



高浜1号機および2号機の 安全対策および高経年化対策について

2023年12月27日

1. 発電所の状況

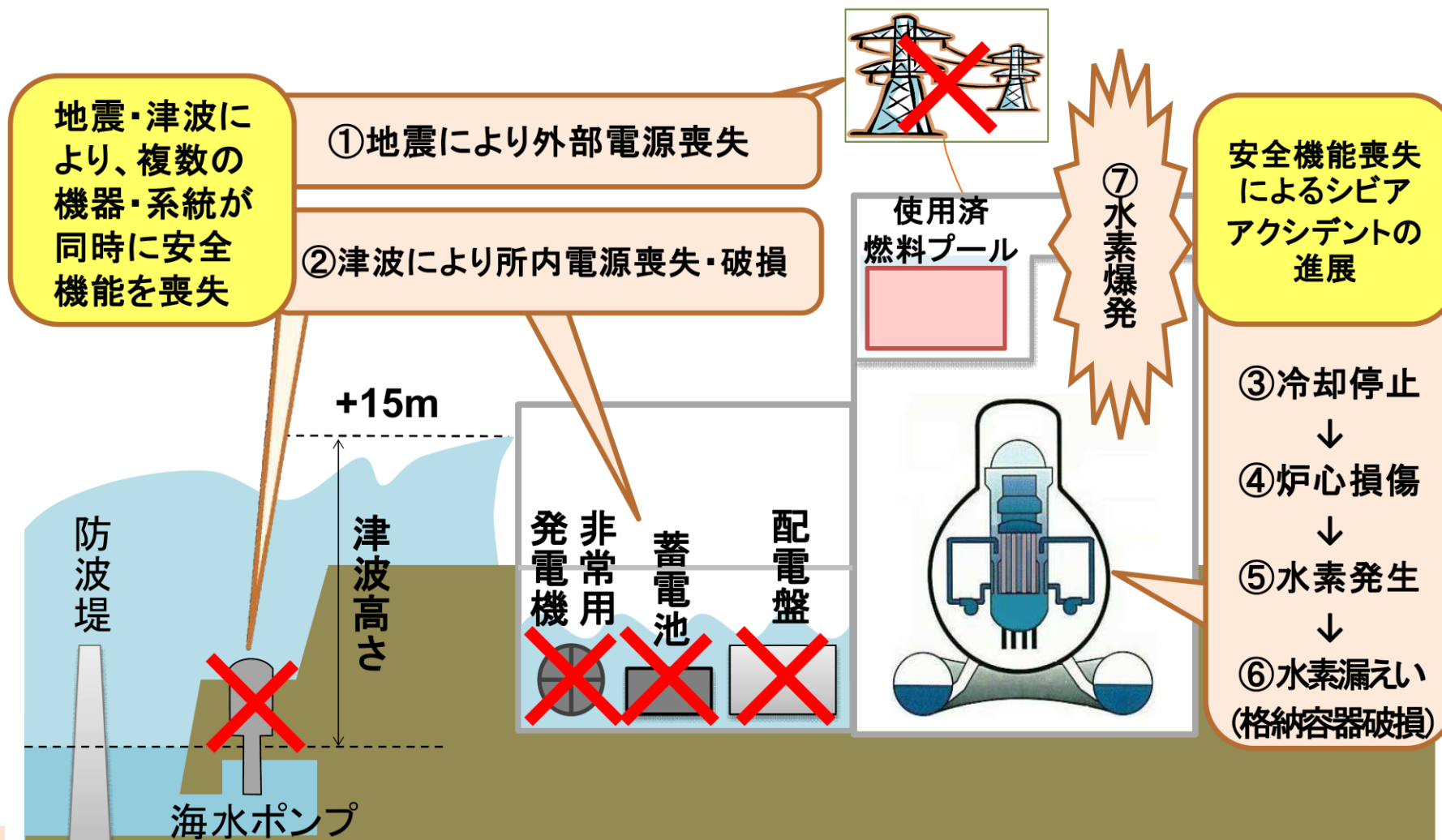
プラントの運転・定期検査の状況

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	▼9/1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	▼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 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 ★8/24特重設置期限 ▼8/10特重運用開始	▼7/17並列	▼8/31解列 第19回定期検査 ▼10/27並列	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 第26回定期検査 ▼12/25並列	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 12/16解列 第25回定期検査	4月 ▼:実績 ▽:予定 ※定期検査:解列～並列

2. 安全対策および再稼動に係る対応について

福島第一原発事故における教訓

- 福島第一原発事故では地震や津波により、複数の機器・システムが同時に安全機能を喪失
- さらに、その後のシビアアクシデントの進展を食い止めることができなかった



従来の規制基準と新規制基準との比較

- ▶ 従来と比較すると、シビアアクシデントを防止するための基準を強化するとともに、万一シビアアクシデントやテロが発生した場合に対処するための基準を新設

＜従来の規制基準＞

シビアアクシデントを防止するための
基準(いわゆる設計基準)
(単一の機器の故障を想定しても炉心
損傷に至らないことを確認)

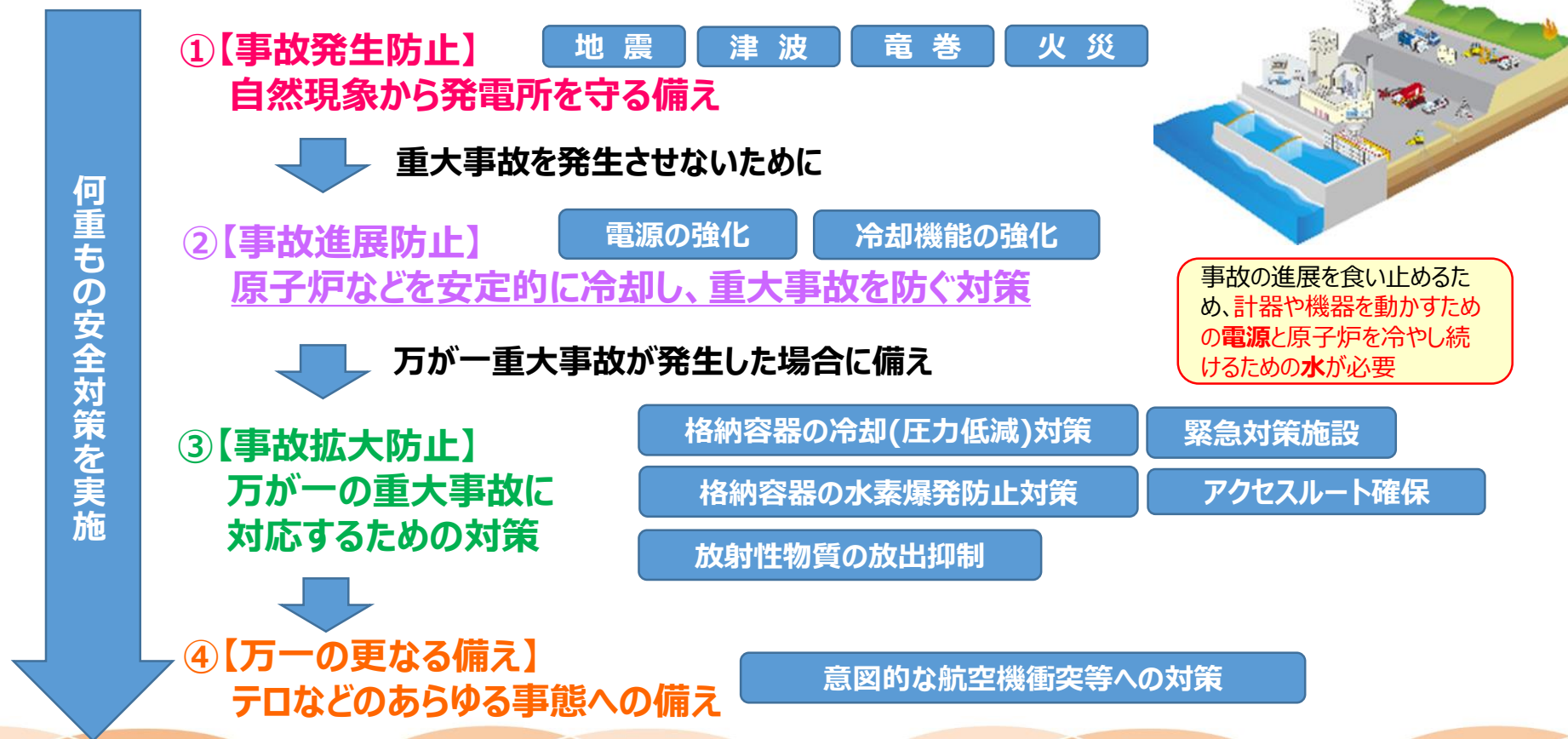
自然現象に対する考慮
火災に対する考慮
電源の信頼性
その他の設備の性能
耐震・耐津波性能

＜新規制基準＞

意図的な航空機衝突への対応	新設 (テロ対策)
放射性物質の拡散抑制対策	
格納容器破損防止対策	新設 (シビアアクシデント対策)
炉心損傷防止対策 (複数の機器の故障を想定)	
内部溢水に対する考慮(新設)	強化又は新設
自然現象に対する考慮 (火山・竜巻・森林火災を新設)	
火災に対する考慮	
電源の信頼性	強化
その他の設備の性能	
耐震・耐津波性能	

原子力発電所の安全確保

東京電力(株)福島第一原子力発電所の事故を教訓として、事故を起こさない、起こったとしても進展・拡大を防ぐ対策を多重化・多様化することで、当社は規制の枠組みにとどまることなく、自主的かつ継続的な安全性向上対策を実施

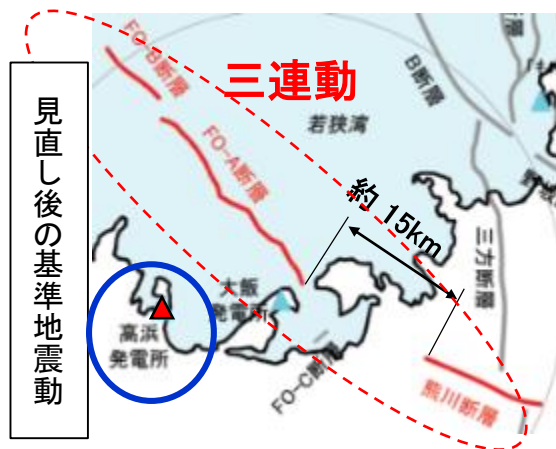


【事故発生防止対策】

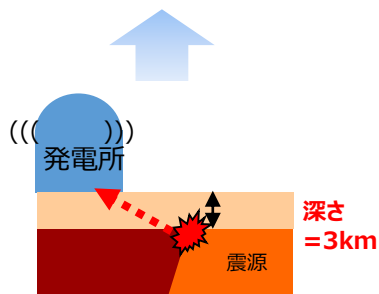
地震対策

○想定される最大規模の地震の揺れ（基準地震動）を最大加速度700ガルと評価

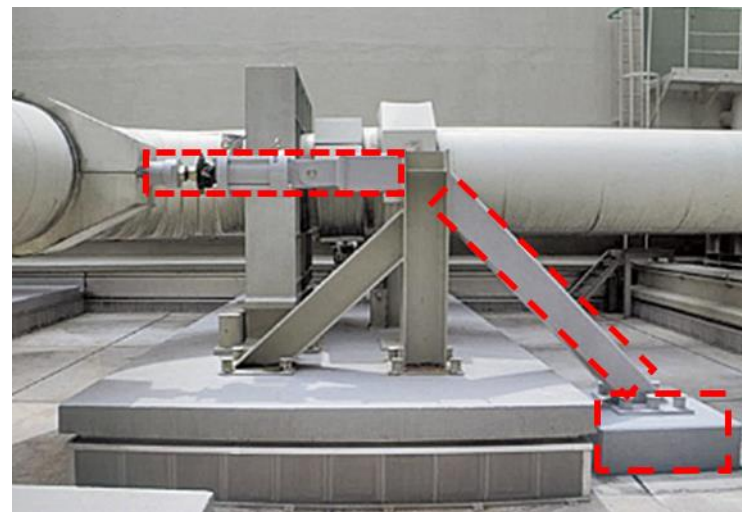
- 基準地震動は、発電所敷地への影響が大きいと考えられる地震の断層を選定し評価
- より安全側に立ち、FO-A断層、FO-B断層に熊川断層を加えた三連動を考慮
- 震源の上端深さの想定を4kmから3kmに設定
- 震源を特定せず策定する地震動を考慮
⇒**タンク、ポンプ、弁、配管等の耐震補強を実施**



