

# フェーズドアレイ式超音波探傷装置の開発

## Development of Ultrasonic Inspection Equipment Using Phased Array Method

(株)日立エンジニアリング・アンド・サービス	菊池 修	Osamu KIKUCHI	Non-Member
(株)日立エンジニアリング・アンド・サービス	大和谷直史	Naofumi YAMATOYA	Non-Member
(株)日立エンジニアリング・アンド・サービス	海野 友洋	Tomohiro UMINO	Non-Member
(株)日立製作所	馬場 淳史	Atsushi BABA	Non-Member

This study presents new phased array UT equipments, one is developed as portable type for field inspection and the other is developed for 2D-matrix array (3D Focus-UT). The pulser of square burst wave was adopted for these new equipments to enhance flaw echo amplitude. At over 3 cycles of square burst cycle, the authors confirmed over 10dB enhancement of bottom echo amplitude. Moreover, a new flaw imaging method using S-SAFT was also adopted for equipments to improve SN ratio and flaw echo resolution in inspection image. The authors verified effects of S-SAFT using side drilled hole specimen, about 2 times of improvement of SN ratio and flaw echo resolution.

**Keywords:** Ultrasonic Inspection, Phased Array, Equipment

### 1. 緒言

フェーズドアレイ法とは、アレイセンサ内部の複数の圧電素子に遅延時間を与えて、超音波の位相を制御して送受信することにより、任意の位置にビームを集束するとともに、遅延時間を電子的に制御してビーム走査が可能な検査技術である。これにより、検査対象の内部を画像化して検査できるため、迅速かつ高度な超音波検査が可能になっている。

近年、フェーズドアレイ方式の探傷装置は、半導体部品の高性能化に伴い、小型化・高機能化など目覚ましい技術的発展を遂げている。また、原子力プラントをはじめとして、航空機、鉄鋼など、その適用範囲が広がりがつつある[1]。さらに、規格化や標準化の動きも活発化してきており、フェーズドアレイ法の更なる発展が期待されている。

そこで、今回このフェーズドアレイ方式の現場での適用性向上のための小型化と探傷性能向上の両立、さらには、高機能装置へ拡張することを念頭に、フェーズドアレイ式超音波探傷装置を開発した。本報告では、開発したフェーズドアレイ式超音波探傷装置を紹介するとともに、探傷時の SN 比向上のために採用した矩形パルス発振パルサの効果を検証した。さらに、探傷画像の SN 比向上、分解能手法として搭載した S-SAFT(Sector-scan SAFT)法[2,3]についても、その効果を検証した。

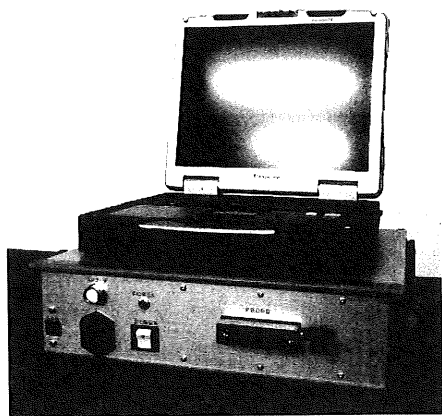
### 2. 装置及び試験体

#### 2.1 装置

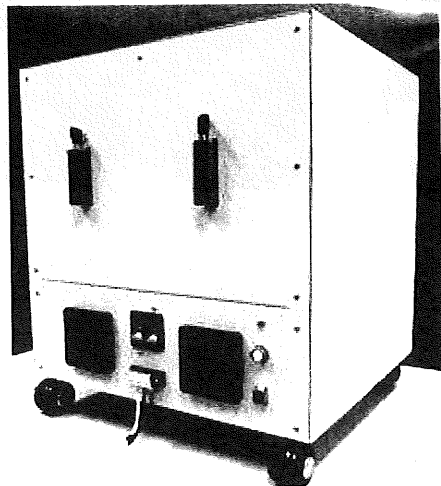
今回開発したフェーズドアレイ方式超音波探傷装置を Fig.1 に示す。Fig.1(a)の小型装置(型式: ES3300)は、同時送受信素子数 32、対応素子数 128 である。本装置は、検査員が 1 人で装置を現場まで持って行き、検査可能な寸法(350×370×100mm)及び重量(7.5kg)とすることを目標として開発した。また、この装置を拡張することで、同時送受信素子数を大幅に増強し、高機能装置を構成可能とした。その一例が、Fig.1(b)に示す 3D Focus-UT(型式: ES3300F)である。詳細は別報に譲るが、同時送受信素子数が 256 あり、マトリクスアレイセンサを使用して、3次元走査が可能な装置である。

