

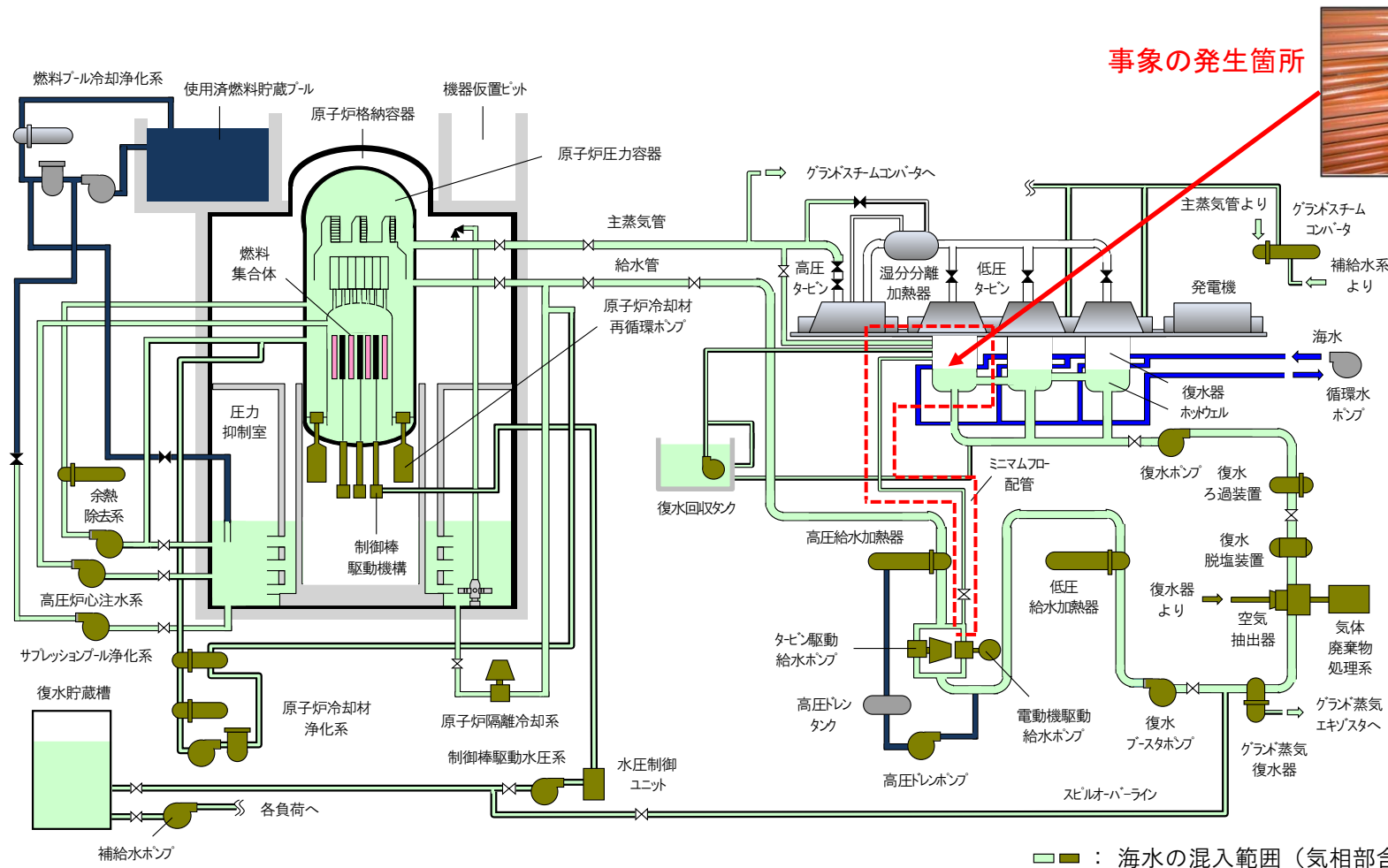
浜岡原子力発電所5号機 海水混入事象に係る点検状況について

2014年10月3日

中部電力株式会社

1 事象の概要(主復水器細管損傷による海水混入範囲)

- 浜岡原子力発電所5号機は、主復水器の細管が損傷し、原子炉施設全体に海水が約400m³混入しました。(2011年5月14日発生)
- 海水が混入した設備や燃料について点検および健全性の評価をおこなっています。



2 健全性評価の進め方について

- 海水が混入した範囲の設備を以下のように分類し、それぞれに応じた健全性評価をおこないます。

(1) 設備の健全性評価の進め方

(原子炉圧力容器・炉内構造物、その他の原子炉設備およびタービン設備)

