

第 1 4 回

千葉県非破壊検査研究会・研究発表会

講演資料

日時 平成12年2月10日（木）
13：10～16：50

場所 川崎製鉄(株)みやざき倶楽部

目 次

1. エアーカプリング超音波探傷装置 AIRSCAN	1
－原理とその応用－	
日本ソナテスト(株) 森谷茂樹, 深田 修	
2. 新型デジタル探傷器 sonostar - 100 の紹介	11
(株)トキメック 新実信夫	
3. エクスロン・インターナショナル(株)のNDT機器の紹介	19
エクスロン・インターナショナル(株) 相田健二	
4. 非破壊検査に関する検査・測定事例	23
－管内走行診断装置 (モダラ-) のフィールドサービス例の紹介－	
－広領域配管検査装置 (Thru VU) のビデオ紹介－	
(株)シーエックスアール 藤岡克美, 小早川 孝	
5. JIS Z 3060「鋼溶接部の超音波探傷試験方法」改正の概要	31
FUT研究所 福原熙明	
6. 広帯域表面波による高性能ロール表面探傷技術の開発	41
川崎製鉄(株) 高田 一, 虎尾 彰, 北浜正法, 守井隆史	
杉本良一, 佐藤明生	

エアカプリング超音波探傷装置 AIRSCAN®

Air-coupling ultrasonic flaw detector AIRSCAN®

日本ソナテスト(株) 森谷 茂樹、 深田 修

概要

空気の音響インピーダンスと非破壊検査の対象となる試験材の音響インピーダンスとは大きく異なっており、従来、空気を媒介とした超音波探傷は、ほぼ不可能であるとされてきた。

エアカプリング超音波探傷装置 AIRSCAN は、様々な工夫により、空気を媒介とする超音波探傷の障害を取り除いてそれを可能にした、画期的な超音波探傷装置である。以下にその特徴と原理および応用例を述べるものである。

1. はじめに

超音波探傷検査において、探触子から試験体に超音波を入射させるために、接触媒質を使用しなければならないことは、長い間常識とされてきた。そしてまた、接触媒質が必要であるがために、超音波探傷検査の適用領域は狭く限定されてきた。

特に、超音波Cスコープ画像処理装置等の自動探傷装置では、従来から水を媒介とする水浸超音波探傷が広く知られている。水を媒介とする超音波探傷の欠点は、①水と接触することを嫌う試験体を検査できないこと。②水を使用できない生産工程上で検査できないこと。③探傷する前後の水の処理が必要となること。④錆びを発生させる。⑤泡の発生。等、多くが上げられる。

空気を媒介とする超音波探傷が可能になると、これらの種々の制約から開放され被検査材料の種類は飛躍的に増加し、超音波探傷の適用範囲が大きく広がることが期待される。

2. エアカプリング超音波探傷装置の特徴

(1) エアカプリング探触子の特徴

超音波を発生し、受信するエアカプリング探触子は、エアカプリング超音波非破壊検査システムの非常に重要な構成要素である。

エアカプリング探触子には、振動子として高利得の円盤型圧電材料が使われている。これらは厚さ方向に振動するタイプの圧電素子である。そしてこの圧電素子の機械的特性を最大限に引き出すため、これらの円盤型振動子の背面には塗膜処理がされていない。一方、振動子の前面には、非常に薄くかつ細かい気孔をもち、極端に低い音響インピーダンスである特殊なポリマー素材を用いた塗膜処理が施されている。こうした工夫の結果、空気を媒介＝媒質とする超音波探傷の送受信効率を、大きく向上することができた。

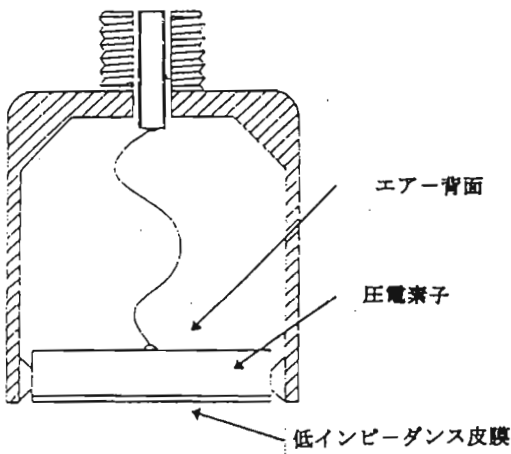
またこうしたエアカプリング探触子の構造上の特徴により、これらの探触子には振動子自身を共振方式で作動させるという機能をもたせることができた。このため、エアカプリング探触子は

非常に高いエネルギーの超音波を発生することができるのである。

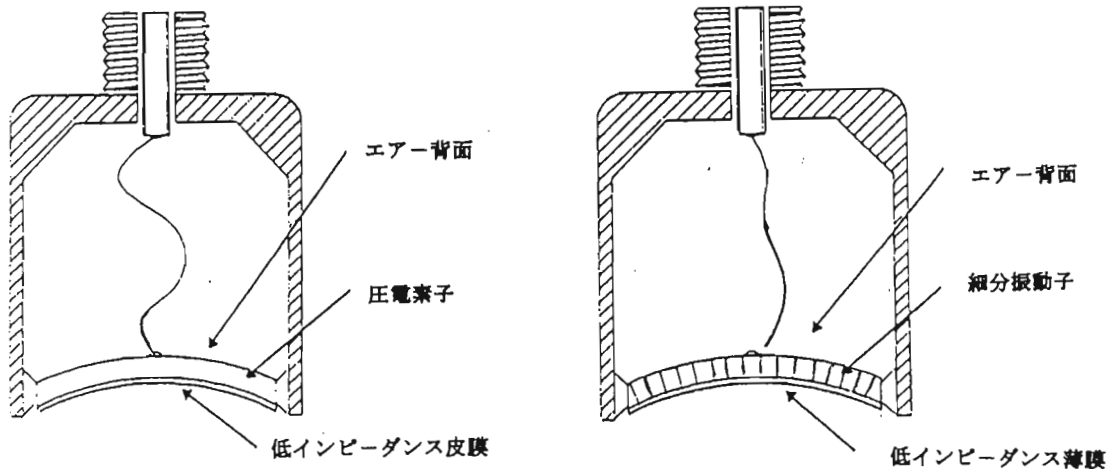
図表 1 a に代表的なフラット型のアカプリング探触子の構造を示す。

アカプリング探触子は、このような優れた機械的特徴を持っているため、トーンバースト・パルス波による励振に対して、高い効率で超音波を発生させることができる。

この場合、送信励起信号は振動子の‘厚さ方向での共振’に合った中心周波数を選択することが可能である。こうした共振効果によってアカプリング探触子の圧電素子の機械的振幅は大きく増加し、送受信感度は 20dB 程度も向上することが確かめられている。ただしこれらの送信超音波は超狭帯域である。

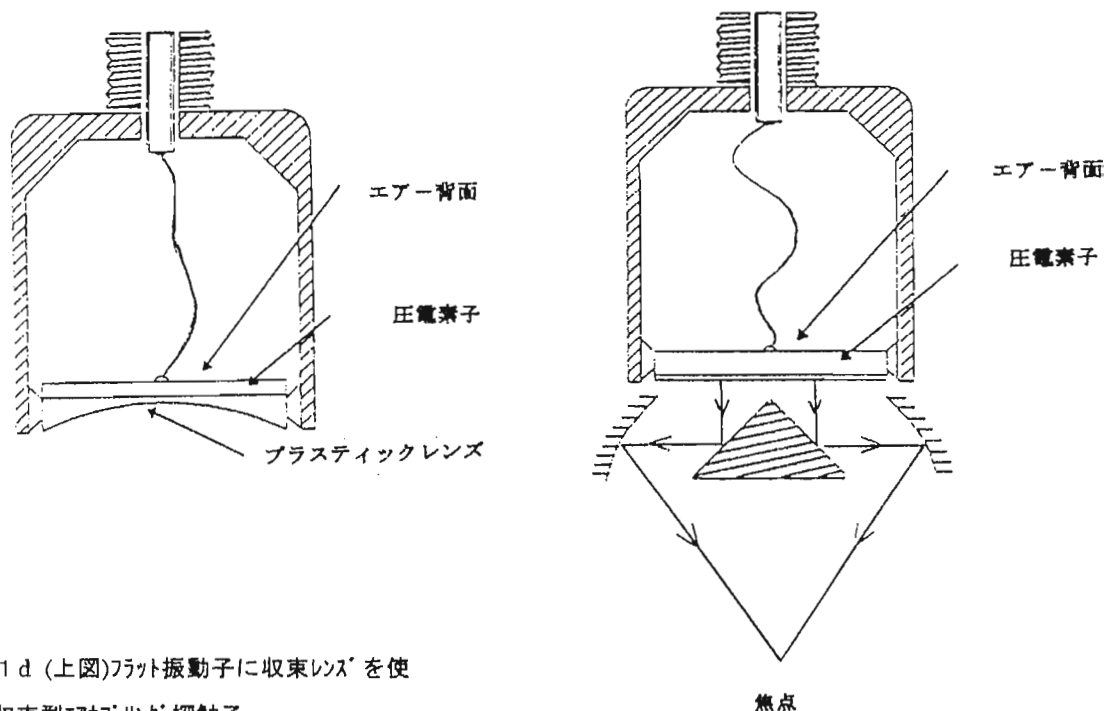


図表 1 a フラット型アカプリング探触子
背面は無処理、前面には低インピーダンスの薄膜が塗布されている。



図表 1 b 球面振動子を持った収束型アカプリング探触子

図表 1 c コンポジット型振動子の収束型アカプリング探触子



図表 1 d (上図)フラット振動子に収束レンズを使った収束型エアカプリング探触子

図表 1 e (右図)フラット振動子に光学式レンズを使った収束型エアカプリング探触子

エアカプリング探触子の超音波のエネルギーと感度は、収束型探触子を使用することによって、より一層向上する。それらの探触子の構造を図表 1 b~e に示す。一番簡単なものは、図表 1 b に示すもので、球面加工されたセラミック系圧電素子を使用している。一方、コンポジット型圧電振動子を使っても同じような構造を構成できる。(図表 1 c) これらコンポジット型振動子は、水浸型探触子にも使用されていることはよく知られている。図表 1 d はフラット型圧電振動子とプラスチック製の音響レンズを組み合わせた探触子を示す。図表 1 e は光学的な収束治具を使った方法である。

(2) エアスキャン探傷装置の特徴

図表 2 に示す、米国 QMI 社製エアカプリング超音波探傷装置、SONDA 007C について、その特徴を以下に記すこととする。

まずエアカプリング探触子への励振機能について述べる。SONDA 007C からエアカプリング探触子へは、繰り返し周波数 1kHz、15 サイクルの励起信号によって発生する、MAX450V のパースト波によって印可される。

エアカプリング探触子は、現在 50kHz、120kHz、200kHz、400kHz、1MHz の 4 種類が用意されており、それぞれがその中心周波数でトーンパースト波を発生する。400kHz の探触子を例にとると、空中換算の波長は 0.85mm である。

また、それぞれのエアカプリング探触子に印可されるパースト波は、各々の振動子のもつ固有

の共振周波数に合わせて、微妙な調整が可能であることは、既に述べた通りである。

次に、装置の信号増幅機能について述べる。検出信号は、先ず受信探触子に内蔵されたローノイズ、広帯域型プリアンプによって、32dB 程度増幅される。この信号は、エアスキャン探傷装置本体の減衰器、狭帯域型フィルターを通過して、狭帯域可変アンプで増幅された後、可変利得アンプで再び増幅される。

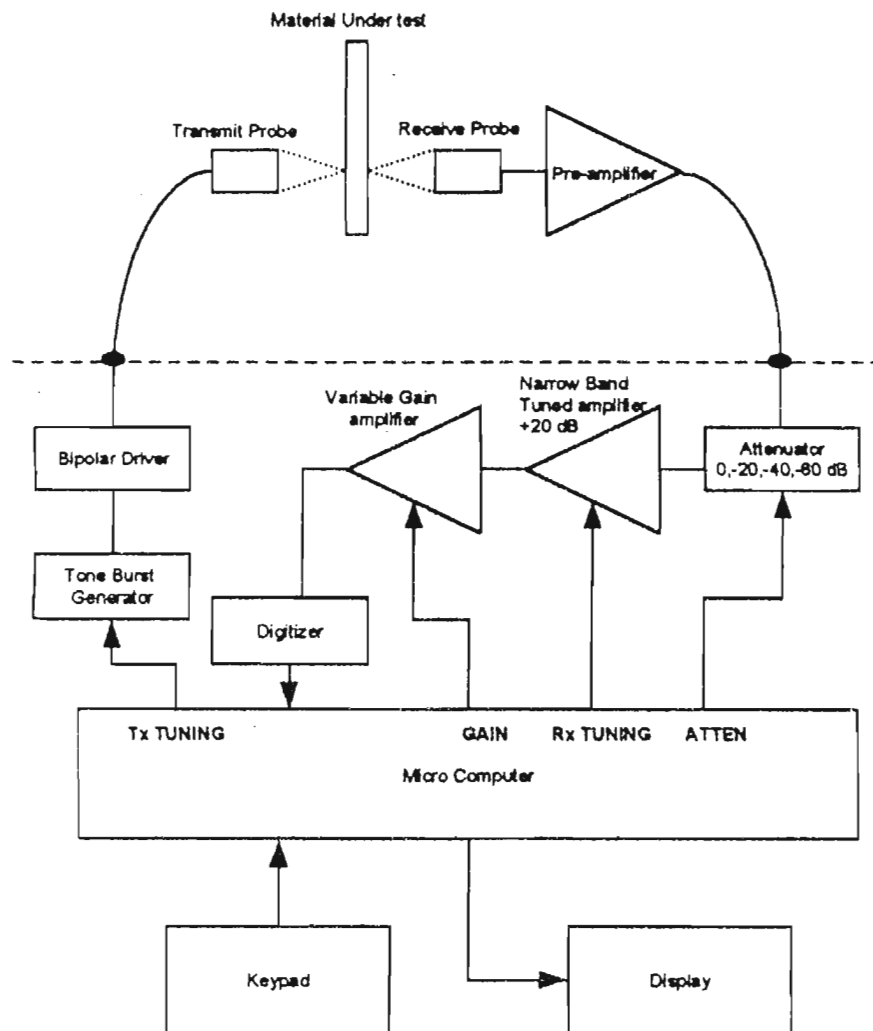
その後、信号は、サンプリング・レート 10MHz のデジタイザーによって、A/D 変換される。

エアスキャン・システムで使用される代表的な探触子は、球面収束する外径 25mm、焦点距離 38mm の共振探触子である。S/N 比は、0.1~1MHz の範囲で、通常 40dB 以上を得ることができる。また、エアスキャン探傷システムでは信号の平均化処理を行わず、ワンパルスワンデータのリアルタイム出力が可能である。このため航空宇宙産業で使用される一般的な素材で、内部構造が複雑に入り組んだ炭素繊維積層材料等の検査には、高い S/N 比を得ることができる。図4 に エアスキャン探傷装置のブロック・ダイヤグラムを示す。



図表2 QMI 社製エアカプリング
超音波探傷装置 SONDA -007C

Instrument design



図表3 エアカプリング超音波探傷装置
のブロック・ダイヤグラム

(3) 探傷方式の特徴

エアカプリング探触子は、水浸法の探触子のように、透過法の形態で使用される。しかしこのエアカプリング探触子の大きな特徴は、水浸法では簡単に減衰してしまうガイドプレート波 (GUIDED PLATE WAVE) を効率的に発生することである。

これまでの実験から、このガイドプレート波は、いろいろの種類材料や構造物の検査に大きな成果をもたらすことが明らかになった。ハニカム構造物を検査するケースは、この典型的な事例である。またエアカプリング探触子と試験体との相対的な配置や角度、位置付けの微妙な調整によって、エアカプリング探触子を試験体の表裏両側に配置した透過法検査のみならず、それを片側に配置したV字透過法の検査にも、有効な検査結果が得ることができる。

エアカプリング探触子と試験体との相対的な配置や角度、位置付けの微妙な調整をおこなうことによって、エアカプリング超音波探傷のS/N比を飛躍的に増大させることができる。その理由は、エアカプリング探触子の振動子が高いエネルギーによって超音波を発生し、さらにその超音波によって、試験体自身が“共振”(Resonance)するためである。試験体の健全部で共振によって、高い受信信号を受ける受信側探触子は、欠陥部では極端に低い信号のみを受信することになるのである。

