

東海第二発電所

特別点検及び劣化状況評価について

平成31年3月12日

日本原子力発電株式会社

本資料のうち、 は営業秘密又は防護上の観点から公開できません。

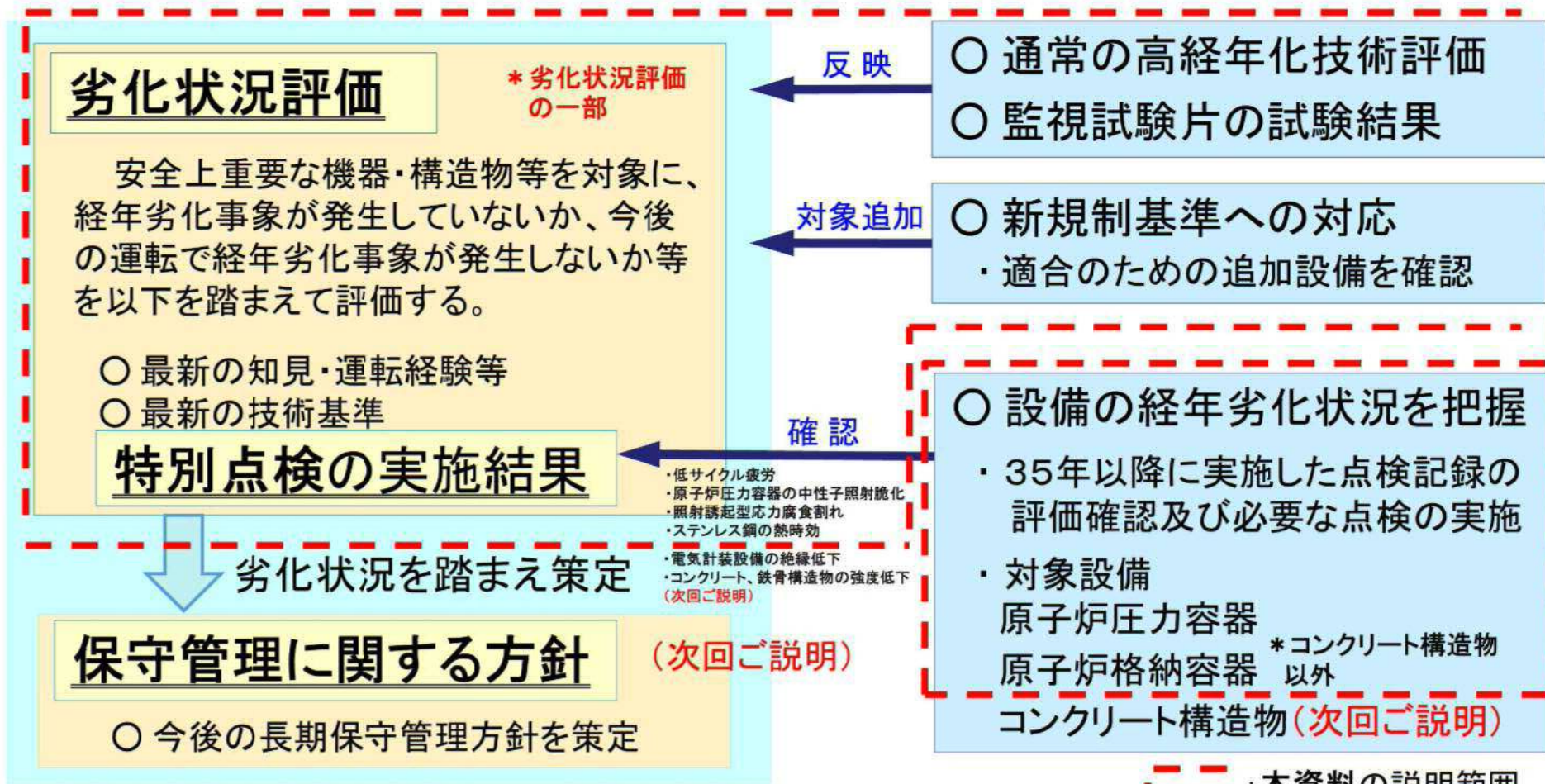
目次

1. 今回の説明内容	2-3
2. 特別点検の説明	2-5
2.1 特別点検の概要	2-6
2.2 原子炉圧力容器	2-9
2.3 原子炉格納容器	2-19
2.4 特別点検と現状保全の比較	2-22
3. 劣化状況評価の説明	2-23
3.1 劣化状況評価の概要	2-24
3.2 低サイクル疲労	2-27
3.3 中性子照射脆化	2-32
3.4 照射誘起型応力腐食割れ	2-40
3.5 2相ステンレス鋼の熱時効	2-44
3.6 まとめ	2-49

1. 今回の説明内容



東海第二発電所の運転期間延長認可申請の内容のうち、本資料の説明範囲を示す。ここでは、特別点検、劣化状況評価の説明を行う。残りは次回以降のWTで説明を行う予定



東海第二発電所 運転期間延長認可申請の全体像

特別点検の説明

- ・原子炉圧力容器……………今回ご説明
- ・原子炉格納容器……………今回ご説明
- ・コンクリート構造物……………次回ご説明

劣化状況評価の説明

主要6事象＋耐震・耐津波安全性評価

- ・低サイクル疲労……………今回ご説明
- ・原子炉圧力容器の中性子照射脆化……………今回ご説明
- ・照射誘起型応力腐食割れ……………今回ご説明
- ・ステンレス鋼の熱時効……………今回ご説明
- ・電気計装設備の絶縁低下……………次回ご説明
- ・コンクリート、鉄骨構造物の強度低下……………次回ご説明
- ・耐震・耐津波安全性評価……………次回ご説明

保守管理に関する方針の説明

- ・今後の長期保守管理方針を策定……………次回ご説明

2. 特別点検の説明

2.1 特別点検の概要－原子炉压力容器、原子炉格納容器



原子炉压力容器は、燃料及び炉内構造物を収容し、**圧力バウンダリを形成している**機器である。原子炉格納容器は、原子炉压力容器、原子炉冷却系統等を収容し、事故時等により生じる**放射性物質の放出を防止する機能を有している**機器である。これら機器は、大型構造物であり取替が容易でないこと、重要性を有することから、**劣化状況把握のための従来の点検に加えて特別点検を実施した。**

対象の機器・構造物	点検部位	経年劣化事象	点検の考え方
原子炉压力容器	①母材及び溶接部(炉心領域)	中性子照射脆化	<p>中性子源である燃料に近接している部位は、中性子照射による材料の脆化が懸念される。このため、燃料集合体の有効長全範囲の母材、溶接部を点検対象とし、超音波探傷試験を実施して脆性破壊の起点となる欠陥の有無を確認した。なお、この点検範囲は、プラント運転開始後60年時点で中性子照射量が$1.0 \times 10^{21} \text{ n/m}^2$ *を超え脆化が懸念される領域を含んでいる。</p> <p>この点検は、現状保全として実施している溶接部の超音波探傷試験に加え、炉心領域の全溶接部、母材部について特別な点検として設定したものである。</p> <p><small>*: 材料特性変化の可能性のある値(「日本原子力学会 原子力発電所の高経年化対策実施基準: 2008」)</small></p>
	②給水ノズルコーナー部	疲労	<p>給水ノズルは、原子炉压力容器内でプラント起動・停止時の給水による温度低下、プラント運転時の温度上昇を繰り返すことで局所的に大きな温度変化が生じ、最も疲労が大きくなる部位であり疲労割れに至ることが懸念される。また、ノズルコーナー部は構造的に内面の丸みに高い熱応力が発生する。このため、当該部を点検対象としている。</p> <p>この点検は、現状保全として実施している超音波探傷試験(体積試験)に加え、表面欠陥の検出に優れた渦電流探傷試験(表面試験)を特別な点検として設定したものである。</p>
	③制御棒駆動機構スタブチューブ、制御棒駆動機構ハウジング、中性子束計測ハウジング、差圧検出・ほう酸水注入ノズル	応力腐食割れ	<p>制御棒駆動機構スタブチューブ、制御棒駆動機構ハウジング、中性子束計測ハウジング、差圧検出・ほう酸水注入ノズルの取付け溶接部は、インコネル182等により製作されていることから、応力腐食割れに対する感受性があることが知られている。このため、全溶接部とその溶接熱影響部を含んだ範囲を点検対象としている。</p> <p>この点検は、現状保全として実施しているビデオカメラによる目視試験に加え、より欠陥検出の精度が高い目視試験や表面欠陥の検出に優れた渦電流探傷試験を特別な点検として設定したものである。</p>

