

溶接部検査への FMC/TFM の適用

ディービー(株) 横濱 慎也

1. はじめに

近年、フェーズドアレイ超音波探傷試験法は広い分野で使用されるようになった。応用技術としては、電子走査によるビーム形成に自由度があるリニア走査や、広範囲を探傷できるセクター走査、あるいは両方の組み合わせによる走査方法等がある。しかし、従来のフェーズドアレイ超音波探傷試験法での方位分解能は、探触子の開口に依存するため、分解能を向上させるには探傷周波数を高くする、あるいは探触子の開口を大きくする必要があった。

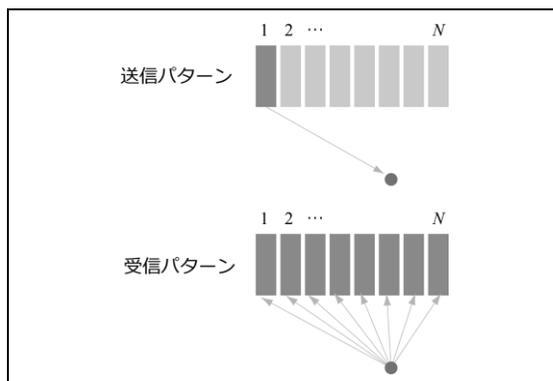
本稿で説明する FMC/TFM⁽¹⁾は、超音波探傷試験法の新しい手法として、主に海外⁽²⁾を中心に注目されている。原理は開口合成法である。FMC は超音波の送受信の方法⁽³⁾⁽⁴⁾として、TFM は受信した信号から焦点の再構成を行う方法⁽⁵⁾として説明できる。本稿では FMC/TFM の原理と溶接部検査への適用について述べる。

2. FMC (Full Matrix Capture)

FMC はリニアアレイ探触子を使用し、単素子送信/全素子受信を行う方法である。第 1 図は、第 1 素子で送信後、全素子で受信している様子を示している。これは、第 2 素子送信全素子受信、第 3 素子送信全素子受信と繰り返され、第 N 素子送信全素子受信まで、送受信が行われる。このようにして全素子数が N のとき、 N^2 のデ

ータが収集される。

この送受信方法の特長は、単素子送信の広いビーム指向角から得られる反射源の多重化と、全素子受信による大きな開口の効果である。



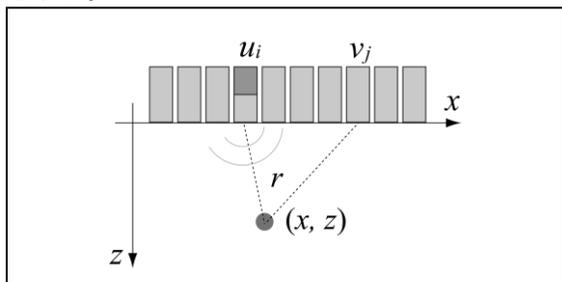
第 1 図 FMC 送受信法

3. TFM (Total Focusing Method)

TFM は探傷断面に仮想的な格子を配置し、全格子に対して焦点の再構成処理を行う方法である。この処理は送信 i と受信 j から $y(t, u_i, v_j)$ と表すことができる。ここで u_i と v_j は、送信素子と受信素子の位置である。もし、 N が素子の総数である場合、 $y(t, u_i, v_j)$ は $1 \leq i \leq N$ 及び $1 \leq j \leq N$ とすることができ、再構成される焦点 $o(x, z)$ は次式で与えられる。

$$o(x, z) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N y\left(\frac{r_1 + r_2}{c}, u_i, v_j\right) \quad \dots(1)$$