この試験体自身を共振させながら、健全部と欠陥部のS/N比を増加させる手法は、空気を媒介とするエアカプリング超音波探傷のみが、実現できる画期的な探傷方式である。

図4にエアカプリング超音波探傷を実施する際の様々な、探触子の配置をしめす。

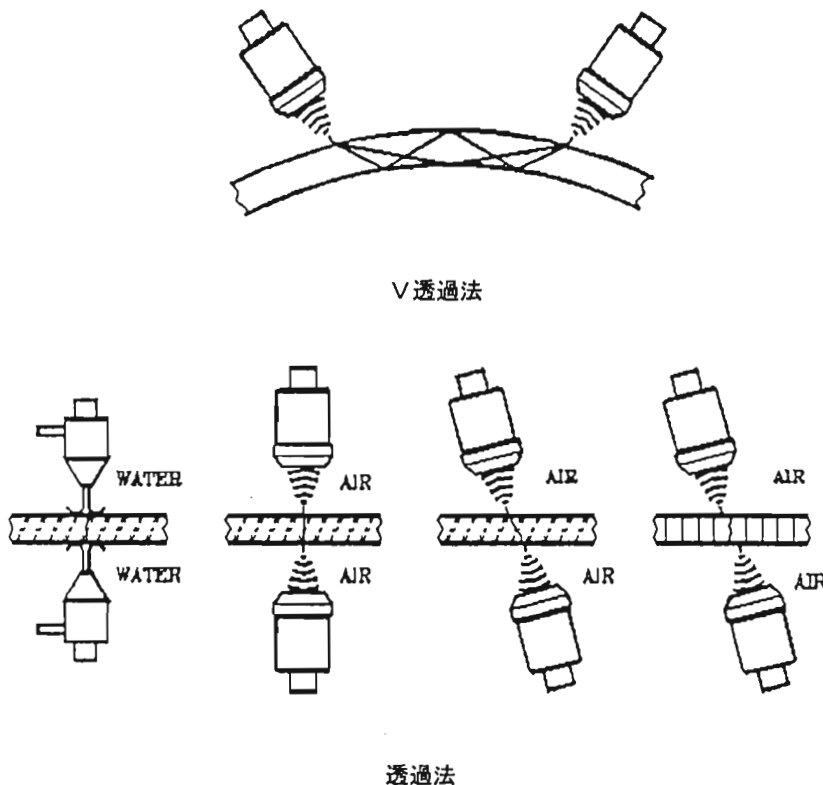
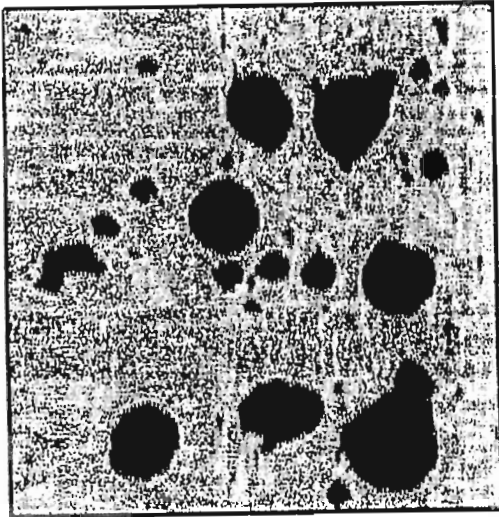


図4 エア・カプリング探触子は、水浸法探触子のように、透過法の形態で一般的に使用される。

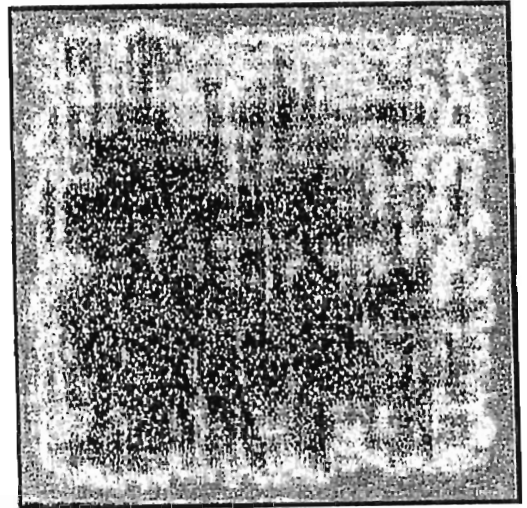
2. エアカプリング超音波探傷の応用例

エアカプリング超音波探傷によって良好な検査結果が得られる典型的な素材、材料の例としては、現在まで、ハニカム材、ソーラー・パネル、フォーム積層パネル、グラス/エポキシ積層材、炭素繊維航空機ブレーキ材料、木材製品等が上げられる。また更に多くの材料の検査法を調査中である。

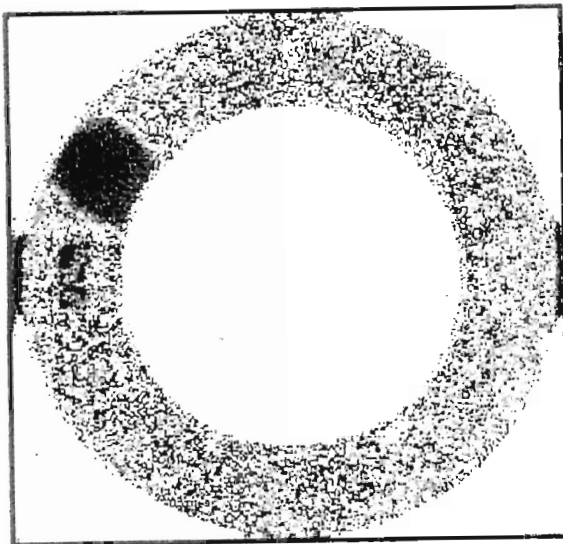
図表5と図表6は、炭素繊維積層材、図表7は炭素繊維ブレーキ・ディスク、図表8はソーラー・ハニカム・パネルの各Cスキャン画像を示す。これらは全て、トーンバースト方式の400kHzエアカプリング探触子を使用し、透過法によって採取したデータである。



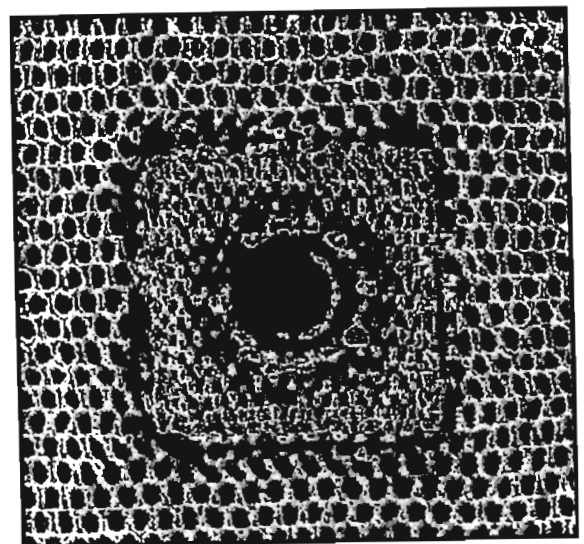
図表5 カーボン積層サンプルのCスコープ図
黒い部分が剥離部、縦横 19"x19"、厚さ 0.128"、
0.04"ステップ、スキャンスピード 10"/sec



図表6 カーボン積層サンプルのCスコープ図
赤い部分が健全部、縦横 19"x19"、厚さ 0.125"、
0.04"ステップ、スキャンスピード 10"/sec



図表7 炭素繊維ブレーキ・ディスクのCスコープ図
直径 22"、厚さ 1.24"、0.04"ステップ、スキャンスピード 10"/sec、
10時方向が剥離部、9時方向は較正用欠陥



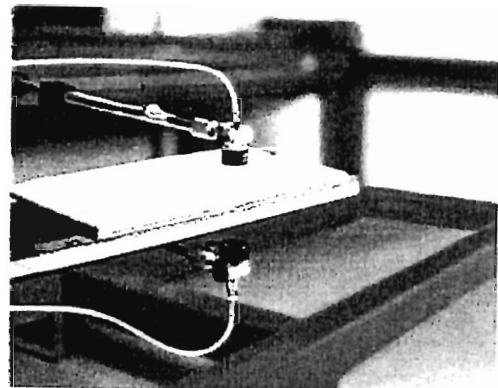
図表8 ハニカム・ソーラー・パネルのCスコープ図
2"x2"の補強材を挿入したハニカム材。0.02"ステップ、スキャン
スピード 10"/sec

3. エアカプリング探傷装置の紹介

米国 QMI(Quality Material Inspection)社のエアカプリング探傷装置を紹介する。

QMI 社では、現在エアカプリング探傷装置を2種類製品化している。その一つは、Sonda-007C である。Sonda-007C は、最も汎用的な装置で、研究目的から、現場でのインライン検査にまで適用することが可能である。

もう一つは、簡易型エアカプリング探傷装置である Sonda-LF50 である。図表9の Sonda-LF50 の外観を示す。また、二つの装置の詳細仕様を、図表10に示す。



図表9 Sonda-LF50 の外観

図表 10 Sonda-007C および Sonda-LF50 の仕様

諸元	Sonda-007C	Sonda-LF50
トーンバーストパルス	450Vmax, 15cycles max	600Vmax, 16cycles max
周波数範囲	200,400kHz & 1MHz	50-200kHz
感度	77ねた 20, 40dB ゲイン 20-80dB	20-100dB in 0.1dB step
メモリ	20 画面	2048 画面 100AVG タイムラムメモリ 100 設定条件メモリ
アナログ出力	エコー高さ 0-5V	エコー高さ及び T.O.F. 0-5V
繰り返し周波数	1kHz max	1kHz max
デジタル変換	10MHz max	36-256MHz
インターフェース	RS232	RS232, RS422, PCMCIA
警報出力	TTL	TTL
トリガー	TTL	TTL
プリンター出力	有	有
TCG, DAC 機能	無	有
FFT 機能	無	有
デジタルフィルター	無	有
ディスプレイ	7inch CRT	128 x 256 ピクセル
電源	110-120V, AC 5amp 220-230V, AC 2.5amp	バッテリー使用可 110V- 220V AC
使用環境	-28 ~ 37°C	-28 ~ 37°C
重量	13.6kg	2.1kg (バッテリー含む)
外形	445 x 470 x 140mm	185 x 130 x 50mm

空白ページ

「デジタル超音波探傷器 sonoStar-100 の紹介」

(株)トキメック 制御システム事業部・技術部

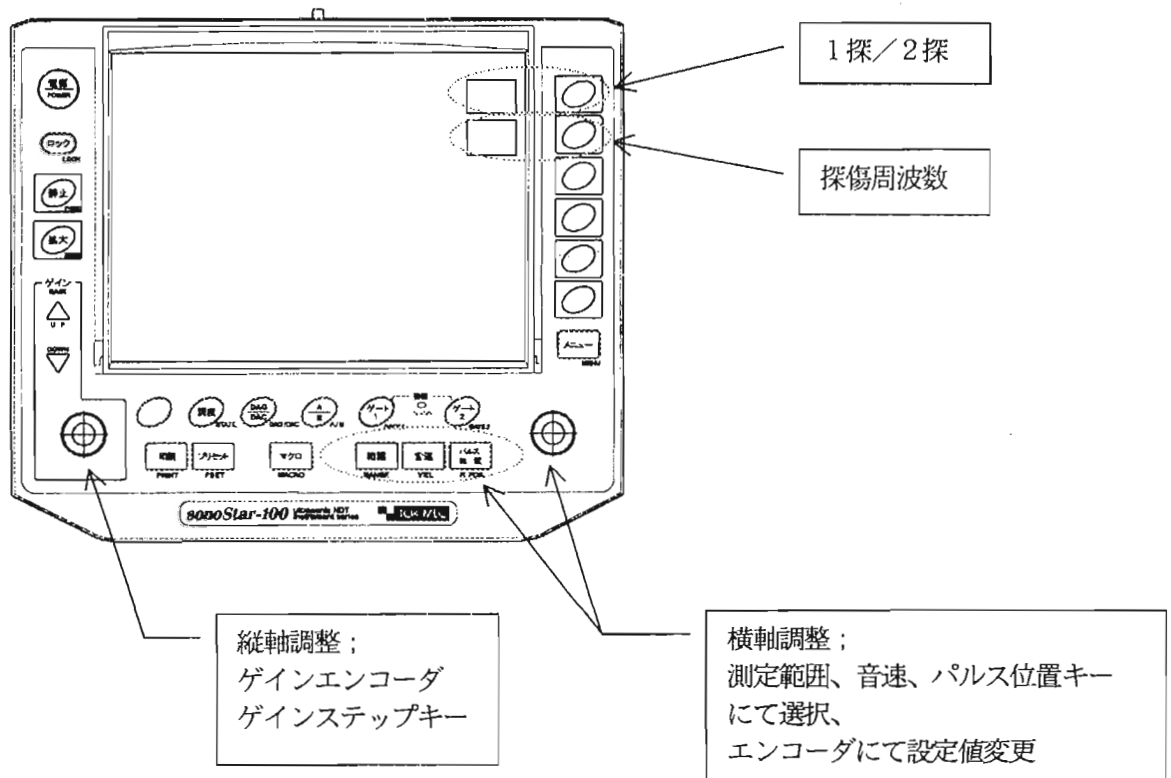
使いやすさを追求した、高性能・ポータブル型デジタル探傷器 **sonoStar-100** 特徴を以下に紹介
します。

1. アナログ探傷器の感覚で探傷ができます。

sonoStar-100 はデジタル探傷器の特徴である、再現性・記録性や多数の機能も持っていますが、
操作の基本となる、縦軸・横軸の調整はアナログ探傷器の感覚で操作できます。

エコー高さの調整（縦軸）は左側のゲインエンコーダ（ゲインステップキー）で操作します。
測定範囲、音速、パルス位置（横軸）は右側のエンコーダで操作します。

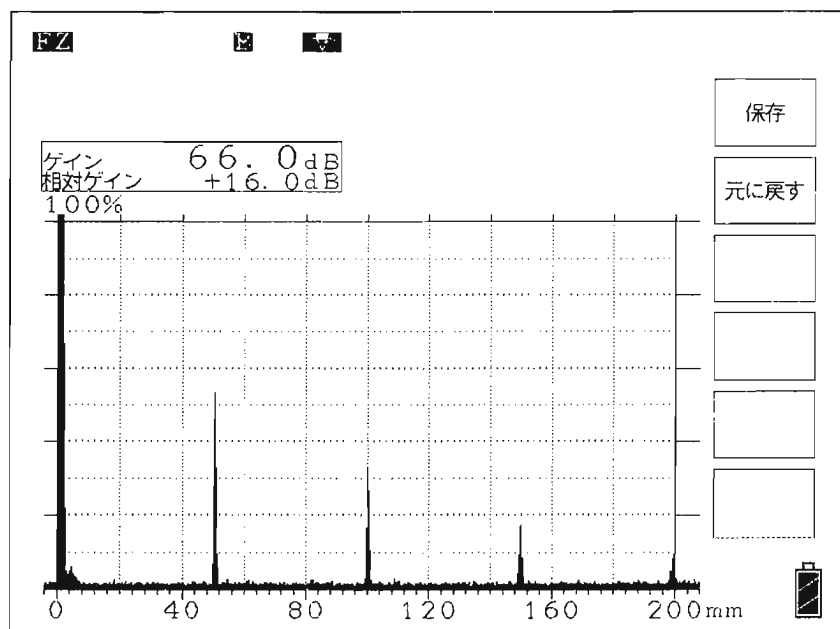
また、プリセットキーを押しながら電源を入れることにより、工場出荷時の設定値に戻すことができます。
この場合、プリセットデータは保持されたままです。



2. 波形記録と表示

- ・波形メモリ 240セット（探傷調度含む）、探傷調度 200セットの豊富なメモリを搭載しています
- ・フリーズ後、ワンタッチで記録ができます（波形番号は自動的に更新されます）
メニューから波形番号指定・保存・読み出し・保護・消去等もできます。
- ・複数の記録波形の連続印刷ができます
- ・フリーズ中にゲイン、レンジ、パルスポジション、ゲート等の操作ができます
この機能により、試験片等から探触子を離しても、エコーの様子を観測できます。
- ・オーバーレイ機能
保存波形の表示上に探傷中の波形を重ね書き可能です。
この機能により、参照波形との比較が簡単にできます。

フリーズ直後の画面例



2. スプリット表示機能

- ・通常波形とズーム波形を同時に表示できます（スプリット表示）
- ・7. 2インチ大型液晶表示機（640 x 480ドット）使用による、高品位な波形が表示されます

