

川内原子力発電所 1号炉

原子炉容器の特別点検（個別確認・評価）

結果について

2022年8月2日

1. 要求事項	2
2. データ採取方法・箇所	
2-1 炉心領域（母材及び溶接部）	4
2-2 一次冷却材ノズルコーナ一部	7
2-3 炉内計装筒（溶接部及び内面）	10
2-4 データ採取方法まとめ	12
3. 特別点検（個別確認・評価）結果	13

1. 要求事項

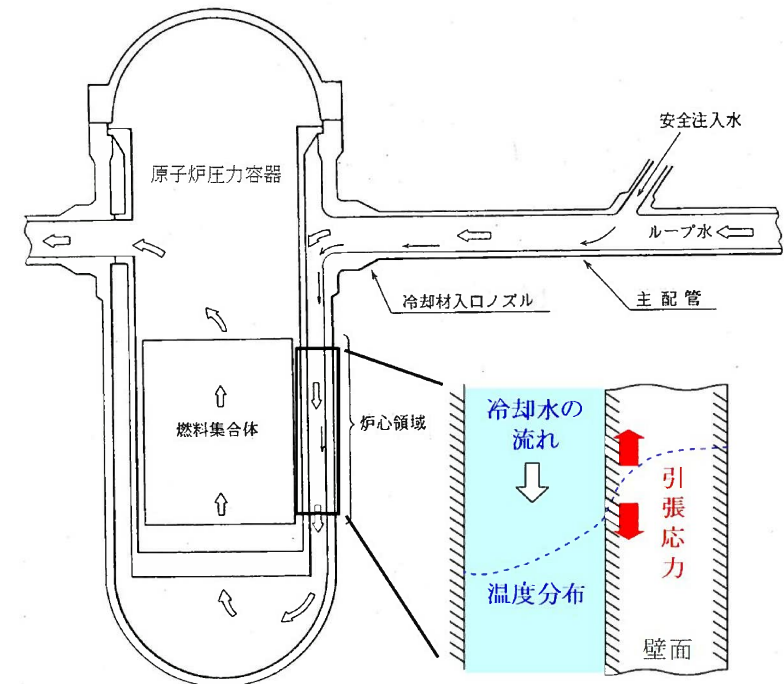
(「実用発電用原子炉の運転期間延長認可申請に係る運用ガイド」より)

対象の 機器・構造物	対象の部位	着目する 劣化事象	試験方法／試験項目
原子炉容器	母材及び溶接部 (炉心領域の100%)	中性子 照射脆化	超音波探傷試験（以下「U T」という。）による欠陥 の有無の確認
	一次冷却材 ノズルコーナ一部 (クラッド部)	疲労	渦流探傷試験（以下「E C T」という。）による欠陥 の有無の確認
	炉内計装筒全数 (溶接部及び内面)	応力腐食割れ	目視試験による原子炉容器 内側の溶接部欠陥の有無の 確認 E C Tによる炉内計装筒内 面の溶接熱影響部欠陥の有 無の確認

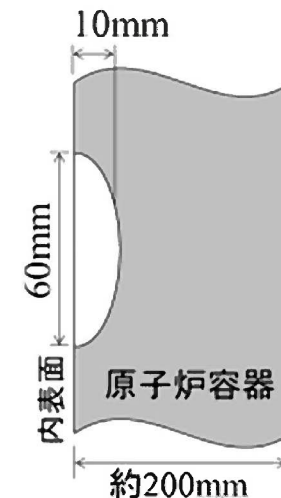
2. データ採取方法・箇所

2-1-1 データ採取の概要

- 原子炉容器は、プラント運転中の中性子照射により金属の粘り強さが低下する（中性子照射脆化）ことが知られている。事故時の炉心冷却に冷たい水が注入されると、原子炉容器の温度が急激に下がり、容器に大きな引っ張り応力が働く。中性子照射脆化が進んだ炉心領域に有意な欠陥が存在した場合には、そこを起点として脆性破壊が発生する可能性がある。
- 建設時に母材と溶接部に対して有意な欠陥がないことを確認しており、運転開始後は供用期間中検査として溶接部に対するUTを実施しており、これまで欠陥は確認されていない。一方、PLM評価では、仮想的に原子炉容器内表面に深さ10mm、長さ60mmのき裂を想定し、事故時に冷たい水が注入されても原子炉容器が健全であることを確認している。
- 今回のデータ採取では、これまでの供用期間中検査で対象としていない母材部分まで試験範囲を広げ、欠陥の有無を炉心領域全域にわたって確認する。



