

## 動的バイノーラル信号の音像定位における イヤホンの実耳応答補正の効果\*

○ 平原達也, 青山裕樹 (富山県立大・工), 大谷真 (東北大・通研)

### 1 はじめに

音源信号に頭部伝達関数 (HRTF: Head Related Transfer Function) を畳み込んで生成されるバイノーラル信号を、イヤホンを通じて両耳に呈示することにより3次元音像の再生を実現できる。物理的に正しいバイノーラル信号を得るためには、受聴者の正確な HRTF を用いるとともに、イヤホンの入力端子から鼓膜までの伝達特性を補正することが必要である。不適切な HRTF を用いたりイヤホンおよび外耳道の伝達特性を補正しないと、音像が正しい位置に定位しなかったり頭外定位しにくくなると言われている。しかし、受聴者の頭部運動に追従した HRTF を畳み込んだ動的バイノーラル信号をイヤホンを通じて呈示する場合には、イヤホンや外耳道の伝達特性を補正しなくても、3次元音像が再生できる<sup>[1,2]</sup>。

本報告では、動的バイノーラル信号の再生においてイヤホンの周波数特性と外耳道特性の補正がどの程度の効果を持つかを明らかにするために、3種類のイヤホンの実耳応答特性を補正した場合としない場合の音像定位実験を行った結果について述べる。

### 2 実験方法

#### 2-1 実験システム

実験には我々が開発した動的聴覚ディスプレイシステム<sup>[3]</sup>を用いた。このシステムは、頭部に装着した角度センサ(NEC/TOKIN, MDP-A3U9S)が取得する頭部の方位情報に基づいて選択した HRTF を白色雑音に畳み込み、バイノーラル信号を合成する。HRTF は各被験者の実耳で、外耳道を閉鎖して距離 1.2 m で実測したものをを用いた。

実験に用いたイヤホンは、耳覆い型ヘッドホン(Sennheiser, HDA200)、挿入型イヤホン(SONY, MDR-EX90SL)、およびイントラコンカ型イヤホン(Sennheiser, MX500)である<sup>[4]</sup>。イヤホンの実耳応答特性は、プローブマイク(Etymotic Research,

ER7C)のプローブを鼓膜近傍に置いて計測し、その振幅特性から補正用の逆フィルタを作成した。

#### 2-2 実験方法

実験条件は、各イヤホン毎に、イヤホン実耳特性の補償の有り無しと、頭部静止条件と頭部運動条件の組合せた4条件である。

水平面定位実験では、水平面を 12 等分した 30 度毎の水平角を、正中面定位実験では、真正面水平面から真後ろ水平面までの間を 6 等分した 30 度毎の 7 つの仰角を呈示位置とした。

正中面の定位実験においても、頭部運動条件では、頭部を水平に回転運動させた。これは、予備実験を行った結果、仰角方向に頭部運動させた場合より定位正解率が高かったためである。

刺激音は白色ガウス雑音に HRTF を畳みこんだもので、持続時間は 3 秒、刺激間隔は 5 秒とした。刺激音圧は正面方向で 80 dB SPL とした。1 セッションの実験では各方向から 5 回ずつランダムな順序で刺激音を呈示した。また、セッション毎にランダムな順序は変えた。各被験者は、各実験条件について、それぞれ 4 セッションの実験を行った。被験者には呈示された刺激音の音像の水平角あるいは仰角を頭内定位か頭外定位かを区別して、回答用紙に 30 度毎に強制選択させた。

頭部静止条件では、頭部運動とバイノーラル信号を同期させず、なるべく頭部を動かさぬように指示した。頭部運動条件では、自由な頭部運動を許した。被験者は成人男性 4 名である。

### 3 実験結果

HDA200 を用いた場合の水平面および正中面音像定位実験結果の一例を Fig.1 に示す。同図に描かれた円の面積は回答数に比例し、赤色は頭外定位した回答数を、青は頭内定位した回答数を表す。水平面、正中面いずれも、頭部運動条件の方が頭部静止条件よりも音像は頭外に正しく定位している。一方、頭部静止条件におけるイヤホン実耳特性の補正は、水平面の前

\* Effects of actual-ear earphone response compensation on sound localization of dynamic binaural signal, by HIRAHARA Tatsuya, AOYAMA Hiroki (Toyama Prefectural University), OTANI Makoto (RIEC, Tohoku University).

