

# 【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  
エネルギー変換・変電・送電研究本部  
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

### 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 —

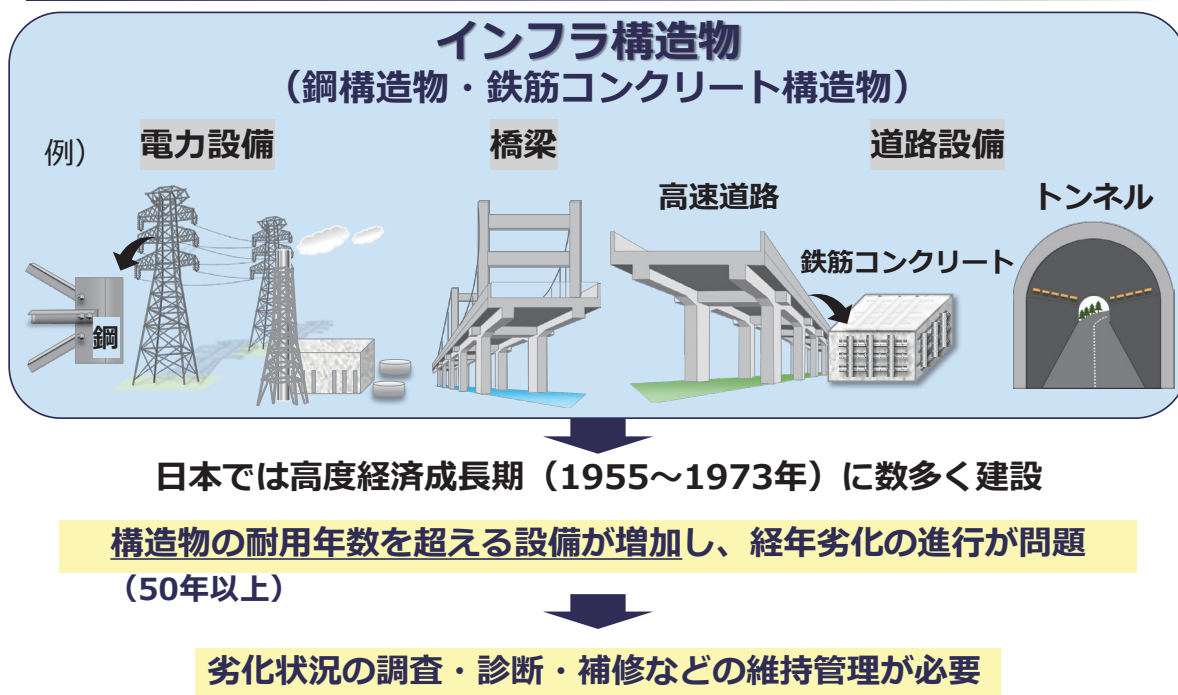
報告 5 電力設備の電気化学的手法による腐食劣化評価 — 送電鉄塔とコンクリート構造物への適用 —

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. 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

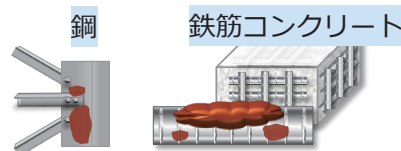
## インフラ構造物の経年劣化



## 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、腐食しるを考慮した設計
- 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**

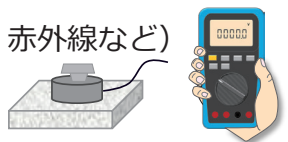
※わが国における腐食コスト，腐食コスト調査委員会，材料と環境，69，p.283-306（2020）