事象発生時の原子炉容器内の冷却材の流れ

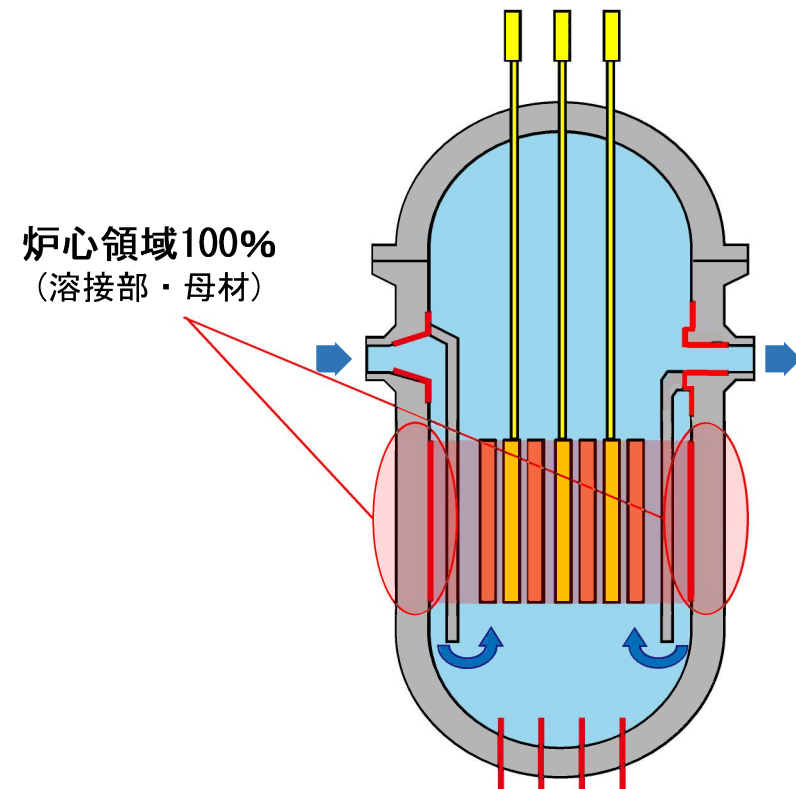


評価において想定する欠陥

2-1-2 データ採取方法

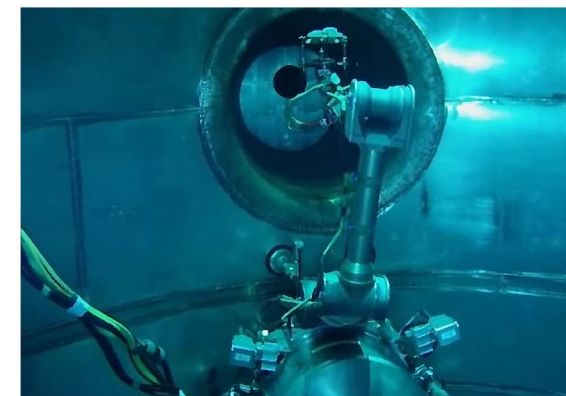
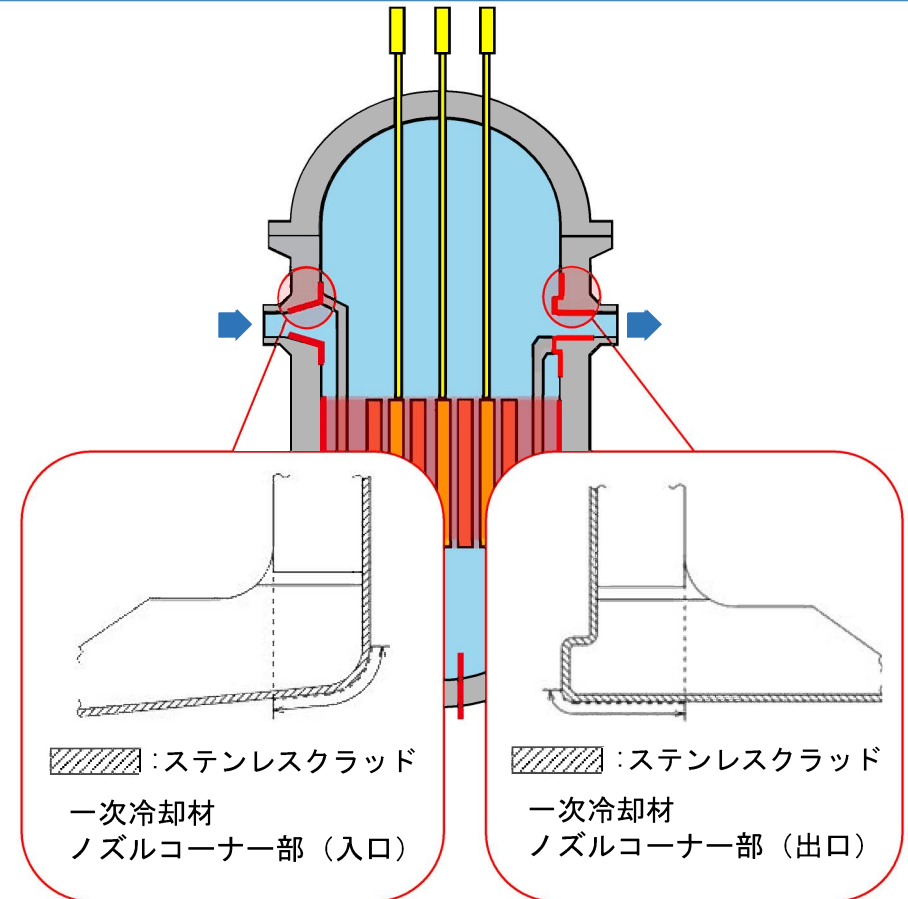
- 炉心領域※100%（溶接部・母材）を試験対象とする。
- 着目する経年劣化モードである中性子照射脆化は内表面近傍の欠陥が特に重要となることから、内表面近傍の欠陥に対してUTを実施する。
- JEAC4207-2008「軽水型原子力用機器の供用期間中検査における超音波探傷試験規程」を準用。
- 今回実施したUTについては、国のプロジェクト「超音波探傷試験による欠陥検出性及びサイジング精度に関する確証試験」により深さ5mm程度の欠陥であれば十分検出可能であることが確認されている手法を用いて実施する。
- 欠陥の検出精度は5mm程度であり、これまでの評価の想定（深さ10mmの表面欠陥）に対して十分保守的な欠陥検出性能である。

