

40kHz 系段つき円形振動板音源の最適化*

日大生産工 (院) ○ 根岸 友直
日大生産工 大塚 哲郎
日大生産工 中根 偕夫

1 はじめに

超音波が伝搬する媒質は空気に限ることなくあらゆる気体・液体・固体中において多種多様の応用がある。本研究では、空气中に放射される超音波の情報応用を目的とし、人に不快感を与えないようにするため設計周波数を 40kHz 近辺として、強力で鋭い指向特性である最適な段つき円形振動板音源の設計・試作を行うこととした。設計には工学解析ソフト ANSYS^[1]を用いてエクスポネンシャルホーンと振動板のシミュレーションを行い、最適寸法を検討して試作し、各音源の音響特性から最適である音源について検討した。

2 音源について

2.1 振動子

振動板から超音波を発生させるためには、発振器 (1915) からの信号を超音波動力に変換する圧電振動子とエクスポネンシャルホーンを介して駆動させる。そこで、強力な超音波を得るため振動子は圧電現象を利用したボルト締めランジュバン型振動子 D4339PC、DA22540 を使用することにした。Fig.1 に振動子を、Table.1 に各特性を示す。

Table 1 characteristic of BLT

型番	D4339PC	DA22540
共振周波数 f_0	38.9 kHz	40.0 kHz
アドミタンス Y	200 mS	35 mS
静電容量 C	7600 pF	1800 pF
重量	175 g	120 g
許容電気入力 (間欠駆動) (EIAJ AE-4006A)	600 W 300 W	100 W 50 W

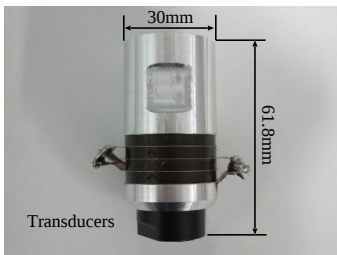


Fig. 1 Bolt-clamped Langevintype Transducer.

2.2 エクスポネンシャルホーンと振動板の設計

音源を設計するにあたり強力な超音波、鋭い指向特性を得たい。そこで、まず振動子からの電気入力を振動板に有効に伝達するためエクスポネンシャルホーンを使用し、また振動板は段つき円形振動板^[2]とし

た。エクスポネンシャルホーン、振動板の設計は、工学解析ソフト ANSYS を使い、モード解析における有限要素法の原理を用いてシミュレーションを行った。

エクスポネンシャルホーン的设计方法として Fig.2 に示すように入力端と出力端の断面積を S_1 、 S_2 として L_1 、 L_2 の長さをとると両端自由の条件^[3]により、ホーンの共振条件は (1) 式に表すことができる。

$$\tan(\alpha L_1) = \frac{\alpha L_2}{\log \frac{D_1}{D_2} - \alpha L_2 \sqrt{(1 - \frac{\beta^2}{\alpha^2})} \cot(\alpha L_2 \sqrt{(1 - \frac{\beta^2}{\alpha^2})})} \quad (1)$$

このときのエクスポネンシャル部の直径は、

$$D_x = D_1 e^{\frac{1}{2} \gamma x} \quad (2)$$

である。ここで波長定数 $\alpha = \omega/C$ 、エクスポネンシャル係数 $\beta = 1/L_2 \log(D_1/D_2)$ 、テーパ定数 $\gamma = 1/L_2 \cdot \log \sqrt{(S_1/S_2)}$ とし、振幅拡大率 M は (3) 式で表すことができる。

$$M = \frac{D_1}{D_2} \frac{\sqrt{(1 - \frac{\beta^2}{\alpha^2})} \sin(\alpha L_1)}{\sin(\sqrt{(1 - \frac{\beta^2}{\alpha^2})} \alpha L_2)} \quad (3)$$

これらの式よりエクスポネンシャルホーン的设计をした。

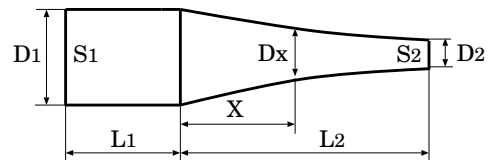


Fig. 2 Exponential horn.

振動板では Fig.3 に示す節と段の位置が一致するように、共振周波数が 40kHz 近辺の X_1 、 X_2 、 X_3 の各寸法を決めて設計した。

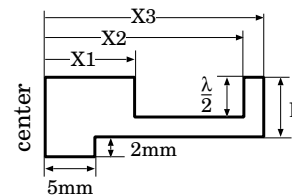


Fig. 3 stepped circular vibrating plate.

3 各音源の音響特性

今回試作した音源は、39kHz 系と 40kHz 系であり 39kHz 系音源の共振周波数 f_0 は 39.308[kHz]、40kHz 系では 40.075[kHz] であった。この 2 つの音源の特性について検討した。Fig.4 に音源を示す。

* The optimization of one stepped circular vibrating plate with 40kHz.

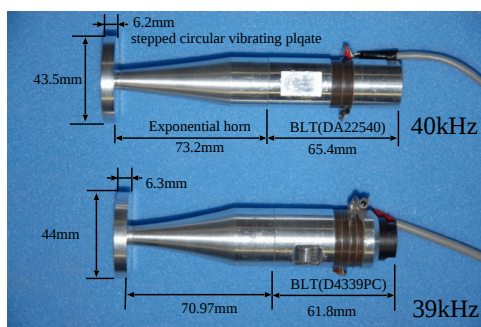


Fig. 4 shape of two sound source.

