

# インテリジェント ECT の実機適用

## Field experience with intelligent ECT

三菱重工業株式会社	浅田 義浩	Yoshihiro ASADA	Member
三菱重工業株式会社	川田 かよ子	Kayoko KAWATA	Non-Member
三菱重工業株式会社	川瀬 直人	Naoto KAWASE	Non-Member
三菱重工業株式会社	七田 知紀	Tomonori SHICHIDA	Non-Member
三菱重工業株式会社	高次 正弥	Masaya TAKATSUGU	Non-Member

The Intelligent ECT probe has been developed to achieve high speed inspection and high flaw detectability compared with conventional ECT probe. Intelligent ECT probe has 24ch multi array coils which consist of inclined drive coils and thin-film pick-up coils and has various diameter types for inspection of various steam generators.

In Japan, Intelligent ECT has been applied to 100% full length inspection of actual plants with fully automatic data acquisition system. The Intelligent ECT has been applied in US and Taiwan for field trial since 2002 and was performed as actual inspection in USA in 2003.

**Keywords:** Intelligent ECT, 24ch Multi Array, Automatic Data Acquisition

## 1. 緒言

加圧水型原子力プラント (PWR) には全長が 20m、外径が  $\phi 20\text{mm}$  程度のインコネル合金製の伝熱管を 3000 本以上収納した蒸気発生器 (SG) が設置されている。これら伝熱管の全長全数検査を定期検査期間中に実施するために、高速な検査技術として、ボビンコイル方式の渦流 (ECT) プロブが適用されている。ボビン型 ECT プロブは伝熱管板厚 (約 1.3mm) の 40% 深さ程度の欠陥を検出可能であり、検査速度は 400mm/s が達成できる。一方、欠陥の検出性能に優れた接触型回転方式の ECT プロブは、20% 深さの欠陥を検出可能であるが、検査速度が 5mm/s 程度に制限されるため、部分的な精密検査として使用されている。検出性能と検査速度の関係を図 1 に示す。

弊社では、従来のボビン型 ECT プロブ並の高速検査速度と回転 ECT プロブ並の欠陥検出性を兼ね備えた、新型の高性能インテリジェント ECT プロブ及びシステムを開発した。その概要について説明する。

連絡先：七田知紀、〒652-8585 神戸市兵庫区和田崎町 1-1-1、三菱重工業株式会社神戸造船所 品質保証部・原子力サービス品質管理課、電話：078-672-3130、e-mail：tomonori\_shichida@mhi.co.jp

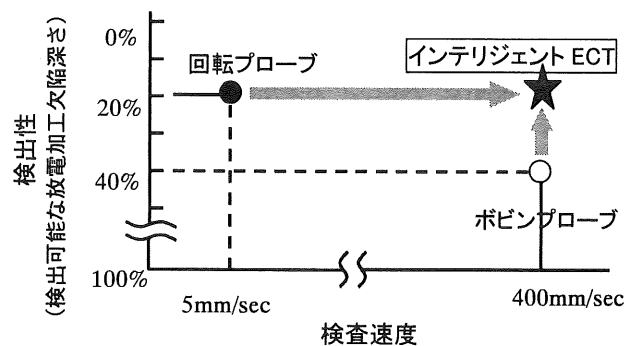


図 1 各種プローブの性能

## 2. インテリジェント ECT システム

### 2.1 インテリジェント ECT システムの特徴

図 2 にインテリジェント ECT の外観を示す。

24 個のコイルからなるプローブヘッド、電子回路及びコネクタから構成されている。電子回路 (マルチプレクサ) をプローブコンジット部に搭載することにより 24 コイルに必要な信号線を大幅に低減することを実現している。

本プローブの主な特徴は以下の通りである。

- ・ 周方向 24 コイル配置
- ・ 相互誘導自己比較方式
- ・ 周方向/軸方向のきずが検出可能
- ・ 検出コイルには形状均一性が高い薄膜アレイコイルを採用

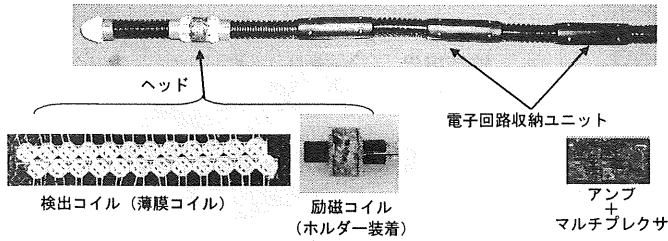


図2 インテリジェント ECT プローブ外観

## 2.2 全自動探傷システム

検査工程の短縮、作業員の削減及び被ばく線量の低減を実現するため、全自動探傷システムを採用している (図3参照)。現地の電力サイトに設置したコンテナよりロボット操作からプローブの挿入引抜き、データ採取に至るまで遠隔操作可能なシステムとなっている。

