

資料 2 - 2

**日本電気協会 原子力発電用機器における渦電流探傷試験指針
(JEAG4217-2018) に関する技術評価について (案)**

目次

4. 1. 1	渦電流探傷試験の用途.....	4
4. 1. 2	非破壊試験技術者の資格.....	6
4. 1. 3	対比試験片の材料.....	10
4. 1. 4	探傷器の校正方法.....	13
4. 1. 5	位相角の設定及び確認.....	16
4. 1. 6	附属書 D 低合金鋼の母材部における疲労割れの渦電流探傷試験要領	18

4. 1. 3 対比試験片の材料

使用機材のうち対比試験片については「2330 対比試験片」に規定している。

(1) 変更の内容

- ① 試験部と異なる材質の対比試験片を用いる場合の条件に、電磁気的特性が「解説表-2330-2-1 オーステナイト系ステンレス鋼と高ニッケル合金の電磁気的特性の比較」に例示する値と同程度であることを「(解説-2330-2) 対比試験片の材料」に追加した。

表 4. 1. 3-1 対比試験片に関する規定内容の変更点

渦電流探傷試験指針 2018		渦電流探傷試験指針 2010		
(解説-2330-2) 対比試験片の材料 対比試験片は原則として、試験部と同じ材質の対比試験片を使用する。ただし、試験部と異なる材質の対比試験片の電磁気的特性が、解説表-2330-2-1に例示する値と同程度であって試験部と同じ材質の対比試験片に比べて、欠陥の疑いのある指示部を保守的に抽出でき、欠陥判定に影響しないことが試験などにより確認されている場合は、試験部と異なる材質の対比試験片を使用してもよい。(略)		(解説-2330-2) 対比試験片の材料 解説表-2330-2-1に示すように、オーステナイト系ステンレス鋼と高ニッケル合金の電磁気的特性は若干異なる。この違いが欠陥の疑いのある指示部の抽出や欠陥判定に影響を及ぼす可能性があるため、原則、試験部と同じ材質の対比試験片を使用する。ただし、試験部と異なる材質の対比試験片でも、試験部と同じ材質の対比試験片に比べて、欠陥の疑いのある指示部を保守的に抽出でき、欠陥判定に影響しないことが試験などにより確認されている場合は、試験部と異なる材質の対比試験片を使用してもよい。(略)		
解説表-2330-2-1 <u>オーステナイト系ステンレス鋼と高ニッケル合金の電磁気的特性の比較</u>		解説表-2330-2-1 電磁気的特性の比較		
材料		電気伝導率 (S/m)	比透磁率	出典
材質	種類			
オーステナイト系 ステンレス鋼	SUS316	1.2~1.3×10 ⁶	1.0~1.3	[1]
	SUS304	1.4×10 ⁶	1.02	[2]
高ニッケル合金	NCF600	9.5×10 ⁵	1	[3]
	YNiCr-3	8.5×10 ⁵	1	[3]
(略)		(略)		

(2) 日本電気協会による変更の理由

- ① オーステナイト系ステンレス鋼と高ニッケル合金に特化しない表記に見直した。

(3) 検討の結果

- ① 「2330 対比試験片」(2)材料において、「対比試験片に用いる材料は、試験部と電磁気的特性が同等なものとする。」と記載されているが、炭素鋼系の電磁気的特性は、化学成分、熱処理状態、加工度などによって変化するといわれている。「(解説 2330-2) 対比試験片」ではオーステナイト系ステンレス鋼と高ニッケル合金の電磁気的特性について記載があるのみで、低合金鋼に対する電磁気的特性の同等性については記載されていない。「附属書D 低合金鋼の母材部における疲労割れの渦電流探傷試験要領」を追加したことで、本文規定と解説に「附属書D 低合金鋼の母材部における疲労割れの渦電流探傷試験要領」の規定内容が含まれることになるが、「2330 対比試験片」の「(2)材料」には、「対比試験片に用いる材料、試験部と電磁気的特性が同等とする。」とあり、「(解説-2330-2) 対比試験の材料」には、低合金鋼の例は追加されていない。日本電気協会は、低合金鋼における電磁気的特性の同等性について、「(解説-2330-2 対比試験片の材料)」に関する表現は、渦電流探傷検討会で繰り返し議論した。しかし、低合金鋼の電磁気特性を示す文献が見つからず、現在の表現となっている。EJAM に示す電力共研の試験体は、材質、製造加工方法及び熱処理を同等とした。実際のプラント適用においても、同様の考えで対比試験片は準備する。また、現場測定において、「信号の分類」のうち欠陥以外の信号の特性を比較することで照射効果の影響の有無は確認できると考える。」としている。(資料1-5 1.(3)(b)の質問回答)

