

# 超音波センサアレイによる検知システムに関する研究

評価技術課 佐々木克浩、塚本吉俊、機械電子研究所 金森直希

## 1. 緒言

超音波センサを用いた距離計測は、システムが簡便かつ安価であり、光学式センサでは懸念がある透明体の測定が可能などの特徴がある。超音波センサを複数にした位置検知システムに関して<sup>1,4)</sup>、車輛、自律移動ロボットや視覚障がい者のための障害物検知などへの応用が試みられている。しかし、空気中の遠距離の測定などにおいて、超音波の伝搬減衰が大きいなどの要因から SN 比が課題となる場合がある。その根本的な対策として、超音波出力の増大<sup>1,3)</sup>が挙げられ、フェーズドアレイ技術の導入が研究されている<sup>1,4)</sup>。

本報告では、超音波による物体の位置検知にフェーズドアレイ技術を適用するための一方法に関して検討した。

## 2. アレイの概要

超音波を送波するアレイ素子の数を増やすと、振幅は大きくなり、ビーム幅は狭くなる。無指向性を仮定したアレイ素子の数を 4、間隔を 8mm、周波数を 40kHz とした場合の利得 (アレイファクタ<sup>1,4)</sup>) の計算例を図 1 に示す。同図より、アレイ化により単一素子に対する利得を 4 倍にできる。しかし、主ビーム角が 22deg になるように各素子間の送波時刻に位相差を与えると、メインローブ (以下 ML) 以外に、-44deg にもビームが発生する。これが、素子間隔が超音波の半波長 (4mm 程度) より大きいために発生するグレーティングローブ (以下 GL) である。汎用の超音波センサの直径は半波長より大きいため、GL の発生を回避<sup>2)</sup>することは困難である。この対策として、本研究では、ML と GL の角度に応じて複数の受波センサを切り替える方法を検討した。

## 3. アレイシステム

送波センサは直径が小さい 8mm のもの (日本セラミック社製、T4008A1) とし、8mm 間隔で 4 個並べる送波センサアレイ (以下 T) とした。センサを 40kHz のバースト波 10 波で駆動した。主ビーム角 0deg の場合に実測した指向性の半値幅が約 ±10deg であったことと GL の活用<sup>1,3)</sup>などを考慮して、主ビーム角はおおよそ 11deg 間隔で 44deg までと 62deg に走査することとした。各走査角における距離 3m での (後述のシステムの) 送波指向性の測定結果を図 2 に示す (受波センサ: Knowles 社製、SPM0404UD5)。縦軸は、同一型番の単一センサの場合における測定電圧  $V_{pp}$  の最大値により正規化した。同図よ

り、主ビーム角 0deg において、アレイにより超音波の出力は 4 倍近く増大しているが、角度に依存して低下している。これは単一センサの指向性の影響と考える。

次に、指向性が鋭い部類の受波センサ (日本セラミック社製、R40-16) R1、R2 および R3 をそれぞれ -45deg、0deg と 45deg の向きに設置した。以上、試作したシステムの概観を図 3 に示す。そのシステムから 3m の位置に送波センサ (T と同一型番) を設置して、各受波センサを用いた時の受波指向性を測定した。システム全体の指向性は送波指向性と受波指向性の積により求められる<sup>2,4)</sup>。主ビーム角が 22deg の場合を例に、図 4(a) に示す T の測定指向性 (図 2 の最大値で正規化) と図 4(b) に示す R2 を用いた場合の測定受波指向性 (測定した受波指向性全体の最大値で正規化) との積を求めた結果を図 5(c) に黒丸で示す。同図より、角度 -44deg 付近の GL が低減されている。一方、R1 を用いた場合の受波指向性 (図 4(c)) との積を同様に算出した結果は図 5(c) の白丸であり、ML が低減されている。同様に各主ビーム角で算出した結果も図 5 に示している。同図右側に示す受波センサを用いることで、角度 ±60deg までの範囲において、概ね意図した方向のみにピークが形成されており、さらに主ビーム角の走査回数は通常の約半分の 6 回で良いことが分かる。

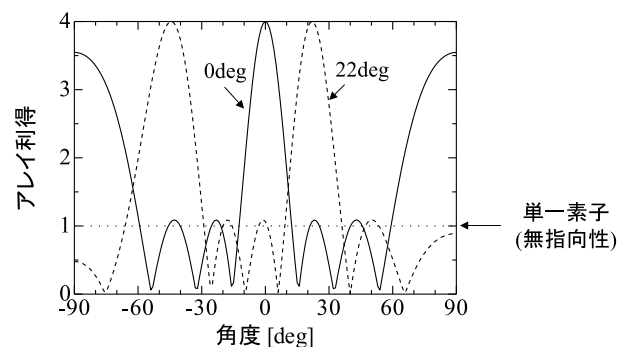


図 1 各主ビーム角における送波指向性の計算例

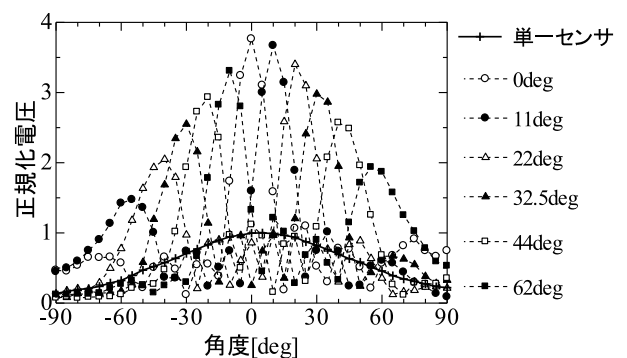


図 2 各主ビーム角における送波指向性の測定結果

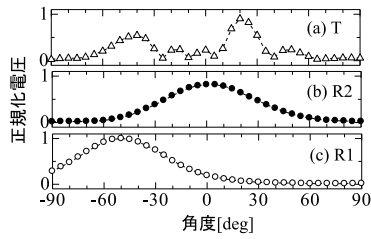
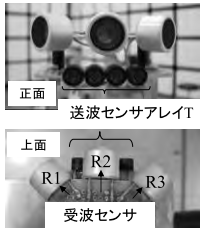


