

# 原子力発電所に適用される高精度 ECT プローブ開発の歴史

## History of development of high performance ECT probe applied in nuclear power plants

三菱重工業(株)	難波 一成	Kazushige NAMBA	
三菱重工業(株)	神納 健太郎	Kentaro JINNO	
三菱重工業(株)	黒川 正秋	Masaaki Kurokawa	
三菱重工業(株)	関 伊佐夫	Isao SEKI	Member
三菱重工業(株)	鶴田 孝義	Takayoshi TSURUTA	

To confirm the soundness of component of nuclear power plants, NDE techniques are applied. Especially, ECT is applied as the volumetric inspection for heat transfer tubes of heat exchangers, and as the surface inspection for weld zone. The materials of them have good corrosion resistance, but they had many experience of occurring flaw because plant-operating period became so longer. We developed various types of high performance ECT probe in order to detect every types of flaws which are occurred, and which can be occurred in nuclear power plants. We think this activity contributed to reliability improvement of nuclear power plants. We explain the history of our developing ECT probes, and activity of developing the advanced ECT probes based on our experience.

**Keywords:** high performance ECT technique, intelligent ECT probe, internal probe ECT, surface probe ECT

## 1. 緒言

原子力発電所における各種機器の健全性を確認するための非破壊検査のうち、熱交換器伝熱管に対する体積検査、及び溶接部等の表面に対する表面検査として渦電流探傷試験(ECT)を適用している。原子力機器は耐腐食性などに優れた材料が採用されているものの、発電所の運転時間を重ねるごとに様々な種類の損傷を経験することとなり、当社はそれぞれの損傷モードに対する検出性に優れた各種 ECT プローブを開発・適用しプラントの信頼性向上に努めてきた。

本紙では、これまでの当社のプローブ改良・開発の変遷と現在実施している更なる ECT プローブ高度化の取り組みについて紹介する。

## 2. 伝熱管体積検査用 ECT プローブの変遷

原子力発電所における体積検査 ECT の実施対象は、蒸気発生器伝熱管(以下、SG 伝熱管と称す)等の熱交換器伝熱管である。SG 伝熱管は PWR 型原子力発電所の 1 次系圧力バウンダリを形成する重要部品であり、かつ熱交換効率を確保するため 1.27mm と非常に薄い肉厚となっていることから、耐食性の高い材料が使用されるとともに原則定期検査ごとに全数全長の ECT が実施されてきた。

しかしながら拡張時の高残留応力や 2 次系冷却水の水質条件等の影響等により、過去には運転時間の増大に伴い種々の損傷が発生してきた。その結果、材料の変更や製造工法の見直し、運転中の水質条件の改善等の損傷リスク低減措置や、検査部位や対象欠陥に応じた種々の ECT プローブの開発が図られることとなり、これらを適用することによって SG 伝熱管における高い信頼性が担保されている。以下に、これまで開発・適用されてきた ECT プローブについて説明する。

### ① ボビンプローブ(伝熱管全長)

定期検査開始当時から使用された、一般的な自己誘導・自己比較方式のプローブであり、軸欠陥の検出性が高い。周方向の欠陥検出性、形状変化の影響が大きい管板部での欠陥検出性が課題。

### ② A 型プローブ(管板部)

通常のボビンプローブでは困難である、形状変化の影響を大きく受ける管板部での応力腐食割れの検出性を向上させるため、フェライトコアを配置し磁束収束を図ったプローブである。

### ③ DF プローブ(伝熱管全長)

探傷工程の合理化を目的として、①と②のコイルを 1 つのプローブに搭載し、伝熱管全長を一度で検査できるプローブ。①と同じく、周方向の欠陥検出性が課題。

④ 8×1プローブ(特殊探傷)

国内で初めて管板部での周方向割れを経験したとき、DFプローブではこれを検出できず、リークに繋がってしまった。そのため周方向欠陥の検出性向上を目的として、8つのコイルを周方向に配置し周方向分解能を持たせた本プローブを開発した。軸欠陥の検出性が課題。

