

ステレオインサイドホンによる3次元音像定位*

○飯田一博 松田潤一 中村一啓(松下通信・MS 研)
林 英吾 伊藤元邦 森本政之(神戸大・工)

1. はじめに

音源信号に外耳道入口で測定した HRTF を畳込んでヘッドホンやインサイドホンから呈示する 3 次元音像定位方式が盛んに研究されている[1]。しかし、従来の研究は特殊な機能や形状を有するヘッドホンやインサイドホンを必要としていた。

本研究では、通常のステレオインサイドホンをを用いることを前提として、ステレオインサイドホンの挿入による外耳道伝達関数の変化分を予め擬似頭を用いて求め、それをデジタルフィルタで補正することによる、新たな 3 次元音像定位方式を検討する。

2. 音像定位方式

2.1 音像定位の原理

音源信号 S が空間 R で放射されたとき、受聴者の外耳道入口での音圧を $P1$ 、鼓膜での音圧を $P2$ とすると、それぞれ以下の式で表される(Fig.1)。

$$P1 = S \times R \times HRTF(EEC) \quad (1)$$

$$P2 = S \times R \times HRTF(ED) \\ = S \times R \times HRTF(EEC) \times H(EC) \quad (2)$$

ここで、 S : 音源信号, R : 室の伝達関数, $HRTF(ED)$: 鼓膜位置で観測した頭部伝達関数, $HRTF(EEC)$: 外耳道入口で観測した頭部伝達関数, $H(EC)$: 外耳道伝達関数。

ステレオインサイドホンで $P1$ を再生した場合の受聴者の鼓膜での音圧 $P3$ は、

$$P3 = P1 \times SIP \times H(EC_SIP) \quad (3)$$

ここで、 SIP : ステレオインサイドホンの伝達関数, $H(EC_SIP)$: ステレオインサイドホンを装着した状態での外耳道伝達関数。

いま、 $P3$ が $P2$ と等しくなるための補正フィルタを Hc とすると、式(1) - (3)より、 Hc は式(5)のようになる。

$$P2 = P3 \times Hc \quad (4)$$

$$Hc = H(ED) / \{SIP \times H(EEC_SIP)\} \quad (5)$$

したがって、 $P1$ に Hc を掛けてステレオインサ

イドホンから再生すれば、原音場における受聴者の鼓膜位置での音圧が再現できる。

2.2 補正フィルタ Hc の算出方法

Hc を求めるにあたって、受聴者の $H(ED)$ と $H(EEC_SIP)$ を測定することは困難であるので、ダミーヘッドを用いて測定した。本研究では、外耳道伝達関数が比較的忠実にシミュレートされることと、 $pinna$ の形状がヒトのそれに類似であることから $KEMAR$ を用いた[2]。

$H(ED)$ は、式(6)により $HRTF(ED)$ と $HRTF(EEC)$ に分けて求めた。

$$H(ED) = HRTF(ED) / HRTF(EEC) \quad (6)$$

$HRTF(ED)$ は鼓膜位置に設置した $KEMAR$ のマイクロホンを用いて測定した。 $HRTF(EEC)$ は、 $KEMAR$ の外耳道に納まるように作成したハンドメイドの $ear-mic$ を用いて測定した。 $ear-mic$ はオーダーメイド耳孔型補聴器を参考にして被験者毎に外耳道の型を採取し、その逆型にシリコンと直

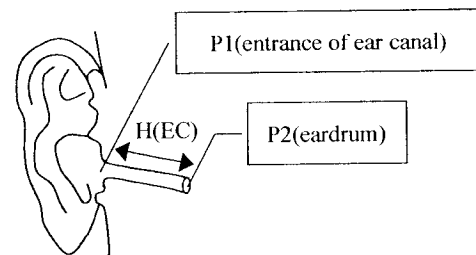


Fig.1 Sketch of the anatomy of external ear

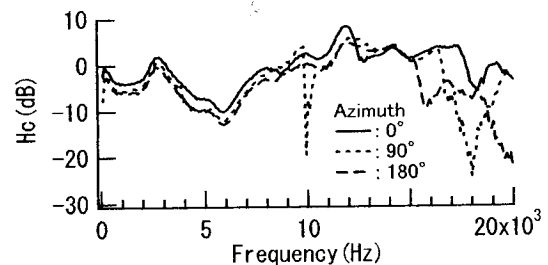


Fig.2 Examples of measured Hc .

* Three-dimensional sound image localization through stereo inside phones.

By K. IIDA, J. MATSUDA, K. NAKAMURA (Multimedia Solution Labs., Matsushita Comm.), E. RIN, M. ITOH, and M. MORIMOTO (Fac. of Eng., Kobe Univ.)

径 5mm の小型コンデンサーマイク (松下 WM-64AT102)を注入して作成したものである[3]. 従来の研究より, H(EC)には方向依存性はほとんどないと考えられるが, 水平面と正中面で HRTF(ED)と HRTF(EEC)を 30° 間隔で測定し, H(EC)を算出した.