※燃料装荷されている状態での燃料最上部から最下部までの範囲



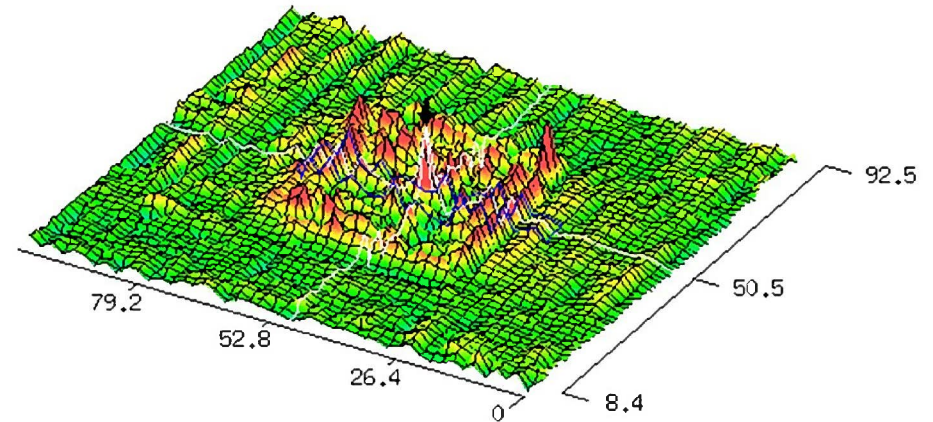
2-2-1 データ採取の概要

- 一次冷却材からの保護のために原子炉容器の母材内表面は厚さ5mm程度のステンスクラッドが非強度部材として施工されている。また、設計上、疲労損傷が発生しないよう、表面は応力集中部が出来ないように適切な曲率加工を施すなどの配慮がなされている。
- 建設時にはステンスクラッド全面に対して浸透探傷試験を実施して、表面欠陥がないことを確認している。供用期間中はコーナー部の母材に対してUTを実施し健全性を確認しているが、強度部材ではないステンスクラッドに対しては表面試験は実施していない。
- 一次冷却材ノズルコーナー部は、原子炉容器の低合金鋼部において比較的疲労累積係数の高い形状変化部位となっていることから、母材を保護しているステンスクラッドの健全性を確認するため、クラッド表面に対してECTを実施する。

