

東海第二発電所 審査会合における指摘事項の回答 (運転期間延長認可申請関係)

平成30年6月5日

本資料のうち、枠囲みの範囲は、営業秘密
又は防護上の観点から公開できません。

東海第二発電所 審査会合における指摘事項の回答一覧表

No.	指摘事項	回答
0555-1 特別点検 (平成30年3月8日 第555回審査会合)	原子炉圧力容器 給水ノズルコーナー部の渦電流探傷試験について、事前の試験で十分な検出性があると判断した内容について詳細に説明すること。	平成30年6月5日 P2 ～ P22
0555-2 特別点検 (平成30年3月8日 第555回審査会合)	原子炉格納容器の目視試験において、点検不可範囲があることを前提として、劣化状況や今後の保全について説明すること。また、塗装の剥がれによるストレーナ閉塞に対する影響について説明すること。	平成30年6月5日 P23 ～ P25

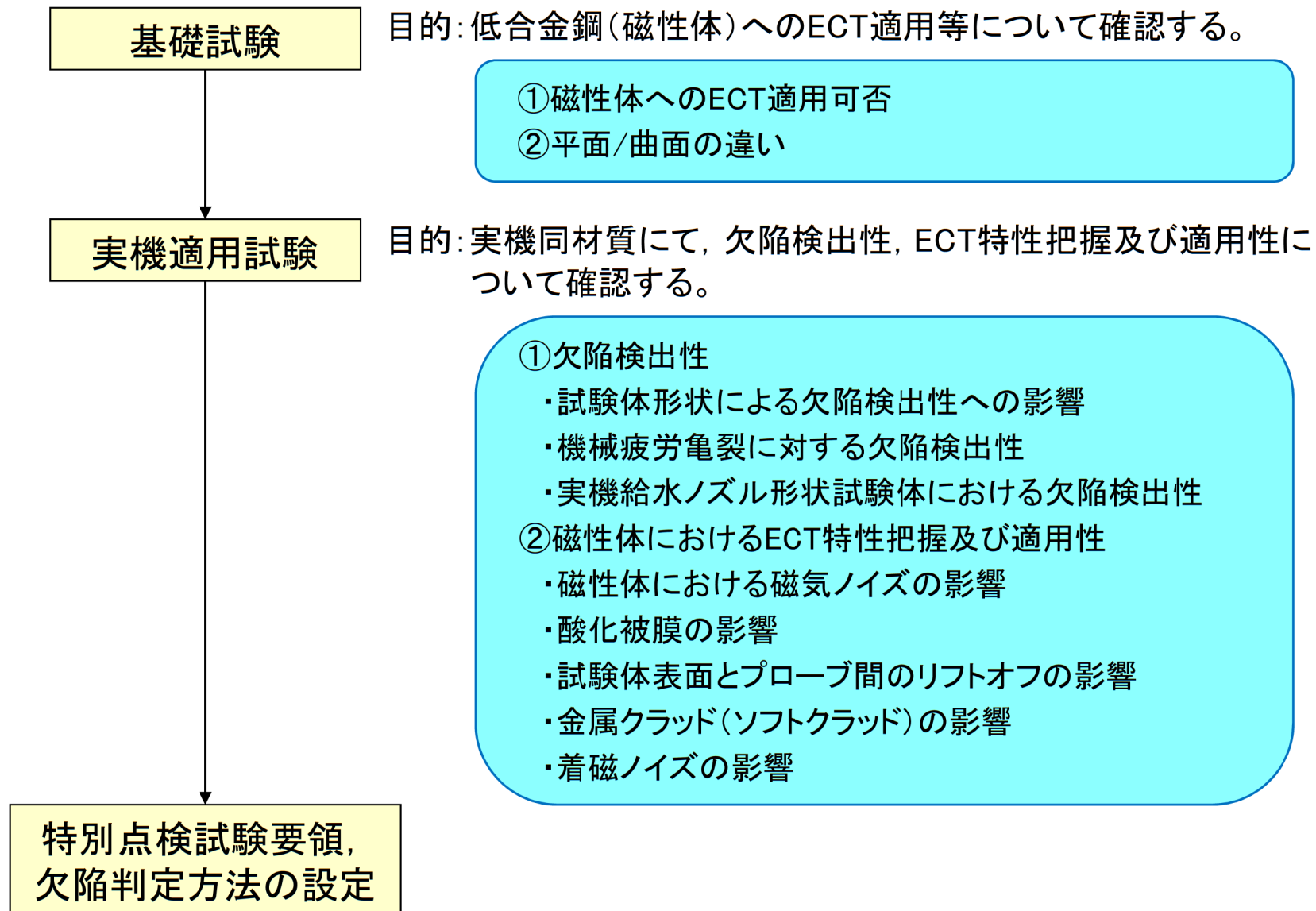
目 次

1. 経緯	4
2. 試験内容	6
(1) 基礎試験	6
(2) 実機適用試験	10
3. 特別点検試験要領	19
4. 欠陥判定方法	20
5. 結論	22

1. 経緯

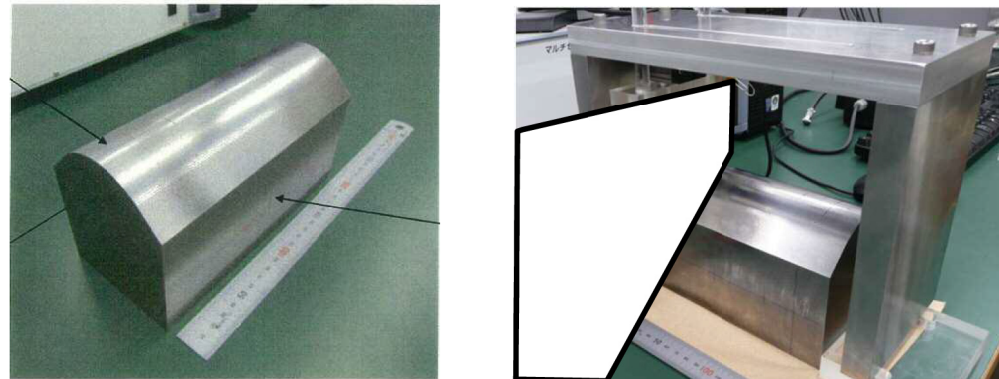
- 給水ノズルコーナ一部の特別点検は、磁粉探傷試験若しくは浸透探傷試験又は渦電流探傷試験(以下、「ECT」という)による点検が要求されており、当該部位の設置位置や水中環境下であることを考慮してECTを選択した。