最大加速度700ガル



配管補強の例
(サポート追加)



<参考>

発電所	従来基準地震動 (2009.3に国に報告)	現在の基準地震動 (2015.2に国が許可)
高浜発電所	550	700

加速度から単純に震度を求める事は出来ませんが、ある状況の下では、加速度が700ガルであれば、震度7に相当(気象庁 HPより)

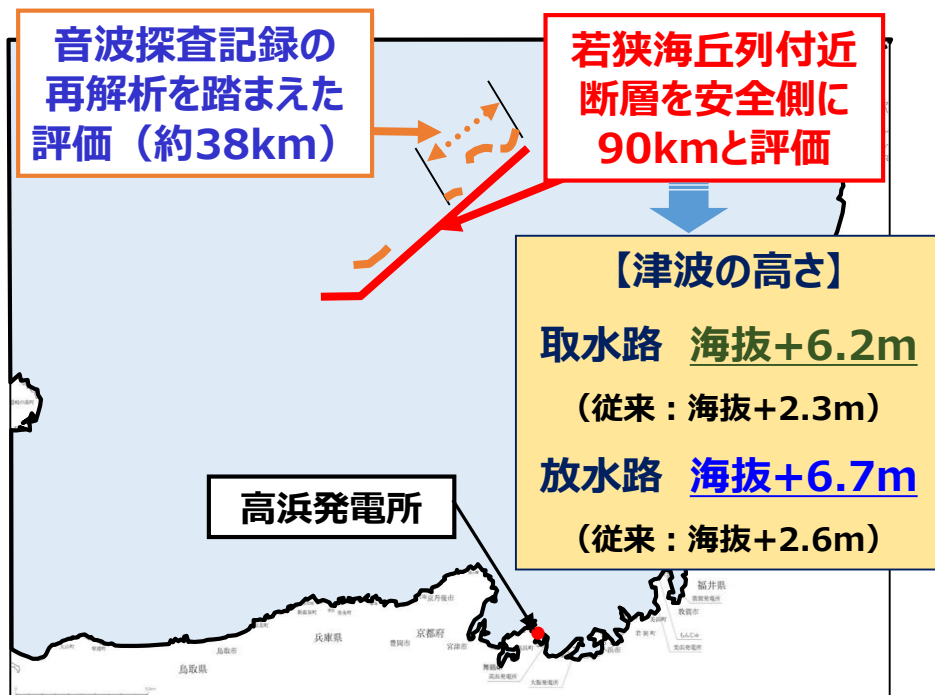
【事故発生防止対策】

津波対策

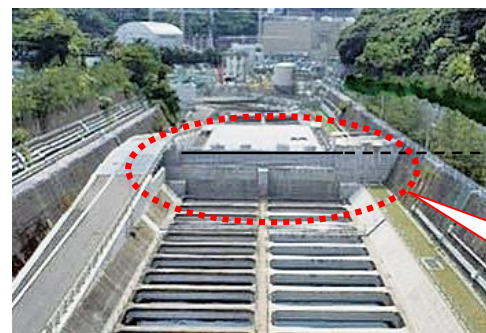
○ 想定される津波の高さを、取水路は海拔+6.2m、放水路は海拔+6.7mに設定

- 若狭海丘列付近断層を安全側に90kmとし、海底地すべり等の組み合わせを考慮
⇒ 敷地内への津波の浸入を防止するために、取水路防潮ゲート及び放水口側防潮堤を設置

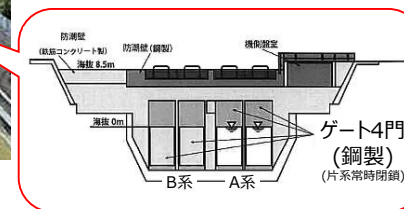
津波に関する断層の位置



取水路防潮ゲート



← 海拔8.5m



放水口側防潮堤



← 海拔8.0m

電源の確保（多重化・多様化）

<設計基準事故対処設備>



十分な耐震性・耐津波性を有している

<重大事故等対処設備>



《凡例》

新 新規制基準に基づき新規配備

外部電源
(5回線)

外部電源
喪失時

非常用ディーゼル発電機
(2台/号機)
【3,900kW/台】

使用できない
場合に備え

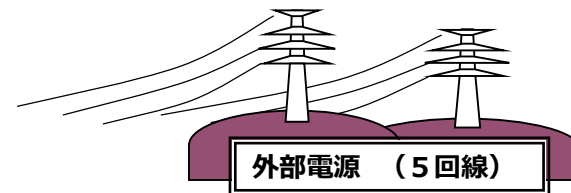
新 空冷式非常用発電装置
(2台/号機)
【1,460kW/台】

更なるバック
アップ

新 号機間電力融通
1,2 ⇄ 3,4号機
(ケーブル1組+予備1組)

更なるバック
アップ

新 電源車
(2台/号機+予備1台)
【488kW/台】



<主なバックアップ機器>

【恒設代替電源】
空冷式非常用発電装置

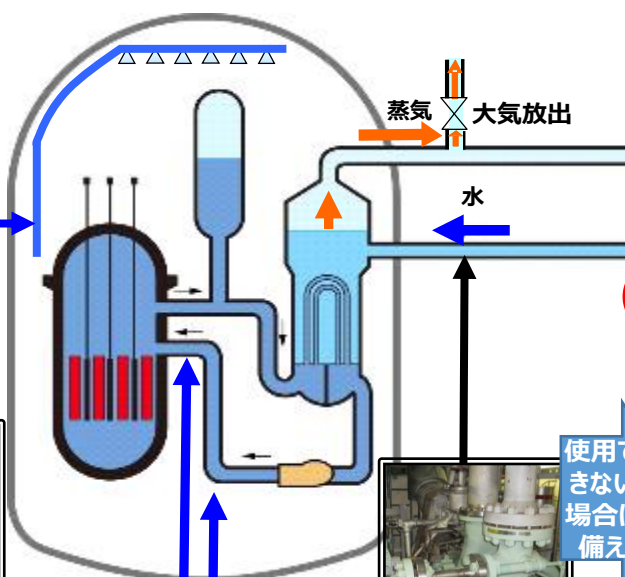


【可搬式代替電源】
電源車



津波の影響を受けない高台に設置

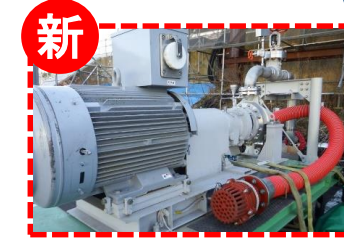
給水手段確保(多重化・多様化)



炉心の直接冷却手段の多様化



恒設代替低圧注水ポンプ
【1台/号機】



可搬式代替低圧注水ポンプ
【5台/2ユニット】

内部スプレイポンプ



【4台/号機】
充てん・高圧注入ポンプ



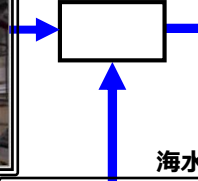
【3台/号機】

余熱除去ポンプ



【2台/号機】

余熱除去クーラー



【4台/号機】



【4台/号機】

タービン動補助給水ポンプ

【1台/号機】

電動補助給水ポンプ

【2台/号機】

蒸気発生器の冷却手段の多様化

中圧ポンプ(自主設置)
【1台/号機】



送水車
【5台/1・2号機】



海水取水手段の多様化



大容量ポンプ【3台/1・2号機】

使用できない場合に備え

使用できない場合に備え

使用できない場合に備え

《凡例》

新 新規制基準に基づき新規配備

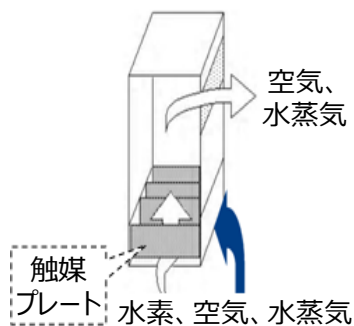
【事故拡大防止対策】

万が一の重大事故に対応するための対策

- 福島第一原子力発電所事故に鑑み、炉心溶融時に原子炉格納容器内に発生する水素の濃度を低減させる装置として、格納容器内に静的触媒式水素再結合装置およびイグナイトを設置

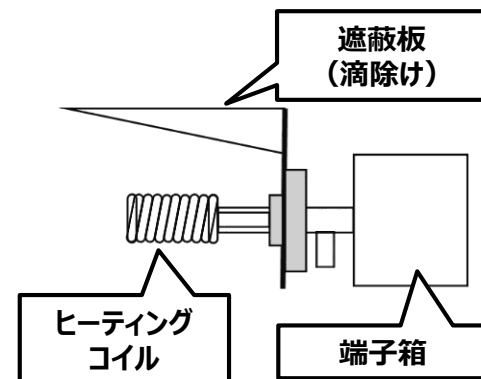
新

静的触媒式水素再結合装置



新

イグナイト



- 津波発生時等、がれき類を撤去する重機を配備し、安全対策を実施するための人や車が通行するための妨げになるがれきを撤去

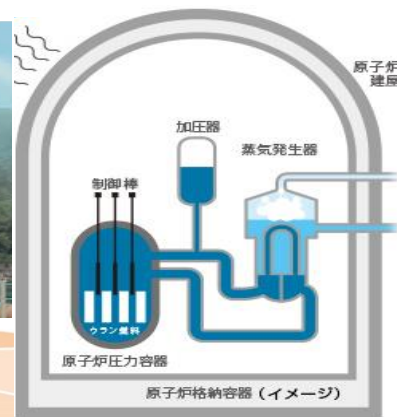
新

ブルドーザ



新

放水砲



《凡例》

新

新規制基準に基づき新規配備

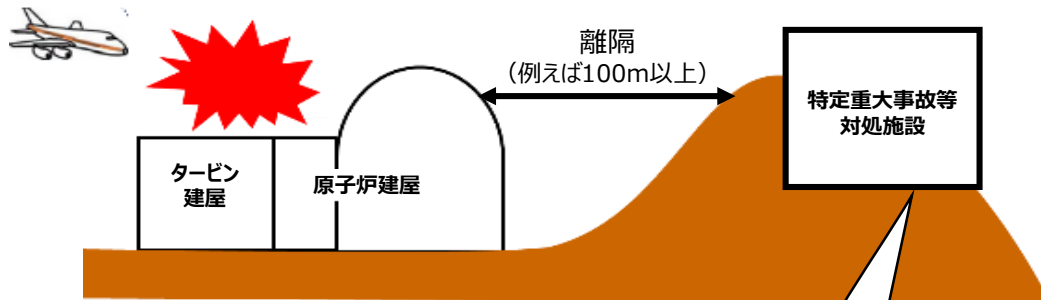
【万一の更なる備え】

特定重大事故等対処施設について

○特定重大事故等対処施設

原子炉建屋への故意による大型航空機の衝突やその他のテロリズム等により、原子炉を冷却する機能が喪失し、炉心が著しく損傷した場合に備えて、原子炉格納容器の破損を防止するための機能を有する施設を設置

