

# パンケーキコイルを用いた高性能アレイ ECT 技術の開発

## Development of high performance array ECT technique by using pancake coils

三菱重工業(株)	難波 一成	Kazushige NAMBA
三菱重工業(株)	長谷部 貴士	Takashi HASEBE
三菱重工業(株)	神納 健太郎	Kentaro JINNO
三菱重工業(株)	黒川 政秋	Masaaki KUROKAWA Member

By devising the arrangement of normal pancake coils, we developed the high performance array ECT techniques, which achieve same-level detection capability of cross-coil and can suppress the lift-off noise. This technique was developed so as to apply mainly to Hx tubing ECT, which is currently performed by conventional bobbin ECT. In this paper, we publish the feature of coil arrangement, verification test result of Hx tubing ECT array probe, etc.

**Keywords:** pancake coils, coil arrangement, array ECT technique, high detection capability, Hx tubing ECT

### 1. 緒言

現在、原子炉補機冷却水系統などの一次系関連系統設備における各種熱交換器(以下、補機と称す)では、チューブに対しボビンプローブを用いた ECT<sup>1)</sup>が実施されている。検査手法をさらに高度化(例として、ボビンプローブでは原理的に困難である周方向欠陥の検出性向上)しつつ、必要十分の機能を実装することを目的として、熱交換器向けにパンケーキコイルを用いて独自に工夫したコイル配置にすることで、比較的低コストで良好な検出性を持つアレイ ECT プローブを開発した。

本論文では、アレイ ECT プローブの基幹技術であるコイル配置及びその周辺技術の特徴、アプリケーションとしてのアレイ ECT プローブの特徴、アレイ ECT プローブの検証試験の内容及びその結果について紹介する。

### 2. 本技術の特徴

本技術は、パンケーキコイルの配置を工夫することで、クロスコイルと同じ特性を実現している。クロスコイル1個に相当する励磁・検出チャンネルは、2つの励磁用コイル、及び2つの検出用コイルを互いに斜め配置することにより構成されており、これらを1チャンネルとして扱う。斜めに配置された2つの励磁コイルにより、斜め方向の渦電流が励起されるため、クロスコイルと同様に周方向及び軸方向双方の欠陥検出及び識別が可能となる。このチャンネルを構成するコイル配置及び励起される渦

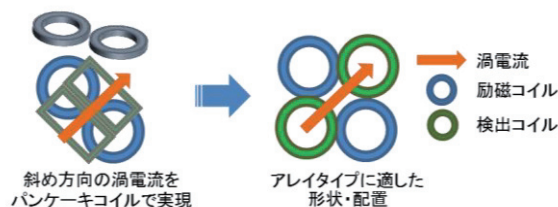


Fig.1 Images of coil configurations and diagonal eddy current

電流のイメージを Fig.1 に示す。欠陥検出時には2つの検出用コイルで検出される信号を逆変換して引き去ることにより、クロスコイルと同様に周軸に一樣なノイズ信号(例:リフトオフ信号)の影響を低減することに成功している。このため、方向性を有する割れ等の微小欠陥の検出に強い特徴を持つ。このチャンネルは一般的なパンケーキコイルを平面配置することで構成されているため、高さ方向の制約がありクロスコイルの適用が難しい狭隙部に対しても、クロスコイルの代替として適用できる。

また、アレイプローブを構成するためのチャンネル多数配置に対応することを目的として、チャンネル切り替え用の電子基板(16ch まで対応可能)と、アドレス基板を開発した。これらの基板は、チャンネル多数配置時のワイヤリング平易化のため、省線化が図られている。

### 3. アレイ ECT の応用例

#### (補機向けアレイ ECT プローブ)

補機チューブ向けに開発済みであるアレイ ECT プローブについて紹介する。16ch まで対応可能である利点を生かし、アレイ ECT プローブは対象チューブの内径に応じて合理的なチャンネル数を選択できる。また、補機チューブの主要材料である SUS304、純チタン/耐食チタン合金(TTH340, TTH340Pd 等)、銅(C7060, C6871 等)に対し、材質ごとの浸透深さと肉厚の関係から適正な周波数を設定することにより適用可能である。さらに、使用探傷器や検査条件が種々異なる場合にも対応できるよう、必要な励磁電圧を一般的なデジタル探傷器で出力可能なレベル(多周波同時励磁時には、全周波総計で 20V 以下)としている。なお、過去のポビンデータとの連続性確保のために、ポビンコイルを搭載することも可能である。代表例として、内径 19mm のチューブに適用できる 12ch プローブ全体の外観及びコイルホルダ部の外観を Fig.2 に示す。

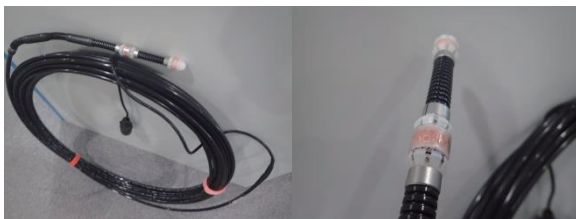


Fig.2 Pictures of 12ch probe and coil region

### 4. 補機向けアレイプローブの性能検証

#### 4.1 シミュレーションによる製作前確認

補機向けアレイ ECT プローブを試作するに当たり、事前にシミュレーションによりコイル形状や配置条件について検討している。その後、周軸内外面の深さ 20%t、長さ 5mm、幅 0.3mm のスリットを検出できるかの目途付をするためシミュレーションを実施した。渦電流分布イメージを Fig.3 に示す。なお試験片モデルはチューブの曲率を考慮し、内径 13.4mm から 26mm の範囲で作成した。