- ECTに関する指針JEAG4217-2010は、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金(非磁性体)の母材部及び溶接部を対象としてECTの試験要領を規定している。
- 一方、給水ノズルコーナ一部は低合金鋼(磁性体)であり、一般的には磁性体は磁気的特性のバラつきが大きく、非磁性体の場合と比較すると磁気ノイズによりSN比が低下し亀裂の検出が困難となることが知られている。
- 上記背景から、給水ノズルコーナ一部における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。

1. 経緯－基礎試験, 実機適用試験での確認内容



2. 試験内容－(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、試験要領を次頁以降に示す。



基礎試験 給水ノズルコーナー部ECT試験体

2. 試験内容－(1)基礎試験 確認項目と結果

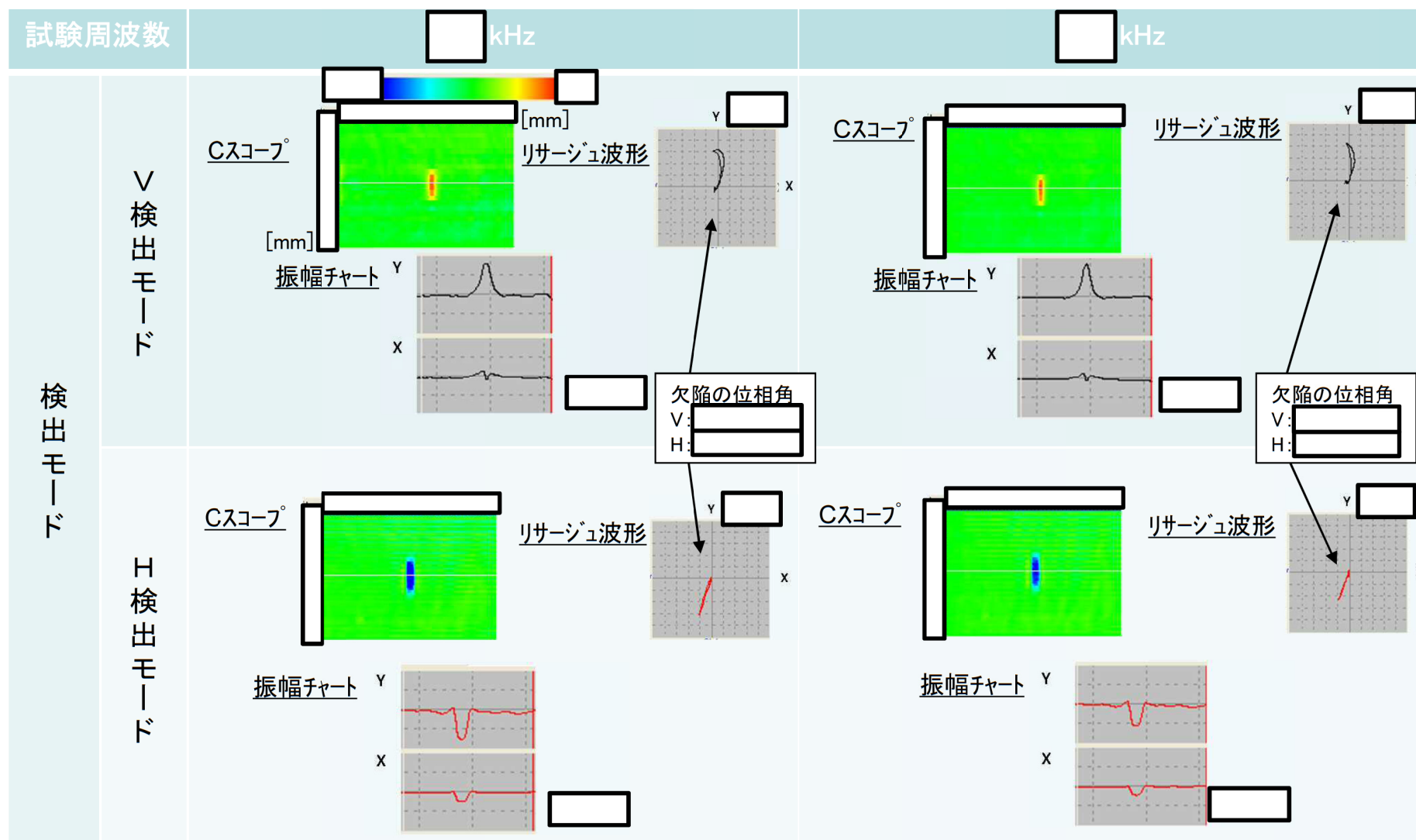
No.	確認項目	試験体形状	材質	付与欠陥	確認方法	結果
1	材料の影響確認 (磁性体へのECT適用可否)	・平板形状	SFVQ1A ※1	・EDM ノッチ	平板形状試験体での欠陥信号検出の可否確認	欠陥信号が得られることを確認 ※2
2	曲率形状の影響 (平面/曲面の違い)	・2次元 R形状	SFVQ1A ※1	・EDM ノッチ	曲面形状試験体での欠陥信号検出の可否確認	形状による欠陥検出性への影響がないことを確認