デジタル探傷器での表示分解能（距離方向）は表示画素数で決まる為、レンジを大きくするほど表示分解能が悪くなります。

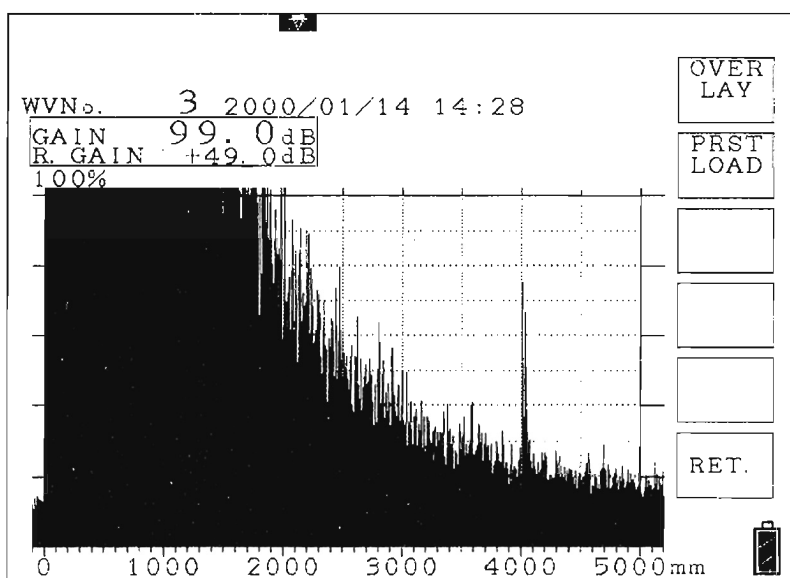
この為、多くの装置はゲート位置のみを拡大するズーム機能を持っています。

スプリット表示は通常波形とズーム波形を同時に表示し、また、拡大位置はズーム専用カーソル指定で行います。

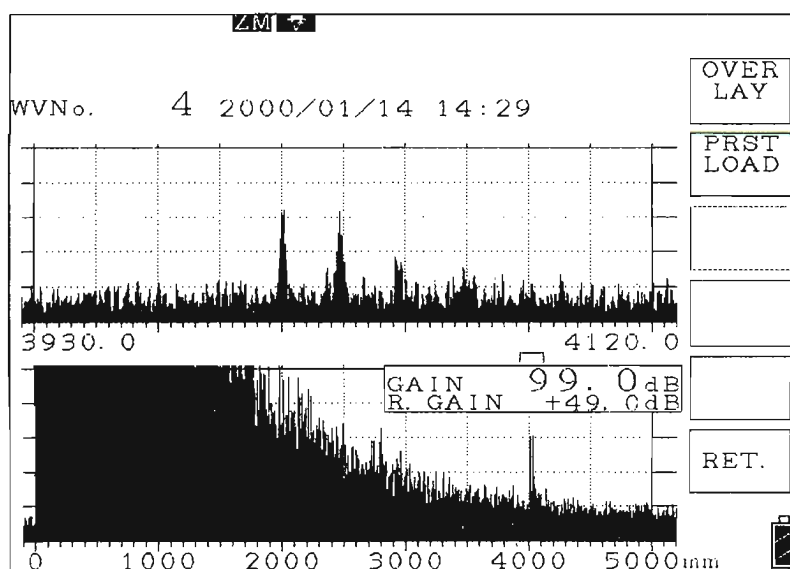
このため、全体を見つつ、必要な所のみ表示分解能を上げる事が可能になります。

ZOOMキーにて、通常表示→スプリット表示→拡大表示が切り替わります。

4mロックボルトの例(通常表示、5mレンジ)



4mロックボルトの例(スプリット表示)、遅れエコーが観測できる。



3. マクロ機能

オペレータのキー操作等を記憶し、それを後からプレイバックできます。
 これにより、探傷開始前の校正等が単純な操作で行えます。
 また、プレイバック時は操作についての簡単な指示が表示されます。

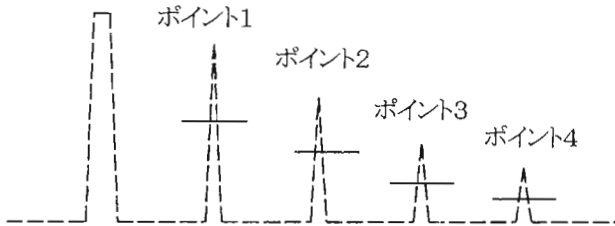
(マクロ登録例と実行例)

DAC用ポイント入力をマクロにて実行する場合 (4ポイント入力時の例)

(操作 1) マクロの登録

1) 準備

各ポイントのビーム路程、ピーク値をゲート2で取得できるように、あらかじめ各ポイントに対するゲート2の起点、幅、レベルを設定し、それをプリセットデータとしてゲート保存しておきます。



これらのポイントが取得できるように、ゲートをあらかじめ設定しておき、それぞれプリセットデータとしてゲート保存しておきます。

この例では、ポイント1を取得できる設定をプリセット1、ポイント2を取得できる設定をプリセット2、・・・にゲート保存します。
 またマクロは、1番に記憶させるものとします。

2) マクロの登録

- | | | | | | | | | | |
|---|---------|-------|-------|-------|-------------|-------|----------|-----------|-----------|
| ① | [プリセット] | 、 | [S1] | | プリセット1の読み出し | } | ポイント1の取得 | | |
| ② | [メニュー] | 、 | [S6] | 、 | [S2] | | | | DAC入力メニュー |
| ③ | [マクロ] | | | | | | | マクロポーズを登録 | |
| ④ | [S4] | | | | | | | ポイント1を取得 | |
| ⑤ | [プリセット] | 、 | [S2] | | | | } | ポイント2の取得 | |
| ⑥ | [メニュー] | 、 | [S6] | 、 | [S2] | | | | DAC入力メニュー |
| ⑦ | [マクロ] | | | | | | | | マクロポーズを登録 |
| ⑧ | [S4] | | | | | | | | ポイント2を取得 |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | [マクロ] | | [マクロ] | | | | マクロ登録終了 | | |

(操作 2) マクロの実行

1) **マクロ**、**S1** マクロ1を呼び出します。画面上部に、**マクロ実行**の表示が出ます。マクロ用メニューが既に表示されている場合は**マクロ**を押す必要はありません。

2) 画面に下記のメッセージが表示されたら、ポイント1の入力に必要なエコーを表示します。また、このとき要すれば、ゲインエンコーダにてゲインを調整します。

「ポーズしています」
 「エンコーダでゲインが設定できます」
 「再開するにはマクロキーを押してください」

3) **マクロ** マクロの再開をします。
 ポイント1が入力されます。

ポイント2の入力準備をします。

4) 画面に下記のメッセージが表示されたら、ポイント2の入力に必要なエコーを表示します。また、このとき要すれば、ゲインエンコーダにてゲインを調整します。

「ポーズしています」
 「エンコーダでゲインが設定できます」
 「再開するにはマクロキーを押してください」

5) **マクロ** マクロの再開をします。
 ポイント2が入力されます。

ポイント3の入力準備をします。

登録されているキー操作の実行が終わると、画面上部の**マクロ実行**が消え、マクロを終了します。

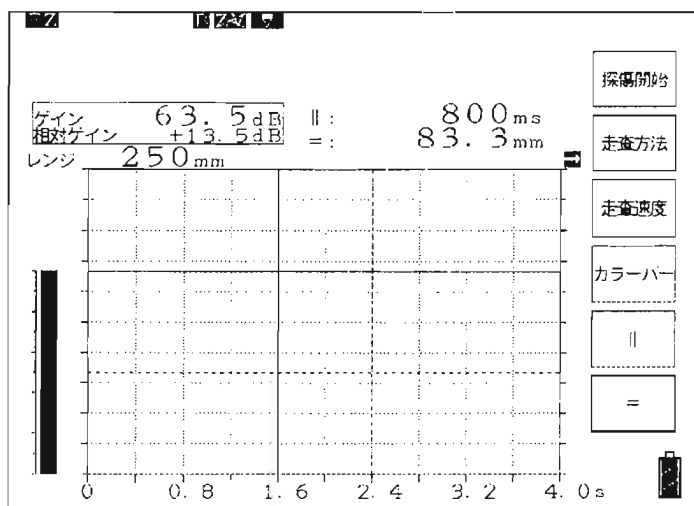
この例の場合、マクロ機能使用しない場合と使用した場合では、

	マクロ機能使用しない場合	マクロ機能使用した場合
操作するキーの種類	5種類	2種類
操作回数	10回	6回
その他		次の操作についての簡単な指示が表示される

となります。

4. Bモード表示機能

- ・ Bモード表示時は縦横のカーソルにて走査幅等の計測が可能です (Bモードキャリパ機能)
- ・ エンコーダの接続が可能です

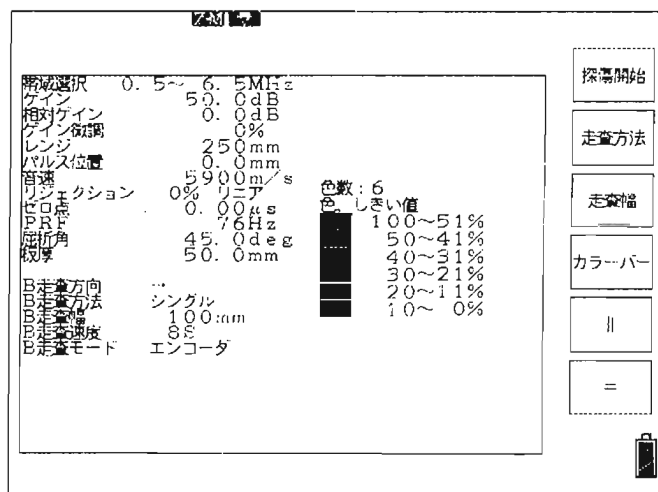
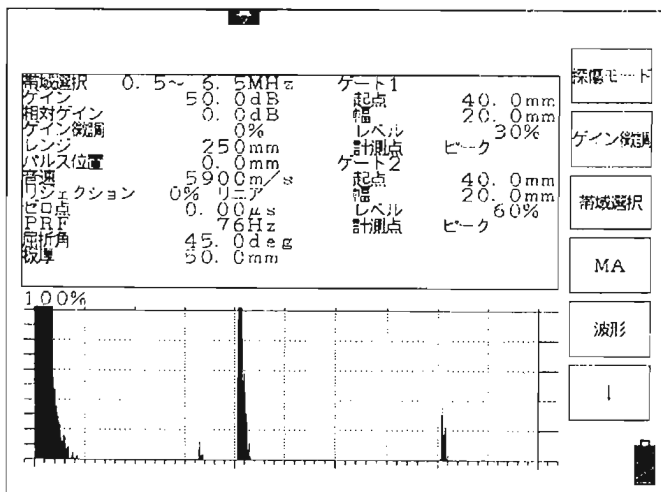


5. 探傷調度表示

- ・ ワンタッチで現在の探傷調度一覧表示ができます

Aモード表示時

Bモード表示時



6. 各種エコー高さ区分線、DAゲート機能、マルチポイントDAC (距離振幅補正) 機能

- ・ JIS、ASME、RAIL対応の各種エコー高さ区分線を標準装備しています
- ・ DAゲートと通常ゲート各1が同時に使用できます
- ・ 最大16ポイント入力可能なマルチポイントDAC (距離振幅補正) 機能を標準装備しています
 DAC有効範囲は約800 mm (鋼中縦波換算) で、最大補正量は30 dBです。

sonoStar-100 仕様

- 1 探傷周波数範囲
0.4～20 MHz
- 2 設定レンジ
10mm～10,000mm (12段階設定)、(鋼中縦波換算)
- 3 パルス位置設定範囲
-1.7～845 usec (-5～2,500 mm / 鋼中縦波換算)
- 4 測定範囲 (探傷波形取り込み可能範囲)
0～5.845 msec (0～17,300 mm / 鋼中縦波換算)
- 5 音速設定範囲
1,000～20,000 m/s (10m/sステップ)
- 6 PRF
約10～1.2KHz
- 7 ゲイン調整範囲
総合 110 dB (0.5 dBステップ)
ゲイン微調整 約0～6 dB
- 8 表示器
7.2インチ カラー液晶 (640 x 480 画素)
- 9 ゲート機能
 - ・ 2ゲート
 - ・ D/Aゲート機能可
 - ・ 警報ブザー、警報ランプ付
- 10 リジェクション機能
リニア/ノンリニア リジェクション 切替可、
リジェクションレベル : 0～99 % (1%ステップ)
- 11 DAC
マルチポイント方式
- 12 波形表示
ドット表示 / ライン表示 / 塗りつぶし表示 切替可
- 13 ズーム機能
スプリット表示機能およびズームエリア内の波形拡大表示可能
- 14 MA表示機能
可
- 15 オーバーレイ機能
記憶波形との重畳表示可
- 16 探傷波形記憶機能
Aモード 240波形 (探傷調度含む) の記憶可能
- 17 Bモード
Bモード表示機能可能。
- 18 プリンター出力
標準プリンタ (ESC/P) 接続可 (25ピンD-SUBコネクタ)
- 19 外部通信機能
RS-232C
通信プロトコルは取説にて公開

20 電源・電池

- ・ 専用ニッケル水素電池パック
- ・ 充電器ACアダプタ機能により、充電中に駆動可

21 動作時間

4 h以上

22 外形寸法

本体 : 234 x 193 x 77 mm (W x H x D)、
突起部・ハンドル含まず

23 重量

本体 : 2.7 kg (電池パック含む)

エクスロン・インターナショナル(株)の商品説明
YXLON International KK

エクスロン・インターナショナル(株)
営業部
相田 健二

概 要

エクスロン・インターナショナル(株)は、1998年フィリップス(株)より工業X線装置事業部が完全独立し、世界の総合X線検査機器メーカーとしてドイツ、デンマーク、アメリカに誕生しました。日本では日本フィリップス(株)がエクスロン製品を販売してきましたが、日本も素早く顧客様に良い製品を販売させて頂くために、昨年12月に国内現地法人を設立しました。エクスロンは、フィリップス社、アンドレックス社、ルミネックス社を合体した新しい企業です。エクスロンは工業用X線非破壊装置の専門メーカーを目指します。

1. まえがき

エクスロンの商品構成は、可搬式X線検査装置”MGシリーズ”、携帯式X線検査装置”SMA RTシリーズ”、マイクロフォーカスX線検査装置”MXFシリーズ”、X線テレビ検査システム、画像処理装置、その他装置を揃えております。

2. 各商品について

2-1・可搬式X線検査装置”MGシリーズ”

MGシリーズは”コンスタントポテンシャル方式”を採用し、動力電源の商用周波数を40KHzの高周波に変換しているために非常にリップルの少ない安定したX線が得られる装置です。

制御器MGC41は、マイクロプロセッサを積載し簡単に操作が出来るようにし、あらゆる検査ラインに対応出来る制御器で、自動化にラインに使用することも可能です。

MGシリーズは、100KVから450KVまで6機種9タイプを準備しています。

【写真1. MG165/4.5タイプ】

主な特長。

1. 衝撃に強いマルチラミックX線管を全て使用しています。検査用途により各種選択ができます。
2. 高周波平滑方式のため、非常に安定したX線がえられます。
3. 管電圧の出力範囲が大きいので、軟X線から硬X線まで1台でカバーします。
4. 管電流の出力範囲も大きいので、低感度の各種映像センサーにも使用することができます。
5. 大出力を持ちながら装置の設置スペースを取りません。

主な仕様。

装置名	管電圧出力(KV)	管電流出力(mA)	X線管焦点(mm)
MG103	5~100	* 0~60	**0.4~3.0
MG121VF	10~120	0~2	0.07~0.3
MG165	7.5~160	* 0~45	**0.4~3.0
MG226	10~225	* 0~30	0.6/2.0
MG325	15~320	* 0~40	**0.8~3.5
MG452	20~450	* 0~30	**1.0~4.5

* パワーサプライのタイプにより管電流は制限されます。

** X線管の種類により、焦点寸法が違います。

2-2・携帯式X線検査装置” SMARTシリーズ”

SMARTシリーズは携帯式では珍しい”コンスタントポテンシャル方式と100KHzの高周波を採用し、小形・軽量を達成した。また、巻線トランスを積載していないため衝撃によるズレの心配がありません。

160KV出力のSMART160Wは、焦点が0.4mmで水冷式のため検査現場にてテレビ透視検査の線源としても利用できます。

制御器は、マイクロプロセッサを使用し現場における操作が簡単に出来るようにしました。

SMARTシリーズは、160KVから300KVまで4機種を準備しました。

【写真2. SMART300】

主な特長。

1. 衝撃に強いケラミックX線管を使用しています。
2. 高周波平滑方式のため、他の方式の携帯式と比較して線量が多く透過能力がよい。
3. 管電圧の出力範囲が広いので、1台の装置で多くの検査範囲をカバーします。
4. 管電流値はイソワット回路により自動制限されるので過負荷の心配がありません。
5. 焦点が小さいので、FFDを短くできるので検査時間を短縮できます。

主な仕様。

装置名	管電圧出力(KV)	管電流出力(mA)	焦点(mm)
SMART160W	10~160	0.5~6.0	0.4
SMART200	60~200	0.5~4.5	1.6
SMART225	70~225	0.5~4.0	1.6
SMART300	90~300	0.5~3.0	1.6

*1. SMART160W以外の装置は、全て空冷式。

*2. SMART200タイプには、全角度放射タイプも用意。

2-3・マイクロフォーカスX線検査装置” MXFシリーズ”

MXFシリーズのマイクロフォーカスは解放管式を採用し、色々な検査方法に対応するアタッチメントを用意しました。

用途は半導体、電子部品、航空機部品、ビーム溶接、細管の内部線源、その他の各種製品の検査。

制御器は、マイクロプロセッサを使用し面倒なエージング、ビーム調整は自動制御としています。

MXFシリーズは、100KVから320KVまで6機種を準備しています。

【写真3. MXF225】

主な特長。

1. 反射式ターゲット、透過式ターゲット、ロッドアノードターゲットを用意しました。
2. オートフォーカス機構により、最適な焦点を一定に保ちます。
3. マイクロプロセッサ制御のため、面倒な真空管理、エージング、ビーム調整は自動制御式です。
4. 管電流値はイソワット回路により自動制限されるのでターゲットへの過負荷がありません。

主な仕様。

装置名	管電圧出力(KV)	管電流出力(mA)	焦点(μm)
MXF100	10~100	0~1	<2
MXF160	10~160	0~1	<3
MXF200	20~200	0~1	<3
MXF225	20~225	0~1	<3
MXF280	30~280	0~1	<15
MXF320	30~320	0~1	<20

