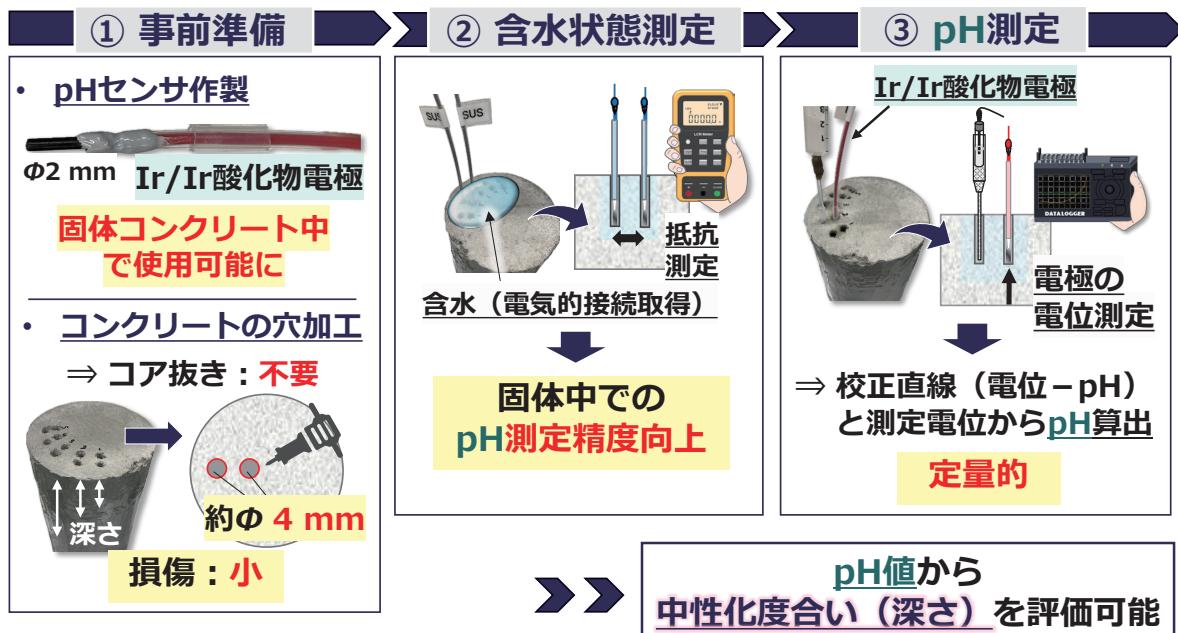
© CRIEPI 2025

21

【開発した手法】

電気化学的手法によるコンクリート中のpH測定手法

固体コンクリート（既設構造物）に適用可能なpHの測定器具・測定手順

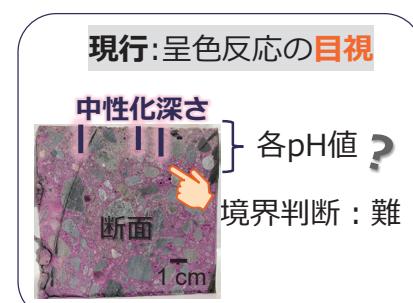
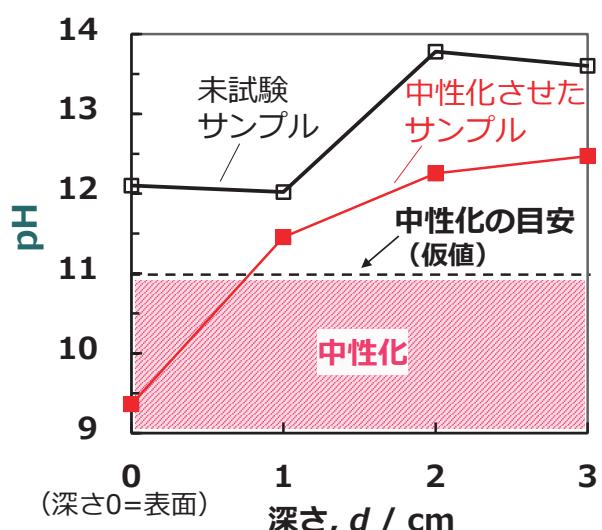


