

**パルス ECT 検査の高度化に関する取り組み**  
Efforts for Sophistication of Pulsed Eddy Current Inspection  
— 亜鉛めっき鋼板越しの検出技術や PEC アレイ技術について —

株式会社テクノ電子

小野寺 達成・武内 春樹

## 1. はじめに

パルス ECT 検査技術は、保温材を取り外すことなく、中の炭素鋼配管の腐食減肉を検出することができる、優れたスクリーニング手法である。「パルス ECT」は、英語では「Pulsed Eddy Current」と表現され、その頭文字を取って PEC と称されており、以降、この略称を用いる。



写真1 Eddyfi 社製パルス ECT 装置 Lyft 外観

## 2. PEC の原理と概要

まずは PEC の原理について紹介する。特殊センサーを搭載したプローブから磁界を作り出し、対象材料中の厚み方向に瞬時に浸透させ、磁界放出を急停止する。次に、対象材料において、厚み方向へ磁界放散が発生するので、それに伴う渦電流の減衰を、プローブの検出用センサーによって測定する。材料厚みの違いによる減衰特性の差異から材料の減肉有無を判別することとなる。

磁性体や導体がプローブと対象材料の間に無い限り、信号への影響はほとんど無く、リフトオフを伴って計測できるため、保温材越しに、保温材下の腐食 CUI(Corrosion Under Insulation)や、内部の流れ加速型腐食 FAC(Flow Accelerated Corrosion)を検出することができる。尚、PEC 信号に対するソフトウェアに

よる補正によって、アルミニウム板金やステンレス板金、亜鉛めっき鋼板や金網越しにもそのまま検査することが可能である。但し、配管の外表面減肉、内面減肉をほぼ同レベルで検出し、その区別はできない。

又、PEC においては「フットプリント」という概念が使われる。フットプリントのサイズは、センサーによる一度の励磁で影響を受ける範囲の約 50%に相当しており、検出可能な最小欠陥面積に影響する(小さい方が検出能は高い)。保温材が厚くなればその分、フットプリントサイズは増加する。

減肉深さのサイジング精度については、対象物の状態にもよるが概ね±10%程度であり、概して健全肉厚の15%以上の減肉であれば検出対象となる。そのため、孔食や局所減肉等の検出は難しく、PEC は主に「一次スクリーニング」としての活用が主な目的となるため、他の検査技術との連携も重要である。



写真2 操作の様子

## 3. PEC の適用メリット

保温材の取り外しやプラントの停止が一般的に必要な他の検査技術とは異なり、PEC はプラント稼働中に CUI を高速に検出・評価できることが、ひとつのメリットである。これは、プラント管理全体に対する

工程に影響を与えることなく、検査範囲と頻度の拡大につながる。プラント停止中に行う他の定量的な検査(放射線探傷試験や超音波探傷試験等)に関しても、その分作業効率を向上させることができる。

Eddyfi 社では、高所作業用に、プローブを搭載できる延長ポール(写真 3)や水中用プローブ、タンク底部等の狭隘部用プローブ等も用意しており、適用箇所に応じたオプションの選択によって、より安全かつ確実な検査を実施できる。



写真 3 延長ポール使用の様子



写真 4 各種プローブ(水中用、狭隘部用等)

