



美浜、大飯、高浜発電所の 運転状況等について

2023年 11月 6日

目次

- 1． 発電所の状況
- 2． 専門委員会の指摘事項への対応
- 3． 高浜発電所 1 号機高経年化技術評価（50年目）
- 4． 使用済燃料対策ロードマップ

1. 発電所の状況

プラントの運転・定期検査の状況

3

発電所	～2021年度	2022年度	2023年度 現時点	2024年度
美浜 3号機	▼6/29並列 第25回 定期検査	▼10/23解列 第26回 定期検査 ★10/25特重設置期限 ▼7/28特重運用開始	▼10/25解列 1月 第27回 定期検査	3月 第28回 定期検査
大飯 3号機	▼7/5並列 第18回 定期検査	▼8/23解列 ▼12/18並列 第19回 定期検査 ★8/24特重設置期限 ▼12/8特重運用開始	2月 第20回 定期検査	4月
大飯 4号機	▼3/11解列 第18回 定期検査	▼7/17並列 ★8/24特重設置期限 ▼8/10特重運用開始	▼8/31解列 ▼10/27並列 第19回 定期検査	12月 2月 第20回 定期検査
高浜 1号機	▼2011/1/10解列 第27回 定期検査 ★6/9特重設置期限	▼8/2並列 ▼7/14特重運用開始		4月 7月 第28回 定期検査
高浜 2号機	▼2011/11/25解列 ▼2022.1安全性向上対策工事完了 第27回 定期検査 ★6/9特重設置期限	▼9/20並列 ▼8/31特重運用開始		9月 11月 第28回 定期検査
高浜 3号機	▼3/1解列 第25回 定期検査	▼7/26並列	▼9/18解列 未定 第26回 定期検査	1月 未定 第27回 定期検査
高浜 4号機	▼4/15並列 第23回定期検査	6/8解列 ▼ 11/6並列 ▼ 第24回 定期検査	▼1/30原子炉自動停止 ▼3/25並列	12月 4月 第25回 定期検査 ※定期検査：解列～並列 ▼：実績 ▽：予定

高浜 1 , 2 号機の再稼動について

- 高浜 1 号機は7月28日に原子炉を起動、8月2日に発電を開始し8月28日に本格運転を開始
- 高浜 2 号機は9月15日に原子炉を起動、9月20日に発電を開始し10月16日より本格運転を開始

○高浜1,2号機の再稼動に向けた現場点検については、これまでの再稼動プラントでの対応に加え、新たな取り組みを追加し、以下のとおり実施

- **集中的な安全確認**（これまでの再稼動プラントで実施）
トラブル未然防止の観点から、再稼動工程上の重要なポイントである、原子炉起動前・発電機並列前後に「集中的な安全確認」を実施
- **総点検**（2021年の美浜3号機の再稼動時に追加で実施）
長期間停止していた状況を踏まえ自ら保守担当してきた設備に対し、1次冷却材系統昇温・昇圧までに「総点検」を実施
- **原子力分野以外の技術者による点検**（今回追加）
原子力発電所従事者とは異なる視点やノウハウを取り入れ軽微な不具合や兆候を見つけることを目的に「原子力分野以外の技術者による点検」を実施

○集中的な安全確認

実施時期	原子炉起動前と並列前後の3回実施	(点検状況)   サーモグラフィによる点検 目視による細部点検
体制	1号機 延べ約400名 2号機 延べ約400名 メーカ、協力会社、当社社員、当社OB	
点検結果	保温材の外れや、蛍光灯切れ、工事残材などが発見されたが、速やかに適切な処置を実施した。	

○総点検

実施時期	1次冷却材系統の昇温・昇圧前までに3回実施	(気がかり事項の一つ)  弁グランド部に じみ発見 ↓ 弁グランド押え 増し締め実施 ↓ 弁グランド部 にじみ停止 復水器細管洗浄系統弁の グランド部にじみ
体制	1号機 延べ約360名 2号機 延べ約340名 メーカ、協力会社、当社社員、当社OB	
点検結果	海水を通水している復水器細管洗浄系統弁のグランド部にじみがあったが、通常の手当てとして弁グランド押えの増し締めを実施した。	

高浜 1, 2 号機 再稼動に向けた現場点検の実施結果 (2/2)

6

○原子力分野以外の技術者による点検

実施時期	原子炉容器組立完了後から原子炉起動まで																			
体制	1号機 延べ109名 2号機 延べ70名 原子力分野以外の実務経験豊富な技術者、当社社員																			
結果	<点検結果> 各分野における点検の結果、故障や異常の兆候は認められなかった。 <他分野からの講評> 発電所内の設備は現場の清浄度を含めて適切に維持管理されており、技術的に十分な水準の保全が行われているとの講評を頂いた。 <他分野からの提言> 点検結果を踏まえていただいた提言は、いずれも原子力分野でも既に知見があるものであったが、重点的に確認すべき点として改めて確認した。 <table border="1"> <thead> <tr> <th>分野</th><th>点検範囲</th><th>点検結果を踏まえた各分野の提言</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>送配電</td><td>発電所電気設備</td><td>機器の起動・停止、温度変化等の系統状態が変化するタイミングでの漏油確認を重点的に行うこと。</td></tr> <tr> <td>石油化学</td><td>化学薬品取扱設備</td><td>薬品ポンプ周りの漏えい確認、主給水、主蒸気系統フランジ部について重点的に漏えい確認を行うこと。</td></tr> <tr> <td>火力</td><td>蒸気、給水系統</td><td>タービン軸受台については長期停止を考慮し、念のため、タービン起動前に給脂を行うこと。</td></tr> <tr> <td>水力</td><td>土木構造物</td><td>各設備の点検・保修周期については継続的に劣化状況を監視することにより点検内容や周期を最適化していくこと。</td></tr> <tr> <td>鉄鋼産業</td><td>非破壊診断技術を用いたポンプ等の運転状態</td><td>測定台座表面の状態確認およびデータ採取前の手入れを行うこと。</td></tr> </tbody> </table>		分野	点検範囲	点検結果を踏まえた各分野の提言	送配電	発電所電気設備	機器の起動・停止、温度変化等の系統状態が変化するタイミングでの漏油確認を重点的に行うこと。	石油化学	化学薬品取扱設備	薬品ポンプ周りの漏えい確認、主給水、主蒸気系統フランジ部について重点的に漏えい確認を行うこと。	火力	蒸気、給水系統	タービン軸受台については長期停止を考慮し、念のため、タービン起動前に給脂を行うこと。	水力	土木構造物	各設備の点検・保修周期については継続的に劣化状況を監視することにより点検内容や周期を最適化していくこと。	鉄鋼産業	非破壊診断技術を用いたポンプ等の運転状態	測定台座表面の状態確認およびデータ採取前の手入れを行うこと。
分野	点検範囲	点検結果を踏まえた各分野の提言																		
送配電	発電所電気設備	機器の起動・停止、温度変化等の系統状態が変化するタイミングでの漏油確認を重点的に行うこと。																		
石油化学	化学薬品取扱設備	薬品ポンプ周りの漏えい確認、主給水、主蒸気系統フランジ部について重点的に漏えい確認を行うこと。																		
火力	蒸気、給水系統	タービン軸受台については長期停止を考慮し、念のため、タービン起動前に給脂を行うこと。																		
水力	土木構造物	各設備の点検・保修周期については継続的に劣化状況を監視することにより点検内容や周期を最適化していくこと。																		
鉄鋼産業	非破壊診断技術を用いたポンプ等の運転状態	測定台座表面の状態確認およびデータ採取前の手入れを行うこと。																		

2. 専門委員会の指摘事項 への対応

専門委員会の指摘事項への対応状況

- 福井県原子力安全専門委員会が2021年4月に取りまとめた「美浜3号機、高浜1, 2号機の安全性向上対策等に係るこれまでの議論の取りまとめ」に記載された『事業者を求める事項』の対応状況は以下のとおり。

No.	事業者を求める事項	対応方針	実施状況	
1	海外の40年超プラント情報収集、知見反映	海外からの情報を収集し、必要により知見を反映	継続して海外からの情報を収集中	➡ 9
2	IAEA等の外部評価	美浜3号機でIAEAのSALTOピアレビュー実施	2023年8月に美浜3号機で模擬レビューを実施	➡ 10
3	廃止措置プラントの実機材による経年劣化データ拡充	廃止措置工程に合わせ、実機材のデータ取得等による知見拡充 (NRA廃炉材研究との協業含)	廃止措置作業中の美浜2号機において、残存放射能調査用に採取した美浜2号機原子炉容器サンプル材の残材から各種試験片を作成し、ミクロ観察等実施	➡ 11
4	振動モニタリングによる劣化データ蓄積	廃止措置プラントを用いた振動データ採取による、振動診断技術の高度化検討	2022年度からは、大飯1,2号を対象に測定機器数の拡大、診断手法充実のうえで、継続中	➡ 12
5	長期停止後のプラント全体の総点検	美浜3号機および高浜1,2号機の再稼動にあたり総点検を実施	高浜1,2号機の再稼動にあたり総点検、集中的な安全確認、原子力分野以外の技術者による点検を実施	➡ 4 ? 6
6	安全性向上評価の他事業者等の情報収集・反映	電事連WG等で情報収集し、必要により反映	電事連WG等で情報収集を継続中	➡ 13

米国H.B.ロビンソン2号機炉心そう割れ

事象の概要

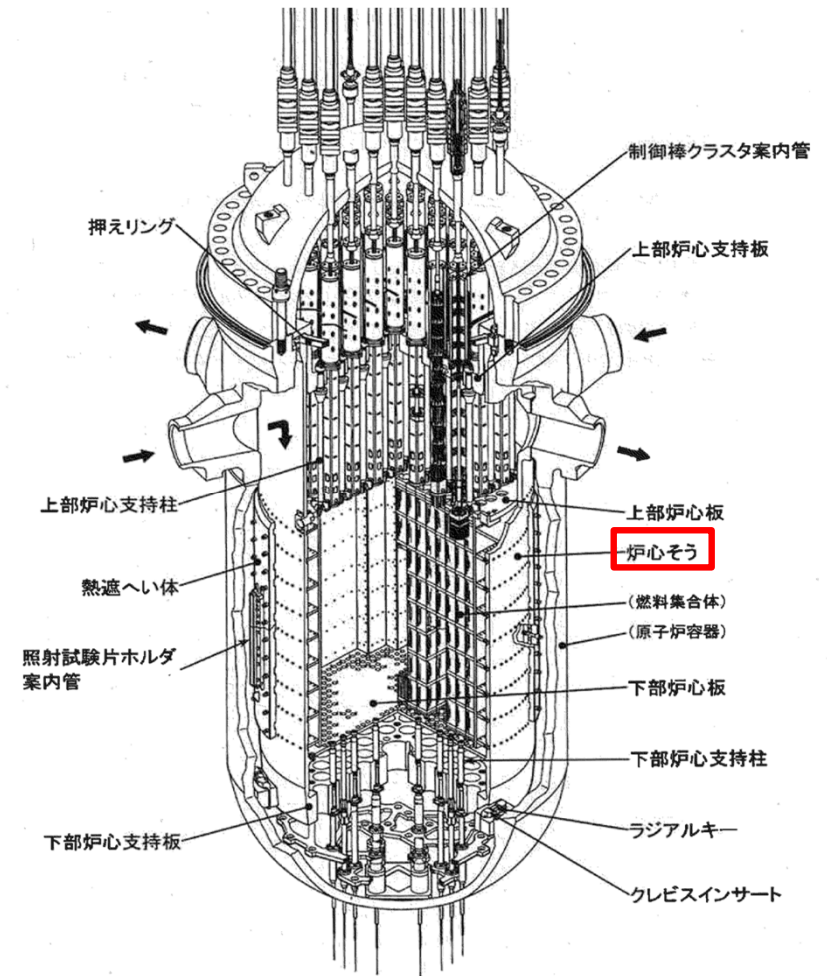
- 米国H. B. ロビンソン2号機（WH3ループ、1971年運開）において、2022年11月、供用期間中検査として、炉心槽内面の目視点検（VT-3）を実施していたところ、上部周溶接線近傍に亀裂が確認された。
- これを受け、炉心槽内外両面において、詳細な検査を実施したところ、亀裂は、合計5か所、いずれも内面であり、長さは2.8～45.1cm、深さは37～92%。
- 当該箇所のうち、無補修では1サイクルの健全性が確認できないと評価された1か所の割れに対して補修を行った上、プラントは2022年12月に運転再開済み。

