

# 高速超音波探傷スキャナ High-speed ultrasonic imaging scanner

日本クラウトクレマー（株） 村上 丈子，西谷 豊，南 康雄

## 概 要

材料内部のきずを検出する手法として、超音波を用いた方法があげられる。中でもその検査結果を分かり易い画像データで表示することができる超音波探傷映像化装置は、今や産業界のあらゆる分野に普及し、有効に使用されている。弊社ではこの度、従来のシングルプローブ探傷スキャナにポータブルフェイズドアレイ超音波探傷器を搭載した新しいシステム、「高速超音波探傷スキャナ」を開発した。この装置を用いることで、数十 $\mu\text{m}$ レベルの小さなきずの検出や、大型材料に対する高速探傷が可能になった。今回は最新のフェイズドアレイ技術を用いた高速超音波探傷スキャナの特長を紹介する。

### 1. はじめに

シングルプローブを使用した探傷スキャナは、ポリマー振動子の高周波プローブと高周波対応のパルサーレシーバ（名称：HIS3HF）を使用したことで、数十 $\mu\text{m}$ レベルの小さなきずの検出も可能となり、鋼材やアルミ材の清浄性試験等にも広く活用されている。

最近では、検査対象材が大型化すると共に高速による検査の需要も高まってきている。これは生産される素材が大型化されるに伴い、出荷前検査の段階で従来のシングルプローブを使用した探傷装置では検査に長い時間がかかり、工程上ボトルネックになるケースが生じるためである。この様な背景のもと、弊社では 1997 年に電子走査（フェイズドアレイ技術）を適用した超音波探傷スキャナを開発し、既に実用し始めている。ここでは、今回新たに開発したポータブルフェイズドアレイ超音波探傷器を搭載した第 2 世代の高速超音波探傷スキャナ（名称：PDS）を紹介する。

### 2. ポータブルフェイズドアレイ超音波探傷器「PAL2」

従来のフェイズドアレイ探傷器は多数のパルサーレシーバを装備し、同時に信号を処理する必要があるため、装置が大型化し、持ち運びには不便で、一般のフィールド検査に適用するのは困難であった。しかし、ここに新たに開発したポータブルフェイズドアレイ超音波探傷器「PAL2」は、回路の高集積化等により小型・軽量化を実現し、名実ともにポータブル装置として完成されたものである。

「PAL2」のドライバー本体の寸法は 370 mm W × 263 mm D × 61 mm H、重さは約 3.4 kg であり、簡単に持ち運びが可能なサイズである。「PAL2」の基本仕様を表 1 に、外観を写真 1 に示す。この中には 32ch 同時励振で、最大 128ch の振動子をドライブする電子回路がすべて収納されている。消費電力も大幅に抑えられ、電源はノート PC 用の AC アダプタ

を使用している。制御用 PC との通信には LAN ケーブル 1 本のみで接続され、わずらわしいコネクタ接続によるケーブル処理は必要ない機構となっている。

表 1：PAL2 基本仕様

項目	仕様
使用可能エレメント数	128
同時使用エレメント数	32
送受信遅延時間	0 ~ 5 $\mu$ sec
パルス電圧	96V/48V/12V
繰り返し周波数 (PRF)	最大 20kHz
周波数帯域	0.5 ~ 15MHz (-3dB)
ゲイン設定	total 100dB (0.1dBstep)
DAC	40dB/16 点
ドライバ寸法	370mmW x 263mmD x 61mmH
ドライバ重量	約 3.4kg

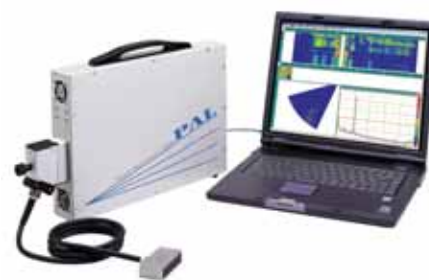


写真 1：PAL2 外観

### 3. 超音波探傷スキャナへの応用

#### 3.1 フェイズドアレイ探傷技術のメリット

フェイズドアレイ探傷では短冊型の振動子をリニアに多数配列したアレイプローブを用いて、同時に励振する振動子群を順番に高速で切り替えることで、電子的に走査し、高速でデータを収録することが可能である。また、図 1 に示すように各振動子への励振パルスを目的にあった遅延時間 (delay time) で制御すると、目的に応じて、自由に焦点深さを変えたり、斜めに伝搬させることができる。大きな面積を検査する場合は、図 2 に示すように電子走査と機械走査を組み合わせることで、一回の走査で広い範囲の探傷が効率良く実施でき、大幅な時間短縮が可能となる。アレイプローブの外観を写真 2 に示す。