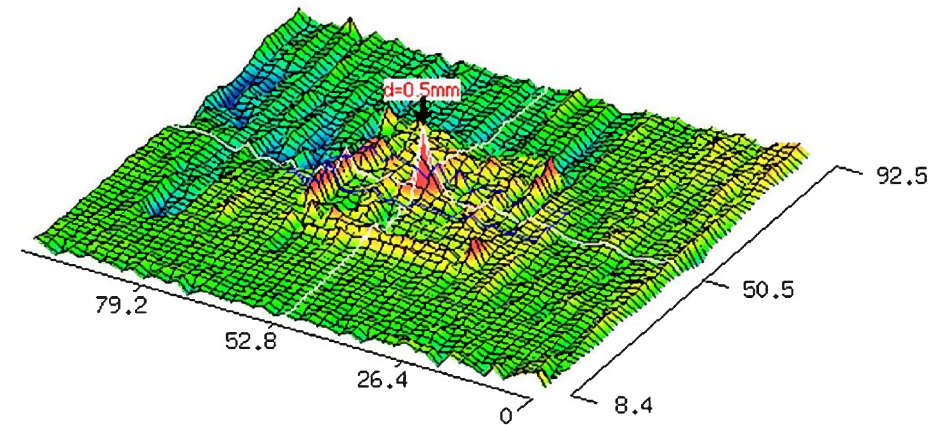


2-2-2 データ採取方法

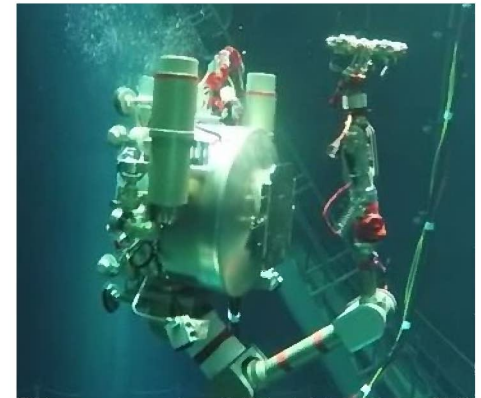
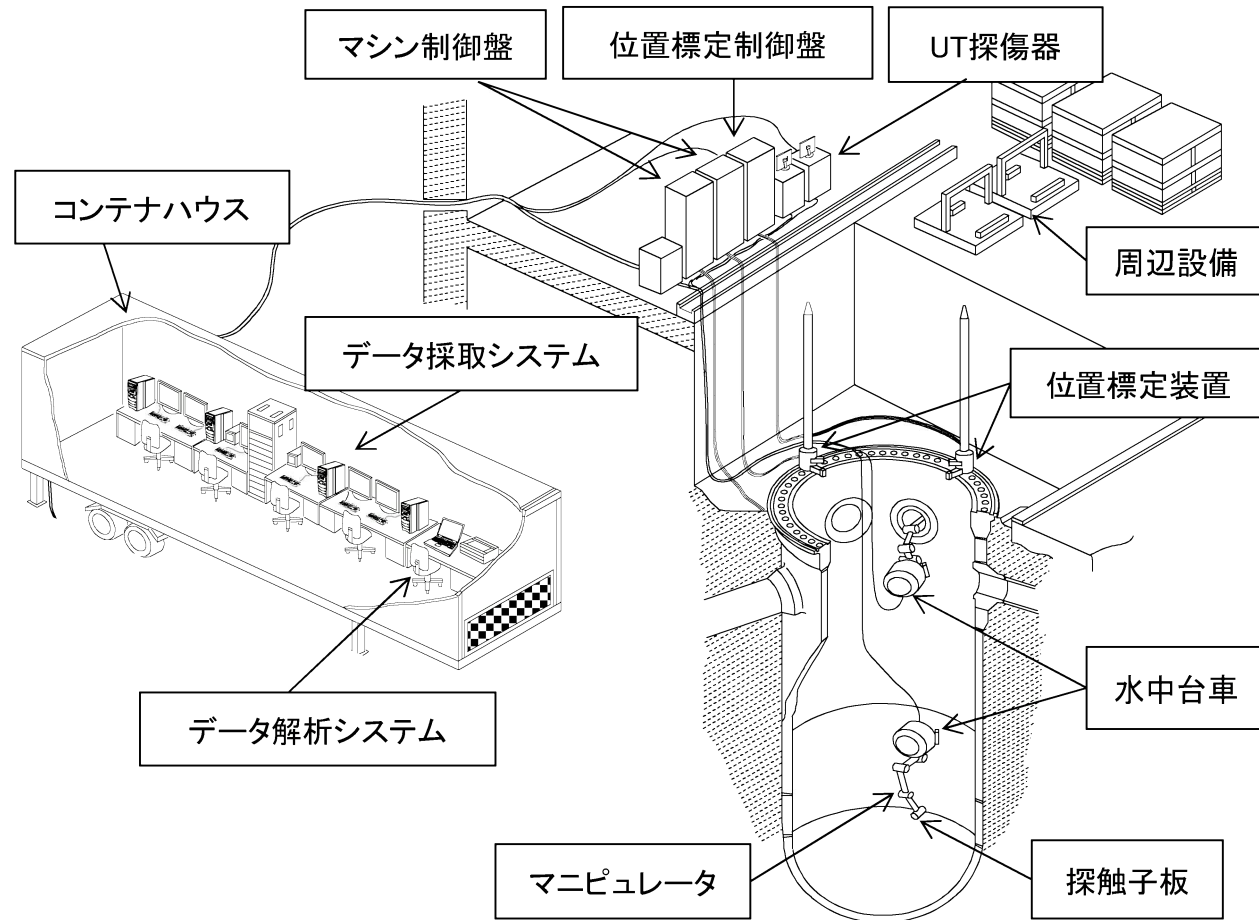
- 入口管台・出口管台の全数（入口管台3箇所、出口管台3箇所）を試験対象として選定する。
- 表面試験としては、浸透探傷試験も考えられるが、放射線環境が厳しいことから水中環境での自動探傷が可能なECTを適用する。
- クラッド部については、透磁率変化によるノイズが発生することが知られているため、通常型プローブに加えて磁気飽和型（MAG型）プローブも用いることで評価精度を確保する。
- JEAG4217-2010「原子力発電所用機器における渦電流探傷試験指針」を準用。
- 今回実施したECTについては、疲労き裂を付与した試験片を製作し、クラッド表面に開口する1mm程度の疲労き裂を十分検出できることを確認し、実施する。