2. 1 特別点検の概要－原子炉圧力容器、原子炉格納容器



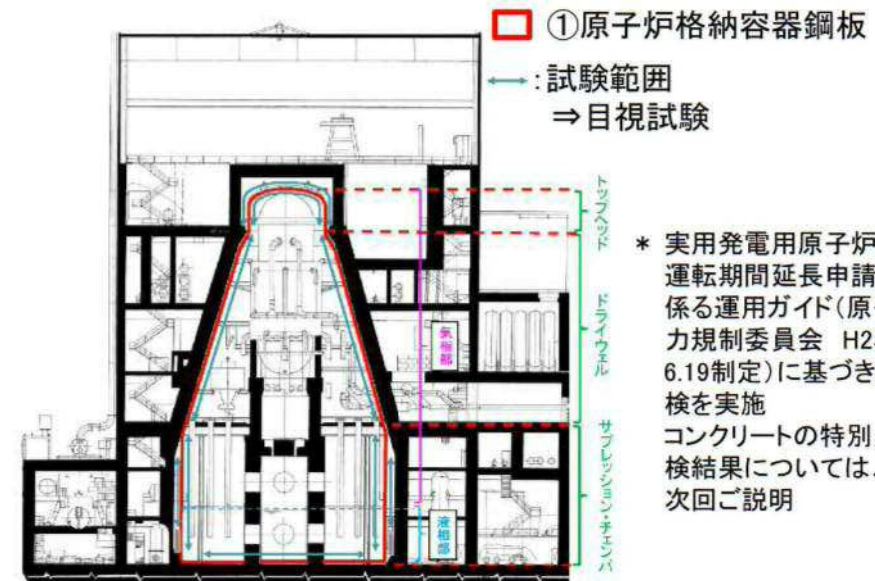
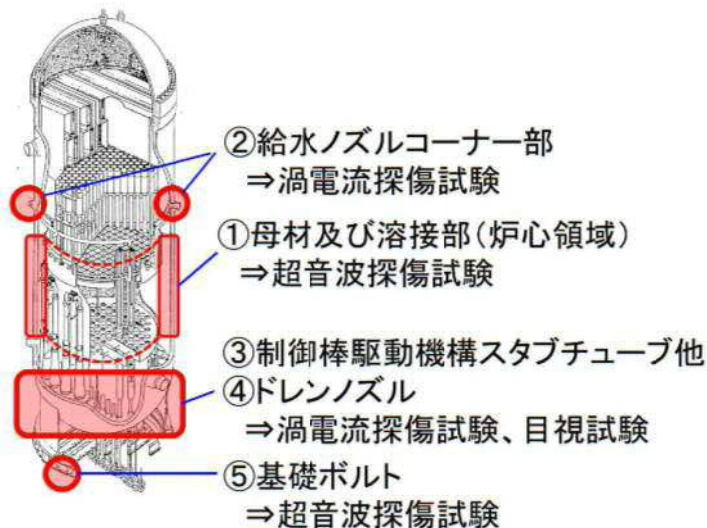
対象の 機器 ・ 構造物	点検部位	経年劣化 事象	点検の考え方
原子炉 圧力 容器	④ドレンノズル	腐食	<p>ドレンノズル部は原子炉圧力容器にあるノズルの内最も低い位置にあり、その下流には原子炉冷却材浄化系が設置されている。この部位は常時流れがあり、比較的流速の速い部位であるため、腐食(エロージョン・コロージョン)の発生が想定される。このため、ノズルの内部まで含んだ範囲を点検対象としている。</p> <p>この点検は、現状保全として実施しているビデオカメラによる目視試験に加え、より欠陥検出の精度が高い目視試験を特別な点検として設定したものである。</p>
	⑤基礎ボルト	腐食	<p>基礎ボルトは基礎コンクリートに埋め込まれており、表面から内部へとコンクリートの中性化が進み基礎ボルトまで達すると、強アルカリ性により生成されていた基礎ボルトの不動態被膜が破壊され、腐食することが懸念される。このため、基礎ボルト全域を点検対象としている。</p> <p>この点検は、現状保全として実施している基礎ボルト上部の目視試験に加え、超音波探傷試験により基礎ボルト内部の健全性を確認する特別な点検として設定したものである。</p>
原子炉格 納容器	①原子炉格納容器 鋼板	腐食	<p>原子炉格納容器鋼板は、内面、外面ともに塗装が施されている。この塗装が剥離した場合、構造健全性または気密性に影響を与える腐食を生じることが懸念される。このため、接近可能な鋼板全てを点検対象としている。</p> <p>この点検は、現状保全として実施している目視試験に加え、仮設足場による試験可能範囲の拡大を行い、試験面までの距離や角度といった試験条件を付与し視認性を確保して、より欠陥検出の精度が高い目視試験を特別な点検として設定したものである。</p>

2. 1 特別点検の概要－原子炉压力容器、原子炉格納容器



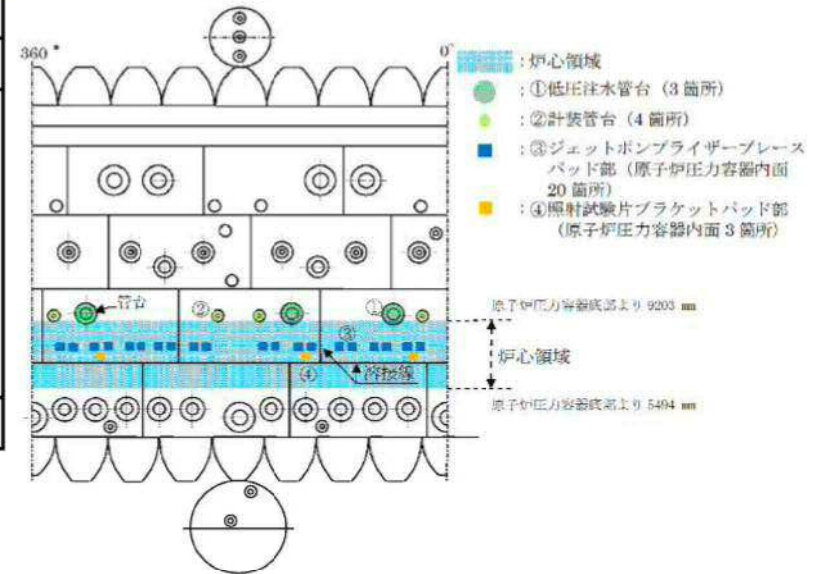
特別点検対象のうち**原子炉压力容器及び原子炉格納容器の点検部位に異常のないことを確認した。***

対象の機器・構造物	点検部位	経年劣化事象	点検項目／点検結果
原子炉压力容器	① 母材及び溶接部(炉心領域)	中性子照射脆化	超音波探傷試験の結果、欠陥等の異常はなかった。
	② 給水ノズルコーナー部	疲労	渦電流探傷試験の結果、欠陥等の異常はなかった。
	③ 制御棒駆動機構スタブチューブ、 制御棒駆動機構ハウジング、 中性子束計測ハウジング、 差圧検出・ほう酸水注入ノズル	応力腐食割れ	渦電流探傷試験や目視試験の結果、炉内の溶接部等に欠陥等の異常はなかった。
	④ ドレンノズル	腐食	目視試験の結果、欠陥等の異常はなかった。
	⑤ 基礎ボルト	腐食	超音波探傷試験の結果、欠陥等の異常はなかった。
原子炉格納容器	① 原子炉格納容器鋼板	腐食	目視試験の結果、塗膜の状態に異常はなかった。



2.2 原子炉压力容器－炉心領域部

点検部位	母材及び溶接部(炉心領域)
点検項目	超音波探傷試験(UT)
点検方法	<p>遠隔試験装置を用い炉心領域の溶接部及び母材のUTを実施</p> <ul style="list-style-type: none"> ・検査は炉外より実施した。ただし、ジェットポンプライザーブレースアーム溶接部は干渉する機器を取外した後、炉内より実施した。 ・溶接部の検査は斜角及び垂直によるUTを実施した。 ・母材(クラッド及びパッドを含む)の検査は、垂直に加え、フェーズドアレイ法による検査を実施した。 ・ジェットポンプライザーブレースアーム溶接部は斜角によるUTを実施した。加えて、当該部の目視試験(MVT-1)を全数実施した。
点検結果	有意な欠陥は認められなかった。



【点検方法の妥当性】

➢通常の供用期間中検査同様にJEAC4207-2008「軽水炉原子炉用機器の供用期間中検査における超音波探傷試験規程」を準用している。このUTでは、検出されたエコーをJEAC4207-2008に基づき、あらかじめ欠陥を付与した試験片の反射エコーと比較し、欠陥エコーか否か判定する。

