

ヘッドホン3D音響再生における外耳道伝達関数補正の効果*

○飯田一博 松田潤一 村瀬敦信(松下通信・MS 研) 森本政之(神戸大・工)

1. はじめに

ヘッドホン受聴では音像の頭内定位や正面方向の音像が水平面から上昇して知覚されることが知られている。

これらの問題を解決するために、われわれは音源信号に HRTF を畳込むだけでなく、ヘッドホン装着による外耳道伝達関数の変化を補正する方式を提案し、頭外の任意の方向に音像を制御できることを示した[1]。

本研究では、ヘッドホン再生において、外耳道伝達関数補正フィルタ(Hc)が音像の頭外定位および上昇角知覚に及ぼす影響を音響心理実験により検証する。

2. 外耳道伝達関数補正フィルタ Hc

音源信号 S を空間 R で放射したときの受聴者の外耳道入口での音圧を P1, 鼓膜での音圧を P2 とする(Fig.1)。ヘッドホンから P1 を再生して、鼓膜での音圧が P2 と等しくなるようにするには、P1 に式(1)で表される Hc を掛けて再生すればよい[1]。

$$Hc = H(EC) / \{HP \times H(EC_HP)\} \\ = HRTF(ED) / \{ HRTF(EEC) \times HP \times H(EC_HP)\} \quad (1)$$

ここで、H(EC) : 外耳道伝達関数, HP : ヘッドホンの伝達関数, H(EC_HP) : ヘッドホンを装着した状態での外耳道伝達関数, HRTF(ED) : 鼓膜での頭部伝達関数, HRTF(EEC) : 外耳道入口における頭部伝達関数。

式(1)を実頭で測定することは一般に困難である。本研究では外耳道伝達関数が忠実にシミュレートされていることと, pinna の形状がヒトのそれに類似であることから KEMAR を用いて求めた[2]。

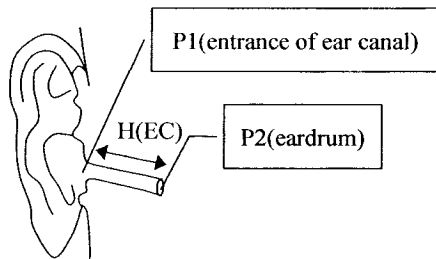


Fig.1 Sketch of the anatomy of external ear

3. Hc の効果検証実験

Hc が音像の頭外定位および上昇角知覚に及ぼす影響を検証するために音響心理実験を行った。

3.1 実験方法

音源信号は広帯域ホワイトノイズ(20~20000Hz)である。HRTF は被験者自身の試聴室内での実測値(フィルタ長: 8192)を用いた。ターゲット方向は、水平面内の5方向($\theta: 0, \pm 30, \pm 120^\circ$)である。刺激は、5方向の HRTF×Hc 処理の有無の合計 10 種類である。被験者には、同じターゲット方向で Hc ありとなしの刺激を対にしてステレオインサイドホン(松下 RP-HJ535)から提示した。刺激対はランダムな順に 10 回提示した。また、各刺激対における前後の順もランダムとした。回答方法は 2 点比較法とマッピング法を併用した。刺激対に対する被験者のタスクは次の 2 つである。まず、1) 2 点比較法でどちらの音像が頭部中心から離れているか、どちらの音像が水平面に近いかを回答し、さらに 2) マッピング法で 2 つの刺激の音像の位置を水平面と矢状面上にプロットした。被験者は成人男性 7 名である。

3.2 実験結果1 - 2点比較法の結果 -

Table 1 に全被験者の 2 点比較法の回答から求めた検定結果を示す。ここでは、Hc ありの刺激が Hc なしに比べて有意に遠方に、あるいは水平面に近く定位したかを検定している。

音像の距離については、Hc ありの刺激は、ターゲット方位角 0° (有意水準 1%), および $\pm 120^\circ$ (有意水準 0.1%) で、Hc なしの刺激よりも遠くに定位されている。しかし、方位角 $\pm 30^\circ$ では有意な差があるとはいえない。

一方、音像の上昇角については、Hc ありの刺激は、全てのターゲット方位角において、Hc なしの

Table 1 Results of statistical tests

Target azimuth (deg.)	Distance (far)	Rising angle (horizontal)
-30	-	**
0	**	**
30	-	***
120	***	***
-120	***	**

***: $p < 0.001$, **: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$

* Effects of compensation of ear canal transfer function on 3-D sound reproduction through headphones.

By K. IIDA, J. MATSUDA, A. MURASE (Multimedia Solution Labs., Matsushita Communication Ind.), and M. MORIMOTO (Fac. of Eng., Kobe Univ.)

