

東海第二発電所 特別点検

(原子炉圧力容器:炉心領域の母材及び溶接部を除く)

平成30年3月8日

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密又は
防護情報の観点から公開できません。

目 次

1. 要求事項	3
2. 点検方法	4
2-1 給水ノズルコーナ一部	5
2-2 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	8
2-3 ドレンノズル	11
2-4 基礎ボルト	12
2-5 点検方法のまとめ	14
3. 点検結果	16
4. 考察	17
5. まとめ	18
6. 今後の対応	19

1. 要求事項

「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」より

対象の機器・構造物	対象の部位	着目する劣化事象	点検方法/点検項目
原子炉 圧力容器 (以下, 「RPV」 という。)	母材及び溶接部 (ジェットポンプライザーブレースアーム溶接部を含む。)(蒸気乾燥器, 気水分離器, ジェットポンプビーム及びインレットミキサーを取り外した状態で点検可能な炉心領域の全て)	中性子照射脆化	超音波探傷試験(以下,「UT」という。)による欠陥の有無の確認。※
	給水ノズルコーナ一部 (最も疲労損傷係数が高い部位)	疲労	磁粉探傷試験(以下,「MT」という。)若しくは浸透探傷試験(以下,「PT」という。)又は渦電流探傷試験(以下,「ECT」という。)による欠陥の有無の確認
	制御棒駆動機構(以下,「CRD」という。)スタブチューブ(全数), CRDハウジング(全数), 中性子束計測ハウジング(以下,「ICMハウジング」という。)(全数)及び差圧検出・ほう酸水注入ノズル	応力腐食割れ	目視試験(MVT-1)による炉内側からの溶接部の欠陥の有無の確認
			PT又はECTによるCRDハウジング及びICMハウジングに対する, 内面の溶接熱影響部の欠陥の有無の確認
	ドレンノズル	腐食	目視試験(VT-1)による内面の確認
	基礎ボルト	腐食	UTによるボルト内部の欠陥の有無の確認

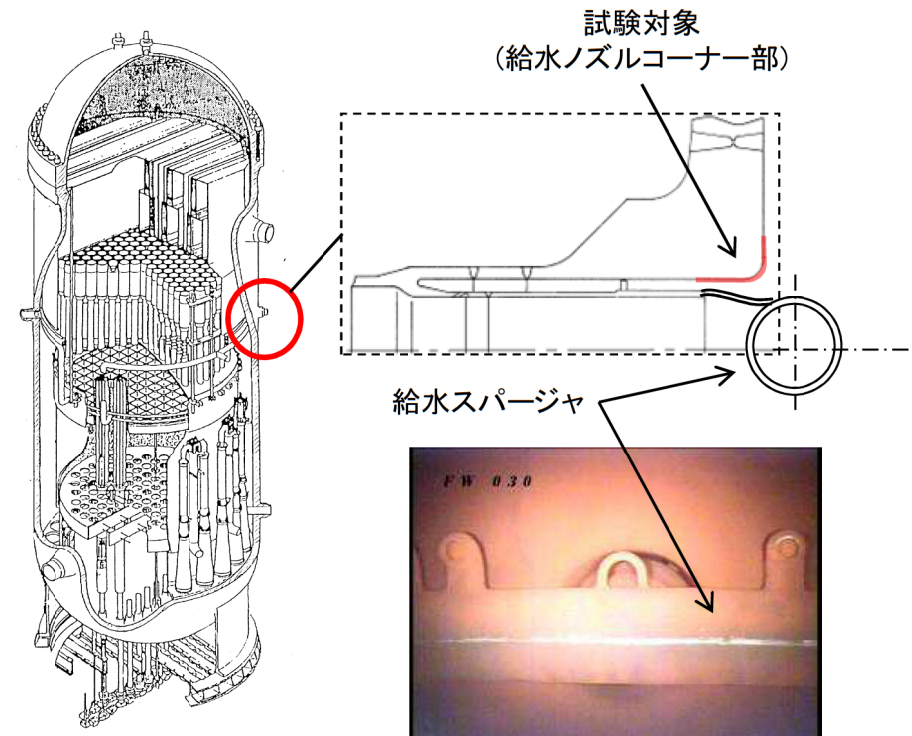
※炉心領域の母材及び溶接部のUTについては, 追加の点検を実施した後に報告する。

2. 点検方法

2-1 給水ノズルコーナー部

2-1-1 点検の概要

- RPVの給水ノズルはサーマルスリーブ構造となっておりノズル内面に給水が接触しない。また、設計上、疲労損傷が発生しないよう、表面に適切なR加工を施し応力集中部ができないよう配慮されている。
- 建設時には給水ノズルコーナー部に対してMTを実施して、表面欠陥が無いことを確認している。供用期間中はRPV外側からUTを実施しているが、表面試験は行っていない。
- 給水ノズルコーナー部は比較的疲労累積係数の高い部位となっていることから、今回の特別点検では、給水ノズルコーナー部表面に対して表面試験を実施することで、疲労損傷による劣化事象がないことを確認している。



2-1 給水ノズルコーナー部

2-1-2 点検方法

- 給水ノズルコーナー部全数を試験対象として選定する。
- 表面試験としては、気中環境でのPT, MTも考えられるが、放射線環境が厳しいことから水中環境での探傷が可能なECTを適用する。試験対象の材質は低合金鋼(磁性体)。



給水ノズルコーナー部ECT色調図(例 給水ノズルAの-5° ~95°)

形状に合わせた専用プローブを使用。



給水ノズルコーナー部ECT装置設定の様子

ECT装置



給水ノズルコーナー部実機探傷の様子

原子炉圧力容器
(給水ノズル)

給水スパージャ

2-1 給水ノズルコーナー部

2-1-3 点検方法の妥当性

- JEAG4217-2010「原子力発電所用機器における渦電流探傷試験指針」を準用し、点検着手前に実施した欠陥検出性能確認試験にてECT手順を決定した。
- JEAG4217-2010においてECTは非磁性体を対象としていることから、給水ノズルコーナー部の形状を模擬した試験体を製作し、欠陥検出性を確認した上で実機適用にあたってのECT手順を策定した。欠陥検出性の確認に際し、疲労き裂を付与した試験片を製作し、表面に開口する深さ1 mm程度の疲労き裂を十分検出できることを確認していることから、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。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。
- 現在、低合金鋼(磁性体)へのECT適用についてはJEAG4217-2010への反映が改訂検討作業の中で進められている。



