セラミックスピーカと段つき円形振動板による超音波音場の比較*

1 はじめに

筆者らは空中超音波音源として設計周波数 20kHz、28kHz、40kHz の段つき円形振動板^[1] を開発しており、この音源の応用例として人に 不快感を与えないようにするため40kHz系段つ き円形振動板を用いた音源の設計及び試作^[2]を 行い、空気中に放射される超音波を利用して可 聴音をビーム状に発生させることもできる。

本報告では、セラミックスピーカ^[3] と段つき 円形振動板音源の超音波音場について、シミュ レーション結果と実測値により比較検討し、両 者をパラメトリック音源として利用した時の放 射音場の基礎的データを得ることを目的とした。

2 音源について

セラミックスピーカを使用して、段つき円形 振動板 Fig.1(C) と同じ外径である 44mm の音源 を二種類、試作した。(A) はセラミックスピーカ を7個使用して等間隔に設置した音源で、(B) は 2 倍の 14 個並べてアレイ状に設置した音源であ る。また、共振周波数は各音源ともに 40kHz 近 辺でセラミックスピーカの入力を許容入力電圧 10Vrms とした。



Fig. 1 Three types of sound sources.

日大生産工(院)	根岸 友直
日大生産工	大塚 哲郎

3 セラミックスピーカ

3.1 セラミックスピーカについて

セラミックスピーカとは薄くコンパクトで十 分な音圧レベル (SPL) を提供することができる 特徴があり、簡易な音声応答装置など多く使用さ れている。Fig.2 にセラミックスピーカ単体の寸 法と外観を Table1 に電気特性を示す。



Fig. 2 Ceramic speaker (AT40-10PB3).

中心周波数	40.0 ± 1.0kHz
送信音圧 at40kHz	MIN 116dB
静電容量 at1kHz	2700pF ± 20 %
連続許容入力電圧	10Vrms

Table 1 Characteristic of ceramic speaker

セラミックスピーカ単体の音圧分布、また7、 14個使用したときの音圧分布のシミュレーショ ンを行い実測値と比較を行っていく。

3.2 音圧分布のシミュレーション方法と結果

今回、COMSOL Multiphysics^[4]を使用し各音 源の音圧分布のシミュレーションを行った。まず、 セラミックスピーカを7個使用した音源で音圧分 布のシミュレーションを行った。シミュレーショ ン条件に関しては以下の通りとした。

- ・駆動周波数 40kHz
- · 音源表面は±のピストン振動
- ・周りは空気

* A comparison of ultrasonic field by ceramic speaker with stepped circular vibrating plate. Tomonao NEGISHI, Tetsuro OTSUKA (College of Indust. Tech., Nihon University) ・シミュレーション範囲は Fig.3-(A) の音場中
 心軸断面で 0.1 × 0.1m



Fig. 3 Measurement conditions.

以上を条件とし、境界条件を設定した。 Fig.4 に境界条件を示す。



sound source (A)

Fig. 4 Boundary Conditions for numerical calculation.

Fig.5 に生成したメッシュの様子を示す。また、 メッシュは既定メッシュサイズである極めて細か いとした。



以上の条件で計算した結果を、Fig.6 に示す。 これは音圧分布を ± (圧縮/膨張)で表示し、波長 を分かりやすく表現したものである。音圧分布

を見ると超音波がサイドに広がっている様子が わかる。



Fig. 6 The sound pressur distribution of sound source.

また、Fig.7 に絶対値表示した結果を表す。 Fig.7 から音源の中心部分の音圧が強いことがわ かる。



Fig. 7 The sound pressur distribution of sound source(A). Absolute value used.

以下、シミュレーション結果は絶対値表示で表 す。セラミックスピーカを7個使用したときと 同じ境界条件で14個使用したときのシミュレー ション結果をFig.8に示す。



Fig. 8 The sound pressur distribution of sound source(B). Absolute value used.

