

JEAG4217-2018 原子力発電所用機器における 渦電流探傷試験指針 改定内容について

令和2年10月6日

(一社)日本電気協会 原子力規格委員会



目次

	頁
➤ 1. 背景	3
➤ 2. 改定内容 本文, 解説	4
➤ 3. 改定内容 附属書	7
➤ 3.1 改定内容 附属書A, B, C	7
➤ 3.2 改定内容 附属書D	8
➤ <参考資料>研究成果の概要	10

凡例:

記載の適正化等

前回技術評価等の内容を反映

1. 背景

■ 改定理由

平成25年6月に新規制定された「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」において、原子炉圧力容器の一次冷却材ノズルコーナ一部及び給水ノズルコーナ一部の着目する劣化事象（＝疲労）に対する点検方法/点検項目として、ECTが掲げられている。

一方、JEAG4217-2010の適用範囲は、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金であり、原子炉圧力容器の母材である低合金鋼は適用範囲に含まれていない。

この状況を踏まえ、母材の低合金鋼が露出しているBWRについて、BWR電力・メーカーによる電力共同研究（電共研）が実施され、低合金鋼の母材部における疲労割れに関する良好な試験結果が得られた。なお、この研究成果は、以下にて公開されている。

- 保全学会 学術講演会（2016.7）
- EJAM Vol. 8 No. 4 NT-82 (February, 2017)*1

この研究成果をもとに、「低合金鋼の母材部における疲労割れに対するECT試験要領」を追加し、JEAG4217-2018として改定した。

*1 Development of the Eddy Current Testing (ECT) technique for the Feedwater nozzles of Nuclear Power Plant Reactor Pressure Vessels. ,Vol.8, No.4, NT-82, EJAM

2. 改定内容 本文, 解説

- 低合金鋼の母材部に関する記載の追加
 - ▶ 1200 適用範囲
 - 低合金鋼の母材部を追加
 - ▶ 2000 一般事項
 - 低合金鋼の母材部における疲労割れ: 附属書D
- 低合金鋼の母材部に関する記載の追加に伴う, 記載の見直し
 - ▶ 2520 設定及び確認の方法(7)
 - 附属書Dを踏まえ, 位相角の変動幅に関する記載を追加
 - ▶ 解説-2330-2 試験中の位相角の変動
 - オーステナイト系SUS及び高Ni合金に特化しない表現へ
 - ▶ 解説-2330-4 対比試験片の寸法, 人工きずの位置
 - 対比試験片の対象鋼種を明確化
 - ▶ 解説-2520-3 試験中の位相角の変動
 - 例として, 附属書Dの位相角の変動幅 10° を追加



2. 改定内容 本文，解説(続き)

■ その他の見直し(主なもの)

- ▶ 2410 探傷器
 - 適用するJISの年版が2つあることを反映
- ▶ 解説-1200-2 対象となる欠陥の深さ
 - SCCによる亀裂の検出性に関する一般的考えを追加
- ▶ 解説-1200-3 適用
 - ECTの位置づけ=表面試験(維持規格の考え方を反映), その他一般の保全への活用のため, 尚書きを追加
- ▶ 解説-2200-3 同等のレベルを有すもの
 - 記載の米国規格基準が例示(代表例)であることを明示

2. 改定内容 本文，解説(続き)

■ 最新の規格の反映

- ▶ 1400 関連規格
 - 最新規格の年版を反映
- ▶ JIS Z 2300
 - 1300 用語及び略語へ反映
- ▶ JIS Z 2314, 2316-2
 - 2410 探傷器へ反映

■ 新知見の反映(新規論文の参照追加)

- ▶ 解説-2200-1 試験員及び試験評価員への要求
 - EJAMIに掲載された試験に関する記載を追加



3. 改定内容 附属書

◆ 3.1 附属書A, B, C

■ 周波数の「等」を明確化

▶ 解説-A-2400-1 試験周波数

▶ 解説-C-2400-1 試験周波数

→ 試験周波数を具体的に記載

■ 軽微な修正(表現の適正化, 図の差替え等)

