

第18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16年2月6日(金)  
10:00~17:00

場所 幕張テクノガーデン

# 目 次

## I 研究発表

1. 広領域配管検査装置（スルーVU）の利用法拡大について ----- 1  
    (株)シーエックスアール ○新川茂雄, 田邊有作
2. ソフトプローブによる溶接部の探傷 ----- 11  
    ジャパンプローブ(株) ○高橋雅和, 高橋 修, 李 文
3. デジタル超音波探傷器 UI-25 の紹介 ----- 17  
    湘菱電子(株) ○市川 英, 細井崇晃
4. UVミニライトの紹介 ----- 21  
    栄進化学(株) ○相村英行, 渋谷公明
5. 研究会コーナー 千葉県非破壊検査研究会HPの紹介 ----- 25  
    研究会 HP 作成 WG ○JFE 技研(株) 高田 一, 産業支援技術研究所 立川克美

## II 新機軸NDT機器の紹介

1. 3D超音波検査装置の紹介 ----- 27  
    (株)東芝 ○唐沢 博一
2. フェイズドアレイ超音波探傷装置 PAL-2 ----- 39  
    日本クラウトクレマー(株) ○後河内 薫, ドミニク・ブラコニエ, 南 康雄

## III 特別講演

- 超音波探傷試験による再循環系配管サイジング（寸法測定）精度向上に関する  
確性試験について ----- 47  
講師：(財)発電設備技術検査協会 鶴見試験研究センター 古川 敬

# 広領域配管検査装置『Thru-VU』の利用法拡大について

(株) シーエックスアール 新川 茂雄  
田邊 有作

## 1. はじめに

一般に石油化学、ガス、電力プラント等の各種機器は長距離に渡り配管にて連結されていることが多く、それらの配管の保守業務においては、統計手法による腐食発生部位の特定が困難で、全線検査を望まれる配管も多数存在します。

この場合、検査に費やされる時間・コストが問題となり、いかに効率よく検査出来るかが重要となります。

本発表では、付帯コストを最小限に抑え、稼働中に高速度且つ広範囲の検査を可能にする技術として、放射線を利用した広領域配管検査装置『Thru-VU』を現場に適用した実績及び利用法拡大の事例について紹介します。

## 2. 装置概要

『Thru-VU』とは米国 Omega International Technology 社が開発した、X線フィルムの代わりに放射線検出センサーを使用した放射線透過検査システムです。

図1に示すような構成で、検査装置が配管上を軸方向に自走することで、配管内外面の腐食等の情報を、リアルタイムに面としてデータを採取し、深さ方向の情報をカラー画像で表示します。

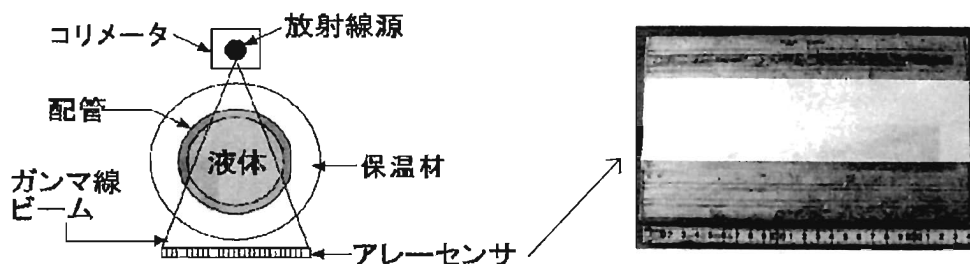


図1 放射線源とセンサーの配置

## 3. 特徴

- ・平均 60m/日の検査が可能です。（地上配管で配管下部の腐食のみを検査する場合）
- ・保温材施工配管においては、保温材の撤去を必要としません。
- ・内容物の有無を問いません。
- ・プラント稼働中の検査も可能です。（流体、流れの状況等によっては不可能な場合もあり）
- ・検査結果がカラー画像で表示されるので、腐食の発生状況が一目瞭然です。

#### 4. Thru-VUの基本検査フロー

センサーに到達する透過線量は、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2に示すような基本フローで検査を実施します。

#### 5. 水平配管の検査手順

##### (1) 検査装置の取り付け

検査装置の標準構成は図3の走行装置（走行機、線源、アレーセンサー部）、及び制御装置（ノート型コンピューター、インターフェースユニット）となります。

検査配管に走行装置の取り付けを行うには配管の上下及び左右方向において、図4に示すクリアランスが必要となります。また、制御装置の接続は30mのケーブルを使用し、放射線源との距離を十分に確保します。

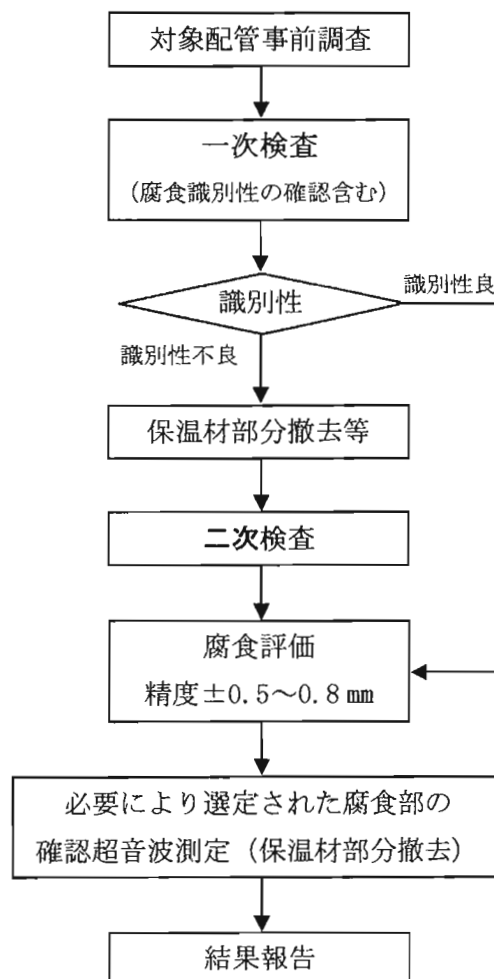


図2 検査の基本フロー



走行装置



インターフェースユニット

図3 検査装置



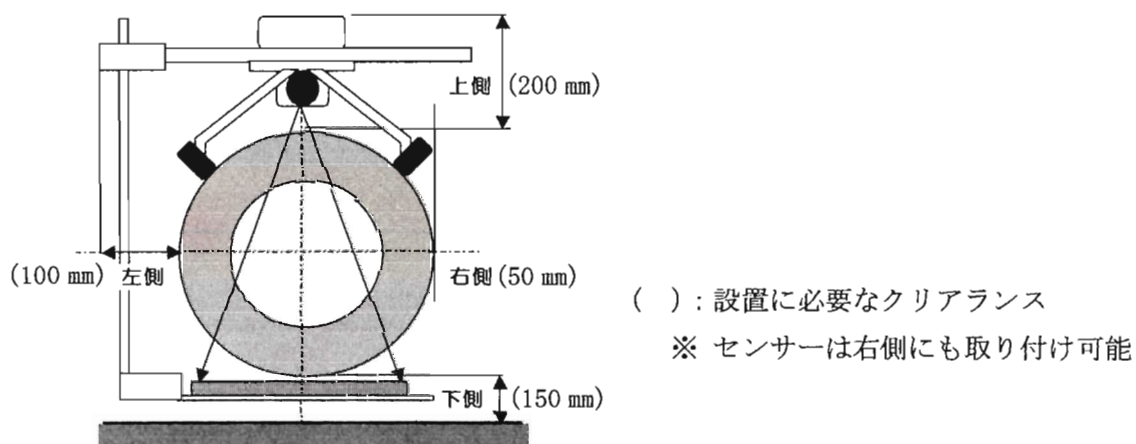


図4 走行装置設置に必要なクリアランス

## (2) キャリブレーション

板厚 3 mm 程度の鋼板を用いて放射線強度の減衰を測定し、図 5 のキャリブレーションデータを作成します。また、検査対象となる配管上に試験片を貼り、図 6 の試験片データを採取します。このデータと検出された腐食データを比較することにより、計測深さの誤差を補正します。

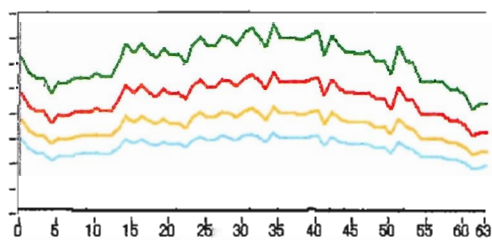


図5 キャリブレーションデータ

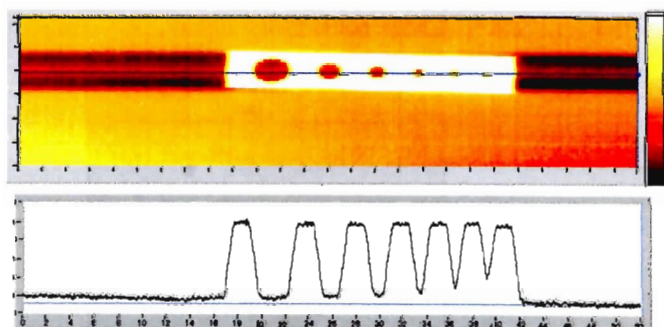


図6 試験片画像

## (3) データ採取

配管の軸方向の長さ 3 ~ 5 m を 1 スパンとしてデータ採取を実施します。装置の走行に支障のない場合は連続してデータを採取しますが、架台部や枝管等が存在して走行に支障をきたす箇所においては検査不可となります。また、検査位置や腐食の発生位置を明確にするため、各検査箇所において検査長、検査開始位置及び停止位置を記録します。

## 6. 採取画像例

採取画像例を図 7 に示します。実際の画像においては、配管の残肉厚に応じてカラー階調表示され、一目で腐食の位置、概略の状況を把握する事が出来ます。

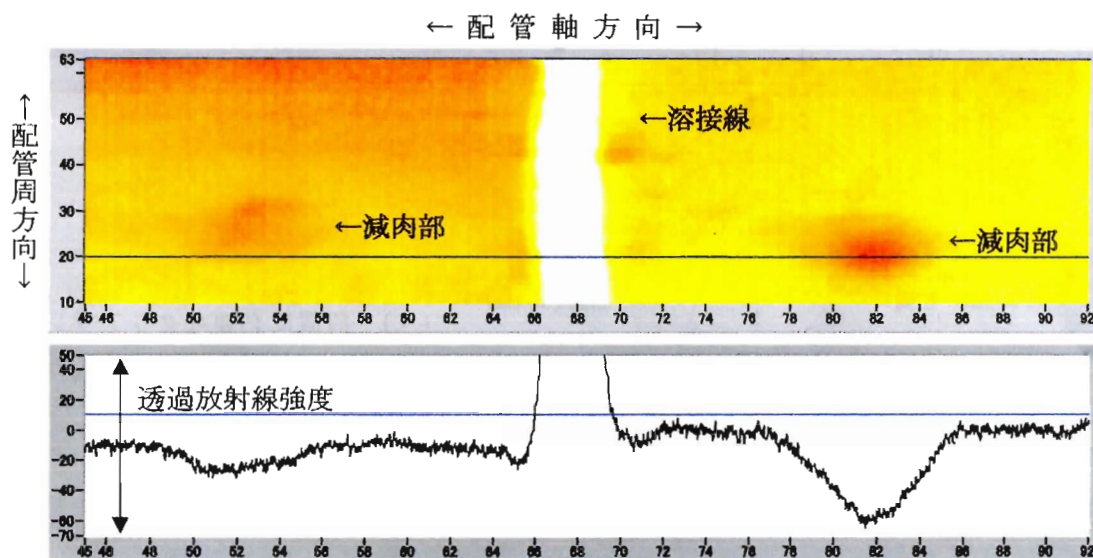
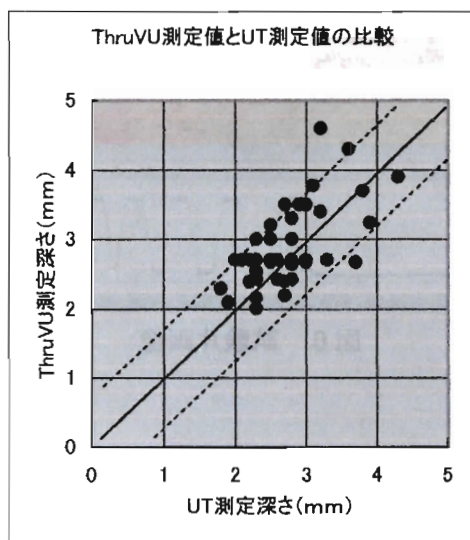


図7 採取画像例

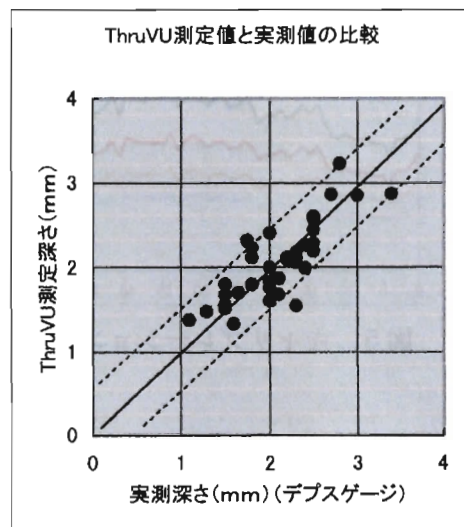
## 7. 検証結果

原油が満液状態にて採取したデータと超音波検査との比較を図8、内容物が無い状態にて採取したデータと実測値との比較を図9に示します。



1.8 B 配管 (内容物原油、保温材無し)  
精度 = ±0.8mm

図-8 Thru-VU と UT の比較  
(内容物：原油が満液)



8 B 配管 (内容物無し、保温材無し)  
精度 = ±0.5mm (デプスゲージにて測定)

図-9 Thru-VU と 実測値 の比較  
(内容物：なし)

## 8. Thru-VU 適用上の問題点、及び対策

配管の周辺の状態によっては、Thru-VU の検査結果に影響を与え、さらには Thru-VU が適用出来ない状況となる場合があります。それらの事例を紹介致します。

### (1) 保温材の影響

保温材の状況によっては検出結果に影響を与える因子が幾つかあります。

そのなかの代表的な事例である部分的欠損と吸水について図 10, 11 に示します。

状 況	保温材の部分的欠損
問題点	保温材の種類・板厚にもよるが、欠損部は放射線が透過し易くなるため、減肉部として表示される。
対処法	欠損部のほとんどの場合、その形状は独特なものであり、おおよそ識別可能であるが、欠損位置や、形状により評価できないこともあり、基準深さレベル（顧客殿との協議により決定したレベル）を超える指示部は、保温材を撤去し再検査を要する。

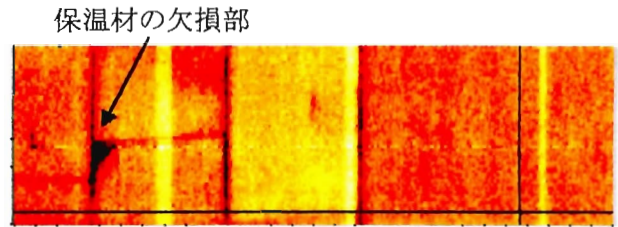


図 10 保温材の部分欠損時の画像例

状 況	保温材の吸水
問題点	吸水により、放射線が透過し難くなる。
対処法	検査範囲内で一様に吸水している場合については問題とならない。但し、部分的な吸水により腐食との識別が困難な場合で、基準深さレベル（顧客殿との協議により決定したレベル）を超える指示部は、保温材を撤去し再検査を要する。

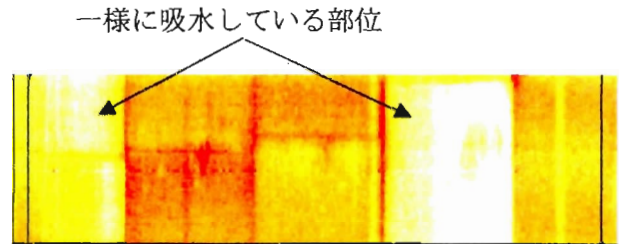


図 11 保温材の吸水時の画像例

### (2) 内部流体の影響

対象配管が稼働中の S C (スチームコンデナート) 等のように、内部流体の経時的な密度変化がある場合は、図 12 に示すようなノイズ状の異常データとなり、『Thru-VU』の適用は困難となります。

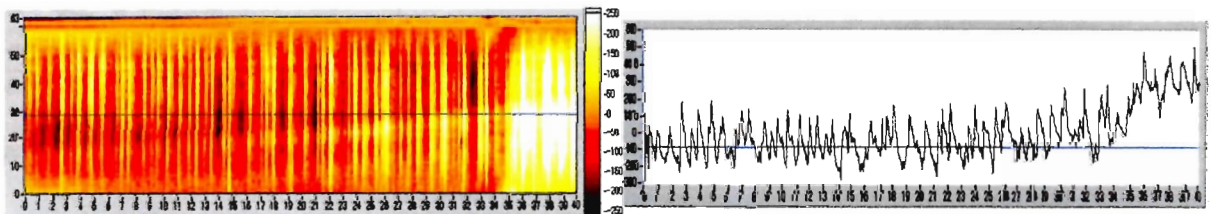


図 12 内部流体密度の経時変化の影響例

### (3) 低温配管の保冷材氷結の影響

対象配管が L P G 配管等の低温配管で、結露による水分が保冷材中で部分的に氷結した場合は、図 13 に示すように腐食模様の指示となり、腐食との識別が不可能となります。



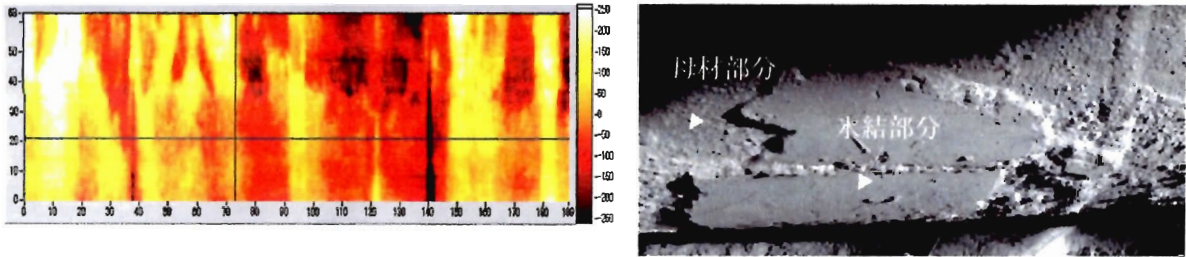


図 13 保冷材の部分的な氷結の影響例

## 9. 仕様

Thru-VU の装置仕様を表 1 に示します。

表 1 Thru-VU 装置仕様

対象配管径	2B～24B（液体満液状態）
材 質	問わない。
保 温 材	問わない。但し、保温材の劣化が著しい場合は、一部撤去を要する。
探 傷 速 度	1,0～1.5m/分（管軸方向）
最大画像範囲	約 200 mm(管周方向)×5,000 mm(管軸方向)
検 査 ス パ ン	1 回のスキャン範囲は線源装置等の制約で 3～5m
使 用 線 源	イリジウム( <sup>192</sup> Ir)、X線
検 出 限 界	満液配管：面積φ15 深さ 1.5mm 気体、空配管：面積φ 5 深さ 1.0mm（実績に基づく値）