【評価例】

コンクリート供試体のpH測定と中性化判定

様々な混合条件のモルタルやコンクリートの中性化促進試験を実施し、状態を評価

● コンクリートの各測定点でのpH値

中性化の進行をpH値により
定量的に評価可能

まとめ（2）

Ir/Ir酸化物電極を用いた固体のコンクリートのpH測定手法を開発し、電気化学的手法による中性化深さの評価手法を検討した成果を紹介

➤ 本手法の適用効果

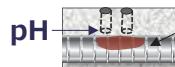
- 構造物への損傷を最小限に抑え、含水状態の考慮により精度高く、pH値から定量的に、コンクリートの中性化の進行を把握可能
- 構造物の健全性確保のために十分な裕度が設けられているが、的確な補修時期・寿命を提示し、過剰な作業を削減可能

まずは現行法との併用、最終的には単独利用を目指す

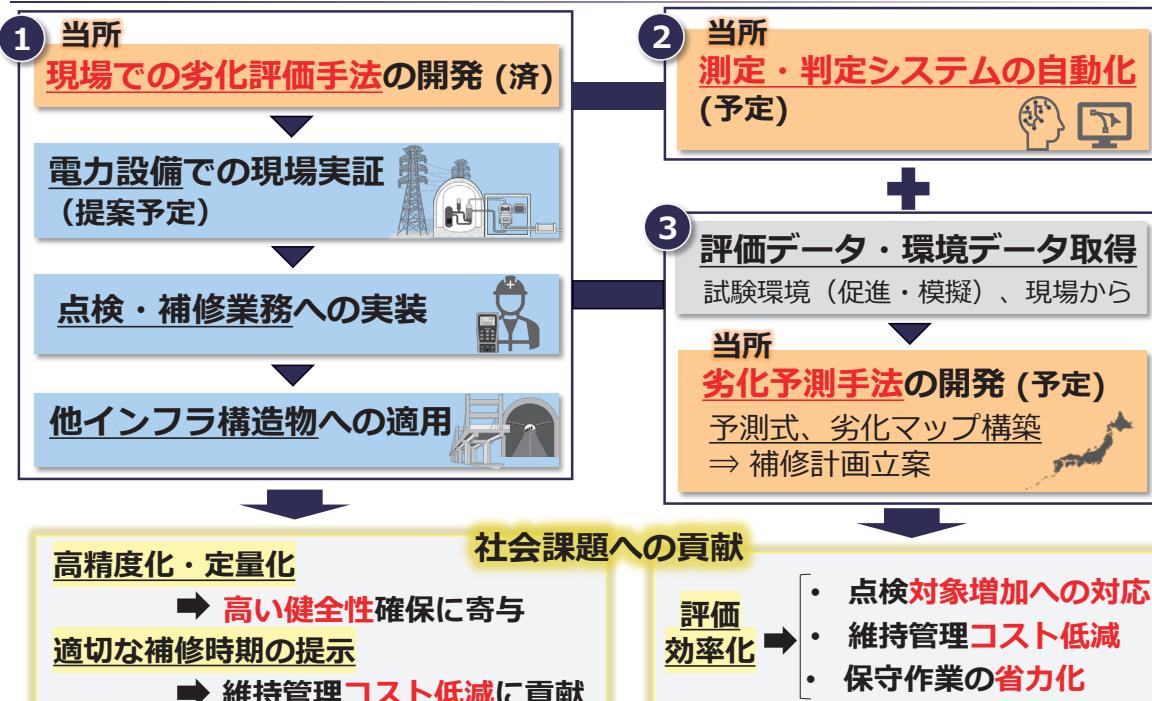
活用案



➤ 今後の予定

- 中性化の目安 (pHの閾値)**
→ 当所や現場で得られたpH値や腐食試験の実施により提案
- 他のコンクリート構造物への適用**を提案

- 規格化・標準化**を目標に検証を進める

社会実装に向けた今後の展開



ご清聴ありがとうございました



Central Research Institute of Electric Power Industry



【報告6】 電力設備用パワー半導体の長期信頼性評価と SiCパワー半導体による技術革新

電力中央研究所 研究参事
エネルギー・トランスフォーメーション研究本部
材料科学的研究部門 研究推進マネージャー（パワー半導体）
土田秀一

研究成果報告会2025
2025年11月13日
電力中央研究所

© CRIEPI 2025

電力中央研究所

本報告でお伝えしたいこと

パワー半導体に関する研究

- 広域連系のための交直変換器等において、運用開始後25–30年を経過したパワーエレクトロニクス（パワエレ）設備が多く存在している
 - Siパワー半導体の長期信頼性評価に関する研究を進め、特定のストレス印加により、一部の電気特性が変化することを明らかにした
-
- 再エネ連系やEV充電、データセンター等における電力変換容量が増大しており、変換ロスの低減のニーズが高まっている
 - 電力変換の損失低減を実現する次世代パワー半導体の研究に先駆的に取り組み、SiCパワー半導体・高効率変換器の実用化に貢献している