実機形状模擬試験体の試験結果



2-2 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

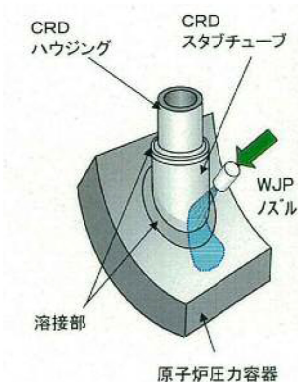
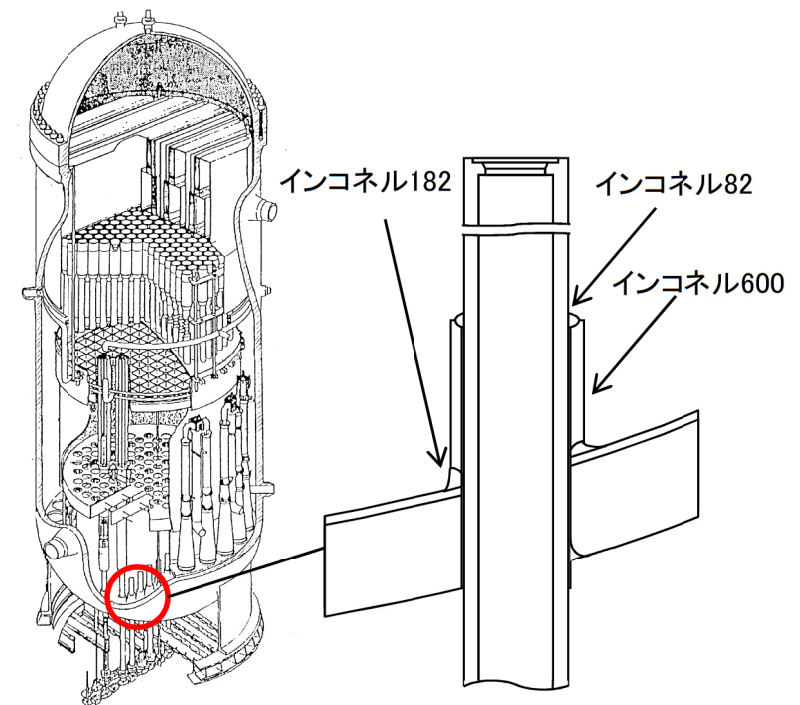
2-2-1 点検の概要

- CRDスタブチューブ, CRDハウジング, ICMハウジング, 差圧検出・ほう酸水注入ノズルのRPV取付け溶接部等はインコネル182等を使用しており, 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とから, ウォータージェットピーニング(以下, WJPという。)を下表のとおり施工・計画している。

表 WJPの実績・計画

WJP対象	東海第二発電所
CRDスタブチューブ/ハウジング (183体/185体)	2011年(第25回定期検査)
ICMハウジング	
CRDスタブチューブ/ハウジング (2体/185体)	2020年予定(第25回定期検査)
差圧検出・ほう酸水注入ノズル	

- 供用期間中は, RPV外面から漏えい検査により漏えいの有無を確認しており, RPV内面側からはCRDスタブチューブ等に対する定期的な目視試験(VT-3)(定点検査)を行っている。
- 今回の特別点検では, 応力腐食割れの発生が懸念されるCRDスタブチューブ等の溶接部及び熱影響部を試験範囲とした。



WJP施工の模式図

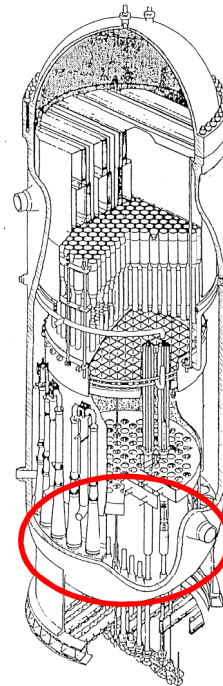
2-2 制御棒駆動機構スタブチューブ, 制御棒駆動機構ハウジング, 中性子束計測ハウジング及び差圧検出・ほう酸水注入ノズル

2-2-2 点検方法

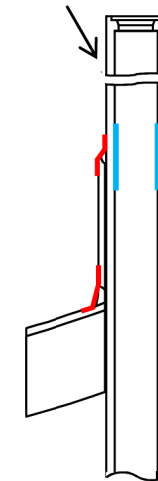
- 試験対象はCRDスタブチューブ/ハウジング(185体), ICMハウジング(55体), 差圧検出・ほう酸水注入ノズル(1体)
- CRDハウジング, ICMハウジングの内面についてはECTを実施し, CRDスタブチューブ, CRDハウジング, ICMハウジング及び差圧検出・ほう酸水注入ノズルの溶接部については遠隔目視試験(MVT-1)を行った。
- 試験範囲は溶接部及び熱影響部を十分包含するように設定している。

2-2-3 点検方法の妥当性

- CRDハウジング/ICMハウジングの内面に対するECTはJEAG4217-2010に準拠。特別点検に際し, 深さ1mm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。
- MVT-1については, 維持規格に従い0.025mm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。
- 以上のことから両試験は応力腐食割れに対して十分な欠陥検出性を有している。



CRDハウジング
(SUS304)

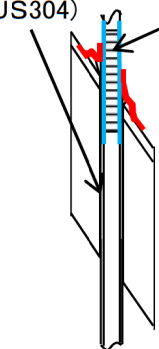


ECT装置

スタブチューブ
(インコネル600)

原子炉圧力容器(低合金鋼)

ICMハウジング
(SUS304)



SCC予防保全内面肉盛溶接
(SUS308L+Pt)

〔SUS316材に取替えた
1体を除く〕

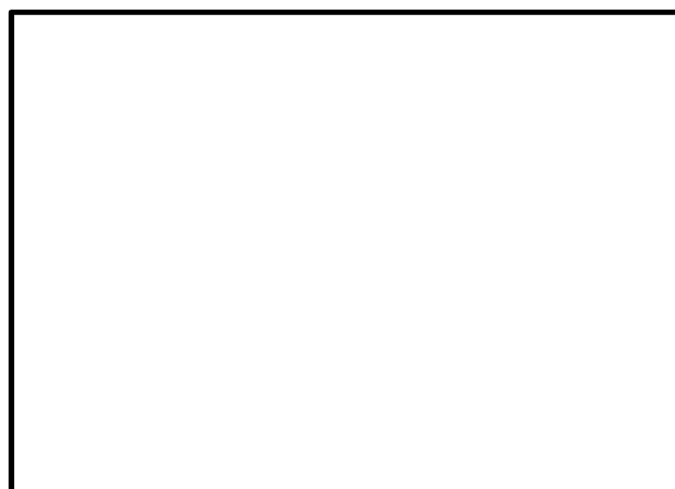
ECTプローブ

差圧検出・
ほう酸水
注入ノズル
(インコネル
600)

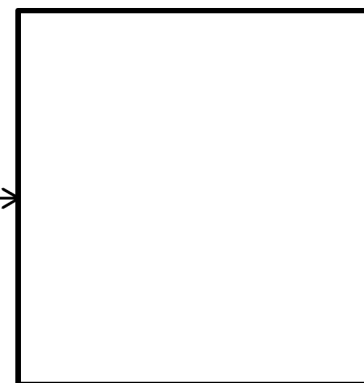
点検範囲の考え方:
取付け溶接部+熱影響部
(25mm)(維持規格から)

—: MVT-1 点検部位
—: ECT 点検部位

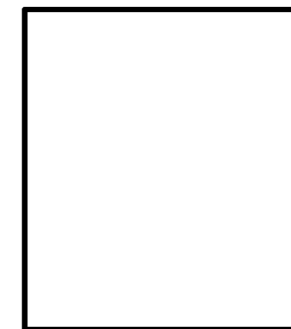
2-2 制御棒駆動機構スタブチューブ, 制御棒駆動機構ハウジング, 中性子束計測ハウジング及び差圧検出・ほう酸水注入ノズル



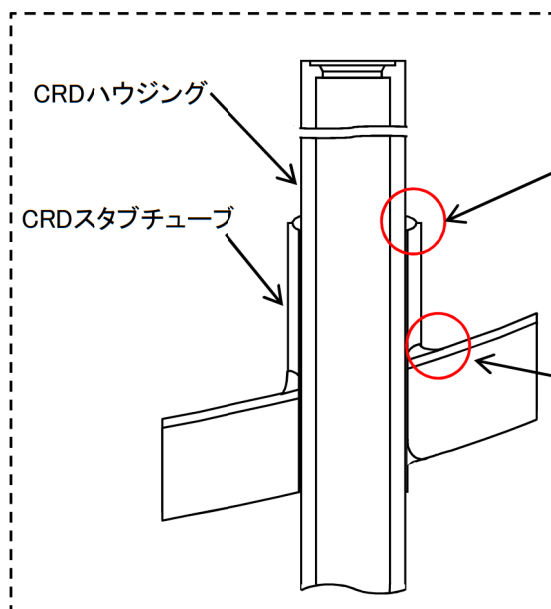
目視試験実施の様子(例 CRDスタブチューブ/ハウジング)