## 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



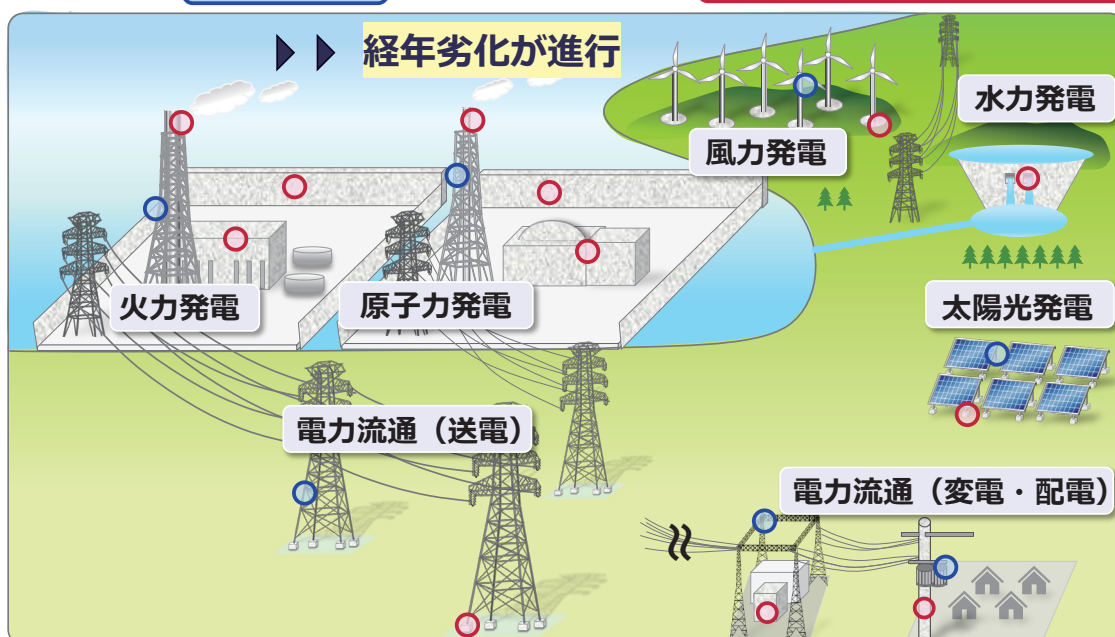
点検対象の合理的な優先付け、  
簡易で定量的な精度の高い評価手法が望まれている

## 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

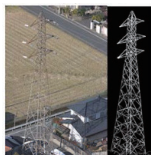
## 鋼構造物

(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

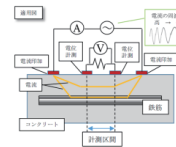
堀康彦ら、電力中央研究所報告H18009、2019

## 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



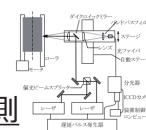
- コンクリート中のめっき金属 (Zn, Al, Zn-Al) の腐食評価

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**

## 報告内容

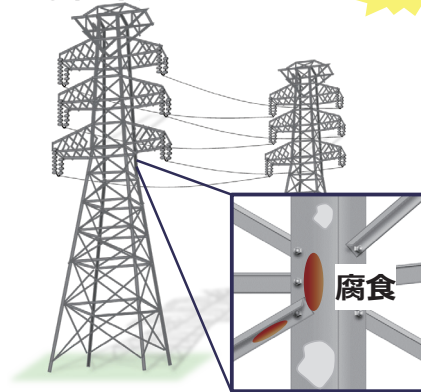
1. インフラ構造物の経年劣化と課題
2. 電力設備のインフラ構造物と当所の腐食評価に関する取組み
3. 電気化学的手法を用いた新たな評価手法の開発と評価事例
  - 3.1 塗装構造物の劣化評価手法の開発 (塗装鉄塔)
  - 3.2 コンクリート構造物の中性化深さ評価手法の開発 (原子力発電所設備)
4. 社会実装に向けた今後の展開

## 送電鉄塔（鋼構造物）の経年劣化と補修塗装

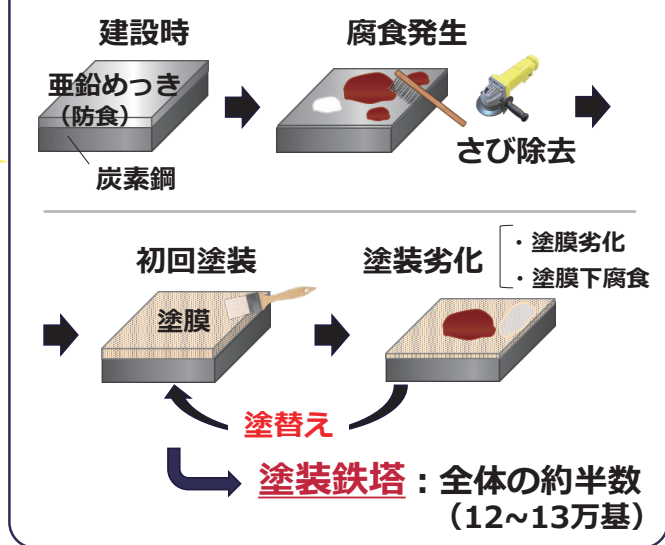
## 送電鉄塔：全国約25万基

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



※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）

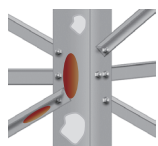
※電気協同研究会：「架空送電設備の劣化対応技術」，電気協同研究，第76巻，第2号，pp.6-8（2020）