3.1 入出力特性

アンプの入力に発振器 (1915) を、出力には音源を接続し POWER METER(TAW-60LA) により出力電力を測定して、入力電圧に対する出力電力を測定した。

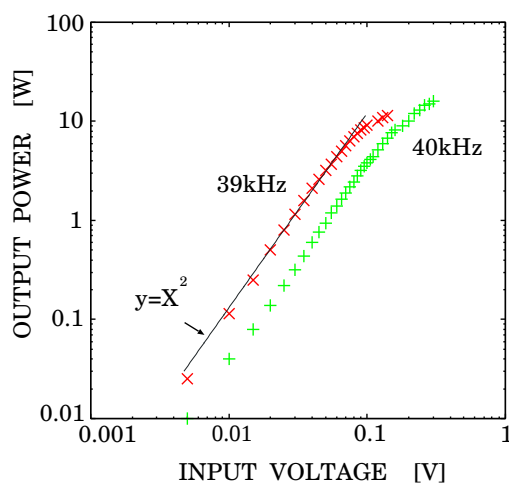


Fig. 5 Input-output characteristics.

Fig.5 より出力電力は入力電圧の二乗に比例している。また、両方の音源は入力 0.1[V] でひずみが生じ出力が比例ではなくなった。

3.2 振動振幅分布

音源の出力電力を 2W 一定とし、光学式非接触 (Fotonic sensor) のプローブを振動板の中心から外形端まで 0.5[mm] 間隔で平行移動させて振動振幅を測定した。

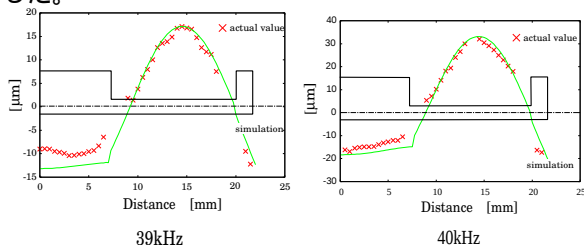


Fig. 6 distribution of vibrational displacement.

各音源の振動振幅分布が、ANSYS のシミュレーション結果と実測値で近い値が得られた。

3.3 振動板中心軸上の音圧分布

39kHz と 40kHz 音源の振動振幅 18μm 一定として、コンデンサマイクロフォン (B&K 社製 4138) を使用し振動板近傍から、中心軸上に 1mm ずつ離していき 50mm からは 2mm ずつ離して 500mm まで測定した。

Fig.7 より振動板近傍では音圧が高く、離れていくにしたがって音圧が低くなっていることがわかる。

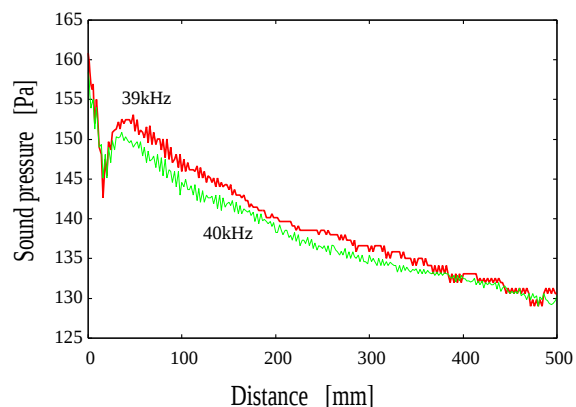


Fig. 7 Sound pressure distribution along the center axis of the field.

3.4 指向特性

測定方法は、振動板中心軸上高さ 500mm にコンデンサマイクロフォンを振動板に対して垂直に設置し、そのときの角度を 90 度として、0 度から 180 度までを 0.18 度間隔で円周上に測定した。そのときの出力電力は 1[W] 一定とした。Fig.8 に結果を示す。

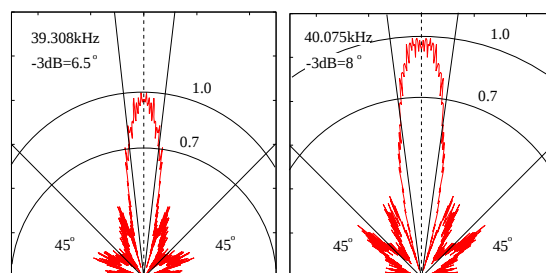


Fig. 8 Directivity.

40.075kHz の指向特性は 8 度、39.308kHz では 6.5 度と鋭い指向特性であった。

4 おわりに

最適な 40kHz 系段つき円形振動板音源の設計・試作を目的として音源を設計した。入出力特性では 39kHz 系が入力に対して効率よく出力されており、入力 0.1[V] 近辺で各音源にひずみが生じていた。振動振幅分布では、シミュレーション結果と実測値が近い値となり、振動板中心軸上の音圧分布を見ると、500mm ではほぼ同じ音圧であった。指向特性は、39kHz 系音源が 6.5 度と鋭い指向性を持っていることがわかる。これらの結果より、39kHz 系音源のほうが低い入力に対して効率よく出力でき強力な超音波が得られ、さらに音圧も高く鋭い指向特性であることがいえる。よって 39kHz 系音源が超音波の情報応用に最適な音源と考えられる。

参考文献

- [1] CYBERNET ANSYS 入門、中級セミナー
- [2] 根岸、大塚、中根、段つき円形振動板を音源とした振幅変調による可聴音発生を試み、音響論 (秋)、2-Q-12、1419-1420.
- [3] 大塚、中根、佐々木、須山、強力超音波用小型ホーンの試作、音響論 (春)、3-1-6、pp.987-988.