遠隔目視試験装置



校正用カード
18%中性灰色カード上に0.025 mm
幅のワイヤ(1ミルワイヤ)及び0.8
mm黒線を縦横方向に配置している。



目視試験結果(例 CRDスタブチューブ/ハウジング)



試験結果(CRDハウジングのCRDスタブチューブとの溶接部)



試験結果(CRDスタブチューブの原子炉圧力容器取付け溶接部)

2-3 ドレンノズル

2-3-1 点検の概要

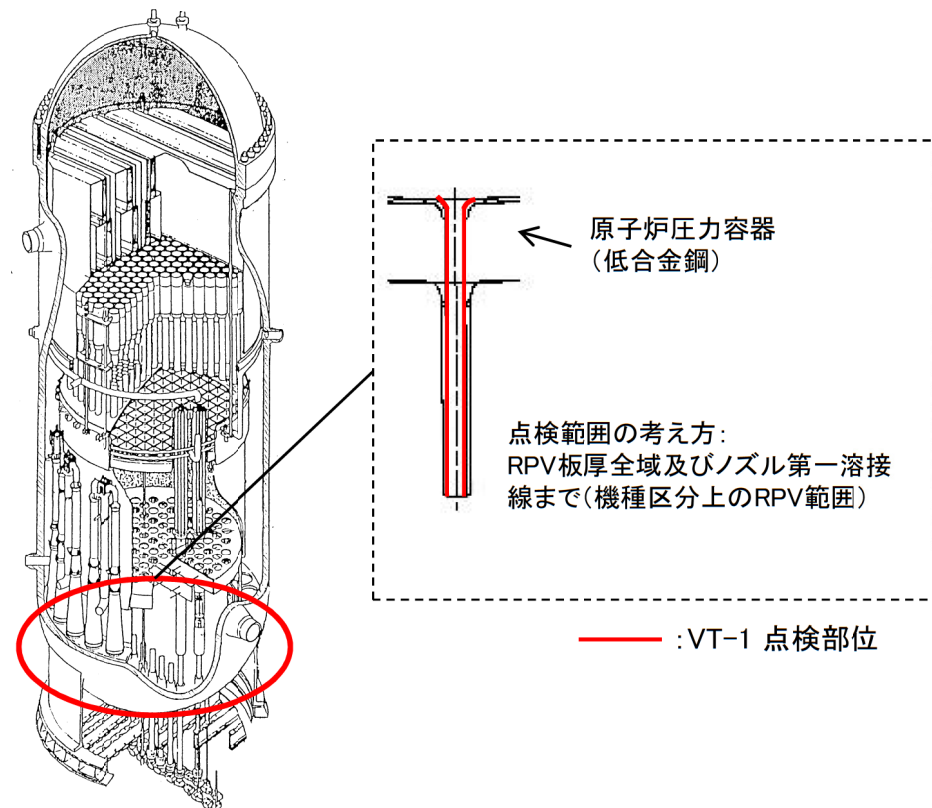
- 供用期間中、ドレンノズルはRPV外面からのRPV耐圧漏えい試験により漏えいの有無を確認している(VT-2)。ドレンノズルの目視試験としてはRPV内側近傍を確認した実績がある(VT-3)。
- 今回の特別点検では、これまでの点検実績よりも点検範囲を拡張しRPVの機器範囲であるノズル第一溶接線までの範囲について、腐食による劣化事象が無いことを目視試験により確認した。

2-3-2 点検方法

- 試験対象はRPVドレンノズル(1箇所)
- RPVドレンノズルに対して遠隔目視試験(VT-1)を行った。

2-3-3 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。
- 以上のことから腐食に対して十分な検出性を有している。



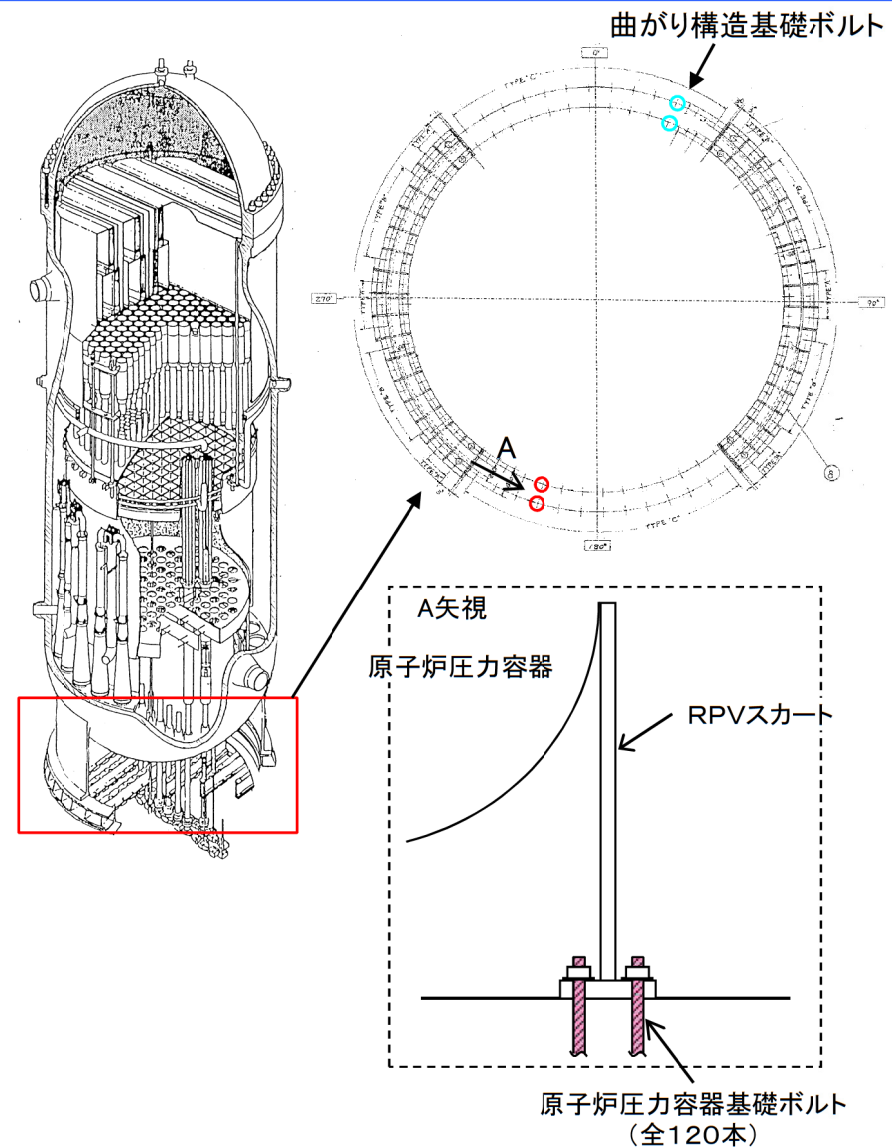
2-4 基礎ボルト

2-4-1 点検の概要

- 供用期間中は基礎ボルトに対して目視試験(VT-3)を実施している。
- 今回の特別点検では劣化事象として腐食に着目しUTを行った。

2-4-2 点検方法

- 試験対象はRPV基礎ボルト全数(120本)。
- 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を実施した。
- 残る2本の基礎ボルトはプラント建設時に干渉物回避のため曲がり構造としており、底面エコーは確認できるものの反射を繰り返すことから、その強度は弱くなる。このため、底面エコー法を直接適用することはできない。
- そこで、曲がり部より上部を試験対象とし、同じ環境下に据え付けられている他の長尺基礎ボルト(同材質、同全長)の底面エコーで代替し、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UTを実施した。