## 10. 従来の検査手法とのコスト比較

配管の内面減肉調査について、下記の条件で超音波探傷を実施した場合と、Thru-VU により検査を行った場合のコスト比較例を図 14 に示します。

比較条件(配管状況)

設置位置：地上に設置してあるものとする

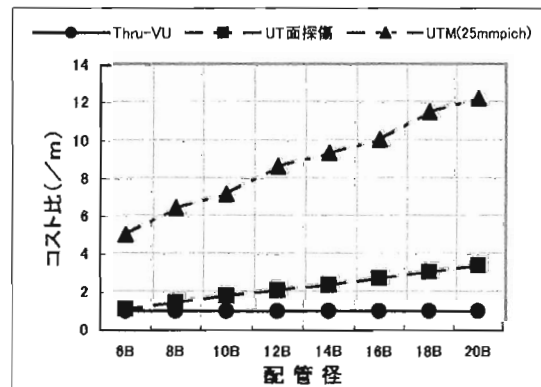
保 温 材：施工してあるものとする

足 場：組まないものとする

検査範囲：下側の周方向長さ 200 mm とし、

軸方向の長さは図 14 の縦軸参照

※超音波探傷においては、保温材撤去及び復旧の費用を含むものとします。



Y軸=Thru-VU 検査のコストを 1.0 として表示

	Thru-VU とのコスト比
UT面探傷	1 ～ 1/3
UTM (25mmピッチ)	1/3 ～ 1/12

図 14 Thru-VU と他手法のコスト比較



## 11. Thru-VU 適用検査実績

これまでの Thru-VU による検査実績を表 2 に示します。

検査場所	管 種	管 径	検査長
石油精製	原油・スロップ配管 バラスト水配管・他	2～24 B	22,000m
石油備蓄	原油配管・他	～20 B	7,000m
油 槽 所	製品受入/出荷配管	2～ 8 B	1,000m
電 力	蒸気配管・他	8～28 B	500m
化 学	蒸気・水配管・他	6～16 B	200m
ガス・水道	ガス導管・水道管	10～30 B	500m

## 12. Thru-VU システムの適用事例及び利用法拡大

### (1) Thru-VU 適用事例

- ・ 保温材の健全性調査 (図 10 保温材の部分的欠損参照)
- ・ 配管内の堆積物、閉塞状況、及び異物混入等の調査
- ・ エルボ背側のエロージョン検査に用いる、エルボ用ラック式走行装置の開発 (図 15)
- ・ 水平配管の底部、側面等任意の位置の配管検査に用いる、センサー位置可変型走行装置の開発 (図 16)
- ・ 配管が隣接して目視・超音波検査が困難なカルバート内配管検査に用いる、ラック式走行装置の開発 (図 17)
- ・ 放射性同位元素が使用出来ない現場等において適用する、X線を使用した検査装置の開発 (図 17, 18)
- ・ 浮屋根式タンクのゲージポールに用いる検査装置の開発 (図 18)

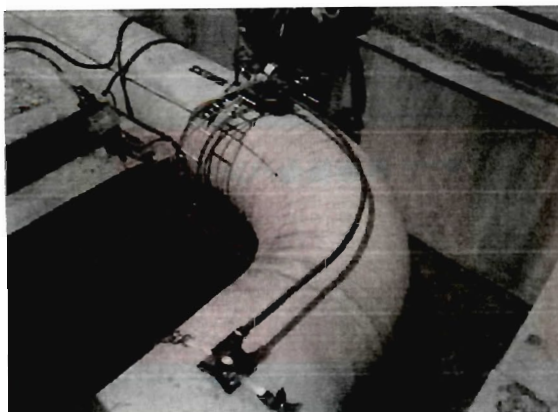


図 15 エルボ・垂直用ラック式走行装置

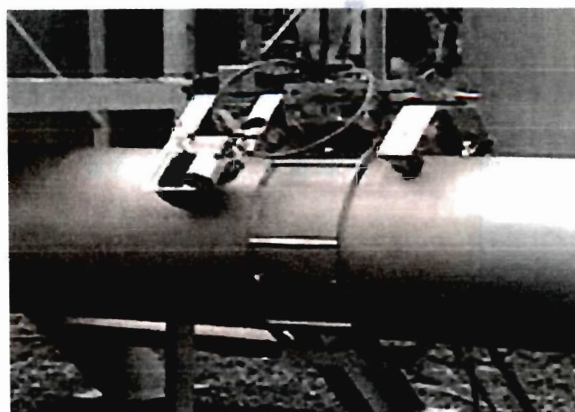


図 16 センサー位置可変型走行装置

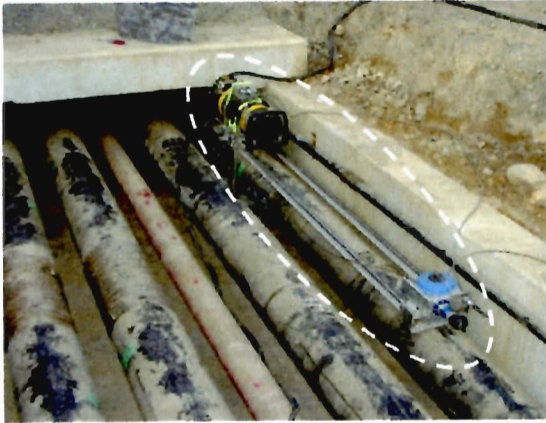


図 17 カルバート内配管検査用  
ラック式走行装置

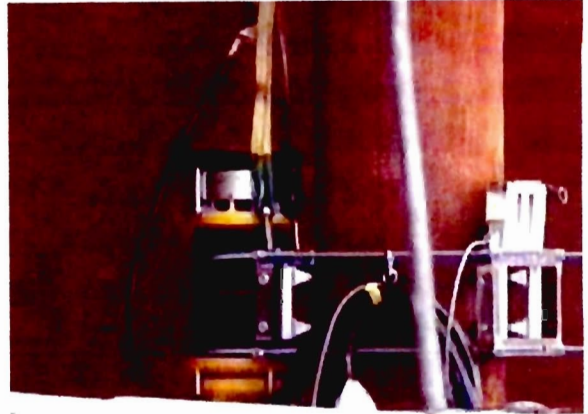


図 18 ゲージポールの腐食検査装置

(2) 今後の利用法拡大

- ・ 保温施工タンク側板の保温下外面腐食調査の事例を図 19 に示す。
- ・ 樹木の柱等の内部調査における事例として、図 20 に示す検査範囲の Thru-VU データを図 21 に示す。
- ・ 配管における架台接触部の腐食調査への適用
- ・ オンサイト配管の腐食調査への適用（二重管の内管調査）
- ・ 製造ラインにおける異物混入調査
- ・ 建築構造物の内部調査(配筋の位置調査等)

現在の調査手法であるプロフォメーターを用いた民家の基礎部分の背筋位置調査事例を図 22 に示す。

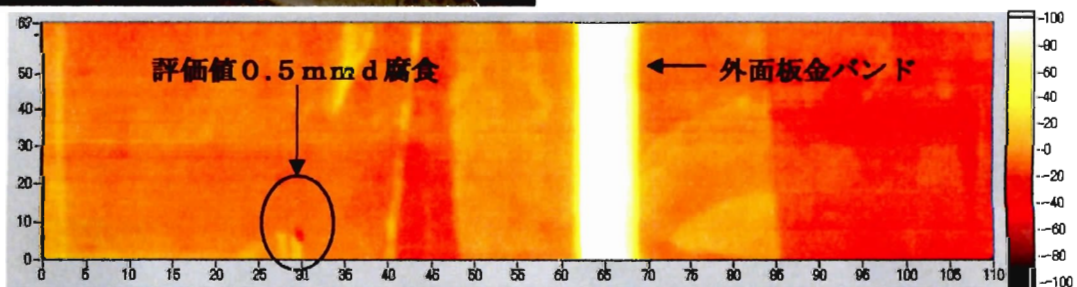


図 19 保温施工タンク側板の保温下外面腐食調査



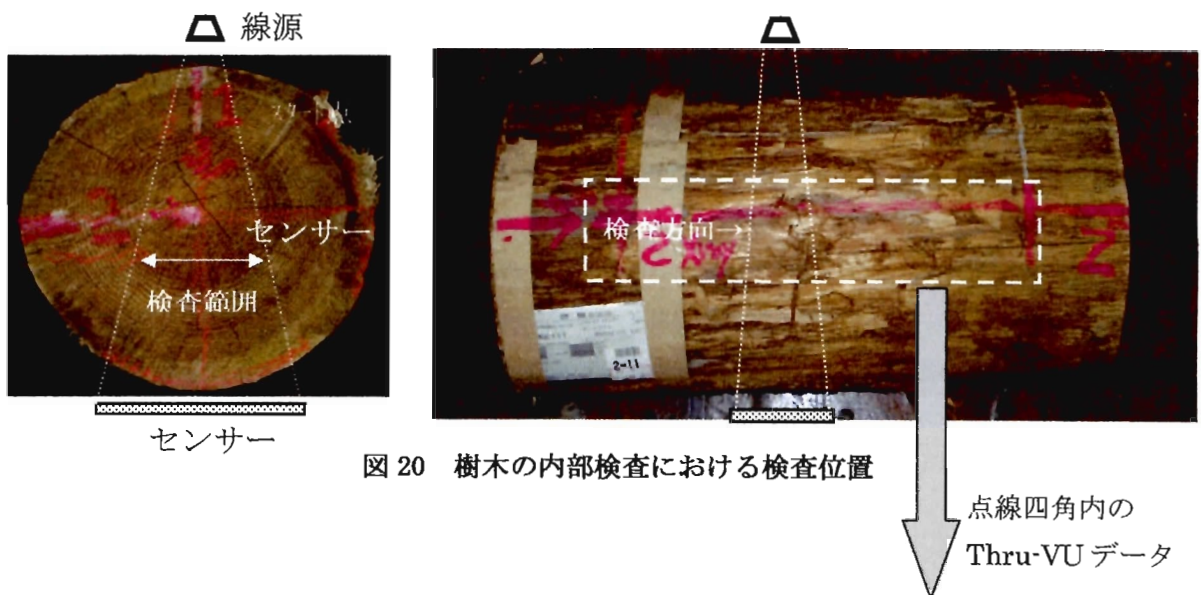


図 20 樹木の内部検査における検査位置

点線四角内の  
Thru-VU データ

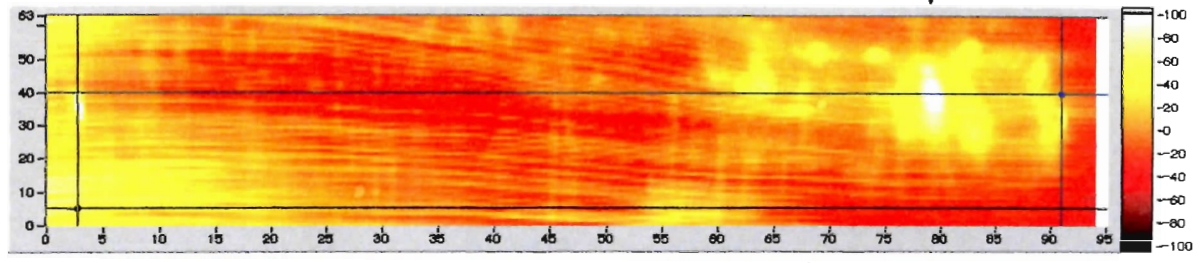


図 21 樹木の内部検査 Thru-VU データ

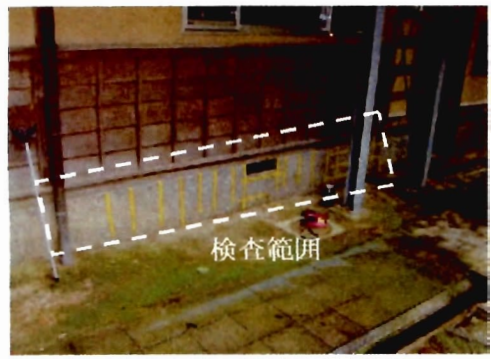


図 22 プロフォメーターによる民家の基礎部分の配筋調査

### 13. おわりに

Thru-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、採取画像から問題のある箇所を簡単に見つけ出すことが出来ますし、データがデジタル化されている為、簡単に記録の作成・保存・加工が出来ます。

また、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）が最小限で済みますので、大幅なコスト削減が可能であると思われれます。

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、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安全、安くて正確な検査が出来るものにして行きたいと考えています。



# ソフトプローブによる溶接部の探傷

## Testing of Weld by Flexible Dual Probes

○ 高橋 雅和                      高橋 修                      李文  
Masakazu Takahashi              Osamu Takahashi              Bun Li

ジャパンプローブ(株)  
Japan Probe Co, Ltd.

### 概要

探傷面の凹凸になじんで良好な伝達効率を得られる軟質振動子を使用した垂直探触子(以下、ソフトプローブと呼ぶ)を開発した。これは溶接部ビード上からの探傷が可能であるとともに、あらゆる曲面からの探傷が可能である。今回は、溶接部ビード上からソフトプローブによる、溶接部の融合不良の探傷例を紹介する。

KEYWORDS: Flexible Dual Probes, Acoustic Sheet, Straight Beam on Weld

### 1. はじめに

超音波探触子は一般的に平らな振動子材料で作られており、探傷面との間の接触媒質層は薄く一定であることが望まれる。この点、探傷の安定を得るための条件として、探傷面は平滑でかつ面粗さは滑らかであることが必要とされる。従って溶接部のビード上からの探傷が不可能である。

当社では、このような問題を解決するため新製品であるソフトプローブ<sup>1)~4)</sup>を開発し、既にその概要について報告した。ソフトプローブは薄型で柔軟性に富んでおり、凹凸面になじみ、面粗さ、傾き具合が多少悪くても面に密着し、超音波の伝搬が確実に行われ、これまで困難とされていた溶接部ビードの上から探傷できる特徴を有している。今回は、溶接部ビードの上からソフトプローブによる探傷について紹介する。

### 2. 実験内容

1) 試験片：板厚25mm、幅100mm、長さ200mmで、溶接部はX開先で、その中央にきず高さ4~5mmの融合不良を有する試験片である。その形状・寸法は図1に示す様にタイプA、B、Cのきずを独立して各2個、合計6個製作した。

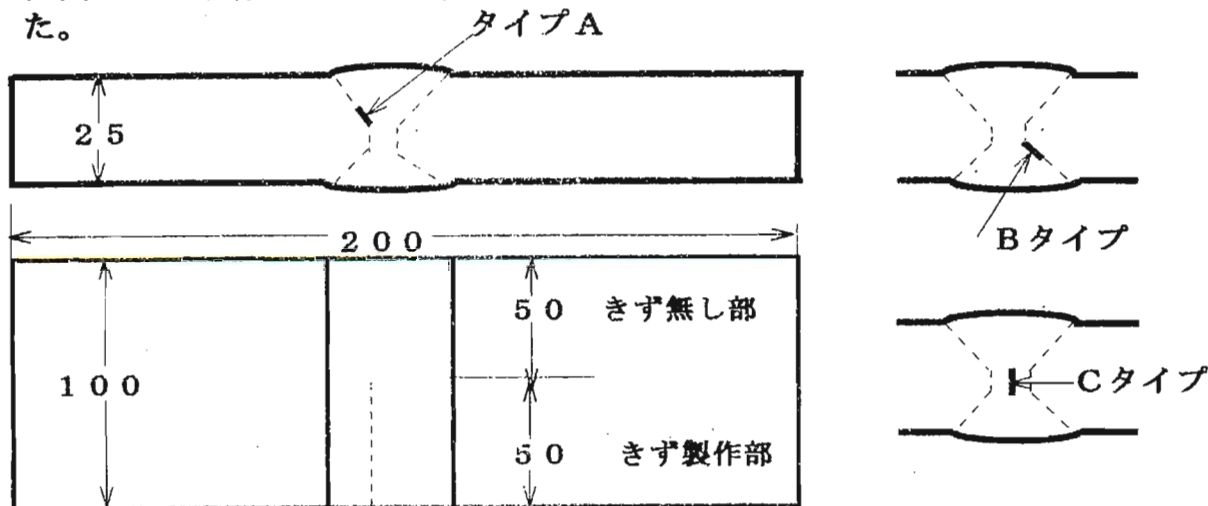


図1 溶接部の試験片の形状・寸法

2) 探触子：実験に使用した探触子は、垂直探触子、ソフトプローブの2種類を使用した。垂直探触子は5Z10N、B10C8Nである。ソフトプローブは5M10/2ND、5K10/2ND、5K5/2NDである。溶接部のきずの確認として図1の試験片をあらかじめ、TOFD法で探傷した。図2はソフトプローブの外観写真を、図3は実験に使用した試験片を、図4はソフトプローブで溶接部の探傷状況を示す。



図2 ソフトプローブの外観写真

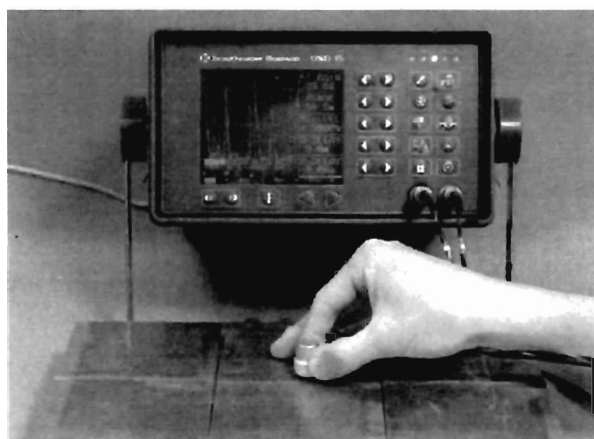


図3 溶接部試験片の外観写真

3) 超音波探傷器：日本クラウトクレマー(株)製USD15

4) 接触媒質：(株)サンガスニチゴウ(製)ソニコート

音響シート：東レ(株)製テトロンフィルムで厚さ6~250 $\mu$ の11種類を使用した。



(a) 5K10/2ND



(b) 5K5/2ND

図4 ソフトプローブで溶接部の探傷状況

5) 実験項目と方法：

A. 各探触子による音響シートの厚さと感度の関係

5Z10N、B10C8N、5K10/2NDで、テトロンフィルムの厚さを0~250 $\mu$ に変化した時のSTB-N1の底面エコー高さを測定した。

B. 音響シートの有無による感度及び操作性の比較

ソフトプローブによる音響シートの有無による溶接部ビード上からの探傷時の感度及び操作性の比較を行った。

C. 溶接部ビード表面及び裏面からの探傷

ソフトプローブの保護のために音響シートを使用し、溶接部ビード上面及び裏面の両面より探傷した。

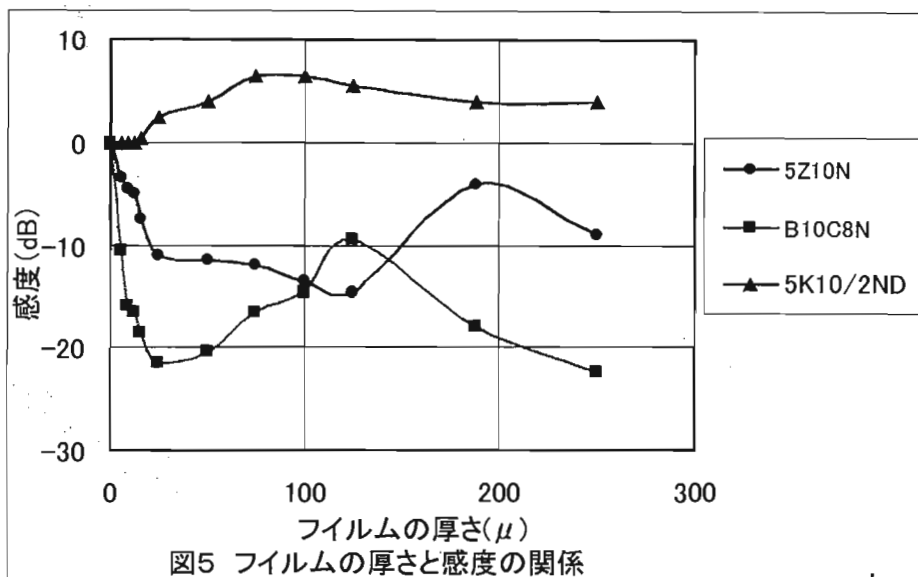
### 3. 実験結果と考察

図5は、フィルムの厚さと感度の関係、図6はソフトプローブの音響シートの適用可否の検討のための探傷図形である。図7は、ソフトプローブ5K10/2NDの探傷図形、図8はきずの高さ評価のためAC波形用いた探傷図形である。図6～図8の探傷図形の記号は、▼：きずの上端部、▽：きずの下端部、■：底面である。

