

小型・高感度エアプローブの開発とその応用

Development and Application of Miniature High Sensitive Air Probe

高橋 雅和¹⁾、酒井 玲¹⁾、小倉 幸夫¹⁾、西野 秀郎²⁾

Masakazu Takahashi Akira Sakai Yukio Ogura Hideo Nishino

ジャパンプローブ(株)¹⁾ Japan Probe Co., Ltd、徳島大学²⁾ Tokushima University

概要

非接触・空中伝搬超音波検査法（NAUT）において、小試験体及び片面对向V透過法に適する小型探触子を開発した。小型ながら高感度である。今回開発した小型探触子の感度、音場、ビーム幅及び片面对向V透過法による応用例などについて検討したので結果を報告する。

キーワード：NAUT、小型・高感度、整合層、エアプローブ、音響インピーダンス、

1. はしがき

最近、リチウムイオン電池、太陽電池パネル、炭素繊維強化プラスチックなどの非破壊検査として非接触・空中伝搬超音波検査法（NAUT）が用いられているが、現在では試験体両面から透過法によって検査するのが一般的である^{1) 2)}。

しかし、片面から検査が可能となれば試験体の裏側への探触子設置不要など制約が少なくなり応用範囲が拡大される。片面から2探触子による対向V透過法などを適用する場合、探触子間距離を小さくする必要があり、このため小型探触子を用いる必要がある。今回これらの目的で小型探触子を開発した。

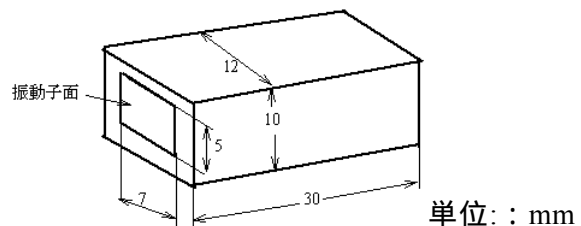
以下、開発した小型探触子について感度やビーム幅などを調査するとともに片面对向V透過法による画像例について検討したのでそれらの概要について述べる。

2. 小型探触子の概要

開発した小型探触子の外観、形状及び寸法を図1に示す。周波数は公称 800 kHz で振動子寸法は斜め入射を考慮し縦 7mm × 横 5mm であり、振動子の材質はコンポジットである。



(a) 外観



(b) 形状及び寸法

図1 小型探触子の外観、形状及び寸法

2.1 探触子の感度

小型探触子は通常のものに比べて一般的に感度は低くなる。感度が低いとSN比が小さくなりきずの検出性が悪くなる。従って、小型といえども高感度化する必要がある。

探触子を高感度化するためには、図2に示すように、(1) 振動子の電気機械結合係数 (K_t)

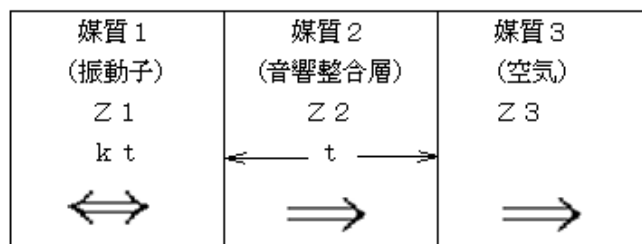
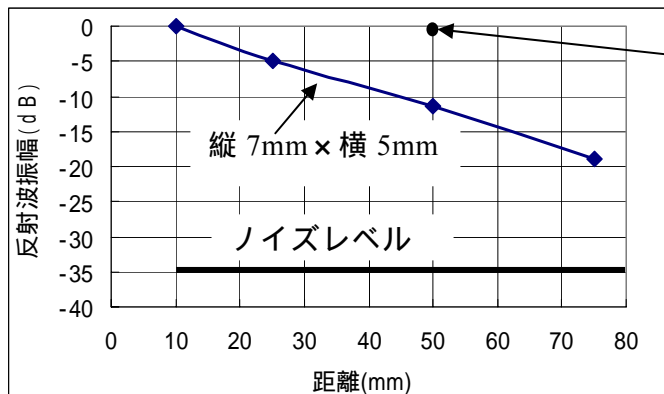