【概念図】



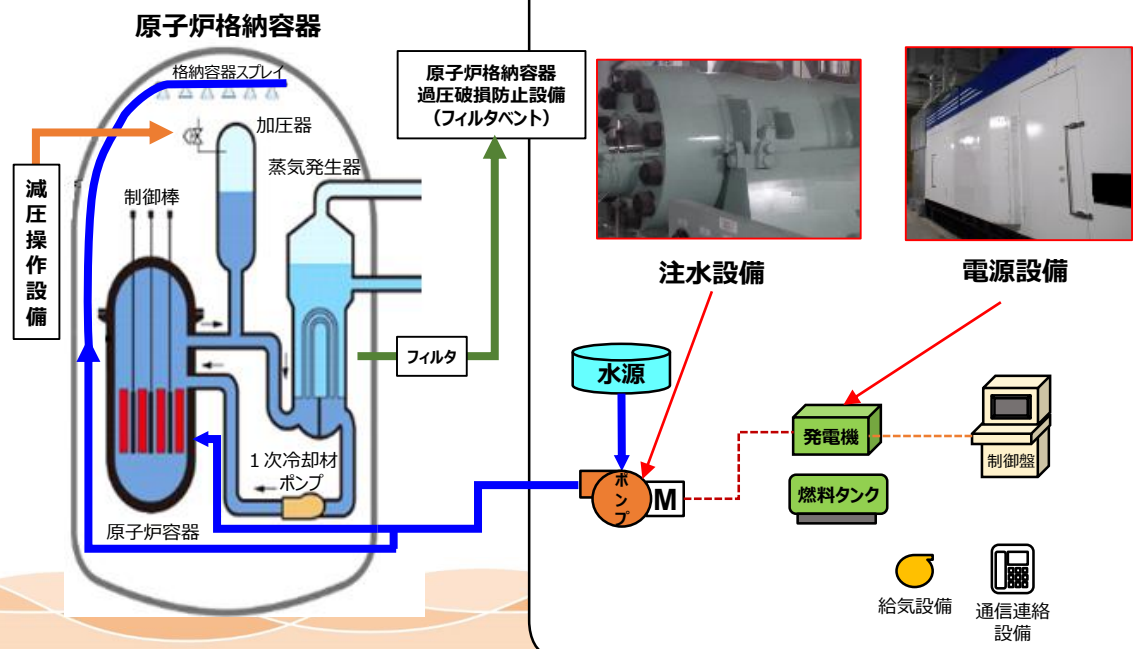
	高浜1,2号機	
本体施設の 工事計画認可	2016.6.10	
設置期限※1	2021.6.9	
実施状況	設置変更許可	2018.3.7許可
	工事計画認可※2	2019. 4.25(1/4) 2019.9.13(2/4) 2019.10.24(3/4) 2020.2.20(4/4)認可
	運用開始時期	1号機 : 2023.7.14 2号機 : 2023.8.31

※1 : 実用炉規則により、本体施設の工事計画認可から5年までに設置することを要求。

※2 : 4分割申請

特重施設の開示制限について

情報公開法を踏まえ、テロ対策という性質上、セキュリティの観点から設備の名称、設置場所、強度、数等については、公開できないこととなっていますので、ご理解をお願いいたします。



1, 2号機 大規模な安全性向上対策

① 緊急時対策所設置工事(1~4号機)

プラントに緊急事態が発生した際、事故の制圧・拡大防止を図るための対策本部

運用開始
(2019.6)



② 燃料取替用水タンク取替工事

耐震余裕度を向上させるため、厚さを増した新しいタンクに取替、竜巻飛来物対策の防護ネット・鋼板を設置

工事完了
(2020.6)



③ 格納容器上部遮蔽設置工事

事故時環境線量の低減を目的に、格納容器上部外側に鉄筋コンクリート造のドーム状の遮へい(屋根)を設置

1号機 : 工事完了 (2020.5)
2号機 : 工事完了 (2021.3)



⑤ 海水取水設備移設工事(2号機のみ)

基準地震動の見直しを踏まえ、強固な地盤上に海水管を移設

工事完了
(2021.5)



【凡例】

新規制基準適合工事

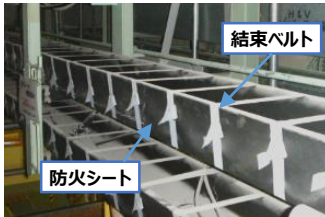
高浜1, 2号機特有の新規制基準適合工事

自主的安全性向上対策

④ 火災防護対策工事

重要なケーブルの燃えにくい難燃ケーブルへの引替え、防火シートの施工等による防火措置を実施

1号機 : 工事完了 (2020.9)
2号機 : 工事完了 (2022.1)



➤ 追加対策工事

電線管への系統分離に関する防火措置を実施 (次ページ参照)

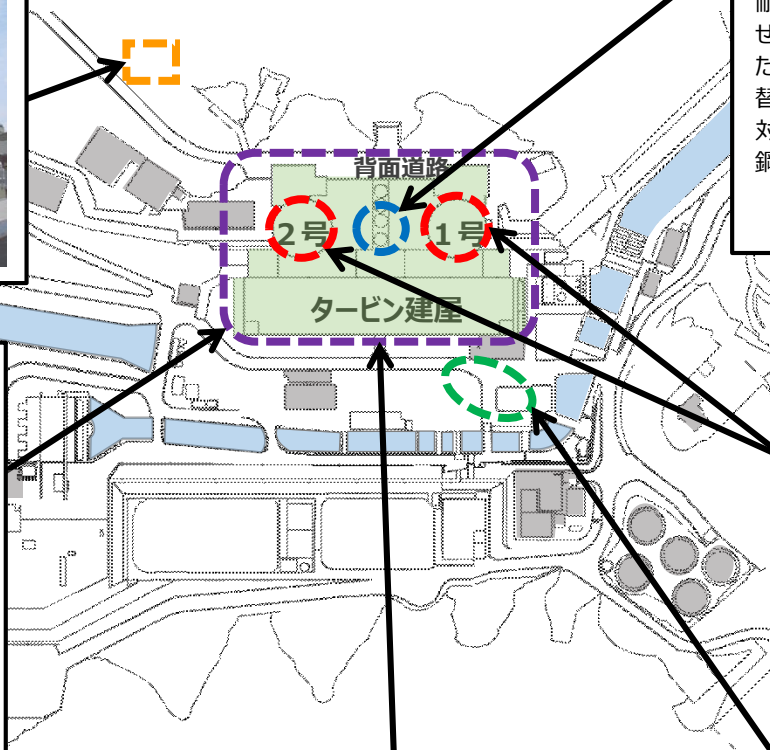


1号機 : 工事完了 (2023.5)
2号機 : 工事完了 (2023.6)

⑥ 中央制御盤取替工事

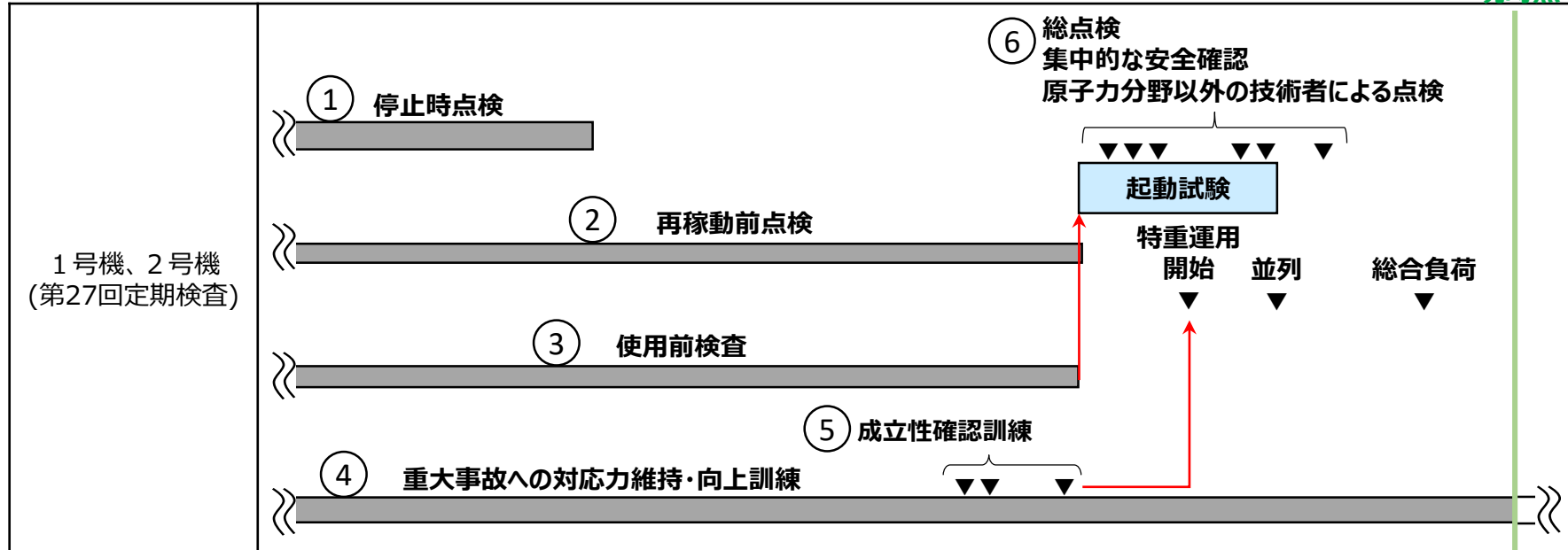
保守性向上の観点から、中央制御盤全体をアナログ式から最新のデジタル式に取替え

1号機 : 工事完了 (2020.6)
2号機 : 工事完了 (2020.10)