図3 試作アレイシステム 図4 送波指向性（主ビーム角 22deg）と各センサを用いた時の受波指向性

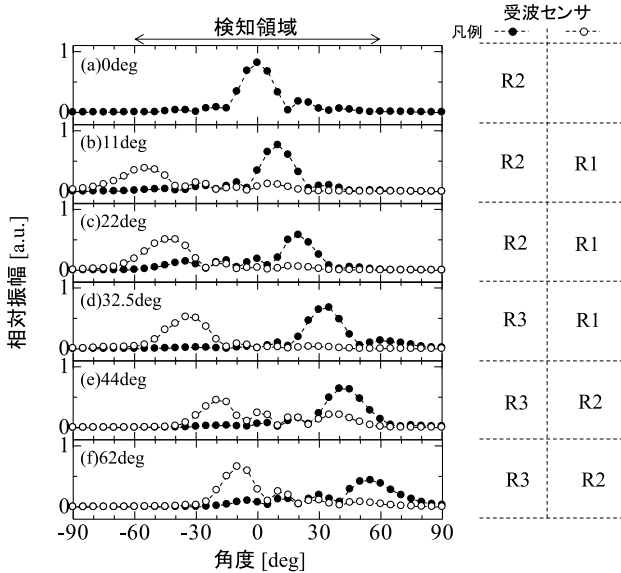


図5 各主ビーム角における送波指向性と受波指向性の積

#### 4. 方位検知実験例

外径 48mm の塩化ビニール製パイプを対象物として、センサから距離 3m の位置に設置し、3m に対応する超音波の伝搬時間近辺における電圧  $V_{pp}$  を測定した。角度 5deg、30deg および 40deg に対象物を設置した場合の実験結果をそれぞれ図 6(a)から(c)に示す。各結果ともに対象物が存在する角度付近で電圧のピークが現れているが、同図(a)と(c)では対象物が存在しない角度 -22deg でも電圧が高くなった。これらは、それぞれ、図 5(e)の白丸で示す角度 5deg 付近のサイドローブと角度 40deg 付近の GL の影響と考えられる。これらのローブと、図 5 におい

てビーム角によって振幅のピーク値が異なることが、物体の有無を電圧閾値で判別する際に影響を与えると考えられる。したがって、対象物の設置方向などを更に変えた実験と上記影響への対策に関する検討が必要である。

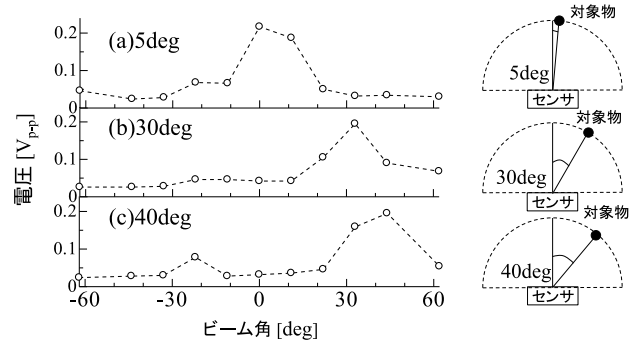


図6 物体の方位検知実験の結果例

#### 5. 結言

送波センサアレイにより、超音波出力の増大とビーム幅の改善が可能になった。その一方で 2 方向にビームが発生したため、不要な一方を抑制するように、異なる角度で設置した 3 個の受波センサを切り替えた。これにより、送波と受波の測定指向性の積において、概ね意図した一方向に指向性を持つことを示した（角度 ±60deg までの範囲）。また物体の方位の検知例を示したが、指向性に関する課題が残った。今後の検討を考えている。また、要求精度に応じて角度分解能を向上させるために、アレイセンサ数を増やすことが考えられるが、ビーム走査の回数の増加に伴い測定時間が長くなる。このため、測定時間を考慮した角度分解能の改善も今後の課題である。

#### 参考文献

- 1) 羽多野, 信学技法, SIP2008-82, WBS2008-20 (2008) 31
- 2) 高橋 他, 計測自動制御学会東北支部 第 226 回研究集会, 資料番号 226-1 (2005)
- 3) 田畑 他, 計測自動制御学会論文集, 48 (1) (2012) 11
- 4) S. Harput *et al.*, *IEEE SENSORS JOURNAL*, 8 (11) (2008) 1755.

キーワード：アレイ、指向性、メインローブ、グレーティングローブ、ビーム

### Detection System Using Ultrasonic Sensor Array

Katsuhiro SASAKI, Yoshitoshi TSUKAMOTO and Naoki KANAMORI

A prototype air-coupled ultrasonic array system was constructed using a phased array transmitter and three receivers placed with different angles. These receivers were switched so as to suppress undesirable ultrasonic beams, so that the array system had a strong directivity for the intended angle in products of directivity patterns of the switched receiver and the transmitter arrays. The array system detected azimuthal directions of a cylinder object at a distance of 3 m.