

シミュレーションを活用したフェーズドアレイ探触子の試作

福本伸太郎^{*1} 西土 隆幸^{*2} 川崎 拓^{*1}
Fukumoto Shintaro Nishido Takayuki Kawasaki Hiraku

厚肉配管の溶接部に対して、集束効果を持たせた振動子寸法の大きな(直径 35 mm)アニュラアレイ探触子を試作した。試作したアニュラアレイ探触子は、64ch のフェーズドアレイ装置で駆動することができる。また、セクタスキャンが可能となるように設計した。その結果、高精度な寸法測定精度を持たせるとともに、SN 比の改善が確認できたので報告する。

キーワード：超音波探傷、フェーズドアレイ、アニュラアレイ、セクタスキャン、点集束、厚肉配管

1. はじめに

フェーズドアレイ法 (Ultrasonic Phased Array) は、非破壊的にきずを検出できる超音波探傷技術として、広く知られている⁽¹⁾。本手法は、発電所関連の供用中検査において小さなきずの探傷に適用されている。例えば、高 Cr フェライト系耐熱鋼配管のクリープ損傷に対する検査などである⁽²⁾⁽³⁾。配管の余寿命診断のため、小さいきず (0.5 mm 程度のクリープポイド) を見つける必要がある。これらの探傷は、発電用配管等の大口径配管で問題となっているが、一振動子型垂直探触子、一振動子型斜角探触子はさることながら、リニアアレイ探触子においても小さなきずの段階で検出することは難しい。なぜならば、超音波探傷における一般的な波長は、0.6 mm (横波 5MHz) ~ 2.96 mm (縦波 2MHz) であり、検出したいきず (0.5 mm 程度のクリープポイド) が小さいためである。この問題

に対して、超音波を点集束することができるアレイ探触子を用いることで、SN 比の改善によるきずの検出能の向上、微小きずの早期発見が期待できると考えた。

2. 探傷に最適な探触子の設計

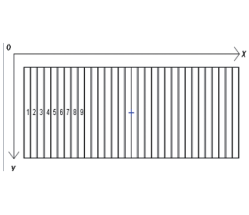
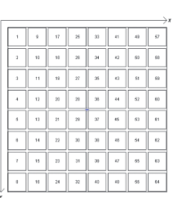
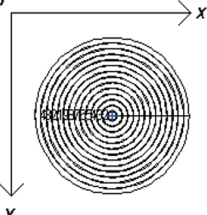
2.1 フェーズドアレイ探傷の有効性

アレイ探触子においては、セクタスキャンを用いることで、連続的に屈折角を変えた探傷ができ、きず面の垂直方向から超音波を入射させて探傷することで、検出性を向上させている。セクタスキャンとは、各素子のパルス発生時間を制御し、超音波ビームを斜めに集束させ、扇状に振ることができる。表 1 に代表的なアレイ探触子を示す。素子配列が一次元であるリニアアレイ探触子と、二次元配列であるマトリクスアレイ探触子およびアニュラアレイ探触子がある。二次元配列である、マトリクスアレイ探触子およびアニュラア

*1：研究開発センター 研究開発グループ

*2：研究開発センター センター長 工学博士 技術士(建設部門) P. E. (Civil Eng.) 芝浦工業大学大学院非常勤講師

表1 探触子タイプごとの特徴

| 探触子タイプ | リニアアレイ | マトリクスアレイ | アニュラアレイ |
|--------|---|---|--|
| 素子配列図 |  |  |  |
| 素子配列 | 直線 | 格子状 | 同心円状 |
| 長所 | 素子配列方向にセクタスキャン可能 | 点集束、前後左右にセクタスキャン可能 | 点集束可能、任意の深さ方向に焦点可能 |
| 短所 | 点集束不可、素子の幅方向に音が拡散 | 一方向の素子数が少なく、電子走査に制約 | セクタスキャン不可 |

レイ探触子は、点集束に優れている。しかし、マトリクスアレイ探触子では、縦横のそれぞれに素子を配置しなければならないため、各方向の素子数が少なくなる分、電子制御に限界が生じることもある。マトリクスアレイ、およびアニュラアレイ探触子は、さまざまな深さに対しての点集束に優れているが、アニュラアレイ探触子は円形振動子のため音場がより良いと考えた。

2.2 セクタスキャンを可能とさせる素子配列

探触子を設計するに当たり、設計概念をいくつか設定した。火力発電関連における配管検査では、厚肉の大口径配管が対象になる。今回、深さが75 mmの位置にあるきずを検査対象とし、探傷する材質を鋼材とした。探触子の周波数は5MHzとしチャンネル数は64chとした。寸法は厚肉配管や高減衰材での適用事例⁽⁴⁾がある大きさを参考とし、 $\phi 35$ mm程度とした。

