

原子力発電プラントにおける当社の保全技術の展開

1. はじめに

当社では、国内原子力発電プラントにおける経年劣化対策およびバックフィット制度¹等に伴う既設設備の診断や解析、補修・修復、改善に取り組んでいる。

以下に当社の保全技術の一端を紹介する。

*1 バックフィット制度とは、原子力規制委員会から運転許可を得た原子力発電所でも、新たな情報によって基準が変更された場合、最新の基準に適合させるように義務付けた制度のことである。

2. 原子力発電所の経年化対策

2.1 設備診断（微生物腐食）

近年、発電プラント内のろ過水系統の消火および雑用水配管については、微生物が原因と考えられる腐食事例（以下、微生物腐食）が認められている。

当社は、これまで微生物腐食について、事例解析を中心に研究を実施している。

2.1.1 微生物腐食（MIC）の解析技術

微生物腐食の解析は、現品の調査・分析に加え、事例水による再現実験、事例水の菌の単離・培養により、腐食性菌の特定を実施している（図1）。

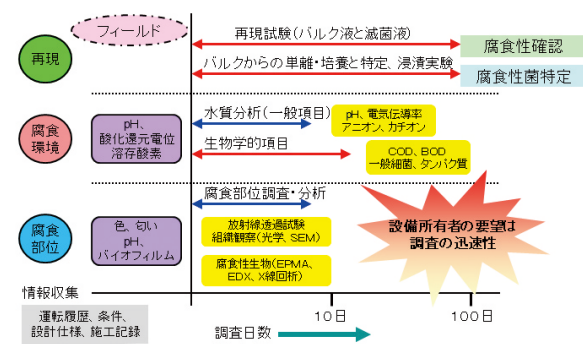


図1 MICの調査手順



図2 既設配管腐食部



図3 既設配管取替作業

2.1.2 腐食の原因およびメカニズムの推定

調査・分析・解析結果に基づき、既設の使用材料毎に腐食原因およびメカニズムの推定を行っている。

2.1.3 補修・更新対策

補修・更新対策については、水質および添加物の影響等も踏まえ、既設配管材料の材質変更および取替、部分補修、外面補修等の対策を提案している。

2.1.4 報告書の作成・提出

これらの診断結果を報告書に取り纏め、お客様に提出している。

2.1.5 補修・更新工事

当社報告書に基づき、お客様と既設配管の補修要領について打ち合わせを行い、設計および工事を実施している（図2・3）。

2.2 大口径ライニング管の検査および取替工事

当社は、これまで発電プラント内の大口径ライニング管の検査および取替工事に取り組んできた。

2.2.1 自走式検査用ロボットの導入

大口径ライニング管の検査に当たっては、検査員による目視検査が困難な箇所の検査用として、自走式検査用ロボット（ドイツEndo-Service社製のクラブロボット）を導入し、実機にて運用している（図4）。

2.2.2 事前計画&検査

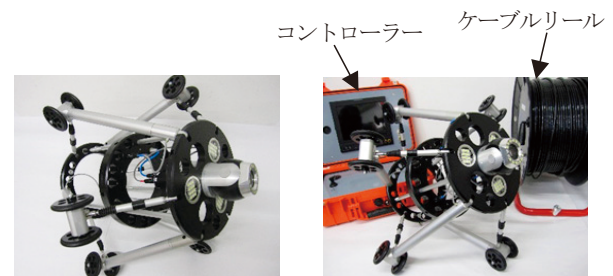
大口径ライニング管の内面検査は、事前に検査対象範囲の図面により管サイズ、形状等の確認を実施の上、現地を確認し、各検査対象範囲について

