

BMI 管台 J 溶接部における検査技術の開発

Development of Inspecting Techniques for BMI J-Welds of PWR Nuclear Power Plants

三菱重工業株式会社	木村 是	Tadashi Kimura	Non Member
三菱重工業株式会社	東 正剛	Masayoshi Higashi	Non Member
三菱重工業株式会社	川浪 精一	Seiichi Kawanami	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	浅田 義浩	Yoshihiro Asada	Member

Recently, operation life of nuclear power plants is being extended, therefore, the maintaining the reactor vessel integrity is one of the most important matters in Japan. In these years, some leakages from penetration of alloy 600 CRDM and BMI were reported. BMI penetration is becoming one of the most critical issues in PWR components.

In this paper, we introduce four new inspection techniques including Visual testing (VT), Eddy current Testing (ECT), Adaptive Focusing UT (AdF-UT) and SAFT-UT for the BMI penetration.

Keywords: Nuclear power plant, BMI penetration, Non destructive testing

1. 緒言

近年、原子力プラントの高経年化により、原子炉容器の健全性を維持する事が重要な問題となっている。そんな中、インコネル 600 合金の CRDM (Control Rod Drive Mechanism: 制御棒駆動装置)管台および BMI (Bottom Mounted Instrumentation: 炉内計装筒)管台での漏洩事象が国内外で報告されてきている。

CRDM 管台は原子炉容器の上蓋にあるため、上蓋を耐腐食性の高いインコネル 690 合金に交換することで対応可能であるが、BMI 管台は原子炉容器の下部にあるため、交換や補修を行うのが難しい。そのため、PWR プラントでは BMI 管台の保全技術の開発は重要な課題となっている。

そこで我々は BMI 管台のインコネル 600 合金部である J 溶接部を検査する手法の開発に取り組んだ。本論文では図 1 に示す VT (Visual Testing: 目視検査)、ECT (Eddy Current Testing: 渦電流検査)、AdF-UT 法 (Adaptive Focusing-UT: アダプティブ UT)と SAFT-UT 法 (Synthetic Aperture Focusing Technique-UT: 開口合成処理)を含む UT (Ultrasonic Testing: 超音波検査)といった新たな BMI 管台検査技術について紹介する。

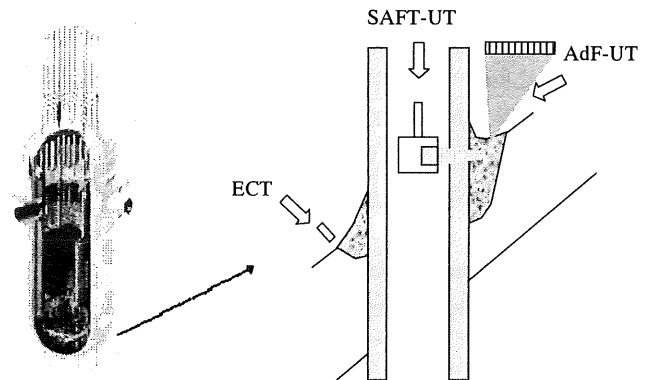


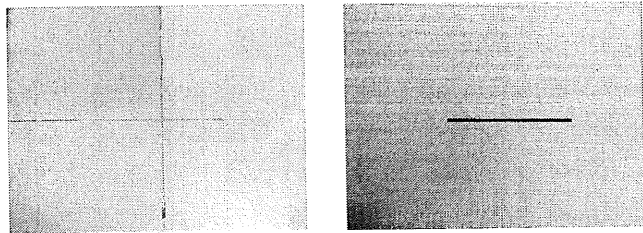
Fig. 1 BMI of PWR and inspecting techniques

2. VT と ECT による J 溶接部表面検査

それぞれの検査技術の欠陥検出性と実機適用性を検証するために EDM スリット、凝固割れ、人工 SCC (Stress Corrosion Cracks: 応力腐食割れ)を付与した試験片および BMI 管台モックアップを製作した。