#### A. 各探触子による音響シートの厚さと感度の関係

図5に各探触子による音響シートの厚さと感度の関係を示す。基準は音響シートを使用しないときのSTB-N1の底面エコーを基準にした。

- 1) 通常の垂直探触子では、音響シートを使用すると、底面エコー高さは低下し、その低下度合いは音響シート(フィルム)の厚さと探傷周波数に依存する。例えば、探傷周波数5MHzで、音響シート(フィルム)の厚さが25μ程度で、11dB、10MHzで、20dB低下する。
- 2) ソフトプローブでは、逆に音響シートを使用すると、感度は上昇する。例えば、シートの厚さが25μ程度までは、底面エコー高さは殆ど変化しないが、これを越えるとエコー高さはかえって上昇している。



これはソフトプローブの音響インピーダンスと音響シートの音響インピーダンスがほぼ等しいためと思われる。

これはソフトプローブの音響インピーダンスと音響シートの音響インピーダンスがほぼ等しいためと思われる。

る。これは、ソフトプローブの溶接部ビード上からの探傷に適用できる可能性を示している。

ここで、探触子、音響シート(フィルム)及び鋼の音響インピーダンスを $Z_1$ 、 $Z_2$ 、 $Z_3$ とすれば、 $Z_1$ から $Z_3$ の往復通過率 $T$ は式(1)で示<sup>5)</sup>される。

$$T = \frac{4 \frac{Z_1}{Z_3}}{\left(\frac{Z_1}{Z_3} + 1\right)^2 \cos^2 \theta + \left(\frac{Z_1}{Z_2} + \frac{Z_2}{Z_3}\right)^2 \sin^2 \theta} \quad (1)$$

但し、 $\theta = \frac{2\pi t}{\lambda}$   $t$ : フィルムの厚さ、 $\lambda$ : 波長

式(1)から、音響インピーダンス $Z_1$ 、 $Z_3$ が一定でも、 $Z_2$ が $Z_1$ の値に近ければ、フィルムの厚さ $t$ が変化しても、往復通過率 $T$ は大きく変化しない。又 $Z_2$ の値が $Z_2 > Z_1$ の場合、フィルムの厚さ $t$ の往復通過率 $T$ は、 $t = 0$ の往



復通過率 $T_{10}$ とすれば、 $T > T_{10}$ となる。図5の実験結果の傾向はこれに近い。

B. 音響シートの有無による感度及び操作性の比較

図6はソフトプローブによる音響シートの有無による溶接部ビード上からの探傷した図形を示す。左側が音響シート無し、右側が音響シートを適用したときの探傷図形である。

3) 図6の探傷図形に示す如く探傷感度は音響シートの有無によって変化していない。むしろ音響シートを溶接部ビードの上に置き探触子を適用した方が操作性に優れており、探触子の摩耗防止及び保護の点からも望ましい。

記号、▼：きずの上端部、▽：きずの下端部、■：底面、測定範囲：50mm

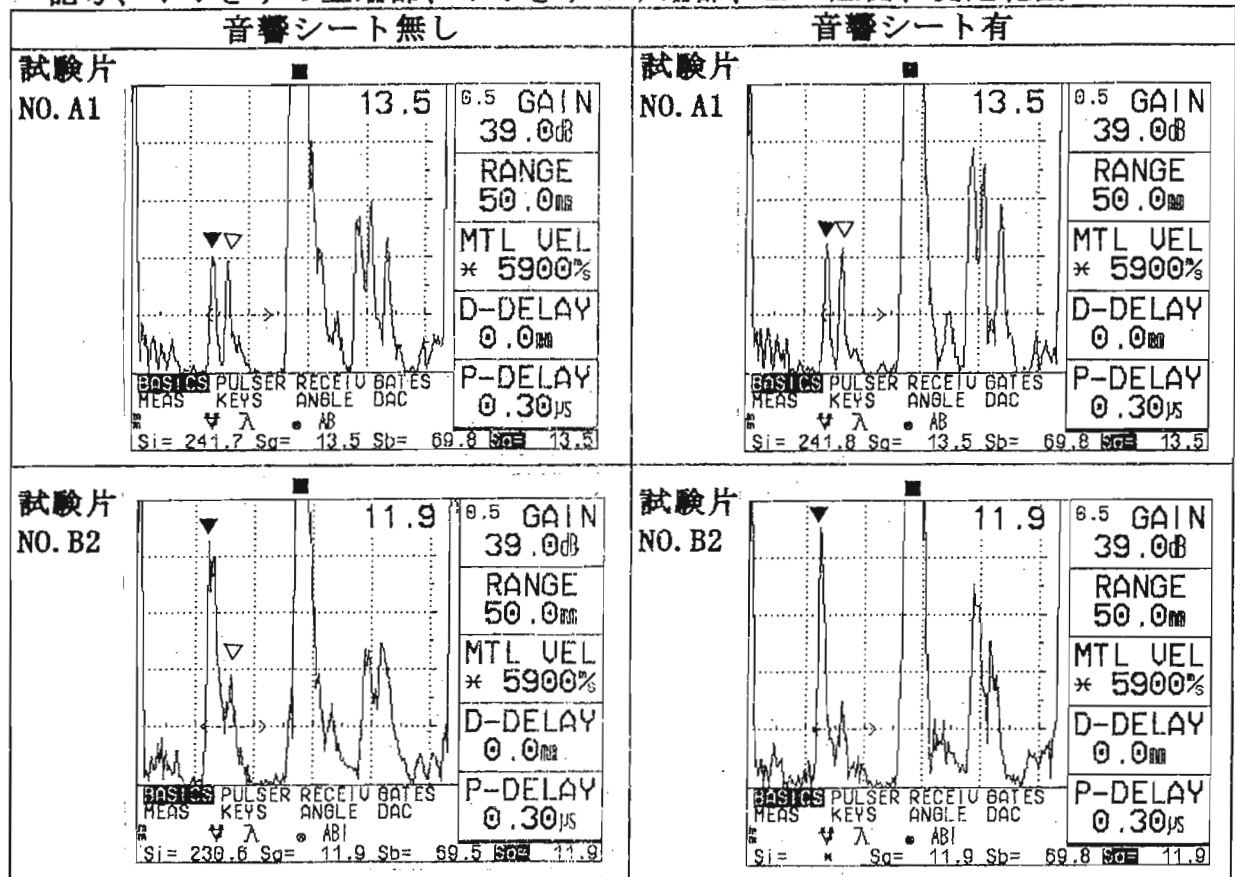


図6 音響シートの有無による感度比較の探傷図形(5K10/2ND)

C. 溶接部ビード表面及び裏面からの探傷

図7は5K10/2NDによる溶接部ビード表面及び裏面から探傷した探傷図形である。左側は溶接部ビードの表面から、右側は溶接部ビードの裏面から探傷した図形である。

4) 試験片A1とA2で、表面からの探傷ではきずの下端部エコーの方がやや大きいですが、裏面からの探傷では逆にきずの上端部エコーの方が大きい。いずれにしてもきずエコーは明瞭に検出している。

5) 試験片B1とB2では、表面からの探傷ではきずの上端部エコーの方が大きく、裏面からの探傷では逆にきずの下端部エコーの方が大きい。いずれもきずエコーは明瞭に検出している。

6) タイプA及びBのきずは、図1の溶接部の側面の磁粉探傷の結果から、きず



記号、▼：きずの上端部、▽：きずの下端部、■：底面、測定範囲：50mm

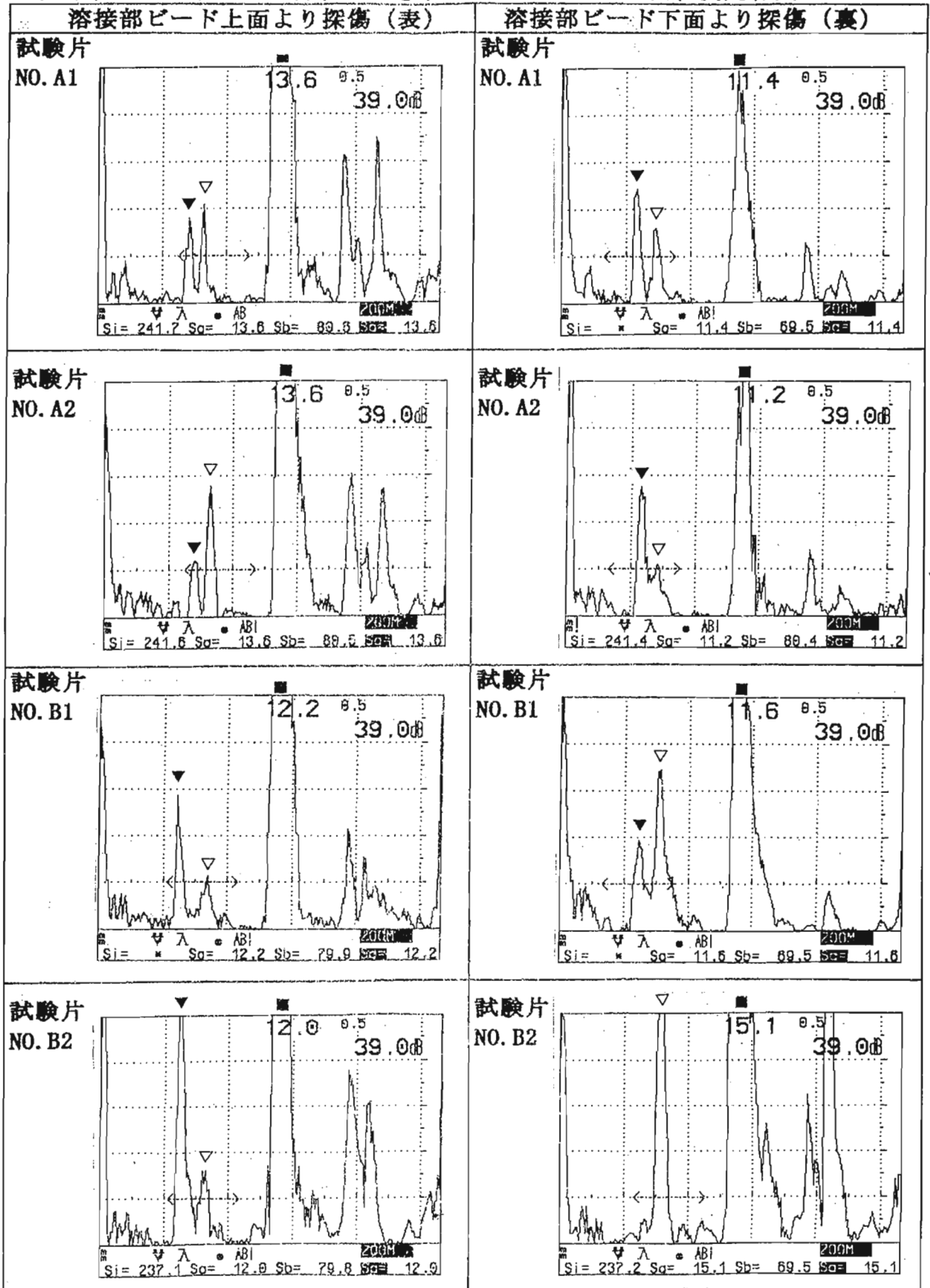


図7 ソフトプローブ5K10/2NDの探傷図形

の高さは4～5mm程度であった。きずの上端部(▼)ときずの下端部(▽)の間隔がきずの高さを表していることになり、ほぼ磁粉探傷の探傷模様から判断した結果に近い。タイプCのきずは、磁粉探傷では検出できなかった。これはきずが密着したものと思われる。

#### 7) きずの高さの評価

今回は溶接部ビード上からきずの検出を主眼にしたが、きずの検出が可能になればきずの高さ評価をしたい。例えば、AC波形を使用したり測定範囲の拡大などが考えられる。図8はAC波形の探傷図形を示す。この図形は、きずの上端部エコーと下端部エコーでは位相が反転しているので、図7のDC波形の探傷図形より情報量は多くきずの評価では優れていると考えられる。

記号、▼：きずの上端部、▽：きずの下端部、■：底面、測定範囲：2.5mm

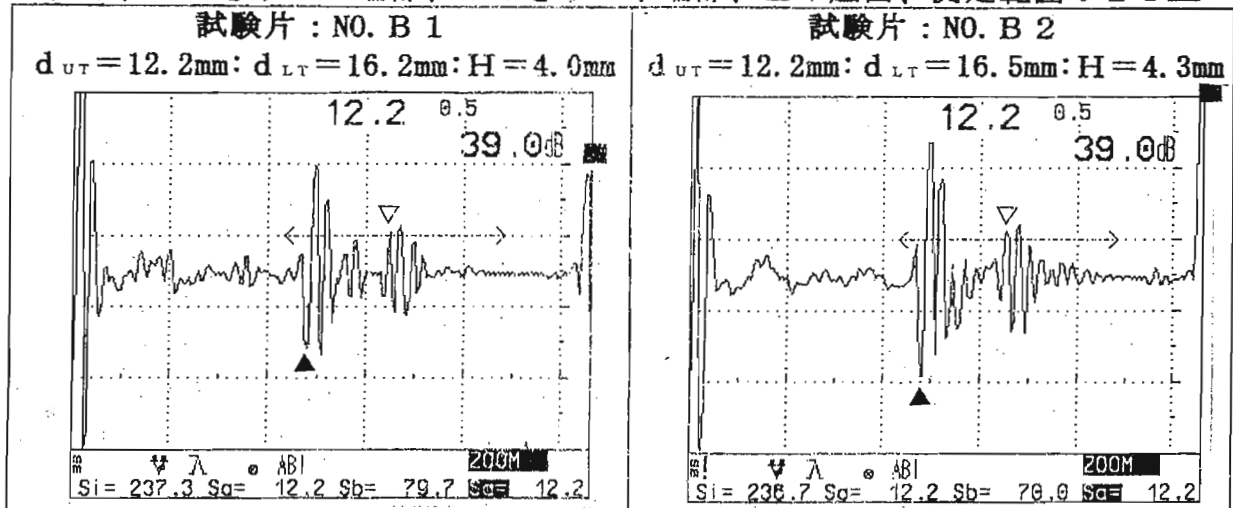


図8 ソフトプローブ5K10/2NDの探傷図形 (AC波形)

#### 4. まとめ

今回は、ソフトプローブにより溶接部ビード上から溶接部のきずの探傷例を紹介した。

- 1) ソフトプローブを使用することで、溶接部ビード上から溶接部のきずを容易に探傷できることが分かった。
- 2) 音響シートを適用すると、音響的にも良好で、探触子の摩耗防止及び保護の点からも望ましい。特に探触子の操作性に優れており、溶接部の探傷をより容易にする。
- 3) 今回は、溶接部のきずの検出に主眼をおいたが、今後更にきずの高さ評価と適用例の拡大を図りたい。

#### 参考文献

- 1) 高橋 修、幸崎 進、岩橋 充、李 文：ソフトプローブの紹介、pp.15-22, 神奈川県NDT研究会講演資料、(2003)
- 2) 福原 照明、星野 充宏：軟質二振動子垂直探触子と円柱探傷面による集束音場の数値実験、平成15年秋期大会講演概要集、pp.169-170, (2003)
- 3) 高橋 雅和、高橋 修、李 文：ソフトプローブによる溶接部の探傷、pp.15-22, 神奈川県NDT研究会講演資料、(2003)
- 4) 島田道男、吉井徳治、成瀬健：ソフト探触子による腐食材厚さ評価、超音波分科会資料NO.21713, pp.1-4, (2003)
- 5) 超音波探傷法：2.4.2 層面からの反射、pp.31-34, 日刊工業新聞社、(1964)

## デジタル超音波探傷器UI-25の紹介



湘菱電子株式会社  
○市川 英  
細井 崇晃

### 概 要

超音波探傷装置においては、原子力発電設備などでの、維持基準導入にもみられるように、製造時およびメンテナンス時における社会的責務としての非破壊評価に対する要求が高まっている。これらの要求に応えるためには新しい探傷法の開発と同時に、使用される機器の性能向上が不可欠である。ポータブル探傷器が使用される現場においても同様であり、現場環境において使用可能であるとともに、より精度良く、試験結果の再現性を追求し評価していくことが重要となる。

それらを最大のコンセプトとして新たにデジタル超音波探傷器 UI-25を開発したので紹介する。

### 1. はじめに

UI-25ポータブル型デジタル探傷器は、これまでに開発・製造してきたデジタル探傷器UI21～23で蓄積した経験と最近のデジタル機器の動向を視野に入れ、開発した製品である。

国内における超音波探傷器の市場は、ここ数年来は横這いの状況であったが、昨年初頭におきた橋梁での耐震性能を向上させるための、落橋防止装置や変位装置取り付け工事におけるアンカーボルトの設計長に対して、施工長で長さが足りないという問題が表面化し、自治体や国による一斉点検指示によって、超音波探傷器を使用した長さ測定が全国で行われた。

また、東京電力による原子力発電設備の不正問題や青森六ヶ所核燃料再処理施設での溶接手抜き工事など、世論を大きく揺るがす事態が発生し非破壊検査に対する関心が一層高まり、検査業務を含めた市場の裾野が広がると共に探傷器についての需要が拡大した。

一方、非破壊検査に対する要求も従来の”きず”の発見に止まらず、維持管理基準に照らすための、定量的な評価がより重要視されることとなった。探傷器においても新しい探傷法の適用や、試験結果の信頼性として再現性やトレサビリティが求められ、前述のアンカーボルト長さの試験においても全ての測定データの提出を要求している。

