

溶接管理技術者の体験紹介

セクタスキャンが可能なアニュラレイ探触子の開発

株式会社アミック
西 土 隆 幸

1. はじめに

ボイラ極厚配管の小さなきずを検出するため超音波を任意の深さに点集束でき、かつ連続的に屈折角を変えられる探触子を開発し、2次元の画像化が可能になった。以下に、開発した探触子の概要と、きずの検出結果を説明する。

2. 各探触子の原理と特徴

アレイ探触子では複数の素子（振動子）を使って連続的に屈折角を変えた探傷ができる。表1に示すようにアレイ探触子にはいくつかの種類があり、代表的なものとして素子配列が一次元であるリニアアレイ探触子と二次元であるマトリクスアレイ探触子および、円形状のアニュラアレイ探触子がある¹⁾。

表1 柱梁接合部

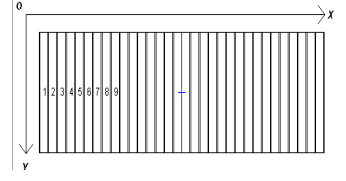
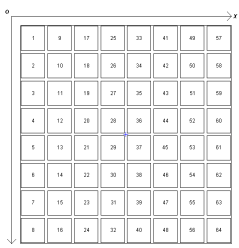
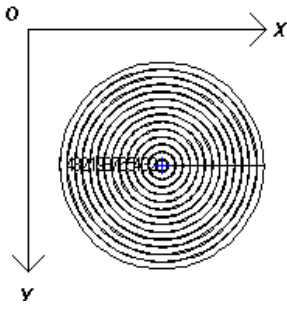
探触子タイプ	リニアアレイ	マトリクスアレイ	アニュラアレイ
素子配列図			
素子配列	直線	格子状	同心円状
長所	素子配列方向にセクタスキャン可能	点集束、前後左右にセクタスキャン可能	点集束可能、任意の深さ方向に焦点可能
短所	点集束不可、素子の幅方向に音が拡散	一方向の素子数が少なく、電子走査に制約	セクタスキャン不可

図1はリニアアレイ探触子によるフェーズドアレイ法の走査例である²⁾。フェーズドアレイ法では、X方向に振動子を電子的に走査させることから、Y方向の機械的な走査により振動子のチャンネル数の範囲できずの画像化が可能となる。また、振動子毎の励振時間を制御することによりビームの伝搬方向だけでなく、任意の位置で集束点を変えられることが大きな特徴である。斜角リニアスキ

ヤンとセクタスキャンの走査例とその利点を図1右に示す。

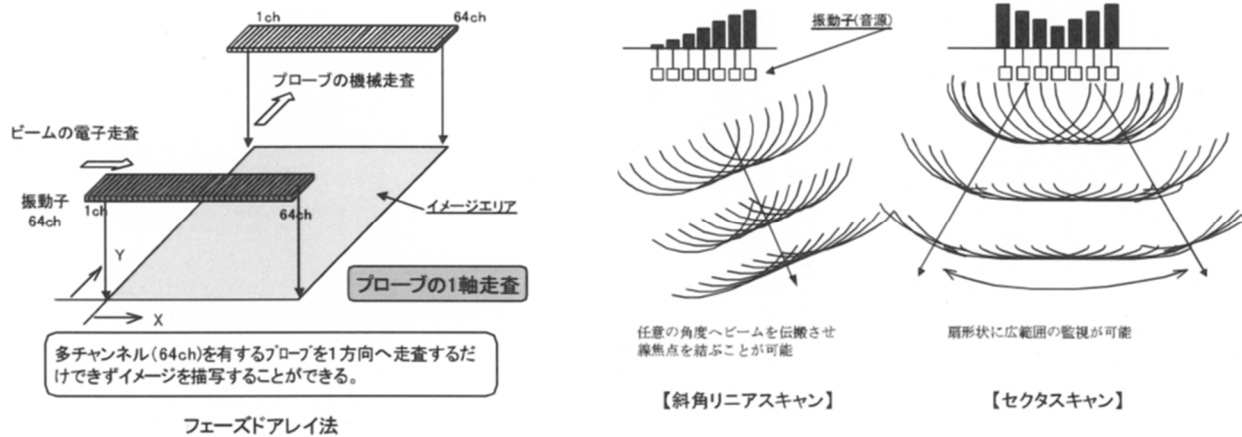


図1 フェーズドアレイ法の走査例

表1の各探触子の特徴に示すように、リニアアレイ探触子やマトリクスアレイ探触子ではセクタスキャンが可能となる。マトリクスアレイ探触子では、縦横に素子を配置することから、リニアアレイ探触子と素子数が同じ場合には、XY方向の素子数が少なくなる。そのため、きずの検出には限界があり、点集束についてはリニアアレイ探触子の方が優れている。しかし、リニアアレイ探触子によるフェーズドアレイ法では、ボイラ極厚配管のクリープ初期やブローホールなどの微小きずの検出は困難となる。