再稼動に係る対応について

現時点



- ①**停止時点検** : 長期停止中においても運転状態にある設備の健全性を確保するために、保全指針に応じて、自主的に実施している点検 例) 非常用ディーゼル発電機点検 **【7回/ユニット(13ヶ月毎)】**
- ②**再稼動前点検** : 長期停止中に機能要求がなかった設備の再稼動前における健全性確認のための点検
例) 2次系設備(タービン及び復水器等)のポンプ点検 **【1号機:約7ヶ月/2号機:約9ヶ月】**
- ③**使用前検査** : 発電用原子炉施設の工事計画の認可を決定した原子力施設(新設・増設・改造)について、原子力規制庁の検査官が、その工事計画との適合性、技術基準との適合性を確認 **【約100項目/ユニット】**
- ④**重大事故への対応力維持・向上訓練** : 指揮者や運転員など、それぞれの役割に応じた、必要な教育や訓練
例) 電源喪失した場合の運転操作訓練、原子炉に冷却水を注入するためのポンプの設置訓練、電源供給訓練
- ⑤**成立性確認訓練** : 事故収束対応について、手順書のとおり適切に実施できることを時間的な成立性も含めて確認
- ⑥**総点検 集中的な安全確認** : 原子炉冷却材系統の水張時等、系統の状態を大きく変えるような節目のタイミングで集中的に現場のパトロールを実施。当社社員やメーカ、協力会社社員の他、新たな視点を取り入れる観点から、過去のトラブル等の知見を多く持つ当社OBを加えて実施 **【6回/ユニット】**
- 原子力分野以外の技術者による点検** : 日頃から原子力発電所に従事している者とは異なる視点やノウハウを取り入れて、不具合や異常の兆候を見つけることを目的として実施

①停止時点検、②再稼動前点検を実施及び③使用前検査等の各種検査を実施

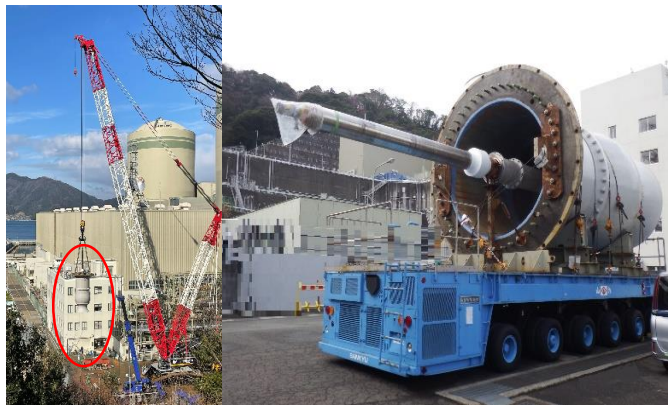
【①停止時点検】

非常用ディーゼル発電機の
シリンダカバー開放点検



【②再稼動前点検】

工場保管していた循環水ポンプの
据付け作業



【②再稼動前点検】

余熱除去クーラ開放点検
(水室側ガスケット取替作業)



【③使用前検査】

スプレイヘッド 機能性能検査
(使用済燃料ピット漏えい対応)



【③使用前検査】

静的触媒式水素再結合装置
機能性能検査



④重大事故への対応力維持・向上訓練を継続して実施

- A. 指揮者（事故時に指揮者となる所長、原子力安全統括、副所長、運営統括長他が対象）
- ・知識ベースの教育（事故対策への習熟）
研修会、自学自習用の資料の整備、専門家による講義、研修ツールを用いた学習 など
 - ・実践的な訓練（対応能力向上）
訓練シナリオを参加者に事前に通知せず、実動を含む原子力防災訓練 など
- B. 運転員
- ・シミュレータ訓練の内容に、長時間の全交流電源喪失を追加想定した訓練 など
- C. 緊急安全対策要員
- ・協力会社社員を含め、電源供給、給水活動等の手順の教育、現場での実動訓練 など



A. 重大事故等発生を想定した訓練

B. 電源喪失した場合の
運転操作訓練C. 防護服を着用した悪条件下を
想定した訓練

	2020年度	2021年度	2022年度
教育・講習受講者人数 (延べ人数)	約2,300人	約2,100人	約2,200人
訓練回数	約2,100回	約3,900回	約2,800回

⑤ 成立性確認訓練として、1, 2号機特重施設の運用開始に向けた訓練を実施

- 原子炉建屋への故意による大型航空機の衝突その他のテロリズム（以下「APC※等」という。）時の訓練として、あらかじめ定められた手順書に従い想定時間内に確実に対応できることを確認
- 大規模損壊訓練に関しては、緊急時対策所本部と1, 2号機及び3, 4号機の特重施設を連携させて対応し、事故収束に問題がないことを確認

※APC：AirPlane Crash

訓練名称	実施日	関係者数
APC等訓練	4月18日	当社10名、協力会社2名
大規模損壊訓練	4月19日	当社25名、協力会社13名
シーケンス訓練	6月14・15日	当社53名、協力会社28名

- APC等訓練** : APC等により発生する厳しい事故シナリオに対して、特重施設要員が適切な手順書に従い、想定時間内に対応を実施できることを確認する訓練
- 大規模損壊訓練** : APC等により原子炉施設に大規模な損壊が生じた場合における、プラント状況の把握、情報収集、的確な対応操作の選択ならびに指揮者等、特重施設要員および消火活動要員の連携を含めた実効性等を確認する訓練
- シーケンス訓練** : シビアアクシデントに至るおそれがある事故シナリオに対して、緊急安全対策要員等が適切な手順書に従い、想定時間内に役割に応じた対応を実施できることを確認する訓練



緊急時制御室での操作
(APC等訓練)

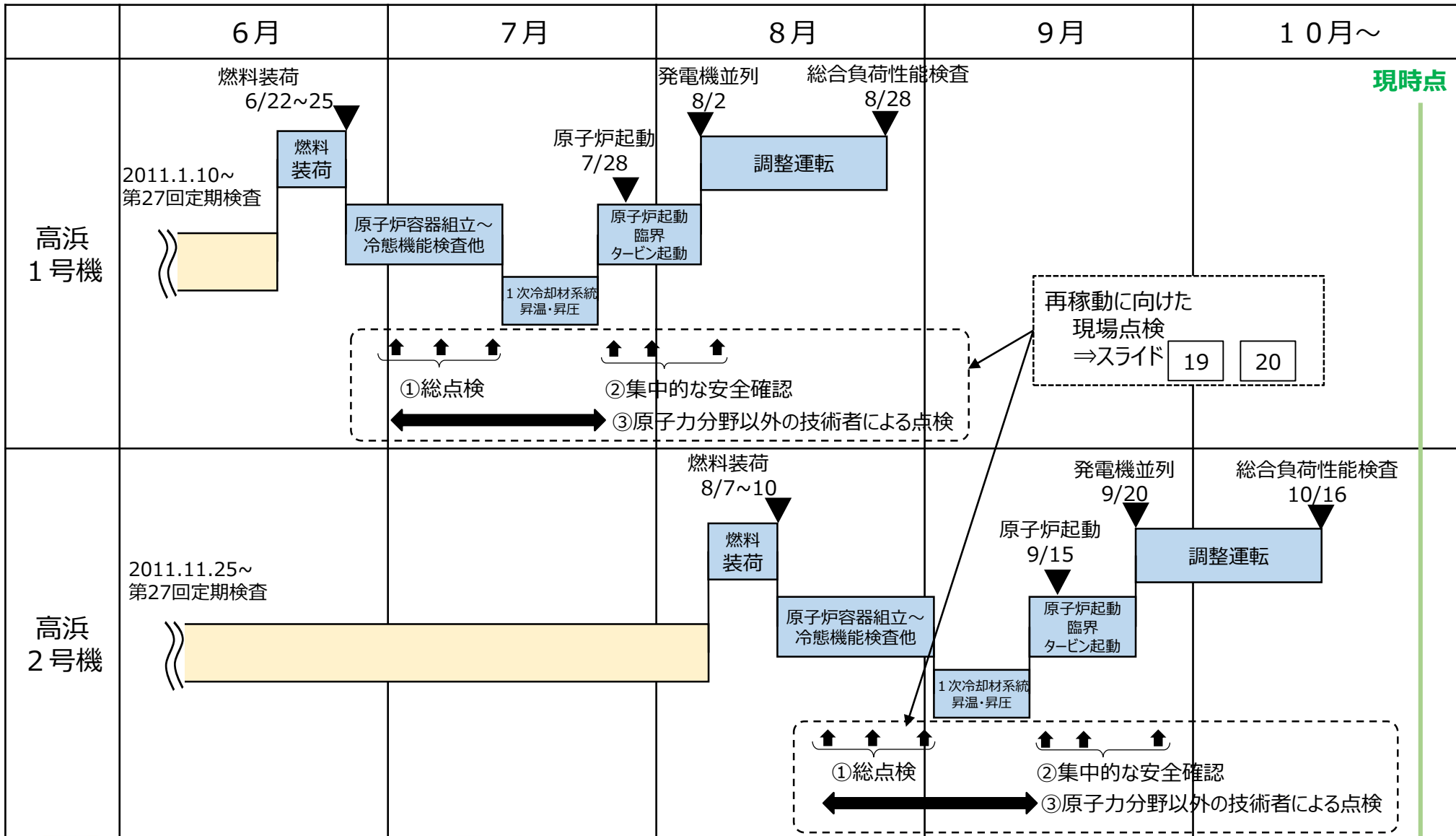


大規模な航空機燃料火災を想定した化学消防車による消火活動
(大規模損壊訓練)





大容量ポンプへのホース接続
(シーケンス訓練)



⑥美浜 3号機再稼動時と同様に総点検・集中的な安全確認を実施するとともに新たに原子力分野以外の技術者による点検を実施



①総点検



目的	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、現場点検を実施	(点検状況)  
実施時期	1次冷却材系統の昇温・昇圧前までに3回実施	
体制	1号機 延べ約360名 2号機 延べ約340名 メーカー、協力会社、当社社員、当社OB	

②集中的な安全確認

目的	トラブルの未然防止の観点から、再稼動工程上の重要なポイントで現場の確認を実施	(点検状況)  
実施時期	原子炉起動前と並列前後の3回実施	
体制	1号機 延べ約400名 2号機 延べ約400名 メーカー、協力会社、当社社員、当社OB	

サーモグラフィによる点検

③原子力分野以外の技術者による点検

目的	総点検、集中的な安全確認に加え、日頃から原子力発電所に従事している者とは異なる視点やノウハウを取り入れて、不具合や異常の兆候を見つけることを目的として実施		(火力分野の点検状況) 
実施時期	原子炉容器組立完了後から原子炉起動までに実施		
体制	1号機 延べ約110名 2号機 延べ約70名		(水力分野の点検状況) 
	分野	点検範囲	
	送配電	発電所電気設備	
	石油化学	化学薬品取扱設備	
	火力	蒸気、給水系統	
	水力	土木構造物	
	鉄鋼産業	非破壊診断技術を用いたポンプ等の運転状態	

