

イヤホン呈示刺激による音像定位*

◎青山裕樹, 大谷真, 平原達也 (富山県立大学・工学部)

1 はじめに

これまでバイノーラル信号の再生にはヘッドホンが用いられてきており、バイノーラル再生に適したヘッドホンに必要な条件なども明らかにされている^[1]。

一方、ポータブルオーディオプレーヤーの普及に伴ってさまざまなイヤホンが市場を賑わせているが、これらのイヤホンを用いた場合のバイノーラル信号の再生の適否については報告が少ない^{[2],[3]}。

そこで本報告では、イヤホンのバイノーラル信号の再生性能を明らかにすることを目的として、HRTFを畳み込んで作成した合成バイノーラル信号に対する音像定位実験結果について述べる。

2 実験方法

2.1 比較対象のイヤホン

実験で用いたイヤホンは、挿入型イヤホン(MDR-EX90SL)と2種類のイントラコンカ型イヤホン(MX500、DNC2007)である^{[4],[5]}。また、音像定位実験でよく用いられる密閉型ヘッドホン(HDA200)も比較のため用いた。

2.2 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^[6]を用いた。このシステムはPC(WindowsXP)上で動作し、USBオーディオデバイス(Roland UA-101)、角度センサ(NEC/TOKIN MDP-A3U9S)、イヤホンにより構成される。頭部に装着した角度センサ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は被験者の実頭について水平面で10度毎に計測し、1度毎に線形補間したものである。頭部運動が音響信号に反映されるまでの遅延は50-60msである。

2.3 実験方法

実験条件は各イヤホン毎に頭部静止条件と頭部運動条件の2条件とした。頭部静止条件で

は、水平面を12等分した30度毎の方向を呈示位置とした。頭部運動条件では、被験者が正面を向いたときに水平面を12等分した30度毎の方向を呈示位置とし、被験者の頭部運動によって刺激音の相対的な呈示位置を連続的に変化させた。

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を変えた。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。被験者は呈示された刺激音を聴き、音像の方位を頭内定位か頭外定位かを区別して、回答用紙に30度毎に記入した。

頭部静止条件では、なるべく頭部を動かさないように指示した。一方、頭部運動条件では、自由に頭部を動かすことを許した。

被験者は成人男性2名である。HRTFは各被験者の実耳で、外耳道を閉鎖した状態で、1.2 mの距離で実測したものである。

3 結果

Fig.1に音像定位実験結果を示す。各図とも左図は頭部静止条件(still)、右図は頭部運動条件(move)の結果である。横軸は刺激音の呈示角度、縦軸は被験者の回答角度で、0度が正面である。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。Table 1は、各イヤホンの実験結果について、定位正解率(方位を正しく回答した率)、頭外定位率(頭外に音像が定位すると回答した率)、頭外定位正解率(頭外音像定位し、かつ方位を正しく回答した率)をまとめたものである。

・MDR-EX-90SL: 頭部静止条件では、前方と真後の刺激が頭内定位している。さらに、前後誤りもある。頭部運動条件では、定位正解率は静止条件と大差ないが、前後誤りは無くなり、頭

* Sound localization with insert and intra-concha earphones,
by AOYAMA Hiroki, OTANI Makoto, HIRAHARA Tatsuya (Toyama Prefectural University).

外定位率と頭外定位正解率はいずれも頭部静止条件よりも大幅に向上している。

- ・MX500: 頭部静止条件では、前方と真後の刺激が頭内定位している。前後誤りもある。頭部運動条件では、前後誤りは無くなり、頭外定位率と頭外定位正解率は大幅に向上している。

- ・DNC2007: 頭部静止条件では、前方の刺激が頭内定位している。前後誤りもある。頭部運動条件では、頭外定位率と頭外定位正解率は大幅に向上している。

- ・HDA200: 頭部静止状態では、前方の刺激が頭内定位しており、前後誤りもある。頭部運動条件では前後誤りは無くなり、頭外定位率と頭外定位正解率は大幅に向上している。

被験者の内観報告では、MX500は頭外定位し難く、MDR-EX90SLとHDA200は頭外定位し易かった。また、いずれのイヤホンもHDA200と比べると音像が水平面より上方に定位した。

4 まとめ

頭部運動条件に関わらず、挿入型イヤホン・イントラコンカ型イヤホンともに、HDA200と同程度のバイノーラル信号の再生性能を有することが分かった。Møllerが示したFEC特性を満たさないイヤホンを外耳道の周波数特性を補正せずに用いても、頭部運動を許すことによって、頭外定位率が20%以上向上することが分かった。