図2 空中伝搬超音波検査用探触子の構成

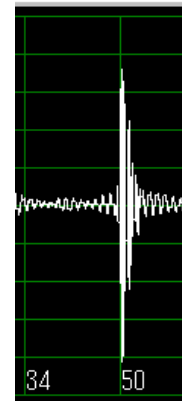
及び音響インピーダンス (Z_1), (Z_2) 音響整合層の厚さ (t) 及び音響インピーダンス (Z_2) 及び (Z_3) 空気の音響インピーダンス (Z_3) の組合せが重要である。今回、これら因子間の相互関係を配慮するとともに特に音響整合層の材質や厚さを留意して高感度化を図った。

図3に開発した小型探触子の感度及び反射波形例を示す。JIS Z 2345のN1標準試験片を用い、探触子・試験片表面間距離 10mmにしたときの試験片表面からの反射波を基準 (0 dB) にして距離特性を示したものである。図3には対比のため通常の振動子寸法縦 20mm × 横 14mmの結果も併せ示すが、小型探触子の場合通常のものより感度は落ちるが、十分なSN比を有し高感度であることが分かる。



(a) 距離特性

振動子寸法
縦 20mm
× 横 14mm

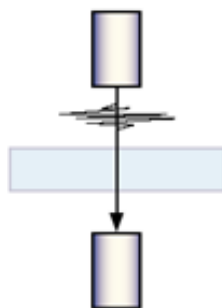


(b) 反射波形例
(試験片表面間距離 50mm)

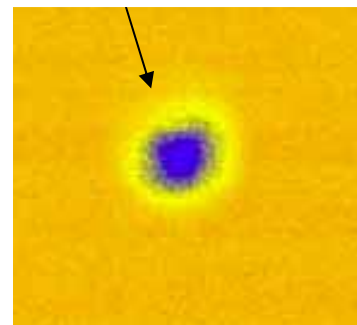
図3 開発した小型探触子の感度及び反射波形例

図4は、小型探触子を用い、アクリル板に直径 5mmの円板を載せたときの両面透過法による画像例を示す。高感度が故に明瞭な画像が得られている。

Φ5mm のアクリル円板の画像



(a) 両面透過法による探傷方法



(b) アクリル円板の画像例
(アクリル板の板厚 5mm)

図4 両面透過法によるアクリル円板の画像例

2.2 探触子の音場及びビーム幅

図5は振動子幅 5mm方向のレイリー積分の理論式³⁾によって求めた音場を示す。また、図6は同じく振動子幅 5mm方向の超音波伝搬シミュレータ (SWAN21) によって求めたシミュレーション結果⁴⁾を示す。いずれも連続波によるものであるが、両者はよく一致している。

図7は、図5の音場において近距離音場限界距離 $X_0 = 14.7\text{mm}$ のときのビーム幅を示す。図中、マイナス 3 dB のビーム幅の実験値も併せ示したが、理論値 (3.9mm) と実験値 (4.0mm) はよく一致することが分かる。なお、実験によるビーム幅は、図8に示すように、受信側探触子に直径 1.6mm の穴をあけたマスクを付け、この探触子を上下に移動させたときの受信振幅より求めた。

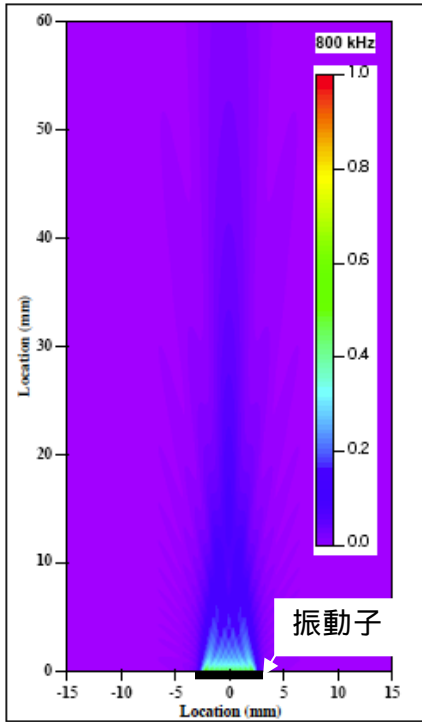


図5 レイリー積分の理論式による音場
(振動子幅 5mm)

