

## 相反法による頭部伝達関数計測

G-10

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

音源と耳との間の音響伝達関数である頭部伝達関数(Head-related Transfer Function: HRTF)は相反法を用いて、高速に計測できる。相反法とは、外耳道に挿入した耳栓スピーカから信号音を放射し、頭部の周囲に置いた多数のマイクロホンでその信号音を收音し、耳から各マイクロホンまでの音響インパルス応答を同時計測する方法である[1, 2]。本報告では、耳栓スピーカとして超小型動電型スピーカを用いて相反法で計測した HRTF を、従来の直接法で計測した HRTF と比較した結果について述べる。

## 2. HRTF 計測システム

相反法による HRTF は、富山県立大の防音室内で計測した。使用した耳栓スピーカは、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をシリコン印象材に埋め込んだものである[3]。マイクロホンアレイは、半径 1 m の水平面円周上に 10 度間隔で 36 個のマイク(Primo, EM-133)を高さ 1.1 m に並べたものである。A/D・D/A 変換器は DASmini-E2000(COMEX)で、Fs = 48 kHz、16 bit とした。そして、65,536 点(約 1.4 s)の時間引き伸ばしパルス(TSP)信号を耳栓スピーカから 20 回放射して加算平均を行い、水平面 36 箇所の HRTF を同時計測した。

直接法による HRTF は、東北大通研の無響室内で計測した。使用した耳栓マイクは、小型エレクトレット・コンデンサ・マイクロホン (Panasonic, WM-62PC)をシリコン印象材に埋め込んだものである。スピーカアレイは、半径 1.5 m の円周上に 10 度間隔で水平面に 36 個、正中面に 18 個のラウドスピーカ(FOSTEX, FF83E)を並べたものである。A/D・D/A 変換器は 24 I/O(MOTU)で、Fs = 48 kHz、16 bit とした。そして、8192 点(約 0.2 秒)の TSP 信号を正中面の 18 個のスピーカから順に 4 回放射して加算平均し、スピーカアレイを 5 度ずつ回転させて 1260 箇所の HRTF を計測した。

## 3. 結果と考察

図 1 に、相反法と直接法で計測した水平面の HRTF スペクトルのコンター図を示す。同図に示されるように、方位に応じた HRTF スペクトルのピークとノッチの周波数は両者で一致している。また、両者の水平面全周の平均スペクトル距離は 4.5 dB で、十分に小さかった。

なお、低域では、超小型スピーカの出力音圧レ

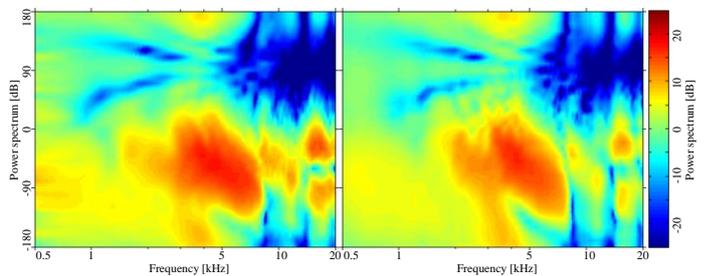
ベルが低く、かつ、防音室の暗騒音レベルが高いために、TSP 信号の SN 比が 20 dB 以下となる。そのため、500 Hz 以下の帯域では、相反法で HRTF を正しく計測できなかった。しかし、頭部の寸法に比較して波長が長い低域では HRTF の振幅スペクトルは原理的に 0 dB であり、数百 Hz 以下の帯域は正確に計測できなくても、得られた HRTF を利用する上では支障がない。

相反法での HRTF 計測に要した時間は約 1 分で、被験者は計測中に頭部を同じ位置に保持できた。一方、直接法での HRTF 計測に要した時間は 45 分で、被験者は計測中に頭部を同じ位置に保持できなかった。

今回、相反法では 36 箇所にはマイクアレイを設置しなかったが、その数を増やしても設置位置を変更しても、HRTF の同時計測ができる。つまり、相反法は HRTF の計測箇所に関する自由度が高い。また、回転スピーカアレイといった大型の計測設備も不要である。さらに、直接法の 8 倍の長さの TSP 信号と 5 倍の加算平均回数を用いても、高々 1 分で HRTF の計測が完了するために、被験者が計測中に頭部姿勢を静止することもできる。

## 4. まとめ

耳栓スピーカとして超小型動電型スピーカを用いた相反法により HRTF を高速に計測できることを確認した。この相反法を用いれば多点の HRTF を高速に計測できるので、頭部を横に向けた場合など、これまで時間の制約で計測が困難な条件の HRTF も容易に計測できる。



(a) 相反法

(b) 直接法

図 1 実頭左耳の HRTF のコンター図の一例

謝辞：東北大学電気通信研究所での HRTF 計測をご支援いただいた鈴木陽一教授に感謝する。

## 参考文献

- [1] Zotkin, *et al*, *JASA* 120(4), 2202-2215, 2006.
- [2] Matsunaga, *et al*, *Acoust. Sci. & Tech.* 31, 414-416, 2010.
- [3] 今井 他, 信学技報, EA2011-79, 67-72, 2011.