3.2 改定内容 附属書D

- 附属書Aを参考に，電共研成果を反映して新規作成
→ D-2530 検出モードについては附属書Cを参考に追加
 - 電共研にて使用された次の3つのコイル（方式）
について記載
 - a. クロスコイル（自己誘導形自己比較方式）
 - b. パンケーキコイル（自己誘導形標準比較方式）
 - c. パンケーキコイル（相互誘導形標準比較方式）
- D-1000 総則
 - D-2300 基準感度，位相角の設定および確認
 - D-2510 プローブの走査方法
 - D-3000 欠陥検出及び欠陥長さ測定要領
 - D-4200 記録内容
 - 解説-D-2300-1 基準感度，位相角の設定および確認
 - 解説-D-2400-1 試験周波数



3.2 改定内容 附属書D(続き)

- 位相角の変動幅 10° について記載
 - ▶ D-2300 基準感度, 位相角の設定及び確認
 - ▶ 解説-D-2300-1 基準感度, 位相角の設定及び確認
 - パンケーキコイル (相互誘導形標準比較方式) は変動幅 10° 以下

- 技術の検証に用いられた鋼種, 部位, 亀裂の種類を明確化
 - ▶ 解説-D-1100-1 適用
 - 低合金鋼, 母材部, 疲労割れに対して検証されたことを明確化

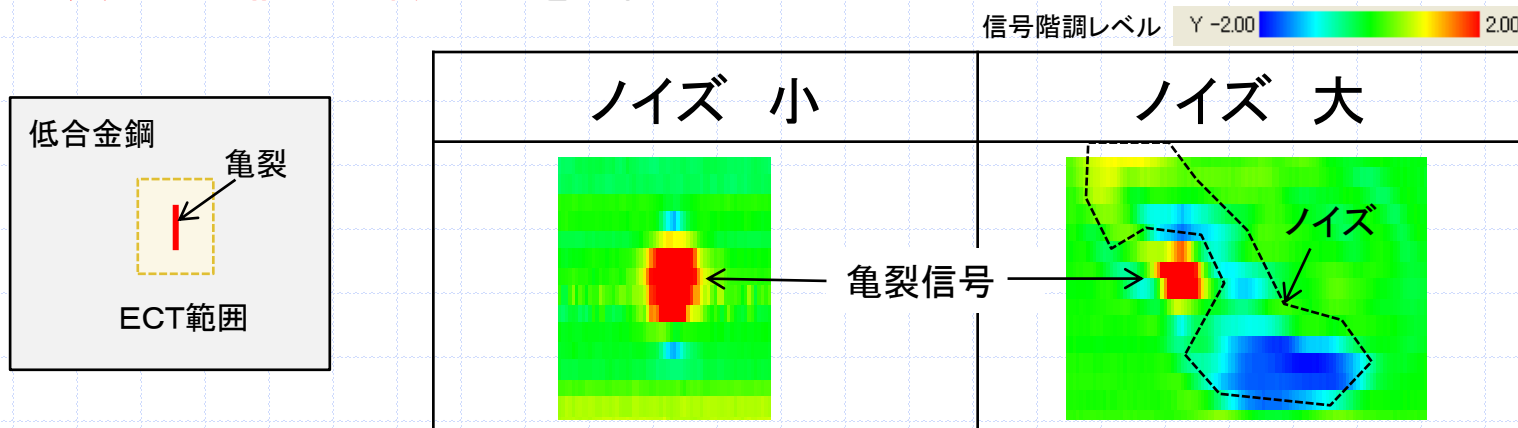
＜参考資料＞研究成果の概要

- ◆ 保全学会 学術講演会 (2016.7)
- ◆ Development of the Eddy Current Testing (ECT) technique for the Feedwater nozzles of Nuclear Power Plant Reactor Pressure Vessels. , Vol.8, No.4, NT-82, EJAM

