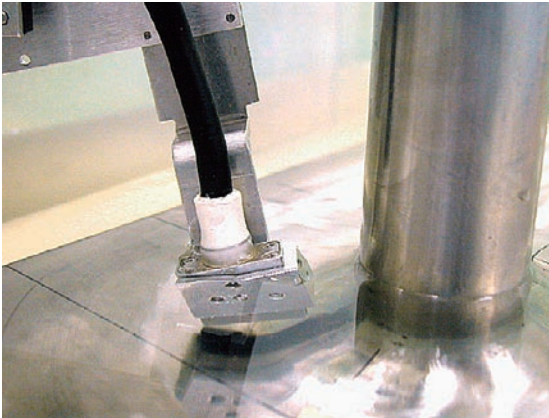


特 集 論 文

原子力発電所の信頼性を支える高度
フェーズドアレイ技術Advanced Phased Array Technology to
Support the Reliability of the Nuclear
Power Plant木 村 是^{*1}
Tadashi Kimura川 浪 精 一^{*1}
Seiichi Kawanami徳 久 貴 一^{*2}
Kiichi Tokuhisa高 次 正 弥^{*2}
Masaya Takatsugu

1. は じ め に

原子力発電所ではその安全性や信頼性を確保するために定期的に検査が行われており、配管や圧力容器の検査には主として超音波を使った非破壊検査（以下 UT: Ultrasonic Testing）が適用されている。UT は材料の内部検査が可能で多くの箇所に適用されているが、検査面側が平滑ではない複雑な形状を有している部位では UT プローブの倣い性が悪いといった問題点などが残されている。また、近年、原子力発電所は運転を開始して 30 年以上経過し高経年化が叫ばれており、健全性を確保するニーズが高まっている。そのため、UT による欠陥の定量化ニーズは高まりを見せており、精度の高い UT 手法が望まれている。

近年、この課題を解決するためフェーズドアレイ UT が開発されてきている。フェーズドアレイ UT は超音波を任意の角度へ発生させたり、任意の位置へ集束させたりすることが可能で、今まで検査が困難な複雑形状部や超音波難透過材の検査に有効である。

本報ではフェーズドアレイ UT の特徴をいかした表面形状が複雑な部位に UT を適用できるアダプティブ

UT 法について紹介する。

2. アダプティブ UT 法の概要

アダプティブ UT 法の原理を図 1 に示す。表面形状が複雑な部位に対して従来 UT により探傷を行うと、物体表面の凹凸により超音波が乱れてしまい狙った位置に超音波が集束しないため、欠陥を検出してもその位置の同定精度が不十分な場合があった。この課題に対応するためアダプティブ UT 法では対象部位を 2 回探傷する。1 回目の探傷では対象部位の表面に超音波を集束させ、表面の位置を計測し、表面形状を把握する。次に、その表面形状計測結果を基にして超音波が狙った位置に集束するようにフェーズドアレイの各素子の遅延時間を計算する。そして、計算された遅延時間となるよう探傷器を設定し、2 回目の探傷で対象部位の内部の探傷を行う。アダプティブ UT 法とはこのように 2 回探傷を行って表面形状が複雑な部位に対して表面形状の凹凸の影響を補正して超音波の集束性を向上させる手法である。