➢長手方向範囲は、燃料集合体の有効長とし、実際の探傷ではこの範囲に対し十分余裕をもった範囲とした。また、この範囲には炉心領域の構造不連続部を含むこととし、**低压注水管台(3箇所)、計装管台(4箇所)それぞれについて全範囲を対象とした。**

➢フェーズドアレイ法*による検査(母材部の検査)はモックアップ試験によって、「超音波探傷試験における欠陥検出性及びサイジング精度の確認に関するもの」(UTS)における最小寸法欠陥19.5 mm × 4 mm(長さ×深さ)と同程度の欠陥を検出できる精度であることを確認している。

<検査範囲>

方向	範囲
長手	RPV底部より5494 mm～9203 mm (炉心領域を燃料集合体の有効長とした)
周	0°～360° (ジェットポンプライザーブレースアーム溶接部は全数対象)
板厚	外表面～内表面 (クラッド※1及びパッド※2を含む)

※1 ステンレス内面クラッド
 ※2 ジェットポンプライザーブレースパッド及び照射試験片ブラケットパッド

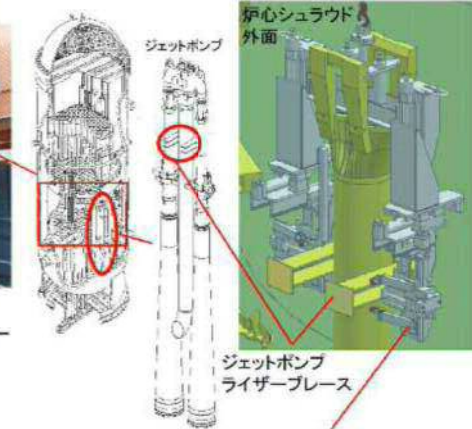
* 多数の振動子によりプローブが構成され、個々の振動子が超音波を送受信するタイミングを独立に制御し、合成された超音波波面を形成することにより超音波ビームの制御を行うことで多様な角度の探傷を可能とする手法

RPV UT概要



試験装置:東海用ベッセルスキャナー

ジェットポンプライザーブレースアーム溶接部UT概要



試験装置:ジェットポンプライザーブレースアーム溶接部UT装置

2.2 原子炉圧力容器－炉心領域部



自動探傷装置を使用する場合の試験範囲の設定について、以下のとおり説明する。

【検査範囲と予め設定した余裕(想定誤差)】

- ・試験範囲: 5494～9203mm
- ・実際のUT試験範囲は、試験範囲を超える余裕をもった範囲とする。

【予め設けた余裕(想定誤差)の設定根拠】

・RPVクラッド(母材斜角、UCC)、RPV母材(垂直) (検査範囲上端)

下記に示す精度の積み上げから40 mmとしている。なお、上側の試験においては自動探傷装置のアームをより長尺のものとしている。

- ①レーザー距離計高さ精度: ±5 mm
…モックアップ試験結果*: []
 - ②アーム動作精度: []
…モックアップ試験結果*: []
 - ③走行精度(高さ方向): [] …UT装置の設計値
 - ④ノズル高さ製作公差: [] …ノズルの設計公差
- 合計 [] ⇒ 40 mm

・RPVクラッド(母材斜角、UCC)、RPV母材(垂直) (検査範囲下端)

下記に示す精度の積み上げから25 mmとしている。

- ①レーザー距離計高さ精度: []
…モックアップ試験結果*: []
 - ②アーム動作精度: []
…モックアップ試験結果*: []
 - ③走行精度(高さ方向): [] …UT装置の設計値
 - ④ノズル高さ製作公差: [] …ノズルの設計公差
- 合計 [] ⇒ 25 mm

・RPV縦溶接線(L15～L20)

下記に示す精度の積み上げから10 mmとしている。溶接線の探傷では上記アームは必要とせず、装置の自走により探傷するものである。これは従来から使用しているスキャナーである。

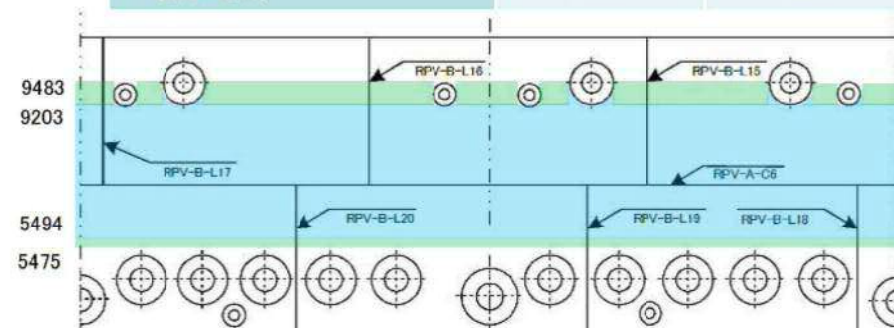
- ①ウェルドイメージ精度: []
…モックアップ試験結果*: []
 - ②スキャナー位置精度: []
…モックアップ試験結果*: 本機 []
予備機 []
- 合計: 10 mm

* 上記レーザー距離計高さ、アーム動作、ウェルドイメージ、スキャナー位置の各精度について、モックアップ試験の結果、実際の誤差は想定誤差と比較し十分小さいことが確認できた。

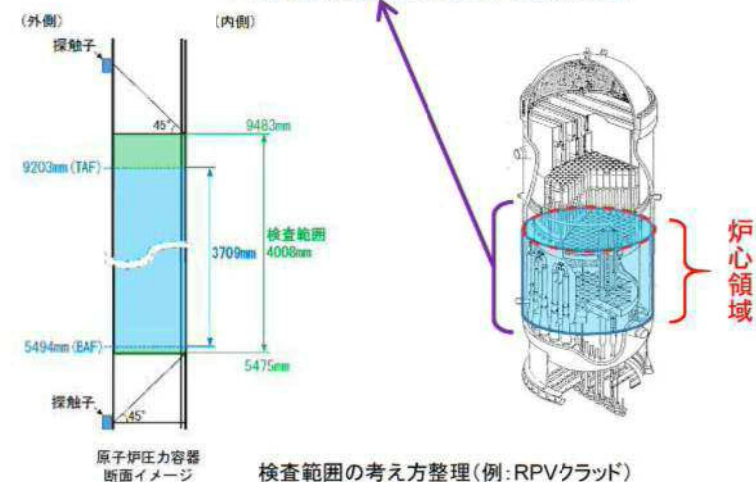
検査を実施した範囲

(単位: mm)

試験対象	検査範囲 下端	検査範囲 上端
1. RPVクラッド (母材斜角、UCC)	5475	9483
2. RPV母材(垂直)	5473	9568
3. RPV縦溶接線 (L15～L17)	5410	9570



炉心領域周辺を輪切りにして平面展開した図

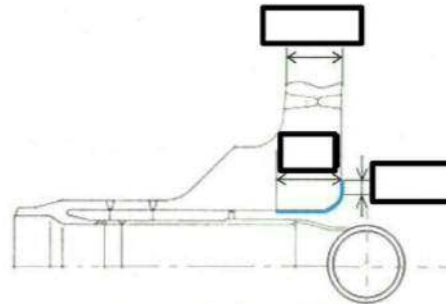


2.2 原子炉圧力容器－給水ノズルコーナー部

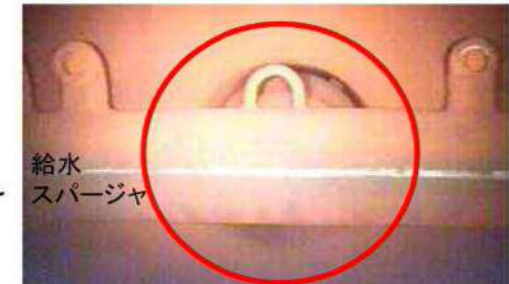
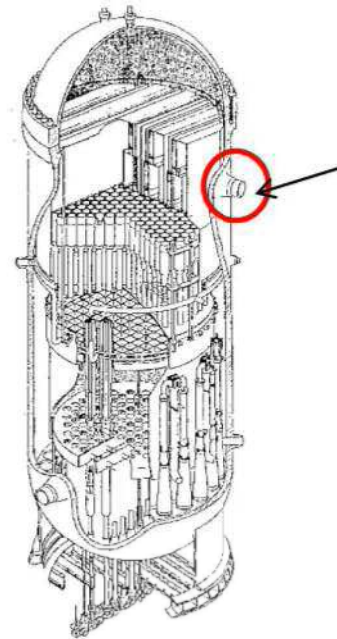
点検部位	給水ノズルコーナー部 全数6箇所 (最も疲労累積係数が高い部位)
点検項目	渦電流探傷試験(ECT)
点検方法	遠隔試験装置を用い給水ノズルコーナー部のECTを実施
点検結果	有意な欠陥は認められなかった。