VT は高解像度防水カメラと照明機構を装備しており、BMI 管台の周りを回転させて J 溶接部を撮影し、検査を行う。カメラの位置は J 溶接部の表面形状を撮影するように自動的に制御され、溶接部の表面にカメラの焦点が合うように自動的に補正される。また、カメラで撮影された映像はデジタルビデオテープに保存される。

連絡先:木村是、〒676-8686 兵庫県高砂市荒井町新浜 2-1-1、三菱重工業株式会社 高砂研究所、電話: 079-445-6811、e-mail:tadashi1_kimura@mhi.co.jp



(a) 1 mil width wire (b) 0.2mm width EDM slit
Fig. 2 Captured image of VT

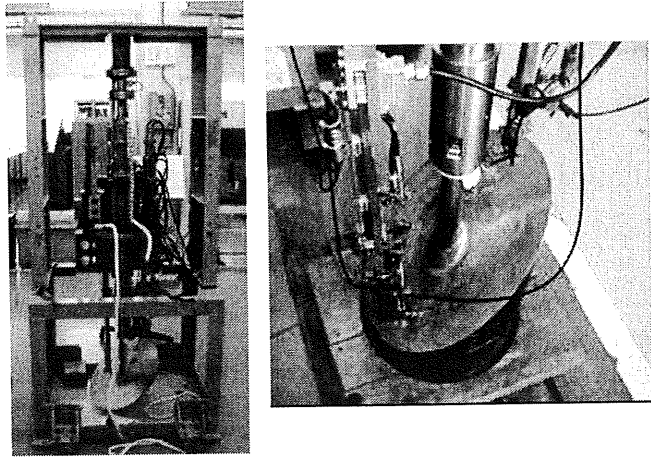
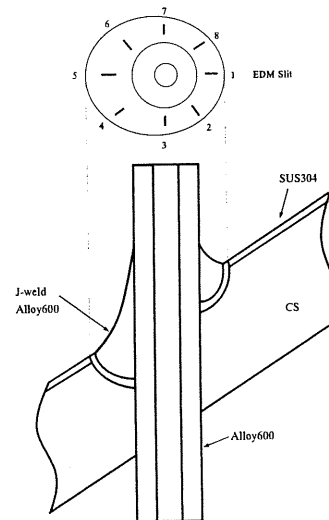


Fig. 3 ECT scanning tool with two ECT probes

Table 1 Specifications of EDM slits

No.	Defect position	Depth	Length
1	180°	0.5 mm	5.0 mm
2	135°	0.2 mm	5.0 mm
3	90°	0.8 mm	5.0 mm
4	45°	0.8 mm	5.0 mm
5	0°	0.5 mm	5.0 mm
6	315°	0.2 mm	5.0 mm
7	270°	0.5 mm </td <td>5.0 mm</td>	5.0 mm
8	225°	0.8 mm	5.0 mm



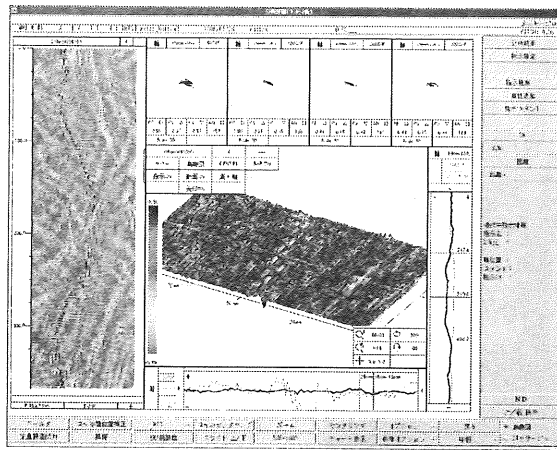
日本の標準規格である MVT-1 では 1mil 幅(1/1000 インチ=25 ミクロン)のワイヤを明瞭に確認する事が要求されている。1mil 幅のワイヤおよび 0.2mm 幅の EDM スリットを撮影した画像を図 2 に示す。本装置はどちらの場合においても明瞭に確認する事が可能であり、J 溶接部表面の欠陥を撮影する事ができる。