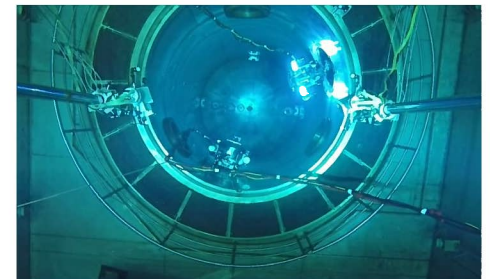
通常型プローブによる波形例



MAG型プローブによる波形例



探傷試験装置本体



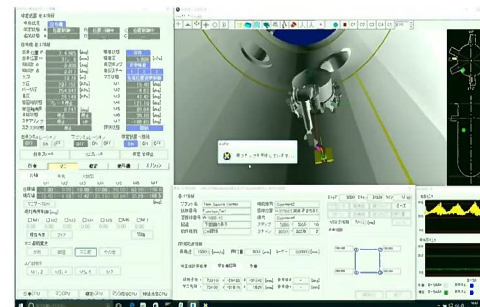
ロボット航行状況



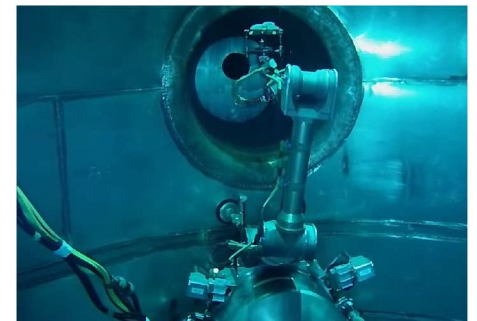
建屋外にある
遠隔操作用コンテナハウス



コンテナハウス内



操作画面例



ノズル内の探傷

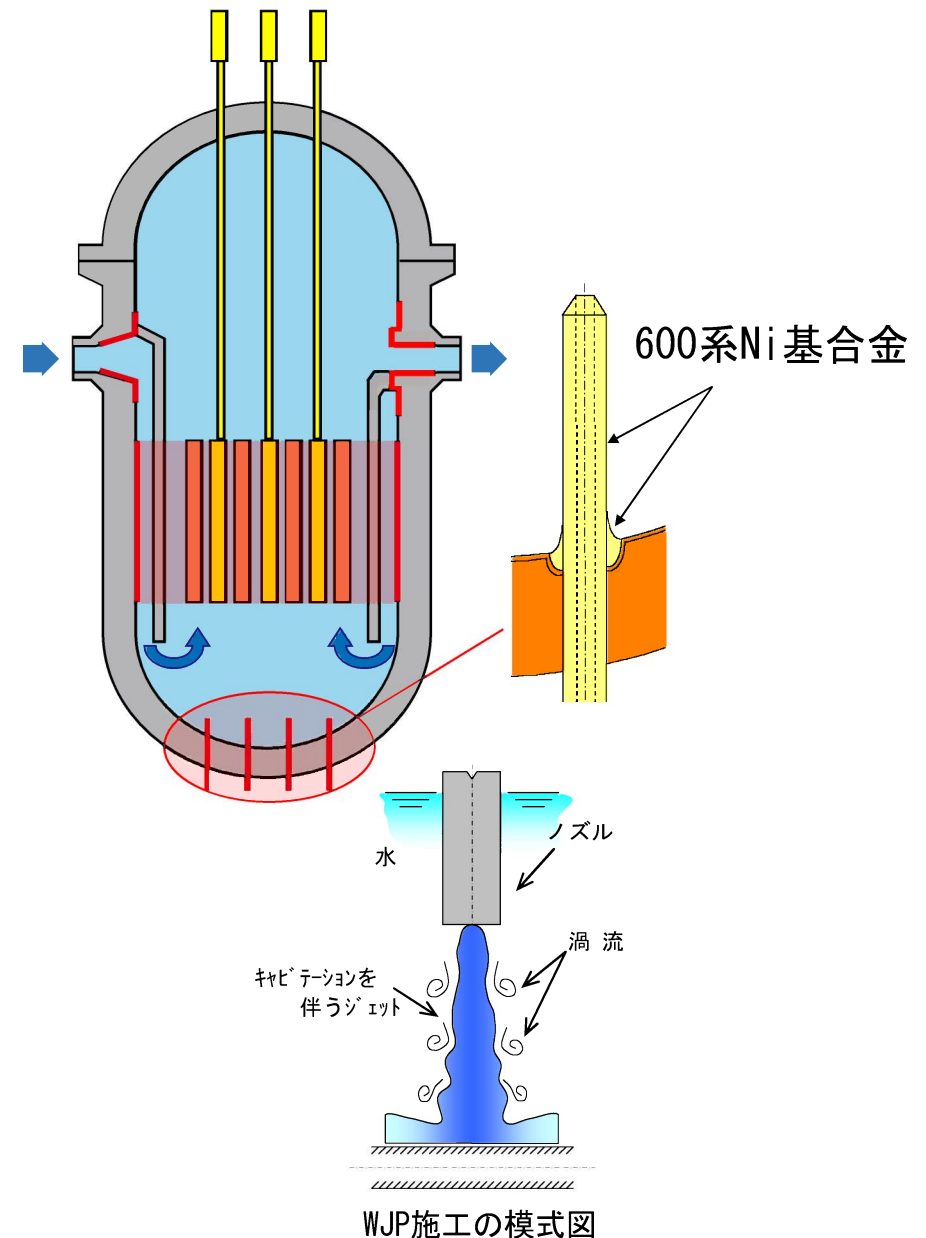