- 磁性材料の場合、熱履歴、放射線照射等により磁気特性は変わるのではないか？
- 材料が同じだからといって、電磁気的特性、特に磁気的な特性が同じといえるのか？

「(解説-2330-2)対比試験片の材料」の電磁気的特性についての記載は、オーステナイト系ステンレス鋼と高ニッケル合金についてのものであるが、低合金鋼の試験部位と対比試験片に対する電磁気的同等性を判断するのに必要な事項について検討を行い、記載することを要望する。

「2330 対比試験片」の「(5)人工きずの種類、形状及び寸法」には、人工きずの深さ及び幅が規定されている。日本電気協会は、低合金鋼についても「探傷面開口欠陥の検出を想定しているため、非磁性体と同じ仕様の人工欠陥を採用している。試験に用いた人工欠陥の計画図参照(図 4.1.3-1)。」としている(資料1-5 1.(3)(c)の質問回答)。

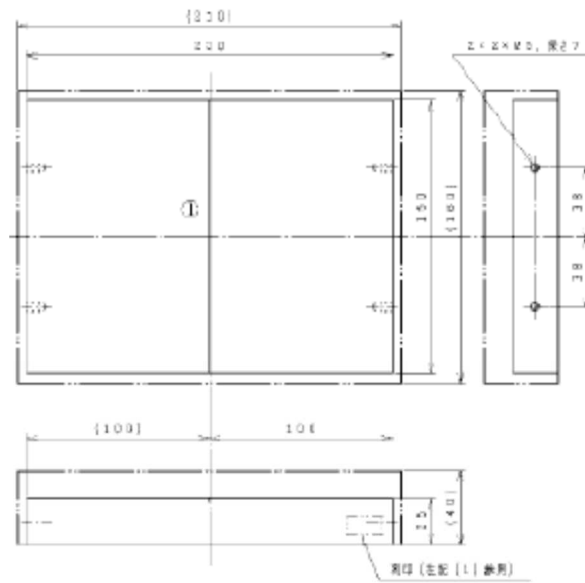


表1. 欠陥 (縦向き) 仕様 単位: mm

No.	深さ	長さ	幅目標
①	1.0	∞	0.3 (最大0.5)

図 4.1.6 対比試験片の概要

4.1.6①で引用する文献には人工きずの幅についての記載がないが、計画図には幅目標 0.3 (最大 0.5) mm と記載されている。なお、「2330 対比試験片」(5)では人工欠陥の幅は 0.3mm±0.05mm と規定されている。

- 人工欠陥の寸法の妥当性を判断するには、試験体の人工欠陥寸法の実測値を確認する必要があるのではないか？

(4) 適用に当たっての条件
追而

4. 1. 6 附属書D 低合金鋼の母材部における疲労割れの渦電流探傷試験要領

低合金鋼の母材部における渦電流探傷試験要領を附属書として追加している。

(1) 規定の内容

D-1000 総則：附属書Dに記載のない試験要領については本文第2章から第4章によとした。「2120 試験部の表面状態」において、「欠陥検出又は欠陥長さ測定を妨げない程度に固着スケール及び付着物が取り除かれ、滑らか」と規定している。(⑦ハードクラッドの磁性成分のノイズが検出結果に与える影響)

D-2100 使用機材：本文の2300項によとした。「2320 プローブ」(4)において、「必要に応じて磁気飽和機能を備えてもよい」と規定(③磁気飽和)、「2330 対比試験片」において、材料は試験部と電磁気的特性が同等なものと規定している。(④放射線照射の効果が検出特性に与える影響)

D-2200 探傷器の校正及びプローブの性能確認：本文の2400項によとした。

D-2300 基準感度、位相角の設定及び確認(①)

(a) クロスコイル(自己誘導形自己比較方式)：附属書Aの2300項によとした。

(b) パンケーキコイル(自己誘導形標準比較方式)：附属書Bの2300項によとした。

(c) パンケーキコイル(相互誘導形標準比較方式)：単一プローブ又はアレイプローブのV検出モードとH検出モードをプローブの向き又は走査方向が異なる場合及び同じ場合に区別し、対比試験片の人工きずを交差する方向に走査して検出されるきずの信号の振幅、位相角を基準値に設定する。なお、前回の位相角に比べて 10° を越えて変化した場合は、その間の試験を無効とし、新たな調整を行い、無効になった試験範囲について試験を行うと、2520項(7)の記載を変更した。

D-2400 試験周波数：10kHz～1MHzの2種類以上と規定した。(②)

D-2500 プローブの走査：プローブの走査方向、走査ステップ及び押付けは使用する各コイル及び方式の附属書によとし、パンケーキコイル(相互誘導形標準比較方式)における検出モードは附属書Cの2530項を適用した。

D-3000 欠陥検出及び欠陥長さの測定要領：D-3100 欠陥の疑いのある指示部の抽出(⑧低合金鋼への信号の分類の適用性)、D-3200 欠陥判定(⑤放射線によるノイズが検出結果に与える影響、⑥水中で検出する場合と空中で検出する場合の結果の差と適用部位)及びD-3300 欠陥長さ測定は使用する各コイル及び方式の附属書によとした。