⑤ 回転プローブ(特殊探傷)

Cu付着環境下でのピittingという非常に難易度の高い欠陥の検出を目的として導入された。軸・周双方の欠陥検出性に優れ、欠陥のプロファイルも把握できるため、特殊探傷の手段として定着した。回転しながら軸方向走査するため、検査速度が非常に遅いのが課題。

⑥ インテリジェント ECT プローブ<sup>1)</sup>

DFプローブの検査速度と、回転プローブの検出性を両立することを目的として開発されたプローブである。本プローブの特徴は以下の通りである。

- 24Ch マルチアレイコイル
- 励磁コイルを傾斜させることにより、周軸両方向の欠陥を検出可能
- 薄膜コイル適用により欠陥検出性を向上
- 電子回路の適用により SN 比向上を実現
- リサージュ波形から欠陥の位置 (内/外面) 及び方向 (周/軸) を容易に判別可能
- コイルが非接触であり、高い耐久性を実現

図1にインテリジェント ECT プローブの概要を示す。当社における過去の内挿型 ECT 技術の集大成であり高い性能を持つ一方で、特殊なコイル構成であり製作者の高い技量が要求されるため、高コストかつプローブ製作に時間を要する。

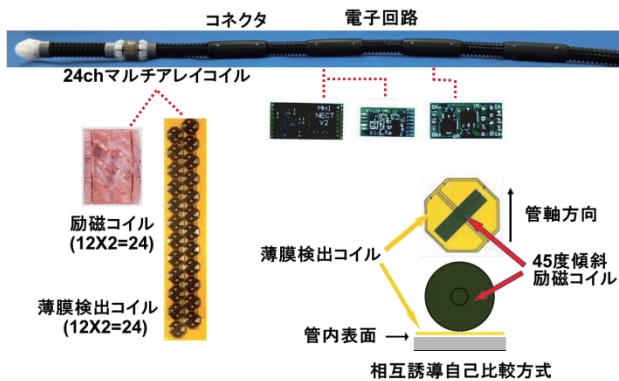


図1 インテリジェント ECT プローブ概要

### 3. 溶接部等表面検査用 ECT プローブの変遷

原子力発電所における代表的な表面検査 ECT の実施対象は、原子炉容器、蒸気発生器における冷却水出入口管台の溶接部表面である。原子炉容器の出入口管台においては、複雑形状部であるノズルコーナ部においても ECT が実施されている。

出入口管台溶接部については、国内外でインコネル 600 材における PWSCC の発生を受けて、予防保全の観点から応力緩和のためのピーニング施工を実施することとなり、施工前の健全性確認のために ECT を実施することとなった。そのため、SCC 等の微小欠陥検出性に優れるクロスコイルを採用しながら、溶接境界部における透磁率変化の影響低減を目的としたプローブが開発、適用されている<sup>2)</sup>。

ノズルコーナ部については、運転期間が 40 年を超えるプラントの運転延長申請のために表面検査として PT または ECT が要求されている。このノズルコーナ部は断面形状が連続的に変化する凸部が存在し、使い性確保が非常に困難であるため、3D プリントにてモックアップを製作し使い性を検証しながら、複数の可動コイル部を有するプローブを開発した。プローブ外観と検証風景を図 2 に示す。

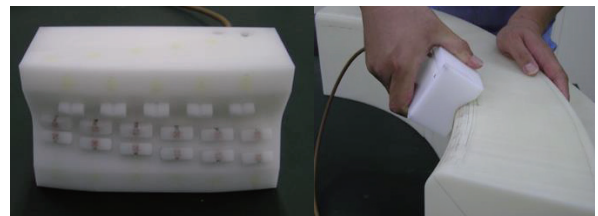


図2 プローブ外観及び検証風景

これらのプローブに使用されているクロスコイルは欠陥検出性や欠陥方向識別性、耐リフトオフノイズ性に優れている一方で、薄膜状ではなく高さを持つ構造のため、パンケーキコイルと比較すると狭隘部用プローブへの応用は困難である。図3に一般的なクロスコイルを示す。

