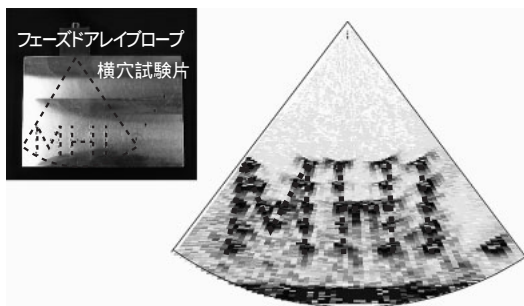


非破壊検査の信頼性向上を可能にした フェーズドアレイUT技術

High-reliable Non-destructive Inspection Using Phased-array Ultrasonic Testing

川 浪 精 一^{*1} 黒 川 政 秋^{*2} 増 本 光 一 郎^{*3}



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適用されているが、ノズル部などの複雑な形状部や溶接部などの超音波の透過性が悪い材料では検査の課題も残されている。また、近年原子力発電の健全性に関して社会的に大きな影響を与える事象が相ついで発生している。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検査手法が望まれている。

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 の高度化として欠陥の検出性を向上させたマトリックスアレイや欠陥の定量化を向上させた点集束型リニアアレイについて紹介する。

2. フェーズドアレイ UT の原理と主な適用先

通常の UT プローブは 1 つの圧電素子から構成されるのに対してフェーズドアレイ UT のプローブは複数の圧電素子から構成される。そしてこれらの圧電素子の送受信タイミングを個々に制御することにより、合成波を任意の角度に振ったり、任意の位置に集束させたりすることが可能となる。フェーズドアレイ UT の特徴を簡単にまとめると次の 3 つが挙げられる。

- 超音波ビーム方向を任意に変えられる。
- 超音波の焦点位置を任意に変えられる。
- 電子切替えにより高速探傷が可能。

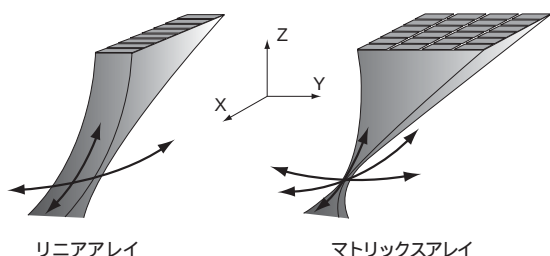


図 1 マトリックスアレイの特徴

これらの特徴を利用することにより、配管エルボやノズル部などの複雑形状部の探傷、ステンレス鋼溶接部やステンレス鋼鋳造材など超音波難透過材の検出性の向上、圧力容器や配管の高速探傷、など従来の UT では困難な深傷が可能となる。

3. フェーズドアレイ UT の高度化

前述したようにフェーズドアレイ UT によって従来技術では困難な箇所の探傷が可能となるが、フェーズドアレイ UT の更なる高度化を目指して、2 種類のフェーズドアレイ UT を開発した。

3.1 マトリックスフェーズドアレイ

一般のフェーズドアレイ UT はリニアアレイと呼ばれるもので、振動子を一次元配列した構造である。これに対してマトリックスアレイは振動子を二次元に配列した構造であり、超音波ビームの三次元スキャンニングが可能となる（図 1）。主な特徴としては次の 2 つが挙げられる。

三次元ビームスキャンが可能で、欠陥の検出性の向上が期待できる。

超音波ビームの点集束が可能で、微小欠陥の検出性や分解能の向上が期待できる。

これらの特徴のうち、特に三次元ビームスキャンニングの特徴をいかした斜め欠陥検出用のマトリックスアレイプローブを開発した。図 2 に今回開発したマトリックスアレイの振動子配置と概観を示す。プローブは音場解析等により、超音波ビームの三次元スキャンニングの性能を評価し振動子の配置を決定している。

開発したマトリックスアレイにより試験片での斜め欠陥の検出性試験を行った。斜め欠陥を人工的に作った試験片に対して、プローブをジグザグに移動させながら超音波ビームを左右スキャンし、欠陥の検出を行う。試験結果を図 3 に示す。