2-4 基礎ボルト

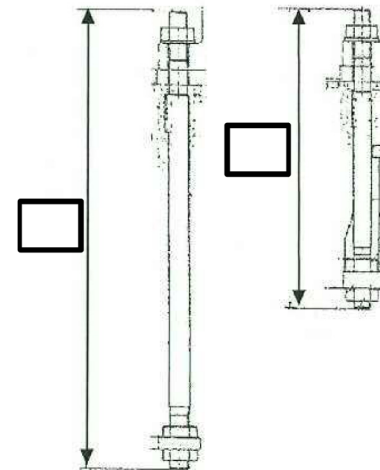
2-4-3 点検方法の妥当性

➤ 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」に準拠して実施した。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おり腐食に対して十分な検出性を有している。

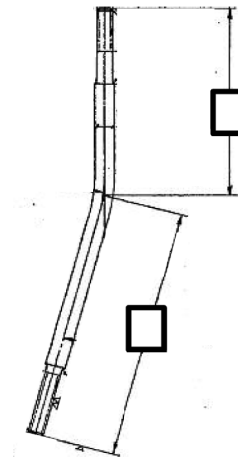
➤ 残る2本の曲がり構造となっている基礎ボルトの探傷では、同じ環境下に据え付けられている他の長尺及び短尺基礎ボルト118本の上部探傷結果から最も高い基準感度を適用して探傷を実施した。2本のボルトの曲がり部より上部にのみ適用する方法として十分な検出性を有するものと判断している。

基礎ボルト概要



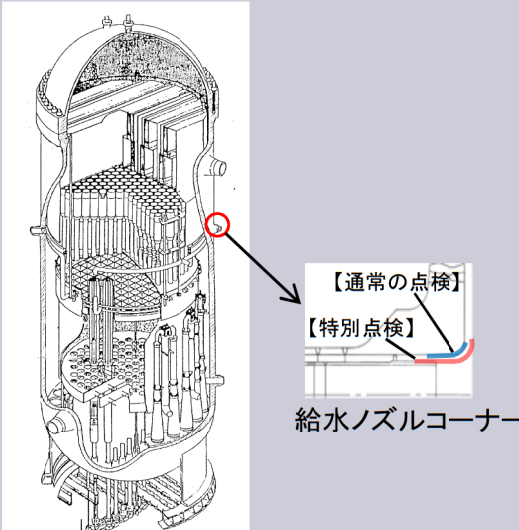
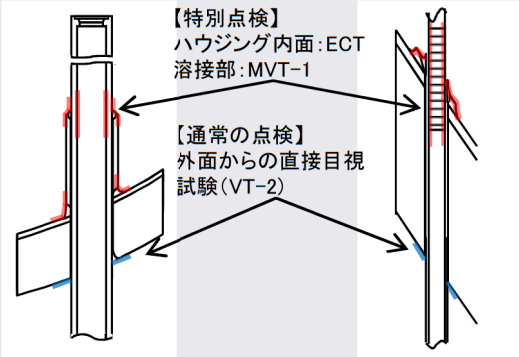
基礎ボルトは、RPV支持スカートとペDESTアル上部の基礎コンクリートを固定するため、基礎コンクリートに埋め込まれており、RPV支持スカートの内側と外側にそれぞれ60本ずつ円周上に配置している。

左記に示すとおり長さは2種類あり、ペDESTアル上部の制御棒駆動水圧系配管用開口部がある部分には短いものを据え付けている。

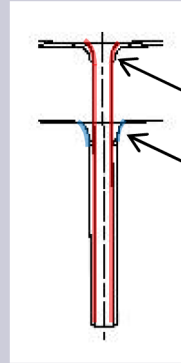
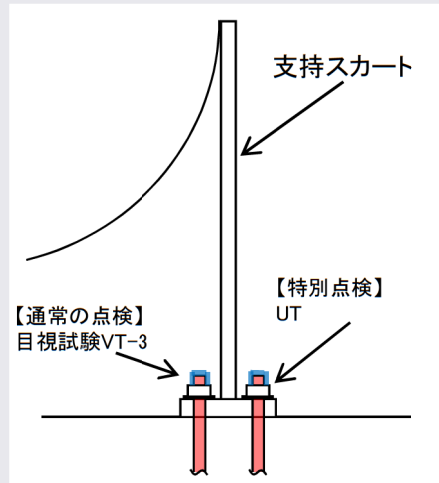


長い基礎ボルトのうち、2本については配管スリーブを回避するため、曲がり構造となっている。

2-5 点検方法のまとめ

部位	通常の点検	特別点検	点検対象範囲
給水ノズルコーナー部	・溶接部及び管台内面の丸みの部分 ・UT ・頻度 1回/検査間隔※	・ECT	 【通常の点検】 【特別点検】 給水ノズルコーナー
CRDスタブチューブ, CRDハウジング, ICMハウジング及び差圧検出・ほう酸水注入ノズル	・RPV外面からの直接目視試験(VT-2) ・頻度 毎定検 ・目視試験(VT-3) ・頻度 1回/検査間隔※	・管内面(差圧検出・ほう酸水注入ノズルは除く): ECT ・溶接部: ビデオカメラによる目視試験(MVT-1)	 【特別点検】 ハウジング内面:ECT 溶接部:MVT-1 【通常の点検】 外面からの直接目視試験(VT-2) CRDスタブチューブ/ハウジング ICMハウジング

2-5 点検方法のまとめ

部位	通常の点検	特別点検	点検対象範囲
ドレンノズル	・RPV外面からの直接目視試験(VT-2) ・頻度 毎定検	・ビデオカメラによる目視試験(VT-1)	 【特別点検】 VT-1 【通常の点検】 外面からの直接目視試験(VT-2)
基礎ボルト	・目視試験(VT-3) ・頻度 1回/検査間隔※	・UT	 支持スカート 【通常の点検】 目視試験VT-3 【特別点検】 UT

3. 点検結果

対象構造物	対象部位	点検年月日 (データ採取日)	点検結果
原子炉压力容器	給水ノズル コーナー部	平成29年10月 2日 (平成27年7月22日 ～平成27年9月7日)	深さ1mm程度の欠陥が十分検出可能なECTにより確認した結果、有意な欠陥は認められなかった。
	CRDスタブ チューブ(全 数)、CRDハウ ジング(全数)、 ICMハウジング (全数)及び差 圧検出・ほう酸 水注入ノズル	平成29年10月 2日 (平成26年2月6日 ～平成26年2月17日、 平成26年9月9日 ～平成27年1月28日)	CRDハウジング及びICMハウジング内面については深さ1mm程度の欠陥の検出が可能であることが確認されているECTを実施し、CRDスタブチューブ、CRDハウジング及び差圧検出・ほう酸水注入ノズルの溶接部については、0.025 mm幅ワイヤーが識別可能な目視試験(MVT-1)により確認した結果、有意な欠陥は認められなかった。
	ドレンノズル	平成29年10月 2日 (平成27年1月28日)	溶接部については、0.8mm黒線が識別可能な目視試験(VT-1)により確認した結果、有意な欠陥は認められなかった。
	基礎ボルト (全数)	平成29年10月 2日 (平成26年2月5日 ～平成26年2月25日)	全数120本中118本について垂直法(底面エコー方式)によるUTを実施した結果、基礎ボルト内部について割れその他の有害な欠陥は認められなかった。残る2本については曲がりボルト構造のため、曲がり部より上部に対してUTを実施し、割れその他の有害な欠陥は認められなかったが、曲がり部より下部に対しては探傷ができていない。 この基礎ボルトは、曲げ加工が施されており、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、据え付けがなされている。したがって、同環境下にある他の基礎ボルトと同様に現在においても異常は生じていないものと考えている。しかしながら、今後、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ていく。

