

電気技術指針

原子力編

原子力発電所用機器における
渦電流探傷試験指針

J E A G 4 2 1 7 - 2 0 1 X

社団法人 日本電気協会

原子力規格委員会

原子力発電所用機器における渦電流探傷試験指針

目次

第1章	総則	
1000	総則	1
1100	目的	1
1200	適用範囲	1
1300	用語及び略語	1
1400	関連規格	3
第2章	試験要領	
2000	一般事項	4
2010	事前確認	4
2100	試験部に対する要求事項	4
2110	試験範囲の識別	4
2120	試験部の表面状態	4
2200	試験員及び試験評価員	4
2300	使用機材	5
2310	探傷器	5
2320	プローブ	5
2330	対比試験片	5
2340	記録・解析装置	6
2400	探傷器の校正及びプローブの性能確認	6
2410	探傷器	6
2420	プローブ	7
2500	基準感度、位相角の設定及び確認	7
2510	設定及び確認の時期	7
2520	設定及び確認の方法	8
2600	試験周波数	8
2700	プローブの走査	8
2710	走査方法	8
2720	走査範囲	9
第3章	欠陥検出及び欠陥長さ測定要領	
3000	欠陥検出及び欠陥長さ測定要領	10
3100	欠陥の疑いのある指示部の抽出	10

3200	欠陥判定	.....	11
3300	欠陥長さ測定	.....	11

第4章 記録要領

4000	記録要領	.....	12
4100	記録手順	.....	12
4200	記録内容	.....	12

目録

解説

第1章 総 則

(解説-1100-1) 附属書に規定されていない手法の取扱い	解 1
(解説-1100-2) 欠陥	解 1
(解説-1200-1) オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金の溶接部	解 1
(解説-1200-2) 対象となる欠陥の深さ	解 1
(解説-1200-3) 適用	解 1
(解説-1300-1) 各種振幅チャート及びリサージュ波形	解 2

第2章 試験要領

(解説-2010-1) 事前確認方法	解 3
(解説-2120-1) 試験部の表面状態	解 3
(解説-2200-1) 試験員及び試験評価員への要求	解 3
(解説-2200-2) 試験員及び試験評価員の実施可能な業務	解 4
(解説-2200-3) 同等の技術レベルを有する者	解 4
(解説-2330-1) 対比試験片の形状	解 5
(解説-2330-2) 対比試験片の材料	解 7
(解説-2330-3) 対比試験片の表面条件	解 7
(解説-2330-4) 対比試験片の寸法, 人工きずの位置	解 7
(解説-2340-1) サンプリングレート	解 11
(解説-2420-1) プローブの性能確認	解 11
(解説-2500-1) 基準感度, 位相角の設定及び確認の目的	解 11
(解説-2520-1) 基準感度及び位相角の設定	解 11
(解説-2520-2) 基準感度, 位相角の設定及び確認時のプローブの使用環境	解 11
(解説-2520-3) 試験中の位相角の変動幅	解 11
(解説-2600-1) 試験周波数	解 12
(解説-2710-1) 探傷感度	解 12
(解説-2710-2) 密着状態	解 12
(解説-2720-1) 走査範囲	解 12

第3章 欠陥検出及び欠陥長さ測定要領

(解説-3100-1) 欠陥の疑いのある指示部の抽出	解 13
(解説-3100-2) その他の抽出基準を適用する場合	解 13
(解説-3200-1) その他の渦電流による手法	解 16
(解説-3300-1) 欠陥長さ測定	解 16
(解説-3300-2) 複数欠陥の長さ測定	解 16

第4章 記録要領

(解説-4200-1) データの保管	解 17
(解説-4200-2) 記録等に残すプローブの仕様	解 17
(解説-4200-3) 記録等に残す対比試験片の仕様	解 21
(解説-4200-4) 複数の隣接欠陥を一つの欠陥とみなした場合に残す記録.....	解 21

品質検査

附属書 A

クロスコイル（自己誘導形自己比較方式，相互誘導形自己比較方式及び標準比較方式）の渦電流探傷試験要領

A-1000	総則	附属書 A-1
A-2000	試験要領	附属書 A-1
A-2100	使用機材	附属書 A-1
A-2200	探傷器の校正及びプローブの性能確認	附属書 A-1
A-2300	基準感度，位相角の設定及び確認	附属書 A-1
A-2400	試験周波数	附属書 A-1
A-2500	プローブの走査	附属書 A-2
A-2510	プローブの走査方法	附属書 A-2
A-2511	プローブの走査方向	附属書 A-2
A-2512	プローブの走査ステップ	附属書 A-2
A-2513	プローブの押付け	附属書 A-2
A-2520	プローブの走査範囲	附属書 A-2
A-3000	欠陥検出及び欠陥長さ測定要領	附属書 A-2
A-3100	欠陥の疑いのある指示部の抽出	附属書 A-2
A-3200	欠陥判定	附属書 A-2
A-3300	欠陥長さ測定	附属書 A-2
A-4000	記録要領	附属書 A-3
A-4100	記録手順	附属書 A-3
A-4200	記録内容	附属書 A-3

附属書 A 解説

(解説-A-1000-1) クロスコイル	.....	附属書 A- 4
(解説-A-2300-1) 基準感度, 位相角の設定及び確認	.....	附属書 A- 6
(解説-A-2400-1) 試験周波数	.....	附属書 A- 6
(解説-A-2511-1) プローブの走査方向	.....	附属書 A- 6
(解説-A-2512-1) プローブの走査ステップ	.....	附属書 A- 6
(解説-A-3100-1) 欠陥の疑いのある指示部の抽出	.....	附属書 A- 7
(解説-A-3200-1) 欠陥判定	.....	附属書 A- 8
(解説-A-3300-1) 欠陥長さ測定	.....	附属書 A- 10

品質検査

附属書 B

パンケーキコイル（自己誘導形標準比較方式）の 渦電流探傷試験要領

B-1000	総則	附属書 B- 1
B-2000	試験要領	附属書 B- 1
B-2100	使用機材	附属書 B- 1
B-2200	探傷器の校正及びプローブの性能確認	附属書 B- 1
B-2300	基準感度、位相角の設定及び確認	附属書 B- 1
B-2400	試験周波数	附属書 B- 1
B-2500	プローブの走査	附属書 B- 2
B-2510	プローブの走査方法	附属書 B- 2
B-2511	プローブの走査方向	附属書 B- 2
B-2512	プローブの走査ステップ	附属書 B- 2
B-2513	プローブの押付け	附属書 B- 2
B-2520	プローブの走査範囲	附属書 B- 2
B-3000	欠陥検出及び欠陥長さ測定要領	附属書 B- 2
B-3100	欠陥の疑いのある指示部の抽出	附属書 B- 2
B-3200	欠陥判定	附属書 B- 2
B-3300	欠陥長さ測定	附属書 B- 2
B-4000	記録要領	附属書 B- 3
B-4100	記録手順	附属書 B- 3
B-4200	記録内容	附属書 B- 3

附属書 B 解説

(解説-B-1000-1) パンケーキコイル (自己誘導形標準比較方式)	附属書 B- 4
(解説-B-2300-1) 基準感度, 位相角の設定及び確認	附属書 B- 4
(解説-B-2400-1) 試験周波数	附属書 B- 5
(解説-B-2511-1) プローブの走査方向	附属書 B- 5
(解説-B-2512-1) プローブの走査ステップ	附属書 B- 6
(解説-B-3100-1) 欠陥の疑いのある指示部の抽出	附属書 B- 7
(解説-B-3200-1) 欠陥判定	附属書 B- 8
(解説-B-3300-1) 欠陥長さ測定	附属書 B- 9

検査器具

附属書 C

パンケーキコイル（相互誘導形標準比較方式）の 渦電流探傷試験要領

C-1000	総則	附属書 C- 1
C-2000	試験要領	附属書 C- 1
C-2100	使用機材	附属書 C- 1
C-2200	探傷器の校正及びプローブの性能確認	附属書 C- 1
C-2300	基準感度、位相角の設定及び確認	附属書 C- 1
C-2400	試験周波数	附属書 C- 2
C-2500	プローブの走査	附属書 C- 2
C-2510	プローブの走査方法	附属書 C- 2
C-2511	プローブの走査方向	附属書 C- 2
C-2512	プローブの走査ステップ	附属書 C- 2
C-2513	プローブの押付け	附属書 C- 3
C-2520	プローブの走査範囲	附属書 C- 3
C-2530	検出モード	附属書 C- 3
C-3000	欠陥検出及び欠陥長さ測定要領	附属書 C- 4
C-3100	欠陥の疑いのある指示部の抽出	附属書 C- 4
C-3200	欠陥判定	附属書 C- 4
C-3300	欠陥長さ測定	附属書 C- 4
C-4000	記録要領	附属書 C- 5
C-4100	記録手順	附属書 C- 5
C-4200	記録内容	附属書 C- 5

附属書 C 解説

(解説-C-1000-1) パンケーキコイル (相互誘導形標準比較方式)	附属書 C-6
(解説-C-2300-1) 基準感度, 位相角の設定及び確認	附属書 C-7
(解説-C-2400-1) 試験周波数	附属書 C-8
(解説-C-2511-1) プローブの走査方向	附属書 C-8
(解説-C-2512-1) 単一プローブの走査ステップ	附属書 C-9
(解説-C-2513-1) プローブの押付け	附属書 C-9
(解説-C-2530-1) V検出モード及びH検出モードの適用	附属書 C-9
(解説-C-3100-1) 欠陥の疑いのある指示部の抽出	附属書 C-10
(解説-C-3200-1) 欠陥判定	附属書 C-12
(解説-C-3300-1) 欠陥長さ測定	附属書 C-13

品質検査

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

D-1000	総則	附属書 D- 1
D-2000	試験要領	附属書 D- 1
D-2100	使用機材	附属書 D- 1
D-2200	探傷器の校正及びプローブの性能確認	附属書 D- 1
D-2300	基準感度，位相角の設定及び確認	附属書 D- 1
D-2400	試験周波数	附属書 D- 3
D-2500	プローブの走査	附属書 D- 4
D-2510	プローブの走査方法	附属書 D- 4
D-2511	プローブの走査方向	附属書 D- 4
D-2512	プローブの走査ステップ	附属書 D- 4
D-2513	プローブの押付け	附属書 D- 4
D-2520	プローブの走査範囲	附属書 D- 4
D-2530	検出モード	附属書 D- 4
D-3000	欠陥検出及び欠陥長さ測定要領	附属書 D- 4
D-3100	欠陥の疑いのある指示部の抽出	附属書 D- 4
D-3200	欠陥判定	附属書 D- 4
D-3300	欠陥長さ測定	附属書 D- 4
D-4000	記録要領	附属書 D- 4
D-4100	記録手順	附属書 D- 4
D-4200	記録内容	附属書 D- 4

附属書 D 解説

(解説-D-1100-1) 適用	.....	附属書 D- 5
(解説-D-2300-1) 基準感度, 位相角の設定及び確認	.....	附属書 D- 5
(解説-D-2400-1) 試験周波数	.....	附属書 D- 6

公衆審査

第 1 章 総 則

1000 総 則

本章は、本指針の目的、適用範囲、使用される用語、略語及び関連規格について示す。

1100 目 的

本指針は、原子力発電所用機器の渦電流探傷試験において、探傷面開口欠陥の検出（欠陥の疑いのある指示部の抽出及び欠陥判定）及び長さ測定の要領について示す。探傷方法には複数のものがあるが、第 2 章から第 4 章に手法によらない共通の要領を示し、附属書に個別の要領を示す。（解説-1100-1、解説-1100-2）

1200 適用範囲

本指針は、原子力発電所用機器のうち、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金の母材部及び溶接部並びに低合金鋼の母材部の上置プローブを用いた渦電流探傷試験に適用する。（解説-1200-1、解説-1200-2、解説-1200-3）

1300 用語及び略語

本指針では、本項、附属書及び JIS Z 2300 非破壊試験用語(2009 年版)の 4 (6)「渦電流探傷試験」で規定する用語及び略語を用いる。本項には手法によらない共通の用語及び略語について示し、附属書に手法特有の用語及び略語について示す。

(1) 対比試験片

試験装置の総合性能の確認、基準感度と位相角の設定及び確認のために用いる放電加工や機械加工等によって設けた人工きず付試験片をいう。

(2) 基準感度

対比試験片の人工きずによる信号を所定の値に設定することで表される渦電流探傷器の感度をいう。

(3) 基準電圧

基準感度を設定したときの対比試験片の人工きずによる信号の出力電圧のことをいう。

(4) 単一プローブ

信号が出力される最小単位の試験コイルを有するプローブをいう。

(5) アレイプローブ

単一プローブの試験コイルを規則的に複数個配列したプローブをいう。

(6) 端部効果

プローブが試験体の端部に近づくことにより渦電流の変化が生じることをいう。端

末効果ともいう。

(7) リサージュ波形 (解説-1300-1)

複素平面上で出力電圧をベクトル表示で表した波形表示のことをいう。

(8) 全振幅 (解説-1300-1)

リサージュ波形上のベクトル方向の出力電圧の大きさのことをいう。

(9) X成分振幅 (解説-1300-1)

リサージュ波形上のX軸方向の出力電圧の大きさのことをいう。

(10) Y成分振幅 (解説-1300-1)

リサージュ波形上のY軸方向の出力電圧の大きさのことをいう。

(11) 全振幅チャート (解説-1300-1)

全振幅の出力電圧と走査したプローブの位置との相関図のことをいう。

(12) X成分振幅チャート (解説-1300-1)

X成分振幅の出力電圧と走査したプローブの位置との相関図のことをいう。

(13) Y成分振幅チャート (解説-1300-1)

Y成分振幅の出力電圧と走査したプローブの位置との相関図のことをいう。

(14) Cスコープ表示

走査したプローブによる表示範囲内の出力電圧等を二次元的にプロットすることで作られた試験部に対する二次元平面色調表示のことをいう。

(15) 信号

渦電流探傷試験で得られる振幅、位相角等の情報を総称して信号という。

(16) サンプリングレート

プローブの連続直進走査時の進行方向に対するデータ収録間隔(時間)のことをいう。

(17) 走査ピッチ

プローブの連続直進走査時の進行方向に対するデータ収録間隔(距離)のことをいう。

(18) 走査ステップ

プローブの連続直進走査から次の連続直進走査に移る間に連続直進走査時の進行方向に対して直交方向にプローブを移動する間隔のことをいう。

(19) 探傷面開口欠陥

プローブを走査する面に存在する開口欠陥をいう。

(20) 欠陥の疑いのある指示

欠陥かどうかの判定を必要とする指示部の信号をいう。

(21) 欠陥信号

振幅、位相角などの情報をもとに、欠陥と判定した指示部の信号をいう。

(22) 信号消失指示長さ

欠陥信号の消失点の位置座標より求める欠陥信号出現範囲の指示長さをいう。

(23) JNES

Incorporated Administrative Agency Japan Nuclear Energy Safety Organization（独立行政法人 原子力安全基盤機構）の略。

(24) NSA

JNES 非破壊検査技術実証事業の Nondestructive Inspection Technologies for Low-carbon Stainless Steel Integrity Assessment（低炭素ステンレス鋼の非破壊検査技術実証）の略。

(25) NNW

JNES 非破壊検査技術実証事業の Nondestructive Inspection Technologies on the Ni Alloy Welded Joint（ニッケル基合金溶接部の非破壊検査技術実証）の略。

1400 関連規格

- (1) JIS Z 2300 非破壊試験用語(2009年版)
- (2) JIS Z 2305 非破壊試験－技術者の資格及び認証(2001年版)又は
非破壊試験技術者の資格及び認証(2013年版)
- (3) JIS Z 2314 渦流探傷器の性能測定方法(1991年版)
- (4) JIS Z 2316-2 非破壊試験－渦電流試験－
第2部：渦電流試験器の特性及び検証(2014年版)
- (5) 日本機械学会 発電用原子力設備規格 維持規格

第2章 試験要領

2000 一般事項

本章は、渦電流探傷試験要領の一般事項を示す。なお、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金の母材部及び溶接部の試験要領については、附属書 A、附属書 B 及び附属書 C に規定された試験要領に従い、低合金鋼の母材部における疲労割れに対する試験要領については、附属書 D に規定された試験要領に従う。

2010 事前確認

本指針を適用する場合は、欠陥の検出精度及び長さ測定誤差を試験により予め確認し、記録に残す。ただし、渦電流探傷試験を欠陥の検出のみに適用する場合は長さ測定誤差の確認を省略できる。また欠陥長さ測定のみに適用する場合は検出精度の確認を省略できる。(解説-2010-1)

2100 試験部に対する要求事項

本項は、渦電流探傷試験を適用する試験部に対する要求事項を示す。

2110 試験範囲の識別

(1) 基準位置

試験範囲の基準位置は、恒久的な基準位置（隣接構造物などの基準となるもの）をもとに設定する。ただし、恒久的な基準位置がない場合は、欠陥以外の信号などによる特徴点の位置を利用し、試験範囲の基準位置を設定してもよい。

(2) 基準位置の記録

恒久的な基準位置からの距離など、再現可能な基準位置の座標を記録する。

2120 試験部の表面状態

試験部の表面は、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、滑らかであるものとする。(解説-2120-1)

2200 試験員及び試験評価員

(1) 試験員は、JIS Z 2305 非破壊試験一技術者の資格及び認証(2001年版)又は非破壊試験技術者の資格及び認証(2013年版)によって認証されたETレベル1以上の有資格者、又はこれらと同等以上の技術レベルを有する者で、試験に用いる手法の特徴を理解した者とする。

(2) 試験評価員は、JIS Z 2305 非破壊試験一技術者の資格及び認証(2001年版)又は非破壊試験技術者の資格及び認証(2013年版)によって認証されたETレベル2以上の有

資格者，又はこれらと同等の技術レベルを有する者で，試験に用いる手法及び信号の特徴を理解し，試験部に関する知識を有する者とする。（解説-2200-1，解説-2200-2，解説-2200-3）

2300 使用機材

本項は，渦電流探傷試験に使用する機材の仕様について示す。

2310 探傷器

- (1) 探傷器は C スコープ表示，リサージュ波形及び振幅チャートの情報が出力できるデジタル探傷器とする。
- (2) 表示の性能は次の a から c を満たすものとする。
 - a. 位相角の分解能； 1° 以下
 - b. 表示電圧の範囲； 上限値：基準電圧以上，下限値：0.01 V
(表示電圧の絶対値における上限値及び下限値を示す。)
 - c. 表示電圧の分解能； 0.01 V 以下

2320 プローブ

- (1) プローブは，使用する探傷器の仕様に適合したもので，単一プローブ又はアレイプローブとする。
- (2) プローブは，欠陥検出に用いる試験周波数で 2520(1)項で規定する基準感度及び位相角の設定ができるものとする。
- (3) プローブは，試験部の形状に追従できるものとする。
- (4) 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。

2330 対比試験片

本項は，渦電流探傷試験に使用する対比試験片の仕様について示す。

(1) 形状

対比試験片の形状は，試験部の表面形状を模擬する。ただし，試験部が曲面の場合でも，曲面と平面との感度差が 1 dB を越えない手法を用いる場合は，平板の対比試験片を使用してもよい。（解説-2330-1）

(2) 材料

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。（解説-2330-2）

(3) 表面条件

対比試験片のプローブ走査面は滑らかなものとする。（解説-2330-3）

(4) 寸法と人工きずの位置

対比試験片の寸法と人工きずの位置は，次の a 及び b を満たすものとする。（解

説-2330-4)

- a. 対比試験片の板厚は試験部の板厚と同等とする。ただし、基準感度及び位相角の設定に影響を及ぼさない場合はこの限りではない。
 - b. 対比試験片は、プローブ走査面側の中央付近にプローブ走査方向に対して直交した人工きずが付与され、人工きずを挟む両側に試験片端部と人工きずからの影響を受けないプローブ走査範囲を有する大きさとする。
- (5) 人工きずの種類、形状及び寸法
- 人工きずの種類、形状及び寸法は、次の a から e を満たすものとする。
- a. 種類：放電加工又は機械加工
 - b. 形状：矩形又は長さ方向に貫通した深さ一定の人工きず
 - c. 深さ： $1\text{ mm} \pm 0.1\text{ mm}$
 - d. 幅： $0.3\text{ mm} \pm 0.05\text{ mm}$
 - e. 長さ：基準感度及び位相角の設定におけるプローブ走査方向に対して直交方向のプローブ外形より大きく、基準感度及び位相角の設定が再現性よく測定できる大きさとする。

2340 記録・解析装置

記録・解析装置は、次の(1)から(3)に示す性能を満たすものとする。

- (1) サンプリングレート及び分解能
走査距離 25 mm 当たり 30 点以上、1 点当たり 12 ビット以上であること。(解説-2340-1)
- (2) デジタル表示
 - a. 試験に用いる試験周波数のリサージュ波形を 7 ビット以上の分解能で表示できること。
 - b. 試験に用いる試験周波数の X 成分振幅チャート表示、Y 成分振幅チャート表示又は全振幅チャート表示を 6 ビット以上の分解能で選択表示できること。
 - c. C スコープ表示ができること。C スコープ表示は X 成分振幅、Y 成分振幅又は全振幅から選択でき、16 段階以上の階調表示ができること。
- (3) 記録
記録装置は、試験により得られた信号及び試験条件を記録・再生できるとともに、その分解能は 1 点当たり 12 ビット以上とすること。

2400 探傷器の校正及びプローブの性能確認

本項は、探傷器の校正方法、プローブの性能確認方法及びそれらの時期について示す。

2410 探傷器

- (1) 探傷器の校正方法

JIS Z 2314 渦流探傷器の性能測定方法(1991年版)又は JIS Z 2316-2 非破壊試験—渦電流試験— 第2部:渦電流試験器の特性及び検証(2014年版)に従って測定し、以下を満たすことを確認する。

a. JIS Z 2314 渦流探傷器の性能測定方法(1991年版)を適用する場合

- (a) 周波数確度 $\pm 5\%$
- (b) 位相角直線性 $\pm 3^\circ$
- (c) 増幅直線性 $\pm 2\%$ 以内

b. JIS Z 2316-2 非破壊試験—渦電流試験— 第2部:渦電流試験器の特性及び検証(2014年版)を適用する場合

- (a) 励磁周波数の偏差割合 $\pm 5\%$
- (b) 位相直線性 $\pm 3^\circ$
- (c) 利得設定精度 -0.175 dB 以上 0.172 dB 以下

(2) 探傷器の校正時期

各性能の校正時期は、使用前 12 カ月以内とする。

2420 プローブ

(1) プローブの性能確認方法

性能確認は、プローブと探傷器を組み合わせた状態で行う。試験部の渦電流探傷試験で使用する試験周波数で、対比試験片に付与した深さ 1 mm の人工きずを基準電圧以上で測定できることを確認する。

