

# 超音波探傷試験映像化装置

竹本 省一 \*1・塗 嘉夫 \*2

## 1. はじめに

超音波探傷法に代表される非破壊検査法は、鋼材欠陥の検出と製品出荷保証に大きく貢献してきたことは言うまでもない。今後、より微小な欠陥の検出、複雑な形状の欠陥評価、評価の効率化にさらに適用されていくであろう。また、いずれは超音波による大型介在物の探傷法が規格化される可能性もあり<sup>1)</sup>、超音波探傷技術は今後、その重要性がより一層高まるものと思われる。

当社においては、現状以上の品質保証体制の構築と将来の種々のニーズに応えるため、新しい超音波探傷試験映像化装置を導入した。ここでは、本設備の二、三の特徴と適用事例について簡単に紹介したい。

## 2. 設備の概要

図1は導入した超音波探傷試験映像化装置の全景である。ここでは導入設備の特徴を述べる。

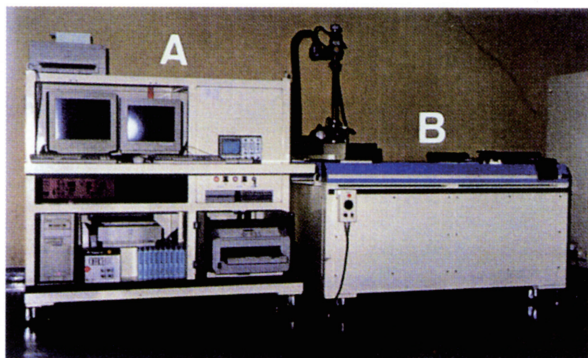


図1 超音波探傷試験映像化装置の全景  
A) 超音波探傷器, B) 水槽および走査機構部

### 2・1 装置全体

本機は装置の心臓部である超音波探傷器に高周波探傷器を使用し、高い分解能、検出能を有し、さらに反射エコーの強度と位相を複合評価するマトリックス法により、被検査材内部の介在物、ボイドの識別が可能である。高精度の

7軸スキャナーは、平面、側面、円柱、円筒の走査に加え、球、円錐あるいはこれらを組み合わせた複雑な形状をした被検査材の走査も可能である。画像処理は多彩なカラー処理の平面表示、側面、断面表示および立体表示を有し、目的に合った表示を自由に選択、結果をファイルに保存可能である。また、併設のAスコープメモリー装置を使用することにより、これまでの超音波画像処理装置のような探傷データのみではなく、Aスコープそのものの取り込み、保存が可能である。

### 2・2 高周波超音波探傷器

本装置に搭載している超音波探傷器は、1.5～150MHz (-3dB) の非常に広い探傷周波数帯域に80dBの高い増幅度(10MHz使用時)を備え、小型高性能パルサー/プリアンプの使用により被検査材の表皮直下から内部にわたる微小欠陥を高S/Nで忠実に検出可能としている。

また高周波ポリマー探触子との組み合わせによる高ダンピング波形は、微小はく離検出や、ボイドと介在物の識別を可能にしたマトリックス法に最適である。

### 2・3 七軸高精度スキャナ

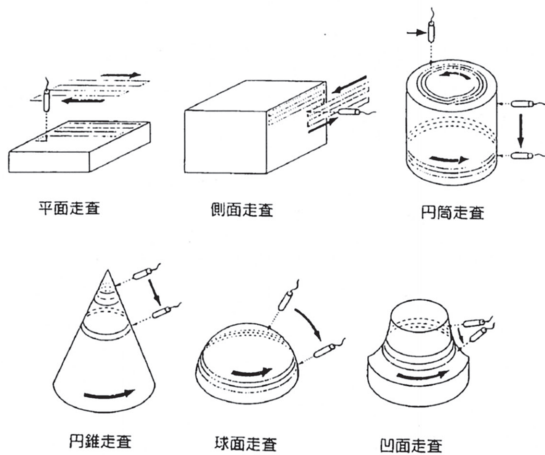
七軸高精度スキャナ装置は探傷水槽部および走査機構部より構成される。走査機構部はX, Y, Z, R1 (ターンテーブル), R2 (パイプ用横軸),  $\theta 1$ ,  $\theta 2$ の7軸を持ち、走査ストローク及び分解能はX軸: 700mm/0.005mm, Y軸: 500mm/0.005mm, Z軸: 400mm/0.005mm, R1, R2軸:  $360^\circ / 0.02^\circ$ ,  $\theta 1$ 軸:  $+100^\circ \sim -10^\circ / 0.018^\circ$ ,  $\theta 2$ 軸:  $\pm 45^\circ / 0.018^\circ$  となっており、平面、側面、円柱、円筒、円錐、球面及びこれらを組み合わせた走査が行える。図2に走査パターンを示す<sup>2)</sup>。