これらの社会的な要求に応えるためには、検査員の技量レベルの更なる向上と合わせ使用される試験機器の性能向上が不可欠である。

今回、開発したUI-25については、現場での使用に十分に耐えられる堅牢、小型、見やすい画面、長時間使用が可能なバッテリーなどを具備しつつ、時代の要求にあわせた大容量メモリ、CPUの高速化やインターフェース機能の拡充などによって様々な検査ニーズに対応可能な機器となっているが、具体的にどの様の実現しているかについて説明する。

## 2. デジタル超音波探傷器U I - 25の特長

### 2-1 現場使用を考慮した特長 その1 (ハードウェア構造など)

ポータブル探傷器として求められる現場使用を考慮した特長としてハード面では次の点が上げられる。

#### ①堅牢・小型・防的構造の筐体

試験環境を考慮したアルミダイキャストによる堅牢なケースを基本とし、接触媒質や不意の雨などによる水・油の侵入での機器故障を最小限に押さえるため、J I S防滴Ⅱ型を満足した筐体構造となっている。(写真2 防適用ゴムパッキン)

#### ②明るく見やすい画面

表示器には高輝度のT F Tカラー液晶表示器を採用している。この表示器は表示器下面にバックライトを装着しているが、通常使用での耐久寿命は5万時間である。表示画素数は640×480ドットであり、波形描画時、横軸有効ドットとして400ドットを確保している。また、液晶表示器前面と保護用プレート内面には、遮光のための特殊コーティングを採用している。これにより外光からの反射が1%以下に押さえられ、液晶表示器からの視認性が屋内(蛍光灯下)屋外(自然光)ともに格段に向上している。(写真1 液晶表示器に表示された色選択画面を示す。)

#### ③長時間使用可能なバッテリーと短時間での充電

高輝度のT F Tカラー液晶表示器を用いた場合、明るさの反面、電流の消費量が他のE LやL C Dなどと比較して大きくなる。探傷器で使用される電力の内、実に70%近くは液晶表示器で使用される。また、ポータブル探傷器は小型・軽量でなければならず、大きさや重さの制約から使用時間にゆとりのある小型軽量で且つ大容量のバッテリーがどうしても必要となる。

そこで、デジカメやノートパソコン、携帯電話などに採用されているリチウムイオン電池を搭載した。これにより1回の満充電で最長7時間の使用が可能となった。また、筐体には同時に2個実装可能にし、最長で14時間の使用が可能である。さらに、リチウムイオン電池の特長としては高い充放電効率が有り、ニッカドやニッケル水素電池などに見られるメモリ効果(浅い繰り返し充電により、1回の充電での使用時間が短くなる現象、定期的なリフレッシュ=放電が必要)が起きない。また、電池容量が下限値~80%の間は大きな電流を流して充電可能であり、わずかな時間の充電(U I - 25の場合は2時間で約80%充電される。)で容量を回復できる利点がある。従って、現場事務などで昼休みなどでの作業空き時間を利用することで、使用時間の延長が図れる。

(写真2 筐体裏面を示す。 リチウムイオン電池が1個実装されている状態)



写真1 外観と表示器

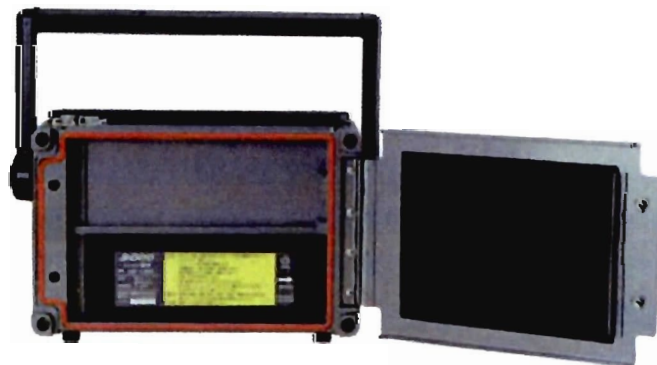


写真2 バッテリと防水パッキン





## 2-2 試験結果の信頼性確保のために

試験結果の信頼性の確保は計測器にとっては最大の使命である。試験における信頼性とは大別すると以下の3項目に分類される。

- (a) 欠陥検出能 指定された大きさのきずを検出できる能力。
- (b) 再現性 指定された試験条件に従って試験を行えば、試験者や試験機材が異なっても、同じきずを同じレベルに判定できる機能。
- (c) 履歴追従性 過去の試験結果に疑義が生じた場合に、直ちにその原因を過去に遡つ(トレーサビリティ)て調査できる能力。

これらの要求に併せ、超音波での検査、計測に関しては、さまざまな規格体系によって試験機材、方法、試験者など必要な事項が規定され運用されている。また、時代の変化と歩調を合わせ、見直し、改定、追加が常に行われている。従って、使用される計測器もまた、その歩調に併せるとともに、更なる提案を投げかけていくことが使命である。UI-25では次の特長を盛り込んでいる。

### ①記録性の充実

記録専用コンパクトフラッシュメモリを搭載し、表示画面画像の取込機能を付加すると共に、探傷データを生波形のまま大量に保存できる。また、保存されたデータは探傷器で再現することは勿論、他のデジタル機器(プリンターやパソコン)などで再現することが出来る。さらにデータ通信機能を利用すれば、現場と事務所での同時データ確認が瞬時に行えると共に、不測の事態では適切な対処方法などの打ち合わせが、データを見ながら行えるというメリットがある。

### ②新規格への対応

新JIS Z 3060(鋼溶接部の超音波探傷試験方法及び試験結果の等級分類)などへの対応をしている。RB試験片などによるエコー高さ区分線作成機能の他、材料の音響異方性の調査、試験周波数の測定などが行える。(写真6 周波数分析機能を示す。)

特筆すべく点として、試験周波数の測定は再現性を確保するためには、最も重要な事項のひとつであり、改定JIS Z 2350(超音波探触子の性能測定方法)でもデジタル探傷器を用いた周波数測定を認めている。



写真5 メモリ



写真6 周波数分析機能

### ③専用器化や自動化への対応とバージョンアップ

効率や信頼性を求めていくと専用器化、自動化へ発展する。これらの対応についても、インターフェースの拡充や専用ソフトの構築などが可能となっている。オプションとしているが、B・Cスコープ探傷の他にTOFDや圧接部探傷、レール探傷なども様々なニーズに応えている。

また、UI25はバージョンアップキーを備え、最新版ソフトが公開されることによって、常に最新の機能をユーザに提供している。

最後にデジタル探傷器の新しい可能性をより多くのユーザに見いだされ、活用されることを切望する。

以上

## UVミニライトの紹介

栄進化学(株) 千葉工場 相村英行  
開発技術センター 渋谷公明  
営業部 長堀和夫

### 概要

蛍光探傷法は、浸透探傷試験及び磁粉探傷試験において微小なきずの検出方法として広く使用されている。

励起光源としての紫外線照射灯(ブラックライト)も、近年はメタルハライドランプなどの使用や回路技術の進歩により高強度化、即時点灯化などが図られている。

しかし、簡便性、安全性をより重視したポケットブル・タイプのブラックライトはいまだなく、弊社では近年性能の進歩の著しいUV-LEDに着目し、携帯性の良いポケットサイズのブラックライトを「UVミニライト」として開発し、商品化したので、簡単に紹介する。

### 1. はじめに

浸透探傷試験及び磁粉探傷試験は表面なきずの探傷方法として非常に多く用いられており、特に蛍光探傷試験法は簡便でありながらも目視にて容易に微細なきずの検出が可能であることから、圧延・鋳鍛造による素材、圧力容器、航空機、自動車部品、溶接構造物などの表面なきずの探傷法として多用されている。

このとき、蛍光励起光源として使用される紫外線照射灯(ブラックライト)は、ここ10年程度で、照射紫外線の高強度化、即時点灯化、安全対策などの改良、開発が図られ、急速な進歩を遂げた。これらの開発では、従来の高圧水銀灯からメタルハライドランプへ進化したことが重要な役割を占めている。

しかし、ランプの特性として熱エネルギーを多く放出するため、発熱量が大きいことや、消費電力が大きいこと、また電源の大きさや携帯性にもある程度の限界があった。

弊社では、近年開発に成功し、性能進歩の著しい紫外線発光 LEDに着目した。紫外線照射灯としてLEDを使用する場合の特長として次の点があげられる。

- (1) 小型で低消費電力にすることができ、乾電池での使用が可能。
- (2) 発熱がほとんどなく、火傷に対する安全性向上。
- (3) 小型軽量になることで、携帯性が非常によくなる。
- (4) LEDは従来ランプよりも長寿命。



これらの特長を生かした、より携帯性のよいポケットサイズのブラックライトを「UVミニライト」として開発し、2003年11月に東京ビックサイトにて開催された非破壊評価総合展においてサンプル展示を行った。この際にご来場者から大きな反響を頂いたため、商品化することと致しましたので、以下、その概要を紹介致します。

## 2. 紫外線発光LED (UV-LED)

紫外線発光 LEDは(UV-Light Emitting Diode) は、近年急速に低波長製品が開発されており、非破壊検査分野でも使用可能になってきた。主なメーカーは日亜化学工業(株)、豊田合成(株)、ナイトライド・セミコンダクター(株)などである。いずれも半導体材料にはGaN(窒化ガリウム)が使用されている。当初はかなり白色光領域にも波長分布が多いものであったが、近年は370nm以下にピーク波長を持つような、非破壊検査における紫外線照射装置の規定に合致するような製品が開発されてきた。その波長分布の一例を、図1に示す。また、最近では高強度の複合型 LEDも登場している。

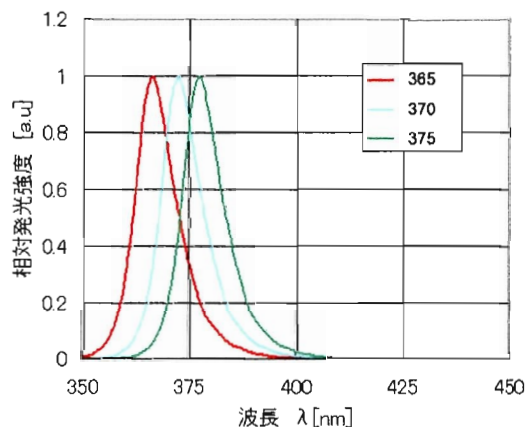


図1

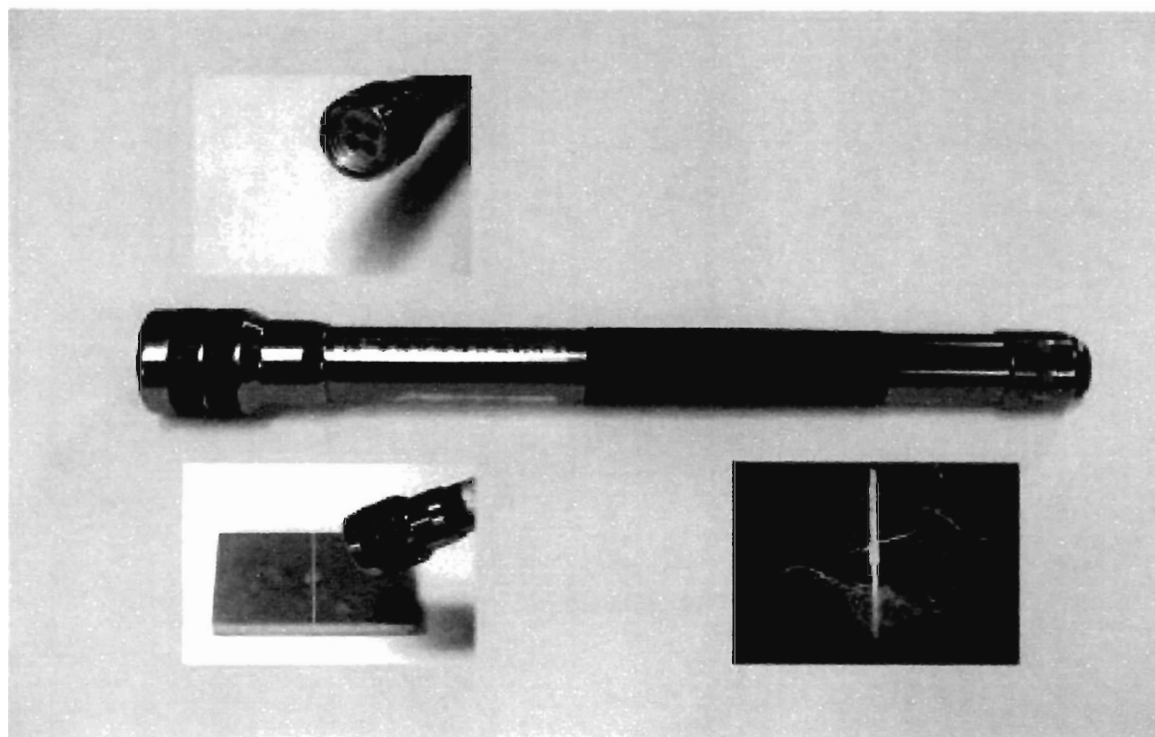
## 3. 製品紹介

上述の紫外線発光 LEDが登場したことにより、携帯性に優れた乾電池で使用できる低消費電力のポケットサイズの紫外線照射灯の開発が可能となった。このミニライトではLEDの特性から、照射距離が遠い場合には試験面に高い紫外線強度は得られないが、10cm以下の距離であれば1000  $\mu\text{w}/\text{cm}$ 以上の観察に十分な強度が得られている。探傷試験後のきずの簡便な確認や、狭隙部などの観察、蛍光探傷のデモンストレーション、蛍光マーキングの確認などに活用できるものと思われる。(別紙、弊社製品カタログ参照)

## 4. 今後の展望

このUVミニライトでUV-LEDの特長を生かした携帯性に優れた、乾電池で使用できる小型の紫外線照射灯を商品化することができました。UV-LEDは今後も高輝度、高出力に向けて更なる開発が行われることと思います。今後もこのUV-LEDの特性を生かした製品の研究を継続し、非破壊検査以外の分野での使用も考慮に入れた、より安全性・信頼性の高く、特長ある紫外線照射灯の検討・開発を続けていきたいと考えております。

## ミニライ



## 特長

- 紫外線LEDを使用した高輝度・携帯用ミニライトです。(PAT. P)
- 狭い範囲を部分的にスポット照射。
- ミニライトは持ち運びに便利。
- デュアルスイッチ方式で、回転スイッチ又はプッシュスイッチで即時点灯。
- LEDは衝撃に強く長寿命。

## 仕様

品名	UVミニライト
電源	単三電池(3本)
光源	紫外線LED 4本使用
外形寸法	L186×26φ(グリップ18φ)mm
重量	106g(電池含む)

紫外線強度 (10cm距離にて)	1000μW/cm <sup>2</sup> 平均 連続点灯約20Hr可能。但し、電圧低下とともに紫外線出力は低下します。
紫外線中心波長	370nm
使用温度範囲	-5℃~40℃

## 安全上のご注意

- 点灯中の紫外線LEDの光を直接見ないで下さい。
- やむを得ず見る場合は、必ず紫外線カット専用メガネまたはゴーグルを使用してください。

※本製品は、今後仕様、外観など改良の為予告なく変更することがあります。

 栄進化学株式会社

本社 〒105-0021 東京都港区東新橋 1-2-13 川岸会館 TEL 03-3573-4235 FAX 03-3573-4230





# 千葉県非破壊検査研究会HPの紹介

研究会HP作成WG ○高田 一\* 立川克美\*\*

Hajime Takada Katsumi Tachikawa

\*JFE技研株式会社

JFE R&D Corporation

\*\*千葉県産業支援技術研究所

Chiba Industrial Technology Research Institute

## 概要

千葉県非破壊検査研究会のホームページ（HP）開設についてその概要を紹介する。ホームページ開設の目的、掲載する内容、および公開予定について述べる。

## 1. ホームページ開設の目的

ホームページの開設は以下のような目的をもって  
います。

### (1) 情報の公開

活動内容を紹介することによって、本研究会の社会  
への貢献をアピールします。これによって、研究会の  
社会的な地位を高めるとともに、新会員や講習会受  
講者などの獲得を図ります。

### (2) 研究会運営の効率化

総会、研究発表会、講習会等の行事の案内や会  
員への連絡事項を Web 上に掲載することにより、紙  
ベースでの連絡を削減します。これによって事務担  
当者の負荷や経費を削減できると期待されます。

ネットワークにつながったパソコンがあれば、いつ  
でもホームページを開いて、必要な情報を取り出すこ  
とができるようになりますので、情報伝達の円滑化、  
迅速化を図ることができます。

### (3) 会員サービスの向上

研究会からの非破壊検査に関する諸情報の提  
供によって、会員は従来よりも多くの情報を簡単に手  
に入れることができます。

## 2. ホームページの内容

ホームページはフレームページとし、左右2つのフレ  
ームを表示します。この様子を図 1 に示します。左側の  
フレームにメニューを表示します。参照したい項目をクリ  
ックすることにより、右側のフレームにその内容が表示さ  
れるようにします。

ホームページの配色は、本研究会が好んで用いてい  
るオレンジをベースにしています。文字が多いページで  
は、見やすい表示を行うため、背景をグレーにする場合  
があります。表示色数を抑えることによって、けばけばし  
さを避けた、親しみやすい表示になっていると考えてい  
ます。

ホームページには以下の内容を掲載する予定にして  
います。

### (1) 研究会連絡先

ホームページをみて、研究会と連絡をとりたいと  
考えられる方の便宜を図るため、メニューの先頭に  
研究会の連絡先の項目を設けました。事務局の連  
絡先、および千葉県産業支援技術研究所天台庁  
舎までの地図を掲載します。

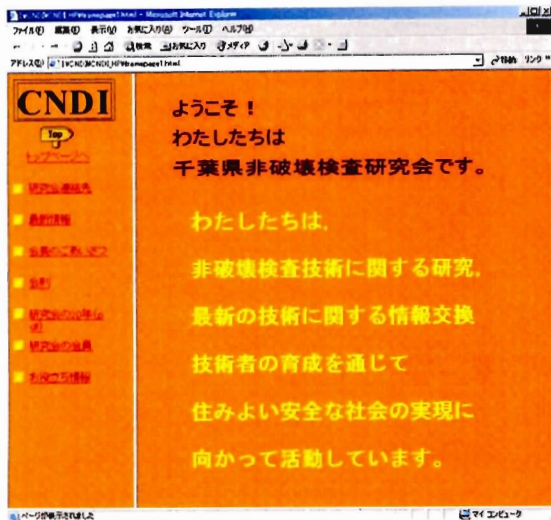


図 1. 研究会 HP のトップページ（暫定案）

### (2) 最新情報

研究会が開催する総会，研究発表会，講習会などの行事をタイムリーに掲載します。将来，オンラインでの参加申し込みができるよう検討する予定です。

また，関連する団体が開催するシンポジウム，セミナー，会議や展示会などの情報も掲載します。

### (3) 会長挨拶

HP 開設に当たっての会長のご挨拶やその他必要に応じて会長のご挨拶を掲載する予定です。

### (4) 会則

研究会の会則を掲載することにより，研究会に参加を希望される方や既に研究会に参加されている方に会則を十分にご理解いただけるようにします。

### (5) 研究会の 20 年の歩み

本研究会の 20 年の活動を簡単に紹介します。20 周年記念誌のダイジェスト版を掲載します。また，会員の方はカラーの 20 周年記念誌をダウンロードして，お楽しみいただけるようにする予定です。なお，会員限定情報にはパスワードを設定して，必要以上に詳しい情報が Web 上に流れるのを防止するようにします。