※1 材料の入手性から、SFVQ1Aを選択。

※2 次頁に磁性体へのECT適用可否の確認結果を例示する。

2. 試験内容－(1)基礎試験 ①磁性体へのECT適用可否の確認結果(例)

EDMノッチ 深さ1 mm(例)



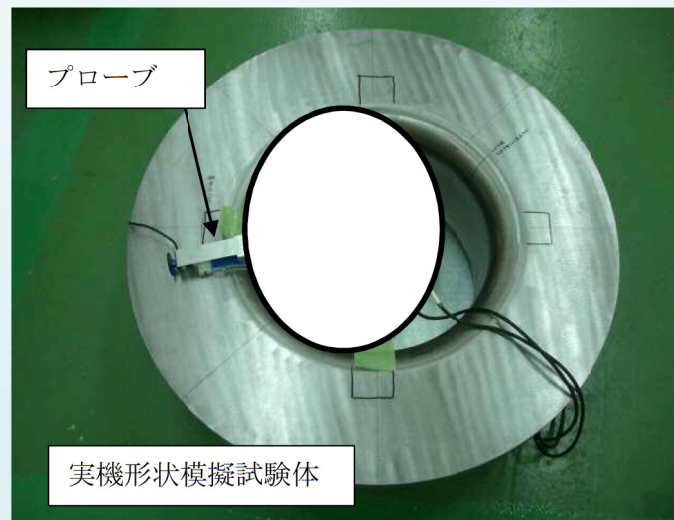
2. 試験内容－(1)基礎試験 試験要領

項目			試験要領	
使用 機材	プローブ	試験コイル型式と方式	相互誘導形標準比較方式（パンケーキコイル）	
		コイル外径	mm	
		検出コイルの間隔	mm	
	対比試験片	形状	平板	
		材料	SFVQ1A	
		人工きずの寸法	深さ：1±0.1 mm，幅：0.3±0.05 mm，長さ：18 mm	
要領	基準感度及び位相角の設定 (キャリブレーション)		対比試験片の人工きずの信号を以下に設定する V検出モード：振幅 2±0.2 V，位相角 90±5° H検出モード：振幅 2±0.2 V，位相角 90±5°	
	JEAG 4217-2010「原子力発電所用機器における渦電流探傷試験指針」に記載の要領で実施		励磁コイル 検出コイル 人工きず プローブ 走査方向 V検出モード 励磁コイル 検出コイル 人工きず プローブ 走査方向 H検出モード キャリブレーションのプローブ走査方法	
	試験周波数		kHz, kHz, kHz, kHz	
	走査条件	プローブの走査方向	スリットの長さ方向に対し直交方向	
		プローブの走査速度	mm/s 以下 ただし，データを再現よく採取可能な速度とする	
	コイルの並び方向	スリットの長さ方向に対し平行方向		

2. 試験内容－(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、試験要領を次頁以降に示す。



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)

2. 試験内容－(2)実機適用試験 確認項目と結果

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 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. 試験内容－(2)実機適用試験 ①欠陥検出性 評価結果(1/2)

a. 試験体形状による欠陥検出性への影響評価

EDMノッチを付与した平板形状試験体と2次元R形状試験体のECT信号振幅値は同程度であり、試験体の形状による欠陥検出性への影響がないことを確認した。

b. 機械疲労亀裂に対する欠陥検出性評価

平板形状試験体及び2次元R形状試験体における機械疲労亀裂からのECT信号振幅値は、EDMノッチからの振幅値と同等の振幅値を得られており実機に発生する欠陥性状により近い機械疲労亀裂についても検出が可能であることを確認した。

なお、EDMノッチにおける欠陥検出性と比較し、の検出性が低い傾向にあり、検出モードの周波数kHzの結果が最も検出性が良いことが確認された。また、※プローブよりも※プローブの方が検出性に優れていることが確認された。