<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。

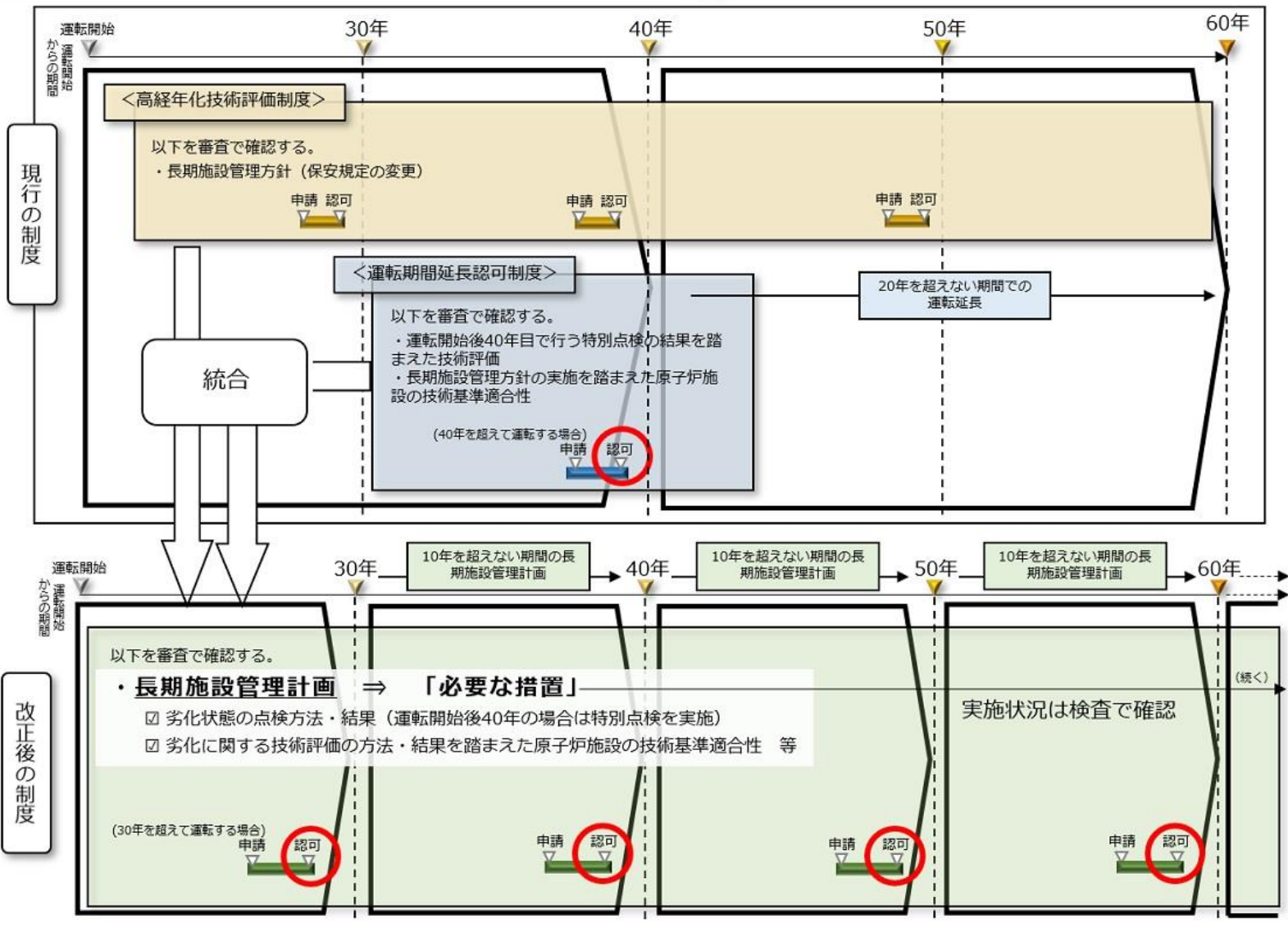
3. 高経年化対策について

高経年化に関する安全規制の概要

原子力規制委員会ホームページより引用

高経年化原子炉の安全性を確保するための制度

○: 高経年化原子炉の技術基準適合性を確認するタイミング



(参考) 原子炉等規制法の一部改正：2023年5月31日可決・成立、2023年6月7日公布、2025年6月6日施行

高浜 1, 2 号機の運転期間延長認可 (40年を超える運転)

高浜 1, 2 号機は、運転期間延長認可制度に基づき、特別点検や高経年化技術評価等の実施を経て、2015年4月30日に運転期間延長認可申請を実施。2016年6月20日に60年までの運転期間延長について認可を受けた。

運転期間延長認可の概要


原子力安全対策連絡協議会 (2021年1月25日および2021年12月22日開催) ならびに住民説明会 (2020年12月19日,20日開催) 資料より一部抜粋

原子力発電所の運転期間のしくみ 21

○ 福島第一原子力発電所の事故後、法律の改正により、運転期間は 40 年とされ、原子力規制委員会の認可を受ければ、1 回に限り 20 年延長 (最長 60 年運転) できるしくみとなりました。

福島第一原子力発電所の事故前

法律上の運転期間の制限はなし



福島第一原子力発電所の事故後

2012年 原子炉等規制法改正

運転期間延長認可制度を導入し、法律上の制限を設定

40年 + 最大 20年 = 最大 60年


1 回に限り 延長

これまでの安全性を確認するしくみ

- 日々の点検
- 約 1 年ごとの定期検査 (機器の分解点検や取替え)
- 3.0 年目以降、1.0 年ごとの高経年化技術評価**により、技術的に実際の運転期間を見極め (※ 60 年運転を想定しても、設備が健全であることの確認)

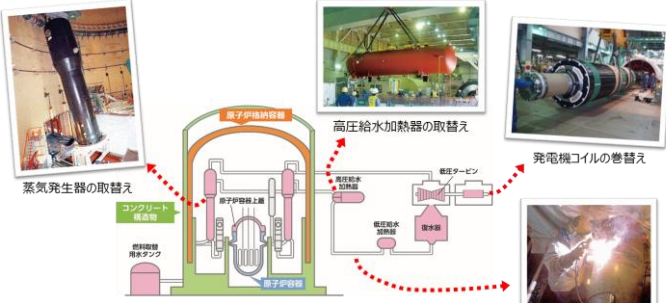
追加された新しいしくみ

- 特別点検** (取替えが難しい設備の詳細な点検)
- 新規制基準への適合 (1~14 ページで説明) (最新のプラントと同一の基準による安全性の確保)



大型機器などの取替え 22

○ 原子力発電所では、全ての設備や機器に対して、**計画的にメンテナンス**を行い、大型機器や配管など、**取り替えられるものは積極的に新しいものに取り替え**、設備や機器の安全性を確保しています。



蒸気発生器の取替え

高圧給水加熱器の取替え

発電機コイルの巻替え

配管の取替え

色付した部分が既に取り替えている大型機器です。この他にも、小型機器や部品の取替えを行っています。

取替えが難しい設備の特別点検 (1) 23

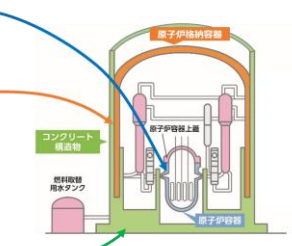
○ 運転開始から 40 年を迎えるにあたって、取替えが難しい「原子炉容器」、「原子炉格納容器」、「コンクリート構造物」については、通常のメンテナンスに加え、設備の状況を詳細に把握するために、特別点検を行いました。

○ 結果として、**いずれの設備にも異常がないことを確認**できました。

原子炉容器に超音波や電流を使って、「傷」がないことを確認しました。

原子炉格納容器の表面を目視で念入りに確認し、「塗装のはがれ」や「腐食」がないことを確認しました。


コンクリート構造物からサンプルを取り出し、「性質の変化」や「強度」に問題がないことを確認しました。



取替えが難しい設備の特別点検 (2) 24


原子炉容器点検

原子炉容器に対し、超音波を使った探傷試験や電流を使った渦流探傷試験などを行い、「傷」がないことを確認しました。



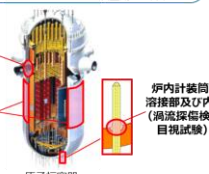
原子炉格納容器点検

原子炉格納容器の鋼板の内外表面を目視で念入りに確認し、「塗装のはがれ」や「腐食」がないことを確認しました。



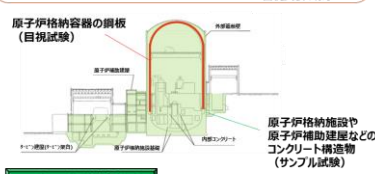
1 次冷却材 ノズルコーナ部分 (渦流探傷試験)

炉内計装筒の溶接部及び内面 (渦流探傷検査、目視試験)



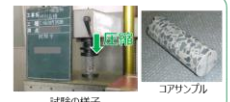
原子炉格納容器の鋼板 (目視試験)

原子炉格納施設や原子炉補助建屋などのコンクリート構造物 (サンプル試験)



コンクリート構造物点検

原子炉格納施設などのコンクリート構造物からサンプルを採取し、「強度」や「歪へい能力」などに異常がないことを確認しました。



○ 点検の結果、**いずれの設備にも異常はありませんでした。**

○ 点検結果は、**原子力規制委員会にも確認頂き、運転期間延長が認可されました。**

高浜 1 号機の高経年化技術評価と長期施設管理方針（運転開始50年目）

2024年11月14日に運転開始から50年を迎える高浜 1 号機について、高経年化技術評価制度に基づき、高経年化対策に係る原子炉施設保安規定変更認可申請を、2023年11月2日に実施。

高浜発電所 1 号機 高経年化技術評価と長期施設管理方針の概要

高経年化技術評価

高浜発電所 1 号機の安全上重要な機器・構造物等を対象とし、これまでの運転経験や最新知見等を踏まえ、疲労割れ、減肉等の経年劣化事象が発生していないか、今後の運転で経年劣化事象が発生しないかを検討した。

その上で、経年劣化事象が発生する可能性のある機器・構造物は、運転開始後 60 年時点の劣化状況を想定し、現状の保全活動で安全性が確保されているかを確認するための評価を行った。

それらの評価結果に基づき、追加すべき保全策を抽出した。

長期施設管理方針

高経年化技術評価の結果、運転開始後 50 年以降 10 年間に実施すべき保全策に係る長期施設管理方針は以下のとおり。

実施時期※1	内容
短期	炉内構造物を計画に基づき取替え
中長期	原子炉容器の第 6 回監視試験を計画
	過渡回数※2の実績を継続的に確認 (推定過渡回数※3を上回らないことを確認)
	今後の知見拡充※4結果をステンレス鋼配管の供用期間中検査計画への反映

※1：短期とは運転開始後 50 年（2024 年 11 月 14 日）から 5 年間、中長期とは同日から 10 年間をいう。

※2：プラントの起動・停止等に伴う温度・圧力変化の回数。

※3：運転開始後 60 年時点で推定する過渡回数。

※4：2020 年 8 月に確認された大飯 3 号機の加圧器スプレイ配管溶接部における亀裂を踏まえて実施する今後の知見拡充の結果。

高経年化技術評価の結果、安全上重要な機器・構造物等は、現在行っている保全活動に加えて、一部の機器・構造物に対して追加すべき保全策を長期施設管理方針として実施していくことで、運転開始から 50 年以降においてもプラントを健全に維持できることを確認した。

高経年化技術評価の流れ

安全上重要な 機器・構造物等の抽出

原子炉容器、蒸気発生器、1次冷却材管、余熱除去ポンプ、ケーブル、空冷式非常用発電機等

経年劣化事象の抽出

原子炉容器：中性子照射脆化、
低サイクル疲労
1次冷却材管：熱時効
ケーブル：絶縁低下等

・経年劣化事象の評価 ・耐震安全性評価 ・耐津波安全性評価

【原子炉容器の例】
中性子照射脆化を考慮し、これまで5回監視試験を実施し、これらの試験結果に基づき原子炉容器の安全性に問題がないことを確認

長期施設管理方針の策定

【追加すべき保全策の例】
原子炉容器の第6回監視試験を計画
(中長期)