2-4・X線テレビ検査システム

プラスチックからアルミダイキャスト、鋳造品、溶接部のリアルタイム検査ために各種テレビ検査システムを用意し、エクソンの各種X線装置を用途により選んでテレビ検査の線源として使用することが出来ます。

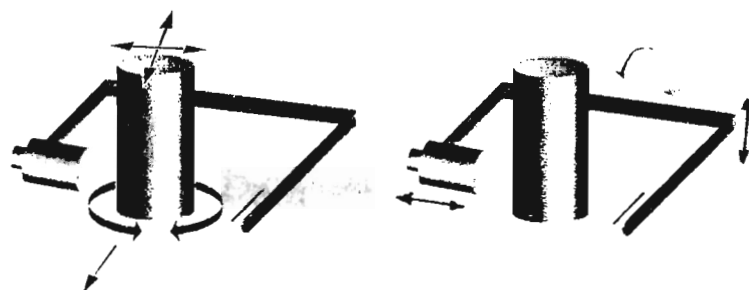
今回は、小形から大型のアルミダイキャスト、鋳物品までカバーするMU2000を紹介します。

5軸電動駆動、1軸手動駆動の計6軸で制御される試料テーブル使い小形から大形の検査品をあらゆる方向から透視検査が出来るシステムです。オプションにより、PCNCタイプを使用すれば検査したい位置を全自動でセッティングと自動判定の検査ができます。

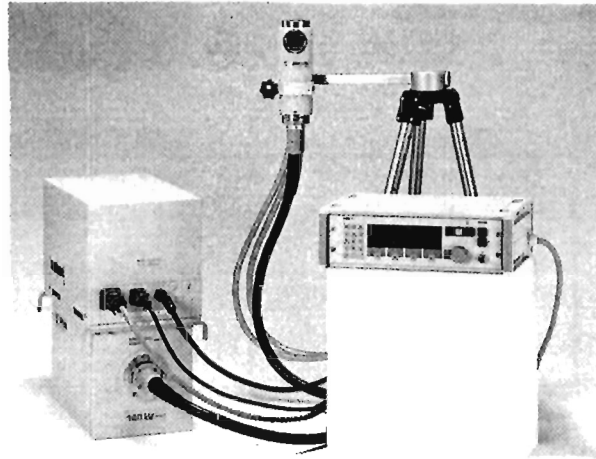
焦点が0.3mmのメタルセラミックX線管MCN168を使用しますので、幾何学的拡大も充分にとれますので画像処理ソフトと合わせて、小さい欠陥も簡単に検出することが出来ます。

MU2000の主な特長

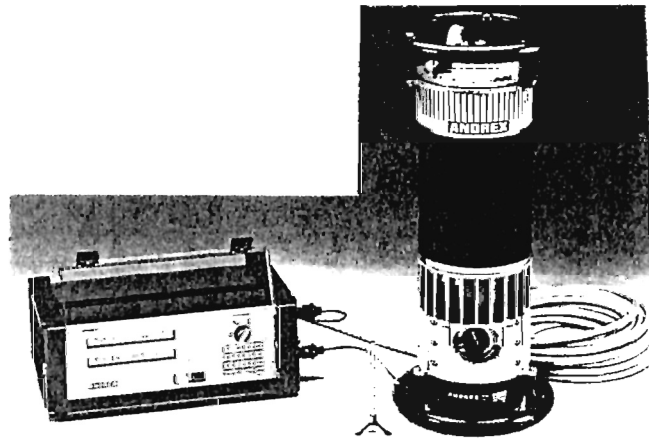
1. 9/7/5インチの3段階視野のイメージインテンシファイを使用するため、大きな検査視野の確保と透視像の電子ズームアップもできます。
2. 測定できる最大検査物は $\phi 600\text{mm}$ 、高さ 900mm 、重さ 60Kg まで検査ができます。
3. 大形の検査物を試料テーブルに積載しやすいように、試料テーブルがX線防護ボックスの外部に電動で搬出される機構を標準装備しました。
4. システム設置に大きなスペースを必要としません。設置面積は 8.5m^2 です。
5. 幾何学的倍率を更に大きくしたい場合は、X線管MCN121(焦点 $70\mu\text{m}\sim 300\mu\text{m}$)を使用することが出来ます。
6. X線管、イメージインテンシファイは、Cアームに固定されており大形の検査品でも試料テーブルに固定しないでもCアームにより簡単に上下斜め方向からでも検査が出来ます。



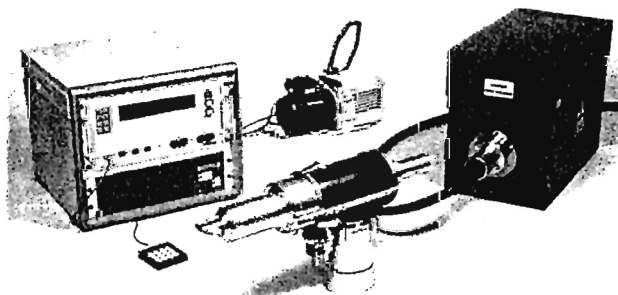
【図1 MU2000の駆動軸】



【写真1. MG 165/4.5タイプ】



【写真2. SMART 300】



【写真3. MXF 225】

非破壊検査に関する検査・測定事例

- 1) 管内走行診断装置（モグラ）のフィールドサービス例の紹介
- 2) 広領域配管検査装置（Thru VU）のビデオ紹介

（株）シーエックスアール 藤岡 克美
小早川 孝

1. はじめに

一般に石油化学、ガス、電力プラント等の配管では、地中埋設管とか高所配管、保温配管など種々あります。これらの配管に対して、従来の管外面から検査を行う方法では掘削作業、足場掛け作業、保温解体作業及び復旧作業など付帯工事に多大な労力とコストを要するとともに、管内面の状況を直接観察・確認できないというもどかしさがありました。このような状況を背景に、配管内を走行し配管内から検査する装置が望まれていました。

当社ではそのようなニーズに応える為、低コストかつ高効率に配管検査を行う検査技術の開発をテーマとして掲げ、自社開発、共同開発及び開発した装置によるフィールドサービスを行ってまいりました。

以下、その中の一例として、管内走行診断装置（モグラ）について紹介致します。また、一方では、配管の腐食損傷、詰まり状況を運転中又は配管の一部を取り外すことなく確認したいというニーズもあり、この為に開発した広領域配管検査装置（Thru VU）についてもビデオ紹介を致します。

2. 管内走行診断装置（以下モグラとします）

2.1. 特徴

装置の種類によって異なりますが、総合しますと以下のような特徴があります。

- 1) エルゴ、レジャー、垂直管など配管すべてに対応
- 2) 溶接余盛、付着物等の障害を乗り越えて走行
- 3) 姿勢制御機構によりノズル、枝管等を避けて走行
- 4) レンズ首振り機構により直視、側視の詳細観察
- 5) 走行距離、視向角、走行装置角度表示による位置の特定

2.2. 仕様

- 1) 一般配管向けモグラ仕様を表-1に示します。

管内を走行するタイプのもは、標準自走型、多連結自走型、直動自走型の3種類です。それぞれが走行可能な管の内径及び形状はここに示されています。

- 2) 特定配管向けモグラ仕様を表-2に示します。

この表に示すモグラは特定用途の為に開発し、大体が客先に納めたものです。このように、特定の目的で使いたいとの要望がありましたら製作納品も可能です。

2.3. 走行機構形態の概要

- 1) 駆動走行方式（受動式）

各機種 of 走行機構形態は図-1に示すリンク構造型とベース連結型の2種類に分類されます。いずれも管内壁に対して車輪を押し付け、その車輪をモーターで回して走行します。

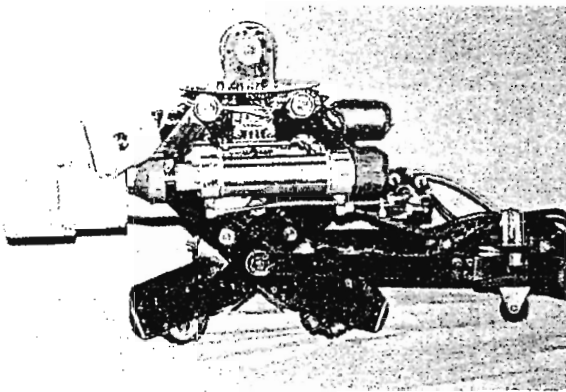
表-1 一般配管向けモグラ仕様

対象		一般配管		
機種		標準自走型 (I I I D-S)	多連結自走型 (I I I D)	直動自走型
型番号		A0810 A1214 A1618	A06/08 A12/16	A2032
構造		リンク構造型	ベース連結型	ベース連結型
駆動方式		3軸駆動 (ステアリング付き)	3軸駆動 (ステアリングなし)	3軸駆動 (ステアリングなし)
適用管形状	適用内径	200~470mm	145~223mm 290~420mm	480~600mm
	エルボ	1.5DR	1.5DR	1.5DR
	その他の形状	ビューサ 枝管、垂直管 (昇降)	ビューサ 垂直管 (昇降)	垂直管 (昇)
検査線長 (m/最大)		30	30	30
検査機能		目視(前方向、 回転側方視)	(1)目視(前方向、回転側方視) (2)内面凹凸測定(レーザービームライン)	

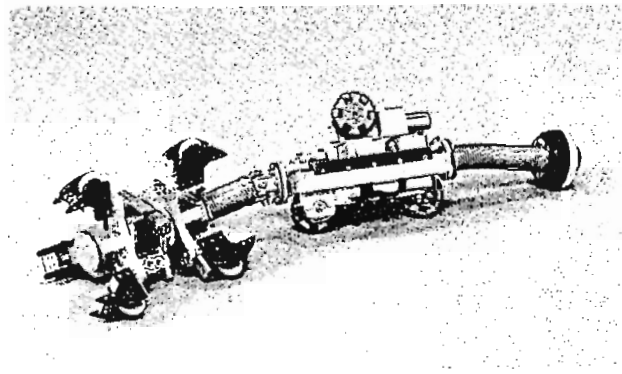
表-2 特定配管向けモグラ仕様

対象		特定配管		
機種		コンベクション チューブ	水銅鋼管	管内清掃 ロボット
型番号		AR050	—	—
構造		ベース連結型	能動的制御方式	ベース連結型
駆動方式		3軸駆動 (ステアリング なし)	3軸駆動 (ステアリング なし)	3軸駆動 (ステアリング 付き)
適用管形状	適用内径	110~130mm	450~700mm	550~700mm
	エルボ	—	1.5DR	1.5DR
	その他の形状	180°ベント (SR)	ビューサ 垂直管(昇降) 海老管	枝管、垂直管 (昇降)
検査線長 (m/最大)		100	40	30
検査機能		(1)目視(前方向、 回転側方視) (2)内面腐食深さ 測定(レーザービ ーム変位計)	(1)目視(前方向、 回転側方視) (2)ピンホール検 査	目視(前方向首 振り回転)

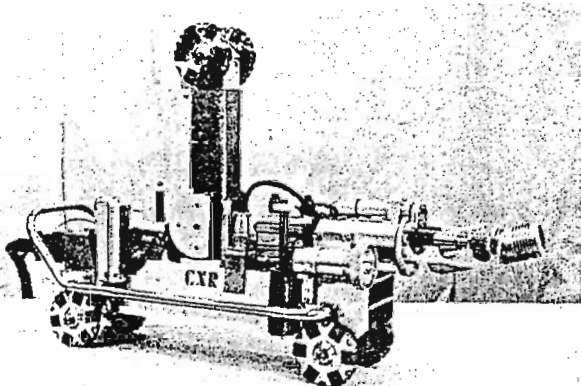
代表的なモグラの外観写真



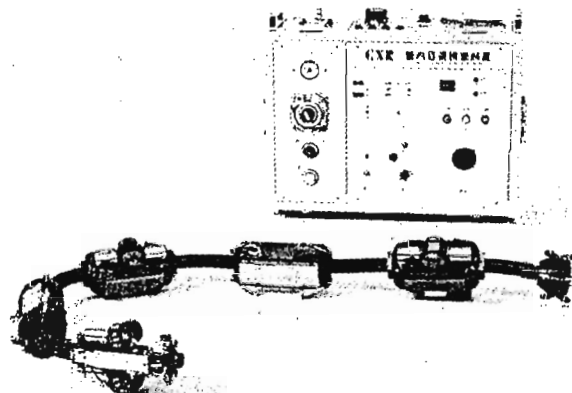
標準自走型ロボット



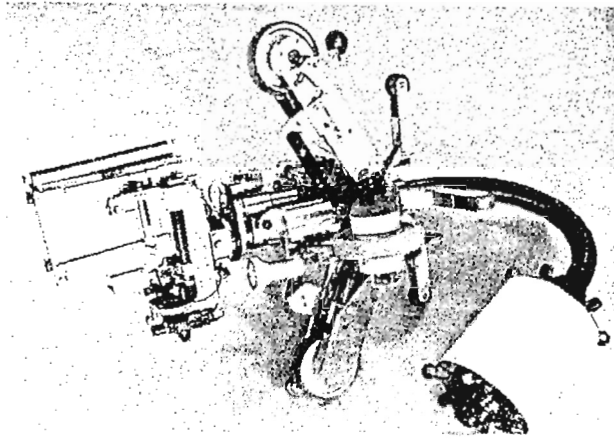
多連結自走型ロボット



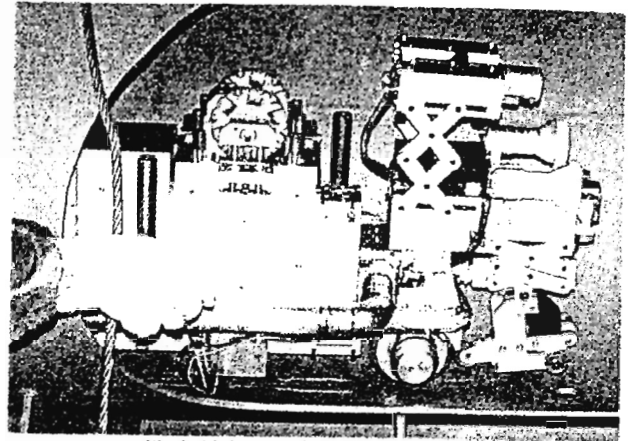
直動自走型ロボット



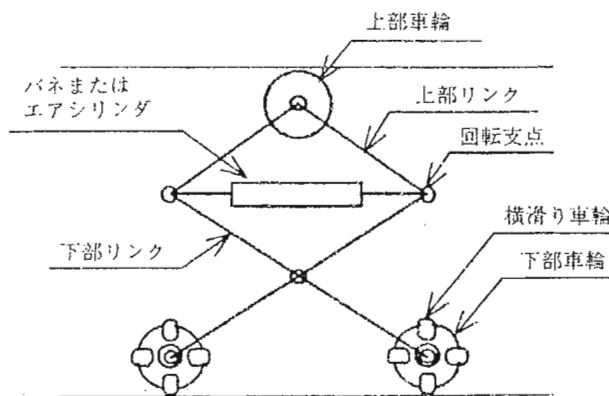
コンベクションチューブ検査ロボット



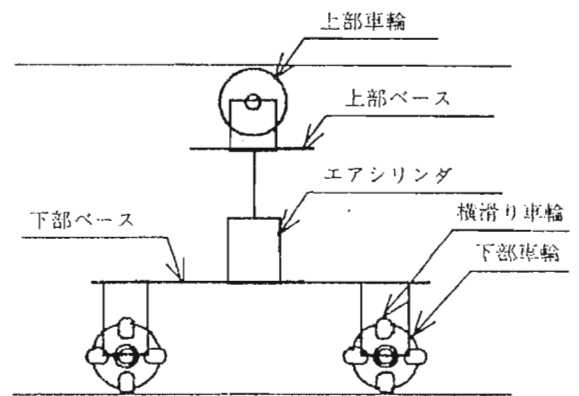
水道鋼管用塗装ロボット



管内清掃ロボット



リンク構造型



ベース連結型

図-1：駆動走行方式（受動式）

2) 駆動走行方式（能動式）

図-2に示すように、管周4方向に伸びたアームの先端部に車輪が取り付けられている構造でそのアームの軸心からの開き角度(θ)を制御パラメータに利用します。機構が傾くとその方向のアーム開き角度(θ_1)が他のアームの開き角度より小となるので、その車輪の回転速度を早くする制御により姿勢を保って走行します。

2.4. 構造図

標準自走型の構造図を図-3に示します。エアシリンダーで伸縮できるリンク構造のフレームに下部車輪と上部車輪が付いた機構です。

上下の車輪を管壁に突っ張りこの車輪を駆動することで走行します。

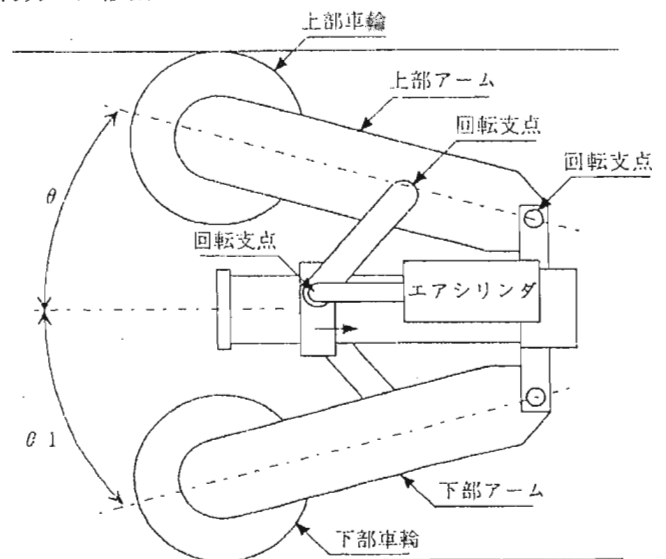


図-2：駆動走行方式（能動式）

2.5. 全体構成図

全体構成図の一例を図-4に示します。この図は株式会社 大阪ガス殿の御依頼で 40 台ほど納品したものです。一般配管にも適用可能でいろいろと使用しております。いずれのモグラもこれとは多少異なりますがほぼ同じような構成になります。つまり、

