

3次元フェーズドアレイ法による超音波探傷技術

Three-Dimensional Phased Array Ultrasonic Testing

(株)日立製作所	北澤 聡	So KITAZAWA	Non-Member
(株)日立製作所	河野 尚幸	Naoyuki KONO	Non-Member
(株)日立製作所	馬場 淳史	Atsushi BABA	Non-Member
(株)日立製作所	安達 裕二	Yuji ADACHI	Non-Member
日立 GE ニュークリア・エナジー(株)	小田倉 満	Mitsuru ODAKURA	Non-Member

Ultrasonic testing techniques by using the three-dimensional (3D) phased array was investigated. The 3D phased array allows a target region to be scanned volumetrically with focused beams transmitted from a matrix array probe. This leads to an increase in inspection speed and easy-to-understand inspection results displayed as 3D rendered images. This paper focuses mainly on synthesizing techniques of 3D scanned data obtained at multiple positions when moving the probe. The technique is effective to figure out positions and a distribution of reflectors more precisely.

Keywords: Ultrasonic Testing, Phased Array, 3-Dimensional

1. 緒言

フェーズドアレイ UT 法は、アレイセンサ内部の複数の圧電素子に遅延時間を与え、超音波の位相を制御して送受信することにより、任意の位置に超音波ビームを集束させるとともに、電子的なビーム走査を可能とする検査技術である。単一素子による探傷法に比べ高 SN 比で高速検査が可能であり、近年、発電プラントをはじめとして、様々な工業分野で適用が広がりつつある[1]。

現在普及しているフェーズドアレイ法は、リニアアレイセンサで生成される集束ビームを2次元走査し、検査対象内部の断面画像を用いて検査を行う方法（以下、2D-PA 法）が一般的である。この手法を高度化し、2次元アレイセンサ（マトリクスアレイセンサ）による集束ビームを3次元走査し、測定結果を立体表示するのが、3次元フェーズドアレイ法（以下、3D-PA 法）である。Fig.1 に 3D-PA 法の概念図を示す。

これまでに3次元超音波探傷システム 3D Focus-UT を開発し、テストピースを用いて基本性能の確認を行ってきた[2][3][4]。3D Focus-UT では3次元走査データに内挿処理を施して3次元正方格子データ（ボクセルデータ）に変換し、それをボリュームレンダリング法によりディスプレイ上に3次元表示する。ボクセルデータの任意断面において、距離計測などの定量的評価をすることも可能である。更に、ボクセルデータを検

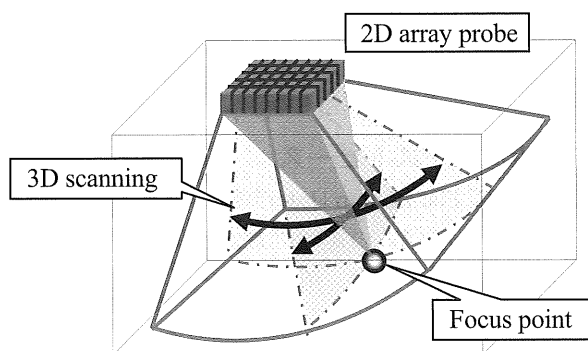


Fig.1 Schematic image of 3D phased array.

査対象の3D-CADデータと重ねて表示させることができるため、反射エコーと、反射源となっている部位との対応付けが容易である[5]。また、専門知識を持たない第三者への説明が容易になるという利点もある。これらの機能により、走査だけでなく評価も効率的に行えるため、2D-PA 法に比べ検査時間を大幅に短縮できる。

2. 課題と目的

3D-PA 法は、3次元走査により同じ体積領域で比較すると2D-PA 法に比べて検査時間が短くて済む。特に、検査対象領域がセンサ直下であれば、センサを固定して探傷することが可能である。しかし、ある程度広い

領域を検査する場合には、従来と同様にセンサを走査して探傷する必要がある。この際、各センサ位置で得られた測定データから個別に3次元画像を生成して評価することも可能であるが、測定データをまとめて一つの3次元画像を合成できれば、探傷領域の全体像を把握することができる。特に発電プラント内の検査対象機器は大型のものが多く、この技術により検査が効率的に実施できる。また同一領域を複数の方向から測定し、それらを合成して3次元画像を生成すれば、反射源の分布をより正確に把握することができる利点もある。本稿では、テストピースを用い、複数測定データからの3次元画像生成について検討した結果を述べる。

