

ポータブルタイプ 3D 超音波検査装置 Matrixeye™

Matrixeye™ Portable 3D Ultrasonic Inspection System

阿部 素久 唐沢 博一

■ ABE Motohisa

■ KARASAWA Hirokazu

東芝が独自に開発した 3D (三次元) 超音波検査装置 Matrixeye™ は、欠陥や剥離 (はくり) をはじめとした物体の内部状況を直接立体的に可視化できる、これまでにないまったく新しい概念の検査装置である。多数の微小圧電素子 (超音波を送受信する素子) を内蔵した超音波カメラを用い、電子走査により収集した多数の超音波エコーデータを高速処理して、内部欠陥などを画像化するものである。

このたび、持ち運びが簡単で誰でも使いやすく、しかも、高速検査ができるポータブルタイプの 3D 超音波検査装置を開発し販売を開始した。自動車部品検査、鉄道、プラント機器、航空機などの幅広い検査への導入が期待される。

Toshiba has developed the Matrixeye™ portable 3D ultrasonic inspection system. Matrixeye™ is a new-concept inspection system because it can visualize defects, delamination, and foreign matter within materials three-dimensionally. One of the key devices of the system is an ultrasonic camera, which contains a large number of small piezoelectric elements that have ultrasonic transmission and reception capability. Matrixeye™ synthesizes a three-dimensional image of defects by high-speed processing of ultrasonic echo data collected by electronic scanning performed by the ultrasonic camera. The system is designed for portability and convenience and offers easy operation and speedy inspection.

The Matrixeye™ system has already been launched on the market, and is expected to be widely applied in many industrial fields including automobiles, railroads, plant facilities, and aircraft.

1 まえがき

物体の内部の欠陥などを非破壊で検査するには、X線や超音波が使用される。超音波を使った検査装置は、比較的取扱いが容易なものの、欠陥判定には専門的な知識と経験が必要とされてきた。

東芝が開発した 3D 超音波検査装置 Matrixeye™⁽¹⁾ は、専門知識や経験がなくても、誰でも簡単に非破壊検査ができることをコンセプトとしたものである。この装置で使われている技術は、原子力発電向けの検査技術から派生したものである。当初は、光学的な目視検査ができない箇所を超音波で検査対象の表面形状を可視化する目的で開発が進められてきた。その後、全面的に改良を行い、超音波を用いて物体の表面形状に加えて内部状況を立体的に可視化 (画像化) できる技術開発を行ったものである。この技術は、微小圧電素子 (超音波を送受信する素子) をマトリクス状に配置した超音波カメラで、内部欠陥などからの無数の超音波エコーデータを高速収集し、立体画像に合成するものである。

この技術を用いた 3D 超音波検査装置は 2 年前に販売を開始し、既に自動車部品、鉄道レール、研究用などに使われてきている。更に幅広く適用できるように、持ち運びが誰でも簡単に使え、しかも、高速検査ができるポータブル

タイプの 3D 超音波検査装置を開発し販売を開始した。

ここでは、当社が開発した新しい概念の 3D 超音波検査装置の技術概要と、今回、発売するポータブルタイプ検査装置の概要について述べる。

2 3D 超音波検査装置の概要

2.1 技術概要

後述するポータブル機の原形である 3D 超音波検査装置 (256 ch 機: 最大 256 個の圧電素子を持つ装置) を図 1 に示す。図 1 に示すように、超音波の目に当たる“超音波カメラ”と超音波カメラで高速収集された無数の超音波エコーデータから立体画像を合成する“3D-UT ユニット”及び探傷操作と 3D 画像化結果を表示する“操作・表示用 PC (パソコン)”から構成される。実際の検査では、例えば、超音波カメラを検査対象物の表面に接触 (水又はジェル状の音響伝播 (でんぱ) 媒体を介して) させることにより、検査対象物の内面を立体的に観察することができる。

図 2 は、この装置の画像化例で、透明なアクリル板の背面に“3D-UT”という文字を掘り込み、これを前面側から超音波カメラで映像化したものである。図中の“X-Y View”は超音波カメラ側の視点からの平面画像で、“X-Z View”と“Y-Z