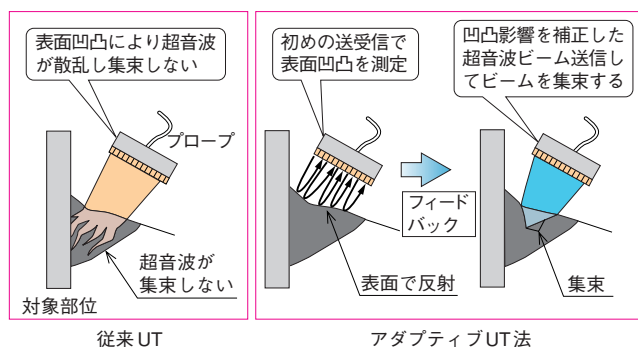


図 1 アダプティブ UT 法の原理
凹凸のある面に対して 2 回の探傷で超音波ビーム集束を行う。

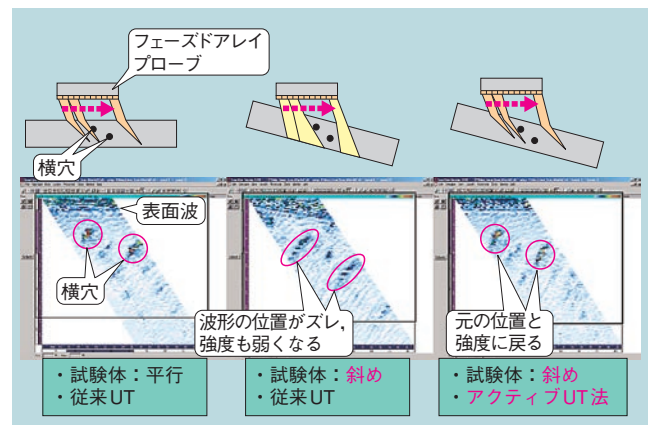


図 2 斜め試験片の探傷試験結果
平板試験片を斜めに傾けて超音波の集束を悪くしても、アダプティブ UT 法では検出が可能である。

^{*1} 技術本部高砂研究所電子・光技術研究室

^{*2} 神戸造船所品質保証部原子力サービス品質管理課

3. 検証試験結果

横穴が挿入された平板試験体に対してアダプティブ 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 2 に示す。試験体とプローブが平行で正しい探傷パラメータで探傷を行った場合、欠陥エコーが高い反射強度で正しい位置に締まった形状で検出できている。同様のパラメータで試験体を斜めに傾けると試験体の状態と探傷パラメータが異なるため、欠陥エコーの位置がズレ、さらに反射強度も弱くなっている。同じ試験体配置でアダプティブ UT 法を適用すると、正しい位置に高い反射強度で欠陥エコーを検出することができた。

次に表面に凹凸のついた試験体を探傷した結果を図 3 に示す。試験体の表面は波型形状になっており、試験体中の横穴を探傷した。従来 UT で探傷を行った場合、表面の影響で超音波が乱れてしまい、横穴からの反射強度が弱くなってしまふ。一方でアダプティブ UT 法を適用すると横穴からの反射強度が大きく、より明確に検出できている。

最後に表面開口 EDM スリットに対して探傷した結果を図 4 に示す。深さ 3.6 mm の EDM スリットを入射角 45 度で探傷した場合、従来 UT、アダプティブ UT 法ともに EDM スリットの端部を検出しているが、従来 UT では試験体表面位置を補正していないため、深さ 2.8 mm と過小評価をしている。アダプティブ UT 法では表面の補正を行っているため深さ 4.0 mm

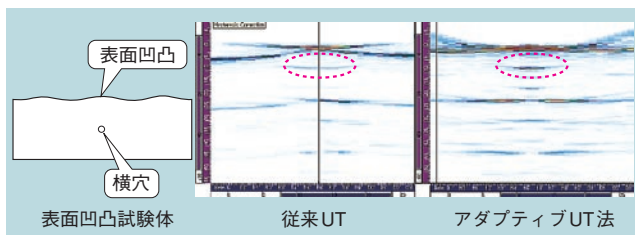


図 3 表面凹凸試験体の探傷試験結果
表面に波型凹凸がある横穴試験体に対して、アダプティブ UT 法により検出が可能である。

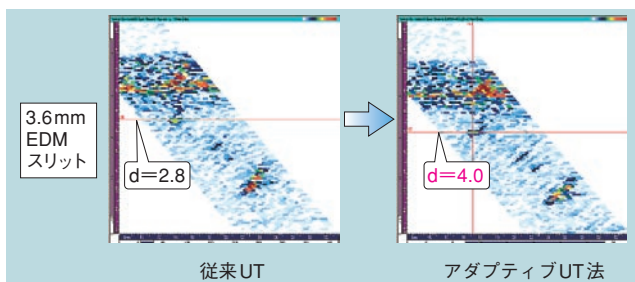


図 4 表面開口 EDM スリットの探傷試験結果
凹凸試験体に挿入された表面開口 EDM に対して、アダプティブ UT 法により定量検出が可能である。

と評価しており、アダプティブ UT 法を適用することにより高い精度で欠陥の定量化が行えることが示された。

4. 適用可能な部位とメリット

アダプティブ UT 法が適用可能な対象部位を図 5 に示す。アダプティブ UT 法の適用が望まれる部位としては原子炉容器の CRDM (Control Rod Drive Mechanism: 制御棒駆動装置) 管台や BMI (Bottom Mounted Instrumentation: 炉内計装筒) 管台といった容器貫通部の溶接部や配管溶接部の余盛部などが挙げられる。これらの部位では表面が平滑ではなく複雑な形状であるため、UT による検出性の低下が懸念されるが、アダプティブ UT 法により検出性の向上が期待される。