【点検方法の妥当性】

- 給水ノズルコーナー部の表面試験方法として、磁粉探傷試験、浸透探傷試験、渦電流探傷試験(ECT)があるが、当該部位の**設置位置や水中環境下であることを考慮してECTを選択した。**
- ECTに関する指針JEAG4217-2010「原子力発電所用機器における渦電流探傷試験指針」は、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金(非磁性体)の母材部及び溶接部を対象としてECTの試験要領を規定している。
- 一方、**給水ノズルコーナー部は低合金鋼(磁性体)**であり、一般的には磁性体は磁気的特性のバラつきが大きく、非磁性体の場合と比較すると磁気ノイズによりSN比が低下し亀裂の検出が困難となることが知られている。
- 上記背景から、給水ノズルコーナー部におけるECTの欠陥検出性を確認するために、実機と同材質(基礎試験は同等品)の試験体を用いて**基礎試験及び実機適用試験を実施した。**また、実機適用試験では実機給水ノズル形状試験体に付与した人工きずの欠陥検出性確認を実施した。この実機適用試験の成果を踏まえ、試験要領及び欠陥判定方法を設定した。
- 実機適用試験では、表面に開口する深さ1mm程度の疲労き裂を付与し、十分検出できることを確認している。このため、今回適用した点検方法は十分な欠陥検出性を有している。検出された信号はあらかじめ得られた欠陥以外の信号と区別しながら判定している。
- 点検方法については、**電力中央研究所殿に立会いを依頼し、評価を頂き妥当であることが確認されている。**実機適用のために実施した試験内容等を次頁以降に示す。

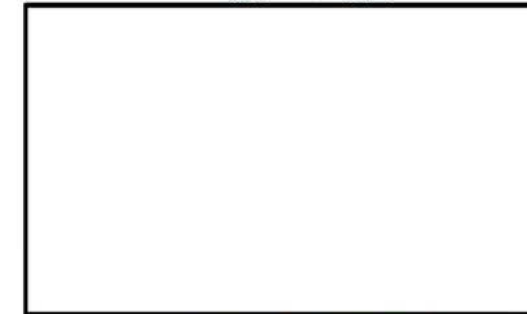


給水ノズルコーナー部断面図

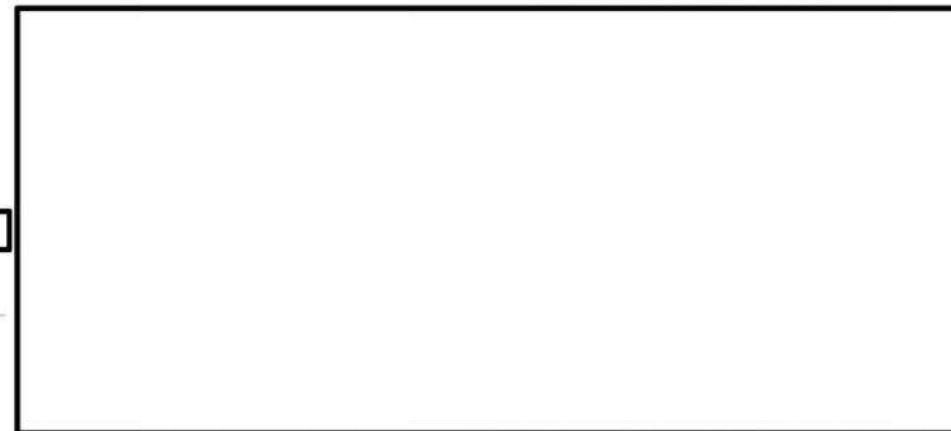


給水スパージャ

給水ノズル内面



遠隔試験装置の設定の様子



給水ノズルコーナー部実機探傷の様子

【点検範囲の考え方】

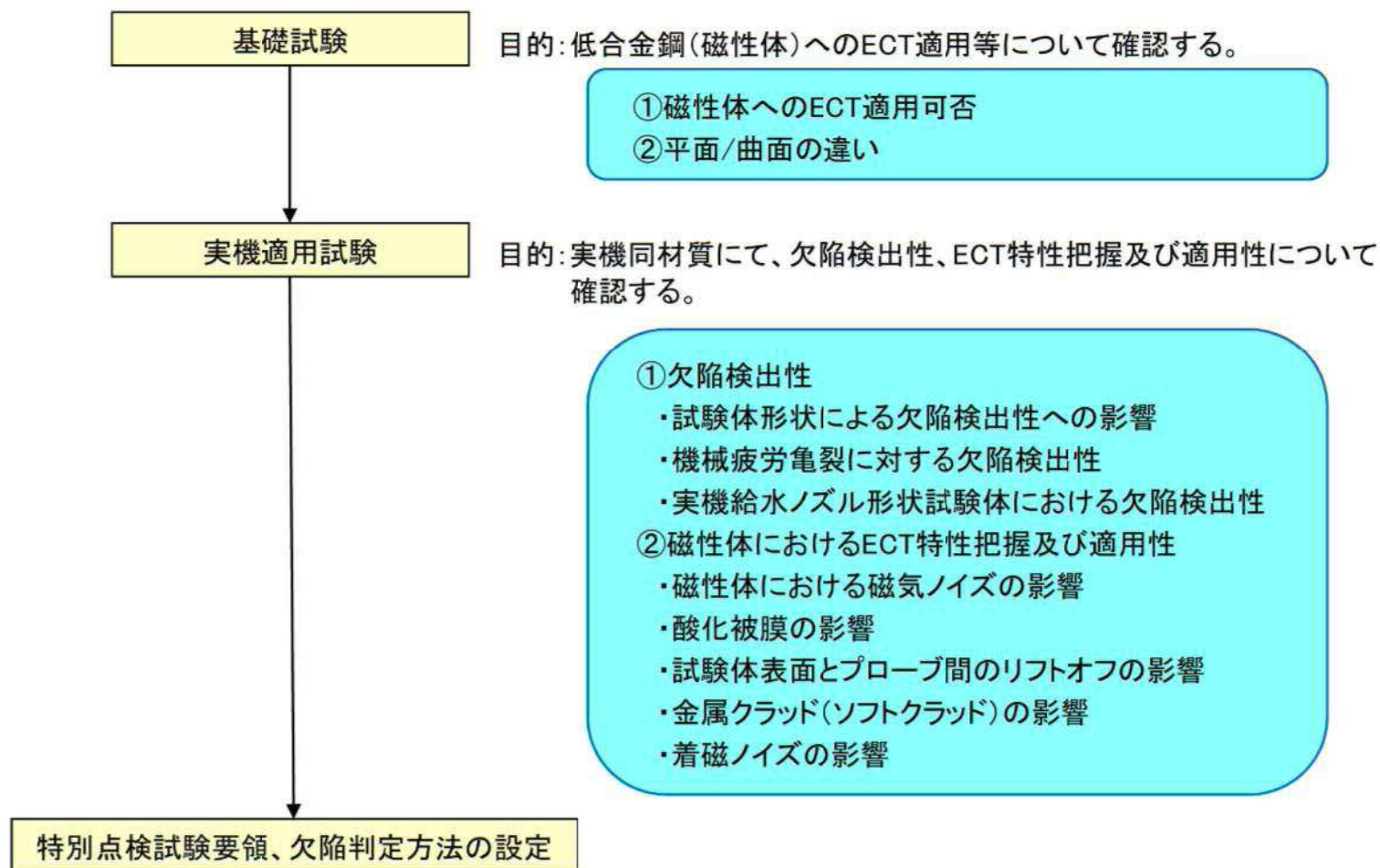
維持規格*により定められている給水ノズルコーナー部のUT(供用期間中検査)として実施している範囲である の範囲を十分に測定できるよう、軸方向、周方向で約1割の余裕を設け、広く測定できるプローブを適用した。

*日本機械学会 発電用原子力設備規格 維持規格(2008年度)
最も疲労が大きくなる部位である給水ノズルコーナー部を含む設備の健全性を確保するための維持管理について定められた規格

2.2 原子炉圧力容器－給水ノズルコーナー部



給水ノズルコーナー部は低合金鋼(磁性体)であり、一般的には磁性体は磁気的特性のバラつきが大きく、非磁性体の場合と比較すると磁気ノイズによりSN比が低下し亀裂の検出が困難となることが知られている。そのため、給水ノズルコーナー部におけるECTの欠陥検出性を確認するために、実機と同材質(基礎試験は同等品)の試験体を用いて**基礎試験及び実機適用試験を実施**した。また、実機適用試験では実機給水ノズル形状試験体に付与した人工きずの欠陥検出性確認を実施した。この実機適用試験の成果を踏まえ、試験要領及び欠陥判定方法を設定した。

