

原子カプラント用 フェーズドアレイ超音波探傷技術

構造物内部を可視化する 高精度検査技術

東芝は、フェーズドアレイ超音波探傷技術を用いて、原子カプラントのシュラウドなどの炉内構造物に検出された応力腐食割れ(SCC)の深さを高精度に測定できる検査技術を開発してきました。

対象物である溶接金属は、複雑な柱状晶組織を持っているため、従来の探傷技術では超音波ビームの屈曲や散乱が大きくなり、SCCからの微弱な反射波を検出することが極めて困難でした。そこで、超音波ビーム集束制御など探傷条件の最適化を図り、探傷データの画像表示などの技術を駆使して構造物内部を可視化し、き裂の深さを高精度に測定できるようになりました。

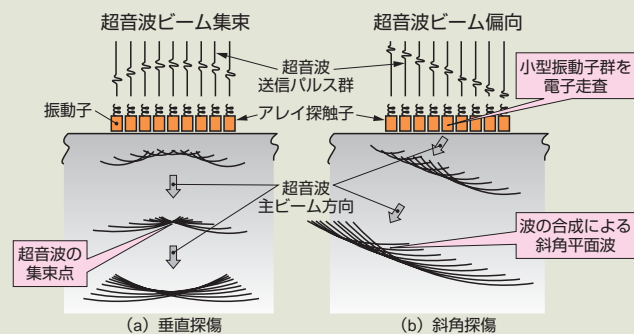


図1. フェーズドアレイ超音波探傷技術の原理 — 多数振動子で構成されるアレイ探触子の中から所定の数を選定し、それらの超音波送受信タイミングを変えることで、超音波の入射角度や集束位置などを任意に変えることができ、最適な探傷条件で対象物の内部を検査することができます。



図2. フェーズドアレイ超音波探傷装置 — フェーズドアレイ超音波探傷装置は、制御装置とアレイ探触子から成り、256、128、64チャンネル(振動子の数)などのアレイ探触子があります。

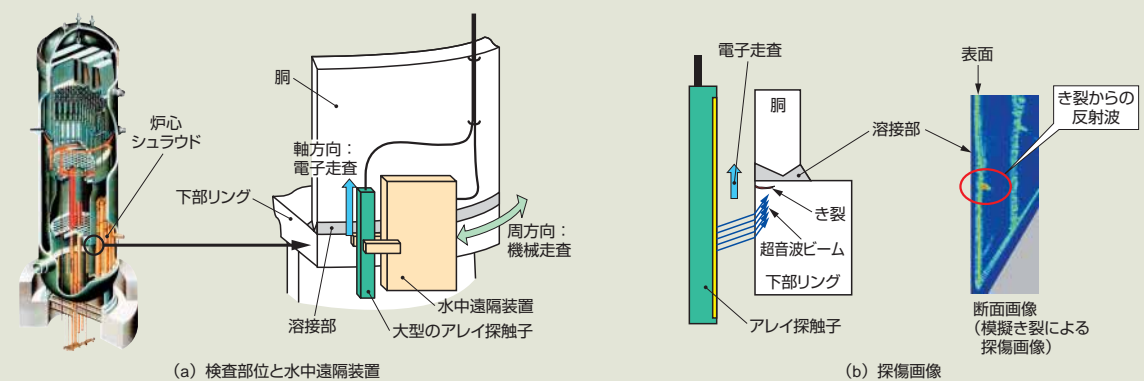


図3. BWRシュラウド溶接部への適用例 — アレイ探触子は水中遮断装置に接続されており、溶接線に沿って移動しながら、各位置において溶接線に直角方向の探傷を行います。探傷画面には、対象面の表面と、き裂からの反射波などが表示されます。