4 段つき円形振動板

4.1 段つき円形振動板について

段つき円形振動板を使う理由として、Fig.9よ り段がない平面円形振動板はたわみ振動が原因 で隣り合う振幅の腹と腹が逆位相となり、相互干 渉が起きて音場中で打ち消しあってしまうため、 強力な超音波を得られず指向特性もよくない。し かし、段つき円形振動板では放射面に空中超音 波の半波長分(λ/2)の段を設けているので空中 超音波が同位相となり、強力な超音波が得られ、 中心軸上に鋭い指向特性を持った音場となる。 そこで今回鋭い指向性で強力な超音波である段 つき円形振動板を使用した。



plane circular vibrating plate stepped circular vibrating plate

Fig. 9 A state by the airborne ultrasonic.

4.2 音圧分布のシミュレーション方法と結果

シミュレーション条件に関しては以下の通りとした。

- ・駆動周波数 40kHz
- ・ 段つき円形振動板の振動は凸凹部共にピス トン振動
- ・周りは空気
- ・シミュレーション範囲は Fig.10-(A) の音場
 中心軸断面で 0.1 × 0.1m



シミュレーション結果を Fig.11 に示す。



Fig. 11 The sound pressur distribution of sound source(C). Absolute value used.

また、段つき円形振動板の振動に近づけるため Fig.12 より境界条件を変えてシミュレーションを行った。



Fig. 12 Boundary Conditions of sound source (C).



Fig. 13 The sound pressur distribution of sound source(C).(after improvement)

Fig.13 の結果は Fig.11 の結果に比べ中心の音 圧が強くなり、サイドローブも少なくなった。

5 各音源のシミュレーション結果と実測値

Fig.14 はスピーカ7 個使用した音源のシミュ レーション結果(左)と実測値の結果(右)を示す。 シミュレーションと実測値を比較すると類似した 音圧分布になっておりメインローブ、サイドロー ブ共に強いビームになっていることがわかった。



Fig. 14 A comparison of ultrasonic field by soundsource(A).

Fig.15 はスピーカ 14 個使用した音源のシミュ レーション結果(左)と実測値の結果(右)を示す。 シミュレーションと実測値を比較すると近い音圧 分布になっておりメインローブの音圧が強くビー ム状になっていることがわかった。



Fig. 15 A comparison of ultrasonic field by soundsource(B).

Fig.16 に段つき円形振動板音源のシミュレー

ション結果 (左) と実測値の結果 (右) を示す。

Calculated Measured

Fig. 16 A comparison of ultrasonic field by soundsource(C).

境界設定で凸凹部共にピストン振動とした場 合、サイドローブが実測値よりも多くなってい た。また、段つき円形振動板の振幅分布を考慮し たシミュレーションでは Fig.17 より実測値に非 常に類似した音圧分布となりメインローブの音 圧が強くビームも鋭いことがわかった。



Fig. 17 A comparison of ultrasonic field by soundsource(C).(after improvement)

6 おわりに

今回、COMSOL Multiphysics を使ったシミュ レーション結果と実測値によりセラミックスピー カと段つき円形振動板による超音波音場の比較 を行った。まず、セラミックスピーカを7個使用 した音源はビーム状になっているが音源から離 れるとメインローブとサイドローブの区切りが はっきりし、サイドローブの音圧も強いことがわ かった。それに対してセラミックスピーカを14 個使用した音源は、超音波が広範囲に広がって おりサイドローブの音圧が弱く、メインローブ の音圧が強いビーム状の音圧分布になっている ことがわかった。次に段つき円形振動板音源は、 メインローブの音圧が強く、セラミックスピーカ 7個使用したときよりもサイドローブの音圧が 弱く、ビーム状の音圧分布になっていることがわ かった。

今回使用したセラミックスピーカは、パラメ トリック音源のスピーカとして使用されるので、 今後は変調をかけて使用した時の音圧分布につ いて検討する予定である。

参考文献

- [1] 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の試み,音響論(秋),2-Q-12,1419-1420,2008.
- [2] 根岸、大塚、中根、40kHz系段つき円形振動板音 源の最適化について、音響論(春)、2-2-11,1217-1218,2009.
- [3] 根岸,大塚,中根,段つき円形振動板による可
 聴音発生の試み-セラミックスピーカと比較-,
 音響論(秋),2-8-8,1195-1196,2009.
- [4] COMSOL Multiphysics Model Library