アニュラアレイ探触子は、その形状からセクタスキャンができないが、深さ方向の点集束に優れ、クリープ初期やブローホールなどの微小きずの検出が可能となる。

これらの各探触子の特徴を考慮し、セクタスキャンが可能となるアニュラアレイ探触子を開発することにより、現状の課題を解決することを試みた。

3. アニュラアレイ探触子のシミュレーションによる検討

アニュラアレイ探触子の素子分割方法を検討する前に、素子の必要最少な分割数を解析シミュレーションソフト Civa により検討し、リニアアレイ探触子と比較した。作業性を考慮し、リニアアレイ探触子では探触子の寸法を 35×35mm、アニュラアレイ探触子ではφ35mmとして、5MHzの周波数で検討した。素子間のギャップを0.05mm(図5参照)と一定にして、2素子から32素子に分割数を変化させた。

図2にシミュレーション結果を示す³⁾。シミュレーションから得られる各分割数で、最大エコー高さに対する低下量を-6dBとしたときのビーム幅を読み取った。1例として、8分割のビーム幅は、図3の青色部分で4.5mmとなる。青色は、入射波の持つエネルギーが高くなっている(集束している)部分になる。それらの結果を図4に示す。

図4のシミュレーションの結果から、アニュラアレイ探触子では8以上、またリニアアレイ探触子では14以上の分割数になるとビーム幅が一定になることが分かった。

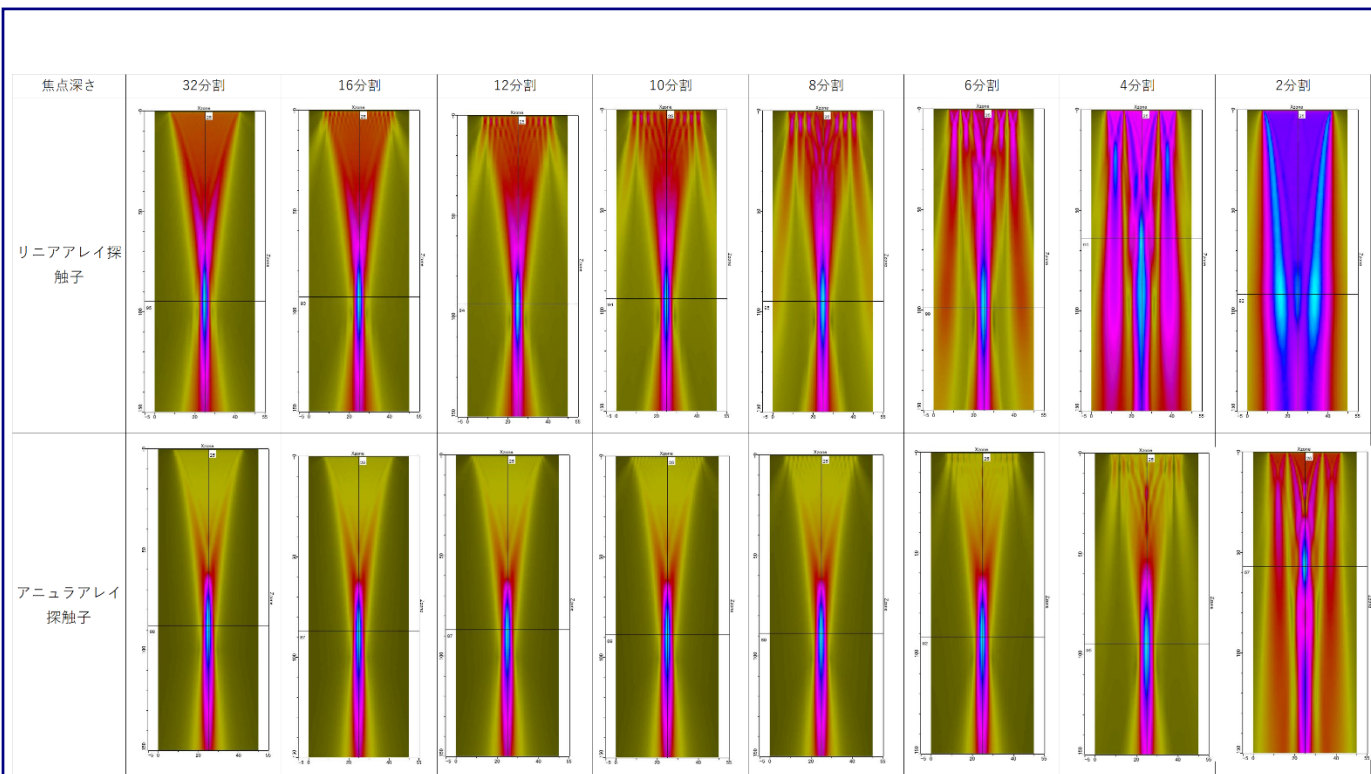


図2 シミュレーション結果

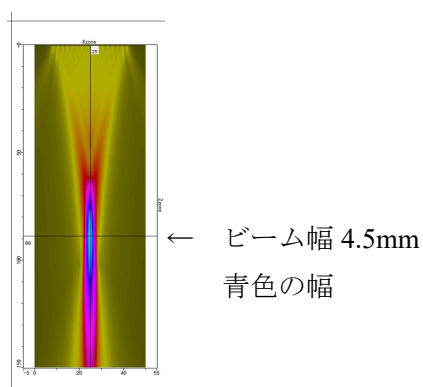


図3 ビームプロファイルの1例

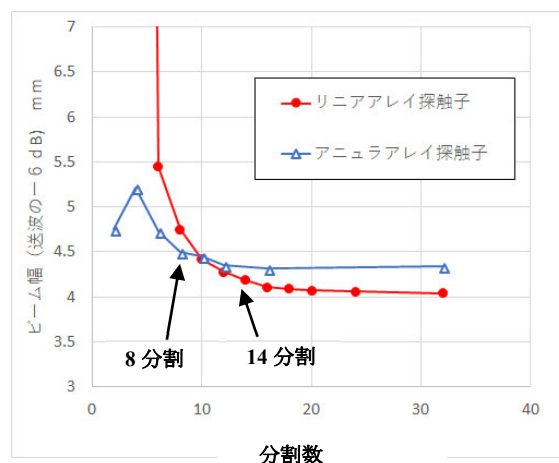


図4 分割数ごとのビーム幅の比較

4. 開発したアニュラアレイ探触子の素子配列

シミュレーション結果に基づいて開発したアニュラアレイ探触子(新アニュラアレイ探触子)の素子配列を図5に示す。素子分割方法はリング状に8分割とし、さらに図中の縦方向に15分割することにより、セクタスキャンが可能となるようにした。中心部の拡大図に示すように素子は左右対称となり、対称となる素子(同番号の素子)を同期(短絡)させることにより113素子を64CHで駆動できる。