- ・管内を走行して行く検査ロボット本体
 - ・それを操作するコントローラ
 - ・目視映像を見る為のモニター
 - ・コントローラとロボット本体を結ぶケーブル
 - ・エアシリンダに圧縮空気を供給するコンプレッサ
- で構成されます。

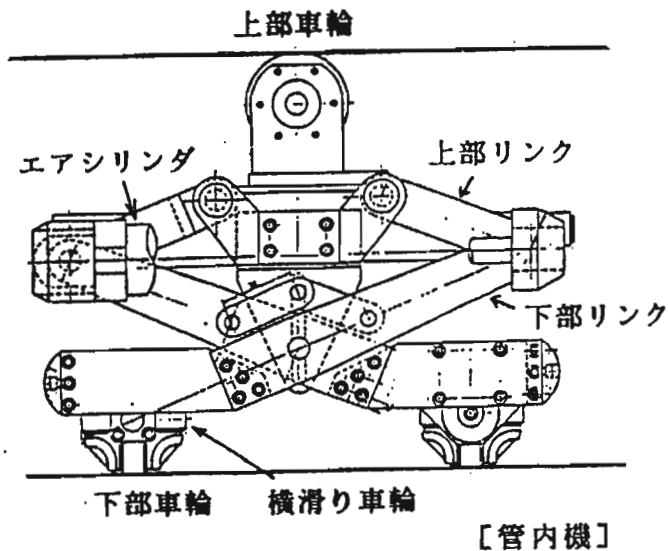


図-3：標準自走型の構造図

2.6. フィールドサービス例の紹介

(株)シーエックスアールが実施したフィールドサービスの中からいくつかピックアップして、OHPで紹介致します。

- 1) 火力発電所の主蒸気管への適用例
管内面スケールの付着・剥離状況

及び腐食・減肉状況の確認を目的とした適用例です。

エルボ部のエロージョン減肉と配管内面のスケール剥離を確認することが出来ました。

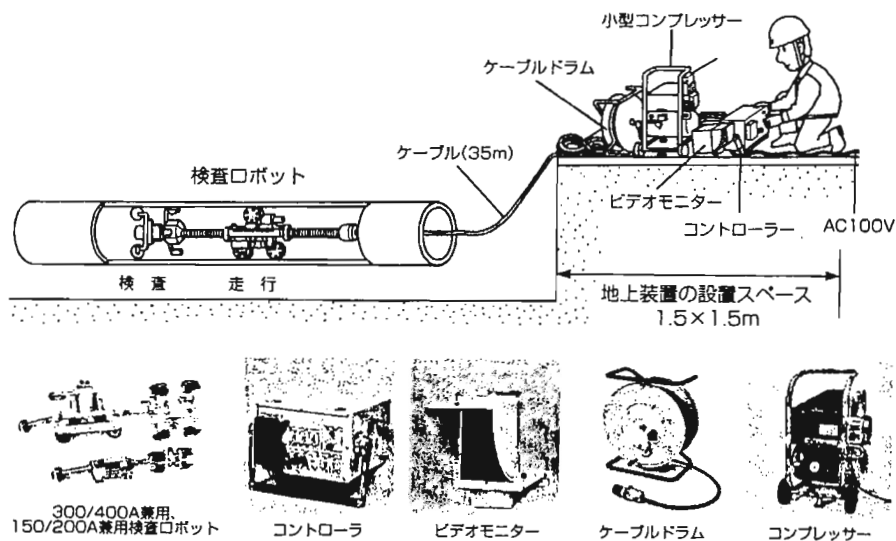


図-4：モグラの全体構成図（多連結自走型）

- 2) 石油化学プラントのコンベクションチューブへの適用例

石油化学プラントのコンベクションチューブに適用できるよう 2 個の 180 度リターンバンドを通過できるようになっているのが特徴で、最小の切断箇所数で映像目視観察が可能となりました。また、レーザービーム変位計により腐食深さを定量的に測定できました。

- 3) 長期間使用後の水道鋼管への適用例

長期間使用後の管内面状況確認を目的とした適用です。

水道鋼管の管内面及び工場での管周溶接部内面はライニング皮膜が施されていますが、現場溶接部内面はライニングされないまま使用されています。

観察結果、現場溶接部内面に錆瘤を確認することができました。

3. 広領域配管検査装置（以下スルーVUとします）

この装置は各種プラント配管の腐食状況を、配管環境によらず測定することを目的とします。

3.1. 特徴

- 1) 保温材の撤去を必要としません。
- 2) 内容物の有無を問いません。
- 3) 足場仮設が最小限で済みます。
- 4) 検査の工程計画が容易です。
- 5) 1～1.5 m/分 程度の高速検査が可能です。

3.2. 検査原理

検査原理は通常の放射線透過試験と同様であり、フィルムに替わってセンサーアレイを使用し、対象物を透過した放射線量を測定しながら管軸方向に移動し、Cスコープ画像にて結果を表示するものです。

3.3. 仕様

スルーVUの標準仕様を表-3に示します。

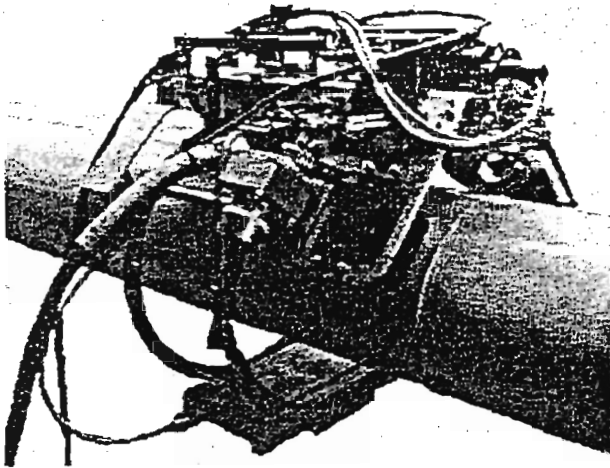
3.4. 装置の構成と運用

装置は線源+アレーセンサー部、ノート型コンピューター、インターフェースユニットを標準構成とし、走行装置については水平配管用（8B～24B）が運用可能で、2B～8B未満の小径配管については、線源+アレーセンサー部を牽引機で牽引します。図-5に装置の構成を示します。また、水平配管以外の垂直配管、エルボ部等の検査装置については開発中です。

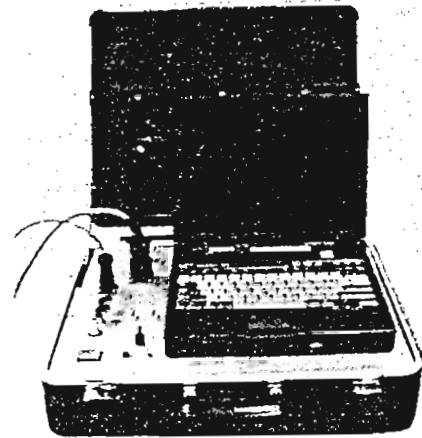
ガンマー線源は、イリジウム192又はコバルト60を使用しますので法的手続き及び資格者が必要であり、放射線管理区域を設定する必要があります。

表-3 スルーVUの標準仕様

検出限界	$\phi 8 \times 2.0 \text{ mm}$ （6B～16B油入管）	
	$\phi 5 \times 1.0 \text{ mm}$ （6B～16B気体又は内容物無し）	
適用配管径（保温材を含む径）	2B～24B（20B以上は保温材の無い状態のみ適用可能）	
走行速度（スキャン速度）	1.5 m/分（MAX）	
走行距離	線源装置の制限から 5m程度/回	
1日当たりの平均検査範囲	60m（照射方向は1方向に限定し、高所や管路が複雑なものは別途）	
配管長手方向位置情報	スキャナー走行距離をエンコーダにて取り込み表示	
配管別使用放射線源	2B～18B： ^{192}Ir 20～24B： ^{60}Co	
現状機構	対象配管	水平配管
	クリアランス	左右50mm、上部約200mm、下部100～200mm
	接近限界	センサー前後200mmが機構形状により接近限界となり検査不可
	重量	8kgf
	ケーブル長さ	30m
ユーティリティ	AC100V（エアモーター使用の場合はエア源）	



走行装置



制御装置

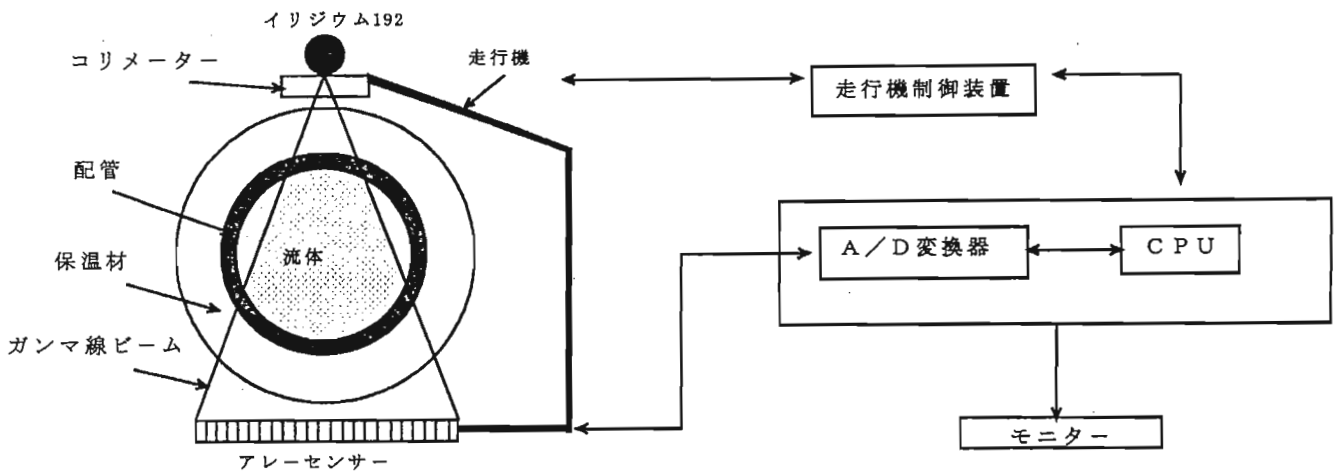


図-5：装置の構成

3.5. スルーVUの基本検査フロー

センサーに到達する透過線量は、配管を取り巻く保温材の状況、配管内容物、スケールの付着状況、散乱線等によって変化します。したがって、同じ配管であってもこれら配管を取り巻く環境が異なれば得られるCスコープ画像も異なり、測定誤差の原因となります。測定誤差を出来るだけ小さくする為、図-6に示すようなスルーVUの基本検査フローとしています。

3.6. 超音波肉厚測定結果とスルーVU Cスコープ画像との比較

図-7に超音波肉厚測定結果とスルーVUのCスコープ画像との比較結果を示します。配管外面に腐食減肉があり、1個所に貫通部が認められていました。超音波肉厚測定を10mmピッチで行いその結果を分布図にしたものとスルーVUのCスコープ画像とは良く一致していました。

3.7. フィールドサービス例の紹介

スルーVUのフィールドサービス例をビデオで紹介致します。

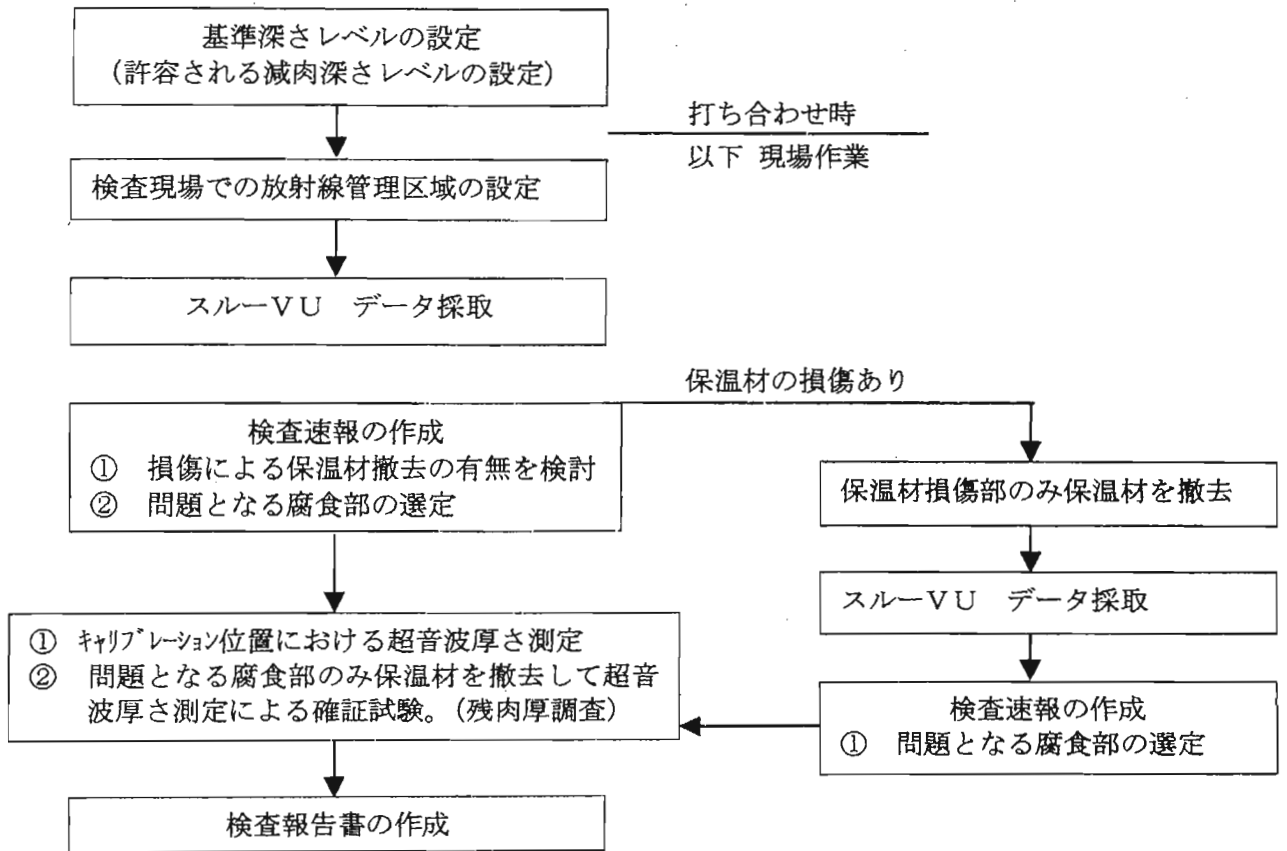


図-6 スルーVUの基本検査フロー

超音波測定とThru-VU画像比較例(68.72%保温材内容物6L)

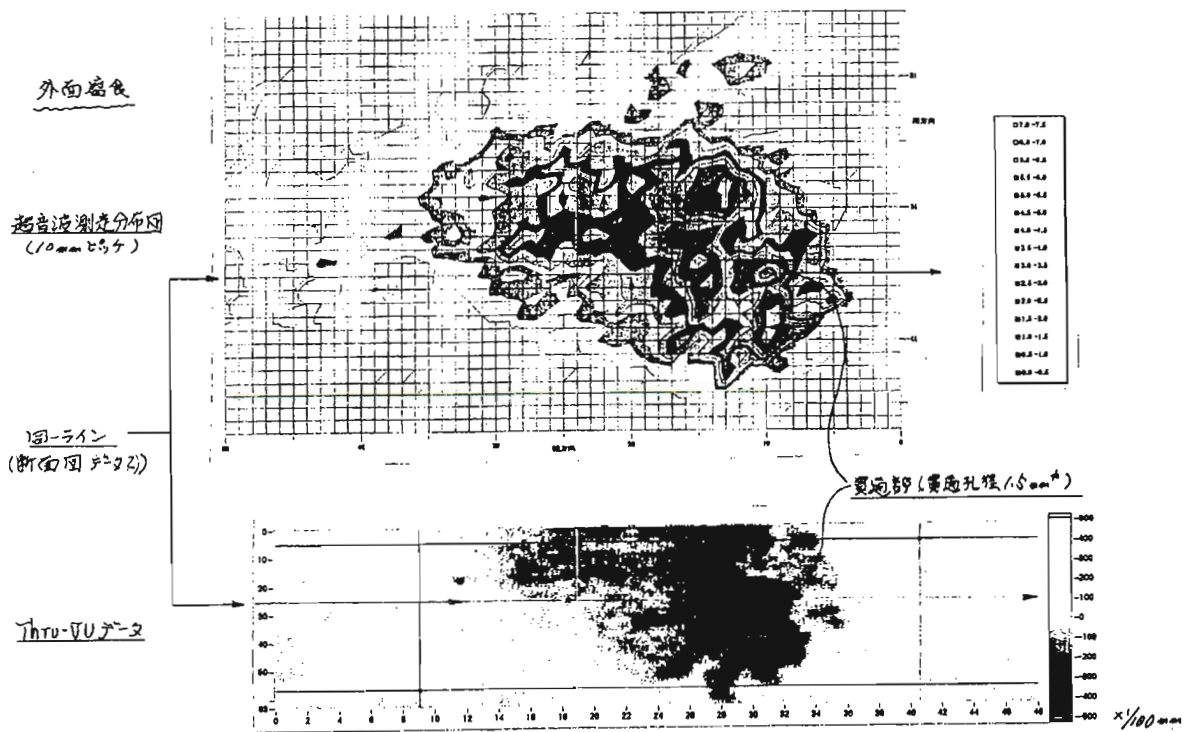


図-7 超音波肉厚測定結果とスルーVU Cスコープ画像との比較

4. おわりに

管内走行診断装置（モグラ）及び広領域配管検査装置（スルー VU）の概要と適用例を簡単に紹介致しました。モグラによる配管内面からの検査は、従来の配管外面からの検査では得られない直接映像情報が得られます。この直接映像情報をもとに、より有効な検査手法又は処置方法の選択が可能となります。