© CRIEPI 2025

1

本報告の内容は電力インフラに対し どのような価値向上の要素を持っているか

価値向上の要素

- 更新判断と
高経年化対策**
- 運用変化
対応
- 自然災害
対応
- 設備保全・
合理化
- 性能向上・
非化石等増発電

報告会の構成

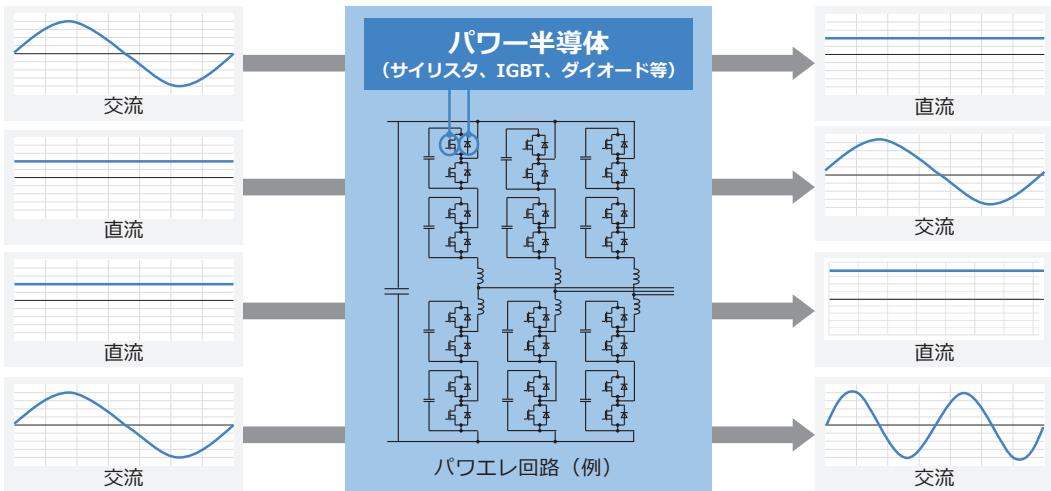
- 報告 1 電力流通設備のアセットマネジメントへの貢献
- 報告 2 火力発電設備の運用変化に伴う課題への対応
- 報告 3 水力発電設備の高経年化・自然災害リスクへの対応
- 報告 4 電力流通設備の災害復旧支援システムの開発と実務適用 — 災害情報共有プラットフォームの活用拡大 —
- 報告 5 電力設備の電気化学的手法による腐食劣化評価 — 送電鉄塔とコンクリート構造物への適用 —
- 報告 6 電力設備用パワー半導体の長期信頼性評価と
SiCパワー半導体による技術革新**

報告内容

1. 電力系統におけるパワー半導体およびパワー エレクトロニクス電力変換装置の役割
2. Siパワー半導体の長期信頼性評価の研究
3. 炭化ケイ素（SiC）パワー半導体の開発と実用化の進展

パワー半導体とパワーエレクトロニクス

- パワー半導体：電流のオン・オフを行うことで電力を制御する半導体デバイス
- パワーエレクトロニクス（パワエレ）：パワー半導体を用いた電力の変換・制御技術



© CRIEPI 2025

4

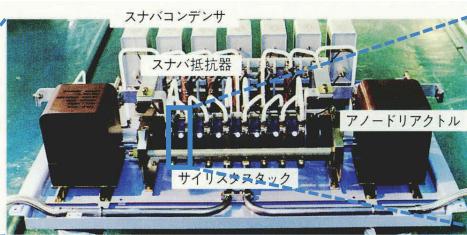
電力系統におけるパワエレ設備の構成

- 大型のパワエレ設備では、パワー半導体が複数個直列に接続されて一つのモジュールが構成され、モジュールを多段に積み上げることで、一つの変換器が構成される
- 大型設備では、1サイト当たり数百から千を超えるパワー半導体が使用される
- パワー半導体が形成される単結晶ウエハには、オフ時には高電圧が加わり、オン時には大電流が流れることで、電気的・機械的なストレスが与えられる

■ 周波数変換所の交流/直流変換器
の例（サイリスタバルブ）^{※1}



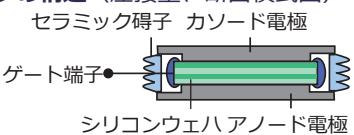
■ サイリスタモジュールの例^{※2}



■ 電力用パワー半導体の例
(サイリスタ)



■ サイリスタの構造（圧接型、断面模式図）



^{※1} Y. Makino and T. Sakai, CIGRE, B4-107 (2016).
^{※2} 三瓶ら, 日立評論, 76, 45-50 (1994).