※ 検出コイルの間隔を示している。

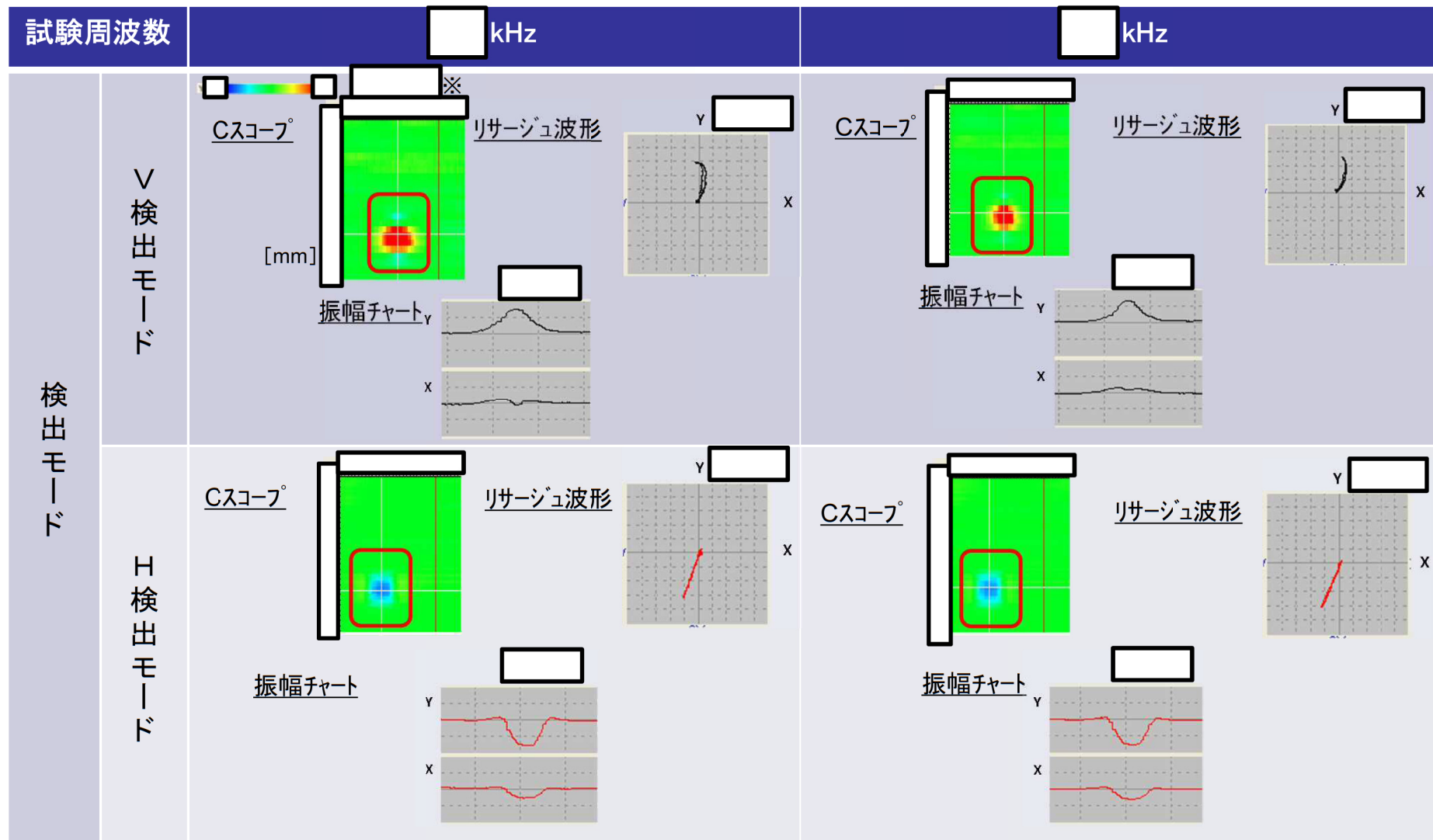
c. 実機給水ノズル形状試験体における欠陥検出性の確認結果

実機給水ノズル形状試験体において、ノズルコーナ一部に付与した深さ1 mmのEDMノッチの信号を検出出来た。実機3次元形状においても欠陥信号を検出可能であることを確認した。

⇒次頁に実機給水ノズル形状試験体における欠陥検出性の確認結果を例示する。

2. 試験内容－(2)実機適用試験 ①欠陥検出性 評価結果(2/2)

c. 実機給水ノズル形状試験体における欠陥検出性の確認結果(例)



※スコープ画像の横軸は×[]にて表示

2. 試験内容－(2)実機適用試験 ②磁性体におけるECT特性把握及び適用性 評価結果(1/4)

a. 磁性体における磁気ノイズの影響

磁性体のノイズ信号は、非磁性体のノイズ信号より高いことを確認したが、その差は□V程度であり、基準感度の振幅値(V検出モード:□V, H検出モード:□V)に比べて非常に低い数値であることから、磁気ノイズの影響のないことを確認した。

⇒磁性体と非磁性体(ステンレス鋼材)のノイズ信号レベルを比較し、磁性体の磁気ノイズの影響を確認した。次頁に磁性体と非磁性体におけるノイズ信号の比較を例示する。

b. 酸化被膜の影響

平板形状試験体でのEDMノッチ深さと検出信号の関係から、検出信号は亀裂深さの変化が大きく影響し、酸化被膜の有無による検出信号に与える影響は少ないと考えられる。

⇒酸化被膜の影響を確認するため、酸化被膜形成後に試験を実施し、その後試験体表面を深さ0.1 mm研削して酸化被膜を除去した後再度試験を行った。機械疲労亀裂の検出信号は、酸化被膜がある場合と比較し低下する傾向がみられたが、検出信号が変化した要因として、表面を研削したことによる機械疲労亀裂の深さの変化によるものが支配的であると考えられる。