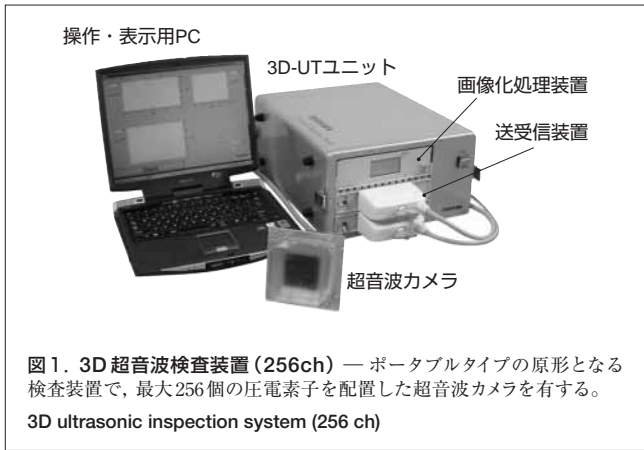


図1. 3D超音波検査装置 (256ch) — ポータブルタイプの原形となる検査装置で、最大256個の圧電素子を配置した超音波カメラを有する。
3D ultrasonic inspection system (256 ch)

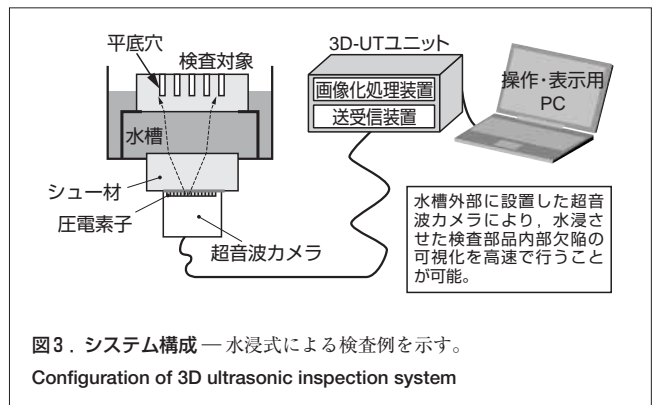


図3. システム構成 — 水浸式による検査例を示す。
Configuration of 3D ultrasonic inspection system

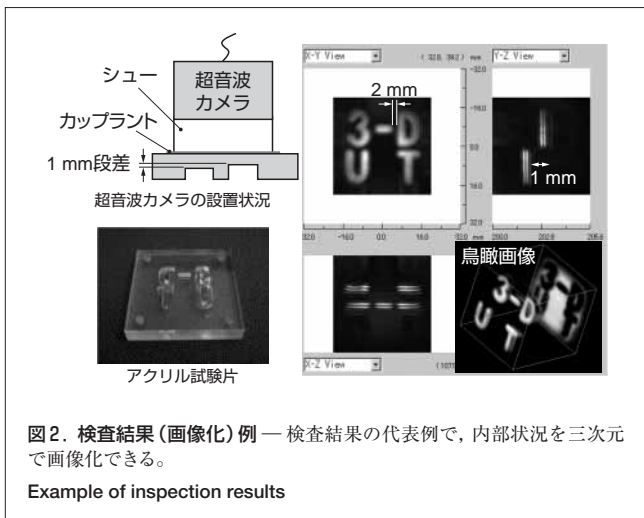


図2. 検査結果 (画像化) 例 — 検査結果の代表例で、内部状況を三次元で画像化できる。
Example of inspection results

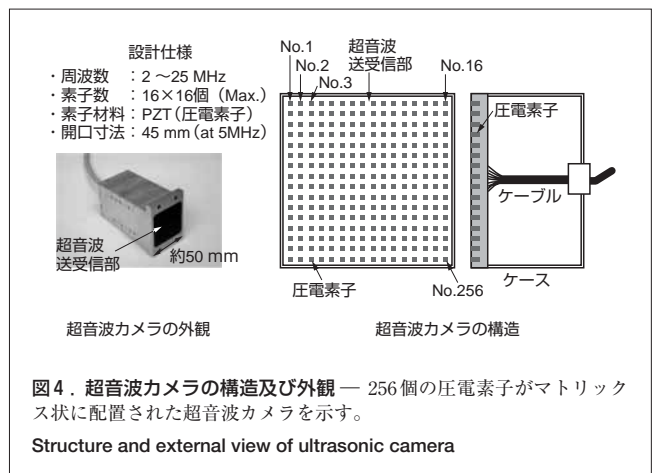


図4. 超音波カメラの構造及び外観 — 256個の圧電素子がマトリクス状に配置された超音波カメラを示す。
Structure and external view of ultrasonic camera

View”はそれぞれ90°異なる視点からの断面画像である。更に、図中右下に鳥瞰(ちょうかん)画像を合わせて記載している。

このように、従来の検査装置と異なり、金属、樹脂や樹脂複合材などからなる部品の内部検査を視覚的に捕らえて立体表示ができる装置である。