2-3-1 データ採取の概要

➤原子炉容器の炉内計装筒（以下「BMI」という。）は、600系Ni基合金により製造されており、応力腐食割れに対する感受性が690系Ni基合金より比較的高い。そのため、溶接時に残留応力が発生するBMI内面、原子炉容器内面のBMI溶接部ともに、ウォータジェットピーニング（WJP）を施工し、残留応力を緩和させている。

表 WJPの実績

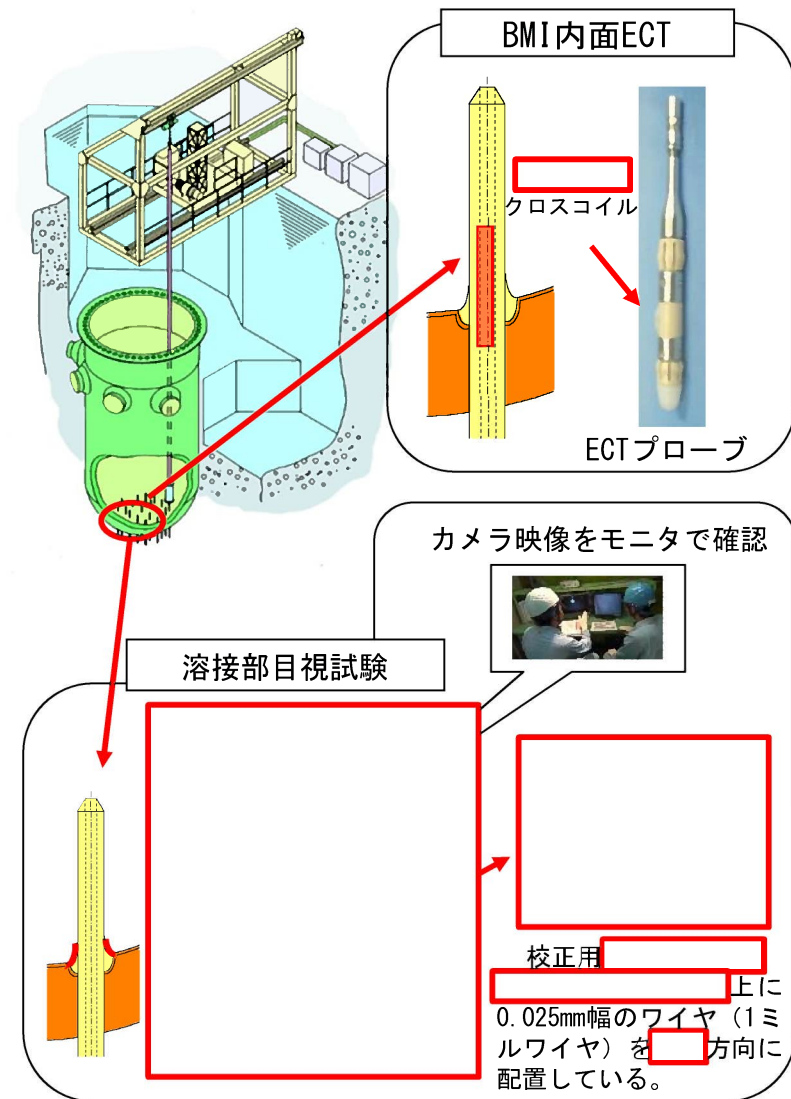
	実施時期
BMI 内面及び溶接部	2005年度 (第17回定期検査)