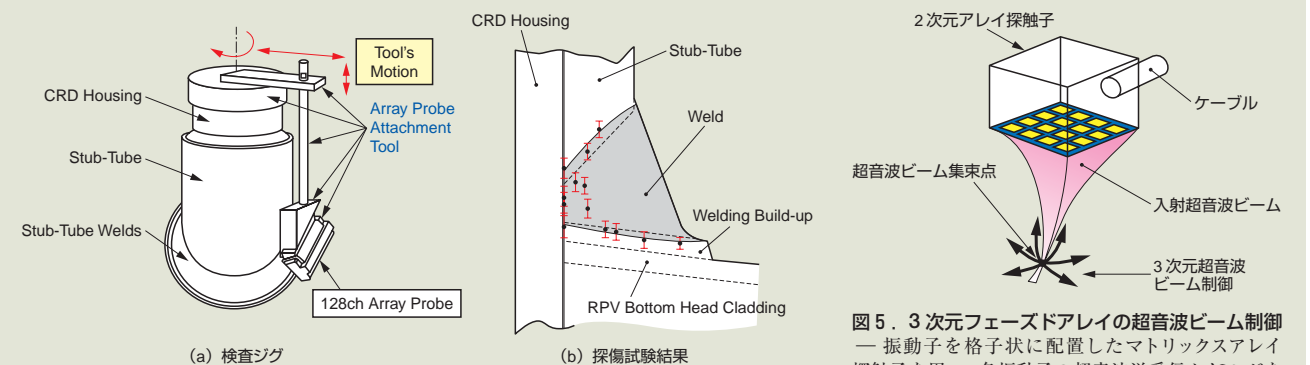


図4. BWRスタブチューブ下部溶接部への適用例 — 探傷試験結果にはき裂の評価点(●)と計算上のエラーバー(↑)を併せて表示することができます。

原子カプラントと 高精度検査技術

原子カプラントのシュラウドなどの炉内構造物は、長年にわたる運転や使用環境条件などによってSCCが発生する場合があります。これら炉内構造物の健全性を評価するためには、き裂深さの高精度な測定が必要となります。

東芝は、炉内構造物のき裂検査を行うことを目的として、フェーズドアレイ超音波探傷技術の実機適用化技術の開発にいち早く着手し、他社に先駆けて、積極的に実機への適用を図っています。

フェーズドアレイ超音波探傷 技術の原理と特長

フェーズドアレイ超音波探傷技術は、医療用のエコー診断技術と同様の

原理を用いた技術であり、図1に示すように、アレイ探触子の各振動子から異なったタイミングで超音波を発生することによって、任意の方向及び位置に、送信波形よりも振幅値の大きな合成平面波を形成させて、材料内部の検査を行う技術です。

- この技術の特長は、次のとおりです。
- (1) 各振動子の発信及び受信タイミングの制御により、探傷角度と集束位置を任意に設定できます。
 - (2) 探傷データの画像表示(断面画像、平面画像)により対象物の内部を可視化できます。
 - (3) 水浸法(探触子と対象面の間を所定の距離の水ギャップで保持して探傷する方法)の適用で、従来の直接接触法に比べて、溶接部表面の凹凸の影響を受けにくい

探傷ができます。

これらの特長を生かした探傷を行うことで、強い超音波を所定の位置に入射することができ、その結果、従来の探傷技術では検出が困難であったき裂からの微弱な反射波を、溶接金属組織からの反射波に比べて高感度に検出することができます。

当社が開発したフェーズドアレイ超音波探傷装置(図2)は、制御装置とアレイ探触子で構成されており、ノート型パソコンで探傷を行えるコンパクトな構成になっています。また、対象部位の材料や形状に合わせて、適切な探触子を選択して用いることができます。

実機への適用例

当社独自の水浸フェーズドアレイ超音波探傷技術を沸騰水型原子カプラ

ント(BWR)に適用した代表的な例を紹介します。

●シュラウド溶接部への適用

シュラウド溶接部への適用例を、探傷画像の一例と合わせて図3に示します。超音波ビーム集束条件などの探傷条件を最適化することで、SCCき裂の深さを高精度に測定することができました。

●スタブチューブ下部溶接部への適用

スタブチューブ下部溶接部(Stub-Tube Welds)への適用例を図4(注)に示します。対象部位は、3次元の複雑形状であること、その近傍に様々な干渉物が存在する狭隙(きょうあい)部であることなど、多くの制約条件がありました。

そこで、水浸法を用い、探傷条件を

(注) 出典: 3rd EPRI Phased Array Inspection Seminar (2003, 6)

最適化して得られた検出信号をもとに、曲面形状を考慮した詳細評価を行うことで、SCCき裂の深さ測定や深さ分布の表示を実現できました。

次世代の超音波探傷技術

原子カプラントの炉内構造物には複雑で狭い箇所があり、現状のフェーズドアレイ超音波探傷技術では、構造上、探傷が難しい部位が存在します。

そこで、振動子を格子状に配列したアレイ探触子を用いる3次元フェーズドアレイ超音波探傷技術(マトリックスアレイ探傷技術)の適用化技術の開発を進めています。この技術は、3次元的に超音波ビームを制御する(図5)ことで、アレイ探触子を移動することなくあらゆる方向の探傷を可能にする方法で、従来の技術に比較して探傷範

囲を大幅に拡大することができます。

将来への展望

フェーズドアレイ超音波探傷技術は、原子カプラントの炉内構造物の検査技術として、数多くの溶接部に適用してきました。この検査技術は、炉内構造物の健全性を評価するうえで重要な役割を担っています。

今後は、現状のフェーズドアレイ超音波探傷技術に加えて、マトリックスアレイ超音波探傷技術など次世代の検査技術を確立し、検査対象部位の拡大を図るとともに、き裂深さの測定における更なる精度向上を図っていきます。

平澤 泰治

電力・社会システム社
電力・社会システム技術開発センター
金属・セラミックス材料技術開発部参事