当社の保全状況

- 供用期間中検査にてVT-3を実施しており、損傷は認められていない。

今後の取り組み

- 米国産業界の検討会が、原因検討等を進めているものの、原因判明は、実機サンプルの切り出しが想定される、当該炉の次回定検（2024年秋）以降の見込み。また、米国他ユニットでの点検結果の判明は2024年末以降の見込み。
- 国内においても詳細検査が必要となるケースに備え、当該溶接線の詳細検査（MVT-1）装置開発や、炉心槽健全性評価手法の検討（非破壊検査を行う際の判定基準、技術基準適合欠陥の範囲、継続使用期間等）を進める。



<SALTO準備状況>

➤ 模擬レビュー（2023.8.21～25）

2024年4月のレビュー(本番)に向け、お互いの理解を深め本質的なコミュニケーションができるようIAEA職員及び海外の専門家(計9名)による模擬レビューを実施

- ・本番とほぼ同じレビュー範囲、同じレビュー形式にて各分野の専門家と、約3日間議論
関西電力の取組、レビュー内容の説明方法、資料の現在の準備状況に対する意見をいただいた。

➤ 確認結果（海外専門家からのアドバイス）

<経年化評価等>

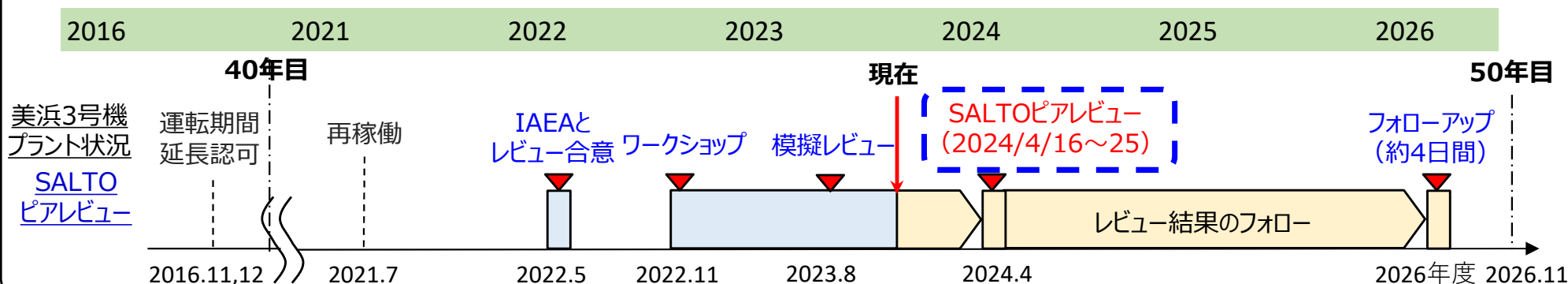
- ・経年化管理はしっかりと行われているが、対象スコープ設定の方法や経年化評価のプロセスが異なるため、本番レビューでは海外レビューワに関電の管理方法を理解してもらうための工夫が必要。

<人的資源、力量>

- ・新入社員（技術系）は、最初に運転員としての訓練を受け、プラントの広範囲の技術的基礎を身に着けた上で各課に配属。これは良い取り組み
- ・人材確保・配置に関して詳細な役割分担や責任が不明瞭な部分があり、整理して今後のレビューを受ける必要がある。

今後のスケジュール

SALTOピアレビューを2024年4月（4/16～25）に実施することを決定。現在はレビュー本番に向け、海外専門家のアドバイスも参考とし、関電の取組を説明するための資料準備を進めている。



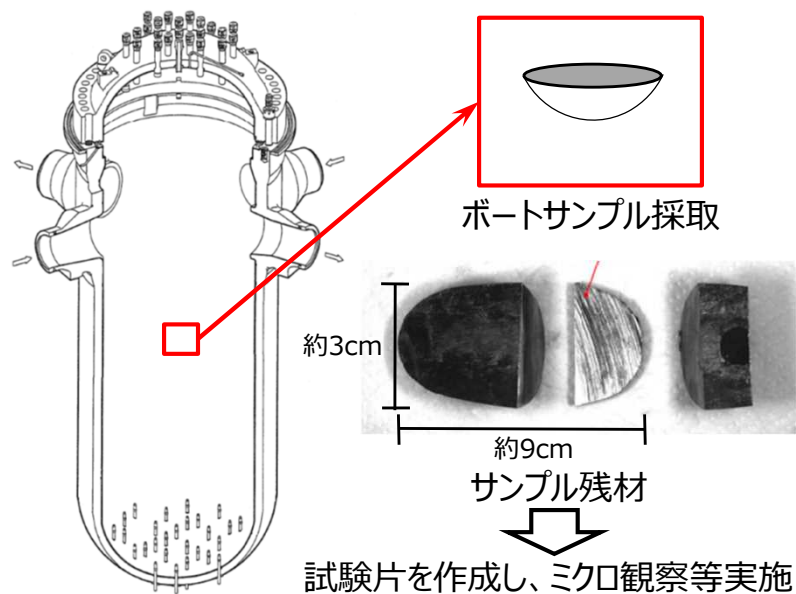
廃止措置プラントの実機材による経年劣化データ拡充

<目的>

- 残存放射能調査用に採取した美浜2号機原子炉容器サンプル材の残材を活用し、中性子照射脆化に関する知見拡充を図る。

<実施内容>

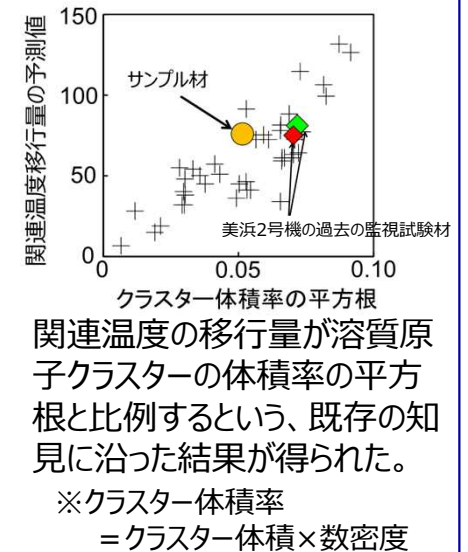
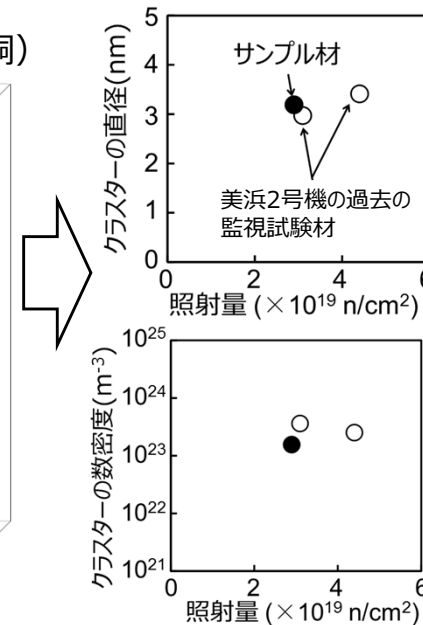
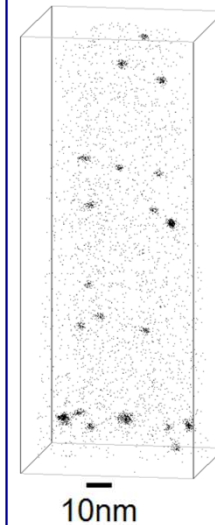
原子炉容器（炉心領域）内表面より採取したボートサンプル残材から各種試験片を作成し、マイクロ観察等実施。



<研究結果>

原子炉容器サンプル材から得られた試験片を用いてマイクロ観察試験を実施した。照射により生じる溶質原子クラスタについて調査した結果、過去の監視試験片でのマイクロ観察結果と同等であることを確認。

アトムマップ（銅）



<まとめ>

- 原子炉容器サンプル材のマイクロ組織観察の結果、過去の監視試験片から得られた結果と同等であった。実機の脆化状況を監視試験片により予測するという既存の枠組みの妥当性を示す知見が得られた。
- 当該成果は学会（2023春の原子力学会等）を通じて公開している。

振動モニタリングによる劣化データ蓄積

- 日本保全学会と連携し、2018年度より美浜1号機にて振動診断技術の高度化調査を開始。
- 2022年度からは、大飯1, 2号を対象に測定機器数の拡大、診断手法充実のうえで、継続中。
- ポンプモータ、ファンの軸受部の振動・温度、油の性状などにより保全周期に関する技術的データの充実

取り組み項目	取り組み状況
① 保全周期を超え最適保全までの状態監視データの取得	分解点検時期の最適な見極めや状態監視保全の信頼性向上に向け、状態監視データを継続取得中。
② 注意期間から機器故障に至るまでの状態監視データの取得	異常の兆候から故障までの状態監視データの変動に関する知見を拡充するため以下の取り組みを実施中。（下線は2022年度以降の充実箇所） ① 振動連続監視機器※1を増加（1台→3台） ② 振動測定頻度を増加（1回/月→2回/月） ③ 軸受温度監視の充実。（赤外線診断のみ→<u>温度ロガー※2を追加</u>） 回転機器全10台のうち5台で、軸受の傷や摩耗などの軽微な異常兆候を確認。故障に至るまでデータ取得を継続し、最適な分解点検時期の知見獲得を目指す。

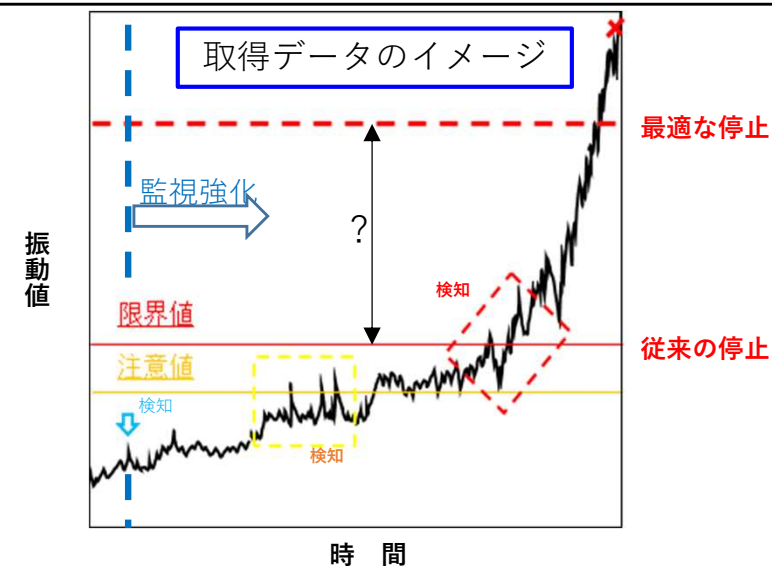
【状態監視計測機器】



(※1)振動連続監視機器



(※2)温度ロガー



安全性向上評価届出書（これまでの実績）

- これまでに安全性向上評価の届出を15回実施。本制度を活用して、知見収集については以下の活動を実施。
- 国内外で得られた最新の科学的・技術的知見の収集および反映要否検討。
 - 他社の安全性向上評価にて抽出された追加措置について、当社への反映要否検討。
（届出15回のべ約110万件の最新知見を収集し、追加措置をのべ15件実施）
 - 設備の運用・保守性の向上や設備改善の推奨提案、部品の製造中止情報など、設備の安全性向上に係るメーカ提案の反映要否検討。