## 4. 更なる PEC 技術の高度化

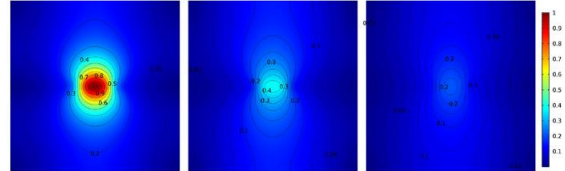
### 4.1 亜鉛めっき鋼板越し検査への対応

#### (1) 亜鉛めっき鋼板が PEC に及ぼす影響

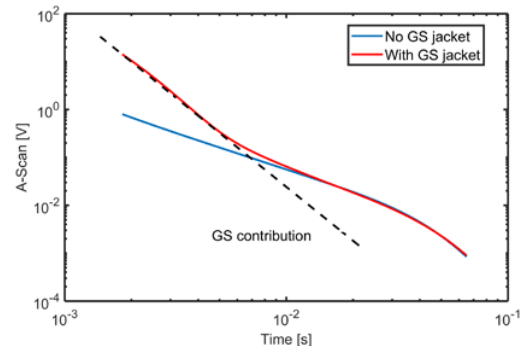
PEC 適用において、強磁性体の板金越しに検査を実施することについては、課題がある。配管等の保温材の外装板として、国内においては多くの場合、強磁性体である亜鉛めっき鋼板が用いられている。以降、亜鉛めっき鋼板の外装板のことを、英語の「Galvanized Steel」の頭文字を取って、GS と表現する。

GS 越しに PEC を適用すると、他のステンレスやアルミニウム板金の場合と比べて、信号の減衰と振動

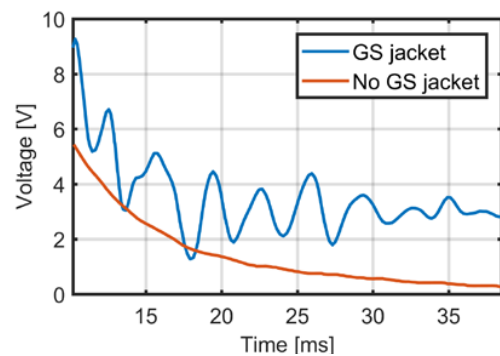
によるノイズのため SN 比が著しく低下する(第 1 図)。併せて、PEC 信号の減衰率測定(板厚計測)においては、GS によって影響を受けることで、解析に有用な信号が隠されてしまう弊害も発生する(第 2 図)。又、PEC 信号自体については、電磁気的な作用によって GS に物理的な振動を発生させてしまうこと等から、一般的に非常に不安定なものとなる(第 3 図)。



第 1 図 GS による信号の減衰



第 2 図 GS の有無による信号の違い(1)



第 3 図 GS の有無による信号の違い(2)

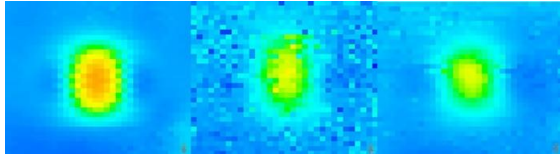
#### (2) GS 専用プローブの導入

GS による悪影響を軽減する方法として、Eddyfi 社では主に、次の 2 つについて考案された。

まずひとつに、標準の PEC プローブ使用に際して、専用のプローブシューズをプローブに装着させることで、GS による物理的な振動を抑制し、ノイズを最小限に抑える方法である。

第 4 図において、左が、GS が無い対象に対する

測定結果、中央が、同じ減肉を伴う対象材料に対して GS を被せた状態での測定結果、右が、専用プローブシューズをプローブに装着させた状態で、GS を被せた対象を測定した結果である。中央と右を比べると、ノイズが低減され、SN 比及び欠陥検出能力が改善されていることが分かる。



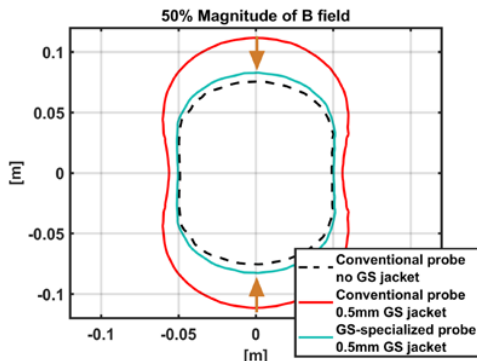
第4図 GSに対するプローブシューズの効果

次に二つ目の方法として、より基本的な解決策として、GS 越しの検査専用特殊プローブが開発された(写真5)。



写真5 GS専用プローブ 外観

このGS専用プローブは永久磁石を搭載しており、GS自体を磁氣的に飽和させることで、PEC信号の減衰量を大幅に減らすことができるため、検出性が改善する。そのパフォーマンスは、標準のPECプローブでGS無しの場合に得られる信号と同等レベルであり、フットプリントサイズについては、第5図に示されるように、GS越しでの適用において、標準プローブ使用の場合と比較して、確実に減少する。

