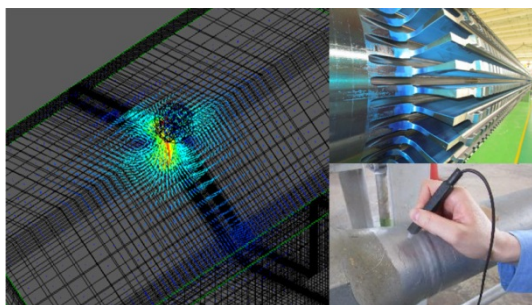


表面検査(MT/PT)を代替する渦電流探傷技術(ECT)を活用した プラント・配管設備の検査サービス

Inspection Service for Plant and Piping Equipment Utilizing Eddy Current Testing (ECT)
in Lieu of Surface Inspection (MT/PT)



浦田 幹康*1
Mikiyasu Urata

山口 岳彦*2
Takehiko Yamaguchi

神納 健太郎*3
Kentaro Jinno

久瀬 義治*4
Yoshiharu Kuze

加藤 貴志*5
Takashi Kato

構造物の表面検査技術として、磁粉探傷試験(MT:Magnetic particle Testing)や、浸透探傷試験(PT:Penetrant Testing)が広く適用されている。しかしながら、コーティング除去や防液処理などの前処理作業に時間を要し、かつ、欠陥性状と表面状態によっては、検出性が不十分な場合があることから、作業時間短縮および検出性に課題がある。その対策として、三菱重工業株式会社(以下、当社)では、MT/PTを代替する渦電流探傷検査(ECT:Eddy Current Testing)サービスを開発した。本サービスにより、設備の信頼性向上と検査期間・費用の低減など、お客様が求められるニーズに貢献する。

1. はじめに

発電プラント設備や屋外配管設備においては、その環境・運転状態によって、経年的な劣化に伴う様々な損傷が懸念される。そのため、これらの設備の損傷状況を把握することは、プラントを運用する上で重要である。

発生した損傷を検知する技術として、ものを壊さずに設備の損傷状態を把握する非破壊検査が有効とされる。プラント設備や屋外配管設備における損傷の中でも、金属表面や溶接部では腐食減肉や疲労に伴う亀裂が多く発生しており、これらを検知する非破壊検査技術として、磁粉探傷試験(MT)や浸透探傷試験(PT)が広く適用されている。しかしながら、対象物表面にコーティングや高温酸化スケールなどが施工・付着している場合は、ブラスト処理やグラインダーによる研磨が必要であり、これらの前処理作業に時間を要する。また、プラント用発電機における回転子ダブテール部のMT/PT検査においては、回転子内に溶剤が混入すると異物となることから防液養生する必要があり、その養生やそれに伴う準備・片付け作業に時間を要している。さらに、種子島宇宙センターロケット射場設備における、ステンレス鋼高圧ガス配管においては、管外面腐食が懸念⁽¹⁾され、保守点検作業時間の効率化や、微小欠陥を検出可能な検査技術が求められている。

一方、近年は、プラントの稼働率向上・定期検査期間(工程)の短縮・検査コスト低減が強く求められていることから、損傷発生リスクが増加した設備に対して、信頼性向上と期間・費用の低減を両立可能な保守技術の確立が課題である。また、種子島宇宙センターのロケット射場設備では、オンタイム打上げニーズが高く、射場設備の確実な予防保全が必要である⁽¹⁾。

そこで本報では、従来MT/PTの課題に対し、前処理不要、かつ従来検査と同等以上の検出性を有する渦電流探傷技術(ECT)を活用した高効率検査サービスを紹介する。

*1 総合研究所 電子・物理研究部 工博

*2 総合研究所 電子・物理研究部 主席チーム統括

*3 総合研究所 電子・物理研究部

*4 総合研究所 製造研究部

*5 エナジードメイン GTCC 事業部 日立サービス部

2. 開発したプローブの特徴とサンプル検証結果

図1に ECT の原理を示す。ECT は、導電性を有する試験体に交流電流を印加したコイルを近接させることで渦電流を発生させ、その渦電流の変化から試験体表面に存在するきずを検出する技術である⁽²⁾。ECT は電磁誘導を用いた検出方式であり、この特徴を利用してコーティングやスケールが付着した状態においても欠陥を検出可能である。