### (6) 研究会の会員

最初は詳しい情報の掲示を避け，会員である団

体，または会員が所属する団体の HP アドレスの公開のみにとどめる予定です。とりあえずは，20 周年記念誌の会員アピール欄に記載されている HP アドレスを掲示します。

将来は会員の皆様のご要望に応じて，内容を充実させていく予定です。

### (7) お役立ち情報

本研究会に関連の深い団体やメディアへのリンクを掲載します。下記の団体を予定しています。

- 1) 日本非破壊検査協会
- 2) 日本溶接協会
- 3) NDT 工業会
- 4) CIW 検査事業者協議会
- 5) 千葉県産業支援技術研究所
- 6) 神奈川県非破壊非破壊試験技術交流会
- 7) ndt.net (英語) など

また，JIS Z 2305 非破壊試験技術者資格試験の日程や非破壊技術者に関連の深い情報の掲載を予定しています。

## 3. ホームページ公開予定

幹事会による承認を経て，直ちに公開を行う予定です。いまのところ，2 月中旬を予定しています。ホームページのアドレスやパスワードも直ちにご連絡する予定です。

以上

# 3D超音波検査装置の紹介

H16年2月6日

株式会社 東 芝

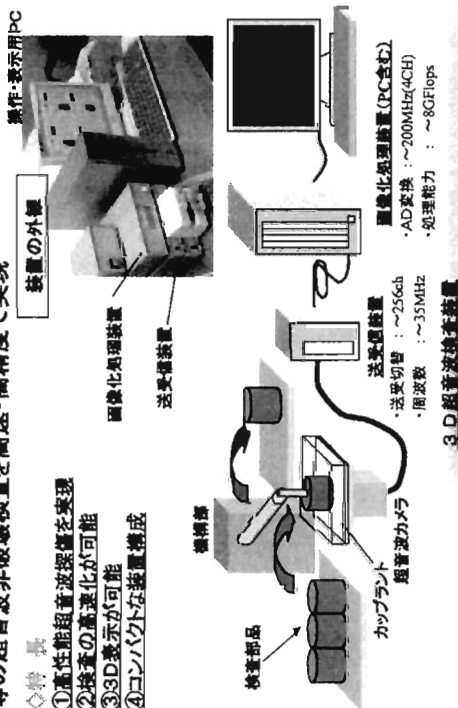
この技術資料は弊社の所有財産であり、未出願特許情報、ノウハウ等の機密情報を含んでおりますので、この技術資料に記載された技術情報の一部または全部を第三者に開示されないようお願いいたします。  
株式会社 東芝 電力・社会システム社



独自に開発した超音波カメラ技術を適用し、製造部品、溶接部品、鋳造部品、樹脂等の超音波非破壊検査を高速・高精度で実現

◆特長

- ①高性能超音波探傷を実現
- ②検査の高速化が可能
- ③3D表示が可能
- ④コンパクトな装置構成



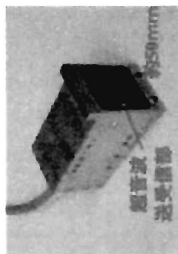
画像化処理装置 (PC含む)  
 ・AD変換 : ~200MHz(4CH)  
 ・処理能力 : ~8GFlops

送受信装置  
 ・送受切替 : ~256ch  
 ・周波数 : ~35MHz

3D超音波検査装置

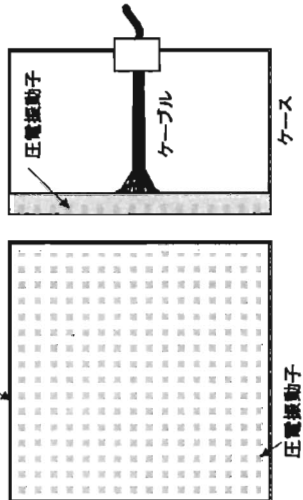
マトリックス配置した多数の圧電振動子で超音波送受信するにより、立体情報を高速・高精度で収集

- ・周波数 : 5MHz、10MHz、25MHz
- ・素子数 : 16×16個
- ・素子材料: PZT
- ・開口寸法: 45mm (at 5MHz)



超音波カメラの外観

超音波送受信部



超音波カメラの構造

- ・画像化処理装置と送受信装置のユニット化を実現
- ・コンパクトで持ち運びが容易

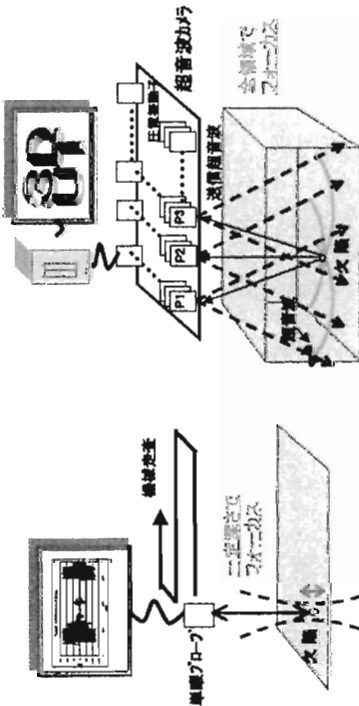


3D超音波検査装置の外観

## 特長及び原理説明

3D開口合成処理の適用により、

- ・検査対象内部を3Dで高速表示が可能(平面、断面画像による)
- ・3D全領域で良好な分解能(約1mm @ 5MHz)が可能
- ・数千~数万の波形加算により、高感度(0.3mm)の検出が可能



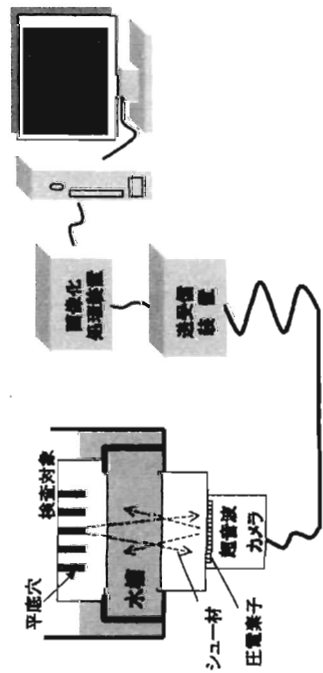
異型センサの場合...

3D超音波検査装置の場合...

検査方法

検査方法及び構成(水浸式)

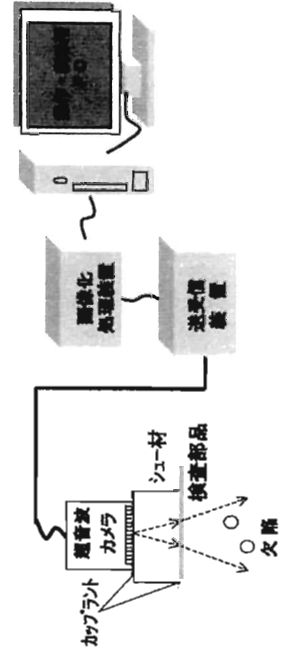
水筒外側に設置した超音波カメラにより、水浸させた検査部品内部欠陥の可視化を高速で行うことが可能。



水浸式による検査概念

検査方法及び構成(密着式)

超音波カメラをカップラントを介して、直接検査対象の表面に密着することにより内部欠陥等の可視化を行うことが可能。



密着式による検査概念

## 操作・表示画面

### 発受信テスト画面

波形表示画面により、①センサ特性の確認、②各種測定条件設定を行う。

測定画面と連動

発受信素子の選択(1~256)

波形表示画面

自己発受信センサ特性確認

連続波形取込

単発波形取込

取り込み遅れ時間

取り込みデータ長 (256~2048)

積算回数 (1~256)

サンプリング周波数 (40MHz~200MHz)

ゲイン (0dB~60dB)

### メイン画面

画像化条件の設定、及び測定を行う。

画像化条件設定

測定開始

画像化結果表示

### メイン画面 (送受信パターン設定)

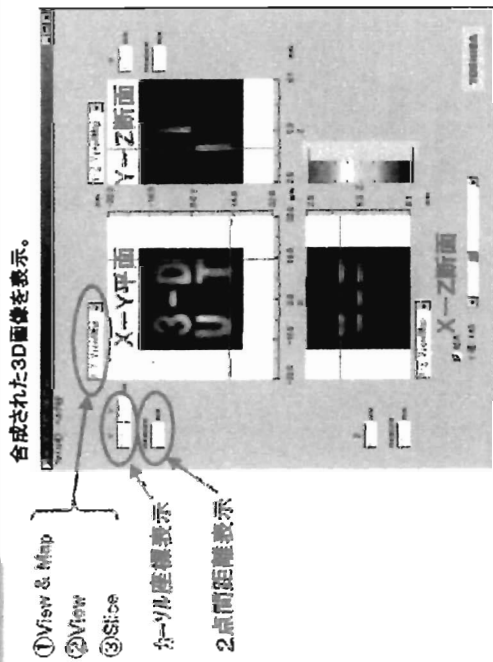
送受信パターンを試み込む。

送受信パターン設定画面

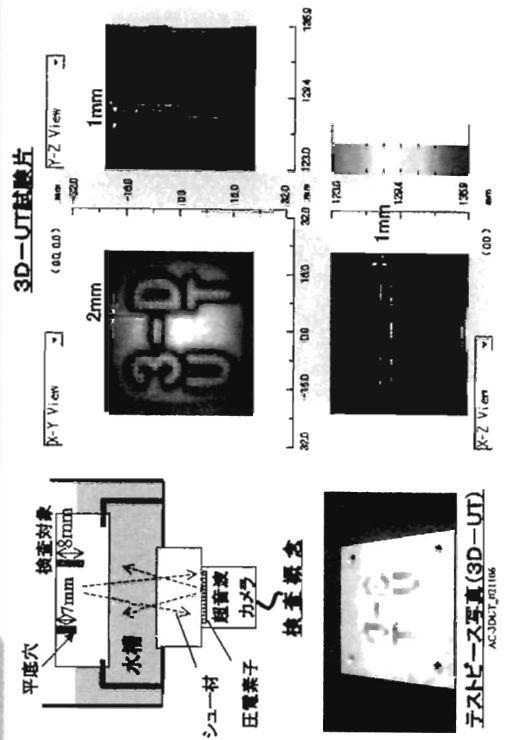
送信パターン

受信パターン



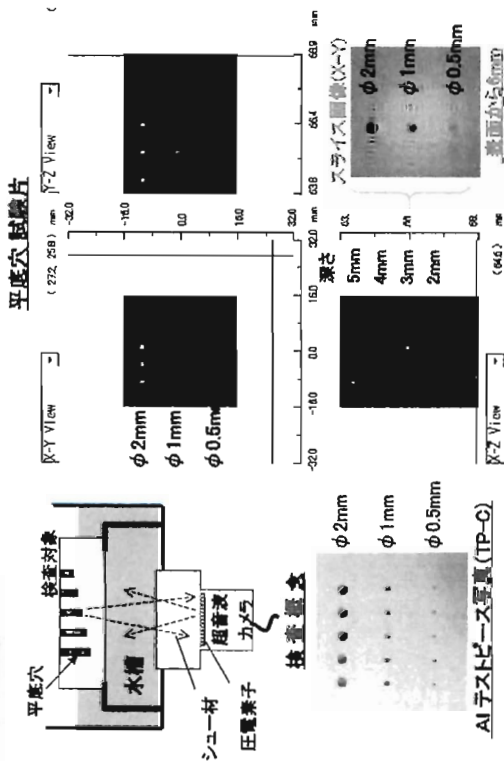


## 操作・表示画面

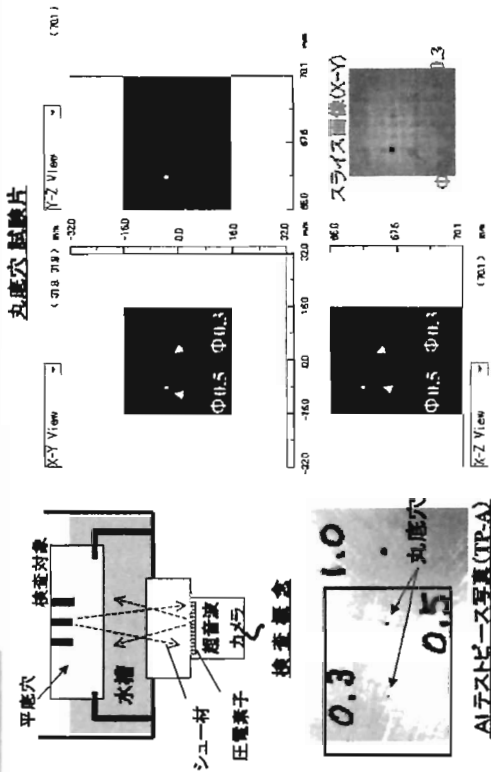


## 画像化例 (金属材料の内部検査)

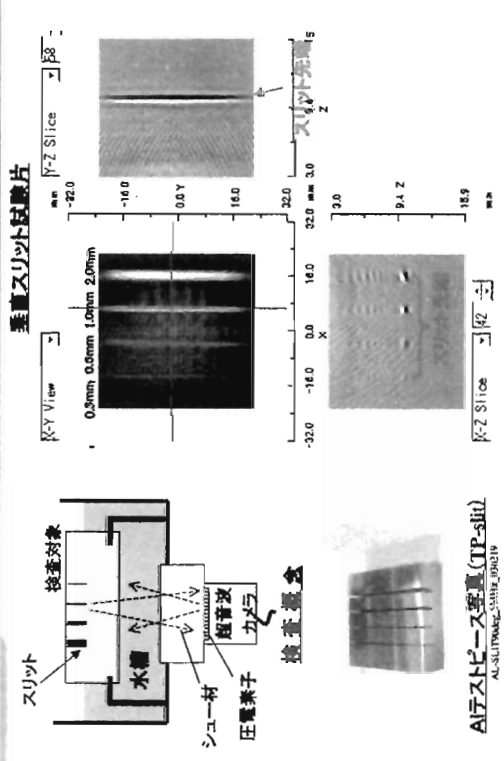
深さの異なる平底穴の先端部の3D表示が可能



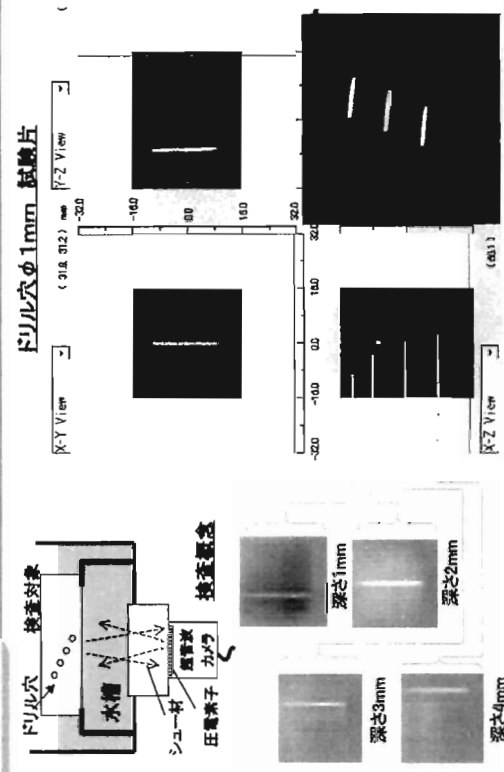
丸底穴の先端部の可視化がφ0.3mmまで可能



φ0.3mm幅の垂直スリット先端部の可視化が可能



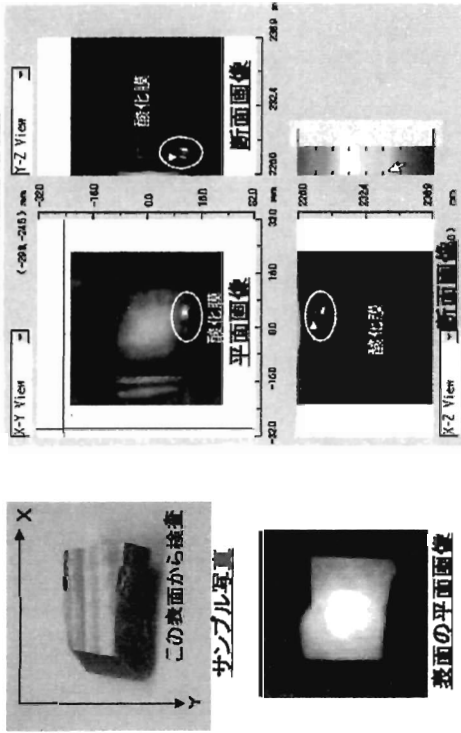
表面近傍のドリル穴の可視化が可能



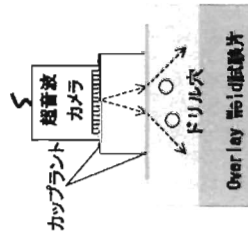
# 酸化膜

アルミダイキャスト内部に巻き込まれた酸化膜が可視化可能

## アルミダイキャスト試験片

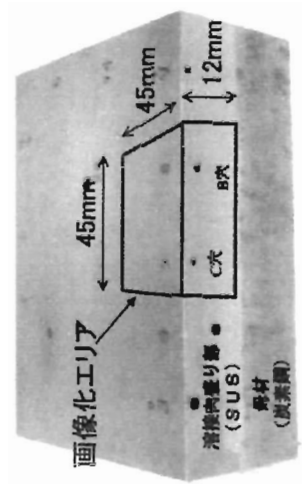


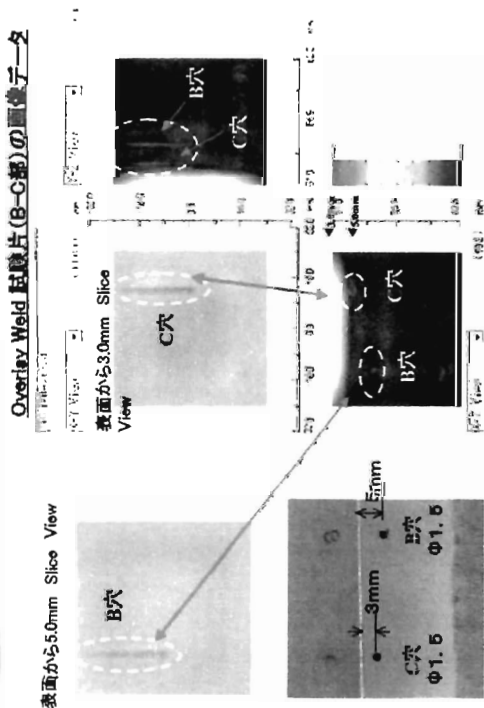
# Overlay Weld (溶接肉盛り部)