高浜発電所 1 号機 主な高経年化技術評価の結果と追加すべき保全策（長期施設管理方針）

【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が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。

⇒炉内構造物を計画に基づき取替え

【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】

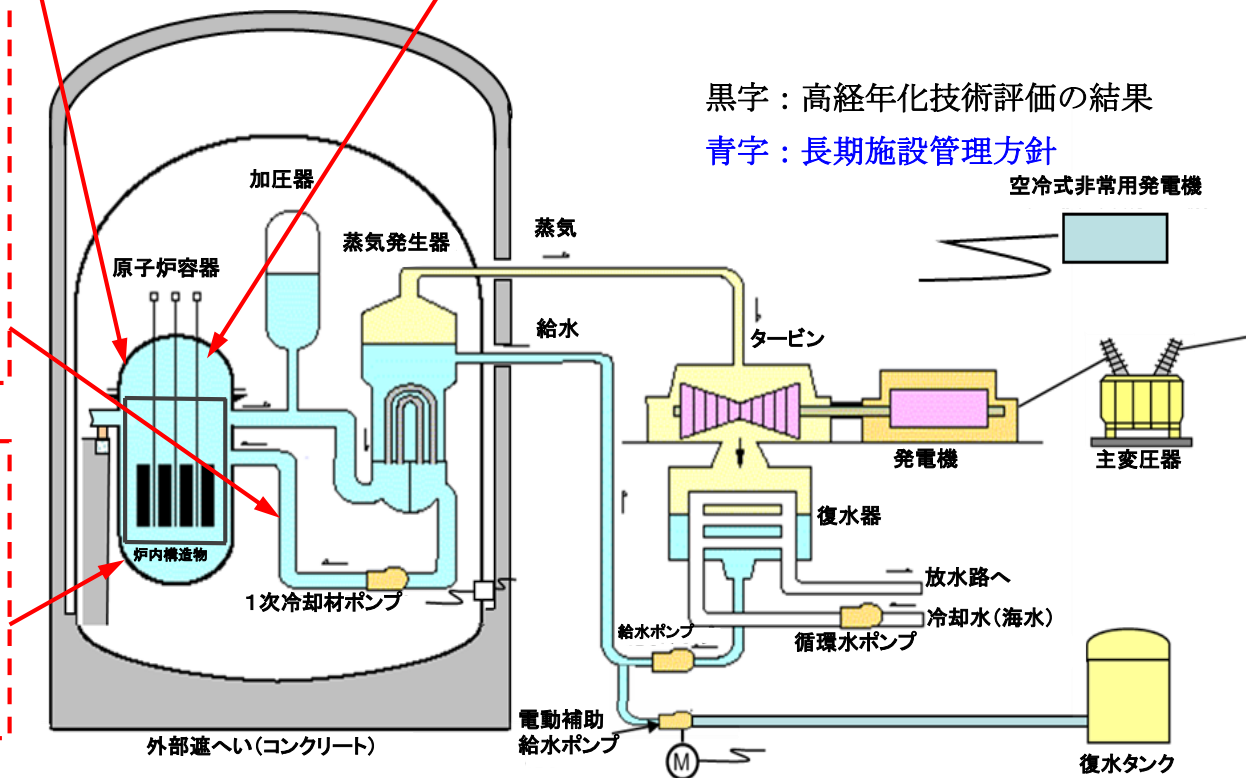
- ・大飯 3 号機加圧器スプレイ配管溶接部における亀裂は特異な事象と判断。

⇒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



参考資料

- 令和4年度 滋賀県原子力安全対策連絡協議会（R4.12.27開催）以降に発生した安全協定上の異常時連絡対象のトラブルは2件。
- それぞれについて、原因を調査し、必要な対策を実施している。

発生年月日	発電所	件名	INES評価※
2023.1.30	高浜4号機	高浜発電所4号機 PR中性子束急減に伴う原子炉自動停止について	0
2023.10.17	高浜3号機	高浜発電所3号機 蒸気発生器伝熱管の損傷について	未確定

参考1

参考2

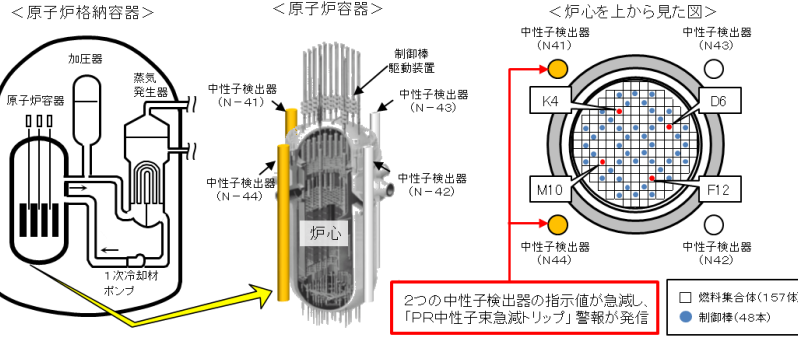
※INES：国際原子力事象評価尺度

（参考3）

2023.4.4 「原子力発電所の運営状況」にてお知らせ

高浜発電所4号機の原子炉自動停止の原因と対策

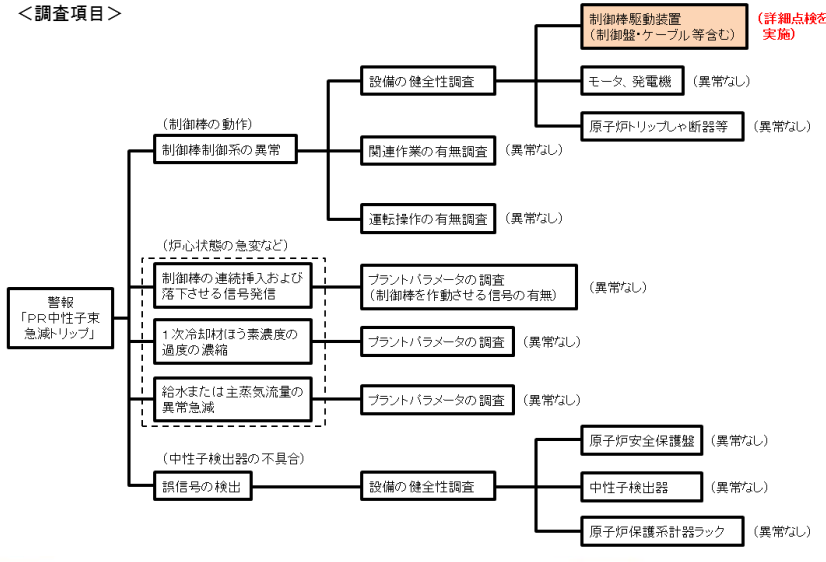
事象概要



これまでの調査結果

- ・事象発生前後のプラントパラメータ、中性子検出器等の設備の健全性、運転操作等の調査を実施した結果、異常はありませんでした。
- ・制御棒が実際に挿入されたことにより、検出器の指示値が大きく低下し、警報発信に至った可能性があると推定したことから、制御棒駆動装置の詳細点検を行いました。

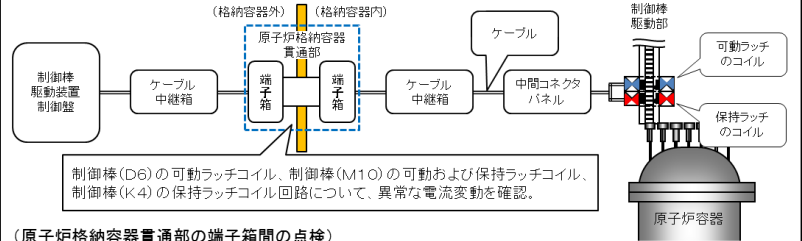
<調査項目>



制御棒駆動装置の詳細点検

(制御棒駆動装置制御盤から制御棒駆動部(コイル)までの点検)

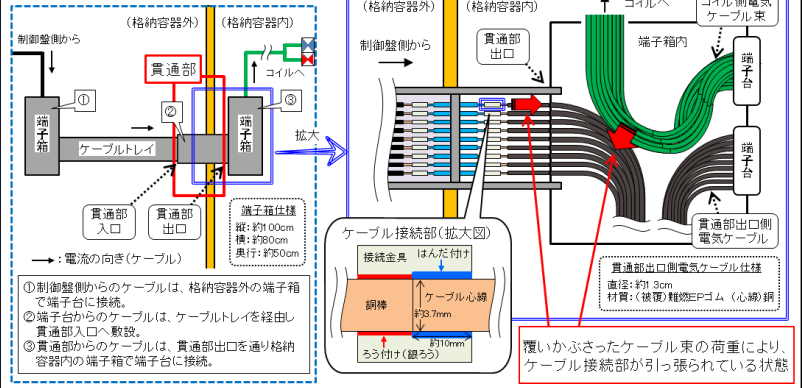
警報発信は、制御棒駆動装置の電気的な故障による制御棒の挿入が原因と考え、制御棒駆動装置制御盤から制御棒駆動部(コイル)までの点検を実施。



(原子炉格納容器貫通部の端子箱間の点検)

制御棒挿入の原因は原子炉格納容器貫通部の端子箱間にあると考え、当該端子箱間のケーブルや端子台を確認。

<貫通部の端子箱間イメージ(横断面)>



推定原因

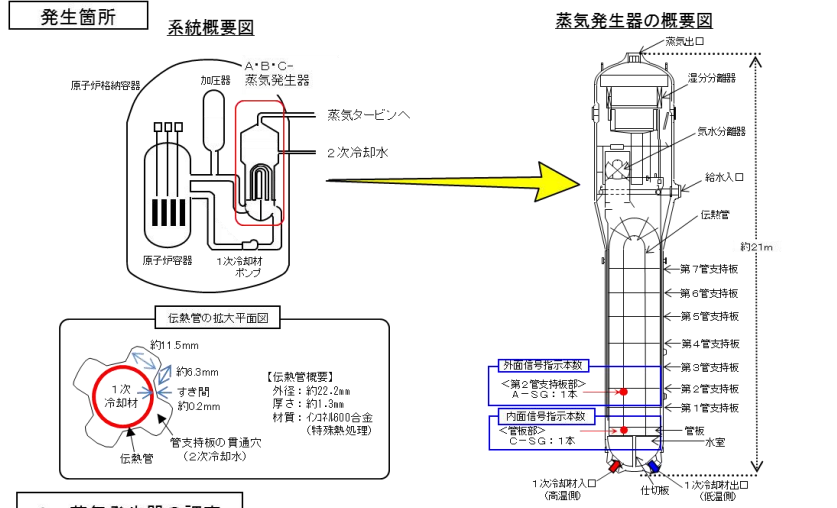
原子炉が自動停止した「PR中性子束急減トリップ」警報発信の原因は、点検のために可動ラッチのコイルの電源を切り、保持ラッチのみで制御棒を保持していたところ、原子炉格納容器貫通部内で接続している電気ケーブルに接触不良が発生したことにより、制御棒駆動部のコイルに供給する電流値が低下し、保持ラッチが開放され、制御棒1本(M10)が挿入されたためと推定しました。