走査機構部の制御は画像処理用コンピュータによりコントロールされているため、処理画像上から探触子の位置を操作したり走査範囲を再設定することもでき、またオートキャリブレーションおよびオートフォーカス機能も搭載している。

手動コントローラのジョグダイヤルにより各軸は最小分解能での遠隔操作ができるため、手動による微妙な調整や確認が容易にできる。

\*1 技術研究所プロセス研究室

\*2 技術研究所プロセス研究室、工博

図2 スキャナの走査パターン<sup>2)</sup>

## 2・4 標準装置での処理

探傷走査中はカラーモニター上に探傷結果の平面像（Cスコープ）、または断面図（B、STスコープ）をリアルタイムで表示し、探傷終了後は各種の画像処理をすることにより目的にあった欠陥画像を得ることができる。画像はカラーハードコピーにより印刷可能である。探傷結果は走査した各ポイントの位置情報とエコーの強度、および距離のデータ全てをハードディスク上に記録されており、光磁気ディスク（MO）に保存可能である。

### 2・4・1 表示画像の種類

- (1) 平面表示（Cスコープ）ワーク上面よりの透視画像表示
- (2) 断面表示（B、STスコープ）  
ワーク側面よりの透視画像、または任意の断面像を表示
- (3) 立体表示  
ワークの立体透視画像を任意の角度で表示
- (4) ワイヤフレーム  
エコー強度のトポグラフィ表示

### 2・4・2 表示データの種類

- (1) エコー高さ  
反射エコーの強度をカラー階調表示、評価は全波、正半波、負半波の選択可能
- (2) ビーム路程  
反射エコーまでの距離をカラー階調表示
- (3) マトリックス表示  
反射エコーの強度と位相をマトリックス表示（MURAI処理：詳細は後述）  
介在物/ボイド、接着/はく離を色相で表示

### 2・4・3 カラー表示

- (1) 8階調表示
- (2) 2色256階調表示
- (3) 3色256階調表示
- (4) カラー256階調及び彩度256階調表示

## 2・4・4 その他の画像上での処理

- (1) 拡大表示  
平面画像の任意位置を任意の大きさに拡大
- (2) 面積率計算  
平面画像8階調表示画像の各色の面積率を計算
- (3) カーソル位置行き  
平面画像上の任意点にカーソルを移動し、探触子を移動
- (4) 精密探傷  
平面画像上の任意範囲を設定し精密探傷

## 2・5 MURAI処理

本処理は、旧来より行われていた音圧情報のみによる単純階調処理ではなく、マトリクス評価ユニットにより音圧情報、および位相情報（波形変化）を複合処理し、色相（カラー256階調）および彩度（256階調）変化としてカラーモニターに表示する方法である<sup>2)</sup>。

### 2・5・1 評価マトリクス説明

Cスコープ作成の際、個々のエコー波形に色No.を与える方法として、一旦横軸をP/Aレシオ（P：欠陥パルスの正部分の高さ、A：欠陥パルスの全高さ）、縦軸をAとした座標系上にて波形を分類し、この上に横軸に色相（カラー256階調）、縦軸を明度もしくは彩度変化としたカラーパレットを配して色No.（階調）を与える。

### 2・5・2 MURAI処理の効果

- (1) 被検査材中の介在物と気泡/ガス欠陥の識別  
位相情報と音圧変化の複合処理により、欠陥種別による評価域が特定可能。介在物と気泡等、欠陥識別が可能である。
- (2) ロウ付け、接着等のはく離検出に効果を発揮  
旧来の単純音圧階調処理では避けられなかった母材部での音圧減衰による影響を波形認識により補正し母材の種類、各構成パーツの厚さの影響を最小限に留めてはく離、クラック、ボイド等の欠陥を検出する。