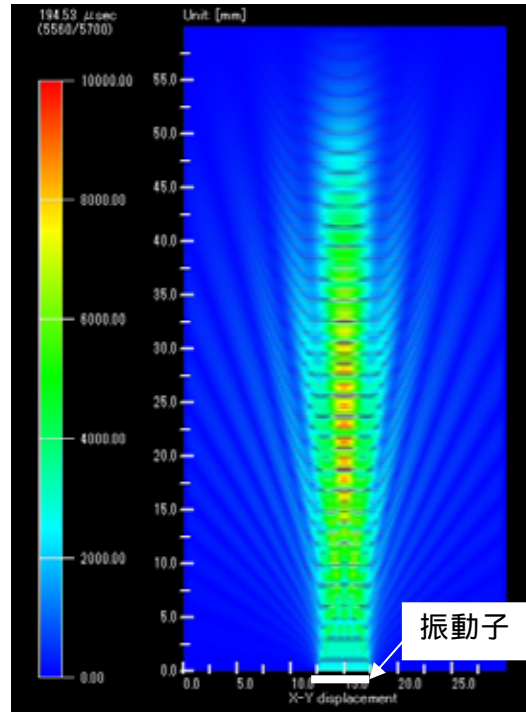


図6 シミュレーション結果
(振動子幅 5mm)

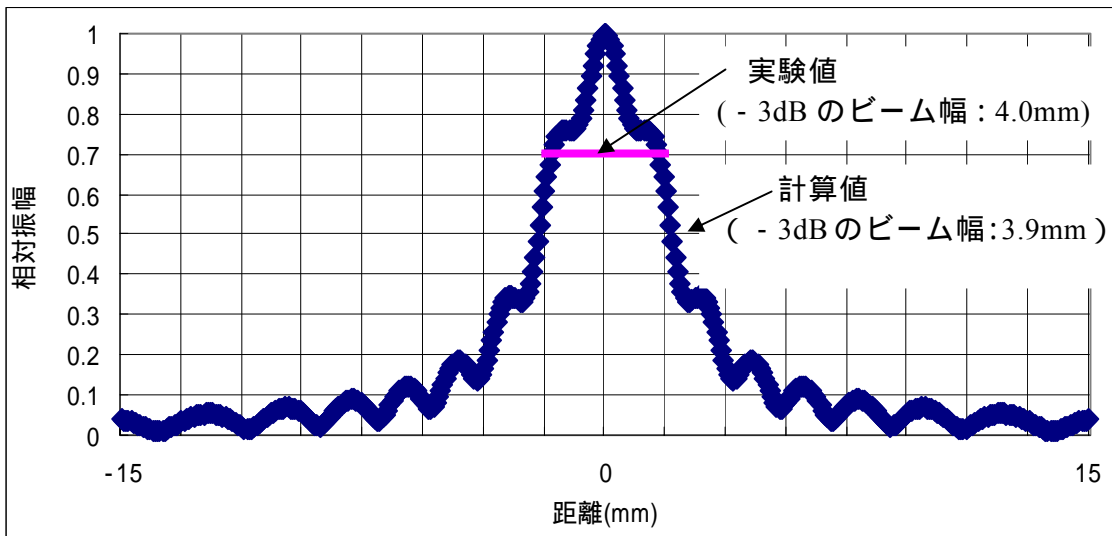
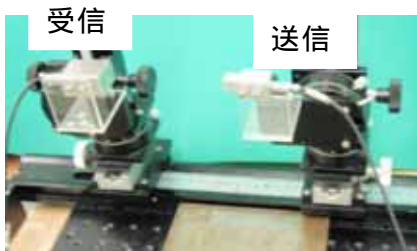
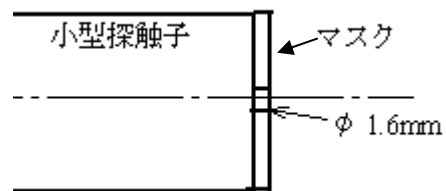