ECT は 2 つの ECT プローブと J 溶接部の表面形状に ECT プローブが做うような機構を持った自動スキャン機構を備える。ECT プローブは直径 3mm のクロスコイルで特殊な機構により、プローブと J 溶接部表面が接触するような構造となっている。ECT スキャン装置を図 3 に示す。ECT プローブの探傷範囲は管台側から J 溶接部を探傷するチューブ探傷と容器側から J 溶接部を探傷するボトム探傷の 2 つに分けられ、両探傷範囲

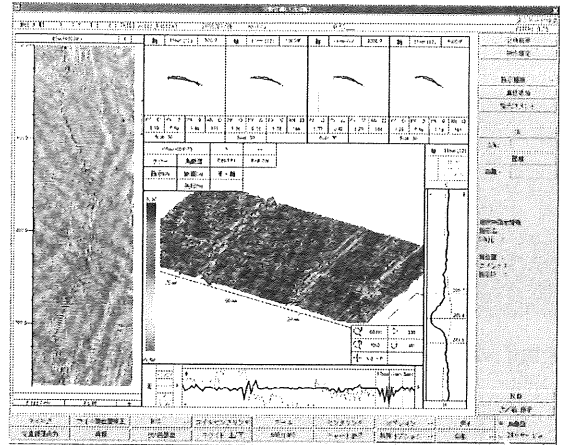
が重なるようにしてある。1 つのプローブがチューブ探傷を行い、もう 1 つのプローブがボトム探傷を行う。

EDM スリットを付与した BMI 管台モックアップのボトム探傷用 ECT プローブによる J 溶接部探傷結果を図 4 に示す。EDM スリットの詳細は表 1 に示す。本装置は 0.5mm 深さの EDM スリットを明瞭に検出する事ができた。また、チューブ探傷はボトム探傷に比べて表面の形状が容易なため、より浅い欠陥を検出する事が可能である。

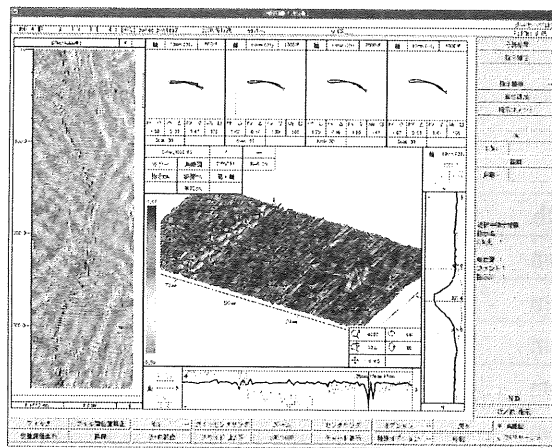
凝固割れおよび SCC を付与した試験体は現在探傷中であり、破壊試験後に報告する予定である。



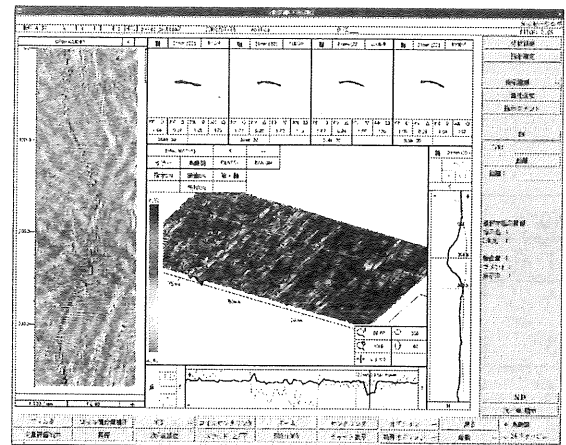
(a) Depth 0.2mm (No. 6)



