東海第二発電所　審査資料	
資 料 番 号	TKK 審－22　改 1
提出年月日	平成 30 年 7 月 5 日

東海第二発電所
審査会合における指摘事項の回答
及び報告事項
（特別点検：原子炉圧力容器）

平成30年7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。

特別点検：原子炉圧力容器

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
0581-1 特別点検 （平成30年6月5日 第581回審査会合）	給水ノズルの渦電流探傷試験について，事前の適用試験に用いた模擬試験体と給水ノズルの透磁率のばらつきによる影響について説明すること。	平成30年●月●日 P2 ～ P7

報告事項一覧表

点検対象部位	報告事項	回答
基礎ボルト	全数120本の基礎ボルトから，曲がり構造の基礎ボルト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する。	平成30年●月●日 P8 ～ P10

1．透磁率のばらつきによる影響評価

○材料の化学成分や加工及び焼入れなどによる材質変化は透磁率に影響を与える。
○透磁率は，図1で示す磁化曲線（磁界Hと材料の磁束密度Bとの関係を表す曲線）上の点と原点を結ぶ直線の傾きで表される。
○透磁率が大きいほど磁束密度は大きくなるため，透磁率が大きい材料（磁性体）に渦電流探傷試験（以下，「ECT」という）を適用する場合，透磁率が小さい材料（非磁性体）と比べ試験面に強い渦電流が生じ，欠陥を検出する際のECT信号は大きくなるが，磁気ノイズも増加する。
○一般に磁性体へのECTでは透磁率のばらつきにより大きな磁気ノイズが発生し，点検が困難となることが知られている。

このため，磁性体材料である給水ノズルのECTにおいて，磁気ノイズが欠陥検出性に影響を及ぼさないことを事前の適用試験及び実機の探傷結果により確認した。

また，事前の適用試験に用いた模擬試験体と給水ノズルの材料及び製造過程が同等であることを確認した。

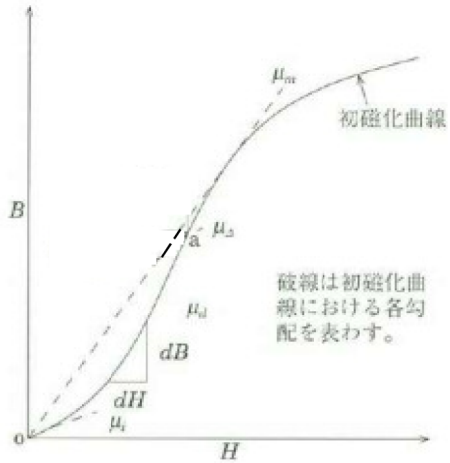


図1　磁化曲線

透磁率μは次式で定義され，磁束の通し易さを示す。

$$B = \mu H$$

B：磁束密度（T）
μ：透磁率（H/m）
H：磁界の強さ（A/m）

(1)事前の適用試験，実機探傷における磁気ノイズ比較（その１）

○事前の適用試験において用いた磁性体の模擬試験体（SA-508 CL.2）と透磁率が大きく異なる非磁性体（SUS316）について磁気ノイズを比較した結果，その差は僅かであった。