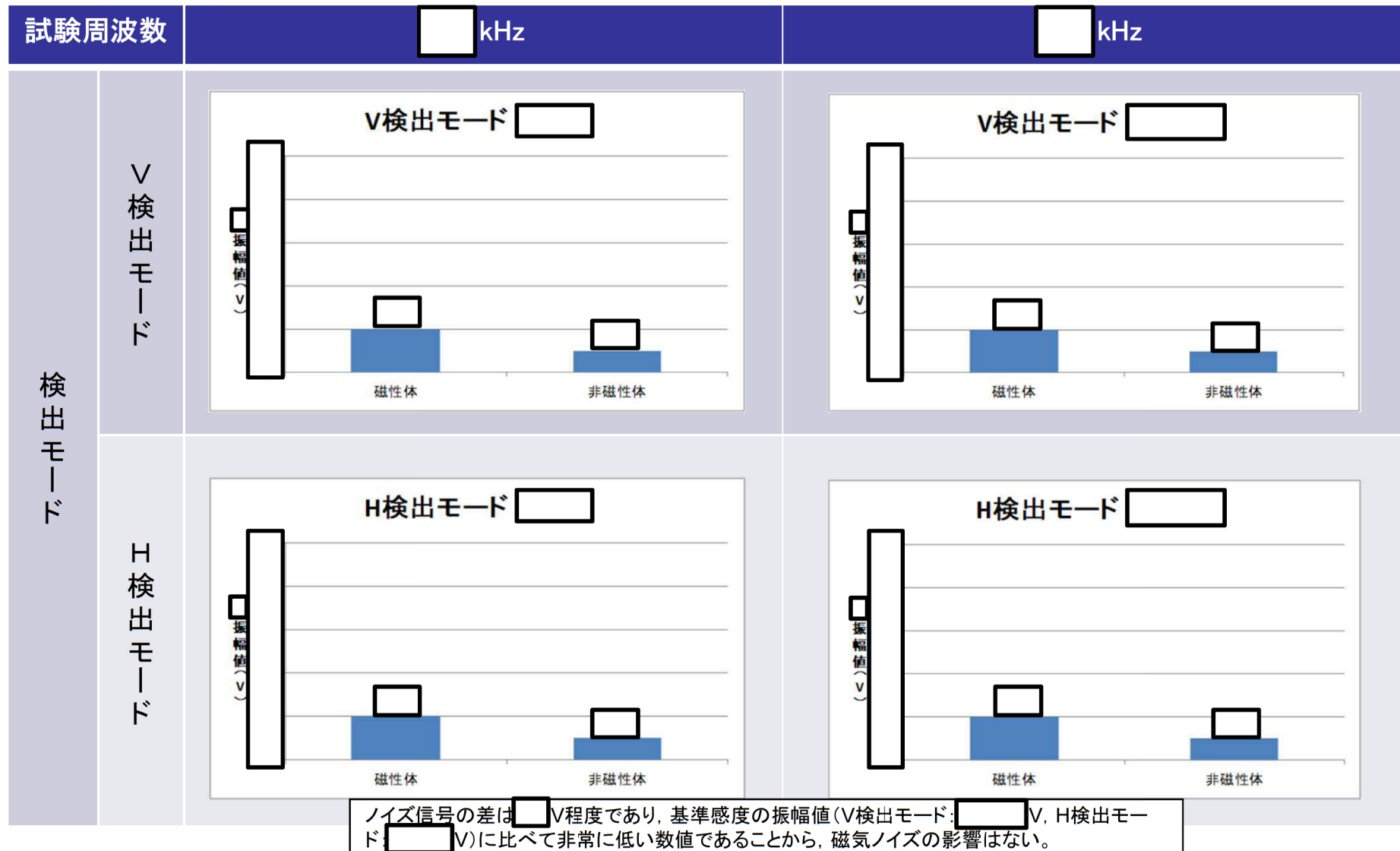
c. 試験体表面とプローブ間のリフトオフの影響

プローブのリフトオフ量を試験体表面から離れる方向に変化させたときのEDMノッチに対する検出性は、周波数□kHz及び□kHzにおいて、リフトオフ量□mmまでは検出信号はノイズ信号レベルを超えていることを確認し、リフトオフ量が欠陥検出性に影響を与えない範囲を確認した。

2. 試験内容－(2)実機適用試験 ②磁性体におけるECT特性把握及び適用性 評価結果(2/4)

a. 磁性体における磁気ノイズの影響

磁性体と非磁性体におけるノイズ信号の比較(例)



2. 試験内容－(2)実機適用試験 ②磁性体におけるECT特性把握及び適用性 評価結果(3/4)

d. 金属クラッド(ソフトクラッド)の影響

試験の結果、磁性粉末の堆積厚さによらず同程度の振幅値が得られたことから、金属クラッドが欠陥検出性に及ぼす影響は無視できるほど小さいと考える。

⇒炉内で発生するクラッドの成分のうち、磁性をもつマグネタイト(Fe_3O_4)の粉末を用いて金属クラッドの影響の確認試験を実施した。EDMノッチが付与された平板形状試験体と目標深さ2 mmの機械疲労亀裂が付与された平板形状試験体を水中に沈め、各試験体表面に磁性粉末を堆積させ、その堆積厚さと検出信号との関係性を評価した。