1. 渦電流探傷試験の課題

【低合金鋼(強磁性体)における亀裂の検出性】

給水ノズルは低合金鋼(強磁性体)で製作されているため、
電氣的・磁氣的な特性のばらつきにより生じる**ノイズ**と
亀裂からの信号の識別性を確認

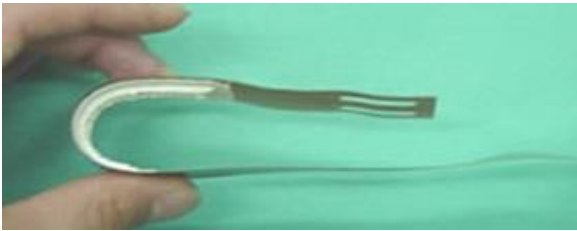
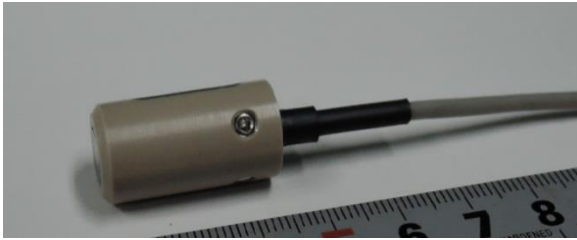


【ノズルコーナ一部分の状態と亀裂検出性の関係】

- ・ コーナー形状(曲率Rの大きさ, 倣い)
- ・ コーナー部の表面粗さ
- ・ 酸化被膜の影響
- ・ プロブ走査方向と亀裂長さ方向の関係
- ・ クラッドの有無
- ・ 材質の違い

実機探傷において
考慮すべきパラメータを
反映した試験体を準備

2.プローブ

名称	方式	周波数 (kHz)	コイル 配置	外観
TR パンケーキ	相互誘導形 標準比較方式	25,100	マルチ (長さ60mm, 108mm)	
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 パンケーキコイル 自己誘導形 標準比較方式	250,500	単一 (外形13mm)	

3-1.試験体の仕様

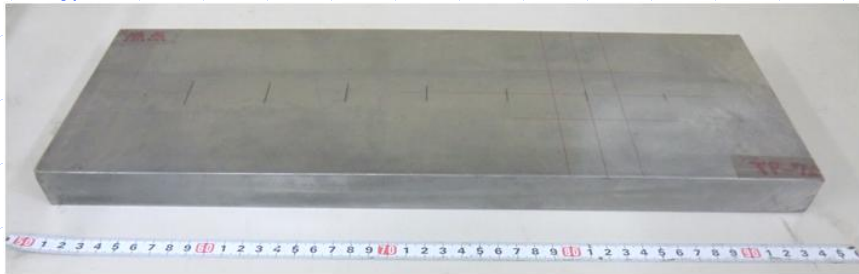
形状	材質	表面状態	信号源	深さ(mm)	長さ(mm)
平板	SFVQ1A SFVQ2A	機械加工 研磨 酸化被膜 クラッド	ノッチ	0.5～5.0	8.4～26.6
平板	SFVQ1A	機械加工	疲労亀裂 (機械疲労, 熱疲労)	0.5～(5.0)*2	2.3～30.4
2次元*1	SFVQ1A	機械加工	ノッチ	0.5～5.0	8.4～26.6
2次元*1	SFVQ1A	機械加工	疲労亀裂 (機械疲労)	1.4～5.0	13.8～26.9
3次元*1 (実機)	SFVQ1A	機械加工	ノッチ	1.0	11.8