図7 ビーム幅の計算値と実験値の比較
(近距離音場限界距離 $X_0 = 14.7\text{mm}$ におけるビーム幅)



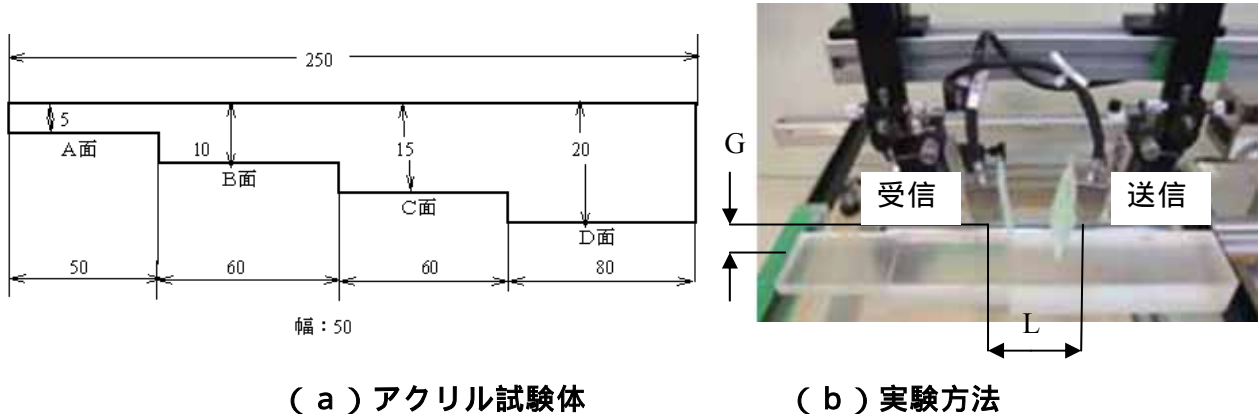
(a) ビーム幅の測定方法



(b) 受信探触子前面に設けたマスク
ビーム幅の測定方法

3. 片面对向V透過法による画像例

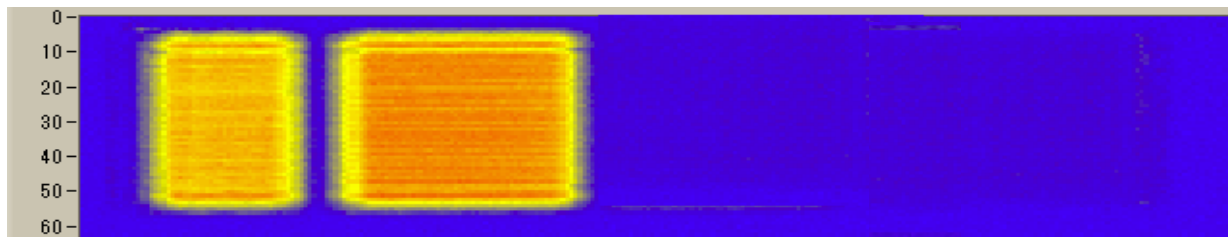
図9に示すようなアクリル試験体及び実験方法によって、片面对向V透過法による画像化を試みた。図10に画像例を示す。探触子間距離 (L) 及び探触子・試験体表面距離 (G) を変化させて画像化した。また、送受信時のビームの入射(放射)角を 9° (アクリル内の屈折角は 45°) にして走査した。図10に示すように試験体A面、B面、C面及びD面の画像が明瞭に得られている。なお、探触子間距離 (L) がアクリル板の厚さ (d) の約2倍 ($L = 2d$) のときにアクリル板底面のV透過波振幅がほぼ最大になり画像も明瞭になることが分かった。