又スルー VUによる配管外面からの検査は、使用中の在液配管であっても、又保温材があっても、その内外面を同時に検査することが出来ます。そして、Cスコープ画像から問題のある箇所を簡単に検出することが出来ますし、データがデジタル化されている為簡単に記録の作成や保存が出来ます。

これらの検査によって最初に述べたように 付帯作業－掘削、足場掛け、保温解体復旧などを大幅に減らしコストを削減することが可能です。

しかしながら、改善しなければならない点もいくつかあります。例えば、モグラの場合は、管内面のスケールの堆積、内容物の残留等による走行距離の低下、適用できる管の内径範囲の拡大、ロボットができる検査メニューの拡張など、又スルー VUの場合は、垂直配管、エルボ部の検査を可能にすること、減肉深さの測定精度向上、適用できる管の外径範囲の拡大、線源の種類が多様化、走行装置の構造簡素化などです。

今後 改善・改良を加えながらより速くて正確、安くて安全な検査が出来るものにして行きたいと考えています。

概 要

現行JIS Z 3060が1994年に改正され5年経過した。この間の超音波探傷試験技術及び機器の進歩、関連業界からの改正の要望並びに国際規格との整合化を図ることを目的として改正作業を行った。

主な改正点は、①探触子の周波数及び屈折角の使用範囲を拡大した。②感度調整用の試験片は横穴を主とし、縦穴を従とした。③音響異方性の検定を廃し、新たにSTBとの音速比から探傷屈折角を算出する手法を取入れた。④きずの指示高さの測定方法を附属書8に参考として取入れた。

1. 改正の趣旨

現行の「鋼溶接部の超音波探傷試験方法」は1994年に改正が行われ5年経過した。この間の超音波探傷試験技術及び装置の進歩、関連業界からの改正の要望等により改正の必要が生じていた。また、工業技術院の工業標準化制度見直しの時期とも重なり、JIS規格と国際規格との整合化を図るための「ゼロベースからの点検作業」の指示に基づいて調査し、国家規格としての存続の必要性が認められた上で改正作業に着手した。

今回の改正は国際規格との整合化を図ることが主目的であるものの、改正作業着手時にZ3060に該当するISO規格が無かったため、ヨーロッパ規格の prEN 1714 (ファイナルドラフト) を参考とした。(prEN 1714は1999年11月にISO/DIS 17640 Non-destructive examination of welds-Ultrasonic examination of welded joints として各国の審議に付されている)

この様な状況下で、Z3060を適用している工業分野または日本建築学会規準のようにZ3060をベースとして作成されている団体規格等に与える影響を極力低減し、かつ混乱無く国際規格に整合させ、Z3060の利便性と長所を今後とも継続可能となるような観点から原案作成を行った。

2. 改正原案の構成

1. 本体
2. 附属書1 (規定) 超音波探傷装置の機能及び性能
3. 附属書2 (規定) 平板継手溶接部の探傷方法
4. 附属書3 (規定) 円周継手溶接部の探傷方法
5. 附属書4 (規定) 長手継手溶接部の探傷方法
6. 附属書5 (規定) 鋼管分岐継手溶接部の探傷方法
7. 附属書6 (規定) ノズル継手溶接部の探傷方法
8. 附属書7 (規定) 試験結果の分類方法
9. 附属書8 (参考) きずの指示高さの測定方法

附属書の(規定)は本体と同様に拘束力があるが、(参考)は拘束力がない。

* 改正原案作成委員長

3. 主な改正点 (参考資料: JIS Z 3060改正原案)

3. 1 超音波探傷器の機能及び性能

附属書1に規定を設け、探傷器及び探触子について規定した。

探傷器のDAC回路についての詳細は削除した。

2.1 探傷器に必要な機能 探傷器に必要な機能は、次による。

e) 広帯域探触子と組み合わせて使用する探傷器は、RF波形が表示又は出力できるものとする。

2.2 探傷器に必要な性能 探傷器に必要な性能は、次による。

3. 探触子

3.1 探触子に必要な機能 探触子に必要な機能は、次による。

b) 試験周波数は、公称周波数の90~110%の範囲内とする。

周波数特性が広帯域の探触子は、JIS Z 2350の5.(周波数の測定)によって試験周波数を測定し、8.(時間応答性の測定)によってピーク数を測定する。

d) 斜角探触子の振動子の公称寸法は、5×5mm以上20×20mm以下とする。標準として使用する公称寸法は、附属書1表1のとおりとする。ただし、タンデム探傷に使用する探触子の振動子の公称寸法は、特に規定しない。

e) 垂直探触子の振動子は円形とし、その公称直径は、10mm以上30mm以下とする。標準として使用する公称直径は、附属書1表2のとおりとする。

附属書1表1 斜角探触子の公称周波数と標準として使用する振動子の公称寸法

公称周波数 MHz	振動子の公称寸法 mm
2	14×14, 20×20
5	5×5, 10×10

附属書1表2 垂直探触子の公称周波数と標準として使用する振動子の公称直径

公称周波数 MHz	振動子の公称直径 mm
2	20, 28
5	10

3.2 斜角探触子に必要な性能 斜角探触子に必要な性能は、次による。

a) 接近限界長さは、附属書1表3に示す値以内とする。ただし、タンデム探傷に使用する探触子の最小入射点間距離は、公称周波数5MHz、公称屈折角45°探触子の場合で20mm以下、70°の場合で27mm以下、2MHz、45°の場合は25mm以下とする。

附属書1表3 接近限界長さ

振動子の公称寸法 mm	接近限界長さ mm
20×20	25
14×14	20
10×10	15
5×5	7

b) 公称屈折角は、40°、45°、60°、65°又は70°とする。

c) SN比は、使用する探傷器と組み合わせてH線に対するノイズレベルを測定し、使用するビーム路程の範囲で22dB以上とする。

3. 2 探触子

使用できる探触子の周波数範囲を2MHz以上5MHz以下の範囲とし、標準として使用する探触子の周波数を2MHz及び5MHzとした。

屈折角は40° 45° 60° 65° 70° に拡張し、探触子の使用規制を取り除き諸外国の制定動向に合わせた。なお、屈折角65° を使用する場合は感度調整はM線に合わせることにした。また、RF波形の表示可能な探傷器では広帯域型探触子の使用も可とした。

探触子の感度余裕値の記述を廃し、SN比で表すことにした。

7.3 周波数の選定 使用する公称周波数は、2MHz以上5MHz以下とする。標準として使用する周波数は、斜角探傷の場合、表2とし、垂直探傷の場合、表3とする。

なお、超音波の減衰の著しい試験体を探傷する場合には、表2、3に規定する周波数よりも低いものを用いることができる。

表2 斜角探傷に用いる公称周波数

使用する最大のビーム路程 mm	公称周波数 MHz
100以下	5
100を超え150以下	2又は5
150を超える	2

使用する最大ビーム路程 mm	公称周波数 MHz
40以下	5
40を超える	2

3. 3 感度調整用試験片

RB-4を廃止し、平板用RB-41試験片、円周継手用RB-42試験片、長手継手用RB-43試験片を新たに規定し、板厚区分と穴径を変更した。これらはISO5730を参考とした。

横穴のRB-41を主たる感度調整用対比試験片と位置づけ、諸外国の趨勢に合わせた。

ビーム路程が150mm以下では従来のSTB-A2φ4mm縦穴の使用を可とした。

5 標準試験片及び対比試験片

5.1 標準試験片 この規格で使用する標準試験片(STB)は、JIS Z 2345に規定するA1形標準試験片、A2形系標準試験片及びA3形系標準試験片とする。

5.2 対比試験片 対比試験片(RB)は、感度調整のために使用する。

a) RB-41

1) RB-41は図1に示す形状で、表1に示す寸法とする。

表1 RB-41の寸法

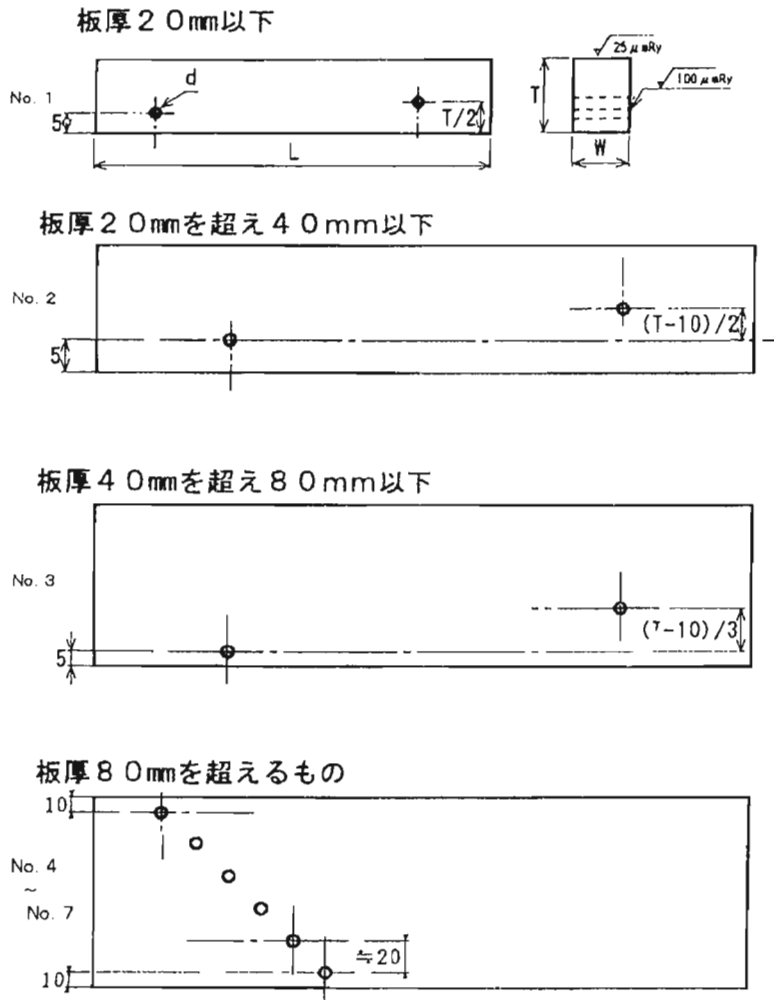
単位：mm

試験片の 番号	試験体の厚さ t	対比試験片の厚さ T	標準穴の直径 d
No.1	20以下	19 ⁽¹⁾ 又はt ⁽²⁾	3.0
No.2	20を超え40以下	38 ⁽¹⁾ 又はt ⁽²⁾	3.0
No.3	40を超え80以下	75 ⁽¹⁾ 又はt ⁽²⁾	3.0
No.4	80を超え140以下	125 ⁽¹⁾ 又はt ⁽²⁾	6.0
No.5	140を超え200以下	175 ⁽¹⁾ 又はt ⁽²⁾	6.0
No.6	200を超え250以下	225 ⁽¹⁾ 又はt ⁽²⁾	6.0
No.7	250を超えるもの	t ⁽²⁾	6.0

注 (1) 5.2の a) 2) 2.1)の試験片

(2) 5.2の a) 2) 2.2)の試験片

7.2.2 垂直探傷における試験片の選定 探傷感度の調整には、RB-41を使用する。使用する最大ビーム路程によって、探傷面からの標準穴の位置を選定する。



L：対比試験片の長さ

対比試験片の長さは、使用するビーム路程による。

感度補正のV透過を行う長さ又はその2倍の長さ以上とする。

T：対比試験片の厚さ

d：標準穴の直径

$$d \geq 1.5 \lambda$$

λ ：波長

W：試験片の幅

$$W > 2 \cdot \lambda \cdot S/D$$

S：使用する最大のビーム路程

D：振動子の幅

図1 RB-41

7.2 対比試験片又は標準試験片の選定

7.2.1 斜角探傷における試験片の選定 探傷感度の調整には、RB-41、附属書3図3に示すRB-A6又はA2形系標準試験片のいずれかをあらかじめ選定する。ただし、探傷面となる試験体の板厚が75mm以上の場合、又は、STB音速比の測定結果から屈折角の選定を表4の探傷屈折角とする場合はRB-41を選定する。また、使用する最大のビーム路程が150 mm以下の場合、A2形系標準試験片を選定することができる。

3. 4 音響異方性検定の削除

方向とC方向の音響異方性は今日でも存在する。しかし、実際の探傷作業においてはSTBの音速差が問題となる。改正原案では、音響異方性の検定を無くし、代わりに試験体の音速とTBとの音速比から探傷屈折角を選定する手法に改めた。
来のV透過法による探傷屈折角の算出法にSTB音速比による算出法を追加した。

7.8 STBとの音速比の測定

7.8.1 STB音速比の測定条件 STB音速比の測定条件は、下記とする。

- 測定対象部位は、探傷箇所とする。
- 測定時期は、溶接後でかつ探傷時の温度と同程度の状態で行う。
- 探傷箇所当たりの測定箇所は、1箇所とするが、試験体の状況によりそれを追加することができる。

7.8.2 STBとの音速比の測定装置 STBとの音速比の測定装置は、次による。

- STB音速比 (V/V_{STB}) の測定には、板厚又はビーム路程を有効数字が3けた以上の精度で測定できる超音波装置（横波垂直探触子及使用できる超音波厚さ計又は超音波探傷器）及び試験体中に横波を垂直に伝播させる横波垂直探触子を使用する。
- 板厚の測定は、有効数字が3けた以上の精度で測定できる縦波探触子（縦波垂直探触子又は二振動子形縦波垂直探触子）を使用する超音波厚さ計又は寸法測定器を使用する。
- 横波垂直探触子には、振動方向を表示する。
- 横波垂直探触子による測定には、横波用の接触媒質を使用する。

7.8.3 使用する試験片及び試験体 STB音速比の測定は、下記を使用する。

- A1形標準試験片、A2形系標準試験片又はA3形系標準試験片のいずれかを使用する。

7.8.4 試験体の探傷方向の確認 STB音速比の測定に先立ち、探傷方向とL、C及びQ方向の関係を横波垂直探触子と超音波厚さ計又は超音波探傷器との組み合わせで確認する。探傷方向がL又はC方向の場合及び方向による差異がない場合には、7.8.5、7.9及び7.10.1の方法によるが、Q方向の場合には7.10.2の方法による。

7.8.5 STB音速比の測定方法 STB音速比の測定は、下記のいずれかの方法によって行う。

- 超音波厚さ計による場合 縦波探触子を使用する超音波厚さ計又は寸法測定器により測定した試験体及びSTBの板厚をそれぞれ t_v (mm)、 t_{sv} (mm) とする。また超音波厚さ計に使用する横波垂直探触子の振動方向が、試験体の探傷方向と一致するようにして得られた板厚及びSTBで得られた板厚をそれぞれ t_s (mm)、 t_{sta} (mm) とする。これらの比を(2)式によって小数点以下3けたまで求め、これをSTB音速比とする。

$$V/V_{STB} = (t_v \cdot t_{sta}) / (t_{sv} \cdot t_s) \dots\dots (1)$$

- 超音波探傷器による場合 縦波探触子を使用する超音波厚さ計又は寸法測定器により測定した試験体及びSTBの板厚をそれぞれ t_v (mm)、 t_{sv} (mm) とする。また超音波探傷器に使用する横波垂直探触子の振動方向が、試験体の探傷方向と一致するようにして得られた第1回底面エコーのビーム路程及びSTBで得られた第1回底面エコーのビーム路程を、

それぞれ W_s (mm), W_{STB} (mm) とする。

これらの比を (3) 式によって小数点以下3けたまで求め、これをSTB音速比とする。

$$V/V_{STB} = (t_{sr} \cdot W_{STB}) / (t_{sv} \cdot W_s) \dots\dots (2)$$

7.9 音速比による屈折角の選定 STBとの音速比の測定結果から、探傷に使用する屈折角を表4に基づいて選定する。ただし、公称屈折角45度の探触子を用いて探傷する場合はSTB音速比にかかわらずSTB屈折角43°以上47°以下とする。