3. 結果と考察

センサ位置を固定して得られた単一の3次元走査データから画像を生成する技術は既に報告済みである[2][3][4]。異なるセンサ位置で得られた測定データであっても、超音波の入射点座標と入射方向が分かれば画像を合成することが可能である。これに関し、テストピースを用いて検討を行った結果を以下に示す。

3.1 平底穴テストピース

平底穴(FBH: Flat Bottom Hole)を施したステンレス製テストピース (Fig.2) の複数位置にセンサを設置して試験を行った結果を示す。用いたマトリクスアレイセ

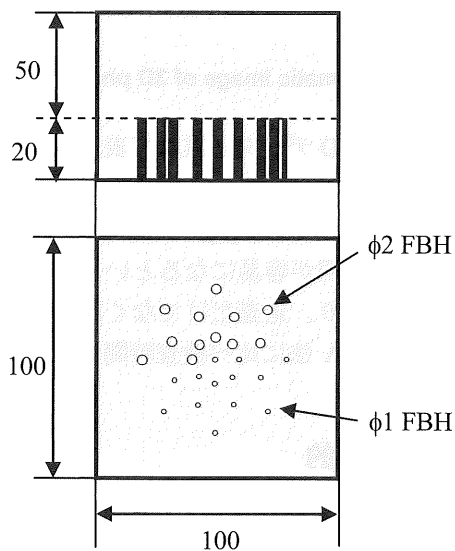


Fig.2 FBH test piece.

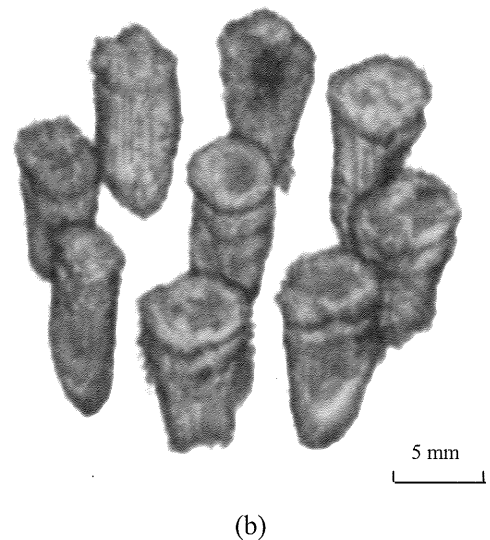
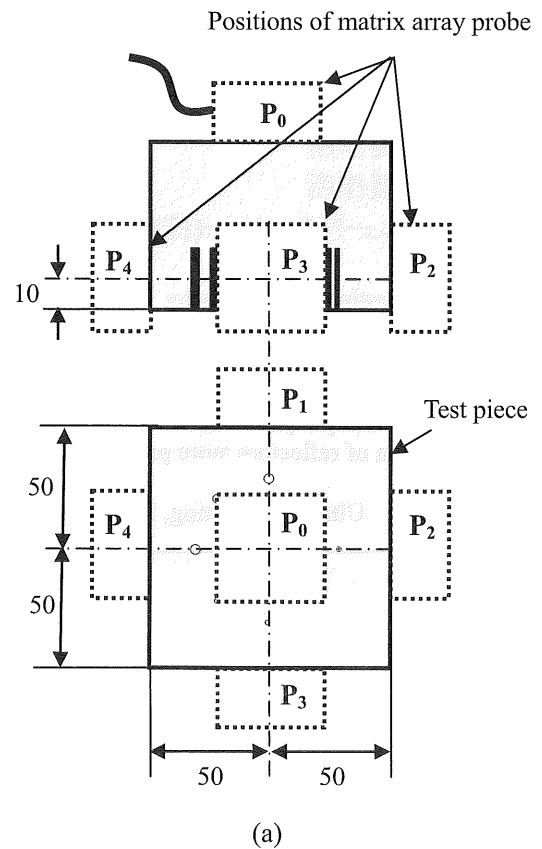


Fig.3 (a) P₀, P₁, P₂, P₃ and P₄ indicate the probe positions for the rotational sector scan. The scan was performed at each position in order. (b) 3D ultrasonic testing image of FBHs.