(2) プローブの性能確認時期

性能確認の時期は、使用前 12 カ月以内とする。(解説-2420-1)

2500 基準感度、位相角の設定及び確認

本項は、基準感度、位相角の設定及び確認の時期と方法について示す。(解説-2500-1)

2510 設定及び確認の時期

- (1) 基準感度及び位相角の設定は、試験開始時及び探傷システム(探傷器、プローブ、ケーブル、部品等)の組合せが変わる毎に行う。
- (2) 試験終了時に、基準感度及び位相角を確認する。ただし、長時間連続して試験を行う場合は、試験終了時に加えて、試験期間内にも基準感度及び位相角の確認を行ってもよい。

2520 設定及び確認の方法

- (1) 基準感度及び位相角の設定は、以下により行う。(解説-2520-1)
 - a. 基準感度は、リサージュ波形の振幅が十分読み取れる感度に設定する。
 - b. 位相角は、欠陥検出又は長さ測定に適した角度に設定する。
- (2) 基準感度及び位相角の設定は、探傷器の電源を入れてから出力電圧が安定した後に行う。
- (3) 基準感度、位相角の設定及び確認は、プローブを対比試験片表面に対して所定の角度に保持し、表面に密着した状態で行う。
- (4) 対比試験片の人工きずに対して直交する方向にプローブを走査して得られたリサージュ波形を用いて、基準感度、位相角の設定及び確認を行う。
- (5) 基準感度、位相角の設定及び確認時のプローブの使用環境は、気中又は水中のいずれかで、試験時のプローブの使用環境と同じとする。ただし、基準感度及び位相角が気中と水中で変わらない場合は、使用環境は試験時と異なってもよい。(解説-2520-2)
- (6) 2510(2)項による基準感度の確認の結果、前回の基準感度に比べて2 dB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再試験を行う。
- (7) 2510(2)項による位相角の確認の結果、前回の位相角に比べて5°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再試験を行う。なお、欠陥判定をする際の信号識別に支障がないことが確認されている場合には、確認された位相角の変化以内にある試験を有効として扱ってよい。(解説-2520-3)
- (8) アレイプローブの試験コイルの一部が故障した場合は、故障した試験コイルによる試験結果を無効とし、無効になった試験範囲について正常な試験コイルにより再試験を行う。ただし、評価に影響を及ぼさない場合は再試験を省略できる。

2600 試験周波数

試験周波数は、欠陥の検出に有効な複数の周波数を用いる。(解説-2600-1)

2700 プローブの走査

本項は、渦電流探傷試験時のプローブの走査方法及び走査範囲について示す。

2710 走査方法

- (1) 2010 項の事前確認と同じ走査ステップ又はそれ以下で走査するものとし、プローブの特性に応じて十分小さい間隔とする。
- (2) 使用する探傷器、記録・解析装置及びプローブ走査装置を組み合わせた状態で、データを再現性よく採取可能な速度で走査する。

- (3) 基準感度でプローブを走査する。ただし、任意の感度で探傷しても、基準感度に戻して欠陥の疑いのある指示部を抽出できる場合は、その限りではない。(解説-2710-1)
- (4) 試験部表面に対してプローブを所定の角度に保持し、表面に密着した状態で走査する。(解説-2710-2)

2720 走査範囲

所定の探傷範囲についてプローブを走査する。また、構造等により探傷できない範囲は記録に残す。なお、探傷範囲に端部がある場合は、試験などにより端部効果が欠陥検出又は長さ測定に影響を及ぼさないことを確認する。(解説-2720-1)

品質検査

第3章 欠陥検出及び欠陥長さ測定要領

3000 欠陥検出及び欠陥長さ測定要領

本章は、指示部の抽出、欠陥判定及び欠陥長さ測定の要領について示す。

3100 欠陥の疑いのある指示部の抽出

(1) 原則、抽出基準「基準電圧の20%以上の指示部」により、欠陥の疑いのある指示部を抽出する。基準電圧の20%以上の指示部の定義は、基線からの出力電圧差が基準電圧の20%以上の指示部とし、基線の取り方は次のa又はbのいずれかとする。(解説-3100-1)

a. 零電圧レベルを基線とする (図-3100-1)

b. ピーク電圧部の直前又は直後のうち、出力電圧が低い方を基線とする (図-3100-2)

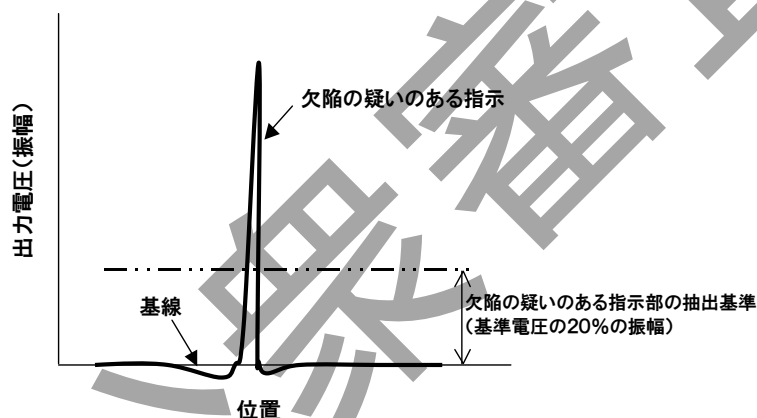


図-3100-1 基線を零電圧レベルとする場合

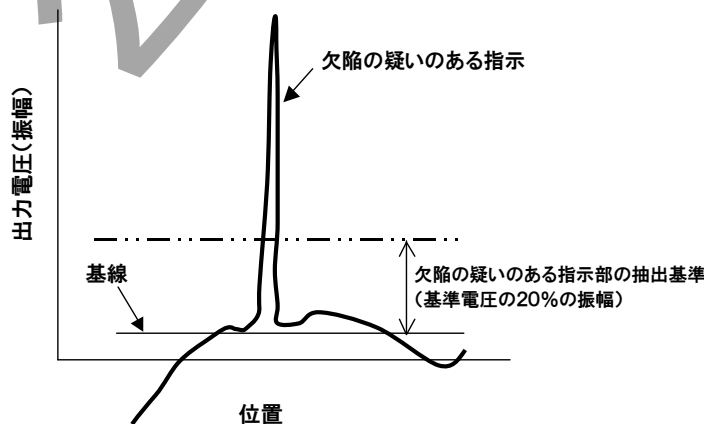


図-3100-2 基線をピーク電圧部の直前又は直後のうち、出力電圧が低い方とする場合

- (2) 必要に応じて、抽出基準「基準電圧の20 %以上の指示部」に加えて、その他の抽出基準により、欠陥の疑いのある指示部を抽出してもよい。
- (3) その他の抽出基準が、基準電圧の20 %以上の指示部より高い抽出性能を有することが確認されている場合は、抽出基準「基準電圧の20 %以上の指示部」の代わりに、その他の抽出基準により、欠陥の疑いのある指示部を抽出してもよい。(解説-3100-2)

3200 欠陥判定

- (1) 欠陥の疑いのある指示部が欠陥によるものか否かを次の手順で判定する。
 - a. 試験部で予想される欠陥以外の次の信号について、リサージュ波形及び振幅チャートを実験又は解析で求める。
 - (a) リフトオフ信号
 - (b) 表面うねり信号
 - (c) 形状信号
 - (d) 電磁氣的信号
 - b. 3200(1)a 項で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のリサージュ波形及び振幅チャートをもとに、欠陥以外の信号と区別しながら欠陥判定を行う。
 - c. 3200(1)b 項で欠陥によるものか否か判定できない場合は、原則として欠陥とみなすものとする。ただし、性能が確認されたその他の渦電流による手法を用いて、欠陥判定を行ってもよい。(解説-3200-1)
- (2) 欠陥の判定には、性能が確認された3200(1)の手段を自動化した処理装置を用いてもよい。

3300 欠陥長さ測定

- (1) 3200項に基づき判定した欠陥、又は目視検査などの他の非破壊検査により判定した欠陥について、振幅チャートにより欠陥長さ方向の端部に該当する振幅の位置座標を求め、その座標をもとに指示長さを求める。(解説-3300-1)
- (2) 欠陥長さ測定には、性能が確認された3300(1)項の手順を自動化した処理装置を用いてよい。
- (3) 欠陥が断続的な場合や隣接した欠陥が存在する場合は、**日本機械学会 発電用原子力設備規格 維持規格**の「線状欠陥の取扱い」の考え方を参考に、欠陥長さを測定してもよい。(解説-3300-2)

第4章 記録要領

4000 記録要領

本章は、記録手順及び記録内容について示す。

4100 記録手順

記録は次の要領で作成する。

(1) C スコープ表示の記録

試験部の全試験範囲について C スコープ表示を記録する。再測定した場合は、再測定範囲について C スコープ表示を加えて記録する。なお、C スコープ表示は欠陥の識別に適した色調とする。

(2) 最大振幅、位相角及び座標の記録

3100(1)項で得られた欠陥の疑いのある指示部について、3200 項の欠陥判定要領に従い、欠陥判定を行う。欠陥判定に用いたりサージェ波形などから最大振幅、位相角及び最大振幅の座標を読み取り、それらと欠陥判定結果を記録する。また、欠陥長さを測定する場合は、3300 項の欠陥長さ測定要領で欠陥長さを測定し、欠陥の長さ方向端部の座標と欠陥長さを記録する。

4200 記録内容

(1) 記録を要する指示

3100 項による。ただし、3200 項の欠陥判定により、欠陥以外の信号と判定された指示部については C スコープ表示に明示し、その代表的な波形例を記録として残すのみでよい。

(2) 記録内容

渦電流探傷試験を行った後に次の事項を記録し、保管するとともに、その記録と試験部とが照合できるようにする。

- a. 発電所名
- b. 試験箇所名
- c. 試験年月日
- d. 試験員及び試験評価員（資格）
- e. 試験範囲
- f. 基準位置
- g. 試験条件
 - (a) 適用手法
 - (b) プローブの使用環境（水中、気中）
 - (c) 試験周波数

- (d) 基準電圧と位相角
 - (e) 校正記録
 - (i) 使用機材
渦電流探傷器の管理番号，プローブの管理番号，対比試験片の管理番号
 - (ii) プローブの使用環境（水中，気中）
 - (iii) 探傷器の位相設定値
 - (iv) 探傷器の感度設定値，又は電圧設定値
 - (v) 校正日時
 - (vi) 実施者
 - (f) 走査方法
 - (i) 走査方向
 - (ii) 走査ステップ（単一プローブの場合）
 - (iii) 走査ピッチ
 - (iv) 走査速度
 - h. 試験要領書番号
 - i. 電子媒体番号
 - j. 試験結果*¹
 - (a) C スコープ表示
 - (b) 欠陥の疑いのある指示部の信号の最大振幅，位相角及び最大振幅位置の座標*²
 - (c) 欠陥判定結果*²
 - (d) 欠陥長さ測定結果*³
 - (e) 欠陥長さ方向の端部の座標*³
- (解説-4200-1，解説-4200-2，解説-4200-3)

*1：ドリフト除去，指示部の自動抽出など，評価にかかわる前処理を適用した場合は，試験結果に処理装置の管理番号を記録する。

*2：欠陥の検出を実施した場合に記録する。

*3：欠陥の長さ測定を実施した場合に記録する。複数の隣接欠陥を一つの欠陥とみなした場合は，一つの欠陥とみなした複数の隣接指示群を確認するための記録を残す（解説-4200-4）。

[解 説]

今泉鑑吉

第1章 総 則

(解説-1100-1) 附属書に規定されていない手法の取扱い

附属書に規定されていない手法については、第2章から第4章で規定された要領により、欠陥の疑いのある指示部の抽出、欠陥判定及び長さ測定ができることを試験により確認する。

(解説-1100-2) 欠陥

本指針は、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金の母材部及び溶接部の開口欠陥（応力腐食割れによる欠陥など）並びに低合金鋼の母材部の開口欠陥（疲労割れによる欠陥）の開口面側からの渦電流探傷試験の結果をもとに策定したことから、本指針に記す「欠陥」とは探傷面開口欠陥を表す。

(解説-1200-1) オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金の溶接部

本指針でいう、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金の溶接部とは、原子力発電所用機器におけるオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金の溶接金属部及びその近傍の熱影響部である。なお、クラッド部、バタリング部及び肉盛座などを含む。

(解説-1200-2) 対象となる欠陥の深さ

NNW では、基準電圧の 20 %以上の指示部を抽出基準とした場合、深さ 1 mm 以上の応力腐食割れ（SCC による欠陥）は、閉じた欠陥でなければ、すべて検出可能であったとの報告¹⁾がある。これらの確認試験結果等では一般に疲労亀裂よりも検出困難な SCC に対する検証を行っている。本指針で対象とするのは、原則として、深さ 1 mm 以上の探傷面の開口欠陥とする。

なお、SN 比を抽出基準とした場合は、深さ 0.5 mm 以上の SCC による欠陥をすべて検出可能であるとの報告¹⁾があり、SN 比など、基準電圧の 20 %以上の指示部と異なる抽出基準を適用する場合は、試験により確認された抽出可能な欠陥の深さを対象となる欠陥の深さとみなしてもよい。

出典

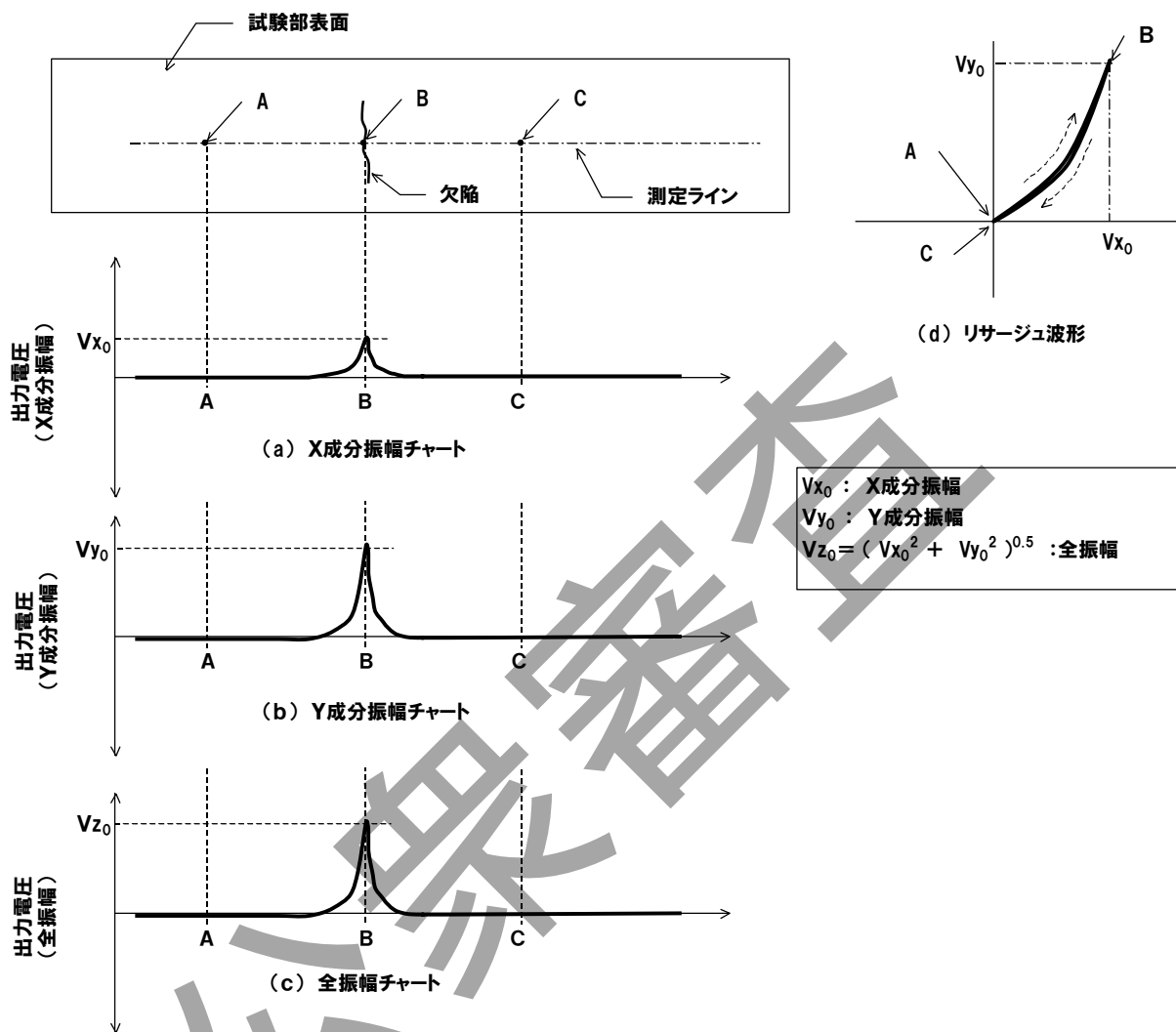
- [1] 独立行政法人 原子力安全基盤機構，平成20年度ニッケル基合金溶接部の非破壊検査技術実証に関する事業報告書 平成21年12月，pp.706～909

(解説-1200-3) 適用

主な適用は、原子力発電所用機器における渦電流探傷試験のうち維持規格の表面試験とする。割れ以外の欠陥に適用する場合には2010項に基づき性能を事前に確認するものとする。なお、上記以外で本指針が適用できると判断される場合は、これを準用してもよい。

(解説-1300-1) 各種振幅チャート及びリサージュ波形

各種振幅チャート及びリサージュ波形の説明図を、解説図-1300-1-1に示す。



解説図-1300-1-1 各種振幅チャート及びリサージュ波形

第2章 試験要領

(解説-2010-1) 事前確認方法

試験部で想定される種類の欠陥又は人工きずなどの模擬欠陥を付与した試験部の形状模擬試験片などを用いた試験により、性能を確認する。模擬欠陥には、想定される欠陥寸法として、深さの浅い欠陥、長さの短い欠陥等の欠陥を含むものとする。なお、試験部の形状と平面で性能が変わらない場合は、次に示すいずれかの方法を用いることにより十分な性能確認ができる。

(1) 試験部で想定される種類の欠陥又は人工きずなどの模擬欠陥を付与した平板試験片を用いて、性能確認を行う方法

(2) 試験に適用する手法と性能が確認されている手法との性能比較を行う方法

なお、上記(2)を採用する場合は、試験に適用する手法が、性能が確認された手法の性能と同等又はそれ以上と確認された場合に限り、性能が確認された手法の性能確認結果を活用できるものとする。

(解説-2120-1) 試験部の表面状態

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^[1]、磁性成分が含まれている^[1]場合もあるが、その厚さは数 μm 程度^[2]と極めて薄い。そのため、固着スケールを残した状態で試験を行っても、探傷感度の低下は極めて小さい。また、付着物(ソフトクラッド)はプローブ走査時に容易に剥離することから、付着物による探傷感度の低下も極めて小さい。

出典

[1] (社)日本原子力学会「原子力発電プラントの水化学管理と基盤技術、1991年8月

[2] EPRI NP-2968; "Primary-Side Deposits on PWR Steam Generator Tubes" (1983)

(解説-2200-1) 試験員及び試験評価員への要求

渦電流探傷試験では、信号の特徴により、欠陥と欠陥以外の信号識別を行う。信号の特徴は手法毎に異なることから、試験員には試験に用いる手法の信号の特徴を十分理解していることが要求される。また、渦電流探傷試験は構造物などの原子力発電所用機器への適用実績が少ないことから、試験部特有の信号や欠陥判定に迷う信号などの出現を想定しておくことが望ましく、試験評価員には信号の特徴を十分理解していることの他に、試験部に関する知識が求められる。

信号の特徴を理解する方法としては、試験部の表面状態などを模擬した試験片を用いた教育・訓練などがあり、NSA、NNW及び国内の確認試験結果^[1]では、教育・訓練により試験に適用する手法の信号の特徴を十分に理解したETレベル2以上の有資格者が試験及び評価

を実施している。

なお、試験部に関する知識とは、試験部の設計（材料、構造及び使用環境など）並びに試験部あるいは試験部と類似した原子力発電所用機器の損傷事例などの知識を表す。

出典

- [1] EJAM Vol. 8 No. 4 NT-82 (February, 2017), “Development of the Eddy Current Testing (ECT) technique for the Feedwater nozzles of Nuclear Power Plant Reactor Pressure Vessels”

(解説-2200-2) 試験員及び試験評価員の実施可能な業務

試験評価員及び試験員の実施可能な業務は以下を基準とする。(実際の運用ではこれに準じて解釈する。)

(1) 試験員

基準位置及び試験範囲の設定, 機材の整備(探傷器の清掃, 対比試験片の清掃等)・点検・性能確認の実施, 渦電流探傷装置等の設置・調整・操作, 基準感度及び位相角の設定, 探傷, 指示の抽出及び判定, 長さ測定, 記録作成

(2) 試験評価員

上記(1)項に示す項目及び, 機材の点検・性能確認結果の承認, 検出結果の承認, 試験記録の承認

なお, 必要に応じて, 試験員及び試験評価員のいずれにも該当しない試験補助員(無資格者)は, 試験員及び試験評価員の指導のもと次の作業を補助してよい。

機材の整備(探傷器の清掃, 対比試験片の清掃等), 自動探傷の場合の渦電流探傷装置等の設置・調整・操作(感度校正に関する部分を除く。), 記録作成(欠陥検出及び長さ測定の評価に関する部分を除く。)

(解説-2200-3) 同等の技術レベルを有する者

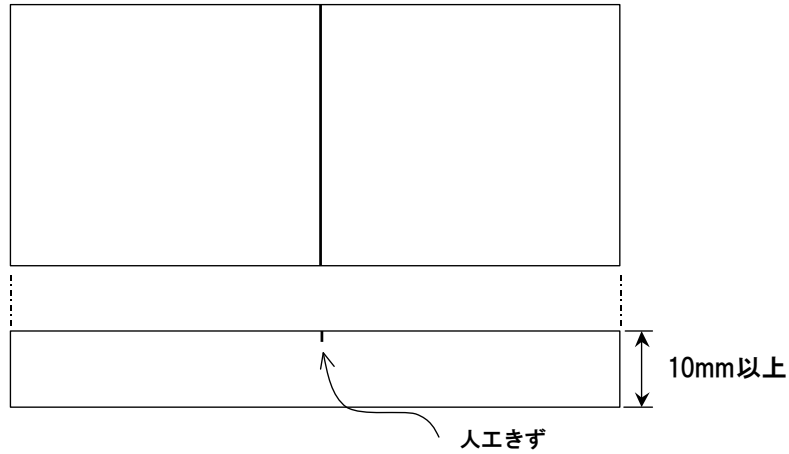
同等の技術レベルを有する者とは, 次に例示する規格基準等に規定された所定の認証機関により認証された渦電流探傷試験の有資格者とする。なお, 海外の有資格者の技術レベルが JIS Z 2305 非破壊試験—技術者の資格及び認証(2001年版)又は非破壊試験技術者の資格及び認証(2013年版)のどのレベルに相当するかを技術レベルに対する要求事項と照らし合わせて判断する必要がある。

