

## M-22

## 指向制御のためのクワッドリッジホーンを用いた超音波センサに対する一検討

## A Study on Ultrasonic Sensor Using a Quad Ridge Horn for Directional Control

○川崎達也<sup>1</sup>, 上田拓矢<sup>2</sup>, 根口純一<sup>3</sup>, 應後剛<sup>3</sup>, 織田武浩<sup>3</sup>, 佐伯勝敏<sup>4</sup>

Tatsuya Kawasaki\*, Takuya Ueda, Jyunichi Neguchi, Takeshi Ohgo, Takehiro Orita, Katsutoshi Saeki

Abstract : In recent years, a system that uses an ultrasonic sensor for preventing contact between heavy machinery and a person is being developed. A contact prevention system that uses an ultrasonic sensor is desired to be omnidirectional and have high reception sensitivity and integrated transmission/reception sensor.

In this study, we investigated an ultrasonic sensor using a quad ridge horn for the directional control. As a result, the proposed ridge shape was shown that uniform gain was obtained in the range of radiation angle of 30 degrees in the measurement distance of 5m.

## 1. まえがき

超音波は現在、様々な分野で応用されている。その中でも、ソナーや医療分野におけるエコーは、目標物へ超音波を送信し、その反射の時間や電圧の変化により物体検知を行っている。近年、重機による人との接触事故が多発していることから、超音波センサを用いた接触防止システムの開発が行われている<sup>[1], [2]</sup>。この接触防止システムは、送受信一体型の超音波センサを用いて、指向制御を行う必要がある。

今回、超音波の指向制御を目的に、送受信一体型超音波センサには 40kHz (PC40-18S) を用いて、クワッドリッジホーンを取り付け、リッジ部分の幅と角度を変化させ、クワッドリッジホーンを用いた超音波センサのリッジの形状について検討を行った。

## 2. 本論

## 2.1 角錐ホーン的设计

クワッドリッジホーンの周辺部である角錐ホーン的设计は、次式を用いて計算を行った<sup>[3], [4]</sup>。

$$m = \frac{4\pi fc}{c} \quad (1)$$

$$S = S_0 \left\{ \frac{1}{2} (e^{mz} + e^{-mz}) + \frac{1}{2} T (e^{mz} - e^{-mz}) \right\} \quad (2)$$

$m$  は音波の広がり係数、 $c$  は光速、 $fc$  は遮断周波数、 $S$  はホーンの開口面積、 $z$  は任意距離、 $S_0$  はホーン入り口の断面面積、 $T$  はホーンの勾配を決定するための変数を示している。式(1)、(2)より極座標を導き  $S=1600[\text{mm}^2]$ 、端の一边  $L=86.712[\text{mm}]$  とした。

## 2.2 クワッドリッジホーン

クワッドリッジホーンはセンサを中心に、垂直方向と水平方向にそれぞれ二つリッジを取り付けている。

垂直方向のリッジは、指向性が鋭くなるように配置し、水平方向のリッジは、放射角が広がるよう配置する。

図 1 にクワッドリッジホーンを示す。リッジ幅と角度の表記として、センサ側のリッジ幅を 30mm、放射方向側のリッジ幅を 10mm とした場合、30-10mm のように表記し、角度  $10^\circ$  傾けた場合は、30-10mm,  $10^\circ$  と以降表記する。同図は垂直方向のリッジと水平方向のリッジ共に、リッジ幅 10-10mm である。クワッドリッジホーンの基本を 10-10mm,  $0^\circ$  とする。この図を基に 3D プリンタにて、PLA を用いて作製した。

図 2 にリッジ角度の図を示す。ここで角度は、図中に示すセンサ側に傾けた角度  $\theta$  を示している。最適な角度と幅はシミュレーションにより決定する。

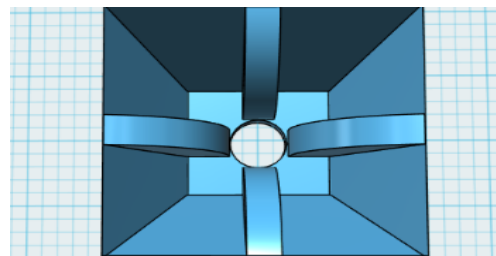


図 1 クワッドリッジホーン

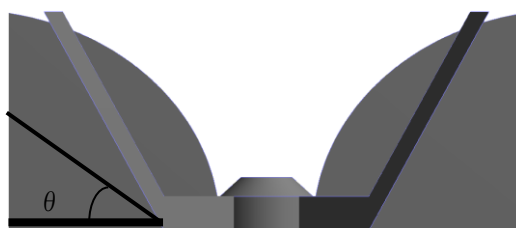


図 2 リッジ角度

## 2.3 測定結果

図 3 に垂直リッジ幅が 30-10mm、水平リッジ 10-10mm,  $0^\circ$  の時の垂直リッジ角度変位によるシミュレーションの結果を示す。同図はリッジを付けるこ

とで正面方向の利得が向上することを示している。また、 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$  での角度変位において、角度  $26^{\circ}$  が正面方向での利得の減衰が起きず、正面方向  $0^{\circ}$  で最大  $5.36[\text{dB}]$  高い利得が現れ、 $0^{\circ}$  を中心に  $\pm 6^{\circ}$  の範囲で安定していることを示している。図中の基礎は、ホーンを取り付けていない場合の指向性を示している。