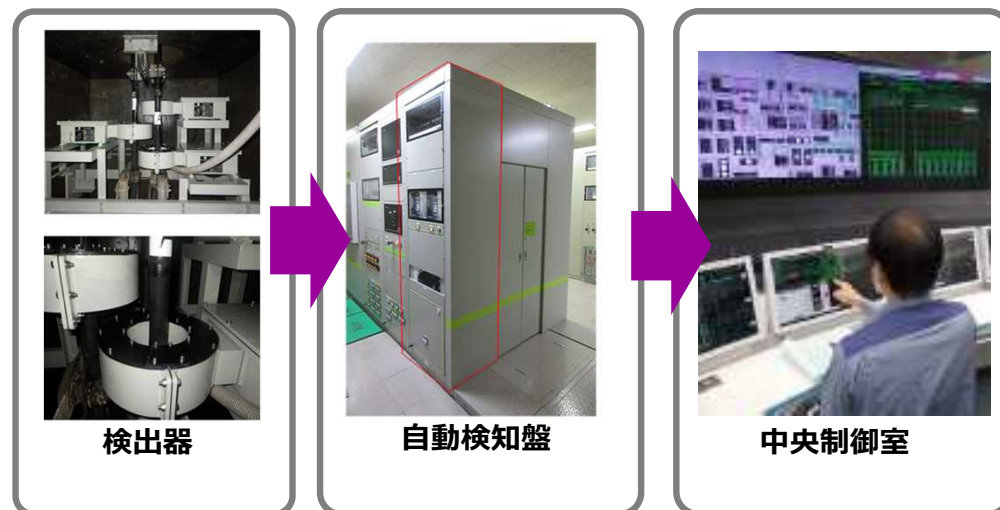
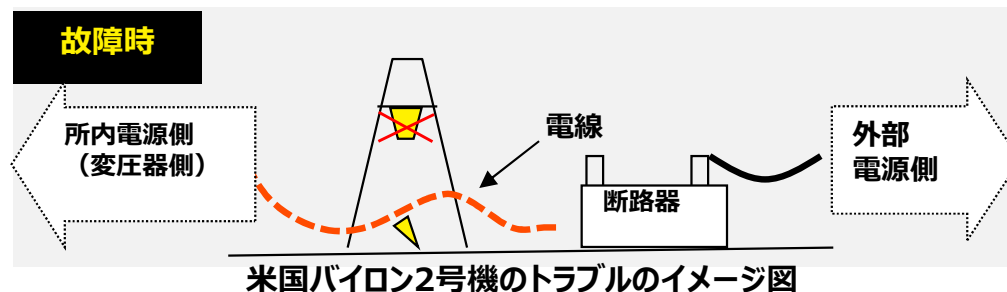
追加措置計15件のうち、海外情報を踏まえた追加措置例として、外部電源異常検知システム設置を実施。

事象の概要（米国バイロン原子力発電所2号機）

碍子の破損により所内電源側の電線が落下し、3相交流電源のうち1相の接続が切れた。それにより、非常用母線は3相交流電圧が不平衡のまま外部電源への接続が維持、原子炉トリップ後に非常用母線の電圧不平衡に起因する過電流等により、非常時に用いる機器への電力供給が正常に行えず停止した。

追加措置

新規制基準で求められる以上の対策として、本事象を自動検知できるシステムを、他電力会社や複数メーカと協働で開発。高浜発電所に同システムを設置し、確認・検証を経て2022年4月に本格運用を開始（国内初）。同種のリスクが認められる各プラントへも順次設置中。



外部電源異常検知システムによる検知のしくみ
（3相交流電源のうち1相の接続が切れた際に中央制御室に警報を発信）

3. 高浜発電所 1 号機高経年化 技術評価（50年目）

高浜発電所 1 号機の概要

○主要仕様

電気出力	約 8 2 6 MW
原子炉型式	加圧水型軽水炉
原子炉熱出力	約 2 , 4 4 0 MW
燃料	低濃縮ウラン（燃料集合体 1 5 7 体）
減速材	軽水
タービン	横置串型 4 車室再熱再生式

○主な経緯

原子炉設置許可	1969年12月
建設工事開始	1969年12月
営業運転開始	1974年11月

○運転実績

2023年3月末時点

累積平均設備利用率	52.5%
計画外停止回数	17回



○高経年化対策に係る実績

高経年化技術評価（30年目）	2003年12月18日申請	2004年 3月18日認可
高経年化技術評価（40年目）	2015年 4月30日申請	2016年 6月20日認可
運転期間延長認可		
高経年化技術評価（50年目） 今回	2023年11月2日申請	—

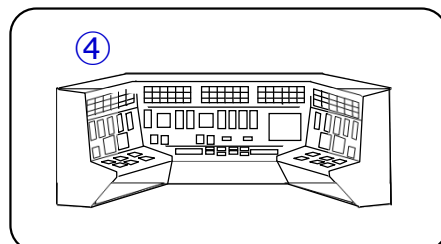
高浜発電所 1 号機の安全性・信頼性向上として実施した主な改良工事等

- ・ 発電所では設備・機器全てについて、これまで保全計画に基づくきめ細かい保守管理や、大型の機器の取替を実施してきている。
- ・ 50 年以降の運転も見据え、発電所の安全性・信頼性を向上させるために主な改良工事として以下を実施し、評価に反映している。

①原子炉照射試験片取出 (原子炉容器)

⇒原子炉容器の中性子照射脆化の評価へ反映

④中央制御盤他取替工事 (中央制御室)



⇒計測制御設備の技術評価へ反映

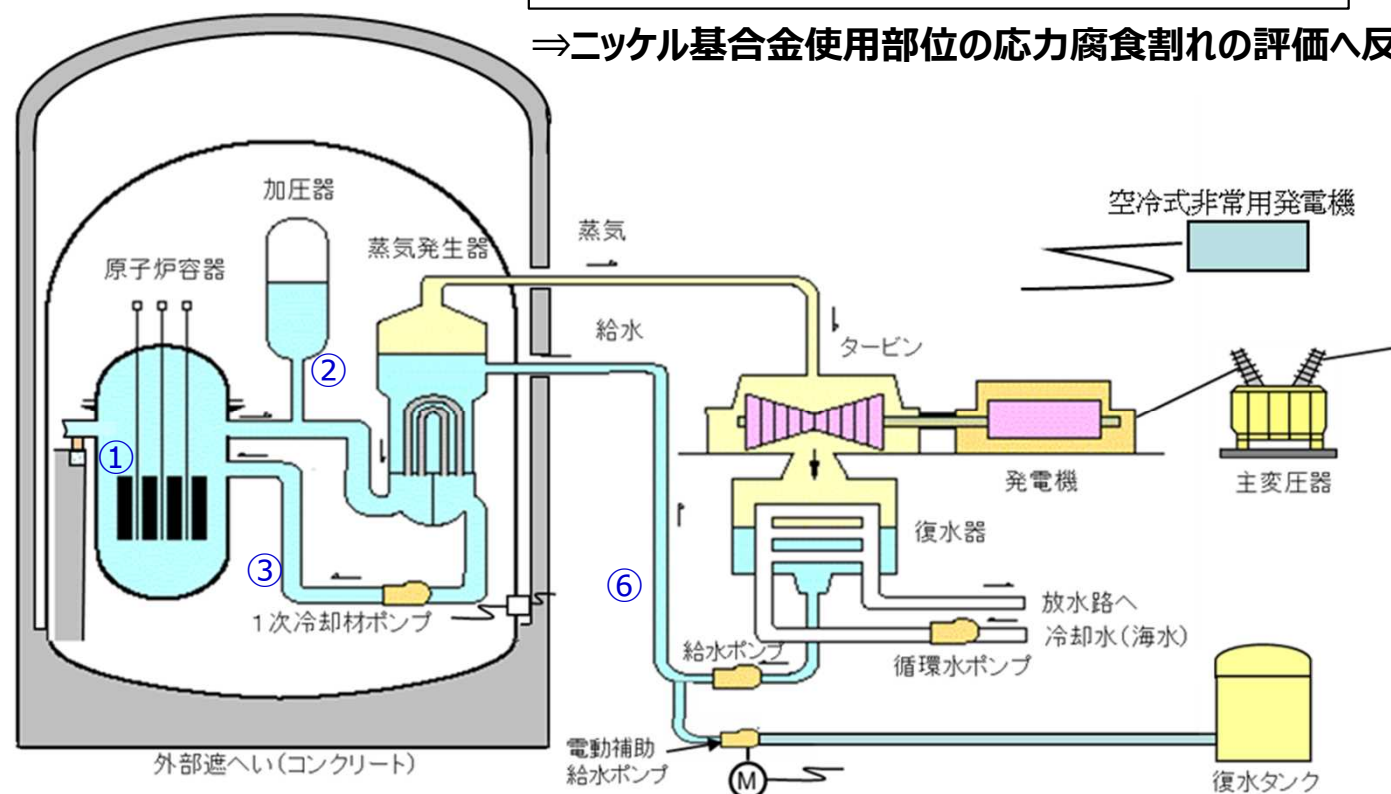
⑤監視・制御用電源の 取替工事



⇒電源設備の技術評価へ反映

②加圧器と1次系配管の接合部の応力腐食割れ に係る予防保全工事

⇒ニッケル基合金使用部位の応力腐食割れの評価へ反映



③高サイクル熱疲労割れに係る 対策工事 (1 次系配管)

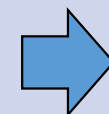
⇒配管の高サイクル熱疲労の評価へ反映

⑥ 2 次系配管点検・取替工事 (2 次系)

⇒炭素鋼配管の流れ加速型腐食の評価へ反映

高浜発電所 1 号機の安全性・信頼性向上として実施した主な改良工事等の内容

改良工事等	目的	内容
①原子炉照射試験片取出	材料特性の確認	5 回目の試験片を取出し評価を行い、健全性を確認
②加圧器と1次系配管の接合部の応力腐食割れに係る予防保全工事	国内外トラブルを踏まえた対応	加圧器と1次系配管の接合部を耐食性に優れた材料で溶接
③高サイクル熱疲労割れに係る対策工事		高サイクル熱疲労割れ事象※を踏まえた配管等の撤去
④中央制御盤他取替工事	製造中止品への対応	中央制御盤全体をアナログ式から最新のデジタル式の操作・監視盤に取替
⑤監視・制御用電源の取替工事		電気・計装装置のデジタル制御化による消費電力の増加を踏まえて最新かつ電源容量が大きい装置に取替
⑥2次系配管点検・取替工事	設備保全	計画的に超音波による肉厚測定を行い、配管取替等を実施