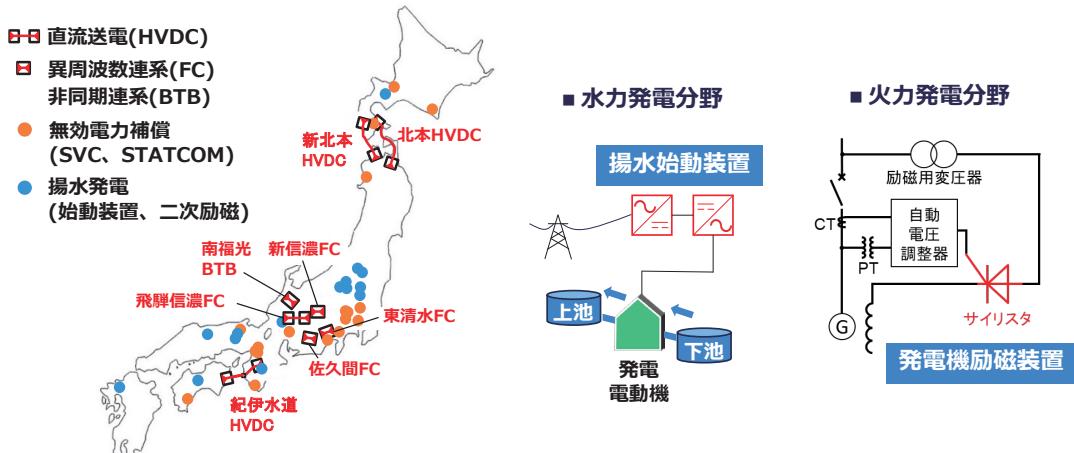
© CRIEPI 2025

5

電力系統におけるパワエレ設備

- 系統連系（HVDC、FC）や無効電力補償（SVC、STATCOM）、揚水始動装置、発電機励磁装置等の用途でパワエレ設備が重要な役割を果たしている
- 経年20-30年の設備*が増加し、更新判断を迫られる機器も存在。経年設備の安定運用や適正な更新判断のニーズ ※HVDCとFC全11設備のうち、6設備が運用開始後25年以上経過