## 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**

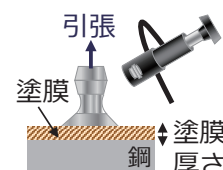
- ・ 点検者に依存（主観的判断）
- ・ 表面に劣化が表れないと劣化の初期段階で判断が難しい



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



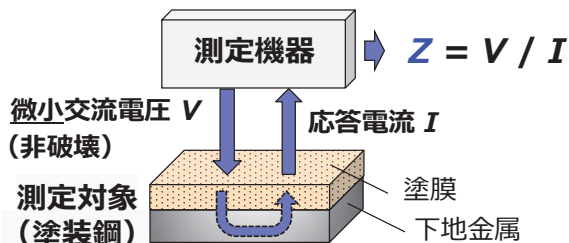
## 電気化学的手法による塗装劣化評価

## 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

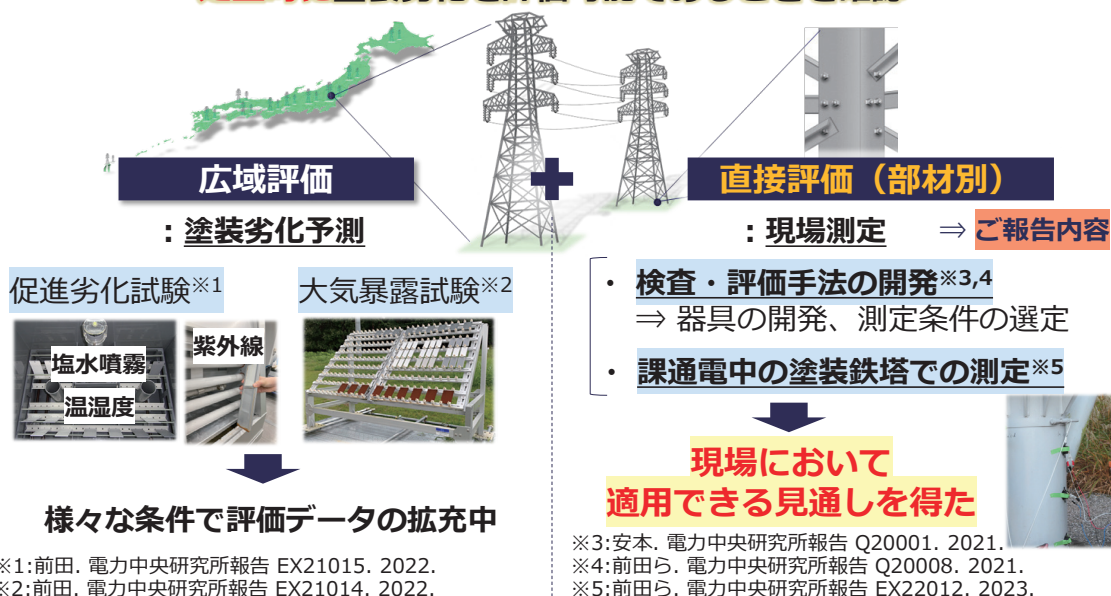