4. 考察

RPVについては、これまで、供用期間中検査を定期的実施するとともに、インコネル182等で発生が予想される応力腐食割れについても保全を計画・実施してきた。

今回これら従来の現状保全に加え、特別点検の実施により各対象部位において着目する劣化事象を踏まえて、各部に応じた点検方法によりその健全性を確認した。この点検の中で得られた知見を以下に示す。

➤給水ノズルコーナ一部

従来、ノズルコーナ一部の体積試験としてUTを実施しているが表面試験は実施していない。今回、ECTを実施した結果、有意な欠陥は確認されなかったことから、疲労による割れを生じていないことが表面試験においても確認できた。

➤CRDスタブチューブ、CRDハウジング、ICMハウジング、差圧検出・ほう酸水注入ノズル

従来、漏えいの有無及び定点に対する目視試験(VT-3)を実施しているが全数を対象とした詳細な点検は実施していない。今回、各対象部位の溶接部(熱影響部含む。)の目視試験(MVT-1)、CRDハウジング、ICMハウジング内面の溶接熱影響部のECTを実施した結果、有意な欠陥は確認されなかったことから、各対象部位において応力腐食割れを生じていないことが確認できた。

➤ドレンノズル

従来、漏えいの有無及びRPV内面ノズル近傍の目視試験(VT-3)を実施しているが、今回、ノズル第一溶接線までの範囲において目視試験(VT-1)を実施した結果、腐食を含む有意な欠陥が無いことが確認できた。

➤基礎ボルト

従来、目視試験(VT-3)を実施しているがボルト内部の欠陥の有無について点検は実施していない。今回、全数を対象にUTを実施した結果、割れその他の有害な欠陥は確認されなかったことから、腐食に起因する内部の欠陥が無いことが確認できた(曲がり構造のボルト2本の曲がり部より下部を除く)。

5. まとめ

○原子炉圧力容器の特別点検においては、通常の点検の範囲を拡大し、以下の範囲に対して点検を行った結果、いずれの点検においても有意な欠陥は認められなかった。

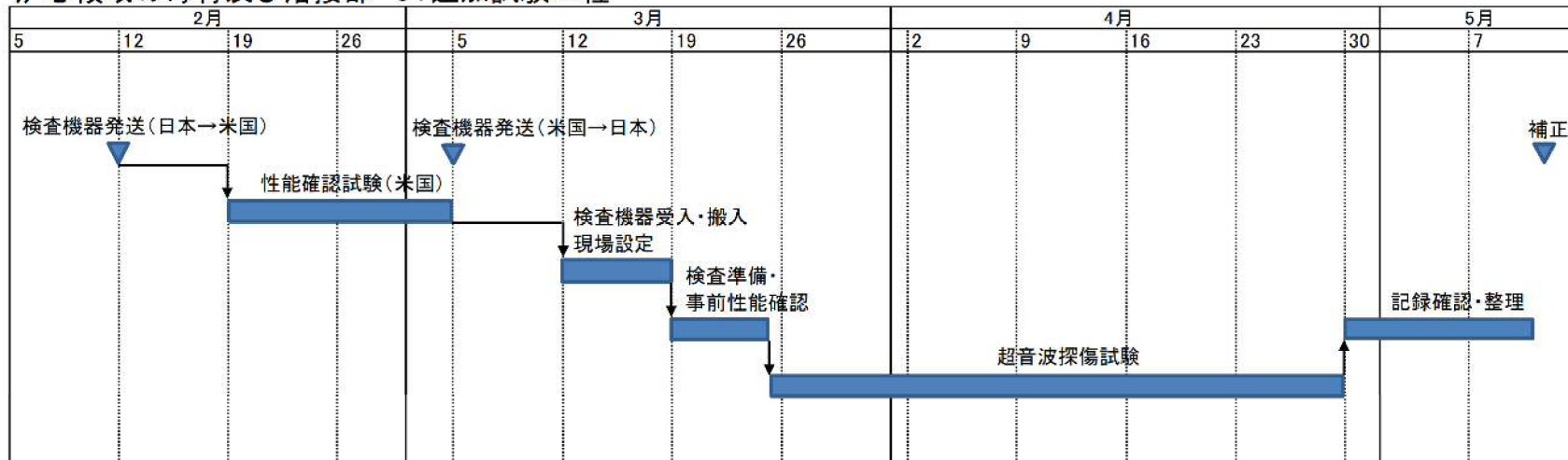
- ・給水ノズルコーナー部(全6箇所)
- ・CRDスタブチューブ(全数185箇所)、CRDハウジング(全数185箇所)、中性子束計測ハウジング(全数55箇所)及び差圧検出・ほう酸水注入ノズル(1箇所)
- ・ドレンノズル(1箇所)
- ・基礎ボルト(全数120本)(内訳 118本:全長範囲, 2本:曲がり部より上部)

○今回の点検結果に異常は確認されなかったことから、今後も現状の保守管理を継続することで原子炉圧力容器の健全性を維持できると考える。

6. 今後の対応

- RPV基礎ボルトのうち曲がり構造としている2本は、建設時に曲げ加工による影響のないことが確認されており、他の基礎ボルトと同様に異常は生じていないものと考えているが、今後、全数120本の基礎ボルトから、この2本を除いた118本と仮定して強度評価を実施し、RPVの健全性に影響がないことを確認していく。
- 炉心領域の母材及び溶接部のUTについては、下記に示す工程により追加の点検を実施していく。