容器貫通部である CRDM 管台と BMI 管台において、インコネル 600 合金で施工されている管台で漏洩事象が国内外で報告されている。CRDM 管台は原子炉容器の上蓋にあるため、定期検査中に接近でき、か

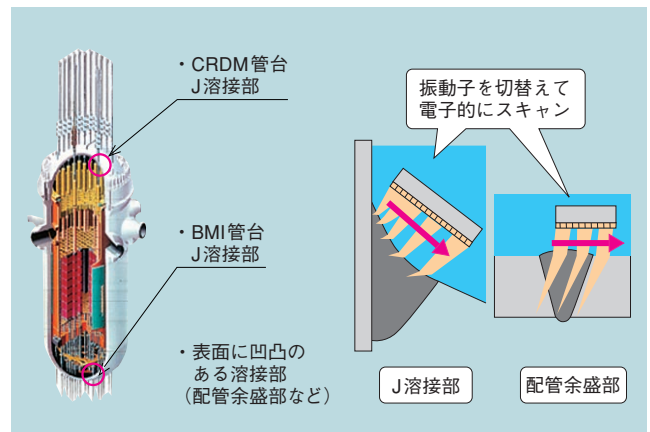


図 5 代表的な適用対象（表面が凹凸である部位の例）
開発したアダプティブ UT 法を適用することで欠陥検出性・定量性の向上が期待できる代表的な箇所を示す。

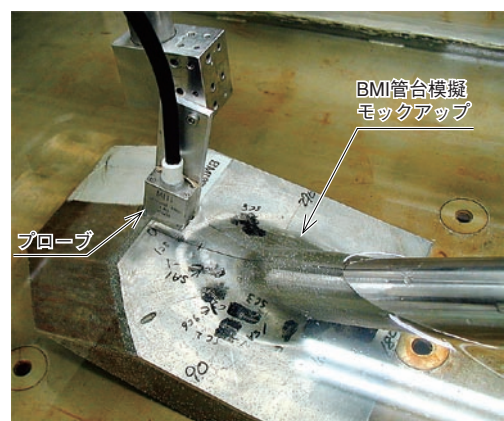


図 6 モックアップ検証状況
BMI 管台部模擬モックアップ試験体への適用状況を示す。

表1 モックアップの探傷試験結果

	位 置		スリット深さ	評価
	周方向	半径方向		
SC1	0度	外側	2mm	○
SC2	90度	外側	2mm	○
SC3	90度	中側	3mm	○
SC4	180度	外側	2mm	×
SC5	180度	中側	5mm	○
SC6	60度	中側	3mm	○

つ恒久対策として耐腐食性の高いインコネル 690 合金製の上蓋に交換する保全対策も実施可能であるが、BMI 管台は原子炉容器の下部にあるため、接近性や保守性が上蓋に比べて難しく、このため、より精度の高い健全性確認技術の開発が重要な課題である。

この BMI 管台を模擬したモックアップを用いて実機における検出性の検証試験を行った。BMI 管台模擬モックアップ試験体を図6に示す。容器に対して管台を約 45 度で挿入し溶接しており（全管台の中で最大の取付け角度）、0 度側が谷側、180 度側が山側である。SC1 から SC6 までの EDM スリットが付与されており、その探傷結果を表1に示す。従来 UT が困難であった当該部に対して全体的に高い検出性及び定量性を示しており、BMI 管台におけるアダプティブ UT 法の有効性を確認している。

5. ま と め

表面形状が複雑な部位に対して UT を適用することを目的としてアダプティブ UT 法を開発した。アダプティブ UT 法とは 2 回探傷を行って表面形状が複雑な部位に対して表面形状の凹凸の影響を補正して超音波の集束性を向上させる手法であり、高い検出性と定量性を持つことを確認した。

本技術の実用化によって検査の信頼性を向上させ、さらには、原子力発電プラントの安全性と信頼性を向上させ、長期間にわたって経済的に運転を継続するのに役立つものと考え、今後とも本技術を展開していく。



木村 是



川浪 精一



徳久 貴一



高次 正弥