

# オンライン検査用フェイズドアレイ UT 装置の開発 Development of the phased array UT equipment for on-line inspection.

日本クラウトクレマー株式会社 村上 丈子  
三浦 俊治 米辻 栄一 南 康雄

## 概要

超音波フェイズドアレイ方式によるオンライン検査用 UT 装置を開発した。従来の探触子回転方式に変えて、パイプ、丸棒鋼の全周にアレイ探触子を配置し、電子的に超音波音場を回転させ全面探傷を行う。これにより機構部が大幅に簡略化されメンテナンス性が向上した。また広範囲なフォーカス点に対応できるのでより小さいきずの検出と S/N の向上が期待できる。

キーワード：オンライン検査、超音波探傷器、フェイズドアレイ探触子、フォーカス

## 1. はじめに

アレイ探触子を用いた超音波音場回転式機構部（装置名：ROWA 写真 1）とオンライン検査用フェイズドアレイ超音波探傷器（製品名：EXIST 写真 2）を組み合わせた UT 装置を開発した。その仕様及び実験データを紹介する。



写真 1：超音波音場回転式機構部



写真 2：オンライン検査用フェイズドアレイ  
超音波探傷器

## 2. 機構部

### 2.1 探触子回転方式

従来の探触子回転方式の機構部（装置名：ROT 写真 3）の模式図を図 1 に示す。探触子回転式超音波探傷装置 ROT はパイプや丸棒鋼を高速探傷することが可能な装置である。探触子を配置した機構部を回転させ、カップリング材となる水を遠心力で保持した状態で、この中を検査材の丸棒鋼等を通過させ、探傷が行われる仕組みである。この方式では、探触子を収納する探触子ブロックの回転機構、探触子の信号伝達機能及びモータ及び回転伝達機構等が必要である。また、シングル探触子を使用することからフォーカス点の変更には探触子又は探触子ブロックの交換を行うか、探触子ブロック内で探触子を移動させる機能を組み込む等の必要があり、非常に複雑な機構部となっていた。その結果、メンテナンス性に多くの問題や検出能力の限界が生じていた。

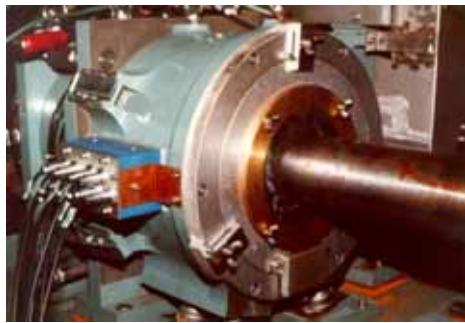


写真3 : (上) 探触子回転式超音波探傷装置  
(下) 探触子ブロック

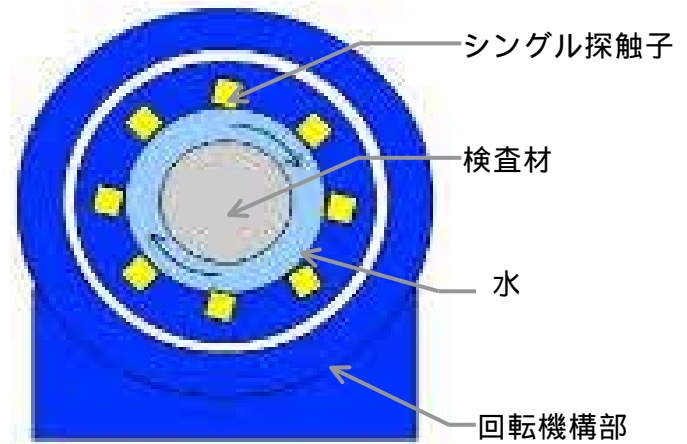


図1 : 探触子回転方式機構部模式図

## 2.2 超音波音場回転方式

今回、新たに開発したアレイ探触子を用いた超音波音場回転式機構部（装置名：ROWA 写真4）の模式図を図2に示す。この方式では、機構部円周状にアレイ探触子を配置し、探触子の動作エレメントを電子的に制御することにより超音波の回転音場を形成するため、従来の探触子回転方式の機構部のような複雑な回転機構部は不要となり、メンテナンスが容易な構成になっている。またアレイ探触子のフォーカス点も電子的に制御し、探傷中のマルチフォーカス探傷（垂直、斜角探傷の組み合わせ）も可能で、探触子ブロックの交換も不要になった。