電力系統におけるパワエレ設備の活用例

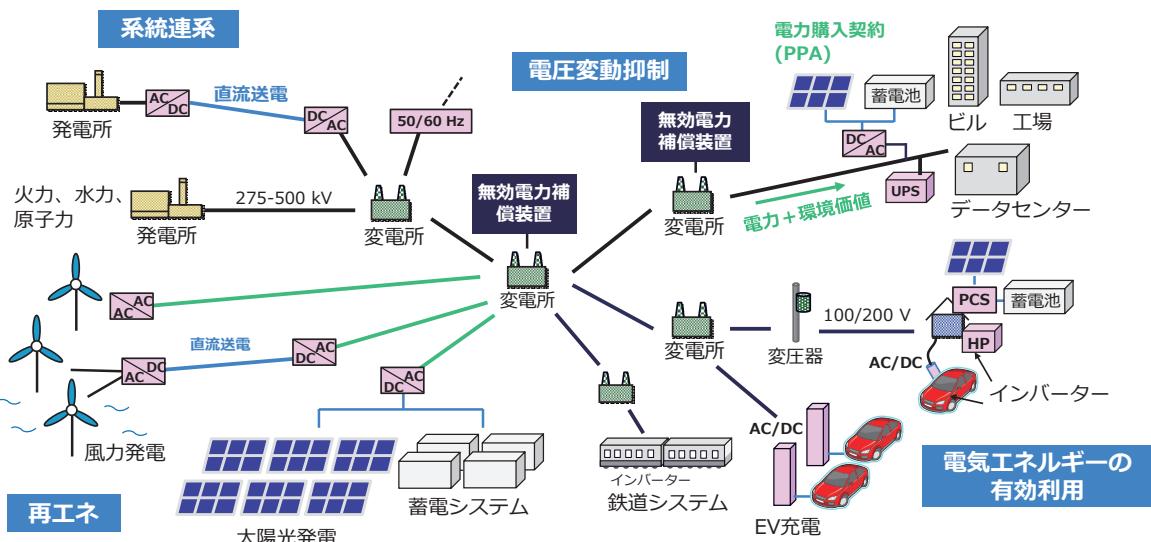


© CRIEPI 2025

6

- 太陽光発電/蓄電システムの系統連系のためのパワエレ設備が増加
→再エネ有効利用のための系統連系装置の低損失化、電圧変動抑制
- EV充電やヒートポンプのモータ駆動、データセンター/サーバーへの電力供給
→電気エネルギーの利用効率の向上により、CO₂削減等の社会ニーズに対応

パワー半導体・パワエレ機器の低損失化、小型化のニーズ



© CRIEPI 2025

7

当所におけるパワー半導体研究

【研究テーマ・1】

シリコン (Si) パワー半導体の長期信頼性評価

目的: 電力系統で用いられている経年パワエレ設備の長期安定運用や設備更新の判断に資する知見および診断技術の獲得

【研究テーマ・2】

炭化ケイ素 (SiC) パワー半導体の高信頼性化と大容量化に向けた材料研究

目的: 低損失パワー半導体の早期導入の支援、電力設備に適用するまでの信頼性確保

パワエレ設備の不具合事例の調査（国内）

発表時に資料掲示

パワー半導体の故障解析

故障した電力用パワー半導体の詳細調査

電力設備での運転中に不具合が発生したパワー半導体の特性評価や材料分析を実施。その結果から、起きた現象を推定

- 火力発電所の発電機励磁装置で故障したサイリスタから取り出した半導体ウエハ

ウエハ端部の絶縁性能の低下が故障要因と推定



電力中央研究所 Annual Report 2024

© CRIEPI 2025

発表時に資料掲示

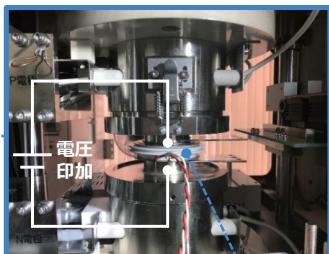
10

パワー半導体の長期信頼性の評価試験

- 電力系統で使用される数kV、数kA仕様のパワー半導体（主にサイリスタ）の電気特性を評価できる機関は国内にほとんど無い
- 当所は、6kV、6kAまでの電気特性を評価できる専用の電気特性評価装置を製作・導入した。本装置により、大半の電力用ダイオード、サイリスタについて、各種の電気特性を測定することが可能

パワー半導体電気特性評価装置

【最高電圧: 6 kV, 最大電流: 6 kA】



パワー半導体の規格（例：JEC2403）
に準拠した評価体制を構築

圧接型Si
パワー半導体

測定可能なパワー半導体と電気特性

測定対象	サイリスタ ダイオード
電気特性 項目	<ul style="list-style-type: none"> 漏れ電流（順方向、逆方向） オン電圧 ゲートトリガ電流 保持電流 ターンオン特性 ターンオフ特性 逆回復特性

© CRIEPI 2025

11

パワー半導体の長期信頼性の評価試験

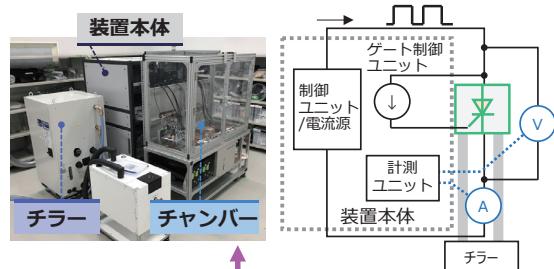
高温動作寿命試験

パワー半導体に対し、通常使用条件よりも高い温度と電圧を連続的に印加し、劣化を加速



パワーサイクル試験

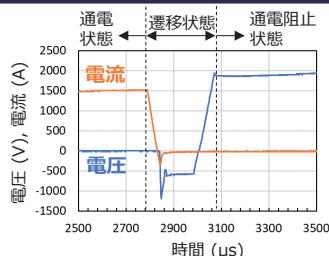
パワー半導体に間欠的に大電流を通電することで、周期的な温度変化を繰り返し発生させ、劣化を加速