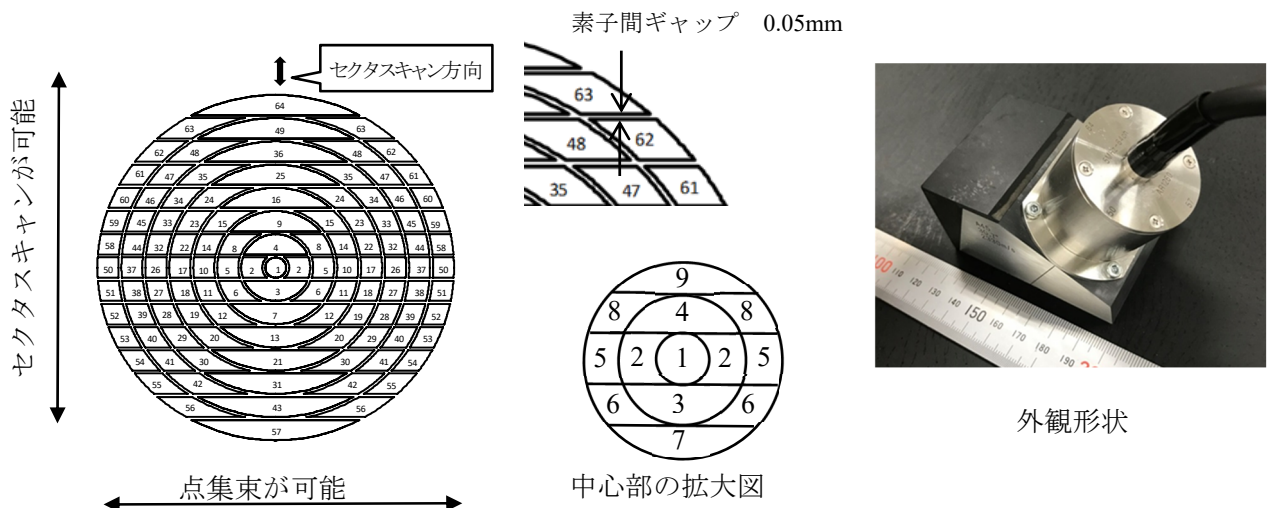


図5 新アニュラレイ探触子の素子配列

5. 人工きずを対象とした性能確認

人工きずを与えた試験体を使用して、新アニュラレイ探触子とリニアアレイ探触子（64素子（1素子0.9×20mm）、0.1mmピッチ、64CH）の性能を確認した。人工きずは深さ75mmの位置にφ1mmの平底穴とし、図6(a)に示すように上下左右に5mm間隔で与えた。探傷方法は図6(b)に示すように、Z方向に電子走査を行いながら、X方向に探触子を手動で移動させた。

図7に探傷結果を示す。リニアアレイ探触子では、ビームをX方向には集束できないためにビームが拡散し、X方向の分解能が低下した。Z方向に対しても、各きずからの信号を明確に分離できなかった。新アニュラレイ探触子では、X方向およびZ方向に対して分解能が高く、集束性能が向上していることが分かる。この結果より、新アニュラレイ探触子は、実際の溶接きずに対しても、高い検出性能が期待できる。