© CRIEPI 2025

12

## 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.

© CRIEPI 2025

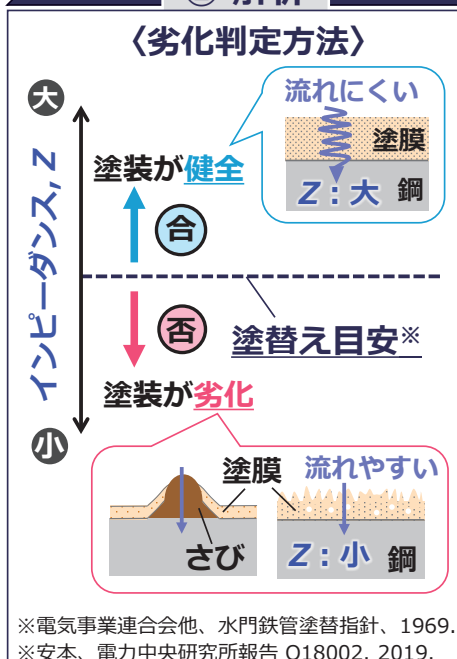
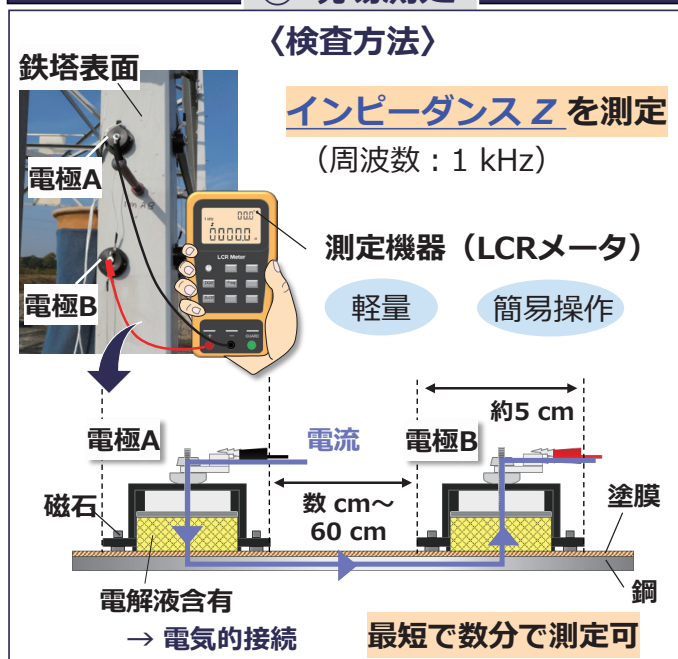
13

## 【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

## ① 現場測定

## ② 解析



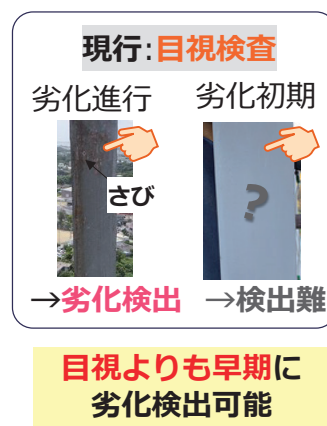
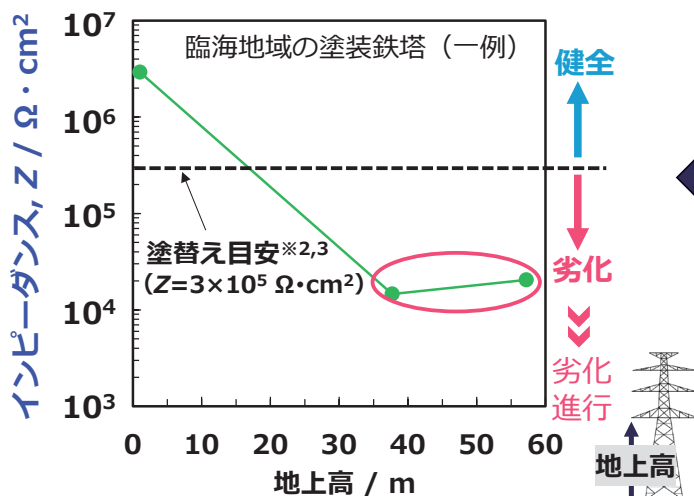
## 【現場適用例】