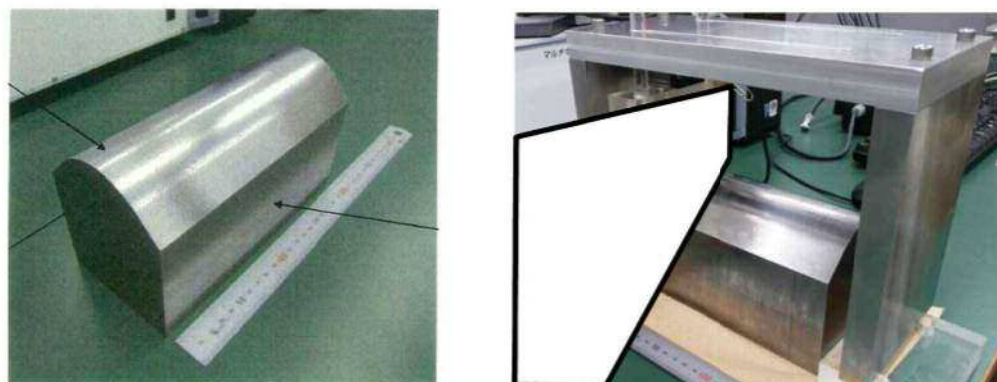


2.2 原子炉圧力容器－給水ノズルコーナー部



(1) 基礎試験

低合金鋼(磁性体)へのECT適用等について確認するため、JEAG4217に記載の試験要領にて試験体に付与した人工きず(EDMノッチ)の検出可否を確認した。この確認項目と結果を以下に示す。



基礎試験 給水ノズルコーナー部ECT試験体

No.	確認項目	試験体形状	材質	付与欠陥	確認方法	結果
1	材料の影響確認 (磁性体へのECT適用可否)	・平板形状	SFVQ1A*	・EDM ノッチ	平板形状試験体での欠陥 信号検出の可否確認	欠陥信号が得られること を確認
2	曲率形状の影響 (平面/曲面の違い)	・2次元 R形状	SFVQ1A*	・EDM ノッチ	曲面形状試験体での欠陥 信号検出の可否確認	形状による欠陥検出性 への影響がないことを確 認

* 材料の入手性から、SFVQ1Aを選択。

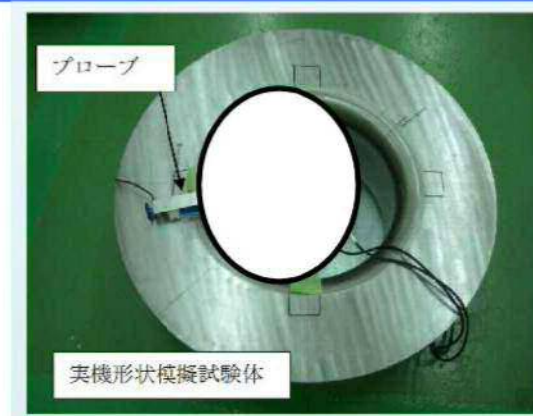
2.2 原子炉圧力容器－給水ノズルコーナー一部



(2) 実機適用試験

基礎試験の技術検討結果を踏まえ、基礎試験で実施したEDMノッチに加え、機械疲労亀裂を付与し試験を行った。また、酸化被膜や磁気ノイズ等の影響も含めて検討を行った。また、実機給水ノズル形状(3次元形状)の試験体(下図)においても付与した欠陥の検出が可能であるか確認した。

この確認項目と結果を以下に示す。



実機適用試験 給水ノズルコーナー部ECT試験体(実機形状模擬)

No.	確認項目	試験体形状	材質	付与欠陥	確認方法	結果
1	材料の影響確認 (実機同材質での確認)	・平板形状	SA-508 CL.2	・EDMノッチ	平板形状試験体での欠陥信号検出の可否確認	欠陥信号が得られることを確認
2	材料の影響確認 (EDMノッチと疲労亀裂の違い)	・平板形状	SA-508 CL.2	・EDMノッチ ・機械疲労亀裂	平板形状試験体での欠陥信号検出の可否確認	機械疲労亀裂についても検出可能を確認
3	曲率形状の影響 (実機同材質での平面/曲面の違い)	・平板形状 ・2次元R形状	SA-508 CL.2	・EDMノッチ	平板形状試験体及び2次元R形状試験体での欠陥信号検出の可否確認	形状による欠陥検出性の影響がないことを確認
4	曲率形状の影響 (EDMノッチと疲労亀裂の違い)	・2次元R形状	SA-508 CL.2	・EDMノッチ ・機械疲労亀裂	2次元R形状試験体での欠陥信号検出の可否確認	機械疲労亀裂についても検出可能を確認
5	曲率形状の影響 (3次元形状の影響)	・3次元形状	SA-508 CL.2	・EDMノッチ	3次元形状試験体での欠陥信号検出の可否確認	実機形状においても欠陥信号が検出可能を確認
6	他の影響因子の影響 ・磁気ノイズ	・平板形状	SA-508 CL.2	—	SUS材とのノイズ信号の比較	磁気ノイズの影響がないことを確認
7	他の影響因子の影響 ・酸化被膜	・2次元R形状	SA-508 CL.2	・機械疲労亀裂	酸化被膜の有無による欠陥信号検出の影響確認	酸化被膜の有無による影響は少ないことを確認
8	他の影響因子の影響 ・リフトオフ	・平板形状	SA-508 CL.2	・EDMノッチ	リフトオフ量とノイズ信号の関係確認	リフトオフ量 0.4 mmまでは影響なし
9	他の影響因子の影響 ・金属クラッド	・平板形状	SA-508 CL.2	・EDMノッチ ・機械疲労亀裂	金属クラッドによる欠陥信号検出の影響確認	金属クラッドの影響は小さいことを確認
10	他の影響因子の影響 ・着磁ノイズ	・平板形状	SA-508 CL.2	・EDMノッチ	ノイズ影響下での欠陥信号検出の可否確認	欠陥信号と着磁ノイズ信号の識別可能を確認

2.2 原子炉圧力容器－給水ノズルコーナ一部



給水ノズルコーナ一部(磁性体)に対するECTの欠陥検出性を実機と同材質の試験体を用いた試験により確認しており、表面に開口する深さ1 mm程度の**疲労亀裂を十分検出できる**ことから、特別点検において適用した点検方法は、給水ノズルコーナ一部の状態を確認する上で十分な欠陥検出性を有している。

また、磁性体である**模擬試験体**と**非磁性体の磁気ノイズの差は僅か**であり、実機の探傷における磁気ノイズも、模擬試験体と同程度であった。実機と模擬試験体の**材質・製造過程は同等**であるため、**透磁率も同等**と考えられ、仮に機械加工等により局部的に透磁率のばらつきがあった場合であっても、**焼鈍によって磁氣的性質が改善され透磁率のばらつきは低減**される。よって、透磁率のばらつきは欠陥検出性に影響のない範囲であり、点検結果に影響を与えるものではない。

信号の分類	振幅チャート		Cスコープ表示		リサージュ波形			
	Y信号の波形例	特徴	Cスコープ指示例	特徴	V検出モード	H検出モード	V-Hの特徴	位相角
欠陥信号		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/> 軸割れ時 V H
欠陥以外の信号	リフトオフ (コイル浮き)	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/> V <input type="checkbox"/> H
	表面うねり (グラインダー痕、凹凸、肌荒れ等)	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/> V <input type="checkbox"/> H
	形状信号 (ドリフト、形状変化)	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/> V <input type="checkbox"/> H
	電磁氣的信号	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/> V <input type="checkbox"/> H

欠陥信号と欠陥以外の信号(例)