超音波音場回転方式の場合、ポンプにより探傷ヘッド内に水を注入し、水の圧力を利用して内部に回転水流（水膜形成：写真4（下）に示す。）を発生させて、検査材とアレイ探触子間を隙間無く水で満たすことにより、良好なカップリング状況を実現させることが可能になった。



写真4 : (上) 超音波音場回転式探傷装置  
(下) 水膜形成の様子

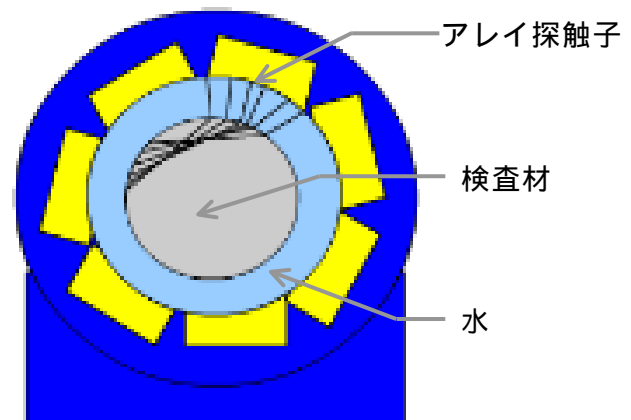


図2 : 超音波音場回転式機構部模式図

### 3. オンライン検査用フェイズドアレイ超音波探傷器（製品名：E X I S T）

E X I S Tはフェイズドアレイに特化した超音波探傷器であり、マルチスレーブ（マルチ探触子）構成に対応している。このマルチスレーブ間は同時励振が可能であり、32chのパルサー・ディレーとレシーバがあり、128chのスイッチマトリックスによって構成されている。そしてA/Dコンバーターでデジタル化され、位相合成加算される。

各スレーブ内では4ゲート機能、オンライン探傷評価機能を具備し、E X I S T単体でオンライン評価に必要な入出力機能を完備している。マスター用にパソコンが用いられるが、これはフェイズドアレイ諸元データの設定、評価データ及びAスコープ波形データ表示等の管理に使用される。表1にE X I S Tの標準仕様を示し、図3にE X I S Tの内部ブロック図を、図4に標準構成例を示す。

表1：E X I S T標準仕様

項目	仕様	
MAX エlement数	128	EL
同時送受信Element数	32	ch
サイクル数	100	
最大 PRF（パルス繰返周波数）	20	kHz
周波数帯域	0.3～13	MHz
メインゲイン	0～60	dB
プリゲイン	0～40	dB
ステップ DAC ゲイン	0±24	dB
パルサー遅延	0～5	μsec
レシーバ遅延	0～5	μsec
ハードゲート数	4	（SBF 対応可能）
ゲート位置分解能（最高）	20	nsec
ゲート分解能切替え	*1、*2、*4、*8	選択可能
ゲート位置設定	1～65535	ゲート分解能
スレッシュレベル（H、L レベル）	0～100	%
サブレスカウント（H、L レベル）	0～255	
TOF（ビーム路程）計測	ピーク法、レベル法、 0クロス法	各+、-、±レベル選択可能
ゲート追従	T、S、B、SB 追従 リアルタイム追従、 ディレー追従	
PG パルス入力信号	2	
レコーダアナログ出力信号	8	
汎用入力信号	24	（ブランキング、光電管等）
汎用出力信号	24	（イベント、マーカ等）
オンライン機能	ブランキング調整 レコーダ整列 ゲートトラッキング機能 良品不良品判定出力機能 ライン速度計測機能	