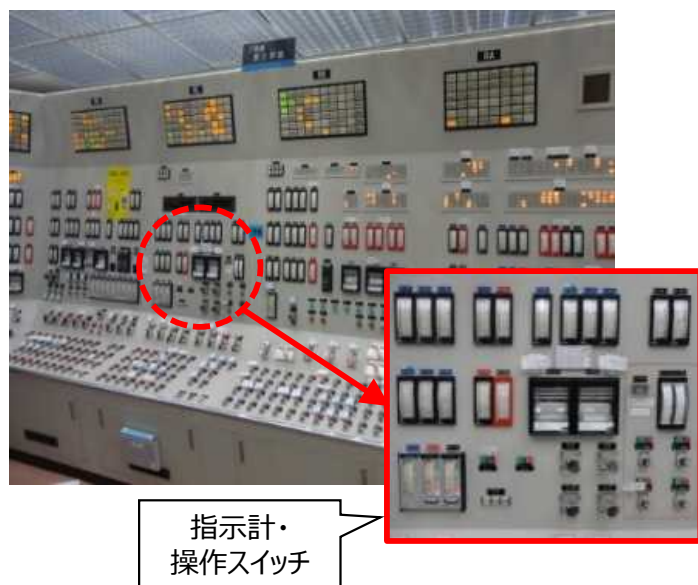
18

※国内外プラントで発生した熱疲労割れ事象を踏まえた水平展開として実施

中央制御盤他取替工事（製造中止品への対応）

- 指示計等の保守性向上※の観点から、中央制御盤全体をアナログ式から最新のデジタル式の操作・監視盤に取替えを行い、ディスプレイ（タッチパネル）や大型表示装置での操作や監視をできるように変更
※取替前の中央制御盤に取り付けられていた指示計等の多くが製造中止となっており、継続的な保守に支障をきたしているため。
- また、中央制御盤に接続されている原子炉保護装置等についても、電子部品が製造中止になったことから、今後の保守性を考慮し、最新設計のものに取替え

取替前（アナログ式）



取替後（デジタル式）



当社プラントにおける対応状況

- ・高浜 1、2 号機、美浜 3 号機（いずれも2020年）

デジタル式の中央制御盤においても、盤内の構成部品等の製造中止やメーカ修繕対応が終了する可能性があり、継続的な保守管理が必要

高浜発電所 1 号機 高経年化技術評価の結果

高浜 1 号機の安全上重要な機器及び構築物（ポンプ、容器、配管、弁等、約4,000機器）に対して、プラント運転開始後60年の運転を想定した設備の健全性評価を実施し、問題のないことを確認した。主要な劣化事象の評価結果を以下に示す。

主要な劣化事象	評価結果
原子炉容器の 中性子照射脆化	中性子照射脆化による靱性の低下を考慮しても、原子炉容器が破壊に至らないことを確認
低サイクル疲労	運転操作による今後の金属疲労の蓄積を考慮しても、原子炉容器等の疲労割れが発生しないことを確認
コンクリートの強度低下及び遮蔽能力低下	熱や放射線照射などの影響を考慮しても、コンクリートの強度低下及び遮蔽能力低下が生じないことを確認
電気・計装品の絶縁低下	熱や放射線照射などの影響を考慮しても、電気・計装品に有意な絶縁低下が生じないことを確認
照射誘起型応力腐食割れ	中性子照射の影響による照射誘起型応力腐食割れを考慮しても、炉心の健全性に影響しないことを確認
2 相ステンレス鋼の熱時効※	熱時効による材料の劣化を考慮しても、1 次冷却材管等が破壊に至らないことを確認

※250℃以上に長時間さらされた場合、2相ステンレス鋼の材料の粘り強さ（靱性）が低下する事象

- 高経年化技術評価の結果、追加すべき保全策（長期施設管理方針）の確実な実施と、現状の保全活動の継続により、設備健全性は確保可能であることを確認

【炉内構造物】

- バッフルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れを考慮しても炉内構造物の構造強度・機能の健全性に影響を与えないことを確認
⇒炉内構造物の取替を計画

【原子炉容器等の低サイクル疲労】

- 推定過渡回数に基づく評価で損傷発生の可能性がないことを確認
⇒過渡回数の実績を継続的に確認

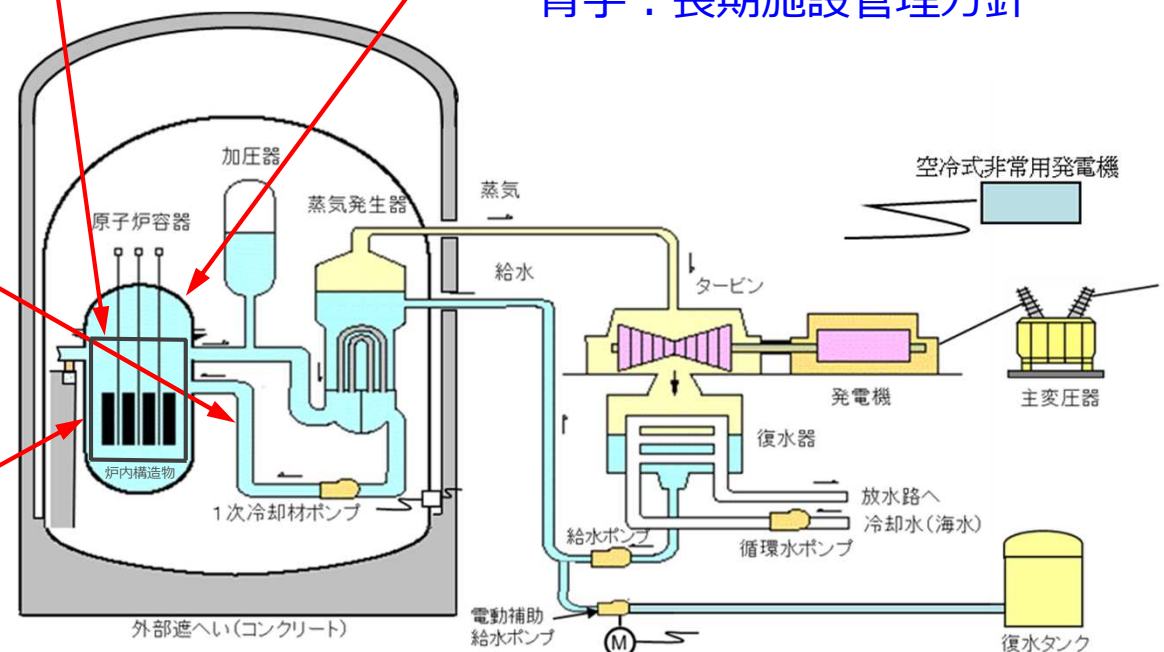
【ステンレス鋼配管の溶接部施工条件に起因する内面からの粒界割れ】

- 大飯 3 号機加圧器スプレイ配管溶接部における亀裂は特異な事象と判断
⇒今後の知見拡充結果を検査計画に反映

【原子炉容器の中性子照射脆化】

- 過去 5 回の監視試験（脆化予測）に基づく評価で中性子照射脆化が機器の健全性に影響を与えないことを確認
⇒第 6 回監視試験を計画

黒字：高経年化技術評価の結果
青字：長期施設管理方針



4. 使用済燃料対策ロードマップ

2023年10月10日
関西電力株式会社

- | 年度 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 | 2034 | 2035 |
|---------------------|--|------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 六ヶ所再処理工場 | | 竣工 | <div>各電力会社の使用済燃料の再処理</div> <div> <div>70t</div> <div>170t</div> <div>70t</div> <div>(徐々に800tに増加)</div> <div>800t</div> <div>800t</div> <div>800t</div> <div>800t</div> <div>800t</div> </div> | | | | | | | | | | |
| | | | <div>各電力会社の使用済燃料受入れ（発電所から搬出）</div> <div> <div>70t</div> <div>170t</div> <div>70t</div> <div>(徐々に800tに増加)</div> <div>800t</div> <div>800t</div> <div>800t</div> <div>800t</div> <div>800t</div> </div> | | | | | | | | | | |
| 使用済MOX燃料
再処理実証研究 | <div>高浜発電所から仏国搬出（オラノ社への搬出200t）</div> <div> <div>70t</div> <div>70t</div> <div>60t</div> </div> | | | | | | | | | | | | |
| 中間貯蔵施設 | <div>中間貯蔵施設 操業</div> <div> <div> </div> <div></div> </div> | | | | | | | | | | | | |

使用済燃料対策ロードマップについて

添付

- 当社は、使用済燃料対策推進計画に基づき、中間貯蔵施設の操業に向けた取組み等を展開
- 7 基体制の確立の後、2030 年頃の中間貯蔵施設の操業に向けて、使用済燃料対策推進計画を補完する指針として、使用済燃料対策ロードマップを策定
- 使用済燃料対策ロードマップの取組みを適切に管理するため、当社は、取組みの進捗状況を随時確認
- 使用済燃料対策ロードマップは、今後の取組みの進捗状況の確認結果等に応じて、適宜見直し、改善を実施

【使用済燃料対策ロードマップの記載事項】

- ✓ 六ヶ所再処理工場への使用済燃料の搬出
- ✓ 使用済 MOX 燃料再処理実証研究に伴う仏国オラノ社への使用済燃料の搬出
- ✓ 中間貯蔵施設の 2030 年頃の操業開始、操業に向けた準備

【取組みのフォローアップ】

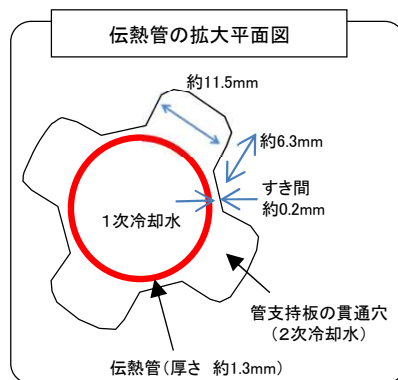
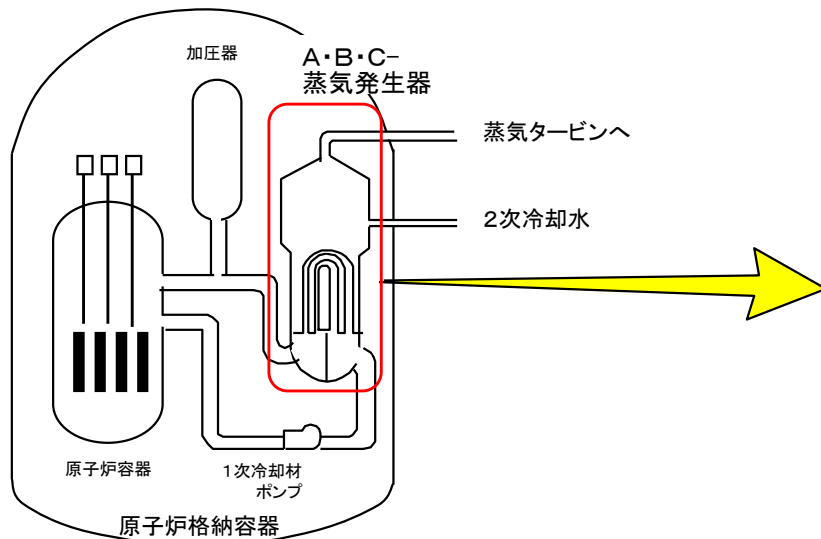
- ✓ 当社は、取組みの進捗状況を随時確認し、必要に応じ、ロードマップを見直す