電気特性評価試験

■ サイリスタの電気特性の評価結果の例

ターンオフ波形： ● 通電状態から通電阻止状態への移行



パワー半導体の長期信頼性の評価試験

発電所からのサンプル採取

電力各社より設備更新の情報提供を受け、採取を計画。
全国各地（10か所以上）の発電所から、これまでに
数百個のパワー半導体（サイリスタ等）を採取

▶ 電力設備からパワー半導体を分離・回収する手順を確立

変電設備

変電所A	STATCOM
変電所B	SVC
変電所C	SVC
変電所D	SVC

火力発電設備

発電所A	励磁装置
発電所B	励磁装置
発電所C	励磁装置
発電所D	起動装置

水力発電設備

発電所A	励磁装置
発電所B	励磁装置
発電所C	励磁装置
発電所D	揚水始動装置
発電所E	揚水始動装置
発電所F	二次励磁装置
発電所G	二次励磁装置

■ 採取したサンプルの一例

（複数のパワー半導体が組込まれた、スタッカと呼ばれる単位）



スタッカを解体して得たパワー半導体
(サイリスタ)

現場で20-40年使用されたパワー半導体
の状態を調べた報告例は世界でも僅少

パワー半導体の長期信頼性の評価試験

電力用パワー半導体の長期使用後の電気特性評価

- 電力系統の現場で長期間（20-40年）使用された多数のパワー半導体の電気特性を測定し、その絶対値や分布から、長期使用に伴う特性変化の評価を実施

発表時に資料掲示

パワー半導体の長期信頼性の評価試験

加速劣化試験による電気的・機械的ストレスと電気特性の関係性の評価

- 印加するストレスの種類と、電気特性の変化の有無を実験的に検証。複数の電気特性の中に、ストレスにより劣化しない特性と、劣化し得る特性があることが判明

発表時に資料掲示

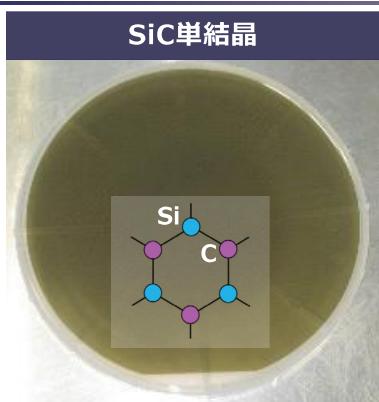
まとめと今後の展開 (Siパワー半導体の長期信頼性評価)

- Siパワー半導体の長期信頼性評価の一環として、パワエレ設備の不具合事例調査と、パワー半導体の故障解析、長期間使用されたパワー半導体を対象とした評価試験を行った
- 電気特性評価試験と長期信頼性評価試験から、特定のストレス印加により一部の電気特性が変化することを明らかにした
- 特性変化に対応した劣化評価方法の劣化診断への適用を検討中

今後の展開

- 現場で適用可能なSiパワー半導体の簡易的診断手法の開発

SiCパワー半導体の特徴と課題



長所

従来型Siパワー半導体よりも損失低減と高速駆動が可能

**SiC
単結晶** パワエレ機器の効率向上と小型化を実現するキーマテリアルとして期待

課題

- ① SiC単結晶材料の生産性が低く高コスト
- ② 結晶欠陥が多く、素子の性能や信頼性に影響を及ぼす

Si-C間の強い原子間結合力

▶ 高い絶縁破壊電界強度

SiCパワー半導体

従来型Siパワー半導体に比べて、損失1/10、耐電圧2.5倍、駆動周波数10倍、動作温度100°C高いポテンシャル（インバーター損失～1/3、体積～1/4の効果）

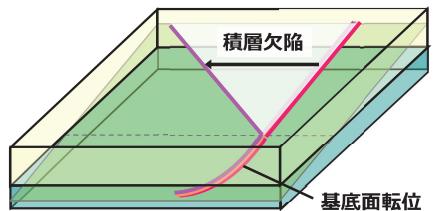
発表時に資料掲示

SiCパワー半導体の通電劣化現象

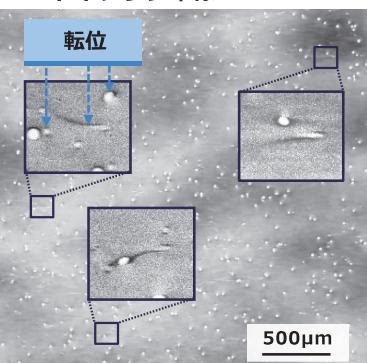
- SiC結晶中の欠陥（基底面転位）が原因となり、通電によって素子特性が劣化する