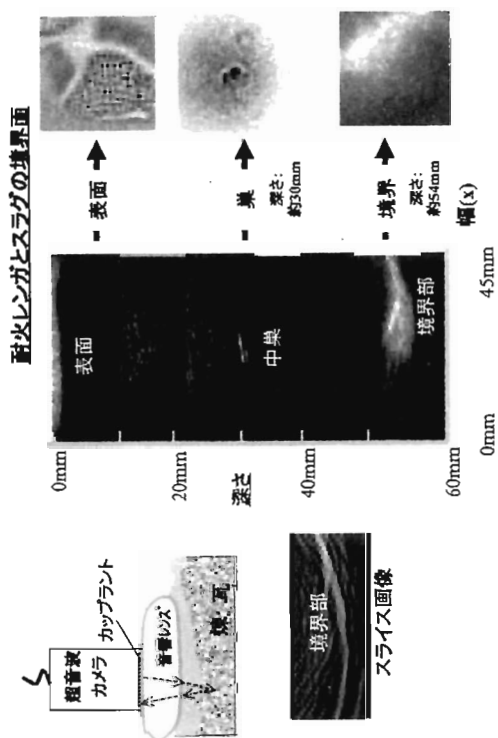
- 画像化試験条件
- 周波数 : 5MHz
  - 素子数 : 16×16個
  - センザ開口 : 45mm 口
  - ダイキャスト : 0.5mm(X,Y) 0.08mm(Z)

## Overlay Weld (溶接肉盛り部) 試験片





# 溶融炉 (レンガの減肉確認)

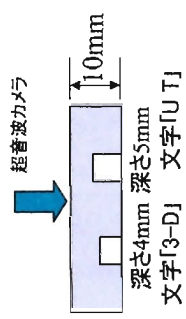


# 画像化例 (樹脂・複合材の内部検査)



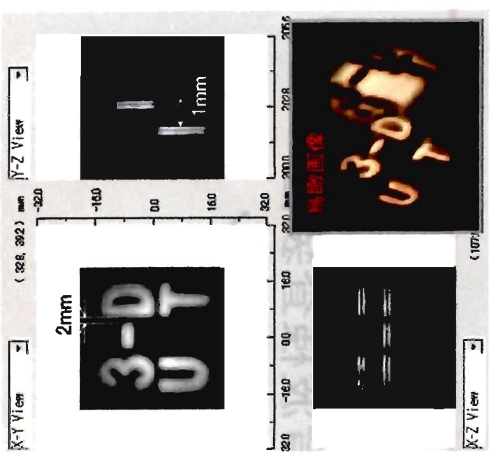
### 樹脂内部の欠陥形状を高分解能で可視化

検査対象  
アクリル材に3D-UT  
の文字を加工



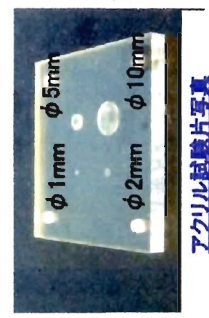
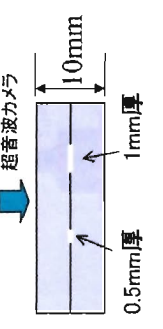
テストピース写真  
AC-3DUT\_021106

#### アクリル試験片



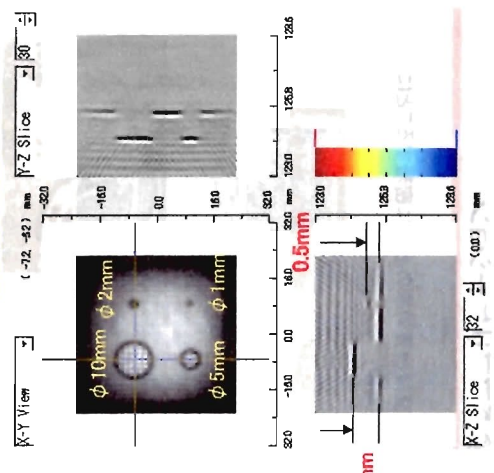
### 樹脂内部の剥離、ボイドの形状を高分解能で可視化

検査対象  
アクリル材にボイドを模擬  
したものを加工



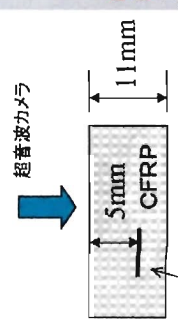
アクリル試験片写真  
AC-BOID\_5MIL\_00219

#### アクリル試験片



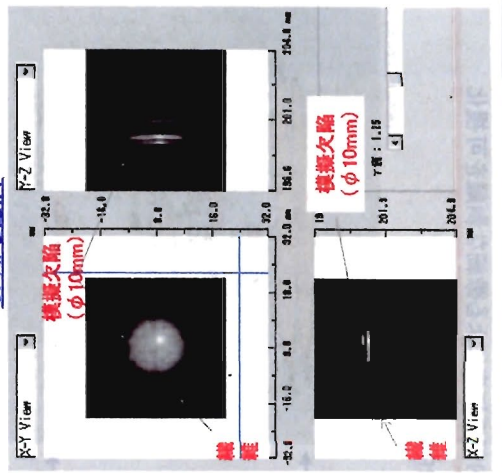
### CFRP材の内部欠陥・剥離、ボイドを可視化

検査対象  
CFRP(板厚11mm)中にボイド  
を模擬した中空部を加工

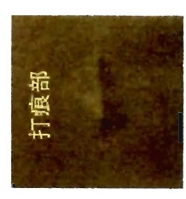


- 模擬欠陥 (φ10mm)
  - 欠陥深さ : 5mm
  - 欠陥サイズ : φ10mm
- テストピース

#### CFRP試験片

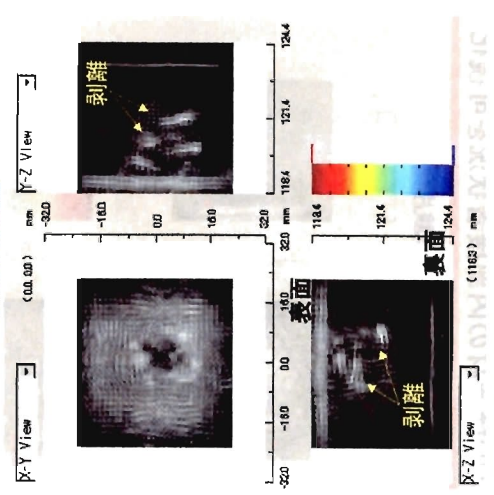


### CFRP材内部の打痕による微細な剥離を可視化

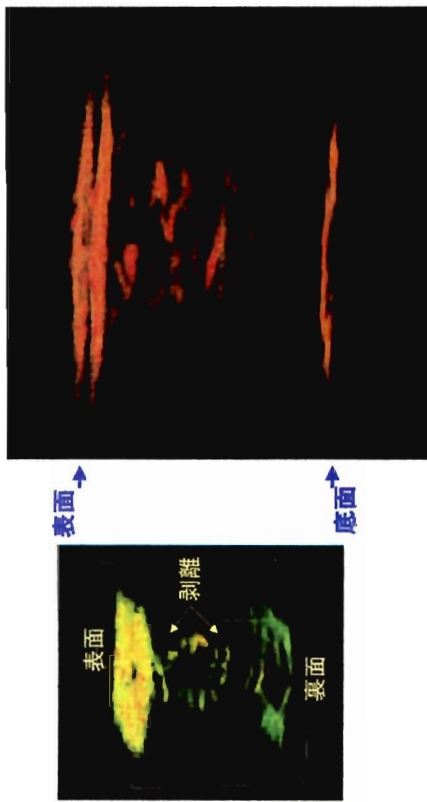


CFRP試験片

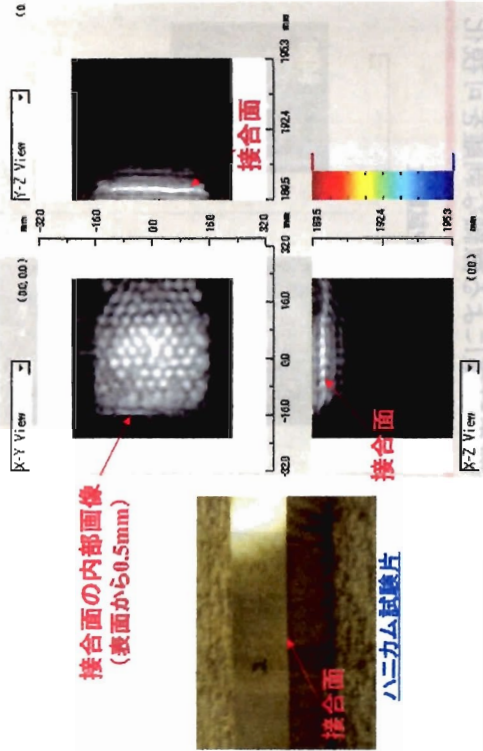
#### CFRP試験片



CFRP試験片鳥瞰画像

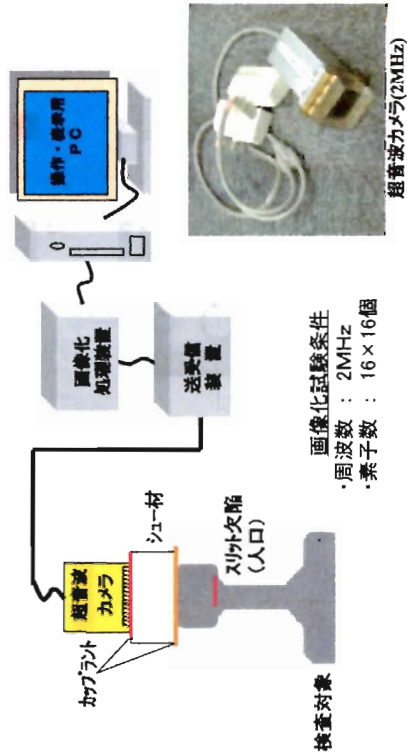


ハニカム試験片



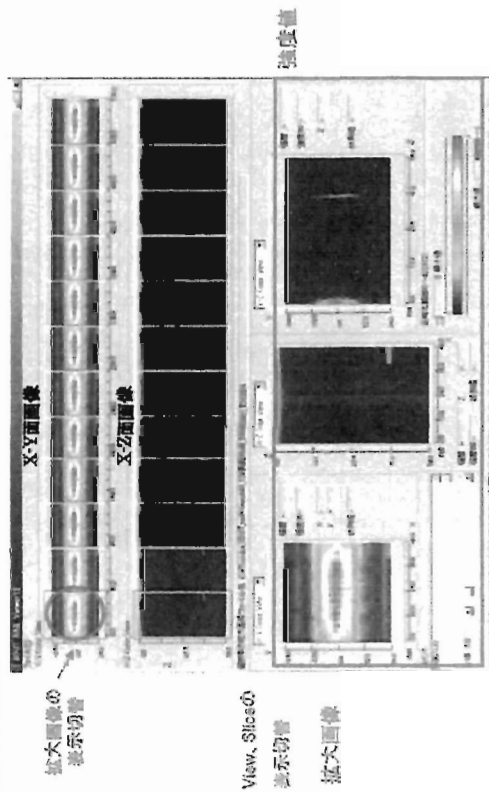
超音波カメラをカプラーを介して、直接検査対象の表面に密着することにより内部欠陥等の可視化を行うことが可能。

### 3D超音波検査装置 アプリケーション



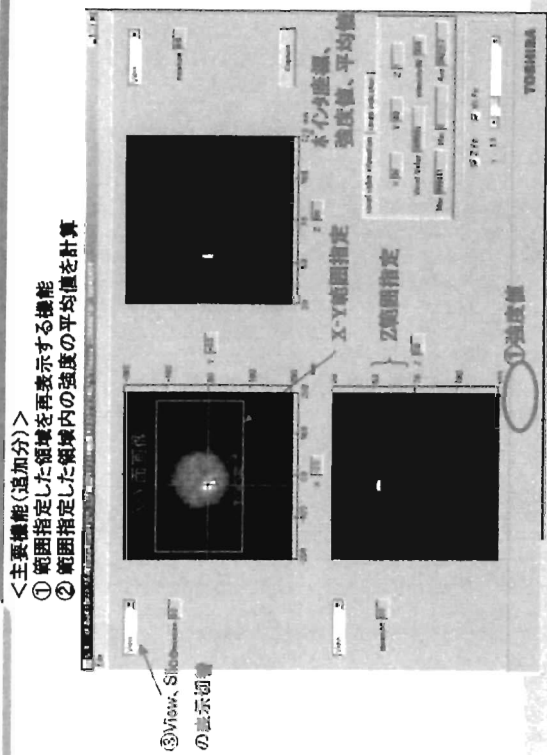
## オプション表示画面(複数画面表示)

TOSHIBA



## オプション表示画面(指定範囲再表示)

TOSHIBA



東芝の3D超音波検査装置は、  
これまで、あきらめていた内部欠陥、巣、はがれを  
「早く」「見やすく」「鮮明」に可視化します。





# ポータブルフェイズドアレイ UT 装置 (PAL-2)

Portable Phased Array UT System (PAL-2)

○後河内 薫

南 康雄

KAORU USHIROGOCHI YASUO MINAMI

日本クラウトクレーマー(株)

Krautkramer Japan Co.,Ltd

## 概要

従来のフェイズドアレイ超音波探傷装置はその全体システムが大きいため、様々な場所で適用することが困難であった。そこで、各種研究機関や現場等で簡単に適用することが可能な、軽量でコンパクトなフェイズドアレイ超音波探傷装置 PAL-1 を開発した。今回は PAL-1 の機能をさらに向上させた新しい装置 PAL-2 についてその特長と様々なアプリケーション適用例について紹介する。

**KEYWORDS** : フェイズドアレイ、ポータブル、リニアスキャン、セクタスキャン、DDF

## 1. はじめに

従来からフェイズドアレイを適用した超音波探傷法についてはその有用性が認められてきたが、実際に適用するには装置全体が大きく、さらに重量があることから容易に移動させることが困難な事などから、様々な試験対象物に十分に適用することができなかった。

そこで、当社では1昨年までにフェイズドアレイによる超音波探傷法を各種対象物への適用を拡大させることを目的として、ポータブルタイプの装置 (PAL-1) を開発した。この装置は、軽量・コンパクト化をメインコンセプトとして従来のものに対して操作性、汎用性及び探傷性能をより向上させたものであった。今回は、PAL-1 よりもさらに各種機能を向上させた PAL-2 について、本装置の概要・機能さらに各種対象物に対する適用例について報告する。また、このフェイズドアレイによる超音波探傷については、電気事業法で規定されている原子力発電所の超音波探傷試験方法の規格である「JEAG4207」にも新たに記載される方向の方法であり、きずのサイジングに対しても非常に有効な手法である。

## 2. 装置概要

本装置には2つのタイプがありその外観を写真1(a)及び(b)に示す。(a)は従来の PAL-1 と同様で、大きく分けて2つのユニットにより構成されている。1つは写真の右側に示す汎用ノートパソコン (以下PC) で、探傷条件の設定及び表示、収録、データ処理を行うものである。もう1つは写真の左側に示すアレイドライバーユニット (以下ドライバ) で、パルス/レシーバ、フェイジング、アンプ、インターフェイス等を具備したものである。ユニット間の接続はLANケーブルのみであり、PCは事務所に、ドライバは作業現場に配置し探傷を実施するといったように、それぞれのユニットを離れた場所で操作することも可能である。

本装置最大の特長は軽量・コンパクトであり、ドライバ本体の寸法は約 263W×61H×370D (mm)、また重さは約 3.4kg と従来の 1/10 程度になった。そのドライバの中に送受信 128 チャンネル、同時制御 32 チャンネルのハードウェアを収納している。

また、(b)は(a)に示したノートパソコンとドライバを一体化させたもので、持ち運びが便利となりパソコンはタブレットパソコンを使用している。

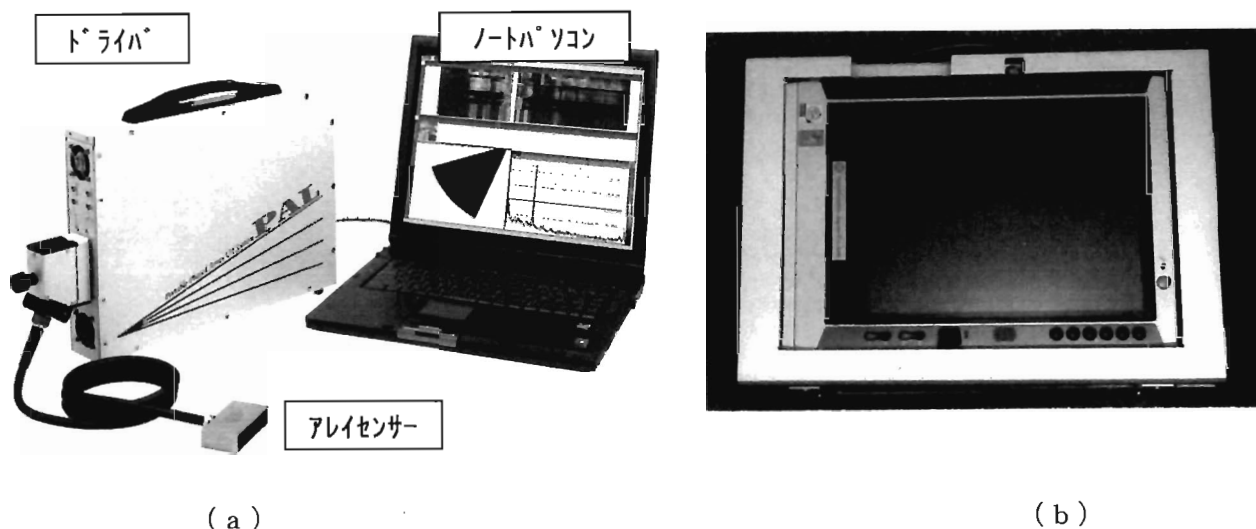


写真1 PAL-2の外観

### 3. 基本仕様

表1にPAL-2ドライバの基本仕様を示す。

PAL-2 ドライバの基本仕様

項目	仕様
チャンネル数	128ch
同時制御チャンネル	最大 32ch
送受信遅延時間	5nsec ステップ 最大 5 $\mu$ sec
送信電圧	最大 98V スクエアパルス
繰り返し周波数	最大 20kHz 以上
周波数帯域	0.5MHz~15MHz (-3dB)
可変感度	100dB、0.1dB ステップ
B スコープ表示速度	15Hz 以上可能
ドライバ外形寸法	約 263W×61H×370D (mm)
ドライバ重量	約 3.4 kg
制御、データ処理装置	汎用 PC

### 4. 探傷設定及び探傷結果表示例

#### 4.1 探傷設定表示

探傷時の設定画面の表示例を図1に示す。

この設定画面では、探傷に使用するプローブや試験対象物の仕様を入力するが、これらはデータベース化されているため、一度入力しておけばデータベースから選択するだけで設定することが可能となる。スキヤニングの設定は、使用エレメント、屈折角及び焦点距離の3つの内容で構成され、それぞれ開始、終了ポイント及びピッチ入力により設定される。制御順序は任意に設定することが可能で、エレメント毎の遅延時間は自動計算される。また、異なるスキヤニング設定を最大 16 ファイルまで連続処理することが可能で、その結果は同一画面で表示される。この方法を適用することにより、複数条件のリニア走査とセクタ走査を単一の設定で探傷することが可能となり、各種試験対象物の形状に応じた探傷を行うことが

