

# 三次元フェーズドアレイ超音波探傷による 応力腐食割れの可視化とサイジング精度の検討

## Visualization and Quantitative Research of Stress Corrosion Cracking Using the Three-Dimensional Phased Array Ultrasonic Technique

(株)日立製作所	北澤 聡	So KITAZAWA	Non-Member
(株)日立製作所	河野 尚幸	Naoyuki KONO	Non-Member
(株)日立製作所	工藤 健	Takeshi KUDO	Non-Member
日立 GE ニュークリア・エンジニア(株)	井坂 克己	Katsumi ISAKA	Non-Member

The three-dimensional phased-array (3D-PA) ultrasonic technique has been applied to a stress corrosion cracking (SCC) in base metal, and its results for sizing have been quantitatively evaluated. The 3D-PA allows operators to scan objects volumetrically and to display results as 3D images facilitating evaluation processes considerably. The scanning pattern used is called the moving rotational sectorial-scan (MRS-scan) and it is composed of many sectors of different azimuth angles as moving the probe linearly. The MRS-scan significantly improves the inspection of flaws without skillful searching motion of the probe, because the flaws are stereoscopically insonified by a number of ultrasonic beams coming from various directions. The SCC was evaluated by the MRS-scan with a matrix array probe. Not only the deepest tip but also all parts of the crack were able to be successfully visualized and sized with an accuracy of the root mean square error of 0.9 mm.

**Keywords:** Ultrasonic Testing, Phased Array, Three-Dimensional, Stress Corrosion Cracking (SCC)

### 1. 緒言

フェーズドアレイ (PA) 超音波探傷法は単一素子センサによる探傷法に比べ高 SN 比で高速な検査が可能であり、様々な産業分野で適用が広がりつつある。現在、一般的に普及している従来 PA 法は、リニアアレイセンサによる二次元走査で検査体内部の断面画像を用いて検査を行う方法である。我々はこの方法を拡張し、二次元アレイセンサ (マトリクスアレイセンサ) で生成される集束ビームを三次元的に走査する三次元フェーズドアレイ (3D-PA) 法 (Fig.1 参照) をこれまで開発してきた[1]。3D-PA 法は探傷結果を三次元画像として一度に確認できるため、複数の断面画像で結果を確認する従来 PA 法に比べ、評価を効率良く短時間で行える。

### 2. 3D-PA 法の応力腐食割れへの適用

本研究では 3D-PA 法をステンレス母材に人工的に付与した応力腐食割れ (SCC) に適用し、切断調査結果との比較で 3D-PA のサイジング精度を定量的に検討した。以下にその結果を述べる。

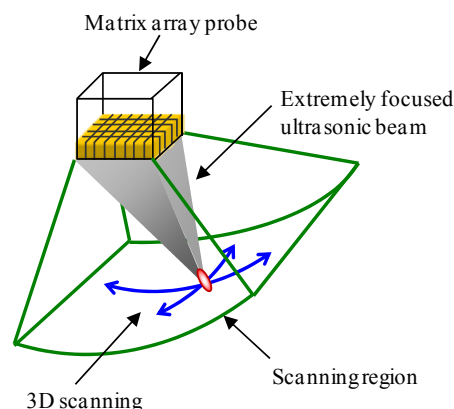
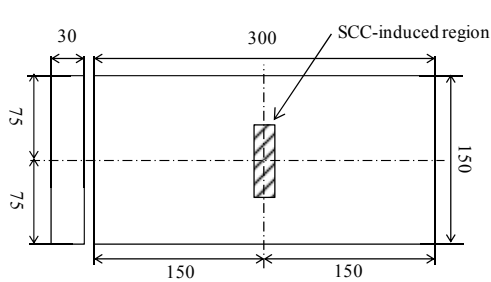


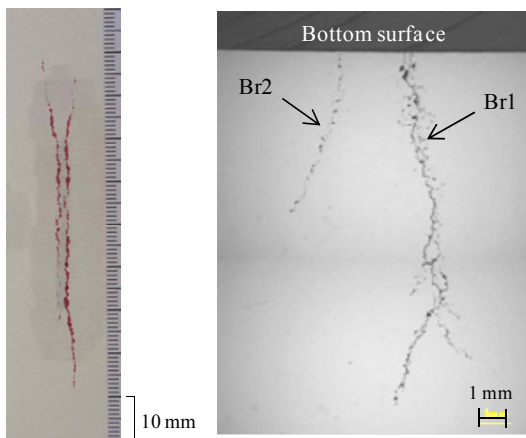
Fig.1 Schematic image of 3D-PA with matrix array probe.