- (1) 米国非破壊検査協会 (ASNT) SNT-TC-1A 「Recommended Practice for Personnel Qualification and Certification in Nondestructive Testing」
- (2) 米国規格協会/米国非破壊検査協会 (ANSI/ASNT) CP-189 「Standard for Qualification and Certification on Nondestructive Testing Personnel」

(解説-2330-1) 対比試験片の形状

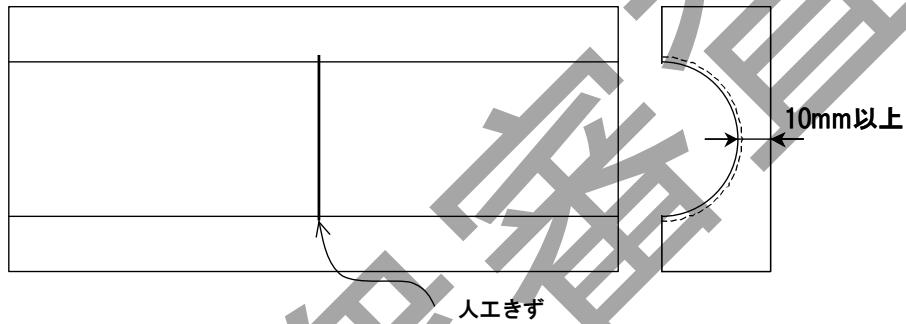
プローブ走査面が平面と曲率半径 20 mm の曲面を有する試験片の例を、解説図-2330-1-1(a)及び(b)に示す。これらの試験片に付与したプローブ外形より長い、深さ 1 mm の人工きずを、試験コイルが試験部表面に隙間なく密着し、常に垂直に配向するプローブ(フレキシブル ECT センサ) で、表皮深さが板厚よりも十分小さい試験周波数で探傷しても、解説図-2330-1-1(c)に示すように感度差は生じない。このように平面と曲面に付与した人工きずで感度差 1 dB(基準感度設定時のばらつき程度)を超えないことが確認されていれば、曲面部の試験に平板状の対比試験片を適用してもよい。

試験片



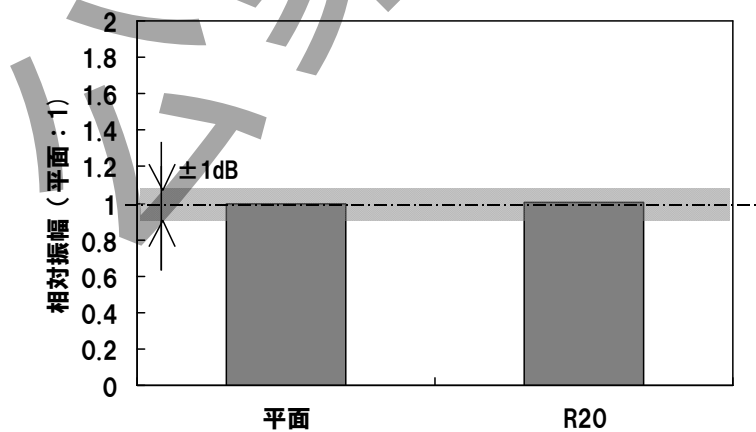
材料；試験部と同等な材料，人工きずの深さ×幅；1 mm×0.3 mm

(a) 平板状試験片



材料；試験部と同等な材料，人工きずの深さ×幅；1mm×0.3mm

(b) 曲率半径 20 mm の試験片



(c) 試験結果

解説図-2330-1-1 振幅に及ぼす試験体曲率の影響測定例

[相互誘導形標準比較方式 (フレキシブルECTセンサ)]

[試験周波数 100 kHz, コイル外径3 mm]

(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つ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。

なお、対比試験片には、基準電圧と位相角を再現よく測定できるように、母材のような電磁気的特性が均一な材料を使用する。

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

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	$1.2\sim 1.3\times 10^6$	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]

出典

- [1] 独立行政法人 原子力安全基盤機構, 平成15年度 シュラウド等の非破壊検査技術実証事業に関する報告書 平成16年6月, pp.2-35~36
- [2] (社)日本非破壊検査協会, 新非破壊検査便覧(1992), p.384,
- [3] 独立行政法人 原子力安全基盤機構, 平成16年度 炉内構造物等特殊材料溶接部検査技術調査に関する事業報告書 平成17年12月, p.413

(解説-2330-3) 対比試験片の表面条件

基準感度, 位相角の設定及び確認においては, 基準感度と位相角のばらつきが小さい方が望ましいことから, 基準感度と位相角を再現性よく測定できるように, 対比試験片の表面を滑らかに仕上げる。

(解説-2330-4) 対比試験片の寸法, 人工きずの位置

渦電流探傷法は, プローブ近傍に流れる試験部の渦電流の変化から欠陥を検出する手法であるため, プローブが対比試験片の端部付近を通過するような大きさや表皮深さ程度の板厚の対比試験片では, 基準感度と位相角の設定や確認を正確にできない場合がある。したがって, 対比試験片には人工きずを挟む両側に人工きずと端部からの影響を受けないプローブ走査範囲を確保し, かつ渦電流の表皮深さより十分厚いことが要求される。人工きずや端部からの影響範囲は試験周波数が低いほど広がる傾向があるため, 試験部の渦電流探傷試験で使

用する最も低い試験周波数に適合した対比試験片を準備するとよい。

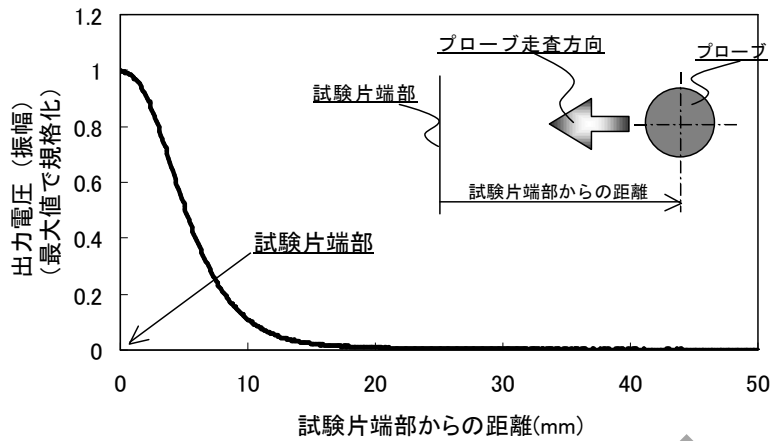
渦電流探傷試験で一般的に使用される試験周波数は数10 kHz～数100 kHzであることから、次の(1)と(2)にて、表皮深さの大きいオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金における試験周波数10 kHz以上と100 kHz以上に適合した対比試験片の考え方を説明する。

(1) 試験周波数10 kHz以上に適合した対比試験片

試験周波数10 kHz、コイル外径5 mmの相互誘導形標準比較方式のパンケーキ型プローブにおける対比試験片端部による端部効果の影響範囲は、解説図-2330-4-1(a)に示すように20 mm程度である。一方、人工きずの影響範囲は端部効果の影響範囲より小さいと推定できることから、対比試験片の大きさは人工きずの信号と端部効果の影響範囲を30 mmと仮定し、基準感度及び位相角の設定時のプローブの向きで人工きずと端部からの影響を受けないプローブ走査範囲を確保した大きさにするとよい。また、試験周波数10 kHzで発生する渦電流の表皮深さは、解説図-2330-4-1(b)に示すように5 mm程度であることから、対比試験片の板厚をその3倍以上の15 mm以上にするるとよい。以上より、試験周波数10 kHz以上で使用するプローブの対比試験片は、解説図-2330-4-1(c)に示す考え方で設計するとよい。

(2) 試験周波数100 kHz以上に適合した対比試験片

試験周波数100 kHz、コイル外径3 mmの相互誘導形標準比較方式のパンケーキ型プローブにおける対比試験片端部による端部効果の影響範囲は、解説図-2330-4-2(a)に示すように5 mm程度である。一方、人工きずの影響範囲は端部効果の影響範囲より小さいと推定できることから、対比試験片の大きさは人工きずの信号と端部効果の影響範囲を10 mmと仮定し、基準感度及び位相角設定時のプローブの向きで人工きずと端部からの影響を受けないプローブ走査範囲を確保した大きさにするとよい。また、試験周波数100 kHzで発生する渦電流の表皮深さは、解説図-2330-4-2(b)に示すように1.5 mm程度であることから、対比試験片の板厚をその3倍以上の5 mm以上にするるとよい。以上より、試験周波数100 kHz以上で使用するプローブの対比試験片は、解説図-2330-4-2(c)に示す考え方で設計するとよい。



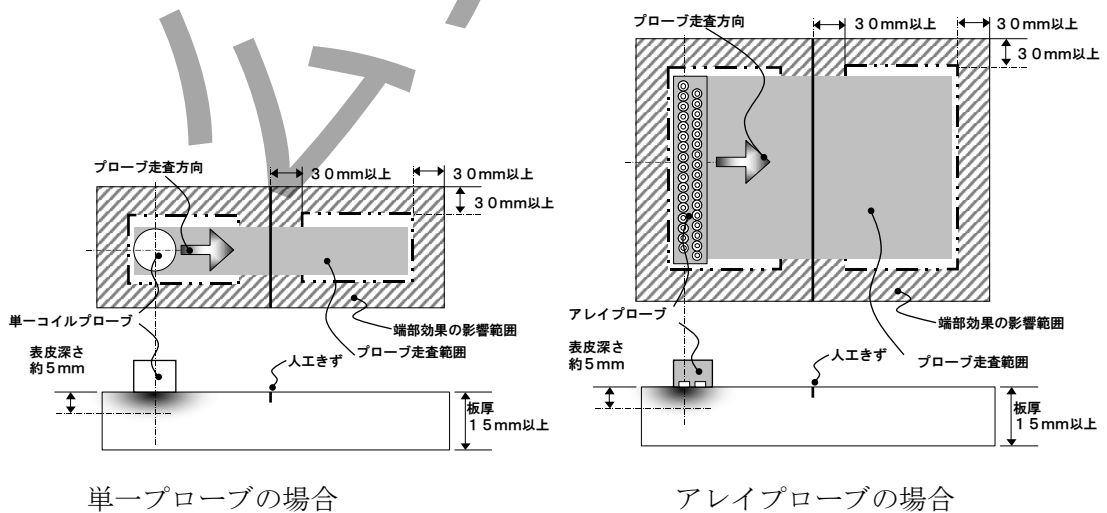
(a) 試験片端部の端部効果影響範囲測定例 (試験周波数10 kHz, コイル外径5 mm)

材料	表皮深さ(mm)※
SUS316L	4.0~4.1
SUS304	4.2
NCF600	5.2
YNiCr-3	5.5

※ 解説表-2330-2-1 の電気伝導率と比透磁率の値を下式に代入して求めた。

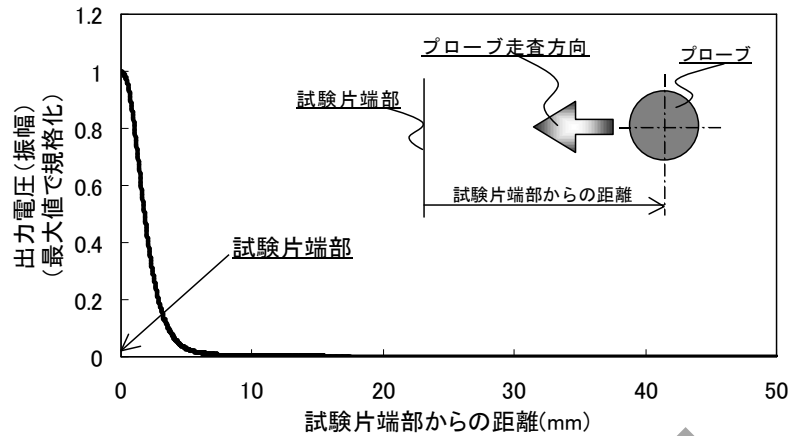
$\delta = (4\pi^2 \times 10^{-7} \times f \times \mu_r \times \sigma)^{-0.5}$;ここで、 δ は表皮深さ (m), f は試験周波数 (Hz), σ は試験部の電気伝導率 (S/m), μ_r は試験部の比透磁率を表す。

(b) 表皮深さ計算結果 (試験周波数10 kHz)



(c) 対比試験片の考え方

解説図-2330-4-1 対比試験片の考え方 (試験周波数10 kHz以上)



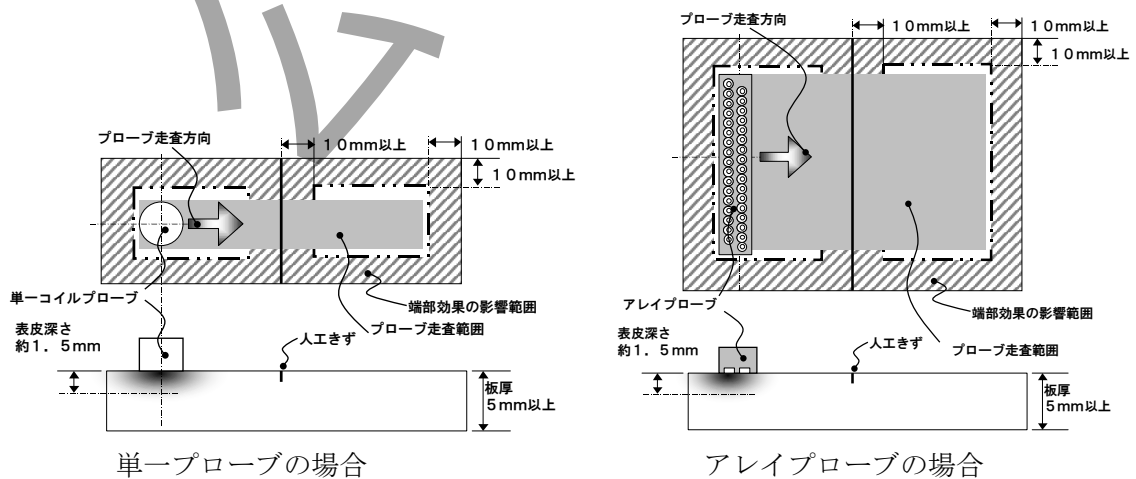
(a) 試験片端部の端部効果影響範囲測定例 (試験周波数 100 kHz, コイル外径 3 mm)

材料	表皮深さ (mm)※
SUS316L	1.3
SUS304	1.3
NCF600	1.6
YNiCr-3	1.7

※ 解説表-2330-2-1 の電気伝導率と比透磁率の値を下式に代入して求めた。

$\delta = (4\pi^2 \times 10^{-7} \times f \times \mu_r \times \sigma)^{-0.5}$;ここで、 δ は表皮深さ (m), f は試験周波数 (Hz), σ は試験部の電気伝導率 (S/m), μ_r は試験部の比透磁率を表す。

(b) 表皮深さ計算結果 (試験周波数 100 kHz)



(c) 対比試験片寸法の考え方

解説図-2330-4-2 対比試験片の考え方 (試験周波数 100 kHz 以上)

(解説-2340-1) サンプリングレート

記録・解析装置のなかには、サンプリングレートの代わりに、サンプリング周波数を保証する装置がある。プローブ走査速度を V (mm/s) とすると、サンプリングレート g (点/mm) とサンプリング周波数 f (Hz) の間には次式が成り立つことから、このような装置を用いる場合は、サンプリングレート「走査距離 25 mm 当たり 30 点以上」を満足する範囲でプローブを走査するとよい。例えば、サンプリング周波数が 30 Hz の装置を使用する場合は、サンプリングレート「走査距離 25 mm 当たり 30 点以上」を満たすように、試験時のプローブ走査速度を 25 mm/s 以下にする。

$$f = g \times V$$

(解説-2420-1) プローブの性能確認

プローブの性能確認は、プローブが基準感度及び位相角を所定の値に設定できる性能を有することを、事前に確認する目的で行う。

(解説-2500-1) 基準感度、位相角の設定及び確認の目的

欠陥の疑いのある指示部の抽出と欠陥判定を行うために、基準感度と位相角を所定値に設定する。また、試験中に基準感度と位相角が所定値から変化していないことを保証するために、基準感度と位相角の確認を試験後に行う。

(解説-2520-1) 基準感度及び位相角の設定

NSA 及び NNW では、対比試験片の深さ 1 mm の人工きずにより基準感度及び位相角の設定が行われている。基準感度は人工きずの全振幅を表示器で十分読み取れる 1~3 V に設定され、位相角は欠陥と欠陥以外の信号の識別を考慮し、深さ 1 mm の人工きずによるリサージュ波形の位相角を 90° に設定する方法、又は代表的な欠陥以外の信号であるリフトオフ信号を 0° 又は 180° 方向に設定する方法が採用されている。欠陥判定に有効な位相角は、手法の特性や欠陥判定要領などを踏まえて設定することが望ましく、附属書を参考に設定するとよい。

(解説-2520-2) 基準感度、位相角の設定及び確認時のプローブの使用環境

金属の電気伝導率は空気や水に比べて約 10 桁以上に大きいため、プローブの使用環境が気中あるいは水中でも渦電流探傷試験の性能に影響しない。この特徴により、基準感度、位相角の設定及び確認時のプローブの使用環境は気中又は水中のどちらでもよいが、プローブ特性を確認するために、試験時と基準感度、位相角の設定及び確認時のプローブの使用環境が異なる場合は、その影響を確認する。

(解説-2520-3) 試験中の位相角の変動幅

欠陥判定においては、位相角をもとに欠陥と欠陥以外の信号識別を行うことから、試験前

後の位相角変動を厳しく制限し、 5° 以内に規定した。また、欠陥判定をする際の信号識別に支障がないことが確認されている場合の例としては、附属書Dに示す手順で確認された 10° 以内がある。

(解説-2600-1) 試験周波数

試験部の渦電流は、試験周波数が高いと表層部で電流密度が高くなり、浅い欠陥に対して検出性が向上する。また、試験周波数が低いと表層部の電流密度が低下し、表面状態等の影響を軽減できる。更に渦電流探傷試験において、欠陥以外の信号の発生が想定される場合は欠陥と欠陥以外の信号の識別に有効な試験周波数を設定する必要がある。

このように、試験周波数は欠陥の検出に関係する重要な条件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を選定するとよい。欠陥の検出に有効な試験周波数は、試験コイルの特性や欠陥検出要領を踏まえて設定することが望ましく、附属書を参考に設定するとよい。

(解説-2710-1) 探傷感度

任意の探傷感度で試験を行っても、基準感度に戻して試験結果を再表示することで、3100(1)項を実施できる。

(解説-2710-2) 密着状態

プローブの試験部への密着性や傾きが変化すると、リフトオフなどにより探傷感度が変化し、欠陥の疑いのある指示部の抽出に影響を及ぼす可能性があるため、試験部を模擬した試験片などを用いて、プローブを試験部に密着させる押付条件を確認することが望ましい。また、押付機構の制限などにより、プローブが試験部に密着しない場合は、欠陥の疑いのある指示部の抽出に支障をきたさないように、リフトオフで生じる感度低下を補う感度での試験や感度低下を踏まえた抽出基準などを適用してもよい。

(解説-2720-1) 走査範囲

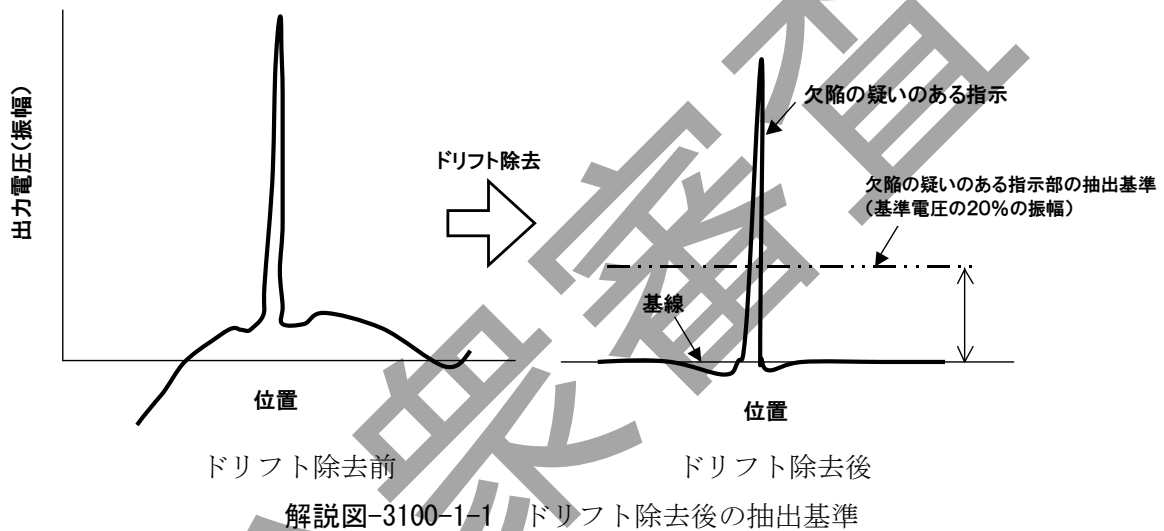
所定の探傷範囲とは、**日本機械学会 発電用原子力設備規格 維持規格**で規定された表面検査範囲などである。

第3章 欠陥検出及び欠陥長さ測定要領

(解説-3100-1) 欠陥の疑いのある指示部の抽出

零電圧レベルを基線とした抽出基準は、ドリフトの影響が小さい場合に有効である。ドリフトの影響が大きい場合は、解説図-3100-1-1のように、バンドパスフィルタなどのドリフト除去装置を用いて、ドリフトをある程度除去するとよい。ドリフト除去装置を用いる場合は、欠陥の疑いのある指示部のピーク部とその周辺の実出力電圧の差がドリフト除去前後で大きく変わらないことを、欠陥を付与した試験片などを用いて確認する。

一方、ピーク電圧部の直前又は直後のうち出力電圧が低い方を基線とした抽出基準は、ドリフトの影響が小さい場合と大きい場合のどちらにも有効である。



(解説-3100-2) その他の抽出基準を適用する場合

その他の抽出基準を適用する場合は、基準電圧の20%以上の指示部と同等以上の抽出性能を有することを、欠陥を付与した試験片などを用いて確認する。その他の抽出基準として、次に示す基準などがある。