## 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.



## 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

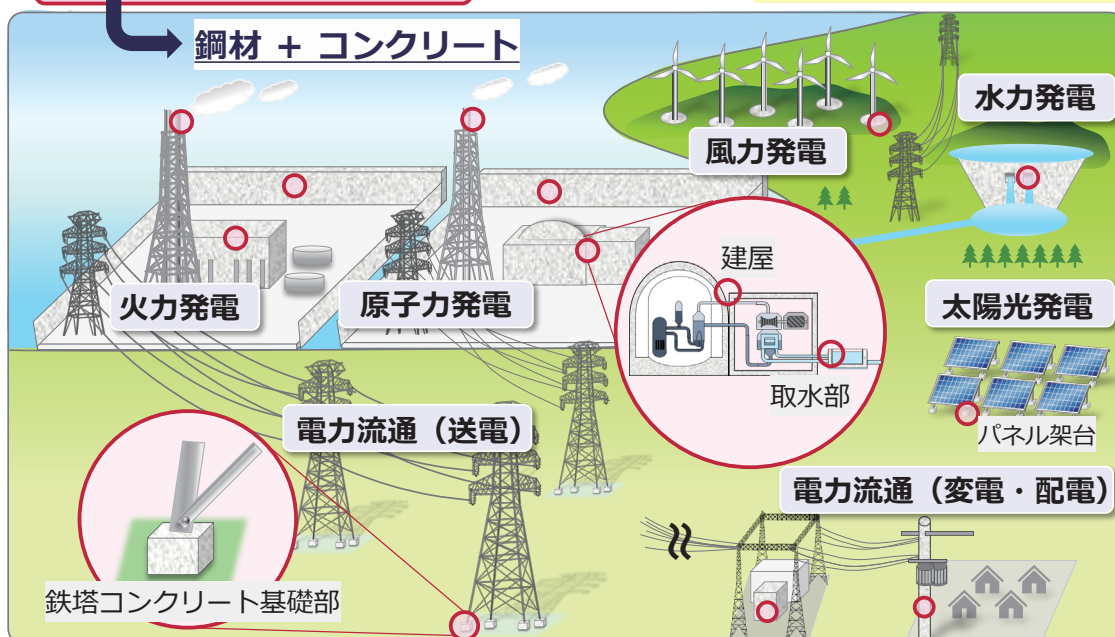
- ・ 塗替え目安の値（現在：既存の値）  
→ 当所や現場で得られた塗装劣化評価データを反映して提案
- ・ 塗装鉄塔だけでなく、他の塗装構造物への適用を提案

## 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

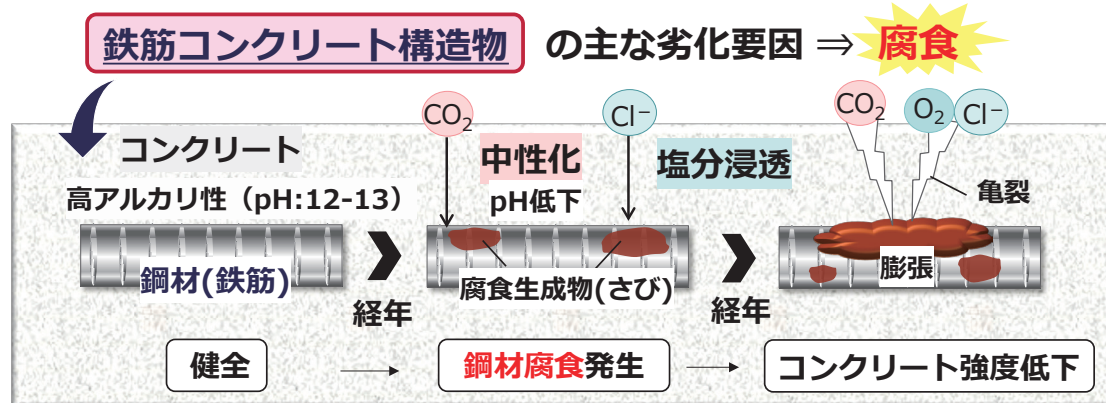
○: **鉄筋コンクリート構造物** の評価技術 ➡ 分野を問わず広く適用可



© 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



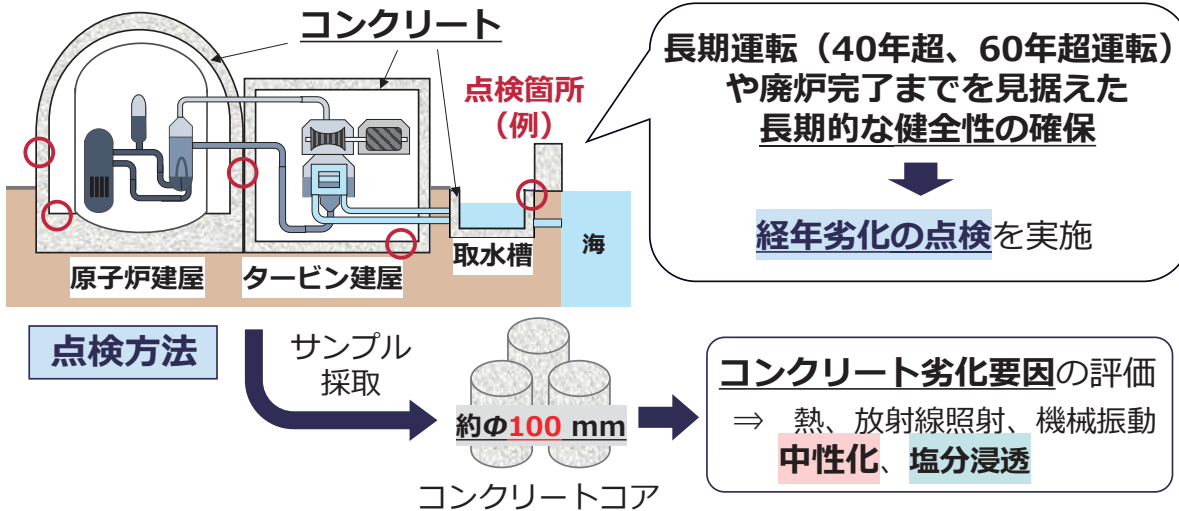
- ・ 材料評価：鉄筋腐食
- ・ 環境評価：**コンクリートの状態変化**（中性化・塩分浸透）