### 2.1 SCC試験体

本研究で用いた SCC 試験体を Fig.2 に示す。腐食液としてテトラチオン酸溶液を用い、SUS304 母材表面に曲げによる引張応力を発生させ、試験体中央部に SCC 割れを人工的に付与した。SCC 開口面の浸透探傷結果を Fig.2(b) に示す。SCC 開口部の長さは約 75 mm であった。また、本研究では 3D-PA のサイジング精度を検証するために試験体を複数位置 (58 ヶ所、1.5mm ピッチ) で切断しており、その断面画像の一例を Fig.2(c) に示す。SCC は二ヶ所で発生しており (Br1 および Br2)、一方の先端は二つに枝分かれしている領域があることが分かった。SCC 割れの最深部は 11.5 mm である。



(a) Material: JIS SUS304



(b)

(c)

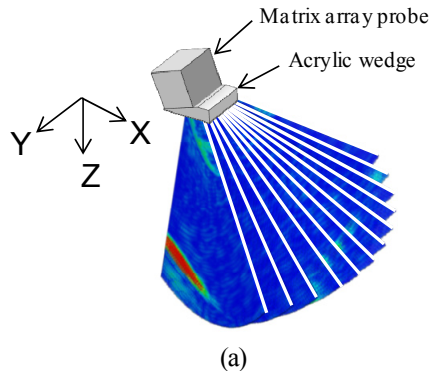
Fig.2 SCC specimen. (a) specification of specimen, (b) result of penetrant testing, and (c) optical microscopic image of SCC cross section.

## 2.2 SCCの三次元探傷結果

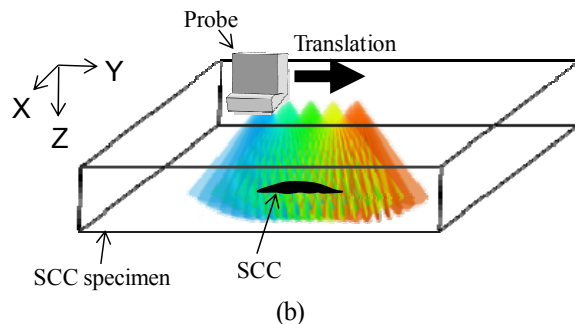
本研究で用いた三次元走査を Fig.3 に示す。センサの向きは固定で遅延時間制御によりセクタの首振り走査（首振り角 約 $\pm 45^\circ$ ）を行いながら、SCC 割れの長手方向にセンサを移動させてデータを収録した（MRS-scan：Moving Rotational Sectorial-scan）。収録は SCC 割れを挟んで二方向から行い、全収録データ（セクタ総数 13,534）から合成した三次元画像を Fig.4 に示す。画像には底面を示す平面を重ねて表示してある。SCC 割れ形状に対応してコーナーおよび端部エコーが連続的に表示されており、切断調査結果に示したようにエコーも二つに分離している（Fig.4 破線）。三次元画像から、複数の Y 位置における SCC 割れ深さをサイジングし、切断調査結果と比較したところ、SCC 割れ深さの二乗平均平方根誤差は 0.9 mm であった。また、首振り走査を行わずに SCC 割れとほぼ直交するセクタだけで合成した三次元画像に比べ、確実に端部エコーを検出していることが分かった。

## 3. 結言

3D-PA 法で SCC を探傷し、三次元画像からのサイジン



(a)



(b)

Fig.3 Schematic image of 3D scanning. (a) rotational S-scan and (b) moving rotational S-scan (MRS-scan) for SCC.

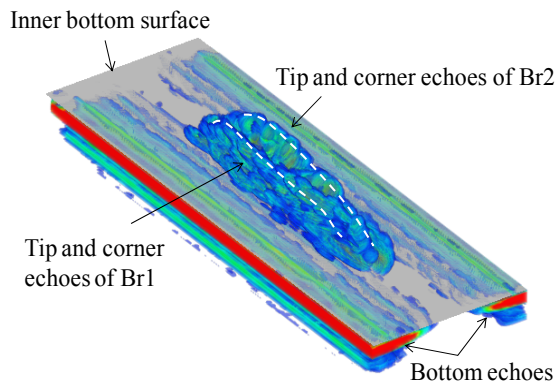


Fig.4 Three-dimensional image synthesized by MRS scanings on both sides of SCC.

グ精度を試験体の切断調査結果と比較検討した。三次元走査では反射源に対して様々な角度から超音波を入射させるため、従来 PA 法よりも SCC 割れの端部エコーを高 SN 比で検出できると考えられる。今回はステンレス母材での評価であるが、今後は溶接部での検出精度も検証していく予定である。

## 参考文献

- [1] 北澤聡、河野尚幸、馬場淳史、安達裕二、小田倉満：“3次元フェーズドアレイ法による超音波探傷技術”、日本保全学会 第7回学術講演会 要旨集、55 (2010).