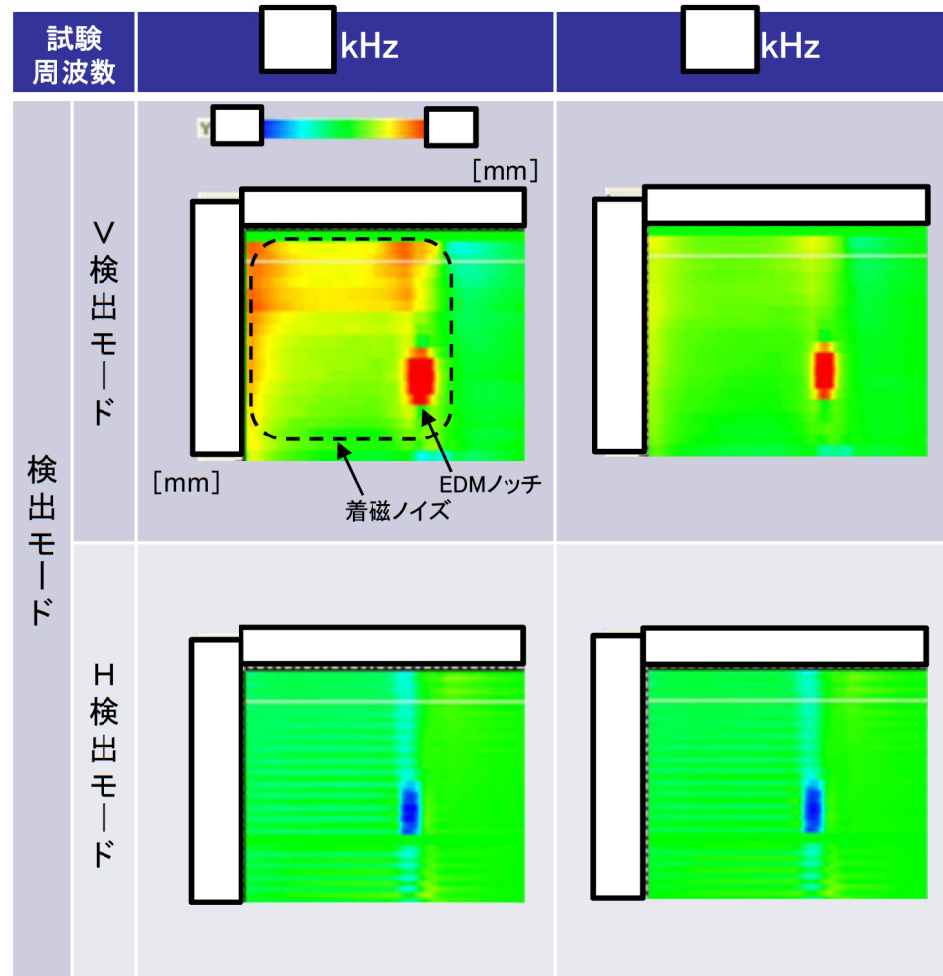
e. 着磁ノイズの影響

試験の結果、Cスコープによるノイズ信号の分布とリサージュ波形によるV検出モードとH検出モードの位相差より、欠陥信号と着磁ノイズ信号の識別が可能であることを確認した。

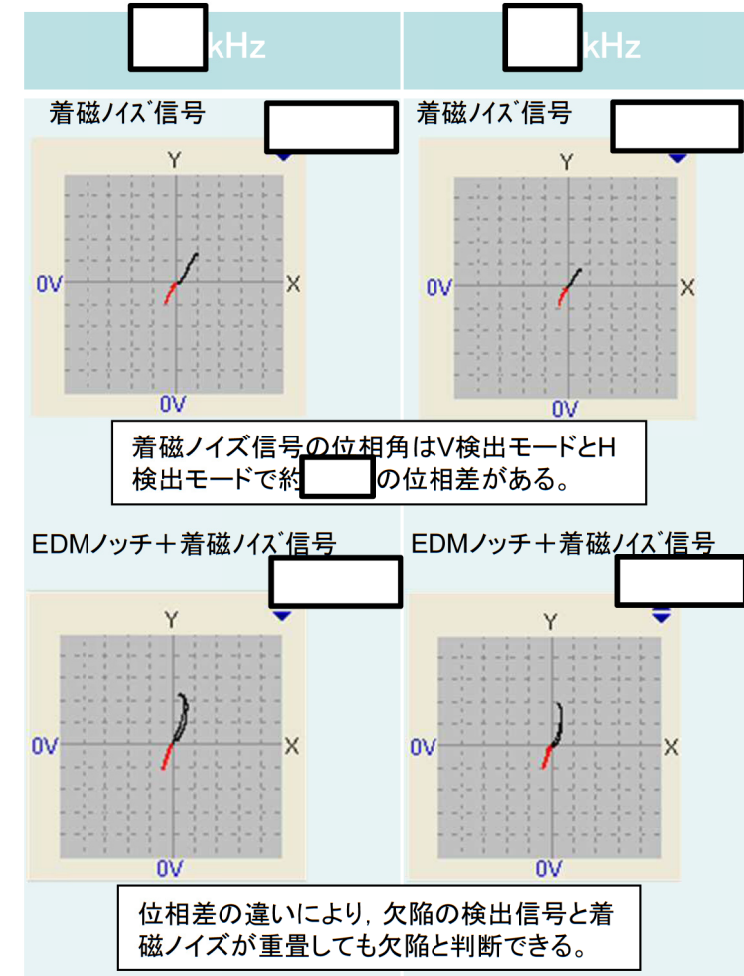
⇒マグネット等により試験体が着磁されたときの着磁ノイズ信号が欠陥検出信号に与える影響を確認した。試験結果のCスコープ画像から、使用したマグネットの形状が着磁ノイズ信号として確認できた。また、リサージュ波形から着磁ノイズ信号の位相角にV検出モードとH検出モードで約 の位相差があることが確認できた。この位相差によりEDMノッチの検出信号と着磁ノイズが重畳しても欠陥と判断できることを確認した。次頁に着磁ノイズの影響確認試験結果を例示する。

2. 試験内容－(2)実機適用試験 ②磁性体におけるECT特性把握及び適用性 評価結果(4/4)

e. 着磁ノイズの影響 確認試験結果(例) (EDMノッチ 深さ 1 mm)



