

頭部伝達関数計測に用いる動電型スピーカの放射特性*

☆今井悠貴, 森川大輔, 平原達也 (富山県立大学 工学部)

1 はじめに

相反法による頭部伝達関数 (Head-related Transfer Function: HRTF) の計測には外耳道に挿入できる超小型スピーカが必要である^[1]。しかし、外耳道に挿入できるスピーカは少なく、これまでの計測システムでは電磁型の超小型スピーカユニットが使用されてきた^[1,2]。この電磁型の超小型スピーカは、開いた空間に音を放射するときには、低域での出力音圧が低く、高域で指向性が強く出る、などの問題点があった。

本報告では、動電型の超小型スピーカの物理特性を明らかにし、それらが相反法による HRTF 計測で使用できるかどうかを検証する。

2 超小型動電型スピーカユニット

挿入型イヤホンの多くは電磁型 (Balanced Armature 型) のスピーカユニットを使用しているが、HA-FXC51 (Victor) や HS-930i (CREATIVE) などには超小型の動電型スピーカユニットが用いられている。Fig. 1 にそれらの外観を示すが、いずれのスピーカユニットも外耳道に挿入できるサイズである。

そこで、この二つのイヤホンに用いられている動電型の超小型スピーカユニット (それぞれを A と S と呼ぶ) をラウドスピーカとして使用したときのインピーダンス特性、周波数特性、高調波歪み特性、水平面放射特性を計測した。

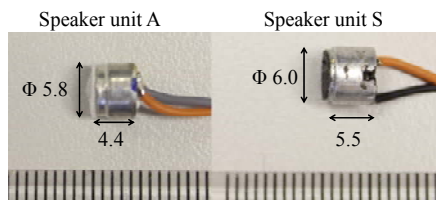


Fig. 1 二種の超小型スピーカユニットの外観

3 計測システム

スピーカユニットの駆動信号は、オーディオ・アナライザ (Brüel & Kjær, 3560) の出力

電圧を、ヘッドホンアンプ (audio-technica, AT-HA20) で電力増幅したものである。スピーカユニットの放射音圧は、0.2 m の距離に置いたマイクロホン (Brüel & Kjær, 4189) とオーディオ・アナライザで計測した。測定室の A 特性暗騒音レベルは 16 dB である。

インピーダンス特性は、スピーカユニットへ印加される電圧と電流を計測して求めた。

周波数特性は、100 Hz から 20 kHz まで正弦波を 1/12 oct. ステップで出力し、それらの出力音圧を計測して求めた。スピーカユニットへの入力電圧は 5.1 dBV (1.8 V) とした。

高調波歪み特性は、スピーカユニットへの入力電圧を変えて 1 kHz 正弦波の放射音のスペクトルを計測し、基本波と 2~5 次高調波の音圧レベルを算出して求めた。

水平面指向性は、スピーカユニットを中心とする半径 0.2 m の円周上の 12 点 (30 度間隔) で周波数特性を計測することによって求めた。

4 結果

4.1 インピーダンス特性

いずれのスピーカユニットもインピーダンスは平坦で、1 kHz では約 15 Ω であった。

4.2 周波数特性

スピーカユニット A と S の周波数特性を Fig. 2 に示す。同図に示されるように、スピー

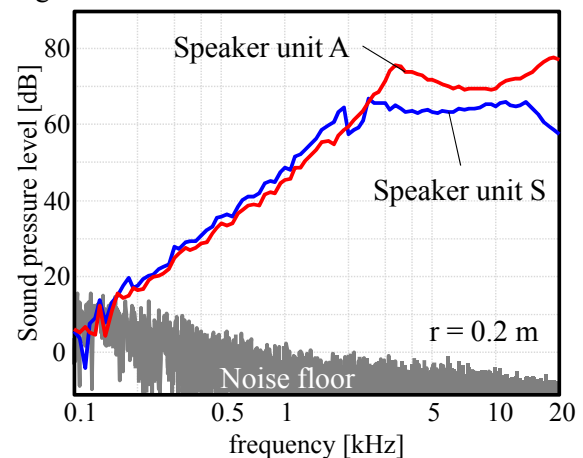


Fig. 2 二種の超小型スピーカユニットの周波数特性

* Physical characteristics of ultra-small dynamic speaker units for reciprocal head-related transfer function measurement, by IMAI Yuki, MORIKAWA Daisuke and HIRAHARA Tatsuya (Toyama Prefectural University).