(b) Depth 0.8mm (No. 3)



(c) Depth 0.8mm (No. 8)



(d) Depth 0.5mm (No. 5)

Fig. 4 ECT C-scan data in the bottom region

3. AdF-UT による J 溶接部表面近傍の探傷

VT または ECT で欠陥を検出すると、欠陥の深さサイジングを行う必要がある。通常、サイジングは UT により行うが BMI 管台 J 溶接部は複雑な表面形状をしており UT プローブの做り性が悪いため、通常の UT 手法やフェーズドアレイ UT を適用する事は難しい。そこで新たなフェーズドアレイ UT 手法としてアダプティブ UT 法(AdF-UT 法)を開発した。

AdF-UT 法の原理を図 5 に示す。AdF-UT 法ではフェーズドアレイプローブを用いて探傷を行う。始めにリニアスキャンにより表面の形状を計測する。そして表面形状計測結果を基にしてフェーズドアレイの各素子が適切に集束するように遅延時間を計算し、設定しなおして再度探傷を行う。このように 2 回探傷を行って集束性を向上させる手法である。

AdF-UT 法は効果的な欠陥検出性とサイジング能力を示す。横穴が挿入された平板に対して AdF-UT 法を適用した場合と適用していない場合の探傷結果を図 6 に示す。AdF-UT 法を適用する事により横穴の超音波集束性と解像度が向上していることが確認された。また、J 溶接部に 3.6mm 深さの EDM スリットが付与さ