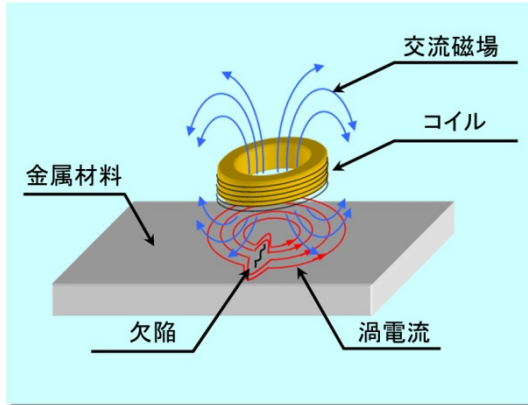


図1 ECT の原理

図2および図3に、当社で開発した MT/PT 代替 ECT に用いる ECT プローブを示す。当社では、ペンシルタイプの ECT プローブ⁽³⁾と、複数のコイルを搭載可能なアレイ ECT プローブを開発した。まず、図2に示すペンシル ECT プローブは、ペンシル状の保持治具と小型コイルで構成されたものである。小型コイルは、センサの先端に搭載されており、低摩擦材料に埋め込まれている。センサ先端を検査対象部に直接接触させることで、欠陥を検出することができる。また、ペンシルタイプのため、センサを保持し易く、比較的容易に検査可能である。

次に、図3に示す複数のコイルを搭載したアレイ ECT プローブは、複数コイルで構成されており、フレキシブルな材料を用いて 3D 造形したコイルホルダにコイルをはめ込んだ構造である。また、本プローブはモジュール化されており、3D 造形したコイルホルダのサイズや形状を変更することで、溶接部や様々な形状に容易にフィットできる特徴を持つ。さらに、アレイ方式であるため、配置されたコイル数に応じて一度に広範囲の探傷が可能である。図4に開発したアレイ ECT プローブによる板材サンプル溶接部の検証試験結果を示す。本サンプルは、板材を重ねて隅肉溶接をしており、溶接線上に長さ2mm および4mm の人工欠陥を挿入した後、厚さ約1mm のコーティングを施工したものである。検証試験の結果、いずれの欠陥も十分な SNR (Signal Noise Ratio) で検出可能であり、コーティングを除去することなく検査可能であることを確認している。