これらの装置の共通仕様を Table1 にまとめる。パルサについては、出力電圧 28~125V、出力波形は矩形波を基本に、正極と負極発振や、これを組み合わせた両極発振、さらに複数回繰り返すことで SN 比向上が期待できるパルス発振(最大 5 サイクル)を可能な構成とした。探傷条件や検査対象の材料特性に合わせて、最適な出力波形選択することで、より高度な探傷が可能となる。また、レシーバの周波数帯域は 0.5~20MHz であり、様々な適用対象をカバーできるように開発した。表示においても、探傷画像の SN 比と分解能を向上するために開発した S-SAFT 法を搭載した。解能を向上するために開発した S-SAFT 法を搭載した。

連絡先: 菊池 修、〒317-0073 茨城県日立市幸町 3-2-1、  
(株)日立エンジニアリング・アンド・サービス、電話: 0294-55-8785、  
E-mail: osamu.kikuchi.rt@hitachi-hes.com



(a) Portable phased array UT equipment (ES3300)



(b) 3D Focus-UT equipment (ES3300F)

Fig. 1 HITACHI phased array UT equipments.

Table 1 Specification of phased array equipments

Pulser	
Voltage	28 ~ 125V
Pulse Width	5 ~ 1000ns at 5ns step
Pulse Shape	square (negative, positive, bipolar, burst)
Receiver	
Band width	0.5 ~ 20MHz (-3dB)
Gain	90dB for single channel (Analog:50dB, Digital:40dB)
Sampling freq.	200MHz with interpolation
Output res.	8bit/16bit selectable
Focal laws	1024
Digital filter	LPF: 1 ~ 20, HPF: 0.5 ~ 15MHz
DAC	8 point programmable
Visualization	
Online	A, B, S scan
Offline	C, D scan, S-SAFT
Frame rate	> 20 f/s
Interface	
PC interface	Ethernet (100Base-T)
I/O	2axis encoder input

## 2.2 試験体及び試験条件

本研究では、深さ 40~65mm に、 $\phi 3\text{mm}$  のサイドドリルホールを計 6 箇所付与した SUS 製の試験体 (寸法: 80×50×300mm) を用いて試験を行った。また、アレイセンサの周波数による変化を検証するために、Table2 に示す一般的な 1、2、5MHz のアレイセンサを用いた。なお、2MHz のアレイセンサは、素子数が 24 素子のため同時送受信素子数も 24 素子であり、また、5MHz の場合は 64 素子のうち 32 素子を同時送受信素子として用いて試験を行った。

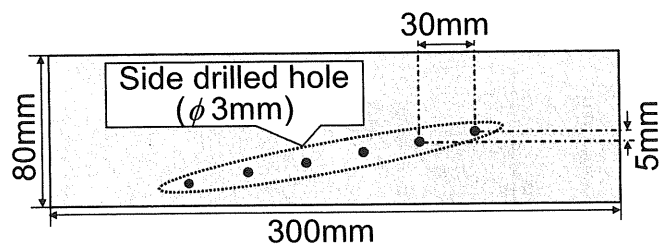


Fig. 2 Specimen.

Table 2 Specification of 1D-array and condition

Frequency	1MHz	2MHz	5MHz
Number of elements	32	24	64
Simultaneously active channels	32	24	32

## 3. 試験結果及び検討

### 3.1 バースト波の効果検証

前述したように、今回開発したフェーズドアレイ式超音波探傷装置のパルサは、負極、正極、両極、さらにこれを複数回繰り返すことで、矩形のバースト波を発振可能である。Fig.3 に計測したオシロスコープの波形を例として示す。Fig.3(a)は 0.5 サイクル(負極矩形波)、(b)は 2 サイクル、(c)は 4 サイクルの矩形バースト波である。この計測の際のパルス幅は 100ns、パルス電圧 120VP-P である。本研究では、バースト波のサイクル数をパラメータとして、その感度を検証した。具体的には、送受信の焦点は試験体の底面(80mm)とし、そのエコー強度を計測した。Fig.4 にその計測結果を示すが、1、2、5MHz の全ての場合において、バースト波のサイクル数が増すにつれて、エコー強度が増加し、約 3 サイクルで飽和することを確認した。矩形単極に相当する 0.5 サイクルと比較すると、10dB 以上の感度向上を確認できたと考える。

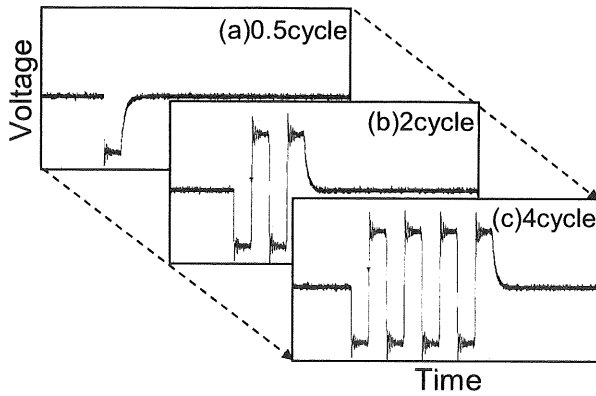


Fig. 3 Output waveform of pulser at no-load.  
(Pulse width: 100ns, Voltage: 120V<sub>P-P</sub>)