(1) SN比を抽出基準とする場合

SN比を抽出基準とした欠陥の疑いのある指示部の抽出は、ノイズレベルが比較的小さい場合に有効である。ノイズレベルは、試験部の表面状態や手法などによって変わるため、ノイズレベルが一様な場合は、振幅チャート上の出力電圧の変動幅をノイズレベルとし、ノイズレベルが場所によって変動する場合は、零電圧レベル又は基線に対して基準電圧の $\pm\alpha\%$ の変動幅をノイズレベルとするなど、ノイズレベルの定義はノイズの現れ方や手法の特徴などを踏まえて設定する。ノイズレベルを求める範囲は、指示部の振幅ピーク部の周辺や一様なノイズレベル領域から、プローブ寸法や走査速度などを踏ま

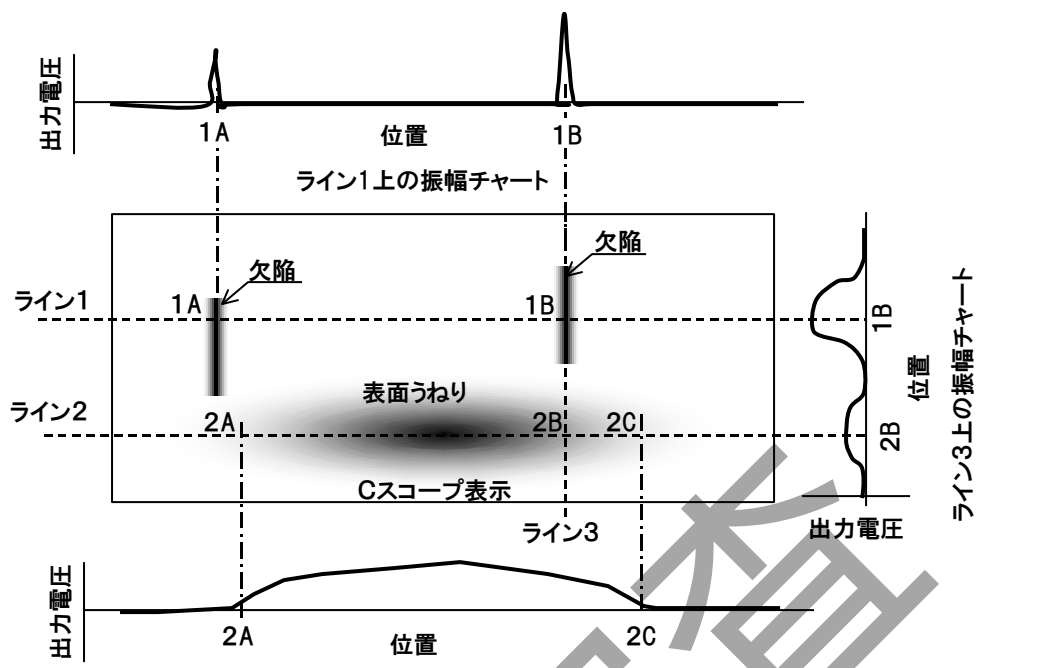
え設定する。また、抽出基準となるSN比は、欠陥を付与した試験片を用いた試験などにより設定する。

(2) 波形の特徴を抽出基準とする場合

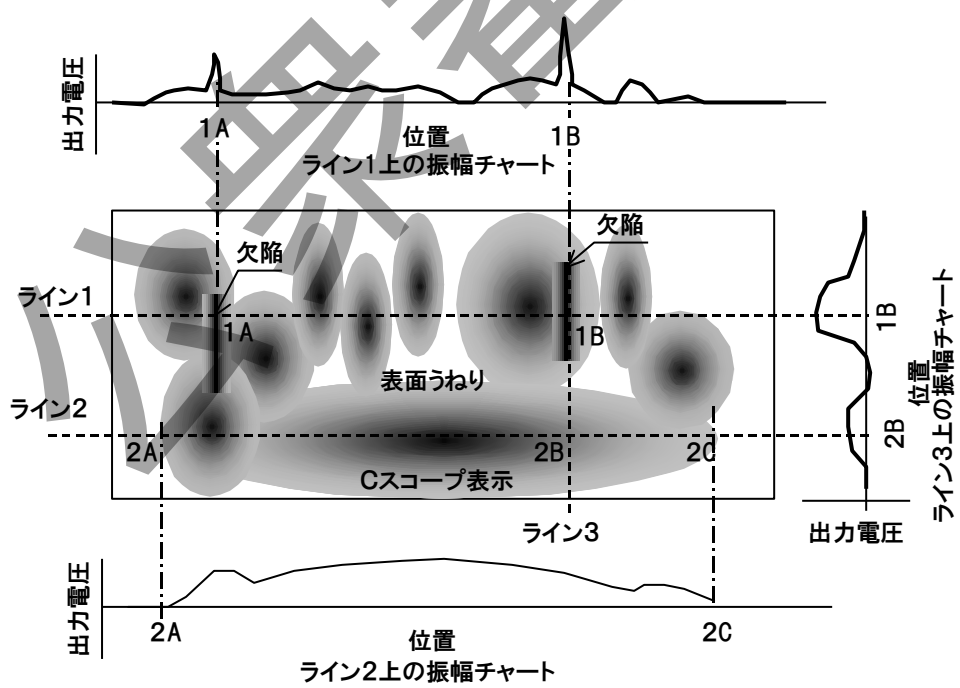
渦電流探傷試験で検出される信号は、解説表-3100-2-1のように分類できる。欠陥以外の信号にはリフトオフ信号、表面うねり信号、形状信号と局所的な電磁気的特性の変化に起因する信号があり、振幅に着目すると、振幅チャート上で比較的滑らかな振幅分布となることが多い。一方、SCCや疲労などによる欠陥により発生する信号は、解説図-3100-2-1に示すように、欠陥検出に有効な成分の振幅チャート上で急峻な振幅分布が現れる特徴がある。このような波形の特徴を数値化して、欠陥の疑いのある指示部を抽出できる。

解説表-3100-2-1 信号の分類

分類	信号の発生原理	信号の特徴	発生状況例
A リフトオフ信号	プローブ走査中のプローブと試験部との接触状態が変化することで発生する信号	a) 振幅チャート：滑らかな出力分布として現れる。 b) Cスコープ表示：平面状の指示模様として現れる。	プローブの押付状態が不十分な場合に発生する。
B 表面うねり信号	試験部表面の凹凸により発生する信号	同上	表面うねり、凹み等を有するような主にグラインダー仕上げ面で発生する。
C 形状信号	試験部の形状により発生する信号	同上	試験部が曲面である場合や端部効果を受ける場合に発生する。
D 局所的な電磁気的特性の変化に起因する信号	試験範囲の電磁気的特性の不均一さにより発生する信号	同上	溶接部や母材部の強加工層又は異材境界等で発生する。
E 欠陥信号	欠陥により発生する信号	a) 振幅チャート急峻な出力分布として現れる。 b) Cスコープ表示線状の指示模様として現れる。	欠陥がある場合に発生する。



(a) 欠陥以外の信号が少ない場合



(b) 欠陥以外の信号が多い場合

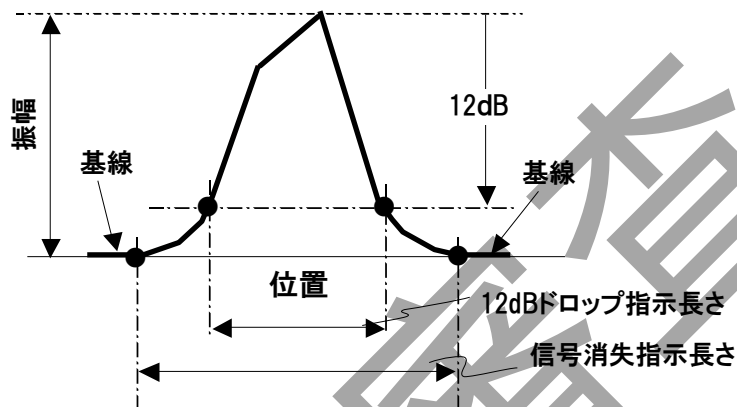
解説図-3100-2-1 Cスコープ表示と出力分布の相関イメージ図

(解説-3200-1) その他の渦電流による手法

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氣的信号によるものか否かを判定する方法などがある。

(解説-3300-1) 欠陥長さ測定

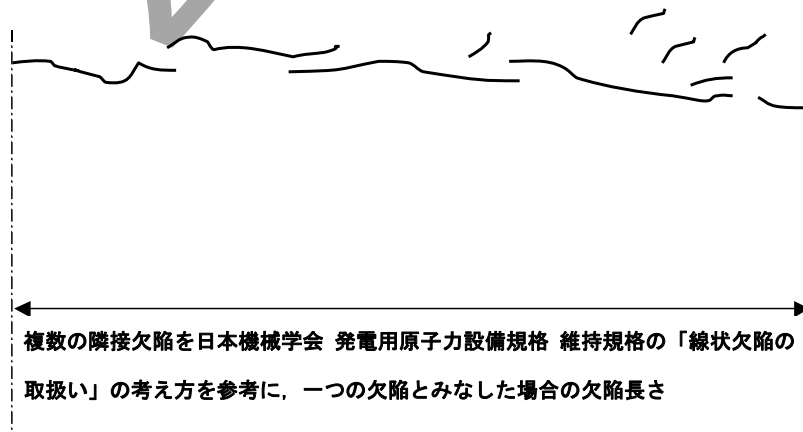
渦電流探傷試験で欠陥長さを測定する場合は、解説図-3300-1-1 に示すような信号消失指示長さ、12 dB ドロップ指示長さなどを求める方法で、振幅チャートにより欠陥長さ方向の端部に該当する振幅の位置座標を求め、その座標をもとに指示長さを求める。なお、長さ測定法は、使用目的、試験コイルの特性や測定精度を考慮して選択するとよい。



解説図-3300-1-1 欠陥長さ測定方法

(解説-3300-2) 複数欠陥の長さ測定

渦電流探傷試験の対象となる欠陥の一つである応力腐食割れは、表面で断続した複数の欠陥の集合体であっても、内部で連結した一つの欠陥である可能性がある。このように断続した複数の欠陥が隣接する場合は、解説図-3300-2-1 に示すように日本機械学会 発電用原子力設備規格 維持規格の「線状欠陥の取扱い」の考えを参考に、一つの欠陥とみなし、その集合体の長さを測定してもよい。



解説図-3300-2-1 複数の隣接欠陥を一つの欠陥とみなした場合の欠陥長さ例

第4章 記録要領

(解説-4200-1) データの保管

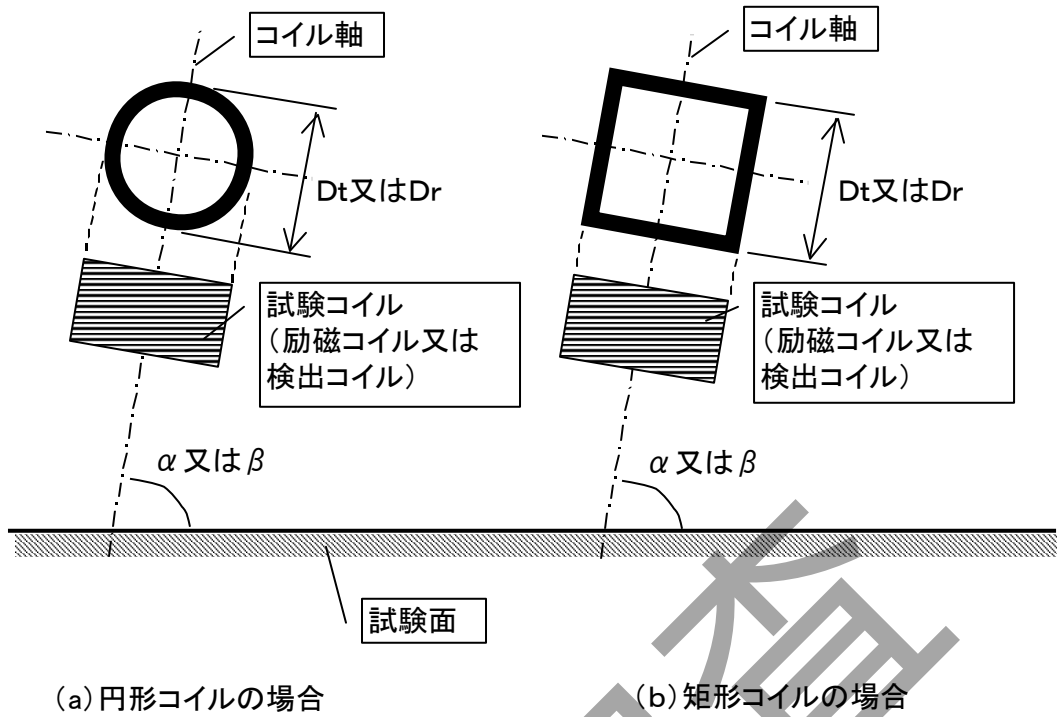
測定結果の再評価及び第三者の確認が行えるように、振幅チャート等の試験データを電子媒体に記録し、保管することが望ましい。電子媒体の保管期間は、発電所（号機）の供用期間とすることが望ましいが、長期間の保管が難しい場合があるため、具体的な保管期間及び保管方法については、関係者と協議のうえ、点検状況等を踏まえ明確にしておくことが望ましい。

(解説-4200-2) 記録等に残すプローブの仕様

試験に用いたプローブの管理番号からその仕様を特定できるようにしておくことが望ましい。解説表-4200-2-1は、代表的なプローブ仕様をまとめたものであり、これらの仕様を記した記録、又は解説表-4200-2-1の内容を含む図面などを保管するとよい。

解説表-4200-2-1 記録等に残すプローブの仕様

記載項目	記載内容
試験コイルの形式	以下より選択する。 S：自己誘導形，M：相互誘導形
試験コイルの方式	以下より選択する。 A：標準比較方式，B：自己比較方式
試験コイルとプローブ走査面とのなす角 (解説図-4200-2-1)	α と β の公称値を記載する。 α ：励磁コイルのコイル軸とプローブ走査面とのなす角 β ：検出コイルのコイル軸とプローブ走査面とのなす角 ただし， α と β が同じ場合は β を省略する。
試験コイルの配置 (解説図-4200-2-2)	以下より選択する。 C：検出コイルと励磁コイルのコイル軸を直交して配置 H：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 V：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 S：1個のコイルが励磁と検出を兼用
試験コイルの寸法 (解説図-4200-2-1)	DtとDrの公称値をミリ単位で記載する。 Dt：励磁コイルの寸法 Dr：検出コイルの寸法 ただし，DtとDrが同じ場合はDrを省略する。
検出コイルの間隔	アレイプローブの検出コイルの並び方向間隔の公称寸法をミリ単位で記載する。単一プローブについては記載しない。
磁気飽和の有無	磁気飽和型プローブを使用する場合は，磁気飽和ありと記載する。



解説図-4200-2-1 試験コイルのコイル軸と試験面のなす角及び試験コイルの寸法の定義

記号	定義	コイル配置例
C	検出コイルと励磁コイルのコイル軸を直交して配置	<p>(a) 自己誘導形 (b) 相互誘導形</p>
H	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	<p>(a) 自己誘導形 (b) 相互誘導形</p>
V	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	<p>(a) 自己誘導形 (b) 相互誘導形</p>
S	1個のコイルが励磁と検出を兼用	

解説図-4200-2-2 試験コイルの配置例

(解説-4200-3) 記録等に残す対比試験片の仕様

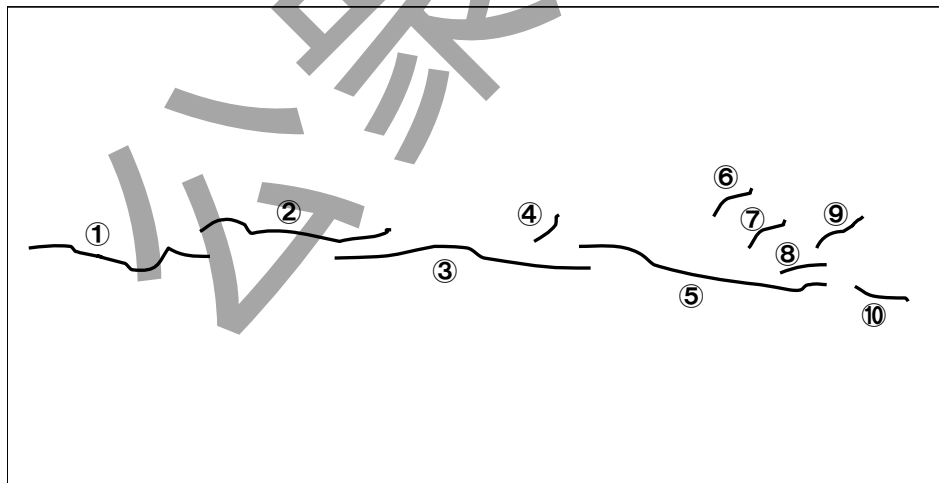
試験に用いた対比試験片の管理番号からその仕様を特定できるようにしておくことが望ましい。解説表-4200-3-1 は代表的な対比試験片の仕様をまとめたものであり、これらの仕様を記した記録、又は解説表-4200-3-1 の内容を含む図面などを保管するとよい。

解説表-4200-3-1 記録等に残す対比試験片の仕様

項目		記載要領
対比試験片	板厚	対比試験片の板厚、幅及び長さを記載する。
	幅	
	長さ	
人工きず	深さ	対比試験片の人工きずの深さ、幅及び長さの実測値を記載する。
	幅	
	長さ	
材質	材質の略号を記載する。略号は JIS 等の材料記号に従う。	

(解説-4200-4) 複数の隣接欠陥を一つの欠陥とみなした場合に残す記録

一つの欠陥とみなした複数の隣接指示群を記録により確認できるように、解説図-4200-4-1 に示すような C スコープ表示などを記録として残すとよい。



①～⑩：複数の隣接欠陥を日本機械学会 発電用原子力設備規格 維持規格の「線状欠陥の取扱い」の考え方を参考に、一つの欠陥とみなした指示群

解説図-4200-4-1 複数の隣接欠陥を一つの欠陥とみなした場合に残す記録例

附属書 A クロスコイル（自己誘導形自己比較方式，相互誘導形自己比較方式及び標準比較方式）の渦電流探傷試験要領

A-1000 総則

本附属書は，クロスコイル（自己誘導形自己比較方式，相互誘導形自己比較方式及び標準比較方式）によるオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金の母材部及び溶接部の渦電流探傷試験（上置プローブ）の試験要領を示す。なお，本附属書に記載のない試験要領については第2章から第4章による。（解説-A-1000-1）

A-2000 試験要領

A-2100 使用機材

使用機材は2300項による。

A-2200 探傷器の校正及びプローブの性能確認

探傷器の校正及びプローブの性能確認は2400項による。

A-2300 基準感度，位相角の設定及び確認

基準感度，位相角の設定及び確認は，図-A-2300-1に示すように，対比試験片の人工きずを交差する方向にプローブを走査し，その際に検出されるきず信号の振幅及び位相角を基準値に設定する。（解説-A-2300-1）

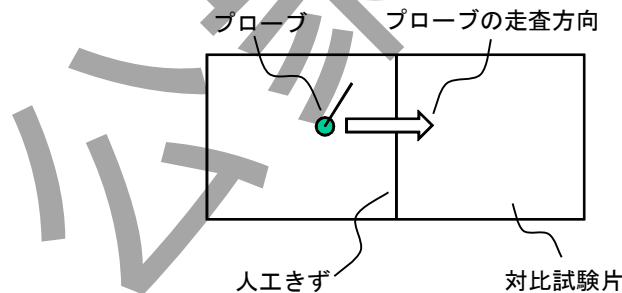


図-A-2300-1 基準感度，位相角の設定及び確認時のプローブ走査方向

A-2400 試験周波数

試験周波数は，10 kHz から 1 MHz の2種類以上の周波数とする。（解説-A-2400-1）

A-2500 プローブの走査

A-2510 プローブの走査方法

A-2511 プローブの走査方向

プローブの走査方向は任意である。試験部の形状により、プローブの姿勢が安定しやすい方向に走査する。(解説-A-2511-1)

A-2512 プローブの走査ステップ

プローブの走査ステップは、プローブ特性に応じて十分小さい間隔とする。(解説-A-2512-1)

A-2513 プローブの押付け

プローブの押付けは、試験部の表面形状に適した押付け機構を用いる。

A-2520 プローブの走査範囲

プローブの走査範囲は 2720 項による。

A-3000 欠陥検出及び欠陥長さ測定要領

A-3100 欠陥の疑いのある指示部の抽出

欠陥の疑いのある指示部の抽出は 3100 項による。(解説-A-3100-1)

A-3200 欠陥判定

- (1) A-3100 項に基づき抽出された指示について、その指示が欠陥によるものか、それ以外の要因（リフトオフ信号、表面うねり信号、形状信号、局所的な電磁気的特性の変化に起因する信号）によるものかを以下の手順で判定する。
 - a. 複数周波数のリサージュ波形とチャートにより、波形特徴を確認し、評価対象が欠陥によるものかどうかを判定する。(解説-A-3200-1)
 - b. A-3200(1)a 項で欠陥によるものか否か判定できない場合は、原則として欠陥とみなすものとする。ただし、必要に応じて性能が確認されたその他の渦電流による手法を用いて、欠陥判定を行ってもよい。
- (2) 欠陥の判定には、A-3200(1)項の手段を自動化した処理装置を用いてもよい。

A-3300 欠陥長さ測定

- (1) A-3200 項に基づき判定した欠陥、又は目視検査などの他の非破壊検査により判定した欠陥について、以下の手順で欠陥長さの測定を行う。(解説-A-3300-1)
 - a. 振幅と基線の交点を求めて、欠陥端部に該当する位置座標を求める。
 - b. 交点を結ぶ線長を指示長さとし、この指示長さを欠陥長さとする。(図-A-3300-1)
- (2) 欠陥長さの測定には、A-3300 (1)項の手順を自動化した処理装置を用いてもよい。

- (3) 欠陥が断続的な場合や隣接した欠陥が存在する場合は、日本機械学会 発電用原子力設備規格 維持規格の「線状欠陥の取扱い」の考え方を参考に、欠陥長さを測定してよい。