これらの開発した ECT プローブを用いた MT/PT 代替 ECT による検査サービスの事例について、第3章および第4章にて述べる。



図2 ペンシル ECT プローブ

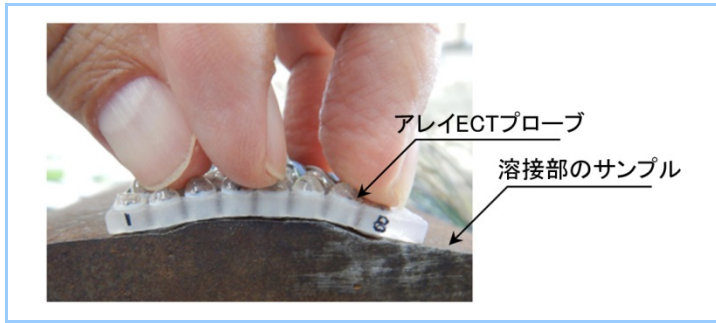


図3 アレイ ECT プローブ

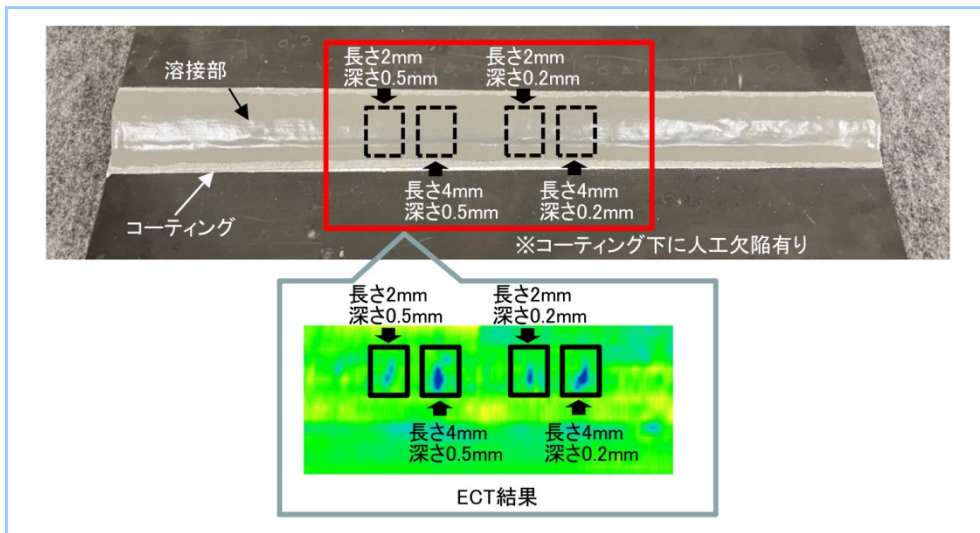


図4 アレイ ECT プローブの検証試験結果

3. 発電プラント用の発電機回転子/ダブテール部への適用例

3.1 発電機回転子ダブテール検査と ECT の検証試験結果

図5に発電機回転子ダブテール部の構造図、及び従来検査の状況を示す。当該部では、運用中にウェッジ角部が繰り返し接触することにより発生する疲労亀裂が懸念されるため、MT/PTによる表面検査を実施している。しかし、MT/PTの溶剤は、精密機器である発電機回転子において異物となることから、検査時には精密機器開口部にテーピング養生を施しており、検査以外の付帯工事に時間を要している。また、発電機の精密点検では、回転子の点検補修作業がクリティカル工程となる場合が多く、リードタイムの短縮が求められている。これに対し、当社では従来MT/PTの代替技術として、溶剤を使用しないECT技術を適用することを推進中である。

図6に実機回転子ダブテール部におけるECT検証試験状況を示す。ここで、ECTプローブは、第2章で示したアレイECTプローブを適用しており、コイルホルダは3D造形によりダブテール形状にフィットさせ、ダブテール面への倣い性を向上させたものである。なお、本回転子ダブテール部は、全長約6mであり、スロット数は32本である。本プローブをダブテール部に設置し、回転子軸方向に手動走査してダブテール面の亀裂有無を全長に亘って検査した。

図7にECTの結果とその妥当性評価のためのMT結果を示す。ECTによる検証試験の結果、2箇所にて亀裂信号が検出された。ECT結果の妥当性を評価するためMTを実施した結果、ECTで検出された位置に長さ1.5mm、及び2.5mmの磁粉模様が検出された。これらの結果から、ECTにて実際の亀裂を検出可能であり、検出性に問題ないことを確認した。