D-4100 記録手順：本文の4100項によとした。

D-4200 記録内容：使用する各コイル及び方式の附属書によとした。

(2) 検討の結果

「(解説-D-1100-1)適用」によれば、本附属書は、低合金鋼の疲労割れ(熱疲労割れ及び機械疲労割れ)に対する検証を行った国内の確認試験結果³(以下「引用文献(EJAM)」

³ EJAM Vol.8 No.4 NT-82(February, 2017), "Development of the Eddy Current Testing (ECT)

という。)に基づいて定めたとのことである。

① 「D-2300 基準感度、位相角の設定及び確認」

基準感度及び位相角は「表 4.1.6-1 引用文献 (EJAM) における検証内容」に示すように設定しているが、パンケーキコイル (相互誘導形標準比較方式) の場合は V 検出モード (検出コイルと励磁コイルのコイル軸を平行で縦並びに配置) と H 検出モード (検出コイルと励磁コイルのコイル軸を平行で横並びに配置) のプローブの向きと走査方向が異なる場合と同じ場合で異なる。基準感度が異なる理由は、引用文献 (EJAM) に記載されていないが、1 回の走査で直交 2 方向の検出モードが利用可能である。

「図 4.1.6-1 引用文献 (EJAM) Table3 (欠陥検出性)」及び「図 4.1.6-2 引用文献 (EJAM) Fig.6 (欠陥長さ測定結果)」によれば、クロスコイル (自己誘導形自己比較方式) 及びパンケーキコイル (自己誘導形標準比較方式) (図中の Cross coil & pancake) がパンケーキコイル (相互誘導形標準比較方式) (図中の TR pancake) よりも検出性がよいという結果である。なお、パンケーキコイル (自己誘導形標準比較方式) は欠陥検出のみ行い、欠陥長さ測定は行っていない。

表 4.1.6-1 引用文献 (EJAM) における検証内容

プローブの種類	基準感度の設定	位相角の設定	周波数	有効性
クロスコイル (自己誘導形自己比較方式)	2V±0.3V	90° ±5°	250kHz, 500kHz	欠陥検出 長さ測定
パンケーキコイル (自己誘導形標準比較方式)	2V±0.2V	90° ±5°	250kHz, 500kHz	欠陥検出
パンケーキコイル (相互誘導形標準比較方式)	3V±0.3V(注1) 2V±0.2V(注2)	90° ±10° (注1) 250° ±10° (注2)	25kHz, 100kHz	欠陥検出 長さ測定

注1: V 検出モードと H 検出モードのプローブの向き又は走査方向が異なる場合

注2: V 検出モードと H 検出モードのプローブの向き又は走査方向が同じ場合

Table3 The results of flaw detection by each combination of specimens and probes

ID. Specimens	probes	Signal source	TR pancake	Cross coil & pancake	Uniformization	Mutual-Induction Self-comparative
1. plates (average roughness Ra=3 μm, machining) No.1 ^{*1}		notch (1mm depth, 11.8mm length)	⊙	⊙	⊙	○*
2. plates (average roughness Ra=9 μm) No.1 ^{*1}		notch (1mm depth, 11.8mm length)	⊙	⊙	⊙	○*
3. plates (oxide film) No.1 ^{*1}		notch (1mm depth, 11.8mm length)	⊙	⊙	⊙	○*
4. plates (cladding) No.1 ^{*1}		notch (1mm depth, 11.8mm length)	○*	⊙	×*2	○*
5. plates (machining) No.1 ^{*1}		notch (0.5mm depth, 8.4mm length)	⊙	⊙	⊙	⊙
6. plates (machining) No.2 ^{*1}		thermal fatigue flaw (0.5mm depth, 2.3mm length)	△*2	⊙	×*2	○*
7. 2-dimension (machining) No.3 ^{*1}		notch (0.5mm depth, 8.4mm length)	⊙	⊙	⊙	⊙
8. 2-dimension (machining) No.4 ^{*1}		mechanical fatigue flaw (1.4mm depth, 13.8mm length)	⊙	⊙	△*2	⊙
9. 3-dimension (actual plant machining) No.5 ^{*1}		notch (1mm depth, 11.8mm length)	⊙	⊙	⊙	⊙
10. 2-dimension (machining) No.3 ^{*1}		notch (1mm depth, 11.8mm length)	⊙	⊙	⊙	⊙

*1: Table 2 Specification of the specimens' number

*2: Lowest detectability among the multiple testing conditions

⊙: Above recording level and above 4 in SN ratio

○: Above recording level or above 4 in SN ratio

△: Under recording level and under 4 in SN ratio

×: Undetectable

図 4.1.6-1 引用文献 (EJAM) Table3 (欠陥検出性)

