

## 1-2

## 液体中でのアレイプローブの移送による超音波イメージングの実験的検証

EXPERIMENTAL VERIFICATION OF ULTRASONIC IMAGING IN LIQUID BY MIGRATION OF ARRAY TRANSDUCER

○山崎泰誠<sup>†</sup>中畑和之<sup>†</sup>阿部雄太<sup>‡</sup>大平克己<sup>‡</sup>Taisei YAMASAKI<sup>†</sup>Kazuyuki NAKAHATA<sup>†</sup>Yuta ABE<sup>‡</sup>Katumi OHIRA<sup>‡</sup>愛媛大学大学院<sup>†</sup>日本原子力研究開発機構<sup>‡</sup>ジャパンプローブ<sup>‡</sup>

超音波アレイプローブを用いて、液体中の欠陥や堆積物を全波形サンプリング処理方式(FSAP)で広範にイメージングすることを考える。ここではプローブを移動させながら超音波を送信し、送信毎にアレイプローブの各素子で散乱波を受信する。受信した全波形はメモリに記録しておき、ポスト処理で液体の全画素に集束ビームを再構成してイメージングする。水中堆積物を模擬した試験体で計測を行い、FSAP方式による映像化を行う。散乱波の位相情報を用いる場合、堆積物のラテラル表面の再構成能の向上がみられた。

KEYWORDS: 超音波イメージング, アレイプローブ, 全波形サンプリング処理方式, 位相情報, プローブ移送

## 1. 緒言

液体が充填された円管等の堆積物を評価するのに工業用内視鏡などが使用されているが、液体の濁度が大きい場合には内視鏡では観察が困難である。そこで、本研究では超音波アレイプローブを用いて管内側をイメージングすることを考える。ここでは液体中でプローブを移動させながら、管内を広くイメージングすることを検討する。映像化手法として、全波形サンプリング処理方式(FSAP)[1]を改良したものをを用いる。アレイプローブを移送しながら、液体中の堆積物を模擬した散乱体から得られた超音波をアレイプローブの各素子で受信し、その受信波形を波形記憶マトリクスに記憶していく。移送が終了した後に波形記憶マトリクスから波形を取り出し、個々の波形にディレイを設定することで散乱体を再構成する。従来のFSAPでは散乱波の振幅情報を元に内部を映像化していたが、本研究では位相情報を用いた映像化法であるPhase coherence imaging(PCI)[2]を適用し、両者の比較を行う。

## 2. アレイプローブ移送に対応したFSAP

図1(a)に示すように、直径 $D$ の送信素子 $z$ を有するプローブから超音波を発信し、同じプローブ内に配置された受信素子で記録することを考える。このアレイプローブを移送しながら超音波を送受信する。図1(b)のように位置 $s$ にアレイプローブがあるとき、素子番号 $n$ で受信する波形を $M_{sn}(t)$ とする。FSAP方式は液体中のボクセル $\mathbf{x}$ に向かって集束ビームを再構成するが、これは $s$ にある送信素子 $z[s]$ と画素 $\mathbf{x}[k]$ ,  $\mathbf{x}[k]$ からアレイ探触子の $n$ 番目の素子 $y[n, s]$ までの伝搬時間 $t = T_{n,s,k}$ に相当する振幅を $M_{sn}(t)$ から抽出して重ね合わせることに等価である[1]。これをアレイ素子総数 $N$ と移送分 $S$ だけ合成 $\left(H(\mathbf{x}[k]) = \sum_{s=1}^S \sum_{n=1}^N M_{sn}(T)\right)$ することで画素 $k$ からの散乱波の振幅値 $H$ を計算する。

PCIでは位相情報を用いるため、 $M_{sn}(t)$ から位相 $\phi_{sn}(T) = \arg\{M_{sn}(T) + iM_{sn}^h(T)\}$ を計算する。ここで、 $M_{sn}^h$ は信号 $M_{sn}$ のヒルベルト変換である。画素 $k$ で散乱された波動の位相のコヒーレンスを求める。ここでコヒーレンス値を次のように定める。

$$C(\mathbf{x}[k]) = 1 - \sqrt{\text{var}(\cos \phi_{sn}) + \text{var}(\sin \phi_{sn})} \quad (1)$$

上式で $\text{var}$ は分散を表す。位相が揃っていれば式(1)の平方根は0に近くなるため、 $C$ は大きくなる。検証実験では振幅値 $H$ とコヒーレンス $C$ で映像化したものを比較する。