(a) アクリル試験体

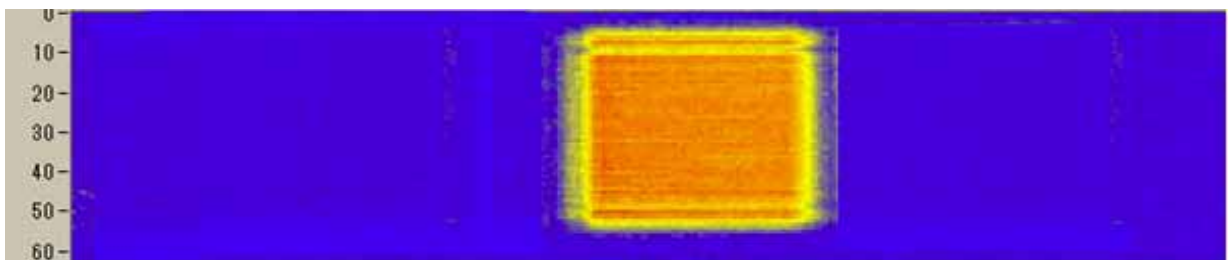
(b) 実験方法

図9 アクリル試験体及び実験方法



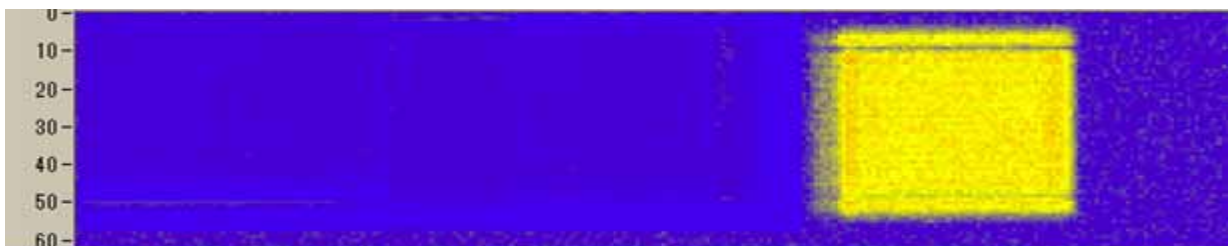
(A面)厚さ $d=5\text{mm}$ (B面) $d=10\text{mm}$

(a) 探触子間距離 $L=20\text{mm}$



(C面) $d=15\text{mm}$

(b) 探触子間距離 $L=30\text{mm}$



(D面) $d=20\text{mm}$

(c) 探触子間距離 $L=40\text{mm}$

図10 片面对向V透過法による画像例

4.まとめ

N A U Tにおける片面对向V透過法に適する小型探触子を開発し、感度、音場、ビーム幅などについて検討した。その結果、次のことが分かった。

- (1) 小型ながら十分な感度を有する。
- (2) 音場及びビーム幅について理論と実験を比較した結果、両者はよく一致する。
- (3) 厚さの変化するアクリル板を用いて片面对向V透過法を適用した結果、明瞭な底面画像が得られた。

参考文献

- (1) 高橋 雅和、野路 正明、桐生 啓二、小倉 幸夫 川嶋 紘一郎：非接触空中超音波検査法の開発とその応用：自動車技術協会春季学術講演会, 100-20095055,pp13-16,(2009)
- (2) 高橋 雅和、野地 正明、桐生 啓二、高橋 修、小倉 幸夫、松島 正道、西野 秀郎、中畑 和之、川嶋 紘一郎：非接触・空中伝搬超音波検査法による最近の応用例：自動車技術協会春季学術講演会,372-20115423,pp9-12,(2011)
- (3) 実吉 純一、菊池 喜充、能本乙彦：超音波技術便覧(改訂新版)、日本工業新聞社、P23,(1968)
- (4) 田中 祐介他：超音波伝搬シミュレータ - S W A N 2 1 2 D版、日本非破壊検査協会H24年秋季講演大会講演概要集、PP.53-54,(2012)