海水が混入した範囲全ての設備を対象として機器レベル、系統レベルおよびプラントレベルでの健全性を評価します。

(2) 燃料の健全性評価の進め方

海水混入時に炉内に装荷していた燃料の継続使用の可否を判断するため、「燃料調査」および「燃料材料試験」をおこない、燃料の健全性を評価します。

○ 燃料調査

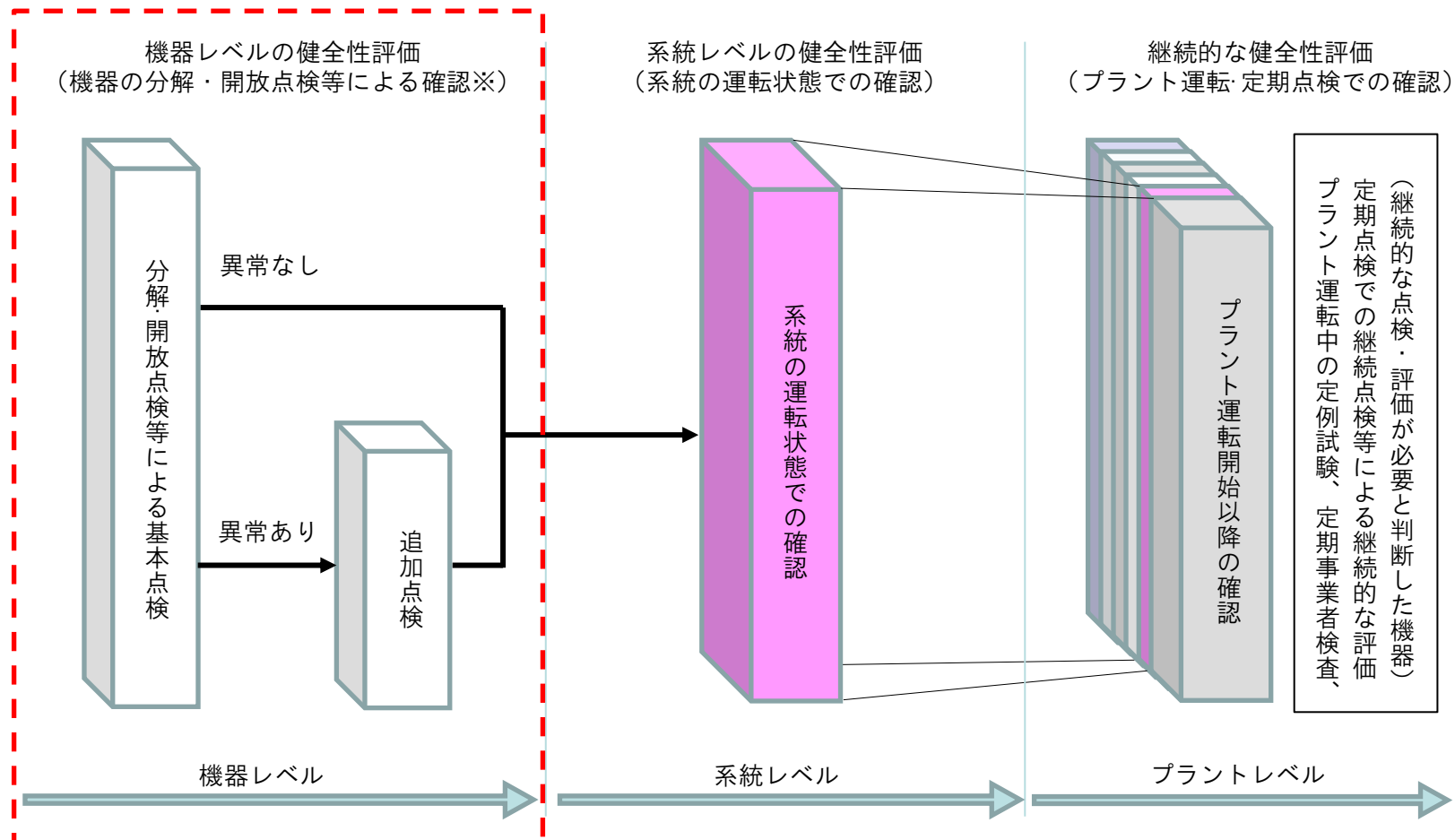
使用済燃料貯蔵プールにおいて、海水混入時に炉内に装荷していた燃料872体のうち12体について抜取りで調査をおこない、燃料健全性を評価します。

○ 燃料材料試験

発電所外の施設において、海水混入時および運転時を模擬した環境を経験させた燃料部材の調査をおこない、海水混入時に炉内に装荷していた燃料では直接確認できない細部の確認および継続使用時における燃料健全性を評価します。

3 設備の健全性評価の進め方

- 海水が混入した範囲全ての設備を対象として機器レベル、系統レベルおよびプラントレベルでの健全性評価を実施しています。
- 機器レベルの健全性評価（点検・評価）については、2014年度上期完了を目標に実施してきました。