## 2・6 Aスコープメモリ装置での処理

Aスコープメモリとは、探傷ポイント全数のRF波形を丸ごとA/D変換し、波形をデジタル化して記憶する機能である。通常の超音波画像処理装置ではあらかじめ探傷範囲を決め（ゲート設定）1ポイントについて1の探傷データしか記憶されない。このため探傷範囲を細かく区切って探傷データを採る場合、ゲート設定および探傷を繰り返し行う必要があるが、Aスコープメモリを使用することにより一度探傷を行えば、後処理にて探傷範囲を自由に変更できる。また記憶したRF波形データより各種解析が可能である。

## 2・7 Aスコープメモリデータ処理仕様

### 2・7・1 リアルタイムAスコープ（RF波形表示）

高速デジタイジングされたRF波形を高解像度カラーモニター上にリアルタイムで表示できます。表示画像はハードコピー可能である。

2・7・2 カーソル任意指定点Aスコープ表示

Cスコープ画面上で任意にカーソル指定した位置のデジタイズ波形を瞬時に画面表示可能である。

2・7・3 4つの独立した評価ゲート(4断層Cスコープ表示)

探傷評価ゲートは任意に4つが使用できる。ゲートはそれぞれ独立して設定できるので、深度の異なる部分が同時に評価可能で、多層構造の被検材の層間を検査する場合に効果的である。

2・7・4 オールウェーブBスコープ(断面表示)

デジタル保存されたエコーの時間軸(深さ)方向全てを使ってBスコープ(断面像)を表示できる。クラッド材、多層構造材の探傷時、その内部構造の識別、多重エコーや林状エコーと欠陥の判別などに効果がある。

2・7・5 複合表示モード

Aスコープ、Bスコープ、Cスコープ、ワイヤフレームの組み合わせ表示ができるので検査目的に応じて最適画像の選択が可能である。

2・7・6 波形解析機能

(1) FFT(フーリエ変換)周波数解析

RF波形をフーリエ変換し、波形に含まれている周波数分布をエンベロープで判断できる。その被検材の周波数による透過性の度合い(減衰性の度合い)が把握でき、適切な超音波の試験周波数が選択可能である。また、高帯域探触子(ポリマープローブ等)を使用して、FFT処理による欠陥エコーの周波数成分の解析で欠陥種類の判別や、材料評価等に利用できる可能性がある。

(2) 逆FFT機能

上記とは逆に、波形に含まれる周波数成分を任意に抽出して波形を再合成する機能である。本機能の使用で例えばS(表面)エコー不感帯に存在する欠陥の検出、通常分解困難な層間はく離の表裏弁別、ノイズ内の欠陥検出等に効果が期待される。

2・8 ファイル

各設定条件(探傷器設定、探傷モード、ストローク、インデックス、MURAI設定等)は200条件まで内蔵ハードディスクにストア可能である。同様に連続探傷条件についても200条件ストア可能である。探傷データはハードディスク上に一時記憶され、MOディスクに保存できる。

2・9 超音波探触子の種類

超音波法にて検出可能な欠陥の大きさは、鋼中に伝播した波長のおよそ1/2程度であると言われている<sup>3)</sup>。本装置が装備する探触子は、1, 5, 10, 15, 25, 50, 80, 100, 125MHzであり、焦点距離の異なるものを含め12種類である。したがって、数mmから数μmまでの鋼材欠陥の検出が期待できる。

3. 分析事例

鋼中の微小介在物の大きさを定量化するには、微小欠陥

の大きさの判った標準試料が必要である。当社では独自に工夫を凝らし、直径10, 25, 50, 100μmの欠陥を持つ標準試料の作成に成功した。ここでは、これを用いて検討した結果を二、三紹介する。