Cスコープでの状況



リサージュ波形の状況

2. 試験内容－(2)実機適用試験 試験要領

項目			試験要領
使用機材	プローブ	試験コイル型式と方式	相互誘導形標準比較方式(パンケーキコイル)
		コイル外径	mm
		検出コイルの間隔	mm
	対比試験片	形状	平板
		材料	ASME SA-508 Class2
		人工きずの寸法	深さ: 1 ± 0.1 mm, 幅: 0.3 ± 0.05 mm, 長さ: 基準感度及び位相角の設定が再現良く測定できる長さ
要領	基準感度及び位相角の設定 (キャリブレーション)		対比試験片の人工きずの信号を以下に設定する V検出モード: 振幅 V, 位相角 H検出モード: 振幅 V, 位相角
	試験周波数		kHz, kHz
	走査条件	プローブの走査方向	平板形状試験体 欠陥に対して平行/直交/斜め45° 方向 2次元R形状試験体 ノズル円周方向 実機模擬 3次元形状試験体
		プローブの走査速度	mm/s 以下 ただし、データを再現よく採取可能な速度とする
		コイルの並び方向	平板形状試験体 欠陥に対して平行/直交/斜め45° 方向 2次元R形状試験体 ノズル軸方向
			実機模擬 3次元形状試験体

3. 特別点検試験要領

実機適用試験の成果を踏まえ、実機点検時の試験要領を設定した。
この内容を以下に示す。

項目			試験要領	備考
使用 機材	プローブ	試験コイル型式と方式	相互誘導形標準比較方式(パンケーキコイル)	JEAG4217-2010(付属書C)
		コイル外径	mm	実機適用試験と同様
		検出コイルの間隔	mm	実機適用試験と同様
	対比試験片	形状	平板, もしくは, 試験部の表面を模擬した形状	JEAG4217-2010(2330対比試験片)
		材料	ASME SA-508 Class2	実機と同材質
		人工きずの寸法	深さ: 1 ± 0.1 mm, 幅: 0.3 ± 0.05 mm 長さ: 基準感度及び位相角の設定が再現良く測定できる長さ	JEAG4217-2010(2330対比試験片)
要領	基準感度及び位相角の設定		対比試験片の人工きずの信号を以下に設定する V検出モード: 振幅 V, 位相角 H検出モード: 振幅 V, 位相角	JEAG4217-2010(解説-C-2300-1) 実機適用試験と同様
	試験周波数		kHz, kHz	JEAG4217-2010(C-2400 試験周波数)
	走査条件	プローブの走査方向	ノズル円周方向	実機適用試験と同様
		プローブの走査速度	mm/s 以下 ただし, データを再現よく採取可能な速度とする	JEAG4217-2010(2710 走査方法) 実機適用試験と同様
		コイルの並び方向 プローブの走査回数	ノズル軸方向 2回以上とする	実機適用試験と同様
	接触条件	プローブ設置	目視確認, もしくは, プローブ接触時の kHzのV検出モード の 振幅チャートにて, 以下を確認する (1) 振幅の変曲点を通過すること (2) 振幅の変曲点から V以上の信号が発生していること	実機適用試験により決定
欠陥 検出	記録レベル		kHzと kHzとも Vとする	実機適用試験により決定
	欠陥判定		4項欠陥判定方法に従う	JEAG4217-2010(3200 欠陥判定) 実機適用試験により決定

4. 欠陥判定方法

再現性のある試験結果において、記録レベルを超える指示部が欠陥によるものか否か手順に従って判定を行う。

a. の指示模様の確認

の欠陥は、検出信号が低い傾向であるため、この指示模様が確認される場合は、検出信号が高く得られる周波数kHzの検出モードにより確認する。明確に判定できない場合は、この指示模様に対し検出性が高い※プローブによる探傷を検討の上実施する。