また、電気ケーブルの接触不良の原因は、原子炉格納容器貫通部出口(格納容器内側)と端子台の間において、貫通部出口側電気ケーブルに、コイル側電気ケーブルが覆いかぶさっていたことにより、原子炉格納容器貫通部内から引き抜かれる方向に力が働いていたためと推定しました。

対策

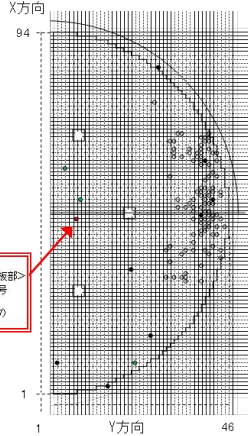
- ・3本の制御棒(D6、M10、K4)の原子炉格納容器貫通部の端子箱(原子炉格納容器外側)から貫通部の端子箱(原子炉格納容器内側)までの電路について、電流低下が認められた電気ケーブルを介さず、予備用として敷設されている他の原子炉格納容器貫通部のルートに変更しました。
- ・今回の事象を踏まえ、原子炉格納容器貫通部のケーブルに関する点検・保守方法や、ケーブル敷設時の注意事項を社内マニュアルに反映しました。

外面からの信号指示が認められた伝熱管の調査

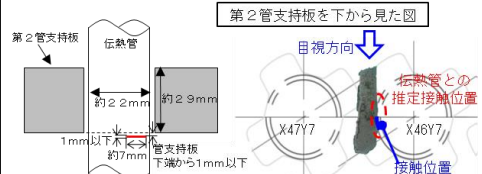
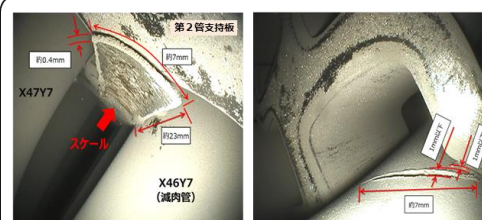


A-蒸気発生器の調査

A-蒸気発生器 (高温側) 上部から見た伝熱管位置を示す図



小型カメラによる外観観察結果

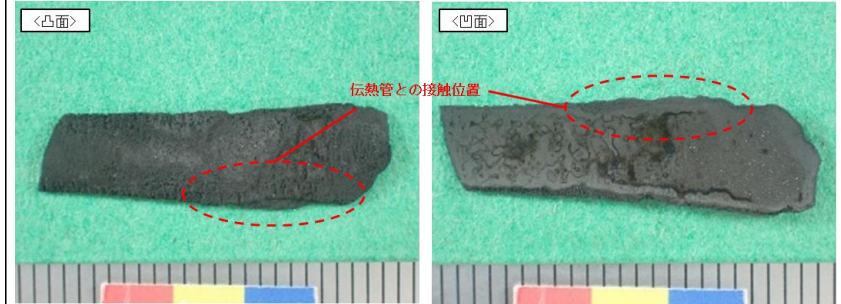


小型カメラを用いた外観観察の結果、ぎすに接触する長さ約2.3mm、幅約7mmの付着物を確認し、回収。

回収した付着物の詳細調査

付着物の分析結果

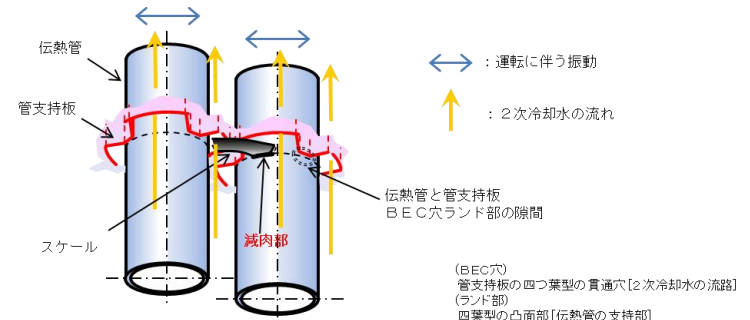
付着物は過去から認められているスケールと同様に黒色調であることを確認。また、伝熱管の外径に近い円筒状に沿った形状であり、伝熱管との接触部位に接触痕および伝熱管の成分であるニッケルおよびクロムを確認。これらのことから、付着物は伝熱管表面に生成されたスケールと断定。



大きさ：約2.3mm×約7mm
 厚さ：約0.4mm
 質量：約0.2g

管支持板下面での減肉のメカニズム

過去の原因調査の中で、工場で再現試験等を実施した結果、SG器内の2次冷却水の上昇流により、スケールの形状によっては管支持板下面に押し付けられその場に留まり、伝熱管がプラント運転に伴う振動でスケールと繰り返し接触し、摩擦減肉が発生することを確認。



これまでに実施した蒸気発生器器内の薬品洗浄による効果の調査

薬品洗浄の概要

蒸気発生器器内の伝熱管群部分をエチレンジアミン四酢酸溶液で浸し、スケールの主成分である鉄分を溶出させることで器内に存在するスケールの脆弱化を図るもの。

<高浜発電所3号機 薬品洗浄実績>

		前々回の定期検査 (第24回)	前回の定期検査 (第25回)
洗浄条件	1回目	薬液濃度：3% 洗浄範囲：第3支持板以下	薬液濃度：3% 洗浄範囲：伝熱管全体
	2回目	薬液濃度：2% 洗浄範囲：伝熱管全体	薬液濃度：3% 洗浄範囲：伝熱管全体

薬品洗浄効果(スケールの脆弱化傾向)

(1) 薬品洗浄による鉄分除去量

これまでに実施した薬品洗浄により、合計約1,980kgの鉄分を除去できたことを確認。

<高浜発電所3号機 鉄分除去量>

蒸気発生器 1台あたりの鉄分除去量	前々回の定期検査 (第24回)	前回の定期検査 (第25回)
	約670kg	約1,310kg

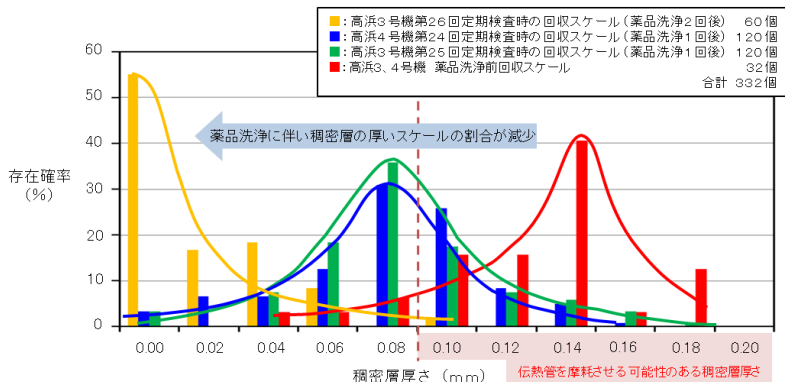
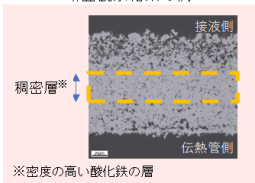
(2) スケールの脆弱化傾向

蒸気発生器器内から回収したスケールの断面を観察し、薬品洗浄実施前と実施後の稠密層厚さの分布に係る違いを調査。

前々回の定期検査 (第24回) から今回の定期検査 (第26回) までのスケールの稠密層厚さを比較した結果、洗浄実施に伴い稠密層が薄くなる傾向を確認。

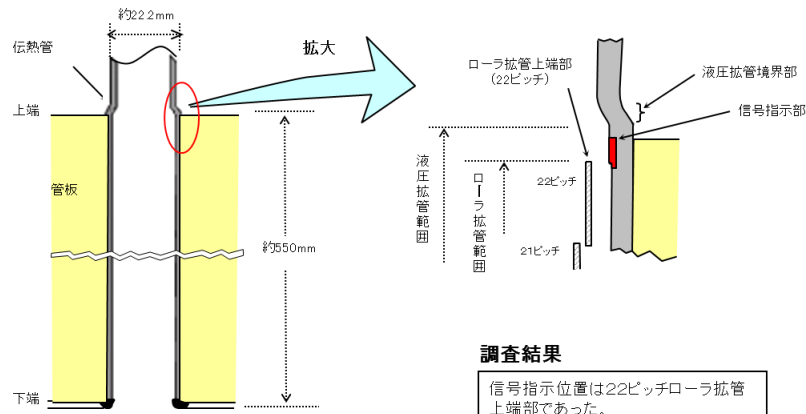
また、伝熱管を摩耗させる可能性のある稠密層厚さ0.1mm以上のスケールの割合も大きく減少しており、薬品洗浄による脆弱化効果が得られていると評価。

<断面観察結果の例>



内面からの信号指示が認められた伝熱管の調査

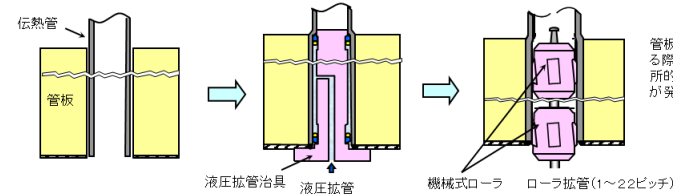
信号指示の位置



調査結果

信号指示位置は22ピッチローラ拡管上部部であった。

蒸気発生器製造時の管板部の伝熱管拡管方法



管板部でローラ拡管する際、伝熱管内面で局所的に引張り残留応力が発生。

運転実績の調査

1次冷却材の主要パラメータである温度、圧力、水質を調査した結果、前回定期検査(第25回)終了以降の運転実績の中で、過大な応力が発生させる温度、圧力の変化はなく、水質も基準値の範囲内で安定していたことを確認。

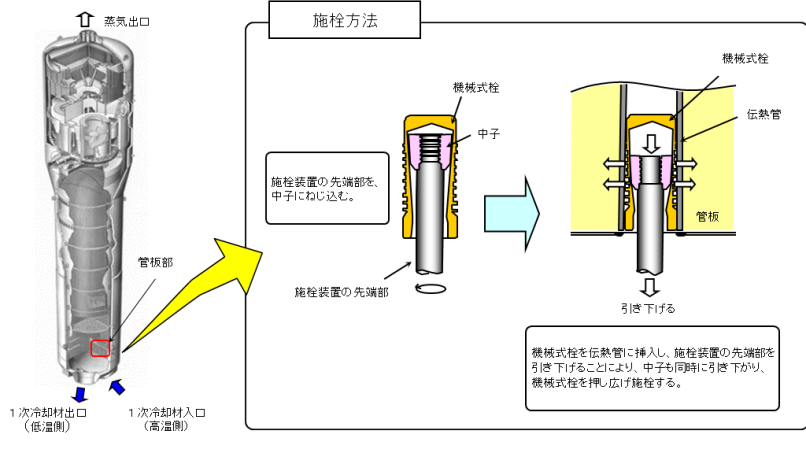
原因は、蒸気発生器製造時に伝熱管内面のローラ拡管の際に生じた引張り残留応力と運転時の内圧および温度環境が相まって生じる応力腐食割れ(既往知見)であると推定。