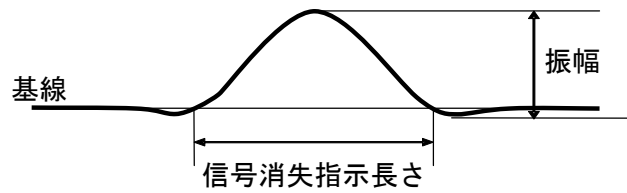


図-A-3300-1 信号消失指示長さによる欠陥長さ測定

A-4000 記録要領

本項は、記録要領について示す。

A-4100 記録手順

記録を要する指示は 4100 項による。

A-4200 記録内容

記録内容は 4200 項による。

[附属書A 解説]

(解説-A-1000-1) クロスコイル

クロスコイル（自己誘導形自己比較方式）は、2組の直交するパンケーキ型コイルを試験面に垂直に配置させたコイルである。（解説図-A-1000-1-1）

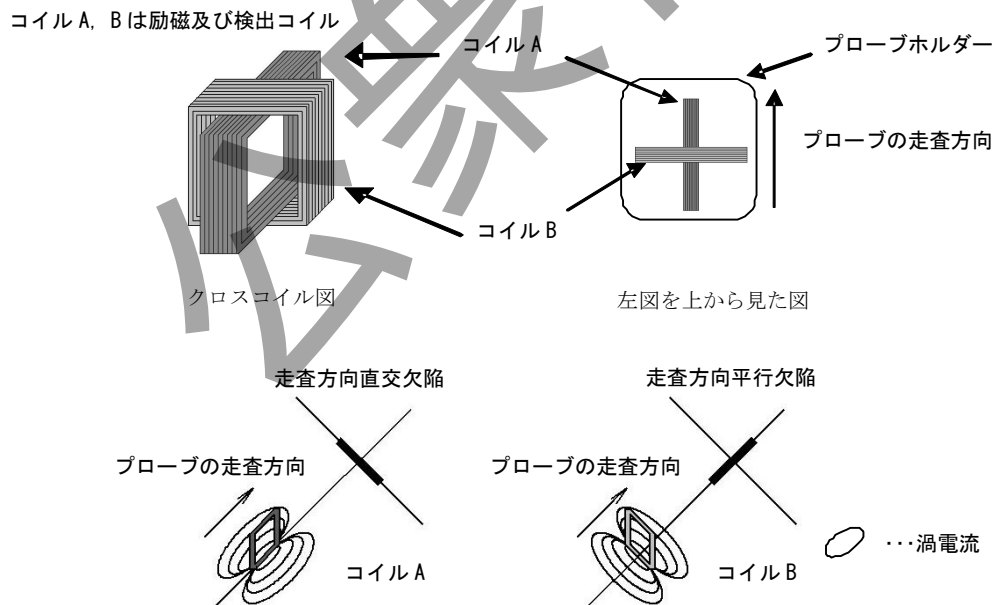
クロスコイル（相互誘導形自己比較方式）は、試験面に垂直に配置した1個のパンケーキ型コイルと試験面に平行配置した2個の検出コイルから構成される。

クロスコイル（相互誘導形標準比較方式）は、試験面に垂直に配置した2個の直交するパンケーキ型コイルから構成される。（解説図-A-1000-1-2）

クロスコイルでは、走査方向に対し直交及び平行欠陥に遮られた渦電流変化を、適切な電気回路で電圧に変換し、記録計に表示することで欠陥を検知する。

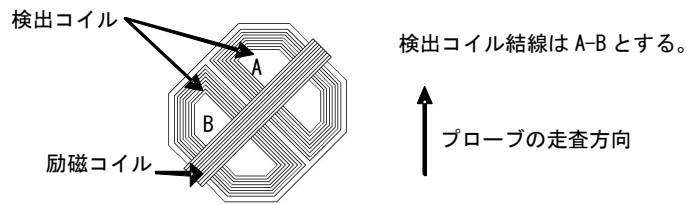
クロスコイルには、単一プローブとアレイプローブ（単一プローブを複数個並べ、個々に単一プローブと同一の探傷方式で探傷可能とするプローブ）がある。

クロスコイルは、直交及び平行な欠陥に対する検出性が最も優れており、直交及び平行以外の欠陥に対する検出性は低下する。ただし、NSAのシュラウド中間胴溶接部（H4）を模擬した試験体で、走査方向に対しほぼ45°の角度をもつSCCによる欠陥の検出も可能であることが確認されている。（解説図-A-1000-1-3）

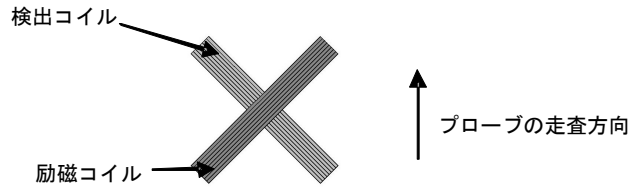


プローブの走査方向直交及び平行欠陥に対して、それぞれコイル A、コイル B に流れる渦電流は影響を受ける。その結果、渦電流の作る磁場も変化するため両方向欠陥の検出が可能となる。

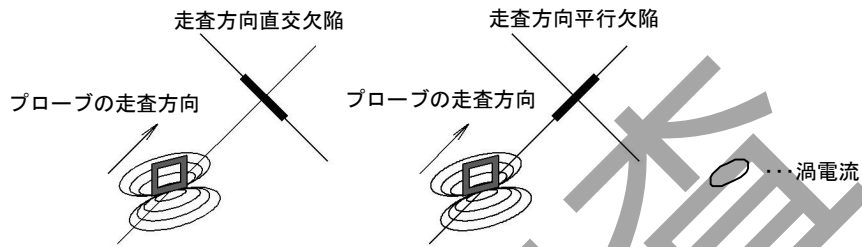
解説図-A-1000-1-1 クロスコイル（自己誘導形自己比較方式）



相互誘導形自己比較方式



相互誘導形標準比較方式

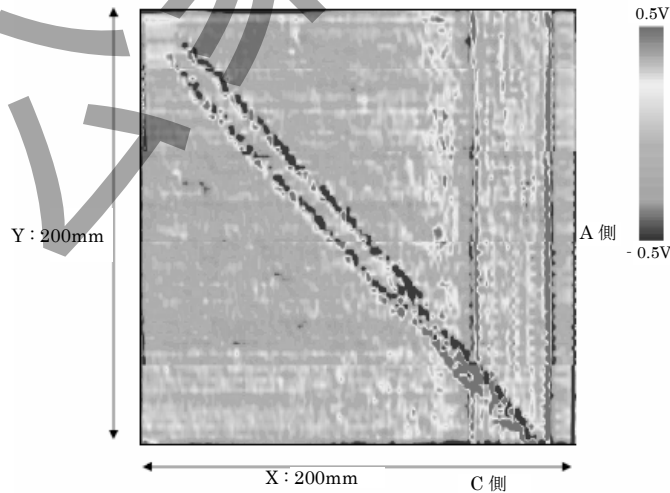


プローブの走査方向直交及び平行欠陥に対して、斜め方向に流れる渦電流は影響を受ける。その結果、渦電流の作る磁場も変化するため両方向欠陥の検出が可能となる

解説図-A-1000-1-2 クロスコイル（相互誘導形自己比較及び標準比較方式）

シュラウド中間胴溶接部（H4）を模擬した試験体 No. 2B の検出性試験結果

Cスコープ表示内容：X 振幅
 プローブ：薄膜コイル
 周波数：200 kHz
 スキャン方向：溶接線直交
 プローブ方向：溶接線直交



解説図-A-1000-1-3 クロスコイルによる斜め欠陥検出性例

出典

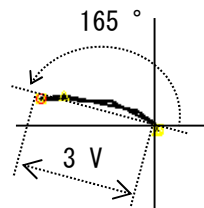
- [1] 独立行政法人 原子力安全基盤機構，平成16年度 シュラウド等の非破壊検査技術実証事業に関する報告書 平成17年12月，p.2-282

(解説-A-2300-1) 基準感度, 位相角の設定及び確認

NSA, NNW では深さ 1 mm, 幅 0.3 mm の人工きず上を走査した信号を, 全試験周波数ともに振幅 $3\text{ V} \pm 0.5\text{ V}$, 位相角 $165^\circ \pm 5^\circ$ 又は $-15^\circ \pm 5^\circ$ に設定することで, 良好な欠陥検出性を有することが確認されている。

クロスコイル方式では, センサの向きと欠陥方向により探傷信号の正負が反転するため, 対比試験片上の人工きずを走査するときのセンサの向きを把握して, 位相角を反転するかどうかの判断をする必要がある。

NSA, NNW ではプローブ走査方向に直交する欠陥は第 2 象限, プローブ走査方向に平行な欠陥は第 4 象限にリサージュを描くような設定としたが, 異なる設定も可能である。



解説図-A-2300-1-1 人工きずによる校正信号例

(解説-A-2400-1) 試験周波数

試験周波数は欠陥の検出性に関する重要な条件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にて試験を行う必要がある。

A-3200 項の欠陥判定に示すように, クロスコイルによる欠陥判定では, 複数周波数のリサージュ波形とチャートにより, 波形特徴を確認し, 評価対象が欠陥によるものかどうかを判定する。

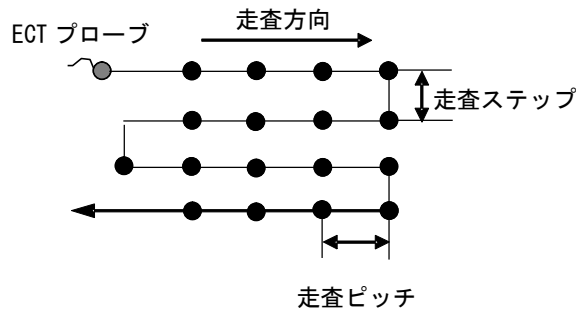
NSA, NNW では, 50 kHz, 100 kHz, 200 kHz, 300 kHz, 400 kHz, 500 kHz が使用され, SCC による欠陥の検出及び長さ測定に有効であることが確認されている。

(解説-A-2511-1) プローブの走査方向

プローブの走査方向により検出される欠陥信号の振幅は影響を受けないため, 検出性の観点から走査方向に関する制限はない。

(解説-A-2512-1) プローブの走査ステップ

対象とする欠陥寸法 (長さ) を見落とさないためには, コイル寸法, 渦電流の広がり を考慮して走査ステップを設定する必要がある。このステップは人工きず等を用いた事前確認試験により適切に設定することが必要であり, プローブ寸法の 1/2 程度が望ましい。すなわち, 探傷試験においてプローブ寸法の 1/2 程度が重なることを表している。また, 走査ピッチについても同様である。矩形走査の例を解説図-A-2512-1-1 に示す。



解説図-A-2512-1-1 プローブの走査ステップ（矩形走査例）

(解説-A-3100-1) 欠陥の疑いのある指示部の抽出

(1) 基準電圧の 20 %以上の指示部を抽出基準とする場合

欠陥検出に有効な成分によって表示した C スコープ上で、振幅が 20 %以上の指示を抽出する。C スコープが Y 振幅表示の場合は、Y 振幅 (Y 振幅/基準電圧の Y 振幅×100) が 20 %以上とする。

振幅による C スコープ画像の 2 値化表示を用いた信号抽出の例を解説図-A-3100-1-1 に示す。

2 値化表示のしきい値	C スコープ画像
<p>— (2 値化なし)</p>	
<p>基準電圧の 20 %</p>	

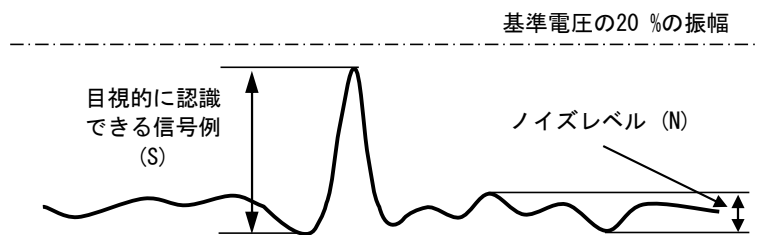
解説図-A-3100-1-1 信号抽出基準例（振幅 20 %による手法）

出典

- [1] 独立行政法人 原子力安全基盤機構, 平成20年度 ニッケル基合金溶接部の非破壊検査技術実証に関する事業報告書 平成21年12月, p.828

(2) SN 比を抽出基準にする場合

ノイズレベルが一様で十分小さいために、対象となる信号が振幅チャート上で目視的に認識できる場合は、上記(1)の抽出基準に加えて、試験員又は試験評価員の判断で求めた S, N 及び SN 比を基準にして信号を抽出する。(解説図-A-3100-1-2)



解説図-A-3100-1-2 信号抽出基準例 (SN 比による手法)

(解説-A-3200-1) 欠陥判定

波形特徴とは、リサージュ波形の振幅及び位相角情報、チャートの変動等であり、必要に応じ性状の異なる各種欠陥（人工きず、SCC による欠陥等）との比較を行う。模擬試験体に付与した人工きず及びノイズ要因のリサージュ波形には、解説図-A-3200-1-1 に示すような特徴がある。

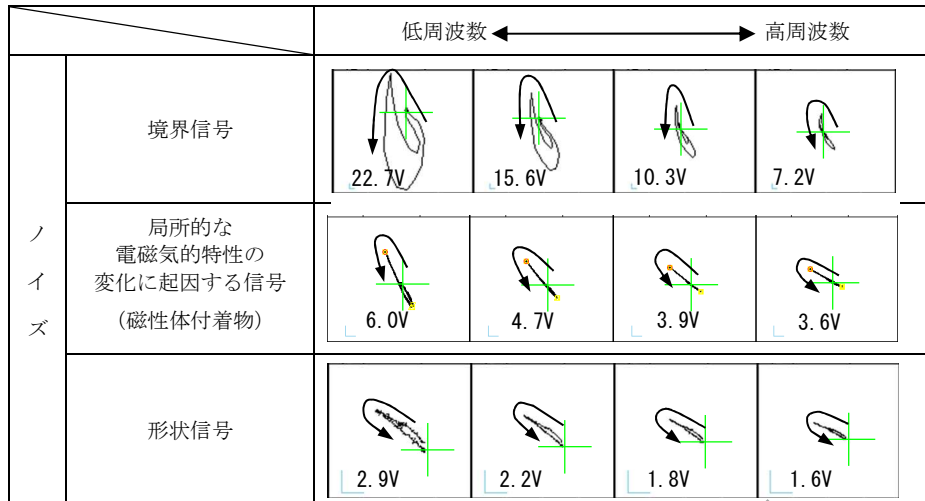
				低周波数 ←	→	高周波数
校正信号 (深さ 1mm, 幅 0.3mm 人工きず)						
欠陥	走査方向直交欠陥	深さ 1mm				
		深さ 2mm				
	走査方向平行欠陥	深さ 1mm				
		深さ 2mm				

解説図-A-3200-1-1 人工きずの ECT 探傷信号 (リサージュ) 例

欠陥の場合には、リサージュ波形の振幅と位相角が下記の特徴をもつことが多い。一方、欠陥以外の信号源の場合にはこれと異なる特徴をもつことが多いため、欠陥判定に下記特徴は有効である。

解説表-A-3200-1-1 欠陥のリサージュ波形特徴例

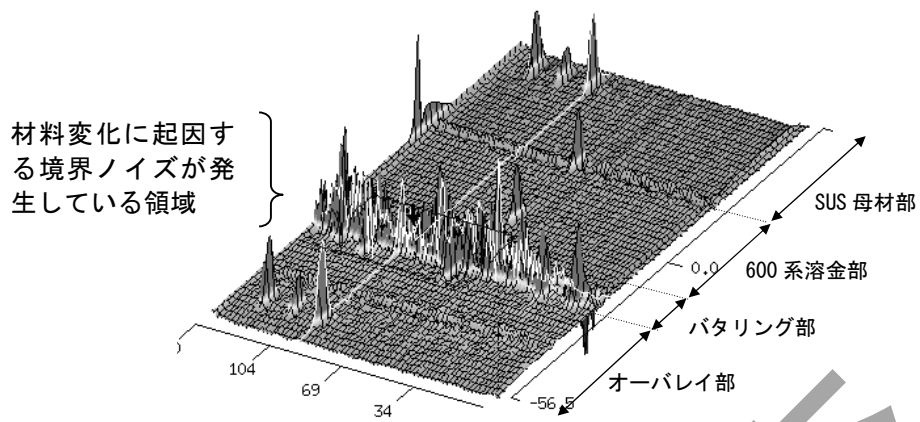
欠陥	振幅の関係	位相角の関係
浅い欠陥 (1 mm 程度未満)	低周波 ≤ 高周波	低周波 ≤ 高周波
深い欠陥 (1 mm 程度以上)	低周波 ≥ 高周波	低周波 ≥ 高周波



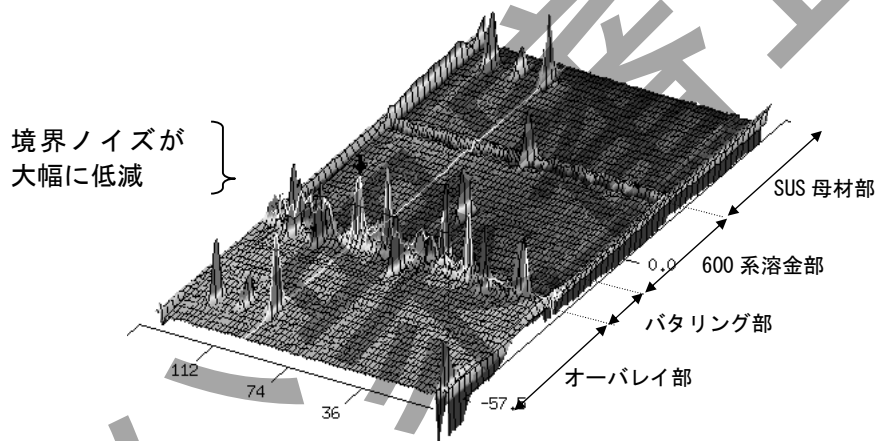
解説図-A-3200-1-2 ノイズ要因の ECT 探傷信号 (リサージュ) 例

欠陥以外の要因による信号との識別をするために、予め想定される要因 (リフトオフ信号, 表面うねり信号, 形状信号, 局所的な電磁気的特性の変化に起因する信号) を模擬した試験体データとの比較を必要に応じ行うことが望ましい。

電磁気的信号のうち、試験部の材料変化に起因する境界ノイズ等の信号については、永久磁石を用いた磁気飽和の機能を持たせることでこのノイズを大幅に低減できるため、解説図-A-3200-1-3 に示すようにノイズ信号との識別性及び境界部での欠陥検出性が向上する。



通常 ECT



磁気飽和 ECT

図中の急峻な信号は人工きずに対応する信号

解説図-A-3200-1-3 磁気飽和効果例

(解説-A-3300-1) 欠陥長さ測定

NNW, NSA ではクロスコイルによる長さサイジングの場合、信号消失による手法が適切であることが示されている。

附属書 B パンケーキコイル（自己誘導形標準比較方式）の 渦電流探傷試験要領

B-1000 総則

本附属書は、パンケーキコイル（自己誘導形標準比較方式）によるオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金の母材部及び溶接部の上置プローブを用いた渦電流探傷試験の試験要領を示す。なお、本附属書に記載のない試験要領については第 2 章から第 4 章による。（解説・B-1000-1）

B-2000 試験要領

B-2100 使用機材

使用機材は 2300 項による。

B-2200 探傷器の校正及びプローブの性能確認

探傷器の校正及びプローブの性能確認は 2400 項による。

B-2300 基準感度、位相角の設定及び確認

基準感度、位相角の設定及び確認は、図・B-2300-1 に示すように、対比試験片の人工きずを交差する方向にプローブを走査し、その際に検出されるきず信号の振幅及び位相角を基準値に設定する。（解説・B-2300-1）

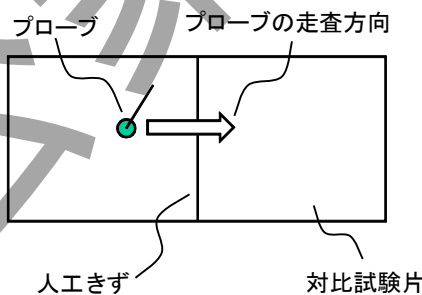


図-B-2300-1 基準感度、位相角の設定及び確認時のプローブの走査方向

B-2400 試験周波数

試験周波数は、10 kHz～1 MHz の範囲で 2 種類以上の周波数とする。（解説・B-2400-1）

B-2500 プローブの走査

B-2510 プローブの走査方法

B-2511 プローブの走査方向

プローブの走査方向は任意である。試験部の形状により、プローブの姿勢が安定しやすい方向に走査する。(解説-B-2511-1)

B-2512 プローブの走査ステップ

プローブの走査ステップは、プローブの特性に応じて十分小さい間隔とする。(解説-B-2512-1)

B-2513 プローブの押付け

プローブの押付けは、試験部の表面形状に適した押付機構を用いる。

B-2520 プローブの走査範囲

プローブの走査範囲は 2720 項による。

B-3000 欠陥検出及び欠陥長さ測定要領

B-3100 欠陥の疑いのある指示部の抽出

欠陥の疑いのある指示部の抽出は 3100 項による。(解説-B-3100-1)

B-3200 欠陥判定

- (1) B-3100 項に基づき抽出された指示について、その指示が欠陥によるものか、それ以外の要因（リフトオフ信号、表面のうねり信号、形状信号、局所的な電磁気的特性の変化に起因する信号）によるものかを以下の手順で判定する。
 - a. 複数周波数のリサージュ波形、振幅チャートにより、波形の特徴を確認し、評価対象が欠陥によるものかどうかを判定する。(解説-B-3200-1)
 - b. B-3200(1)a 項で欠陥によるものか否か判定できない場合は、原則として欠陥とみなすものとする。ただし、必要に応じて性能が確認されたその他の渦電流による手法を用いて、欠陥判定を行ってもよい。
- (2) 欠陥判定には、B-3200(1)項の手段を自動化した処理装置を用いてもよい。

B-3300 欠陥長さ測定

- (1) B-3200 項に基づき判定した欠陥、又は目視検査などの他の非破壊検査により判定した欠陥について、以下の手順で欠陥長さの測定を行う。(解説-B-3300-1)
 - a. 振幅チャートにおいて、信号振幅と基線の交点を求め、欠陥端部に該当する位置座標を求める。
 - b. 交点を結ぶ線長を指示長さとし、この指示長さを欠陥長さとする。(図-B-3300-1)