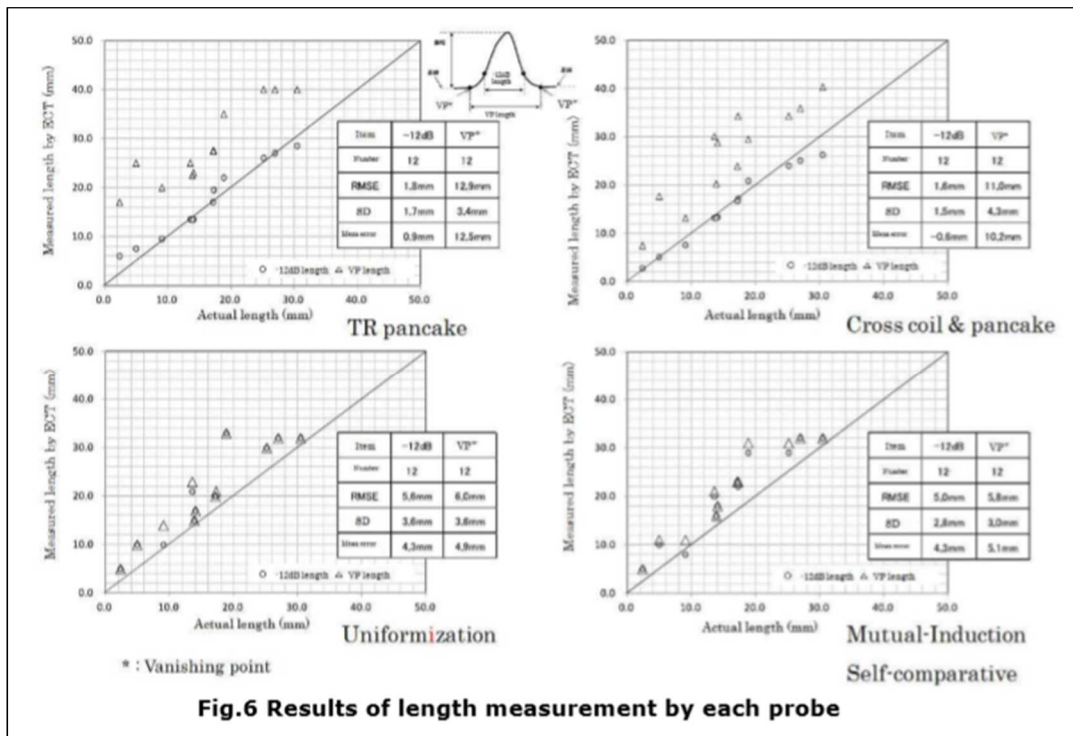


図 4.1.6-2 引用文献 (EJAM) Fig. 6 (欠陥長さ測定結果)

② 「D-2400 試験周波数」

試験周波数は、欠陥の検出性に関係する重要なパラメータであることから、欠陥の検出に有効な試験周波数で試験を行う必要がある。「(解説-D-2400-1 試験周波数)」によれば、国内の確認試験において「表 4.1.6-1 引用文献 (EJAM) における検証内容」に示す周波数が適用され低合金鋼の疲労割れによる欠陥に対して検出性及び長さ測定についての有効性が示されているとしている。渦電流探傷試験指針 2018 は、適用できる周波数の範囲を 10kHz から 1MHz までとしているが、引用文献 (EJAM) における検証内容の試験周波数は「表 4.1.6-2 引用文献 (EJAM) の試験マトリックス」に示すとおり、プローブの種類毎に 2 点である。試験周波数については、「2010 事前確認」に基づきその周波数での欠陥検出性能及び欠陥長さ測定性能が国内確認試験での試験結果と同等以上であることを示す必要がある。

表 4.1.6-2 引用文献 (EJAM) の試験マトリックス (1/2)⁴

試験体				欠陥					プローブ種類				
試験体形状	材質	TP No.	表面状態/ 粗さ/ 酸化皮膜の 有無	欠陥 種類	欠陥 No.	方向	深さ	長さ	TR パンケーキ 25kHz, 100kHz 検出モード: V/H 走査方向: 直交・平行・ 45°	クロス&パンケー キ*1 250kHz, 500kHz 走査方向: 直交・平行・ 45°*2			
平板	SFVQ1A	1	機械加工	EDM ノ ッチ	1*3	—	0.5 ～ 5.0	∞*5, 8.4 ～ 26.6	欠陥検出 長さ測定	欠陥検出 長さ測定			
		2			2*4								
	SFVQ2A 相当	A			3						3		
		SFVQ1A	3		グラインダ SUS クラッド						4, 5		
	4		機械加工		6, 7								
	5		研磨		8, 9								
	6A		酸化皮膜 (走査面・亀 裂内)		10, 11								
	6B		酸化皮膜 (走査面の み)		12, 13								
	7*6		機械加工		14-20								
	8- 11		機械加工		疲労亀裂 (機械, 熱 *7)						21-24	—	0.5 ～ (5.0)*8
	12-	25-28											
	15												