※ 必要に応じて、補修・取替を実施

4 設備の点検内容

機器レベルの健全性評価において実施する「分解・開放点検」および「追加点検」は以下の考え方によりおこないます。

○ 分解・開放点検

(1) 原子炉圧力容器および炉内構造物

■点検対象：原子炉圧力容器および炉内構造物全て

- ・原子炉圧力容器（内張り材、原子炉再循環ポンプ貫通部等）
- ・炉内構造物（蒸気乾燥器、シュラウドヘッド・気水分離器等）

■点検内容：抜取りによる目視点検（抜取り率や点検方法は維持規格を準用）

(2) その他の原子炉設備およびタービン設備

■点検対象：海水が混入した系統のポンプ、弁、配管 等

■点検内容：海水混入時の環境（温度、塩化物イオン濃度）で分類し、機器の構造、材料等を考慮し、抜取りにより分解や開放を伴う点検

■抜取りによる点検の数量は、維持規格（日本機械学会）の標準点検で用いられる抜取り率を参考とした結果、約1,140機器（海水が混入した範囲全ての設備約7,400機器）
（抜取り率は維持規格を準用）

○ 追加点検

■分解・開放点検において、機能に影響を及ぼす可能性がある異常が認められた場合は、追加点検を実施

追加点検は、維持規格（日本機械学会）の考え方を準用し、抜取り率を拡大して実施

5 機器レベルの点検結果・評価 (1/7)

(1) 原子炉圧力容器および炉内構造物

ア 原子炉圧力容器内張り材 (1/2)

- 目視点検の結果、原子炉圧力容器の内張り材の表面に腐食が確認されました。
- 点検した範囲内において、概ね内張り材表面の研磨により除去することができたため、腐食の深さは内張り材厚さ未満であることが分かりましたが、一部の腐食は、内張り材の研磨では残存し、深さの特定はできませんでした。



研磨前



研磨後

研磨後に腐食が除去

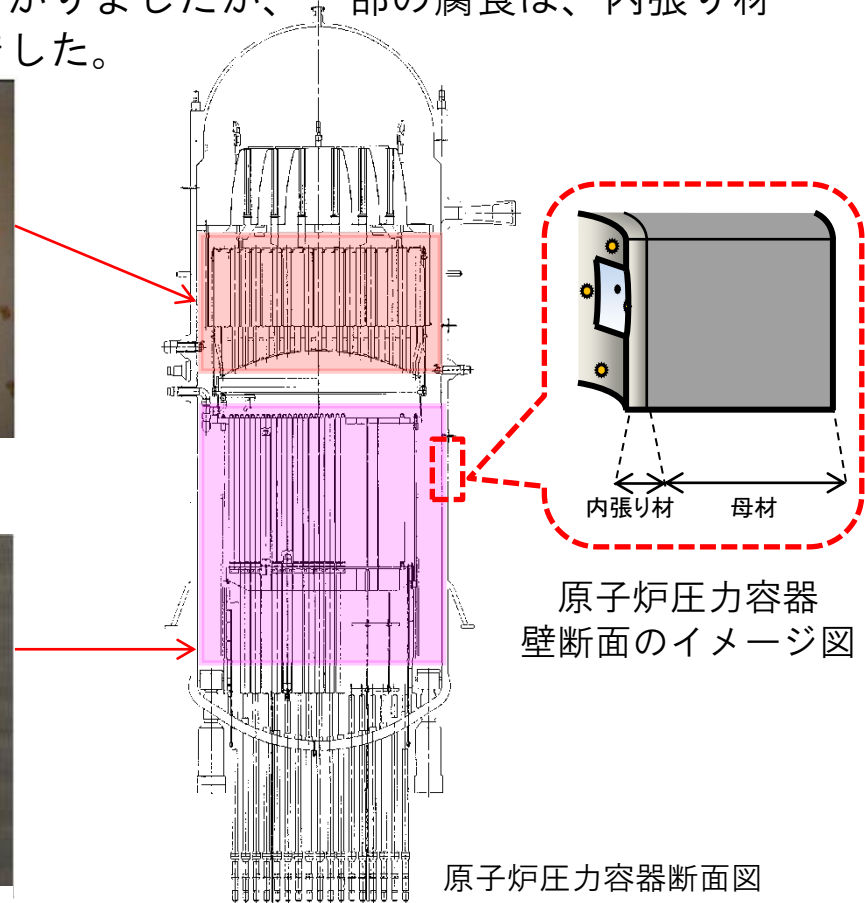


研磨前



研磨後

研磨後も腐食が残存



5 機器レベルの点検結果・評価 (2/7)

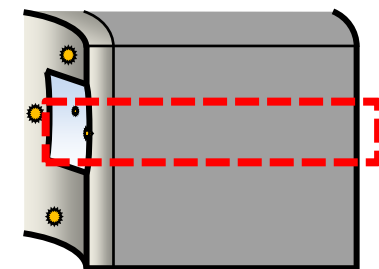
(1) 原子炉圧力容器および炉内構造物

ア 原子炉圧力容器内張り材 (2/2)