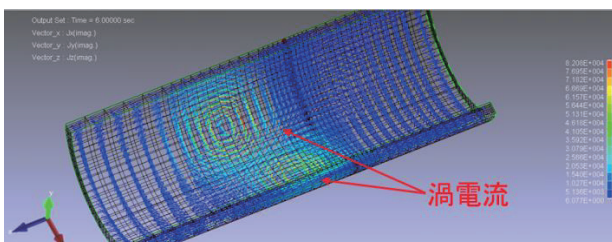


Fig.3 Image of eddy current distribution

シミュレーションの結果、内径によらず対象欠陥を検出できる目途が得られたことから、この結果をもとに、コイルホルダ部の外径が 12.2mm, 15.4mm, 18.5mm の 3 種類のプローブを試作した。

#### 4.2 モックアップによる検証

試作したプローブ及びモックアップを用いて、検出性の確認試験を実施した。対象欠陥は深さ 20%~100% の周軸内外面のスリット、外面減肉やピittingとした。感度校正は打痕信号にて位相を 0 度に、深さ 50% の周方向外面全周スリットにて感度を 2.0V に調整した。試験環境を Fig.4 に示す。



Fig.4 Testing situation

周軸内外面スリットに対する検出性確認のうち、最も検出が難しい外面軸方向スリットの試験結果を Fig.5 に示す。本結果より、すべての外面軸方向スリットについて、検出が可能であることが分かった。その他のスリットの試験結果を Fig.6 に示す。これらもすべて、検出が可能であることが分かった。

その他の欠陥に対する検出性確認結果の代表例を Fig.7 及び Fig.8 に示す。いずれの欠陥も検出されていることが確認できる。これらの結果より、本プローブは目標通りの検出性を有していることが確認された。

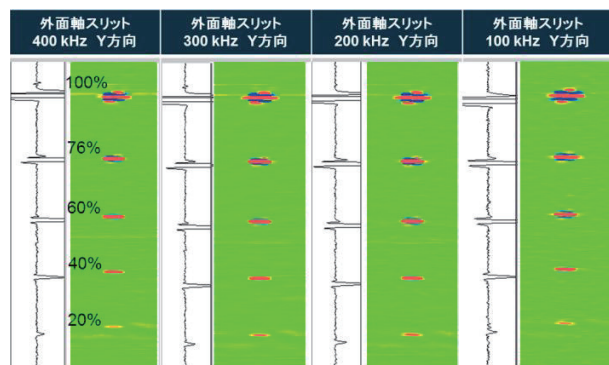


Fig.5 Test result of OD axial slits (100 to 400 kHz)

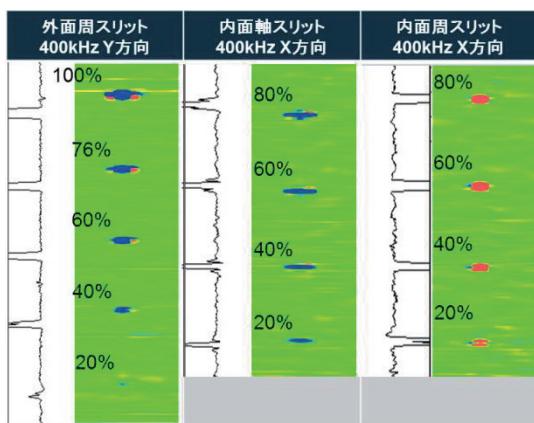


Fig.6 Test result of OD circ., ID axial, ID circ. slits  
(400 kHz as the representative)

ブを開発した。開発したアレイ ECT プローブにて検出性を確認する検証試験を実施し、深さ 20%~100%の周軸内外面のスリット、外面減肉やピittingを検出できることを確認した。今後、当社の持つ自動分析技術を組み合わせることにより、より効果的なアプリケーションとすることを目指す。

### 参考文献

- [1] 渦流探傷試験Ⅱ, 日本非破壊検査協会

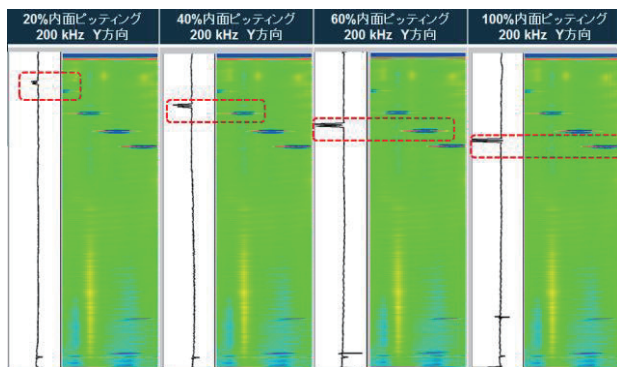


Fig.7 Test result of 20% to 100% depth ID round bottom pits  
(200 kHz as the representative)

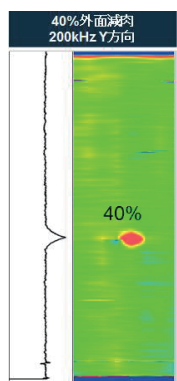


Fig.8 Test result of 40% depth OD TSP wear  
(200 kHz as the representative)

## 5. 結論

パンケーキコイルの配置を工夫することで、クロスコイルと同等の特徴を持ちながら狭隙部にも適用可能なチャンネル構成を実現した。このチャンネルを活用し、補機チューブに対して適用可能なアレイ ECT プロロー