(1) 直接目視による検査

検査可能範囲：管サイズ800A以上の水平部

(2) 工業用ズームカメラによる検査

検査可能範囲：管サイズ650A～750Aの垂直部



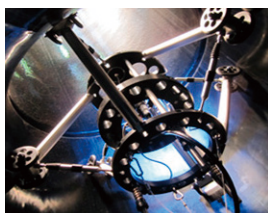
(a) 自走式ロボット本体

(b) 自走式ロボットの構成

図4 自走式検査用ロボットの概要



(a) 自走式ロボット取付作業



(b) 配管垂直部検査状況

図5 自走式検査用ロボットによる検査状況

(3) 自走式検査用ロボットによる検査（図5）

検査可能範囲：管サイズ550A～650Aの水平部
および垂直部，エルボ部

の検査手法に区分し，検査用図面を作成，検査を実施している。

また，自走式検査用ロボットによる検査に当たっては，ロボット本体の緊急脱出，本体落下および部品落下防止対策として

- ・本体の落下防止および緊急脱出用ロープの設置
- ・ロボット構成部品の落下防止のため，ねじロック，接着材等の塗布

を実施している。

2.2.3 検査記録の作成

検査結果については，概要および詳細を点検用図面，写真等により検査記録を作成し，お客様に報告している。

2.2.4 大口径ライニング管の更新工事への取り組み

大口径ライニング管の更新工事においては，既設配管の計測精度および更新配管の製作精度等の誤差による寸法調整を現地で行うことが難しいため，当社では，設計段階で3Dレーザー計測を採用することで，寸法精度の高い製作図を作成。本図により当社工場にて配管ピースの製作→仮組・調整→耐圧・気密試験→ライニング・塗装→出荷→現地取付を実施している（図6）。