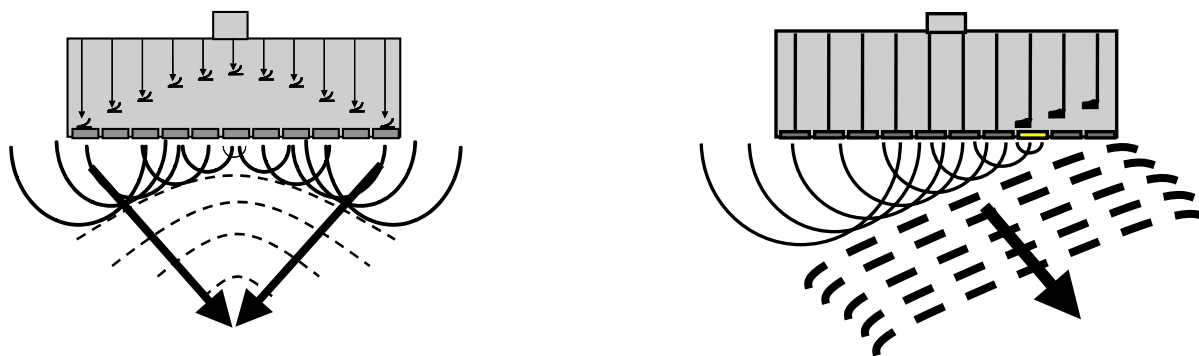


図 1：超音波の集束、斜め伝搬

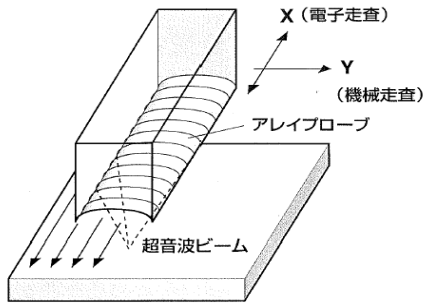


図 2：電子走査と機械走査

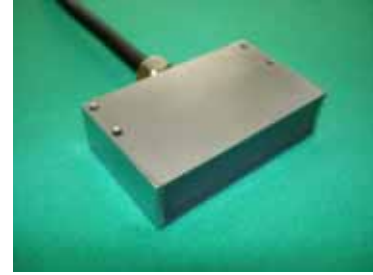


写真 2：アレイプローブ外観

### 3.2 高速超音波探傷スキャナ「PDS」の構成

従来のシングルプローブ探傷スキャナと「PAL2」をドッキングさせ、新技術を盛り込んだ高速超音波探傷スキャナの概要を以下に述べることにする。まず、「PAL2」を 128ch のパルサーレーバとして使用し、評価装置にゲート機能を具備した高性能超音波探傷器「HIS3HF/LF」を用いることで、シングルプローブによる従来型精密探傷とフェイズドアレイによる高速探傷を両立させることが可能となった。約 3.4 kg と非常に軽量、小型化された PAL2 は、スキャナ装置のプローブ走査軸直近に設置することができ、特に大型スキャナにおいては、プローブケーブルを短く保てるメリットがある。また、制御用 PC との接続は LAN ケーブル 1 本だけで良いため、非常に簡単な機構となっている。図 3 に装置の構成を示す。