參考資料

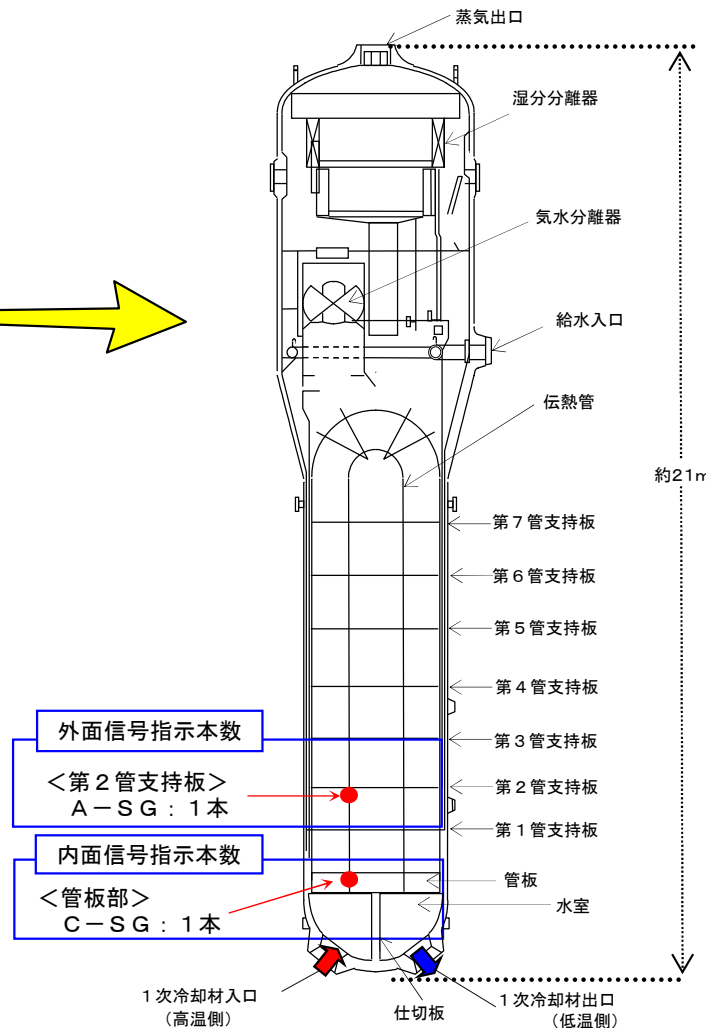
高浜発電所 3 号機の定期検査状況(蒸気発生器伝熱管の渦流探傷検査結果)

高浜発電所3号機の第26回定期検査において、3台（A,B,C）ある蒸気発生器（以下、SG）の伝熱管全数について渦流探傷検査を実施した結果、A-SGの伝熱管1本の高温側第2管支持板部付近に外面（2次側）からの減肉とみられる有意な信号指示が認められた。また、C-SGの伝熱管1本の高温側管板上部に内面（1次側）からの割れとみられる有意な信号指示が認められた。

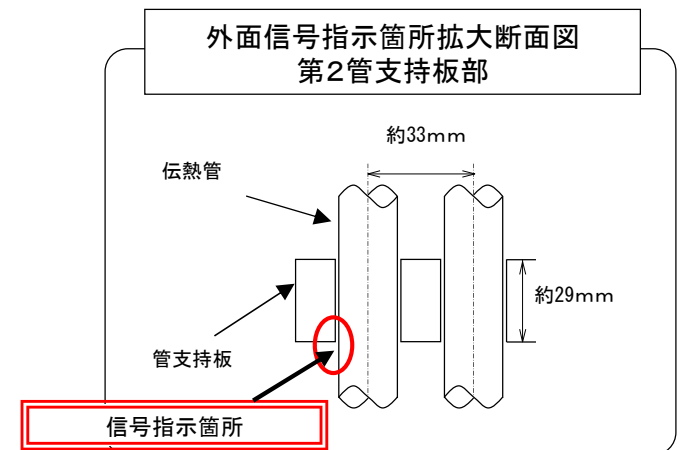
系統概要図



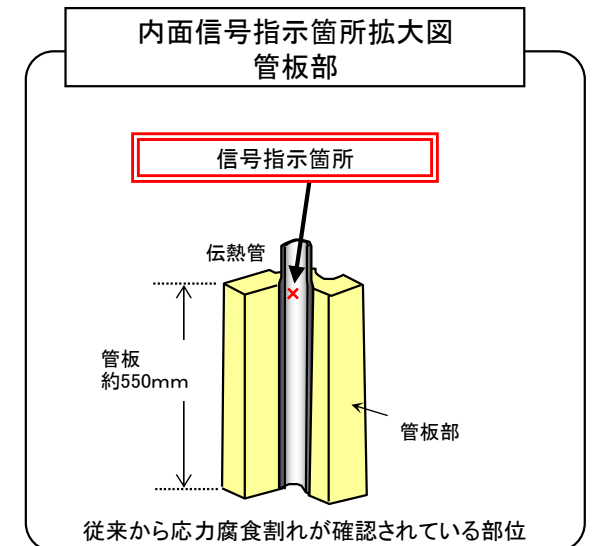
蒸気発生器の概要図



外面信号指示 A-SG: 1本



内面信号指示 C-SG: 1本



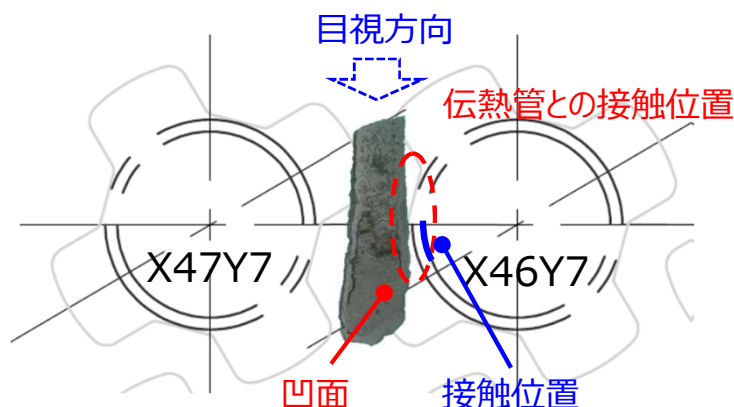
○外面減肉が認められた箇所の小型カメラによる観察の結果、管支持板下面に付着物（スケール）が確認されたため、回収し、スケールの分析を実施

① スケールと伝熱管との接触位置推定と外観観察結果

- スケールは、下図のとおり減肉管X46Y7と接触していたことを確認しており、その目視結果から伝熱管との接触位置を推定した。
- スケールの形状は円筒状に沿った形状であり、伝熱管の外径に近い形状であった。



第二管支持板を下から見た図



大きさ：約23mm×約7mm
厚さ：約0.4mm
質量：約0.2g



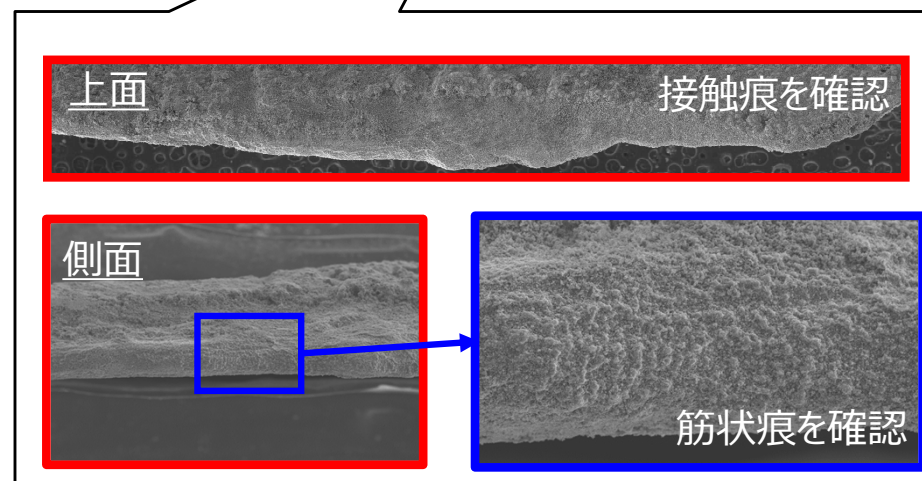
② スケール接触部のS E M観察

- 伝熱管減肉部と接触していた箇所に接触痕が認められた。
- 接触した箇所を拡大観察した結果、筋状痕を確認した。

③ 成分分析（ E D S ※ ）

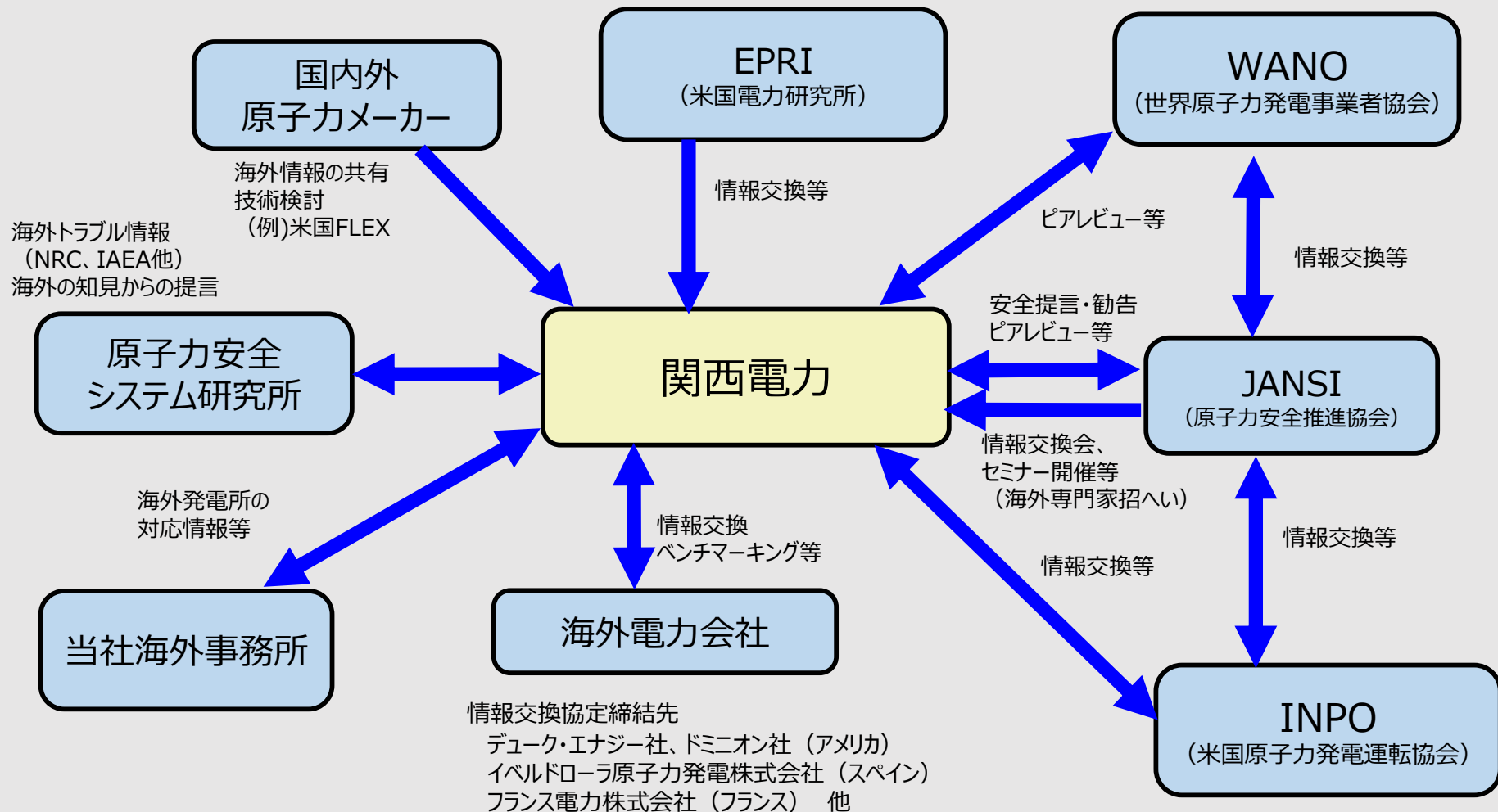
- 伝熱管との接触部の表面化学成分を分析した結果、伝熱管（インコネル T T 6 0 0）の主成分であるニッケル、クロムの成分を僅かに検出した。