*1: コーナー部の曲率半径35mm

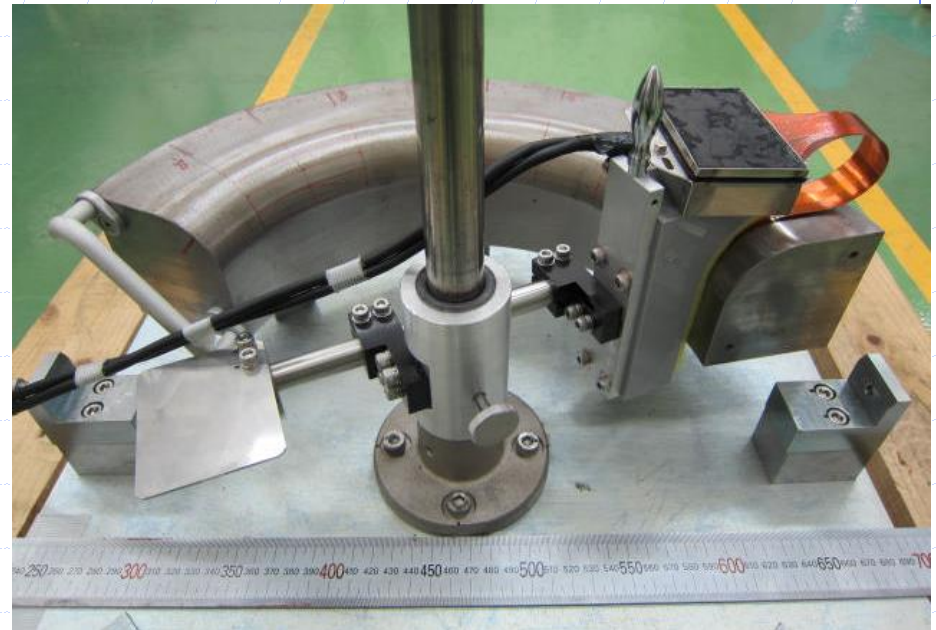
*2: 括弧内は切断調査未実施のため計画値を示す

実機形状を模擬し、ノッチに加えて疲労亀裂に対する試験も実施

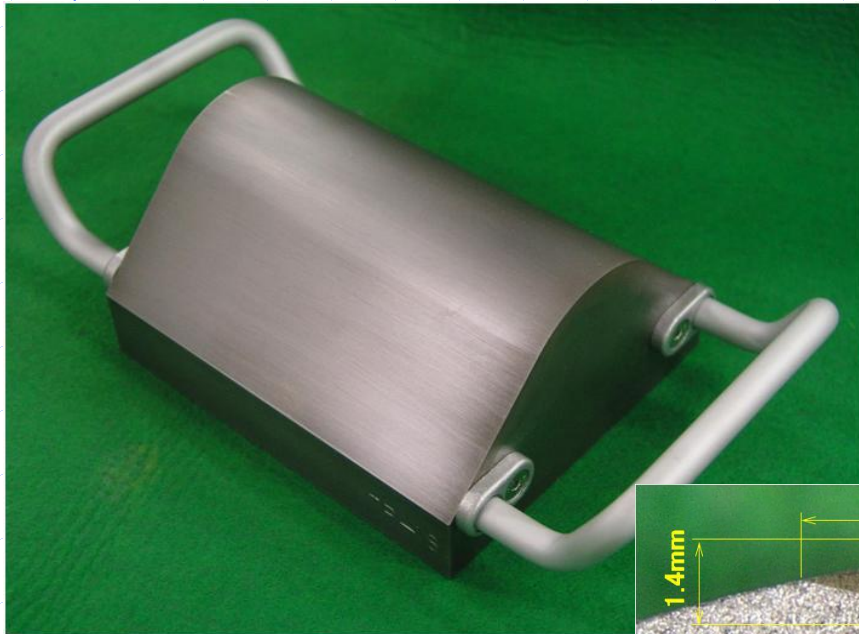
3-2.試験体の外観



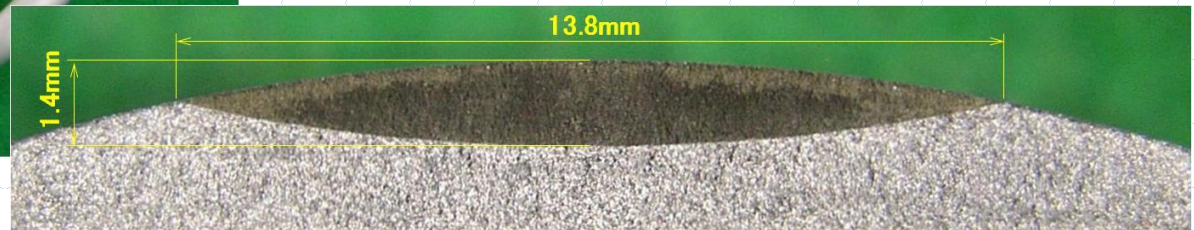
平板試験体(ノッチ付与)



3次元(実機)形状試験体(ノッチ付与)



2次元形状試験体
(疲労亀裂付与)