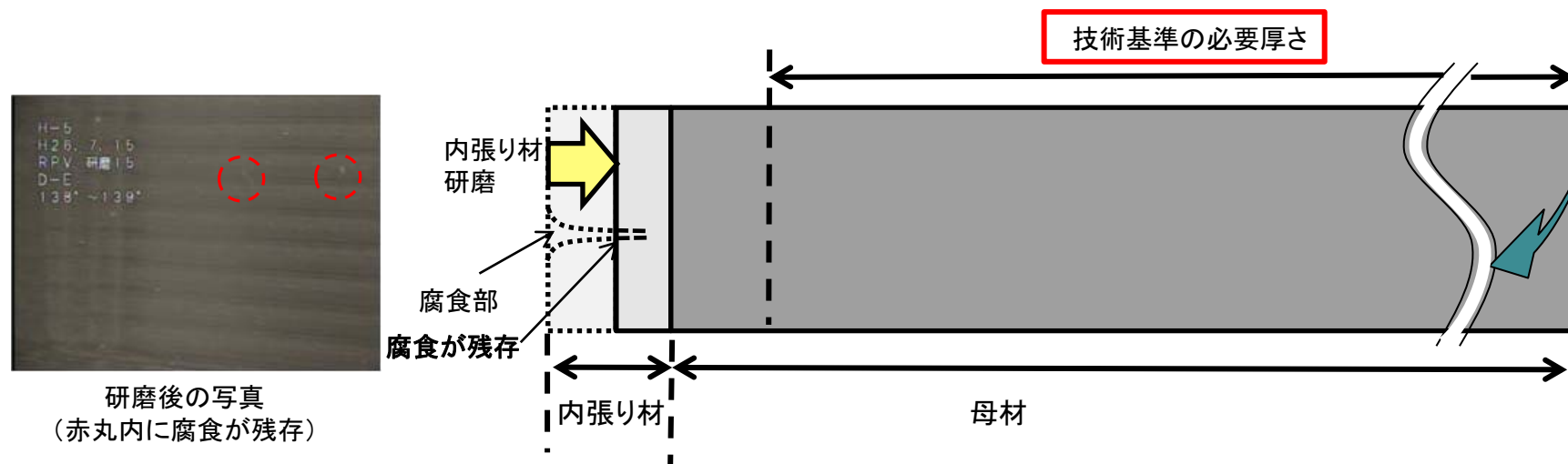
➤ これまでの点検結果や材料試験の結果から、原子炉圧力容器の必要厚さを保持していると推定しており、機能に影響を及ぼすものではないと評価しています。

- 腐食は、超音波探傷試験（腐食の径が大きいものを対象に実施）の結果から母材に達するほど深いものではないと評価。また、内張り材に残存している腐食径は小さい。【点検結果】
- 原子炉圧力容器内の冷却材が停止時の水質基準を満足していること。【点検結果】
- 原子炉圧力容器母材材料は全面腐食形態を示していたこと。【材料試験結果】
- 原子炉圧力容器母材材料の腐食進展速度は年0.1mmのオーダーであること。【文献調査結果】

➤ 今後、腐食深さの測定をおこない、この結果を踏まえ健全性評価をおこないます。



原子炉圧力容器
壁断面のイメージ図



研磨後の写真
(赤丸内に腐食が残存)

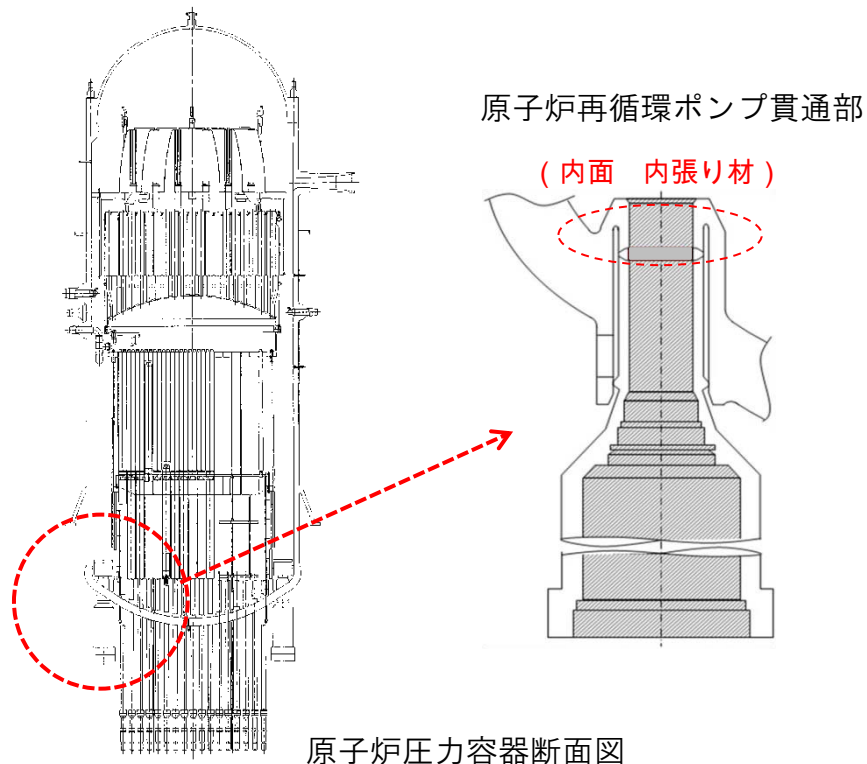
腐食が残存した箇所のイメージ図

5 機器レベルの点検結果・評価 (3/7)