© CRIEPI 2025

19

## 原子力発電所のコンクリート構造物の点検

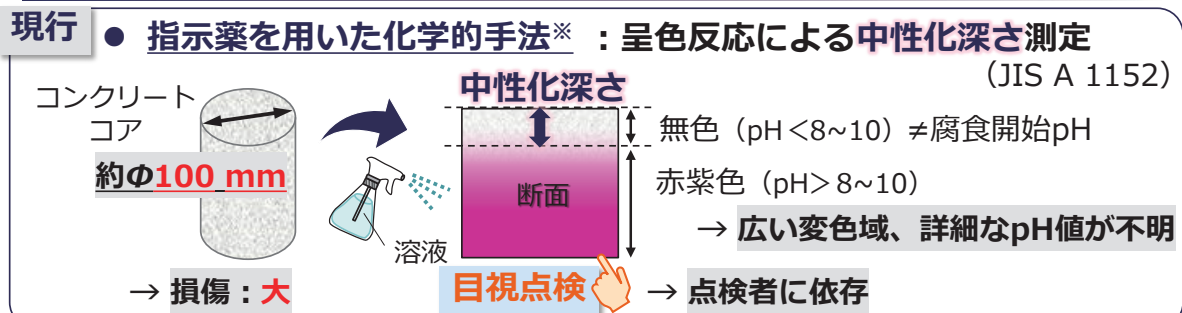
## 原子力発電所内のコンクリート構造物



多くのコアサンプル採取による構造物損傷の懸念

➡ 課題①：損傷を最小限に抑えた合理的な健全性評価が望まれる

## 原子力発電所のコンクリートの中性化評価法



➡ 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



※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)