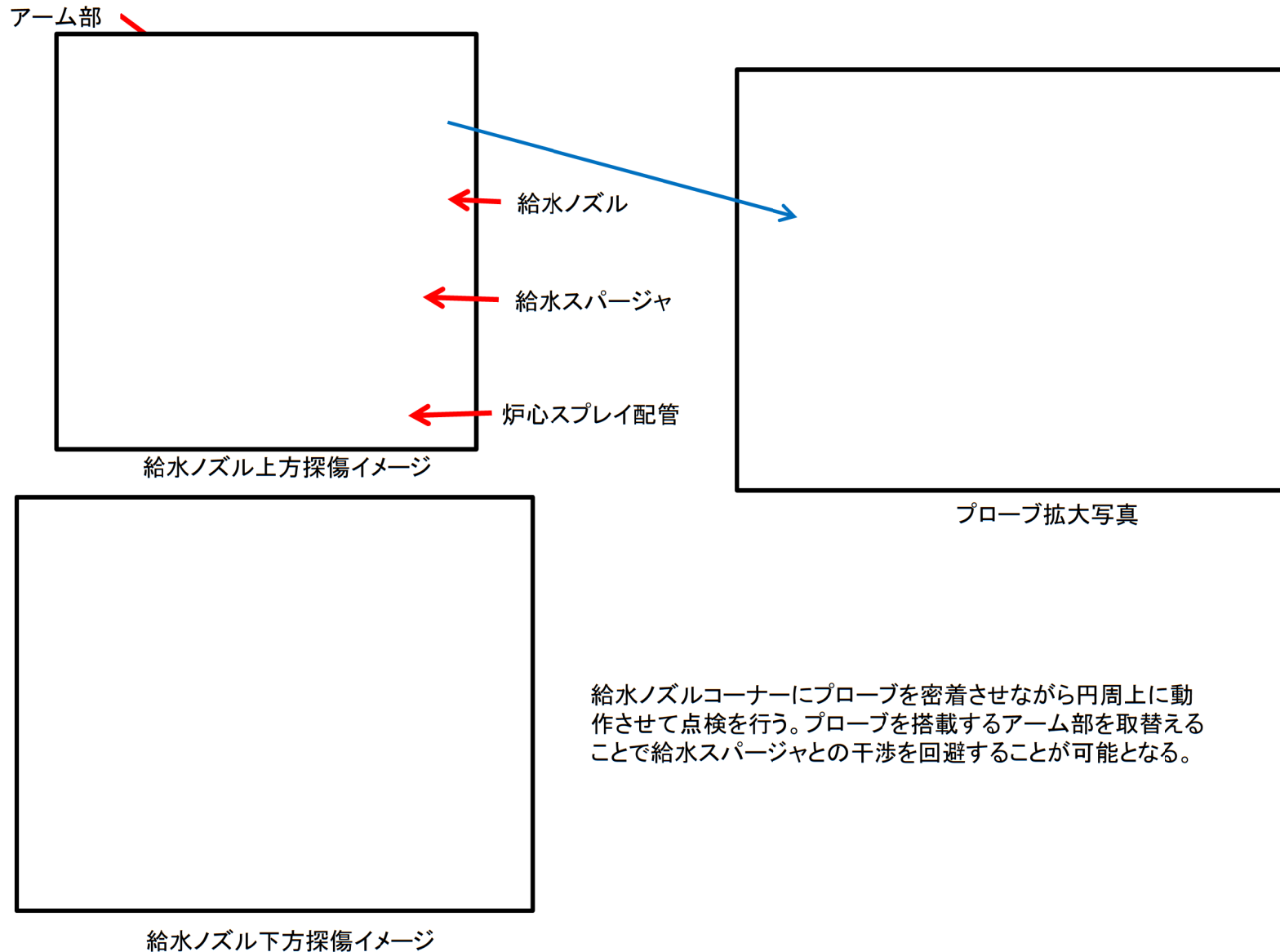
炉心領域の母材及び溶接部 UT追加試験工程



参考資料

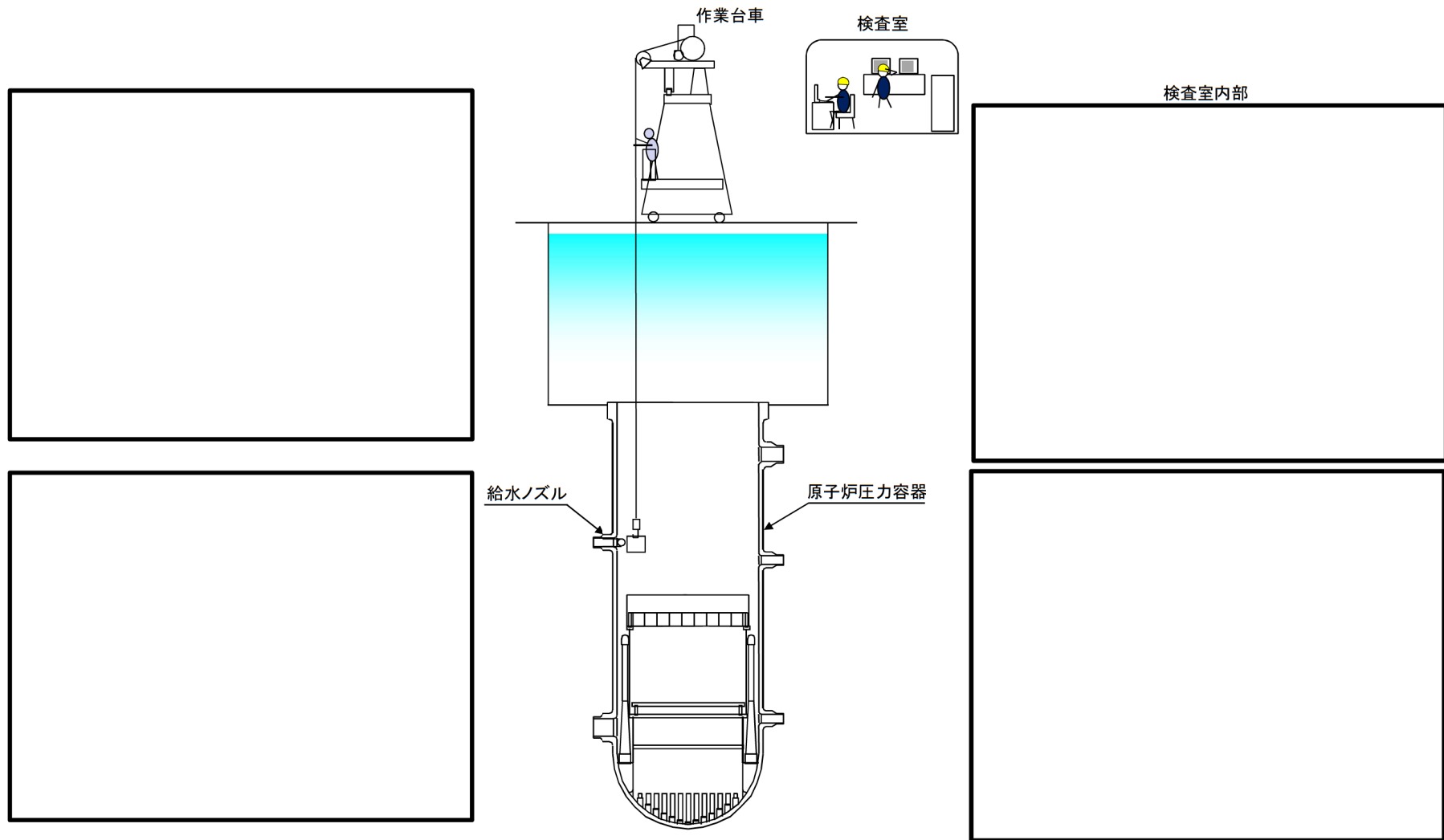
各点検装置動作説明資料

給水ノズルコーナー部 ECT



給水ノズルコーナーにプローブを密着させながら円周上に動作させて点検を行う。プローブを搭載するアーム部を取替えることで給水スパージャとの干渉を回避することが可能となる。

給水ノズルコーナー部 ECT



作業台車上での点検装置を炉内へ投入する状況

給水ノズルコーナ一部 ECT

給水ノズルコーナ一部ECTの検討経緯

- ECTはJEAG4217-2010において非磁性体※を対象としており、給水ノズルコーナ一部の材質である低合金鋼(磁性体)の欠陥検出性が未確認であった。そのため、2013年度、2014年度に当該部の形状を模擬した試験体を製作し欠陥検出性を確認した。
- 2013年度は低合金鋼(磁性体)へのECT適用について確認した(基礎試験)。試験体(図1)に付与した人工欠陥(EDMノッチ)が全て検出可能であった。
- 2014年度は実機適用に向けて実機給水ノズル形状の試験体(図2)や機械疲労き裂を付与した試験体の検出性を確認した。また、酸化被膜や磁気ノイズ、クラッドの堆積による影響についても検討を行い、付与した欠陥が検出可能であることを確認した。本件の実施にあたり、電力中央研究所殿に確認・評価頂いた。
- これらの検討を実機点検前に実施し、適用にあたっての試験手順・判定基準を策定した。