3・1 探触子別探傷ピッチ

微小欠陥を検出、定量化するためには適正な探傷条件を決定することが必要である。図3は標準試料を用いて欠陥波強度におよぼす探触子位置の影響を調査した一例である。横軸の0点はちょうど欠陥の中央に探触子が位置していることを示している。これより、探触子位置が欠陥の中央からある位置までは反射波強度に変化はないが、それより離れるにしたがい、反射波強度は徐々に低下することが判る。

表1は欠陥径と最高強度を示す範囲を探触子別に示したものである。本装置による欠陥とノイズの分別は欠陥波形が連続して2点以上検出したかどうかで判定している。いま被検査材の欠陥が最小10μmであるとすると、125MHzの探触子を用いて探傷する場合の探傷ピッチは0.06mm以下にする必要のあることがわかる。また表1から明らかのように、低周波数の探触子を用いて探傷する場合の適正探傷ピッチは高周波数探触子に比べて長くてよいこともわかる。この理由は振動子の半径や焦点距離にも依存するが、低周波数探触子ほど、方位分解能(焦点の大きさ)および反射エネルギーが大きいと思われる。

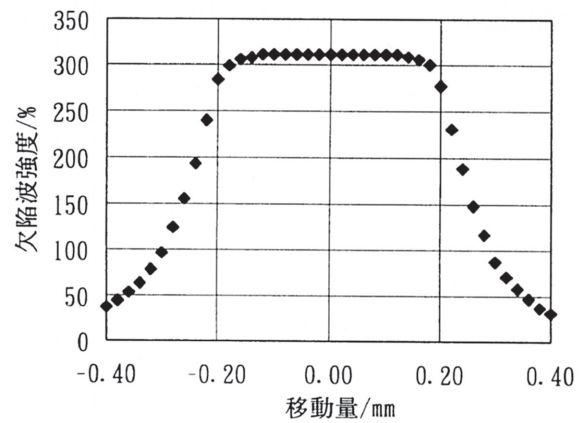


図3 欠陥波強度におよぼす探触子位置の影響  
探傷条件：50MHz, 欠陥径：100μm

表1 探傷時の最高強度範囲におよぼす欠陥径と探触子周波数の影響 (mm)

欠陥の大きさ (μm)	探触子周波数 (MHz)			
	50	80	100	125
10	0.210	0.180	0.150	0.120
25	0.220	0.185	0.185	0.125
50	0.235	0.185	0.185	0.150
100	0.255	0.200	0.190	0.155

### 3・2 反射波強度と欠陥径

図4は図3に示した標準試料の最高強度から求めた欠陥波強度と欠陥径の関係を、測定対象物の音響インピーダンス、ノイズレベルなどから推定して図示したものである。これより、実用鋼の100 $\mu$ m以下の微小欠陥の評価が可能になるものと期待できる。

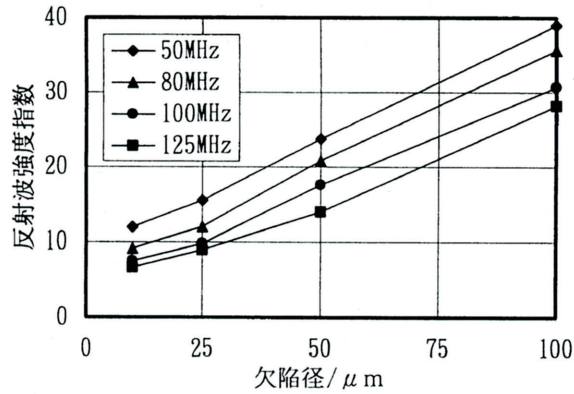


図4 反射波強度と欠陥径

### 3・3 清浄鋼の介在物評価

図5は酸素量の異なる4つの軸受鋼鍛伸材のCスコープ図である。酸素量が多くなるほど介在物の多いことがわかる。また、図6は介在物量を50, 80, 100, 125MHzの探触子を用いて測定した結果である。高周波探触子を用いると、鋼中の介在物量の差を明らかにすることができる。