アニュラアレイ探傷では、探触子をきずの前後にも走査する必要があり、探傷時間が増大する。アニュラアレイ探触子のリング状に分割した素子を、さらに平行な直線で分割することで、リニアアレイ探傷と同様にビームの進行方向を変化させ

ることが可能であると考えた。これにより、アレイ探傷と同様な走査方法で、探傷時間を増大させることなく測定精度の改善を図ることができる。

64chでの最適振動子分割法を検討し、**図1**のような分割法を考え、シミュレーションソフト(CIVA)を用いて探傷精度を確認した。結果を**図2**に示す。きずは、左図のように20×20 mmの平面きず、および5 mmピッチで上下左右に配置した $\phi 3$ mmの球形きずとした。**図2**より、提案した方法では、像が鮮明であり、探傷精度が良いことが確認できた。なお、新規に設計した方法の特徴は、以下のとおりである。

- (1) 8リング、15列直線分割
- (2) 上下に異なる素子番号
- (3) 左右対称の素子番号
- (4) チャンネル数は64ch

2.3 探触子の作製

今回設計した探触子を、**図1**の分割方法で試作した。**図3**に本探触子の外観を、**表2**に仕様を示す。なお、外観写真は横波用くさびを装着させたものである。

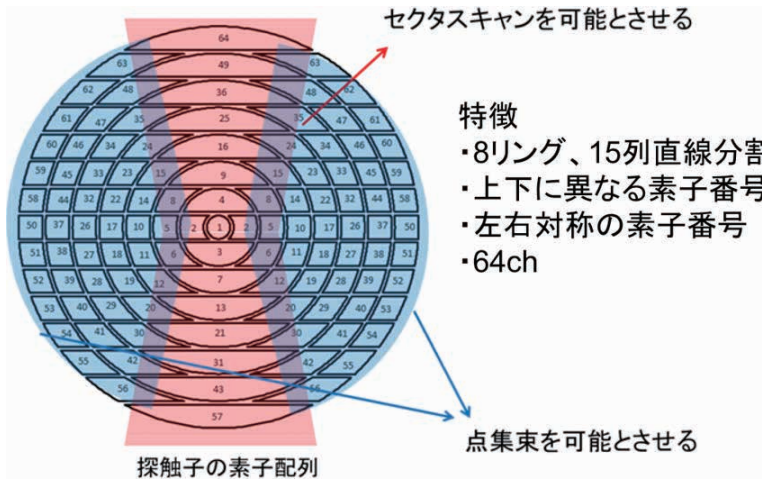
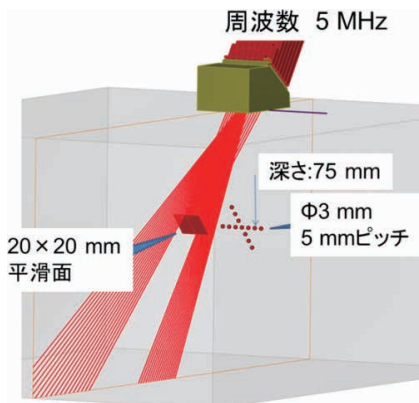
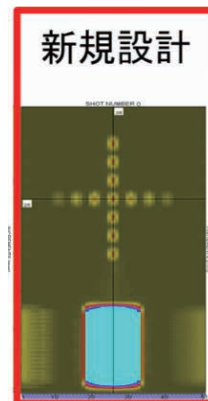


図1 提案したセクタスキャン可能なアニュラアレイ探触子の振動子の分割方法



(a) シミュレーションモデル



(b) 今回提案した結果

図2 セクタスキャンを伴うアニュラアレイ探触子のシミュレーション結果



図3 リング分割型アニュラアレイ探触子の外観

表 2 探触子の仕様

| | |
|------------------|------------------------------|
| 周波数 | 5 MHz |
| 振動子寸法 | φ34.4 mm |
| 総素子数 (チャンネル数) | 8 リング×15 列=113 素子 (64 ch) |

3. 平底穴試験片による性能評価

3.1 試験片

試作した探触子の性能評価をするために、平底穴試験片を作製した。作製した平底穴試験片を

図 4 に示す。試験片の材質は、ボイラ、圧力容器用炭素鋼およびモリブデン鋼鋼板である、SB410 とした。平底穴は、探傷面から深さ 75 mm の位置にあり、図 5 の配置のとおり、φ1 mm の大きさで、5 mm ピッチで 9 個配置されている。なお、きず位置はシミュレーションと同等である。