尚、探傷に使用する探触子の屈折角がSTBとの音速比からSTB屈折角となる場合は、探傷屈折角に置き換えてもよい。また、試験体の板厚が75mmを超える場合で、 $0.995 \leq V/V_{STB} \leq 1.005$ の場合は、STB屈折角69~71°を使用してもよい。

表4 STBとの音速比による屈折角の選定

試験体の板厚 (mm)	STBとの音速比	探傷に使用する屈折角
$6 \leq t \leq 25$	$0.990 \leq V/V_{STB} \leq 1.020$	STB屈折角63°以上72°以下
	$0.990 > V/V_{STB}$	探傷屈折角63°以上72°以下
	$V/V_{STB} > 1.020$	探傷屈折角63°以上72°以下
$25 < t \leq 75$	$0.995 \leq V/V_{STB} \leq 1.015$	STB屈折角58°以上72°以下
	$1.015 < V/V_{STB} \leq 1.025$	STB屈折角58°以上67°以下
	$0.995 > V/V_{STB}$	探傷屈折角58°以上72°以下
	$V/V_{STB} > 1.025$	探傷屈折角58°以上72°以下
$75 < t$	$0.995 \leq V/V_{STB} \leq 1.025$	STB屈折角58°以上67°以下
	$0.995 > V/V_{STB}$	探傷屈折角58°以上67°以下
	$V/V_{STB} > 1.025$	探傷屈折角58°以上67°以下

7.10 探傷屈折角の算出方法 探傷屈折角の算出は、次のいずれかによって行う。

7.10.1 STB音速比による算出

使用する探触子のSTB屈折角及びSTB音速比 V/V_{STB} から (3) 式によって探傷屈折角 θ を算出し、0.5° 単位以下の必要な詳しきで丸める。

$$\theta = \sin^{-1} \left\{ \frac{V}{V_{STB}} \sin \theta_{STB} \right\} \dots\dots (3)$$

7.10.2 V透過法による算出

探傷に使用する斜角探触子と同じ形式の探触子を用いて、試験体の探傷面上、図2に示すV走査の配置で、最大透過パルス強度が得られるように探触子位置を調整する。このときの入射点間距離 (Y) 及び実測板厚 (t) から (4) 式によって探傷屈折角 θ を算出し、0.5° 単位以下の必要な詳しきで丸める。

$$\theta = \tan^{-1} (Y/2t) \dots\dots (4)$$

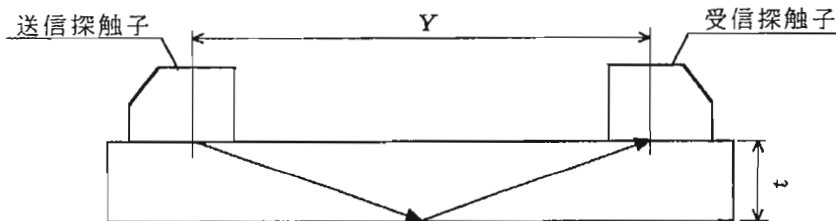


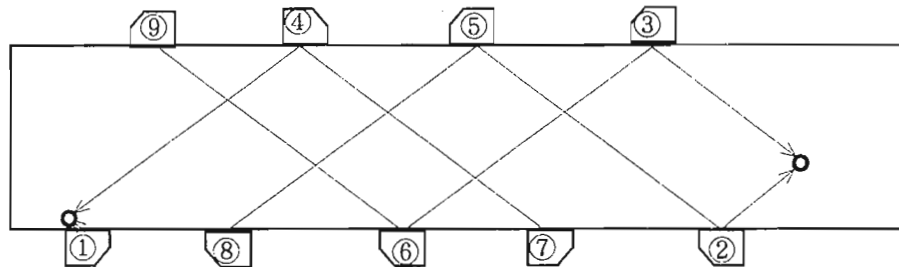
図2 V透過法の配置

3. 5 エコー高さ区分線

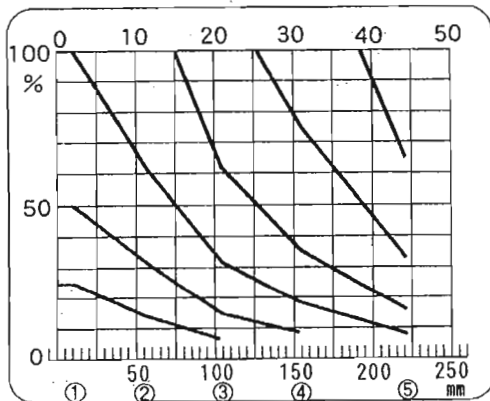
事前に描いたものでも、その差が2dB以内であれば使用可とした。また、1本のみ描くことも可とした。

8.1.4 エコー高さ区分線の作成

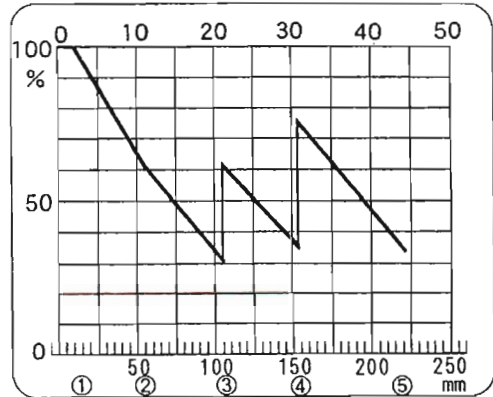
- a) エコー高さ区分線は、使用する探傷器及び探触子を用いて作成する。
 なお、使用するビーム路程の範囲のプロット点のエコー高さと事前に作成したエコー高さ区分線との差異が、 $\pm 2\text{dB}$ 以内であればこれを使用しても良い。
 作成されたエコー高さ区分線は、目盛板に記入するか表示器上に表示する。
- b) RB-41を使用してエコー高さ区分線を作成する場合は、RB-41の標準穴を用いる。A2形系標準試験片を使用してエコー高さ区分線を作成する場合は、 $\phi 4 \times 4\text{mm}$ の標準穴を用いる。
- c) エコー高さ区分線の作成に当たっては、図3及び図4に示す位置で探触子を走査し、それぞれの最大エコー高さを目盛板にプロットする。これらの各点を結び、エコー高さ区分線とする
- d) エコー高さ区分線は、目盛板の10%~100%の範囲で作成する。
- e) 最もビーム路程の短いプロット点までの範囲は水平の線とする。
- f) エコー高さ区分線の本数は、複数又は1本とし、複数の場合、6dBずつ異なるエコー高さ区分線を3本以上作成する。エコー高さ区分線を1本とする場合は、目盛板の20%~100%の範囲で作成する。1本の場合の作成例を図3の3)に示す。



1) 探触子の走査位置 試験体と同一のRB-41を使用する場合は、直射での探傷は⑥までを使用し、一回反射での探傷は⑨までを使用する。



2) 2C20×20A65, 測定範囲250mm, RB-41 No.3



3) 2C20×20A65, 測定範囲250mm, RB-41 No.3
 エコー高さ区分線の本数が1本の場合で、②及び④プロット点は6dB上げ、③プロット点は12dB上げて描いた例

図3 RB-41 No.3によるエコー高さ区分線の作成

3. 6 母材の探傷

従来の規定に評価規定及び処置規定を加え、国際的に共通した内容とした。

7.7 母材の探傷 斜角探傷時に超音波が通過する部分の母材は、必要に応じてあらかじめ垂直探傷を行う。使用する探触子は、板厚が60mm以下の場合、公称周波数5MHz、 ϕ 20mmとし、板厚が60mmを超える場合は、公称周波数2MHz、 ϕ 20mmとする。探傷感度は、健全部の第1回底面エコー高さを80%とする。きずの範囲は、エコー高さが20%を超えるものとする。きずが検出された場合、記録する。きずの範囲が100mm²以上の場合、探傷の妨害となるものとする。

探傷の妨害となるきずが検出された場合で、探傷上、問題となる場合は、必要に応じて、ビーム中心軸が溶接部全体を通過するように探傷面又は屈折角を変えて探傷するか、垂直探傷又は他の探傷方法に変えて探傷する。

3. 7 探傷装置の点検

作業開始後4時間以内ごとの点検で、条件が維持されていなかった場合の処置について規定した。

8.1.7 探傷装置の測定、調整及び点検 入射点、STB屈折角、測定範囲及び探傷感度は、作業開始時に測定及び調整する。また、これらは作業開始後4時間以内ごとに点検し、その条件を確認する。条件が維持されていない場合は、表6及び表7の処置を行う。

表6 感度が維持されていない場合の処置

変化の範囲	処置の内容
±4dB以下	再調整して作業を継続する。
4dBを超える低下	再調整し、直前の調整又は点検以降に実施した試験を再試験する。
4dBを超える増加	再調整し、直前の調整又は点検以降に実施した試験で得られたきずの指示部について再試験する。

表7 測定範囲が維持されていない場合の処置

変化の範囲	処置の内容
±2%以下	再調整して作業を継続する。
2%を超えるもの	再調整し、直前の調整又は点検以降に実施した試験を再試験する。

8.3.6 探傷装置の測定、調整及び点検時期 入射点、STB屈折角、測定範囲及び探傷感度は、作業開始時に測定及び調整する。また、これらは作業開始後4時間以内ごとに点検し、その条件を確認する。条件が維持されていない場合は、表6及び表7の処置を行う。

3. 8 接触媒質

接触媒質と遅延材又はくさびの材質がポリスチレンの組み合わせの場合、面の粗さRy100 μ m未満の場合は伝達損失の補正を必要しないこととした。

6 接触媒質 接触媒質は、グリセリンペースト、濃度75%以上のグリセリン水溶液、水、オイル又は音響インピーダンスが明らかな液体を使用する。接触媒質の種類と垂直探触子の遅延材又は斜角探触子のくさびの材質が、以下の組み合わせで使用する場合で、探傷面の最大表面粗さ(Ry)が100 μ m未満の場合は、伝達損失の補正を必要としない。

- a) 接触媒質の種類：グリセリンペースト又は濃度75%以上のグリセリン水溶液
- b) 遅延材及びくさびの材質：ポリスチレン

3. 9 探触子の接触面の加工

円周継手及び長手継手の探傷において使用する探触子の接触面の加工は行わないこととした。

付属書3, 円周継手溶接部の探傷方法

3. 使用する探触子

3.1 探触子の接触面 探触子の接触面の曲面加工は行わない。

付属書4, 長手継手溶接部の探傷方法

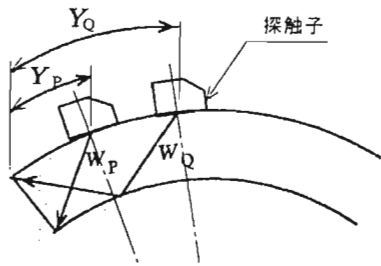
4. 使用する探触子

4.1 探触子の接触面 探触子の接触面は平面とする。

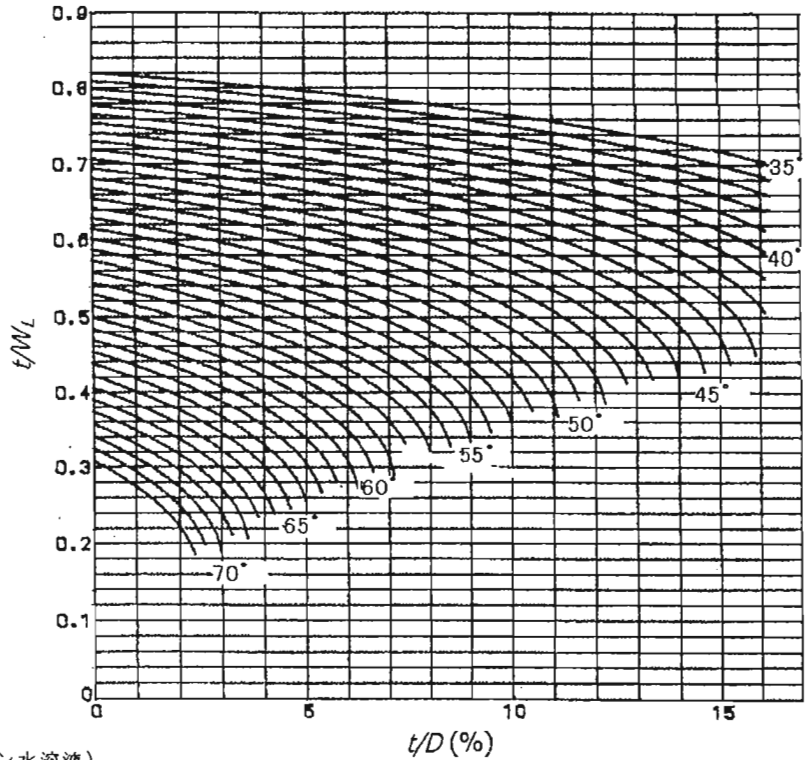
3. 10 曲率による感度補正

属書3, 4, 5の曲率による感度補正のグラフに2M14×14探触子を追加し, 探傷屈折角の計算に50°, 55°, 65°を追加した。

b) 付属書4図5の縦軸に $\frac{t}{W_1}$ の値を, 横軸に $\frac{t}{D}$ の値を取り, 直交する交点で探傷屈折角を読み取る。

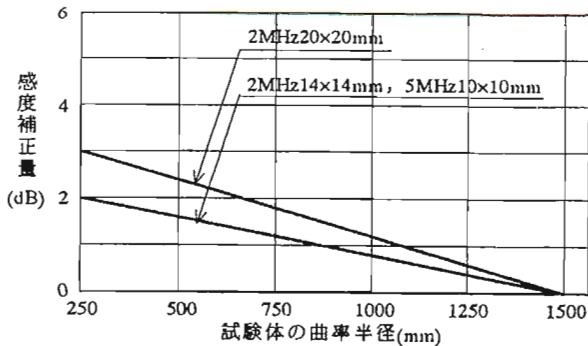


付属書4図4 W の説明図



付属書4図5 探傷屈折角の計算図

(接触媒質: 75%以上のグリセリン水溶液)



付属書3図4 円周継手の曲率による感度補正量

9. 1. 1 参考

参考として、きずの指示高さの測定方法を附属書8に記述した。

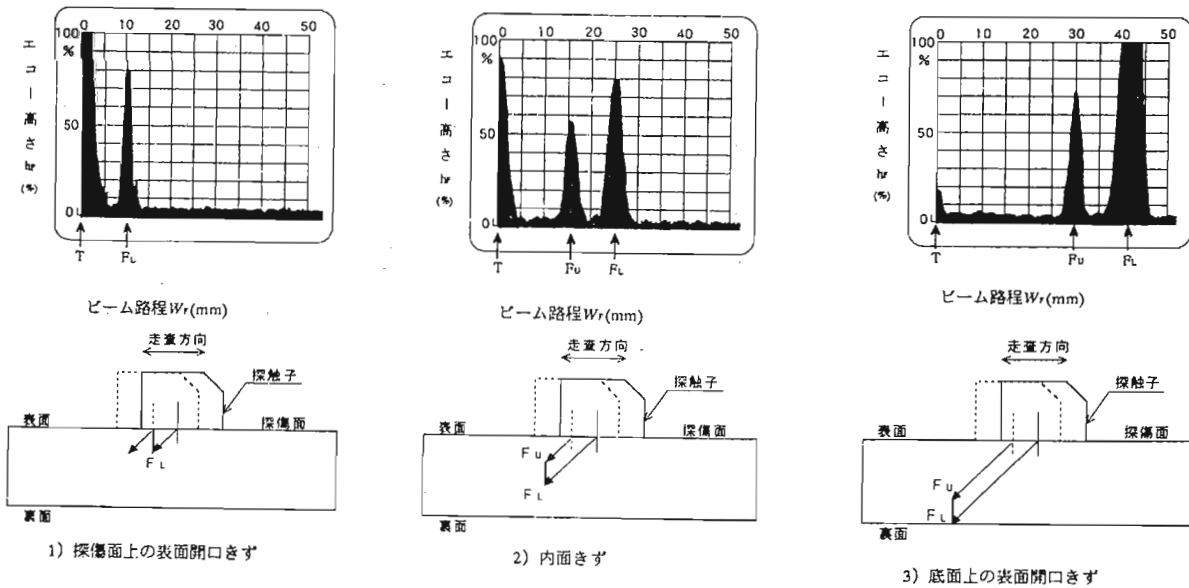
NDIS2418「端部エコー法によるきず高さの測定方法」を参考とした

附属書8. (参考) きずの指示高さの測定方法

1. 適用範囲 この附属書は、厚さ6mm以上の平板状のフェライト鋼の鋼材（平板縦手溶接部を含む。）、部品、製品など（以下、試験体という。）の厚さ方向の面状きず（以下、きずという。）に対して、超音波探傷試験の一探触子斜角端部エコー法を用いて、きず高さを測定する方法について規定する。ただし、探傷面の曲率半径が1000m未満の試験体の試験には適用しない。なお、試験体と探傷面の形状・寸法及びきずの位置、寸法、形状、傾きなどから見て他の方法が適していると判断された場合は、他の確認された方法を適用することができる。