刺激よりも水平面に近く定位されている。従来より水平面からの音像の上昇が指摘されている正面方向についても、有意水準 1%で水平面に近く定位されている。

3.3 実験結果2 - マッピング法の結果 -

Fig.2 は、全刺激に対する水平面への回答を被験者ごとに示した一例である。ここで、○は Hc ありの刺激に対する回答、×は Hc なしの刺激に対する回答である。被験者 A の場合、ターゲット方位角が $\pm 30^\circ$ では、Hc なしの場合には頭の表面付近に定位しているが、Hc ありでは頭の表面から約 10cm 程度外側に定位している。 0° の場合は、Hc なしでは頭内に定位しているが、Hc ありでは頭の表面付近に定位している。 $\pm 120^\circ$ の場合は、Hc なしでも頭外(頭を中心から 10-20cm)に定位しているが、Hc を用いることで 35-40cm 程度まで距離が増加している。

被験者 B の場合は、全体的に被験者 A よりも遠くに音像を定位している。ターゲット方位角が $\pm 30^\circ$ の場合は、Hc ありとなしで顕著な差は観察できないが、 0° および $\pm 120^\circ$ の場合は、Hc を用いることで 60cm 程度まで距離が増加している。

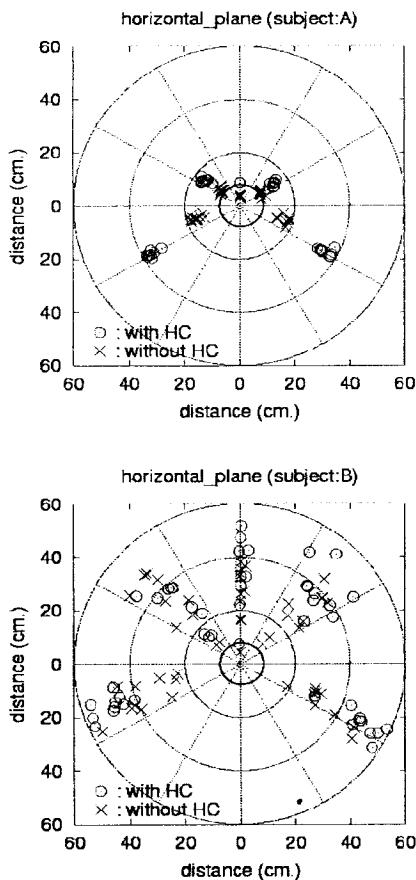


Fig.2 Perceived position of sound images projected on the horizontal plane.
○: Hc included, ×: Hc not included.

Fig.3 は、ターゲット方位角 0° の刺激に対する矢状面(この場合は正中面)への回答を被験者ごとに示した一例である。被験者 A の場合、Hc なしでは 60° 付近に音像が上昇しているが、Hc ありでは水平面上に定位している。被験者 B の場合でも、Hc なしでは $15-30^\circ$ 付近に音像が上昇しているが、Hc ありではほぼ水平面上に定位している。

4. まとめ

外耳道伝達関数補正フィルタ Hc を用いることにより、ヘッドホン再生でも音像が頭外に定位されること、また従来のヘッドホン再生で問題となっていた正面方向の音像の上昇が生じず、水平面上に定位されることを示した。

文献

- [1]飯田他, 音講論, 645-646 (2001.3)
- [2] D. Burkhard and R. M. Sachs, J. Acoust. Soc. Am., 58, 214-222(1975)

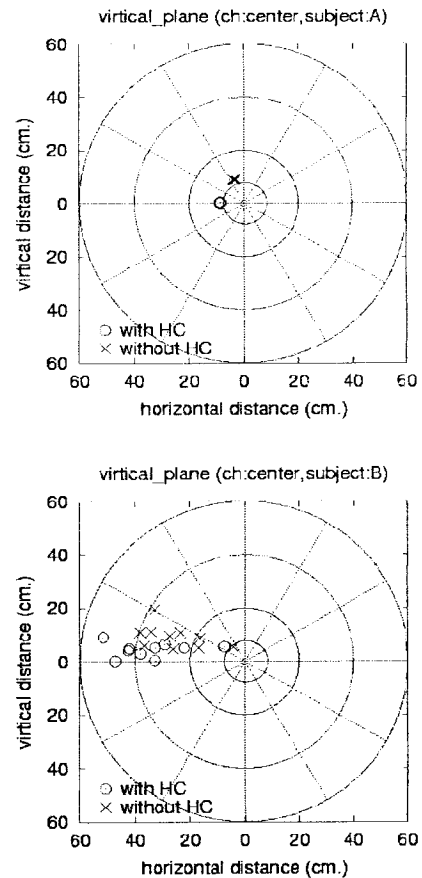


Fig.3 Perceived position of sound images projected on the median plane.
○: Hc included, ×: Hc not included.