※：電子線照射により発生する特性X線のエネルギーと強度から構成元素を分析する装置



海外情報、知見等の収集

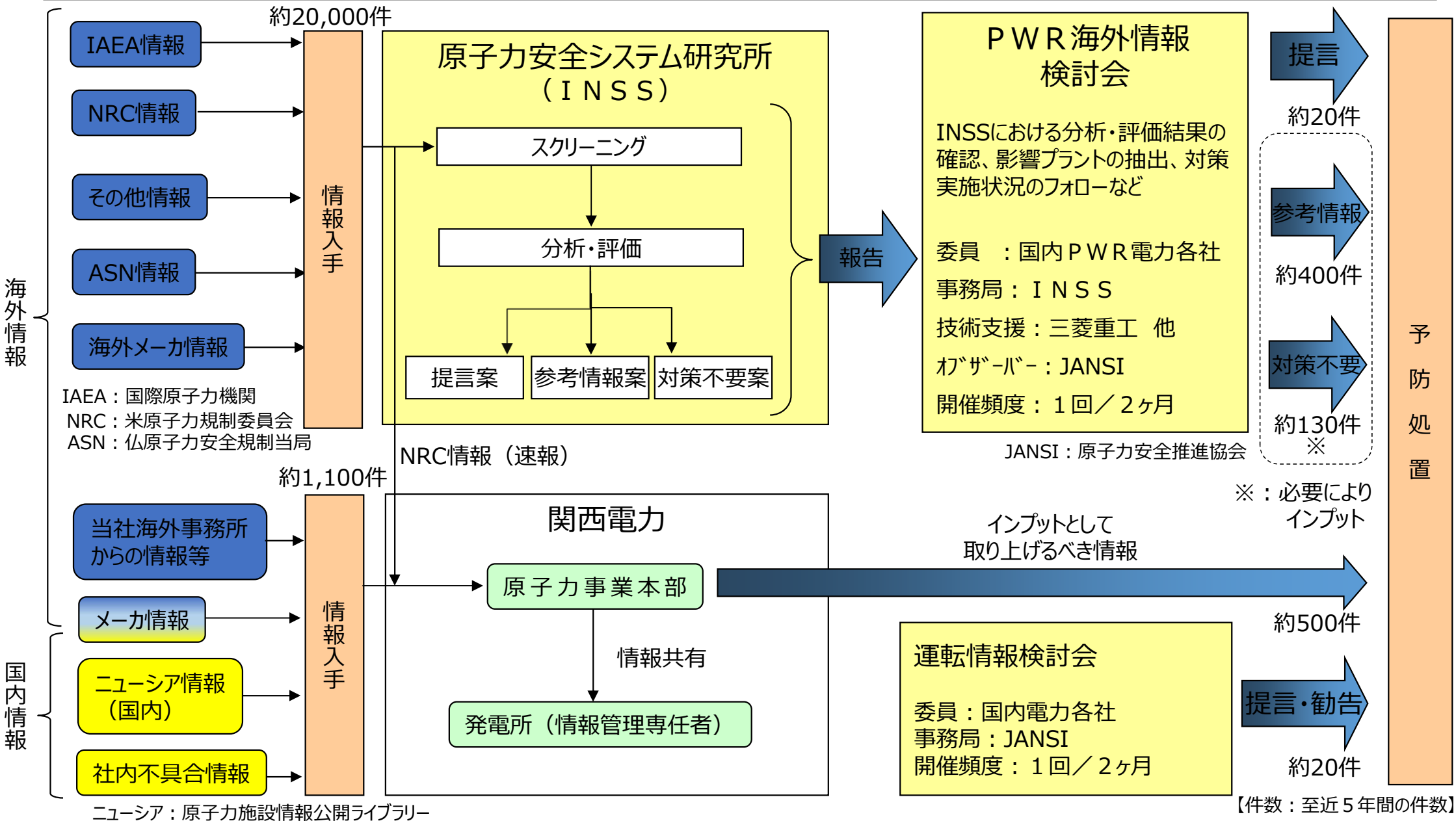
海外電力会社との情報交換協定締結、および海外の団体や研究への参画による直接の情報収集を行っている他、国内関係機関との情報交換、セミナー等を通じた情報収集、知見修得により、海外の先進事例や最新知見を収集し、適宜分析、反映して当社の取り組みに展開。



諸外国からの最新知見を収集し、各種対策の検討に活用

海外情報、知見等の収集から反映までの仕組み

国内外トラブル情報を積極的に入手し、起こり得る不適合の原因を除去することにより、同種同類の不適合の発生を防止（予防処置）。



振動モニタリングによる劣化データ蓄積

<目的>

- 日本保全学会と連携し、美浜1号機を対象に状態監視技術を活用
- ポンプモータ、ファンの軸受部の振動・温度、油の性状などにより保全周期に関する技術的データの充実

<これまでに得られた知見>

- ① 保全周期を超え最適保全までの状態監視データの取得
(診断関連性イメージ図①の範囲)
 - ・ 循環水ポンプ潤滑水ポンプモータの軸受部で最適保全(延長)までのデータ取得
 - ・ 成果：最適保全までの有効なデータが取得できた
 - ・ 課題：データ取得機種が1機器のみであり拡充が必要
- ② 注意期間から異常期間の状態監視データの取得
(診断関連性イメージ図②の範囲)
 - ・ 格納容器送気ファンの軸受部で異常の兆候発生から故障までのデータ取得
 - ・ 成果：故障までの有効なデータが取得できた
 - ・ 課題：異常の兆候発生から故障までの期間が短く頻繁なモニタリングが必要

診断は、原子力発電所の設備診断に関する技術指針における診断技術があり、以下の診断手法（指針に基づく診断技術）を採用し活用している。

(回転機器振動診断技術)



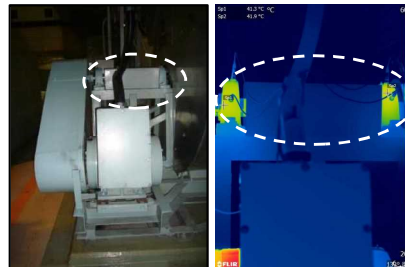
【軸受部の振動確認の例】

(潤滑油診断技術)

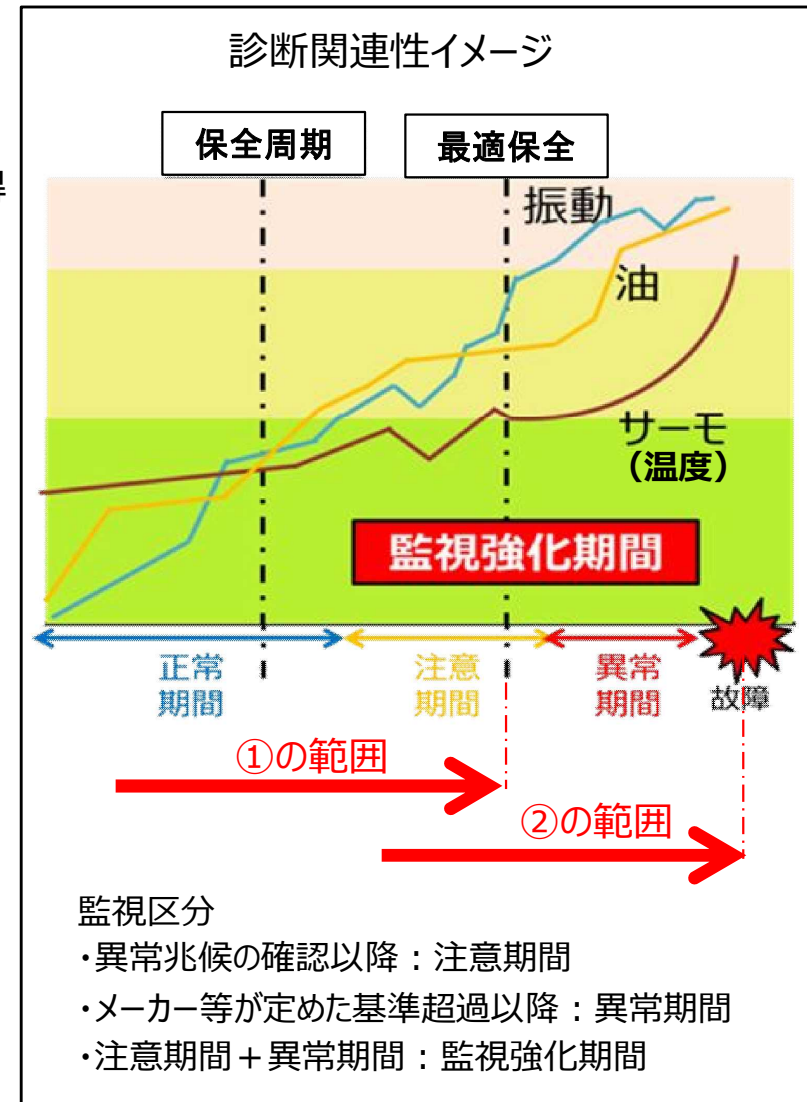


【潤滑油の性状・成分確認の例】

(赤外線サーモグラフィー診断技術)

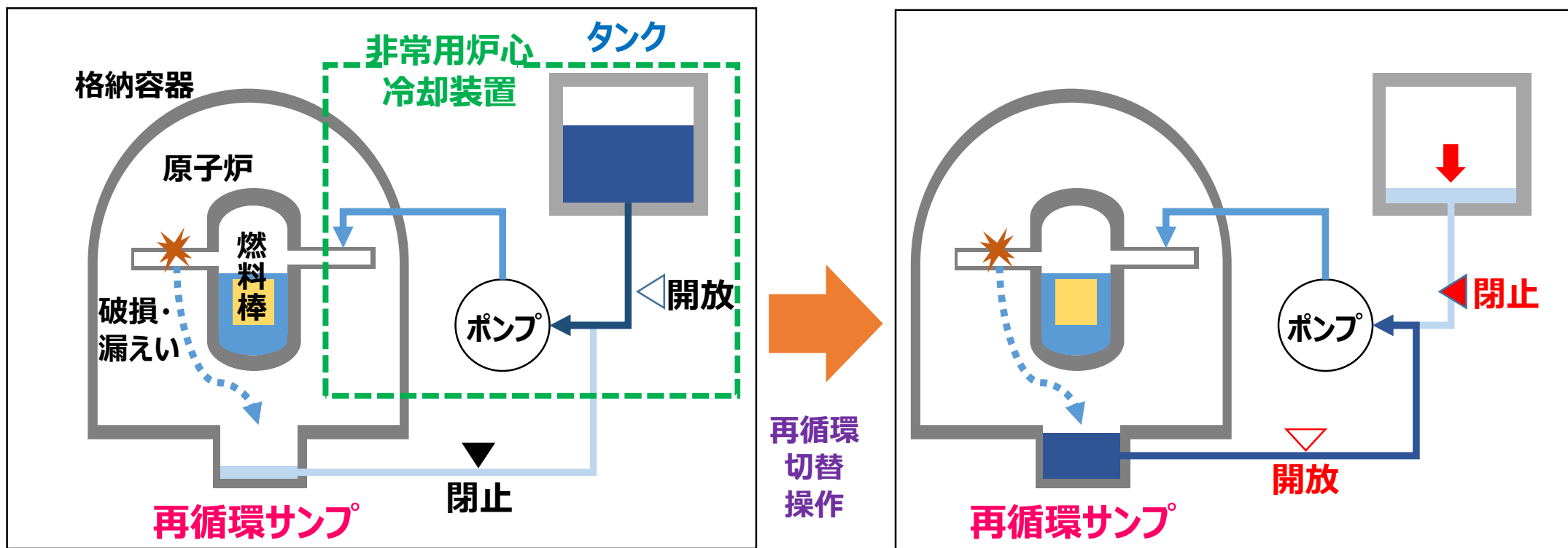


【軸受部の温度確認の例】



PRA(確率論的リスク評価)を踏まえた追加措置例として、非常用炉心冷却装置 再循環自動切替装置を今後導入

- PRAを実施した結果、タンクの水位低下を水位計かの信号により検知し、自動的に再循環サンプへ切替操作を行うことで、切替操作の信頼性を高めることができる見込みが得られ、操作を行う運転員の負担軽減に繋がるため、追加措置として抽出（美浜3号機にて2025年度以降に導入予定）