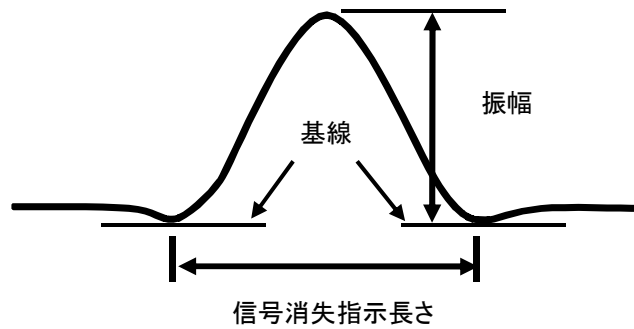


図-B-3300-1 信号消失指示長さによる欠陥長さ測定

- (2) 欠陥長さ測定には、B-3300(1)項の手順を自動化した処理装置を用いてもよい。
- (3) 欠陥が断続的な場合や隣接した欠陥が存在する場合は、**日本機械学会 発電用原子力設備 維持規格**の「線状欠陥の取り扱い」の考え方を参考に、欠陥長さを測定してよい。

B-4000 記録要領

本項は、記録要領について示す。

B-4100 記録手順

記録を要する指示は 4100 項による。

B-4200 記録内容

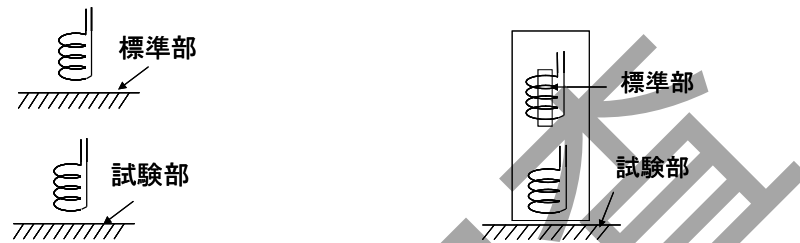
記録内容は 4200 項による。

[附属書 B 解説]

(解説-B-1000-1) パンケーキコイル (自己誘導形標準比較方式)

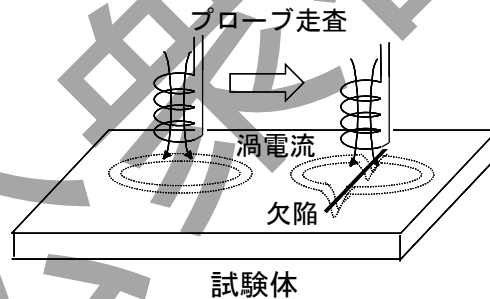
パンケーキコイル (自己誘導形標準比較方式) は、1対のコイルのうち一方を試験部に、他方を標準となるものに作用させ、それらのコイルの応答の差を検出する方式である。その代表例を解説図-B-1000-1-1に示す。また、探傷の模式図を解説図-B-1000-1-2に示す。

パンケーキコイルには、単一プローブとアレイプローブ (単一プローブを複数個並べ、個々に単一プローブと同一の探傷方式で探傷可能とするプローブ) がある。



(1) 試験部と標準部が異なる場合 (2) プローブ内に標準部を有している場合

解説図-B-1000-1-1 パンケーキコイル (自己誘導形標準比較方式) の代表例



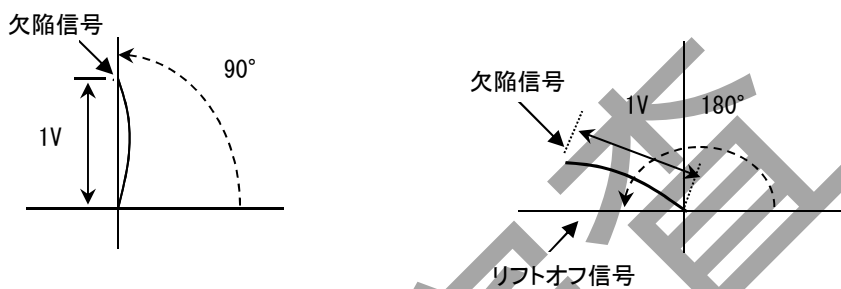
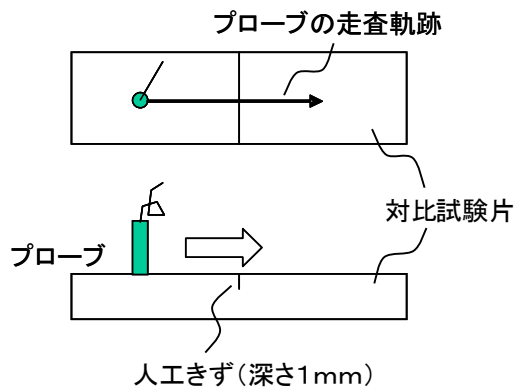
解説図-B-1000-1-2 パンケーキコイル (自己誘導形標準比較方式) の探傷模式図

(解説-B-2300-1) 基準感度, 位相角の設定及び確認

NSA, NNW では、深さ 1 mm, 幅 0.3 mm の人工きず上をプローブ走査した信号を、全周波数ともに、振幅 $1\text{ V} \pm 0.1\text{ V}$, 位相角 $90^\circ \pm 5^\circ$ に設定することで、良好な欠陥検出性を有することが確認されている。(解説図-B-2300-1-1(a))

上記条件を満足するときの探傷器感度を基準感度とする。また、位相角の調整は探傷器の移相器の調整で行う。

また、解説図-B-2300-1-1(b)に示すように、リフトオフ信号等のノイズ信号を探傷器の画面上の水平方向 (位相角 $0^\circ \pm 5^\circ$ あるいは $180^\circ \pm 5^\circ$) に出力するように探傷器の移相器を設定する方法もある。



(a) 出力信号を 90°に設定した例

(b) リフトオフ信号を 180°に設定した例

解説図-B-2300-1-1 基準感度，位相角の設定及び確認

(解説-B-2400-1) 試験周波数

試験周波数は、欠陥検出性に関する重要なパラメータであり、欠陥の検出に有効な試験周波数にて試験を行う必要がある。

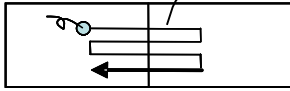
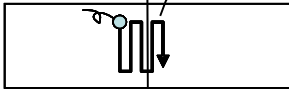
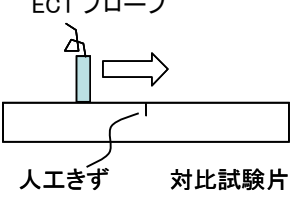
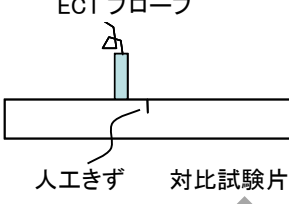
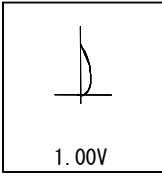
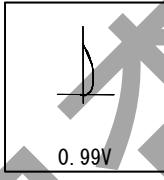
B-3200 項の欠陥判定に示すように、複数の周波数の探傷データ（C スコープ画像，リサーチ波形，チャート）を用いて欠陥を判定する。

NSA, NNW では、10 kHz, 100 kHz, 500 kHz, 1 MHz が使用され、2 種類以上の周波数を組み合わせた試験結果から、SCC による欠陥の検出及び長さ測定に有効であることが確認されている。

(解説-B-2511-1) プローブの走査方向

パンケーキコイルは、プローブの走査方向が欠陥の進展方向に影響されないプローブである。プローブの走査方向が、(a)欠陥に対して直交方向に走査した場合と、(b)欠陥に対して平行方向に走査したデータから直交方向のデータを抽出して処理した場合を比較すると、解説図-B-2511-1-1 に示すように、両者の信号振幅はほぼ同等の値が得られている。

したがって、欠陥信号の振幅はプローブの走査方向に影響されないため、探傷時にはプローブの走査方向に関する制限はない。

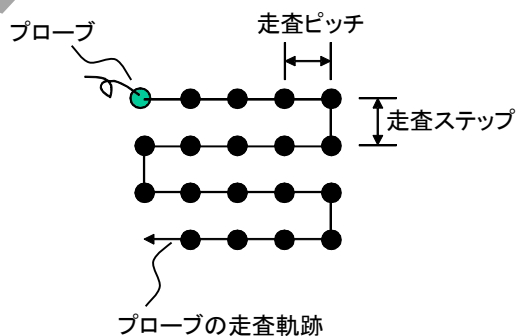
	直交走査	平行走査
走査方向	プローブの走査軌跡 	プローブの走査軌跡 
	ECTプローブ  人工きず 対比試験片	ECTプローブ  人工きず 対比試験片
リサーチ波形	 1.00V	 0.99V

解説図-B-2511-1-1 プローブの走査方向に関する説明図（人工きず：深さ 1 mm の例）

（解説-B-2512-1）プローブの走査ステップ

プローブの走査ステップは、解説図-B-2512-1-1 に示すように、対象とする欠陥を見落とさないために、コイル寸法、適用周波数を考慮して設定する必要がある。走査ステップは、欠陥寸法（長さ）に応じて事前確認試験により適切に設定することが必要であり、プローブ寸法の 1/2 程度とすることが望ましい。すなわち、探傷試験においてプローブ寸法の 1/2 程度が重なることを表している。

また、走査ピッチについても走査ステップと同様である。



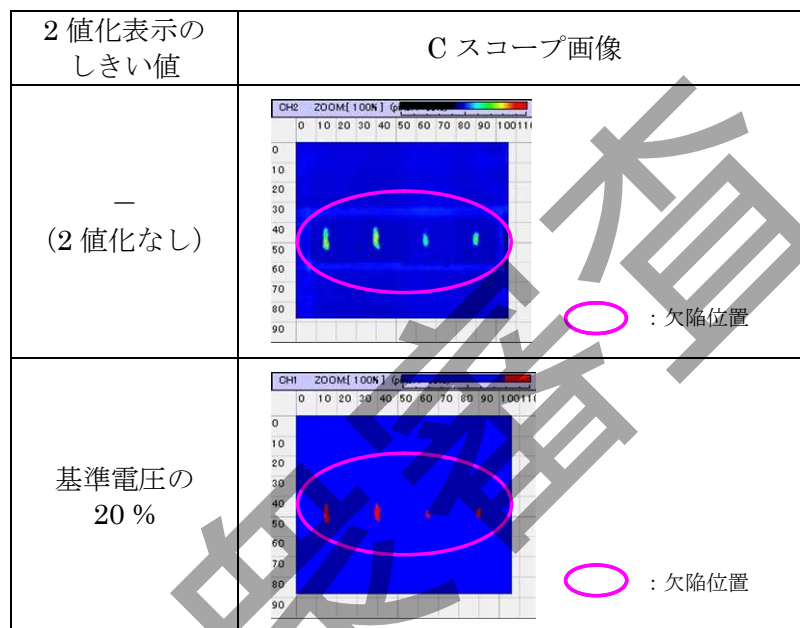
解説図-B-2512-1-1 プローブの矩形走査例

(解説-B-3100-1) 欠陥の疑いのある指示部の抽出

(1) 基準電圧の 20 %以上の指示部を抽出基準とする場合

欠陥検出に有効な成分によって表示した C スコープ上で、振幅が 20 %以上の指示を抽出する。C スコープが Y 振幅表示の場合は、Y 振幅 (Y 振幅 / 基準電圧の Y 振幅 × 100) が 20 %以上とする。

振幅による C スコープ画像の 2 値化表示を用いた信号抽出の例を、解説図-B-3100-1-1 に示す。



解説図-B-3100-1-1 信号抽出基準例 (振幅 20 %による方法)

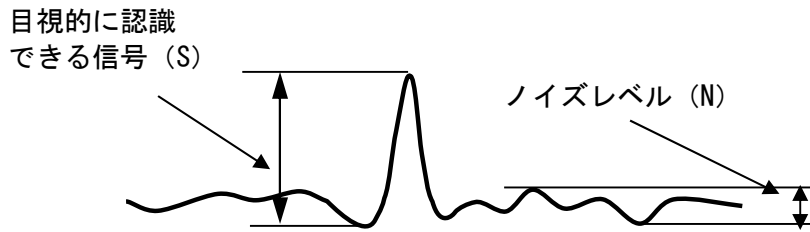
出典

- [1] 独立行政法人 原子力安全基盤機構, 平成20年度 ニッケル基合金溶接部の非破壊検査技術実証に関する事業報告書 平成21年12月, p.879

(2) SN 比を抽出基準とする場合

ノイズレベルが一様で十分小さいために、対象となる信号が振幅チャート上で目視的に認識できる場合は、上記(1)の抽出基準に加えて、試験員又は試験評価員の判断で欠陥の疑いのある指示部を抽出するとともに、S、N 及び SN 比を基準にして信号を抽出する。

(解説図-B-3100-1-2)



解説図-B-3100-1-2 信号抽出基準例 (SN 比による手法)

(解説-B-3200-1) 欠陥判定

波形の特徴は、リサージュ波形の振幅及び位相角情報、振幅チャートの変動等であり、必要に応じて、性状の異なる各種欠陥（人工きず、SCCによる欠陥等）との比較を行う。

模擬試験体に付与した人工きず及びノイズ要因のリサージュ波形例を解説図-B-3200-1-1に示す。欠陥の大きさによってリサージュ波形に特徴がある。指示信号が、解説図-B-3200-1-1に示すリサージュ波形の特徴に近い場合は、欠陥の可能性が高い。欠陥深さが大きくなるに従い、信号振幅が大きくなり、位相角が小さくなる傾向を示す。













試験周波数が高い場合は、試験対象表面の渦電流強度が大きく、深さの小さい欠陥の検出性が向上する。一方、試験周波数が低い場合は、試験体表面の電流密度が小さいが、試験部の厚さ方向の減衰が小さいため、深さの大きい欠陥の検出に有効である。

また、欠陥の場合、リサージュ波形の形状、位相角が、試験周波数間で大きな差が認められない。欠陥以外の場合はこれらの傾向があてはまらない場合が多い。

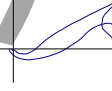
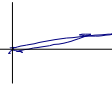


欠陥信号と欠陥以外の要因によるノイズ信号を識別するために、予め想定される要因（リフトオフ信号、表面のうねり信号、形状信号、局所的な電磁気的特性の変化に起因する信号）を模擬した試験体データとの比較を必要に応じて行なう。ノイズ信号の例として、クラッド下の低合金鋼の信号例及び補修溶接部の信号例を、解説図-B-3200-1-2に示す。信号の位相角及び波形形状が欠陥信号と異なっている。

欠陥判定には、必要に応じて、性能が確認されたその他の渦電流による手法を用いてもよい。

また、欠陥の判定には、試験部の設計情報（形状・寸法、溶接部の開先形状、表面仕上げ状態等）などから、形状不連続部、材料変化部などに起因する信号かどうかを判定し、評価対象が欠陥によるものかどうかを判定することで、欠陥検出性及び識別性が向上する。

	1MHz	500kHz	100kHz
深さ 0.5mm	 0.61V	 0.62V	 0.60V
深さ 1mm	 0.99V	 1.01V	 1.07V
深さ 2mm	 1.23V	 1.34V	 1.50V
深さ 3mm	 1.29V	 1.43V	 1.68V

解説図-B-3200-1-1 人工きずの探傷信号（リサージュ波形）例

	1MHz	100kHz
クラッド下の 低合金鋼の 信号例	 2.71V	 10.0V
補修溶接部 の信号例	 1.61V	 3.71V

解説図-B-3200-1-2 ノイズ要因の探傷信号（リサージュ波形）例

（解説-B-3300-1） 欠陥長さ測定

NSA, NNW では、パンケーキコイルの長さ測定については、信号消失指示長さが最も良好に評価できることが確認されている。

附属書 C パンケーキコイル（相互誘導形標準比較方式）の渦電流探傷試験要領

G-1000 総則

本附属書は、パンケーキコイル（相互誘導形標準比較方式）によるオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金の母材部及び溶接部の上置プローブを用いた渦電流探傷試験の試験要領を示す。なお、本附属書に記載のない試験要領については第2章から第4章による。（解説-C-1000-1）

G-2000 試験要領

G-2100 使用機材

使用機材は 2300 項による。

G-2200 探傷器の校正及びプローブの性能確認

探傷器の校正及びプローブの性能確認は 2400 項による。

G-2300 基準感度，位相角の設定及び確認

基準感度，位相角の設定及び確認は，図-C-2300-1 及び図-C-2300-2 に示すように，対比試験片の人工きずを交差する方向にプローブを走査し，その際に検出されるきず信号の振幅及び位相角を基準値に設定する。（解説-C-2300-1）

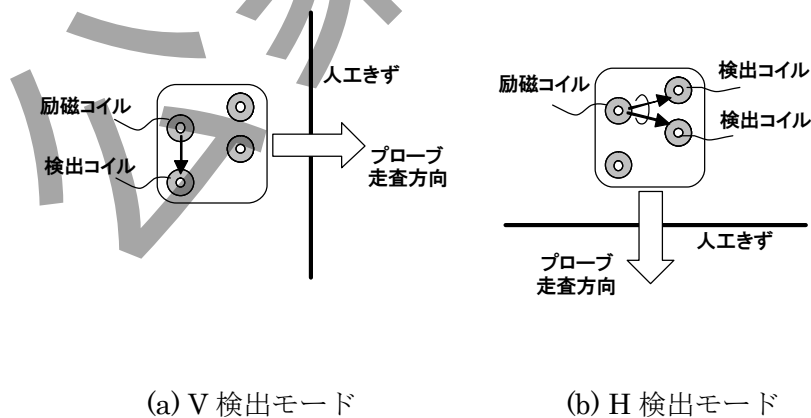


図-C-2300-1 基準感度，位相角設定及び確認時のプローブの走査方向
(単一プローブの場合)

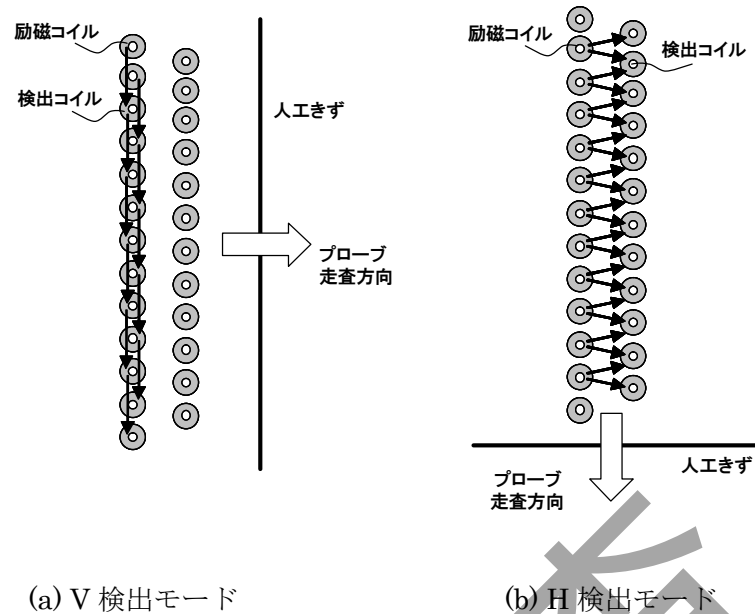


図-C-2300-2 基準感度，位相角設定及び確認時のプローブの走査方向
(アレイプローブの場合)

C-2400 試験周波数

試験周波数は，10 kHz から 1 MHz の 2 種類以上の周波数とする。(解説-C-2400-1)

C-2500 プローブの走査

C-2510 プローブの走査方法

C-2511 プローブの走査方向

プローブの走査方向は任意である。ただし，オーステナイト系ステンレス鋼の溶接部又は異材継手境界部を含む試験部では，プローブを溶接線又は異材継手境界に対して平行に走査する。(解説-C-2511-1)

C-2512 プローブの走査ステップ

(1) 単一プローブ

走査ステップは，図-C-2512-1 に示すようにコイル間隔の 2 分の 1 以下とする。(解説-C-2512-1)

(2) アレイプローブ

走査ステップは，図-C-2512-2 に示すようにプローブのコイル有効部がコイル間隔の 2 分の 1 以上ラップする間隔とする。

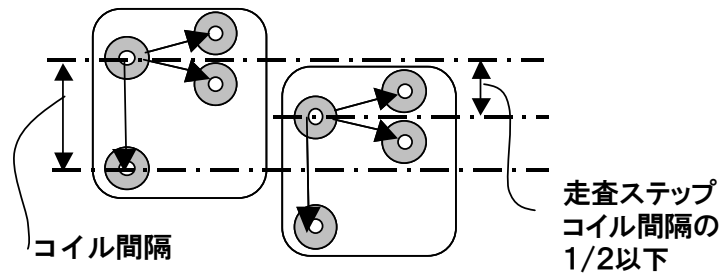


図-C-2512-1 単一プローブの走査ステップ説明図

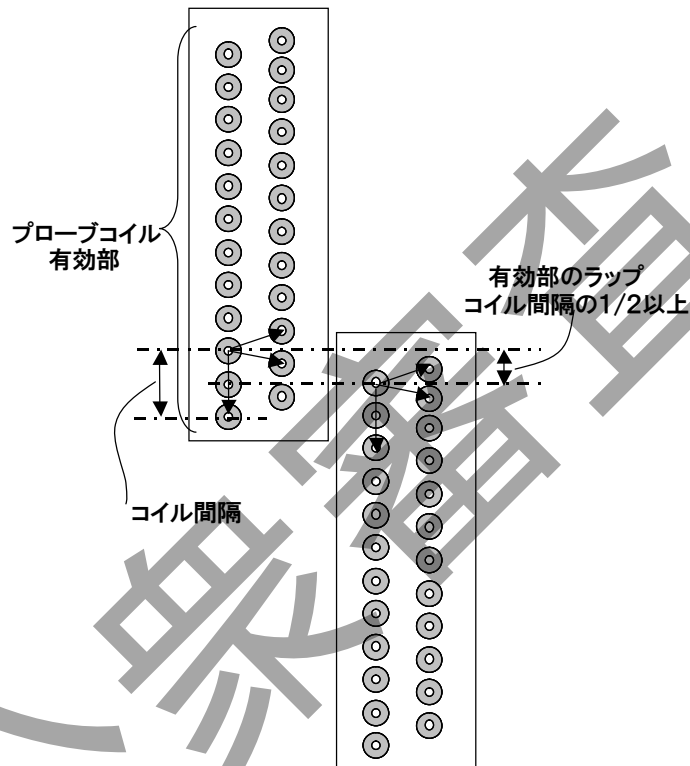


図-C-2512-2 アレイプローブの走査ステップ説明図

C-2513 プローブの押付け

プローブの押付けは、試験部の表面形状に適した押付機構を用いる。(解説-C-2513-1)

C-2520 プローブの走査範囲

プローブの走査範囲は 2720 項による。

C-2530 検出モード

検出モードは、V 検出モード及び H 検出モードを用いる。(解説-C-2530-1)