○模擬試験体は，給水ノズルと同材質であることから，両者の間で上述した磁性体と非磁性体以上の透磁率のばらつきがあるとは考え難い。

○実機探傷において発生した磁気ノイズは，模擬試験体と同程度であることを確認した。

以上より，透磁率のばらつきによる磁気ノイズの差は小さく，給水ノズルECTの欠陥検出性に影響を与えることはない。

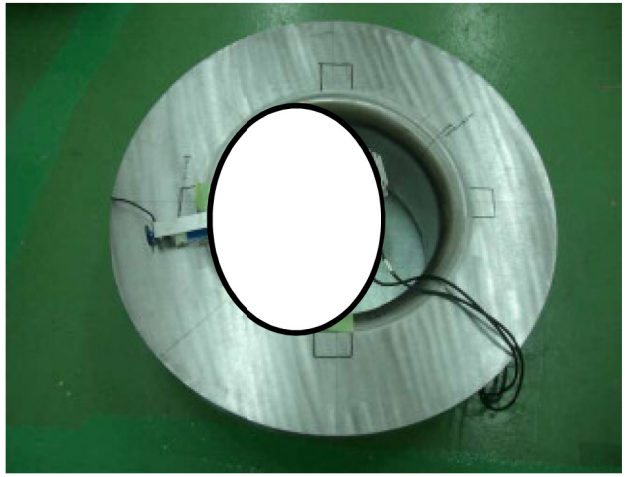


図2　模擬試験体

表1　比透磁率※1の比較

材質	比透磁率	備考
SA-508 CL.2(低合金鋼)※2	[redacted]	実測データ
非磁性体	約1	教本※3より抜粋

※1 比較のため比透磁率を用いる。物質の透磁率は真空の透磁率（$4\pi \times 10^{-7}$ H/m）と比透磁率の積で表され非磁性体は比透磁率が約1となる。