これにより，お客様のニーズ（短納期，低コスト，高品質）に適したソリューションを提供している。



(a) 更新配管の製作



(b) 現地取付作業

図6 更新配管の製作，現地取付

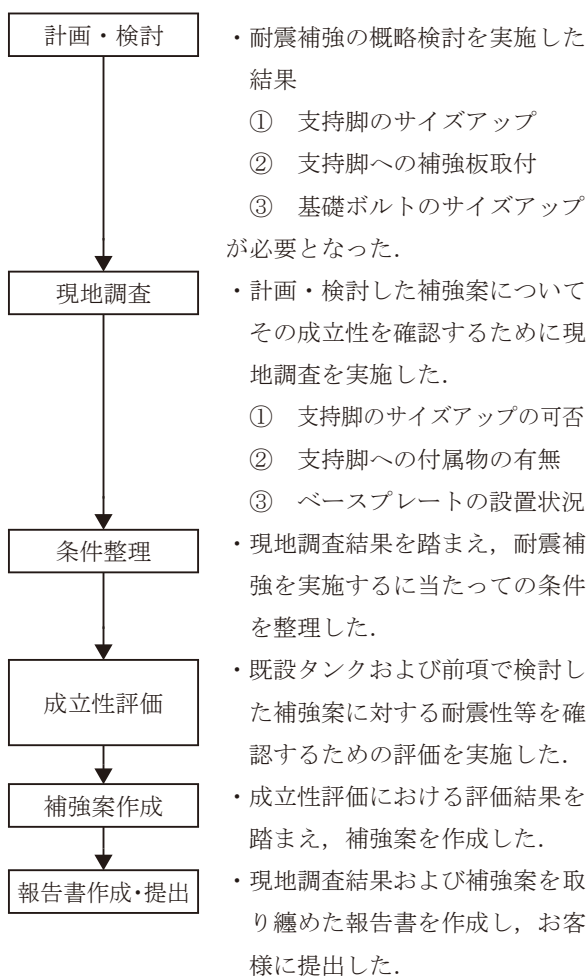
3. バックフィット制度への取り組み

各電力事業者殿は，改正原子炉等規制法により，既存の原子力発電所へも新規規制基準を適用させる必要がある。

これに伴い当社は，既設発電プラント設備の耐震補強の設計，製作，工事に取り組んでいる。以下に「耐震Bクラスの既設タンク」についての実績例の概要を紹介する。

3.1 設計

既設タンクの耐震補強設計に当たっては，現地調査の上，耐震補強案とその成立性の検討を実施した。



3.2 補強案の検討結果

前項の現地調査結果および補強案の詳細検討結果により，既設タンクについて，下記の改造を実施することとなった。

- ・既設支持脚をH200にサイズアップする。
- ・新規支持脚のH鋼のフランジ開口部へ補強板を取り付け，閉断面とする。



(a) 改造前 (b) 改造後

図7 既設タンク支持脚の改造状況

- ・既設基礎ボルトの上部を切断し、新たにM20のケミカルアンカーを各支持脚に2本設置する。

上記対策案に基づき、既設タンクの改造図を作成した。

3.3 製作・現地工事

既設タンクの改造図に基づき、以下の作業を実施した(図7)。

(1) 工場製作

新規支持脚一式の製作および塗装

(2) 現地工事

既設タンクの保温およびアース線等の付属物の取り外し、転倒防止用治具にてタンクを固定、支持脚と当板の溶接部を切断、基礎ボルトナットおよび支持脚を撤去。

その後、新規のケミカルアンカーおよび支持脚を設定し、補強板を溶接した。

作業完了後、各溶接部について非破壊検査(PT)を施工し、ケミカルアンカーのナット締結、寸法外観検査を実施し、転倒防止用治具撤去、支持脚溶接部塗装、保温およびアース線等付属物の復旧を実施、作業を完了した。

4. 原子炉格納容器の特別点検への取り組み

当社は、原子炉等規制法に基づく運転期間延長認可申請に必要な「特別点検」に係る、原子炉格納容器鋼板の目視試験(VT-4)による塗膜状態の健全性確認のための「調査手法の検討および適用性の検証」を2019年に行い、2020年から原子炉格納容器鋼板の目視試験(VT-4)を実施した。

4.1 塗膜調査に適用する規格

「実用発電用原子炉の運転期間延長認可申請に係る運用ガイド」では、「目視試験(VT-4)による塗膜状態の確認」が規定されているため、日本機械学会 発電用原子力設備規格 維持規格(JSME S NA-1)の

