

# 超集束型プローブで励起した球面超音波による金属内部欠陥の 3次元高速イメージング技術の開発

愛媛大学 大学院理工学研究科 准教授 中畑和之

## 1. 研究目的

超音波を用いて非破壊的に金属材料のきず画像を表示する技術として、実際の探傷現場ではBスキャン法やCスキャン法が一般的である。これらはプローブ（探触子）を走査させながら、欠陥（きず）からの後方散乱波（きずエコー）を計測し、エコーの到達時間と振幅高さに基づいて金属材料の断面部、すなわち2次元画像を表示するものである。しかし、きずの3次元画像をイメージングするには、これらのような時間領域で像を合成するアルゴリズムでは時間がかかる。そこで、我々の研究グループでは、周波数領域の再構成アルゴリズムできず画像を出力する逆散乱イメージング法(Inverse Scattering Imaging Method: ISIM)を用いて、金属内部きずの3次元形状を高速に再構成する技術を開発中である。ISIMは金属表面から球面超音波を入射し、計測したきずエコーをフーリエ変換し周波数領域で合成する。これまで、境界要素法を用いた数値実験でのみISIMの有用性が示されていたため、本研究では超音波プローブを用いた計測実験でISIMの性能検証を行った。

## 2. 研究概要

ISIMのポイントは、計測された散乱波形の到達時間や振幅高さだけでなく、位相情報をも活用してきず画像を周波数領域で再構成することである。一般に、散乱波からきずの性状を推定することは逆散乱問題となるが、ISIMでは弾性波動論に基づいて逆散乱問題を線形化して解く方法を採用している。最終的にきずの境界部を表す“特性関数”を再構成するように定式化する。周波数領域でエコーを合成するために、時間領域の手法に比べて格段に高速なイメージングが可能である。

ここでは、水槽に集束型水浸探触子を沈めて、金属表面にビームが集束するように超音波を発振する。図1に示すように、被検体表面にビームを集束させることで集束部が点波源となり、金属内部に球面波が送信される。実験では、中心周波数13.3MHz、水中集束距離12mmの探触子を用いた。金属被検体表面からの反射波とそのフーリエスペクトルを図2に示す。水中で一定の間隔(ピッチ)で探触子を動かすことで、点波源の発生する位置情報は適切にISIMに取り込まれる。