できる。

模擬アニメーションは設定した条件での探傷が正しく行われるか否かを簡易的に確認するため、入力された設定での超音波ビームの動きを模擬的に行っている。これにより設定入力の誤り等を容易に確認することができる。図2に様々な模擬アニメーション例を示す。

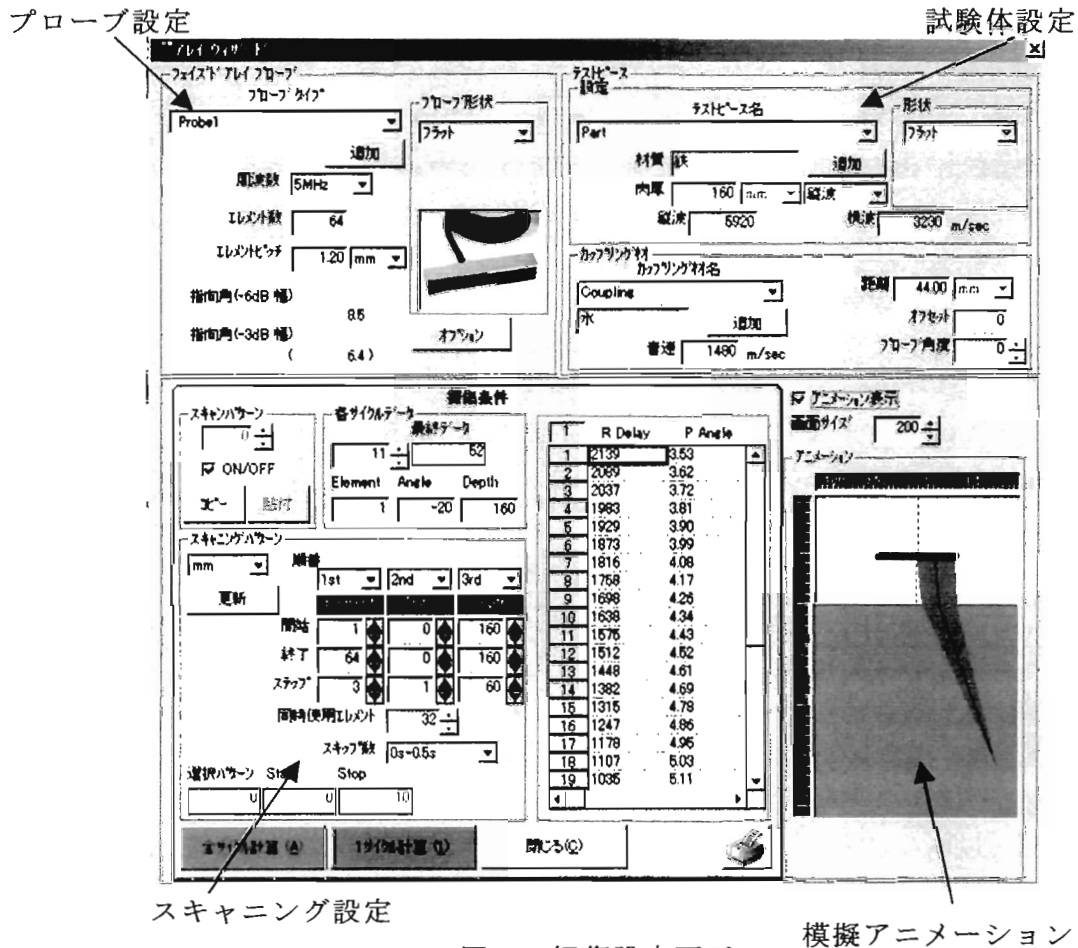


図1. 探傷設定画面

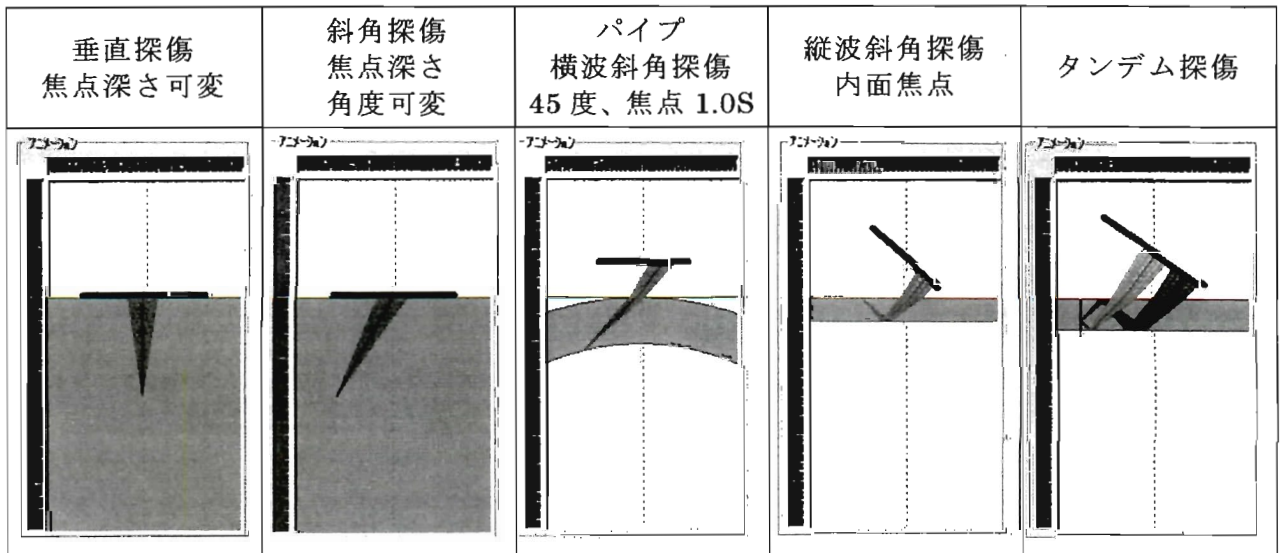


図2 各種模擬アニメーション例

さらに、自動計算による設定以外に、各エレメントの選択及び遅延時間を個別に設定することも可能で、フェイズ設定画面上で行うことができ、送信、受信エレメントそれぞれのON/OFFや遅延時間が表示されており、手動により個別データの設定を変更することができる。これにより複雑な走査や、送受信毎に使用エレメント数を変えるなどが可能となり、より詳細な探傷を行うことができる。

#### 4.2 探傷結果表示画面

本装置の大きな特長は設定された焦点距離毎に遅延制御された送受信を行い、焦点位置付近のみの受信データを採取し画像処理を行うことができることである。

また、スキヤニングの方法も以下の方法を複合させて行うことができる

##### ① リニアスキヤン

アレイセンサのエレメントを複数（1～32 選択して）同時に移動させながら垂直探傷や斜角探傷を行う方法である。

##### ② セクタスキヤン

エレメントの遅延制御によって、斜角探傷における屈折角を変更させながら探傷する方法である。

##### ③ DDF（ダイナミック・ディプス・フォーカス）スキヤン

フォーカスポイントを変更しながら探傷する方法である。

これらの方法を複合して適用する事によって、従来検出することが困難であった、一つの反射源の下に隠れている別の反射源を検出することが可能となった。さらに、試験体の形状に応じた走査等を用いた探傷方法を適用することにより各種反射源からのエコーを効率良く表示及び評価することも可能となった。

以上の特長を踏まえて各種対象物に対して実施したアプリケーション例を次頁以降に示すことにする。

#### 5. 今後の予定

今後様々な各種検査手法に対応するために、さらなる機能の向上を予定している。その項目例を以下に示す。

##### ① タンデム探傷法

1つのアレイセンサのエレメントを部分的に使用して行うタンデム探傷システムであり、薄板に発生する探傷面と直角方向のきずの検出に対して有効な方法である。

##### ② 2探触子法

2つのアレイセンサを用いた探傷システムで、TOFD法、透過法及び厚板に対するタンデム法に適用することが可能である。

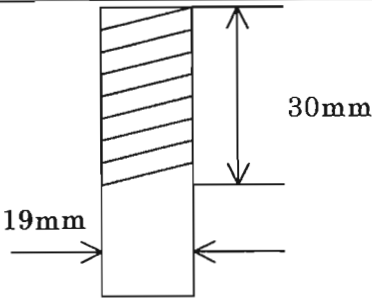
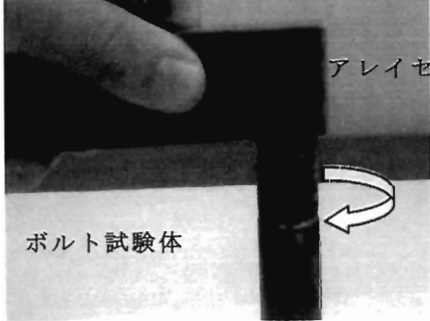
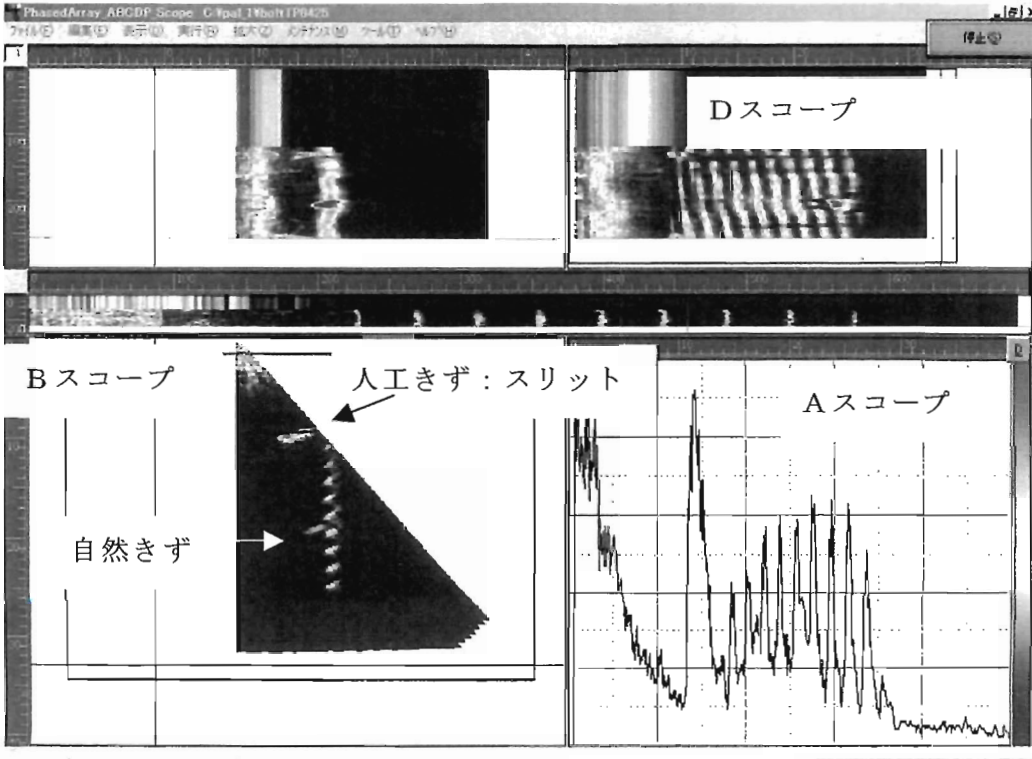
#### 6. おわりに

軽量・コンパクトなフェイズドアレイUT装置（PAL-2）を紹介した。今後、原子力をはじめとして様々な構造物にフェイズドアレイによる超音波探傷が適用されていくことが予想される。そこで、各種対象物に対しての色々なニーズに答えられる検査方法の確立を行い、構造物の信頼性・安全性に寄与していきたいと考えている。

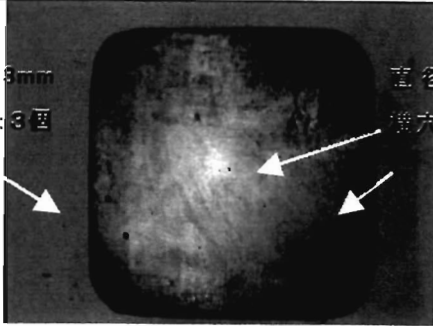

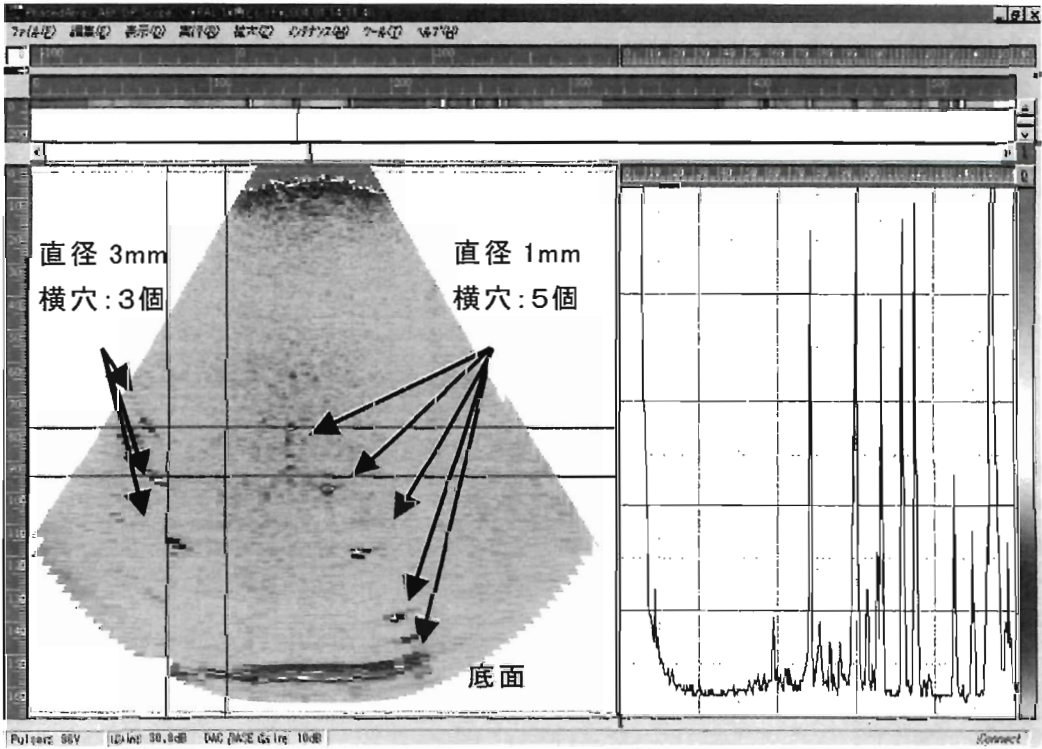




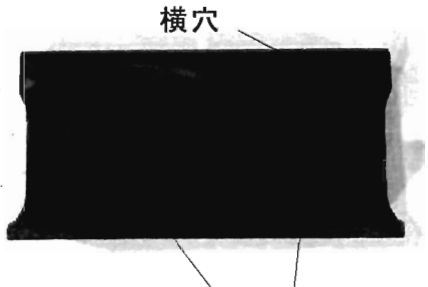
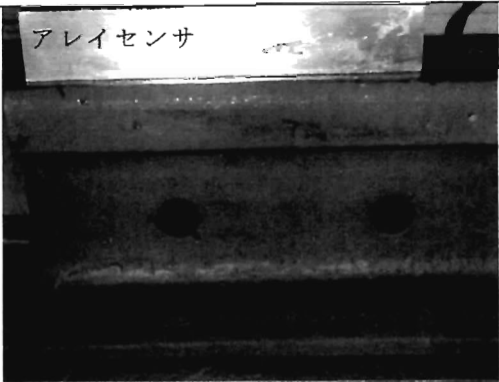
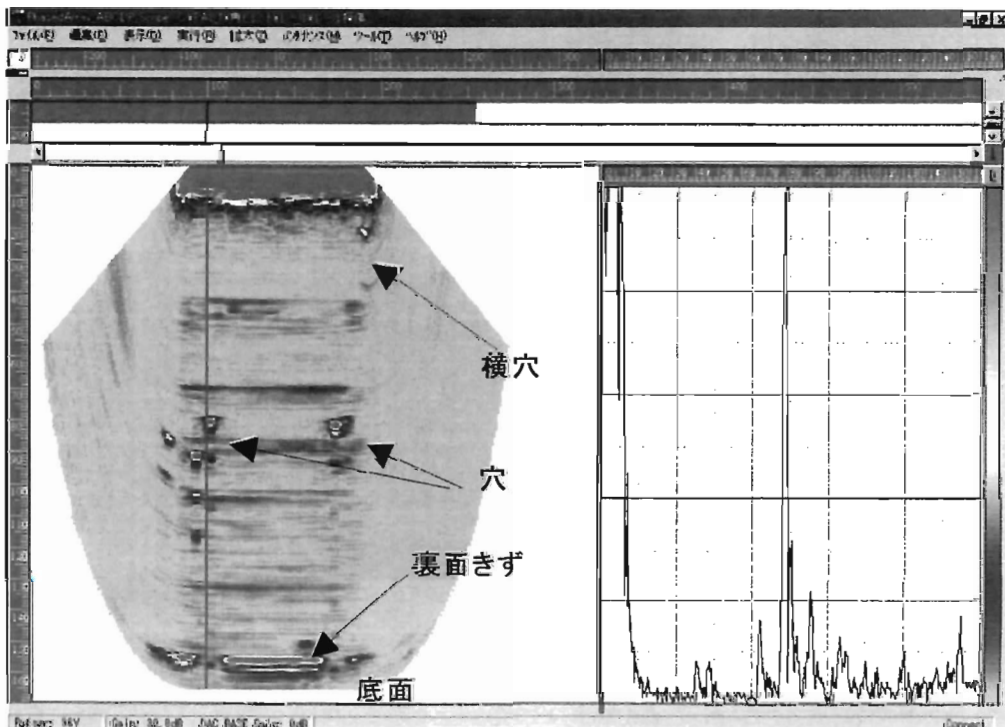
#### 4.2.2 ねじ部亀裂入りボルト試験体

試験体外観	探傷状況
 <p>19mm</p> <p>30mm</p> <p>材質：インコネル</p>	 <p>アレイセンサ</p> <p>ボルト試験体</p>
探傷条件	
<p>アレイセンサ : 10MHz、32エレメント同時使用 屈折角を変更しながら試験体を回転させたセクタ&amp;DDF スキャン</p> <p>探傷方法 : 直接接触法</p> <p>探傷結果 : 探傷面より約9mmの位置に人工きずとしてスリットが加工されている。図中の探傷結果画面のBスコープ上において、その人工きずは明瞭に認められている。また、これ以外にも探傷面より約19mmの位置に自然きずも検出されている。さらに、Bスコープ上からネジ部の形状についても確認することができる。これらはAスコープ及びDスコープ上でも同様に確認されていて、フェイズドアレイの有効性を示す好例である。</p>	
探傷結果	
 <p>PhasedArray ABCDF Scope</p> <p>Dスコープ</p> <p>Bスコープ</p> <p>人工きず：スリット</p> <p>自然きず</p> <p>Aスコープ</p> <p>スタート yamano PhasedArray ABCDF Sc. 10:23</p>	