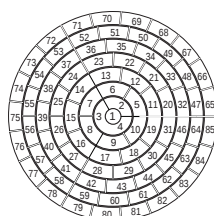


図 2 開発したマトリックスアレイの概観

^{*1} 技術本部高砂研究所電子技術研究室

^{*2} 技術本部高砂研究所電子技術研究室 主席 工博

^{*3} 神戸造船所品質保証部原子力サービス品質管理課

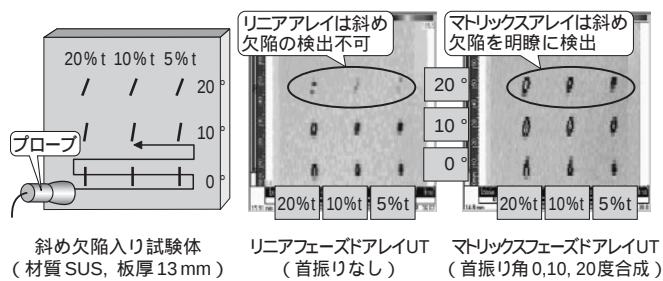


図3 斜め欠陥の探傷試験結果



図4 点集束型リニアアレイの原理とプローブ概観

試験結果から、通常のリニアアレイでは欠陥の傾きが20度になるとほとんど検出できなくなるのに対して、マトリックスアレイでは0度から20度まですべての傾きの欠陥が明瞭に検出できていることが分かる。一般にUT検査では斜め欠陥の検出を行うために手でプローブの左右スキャンを行っているが、マトリックスアレイを使うことによりプローブの左右スキャンを行うことなく斜め欠陥の検出が可能となる。このため、マトリックスアレイは全自動深傷に適用でき、欠陥検出性の大幅な改善が期待できる。

3.2 点集束型リニアアレイ

ステンレス鋼溶接金属中では粗大な結晶粒の影響によって超音波が散乱・屈折されるため通常UTでは欠陥先端を検出して欠陥の定量化を行うことは困難である。このような超音波難透過材の検査では一般に超音波ビームの集束化が有効であるが、その中でも特に曲面振動子やマトリックスアレイなどを用いた点集束タイプが超音波ビームの集束性に優れていると考えられる。しかし、曲面振動子は焦点深さが固定であるため、深さが分からない欠陥に対しては適用が困難である。また、マトリックスアレイは振動子数が非常に多いため、送受信機も多数必要となり探傷器が非常に高価なものとなる。そこで、深さ方向の焦点位置が可変で、かつ振動子数が少ない点集束型のリニアアレイを開発した。図4に点集束型リニアアレイの原理とプローブ外観を示す。点集束型リニアアレイはアレイ振動子の横方向に曲率を持たせた構造にすることにより、超音波ビームの点集束化を実現させている。

欠陥の定量化手法には一般に送受信プローブを対向配置させたTOFD法（Time of Flight Diffraction）と斜角探傷において欠陥先端部を検出する端部エコー法がある。今回TOFD法と端部エコー法それぞれについて点集束型リニアアレイプローブを開発したが、本報ではこのうち端部エコー法を使った欠陥定量化を紹介する。

開発した点集束型リニアアレイプローブを使って溶接金属

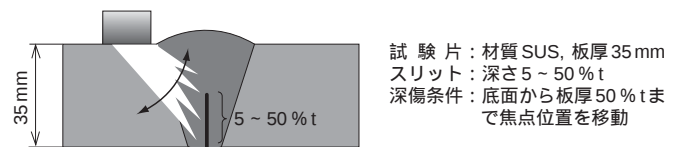


図5 溶接中スリットの探傷試験条件

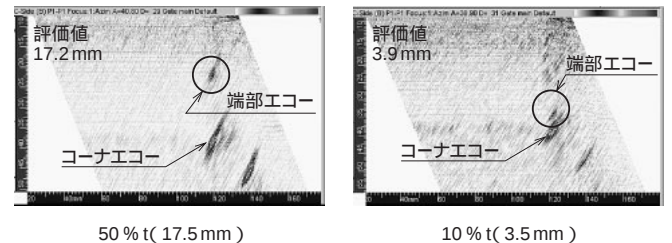


図6 溶接中欠陥の探傷試験結果

中欠陥の定量化試験を実施した。図5に示すように溶接部中央に人工欠陥を挿入し、点集束型リニアアレイプローブを使って母材部側から縦波斜角探傷により欠陥先端部のエコーを検出した。結果を図6に示す。

溶接金属中の人工欠陥に対して欠陥コーナーからの反射波とともに欠陥先端からの回析波を明瞭に検出しており、これらにより欠陥の定量化が可能となる。コーナーからの反射波と先端部からの回析波の路程差より欠陥深さを評価すると、実深さ17.5 mmのスリットに対しては評価深さ17.2 mmであり、実深さ3.5 mmのスリットに対しては評価深さ3.9 mmとなり、溶接金属中のスリットに対しても高い精度で定量化が実現できた。

4. ま と め

フェーズドアレイUTの高度化を目的として、2種類のフェーズドアレイUTを開発した。マトリックスアレイでは超音波ビームの三次元スキャンが可能となり、従来UTでは検出が困難な斜め欠陥の検出が可能となった。また、点集束リニアアレイでは超音波ビームの点集束化が可能となり、従来UTでは困難であった溶接金属中の欠陥の定量化が高精度で可能となった。

高度フェーズドアレイUT技術は検査の信頼性を向上させ、プラントの安定した稼動に大きく貢献するものである。今後、安心・安全な社会の実現に向け、本技術を展開していく。

参 考 文 献

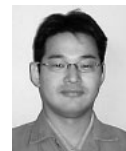
- (1) 実吉純一ほか, 超音波技術便覧 (新訂版), 日刊工業新聞社 (1985) p.368 ~ 369
- (2) A. Birks, et al., Non Destructive Testing Handbook, second edition, v.7, Part3: Tests with closely positioned transducers, ASNT publication



川浪精一



黒川政秋



増本光一郎