

超小型動電型スピーカを用いた相反法による頭部伝達関数計測*

☆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

頭部伝達関数 (HRTF: Head-related Transfer Function) は、相反法によって高速に計測できるが、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^[1,2]。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が、それらは低域の出力音圧が低く、高域の指向性が強い、などの問題点があった^[2]。我々は、一部の挿入型イヤホンに使用されている動電型の超小型スピーカユニットが、従来の電磁型の超小型スピーカユニットより広い帯域で HRTF の計測に利用可能であることを明らかにした^[3]。

本報告では、動電型の超小型スピーカユニットを用いて、相反法により HRTF を計測した結果について述べる。

2 方法

2.1 HRTF 計測システム

相反法による HRTF 計測システムを Fig.1 に示す。外耳道に装着した耳栓スピーカから放射した OATSP 信号を、被測定頭の周囲に設置したマイクロホンアレイで同時収録するものである。

耳栓スピーカは、挿入型イヤホン (Creative, HS-930i) に用いられている超小型動電型スピーカユニット^[3]を、シリコン印象材に埋め込んだものである。耳栓スピーカの OATSP 信号の入力電圧は、5.3 dBV (1.85 V) とした。

マイクロホンアレイは、半径 1 m の円周上に 10 度間隔で 36 個のマイク (Primo, EM-133) を高さ 1.1 m に並べたもので、4 mm φ の円状アルミフレームにソケットを用いて設置した。

A/D 変換器と D/A 変換器は DASmini-E2000 (COMEX) を、耳栓スピーカ用の電力増幅器は AT-HA20 (audio-technica) を、マイクプリアンプは MA-BOX (COMEX) を用いた。

直接法による HRTF 計測システムは、耳栓スピーカの代わりに耳栓マイクロホンを挿入し、マイクアレイに代えて一個のラウドスピーカ

(Vifa, MG10SD-0908) を頭部中心から 1 m 離して設置し、被測定頭を 10 度毎に回転させて計測するもので、使用機器は相反法による計測システムと同じである。

これらの音響計測は、暗騒音レベルが 16.5 dB の防音室 (3240 × 3.580 × 2.300 mm) 内で行った。OATSP 信号は、サンプリング周波数 48 kHz、信号長 65,536 点のもので、20 回の加算平均を行い、各マイクロホンの受信信号を得、インパルス応答を算出した。

また、プローブマイクを用いて耳栓スピーカから OATSP 信号を放射した際の、鼓膜付近の音圧レベルも測定した。

2.2 信号処理方法

算出したインパルス応答には、室内の反射波が重畳している。これを除去するために、各インパルス応答波形から立下り部分を余弦関数とした 140 点 (約 3 ms) の矩形窓で切り出した信号波形を、インパルス応答とした。

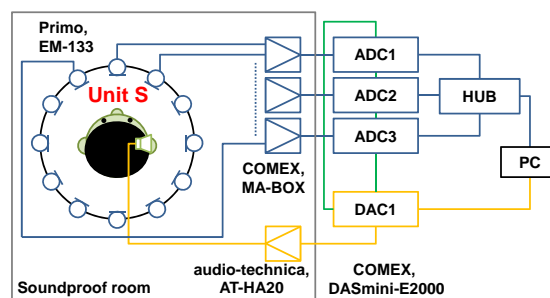
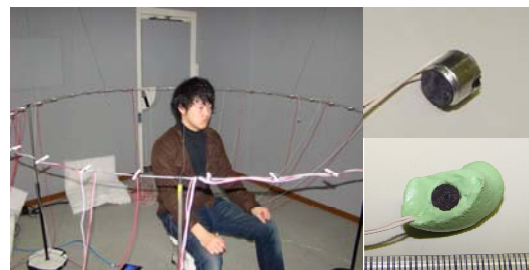


Fig. 1: 相反法による HRTF 計測システム

3 結果

実頭に耳栓スピーカを装着し、5.3 dBV の OATSP 信号を印加したときの鼓膜付近の音圧レベルは最大 90 dB であった。

* Head-related transfer function measurements with reciprocal method using an ultra-small dynamic speaker, by IMAI, Yuki, MORIKAWA, Daisuke and HIRAHARA, Tatsuya (Toyama Prefectural Univ.).