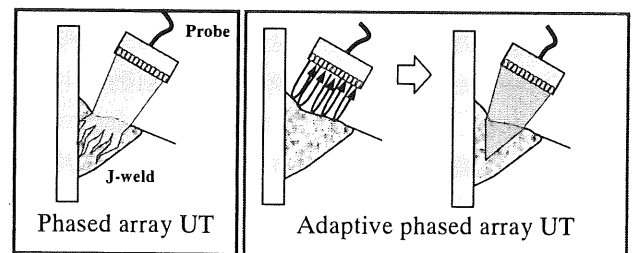


Fig. 5 Schema of AdF-UT

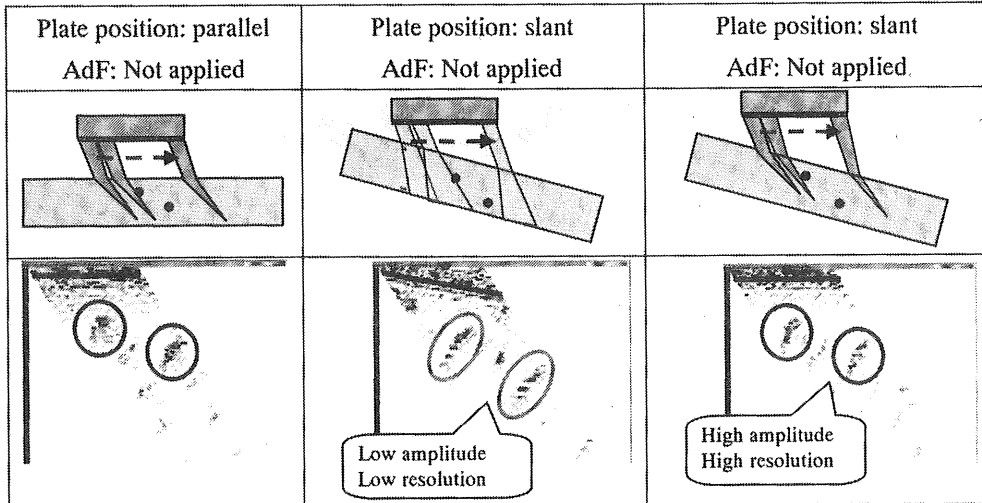


Fig. 6 Results of AdF-UT for slant plate with SDHs

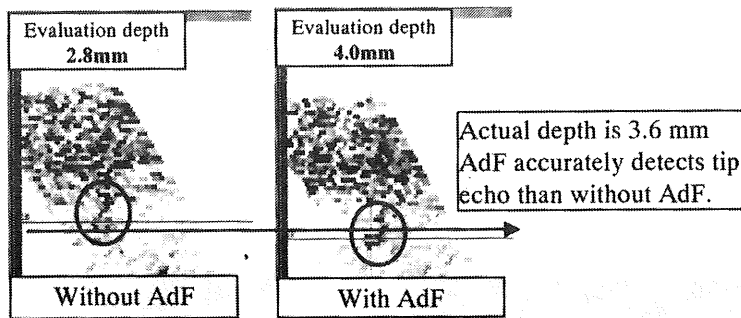


Fig. 7 Effectiveness of the AdF-UT

Table 2 Mockup test results

No.	Defect Position	Depth	Detectability of tip echo	Sizing	Error
1	0° Butter	2.0 mm	good	1.5 mm	0.5 mm
2	90° Butter	2.0 mm	good	3.0 mm	1.0 mm
3	90° Weld	3.0 mm	fair	2.3 mm	0.7 mm
4	180° Butter	2.0 mm	poor	—	—
5	180° Weld	5.0 mm	fair	3.9 mm	1.1 mm
6	60° Weld	3.0 mm	good	2.4 mm	0.6 mm

れた BMI 管台モックアップの探傷結果を図 7 に示す。AdF-UT 法を適用する事により効果的な欠陥深さのサイジングが行えた。また、モックアップの探傷結果のまとめを表 2 に示す。付与位置によって検出できない欠陥があるが全体的に高いサイジング能力を示している。

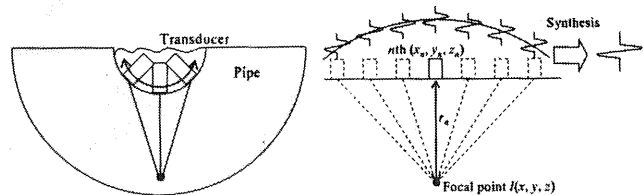


Fig. 8 Principle of SAFT-UT

4. SAFT-UT による J 溶接部内部の探傷

BMI 管台内表面からの ECT や TOFD-UT (Time of Flight Diffraction-UT) は BMI 管台を探傷するのに使われているがこれらの手法は管台内壁を探傷する手法で J 溶接部を探傷することはできない。また、BMI 管台の内径は 9.5mm から 15.2mm と小さく、通常のフォーカス型 UT プローブやフェーズドアレイ UT プローブは管内に挿入する事ができない。