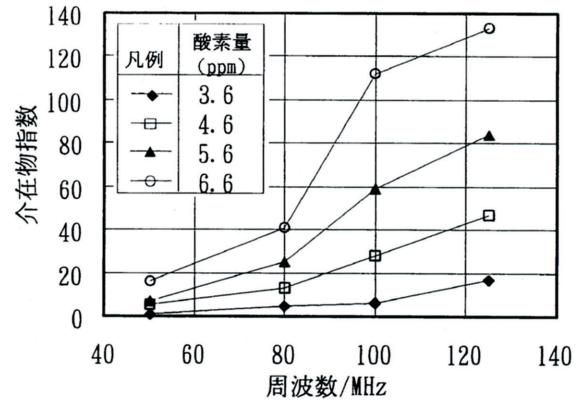


図6 清浄度別鋼材の介在物個数におよぼす探触子周波数の影響

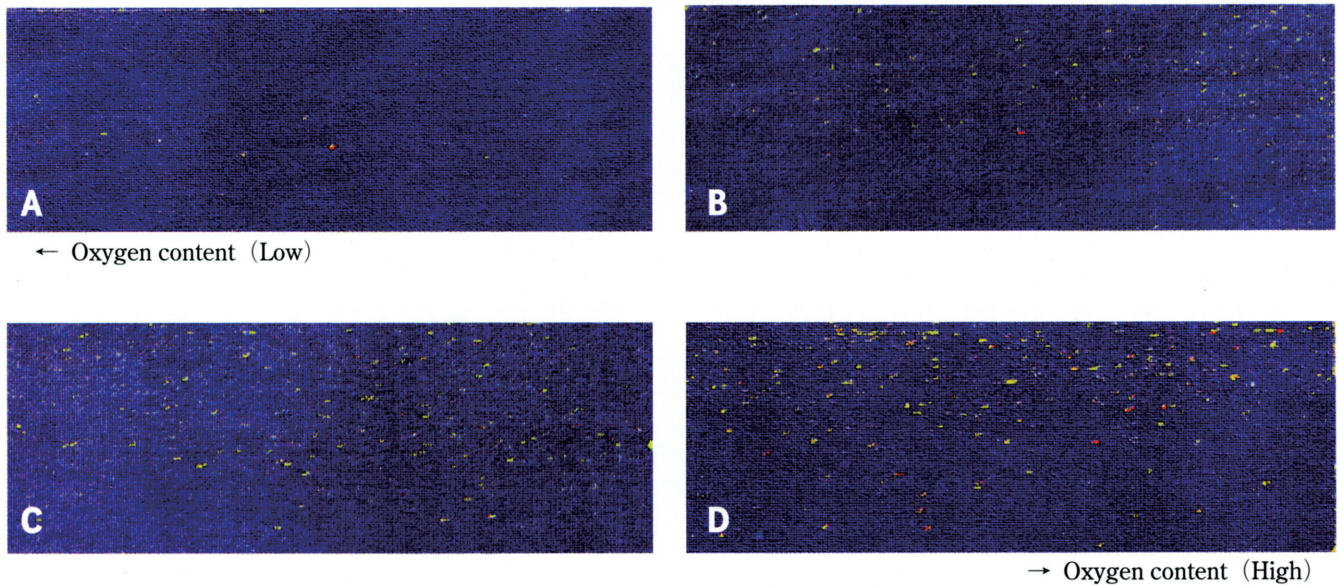


図5 酸素量の異なる軸受鋼鍛伸材のCスコープ表示 探傷条件：探触子=100MHz, パルスエネルギー=1, ダンピング=5, Gain=25dB, G.Start=1.3mm, G.Width=1mm, 試料寸法：72L×27W×8t A:O=3.6ppm, B:O=4.6ppm, C:O=5.6ppm, D:O=6.6ppm

## 4. おわりに

最新鋭の本超音波探傷装置は1996年6月から設置開始し、同年8月から本格稼働している。今後ますます多様化・高度化するユーザーズに応えた研究ツールおよび品質管理設備として大いに活用していく予定である。

## 文献

- 1) 雲丹亀泰和：山陽特殊製鋼技報，2（1995），70.
- 2) 日本クラウトクレマー株式会社：超音波透視装置「SDS」プレゼンテーション資料.
- 3) 阿部利彦，鷲見新一，橋本 等，栗山 卓：まてりあ，35（1996），804.