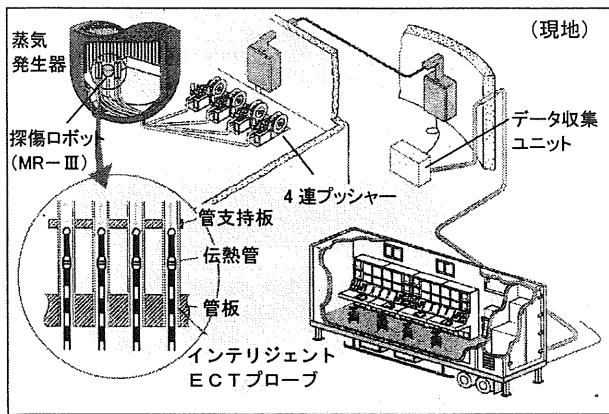


図3 全自動探傷システム概要

## 2.3 分析システム

24コイルマルチアレイタイプのプローブを採用することにより、従来のボビンコイルと比較し、データ量は24倍と増加する。これら増加したデータを信頼高く効率的に分析するための分析システムを開発した。図4にデータ処理全体フローを示す。

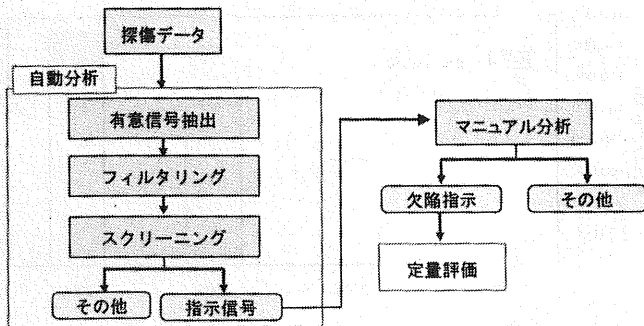


図4 データ処理フロー

### ・有意信号抽出

増加したデータ全てを分析員が確認することは作業量が膨大であり、現実的ではない。そこで、有意信号抽出では、探傷信号からドリフト成分を除去した後、閾値処理により全ての有意信号をピックアップし、これらの近傍区間を自動抽出する。

同時に、構造物信号の自動認識を行い、分析時のデータ確認時間を大幅に低減している。これらの処理は自動化することにより、大量データに対しても高い信頼性と高速処理を実現した。

### ・フィルタリング

探傷データには支持板や拡管等によるノイズが必然的に重畳されるため、欠陥の見落としがなく、かつ過剰指示の少ない分析のためにはフィルタリング技術が有効である。

インテリジェント ECT は、ボビン型プローブと異なり、周/軸方向に2次元分布をもった信号が得られるため、従来型のフィルタに加えて信号の分布特徴を用いたフィルタが適用可能である。フィルタリングの適用例を図5に示す。図5は、支持板部に重畳した外面欠陥 (放電加工きず・深さ20%t) の例で、フィルタリングの結果、ノイズである支持板信号のみが低減し、SN比が向上しているのがわかる。

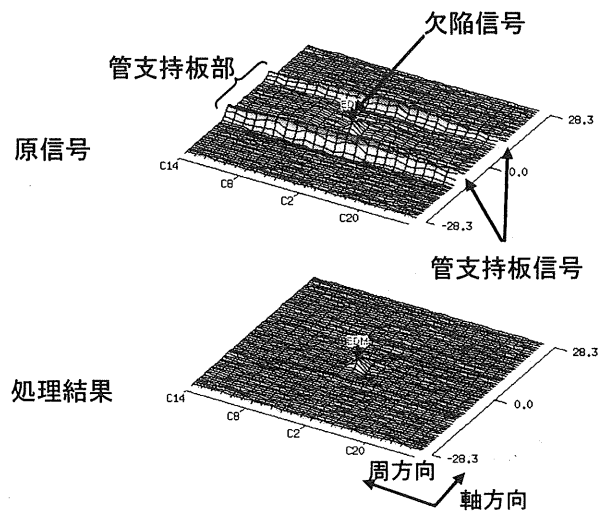


図5 フィルタリング処理例

・スクリーニング

スクリーニング手法は抽出された信号からきずの可能性のある信号を振り分けする手法である。まず、フィルタリング後に残ったECT信号をピックアップし、信号処理する領域を確定した後、位相や電圧等の特徴量を計算する。次に、きずの特徴に整合する信号をきずとして検出し、分析システムの表示画面上にマーキング表示する。