2.2 システム構成

水浸式の場合のシステム構成を図3に示す。超音波カメラを水槽の下部に設置し、水槽内の検査対象物の内部検査のようすを示している。超音波カメラ内の圧電素子から送信された超音波は、シユー材と水、水と検査対象物の界面で屈折するが、この屈折をあらかじめ3D-UTユニット内の画像化処理装置が計算したうえで、画像合成処理を行う。

2.2.1 超音波カメラ 超音波カメラ(5 MHz, 16 × 16 素子配列)の構造及び外観を図4に示す。超音波カメラ内には、小型の圧電素子がマトリクス状に配置され、それぞれの圧電素子が独立に超音波を送受信することができる。例えば、図中のNo.1素子から送信された超音波の反射波をNo.1からNo.256までの全圧電素子で順次受信し、次に、

No.2素子から送信された超音波の反射波を同様に受信し、これをNo.256まで繰り返すことにより、65,536 (256 × 256) 点の超音波エコーデータを高速収集する。(通常、10,000点程度の超音波エコーデータで十分良好な画像が得られるため、送信数を減らし効率的なデータ収集を行う。)

2.2.2 3D-UTユニット

(1) 送受信装置 超音波カメラの送受信は、図5に示す

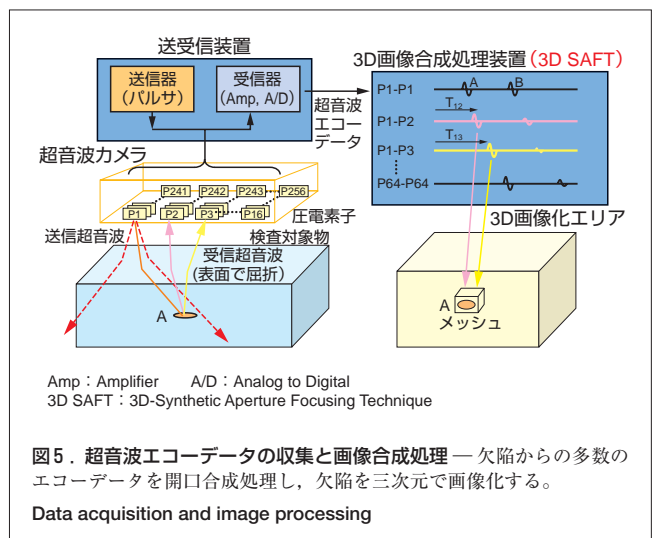


図5. 超音波エコーデータの収集と画像合成処理 — 欠陥からの多数のエコーデータを開口合成処理し、欠陥を三次元で画像化する。
Data acquisition and image processing