3.2 探傷条件

図 6 に探触子の設置状況を示す。本探触子は、フェーズドアレイプローブの複数振動素子の発信タイミングを制御し、図 6 に示す電子走査方向に

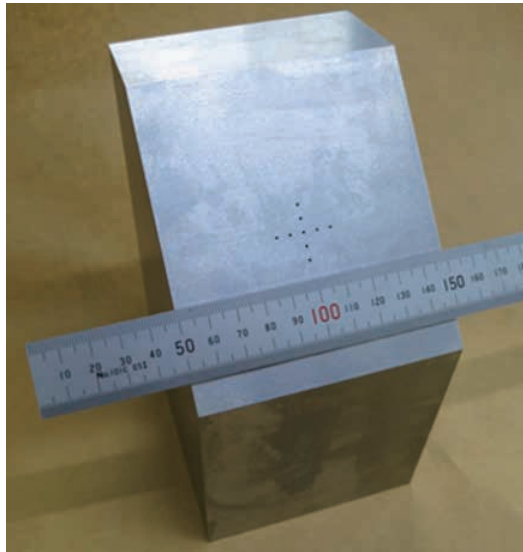


図 4 平底穴試験片の外観

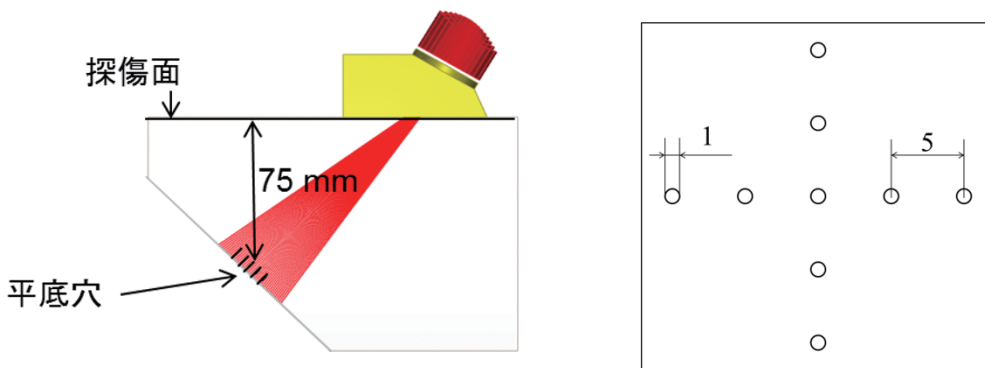
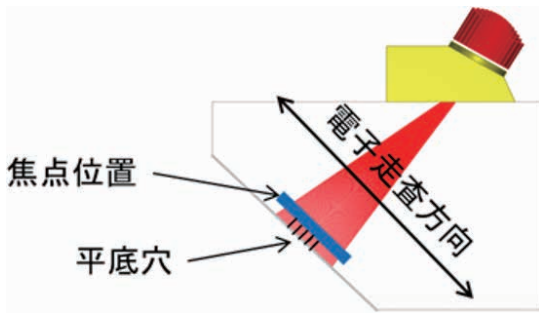
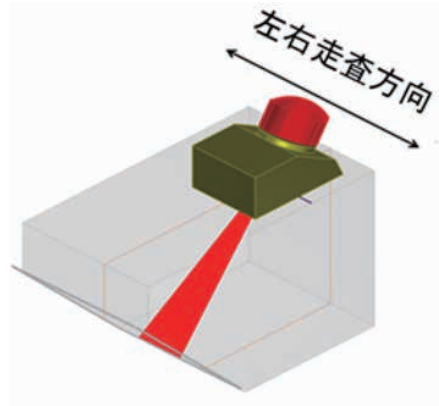


図 5 試験片図 (左：平底穴の位置、右：平底穴の配置)