- *1: 欠陥長さ測定はクロスコイルのみ実施
- *2: 45° 方向走査は欠陥検出, パンケーキコイルのみ実施
- *3: TR パンケーキコイルプローブのみ実施
- *4: クロスコイル&パンケーキコイルプローブのみ実施
- *5: 欠陥検出のみ実施
- *6: 直行方向走査のみ実施

⁴ 第 2 回渦電流探傷試験、超音波探傷試験及び漏えい率試験に係る日本電気協会の規格の技術評価に関する検討チーム会合資料 2-1

- *7: 直交方向, 平行方向走査のみ実施
- *8: (数値)は計画値を示す

表 4.1.6-2 引用文献 (EJAM) の試験マトリックス (2/2)

試験体形状	試験体				欠陥				プローブ種類	
	材質	TP No.	表面状態/粗さ/酸化皮膜の有無	欠陥種類	欠陥 No.	方向	深さ	長さ	TR パンケーキ 25kHz, 100kHz 検出モード: V/H 走査方向: 直交	クロス&パンケーキ*1 250kHz, 500kHz 走査方向: 直交
2次元押出R形状	SFVQ1A	16	機械加工	EDM ノッチ	29, -33	軸周 45°*9	0.5 ~ 5.0	8.4 ~ 26.6	欠陥検出 長さ測定	欠陥検出 長さ測定
		17			34-37		軸	1.4 ~ 5.0		
		18-21		疲労亀裂 (機械)	38-41					
実機ノズル形状	SFVQ1A	22-24	機械加工 (研磨)	EDM ノッチ	42-44	軸周 45°	1.0	11.8		
		25	機械加工		45, 46					

- *1: 欠陥長さ測定はクロスコイルのみ実施
- *9: クロス&パンケーキコイルプローブは欠陥検出のみ実施

また、渦電流探傷試験指針 2018 にはプローブのインピーダンスについて規定されていない。(資料 1-5 1. (1) の質問回答)。

- 試験周波数は、欠陥検出性能及び欠陥長さ測定性能が確認されたものに限定すべきではないか？
- インピーダンスは、渦電流探傷の信号波形に関係することから、試験の再現性の点から試験周波数と一体のものとして記録される必要があるのではないか？

したがって、「D-2400 試験周波数」の「試験周波数は、10KHz から 1MHz の 2 種類以上の周波数とする。」は「試験周波数は、欠陥検出性能及び欠陥長さ測定性能が国内確認試験での試験結果と同等以上であることが確認されたものに限る。」と読み替え、「4200 記録内容」の(2)g. (e) (i)の「プローブの管理番号」は「プローブの管理番号及びインピーダンス」と読み替える必要がある。

③ 磁気飽和についての性能要求仕様

「2320 プローブ」(4)において「プローブには、必要に応じて磁気飽和機能を備えてもよい。」とされ、「(解説-3200-1)その他の渦電流による手法」に「その他の渦電流

による手法として、磁気飽和機能を適用した場合と適用しない場合の信号を比較し、指示部の信号が電磁気的信号によるものか否かを判定する方法などがある。」とされている。「附属書 A クロスコイル（自己誘導形自己比較方式相互誘導型自己比較方式及び標準比較方式）の渦電流探傷試験要領」、「附属書 B パンケーキコイル（自己誘導型標準比較方式）の渦電流探傷試験要領」、「附属書 C パンケーキコイル（相互誘導型標準比較方式）の渦電流探傷試験要領」及び「附属書 D 低合金鋼の母材部における疲労割れの渦電流探傷試験要領」のうち、磁気飽和に言及しているのは「附属書 A クロスコイル（自己誘導形自己比較方式相互誘導型自己比較方式及び標準比較方式）の渦電流探傷試験要領」のみである。日本電気協会は、引用文献において実施した試験では「磁気飽和が必要とされる電磁気的ノイズは確認されなかった。そのため、本文は全ての附属書に関わることであるが、附属書 D で記す範囲においては検討していない。」としている（資料 1-5 1. (3) (a) の質問回答）。

磁気飽和に関する技術的妥当性が確認できなかったことから、「附属書 D クロスコイル（自己誘導形自己比較方式相互誘導型自己比較方式及び標準比較方式）の渦電流探傷試験要領」について磁気飽和機能を適用することは妥当ではない。したがって、磁気飽和機能は適用除外とする必要がある。

強磁性材料の場合は、試験体中の局所的な部分毎に透磁率を始めとする磁気特性が異なるという事実がある。導電率の局所的変動というのは極めて小さいが、磁気特性のばらつきは大きく、強磁性材料の探傷試験の場合はきずが無くても、磁気特性の局所的な変化によって大きな信号が観測され、これが試験目的に対して大きな障害となる⁵といわれていることから、低合金鋼に対する渦電流探傷試験では磁気飽和についての知見を記載することを要望する。

④ 放射線照射の効果が、検出特性に与える影響

放射線照射の効果が検出特性に与える影響について、日本電気協会は「渦電流検査は数時間の測定のため、計測に与える影響はない。また、放射線照射による材料の電磁気特性変化の影響は小さく、検出特性への影響はないと考える。」としている。