▼
SiCパワー半導体の電力機器への適用に対して、通電劣化の現象解明および抑制技術の開発が必須

- SiC単結晶における積層欠陥の拡大現象



- SiC単結晶膜の放射光X線トポグラフィ像



- 通電後のSiC-PNダイオードのカソードルミネッセンス像

- 通電前(実線)と通電後(破線)のSiC-PNダイオードの順方向特性

発表時に資料掲示

SiCパワー半導体の通電劣化現象の抑制技術

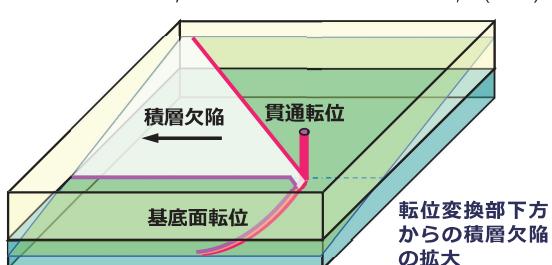
1. 通電劣化の要因となる転位の低減

- SiC単結晶膜の形成時における転位の転換



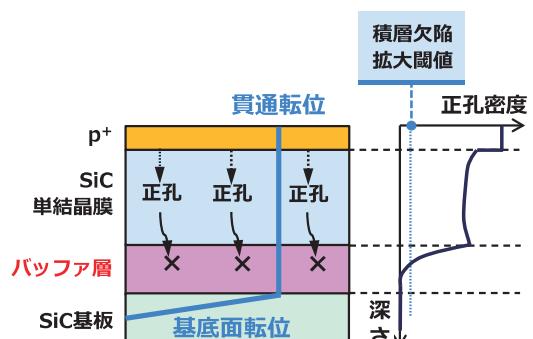
SiC基板と単結晶膜の界面付近で、転位の向きを変えることで、単結晶膜から通電劣化の要因となる基底面転位を排除（貫通転位は通電劣化の要因とならない）