2. 定義 この附属書で用いる主な用語の定義は、本体及びJIS Z 2300によるほかは次による。

- a) **きずの指示高さ** この附属書によって測定したきずの見掛けの高さ。
- b) **一探触子斜角端部エコー法** 一つの斜角探触子を用いて、きず上端部及びきず下端部から得られる端部エコーのビーム路程と一振動子斜角探触子のSTB屈折角、一振動子集束斜角探触子及び二振動子斜角探触子の探傷屈折角から幾何学的にきずの指示高さを求める方法。



附属書8図3 きず上端部エコーFu及びきず下端部エコーFLのとらえ方の例

広帯域表面波による高性能ロール表面探傷技術の開発

Development of roll surface testing technique by use of broad band surface waves

○高田 一 虎尾 彰 北浜 正法 守井 隆史 杉本 良一 佐藤 明生
HAJIME TAKADA AKIRA TORAO MASANORI KITAHAMA TAKASHI MORII RYOUICHI SUGIMOTO AKIO SATO

川崎製鉄(株)

Technical Research Laboratories, Kawasaki Steel Corporation

鋼板圧延用ワークロールのロールショップにおける表面波法による表面欠陥検査に用いる高感度広帯域表面波探触子を開発し、実用化した。ロールの内部結晶組織、粗面、無害な微小ヒートクラックの集合体などからの後方散乱波の振幅を従来探触子に比べ、4～10 dB低減することが可能であり、高い欠陥検出能が得られる。また、従来探触子で問題であった前記後方散乱波による誤検知も防止可能となった。

KEYWORDS : Surface testing, Roll, Surface waves, Heavy damped short pulse probe

1. 緒言

鋼板の熱間圧延や冷間圧延に使用されるワークロールは、圧延中に絞りなどの事故が起きた場合、表面にクラックが発生することがあり、放置すると、圧延中にクラックが内部まで進展し、ロールが割損することがある。ワークロールは圧延により摩耗したり、表面が荒れたりするため、所定量の圧延に使われた後、砥石による研磨によって表面を平滑に仕上げられ、この後、適当な非破壊検査手段を用いて表面にクラックがないか検査される。クラックが検出されれば、これが除去されるまで研磨が行われる。

このロール表面検査には渦流探傷法が用いられてきたが、高速度工具鋼（ハイス鋼）がワークロールに用いられるようになってからは、欠陥検出能の向上を目的に表面波探傷法が用いられるようになった[1]、[2]、[3]、[4]。しかし、S/Nが不足して、割損の原因となるクラックを検出できない場合があったり、クラックがない部分から大きな散乱波が発生して誤検知が発生する問題があり、改善が必要になっていた。

今回、高感度広帯域表面波探触子を開発し、上記の問題を解決したので、この概要を述べる。

2. 表面きず検査方法・装置と問題点

2.1 表面きず検査方法および装置

Fig. 1に示すように、表面波探触子によって圧延ロール（以下、試験体という）の円周方向に表面波を伝搬させ、表面欠陥を検出する¹⁾。表面波探触子は公称周波数2MHzのものが用いられることが多い。Fig. 2に自動探傷装置の例^[5]を示す。回転する試験体の回転方向とは逆方向に表面波を送信して、表面欠陥からの反射波を受信しつつ、表面波探触子を試験体の軸方向に走査する（以下、図中で

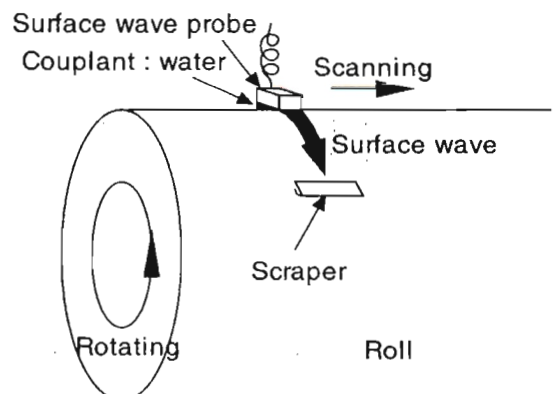


Fig.1 Roll surface testing by use of surface waves

はSpiral scanningと称する) ことにより、圧延ロール全表面の表面欠陥の探傷が可能である。表面波探触子と試験体との音響結合にはFig. 3に示すように、ギャップ水浸法が用いられ^[5]、ギャップの寸法は約0.5mmが適当とされている。ギャップ水浸法に用いられた水は、かなりの量が回転する試験体との摩擦によって試験体に付着したままとなる。この水が表面波の伝搬路に入り込むと、表面波の減衰及び雑エコーの発生が起こるため、水切りワイパーによって、これから表面波を伝搬させて表面欠陥の探傷を行う部分の水を取り除くようになっている。

2.2 従来技術の問題点とその原因

ロールの表面探傷では、内部結晶組織、粗面、熱間圧延に用いられたとき表面に生成される多数の微小なヒートクラックなど(以下、集合した微小反射体と称する)から微小な後方散乱波が発生する。従来、表面波探触子は、感度を重視する観点から、パルス幅が波長の数倍ある狭帯域パルスを送受信するものが用いられてきた。この探触子ではパルス幅が大きいため、上記の後方散乱波が干渉を起こしやすく、相互に強め合った場合には、大きなノイズとなる。このため、欠陥検出能が低下したり、さらに、大きなクラックがあるかのような誤検知が発生する問題が起きやすくなっていた。

3. 広帯域表面波探触子の開発

3.1 広帯域表面波によるノイズの低減

超音波の伝搬路に存在する集合した微小反射体からの超音波エコーの高さ P_g は、超音波探触子からの距離を x 、減衰係数を α_0 とすると、(1)式で表され、パルス波のパルス幅の平方根に比例する^[6]。

$$P_g \propto (\alpha_0 \cdot \tau)^{1/2} \cdot \exp(-2\alpha_0 x) / x \quad \dots (1)$$

(1)式から、超音波のパルス幅を小さくする(探触子を広帯域化する)ほど、 P_g を小さくすることが可能である。欠陥での超音波の反射率はパルス幅に依存しないため、広帯域探触子を用いた探傷では欠陥からの反射波の S/N が向上し、欠陥検出能が向上する。従来の表面波探触子は表面波送受波強度を高くするため、電気パルス印加によって超音波振動子に生じた振動をそのまま送波に用いており、パルス幅 τ が長い(波長の数倍、狭帯域)、 P_g が大きくなっていた。

3.2 高感度広帯域探触子の開発

一般に、広帯域探触子は、超音波振動子に発生した超音波振動をダンピング材によって強制的に制動して、振動の持続時間を短くし、パルス幅を短くする。従って、ダンピング材による制動を行わない従来の狭帯域探触子よりも、送受波する超音波の強度が弱

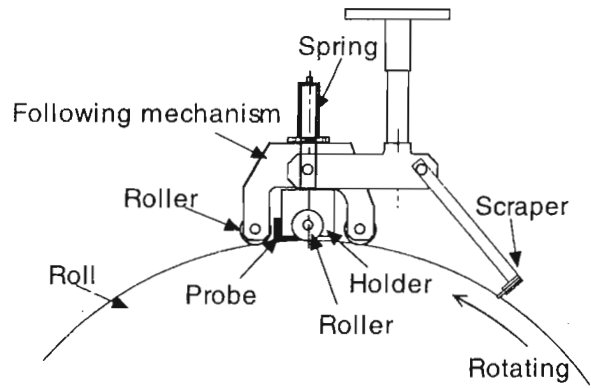


Fig.2 Mechanism for automatic surface wave testing

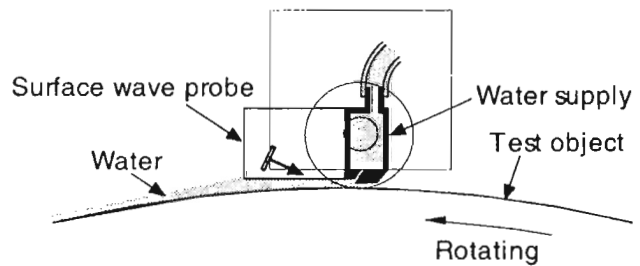


Fig.3 Gap method for surface wave testing

くなって、超音波受信器のゲインを送受波強度の低下に見合う分上げることが必要となり、外来性電気ノイズによる誤検出が発生しやすくなる問題があった。

そこで、下記2つの改良を加えることにより、送受波強度が従来のロール表面探傷用狭帯域探触子と同等以上の広帯域表面波探触子を開発した。

(1) 材質（振動子材料、樹脂くさび材料）の最適化

振動子材料は厚さ方向の電気-機械結合係数が高く（送受波強度が高い）、径方向の電気-機械結合係数が低い（雑エコーが出にくい）圧電素子を用いた。くさび材料は、減衰が小さく、音響インピーダンスが高い（振動子からくさび材料への超音波の透過損失が小さい）樹脂を用いた。

(2) 入射角 θ_i の最適化

くさび材料からロール表面への超音波の入射角 θ_i を下式(2)のSnellの法則をもとに高速度工具鋼に対して最適化した。

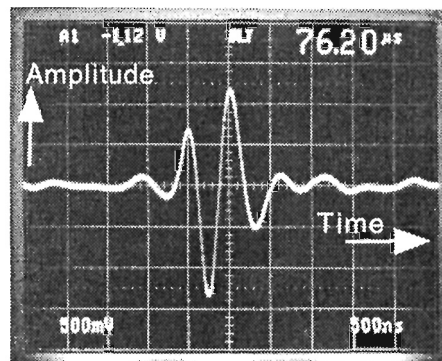
$$C_W / \sin \theta_i = C_R / \sin \theta_t \quad \dots (2)$$

ここで、 C_W ：樹脂くさびでの超音波の速度、 C_R ：被検体での表面波の速度、 θ_t ：屈折角（表面波の場合は 90° ）である。

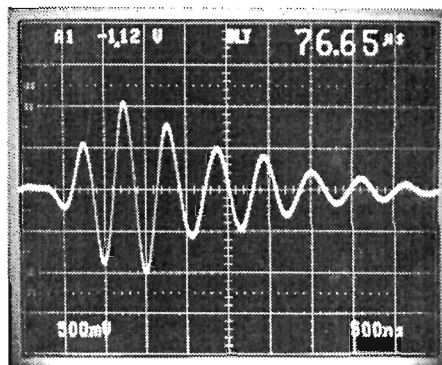
3.3 開発した探触子の性能および効果

開発した高感度広帯域表面波探触子の波形を従来の狭帯域探触子と対比して、Photo. 1に示す。送受波強度が従来探触子と同等以上の、周波数2MHz、パルス幅が1.5波長の探触子を開発できた。

Photo. 2は、厚さ10mmの高速度工具鋼の板に、長さ0.5mm、深さ0.2mmのスリットを放電加工し人工きずとした試験片を、開発した探触子と従来探触子で探傷した結果を対比して示している（探触子-きず間距離：100mm）。開発探触子を用いると、小さな欠陥も高いS/Nで検出できることがわかる。人工欠陥を用いた探傷実験の結果、断面積（表面波の進行方向に対し、垂直な面の面積）が 0.06mm^2 の欠陥を10dB以上のS/Nで検出可能なことが判明した。従来探触子では、断面積が 0.2mm^2 の欠陥が検出限界とされていたので、従来よりも1/3の断面積の

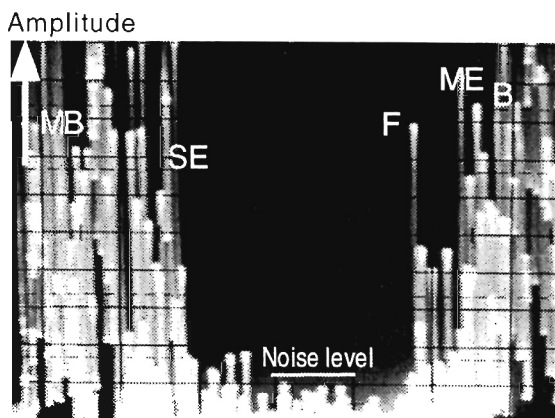


(a) developed probe (Gain:32dB)

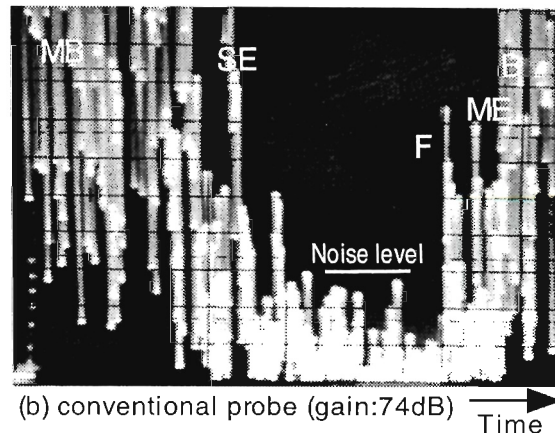


(b) conventional probe (Gain:30dB)

Photo.1 Waveforms of echoes from side wall



(a) developed probe (gain:68dB)



MB:Main Bang F:Flaw Echo B:Edge Echo
SE:Spurious Echo in Wedge
ME:Mode Converted Echo

Photo.2 Test results of artificial surface flaws detection

欠陥を検出することができる。

Fig. 4は、開発探触子と従来探触子とを自動探傷装置に装着し、圧延中にクラックが生成されたロールを探傷器の感度設定を同一として探傷した結果を対比して示している。クラックからの反射波の高さが同等であるのに対し、ノイズレベルは開発探触子の方がはるかに低く、S/Nよくクラックを検出できることがわかる。

Fig. 5は、開発探触子と従来探触子とを自動探傷装置に装着し、研磨後の熱間圧延用ワークロールを探傷した結果である。従来探触子では、高い欠陥指示がみられるが、これは、研磨面に残る微小なヒートクラックの集合体を誤検出したものである。これに対し、開発探触子では、欠陥指示はみられず、微小なヒートクラックの集合体の誤検出防止に有効なことがわかる。この結果、誤検出が原因のロール表面の過大な研削の防止が可能となり、千葉製鉄所・水島製鉄所とも20%以上ロールコストを削減できた。

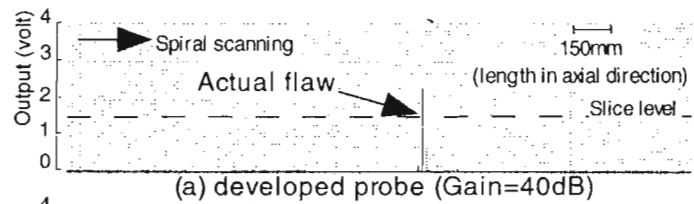
4. 結言

ロール表面探傷用広帯域表面波探触子を開発し、欠陥検出能の向上を図り、また、微小なヒートクラックの誤検出が原因のロール表面の過大な研削を防止可能とした。この結果、千葉製鉄所・水島製鉄所とも20%以上ロールコストを削減できた。

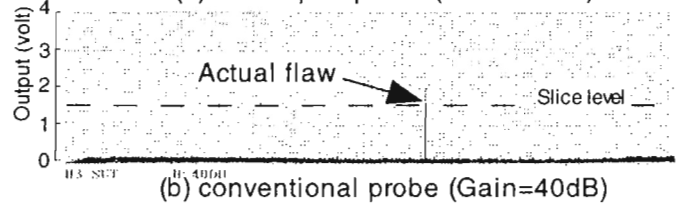
この探触子は、熱間圧延用ワークロールに限らず、冷間圧延用ワークロールやバックアップロールの表面検査にも適用可能であり、今後ロール表面検査全般への適用が期待される。

<参考文献>

- [1] 安藤好充, 空野博明, 佐野義一: CAMP-ISIJ, Vol. 5 (1992), p. 515
- [2] 江種俊夫, 小宮善興, 米沢雅弘, 大庭章裕, 村井純一: CAMP-ISIJ, Vol. 7 (1994), p. 358
- [3] 土屋義郎, 大西良弘, 小土井章夫, 白石馨, 増田健一, 沖本一生: CAMP-ISIJ, Vol. 6 (1993), p. 505
- [4] 空野博明, 森野泰司, 佐野義一: CAMP-ISIJ, Vol. 9 (1996), p. 984
- [5] 日本クラウトクレマー(株): 特開平7-294493
- [6] Ermolov I. N.: NDT INT. No. DECEMBER (1976), pp275-280

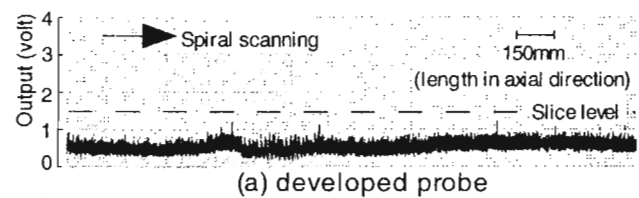


(a) developed probe (Gain=40dB)

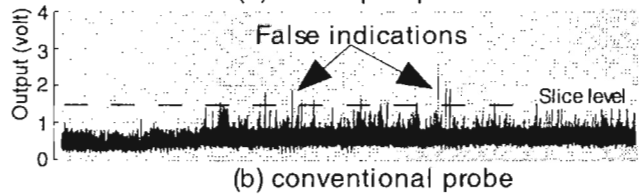


(b) conventional probe (Gain=40dB)

Fig.4 Comparison of the test results of roll with an actual surface flaw
Flaw length: 7mm (inclined shape)



(a) developed probe



(b) conventional probe

Fig.5 Comparison of the test results of roll with harmless small fire cracks in its surface