

これに対してセーフエンド溶接部に対する内面からのサイジング手法の高度化を目指した開発に取り組んでおり、高度化手法としてフェーズドアレイ UT を使った手法を開発し、サイジング精度の向上を図っている。前回報告^[1]で溶金中において超音波ビームを集束させて SCC のサイジング精度を向上させるプローブの開発成果を示した。前回報告では一般的な形状の SCC 及びスリットに対する開発手法の有効性を確認し、深くて細長く、かつ先端長さの短い SCC に対してはシミュレーション評価により有効性を示した。本報告では、継続的な取り組みとして実施した下記の目標についての開発成果について示す。

- ・原子炉容器セーフエンド溶接部で検出されたような深くて細長く、かつ先端の長さが短い SCC を模擬した人工 SCC について検証を実施し、端部エコーの検出性向上によりサイジングの実現を目指す。
- ・実機適用性を考慮したプローブの小型化

2. フェーズドアレイ UT 探触子の開発

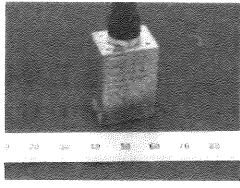
前回報告で、セーフエンド溶接部のサイジング精度向上や端部エコーの検出性向上を目的に探触子の設計を行い、サイジングすべき領域が深いため深さに応じて 2 種類のフェーズドアレイ探触子を開発した。

浅い領域に対しては溶金中の曲がりの影響も小さく、比較的ビーム集束性に優れている小型の左右分割型 (TRL) フェーズドアレイ探触子で対応することとした。探触子の仕様と外観写真を Table1 に示す。

また深い領域に対しては深い位置でのビーム集束性を向上させ、さらに 3 次元ビームスキャンにより溶接部の超音波曲りの影響を補正し、点集束ビームにより先端部が細い欠陥のサイジングにも対応するためのマトリックスアレイ探触子とした。

マトリックスアレイについては、開発当初は実機適用時の検査装置への搭載が困難な円筒形の形状であったため、装置搭載性を考慮し形状の最適化、プローブの小型化を図った。開発にあたっては、UT シミュレーションを用いて円筒形状のプローブと同程度以上のサイジング性能を持ち、実機への適用性を考慮した矩形形状のプローブを設計した (Fig. 3)。開発したプローブと円筒形プローブの仕様比較及び外観写真を Table2 に示す。

Table1 Probe Specification (for shallow Defect)

Type	TRL PA
Probe Size	20 x 15 x 25
Probe View	

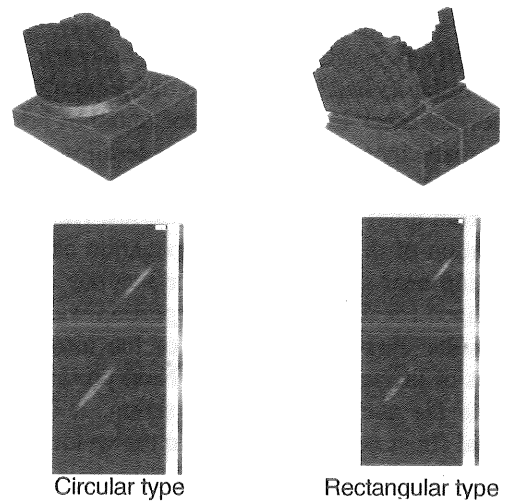

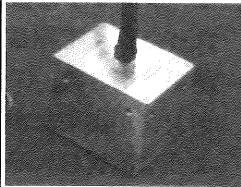


Fig.3 Simulation Model and Result of TRL Matrix PA

Table2 Probe Specification for Deep Defect

	Circular Type (Old Model)	Rectangular Type (New Model)
Type	TRL Matrix PA	TRL Matrix PA
Probe Size	φ 66 x 80	60 x 47 x 50
Probe View		

3. 検証試験結果

開発した探触子を用いて欠陥が挿入された SCC 試験体の探傷試験を行った。なお、原子炉容器セーフエンド溶接部で検出された欠陥形状を模擬するため、SCC 付与手法を開発し、細長い形状の SCC を付与した。試験体の外観(断面)写真例を Fig. 4 に示す。

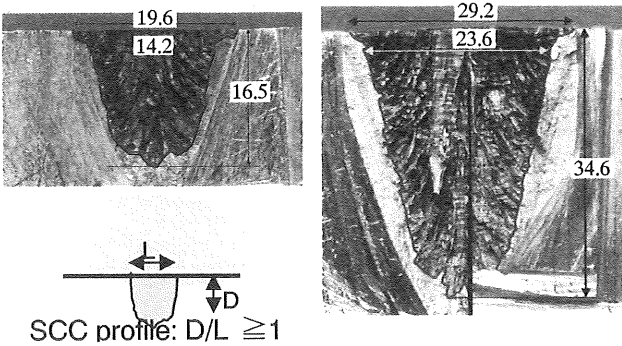


Fig. 4 Cross Section of SCC Test Piece

探傷はエンコーダを使って位置情報も併せて採取し、浅い欠陥には小型 TRL フェーズドアレイ探触子を、深い欠陥には TRL マトリックスアレイ探触子を適用した。浅い欠陥に対する探傷結果を Fig. 5-1 に、中間深さの欠陥に対する探傷結果を Fig. 5-2 に、深い欠陥に対する探傷結果を Fig. 5-3 に示す。探傷試験はフェーズドアレイ UT 法に加えて、比較のために現行 UT による探傷も実施した。それぞれの手法のサイジング精度のグラフを Fig. 6 に示す。