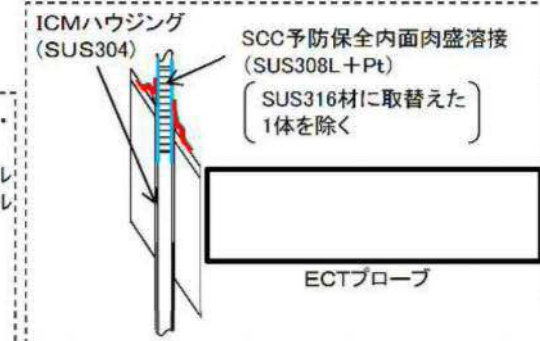
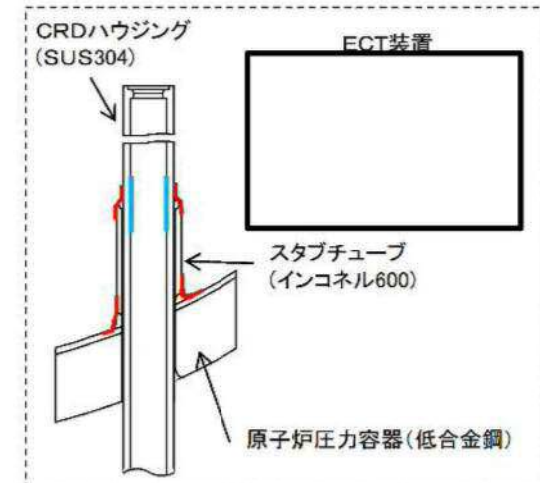
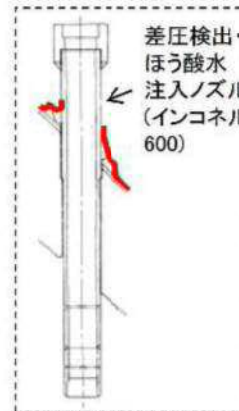
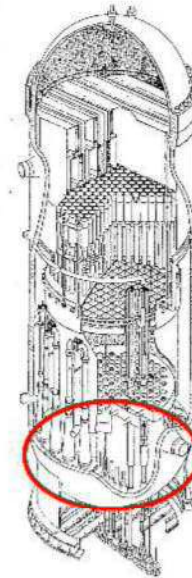
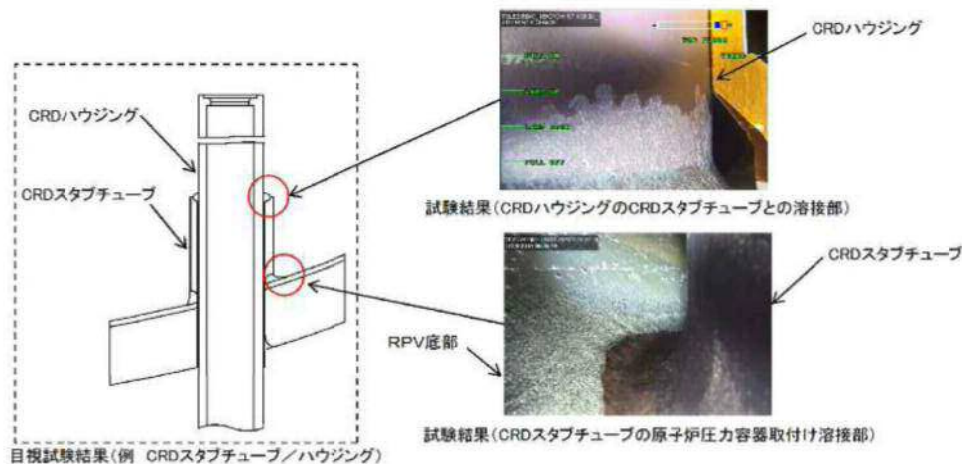
2.2 原子炉压力容器－制御棒駆動機構スタブチューブ他



点検部位	制御棒駆動機構スタブチューブ、制御棒駆動機構ハウジング、中性子束計測ハウジング及び差圧検出・ほう酸水注入ノズル
点検項目	目視試験 (MVT-1)、渦電流探傷試験 (ECT)
点検方法	<ul style="list-style-type: none"> ・遠隔試験装置を用い炉内側から全溶接部の目視試験 (MVT-1) を実施 ・全ての制御棒駆動機構ハウジング及び中性子束計測ハウジング内面の溶接熱影響部についてECTを実施
点検結果	有意な欠陥は認められなかった。

【点検方法の妥当性】

- MVT-1については、維持規格に従い0.025 mm幅ワイヤーが識別可能な手法により試験を行っており、試験前後で視認性を確認している。この目視試験では、画像により有意な欠陥がないことを確認している。
- 目視試験にあたって、試験部位はハイドロレーザー（高圧水噴射）により、表面を清浄にした上で実施している。
- 制御棒駆動機構ハウジング、中性子束計測ハウジングの内面に対するECTはJEAG4217-2010に準拠し、検出された信号はあらかじめ得られた欠陥以外の信号と区別しながら判定している。特別点検に際し、深さ1 mmのき裂を付与した試験片を製作し、十分検出できることを確認している。



点検範囲の考え方:
 取付け溶接部+熱影響部 (25mm) (維持規格から) — MVT-1 点検部位
 — ECT 点検部位

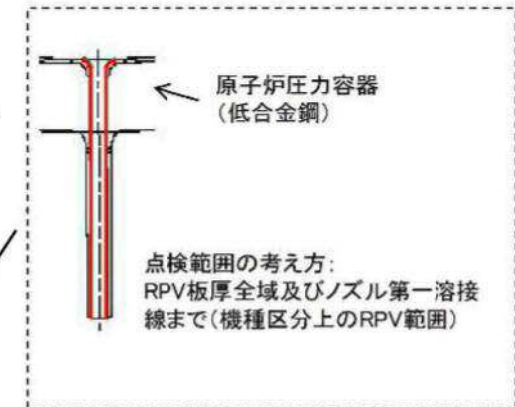
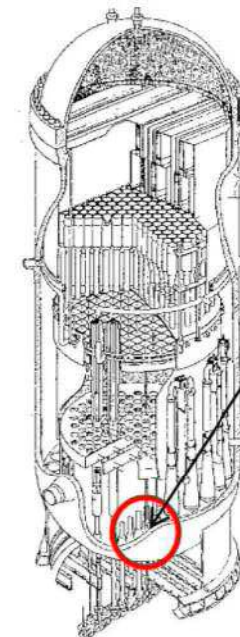
2.2 原子炉圧力容器—ドレンノズル



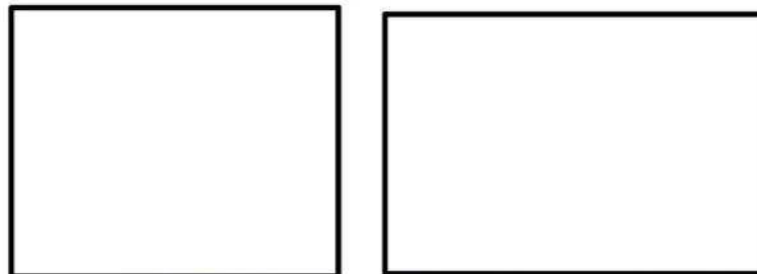
点検部位	ドレンノズル
点検項目	目視試験 (VT-1)
点検方法	・遠隔試験装置を用い炉内側から全溶接部及び内部の目視試験 (VT-1)を実施
点検結果	有意な欠陥は認められなかった。

【点検方法の妥当性】

- VT-1については、維持規格に従い0.8 mm黒線が識別可能な手法により試験を行っており、試験前後で視認性を確認している。この目視試験では、画像により有意な欠陥がないことを確認している。
- 目視試験にあたって、試験部位はハイドロレーザー（高圧水噴射）により、表面を清浄にした上で実施している。



— :VT-1 点検部位



目視点検資機材 (ビデオカメラ)