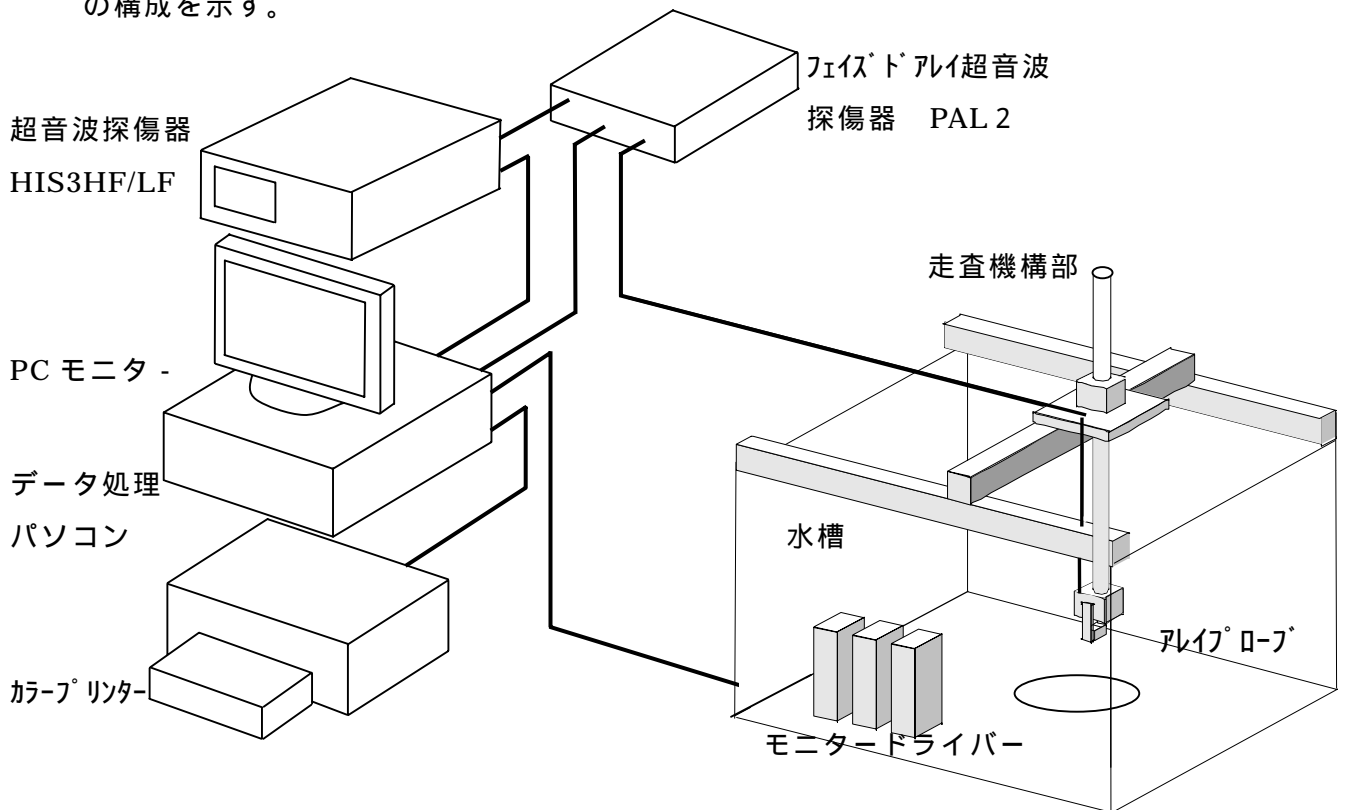


図 3：PDS 構成図

### 3.3 「PDS」機能

「PDS」は従来の基本的な探傷映像化処理機能をすべて網羅し、さらにフェイズドアレイ方式の特長を最大限に生かした新たな探傷スキャナである。表2にその基本仕様を示す。

表2：PDS 基本仕様

	項 目	仕 様
探傷器部 (PAL2)	使用可能エレメント数	128
	同時使用エレメント数	32
	送受信遅延時間	0～5μsec(5nsec ステップ)
	パルス電圧	96V/48V/12V
評価部 (HIS3HF/LF)	評価機能	モニターゲート数 HF：1 LF：2
	* HIS3HF 又は LF の機能 に準ずる	ゲートトラッキング HF：IF LF：IF,B,IF-B
		DAC 機能 HF：無 LF：有
データ処理部	OS	Windows XP
	A-スコープ表示	HIS3 及び PC モニタ上に表示可
	B-スコープ表示	同上
	C-スコープ表示	リアルタイム表示可
	3-D 表示	任意角度設定可
	DDF 処理	DDF データ収録機能有り
	表示色	256 色カラー、2 色、2 値化表示
	面積率表示	指定色毎、ヒストグラム
	マスキング処理	局部消去(円、角、任意範囲)
	寸法測定	指定 2 点間計測機能
	走査機構部	X 軸
Y 軸		標準 400mm(～2500mm)
Z 軸		標準 300mm(～800mm)
軸(1,2)		手動首振り機能(電動化可能)