図1 2013年度給水ノズルコーナ一部ECT試験体

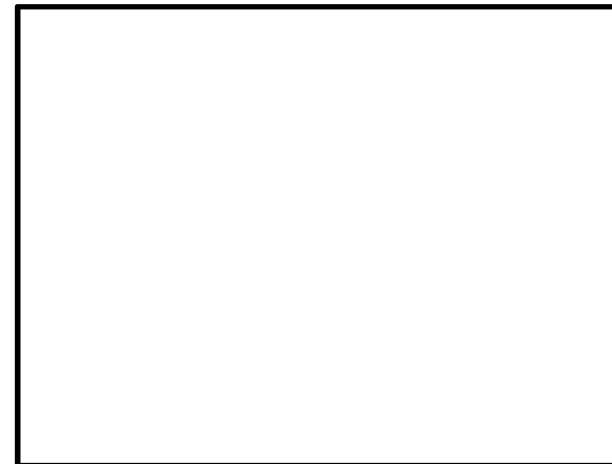


図2 2014年度給水ノズルコーナ一部ECT試験体
(実機形状模擬)

※ オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金の母材部及び溶接部

給水ノズルコーナ一部 ECT

給水ノズルコーナ一部ECTの技術検討

- 低合金鋼(磁性体)へのECTに伴い実施する基準感度・位相角設定の際, プローブの走査方法を図1のように設定した。これは今回のECT技術検討の結果, プローブ軸方向と並行する人工欠陥に対して一方向の探傷でV検出モード, H検出モードそれぞれで信号を確認できることを反映したものである。そのため, 基準感度と位相角は以下のように設定している。

V検出モード V,
H検出モード V,

- 図2はJEAG4217-2010の抜粋である。今回の点検のプローブ走査方向と異なっているが, これは, それぞれの検出モードに合った方向の検出性が高いことを反映しているものである。
- 今回の点検は技術検討結果を反映し, プローブの走査方向を一方向で基準感度・位相角の設定を実施した。なお, この設定方法は現在JEAG4217-2010の改訂作業の中で検討が進められている。

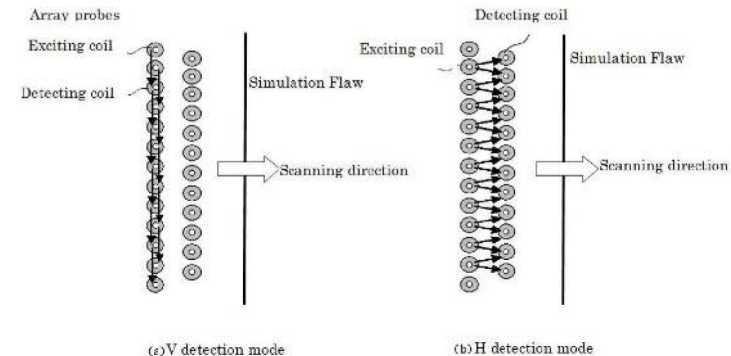


図1 基準感度, 位相角設定時のプローブ走査方向
(EJAM(日本保全学会海外向け公開文書)抜粋)

文書名: Develop of the ECT technique for the Feedwater Nozzles of Nuclear Power Plant Reactor Pressure Vessels)

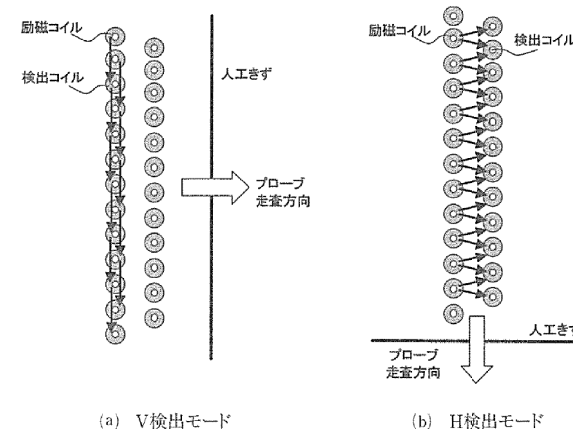
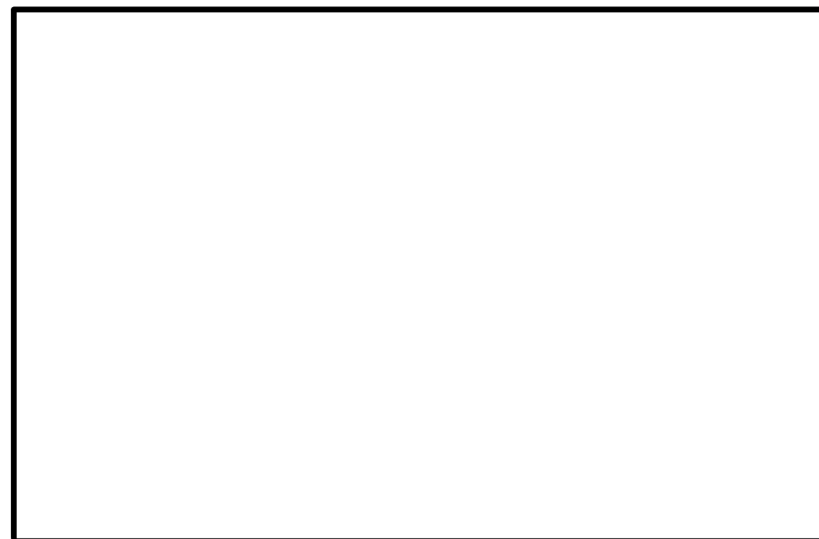


図2 基準感度, 位相角設定時のプローブ走査方向
(JEAG4217-2010抜粋)

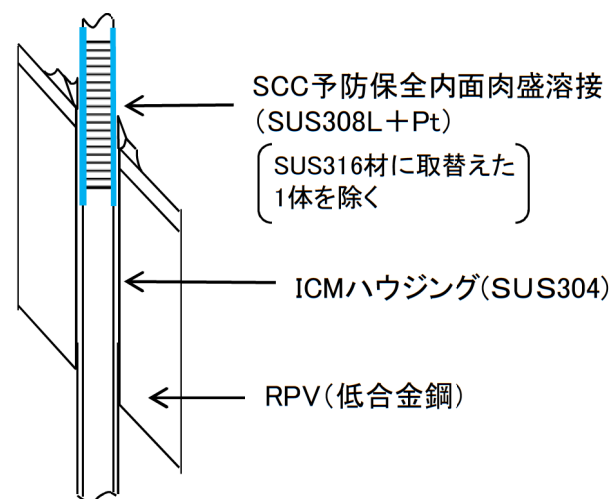
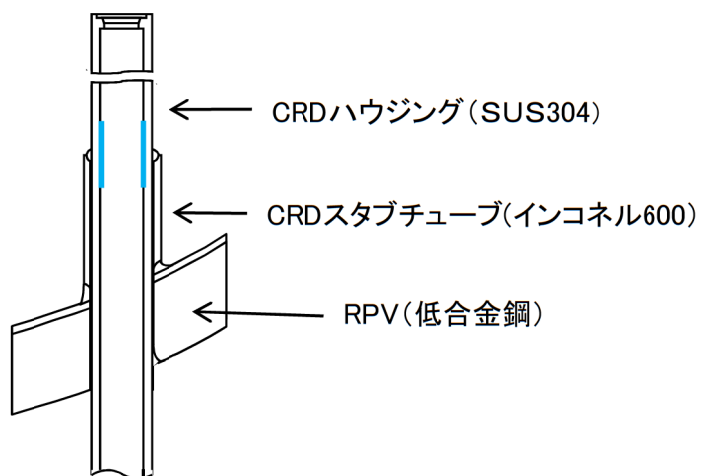
CRDハウジング/ICMハウジング ECT