(1) 原子炉圧力容器および炉内構造物

イ 原子炉再循環ポンプ貫通部（内面 内張り材）

- 原子炉再循環ポンプ貫通部（内面 内張り材）に腐食が確認されました。
- 材料試験や類似機器の点検結果から、原子炉再循環ポンプ貫通部（内面 内張り材）の構造・強度、漏えい防止機能に影響を及ぼす程度ではないと推定しています。
- 今後、腐食深さ測定による定量的な評価の実施を検討し、その結果に応じ補修の可否や健全性の評価をおこないます。



原子炉再循環ポンプ貫通部
内面 内張り材



5 機器レベルの点検結果・評価 (4/7)

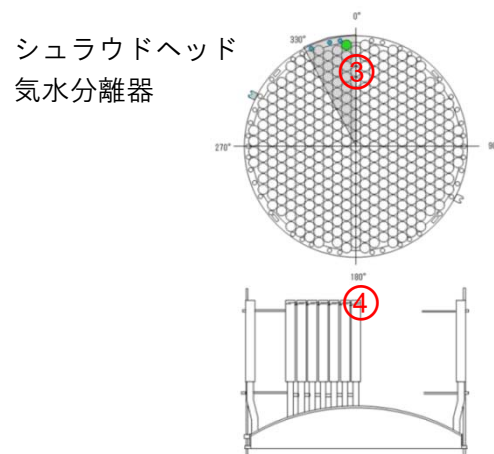
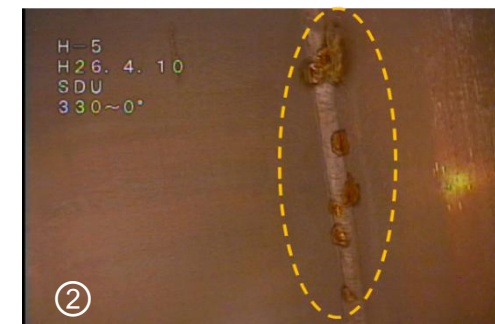
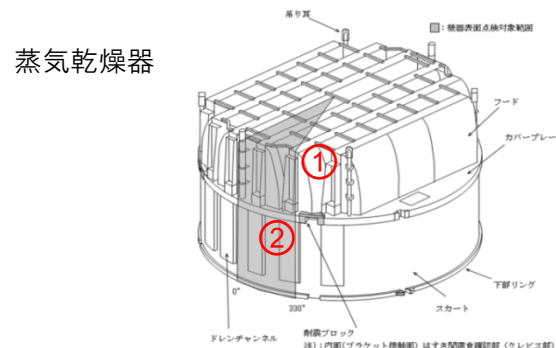
(1) 原子炉圧力容器および炉内構造物

ウ 炉内構造物

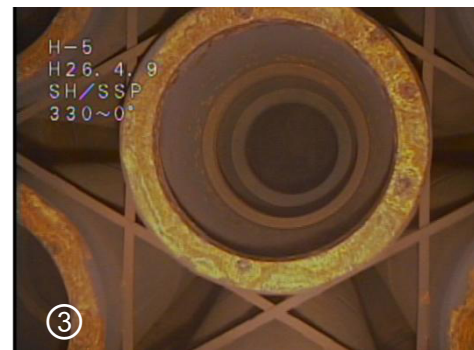
- 蒸気乾燥器、シュラウドヘッド・気水分離器等に腐食が確認されました。
- これまでのところ機器の適切な補修、または取替をおこなうことで、機能が維持できると評価しています。
- 今後、腐食深さ測定による定量的な評価の実施を検討し、その結果に応じ補修・取替の可否や健全性の評価をおこないます。

フード 材質:SUS316L

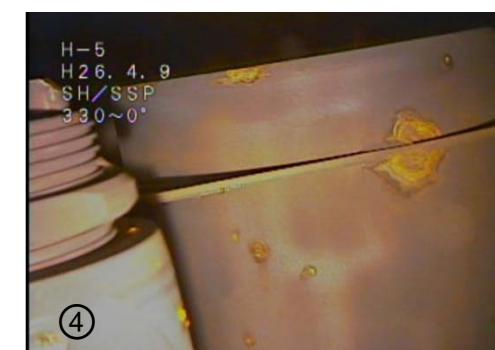
ドレンチャンネル スカート溶接部
材質:ステンレス系溶接金属



気水分離器 リング 材質:SCS19A



気水分離器 タイバー・アウタースリーブ
材質:SUS316L



5 機器レベルの点検結果・評価 (5/7)