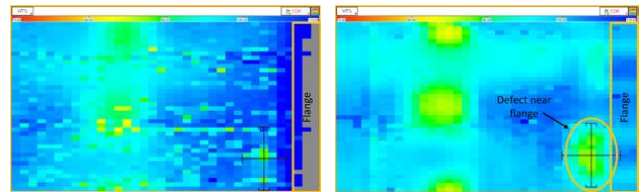


第5図 GSプローブと標準プローブのFP比較

更に、GSによる磁気ノイズの低減、永久磁石でプ

ローブがGSに付き、押し当てられた状態で固定されること、又、探傷ボタンをプローブ上に持たない設計により板金の振動を抑制できること等の改善で、SN比が大幅に向上する。

第6図は、GSを伴う対象材料に対する測定結果の比較である。左は標準プローブによる測定結果、右はGS専用プローブによる測定結果である。全体的にノイズが減り、欠陥の検出能が向上し、又、図右側のフランジ周りの不感帯範囲が、フットプリントサイズの減少に伴って改善されていることが分かる。



第6図 標準プローブとGS専用プローブの信号比較

Eddyfi社製PEC装置Lyftのソフトウェアでは、自動サイジングに関するアルゴリズムにおいて、GSによる信号の影響を最小限に抑え、体系的な誤認識を最小限に抑えるように作られており、解析精度についても進歩している。

## 4.2 高速な一次スクリーニングへの対応

### (1) PECアレイプローブの導入

広範囲を一度の走査でカバーし、更に高速な一次スクリーニング検査ができるように、PECアレイプローブが新たに開発された(写真6)。PECアレイプローブは、リニアアレイの形態で等間隔に並んだ6個のPECセンサーを備えており、ローラーとエンコーダーを内蔵しているため、457mm幅を一度にカバーした状態で連続計測が可能である(写真7)。

当該アレイプローブは、プローブ角度を曲率に合わせて変更することができるため、配管のような曲面形状から平らな面まで種々の形状に対応することができる。

アレイプローブによる連続計測の結果である(写真8)。



写真6 PECアレイプローブ 外観

Case No.	Mode	Inspection time (h)
1	Single-element, grid	7.5
2	Single-element, dynamic	3.5
3	Array, grid	1.2
4	Array, dynamic	0.8

第1表 標準PECプローブとアレイプローブの検査時間比較



写真7 PECアレイプローブ 操作の様子

プローブの曲げ半径は配管に沿わせた形状で固定を維持することができるため、プローブは機械的に安定し、再現性と測定精度が向上する。

又、フットプリントサイズが最小化するように作られているため、サイジング精度は単一素子の標準PECプローブと同等レベルとなる。

単一素子の標準プローブによる検査と、アレイプローブの検査時間を比較するため、外径203mm、保温材厚さ51mm、長さ24mの配管を検査した場合の検査時間比較結果を第1表に示す。Case No.1が単一素子の標準PECプローブによる分割計測の結果、Case No.2が標準PECプローブによる、エンコーダーを利用した連続計測の結果、Case No.3がPECアレイプローブによる分割計測の結果、Case No.4がPEC

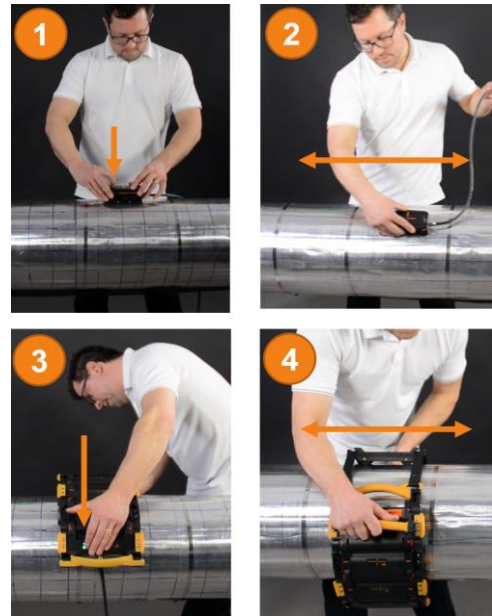


写真8 標準品(①②)とアレイプローブ(③④)の検査の様子

上記比較結果の如く、単一素子の標準プローブ使用の場合と比べると、アレイプローブ使用では同時に6点のデータを取得することができるため、単純に6倍以上の高速化となる。スキャン中に位置参照線を罫書するペンホルダーのアクセサリを使用することで、罫書に要する時間も抑えることができる。