2.4 定量評価

きずの深さ評価手法としてはリサージュ波形の位相角から定量化する手法が知られているが、これはプローブの通過位置やきずの長さに影響を受け変化するため、誤差要因となる。これらの誤差要因を低減するため本プローブにおいては、複数周波数の信号特徴を用いた重回帰分析により定量評価精度を向上した。図6に外面減肉における定量評価性能検証結果を示す。10%~40%の減肉試験片を使用し、20%以上と評価された信号の評価誤差は最大で5% (2σ) であった。

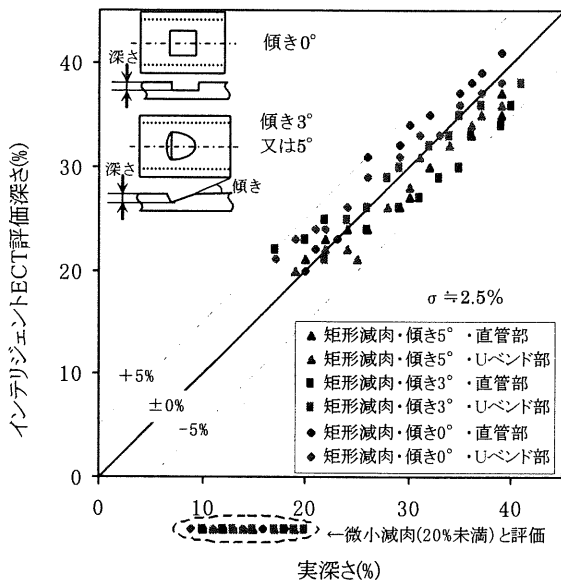


図6 欠陥深さ定量評価性能 (外面減肉)

2.5 検出性

人工 SCC 試験片および EDM 試験片による検出性確認試験の結果、内面・外面の周・軸方向欠陥にて 20% の検出が可能であることを確認した。図7に検出が難しい拡張境界部の SCC 内面軸方向試験片の結果を示す。

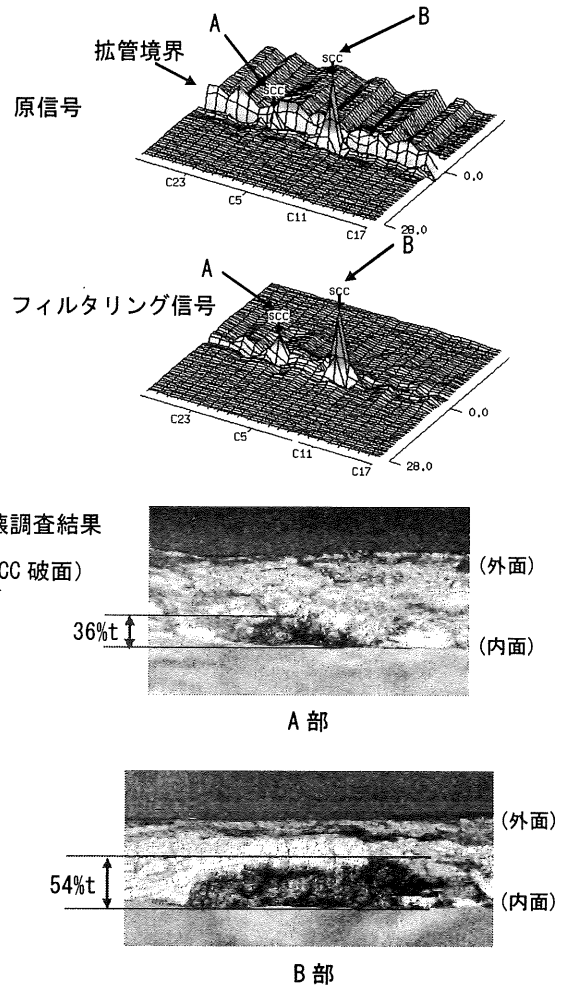


図7 SCC 検出試験結果

3. 国内における適用結果

国内においては2003年8月に発電設備技術検査協会での確性試験を完了し、TT600プラントの全長全数検査に同年12月より適用されている。これまでの適用本数は2006年春現在、累計で12万本に及んでいる(図8参照)。2006年度では14万本を突破する予定である。