欠陥の検出性に対する影響因子である導電率及び比透磁率について、日本電気協会は以下のように説明している。

a) 導電率の変化について

ECT の検出性の指標である浸透深さ δ は下式で与えられる。

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}}$$

ここで、 f は周波数、 μ は透磁率、 σ は導電率

照射による導電率 σ の変化は、電子線照射の場合に「図 4.1.6-3 電子線照射材の導電率測定結果」では約 2%増、図 4.1.6-4 中性子照射による導電率の変化」では

⁵ [非破壊検査技術シリーズ] 渦流探傷試験 III、日本非破壊検査協会編（2003）、pp40

約 11%増であり、浸透深さ δ は約 5%の低下に留まることから、照射による導電率の変化が検出性に与える影響は小さい。

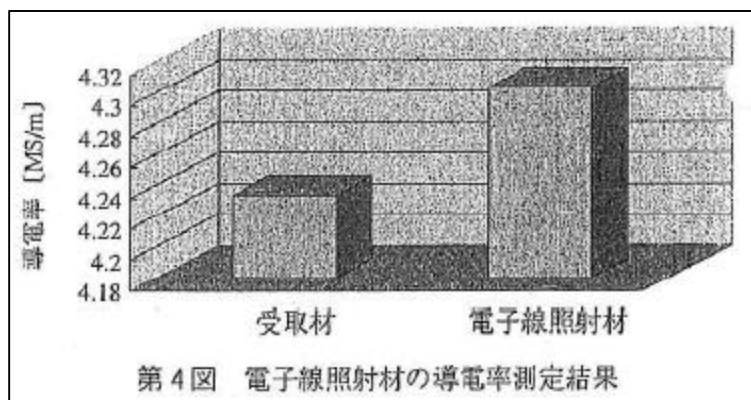


図 4. 1. 6. -3 電子線照射材の導電率測定結果⁶

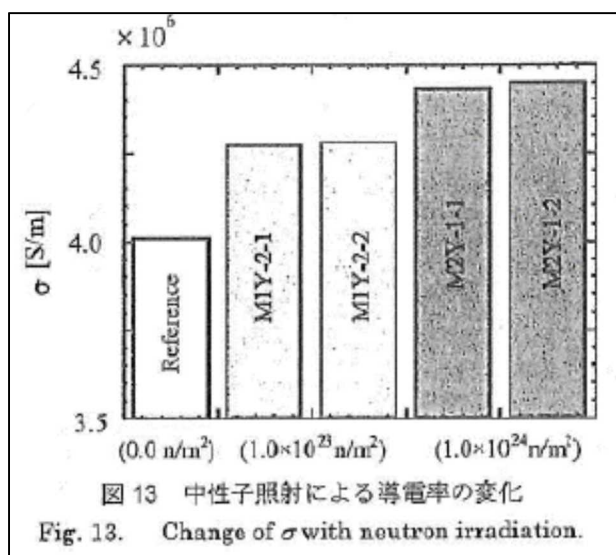


図 4. 1. 6. -4 中性子照射による導電率の変化⁷

また、照射により比透磁率 μ_s は、「図 4. 1. 6-5 中性子照射による SQV2A 鋼の $\mu_s - B_m$ 曲線への影響」及び「図 4. 1. 6-6 未照射材と照射材の比透磁率」に示すように変化するが、渦電流探傷試験に用いる磁束密度 B は 0.1T より小さいため、比透磁率 μ_s はほとんど変化しないことから、検出性に与える影響は小さい。(資料 1 - 5 1. (2) (a) の質問回答)。

⁶中東 他、「電磁気的手法による原子炉圧力容器鋼 (SQV2A) の照射脆化度評価」、検査技術、P.9-16 (2008.3)

⁷高橋 他、「中性子が照射された SQV2A 鋼の電磁気特性」、電気学会マグネティックス研究会資料、Vol.MAG-07、P.5-10 (2007.12)