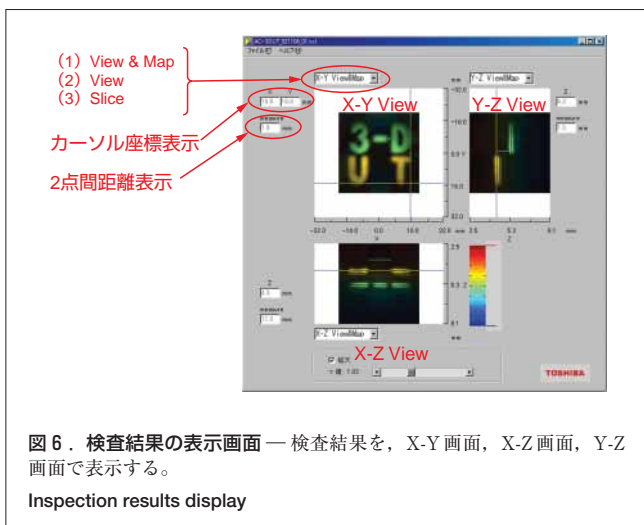
ように、電子的に制御され、後述する3D開口合成処理による画像合成を行うため、1個の素子から広い指向角を持った超音波を検査対象物内の広範囲に送信する。検査対象物内の欠陥(位置A)で反射した超音波は、超音波カメラ内の全圧電素子で受信される。

(2) 画像化処理装置 図5は、わかりやすくするために圧電素子P1から送信され、位置Aで反射された超音波エコーがP2とP3素子で受信された状態を示している。以下に、画像化メッシュAにおける開口合成法による3D画像合成処理の概要を示す。

- (a) P1(送信点)とP2(受信点)の座標位置と位置Aの座標及び検査対象物の表面形状と検査対象物内外の音速データから、 $P1 \rightarrow A \rightarrow P2$ までの超音波伝播時間 T_{12} を計算する。
- (b) 送受信装置を介して取り込まれた超音波エコーデータP1-P2(12ビットのデータ列)中から、超音波伝播時間 T_{12} に対応しデータを取り出し、3D画像エリア内のメッシュAの画像化データに加算する。
- (c) P1(送信点)とP3(受信点)に対して、(a)と同様にして、超音波伝播時間 T_{13} を計算する。
- (d) (b)と同様にして、3D画像化エリア内のメッシュAの画像化データに加算する。

以上の処理を、全超音波エコーデータを用いて全3D画像化エリアに対して計算することにより、3D画像を合成することができる。画像合成に必要な演算処理回数が数百万回にも及ぶため、専用の高速演算ハードウェアを開発・適用し、画像化時間の短縮を図っている。

2.2.3 操作・表示用PC 3D超音波検査装置の標準的な表示画像を図6に示す。3D-UTユニットで合成された3D画像は、同図の標準画面上に表示される。図中における各ビューアの上下部のプルダウンメニューにより、画面表示



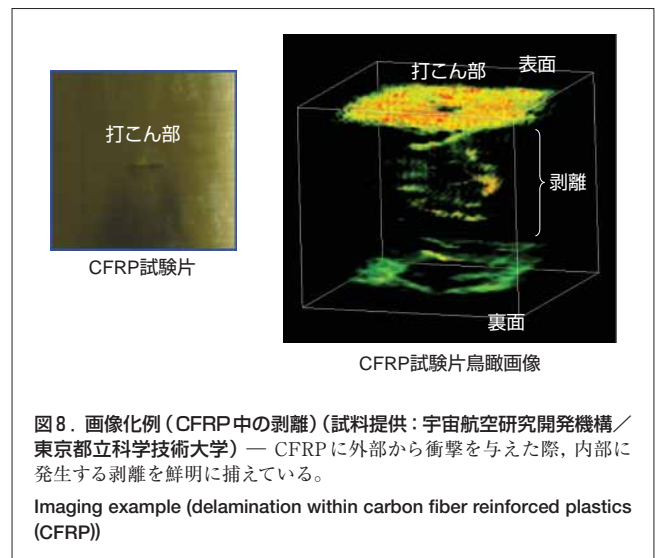
画像を以下の3種に切り替えることができる。

- (1) View & Map : 表面からの欠陥の深さでカラーマッピングした画像
- (2) View : 画像の強度(超音波の反射強度)をモノクロでマッピングした画像
- (3) Slice : 3D画像を一枚が数十 μm のスライス画像の重ね合わせで表示。スライス画像が観察できる。