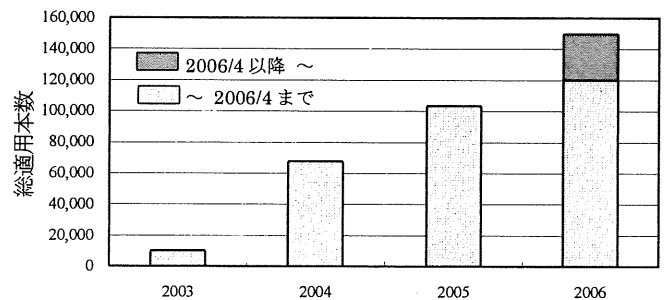


図8 国内でのインテリジェント ECT 適用本数

## 4. 海外における適用結果

### ・米国

米国では2002年2月から実機試行を実施し、翌2003年9月より実機にて適用されてきている。適用結果を表1に示す。また、適用に必要な EPRI Appendix H の認証も随時取得してきた。

表1 米国における適用実績

項目	適用年月	プラント	SG 型式	適用本数	管径
実機 試行	2002/2	Prairie Island 2	WH 51	124	7/8"
	2002/4	Palo Verde 2	CE System 80	41	3/4"
	2002/4	Sequoyah 2	WH 51	60	7/8"
	2002/6	San Onofre 2	CE 3410	104	3/4"
	2002/10	Palo Verde 1	CE System 80	42	3/4"
	2002/10	Arkansas 1	B&W OTSG	211	5/8"
	2003/1	Commanche Peak 1	WHD4-2	21	3/4"
	2003/2	Diablo Canyon 2	WH 51	41	7/8"
実機 適用	2003/9	Watts Bar 1	WH D3	3000	7/8"
	2003/10	Sequoyah 2	WH 51	3000	7/8"
	2004/4	Callaway	WH F	1786	3/4"

また、本プローブは2005年に初の海外における取替え SG の使用前検査にも適用された。NRC により管板部の全長検査が要求されたためであり、これを満足するための回転プローブの適用はコスト、工程にインパクトがあるため、高速・高検出性を有した本プローブが採用された。弊社工場内にて行われたこの PSI 検査工事においては、コスト低減、工程短縮に寄与するとともに本プローブにより全数全長データも採取され、将来の ISI 工事における有用なデータベースとなる貴重なデータが採取された。

### ・台湾

台湾では2002年11月から実機試行を実施してきている。試行結果を表2に示す。これまでの試行結果においては、客先から検出性の高さ、データ採取及び分析の速さ等について高評価を得ており、今後は、本格的な実機適用も計画されている。

表2 台湾における適用実績

項目	適用年月	プラント	SG 型式	適用本数	管径
実機 試行	2002/11	Linkou Nuclear Training Center	— (探傷及び分析トレーニング)		
	2004/11	Maanshan 1	WH Model F	1100 (half length and Candy cone)	11/16"
	2005/4	Maanshan 2	WH Model F	1253 (20% Candt cone and 80%)	11/16"

## 5. 結言

弊社は高速・高性能な ECT 手法としてインテリジェント ECT プローブを核とした全自動探傷システムを構築し、国内にて全数・全長検査の適用実績を積んできた。また、米国、台湾での検査工事においても本プローブを適用し、高速・高検出性による工程短縮、コスト低減に寄与してきた。今後も多くのプラントに適用していく予定である。

## 参考文献

- [1] Y. Iwahashi, et al, "High Speed Performance ECT System", Proceeding the 2<sup>nd</sup> International Conference on NDE in Relation to Structural Integrity for Nuclear and Pressurized Components, New Orleans, 2000, 17-29
- [2] K. Kawata, M. Kurokawa, N. Kawase, Y. Asada, "Intelligent ECT System" *Inspection Technology*, 2005.6 10-6 66-72
- [3] M. Kurokawa, et al "Recent Improvement of Intelligent ECT System" 20th EPRI Steam Generator NDE Workshop, 2001
- [4] T. Shichida, et al "Recent Intelligent ECT Probe Experience", 24th EPRI Steam Generator NDE Workshop, San Diego, 2005