但し、PECアレイプローブは、ステンレスやアルミニウムのような非磁性体の板金を伴う配管や裸配管への使用に基本的には限られており、GS上での連続計測については、ノイズ制御が非常に難しいため現状使用することができないことを申し添える。

## (2)適用事例紹介

1つ目のケースは、耐火性ベッセルの幅3m×高さ2mの範囲における、PECアレイプローブの適用についてである(写真9)。対象母材の肉厚は13mmで、耐

火物は溶接金網で補強された 25mm 厚さのコンクリート層である。事前準備とスキャンを併せても、検査は 10 分で完了した。40%以上の減肉がある領域について、その場ですぐに識別された。

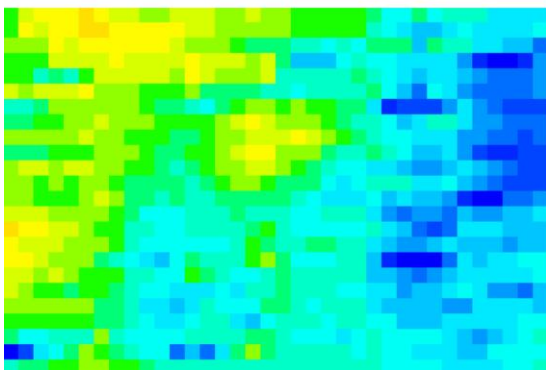


写真 9 適用の様子(1)

2 つ目のケースは、長さ 2m のパイプラインについての測定である(写真 10)。対象は、外径 760mm、肉厚 3.8mm の配管に、厚さ約 25mm の補修用ラップが覆われている状態である。こちらの検査も事前準備を含めて 10 分で完了しており、PEC アレイプローブを 6 回通過させるのみで、対象の全周を検査することができた。このケースでは、以前より確認されていた腐食箇所について直ぐにその場で識別され、深さサイジング精度も良好であった。

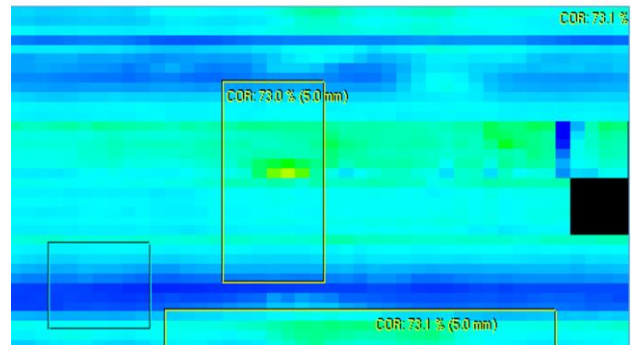


写真 10 適用の様子(2)

## 5. おわりに

PEC は、プラント稼働中における一次スクリーニング手法として優れた検査技術であり、PEC の適用によって、プラント停止中の検査や修理をより効率的に実施することができる。

従来、GS 越しでの PEC の適用については非常に困難な課題であったが、Eddyfi 社が開発した GS 専用プローブを使用することで、SN 比を大幅に改善した上で、GS 越しの適用も現在は可能となっている。

一方で、対象材料における磁化の偏りや対象材料における、測定中の不安定な温度変化等の原因により、現場では信号が安定しないケースもあり、継続してケース毎に原因と対策について検討することとなる。

更なる高速な一次スクリーニングを可能とする PEC アレイプローブも導入されており、今後より一層、PEC 検査技術が日本国内で活用され、プラントの安全性向上に寄与することを期待する。

## 筆者紹介

小野寺 達成

(株)テクノ電子 技術・営業部 技術・営業グループ  
グループ長

武内 春樹

(株)テクノ電子 技術・営業部 技術・営業グループ