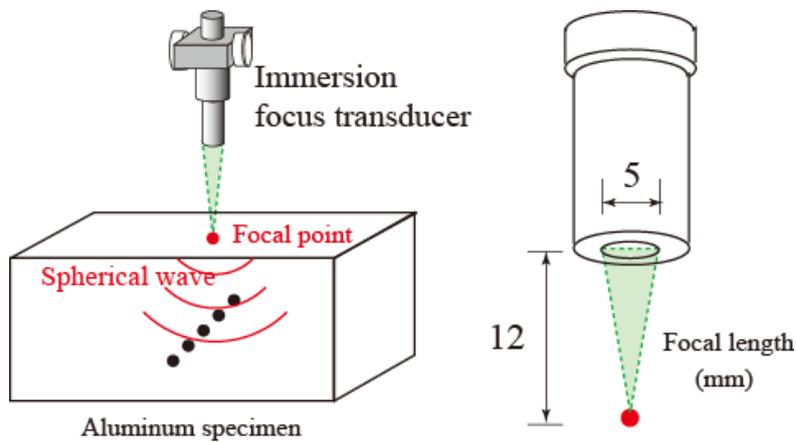


図1. 集束型水浸探触子によって金属内に発生した球面波

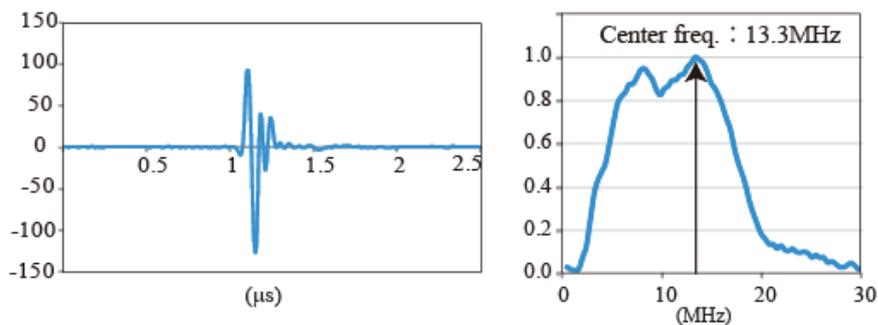


図2. 金属表面からの反射波（左）とそのフーリエスペクトル（右）

計測装置で得られるきずエコーは、探触子の帯域特性や計測装置の影響によって変調された波形となっている。そこで、ここでは適切な波形処理を施すことによってきずからの散乱成分を抽出している。アルミニウム被検体（縦波音速:6360m/s, 密度:2700kg/m<sup>3</sup>）の内部に、人工きずとして深さを変えながら直径 2mm の貫通横穴を 5 つ作成した（図 3 の上図参照）。この横穴からのエコーを用いて、ISIM による再構成を行った結果を図 3 の下図に示す。超音波計測は被検体の上側面から行い、計測ピッチは 0.6mm, 計 128×128 の点できずエコーを計測した。再構成された特性関数のうち、閾値を決めて等値面表示したものを図 3 の下図に示している。これらの結果から、5 つの横穴の空間分布、形状、大きさが良好に推定できることがわかる。なお、逆解析に要した時間は数分程度であった。

以上の結果から、きずエコーから逆に ISIM による 3 次元きずの高速再構成が可能であることが分かった。原子力発電プラントのような人間がアクセスできない検査対象について、現在、水中発振レーザーによって超音波自動探傷が行われているが、これにも本手法を応用した 3 次元映像化が可能である。今後は、探傷現場への適用を目指して、より高速・高精度なイメージングを目指したい。

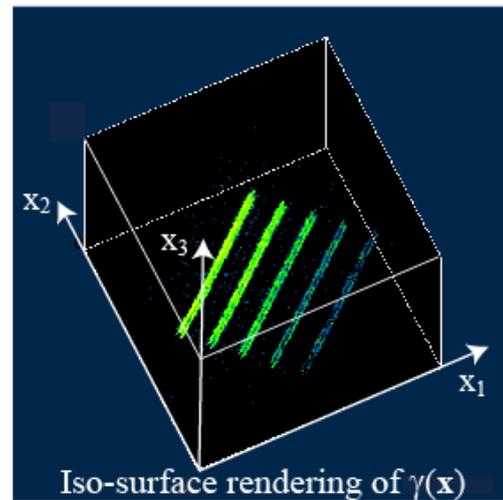
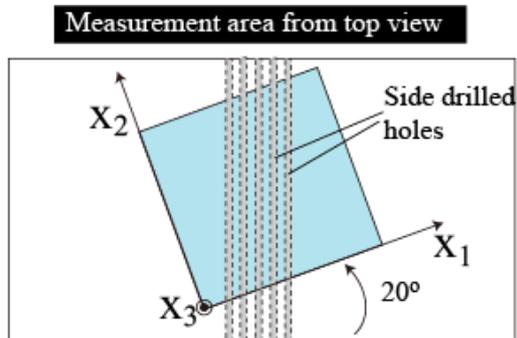
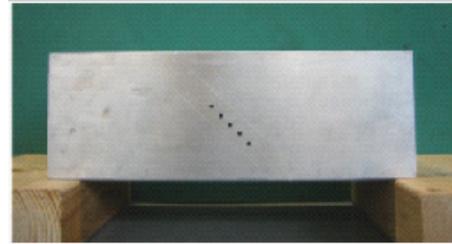
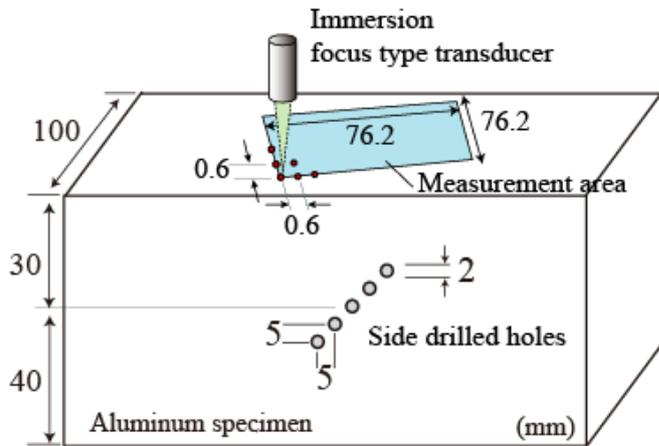


図3. 5つの人工欠陥（貫通横穴）と，そのイメージング結果（特性関数の等値面表示）

### 3. 発表

- 1) 中畑和之，渡邊 怜，斎藤隆泰，廣瀬壮一，3次元逆散乱解析法による固体内部きずの超音波映像化，理論応用力学講演会講演論文集，Vol.59，pp.347-348，(2010,6)，日本学術会議(東京)
- 2) 渡邊 怜，中畑和之，斎藤隆泰，廣瀬壮一，欠陥再構成のための3次元逆散乱イメージング法に関する基礎的研究，第65回年次学術講演会，発表予定，(2010,9)，土木学会(札幌)