H. Tsuchida et al., Mater. Sci. Semicon. Process. 78, 2 (2018).



2. 基板中へのキャリア注入の抑制

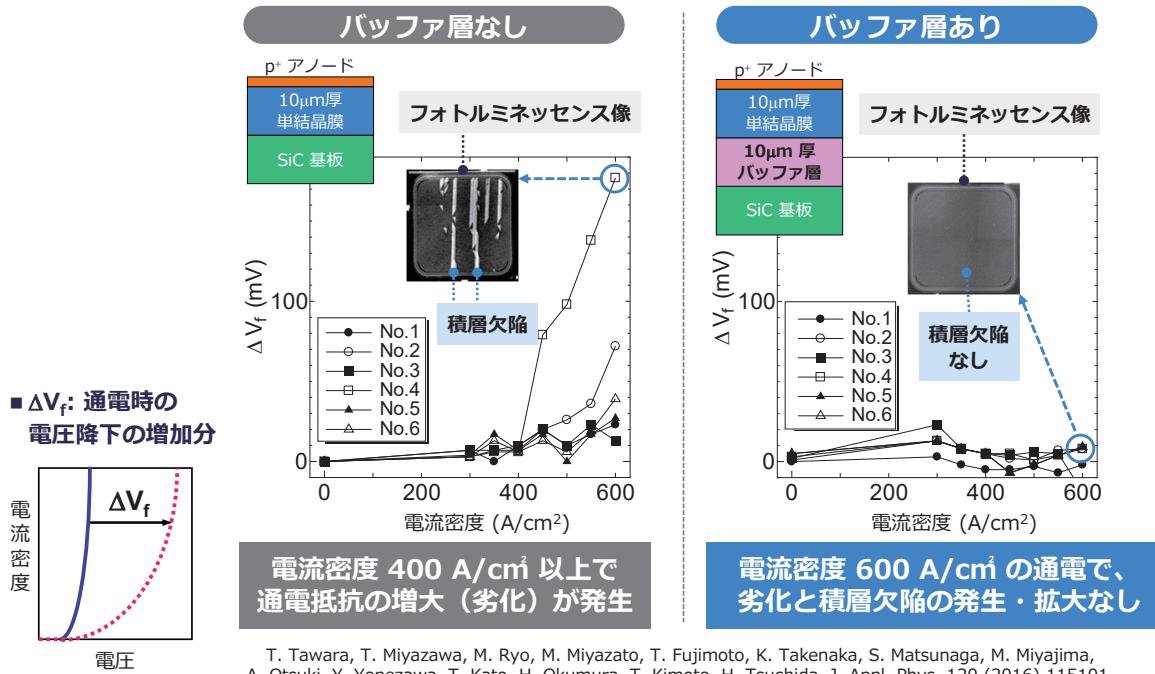
- パッファ層による基板へのキャリア注入の抑制



SiC単結晶膜とSiC基板の間に、キャリア（正孔）を消滅させるパッファ層を挿入することで、PNダイオードの通電時における基板中の正孔密度を、積層欠陥が拡大する閾値*以下に抑制

*K. Maeda, K. Murata, T. Tawara, I. Kamata, H. Tsuchida, APEX 12, 124002 (2019).

試作SiC-PN ダイオードの通電試験の結果

戦略的イノベーション
創造プログラム (SIP)

© CRIEPI 2025

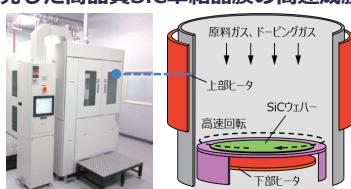
20

研究成果の実用化と社会実装の進展

■ 素子特性を低下させる結晶欠陥を大幅に低減した高品質SiC単結晶膜を高速に成膜する製造装置と成膜技術を開発（メーカーとの共同開発）

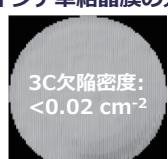
材料メーカーや半導体製造装置メーカーを通じて、
SiCパワー半導体の社会実装（再エネ連系、EV等）の進展に貢献

■ 開発した高品質SiC単結晶膜の高速成膜装置

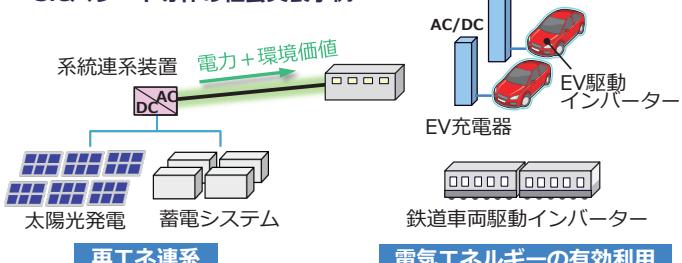


耐電圧数kV以上に相当する膜厚とドーピング密度の6インチ単結晶膜の高速成膜を実現

■ 成膜した6インチ単結晶膜の光学顕微鏡像



■ SiCパワー半導体の社会実装事例



今後に期待される大容量設備での応用例

- ・静止型無効電力補償装置、半導体変圧器
- ・風力発電の系統連系装置、直流送電の交直変換装置

© CRIEPI 2025

21

まとめと今後の展開

(SiCパワー半導体の高信頼性化
と大容量化に向けた材料研究)

- SiCパワー半導体の通電劣化を抑制するための基礎技術を得た
- 開発した高品質SiC単結晶膜の高速製造技術が実用化され、社会実装が進展

今後の展開

- SiCパワー半導体の長期信頼性を確保するための材料スペックの提示
- 高品質SiC単結晶の適用による高耐電圧SiCパワー半導体の信頼性検証

SiCパワエレ技術のCO₂削減ポテンシャル:10-11億トン/年 (NEDO TSC Foresight 2023) →世界のCO₂排出量の2%超に相当

当所のSiCパワー半導体研究の成果物:

- ・特許出願数: 110件
- ・査読付論文数 233件、国際会議招待講演 42件
- ・外部資金研究 13件
- ・第50回 (2023年度) 岩谷直治記念賞* 「高品質SiC単結晶膜の高速成長技術の開発」

* 岩谷直治記念賞:

公益財団法人岩谷直治記念財団が、エネルギーおよび環境に関する優れた技術開発で、かつ顕著な産業上の実績が認められている業績を表彰するもの

ご清聴ありがとうございました

電力中央研究所

Central Research Institute of Electric Power Industry

電力中央研究所

〒 100-8126 東京都千代田区大手町 1-6-1 大手町ビル 7 F
TEL : 03-3201-6601 (代)
<https://criepi.denken.or.jp/>
[無断複写・複製を禁じます]