(2) その他の原子炉設備およびタービン設備

ア 原子炉設備の点検結果

系統		分解・開放点検結果
原子炉設備	主蒸気系	異常は認められませんでした。
	原子炉冷却材再循環系	一部のポンプおよび弁の部品に腐食が確認されており、当該部品の補修、取替等の措置が必要と評価しています。 その他の機器に異常は認められませんでした。
	原子炉冷却材浄化系	一部のポンプおよび弁の部品に腐食が確認されており、当該部品の補修、取替等の措置が必要と評価しています。 その他の機器に異常は認められませんでした。
	余熱除去系	異常は認められませんでした。
	原子炉隔離冷却系	異常は認められませんでした。
	高圧炉心注水系	一部の弁に腐食が確認されており、当該部品の補修、取替等の措置が必要と評価しています。 その他の機器に異常は認められませんでした。
	補給水系	一部のポンプ、弁の部品および配管に腐食が確認されており、当該部品の補修、取替等の措置が必要と評価しています。また、復水貯蔵槽の一部に腐食が確認されており、補修をおこない異常がないことを確認しました。 その他の機器に異常は認められませんでした。
	制御棒・制御棒駆動水压系	制御棒駆動機構および一部の弁の部品に腐食が確認されており、当該部品の補修、取替等の措置が必要と評価しています。 制御棒は中性子吸収棒等に変色が確認されており、点検および材料試験の結果から健全性を評価することが難しいため、取替が必要と評価しています。 その他の機器に異常は認められませんでした。
	圧力抑制室	圧力抑制室と内部の配管の一部に腐食が確認されており、当該部分の補修、取替等の措置が必要と評価しています。
	サプレッションプール浄化系	異常は認められませんでした。

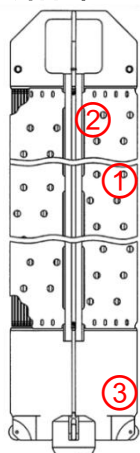
5 機器レベルの点検結果・評価 (6/7)

(2) その他の原子炉設備およびタービン設備 イ タービン設備の点検結果

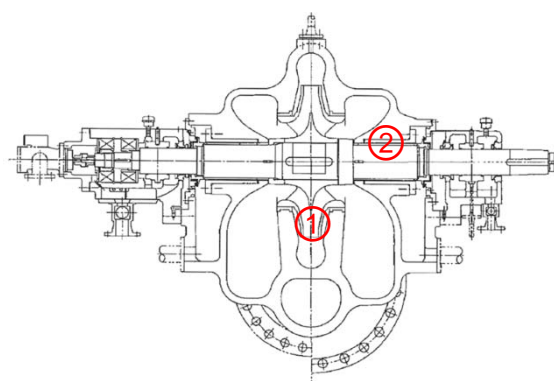
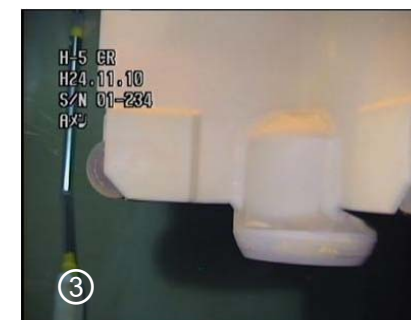
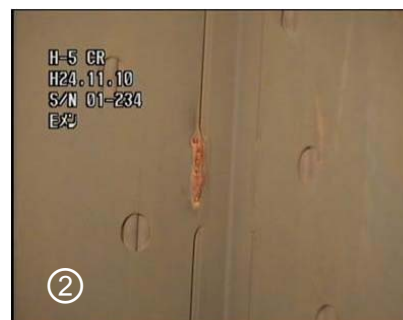
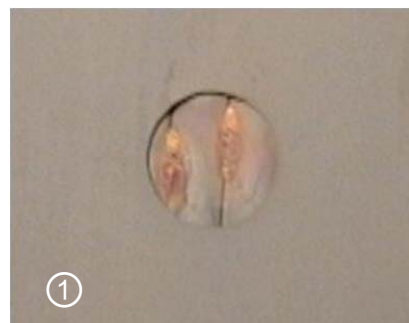
系統		分解・開放点検結果
タービン設備	給復水系	一部のポンプおよび弁の部品に腐食が確認されており、当該部品の補修、取替等の措置が必要と評価しています。 その他の機器に異常は認められませんでした。
	復水ろ過装置・復水脱塩装置	異常は認められませんでした。
	給水加熱器ドレンベント系	一部のポンプおよび弁の部品に腐食が確認されており、当該部品の補修、取替等の措置が必要と評価しています。 その他の機器に異常は認められませんでした。
	蒸気タービン系	異常は認められませんでした。
	復水器	復水器の部品の一部に腐食およびそれに伴う変形が認められており、当該部品の取替が必要と評価しています。
	グランド蒸気系	異常は認められませんでした。
	空気抽出器系	異常は認められませんでした。
	気体廃棄物処理系	異常は認められませんでした。
タービン設備	湿分分離加熱器系	異常は認められませんでした。

5 機器レベルの点検結果・評価 (7/7)

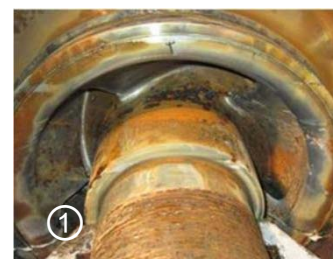
(2) 原子炉設備およびタービン設備 ウ 点検結果 (例)