参考文献

- [1] H. Møller *et al*, "Transfer Characteristics of Headphones Measured on Human Ears," *J. Audio Eng. Soc.*, **43**(4), 203-217, 1995.
- [2] S. Yano *et al*, "Study on personal difference in the transfer functions of sound localization using stereo earphones," *IEICE Trans. FUNDAMENTALS*, E83-A(5), 2000.
- [3] 村井 他, "イヤホン再生時における頭外定位感と外耳道閉塞効果との関係," *EA2003-82*, 31-36, 2003.
- [4] 平原 他, "聴覚実験に用いるイヤホンの諸特性," *音講論(秋)*, 2-2-1, 2007.
- [5] 青山 他, "聴覚実験用イヤホンの諸特性," *信学技報*, SP2007-28, 25-30, 2007.
- [6] M. Otani, T. Hirahara, "A dynamic virtual auditory display: its design, performance, and problems in HRTF switching," *Proc. Japan-China Joint Conf. of Acoust.*, ss-1-3, 2007.

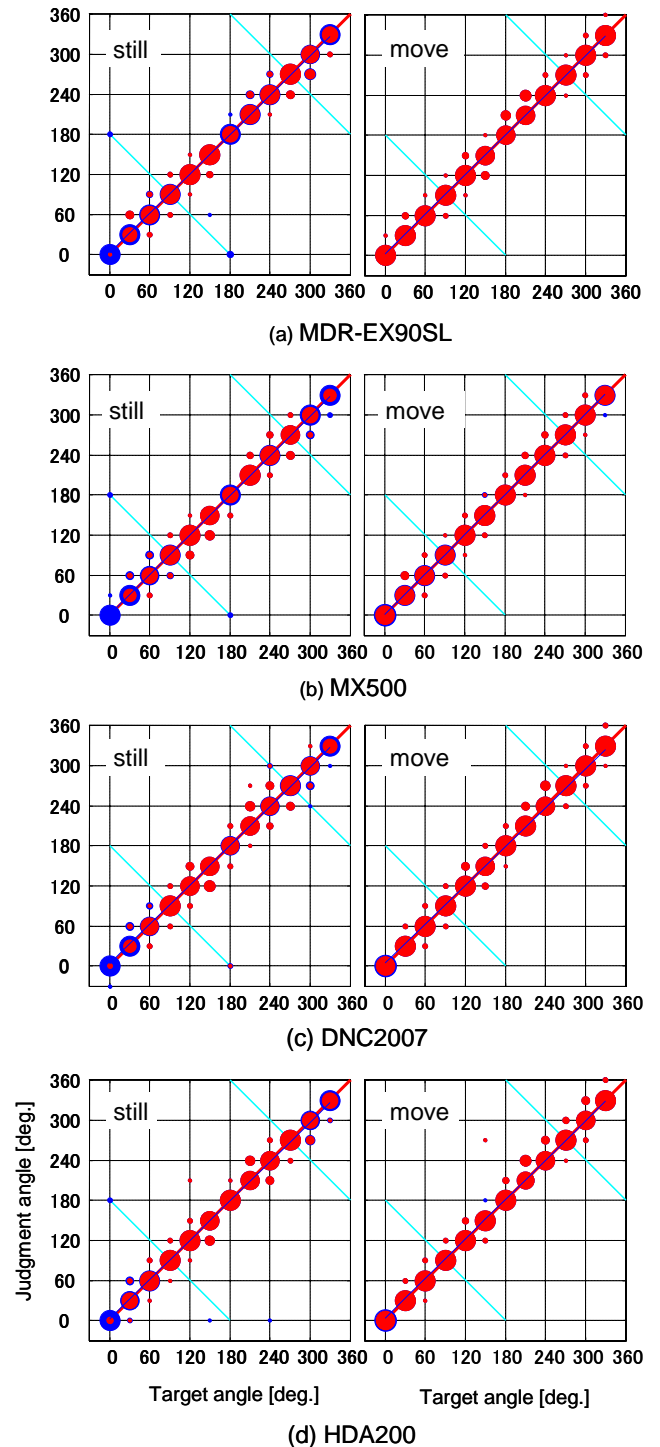


Fig. 1 Sound localization results

Table 1 Comparison of sound localization performance

イヤホン		定位 正解率 [%]	頭外 定位率 [%]	頭外定位 正解率 [%]
MDR-EX90SL	still	87.9	75.2	65.8
	move	89.2	99.8	89.0
MX500	still	85.8	71.0	61.0
	move	91.7	93.1	85.2
DNC2007	still	84.0	76.5	63.1
	move	87.9	97.5	85.8
HDA200	still	86.5	79.8	68.8
	move	88.8	98.3	87.3