校正用カード
0.8 mm黒線を縦横方向に配置している。



目視試験の様子

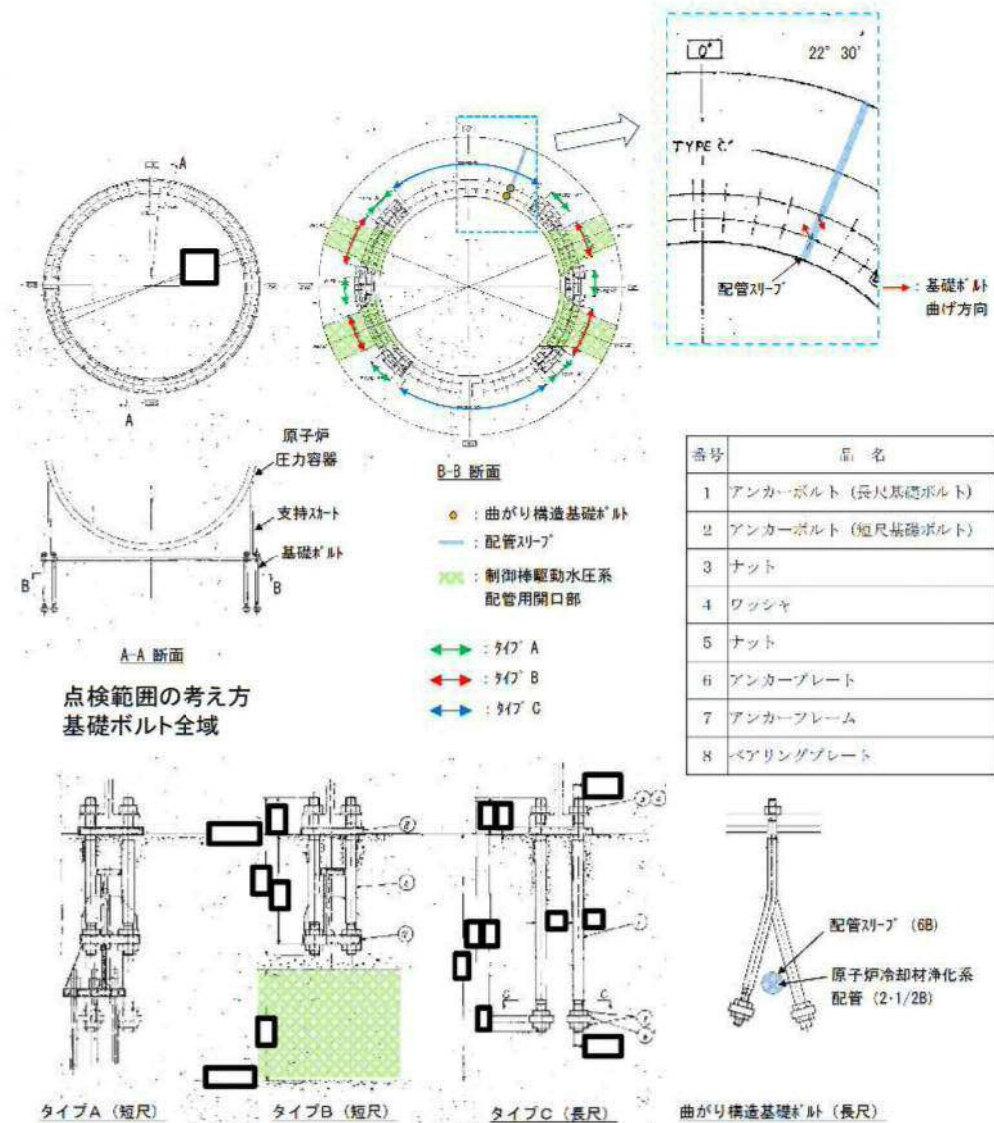
2.2 原子炉压力容器－基礎ボルト



点検部位	基礎ボルト
点検項目	UT
点検方法	<ul style="list-style-type: none"> ・120本中118本の基礎ボルトは垂直法(底面エコー方式)によりUTを実施 ・曲がり構造の2本については、曲がり部より上部を試験対象としUTを実施
点検結果	有意な欠陥は認められなかった。

【点検方法の妥当性】

- 120本中118本の基礎ボルトはJEAC4207-2008「軽水炉原子炉用機器の供用期間中検査における超音波探傷試験規程」に加え、JANTI-SANE-G2-第1版「地震後の機器健全性評価ガイドライン」に準拠し実施した。これは長尺ボルトの欠陥検出性を考慮し、基準感度の設定方法(ボルト底面からの反射エコー)や記録レベルについてJEACと比較してより欠陥検出レベルが高い条件となっている。特別点検に際し、深さ1.6mmのき裂を付与した試験片を製作し、十分検出できることを確認している。
- 残る2本の曲がり構造となっている基礎ボルトの探傷では、同じ環境下に据え付けられている他の長尺及び短尺基礎ボルト118本の上部探傷結果から最も高い基準感度を適用して探傷を実施した。2本のボルトの曲がり部より上部にのみ適用する方法として十分な検出性を有するものと判断している。なお、このボルトについては曲げ加工による影響がないことを機械試験等により確認した上で据え付けられている。また、この2本を除く118本と仮定し強度評価を行って、RPVの健全性に影響がないことを確認した。

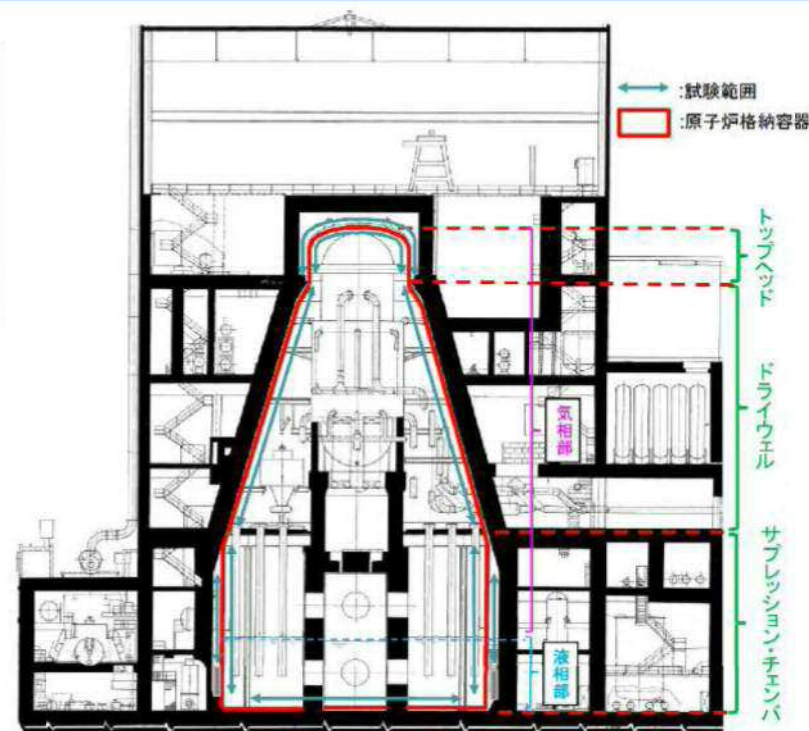


2.3 原子炉格納容器

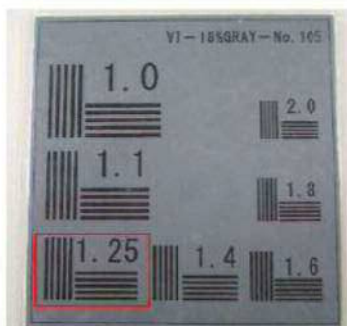
点検部位	原子炉格納容器(圧力抑制室を含む。)鋼板(接近できる点検可能範囲の全て)
点検項目	目視試験(VT-4)による塗膜状態の確認
点検方法	・原子炉格納容器内外面の直接目視試験を実施 ・液相部は潜水士により直接目視試験を実施
点検結果	有意な塗膜の劣化や腐食は認められなかった。

【点検方法の妥当性】

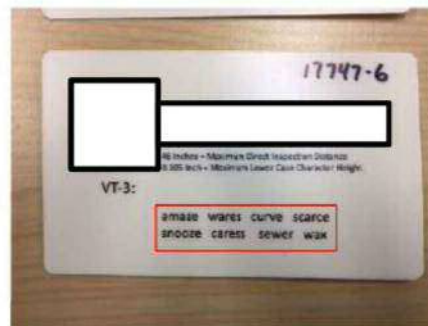
- 対象物までの距離を1200 mm以内とし、気相部においてはグレーカード上の幅0.8 mmの黒線を識別、液相部においてはTest Chartに記載された文字(0.105 inch)が識別できることを条件として直接目視試験を行うことで視認性を確保している。この目視試験により、構造健全性または気密性に影響を与えるおそれのある塗膜の劣化や腐食が無いことを確認している。
- 干渉物等により確認が困難である部位については、代表として同一環境である周辺部位を確認すること等により点検を行った。また、塗装の劣化状況を確認するため、付着性試験を実施した。この結果、至近に塗装していない部位において平均3.1 MPaの付着力を有し、最小付着力200 psi(約1.4 MPa)を上回っており、**必要な塗装性能を確保していることを確認した。**これらの点検状況の詳細について次頁以降に示す。



原子炉建屋 断面図



グレーカード写真(代表例)



Test Chart(代表例)



仮設足場組立前



仮設足場組立後

例 内面高所のうち従来の点検で確認が容易でない範囲(高所)

2.3 原子炉格納容器

特別点検において点検が困難な部位のうち、気相部については現状保全で塗膜の健全性を維持していること、劣化が少ない屋内環境であること、通常運転中は、窒素雰囲気下にあることから、今後も現状保全を継続することで原子炉格納容器鋼板の健全性を維持することができる。液相部については、底面上に干渉物が設置している状態であることから、傷等が発生することはない今後も健全性を維持することができる。

(1) 接近可能だが今回定めた目視試験条件が確保できない範囲

今回定めた目視試験条件ではないものの、従来の手法で点検できており、塗膜の健全性が維持されていることを確認していることから、現状保全を継続することで今後の運転延長期間における原子炉格納容器鋼板の健全性が保たれる。