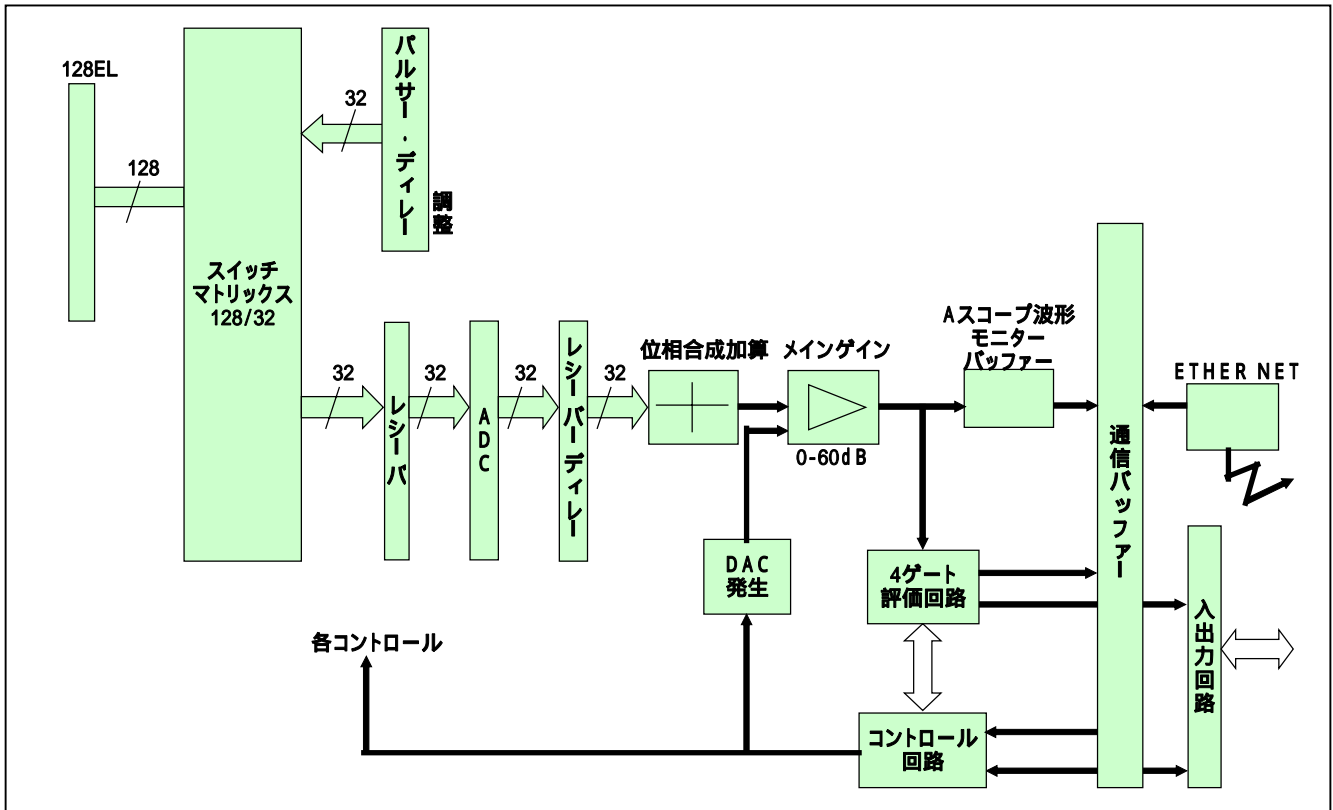


図 3 : E X I S T 内部ブロック図

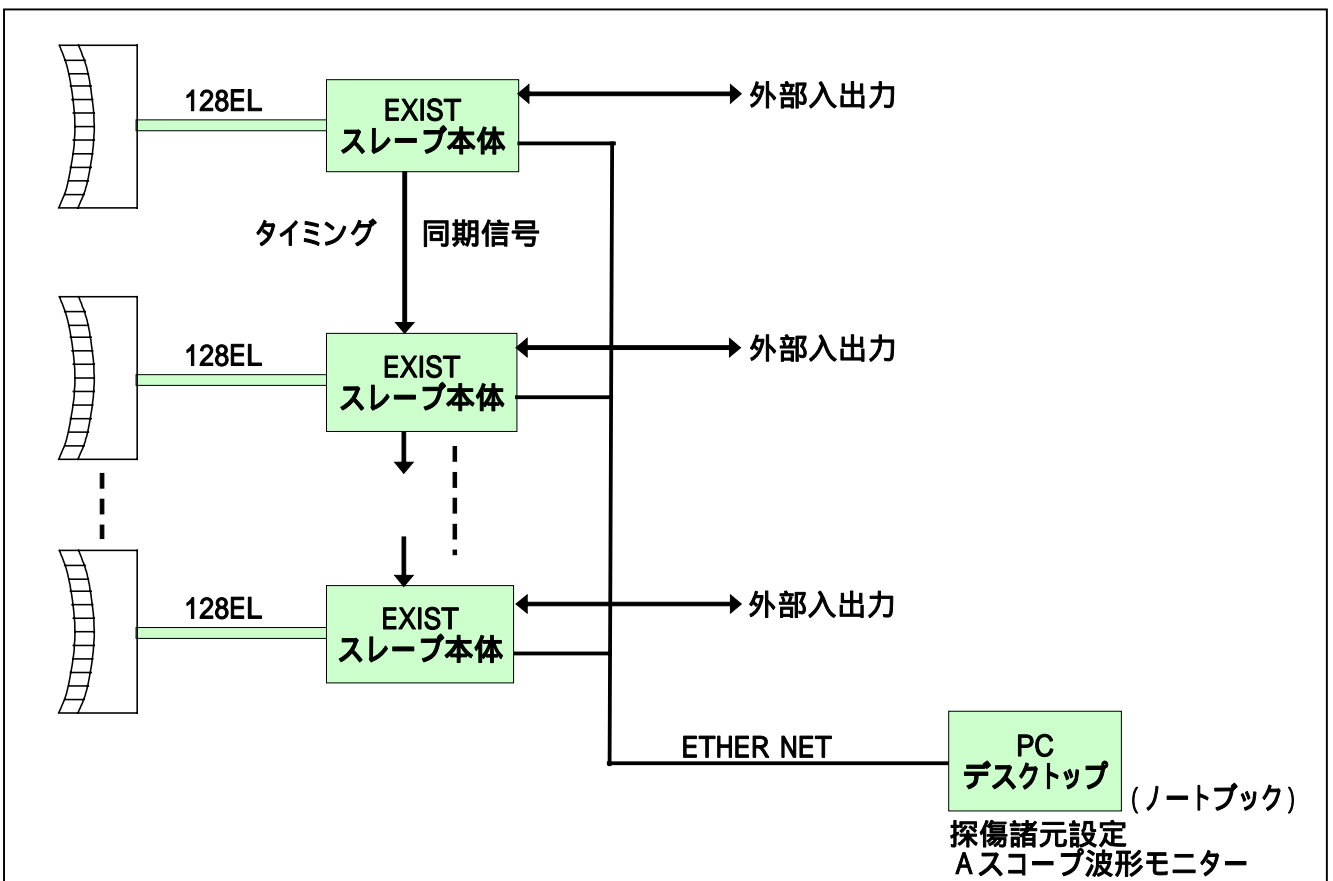


図 4 : E X I S T 標準構成例

#### 4. 実験データ

EXISTとフェイズドアレイ探触子を用いて実験した結果を以下に示す。

##### 4.1 テストピース

探傷に用いたテストピースの詳細を図5及び図6に示す。テストピースの丸棒鋼には、表面と内部のそれぞれにきずが加工してある。表面きずは、中心からそれぞれ20mm離れた位置に、深さの異なるノッチきずが2ヶ所あり、その詳細は表2に示す通りである。内部には図6に示すような外面からの深さ  $1/3d$  (半回転して  $2/3d$ )、 $1/2d$  の2ヶ所に長さ100mm 0.3mmの貫通穴が加工してある。

表2：表面きず寸法 (mm)

長さ	10	10
幅	0.2	0.2
深さ	0.1	0.2

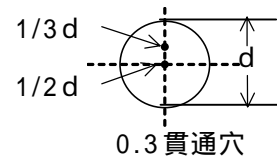
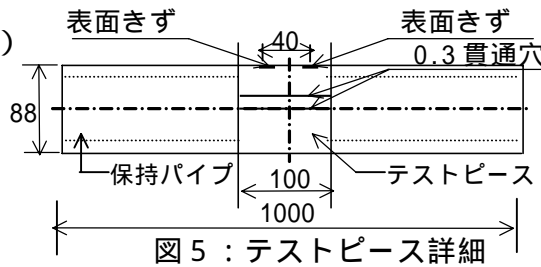