制御棒



復水ブースタポンプ



手入れ前



手入れ後

6 機器レベルの点検結果・評価のまとめ（1/2）

（１）原子炉圧力容器および炉内構造物

原子炉圧力容器（内張り材、原子炉再循環ポンプ貫通部等）、炉内構造物（蒸気乾燥器、シュラウドヘッド・気水分離器等）について、

- 当初計画した対象範囲の目視点検を完了しました。
 - ・ 原子炉圧力容器内張り材に確認された腐食は、一部、内張り材表面から数ミリの研磨後も残存するものがありました。
 - ・ 原子炉再循環ポンプ貫通部および炉内構造物に腐食が確認されました。

【評価】

原子炉圧力容器については、これまでの点検結果や材料試験の結果から、確認された腐食の大きさ、想定される深さ等から、必要厚さを保持していると推定しており、原子炉圧力容器の構造・強度、漏えい防止機能に影響を及ぼすものではないと評価しています。

炉内構造物については、機器の取替、または適切な補修をおこなうことで、設備の機能は維持できるものと評価しています。

なお、目視点検で確認された腐食に対する評価を確実なものとするため、2015年度上期完了を目途に腐食深さの調査を計画しています。

6 機器レベルの点検結果・評価のまとめ (2/2)

(2) その他の原子炉およびタービン設備

海水が混入した範囲全ての設備（約7,400機器）について、

- 原子炉設備およびタービン設備の分解・開放のサンプル点検（約1,140機器）を実施しました。
 - ・ 原子炉設備（制御棒駆動機構、原子炉冷却材浄化ポンプ、他）およびタービン設備（電動機駆動給水ポンプ、タービン駆動給水ポンプ、他）ともにそれぞれの機器に腐食が確認されました。
- 分解・開放のサンプル点検の結果、機能に影響を及ぼす可能性がある異常が確認されたことから追加点検（約520機器）を実施しました。
（2014年度上期末までに約99%を実施。残り約1%は2014年度下期に完了予定。）

【評価】

原子炉設備およびタービン設備は、機器の取替・一部の部品取替、または手入れにより、機能を維持できるものと評価しています。

なお、復水回収ポンプ再循環配管にて発生した漏えい事象([2012年7月30日](#)お知らせ済み)等から、流動条件が炭素鋼配管の腐食速度に影響を与えること、およびクラッド（注）によりすきま構造となりステンレス配管のすきま腐食が発生する可能性が確認されたことから、点検範囲を拡大することとしました。

注：配管内面の錆等が持ち込まれ、底部に沈降等しているものであり、一般的に、タンク類の点検時に確認されるものです。

7 燃料の点検結果・評価 (1/2)






○ 燃料調査

➤ 海水混入時に炉内に装荷していた燃料872体のうち12体について、

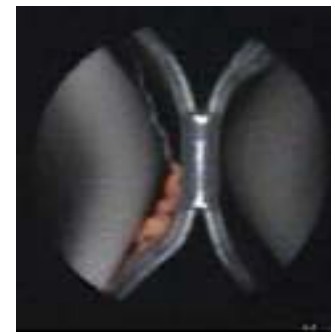
- ・ 外観観察（水中TVカメラ、ファイバースコープ）
- ・ 燃料被覆管表面の酸化膜厚さ測定
- ・ 燃料被覆管表面のクラッド分析

を実施し、燃料健全性への影響がないことを確認しました。

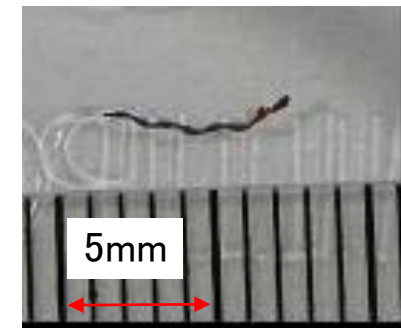
➤ なお、外観観察において燃料の内側に確認された異物や付着物については、放射能測定や脆さ確認等の結果、海水混入事象以前から炉内に存在したものであり、燃料健全性への影響がないものと評価しました。

部位	海水混入環境経験あり		海水混入環境経験なし
	最低燃焼度 (HEB569)	最高燃焼度 (HEZ498)	使用済燃料 (HEZ410)
	経験サイクル：1サイクル 燃焼度：約2 GWd/t	経験サイクル：5サイクル 燃焼度：約3.5 GWd/t	経験サイクル：3サイクル 燃焼度：約3.4 GWd/t
上部支持板			
燃料被覆管・スペーサ			
下部支持板			

【燃料調査結果の例】 海水混入環境を経験した燃料の外観は、使用済燃料の外観と比べて特異な点はありませんでした。



異物の回収前の状況



異物の回収後の状況

(ファイバースコープによる画像)