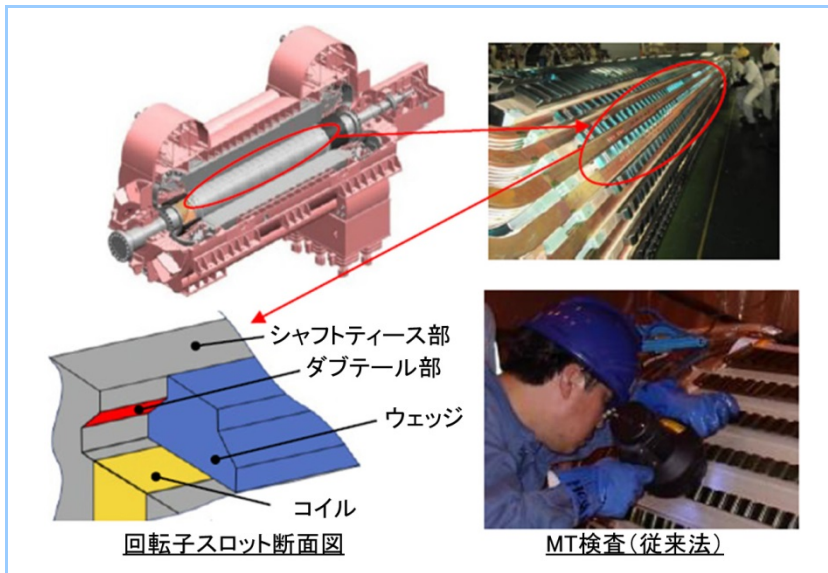


図5 発電機回転子ダブテール部の構造図及び従来検査の状況



図6 実機回転子ダブテール部における ECT 検証試験状況

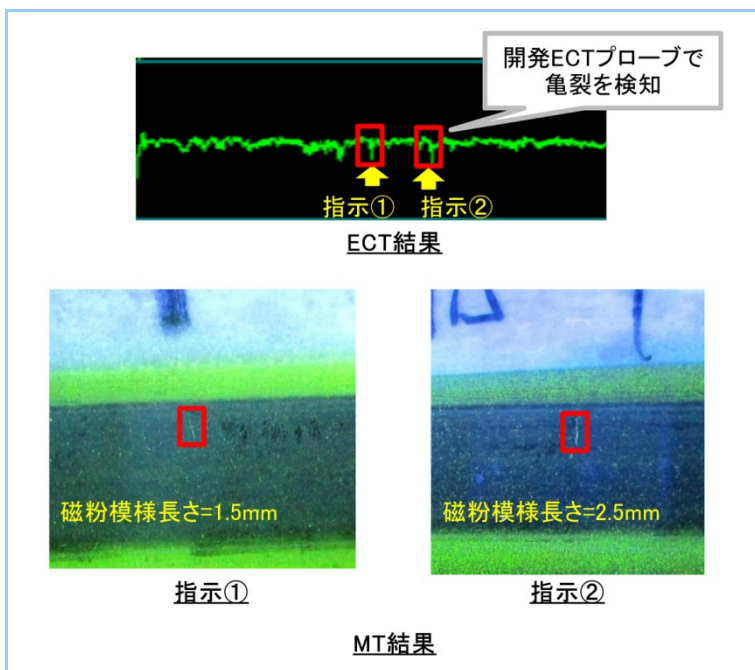


図7 ECT 及び MT 結果

3.2 本技術を用いたサービスと提供価値

図8に MT/PT による従来手法と ECT による開発手法の検査フローおよび作業時間の比較結果を示す。なお、本作業時間比較は 3.1 節で検証した発電機回転子の仕様(全長:約6m, スロット数:32 個)にて算出している。従来は、スロット全長で MT/PT を実施しており、その事前の準備・養生作業に時間を要していたが、ECT を適用することで、その作業は削減される。これにより、60%程度の作業時間短縮が期待される。これは養生作業時間の短縮が大きく寄与しているものであるが、探傷作業自体も短縮することができ、結果として作業全体の効率化を図ることができた。また、検査結果は波形情報としてデジタルデータにて保管されるため、従来 MT/PT における写真やスケッチによる記録と比べて取り扱いが容易、かつデータベース化による過去記録との比較・参照などが可能であり、ECT 適用により多くのメリットが期待される。

以上の結果から、発電機回転子ダブテール部の MT/PT 代替 ECT による検査サービスをお客様に提供することで、作業時間短縮によるコスト低減や、クリティカルパスとなる精密点検の工程短縮に寄与できると考える。なお、本技術は現在検証作業および適用に向けた準備作業を進めているところである。早期に市場投入し、お客様事業に貢献する。