伝熱管の施栓方法及施栓状況

蒸気発生器伝熱管の施栓方法

さすが認められた伝熱管2本については、高温側および低温側管板部で施栓し、使用しないこととする。

蒸気発生器の概要図



高浜発電所3号機の蒸気発生器伝熱管の施栓状況

	A蒸気発生器 (3,382本)	B蒸気発生器 (3,382本)	C蒸気発生器 (3,382本)	合計 (10,146本)
検査対象本数	3,269	3,246	3,261	9,776
今回施栓予定	1	0	1	2
累積施栓本数 (応力腐食割れによる施栓本数) (外面減肉による施栓本数) 【施栓率】	114 (8) (4) [3.4%]	136 (10) (2) [4.0%]	122 (8) (1) [3.6%]	372 (26) (7) [3.7%]

- 蒸気発生器1台あたりの伝熱管本数:3,382本
- 安全解析施栓率は10%
(伝熱管の施栓率が10%の状態において、プラントの安全性に問題がないことを確認している)

小型高压洗浄装置による洗浄(スケール等の回収)の強化

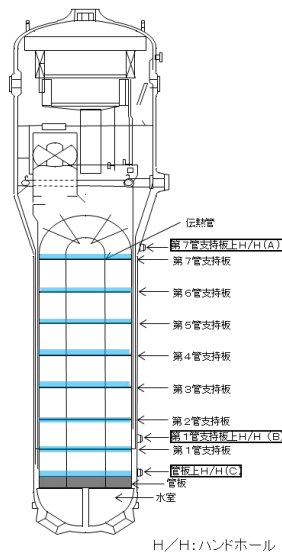
STEP1: 第7~第3管支持板の洗浄

第7管支持板上ハンドホール(A)から装置を挿入し、高圧水を噴射することにより、上層の第7管支持板上から順に第3管支持板上までのスケール等を下層の管支持板へ落下させる。
第3から第6管支持板用の噴射ノズルを改良し、噴射範囲の拡大および水の流量(水圧)を増加させ、洗浄を強化させる。



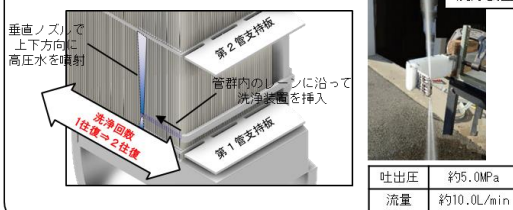
	改良前	改良後
吐出圧	約2.0MPa	約5.0MPa
流量	約3.9L/min	約7.3L/min

洗浄箇所:
(管板・第1管支持板から第7管支持板上)



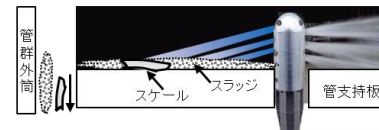
STEP2-1: 第2, 第1管支持板の洗浄(垂直ノズルによる洗浄)

第1管支持板上ハンドホール(B)から装置を挿入し、上下方向に高圧水を噴射することで、管支持板と伝熱管との隙間を洗浄し、スケール等を管支持板上へ移動させる。
管群内の各レーンに清掃装置を挿入し洗浄を行う際、レーン毎(総数93レーン)の洗浄回数を前回の1往復から2往復(1往復分追加)に増やすことで、洗浄を強化させる。



STEP2-2: 第2, 第1管支持板の洗浄(水平ノズルによる洗浄)

STEP2-1により管支持板上に移動させたスケール等を押し流し、管板に落下させる。



STEP3: 管板上の洗浄

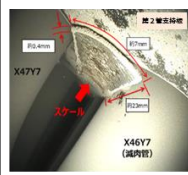
定期検査毎に実施している高圧水による管板上の洗浄により、管板上ハンドホール(C)からスケール等を回収する。

2023.11.9 「高浜発電所3号機の定期検査状況について」にてお知らせ

これまでの経緯(高浜発電所3、4号機における伝熱管外面の損傷事例)

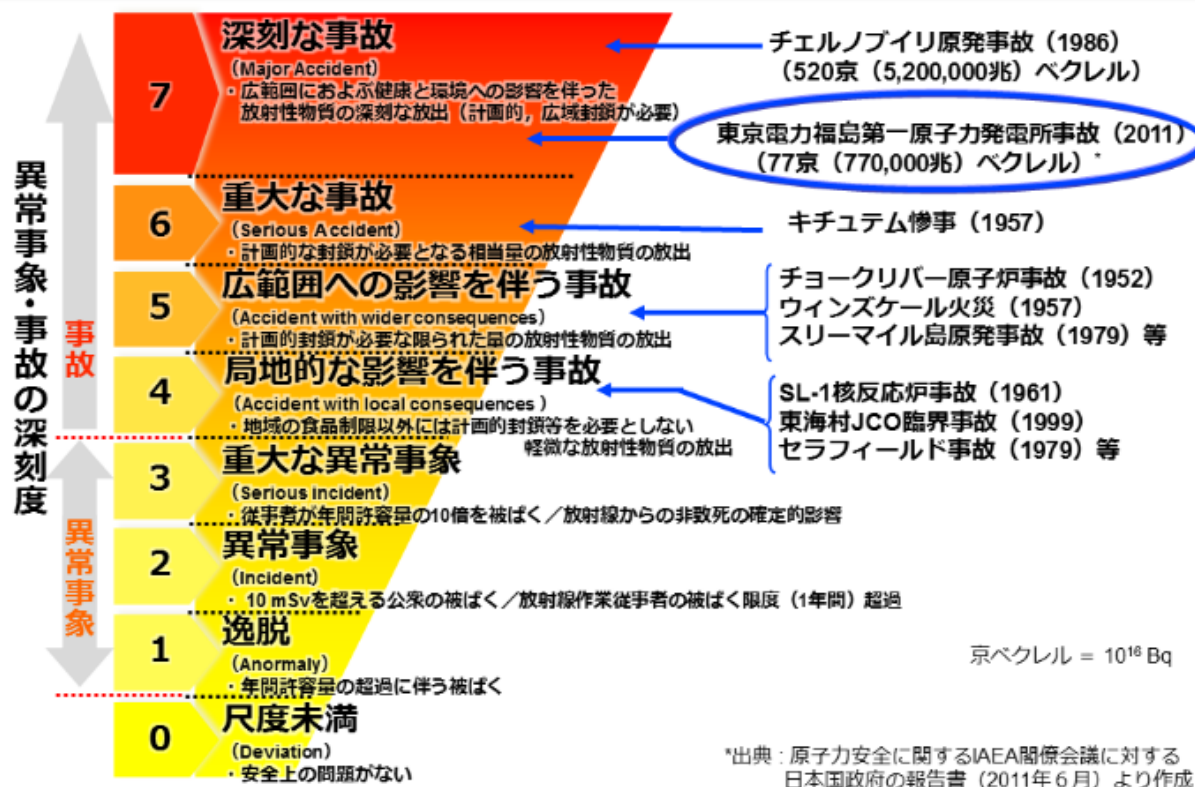
定期検査	伝熱管外面の損傷本数	調査結果概要	スケールに対する対策
3号機 第23回 (2018年8月～)	A-蒸気発生器: 1本 (第3管支持板) 【減肉率: 20%未満】	減肉指示のあった箇所付近にスケールを確認。スケールの回収中に破損したため、スケール以外の異物による減肉と推定。異物は流出したものと推定。 	
4号機 第22回 (2019年9月～)	A-蒸気発生器: 1本 (第3管支持板) B-蒸気発生器: 1本 (第3管支持板) C-蒸気発生器: 3本 (第2管支持板2本、 第3管支持板1本) 【最大減肉率: 63%】	A-蒸気発生器内にステンレス薄片を確認したが、摩耗痕が確認されなかったため、原因となった異物は前回の定期検査時に混入していたものと推定。なお、異物は流出したものと推定。	-
3号機 第24回 (2020年1月～)	B-蒸気発生器: 1本 (第3管支持板) C-蒸気発生器: 1本 (第3管支持板) 【最大減肉率: 56%】	AおよびC-蒸気発生器内にガスケットフープ材を確認。C-蒸気発生器伝熱管の損傷原因を異物と推定。B-蒸気発生器伝熱管の損傷原因となった異物は流出したものと推定。	
4号機 第23回 (2020年10月～)	A-蒸気発生器: 1本 (第3管支持板) C-蒸気発生器: 3本 (第3管支持板) 【最大減肉率: 36%】	A-蒸気発生器の減肉箇所にスケールが残存。C-蒸気発生器の減肉箇所近傍から回収したスケール3個にも接触痕を確認し、原因は、スケールによる減肉と推定。 	薬品洗浄を実施。

これまでの経緯(高浜発電所3、4号機における伝熱管外面の損傷事例)

定期検査	伝熱管外面の損傷本数	調査結果概要	スケールに対する対策
3号機 第25回 (2022年3月～)	A-蒸気発生器: 2本 (第3管支持板1本、 第4管支持板1本) B-蒸気発生器: 1本 (第2管支持板) 【最大減肉率: 57%】	摩耗痕のあるスケールは回収できなかったが、各蒸気発生器から採取したスケールの性状、摩耗試験等の調査の結果、スケールによる減肉と推定。	薬品洗浄の前に小型高圧洗浄装置による洗浄を実施し、薬品洗浄を実施。
4号機 第24回 (2022年6月～)	A-蒸気発生器: 5本 (第3管支持板2本、 第4管支持板3本) B-蒸気発生器: 2本 (第3管支持板1本、 第4管支持板1本) C-蒸気発生器: 5本 (第3管支持板3本、 第4管支持板2本) 【最大減肉率: 49%】	小型カメラによる損傷箇所の調査に加え、蒸気発生器器内のスケールの形状や性状および伝熱管の外観観察等の調査を実施した結果、スケールによる減肉と推定。なお、A-蒸気発生器およびB-蒸気発生器から回収したスケール各1個に接触痕を確認。	薬品洗浄の前に小型高圧洗浄装置による洗浄を実施し、薬品洗浄を実施。
3号機 第26回 (今回)	A-蒸気発生器: 1本 (第2管支持板1本) 【減肉率: 63%】	A-蒸気発生器の減肉箇所にスケール1個が付着。原因は、スケールによる減肉と推定。 	小型高圧洗浄装置による洗浄を実施。 ・噴射ノズルを改良し、噴射範囲の拡大させるとともに、水の流量(水圧)を増強。 ・垂直ノズルを用いたレーン毎の洗浄回数を、前回の1往復から2往復に増強。

<今後の対応>
 今後も毎定期検査時に蒸気発生器器内のスケールを調査するとともに、長期的な信頼性を確保するという観点から、予防保全策として第28回定期検査において蒸気発生器の取替えを計画。

原子力災害 国際原子力事象評価尺度



国際原子力事象評価尺度 (INES) は、国際原子力機関 (IAEA) と経済協力開発機構原子力機関 (OECD/NEA) が定めた尺度で、1992年に各国に採用が勧告されました。原子力施設等の異常事象や事故は、その深刻度に応じて7つのカテゴリーに分類されます。各国は、異常事象や事故をこの尺度を使って深刻度を判定し、発表します。東京電力福島第一原子力発電所事故はその放射性物質の放出量から最も深刻な事故であることを示すレベル7と判断されています。

(関連ページ：下巻P8、「INES (国際原子力・放射線事象評価尺度) 評価」)