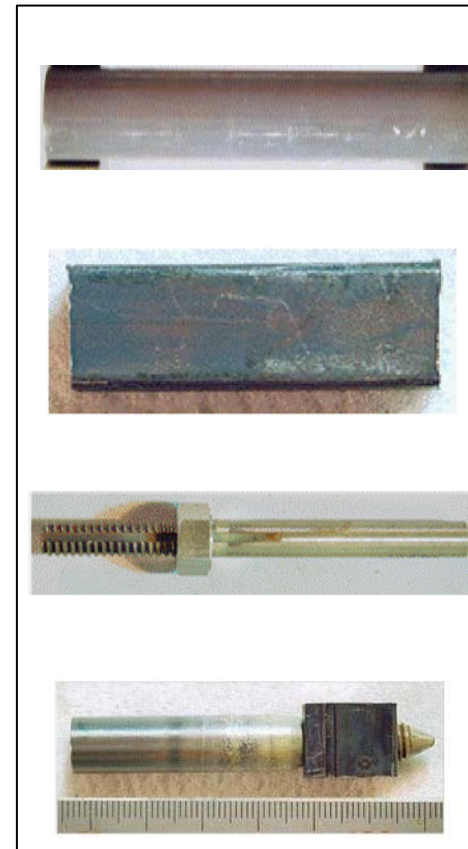
【燃料の内側に確認された異物の評価】

回収し、外観観察、材質の分析、脆さ確認等を実施することにより、評価しました。

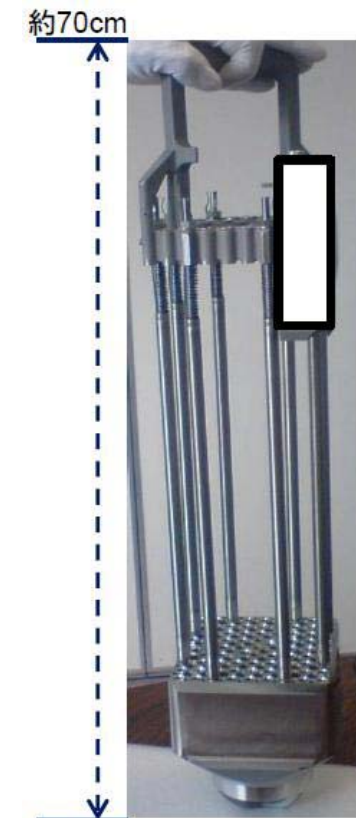
7 燃料の点検結果・評価 (2/2)

○ 燃料材料試験

- 発電所外の施設において、以下の試験を実施しました。
 - ・ 海水混入環境模擬試験
照射済および未照射の燃料部材を用いた海水混入時の炉水環境を模擬した試験
 - ・ 運転状態模擬試験
上記試験を実施した燃料部材を用いた運転時の炉水環境を模擬した試験
- 試験後の燃料部材について外観観察、断面金相試験、水素分析、引張試験、応力負荷試験等を実施し、海水混入時に炉内に装荷していた燃料では直接確認できない細部の健全性を確認するとともに、継続使用時における燃料健全性を確認しました。



照射済の燃料部材



短尺模擬燃料体

黒枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。

燃料材料試験で使用した燃料部材の例

8 燃料の点検結果・評価のまとめ

海水混入時に炉内に装荷していた燃料の健全性評価として、

- 海水混入時に炉内に装荷していた燃料872体のうち12体について「燃料調査」を実施し、燃料健全性への影響がないことを確認しました。
- 海水混入時および運転時を模擬した環境を経験させた燃料部材の「燃料材料試験」を実施し、継続使用時における燃料健全性等を確認しました。

【評価】

「燃料調査」および「燃料材料試験」を実施した結果、海水混入による燃料健全性への影響がないと評価しました。

(1) 原子炉压力容器および炉内構造物

○ 原子炉压力容器

原子炉压力容器の継続使用にあたっては、内張り材の腐食の深さの測定により母材への影響がないことを定量的に評価するために更なる研磨を実施します。

研磨に当たっては、母材部の研磨が必要になった場合に備え、あらかじめ研磨方法の妥当性の確認をおこないます。また、母材における腐食挙動の知見の取得を目的とした模擬試験を実施します。

○ 炉内構造物

これまでに実施した材料試験の結果や腐食部の研磨等により腐食の深さや構造物への影響を評価します。

腐食部の研磨にあたっては、材料ごとに代表機種を定め、あらかじめ研磨方法の妥当性を確認します。

(2) その他の原子炉およびタービン設備

拡大した範囲の追加点検（原子炉およびタービン設備の配管類）を着実に実施していきます。






10 今後の工程

- これまでの点検の結果から、機器レベルの健全性評価（点検・評価）が完了する時期を「2014年度上期を目途」から「2015年度上期を目途」に変更します。

＜これまでの計画＞

	2013年度	2014年度	2015年度
(1) 原子炉圧力容器および炉内構造物の点検			
(2) その他の原子炉設備およびタービン設備の点検			
(3) 燃料の点検			
(4) 機器レベルの健全性評価（点検・評価）			

＜今後の計画＞

	2013年度	2014年度	2015年度
(1) 原子炉圧力容器および炉内構造物			
腐食が確認された部位の点検			
上記以外の部位の点検			
(2) その他の原子炉設備およびタービン設備			
追加しておこなう点検（配管）			
上記以外の設備の点検			
(3) 燃料の点検			
(4) 機器レベルの健全性評価（点検・評価）	