

## 1. はじめに

相反法による頭部伝達関数（HRTF: Head-related transfer function）の測定とは、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。相反法を利用すれば、マイクロホンが小さいので、直接法では計測できない頭部近接場の HRTF も計測できる[1]。

本報告では、頭表から 5 cm から 105 cm 間の放射線上の HRTF を相反法で測定し、その HRTF を用いて合成した頭部中心に向かって接近・遠離するバイノーラル音の音像の聴こえについて述べる。

## 2. 相反法による距離方向の HRTF の計測

相反法による HRTF は、富山県立大の防音室内で測定した。耳栓スピーカには、超小型動電型スピーカをシリコーン印象材に埋め込んだものを用いた。マイクロホンアレイは、長さ 1 m の 6 mmφ 銅パイプに 6 mmφ の小型エレクトレット・コンデンサ・マイクロホン（Primo, EM-158）を 10 cm 間隔で 10 個とりつけたものを用いた（図 1）。頭表に最も近いマイクロホンまでの距離を 5 cm とし、頭部を挟むように、0°-180°, 45°-225°, 90°-270°, 135°-315° 方向水平面に二組ずつマイクロホンアレイを設置した。

48 kHz/16 bit の A/D・D/A 変換器（COMEX, DAS mini-E2000）を用い、耳栓スピーカから 65,536 点（約 1.4 s）の時間引き伸ばしパルス信号を 20 回放射し、マイクロホンアレイ上 20 箇所 HRTF を同時計測した。そして、5 名の被験者について、45° 毎の 8 方向の合計 80 箇所の HRTF を得た。

## 3. バイノーラル音の合成と呈示方法

10 cm 間隔で測定した HRTF から 1 cm 間隔で補間した 512 点の頭部インパルス応答（HRIR: Head-related impulse response）波形を算出した。白色雑音信号にこれらの HRIR を畳みこむことにより、0.4 m/s で遠方から頭部近傍に近づき、再び遠ざかる各方向のバイノーラル音を合成した。

合成したバイノーラル音は、密閉型ヘッドホン（Sennheiser, HDA200）、および開放型ヘッドホン（Sennheiser, RS220）で受聴者に呈示した。呈示音圧レベルは 0.05 m の距離で 90 dB とした。受聴者は健聴な 20 歳台男性 5 名で、呈示された刺激音がどのように移動して聴こえたかを、口頭と指差して回答させた。

## 4. 合成した接近・遠離音の聴こえ

0°方向の刺激音は距離感が小さく、頭内に定位する場

合が多かった。45° と 315° 方向の刺激音は、図 2 に示すように、こめかみ辺りで音像が耳元方向に移動した。この現象は、音を出しながらスピーカを移動した接近・遠離音を実耳受聴した場合でも起きた。その他の方向の刺激音は各方向で直線的に接近・遠離移動した。中でも、90°と 270°方向の刺激音は、最も音像の移動が明瞭であった。また、2 種類のヘッドホンを比べると、開放型の RS220 を用いた方が、密閉型の HDA200 よりも遠方の音像の距離感が大きかった。

## 5. まとめ

相反法で測定した距離方向の HRTF を用いて頭部中心に向かって接近・遠離するバイノーラル音を合成し、それらがスピーカを移動した接近・遠離音を実耳受聴した場合と同じように聴こえることを確認した。すなわち、相反法で測定した HRTF を用いて、正面方向以外の接近・遠離音を合成できる。なお、45°と 315°方向の頭表近傍で変則的な音像の動きが生じる原因は不明であり、その解明は今後の課題である。

謝辞：本研究の一部は科研費（25330203）による。

### 参考文献

[1] 今井悠貴 他, “相反法による頭部伝達関数の測定,” 信学技報 EA 112(226), 43-48, 2012.

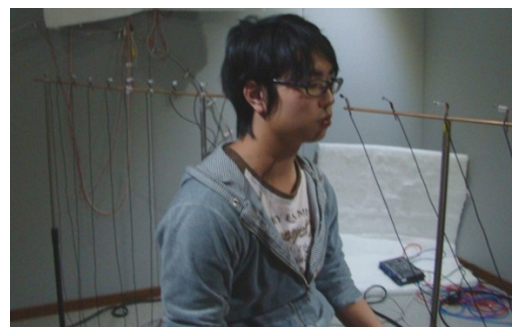


図 1 相反法による HRTF の測定の様子

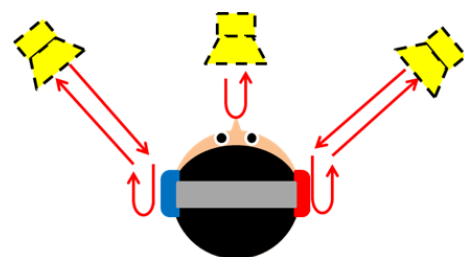


図 2 接近・遠離音像の移動の模式図