「PDS」には、フェイズドアレイの特長を生かした様々な機能が盛り込まれているが、特筆すべきものとして、電子的に励振パルスを制御して焦点深さを自由に変えられることを利用して、1つの電子走査サイクルの過程で深さの異なる位置に焦点を可変させて（最大4ポイント）データを収録し、その4つの異なるデータを同時に収録する機能（DDF：Dynamic Depth Focusing）がある。

また、評価装置に「HIS3LF」を使用すれば、独立した2つのゲートと2アンプ機能を使うことにより、材料内部の探傷と底面エコーのレベル監視画像を同時に収録することができる。

これらの機能を有効に使うことで、従来の方法では探傷条件を変更して、何度も走査を繰り返し、非常に時間を費やした複合検査が、高速、簡単、且つ詳細に、実現できるようになったのは「PDS」の最大の特長である。その一例として表3に示すように単純なX-Y走査時間で比較しても、同一収録ピッチの検査でフェイズドアレイ探傷はシングルプローブ探傷の場合と比べて、その検査に要する時間を1/12に短縮することができた。

また、アレイプローブ素子間の感度差の自動補正機能も具備し、より精度の高い検査を実施することが可能な装置となっている。

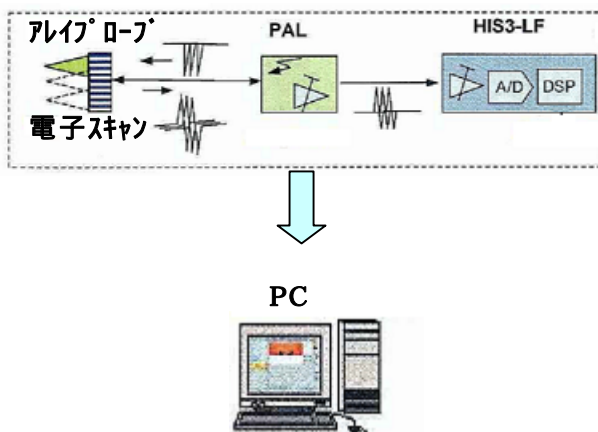


図4：システム図

表3：探傷時間の比較

項目	シングルプローブ検査	フェイズドアレイ検査
使用プローブ	10MHz 焦点距離 75mm	10MHz 128ch 焦点距離 100 mm
走査方法	X - Y 機械走査 (300mm/s)	X : 電子走査 Y : 機械走査 (100mm/s)
収録ピッチ	0.5mm × 0.5mm	0.5mm × 0.5mm
走査範囲	400mm × 400mm	400mm × 400mm
検査時間	1467sec (24分 27秒)	124sec (2分 4秒)

#### 4. 適用分野

フェイズドアレイ超音波探傷スキャナはその高速性を最大限に発揮できる対象物として、大型構造物の検査が考えられる。特に、液晶やプラズマディスプレイの大型化に伴い、年々大きくなるスパッタリングターゲット材のボンディング検査では、すでに適用され始めている。ここで前述した DDF 機能は、ターゲット母材部の異物、ポイド検査、深さ位置の異なるボンディング部の検査を一回の走査で実施可能なことが大きな特長である。このような大型対象物を検査するための大型スキャナとしては、ストロークが X 軸：3500 mm、Y 軸：2500 mm の装置を製作した実績もある。大型スキャナの一例を写真 3 に示す。



写真 3：大型スキャナ

また、航空機の大型複合材料の検査に対しても、本装置の適用が非常に期待される分野である。大きな面積の積層構造物に対して、その内部を高速でより精密に検査を実施するには、フェイズドアレイ探傷技術を適用することが有効であると考えられる。

以上述べたような高速で検出能の高い検査が可能になった各種分野としては、以下に示すものがある。

- ・ スパッタリングターゲット材の欠陥検出、剥離検査
- ・ 各種金属材料の欠陥検出
- ・ プラスチックおよびコンポジット材のポイド検査
- ・ 大型構造物材料の欠陥検出
- ・ 電子材料の欠陥検出