## 【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

## ① 事前準備

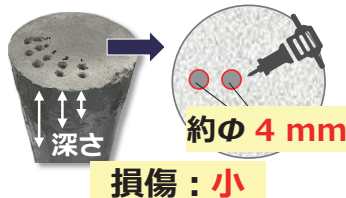
## ・ pHセンサ作製

φ2 mm Ir/Ir酸化物電極

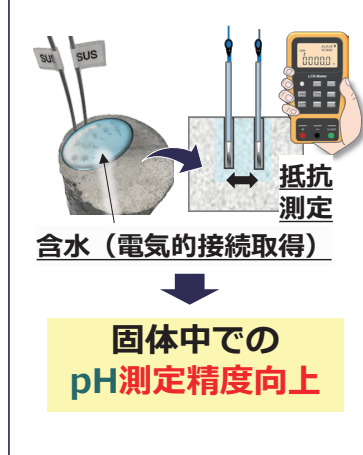
固体コンクリート中  
で使用可能に

## ・ コンクリートの穴加工

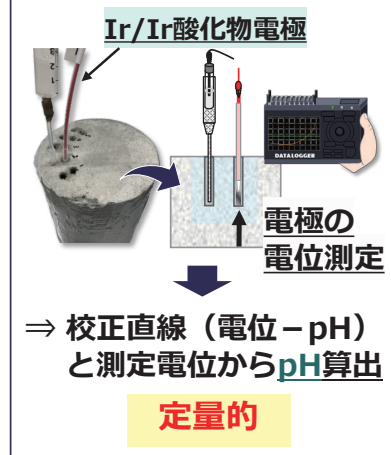
⇒ コア抜き：不要



## ② 含水状態測定



## ③ pH測定

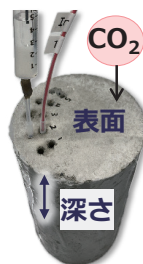
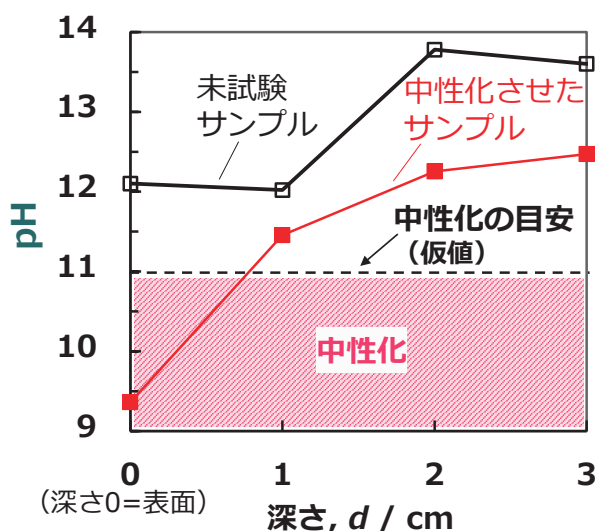
pH値から  
中性化度合い（深さ）を評価可能

## 【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



現行：呈色反応の目視

中性化深さ  
各pH値？  
境界判断：難  
断面  
1 cm

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



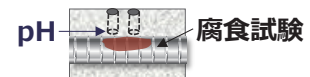
## ➤ 今後の予定

- ・ **中性化の目安（pHの閾値）**

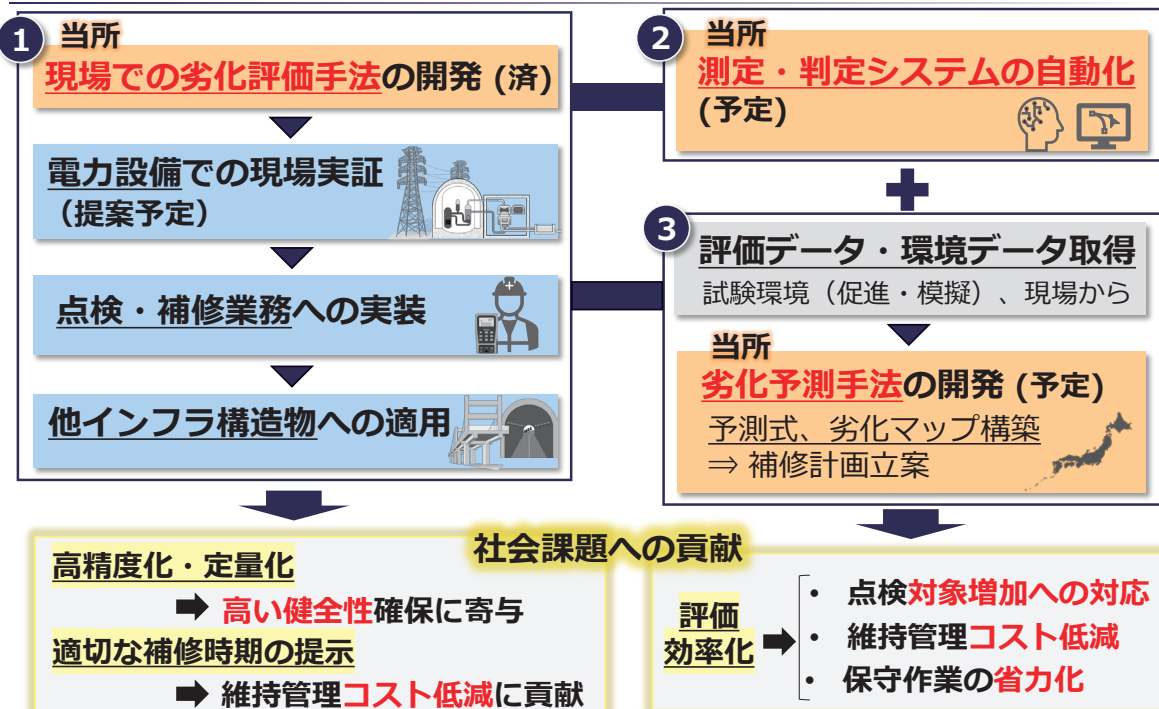
→ 当所や現場で得られたpH値や腐食試験の実施により提案

- ・ **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

 電力中央研究所  
Central Research Institute of Electric Power Industry