そのほか、画像中の寸法計測を行う2点間距離計測機能を持っている。また、3D画像を保存し、再表示することも可能である。

3 画面化事例

図7は、アルミダイキャスト中に巻き込まれた酸化物の画像であり、X線CT(Computed Tomography)でも検出することが不可能な酸化膜の位置や形状を三次元的に表示するこ



とができる。図8は、航空機の機体の材料として使用されているCFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastics: 炭素繊維強化プラスチック) に外部から衝撃を加えて、内部の剥離状況を画像化したものである。この画像は、専用の3Dビューアーで表示したものであり、内部の欠陥を詳細に観察することが可能である。

4 ポータブルタイプ3D超音波検査装置の概要

前記の3D超音波検査装置(256ch機)から、圧電素子数を256個から64個に簡素化し、現場に持ち込んでの検査などにも適したポータブルタイプ3D超音波検査装置を開発した。従来の256ch機と同程度の解像度を維持し、コンパクトで、かつ、検査時間の短縮が可能である。更に使いやすく、欠陥判定のための画像処理などの機能も充実させた。外観写真を図9に、概略仕様を表1に示す。



図9. ポータブルタイプ3D超音波検査装置 — 3D-UTユニット及びPCを一体化し、コンパクト化を実現している。

Matrixeye™ portable 3D ultrasonic inspection system

表1. ポータブルタイプ3D超音波検査装置 Matrixeye™ の仕様
Specifications of Matrixeye™ system

項目	仕様
外形寸法	約 350 × 250 × 150 mm
質量	約 7 kg
電源容量	AC100 ~ 240 V, 50/60 Hz
圧電素子数 (センサ数)	64 チャンネル
液晶モニタ	10 インチ
CPU ボード	Pentium® (注1) 3
HDD	40 G バイト
画像化範囲 (メッシュ数)	128 × 128 × 512 (最大)
画像補正機能	反射強度分布表示 深さ方向感度補正機能 反射強度ヒストグラム表示 画像抽出機能

(注1) Pentiumは、米国又はその他の国における米国 Intel Corporation 又は子会社の登録商標又は商標。

この装置の特長は以下のとおりである。

- (1) 内部欠陥を三次元で画像化 3D超音波検査装置の基本機能
- (2) 持ち運びが簡単 3D-UTユニット及びPCを一体化し、コンパクト化を実現
- (3) 検査時間の短縮 圧電素子を256個から64個に削減し、専用の高速演算処理を採用することにより、約1秒で検査結果を画像化
- (4) 機能の充実 欠陥などをより鮮明に画像化できる機能を追加
- (5) 操作が簡単 本体に搭載されたボタンで操作でき、操作ステップも従来機に比べ30%削減

5 あとがき

3D超音波検査装置 Matrixeye™ は、欠陥や剥離をはじめとした部品の内部状況を直接立体的に可視化できる新しい概念の検査装置である。今回、新たに開発したポータブルタイプ検査装置は、持ち運びができ誰でも簡単に使い、しかも高速検査を可能としており、これまでの装置を更に進化させたものである。

適用市場の拡大のために、このポータブル機をベースとして、溶接部を検査するための“斜角探傷用”や自動車関連の“スポット溶接用”の検査装置などの商品化を目指している。更に、自動検査機能の拡充、大型構造物へ適用するためのシステム化検討なども推進中である。

現在、航空機用部材検査(CFRP用検査)用として、航空業界の大きな注目を集めており、これまでの非破壊検査の概念を超えた3D超音波検査装置 Matrixeye™ の世界規模での幅広い適用が期待される。

文献

(1) Karasawa, H., et al. Development of under sodium 3D visual inspection technique by using matrix-arrayed ultrasonic transducer. Journal of Nuclear Science and Technology. **37**, 9, 2000, p.769 - 779.



阿部 素久 ABE Motohisa

電力・社会システム社 事業開発推進統括部 商品開発推進室 参事。3D超音波検査装置の開発、事業化業務に従事。
New Business Promotion Div.



唐澤 博一 KARASAWA Hirokazu

電力・社会システム社 事業開発推進統括部 商品開発推進室 参事。3D超音波検査装置の開発、事業化業務に従事。
New Business Promotion Div.