

# フェーズドアレイ UT の RV セーフエンドへの適用

## Application of Phased Array UT to RV Safe End Welds Inspection

三菱重工業株式会社	西田 純一郎	Jun-ichiro NISHIDA	Non-Member
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	増本 光一郎	Koichiro MASUMOTO	Non-Member
三菱重工業株式会社	村上 平八朗	Heihachiro MURAKAMI	Non-Member
三菱重工業株式会社	川浪 精一	Seiichi KAWANAMI	Non-Member

In the nuclear power plant, ultrasonic testing is performed as an in-service inspection of the reactor vessel (RV-ISI) according to JSME code. MHI is using the advanced UT machine (A-UT machine) system to RV-ISI under the high radiation condition. RV-ISI is one of the critical path in ISI schedule, so it is strongly required to reduce the inspection time of RV-ISI.

In this report, the counter measure to reduce RV-ISI period by using the phased array UT is described.

**Keywords:** Inspection Technique, Ultrasonic Testing, Phased Array UT, Dissimilar Metal Welds, Alloy 600

### 1. 緒言

PWR 型原子力プラントにおいて原子炉容器供用期間中検査（以下 RV-ISI）は、維持規格に従い 10 年毎に所定の範囲を体積検査する必要があり、UT を実施している。RV-ISI は作業員のアクセスが困難な高線量環境下での検査であるため、遠隔自動装置を用いた探傷が必要であり、当社では水中自航式ロボット等を用いたシステムである Advanced UT(A-UT)マシン(Fig. 1)を用いて検査を実施している。

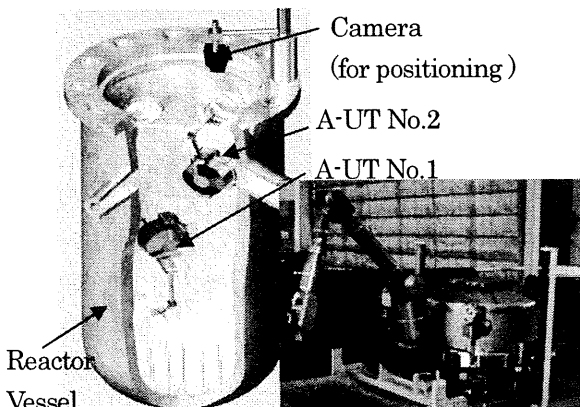


Fig. 1 A-UT machine system

一方、RV-ISI は定期検査においてクリティカル工程であるため、定検工程短縮のニーズが高まっている。

A-UT マシンでは、検査の実施にあたり航行による各探傷箇所への位置決めを実施している。また、規定の要求に適合した超音波探傷を実施するため、各検査箇所に応じた探触子を搭載した探触子板の交換を実施し、検査を行っている。これらの作業時間を短縮することで、全体の探傷工程の短縮を実現することが可能となる。

ここでは、フェーズドアレイ UT を用いた RV-ISI における探傷工程短縮のための取り組みについて紹介する。

### 2. 問題点とねらい

A-UT マシンは、初期は水中台車 1 台で検査を実施していたが、航行管理を徹底することにより 2 台保傷が可能になっている。2 台の水中台車は互いに互換性があるが、主に容器胴部の溶接線を探傷する水中台車 No.1 と、管台部を探傷する水中台車 No.2 とに分けた運用としている。管台検査は、対象の形状が複雑であること、胴部と比較して曲率が小さいこと等から、様々な種類の超音波探触子を適用するため、多くの探触子板を必要とする。このため、探触子板の交換回数及び各管台へのアクセス回数が増え、探傷工程を増加させることとなる。特に、セーフエンド部に対しては、曲率が小さいことから、周方向探傷用、軸方向探傷用の 2 式の探触子板を用いているため、探触子板の交換及び各管台へのアクセス回数が

連絡先：西田純一郎，〒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：078-672-3104，  
e-mail：junichiro\_nishida@mhi.co.jp