VT-4試験(IA-2524)を適用した。また、目視試験にあたっては、維持規格に規定される目視試験(IA-2520)についても準用した。

4.2 調査装置の選定・検証

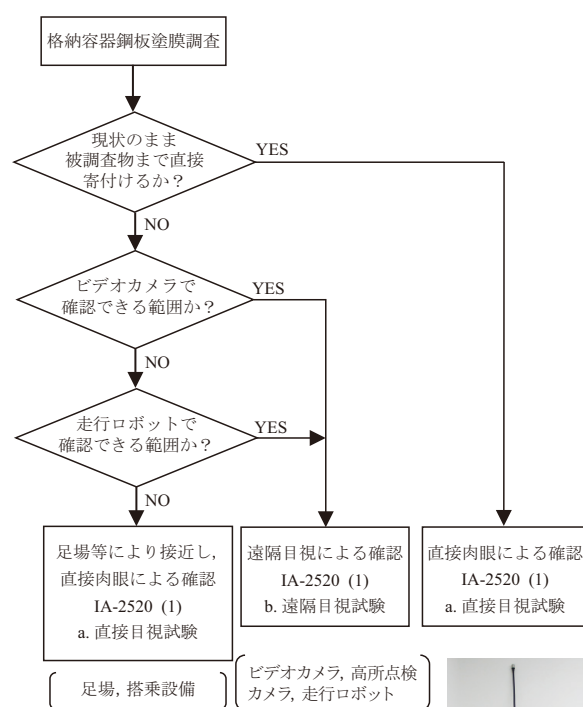
4.2.1 調査装置の選定フローおよび選定した調査装置

下記のフローに基づき、格納容器鋼板の内面および外面の塗膜状態について、高所、狭所等を含めた調査手法の検討を行い、調査箇所毎に最適な調査装置を選定した。

4.2.2 選定した調査手法の適用性検討

選定した調査手法の適用性検討に当たって、調査装置の事前検証の内容について検討した。

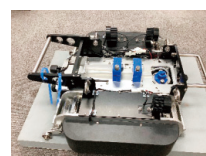
<調査装置の選定フロー>



(a) ビデオカメラ



(b) 高所点検カメラ



(c) 走行ロボット



図8 選定した調査装置

表1 調査装置の事前検証の内容

調査手法	調査装置	事前検証の内容
直接目視	—	—(*1)
遠隔目視	ビデオカメラ	カメラ本体およびグレーカードによる検証 &実機での検証要
	高所点検カメラ	同上
	走行ロボット	モックアップおよび実機 での走行/カメラ&補修 塗装機能について検証要

*1 直接目視および遠隔目視試験を実施する 試験員は、特別点検時に視力、色覚について標準ジャガー式チャートおよび石原色覚検査表(Ⅱ)により正常であることを確認した。

4.2.3 選定した調査装置の事前検証

(1) 検証要領書作成

検証要領書は、発電用原子力設備規格 維持規格(JSME S NA-1)に規定される目視試験に適合する手順にて作成した。

(2) 調査装置の検証試験

1) 調査装置単体試験

a. 対象装置

- ・ビデオカメラ, 高所点検カメラ, 走行ロボット

b. 照明器具

- ・マグライト, 大型LEDライト

c. その他の機材

- ・18%中性灰色カード
(グレーカード)
- ・レーザー距離計, 照度計

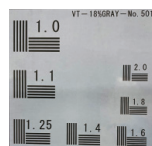


図9 グレーカード

2) 照明器具の検証試験

マグライト, 大型LEDライトの最大照度の検証および両者を使用した場合のビデオカメラおよび高所点検カメラの倍率の決定を行った。

① マグライト, 大型LEDライトの最大照度の検証試験

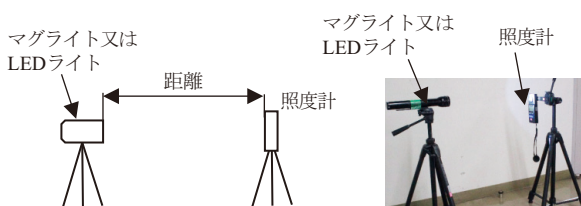


図10 照明器具の最大照度の検証試験要領図

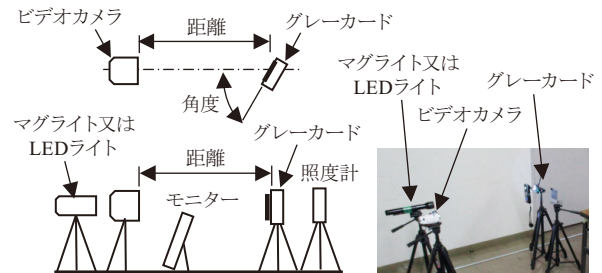


図11 照明器具を使用した場合のビデオ倍率の検証試験要領図

<検証試験内容>

マグライトと照度計の距離1m~23m, LEDライトと照度計の距離21m~42mにおける各距離毎の最大照度を測定した。

② マグライト&大型LEDライトを使用した場合のビデオカメラ倍率を決定した。

<検証試験内容>

マグライトと大型LEDライトを使用して, グレーカードの角度を90°~20°に設定し, 各角度毎に距離を変えながら, グレーカードの0.8mm黒線を識別できる倍率を決定した。