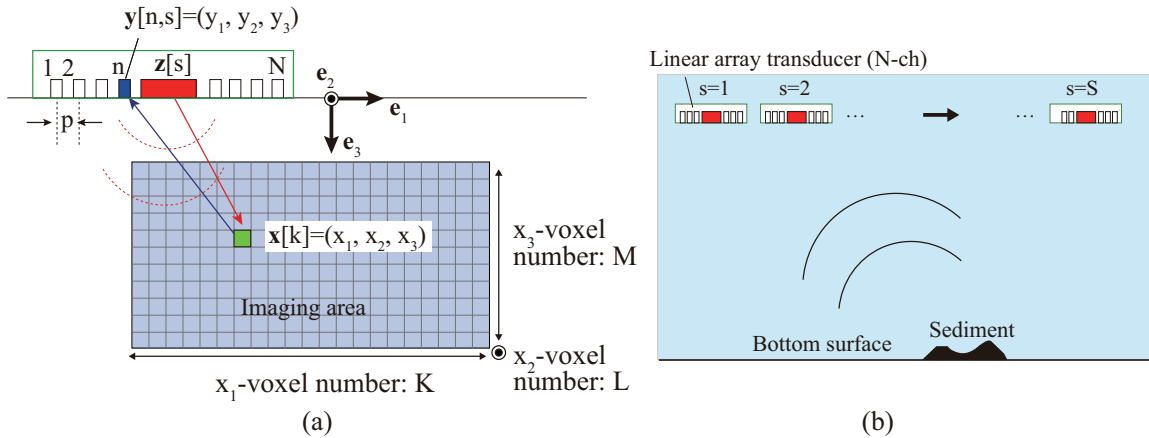


Fig. 1: (a)Path of ultrasonic wave to target voxel  $x[k]$  from transducer in the FSAP. (b)Migration of array transducer

### 3. 映像化検証

深さ 90mm の水中に図 2(a) に示すようなステンレス片を沈め、これを映像化する。実験で使用したプローブは図 2(b) のような中心周波数 1.0MHz, ピッチ  $p=1.0\text{mm}$ ,  $N=64\text{ch}$  の受信素子と、真ん中に直径  $D=10\text{mm}$  の送信素子を有するものである。このプローブを  $e_1$  方向に 160mm,  $e_2$  方向に 90mm の範囲で移送する。移送ピッチは  $e_1$  方向に 5mm,  $e_2$  方向に 2mm である。FSAP の映像化は  $e_1$  方向は 0~200mm,  $e_2$  方向は 0~100mm,  $e_3$  方向は 40~90mm の範囲として、0.2mm の解像度とした。

図 2(c) と (d) に振幅値  $H$  と位相値  $C$  で映像化したものを、それぞれ示す。いずれの値もそれぞれの最大値で正規化している。図 2 上部は鳥瞰的に表したもので、 $H$  と  $C$  の値の範囲を 8 分割して、その等値面をレンダリングしている。どちらにおいてもステンレス片の上表面と水槽の底が確認できる。図 2(c) と (d) の下部は、深さ  $z=88\text{mm}$  の断面を抽出したものである。図 2(c) の振幅値で映像化したものは試験片が確認できないが、図 2(d) の位相値では試験片と水の境界部が識別できる。反射波の振幅が小さくても位相が揃っていれば PCI は像が再構成されるので、堆積物のラテラル方向の表面部の識別には有利であると考えられる。

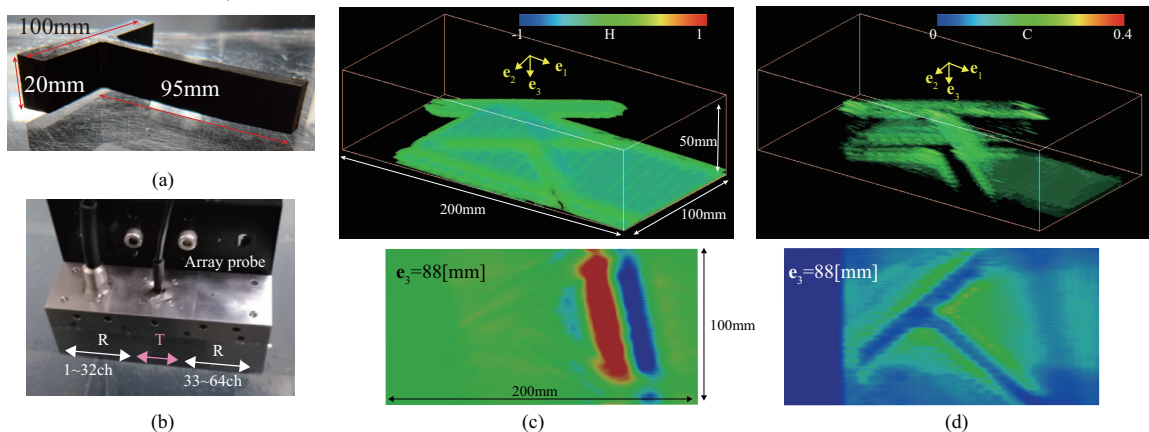


Fig. 2: Pictures of (a) sunken stainless specimen and (b) array transducer. FSAP result using (c) amplitude and (d) phase of scattered waves from the stainless specimen.

### 参考文献

- [1] 中畑 和之, 平田 正憲, 廣瀬 壮一, 全波形サンプリング処理方式を利用した散乱振幅からの欠陥再構成, 非破壊検査, 59 巻, 6 号, pp.277-283, 2010.
- [2] J. Camacho, M. Parrilla and C. Fritsch, Phase coherence imaging, IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control, Vol.56, pp.958-974, 2009.