- 供用期間中は、原子炉容器外面からの目視試験により漏洩の有無を確認しているが、原子炉容器内面側からの定期的な試験計画はない。
- 今回のデータ採取では、応力腐食割れの発生が懸念されるBMI内面の溶接熱影響部及びBMI溶接部を試験範囲として確認する。



2-3-2 データ採取方法

- 試験対象はBMI全数（50本）
- BMIの内面についてはECT、BMI溶接部については目視試験を行う。
- ECTは、JEAG4217-2010を準用。
- 今回実施したBMI内面ECTについては、（一財）発電設備技術検査協会の確性試験において、0.5mm程度の応力腐食割れ（以下「SCC」という。）による欠陥の検出が可能であることが確認されている手法を用いて実施する。
- 今回実施した溶接部の目視試験については、維持規格に従い0.025mm幅ワイヤーが識別可能な手法を用いて実施する。



部位	通常の点検	特別点検 (データ採取)	対象範囲
母材及び溶接部 (炉心領域の100%)	<ul style="list-style-type: none"> 溶接線+母材10mm幅 超音波探傷試験(U T) 頻度 1回/検査間隔※ 	<ul style="list-style-type: none"> 炉心領域100% 超音波探傷試験(U T) 	
一次冷却材 ノズルコーナー部	<ul style="list-style-type: none"> ノズルコーナー(母材) 超音波探傷試験(U T) 頻度 1回/検査間隔※ 	<ul style="list-style-type: none"> ノズルコーナー (クラッド部) 渦流探傷試験(E C T) 	
B M I	<ul style="list-style-type: none"> B M I 貫通部の外面側 原子炉容器外面からの直接目視(ほう酸の付着等がないことを確認) 頻度 1回/検査間隔※の半分 	<ul style="list-style-type: none"> B M I 内面 : 渦流探傷試験(E C T) 溶接部 ビデオカメラによる目視試験 	

※検査間隔は10年間、第4回目以降の検査間隔は7年間

3. 特別点検（個別確認・評価）結果

対象の 機器・構造物	対象の部位	点検年月日	点検結果	
原子炉 容器	母材及び溶接部 (炉心領域の100%)	2021. 10. 18～2022. 4. 22	➤表面近傍の深さ5mm程度の欠陥が検出可能なUTにより確認した結果、有意な欠陥は認められなかった。	
	一次冷却材 ノズルコーナー部 (クラッド部) 〔入口管台3箇所〕 〔出口管台3箇所〕	2021. 10. 20～2022. 4. 22	➤1mm程度の欠陥が検出可能なECTにより確認した結果、有意な欠陥は認められなかった。	
	B M I (全数50本)	B M I 内面	2021. 10. 22～2022. 4. 22	➤0.5mm程度のSCC欠陥の検出が可能なECTにより確認した結果、有意な欠陥は認められなかった。
		溶接部		➤0.025mm幅ワイヤーが識別可能な目視試験により確認した結果、有意な欠陥は認められなかった。