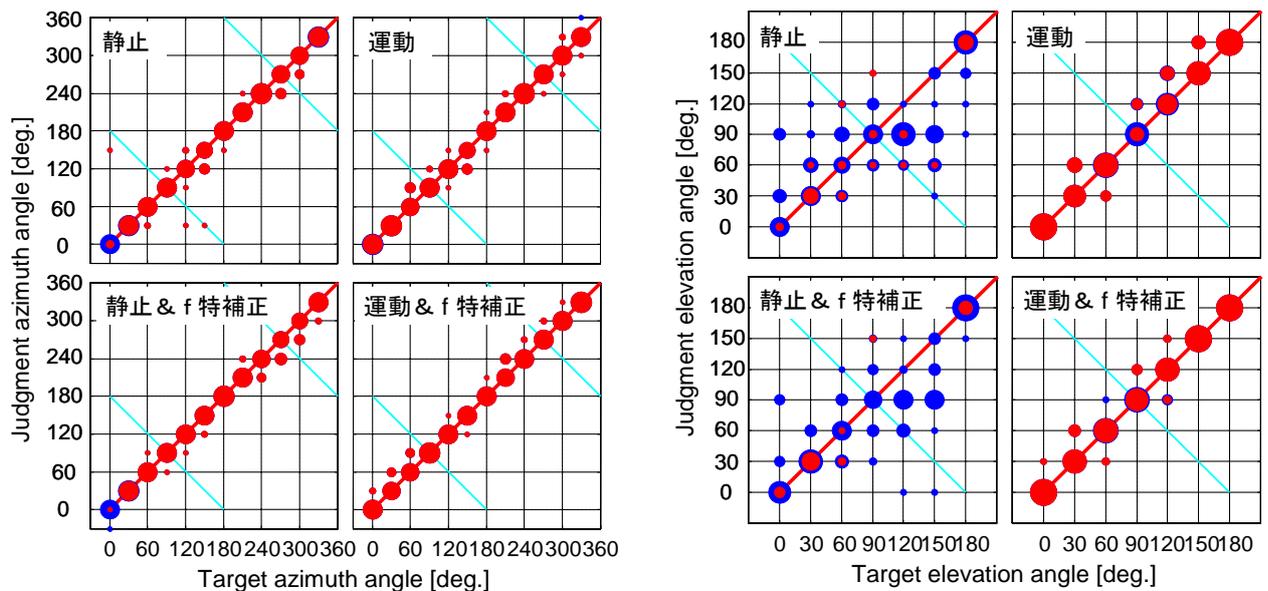


Fig.1: HDA200 を用いた場合の水平面（左図）と正中面（右図）音像定位実験結果の一例

後誤りを減らす。正中面では改善効果は小さい。頭部運動条件におけるイヤホン実耳特性の補正は、水平面では効果が無いが、正中面では定位正解率と頭外定位率を著しく向上させる。

各イヤホンについて頭部運動とイヤホン実耳特性の補正が音像の定位正解率と頭外定位率に寄与する割合を全被験者でまとめたものを Fig.2 に示す。水色の部分は頭部静止条件でイヤホン実耳特性を補正しない条件での値で、桃色の部分がそれぞれの条件で向上あるいは劣化した割合である。イヤホンの種類にかかわらず、頭部運動とイヤホン実耳特性の補正の効果は上述した HDA200 と同じ傾向であった。

#### 4 まとめ

水平面定位では、イヤホンの実耳特性補正は、頭部運動と同様に定位正解率を僅かに向上させるが、頭外定位率の改善効果は頭部運動より小さい。一方、正中面定位では、定位正解率と頭外定位率のいずれにおいても、イヤホンの実耳特性補正の効果は頭部運動よりはるかに小さい。すなわち、動的バイノーラル信号の音像定位におけるイヤホンの実耳特性補正の効果は大きくない。

本研究の一部は科学研究費補助金 (18300042) による。

#### 参考文献

[1] 青山裕樹 他, “イヤホン呈示刺激による音像定位,” 音講論, 515-516, 2007.09.  
 [2] 戸嶋巖樹 他, “頭部運動を再現する改良型ダイマーヘッドシステム—テレヘッド II—” 日本音響学会誌 62(3), 244-254, 2006.

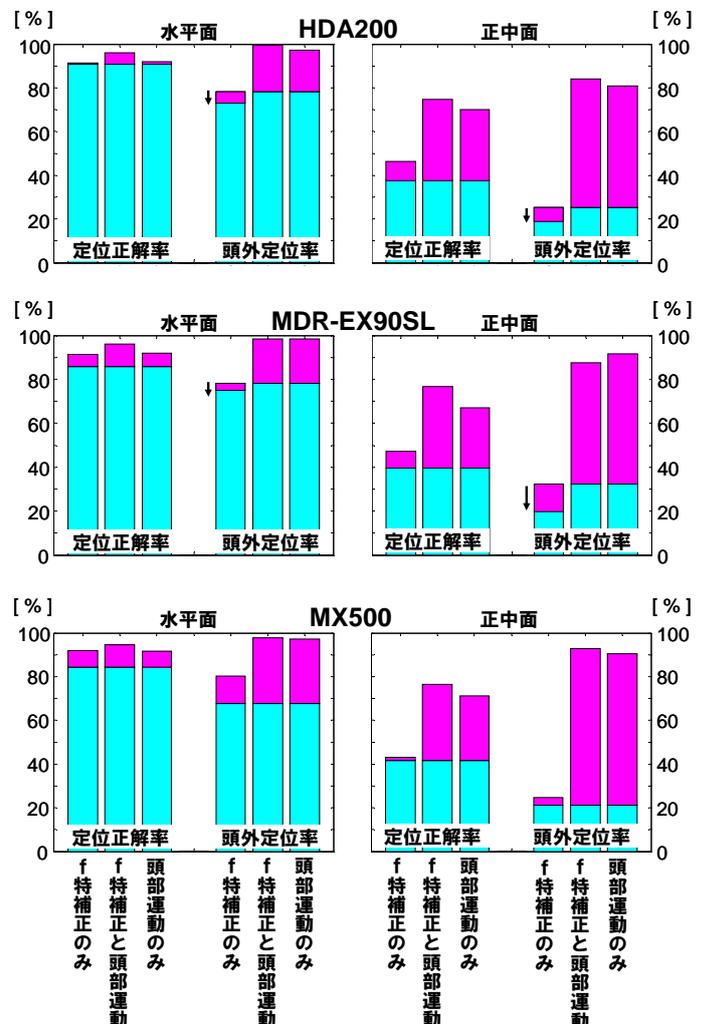


Fig.2: 各条件における定位正解率と頭外定位率

[3] 大谷真 他, “Windows 上で動作する動的聴覚ディスプレイ,” 音講論, 711-712, 2007.03.  
 [4] 青山裕樹 他, “聴覚実験用イヤホンの諸特性,” 信学技報 SP2007-28, 25-30, 2007.