そこで我々はフェーズドアレイ UT と同等の超音波集束性を持ち、BMI 管台内に挿入できる小さいサイズ

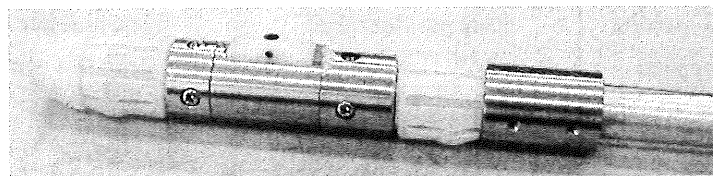


Fig. 9 Probe for SAFT-UT

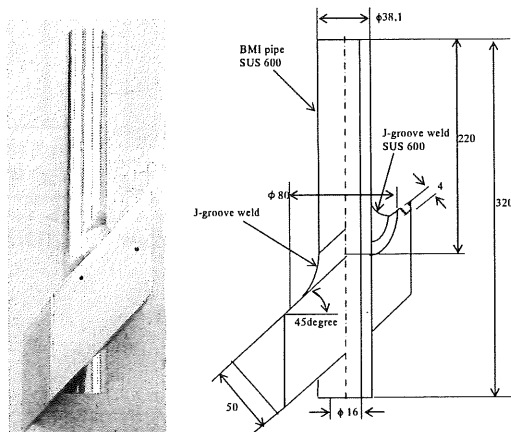
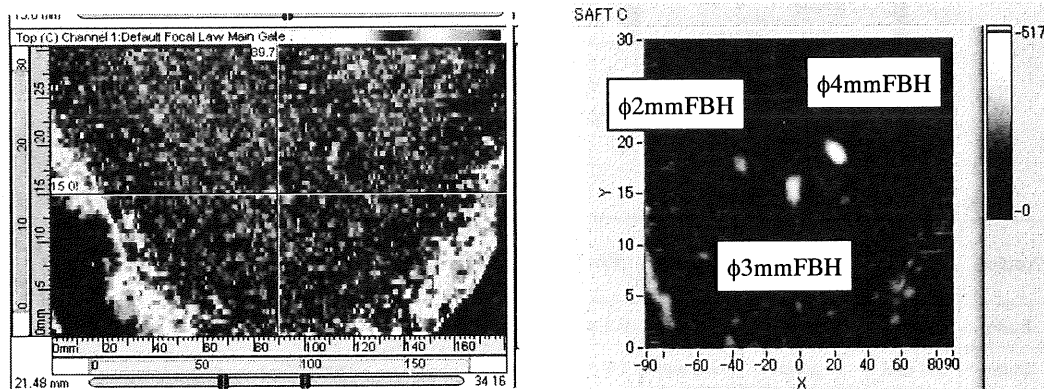


Fig. 10 BMI Mockup with SDHs



(a) Raw data

(b) Processed image

Fig. 11 SAFT-UT data

のプローブで探傷することができる SAFT-UT を開発した。

SAFT-UT の原理を図 8 に示す。小さな UT プローブで管内面を機械的にスキャンし、J 溶接部中のデータを取得する。そして、フォーカス点を設定し、それぞれのデータにおいてフォーカス点までの距離から位相を計算し、同位相で足し合わせる。それによりフォーカス点に超音波を集束させた場合と同等の効果を得ることができる。

SAFT-UT 用プローブと BMI 管台のモックアップを図 9、図 10 にそれぞれ示す。また、図 10 に示すモックアップを探傷した生データと SAFT 処理後の結果を図 11 に示す。SAFT 処理により直径 2、3、4mm の平底穴を明瞭に確認することができる。また、探傷面(管内面)から欠陥までの距離を簡単に測定することができる。

5. 結言

原子力プラントの高経年化により検査ニーズの高い BMI 管台 J 溶接部の検査装置を開発した。結果と評価を以下にまとめる。

- ・ BMI 管台 J 溶接部の表面発生割れを検出するために VT と ECT による検査技術を開発した。VT は MVT-1 で要求されている水中で 1mil 幅のワイヤを検出する事が可能である。ECT は 0.5mm 深さの EDM スリットと凝固割れを検出する事が可能である。
- ・ J 溶接部の外表面からの AdF-UT 法は VT や ECT によって検出された欠陥のサイジングを行うために開発した。AdF-UT 法は J 溶接部の表面形状を認識する事ができ、各素子の遅延時間の補正により J 溶接部内部に超音波ビームを集束させることができる。
- ・ BMI 管台の内表面からの SAFT-UT 法は J 溶接部中を探傷するために開発した。SAFT-UT 法はフォーカス型 UT と同等の検出性を示し、J 溶接部中の直径 2.0mm の平底穴を検出する事ができた。
- ・ MHI は BMI 管台 J 溶接部を探傷するために VT、ECT、AdF-UT と SAFT-UT を含む新たな検査技術を開発し、効果的な欠陥検出性を持つことを確認した。本検査技術を現在、原子力プラントに適用する事を検討している。

参考文献

- [1] M. Higashi, T. Kimura, S. Kawanami, Y. Asada, and T. Shichida, "Development of inspection techniques for BMI J-welds," 5th international conference on NDE in relation to structural integrity for nuclear and pressurized components, 2006. (in press)