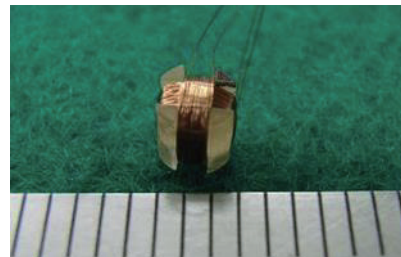


図3 クロスコイル外観

## 4. 更なる ECT プローブ高度化の取り組み

このように当社では、新たな検査技術のニーズが生まれるたびに開発と適用を繰り返し、検査技術・精度の向上とプラント信頼性の向上に寄与してきた。現在は、体積検査用 ECT プローブ、表面検査用 ECT プローブにおけるそれぞれの課題を解決しつつ、高い検出性を維持することを目的として、パンケーキコイルを用いた高精度 ECT 技術を開発している。この技術におけるチャンネル構成と励起される渦電流のイメージを図 4 に示す。

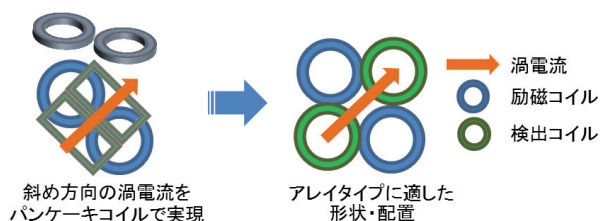


図 4 チャンネル構成及び渦電流イメージ

本技術は斜めに配置された 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、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。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、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。本開発により、現有コイルと同等の微小欠陥検出性や欠陥方向識別性、耐リフトオフノイズ性を維持しながら、より合理化された汎用性の高い技術が実現できた。現在、更なるプラント安全性の向上を目指し、従来は検査していなかった、またはできなかった箇所に対しても ECT を実施できるよう、プローブアプリケーションを検討している。

図 5 に、プローブアプリケーションの例を示す。

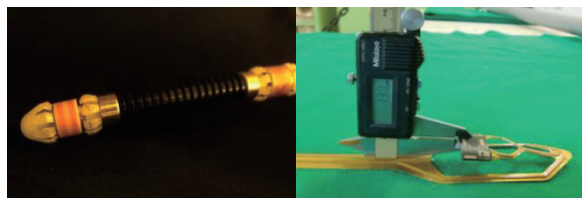


図 5 プローブアプリケーション例

## 5. 結論

主に SG 伝熱管に対する体積検査 ECT への適用を目的として、種々の損傷事例に対応したプローブ開発を行っ

てきた。現在は高速検査と高検出性を両立したインテリジェント ECT プローブを実機適用しており、特殊なコイル構成でありプローブ製作に時間を要する。

溶接部表面等に対する表面検査 ECT への適用を目的として、溶接境界部の透磁率変化の影響低減や、倣い性確保が難しい複雑形状部に追従するプローブを開発している。その結果、複雑形状部である原子炉容器出入口管台ノズルコーナー部の ECT も世界で初めて実施している。

これら既存の ECT プローブの高度化を目指し、パンケーキコイルを用いた高精度 ECT 方式を開発した。アレ化及び体積検査 ECT・表面検査 ECT とともに応用が可能である。

## 参考文献

- [1] 浅田義浩, 川瀬直人, 川田かよ子, 七田知紀, 高次正弥 『インテリジェント ECT の実機適用』日本保全学会 第 3 回学術講演会(2006 年度)
- [2] 浅田義浩, 徳久貴一, 高次正弥, 黒川正秋, 川田かよ子, 平野信朗, 瀬良健彦 『PWR 容器の異種金属溶接部 ECT 検査手法の開発』日本保全学会誌, 保全学 Vol.6-No.4, P38-43, 2008 年度