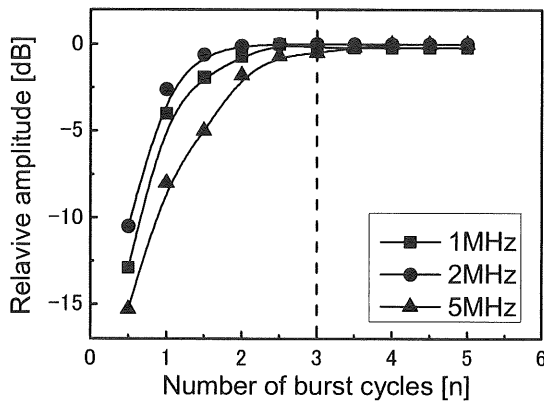


Fig. 4 Echo amplitude by number of the burst cycles

### 3.2 S-SAFT法の効果検証

今回開発したフェーズドアレイ式超音波探傷装置には、探傷画像の SN 比と分解能向上を目的として開発した、S-SAFT 法を搭載した。S-SAFT 法の基本原理を Fig.5 に示すが、セクタスキャンを行いながら、アレイセンサの機械走査(もしくは電子走査)することで、複数枚の探傷画像を収録して、合成処理を行うことで、平均化で SN 比の向上効果が得られるだけでなく、開口合成(SAFT)による分解能向上の効果も得ることができる。本報告では、S-SAFT 法について、開発した装置を用いて、その効果を検証した。Fig.6 に通常のセクタスキャンの探傷画像と S-SAFT 法を適用した探傷画像の比較を示す。SN 比の面では、本試験体が母材のため明確ではないが、ノイズ振幅は半分以下に低減している。また、通常のセクタスキャンでは、ドリルホールからのエコーが横方向に広がり、探傷角度が大きいほどエコーも広がってしまう。しかしながら、S-SAFT 法を適用した探傷画像は、合成処理の効果でドリルホールの形状に近い探傷画像が得られ、エコーの空間分解能の向上が確認でき、その有効性を確認できた。

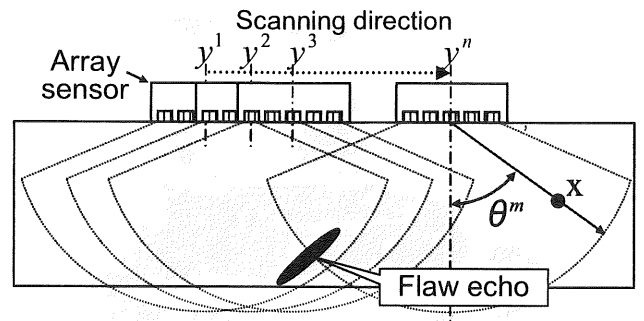


Fig. 5 Flaw imaging principle by S-SAFT.

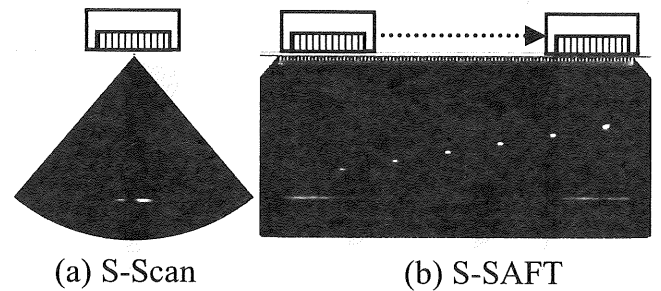


Fig. 6 Comparison of inspection image.  
(Frequency of array sensor: 2MHz)

## 4. 結言

新型フェーズドアレイ装置を開発し、バースト波と S-SAFT 法の評価を行い、以下の結果を得た。

- 1) バースト波のサイクル数が増すにつれて、エコー強度が増加し、矩形単極の 0.5 サイクルと比較して 10dB 以上の感度向上を確認できた。
- 2) サイドドリルホールを用いて試験を行い、S-SAFT 処理前と比較して、SN 比の向上とエコーの空間分解能向上に効果があり、S-SAFT の有効性を確認できた。

## 参考文献

- [1] 横野 泰和, “フェーズドアレイ UT の適用事例及び標準化の世界的動向”, 非破壊検査, Vol.56, No.10, pp.510-515 (2008).
- [2] 江原和也, 他 5 名, “配管超音波検査におけるアレイ探触子を利用した欠陥画像化手法の開発”, JSNDI 平成 19 年度春季大会 講演概要集, pp.39-40 (2007).
- [3] C. Matsuoka et al., “COMPATIVE STUDY ON ULTRASONIC IMAGING METHODS WITH ARRAY TRANSDUCERS”, in Review of Progress in QNDE, edited by D. O. Thompson and D. E. Chimenti, 27, 707-714 (2008)