

# EMATによる大規模3次元画像再構成

## The study of 3D image reconstruction using EMAT

産業技術総合研究所 西村 良弘 Yoshihiro NISHIMURA  
産業技術総合研究所 笹本 明 Akira SASAMOTO  
産業技術総合研究所 鈴木 隆之 Takayuki SUZUKI Member

Instead of using the array probe, the study of 3D image reconstruction using the single probe was done. EMAT single probe has large diameter and large aperture and so the ultrasonic wave propagates not only toward direction z but also x-y directions. And so the time series of data received by EMAT probe include the information of the flaws not only in z direction but also in x-y direction and it means the image has higher resolution than that can be expected from the sampling space in x-y direction can be derived. It can decrease the number of scan lines and sampling points, but it required a large amount of calculation power.. The distribution function of the reflective coefficient can be calculated by integrating probe output and inverse-pupil function with time, and so its calculation can be parallelized by breaking integral range into some ranges. It was shown that parallel computing speed up 3D image reconstruction of the data derived by EMAT.

**Keywords:** EMAT, FFT, Array probe, Large aperture

### 1. 緒言

メートルオーダーの大型部材全体をシングルプローブで走査して欠陥探傷する場合、系の水平分解能はビームスポットの大きさ、水平サンプリングの間隔によって決まる。また通常のUTでは水侵やカプラントを要し、高速走査は不可能である。

アレイプローブを用いた場合、任意の波面を生成でき試料内部の任意の位置で焦点を走査できる、単純に3次元画像を構成でき、検査の高速化を行うことが可能である。

プラコニエルらはこの電子走査における残響の問題を指摘し、フラッシュフォーカス法[1]を提案した。これは単発の平面波の反射波を用い、受信波形のタイムスペースの積和計算することで任意の仮想焦点からの反射強度を得て3次元画像を構成しようというものである。プラコニエルらはこの計算のために並列計算機を導入した。

中畠や廣瀬らはアレイプローブ全体としての指向性関数に対応した応答関数と反射波の時系列データの関係に着目し、時間のかかる積和計算を単純に行うのではなくフーリエ変換して逆コンボリューションを行うことで3次元画像再構成をより高速に行えることを提案した。[2]

アレイをプローブを用いる場合、隣同士のプローブ

の波動が干渉するので周波数を高くすることができないこと、アレイを構成するプローブを均一に作成しなければならないこと、大規模アレイを構成することは簡単ではないこと、大型化したアレイプローブを走査することも困難であることなどが問題である。

EMATは水やカプラントを介すことなく磁力によって試料内部に直接音波を発生させる。そのため、非接触での高速走査が可能である。通常のEMATシングルプローブはFig.1に示すようにプローブ径より小さく反射波形から得られる画像はプローブ径より大きな領域で平均化されたものになる。この情報の中には深さ方向ばかりでなく水平方向の情報も含まれている。この波動の反射波の時系列データを利用することで、より少ない水平サンプリング点数、より少ない水平走査回数で高品位の3次元画像再構成を行うことが可能である。

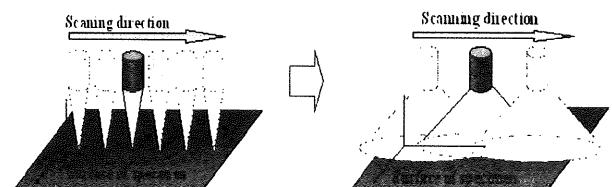


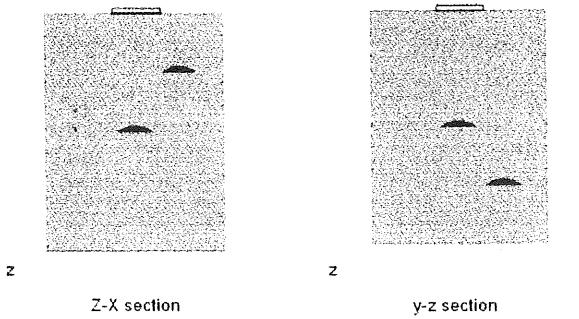
Fig.1 Scanning methods

この画像再構成計算において、プローブ出力と反射

関数の積を時間積分する際に時間方向に分割することで容易に並列化が容易に行える。本研究では反射関数の分布計算に並列化を取り入れることで計算時間の検討を行った。

## 2. 理論

Fig.2 に示すように試料上の座標  $\vec{X} = (X, Y, 0)$  にある EMAT プローブのローカル座標  $\vec{x}_0 = (x_0, y_0, 0)$  から時



試料上の点  $\vec{X}$  におけるプローブ出力  $w(t, \vec{X})$  は式(1)のようにかける[3][4][5]。 $c$  は波動の速度、 $\alpha$  は減衰定数、 $A$  は EMAT プローブの面積、 $V$  は試料の計算対象としている領域の体積である。

$$w(t, \vec{X}) = \frac{1}{V} \int h(t, \vec{x}_1) \rho(\vec{X} + \vec{x}_1) d\vec{x}_1 \quad (1)$$

$$h(t, \vec{x}_1) = \frac{1}{A^2} \int \frac{f(t - \frac{|\vec{x}_2 - \vec{x}_1| + |\vec{x}_1 - \vec{x}_0|}{c}, \vec{x}_0)}{|\vec{x}_2 - \vec{x}_1| |\vec{x}_1 - \vec{x}_0|} e^{-\alpha(|\vec{x}_2 - \vec{x}_1| + |\vec{x}_1 - \vec{x}_0|)} d\vec{x}_0 d\vec{x}_1 \quad (2)$$