※ 検出コイルの間隔を示している。

b. リサージュ波形及び振幅チャートによる識別

あらかじめ試験によって求めたリサージュ波形及び振幅チャートと欠陥の疑いのある指示部について、欠陥以外の信号と区別しながら識別する。

⇒次頁の表に欠陥信号と欠陥以外の信号を例示する。

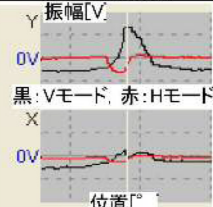
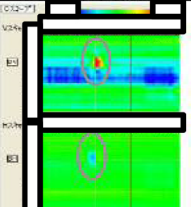
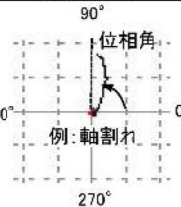
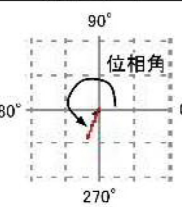
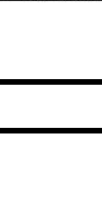
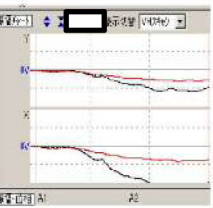
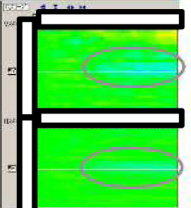
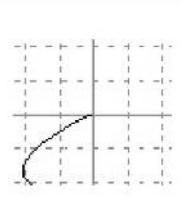
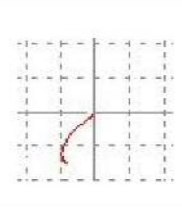
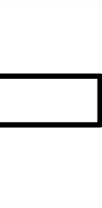
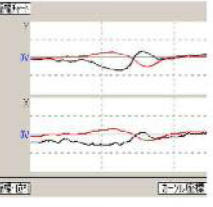
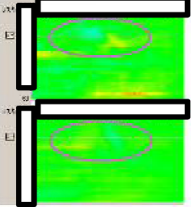
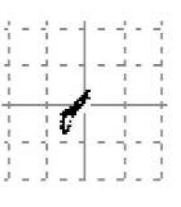
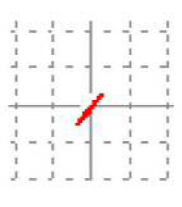
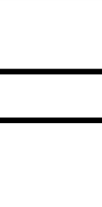
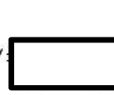
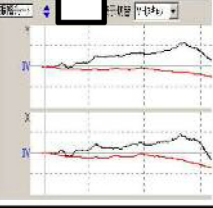
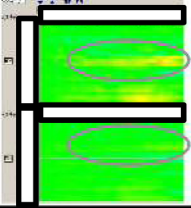
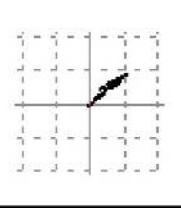
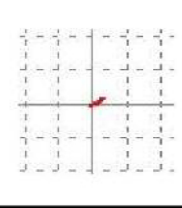
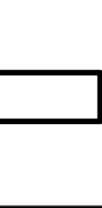
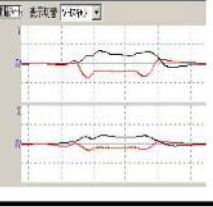
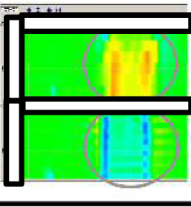
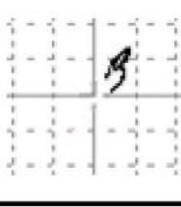
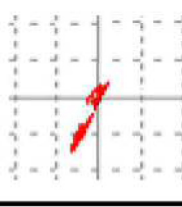
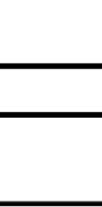
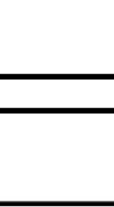
c. 指示模様による判定

b項で欠陥によるものか否か識別できない場合は、Cスコープの指示模様から、指示部周辺における検出信号の連続性、指示部の規則性の有無及び指示部の再現性を確認し、欠陥によるものか否か判定する。

d. 欠陥によるものか否か判断できない場合

c項で欠陥によるものか否か判断できない場合は、原則として欠陥とみなす。

4. 欠陥判定方法－欠陥信号と欠陥以外の信号(例)

信号の分類		振幅チャート		Cスコープ表示		リサーチ波形			
		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		 振幅[V] 0V 黒: Vモード, 赤: Hモード 位置[°] 0°	☐		☐	 90° 位相角 180° 0° 270° 例: 軸割れ	 90° 位相角 180° 0° 270°		軸割れ時  
欠陥以外の信号	リフトオフ (コイル浮き)		☐		☐				V:  H: 
	表面うねり (グラインダー痕, 凹凸, 肌荒れ等)		☐		☐				V:  H: 
	形状信号 (ドリフト, 形状変化)		☐		☐				V:  H: 
	電磁気的信号		☐		☐				

5. 結論

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。

東海第二発電所 審査会合における指摘事項の回答一覧表

No.	指摘事項	回答
0555-1 特別点検 (平成30年3月8日 第555回審査会合)	原子炉圧力容器 給水ノズルコーナー部の渦電流探傷試験について、事前の試験で十分な検出性があると判断した内容について詳細に説明すること。	平成30年6月5日 P2 ～ P22
0555-2 特別点検 (平成30年3月8日 第555回審査会合)	原子炉格納容器の目視試験において、点検不可範囲があることを前提として、劣化状況や今後の保全について説明すること。また、塗装の剥がれによるストレーナ閉塞に対する影響について説明すること。	平成30年6月5日 P23 ～ P25

点検不可範囲があることを前提とした、劣化状況や今後の保全について

1. 原子炉格納容器鋼板の劣化状況や今後の保全について

点検不可範囲のうち、目視試験条件が確保できない部位等については、従来の手法や周辺の塗膜の状況等から、原子炉格納容器鋼板が健全であることを確認している。

また、原子炉格納容器鋼板塗装の劣化状況を確認するため、原子炉格納容器鋼板塗装に対する付着性試験を実施した結果、至近に塗装していない部位が平均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が確認できた。

これまで、原子炉格納容器の日常保守点検にて、定期的な目視点検や塗装の補修を行ってきたが、軽微な発錆を認めたことから、今後は、3層ある塗装のうち下塗りが劣化しないよう塗装の管理基準を新たに設け点検計画に反映していく。

2. 塗装の剥がれによるストレーナ閉塞に対する影響について

上述の保全を行っていくことから、多くの塗装が剥落するような状況はないと考えるが、通常運転中や定検時に塗装の剥落があったとしても、定検起動前の原子炉格納容器内部の清掃・点検で検知・除去できることから、ストレーナ閉塞への影響はないものとする。

なお、工事計画認可申請書における添付書類「非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備のポンプの有効吸込水頭に関する説明書」において、重大事故等時の非常用炉心冷却系ポンプの入口ストレーナに異物が付着した場合の非常用炉心冷却系ポンプの有効吸込み水頭について審査中である。

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部位選定し、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、ドリーと呼ばれる円筒形の引張端を塗膜に接着剤で固着し、接着剤が乾いた後、ドリーを引っ張り、塗膜が剥がれるの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、原子炉格納容器鋼板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大きな劣化は認められないことが確認できる。

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。