さらに将来的には鉄鋼における板材のオンライン超音波自動探傷装置への適用、あるいは、オンライン高速探傷が必要な分野への適用も可能であり、今後さらに用途が広がると考えられる。

最後に、これまで紹介してきた高速超音波探傷スキャナ「PDS」を用いた実験結果を示す。図 5 にはターゲット材の探傷画像例を示し、図 6 には CFRP 板材の探傷画像例を示す。ターゲット材に関しては、図 5 の探傷画像例の白色の部分に完全にはろう付けされていない状態、つまり接着不良だと推定できる。CFRP 板材は図 6 の探傷画像例から、ほぼ中心付近に層間剥離の症状が出ていることが分かる。

このように複合材料などの検査にもフェイズドアレイ探傷技術を用いることで、欠陥検出が可能であると考えられる。



写真 4：ターゲット材の探傷状況

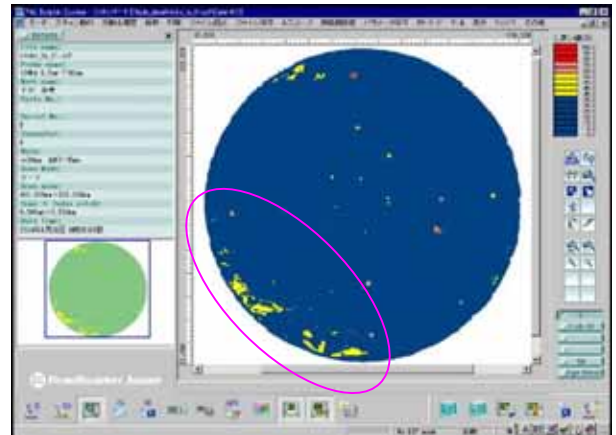


図 5：ターゲット材の探傷画像例

表 4：ターゲット材の探傷条件

ターゲット材	： 290 × 45mmT
使用プローブ	： 10MHz-128EL
探傷ピッチ	： 0.5mm × 0.5mm

表 5：CFRP 板材の探傷条件

CFRP板材	： 100mmW × 99mmD × 5mmT
使用プローブ	： 10MHz-64EL
探傷ピッチ	： 0.5mm × 0.5mm

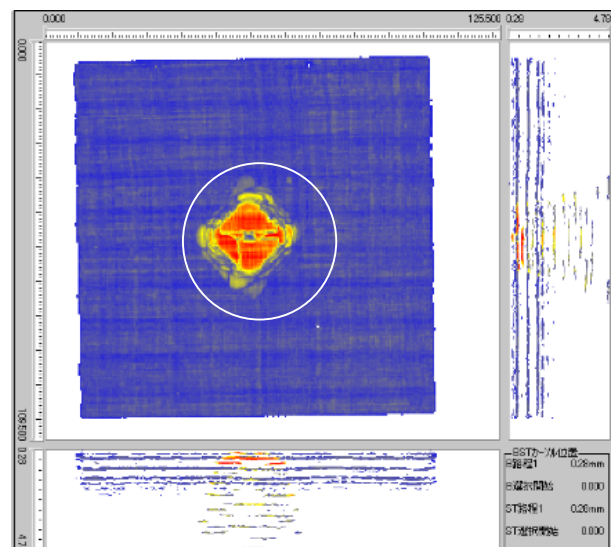


図 6：CFRP 板材の探傷画像例

## 5. おわりに

今回紹介した高速超音波探傷スキャナ「PDS」は、小型・軽量化に成功したポータブル型フェイズドアレイ超音波探傷器「PAL2」の応用例の一つである。アレイプローブを採用したことで大型対象材に対して、高速探傷と精度の高い検出性を可能にしているため、新素材の検査をはじめ、様々な分野への展開が期待される。今後も最新の超音波探傷技術を適用して産業界の品質検査に貢献できるような新製品の開発を進めていく所存である。

### 【参考文献】

- 1) 山本、村井：電子走査式超音波探傷システム - ポリマ系電子走査プローブを用い高速、高精度探傷を実現、検査技術 1997 年 11 月号
- 2) 大串、西谷：電子走査式超音波探傷システム「PA - 101」の開発、映像情報 1997 年 9 月号