C-3000 欠陥検出及び欠陥長さ測定要領

C-3100 欠陥の疑いのある指示部の抽出

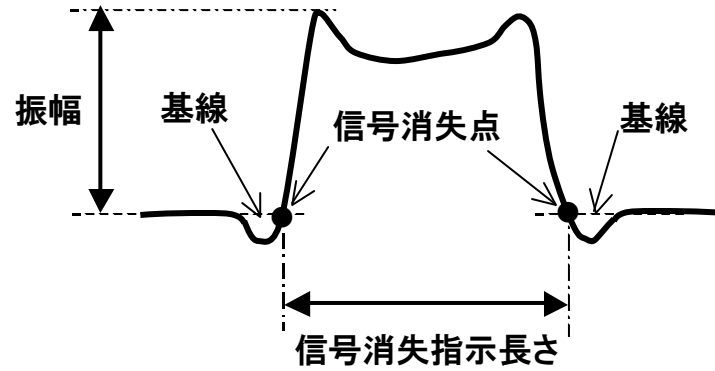
欠陥の疑いのある指示部の抽出は 3100 項による。(解説-C-3100-1)

C-3200 欠陥判定

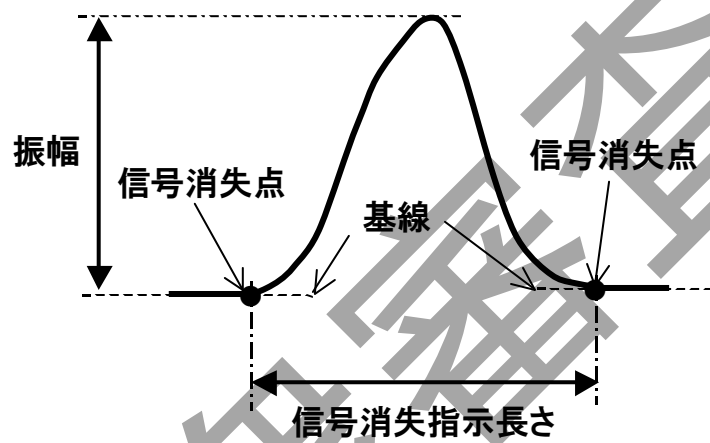
- (1) C-3100 項に基づき抽出された欠陥の疑いのある指示部について、その指示が欠陥によるものか、それ以外の要因（リフトオフ信号、表面うねり信号、形状信号、局所的な電磁気的特性の変化に起因する信号）によるものかを次の手順で判定する。
 - a. 複数の検出モードと試験周波数のリサーチ波形と振幅チャートにより、波形の特徴を確認し、評価対象が欠陥によるものかどうかを判定する。(解説-C-3200-1)
 - b. C-3200(1)a 項で欠陥によるものか否かを判定できない場合は、原則として欠陥とみなすものとする。ただし、性能が確認されたその他の渦電流による手法を用いて、欠陥判定を行ってもよい。
- (2) 欠陥判定には、C-3200(1)項の手段を自動化した処理装置を用いてもよい。

C-3300 欠陥長さ測定

- (1) C-3200 項に基づき判定した欠陥、又は目視検査などの他の非破壊検査により判定した欠陥について、渦電流探傷試験で欠陥長さ測定を行う場合は、図-C-3300-1 に示す要領で、振幅チャートにより欠陥長さ方向の端部に該当する振幅の位置座標を求め、その座標をもとに指示長さを求める。(解説-C-3300-1)
- (2) C-3300(1)項の代わりに、性能が確認された C-3300(1)項以外の要領で欠陥長さ測定を行ってもよい。
- (3) 欠陥長さ測定には、C-3300(1)又は(2)の手段を自動化した処理装置を用いてもよい。
- (4) 欠陥が断続的な場合や隣接した欠陥が存在する場合は、**日本機械学会 発電用原子力設備規格 維持規格**の「線状欠陥の取扱い」の考え方を参考に、欠陥長さを測定してもよい。



(a) 振幅の極大値が両端にある場合



(b) 振幅のピークが1つの場合

図-C-3300-1 欠陥長さ測定 (信号消失指示長さ)

C-4000 記録要領

本項は、記録要領について示す。

C-4100 記録手順

記録を要する指示は 4100 項による。

C-4200 記録内容

記録内容は 4200 項及び次の内容とする。

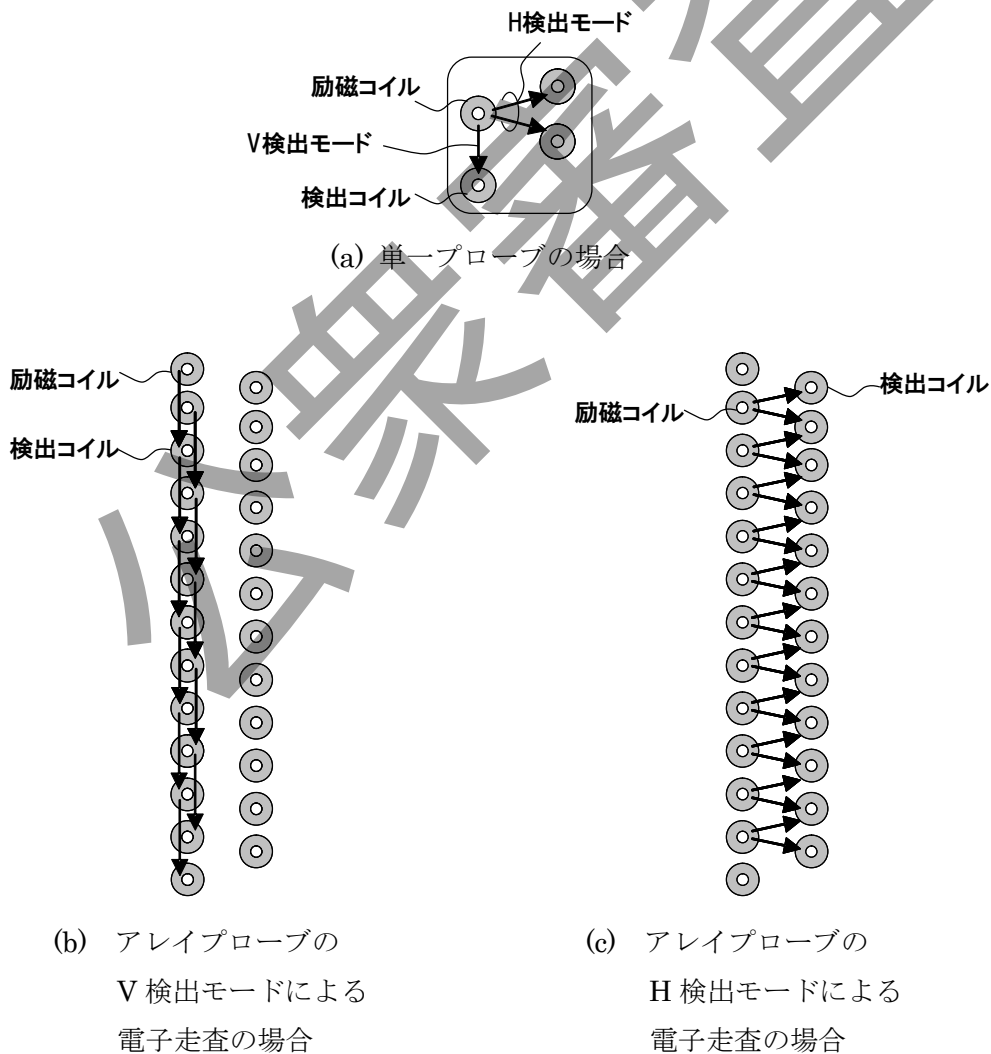
- a. プローブの走査方向に対する励磁コイル及び検出コイルの位置関係

[附属書C 解説]

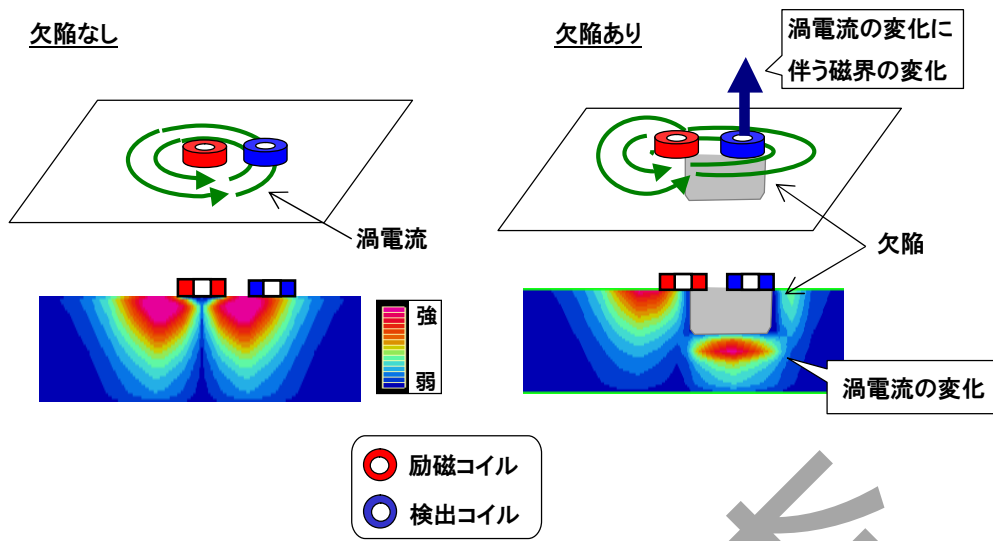
(解説-C-1000-1) パンケーキコイル (相互誘導形標準比較方式)

パンケーキコイル (相互誘導形標準比較方式) は、解説図-C-1000-1-1 に示すように、交流磁場を発生する励磁コイルと磁界の検出を行う検出コイルで構成されたプローブであり、ある基準信号に対する信号差を検出する方式である。

本附属書では、TR パンケーキコイルと呼ばれる、解説図-C-1000-1-2 に示すような構造のパンケーキコイル (相互誘導形標準比較方式) を対象とする。TR パンケーキコイルは、欠陥による渦電流の変化をV検出モードとH検出モードと呼ばれる複数の検出モードで検知するため、あらゆる方向の欠陥を探傷できる。また、欠陥信号のほかに、リフトオフ信号を同時に検知するため、プローブと試験部の接触状態を把握できる。



解説図-C-1000-1-1 TR パンケーキプローブの励磁・検出パターン



解説図-C-1000-1-2 TR パンケーキプローブの検出原理

(解説-C-2300-1) 基準感度, 位相角の設定及び確認

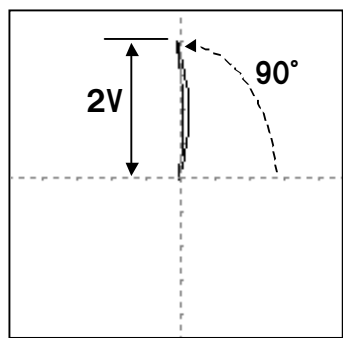
NNW, NSA では, 対比試験片の人工きずによる信号を, 全試験周波数ともに次の基準値に設定し, このときの Y 成分振幅を基準電圧とした。(解説図-C-2300-1-1)

Y 成分振幅 : $2\text{ V} \pm 0.2\text{ V}$

位相角 : $90^\circ \pm 5^\circ$

NNW, NSA では上記の基準値による試験で, 良好な欠陥検出性と長さ測定性が確認されている。

なお, 上記の設定以外にも, リフトオフ信号などの欠陥以外の信号をリサージュ波形上の横軸方向 ($0^\circ \pm 5^\circ$ 又は $180^\circ \pm 5^\circ$) に設定するなどの別の設定も可能である。



解説図-C-2300-1-1 人工きずによる校正信号例

(解説-C-2400-1) 試験周波数

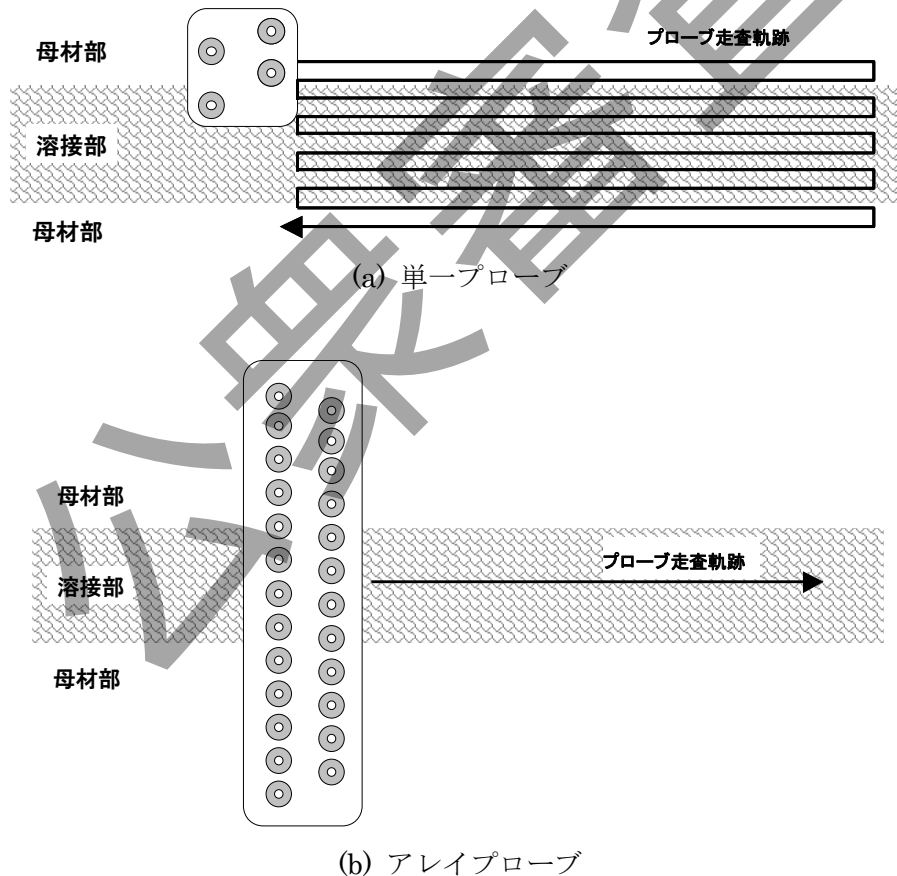
試験周波数は欠陥の検出性に関係する重要な条件パラメータであることから、欠陥の検出に有効な試験周波数にて試験を行う。

解説-C-3200-1 に示すように、複数の試験周波数を用いることで欠陥の識別性が向上する。

NSA, NNW では 20 kHz, 25 kHz, 100 kHz のうち 2 種類以上の周波数が使用され、SCC による欠陥の検出及び長さ測定に有効であることが確認されている。

(解説-C-2511-1) プローブの走査方向

局所的な電磁気的特性の変化に起因する信号が大きい場合、欠陥信号を見逃す恐れがあるため、オーステナイト系ステンレス鋼の溶接部又は異材継手境界を含む試験部では、解説図-C-2511-1-1 に示すように溶接線又は異材継手境界に対して平行にプローブを走査するとよい。ただし、欠陥信号と局所的な電磁気的特性の変化に起因する信号が識別可能な場合は走査方向を任意にしてもよい。

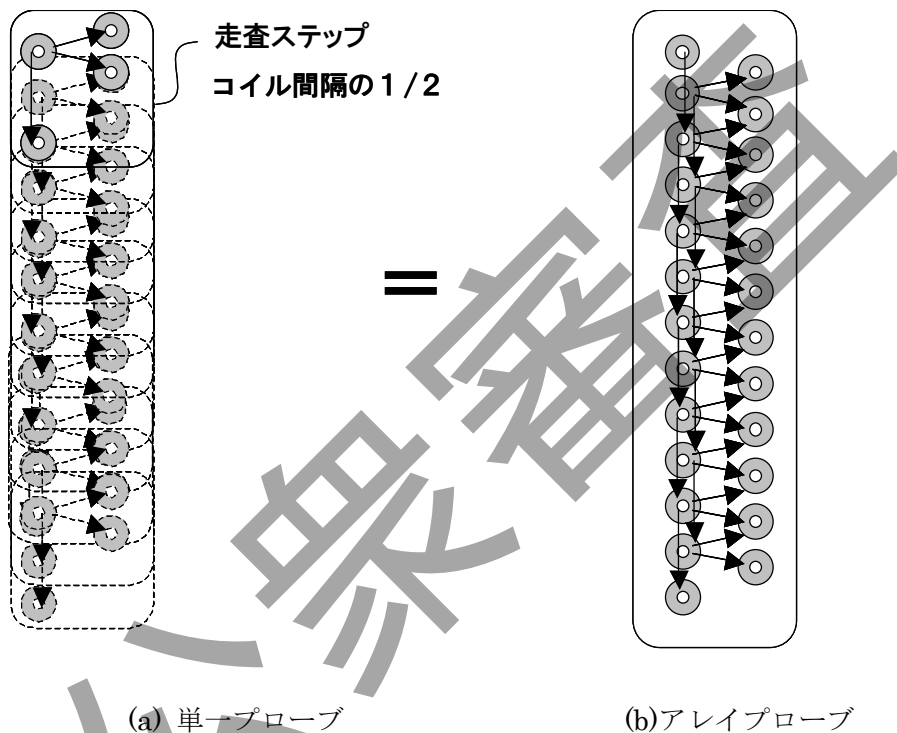


解説図-C-2511-1-1 試験部にオーステナイト系ステンレス鋼溶接部を含む場合のプローブの走査方向

(解説-C-2512-1) 単一プローブの走査ステップ

対象となる欠陥寸法（長さ）を見落とさないためには、コイル間隔を考慮して走査ステップを設定する。

NNW 及び NSA では、TR パンケーキコイル型アレイプローブの良好な検出性が確認されているため、アレイプローブと同等以上の性能確保の観点で、解説図-C-2512-1-1 に示すように、単一プローブの走査ステップをコイル間隔の 2 分の 1 以下にするとよい。すなわち、試験において、コイル間隔の 2 分の 1 以上が重なることを表している。コイル間隔の 2 分の 1 を超えた走査ステップで試験を行う場合は、2010 項の事前確認により性能を確認する。



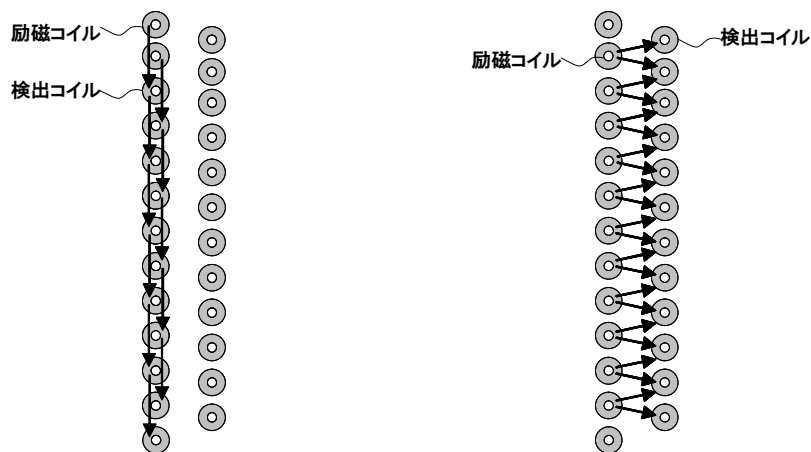
解説図-C-2512-1-1 単一プローブにアレイプローブと同等な性能を確保するための走査ステップ

(解説-C-2513-1) プローブの押付け

試験部の形状に適した押付条件で試験を行うことが望ましいが、押付機構の制限などにより、プローブの密着性や傾きが確保できないおそれがある場合は、リフトオフによる探傷感度の低下を補うしきい値で 3100(1)項の抽出を行ってもよい。

(解説-C-2530-1) V 検出モード及び H 検出モードの適用

TR パンケーキの性能は、励磁と検出コイルの並び方向と欠陥長さ方向のなす角によって異なることから、あらゆる角度の欠陥を検出するため、解説図-C-2530-1-1 に示す V 検出モードと H 検出モードを用いて試験を行う。



(a) V 検出モード

(b) H 検出モード

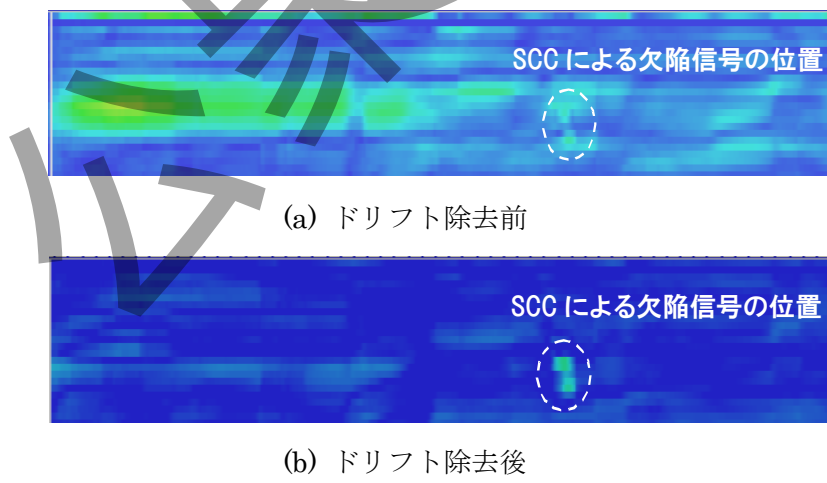
解説図-C-2530-1-1 V 検出モードと H 検出モードの定義(アレイプローブの場合)

(解説-C-3100-1) 欠陥の疑いのある指示部の抽出

(1) 基準電圧の 20 %以上の指示部を抽出基準とする場合

a. 基線を零電圧レベルとする場合

TR パンケーキはプローブを密着した状態でも基線が零電圧レベルから緩やかに離れる事象（ドリフト）が生じる場合がある。このような場合は、解説図-C-3100-1-1 に示すようなドリフトをある程度取り除き、基線を零電圧レベルに近づけた試験データを用いて、基準電圧の 20 %の出力電圧（振幅）をしきい値とした 2 値化表示などにより、基準電圧の 20 %以上の指示部を抽出するとよい。