(2) 干渉物等で接近が困難であり今回定めた目視試験条件が確保できない範囲

干渉物等により点検が困難で、構造的に試験できない部位については、その周辺の塗膜等の状況から、原子炉格納容器の構造健全性または気密性に影響はなく、今後の運転延長期間における原子炉格納容器鋼板の健全性が保たれる。

原子炉格納容器気相部外面の傾斜部は、鋼板部と躯体との隙間が約5cmであり接近が困難であるが、サンドクッション部上部の鋼板と同様な環境であり、その状況から健全性が保たれていることを確認している。また、従来の点検において、必要に応じUTにより板厚測定を実施し、問題の無いことを確認している。

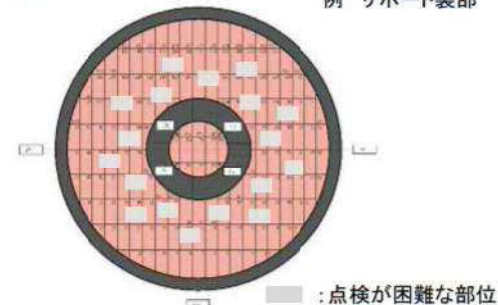
原子炉格納容器内スプレィ配管サポートは、原子炉格納容器鋼板に直接溶接しており、その内部は今回定めた目視試験条件が確保できない部位である。

当該サポートの原子炉格納容器鋼板の縦溶接線の開口部から内部を確認した結果、現地溶接に伴い塗膜を除去した部位(縦溶接線および周辺)に軽微な発錆を確認した。当該部について簡易な手入れにより軽微な発錆は除去でき、減肉は確認されなかった。サポート内部の他の部位は周辺と同一環境であり健全であると考えが、今後の保全の中でファイバースコープ等による確認を行って点検範囲の拡充を図っていく。

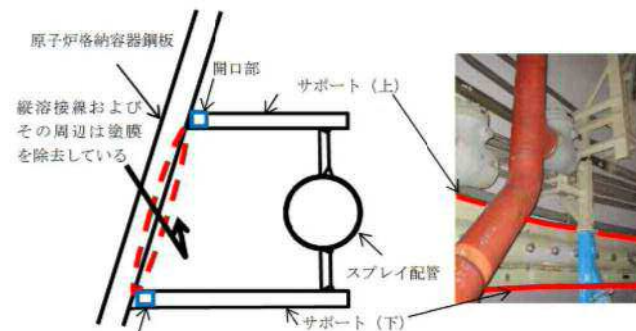


例 ダクト裏部

例 サポート裏部



例 サプレッション・チェンバ内面 底面(液相部)



開口部 サポート断面概要図(イメージ図)

例 原子炉格納容器内スプレィ配管サポート部

2.3 原子炉格納容器



原子炉格納容器鋼板塗装に対する付着性試験

原子炉格納容器鋼板内面塗装に対して、至近に塗装実績のない箇所及び至近に塗装実績のある箇所を各々2箇所選定し、JIS K 5600-5-7:1999「付着性(プルオフ法)」に基づき、付着性試験を実施した。

試験の概要及び試験結果は以下のとおり。

プルオフ法

「プルオフ法」は、ドリリーと呼ばれる円筒形の引張端を塗膜に接着剤で固着させ、接着剤が乾いた後、ドリリーを引張り、塗膜が剥がれるために必要な最小の張力を測定する方法であり、塗膜の付着性能を具体的な数値で表すことができる。



部位	平均値	最大/最小
至近に塗装実績のない箇所	3.1 MPa (6点)	4.2 / 2.3 MPa
至近に塗装実績のある箇所 (今定検で塗装)	4.0 MPa (6点)	6.4 / 2.0 MPa
全試験箇所平均	3.5 MPa (12点)	—

付着性試験の結果、原子炉格納容器の塗装は至近に塗装実績のない箇所であっても、**至近に塗装した箇所と比較して著しい劣化がないことが確認できた。**

また、ASTM D5144-2000「原子力発電プラントにおける保護塗膜の標準指針」の「物理的性質」で示されている最小付着力200 psi(約1.4 MPa)を上回っており、**必要な塗装性能が確保されていることが確認できた。**

2.4 特別点検と現状保全の比較



特別点検は現状保全に加え、**点検範囲、試験方法の拡充**を行って機器の健全性を確認した。

対象の機器・構造物	現状保全	特別点検
原子炉圧力容器	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉圧力容器各部位のUT(供用期間中検査:以下「ISI」という。)(頻度:1回/検査間隔*1) 対象:上蓋、胴、下鏡等の継手部分、スタッドボルト、主フランジ(ねじ部) 主蒸気管台等の原子炉圧力容器に接続する配管管台(管台内面の丸み部含む) ・試験員力量 UT レベル1以上(評価員はレベル2以上)*3、*4 原子炉圧力容器内部からの目視試験(VT-3:ISI)(頻度:1回/検査間隔*1) 対象:原子炉圧力容器の内表面、制御棒駆動機構スタブチューブ、制御棒駆動機構ハウジング、中性子束計測ハウジング、差圧検出・ほう酸水注入ノズル ・試験員力量 VT レベル1以上(評価員はレベル2以上)*3 原子炉圧力容器外側からの目視試験(VT-1、3:ISI)(頻度:1回/検査間隔*1) 対象:原子炉圧力容器貫通部(各配管管台)、原子炉圧力容器の支持構造物(基礎ボルト、支持スカート)、スタッドボルト用ナット・ワッシャー ・試験員力量 VT レベル1以上(評価員はレベル2以上)*4 原子炉圧力容器の漏えい試験 対象:原子炉圧力容器全体(頻度:毎定検) ・試験員力量 十分な視力、知識、技能、経験を有しているもの VT レベル1以上(評価員はレベル2以上)*3 応力腐食割れ(SCC)の予防保全 ・原子炉冷却材への水素注入 ・ウォータージェットピーニング:制御棒駆動機構スタブチューブ、中性子束計測ハウジング、計装ノズルの一部 主フランジの開放点検(頻度:毎定検) 	<ul style="list-style-type: none"> 炉心領域の全てに対するUT 対象:炉心領域の母材、溶接線全範囲(原子炉圧力容器外側から実施)、ジェットポンプライザーブレース部全数(原子炉圧力容器内側から実施) ・試験員力量 UT レベル1以上(評価員はレベル2以上)*3 ・備考 UT手法としてフェイズドアレイ法を一部で追加している。 (点検部位毎に適した点検手法を検討の上採用) 給水ノズルコーナー部に対するECT 対象:給水ノズルコーナー部全数 ・試験員力量 ET レベル1以上(評価員はレベル2以上)*4 制御棒駆動機構スタブチューブ他に対する目視試験(MVT-1)、ECT 対象:制御棒駆動機構スタブチューブ、制御棒駆動機構ハウジング、中性子束計測ハウジング、差圧検出・ほう酸水注入ノズル ・試験員力量 VT レベル1以上(評価員はレベル2以上)*3 ドレンノズルに対する目視試験(VT-1) 対象:ドレンノズル ・試験員力量 VT レベル1以上(評価員はレベル2以上)*3 原子炉圧力容器の基礎ボルト全数に対するUT 対象:基礎ボルト全数 ・試験員力量 UT レベル1以上(評価員はレベル2以上)*4
原子炉格納容器	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉格納容器の目視試験(VT-4:ISI)(頻度:1回/検査間隔*2) 対象:原子炉格納容器内面の代表部位及び接近可能な範囲 ・試験員力量 十分な視力、知識、技能、経験を有しているもの VT レベル1以上(評価員はレベル2以上)*3 原子炉格納容器の漏えい試験(頻度:毎定検(機械ペネトレーションの一部機器は個別頻度)) 対象:原子炉格納容器全体、局部(機械ペネトレーション、電気ペネトレーション、底部コンクリートマット(ライナープレート)) ・試験員力量 十分な知識、技能、経験を有しているもの 主フランジ、機器搬入口等の開放点検(頻度:毎定検) 	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉格納容器の目視試験(VT-4) 対象:仮設足場による試験可能範囲拡大(格納容器内外面) ・点検方法 目視試験(VT-4)に以下の条件を付与 (1)試験時のグレーカード等の確認 (2)試験面までの距離と角度を定め視認性確保 ・試験員力量 十分な視力、知識、技能、経験を有している者 VT レベル1以上(評価員はレベル2以上)*3

*1 検査間隔は30年までは10年間、それ以降は7年間

*2 検査間隔は10年間

*3 AMERICAN SOCIETY FOR NONDESTRUCTIVE TESTING SNT-TC-1A

*4 JIS Z 2305 非破壊試験技術者の資格及び認証

試験員の力量は、事前に力量評価書にて妥当であることを確認している。