※2 事前の適用試験の試験体（給水ノズルと同材質）。

※3 社団法人日本非破壊検査協会 渦流探傷試験Ⅱ（7頁）

(1)事前の適用試験，実機探傷における磁気ノイズ比較（その2）

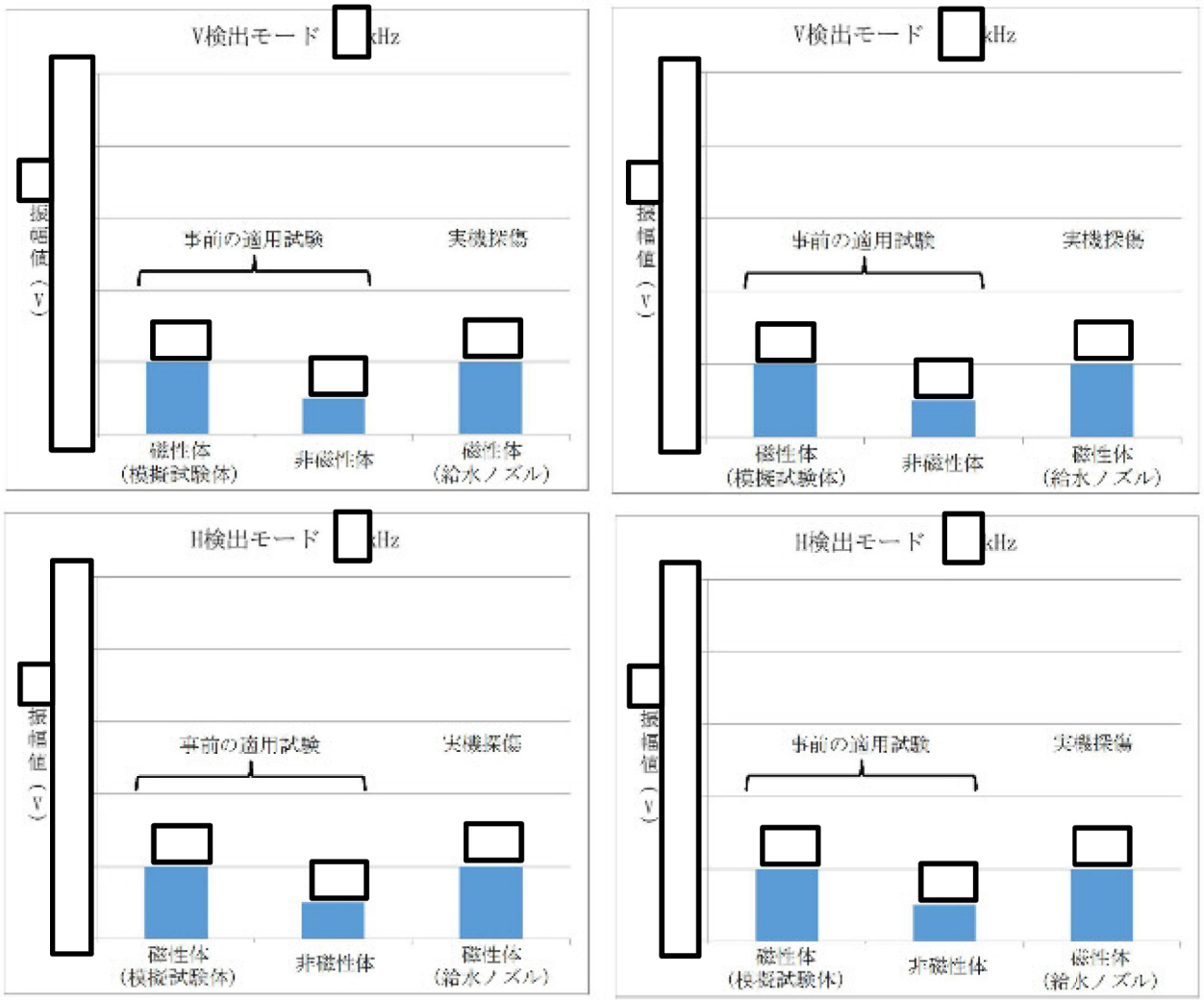


図3　事前の適用試験，実機探傷における磁気ノイズ比較

- 事前の適用試験の結果，磁性体（SA-508 CL.2）と非磁性体（SUS316）のノイズ信号の差は，V程度と僅かである。
- 実機探傷で発生した磁気ノイズは最大でVであり，事前の適用試験と同程度であった。
- 記録レベルであるVを超えるものではなく，欠陥検出性への影響は小さい。

(2)材料及び製造過程による透磁率の差について

○給水ノズルと事前の適用試験に用いた模擬試験体の材料及び製造過程を表2に示す。

○給水ノズルと模擬試験体は同材質であり，機械加工や熱処理（焼鈍）の内容も同等。

○加工等によって生じた結晶格子の歪みは，焼鈍により除去することができ，加工等により低下した透磁率が再び増加し磁気的性質が改善される。※4

※4 社団法人日本非破壊検査協会 渦流探傷試験Ⅱ（31頁）

以上より，給水ノズルと模擬試験体の透磁率は同等であり，仮に機械加工等により局所的に透磁率のばらつきがあった場合であっても，焼鈍によって磁気的性質が改善され透磁率のばらつきは低減される。

表2　給水ノズルと模擬試験体の材料及び製造過程の比較

対象	材質・化学成分（単位：%）										機械加工	熱処理
	成分	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V		
	Min.	–	0.15	0.50	–	–	0.50	0.25	0.55	–		
	Max.	0.27	0.40	1.00	0.025	0.025	1.00	0.45	0.70	0.05		
給水ノズル	SA-508 CL.2											焼鈍 ℃±℃
模擬試験体	SA-508 CL.2											焼鈍 ℃～℃

2. まとめ

○透磁率は材質や製造過程の違いによるばらつきが考えられ，一般に磁性体へのECTでは非磁性体と比べ大きな磁気ノイズが発生し，点検が困難になることが知られているが，今回実施した給水ノズルコーナー部ECTのモックアップ試験では，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った。

○模擬試験体と同材質である給水ノズルの間で磁性体と非磁性体以上の透磁率のばらつきが発生していることは考え難く，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ることを確認した。

○給水ノズル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所的に透磁率のばらつきがあった場合であっても，焼鈍によって磁気的性質が改善され透磁率のばらつきは低減される。

以上のとおり，今回実施した給水ノズルコーナー部のECTにおいて，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。