図8 従来手法と開発手法の検査フロー比較

4. 種子島宇宙センター/ロケット射場の配管設備への適用例

4.1 種子島宇宙センター/ロケット射場における ECT の適用

種子島宇宙センターのロケット射場設備は、H-IIA などの基幹ロケットを打ち上げる国内唯一の打上げ設備である。近年、打上げ市場におけるオンタイム打上げや価格競争力へのニーズが高く、計画通りにロケットを打ち上げることの重要性が高まっている⁽¹⁾。一方、射場における水素/酸素/ヘリウムなど推進薬を充填するステンレス鋼高圧ガス配管は、打上げに必須の最重要設備であるが、これら設備は屋外かつ海近傍であることから、配管外面での腐食による減肉や粒界亀裂の発生が懸念される。一方、管外面の腐食や亀裂の有無を検査する一般的な手法として、前述した通り MT や PT が実施されるが、MT はその原理から非磁性体であるステンレス鋼に適用できない。また、PT は腐食減肉の検出は可能であるものの、粒界亀裂のような微細な亀裂の検出性は低く、かつ浸透処理・現像処理・観察・後処理工程があり、検査に時間を要する。そこで当社では、射場設備を管理・運営している宇宙航空研究開発機構(JAXA)と協力し、射場におけるステンレス鋼高圧ガス配管の保守検査として、微小欠陥の検出性が高く、溶剤による処理が不要な ECT の適用を進めている。

4.2 ステンレス鋼高圧ガス配管の ECT 検査事例と本サービス提供価値

図9にステンレス鋼配管外面における ECT 検査状況を示す。検査手順は、目視点検にて腐食の可能性のある発錆部を選定し、当該部に ECT を適用して欠陥有無を評価するフローとしている。なお、射場のステンレス鋼高圧ガス配管は、設備の制約条件から配管設置位置が狹隘部となることがあるため、ECT プローブは、小型で走査が容易なペンシルタイプを適用した。

図10に射場ステンレス鋼高圧ガス配管の ECT 結果、及び欠陥検出部における断面調査結果

を示す。ここで、ECT における検出信号はリサージュ波形で表示され、欠陥が検出されると第二象限に位相角約 135° 方向に波形が変化するよう人工欠陥にて事前校正している。ECT の結果、発錆部近傍において波形が変化していることを確認した。ECT で検出された箇所について断面調査を実施した結果、微細な亀裂が発生しており、ECT にて実際の欠陥を検出可能であることを確認できた。また、ECT を適用することで、溶剤による処理が不要となり、検査効率を向上させることができた。

以上の結果から、ステンレス鋼高圧ガス配管に発生した腐食部に対し、従来表面検査手法である PT に代替して、ECT による検査サービスを射場全体に適用することで、ロケット打上げ前に交換・補修箇所を選定可能であり、これまでよりも効率的に予防保全ができる。これにより、ロケットのオンタイム打上げに貢献できると考える。



図9 ステンレス鋼配管外面における ECT 検査状況



図10 ステンレス鋼配管外面における ECT 検査状況

5. まとめ

本報では、従来表面検査手法である MT/PT に代替する ECT 検査サービスの適用事例を中心に述べた。本サービスは、これらの適用事例以外にも、MT/PT が実施されている様々なプラント・インフラ構造物に適用可能であり、設備の信頼性向上と検査期間・費用の低減など、お客様が求められるニーズに対応できるものとする。今後もお客様が価値を感じられる検査サービスを提供し、お客様事業に貢献していく。

参考文献

- (1) 安達美咲ほか、ロケット射場における高経年化したステンレス配管の保全によるリスク低減手法、日本保全学会 第 18 回学術講演会 要旨集, 2022, p291
- (2) 渦電流探傷試験 II Eddy Current Testing, 日本非破壊検査協会, p1-3
- (3) 検査時間短縮に貢献する表面欠陥検出技術, 三菱重工技報 三菱日立パワーシステムズ特集, Vol.54 No.3(2017), p59-61