Fig.2は、直接法と相反法で計測した真正面(0°)の音源位置に対するダミーヘッド左耳のHRTFの振幅スペクトルである。直接法と相反法で測ったHRTFの振幅スペクトルはほぼ一致しており、その平均スペクトル距離は3.6 dBであった。水平面全周の平均スペクトル距離も3.6 dBであった。

Fig.3は相反法で測った実頭左耳のHRTFのコンター図である。電磁型超小型スピーカユニットを用いた場合のような高域でのHRTF振幅スペクトルの乱れはなく、問題なくHRTFの計測ができた。

4 考察

相反法による計測時の外耳道内音圧レベルは、イヤホンで音楽を大音量で聴く場合に比べて低く、持続時間も短く、問題は無い。

電磁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ると、計測したHRTFの16 kHzにカラーレーションが生じたり、14 kHz以上の帯域で差異が見られるなどの問題があった^[4]。一方、動電型の超小型スピーカユニットを用いると、そのような問題はなく、0.5~20 kHzのHRTFが特段の問題なく計測できた。これは、動電型の超小型スピーカユニットが、全体域で指向性が無く、出力音圧レベルも高く、低歪みだからである^[3]。

しかし、0.5 kHz以下の低域では、測定系のノイズフロアに対する受信したOATSP信号のSN比が20 dB以下となり、正しいインパルス応答を得られなかった。これに対しては、金田らが提案する全帯域でSN比を一定とするインパルス応答測定法^[5]を利用することによって解決できる可能性がある。また、HRTFは原理的に、波長が長い低域ではその振幅スペクトルは0 dBであり、数百 Hz以下の帯域は正確に計測できなくても支障がない。

HRTFを高速計測するもう一つの手法として、多方向から同時に放射した信号から信号処理によってHRTFを同時推定する方法がある^[6]。この方法は直接法と同様に、被測定頭の周囲にラウドスピーカを並べる必要があるため近接場のHRTFは計測が困難である。これに対し相反法は、遠距離場は計測が困難であるが、近距離場ほど測定条件が有利になる。

5 まとめ

超小型動電型スピーカユニットを耳栓スピーカとして用い、相反法によりダミーヘッド及び実頭の水平面のHRTFを計測した。その結果、実頭の水平面10度間隔のHRTFを約30秒で計測することができた。

一カとして用い、相反法によりダミーヘッド及び実頭の水平面のHRTFを計測した。その結果、実頭の水平面10度間隔のHRTFを約30秒で計測することができた。

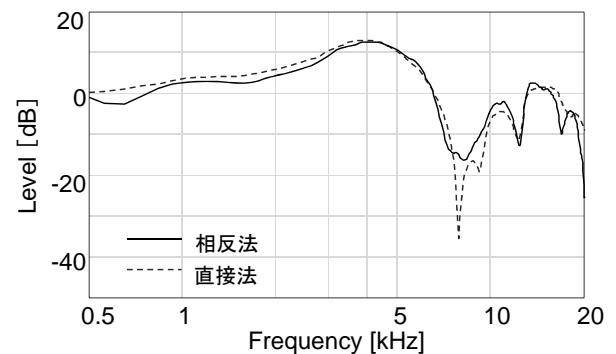


Fig. 2: 直接法と相反法で測定したダミーヘッドの真正面のHRTF振幅スペクトルの比較

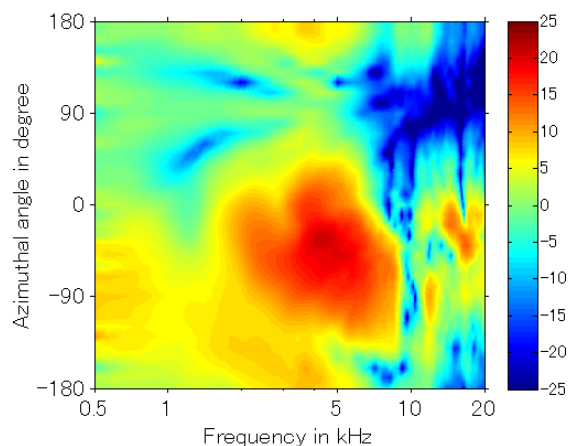


Fig. 3: 相反法で測定した実頭左耳のHRTF

謝辞

本研究の一部は科研費(22300061)の助成を受けた。

参考文献

- [1] Zotkin D.N. *et al*, Fast head-related transfer function measurement via reciprocity, *J.Acoust. Soc. Am.*, 120(4), 2202-2215, 2006.
- [2] 松永, 平原, “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,” *音響誌*, 67(8), 331-338, 2011.
- [3] 今井, 森川, 平原, “相反法による頭部伝達関数計測に用いる超小型動電型スピーカユニットの物理特性,” *信学技報*, EA2011-79, pp.67-72, 2011.
- [4] 松永, 平原, “相反法によるHRTF計測の問題点,” *信学技報*, EA2009-74, 107-112, 2009.
- [5] 落合, 金田, “全帯域でSN比を一定とするインパルス応答測定信号(CSN-TSP)の実環境における有効性の検討,” *音講論*, 621-622, 2010.09.
- [6] 徳住 他, “予測誤差法による頭部伝達関数の多方向同時推定,” *信学技報*, EA2011-59, 55-60, 2011.