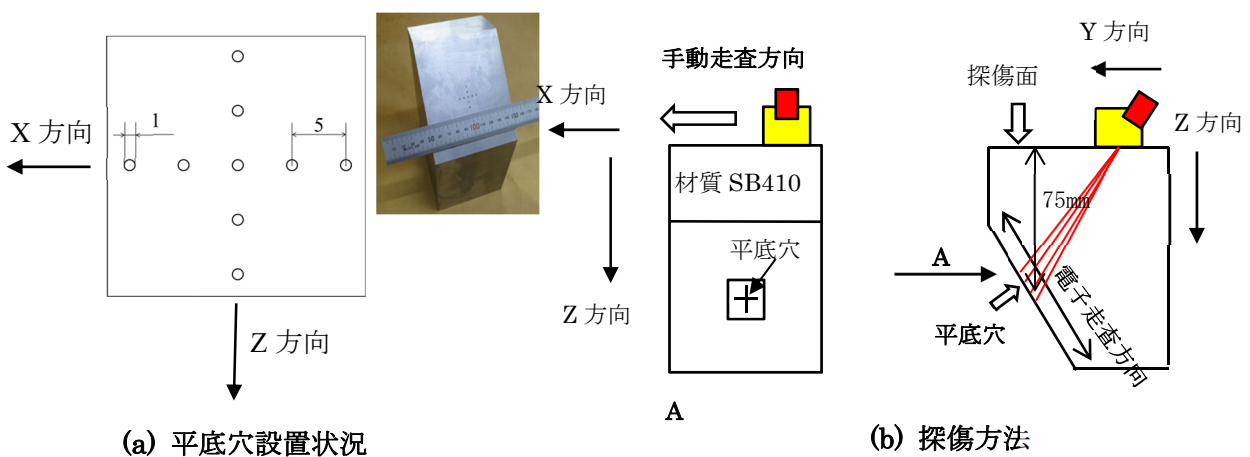


図6 人工きず試験体

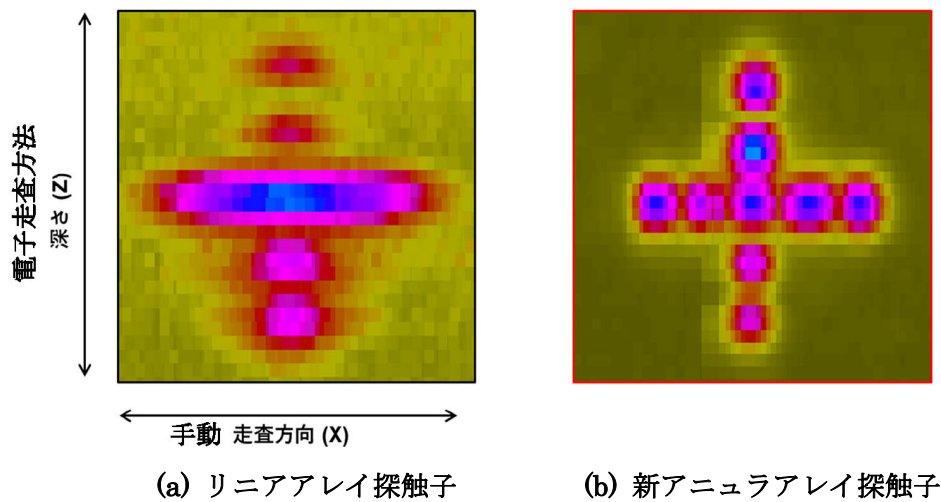


図7 人工きずの探傷結果

6. 溶接きずを対象とした性能確認

実際の溶接きずに対する新アニュラアレイ探触子とリニアアレイ探触子の性能を確認するために、溶接試験体を製作した。試験体の材質はSS400、板厚は70mmとした。導入きずを図8(a)に示すように、深さ10mm、30mm、50mmの位置に与えた。きずの種類はブローホールとし、それぞれの深さに溶接線方向に3個のφ1mmのセラミックスボールを埋め込んだ。溶接きずの位置を溶接部中心からずらし、きずを導入した側をL側、反対をR側とした。