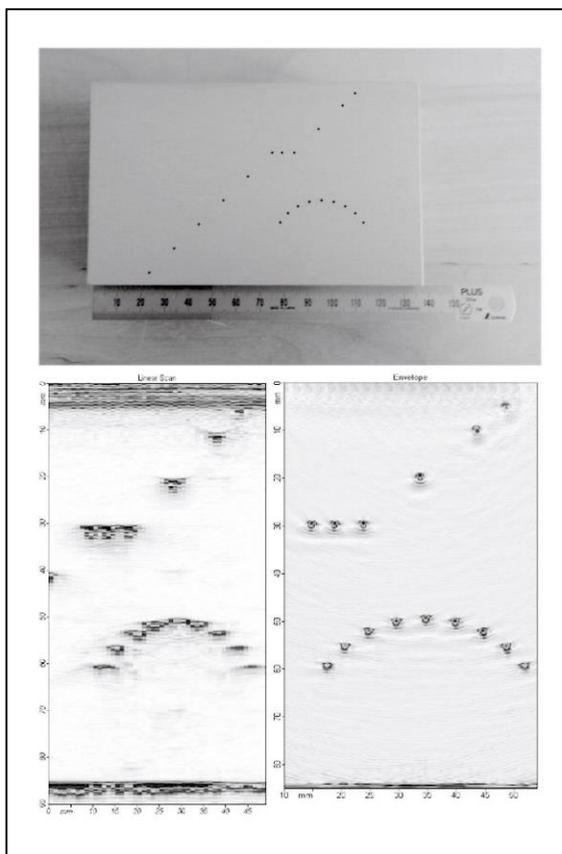
但し、送信及び受信素子から焦点 $o(x, z)$ までの路程は、 $r_1 = \sqrt{(x - u_i)^2 + z^2}$ 、 $r_2 = \sqrt{(x - v_j)^2 + z^2}$ とする。また、 c は材料音速とする。



第2図 TFM 処理

4. FMC/TFM によるドリル横穴の探傷試験

アルミニウム合金製試験対象とリニア走査画像及び TFC/TFM 画像を第3図に示す。外形 140 mm × 85 mm × 40 mm に、直径 1 mm のドリル横穴が 5 mm から 80 mm の位置に加工されている。



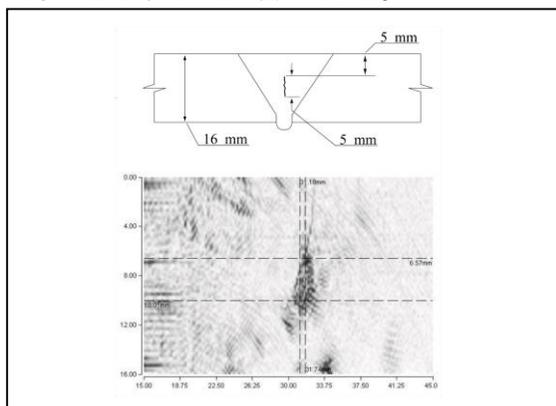
第3図 5 MHz リニアアレイ探触子による垂直探傷試験
(上) 試験体、(左) リニア走査画像、(右) FMC/TFM 画像

30 mm の位置には水平方向に並んだドリル横穴が 3 つ加工されており、それぞれの間隔は 4 mm と 5 mm である。リニア走査画像では、これらの分解は困難であるが、FMC/TFM 画像では分解ができています。なお、探傷断面における仮想的なビーム幅は、直径 1 mm のドリル横穴に対して、それ以下であると推定できる。

5. FMC/TFM による溶接内部キズの探傷試験

第4図に溶接部の FMC/TFM 探傷試験結果を示す。試験対象は板厚 16 mm の余盛部を削除した V 開先自然キズ入り溶接試験片である。

探傷周波数 5 MHz の横波モードを用いて、直射、1 回反射、2 回反射の探傷画像を重ね合わせた画像を取得した。溶接中心部の割れが、その形状のまま、明瞭に確認できる。



第4図 溶接部探傷の適用例

(上) 試験体、(下) 探傷画像

6. おわりに

FMC/TFM は送受信のデータ量と焦点の再構成計算量が膨大なため、現場での適用は困難であるとされてきた。しかし、当社ではマルチコア CPU/GPU 計算手法を取り入れることにより、現場での適用も可能な技術を開発した。また、さらに高速な TFM 処理を開発中であり、キズ形状を正確に把握できる新しい超音波探傷試験法として提案を行っていく。

<参考文献>

- (1) 村井純一：“新しいフェーズドアレイ技術、FMC/TFM の紹

介” 第 20 回神奈川県非破壊試験技術交流会・技術研究会
講演資料、pp.9-13(2015)

- (2) The Welding Institute : Advanced Ultrasonic Imaging Techniques for Industrial Applications. (<http://www.twi-global.com/>)
- (3) J. Seydel. Ultrasonic synthetic-aperture focusing techniques in NDT. *Research techniques in nondestructive testing*, 6:1–47, 1982.
- (4) M. Karaman, P.-C. Li, and M. O'Donnell. Synthetic aperture imaging for small scale systems. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control*, 42(3):429–442, May 1995.
- (5) C. Holmes, B.W. Drinkwater, and P. D. Wilcox. Post-processing of the full matrix of ultrasonic transmit-receive array data for non-destructive evaluation. *NDT&E International*, 38(8):701–711, December 2005.