試料表面の  $x, y$  の各方向の  $N_x/n_x, N_y/n_y$  等分点をサンプリング点  $X_{i_x}, Y_{i_y}$  とし、各点で  $n_x n_y N_z$  個の時系列データを取ることで  $N_x \times N_y \times N_z$  の分解能の 3 次元画像再構成する。試料の  $N_x \times N_y \times N_z$  等分点を  $x_{i_x}, y_{i_y}, z_{i_z}$  とする。すると各サンプリング点  $(X_{i_x}, Y_{i_y})$  におけるプローブ出力  $w(t_i, X_{i_x}, Y_{i_y})$  は式(3)のようになる。

$$w(t_i, X_{i_x}, Y_{i_y}) = \frac{1}{N_x N_y N_z} \sum_{j_x, j_y, j_z=0}^{N_x, N_y, N_z} h(t_i, X_{i_x} - x_{j_x}, Y_{i_y} - y_{j_y}, z_{j_z}) \rho(x_{j_x}, y_{j_y}, z_{j_z}) \quad (3)$$

プローブ出力  $w(t, \cdot)$ 、指向性関数  $h(t, \cdot)$ 、反射係数  $\rho(\cdot)$  のフーリエ変換を  $W(t, R, S)$ 、 $H(t, R, S, z)$ 、 $P(R, S; \vec{R}, \vec{S})$  とする  $\frac{1}{n_x n_y} W(t, R, S)$  は式(4)のようになる。

$$\begin{aligned} & \frac{1}{N_z} \sum_{j_z=0}^{N_z} H_{0,0}(t_i, R_{i_R}, S_{i_S}, z_{j_z}) P_{0,0}(R_{i_R}, S_{i_S}, z_{j_z}) + \dots \\ & + \frac{1}{N_z} \sum_{j_z=0}^{N_z} H_{n_x-1, n_y-1}(t_i, R_{i_R}, S_{i_S}, z_{j_z}) P_{1,1}(R_{i_R}, S_{i_S}, z_{j_z}) \end{aligned} \quad (4)$$

以上から、プローブ出力と指向性関数の逆行列の  $t$  についての積分により反射係数が得られることがわかる。 $t$  の積分区間を分割し並列化を行うことで高速化が可能になる。

## 3. 計算結果

試料の  $x$  方向の長さ 1024、 $y$  方向の長さ 1024、 $z$  方向の長さ 1024 の直方体形状の領域に欠陥があるとする。Fig.3,4,5 に試料の  $x-z$  断面および  $y-z$  断面、反射波の時系列、再構成画像を示す。

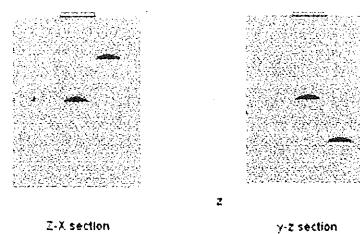


Fig.3 Flaws in Specimen

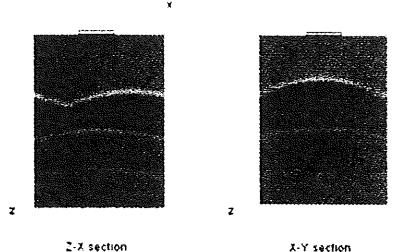


Fig.4 Time series of probeoutput

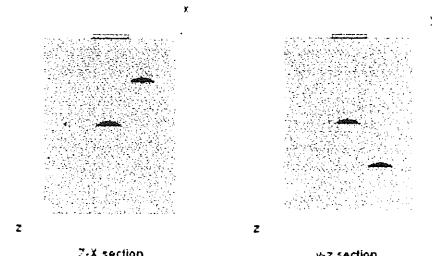


Fig.6 Reconstructed image  
(Quad precision)

計算は深さ方向に 8 分割し、8 台の CPU で行った。  
計算時間はほぼ 1/8 となった。

### 3. 結言

- 1) プローブ先端から広がる試料表面に平行な方向の進行波の情報を用いることで、3 次元画像の分解能を維持したまま、水平方向のサンプリング点数を減らすことができる画像再構成において、計算量が飛躍的に増大することを示した。
- 2) 反射係数の分布はプローブ出力と指向性関数の逆行列を時間積分することで得られ、積分区間を分割し複数の CPU に割り振ることで並列化でき大幅に計算時間を短縮できることを示した。

- [1] 村上丈子、ドミニク・ラコニエ、三浦俊治、村井純一、西谷豊、“アレイ探触子による高速超音波探傷新技術”、日本非破壊検査協会 平成 18 年度超音波シンポジウム,(2006)P.35-38
- [2] 中畠和之、廣瀬壯一、“アレイセンサーを用いた逆散乱イメージングの再構成性能について”、日本非破壊検査協会、平成 18 年度超音波シンポジウム,(2006)P.39-44
- [3] R.GPratt: Seismic waveform inversion in the frequency domain I Theory and verification in a physical scale model, Geophysics,64(1999),pp.888-901,
- [4] 渡辺俊樹、“フルウェーブ・インバージョン”、非破壊検査、(2005)、vol.53,pp274-279
- [5] 根岸、高木、超音波技術、東大出版会(1984)

### 参考文献