図8(b)に示すように、座標軸は、溶接線方向をX、溶接部断面方向をY、深さ方向をZとした。本試験の探傷では、溶接部のL側、R側からZ方向に電子走査を行い、X方向に探触子を手動で走査した。また、エンコーダを使用してX方向の移動距離を測定した。

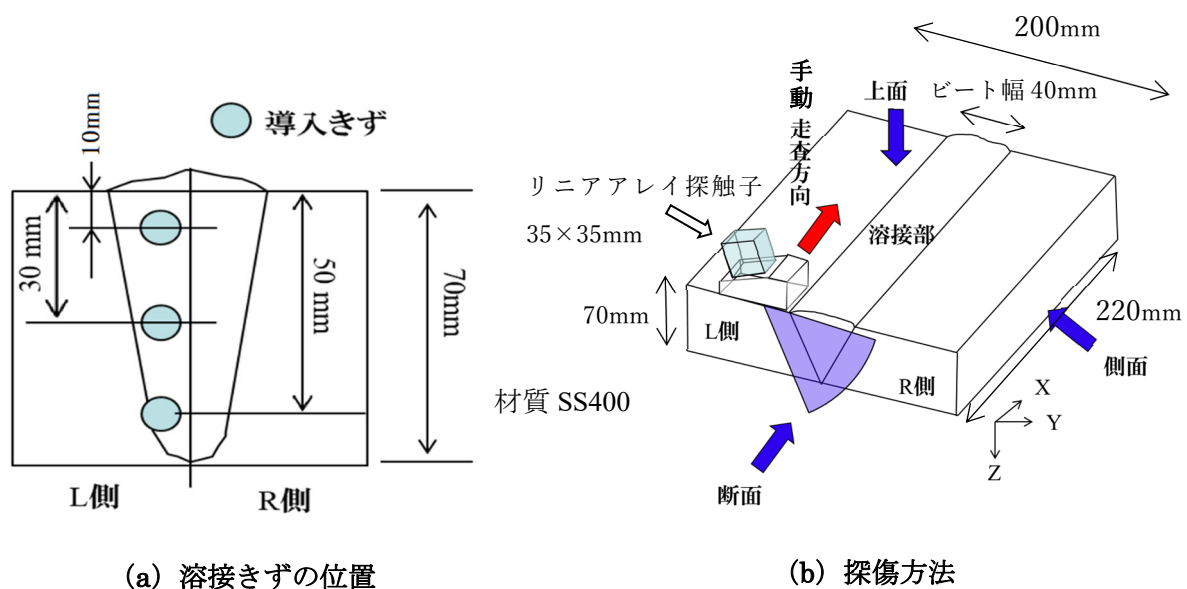


図8 人工きずの探傷結果

図9(a)にX線CTの結果、(b)にリニアアレイ探触子の探傷結果、(c)に新アニュラアレイ探触子の探傷結果を示す。各図は溶接線に対して側面からの投影図となっている。横軸は図8(b)で定義したX方向(手動走査方向)、縦軸はZ方向(深さ方向)である。(b)、(c)の中に赤い点線で囲まれている箇所は、導入したブローホールの箇所である。