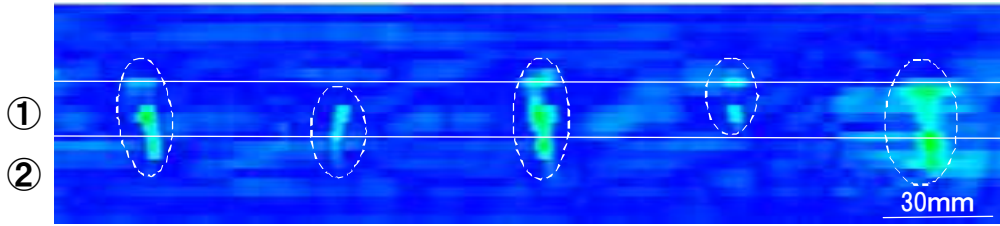
(a) ドリフト除去前

(b) ドリフト除去後

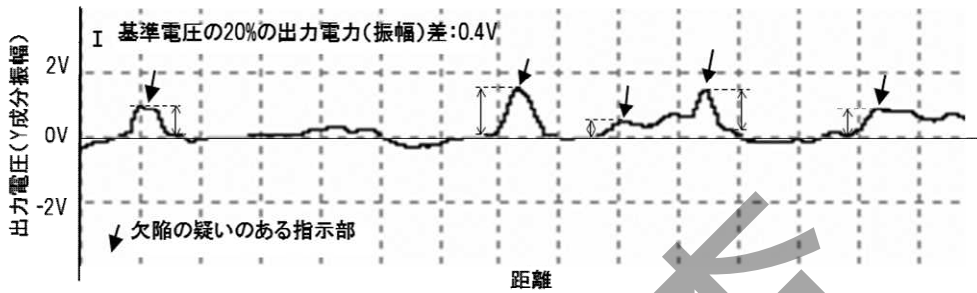
解説図-C-3100-1-1 ドリフト除去前後の C スコープ例

b. 基線をピーク電圧部の直前又は直後のうち、出力電圧が低い方とする場合

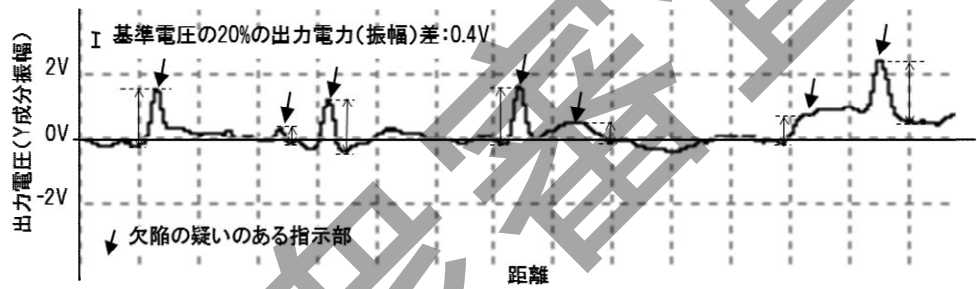
解説図-C-3100-1-2 の欠陥と欠陥以外の信号を含む振幅チャート例に示すように、ピーク部とその周辺の電圧差と縦軸の目盛の間隔を比較して、基準電圧の 20 %以上の指示部を抽出するとよい。



(a) C スコープ表示 (() は SCC による欠陥信号の位置)



(b) ライン①の Y 成分振幅チャート

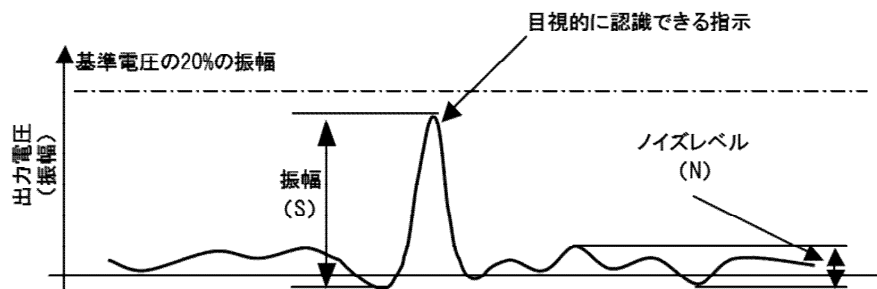


(c) ライン②の Y 成分振幅チャート

解説図-C-3100-1-2 振幅チャート例

(2) SN 比を抽出基準にする場合

解説図-C-3100-1-3 に示すように、ノイズレベルが一様で十分小さいために対象となる信号が振幅チャート上で目視的に認識できる場合は、上記(1)の抽出基準に加えて、試験員又は試験評価員の判断により、欠陥の疑いのある指示部を抽出するとともに、S、N 及び SN 比を基準にして信号を抽出する。

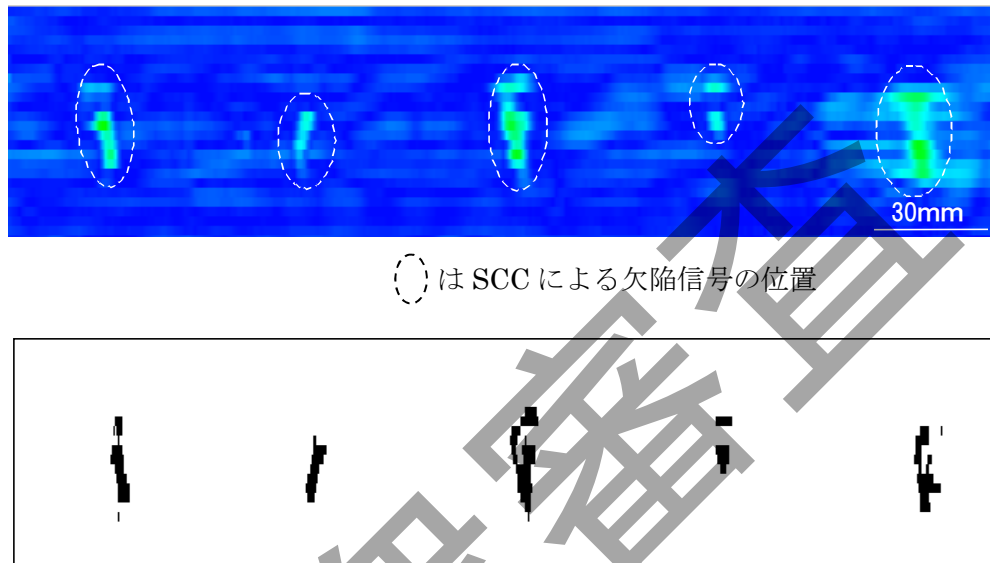


解説図-C-3100-1-3 欠陥の疑いのある指示部の抽出基準例 (SN 比による手法)

(3) 波形の特徴を抽出基準とする場合

欠陥と欠陥以外の信号は振幅チャート上の信号の現われ方やリサージュ波形の特徴が異なる。このような波形の特徴を数値化し、欠陥以外の信号を除去する抽出装置を用いて、解説図-C-3100-1-4 に示すように欠陥の疑いのある指示部を抽出できる。このような装置を用いて欠陥の疑いのある指示部を抽出する場合は、抽出した指示部を記録し、欠陥判定や長さ測定を行ってもよい。

なお、抽出装置は欠陥以外の信号の除去レベルを高めることで欠陥判定装置として利用できる。



解説図-C-3100-1-4 欠陥の疑いのある指示部の自動抽出例

(解説-C-3200-1) 欠陥判定

欠陥と欠陥以外の要因（リフトオフ信号、表面うねり信号、形状信号、局所的な電磁気的特性の変化に起因する信号）による指示信号のリサージュ波形例を、解説図-C-3200-1-1 に示す。V 検出モードと H 検出モードのリサージュ波形の特徴は、一般的に欠陥と欠陥以外で異なる傾向があるため、多くの場合、2種類の検出モードのリサージュ波形から欠陥かどうかを識別できる。また、波形の特徴（リサージュ波形の振幅及び位相角情報、振幅チャートの変動等）は試験周波数によって異なるため、複数の試験周波数のリサージュ波形と振幅チャートを利用することで欠陥の識別性が向上する。

信号の分類		V 検出モード	H 検出モード
欠陥信号			
欠陥以外の信号	リフトオフ信号		
	表面うねり信号		
	形状信号		
	局所的な電磁気的特性の変化に起因する信号		

解説図-C-3200-1-1 欠陥と欠陥以外のリサーチ波形の特徴比較例

(解説-C-3300-1) 欠陥長さ測定

TR パンケーキは、一般的に欠陥の長さ方向の端部を挟むように極大と極小のピーク対が現われる特徴があるため、ピーク対の中間の座標を再現よく測定できるような要領で長さ測定を行うとよい。

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

D-1000 総則

本附属書は、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）又はパンケーキコイル（相互誘導形標準比較方式）による低合金鋼の母材部における疲労割れの渦電流探傷試験（上置プローブ）の試験要領を示す。なお、本附属書に記載のない試験要領については第2章から第4章による。

D-2000 試験要領

D-2100 使用機材

使用機材は 2300 項による。

D-2200 探傷器の校正及びプローブの性能確認

探傷器の校正及びプローブの性能確認は 2400 項による。

D-2300 基準感度、位相角の設定及び確認

(a) クロスコイル（自己誘導形自己比較方式）

基準感度、位相角の設定及び確認は、附属書 A の 2300 項による。

(b) パンケーキコイル（自己誘導形標準比較方式）

基準感度、位相角の設定及び確認は、附属書 B の 2300 項による。

(c) パンケーキコイル（相互誘導形標準比較方式）

基準感度、位相角の設定及び確認は、図-D-2300-1、図-D-2300-2、図-D-2300-3 及び図-D-2300-4 に示すようにプローブを走査し、その際に検出されるきず信号の振幅及び位相角を基準値に設定する。なお、2520 項(7)の記載に対して、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再試験を行う。（解説-D-2300-1）

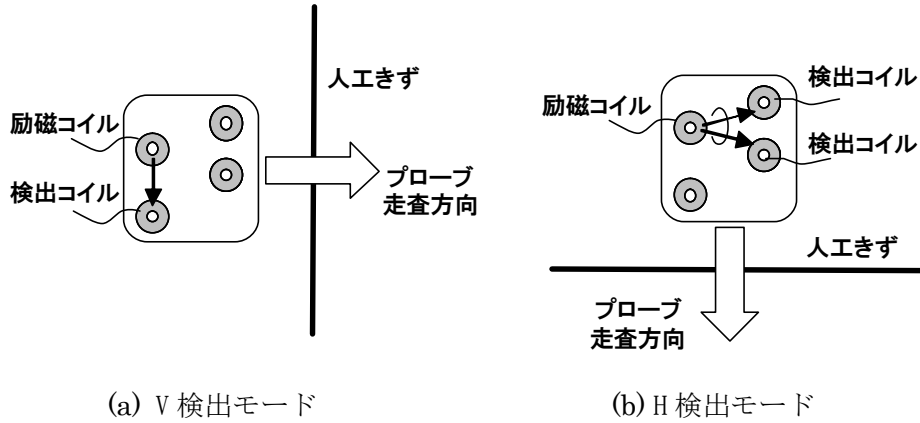


図-D-2300-1 基準感度・位相角設定及び確認時のプローブの走査方向
 (単一プローブでV検出モードとH検出モードの
 プローブの向き又は走査方向が異なる場合)

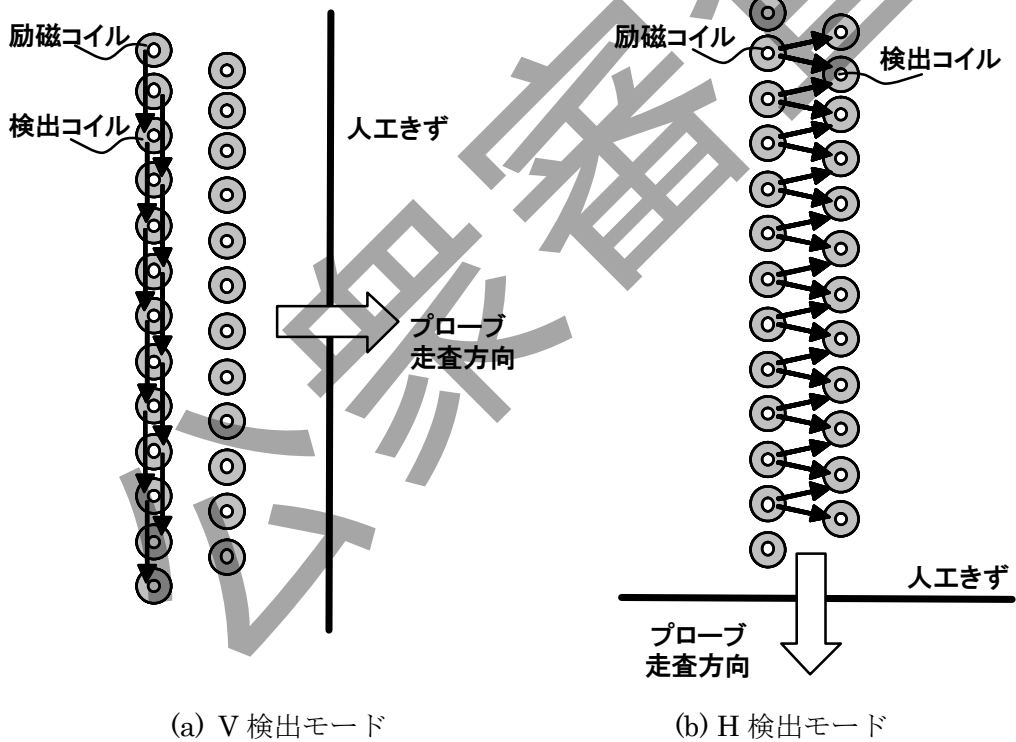
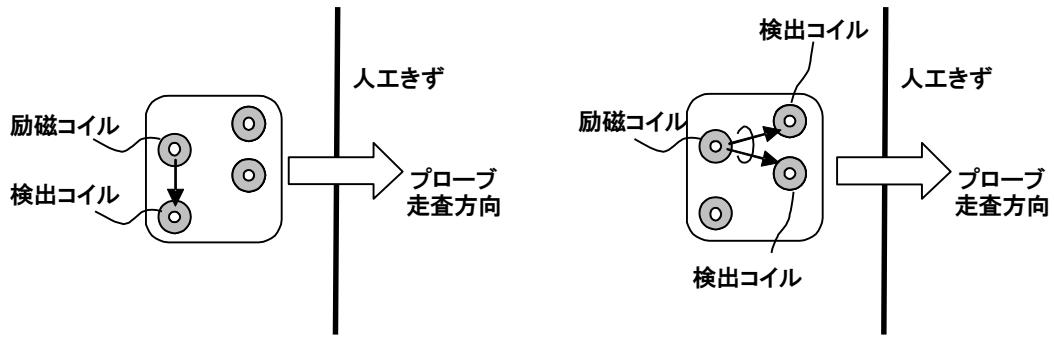


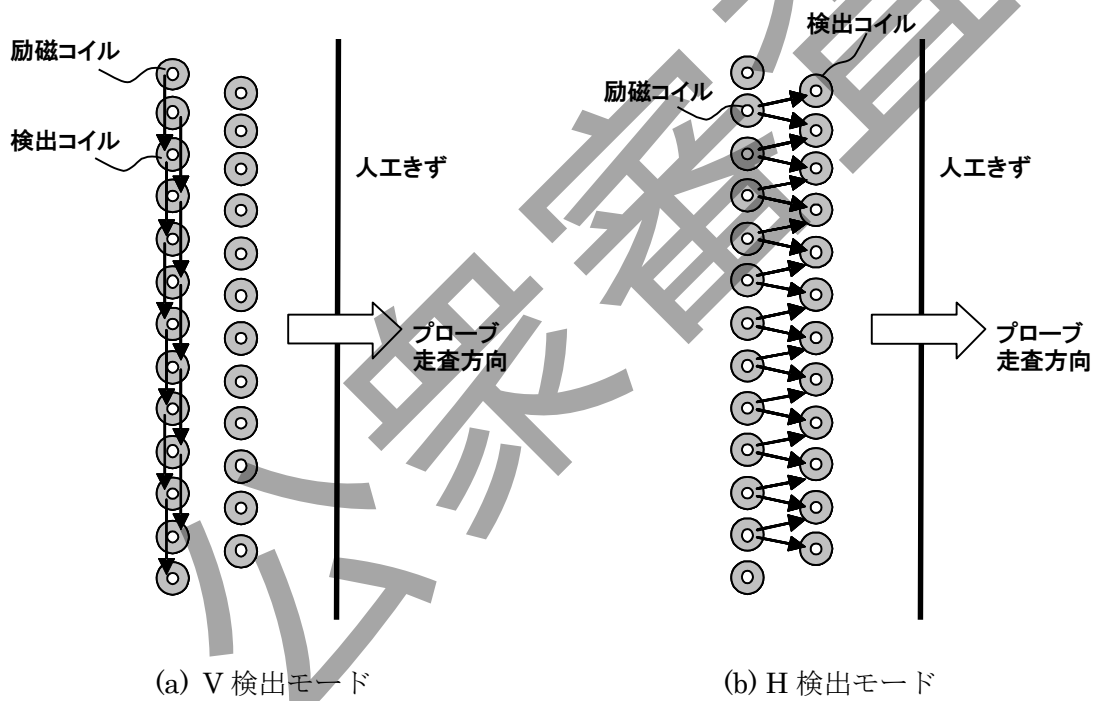
図-D-2300-2 基準感度・位相角設定及び確認時のプローブの走査方向
 (アレイプローブでV検出モードとH検出モードの
 プローブの向き又は走査方向が異なる場合)



(a) V 検出モード

(b) H 検出モード

図-D-2300-3 基準感度・位相角設定及び確認時のプローブの走査方向
(単一プローブでV検出モードとH検出モードの
プローブの向きと走査方向が同じ場合)



(a) V 検出モード

(b) H 検出モード

図-D-2300-4 基準感度・位相角設定及び確認時のプローブの走査方向
(アレイプローブでV検出モードとH検出モードの
プローブの向きと走査方向が同じ場合)

D-2400 試験周波数

試験周波数は、10 kHz から 1 MHz の 2 種類以上の周波数とする。(解説-D-2400-1)

D-2500 プローブの走査

D-2510 プローブの走査方法

D-2511 プローブの走査方向

プローブの走査方向は、使用する各コイル及び方式の附属書の 2511 項による。

D-2512 プローブの走査ステップ

プローブの走査ステップは、使用する各コイル及び方式の附属書の 2512 項による。

D-2513 プローブの押付け

プローブの押付けは、使用する各コイル及び方式の附属書の 2513 項による。

D-2520 プローブの走査範囲

プローブの走査範囲は 2720 項による。

D-2530 検出モード

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 項による。

D-3000 欠陥検出及び欠陥長さ測定要領

D-3100 欠陥の疑いのある指示部の抽出

欠陥の疑いのある指示部の抽出は、使用する各コイル及び方式の附属書の 3100 項による。

D-3200 欠陥判定

欠陥判定は、使用する各コイル及び方式の附属書の 3200 項による。

D-3300 欠陥長さ測定

欠陥長さ測定は、使用する各コイル及び方式の附属書の 3300 項による。

D-4000 記録要領

本項は、記録要領について示す。

D-4100 記録手順

記録を要する指示は 4100 項による。

D-4200 記録内容

記録内容は、使用する各コイル及び方式の附属書の 4200 項による。

[附属書D 解説]

(解説-D-1100-1) 適用

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^[1]に基づき定められている。

低合金鋼の母材部における疲労割れ以外の欠陥に適用する場合には、2010 項に基づき性能を事前に確認することが必要である。

出典

- [1] EJAM Vol. 8 No. 4 NT-82 (February, 2017) , “Development of the Eddy Current Testing (ECT) technique for the Feedwater nozzles of Nuclear Power Plant Reactor Pressure Vessels”

(解説-D-2300-1) 基準感度, 位相角の設定及び確認

(a) クロスコイル（自己誘導形自己比較方式）

国内の確認試験結果^[1]では、深さ 1 mm, 幅 0.3 mm の人工きず上を走査した信号を、全試験周波数ともに振幅 $2\text{ V} \pm 0.3\text{ V}$, 位相角 $90^\circ \pm 5^\circ$ に設定することで、良好な欠陥検出性を有することが確認されている。

(b) パンケーキコイル（自己誘導形標準比較方式）

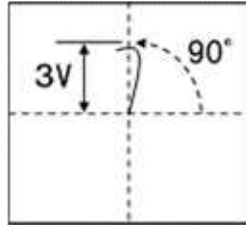
国内の確認試験結果^[1]では、深さ 1 mm, 幅 0.3 mm の人工きず上を走査した信号を、全試験周波数ともに振幅 $2\text{ V} \pm 0.2\text{ V}$, 位相角 $90^\circ \pm 5^\circ$ に設定することで、良好な欠陥検出性を有することが確認されている。

(c) パンケーキコイル（相互誘導形標準比較方式）

国内の確認試験結果^[1]では、低合金鋼に対して、図-D-2300-1 及び図-D-2300-2 に示すようにプローブを走査した場合、その際に検出されるきず信号の振幅及び位相角が次の基準値になるように設定されている。（解説図-D-2300-1-1）

全振幅： $3\text{ V} \pm 0.3\text{ V}$

位相角： $90^\circ \pm 10^\circ$



解説図-D-2300-1-1 低合金鋼の人工きずにおける校正信号例（V 検出モード）

なお、H 検出モードの設定において、図-D-2300-1 及び図-D-2300-2 に示すプローブ走査で、全振幅を 3 V、位相角 90 ° に設定すると、図-D-2300-3 及び図-D-2300-4 に示すプローブ走査による人工きずの信号は、全振幅 2 V、位相角 250 ° となる。このことから、図-D-2300-3 及び図-D-2300-4 に示すようにプローブを走査し、その際に検出されるきず信号の振幅及び位相角を次の基準値に設定した。国内の確認試験結果^[1]では、上記の基準値による試験で良好な欠陥検出性と長さ測定性が確認されている。

H 検出モード

全振幅： 2 V ± 0.2 V

位相角： 250 ° ± 10 °

出典

- [1] EJAM Vol. 8 No. 4 NT-82 (February, 2017) , “Development of the Eddy Current Testing (ECT) technique for the Feedwater nozzles of Nuclear Power Plant Reactor Pressure Vessels”

(解説-D-2400-1) 試験周波数

(a) クロスコイル（自己誘導形自己比較方式）

国内の確認試験結果^[1]では、250 kHz、500 kHz が使用され、低合金鋼の疲労割れ（熱疲労割れ及び機械疲労割れ）による欠陥の検出及び長さ測定に有効であることが確認されている。

(b) パンケーキコイル（自己誘導形標準比較方式）

国内の確認試験結果^[1]では、250 kHz、500 kHz が使用され、低合金鋼の疲労割れ（熱疲労割れ及び機械疲労割れ）による欠陥の検出に有効であることが確認されている。

(c) パンケーキコイル（相互誘導形標準比較方式）

国内の確認試験結果^[1]では 25 kHz、100 kHz の 2 種類の周波数が使用され、疲労割れ（熱疲労割れ及び機械疲労割れ）による欠陥の検出及び長さ測定に有効であることが確認されている。

出典

- [1] EJAM Vol. 8 No. 4 NT-82 (February, 2017) , “Development of the Eddy Current Testing (ECT) technique for the Feedwater nozzles of Nuclear Power Plant Reactor Pressure Vessels”

Copyright Clearance Center
www.copyright.com