### 4.2.3 横穴人工欠陥入り角ピレット試験体

試験体外観	探傷状況
<p>直径 3mm 横穴: 3個</p>  <p>直径 1mm 横穴: 5個</p>	<p>アレイ 水浸法</p> 
探傷条件	
<p>アレイセンサ : 5MHz、64エレメント使用の中で32エレメント同時使用          リニア&amp;セクタのDDFスキャン          フォーカス→深さ 60~160mm の間で 20mm ピッチ</p> <p>探傷方法 : 水浸法 水距離 50mm</p> <p>探傷結果 : 探傷結果の B スコープから、本方法の特長を適用することによって、直径 3mm の側面近傍の 3 個の横穴、さらに、直径 1mm で中央付近から裏面側コーナ一部に加工した 5 個の横穴も全て鮮明に検出されていることが確認されている。</p>	
探傷結果	
	

#### 4.2.4 人工欠陥入りレール試験体

試験体外観	探傷状況
 <p>横穴</p> <p>穴近傍の人工きず</p>	 <p>アレイセンサ</p>
探傷条件	
<p>アレイセンサ : 2MHz、128 エLEMENT使用、16 エLEMENT同時使用            リニア&amp;セクタスキャン            フォーカス→底面</p> <p>探傷方法 : 直接接触法</p> <p>探傷結果 : フォーカス位置を底面深さ一定として、リニア&amp;セクタスキャンを実施した結果のBスコープを確認すると、裏面きずを含む各種人工欠陥からの反射が明瞭に識別できていることが確認できる。</p>	
探傷結果	
 <p>横穴</p> <p>穴</p> <p>裏面きず</p> <p>底面</p>	

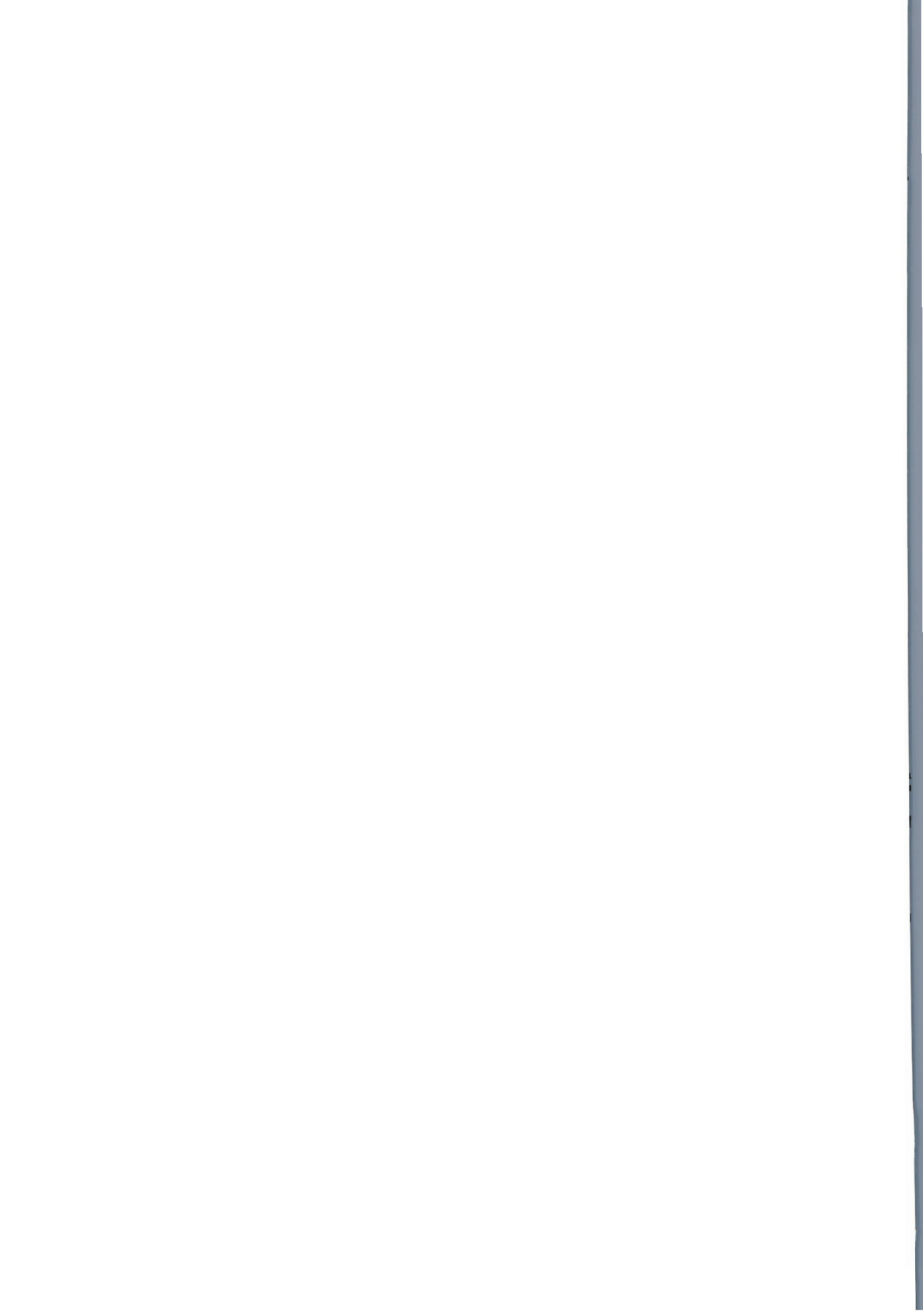


# 特 別 講 演

超音波探傷試験による再循環系配管サイジング（寸法測定）  
精度向上に関する確性試験について

財団法人 発電設備技術検査協会  
溶接・非破壊検査技術センター（NDEセンター）

古 川 敬



# 超音波探傷試験による再循環系配管サイジング(寸法測定)精度向上に関する確性試験について

財団法人 発電設備技術検査協会  
溶接・非破壊検査技術センター (NDE センター)

古川 敬

## 1. はじめに

一昨年来、国内の一部の沸騰水型原子力発電設備の原子炉再循環系配管(低炭素オーステナイト系ステンレス鋼配管(SUS316L 系材))でひび割れが発見され、金属調査の結果応力腐食割れ(SCC と記す)であると判定された。超音波探傷試験(UT)によりひび深さを評価したところ、材料の切断調査等による実測値とUTの結果に差異のあるデータが一部に認められ、UTに対する信頼性に疑念が持たれた。

なお、UTの結果は、ひびの検出性には何ら問題は無く、また、ひびの長さ測定についても従来UT法や2次クリーピング波法により概ね妥当な相関性が得られているものの、ひび深さについては一部のデータで従来知見<sup>1)</sup>を超える誤差を生じていた。

一般にオーステナイト系ステンレス鋼溶接部のSCCは溶接熱影響部で発生し進展すると言われており、横波(SV波)を用いたUTが行われてきた。上記配管では、溶接熱影響部でSCCが発生し進展するも、一部は溶接金属へ進展したものもあり、この現象が深さ測定に誤差を生じた原因の一つと考えられた。この対策として、縦波の適用やフェーズドアレイ UT 法等の UT 手法(改良 UT と記す)により深さサイジング精度の向上が検討された。

原子力安全・保安院は、「原子力発電設備の健全性評価等に関する小委員会」で次の点を指摘した。

- ・ UTデータの信頼性を確認するため、第三者機関による検証が必要。
- ・ UTデータの信頼性のレベルは、UT実証試験<sup>1)</sup>と同等のレベルであること。

これらを受けて、改良 UT によるひび深さサイジング性能を確認するため、本確性試験が実施された。

## 2. 確性試験の概要

試験体は、実際に SCC が発生した実機の配管を切り出して使用し、ブラインドによる深さサイジング試験を実施した。改良 UT の性能を公平、公正、中立に評価するため学識経験者からなる委員会を設置し、申請者の実施した試験結果を審議し評価した。また、透明性を確保するため委員会は公開とした。確性試験の概要を次ページ以降に示す。

## 3. まとめ

実機の SCC を用いて公平、公正、中立性を確保しつつ深さサイジング試験を実施した結果、改良 UT の結果は UT 実証試験の精度<sup>1)</sup>と同等のレベルであることが確認された。

## 参考文献

- 1)原子力安全・保安院 総合エネルギー調査会原子力安全・保安部会 原子力発電設備の健全性評価等に関する小委員会：第5回 資料 5-5-1, p.11

総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会  
原子力発電設備の健全性評価等に関する小委員会  
第8回委員会

## 超音波探傷試験による再循環系配管サイジング (寸法測定)精度向上に関する確性試験について

平成15年6月4日

財団法人 発電設備技術検査協会



1

## 超音波探傷法を用いたひび深さ 測定の精度について

「ひびの大きさに関して、超音波探傷検査による測定値と実測値の間で、従来の知見との差異が見られた。現時点での超音波検査の結果を用いて原子炉冷却材再循環系配管の健全性の評価を行なうには不確実性が大きいことから、超音波探傷検査の測定精度の確認を待って、健全性の評価を行なう必要があると考える。」

原子力安全・保安院@第7回委員会

2



## これまでの問題点

原子炉冷却材再循環系配管の溶接部に対する超音波探傷検査について、ひびの「有無」と「長さ」については、精度の良い測定結果が得られていた。

しかし、ひびの「深さ」については、ひびが複雑な形状をしている場合や、ひび先端が溶接部の内部に進展した場合などには、誤差が大きくなる場合があることから、測定精度の向上を目的に、超音波探傷検査(UT)の測定精度の改善を図ることとした。



- 改良UT手法
- ①モード変換波法
  - ②焦点型縦波端部エコー法
  - ③フェーズドアレイ法

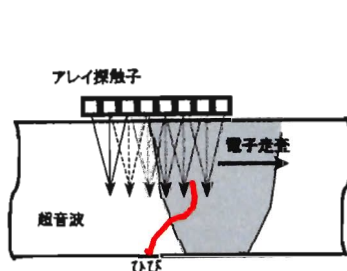
3

## 改良UTの例

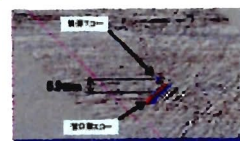
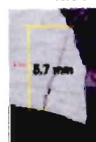
### フェーズドアレイ法(電子走査型超音波探傷)

#### ■探傷方法の原理

多数の探触子を配列し、電子的に走査することで探傷する方法



【探傷した例】  
SCC断面



#### ■使用によるメリット

探傷断面の画像化、画像処理により、識別性、測定精度の向上が図れる。

4

## 超音波探傷試験による再循環系配管 サイジング精度の向上に関する確性試験

委員会開催 第1回 3/19  
第2回 4/1  
第3回 5/6 (東京電力柏崎刈羽原子力発電所にて開催)  
第4回 5/28 (最終)

- 透明性確保の観点から一般公開で実施
- 第三者機関である(財)発電設備技術検査協会を事務局として確性試験を実施
- 東京電力柏崎刈羽原子力発電所1号機の再循環系配管(SUS316L系材)を深さ測定試験に使用

5

### 超音波探傷試験による再循環系配管 サイジング精度向上に関する確性試験 委員会の体制

委員長	宮 健三	慶応義塾大学	教授
委員	小林 英男	東京工業大学	教授
	裏垣 博	高知大学	教授
	三原 毅	東北大学	助教授
	上杉 信夫	(財)発電設備技術検査協会	鶴見試験研究センター長

依頼者 (株)東芝、(株)日立製作所、General Electric International Inc、  
Framatome ANP GmbH、Westinghouse、Southwest RI

オブザーバ  
・BWR電力会社  
・原子力安全・保安院

事務局 (財)発電設備技術検査協会

6

## 【参考】 原子炉冷却材再循環系配管

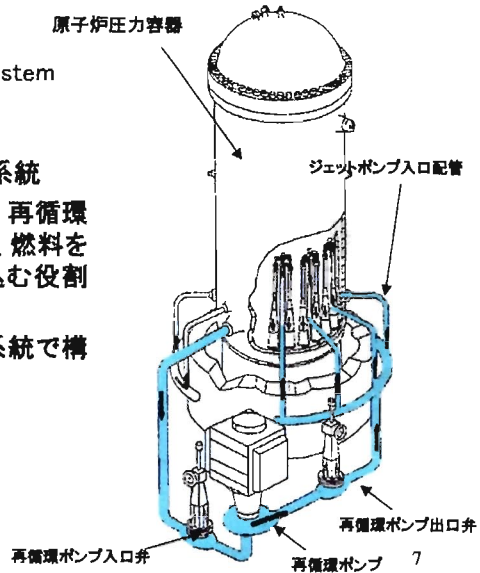
### • 略称: PLR配管

- Primary Loop Recirculation system

役割: 原子炉内の水を循環させる系統

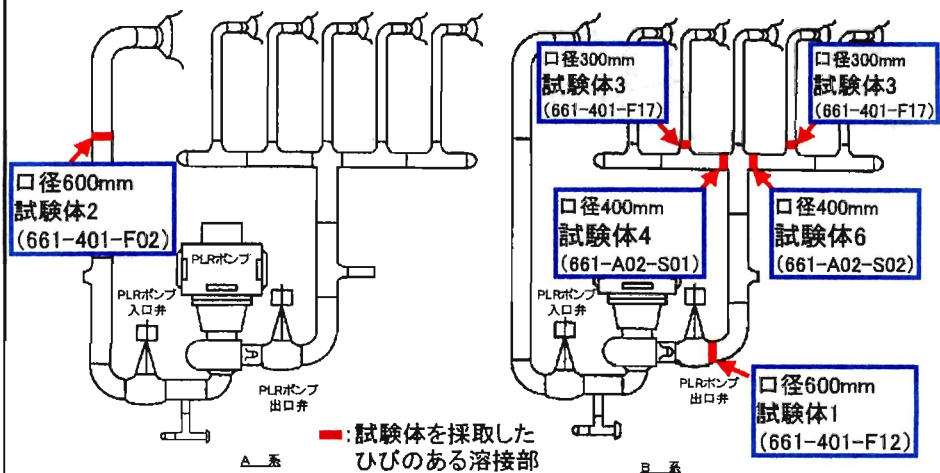
給水系より供給される水を、再循環ポンプとジェットポンプにより、燃料を冷やすために、炉心へ送り込む役割を持つ。

(再循環系はA系とB系の2系統で構成されている。)



## 試験体採取位置

東京電力柏崎刈羽1号機再循環系配管



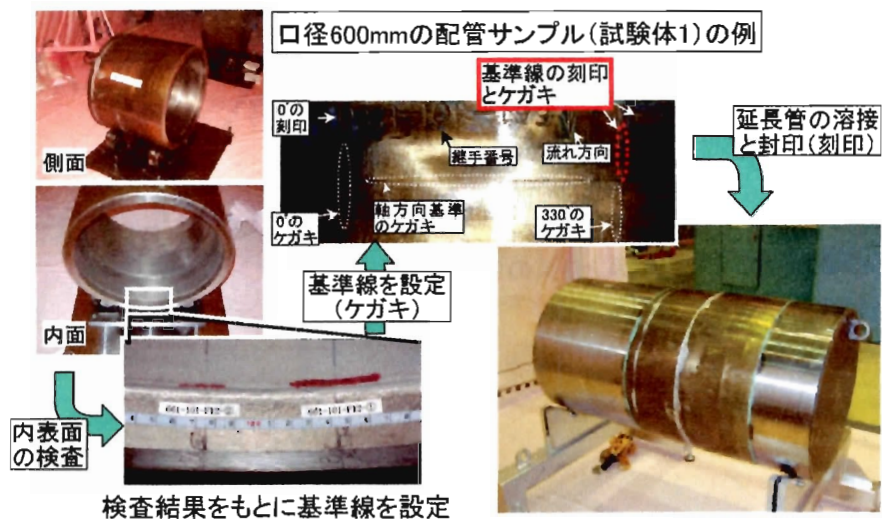
従来法によるUTの結果に基づいて上記溶接部より21欠陥を選定

8

## 試験体の製作

- 配管から切出したサンプルを試験体に加工

事務局と東京電力にて試験体を製作し、依頼者(UT測定者)に配管の内部状況を非開示として、試験の公平性を確保



## 改良UT手法による測定の実施

第3回確性試験委員会は柏崎刈羽原子力発電所で実施



柏崎刈羽3号機タービンフロアの確性試験ブース現場視察状況  
(自治体、報道陣等にも公開)





# 各社改良UT手法

## 依頼各社のひび深さ測定手法の一覧

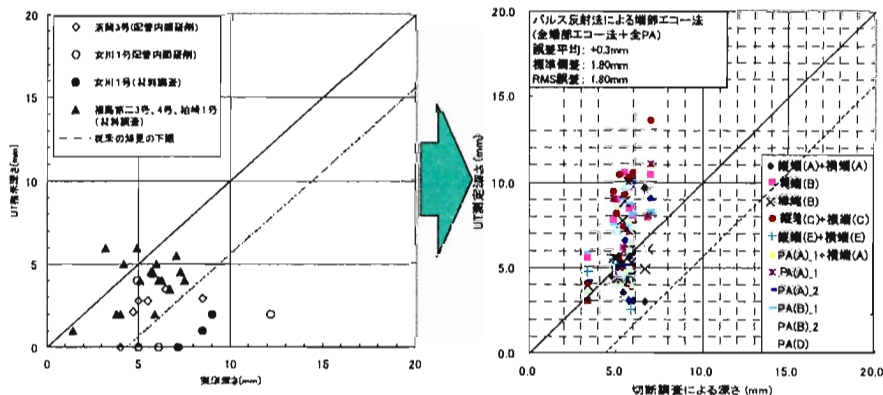
測定方法	東芝	日立製作所	GEII	Framatome ANP	Westinghouse	Southwest RI
2次クリーピング+モード変換波法 *1	○	○				
焦点型縦波/横波端部エコー法	○	○	○		○	
フェーズドアレイ法	○	○		○		
多重ハルス法 *2						○

\*1 大まかなひび先端位置の把握の為に実施

\*2 研究所にて開発された技術で特別参加したもの(参考測定)

11

## 従来UT結果と確性試験(改良UT)結果の比較



従来UT結果

改良UT結果

確性試験では、従来の知見を逸脱するようなひび深さを過小評価する手法は認められなかった。

12

## 深さ測定精度について

- ・ 精度の目安とした、既往の知見(UTS)の下限值(平均誤差 $-2\sigma = 4.4\text{mm}$ )を下回った測定値はなく、これまで問題となっていた極端に過小な測定はなかった。
- ・ 溶接金属に深く進展したひび割れはなかったが、4つのひびの先端は溶接金属中まで進んでおり、これらについても過小評価することなく、深さが測定されていた。
- ・ 4社については測定誤差の平均が $\pm 1\text{mm}$ 以内、かつ標準偏差(ばらつき)も $2\text{mm}$ 以内と精度良く計測していた。

13

## 確性試験のまとめ

- ・ 実機のSCC欠陥を用いて、公平性を確保しつつ、UTサイジングに関する試験を実施した。
- ・ 精度の目安とした、従来<sup>1)</sup>の知見(UTS)の下限值(平均誤差 $-2\sigma = 4.4\text{mm}$ )を下回った測定値はなく、これまで問題となっていた極端に過小評価するような計測誤差はなかった。
- ・ 参考測定の1社を除く5社のUT手法はひび割れの深さ測定に十分有効であることを確認した。

14