センサは2MHz、256素子(16×16)であり、走査方法はいずれの位置でも±30°のセクタを7.5°ピッチで1/2回転させる走査法である。焦点距離は約50mmに設定した。

テストピース上面および側面4ヶ所(計5ヶ所)に順次センサを設置してデータを収録し、得られた複数の測定データから3次元画像を合成した結果をFig.3に示す。側面4ヶ所については、センサ中心がFBHの真横に位置するようにセンサを設置した。焦点距離に近い、試験体中央付近のFBHのみを画像化している。5方向からの反射信号を合成することにより、FBHの立体形状を再現することに成功している。

3.2 応力腐食割れテストピース

人工的に応力腐食割れ(SCC: Stress Corrosion Cracking)を付与した平板テストピースをSCCと反対面から3次元探傷した結果をFig.4に示す。材質はニッケル基合金で板厚は23mmである。見易さを考慮し、SCC信号付近のみを3次元画像化してある。破線は画像化

範囲を示している。用いたマトリクスアレイセンサは5MHz、256素子(16×16)であり、センサをSCCに沿う方向に1mmピッチで移動させながら測定した。各位置では頂角60°のセクタを±45°に扇動させている。複数方向の反射信号を合成しているため、複雑なSCCのプロファイルに対応した信号強度分布が得られている。特に中央付近には端部エコーが現れており、この付近で最もSCCが深くなっていることを示唆している。開口面でのSCC長さは約30mmであるが、センサを移動させることにより、このような広範囲の3次元探傷が可能となっている。

4. 結言

3次元超音波探傷システム3D Focus-UTを用い、複数のセンサ位置で取得した測定データを合成して3次元画像を生成する技術を開発した。本技術により3D-PA法での探傷領域を拡大することが出来ると同時に、同じ領域を多角的に探傷することにより、反射源の位置や分布を従来より正確に把握することが可能となる。特にSCCのような屈曲点が多数あるような反射源には有効であると考えている。今後、本技術を様々な対象部位に適用し、その有効性を検証していく予定である。

参考文献

- [1] 横野 泰和: “フェーズドアレイ UT の適用事例及び標準化の世界的動向”、非破壊検査、Vol. 56, No. 10, pp. 510-515 (2008).
- [2] 馬場淳史、北澤聡、河野尚幸、安達裕二、小田倉満、菊池修: “3次元超音波探傷システム「3D Focus-UT」の開発”、日本保全学会 第5回学術講演会 要旨集、155 (2008).
- [3] 北澤聡、河野尚幸、馬場淳史、安達裕二、小田倉満: “3次元フェーズドアレイ超音波探傷技術”、第17回 超音波による非破壊評価シンポジウム 講演論文集、1 (2010).
- [4] 北澤聡、河野尚幸、馬場淳史、安達裕二、小田倉満、菊池修: “3次元フェーズドアレイ超音波探傷システム”、日本工業出版社 検査技術、23 Vol. 14 No. 2 (2009).
- [5] 公開特許公報(A) 特許出願公開番号 特開2009-288129.

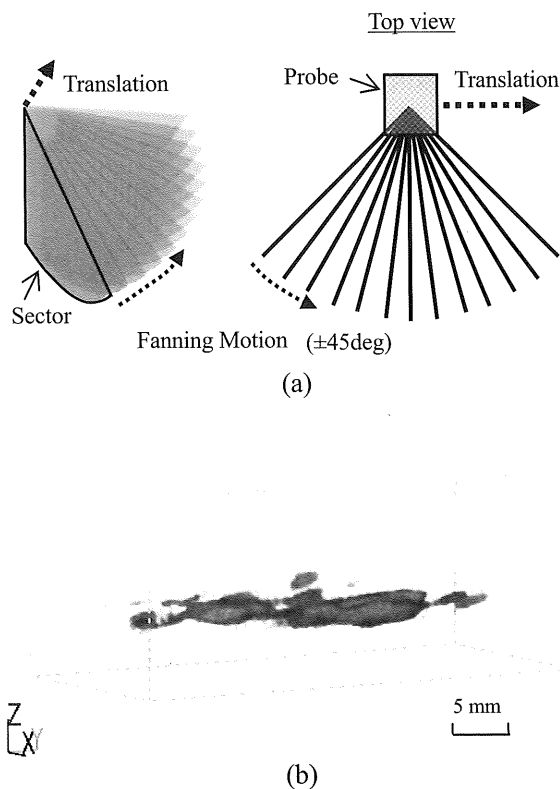


Fig.4 (a) Schematic image of 3D scanning for SCC and (b) 3D ultrasonic image of SCC.