※なお、本件はPRAから抽出されたが、最新のATENAガイド（設計の経年化評価ガイドライン）に基づく評価を美浜3号機について実施した場合は知見収集からも抽出され得る。

中性子照射脆化（その1）

○評価対象機器：原子炉容器

- ・炉心領域部に含まれる範囲は下部胴（母材、溶接金属、熱影響部）
- ・運転開始後60年時点における中性子照射量が $1.0 \times 10^{17} \text{n/cm}^2$ ($E > 1 \text{MeV}$) を超える範囲に構造不連続部（ノズルコーナー部等）は含まれない

健全性評価

監視試験の結果、関連温度の実測値は、日本電気協会規格(JEAC4201-2007/2013追補版)の国内脆化予測法に基づく予測の範囲内であり、特異な傾向は認められない。

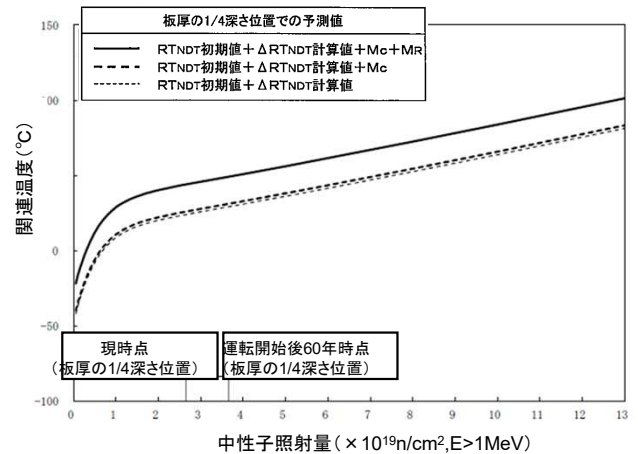
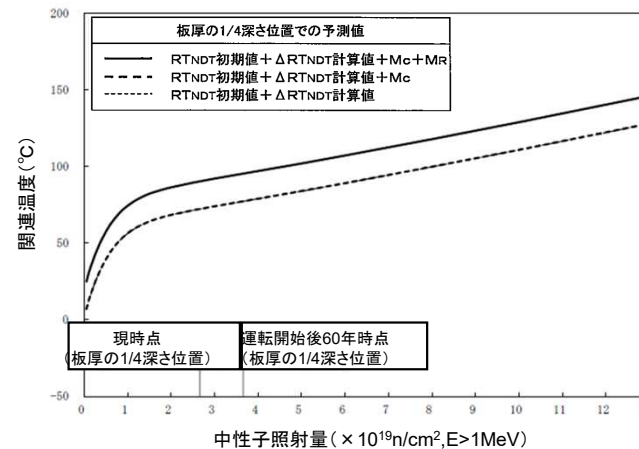
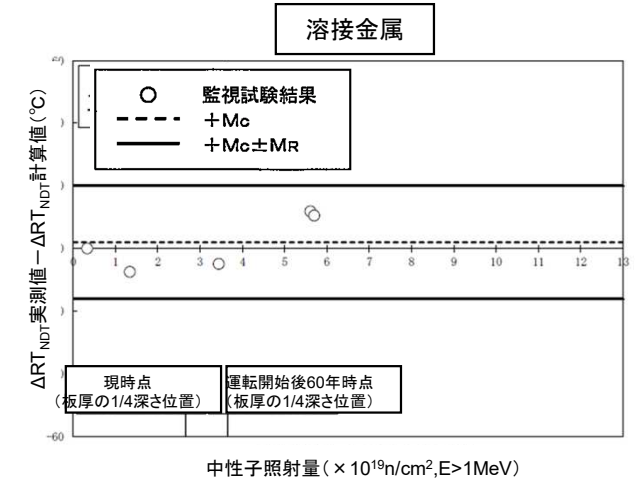
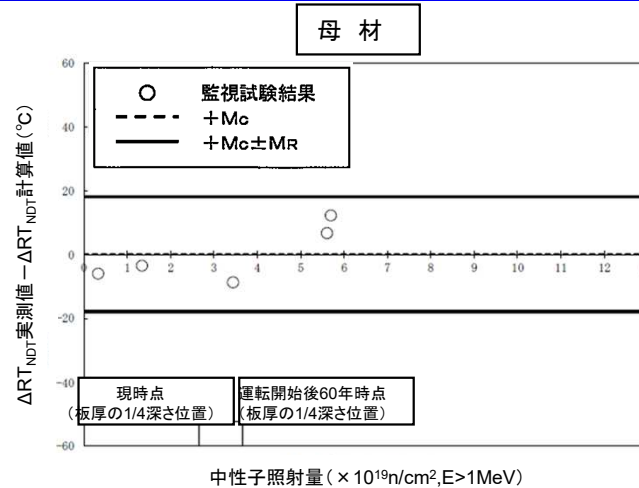
関連温度に係る監視試験結果

回数	中性子照射量 ($\times 10^{19} \text{n/cm}^2$) [$E > 1 \text{MeV}$]	Tr30 (°C)※1		
		母材	溶接金属	熱影響部
初期	0	0	-48	-52
第1回	0.3	26	-15	-16
第2回	1.3	58	8	1
第3回	3.4	72	29	21
第4回	5.6	99	58	45
第5回	5.7	105	57	39

※1 シャルピー衝撃試験における吸収エネルギーが41Jとなる温度。

化学成分(重量%)

区分	Si	P	Ni	Cu	Mn	C
母材	0.29	0.010	0.61	0.16	1.41	0.18
溶接金属	0.38	0.012	0.80	0.14	1.22	0.083



原子炉容器胴部(炉心領域部)の中性子照射脆化に対する関連温度の予測と監視試験結果の関係

原子炉容器胴部(炉心領域部)の中性子照射脆化に対する関連温度の予測値

評価時期	中性子照射量*1 ($\times 10^{19} \text{n/cm}^2$) [$E > 1 \text{MeV}$]	関連温度*2 (°C)		
		母材	溶接金属	熱影響部
2022年12月時点	2.66	91	45	53
運転開始後60年時点	3.66	96	50	58

*1:内表面から板厚の1/4深さでの中性子照射量

*2:内表面から板厚の1/4深さでの予測値

中性子照射脆化（その2）

健全性評価（続き）

○60年運転時点での上部棚吸収エネルギーの予測値は、日本電気協会（JEAC4206-2007）で要求している68J以上を満足している。
 ○原子炉容器の内面に保守的に大きな亀裂（深さ10mm）を仮定した状態で加圧熱衝撃事象（大破断LOCA等）の発生を想定したとしても、60年運転時点における破壊に対する抵抗力（ K_{Ic} ）が破壊力（ K_I ）を常に上回り、不安定破壊しないことを確認した。

上部棚吸収エネルギーの予測値（単位：J）

	方向	初期値	2022年 12月時点*1	運転開始後 60年時点*1
母 材	T方向*2	98	74	72
溶接金属	溶接線に 直角方向	158	124	120

*1:内表面から板厚の1/4深さでの予測値

*2:試験片の長手方向が圧延方向に垂直

現状保全

○JEAC4201に基づき計画的に監視試験を実施している。
 ○定期的に超音波探傷検査を実施し有意な欠陥がないことを確認している。
 ○運転管理上の制限として加熱冷却時制限曲線及び耐圧漏えい試験温度を設けて運用している。
 ○運転期間延長認可申請の際に実施した特別点検において、原子炉容器炉心領域部の母材及び溶接部に対して超音波探傷検査を実施した結果、中性子照射脆化による脆性破壊の起点となるような有意な欠陥は認められなかった。