特別点検：原子炉圧力容器

審査会合における指摘事項の回答一覧表

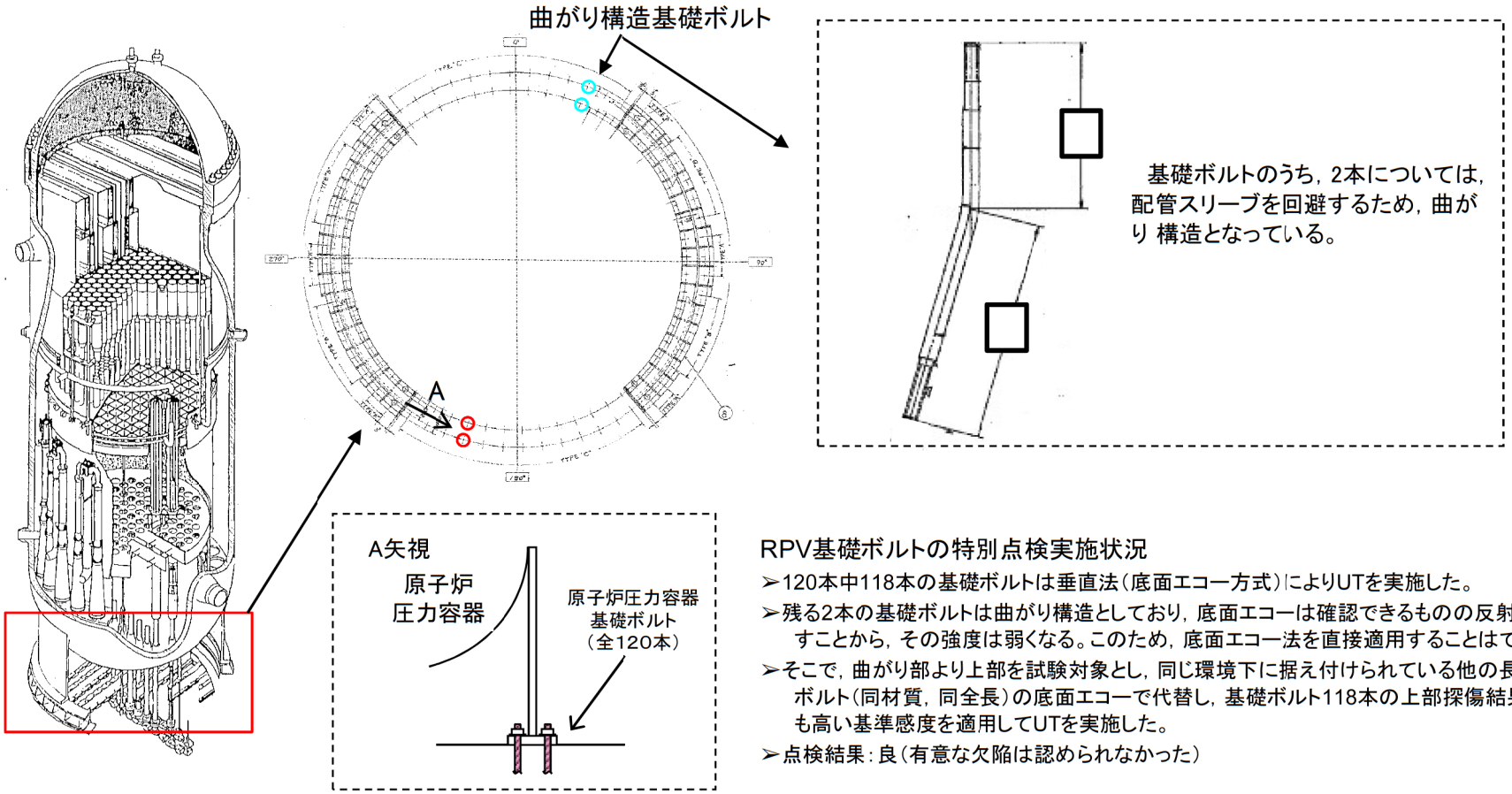
No.	指摘事項	回答
0581-1 特別点検 （平成30年6月5日 第581回審査会合）	給水ノズルの渦電流探傷試験について，事前の適用試験に用いた模擬試験体と給水ノズルの透磁率のばらつきによる影響について説明すること。	平成30年●月●日 P2 ～ P7

報告事項一覧表

点検対象部位	報告事項	回答
基礎ボルト	全数120本の基礎ボルトから，曲がり構造の基礎ボルト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する。	平成30年●月●日 P8 ～ P10

1. 経緯

原子炉圧力容器（以下，「RPV」という）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，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た。



RPV基礎ボルトの特別点検実施状況

- 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，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。
- 点検結果：良（有意な欠陥は認められなかった）

2. 評価結果

許容応力状態	地震荷重	温度(℃)	応力の種類	応力評価結果(MPa)		許容応力(MPa)
				120本での評価(工事計画認可申請書での評価値)	118本での評価(2本除いた評価値)	
$Ⅲ_AS$	S_d*	66	引張応力	66	67	491
			せん断応力	11	11	378
			組合せ応力	66	67	491
$Ⅳ_AS$	S_S	66	引張応力	118	120	491
			せん断応力	16	16	378
			組合せ応力	118	120	491
$Ⅳ_AS$	S_d*	171	引張応力	66	67	458
			せん断応力	11	11	353
			組合せ応力	66	67	458

上記のとおり，RPV基礎ボルトを2本除いた118本と仮定して，工事計画認可申請書と同様の評価手法により強度評価を行った結果，許容応力を十分満足することを確認した。また，工事計画認可申請書における120本の評価値と比較しても，その差は小さいことが確認できた。