図6：内部きず寸法

##### 4.2 アレイ探触子

今回の実験に用いたアレイ探触子の詳細を表3に示し、探触子の外観を写真5に示す。実験に用いたアレイ探触子は検査材に合わせ、サークル形状を使用した。

表3：アレイ探触子詳細

周波数	5MHz
エレメント数	128EL
エレメントピッチ	0.6mm
エレメント間隔	0.1mm
エレメント高さ	12mm
機械的焦点距離	102.5mm



写真5：アレイ探触子

##### 4.3 フォーカス

マルチモード探傷時の模式図を図7及び8に示す。図7は垂直探傷時のフォーカスの様子を示し、内部きずを対象とし、図8は斜角探傷時のフォーカスの様子を示し、表面きずを対象とした場合である。

##### 4.4 A スコープ波形

今回の実験データより得られたAスコープ波形を図9及び10に示す。フェイズドアレイ探触子とEXISTを用いたことにより、従来の方式よりも小さいきずを高いS/Nで検出することができた。

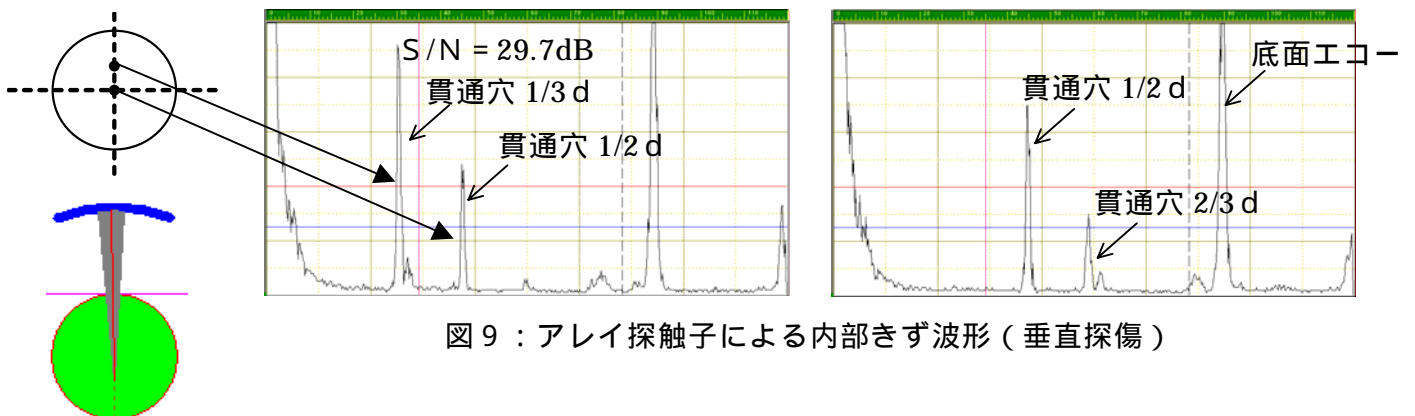


図9：アレイ探触子による内部きず波形（垂直探傷）

図7：垂直探傷

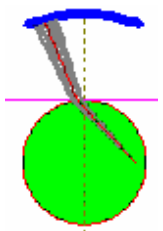
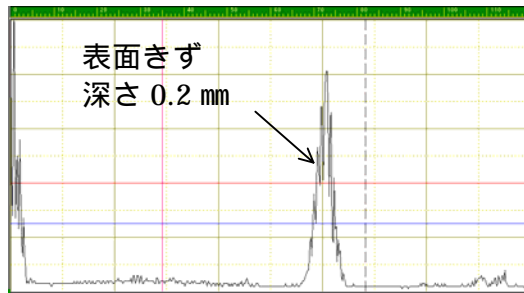
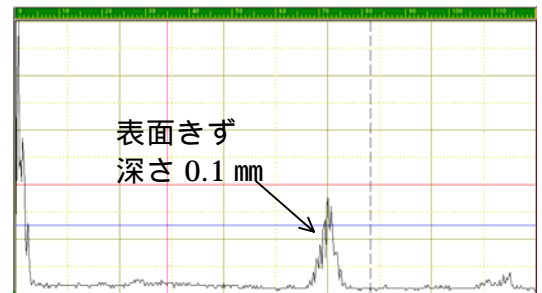


