

4次元（リアルタイム3次元）超音波探傷技術

Four-Dimensional (Realtime 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

The four-dimensional (realtime three-dimensional) phased array ultrasonic testing system has been developed. The system enables realtime ultrasonic inspections using three-dimensional (3D) images as opposed to two-dimensional images obtained by the conventional phased array methods. In the system, objects are scanned volumetrically with focused beams generated by a matrix array probe and the results are displayed as 3D images in realtime through the conversion from measured data into voxel data using parallel computing with multicore processors. The system is expected to achieve an increase in inspection speed and easy-to-understand inspection results.

Keywords: Ultrasonic Testing, Phased Array, Four-Dimensional, Realtime Three-Dimensional

1. 緒言

フェーズドアレイ UT 法は、アレイセンサ内の複数の圧電素子によって送受信される超音波に遅延時間を与えて位相を制御することで、任意位置に超音波ビームを集束させると共に、任意方向のビーム走査を可能とする検査技術である。単一素子センサによる探傷法に比べ高 SN 比で高速な検査が可能であり、様々な工業分野で適用が広がりつつある。現在、一般的に普及しているフェーズドアレイ UT 法は、リニアアレイセンサによるセクタ走査等で検査体内部の断面画像を用いて検査を行う方法である。我々はこの方法を拡張し、2次元アレイセンサ（マトリクスアレイセンサ）で生成される集束ビームを3次元走査する3次元フェーズドアレイ（3D-PA）法をこれまで開発してきた[1][2][3]。

3D-PA 法では、計測データに内挿処理を施して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でディスプレイ上に表示する。探傷結果の3次元表示により、データ収録だけでなく評価時間も短縮するのが狙いである。しかし、これまでの3D-PA法は計測データ収録後にオフラインで画像化処理を行っており、表示までに数秒を要していたため、検査時に即時に探傷結果を確認することはできなかった。我々は、画像化処理を高速にし、さらに収録から表示までをオンラインで連続的に行うことで、リアルタイムで3次元探傷可能なシステムを新たに開発した。空間の3次元に

時間の1次元を加える意味合いで、これを4次元フェーズドアレイ（4D-PA）超音波探傷システムと呼ぶこととする。

2. 4D-PA システム

Fig.1に4D-PAシステムの概念図を示す。処理は大きく分けると3次元走査によるデータ収録と、内挿処理を中心とする3次元画像生成から成る。データ収録から画像表示までの基本的なプロセスはこれまでの3D-PA法[1][3]と同様であるが、4D-PAシステムでは探

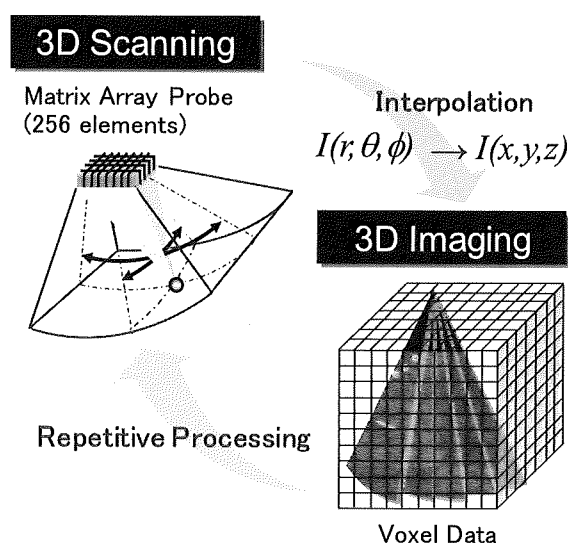


Fig.1 Schematic diagram of the 4D-PA system.

傷面上でマトリクスアレイセンサを動かすと、それに追従して3次元画像もリアルタイムで変化するのが大きな特徴である。3次元画像を更新しながら、PCのマウス操作で視線方向や色調を任意に変化させることができる。画像処理にはマルチコアCPUのワークステーション (Intel® Xeon® プロセッサ X5680、6 コア 3.33GHz) を使用しており、OpenMP[4]による並列計算で処理を高速化している。これにより1秒間に5回程度の画像更新が可能である。必要に応じてボクセルデータとセクタ画像やAスコープ波形を同時に画面に表示させて探傷することもできる。また、一時停止の状態でも、ボクセルデータを用いたサイジング作業も可能である。

3. 探傷例

3-1. SCC 付与テストピース

人工的に応力腐食割れ (SCC: Stress Corrosion Cracking) を付与したニッケル基合金のテストピース (厚さ 23mm) を SCC 開口の裏面から探傷した例を Fig.2 に示す。SCC の長さは Fig.2(b) の PT 結果に示すように約 30mm であり、深さは約 5mm である。紙面ではリアルタイム性を伝えることができないため、本稿ではセンサの移動と共に変化した3次元画像を Fig.2(c) に示す。ここで用いているマトリクスアレイセンサは 2MHz、256 素子であり、接触媒質を介してテストピースに直接接触させ、縦波による3次元走査を行っている。本システムは任意の3次元走査に対応しているが、この例では頂角 60° のセクタをセンサ鉛直方向を軸に 7.5° ピッチで回転させている。底面エコーが表示されている範囲が走査範囲に相当する。センサを SCC 近傍に移動させると、センサの動きに追従して、Fig.2(c) のように SCC のエコー信号が立体的に画面上に現れ、SCC の分布状況が即座に把握できる。

3-2. アクリルテストピース

空間分解能を確認するためにアクリル板 (厚さ 40mm) の裏面に「4D」という文字を刻印したテストピースを刻印の裏面から探傷した例を Fig.3 に示す。文字の寸法は Fig.3(b) に示した通りであり、テストピース底面から 10mm の位置まで文字が彫り込まれている。探傷面からの文字までの距離は 30mm である。用いているマトリクスアレイセンサは 2MHz、256 素子であり、接触媒質を介してテストピースに直接接触させ、縦波