多くなっている。

これに対し、探傷屈折角を電子的に制御できるフェーズドアレイ UT に着目すると、1つの探触子で複数の探傷屈折角の超音波を入射することが可能となる。探傷方向の違いによって2式の探触子板を用いているセーフエンド部に対してフェーズドアレイ UT を適用することで探触子数を削減し、探触子板を1式に削減することが可能となり(Fig 2)、1回のアクセスで周・軸方向の探傷を実現することが可能となる。

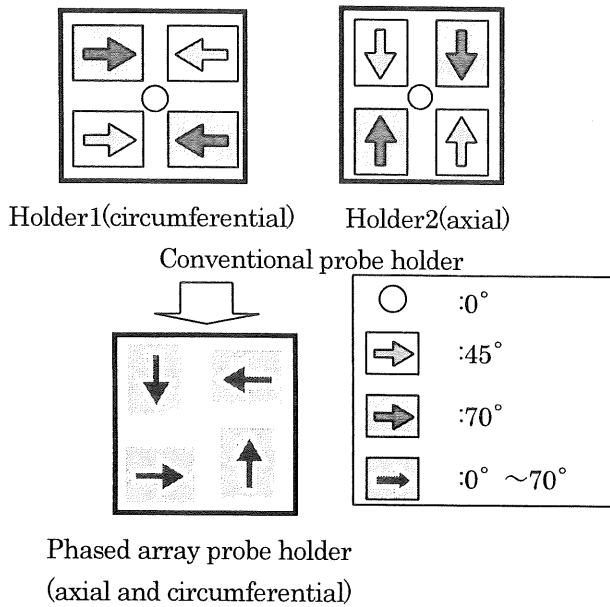


Fig. 2 Concept of probe arrangement for phased array

### 3. フェーズドアレイ UT 適用性試験

#### 3.1 探触子仕様

本取り組みで開発したフェーズドアレイ UT 探触子の仕様を Table 1 に示す。現状の手法では超音波難透過材であるセーフエンド部に対して有効な手法である垂直法、縦波斜角 45°、70° を適用しているが、フェーズドアレイ UT では、現行法に相当する超音波の入射を可能とする仕様とし、さらに超音波を集束させることにより検出性を向上させることを狙って探触子を開発した。

Table 1 Specification of probe for RV safe end

周波数	1.5MHz
モード	縦波
屈折角	0° ~70°
使用屈折角	<ul style="list-style-type: none"> <li>・0°</li> <li>・縦波 45° 相当 集束点を内表面近傍、板厚中央部、外表面近傍に設定</li> <li>・縦波 70° 相当 集束点を内表面近傍に設定</li> </ul>
チャンネル数	送受信とも 16ch×2列
探触子サイズ	60×60×52.5mm

#### 3.2 探触子板

本取り組みで開発製作した探触子板を Fig 3 に示す。探触子板は、マニピュレータの可搬重量を考慮した小型化を図り、管台内面への倣い機構を有している。また、探触子は他の探触子との音波の干渉を回避する配置とした。

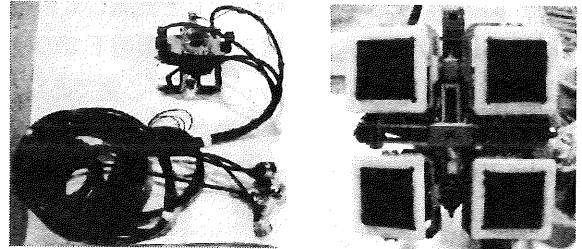


Fig.3 Photograph of probe and probe holder

#### 3.3 適用性の確認試験

3.2項に示した探触子板を A-UT マシンで使用している 7 軸マニピュレータに搭載し、模擬欠陥 (スリット) を付与したセーフエンドのモックアップを探傷し、適用性の確認を実施した。探傷は実機システムを使用し、実機適用に向けたシステムの通信速度の試験をあわせて実施した。実施事項及び確認結果を Table 2 に、試験状況写真を Fig 4 に示す。