深さ 10mm 未満の浅い SCC に対しては現行 UT と小型 TRL フェーズドアレイ UT でサイジング精度にあまり差はなかったが、端部エコーの識別性では小型 TRL フェーズドアレイ UT の方が溶接部ノイズのレベルが低く、端部エコーの S/N 比で現行 UT より約 1.5 倍近く高い結果となった。

深さ 10mm 以上の深い SCC に対しては深さ 20mm 程度までは現行 UT でもサイジングできているが、欠陥深さが 20mm を越えると、現行 UT では端部エコーの検出が困難となりサイジングが不可となった。なお、現行 UT のサイジング評価は端部エコーが検出できていないものは面エコーの最深部位置での評価とし、深さを算出した。

一方で TRL マトリックスアレイ UT では 20mm より深い欠陥でも明瞭な端部エコーの検出ができてサイジングが可能であった。その精度も ±2mm 以内であり、高い精度で欠陥サイジングが実現できた。

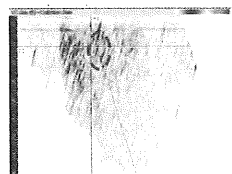
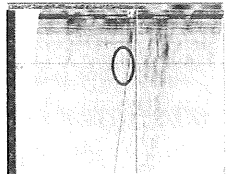
	Conventional UT	Small TRL PA-UT
SCC defect <u>5.2mm</u> depth		
	Evaluation: 6.6mm S/N ratio: 4.1	Evaluation: 6.4mm S/N ratio: 5.9

Fig.5-1 Test result for shallow SCC

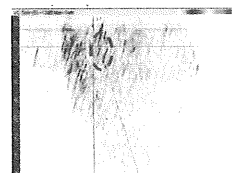
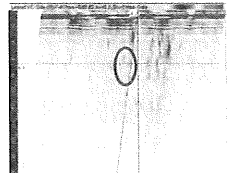
	Conventional UT	TRL Matrix PA-UT
SCC defect <u>16.5mm</u> depth		
	Evaluation: 12.3mm	Evaluation: 16.0mm

Fig.5-2 Test result for Middle Depth SCC

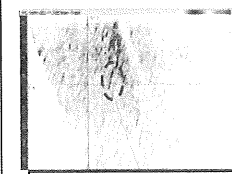
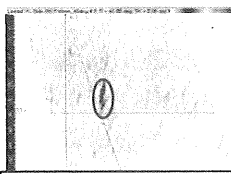
	Conventional UT	TRL Matrix PA-UT
SCC defect <u>34.6mm</u> depth		
	Evaluation: N/A (20.1mm)	Evaluation: 33.2mm

Fig.5-3 Test result for Deep SCC

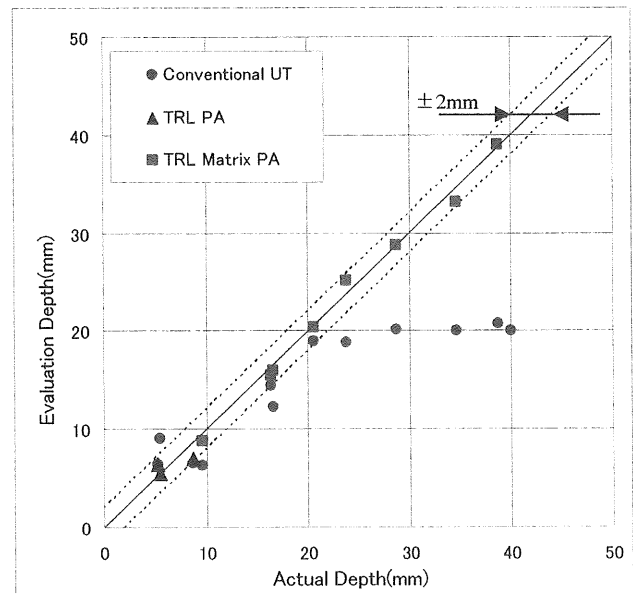


Fig.6 Sizing Evaluation

5. 結言

蒸気発生器および原子炉容器セーフエンド溶接部で検出された軸方向欠陥に対して内面からの UT サイジング精度の向上を目的にフェーズドアレイ技術を使った探触子を開発した。探触子は欠陥深さに応じて小型 TRL フェーズドアレイと TRL マトリックスアレイの 2 種類とし、TRL マトリックスアレイは実機適用性を考慮し、小型・矩形のプローブを開発した。

試験体に関しては実機で検出された SCC を模擬した深くて細長く、かつ先端の長さが短い形状の SCC 付与方法を検討し、SCC を製作した。

これらを用いてサイジング試験を実施した結果、開発した手法は細長く、かつ先端長さが短い形状の SCC に対して現行 UT より高い欠陥サイジング精度を有することが確認出来た。

今後、実機適用化に向けた準備を進め、万が一セーフエンド溶接部に指示が検出された場合においても適切な欠陥サイジング手法を適用し、原子カプランスの保全に努めていく。

参考文献

- [1] 西田,川浪,黒川,井手尾,松浦,平野,瀬良”セーフエンド溶接部に対する UT サイジング手法の高度化”, #6 日本保全学会学術講演会, 2009
- [2] S.Kawanami”7th international conference on NDE in relation to structural integrity for nuclear and pressurized components”, 2009