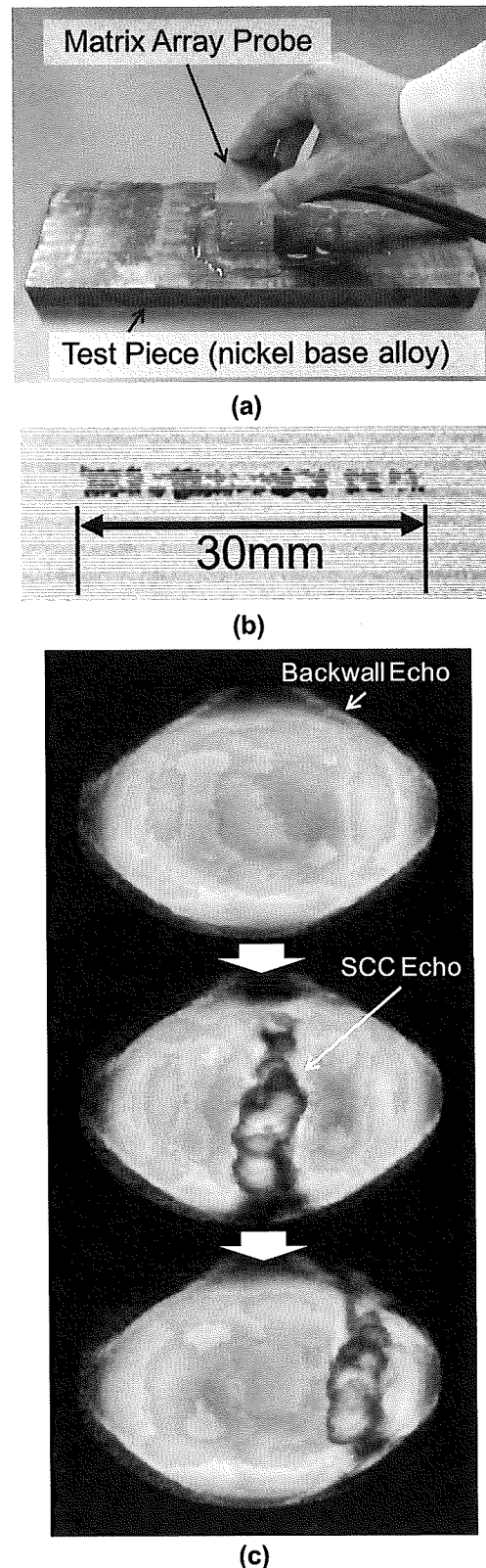


Fig.2 (a) A Photo of the matrix array probe and the test piece that has the SCC in it., (b) the penetration testing result of the SCC, and (c) 4D-UT images of the SCC and backwall echoes.

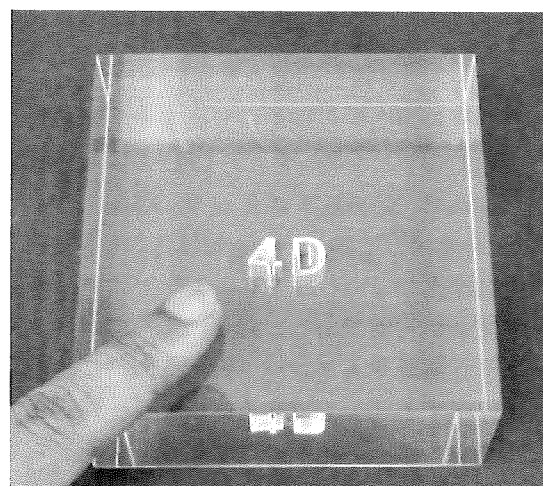
による3次元走査を行った。ここでは頂角 60° のセクタを 1° ピッチで煽るように走査している。センサの移動と共に変化した3次元画像を Fig.3(c)に示す。センサの移動に応じて刻印文字表面からの反射信号がリアルタイムで立体表示される。4 と D の間の約 2mm の隙間も明瞭に分離できている。また、底面エコーにも D の文字が影のように現れており、超音波が刻印文字の上方から入射されている様子が明瞭に可視化されている。

4. 結言

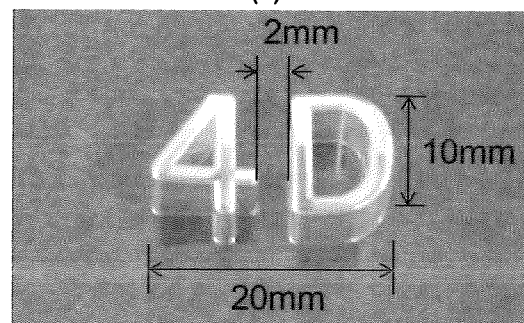
これまでに開発した 3D-PA システムの画像化処理を高速にし、さらに収録から表示までをオンラインで連続的に行うことで、リアルタイムで3次元探傷が可能な 4D-PA システムを開発した。4D-PA システムでは検査対象内のきず全体の分布状況をリアルタイムで把握しながら探傷できるため、従来のセクタ画像による探傷に比べて検査を効率良く実施でき、ひいては検査時間の短縮と信頼性向上に寄与することができると考えている。今後、本技術を様々な対象部位に適用し、その有効性を検証していく予定である。

参考文献

- [1] 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).
- [2] 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法による超音波探傷技術”、日本保全学会 第7回学術講演会 要旨集、55 (2010).
- [3] 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).
- [4] <http://openmp.org>.



(a)



(b)



(c)

Fig.3 (a) A Photo of the test piece, (b) the enlarged view of the engraved part, and (c) 4D-UT images of it.