Table2 Test items and outline of results

検出性 (Fig 5,6)	溶金中周方向 1mm 深さスリット検出可 溶金中軸方向 2.3mm 深さスリット検出可
通信速度	実機配線にて通信速度に問題なし
探傷速度	100mm/sec(従来速度と同等)で探傷可
倣い性	内表面形状に対し十分な倣い性を確認

フェーズドアレイ UT の適用により、溶金内の EDM スリット(周方向 1mm,軸方向 2.3mm)を問題なく検出しており、従来法(2.7mm の欠陥を検出)と同等以上の検出性を持つことを確認した。また、探触子の重量及びサイズは従来法と比較して大きくなっているが、探触子板の軽量化等を図り、取扱い性、倣い性を確保した。この試験により、実機 RV セーフエンドへのフェーズドアレイ UT 適用の目処を得た。

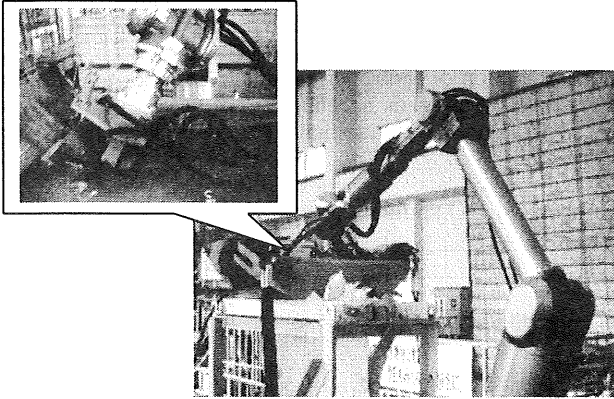


Fig.4 photograph of scanning test

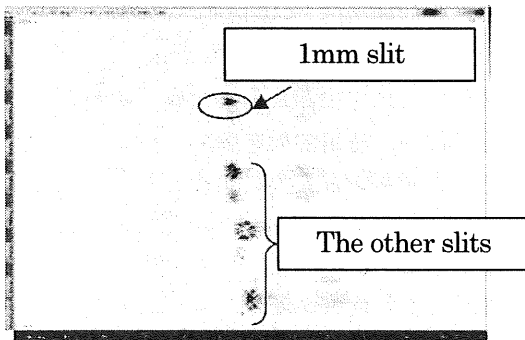


Fig.5 Detection result of circumferential defects detection(C-Scope; Top view)

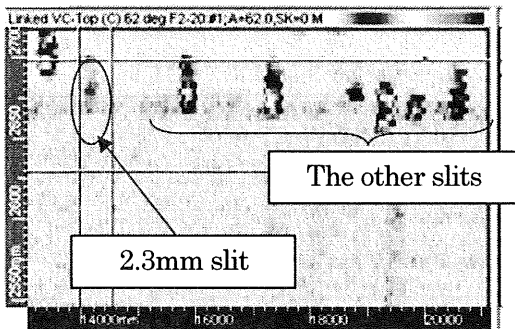


Fig.6 Detection result of axial defects detection(C-Scope; Top view)

#### 4. フェーズドアレイ UT 適用時の工程評価

適用性試験の結果、RV セーフエンドへのフェーズドアレイ UT 適用の目処を得た。これにより軸方向探傷から周方向探傷への探触子板交換時間がなくなり、また位置決め時間が半減する。これを、4 ループプラント (8 管台) に適用すると、半日以上の工程短縮が見込める。尚、現在 4 ループプラントでの RV-ISI 工事は 4 日～5 日であることから、探傷工程の短縮効果は大きいと考える。

#### 5. 結言

本取組みにより下記を得た。

- 1)超音波難透過材である RV セーフエンドの検査に適用可能なフェーズドアレイ UT 探触子を開発し、Alloy600 合金検査に対しての有効性を確認した
- 2)A-UT マシンマニピュレータに搭載したフェーズドアレイ UT 探触子で取扱い性及び倣い性を確認し、実機への適用性の目処を得た
- 3)フェーズドアレイ UT をセーフエンド部に適用することにより、RV-ISI の探傷工程短縮の目処を得た