機械疲労亀裂の例

4.試験要領

試験体形状	確認項目	試験方法	試験条件
平板	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 表面状態(SUSクラッド付), 表面粗さ, 酸化皮膜の影響 ➤ EDMノッチ深さと検出信号の関係 ➤ EDMノッチと疲労亀裂の検出信号の比較 ➤ 磁性体に対するノイズ低減手法の効果確認(磁気ノイズ大の場合の対策を検討) 	欠陥に直交走査	気中環境
2次元	<ul style="list-style-type: none"> ➤ R形状の影響 ➤ EDMノッチ深さと検出信号の関係 ➤ EDMノッチと疲労亀裂の検出信号の比較 ➤ 欠陥の向きの影響 	試験体長さ方向に走査	
3次元 (実機)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 実機ノズル形状の影響 	ノズル内面R形状に倣って周方向に走査	

5-1. 試験結果 (検出性)

試験体 \ プローブ	信号源	TR パンケーキ	クロスコイル & パンケーキ
平板 (算術平均粗さRa=0.3 μm, 機械加工仕上げ)	ノッチ (深さ=1mm,長さ=11.8mm)	◎	◎
平板 (算術平均粗さRa=0.9 μm)	ノッチ (深さ=1mm,長さ=11.8mm)	◎	◎
平板 (酸化被膜あり)	ノッチ (深さ=1mm,長さ=11.8mm)	◎	◎
平板 (クラッドあり)	ノッチ (深さ=1mm,長さ=11.8mm)	○*	◎
平板 (機械加工仕上げ)	ノッチ (深さ=0.5mm,長さ=8.4mm)	◎	◎
平板 (機械加工仕上げ)	熱疲労亀裂 (深さ=0.5mm,長さ=2.3mm)	△*	◎
2次元 (機械加工仕上げ)	ノッチ (深さ=0.5mm,長さ=8.4mm)	◎	◎
2次元 (機械加工仕上げ)	機械疲労亀裂 (深さ=1.4mm,長さ=13.8mm)	◎	◎
3次元形状 (実機機械加工仕上げ)	ノッチ (深さ=1mm,長さ=11.8mm)	◎	◎
2次元形状 (Nozzle 円筒内面)	ノッチ (深さ=1mm,長さ=11.8mm)	◎	◎

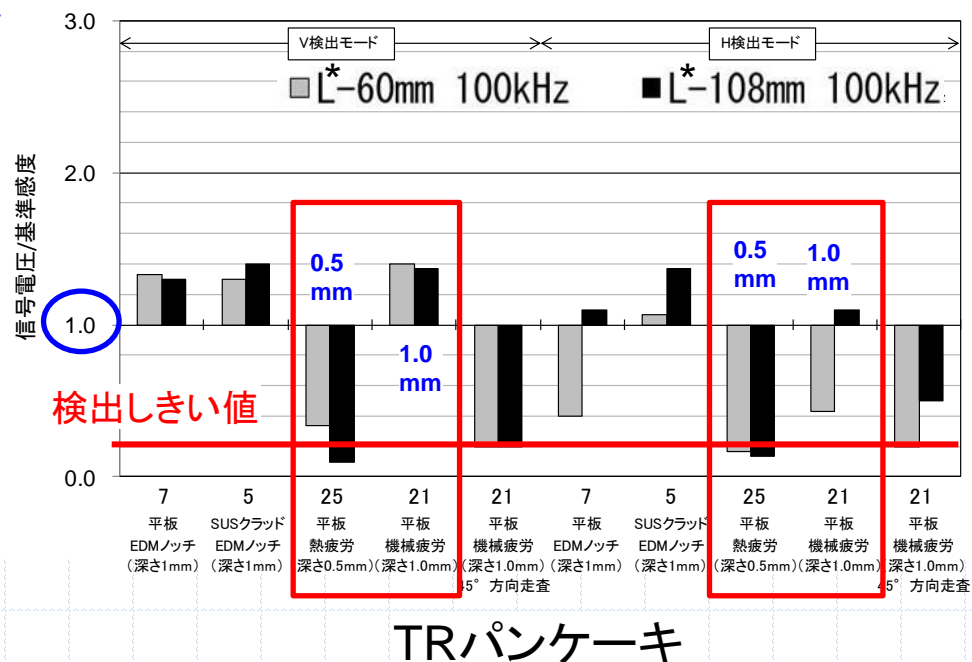
◎ : 記録レベル以上かつSN比4以上

○ : 記録レベル以上またはSN比4以上

△ : 記録レベル未滿かつSN比4未滿

*複数試験条件の中で最も検出性が悪い結果を示す

5-2. 試験結果 (検出性)