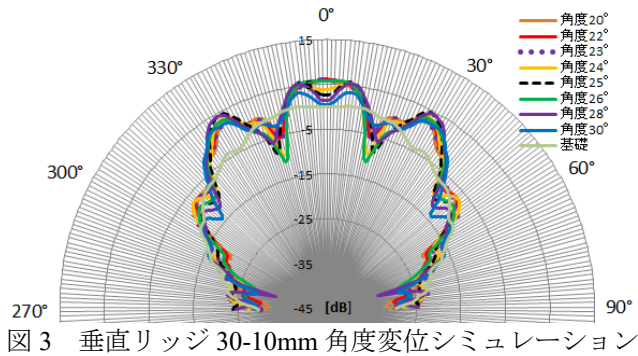


図 3 垂直リッジ 30-10mm 角度変位シミュレーション

図 4 に垂直リッジ 30-10mm、 $26^{\circ}$  において水平リッジ角度  $0^{\circ}$ 、幅を 20mm $\sim$ 30mm 間で変化させたときのシミュレーション結果を示す。同図は、水平リッジ幅を変化させることで、垂直リッジの変化だけでは放射角  $\pm 10 \sim 20^{\circ}$  において減衰が起きていたが、水平リッジにより減衰を少なくし、放射角  $\pm 30^{\circ}$  の範囲で利得を均一にすることが可能であることを示している。

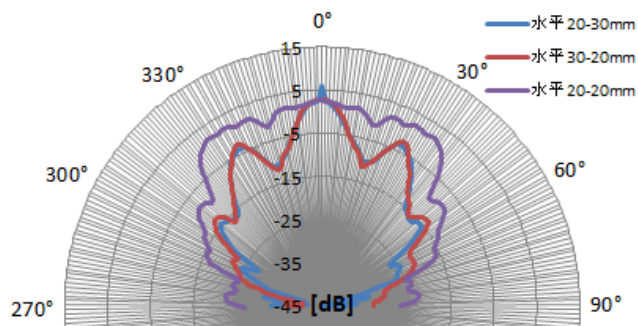


図 4 水平リッジ幅変位シミュレーション

図 5 に水平リッジ 20-20mm の時の角度変位シミュレーション結果を示す。角度  $30^{\circ}$  で放射角が最大  $12^{\circ}$  広がり、減衰の差が少ないことを示している。これより、20-20mm、 $30^{\circ}$  が最適角度であることを示している。

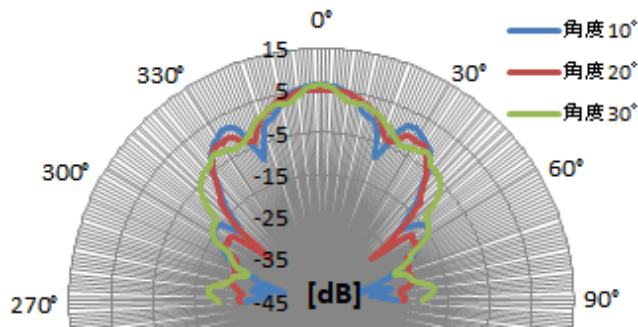


図 5 水平リッジ 20-20mm 角度変位シミュレーション

図 6 に水平リッジの変化による指向性の実測比較を示す。同図は、5m 先に置いたアルミ板を目標物として測定を行った。水平リッジ 20-20mm、 $30^{\circ}$  が放射角  $\pm 30^{\circ}$  において減衰が少なく、利得が得られたことを示している。減衰率が少なく均一に受信が行われていることは、重機による接触事故を検知するにあたって、角度が  $\pm 30^{\circ}$  の範囲では検知が可能であることを示している。

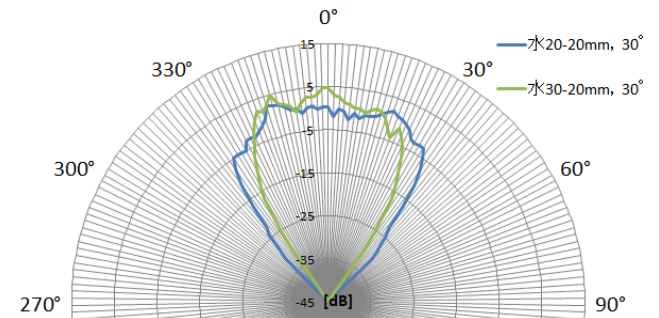


図 6 水平リッジの変化による指向性の実測結果

### 3. まとめ

超音波センサにクワッドリッジホーンを取り付けることで、クワッドリッジホーンのリッジの形状について検討を行った。

その結果、放射角  $\pm 30^{\circ}$  の範囲において、均一な利得が得られるリッジの最適な形状は、垂直リッジ 30-10mm、 $26^{\circ}$ 、水平リッジ 20-20mm、 $30^{\circ}$  であることを明らかにした。

今後は、角錐ホーンの開口面積の変化、ホーン入り口から開口面までの形状を変化させることで放射角を広げる検討を行う。そして、同角錐ホーンの設定により、リッジの離心率を変化させることで検知可能範囲を広げ指向性を制御できるよう検討を行う。

### 4. 参考文献

- [1] 上田拓矢, 根口純一, 應後剛, 織田武浩, 佐伯勝敏, 佐々木芳樹: “カセグレン方式の反射鏡を用いた超音波センサの指向制御”, 電気学会電子回路研究会, ECT-17-039, pp. 63-66, (2017)
- [2] 上田拓矢, 根口純一, 應後剛, 織田武浩, 佐伯勝敏: “段差型主反射鏡と凹凸型副反射鏡を用いた超音波の指向制御”, 電気学会電子回路研究会, ECT-17-098, (2017), (発表予定)
- [3] 新井悠一: 「ホーンスピーカー設計・製法」, 誠文堂新光社, pp. 215, (1991)
- [4] 新井悠一: 「デジタル時代のホーンスピーカー製作」, pp. 288, 誠文堂新光社 (2015)