(a)のX線CT結果では、10mm、30mm、50mmの各深さでも導入したブローホールが分離して確認できている。

(b)のリニアアレイの結果では、各深さ位置のブローホールからの指示エコーが一体となっており、深さ10mm、30mm位置のエコー強度が低くなっている。

(c)の新アナレイの結果では、深さ30mm、50mmでも各きずの指示模様がX方向に分離しており、X線CTと同等の結果が得られている。この理由として、X方向に素子が15分割されており、X方向の分解能がリニアアレイに比べて高いためである。

(b)リニアアレイ、(c)新アナレイの深さ45mm、70mm付近でもエコー強度が高くなっている。

この理由としてX線CTとリニアアレイ、新アナレイとでは、Y方向（溶接ビート幅方向）の検査する幅は、X線CTの方が狭くなる。その違いから、(b)リニアアレイ、(c)新アナレイでは、ブローホール以外のきずも検出している可能性がある。実際に試験体の断面を切断して確認する必要があり、今後の課題である。

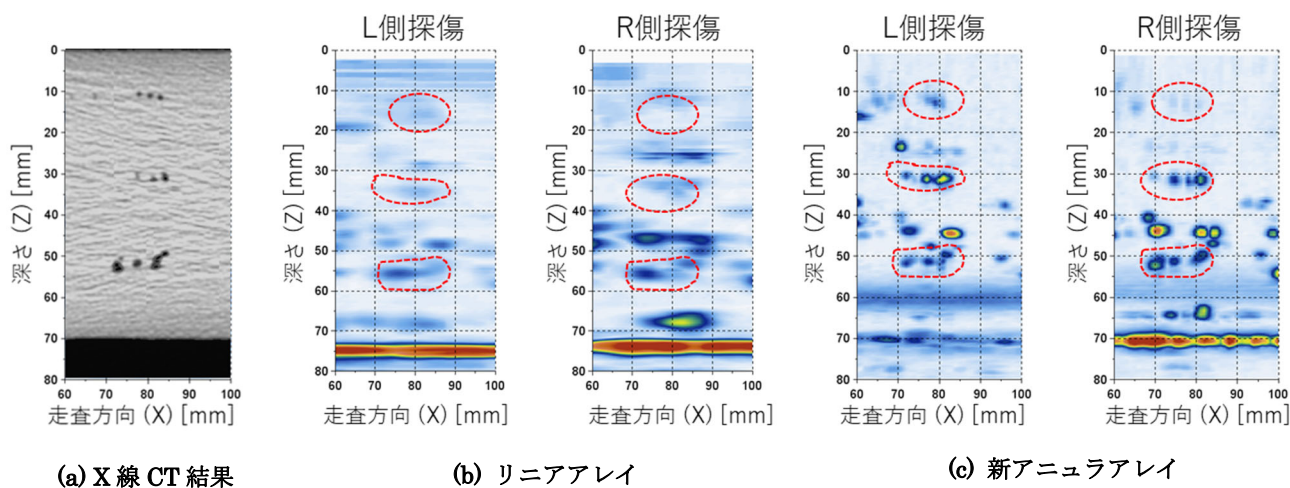


図9 溶接きずの探傷結果

7. おわりに

これらの結果を参考にし、今後は、ステンレス材料やNi基合金などの高減衰材の探傷を目的としたアナレイ探触子のさらなる改良を進める予定である。

なお、本論文は、(株)IHI 検査計測時代に執筆したものである。

参考文献

- 1) 福本伸太郎、西土隆幸、川崎拓、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、IIC REVIEW、2019/10、No.62.
- 2) 柴田三郎、船戸一寛、フェーズドアレイ法による欠陥検出技術、IIC REVIEW、2005/4、No.33.
- 3) 福本伸太郎、西土隆幸、川崎拓、セクタスキャンが可能な64chのアナレイ探触子の開発、日本機械学会2019年度年次大会 講演論文集、No.19-1.

西 土 隆 幸 (にしど たかゆき) 溶接管理技術者特別級

<略歴>

1982年 広島大学大学院 土木工学専攻修了

1998年 株式会社 IHI 橋梁事業部 技術開発グループ課長

2006年 株式会社 IHI 基盤技術研究所 構造研究部長

2014年 株式会社 IHI 検査計測 研究開発センター長

2020年 株式会社 IHI 検査計測 技師長

2022年 株式会社アミック 技術顧問

現在に至る

IWE、P.E.(Civil)、技術士(建設部門)、工学(博士)