一カユニット A の最低共振周波数 F_0 は 3.8 kHz で音圧レベルは 76 dB、スピーカユニット S の F_0 は 2.5 kHz で音圧レベルは 67 dB であった。同図の灰色部分は、HRTF 計測系のノイズフロアレベルを音圧レベルに換算したもので、両スピーカユニットともに 160 Hz 以上の帯域で S/N が 0 dB 以上となる。

4.3 歪み特性

Fig. 3 に両スピーカユニットの 1 kHz における入力電圧対出力音圧レベル（青）及び 2 次（緑）、3 次（赤）、4 次（橙）、5 次（紫）の高調波歪み音圧レベルを示す。

スピーカユニット A は 5.1 dBV (1.8 V) の入力電圧で基本波成分の音圧レベルは 46.5 dB となり、高調波成分の音圧レベルはそれよりも 7.9 dB 低かった。スピーカユニット S は 5.1 dBV の入力電圧で基本波成分の音圧レベルは 49.3 dB となり、高調波成分の音圧レベルはそれよりも 17.7 dB 低かった。

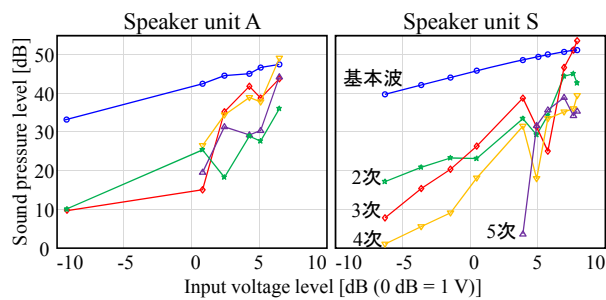


Fig. 3 入力電圧 対 出力音圧レベル/高調波歪特性

4.4 指向特性

Fig. 4 に両スピーカユニットの水平面指向性を示す。なお、スピーカユニット A の入力電圧は -6 dBV (0.5 V)、スピーカユニット S の入力電圧は 0 dBV (1.0 V) とした。同図に示されるように、両スピーカユニットともほぼ無指向性であった。

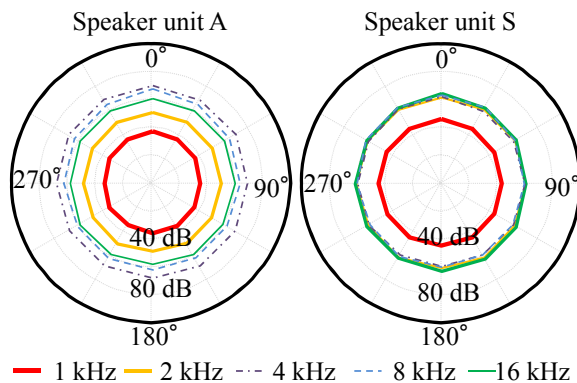


Fig. 4 水平面放射特性

5 考察

動電型の超小型スピーカユニット A と S は、電磁型の超小型スピーカユニットよりも、出力音圧が高く、S/N が 0 dB 以上となる帯域も広く、高調波歪みレベルも低い。さらに、電磁型の超小型スピーカのような方位によって変化する高域のディップ周波数も無く、水平面指向性も無指向性である。

したがって、これらの動電型の超小型スピーカユニットを相反法による HRTF 計測システムの耳栓スピーカとして使用すれば、160 Hz から 20 kHz の帯域で 0.2 m の近接場での HRTF を測ることができる。

また、スピーカとマイクロホン間距離が 1.0 m のとき、受音点の出力音圧レベルは 0.2 m よりも 14 dB 下がる。距離 1.0 m で S/N が 0 dB 以上になる周波数範囲を Fig. 2 から推定すると、数 100 Hz から 20 kHz となる。500 Hz 以下での HRTF の振幅スペクトルはほぼ 0 dB であることを考慮すると、これらの動電型の超小型スピーカユニットは、相反法による HRTF 計測システムの耳栓スピーカとして十分に利用できる。

この動電型の超小型スピーカユニットを耳栓スピーカとして用いた場合に、外耳道の奥でどの程度の音圧が生じているかを確認し、TSP 信号の入力電圧を決定することは、今後の課題である。

6 結論

二種類の動電型の超小型スピーカユニットの周波数特性、高調波歪み特性、指向性を計測した結果、それらは、電磁型の超小型スピーカよりも広い周波数帯域で、HRTF 計測用の耳栓スピーカとして利用できることが分かった。

参考文献

- [1] D. N. Zotkin, *et al.*, “Fast head-related transfer function measurement via reciprocity,” *J. Acoust. Soc. Am.* 120(4), 2202-2215, 2006.
- [2] 松永悟行, 平原達也, “HRTF 計測用耳栓スピーカの放射特性,” 電気関係学会北陸支部連合大会講演論文集, G-11, 2009.
- [3] 松永悟行, 平原達也, “相反法による頭部伝達関数に用いる耳栓スピーカの音響特性,” 音響学会誌, 67(8), 1-8, 2011.