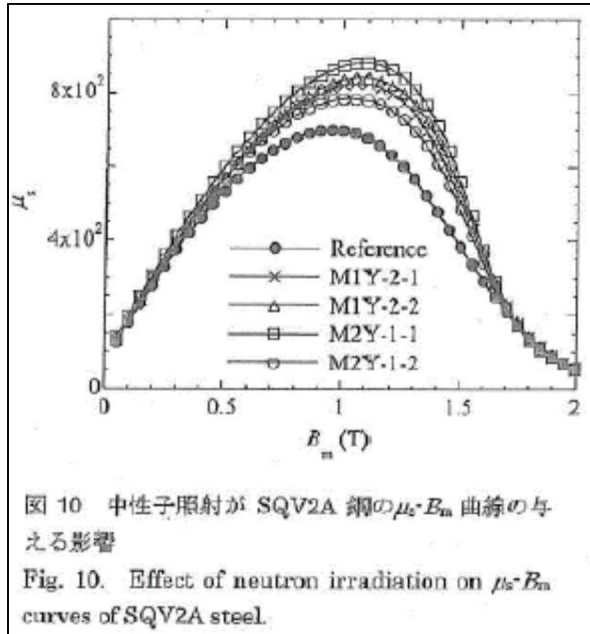


図 4. 1. 6-5 中性子照射による SQV2A 鋼の μ_s - B_m 曲線への影響⁸

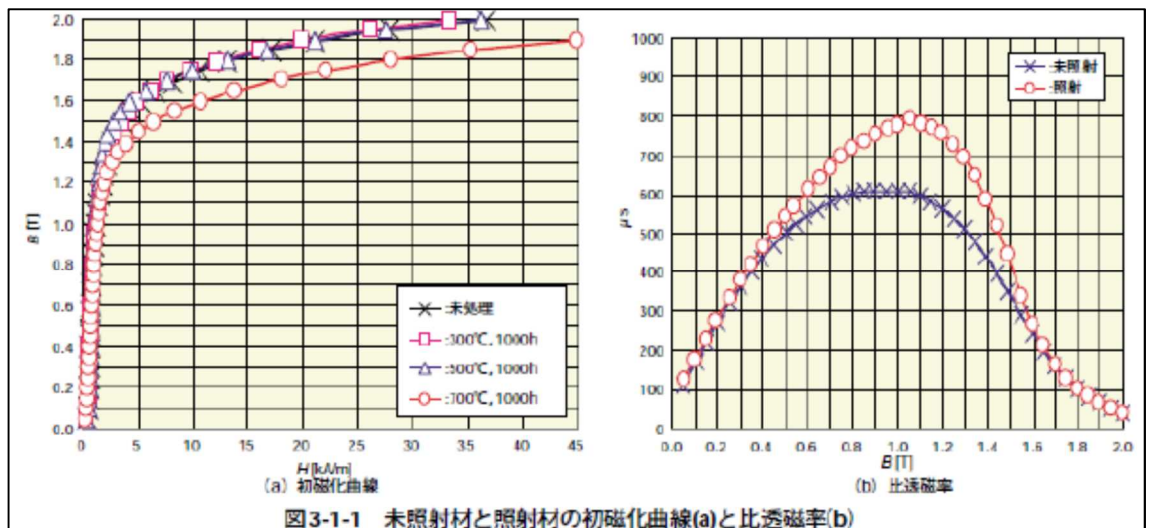


図 4. 1. 6-6 未照射材と照射材の比透磁率⁹

- 放射線照射の効果が検出特性に与える影響は、小さいといえるのではないか？

⑤ 放射線によるノイズが検出結果に与える影響

⁸ 高橋 他、「中性子が照射された SQV2A 鋼の電磁気特性」、電気学会マグネティクス研究会資料、Vol.MAG-07、P.5-P.10 (2007.12)

⁹ 中東 他、「電磁気的手法による圧力容器鋼 (SQV2A) の照射脆化度評価」、溶接・非破壊検査技術センター 技術レビュー、vol.2、P.34-P.40 (2006)

放射線によるノイズが検出結果に与える影響について、日本電気協会は「放射線ノイズはプローブおよび原子炉内のケーブルに重畳する可能性があるが、渦電流の測定周波数に比べ短時間の信号変化であるため、計測信号から分離した評価が可能です。また、放射線ノイズ以外のノイズ要因として、ケーブルが長い場合にノイズを拾いやすい傾向がありますが、高シールドケーブルやプリアンプ（中間増幅器）の使用により SN 比を確保することが可能です。プリアンプの配置は作業環境に応じて検討が行われ、気中だけでなく、材料の放射化影響が小さい低線量エリアでは、プリアンプを水中に配置することもあります。」としている（資料 1-5 1. (2) (b) の質問回答）。

- 高シールドケーブルやプリアンプの使用により SN 比を確保した事例を示してもらった必要があるのではないかと？

放射線ノイズは渦電流探傷装置としてのフィルタ回路特性により低減していると考えられるものの、フィルタ回路特性について明確にする必要がある。また、ノイズ対策としての高シールドケーブルやプリアンプ（中間増幅器）の使用を規定化する必要がある。

⑥水中で検出する場合と気中で検出する場合の結果の差と適用部位

水中で検出する場合と気中で検出する場合の結果の差について、日本電気協会は「水及び気体の電気伝導率に対して、低合金鋼とオーステナイト系ステンレス鋼の電気伝導率は十分大きいため、低合金鋼での試験においてもオーステナイト系ステンレス鋼と同様に検出結果の差は生じません。」としている（「表 4.1.6-3 電気伝導率の比較」参照）（資料 1-5 1. (2) (c) の質問回答）。