(a) 電子走査方向の視点



(b) 左右走査方向の視点

図6 探触子の設置状況

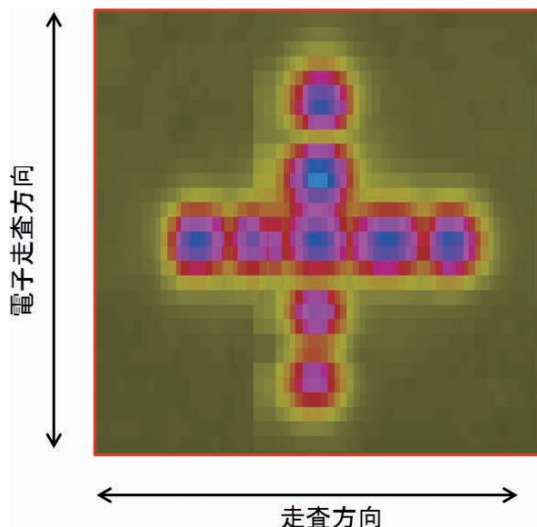
焦点を合わせ、超音波を発信する。なお、横波屈折角45度のくさびを使用した。また、左右走査方向においては、手で探触子を移動させた。電子走査は1 mm ピッチ、左右走査は0.5 mm ピッチで探傷した。

3.3 探傷結果

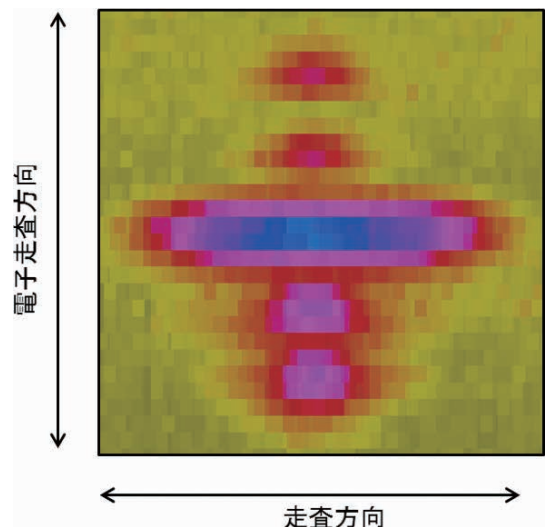
本試験片において、試作品との比較として64ch リニアアレイ探触子を使用した。図7に平底ピッ

チ穴底面上のCスキャン画像を示す。図7より、試作品は、9つの円形きずが確認できた。リニアアレイ探触子は、電子走査方向に比べ、走査方向では1つにつながったきずが確認できた。

また、バックグラウンドのノイズときず指示エコーとのSN比については、平底穴以外の場所のエコー高さを見てわかるように、リニアアレイにおける結果と比べて、試作品での結果は、良好であることが確認できた。



(a) 試作品



(b) リニアアレイ探触子

図7 平底ピッチ穴底面上のCスキャン画像

4. まとめ

発電用配管等の大口径配管で問題となるきずの探傷手法として、64chの装置で駆動し、セクタスキャン可能なアニュラアレイ探触子を試作し、効果を確認した。平底穴試験片において、作製した探触子は、従来法のリニアアレイ探触子に比べ、 $\phi 1$ mm 平底穴を精度の良く探傷できた。また、バックグラウンドエコーより、SN比の改善が確認できた。大口径配管のような深い位置にあるきずの探傷に有効な技術であるといえる。

本稿では、平行きずを用いた検証を実施した。さらに、球形きずのように曲面があるきずの探傷や、実際の溶接きずにおける評価が必要と考えている。また、アニュラアレイ探触子と同じ二次元配列のマトリクスアレイ探触子との性能比較や、高減衰材へのアプローチをしていき、実際の小さいきず(0.5 mm程度のクリープポイド)における確認もしていきたい。

参考文献

- (1) 神代修平、引地達矢、梶ヶ谷一郎、齋藤規子、他：フェーズドアレイ法を用いた高クロム鋼溶接部の余寿命検査技術、非破壊検査、一般社団法人日本非破壊検査協会、2018年2月号
- (2) 荒川敬弘：圧力容器における非破壊検査の最近の動向(特集 非破壊検査の最近の動向)、溶接技術、2000年10月号、pp.59-63
- (3) 火力設備における電気事業法施工規則第94条の2第2項第1号に規定する定期事業者検査の時期変更承認に係る標準的な審査基準例及び申請方法等について(20120919 商局第66号)
- (4) 永井祐気、横山成就、畠中宏明、他：Ni基金溶接継手の超音波フェーズドアレイ探傷に関する適用検討、JSNDI平成27年度秋季講演大会、2015



研究開発センター
研究開発グループ
福本伸太郎

TEL. 045-791-3522
FAX. 045-791-3547



研究開発センター センター長
工学博士 技術士(建設部門)
P. E. (Civil Eng.)
芝浦工業大学大学院非常勤講師
西土 隆幸

TEL. 045-791-3522
FAX. 045-791-3547



研究開発センター
研究開発グループ
川崎 拓

TEL. 045-791-3522
FAX. 045-791-3547