図 8 : 斜角探傷



S/N = 28.6dB



S/N = 21.3dB

図 10 : アレイ探触子による表面きず波形 (斜角探傷)

### 5. シングル探触子比較実験データ

アレイ探触子の性能を比較するためにシングル探触子との検出性能比較実験を実施した。図 12 及び図 13 にその結果の A スコープを示す。テストピースは今回の実験で用いたものと同じもので、水槽にテストピースと探触子を入れ、テストピース・探触子ともに固定した状態で実験を行った。(図 11 参照) シングル探触子の比較実験にはクラウトクレマー製の USD15 (写真 6)、探触子は通常の 5MHz、0.5in セラミックスのものを使用した。

垂直、斜角探傷とも、きずの検出は可能であったが、S/N で比較するとアレイ探触子より劣っていることが確認された。特に表面きずの深さ 0.1 mm の場合、図 10 より、深さ 0.1 mm の時の S/N は 21.3 dB に対して、図 13 の深さ 0.1 mm の S/N は 6 dB となり、A スコープ波形からも S/N が約 15 dB も差があることが認められた。

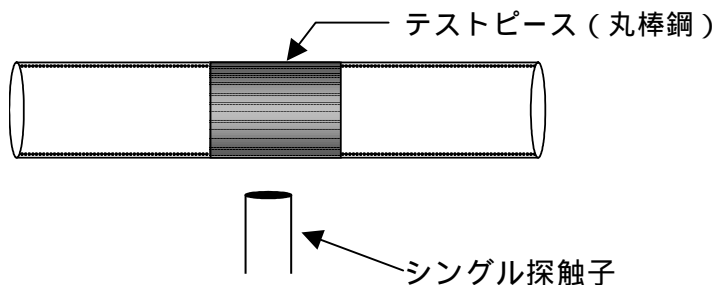


図 11 : 実験方法



写真 6 : 探傷器 : USD15

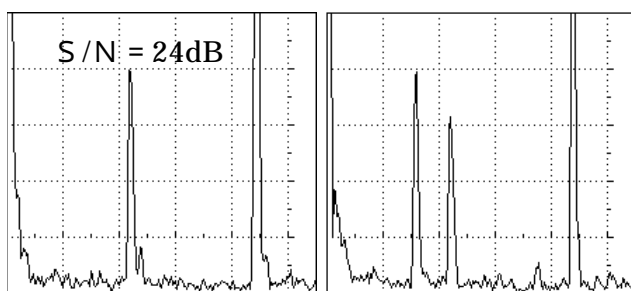


図 12 : シングル探触子による垂直探傷

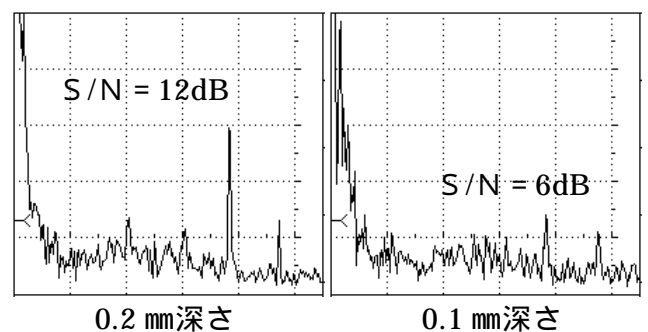


図 13 : シングル探触子による斜角探傷

### 6. まとめ

今後はアレイ探触子を用いた超音波音場回転式機構部 (ROWA) とオンライン検査用フェイズドアレイ超音波探傷器 (EXIST) をパイプならびに丸棒鋼等の超音波探傷に適用できるように対応していく方針である。