表 4.1.6-3 電気伝導率の比較¹⁰

対象	導電率
鋼材	4×10^6 S/m (脚注 8 の引用文献より)
オーステナイト系ステンレス鋼	$1.2 \sim 1.3 \times 10^6$ S/m (解説表-2330-2-1)
水	1~10 mS/m

- 当該部位の炉水は純水に近く十分に低い電気伝導率であり、水中に浸漬されるケーブルによる電気伝導率への影響は軽微であるので、気中との差は無視しうるのではないかと？

また、適用部位について、日本電気協会は「原子炉圧力容器を代表とする低合金鋼

¹⁰ 第 2 回渦電流探傷試験、超音波探傷試験及び漏えい率試験に係る日本電気協会の規格の技術評価に関する検討チーム会合資料 2-1

を対象としています。規格制定に当たっては、平板試験片により試験性能を確認した後、BWR プラントの原子炉給水ノズルコーナー部を適用部位として想定したモックアップ試験により、適用性を確認したとしている（資料1-5 1. (2) (d) の質問回答）。

- **適用範囲は検証した範囲（BWR プラントの給水ノズルコーナー部等）に限定されるのではないか？**

各コイル方式への適用性については、日本電気協会は欠陥の検出性が確認された「引用文献（EJAM）に記載のTRパンケーキ（相互誘導形標準比較方式）、クロスコイル&パンケーキ（クロスコイル：自己誘導形自己比較方式及びパンケーキ：自己誘導形標準比較方式）を付属書Dに反映したとしている。（資料1-5 1. (2) (e) の質問回答）

- **TRパンケーキ及びクロスコイルについては、平板、2次元押出R形状及び実機ノズルコーナー形状で欠陥検出、長さ測定が行われていることから、この範囲に限定されるのではないか？**

⑦ハードクラッドの磁性成分のノイズが検出結果に与える影響

「(解説-2120-1)試験部の表面状態」に、「BWR及びPWRの炉水で形成した固着スケール（ハードクラッド）は鉄やニッケルなどを主成分とする酸化皮膜であり、磁性成分が含まれている場合もある」とされている。ハードクラッドの磁性成分のノイズが検出結果に与える影響について、日本電気協会は「プラント据付け前に付着した酸化被膜は除去しています。電共研での試験体においては、試験体の加工時の酸化皮膜は除去した後、運転中の炉水で形成した固着スケールを模擬するため、オートクレーブ処理により酸化皮膜を形成して試験に用いました」とし、酸化皮膜を付与した試験体（平板に設けた深さ1mm長さ11.8mmのEDMノッチ）について、いずれのプローブも基準感度の20%以上かつSN比4以上で検出可能との結果が得られている（「表4.1.6-4 プローブ走査面およびEDMノッチ内に酸化被膜を付与した試験体の検出結果」参照）。（資料1-5 1. (3) (d) の質問回答）。

表 4.1.6-4 プローブ走査面および EDM ノッチ内に酸化被膜を付与した試験体の検出結果¹¹

プローブ	欠陥 No. 11 (深さ 1.0mm, 長さ 11.8mm) TP-6A											
	直交方向走査				平行方向走査				45° 方向走査			
TR パンケーキ ^{*1}	25kHz		100kHz		25kHz		100kHz		25kHz		100kHz	
	◎/◎		◎/◎		◎/◎		◎/◎		◎/◎		◎/◎	
クロス& パンケーキ	クロス		パンケーキ		クロス		パン ケーキ		クロス		パン ケーキ	
	250k Hz	500k Hz	250k Hz	500k Hz	250k Hz	500k Hz	250k Hz	500k Hz	250k Hz	500k Hz	250k Hz	500k Hz
	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	—	—	◎	◎

◎：基準感度の 20%以上かつ SN 比 4 以上で検出可能

—：試験対象外

*1：V 検出モードの結果/H 検出モードの結果

- 電解研磨等により、製造時に表面の平滑化が行われている場合には、ノイズの影響は小さいといえるのではないかと？

⑧低合金鋼への信号の分類の適用性

「解説表 3100-2-1 信号の分類」に示す「局所的な電磁気的特性の変化に起因する信号」や「表面うねり信号」等について、日本電気協会は低合金鋼にも適用可能とし、「低合金鋼においても欠陥と欠陥以外の信号は解説表に示す信号分類で整理できる。」としている（資料 1-5 1. (3) (e) の質問回答）。

- 同表の「局所的な電磁気的特性の変化に起因する信号」については、発生例として「溶接部や母材部の強加工層又異材境界等で発生する。」とあるが、強磁性材料の場合、磁気特性の局所的な変化によって大きな信号が観測されることを考慮すべきではないかと？

同表中にはノイズ信号が記載されていないが、⑤に記載するようなノイズ対策が不十分な場合は発生しないとも限らないので、注意喚起の意味で記載することが望まれる。

(3) 適用に当たっての条件
追而

¹¹ 第 2 回渦電流探傷試験、超音波探傷試験及び漏えい率試験に係る日本電気協会の規格の技術評価に関する検討チーム会合資料 2-1