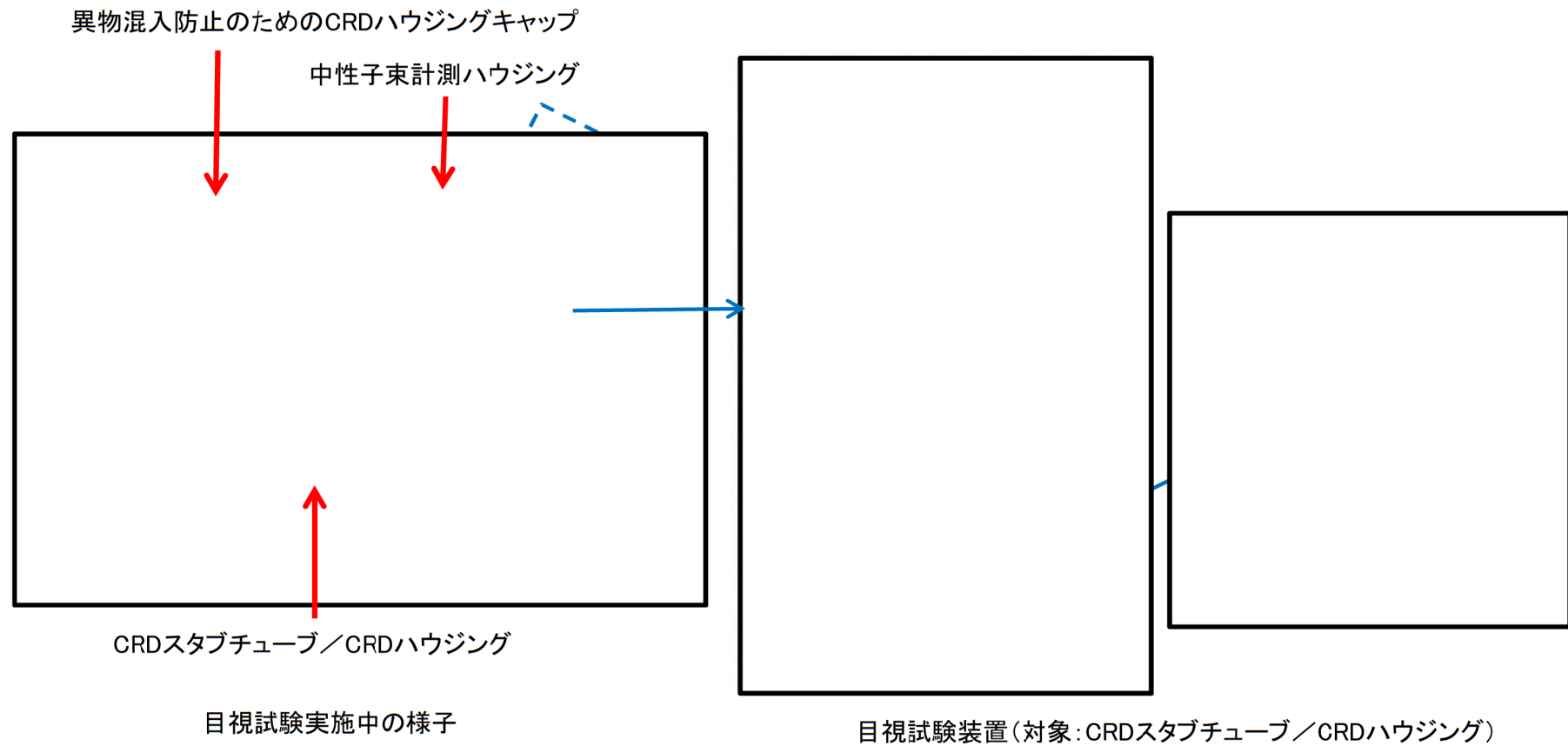
CRDハウジングECT装置



ICMハウジングECT装置

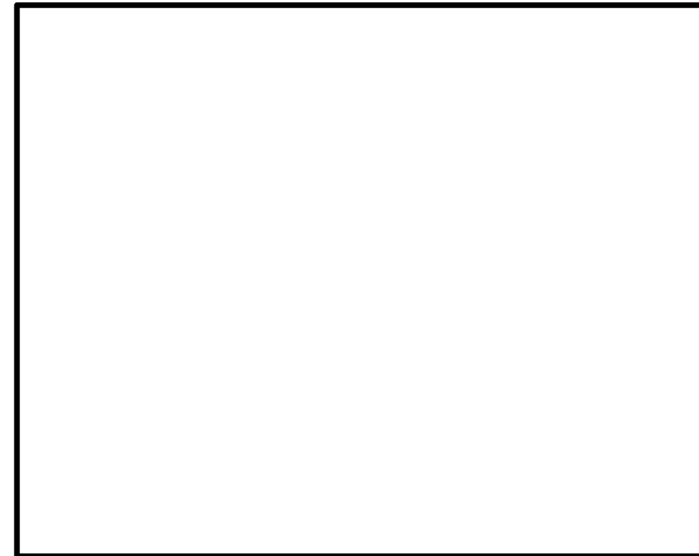
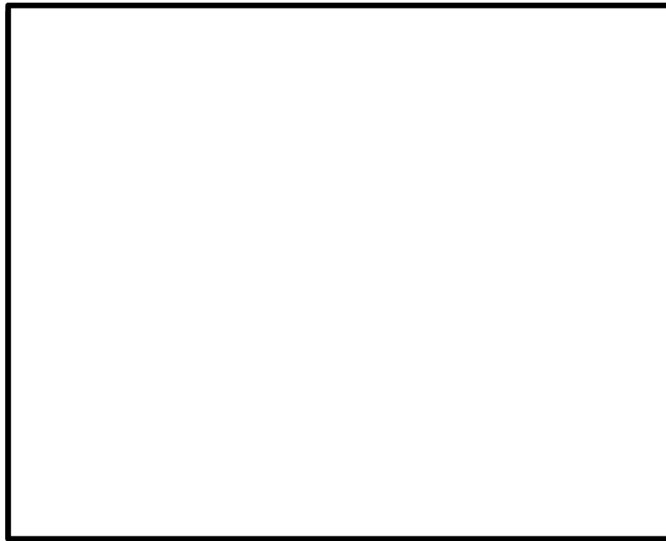


CRDスタブチューブ他 目視試験(MVT-1・VT-1)



CRDスタブチューブ他 目視試験(MVT-1・VT-1)

目視試験に使用するカメラは試験対象部位により使い分け、または複数台使用し、それぞれの点検手法(MVT-1, VT-1)に必要な校正を実施している。



基礎ボルト UT

RPV基礎ボルト外観 ※

※写真はRPV支持スカート開口部内側から
外側の方向に撮影



UTの様子