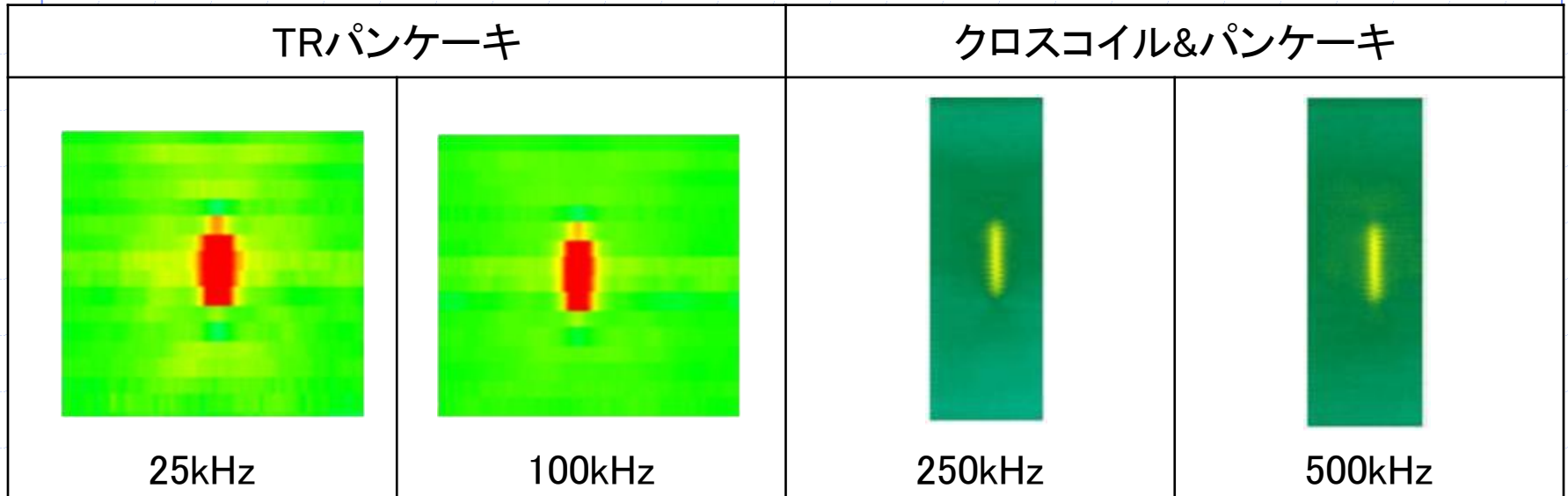
*L: マルチコイルの長さ

- ・ 亀裂深さ0.5mmでは基準感度以下の信号強度
- ・ 亀裂深さ1mmでは基準感度程度の信号強度
- ・ 各プローブとも深さ1.4mmの疲労亀裂を検出



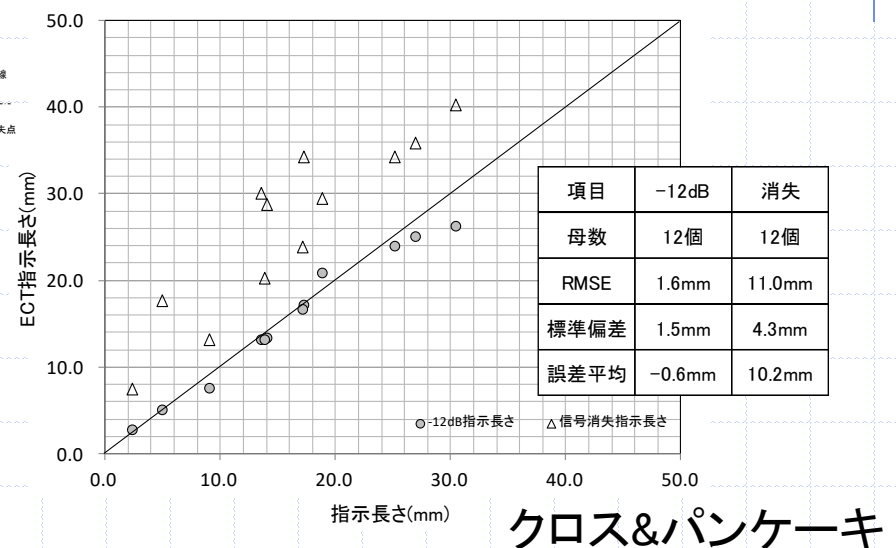
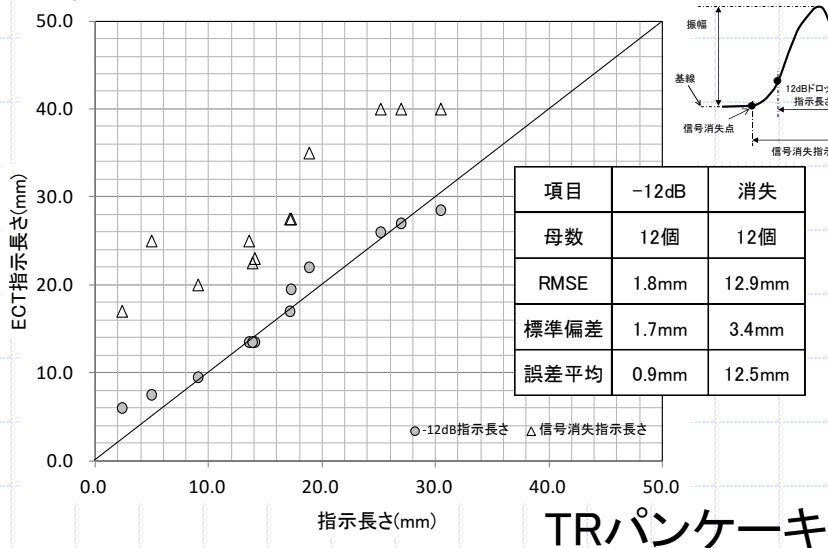
亀裂深さが1mm以上であれば検出できる見通し

5-3. 試験結果 (検出性)



Cスコープ画像例 (機械疲労亀裂, 深さ1.4mm, 長さ13.8mm)

5-4. 試験結果 (長さ寸法測定精度)



12dBドロップ指示長さによる測定結果の精度が良好

5-5. 試験結果 (ノイズとの識別)

TRパンケーキ(100kHz)		クロスコイル&パンケーキ(500kHz)	
割れ信号		割れ信号	
<p>V検出モード</p>	<p>H検モード</p>	<p>クロスコイル信号</p>	<p>パンケーキコイル信号</p>
ノイズ信号		ノイズ信号	
<p>V検出モード</p>	<p>H検モード</p>	<p>クロスコイル信号</p>	<p>パンケーキコイル信号</p>

リサーチ波形の位相から識別可能

6.低合金鋼に対する試験要領(案)

項目		内容
プローブ	仕様	単一プローブまたはアレイプローブ
	方式, 型式	使用する探傷器の仕様に適合した上置コイル
	周波数	10kHzから1MHzの範囲で2種類以上
対比試験片	形状	平板または実機曲率模擬
	材料	実機試験部と同等
	校正用きず	深さ1mmのノッチ
基準感度		校正用きずを用いて所定値に設定
位相角		欠陥検出に適した角度(例:90°, 250° 等)
プローブ走査方向		ノズル軸に対し直交または平行方向
検出レベル		基準感度の20%以上
長さ測定		12dBドロップ指示長さを推奨 (コイル特性等により消失指示長さも選択肢に含む)

JEAG4217準拠を基本とした試験要領(案)を策定

7.まとめ

低合金鋼(強磁性体)に対する渦電流探傷試験を行い、疲労亀裂の検出性を確認した

- 深さが1mm以上の亀裂であれば検出できる見通しを得た
- 材質の違い, プローブの走査面の状態等による検出性の差異は見られない(一部クラッドありの場合は除く)
- 長さ寸法測定精度は従来知見と同程度であり, 12dBドロップ指示長さによる測定結果が良好