総合評価

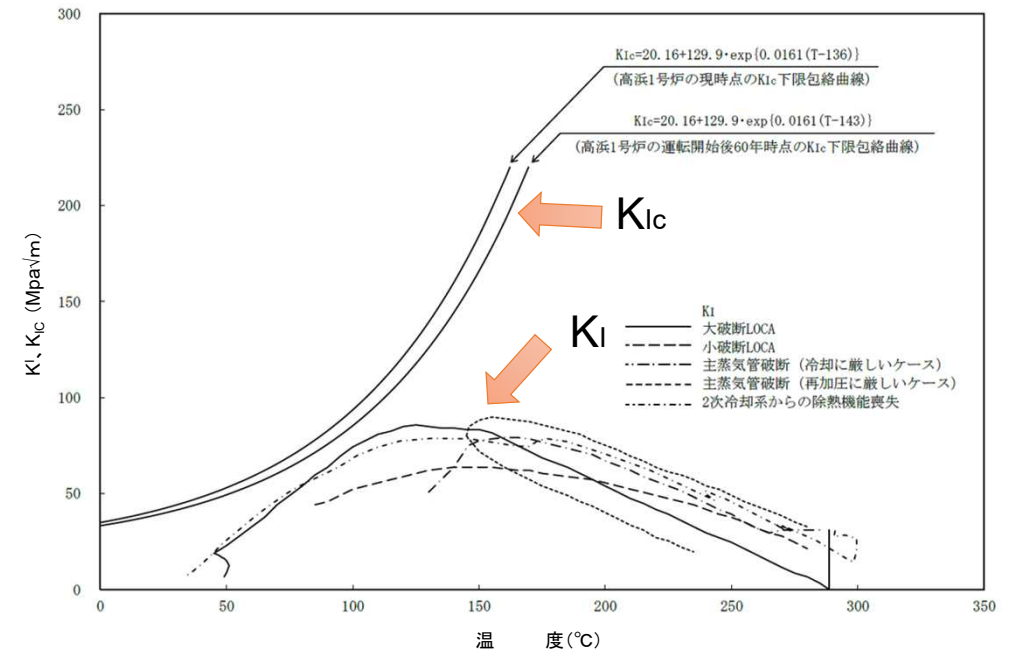
中性子照射脆化が機器の健全性に影響を与えることはない。

高経年化への対応

○今後の原子炉の運転サイクル・照射量を勘案して
 第6回監視試験の実施計画を策定する。※



長期施設管理方針



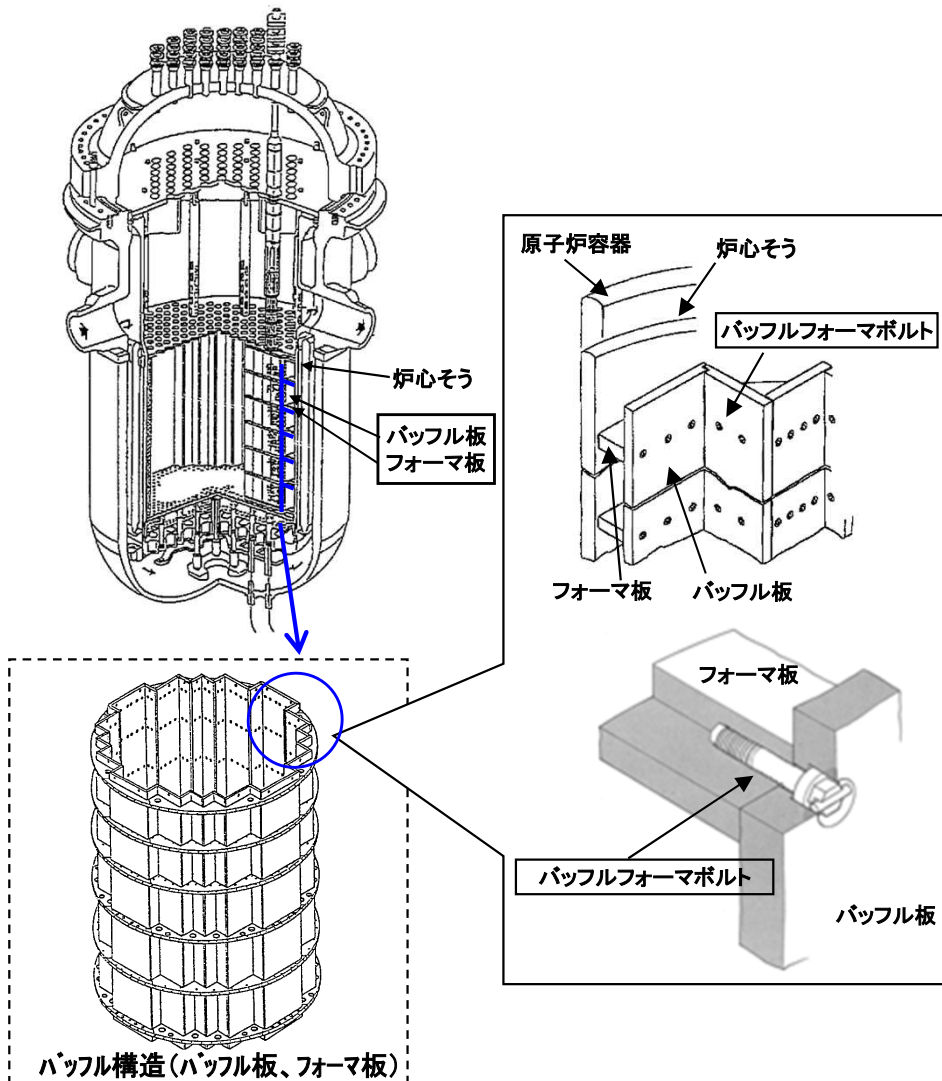
原子炉容器胴部（炉心領域部）中性子照射脆化に対する加圧熱衝撃評価結果

※「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」別記－1において、運転開始後40年を超えて運転を行う場合には、運転開始後50年から60年の間に少なくとも1度、監視試験片を取り出して関連温度移行量を予測することが規定されている。

照射誘起型応力腐食割れ

○ 評価対象機器：炉内構造物（炉心バッフル、炉心そう、バッフルフォーマボルト 等）

【評価例】：バッフルフォーマボルト



バッフルフォーマボルト構造図

健全性評価

バッフルフォーマボルトについては、原子力安全基盤機構「照射誘起応力腐食割れ(IASCC)評価技術」事業で得られた最新知見を用いて評価した結果、運転開始後60年時点でのボルトの損傷本数は「日本機械学会 維持規格」に規定される管理損傷ボルト数(全体の20%)以下であり、安全に関わる機能を維持できる。

現状保全

- バッフルフォーマボルトに対して第13回定期検査時(1991年度～1992年度)および第17回定期検査時(1997年度)に超音波探傷検査を実施。有意な指示なし。
- 定期的に水中テレビカメラによる可視範囲の目視検査を実施し、異常(ボルトのゆるみ、脱落等)がないことを確認している。

総合評価

バッフルフォーマボルトの損傷が炉心の健全性に影響を与える可能性は小さい。

高経年化への対応

バッフルフォーマボルトの可視範囲について定期的に水中テレビカメラによる目視確認を実施していく。
炉内構造物の取替を計画しており、計画に基づき取替を実施する。

長期施設管理方針

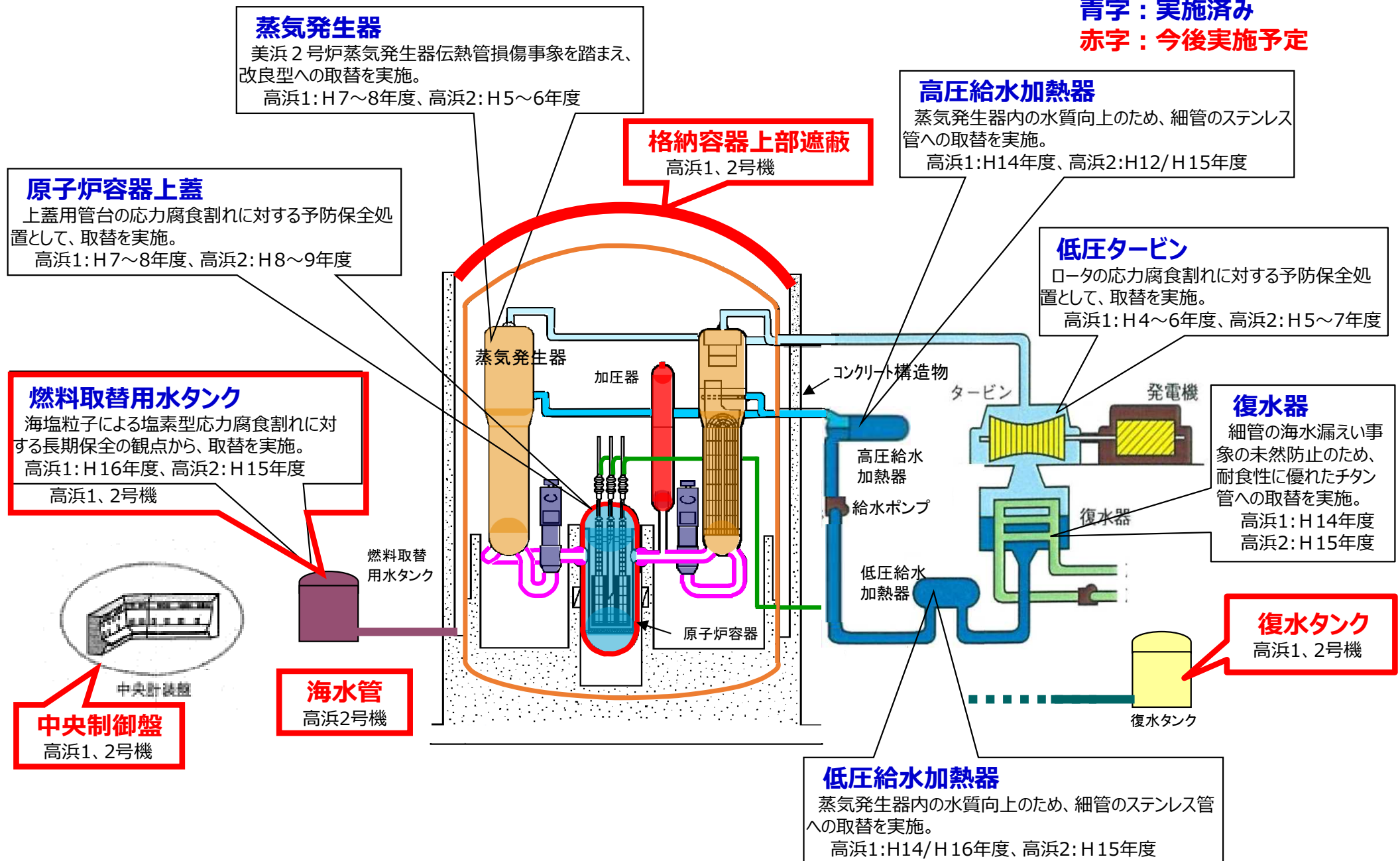
運転開始以降40年目評価までに実施した主な工事

参考10

第85回原子力安全専門委員会資料No.3から抜粋

青字：実施済み

赤字：今後実施予定

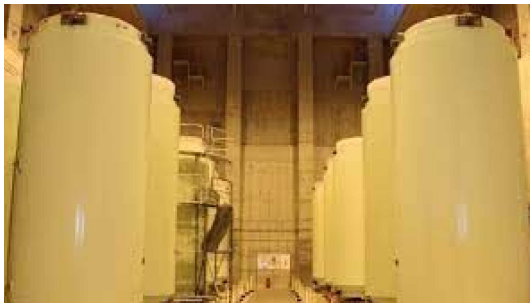


使用済燃料の乾式貯蔵について

- 使用済燃料の乾式貯蔵は、**堅牢な乾式の輸送・貯蔵兼用キャスク**に使用済燃料を保管し、**電源を使用せず空気の自然対流で冷却する方式**。
- 貯蔵に用いられる**輸送・貯蔵兼用キャスク**には、設計貯蔵期間中、**4つの基本的安全機能**を維持することが審査ガイド※で求められている。

※原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド」（令和2年3月31日改正）
本ガイドにおいて、基礎等に固定する方式や、密封部を保護したうえで基礎に固定せず設置する方式が認められている。

＜乾式貯蔵の例＞



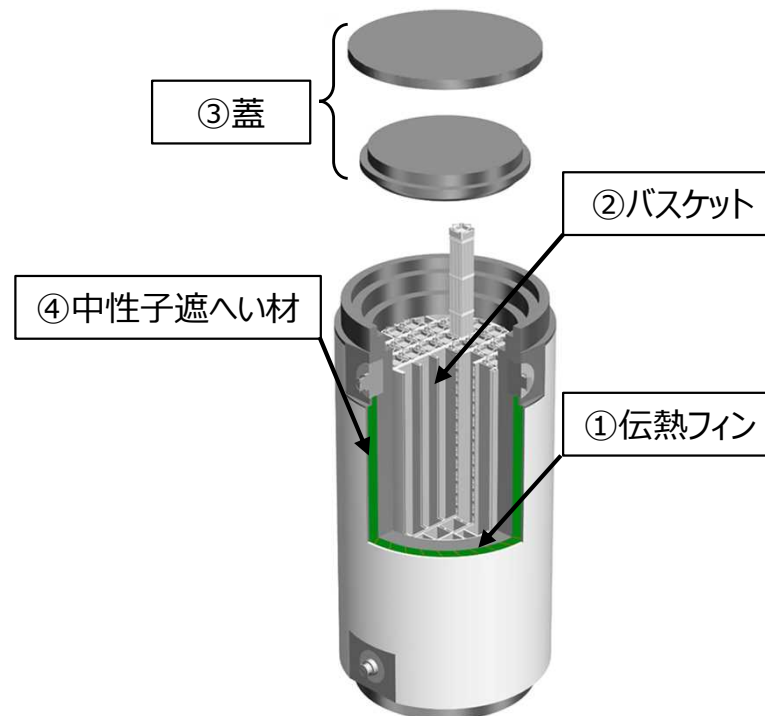
日本原電 東海第二（日）



プレーリー・アイランド原子力発電所（米）

（出典）電気事業連合会HP

＜輸送・貯蔵兼用キャスクの例＞



除熱機能＜①伝熱フィン, ②バスケット＞

密封機能＜③蓋＞

遮へい機能＜④中性子遮へい材＞

臨界防止機能＜②バスケット＞

全長	約5.5m
外径	約2.5m
総重量(燃料含む)	約100t超
収納容量	約10t・ウラン※

※t・ウラン：燃料集合体の金属ウランの重量

（出典）2010.1「使用済燃料中間貯蔵施設の安全確保に向けて」（経済産業省）