H(EC_SIP)は, KEMAR の外耳道入口にステレオインナーホンを挿入して測定用信号(M 系列信号)を放射し, 鼓膜位置に設置した KEMAR のマイクロホンで受音して求めた.

Hc の測定結果の一例を Fig.2 に示す. 入射方向の違いによる Hc の差異は高域において若干認められるが, 15kHz 程度までは入射方向に独立であるとみなせる.

3. 音響心理実験

本方式の妥当性を検証するために, 水平面と正中面における音響心理実験を行った.

3.1 実験方法

実験に用いた刺激は, 広帯域ホワイトノイズ(20-20000Hz)に HRTF と Hc を畳込んだものである. HRTF と Hc は, 水平面内 12 方向(被験者の正面を 0° とし, 時計廻りで全周 30° 間隔)および正中面内 7 方向(被験者の正面を 0° とし, 真後ろまで 30° 間隔)で測定した. HRTF は ear-mic を用いて各被験者の外耳道入口で測定した.

実験は, 水平面内と正中面内に分けて行った. 試聴室内でステレオインサイドホン(松下 RP-HJ535)から各刺激をランダムな順に 10 回提示した. 提示音圧レベルは 70dBA である. これは, ステレオインサイドホンの出力を IEC318 準拠のカプラで受音し, ラウドネスの両耳加算式[4]で求めた値である. 刺激の継続時間は 3 秒, 間隔は 7 秒である. 回答方法はマッピング法で, 知覚した音像の方向を方位角と仰角によって記入するよう指示した. 被験者は男性 4 名である.

3.2 実験結果

Fig.3 に回答の一例(被験者 ID)を示す. (a)は水平面内の HRTF を畳込んだ刺激に対する方位角の回答, (b)は正中面内の HRTF を畳込んだ刺激に対する仰角の回答である.

水平面内の刺激に対する回答の方位角は, 0° および 30° の刺激に対して, 耳軸について対称な後方に誤判定している場合がみられるが, 概ね提示方向付近に定位しているといえる. また, 回答の仰角は 0° 付近に集中し, 水平面内に定位していた.

正中面内の刺激に対する回答の仰角は, 0° の刺激に対して後方に誤判定が生じる場合があるが, その他の刺激に対しては, 精度よく定位できている. また, 回答の方位角は, 0° 付近に集中し, 正中面内に定位していた.

以上の結果は, 本方式による 3 次元音像定位の可能性を示唆している.

4. まとめ

通常のステレオインサイドホンを用いることを前提として, 外耳道伝達関数変化の補正フィルタ Hc と HRTF を用いた 3 次元音像定位方式を提案し, 音響心理実験により水平面および正中面でその音像制御精度を確認した.

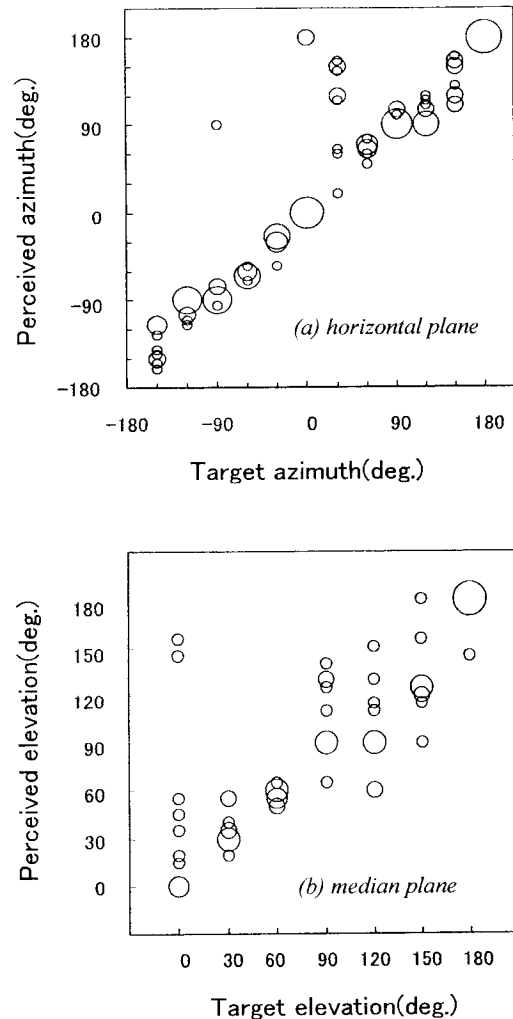


Fig.3 Examples of responses to the stimuli; (a) responses of azimuth for the stimuli in the horizontal plane, (b) responses of elevation for the stimuli in the median plane.

文献

- [1]例えば, S. Shimada *et al.* Acustica 81, 264-271 (1995)
- [2] M. D. Burkhard and R. M. Sachs, J. Acoust. Soc. Am., 58, 214-222(1975)
- [3]飯田他, 音講論, 295-296 (2000.9)
- [4] D. W. Robinson and L. S. Whittle, Acustica 10, 74-80(1960)