同様に, 高所点検カメラについても, 検証試験を実施した。

3) 走行ロボット検証試験

格納容器鋼板のモックアップを製作し, 走行性能, 鋼板塗装への影響確認, カメラ記録機能および補修塗装機能について検証を実施した。

4.2.4 実機による各調査手法の成立性の確認

実機の格納容器鋼板について事前検討した各点検手法の成立性について確認した。

- (1) 格納容器鋼板の展開図に落とし込んだ干渉物および点検不可範囲等の現場確認
- (2) 直接目視, 遠隔目視の各調査手法の実機検証による成立性の確認
- (3) 走行ロボットの走行性能, 鋼板塗装への影響確認, カメラ記録機能および補修塗装への適応性の検証

4.2.5 検証内容評価

格納容器内外面の鋼板部の健全性を確認するための

- ・塗膜状態調査手法の検討および検証装置の選定
- ・選定した調査手法の適用性検討
- ・選定した調査手法の検証
- ・実機による各調査手法の成立性の確認

を実施し, その検証内容評価を報告書に取り纏め, お

お客様に提出した。

4.3 塗膜状態の健全性確認

原子炉格納容器鋼板の塗膜状態の健全性確認は、運転期間延長認可申請に係るガイドに準拠し、目視試験（VT-4）による塗膜状態の確認を実施した。

また、試験要領については、4.2項の調査装置の選定・検証結果に基づき、格納容器内外面の各部位についての試験要領を定めた「実施要領書」を作成し、目視試験（VT-4）を実施した（図12）。

試験完了後、各鋼板毎に試験記録を作成し、お客様に提出した。

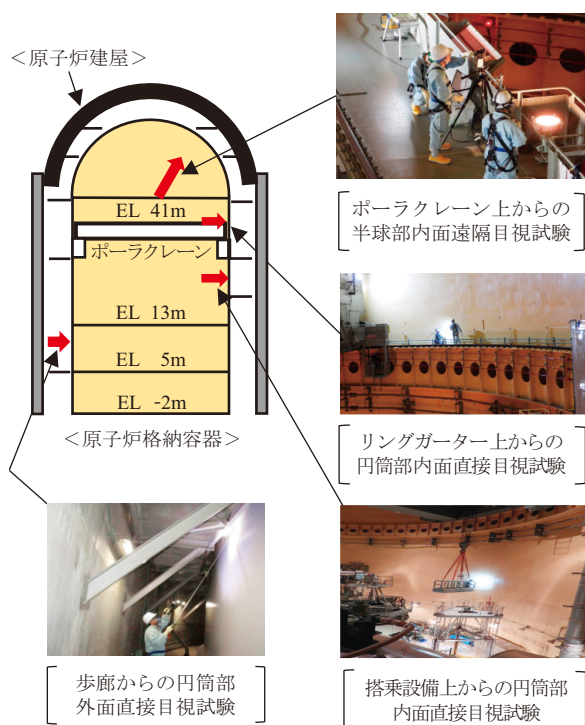


図12 原子炉格納容器鋼板の目視試験作業状況

5. おわりに

当社は、これまで原子力発電プラントの静止機器、配管等の診断・解析・補修・修復に取り組んできた。

今後もお客様に当社の保全技術を紹介するとともに、設備改善等についてのご提案を積極的に進めていきたい。

上 菌 俊彦（原子力事業部 原子力統括部）

参考文献

- 1) 安西敏雄：ステンレス鋼の微生物腐食の事例解析と再現試験の課題
高田技報 別冊集Vol.2 pp.4-10(2013)
- 2) 加嶋慎一：九州電力(株) 玄海原子力発電所第1号機第28回定検向け海水管修繕工事完了報告
高田技報, Vol.23, pp.42-44(2013)
- 3) 國本学：「大口径管内面検査装置」の開発（手動式および自走式検査装置）
高田技報, Vol.24, pp.30-31(2014)
- 4) 中野正大：淡水・海水環境における微生物腐食
高田技報, Vol.25, pp.20-25(2015)
- 5) 松本正和：大口径配管向け手動式管内検査装置の開発
高田技報, Vol.27, pp.30-35(2017)