

頭部伝達関数の距離依存性に関する数値的検討*

大谷 真, 平原 達也 (富山県立大学・工学部)

1 はじめに

頭部伝達関数 (Head-Related Transfer Function: HRTF) は音源位置に依存した関数であり、音源の方向と距離の双方に依存してその特性は変化する。頭部中心から 1 m 以内の音源に対する HRTF が強い距離依存性を持つ [1] 事が知られているが、HRTF の距離依存性に関する研究は限られている。Brungart ら [2] や Duda ら [3] により HRTF の距離依存性は明らかにされつつあるものの、前者は粗い距離解像度における検討であり、後者は耳介を考慮しない剛球モデルを用いている。また、点音源に近い音源が必要 [4] となるため、頭部近傍の HRTF を精密な距離解像度で正確に測定する事は困難な作業である。

本稿では、数値解析を利用して 1 cm の距離解像度で配置された点音源に対する HRTF を算出し、耳介の存在を考慮した HRTF の距離依存性について詳細に検討した結果について述べる。

2 HRTF の数値シミュレーション

本研究で用いた数値計算法は境界要素法 (Boundary Element Method: BEM) に基づいた手法である [5]。頭部モデル (Fig. 1) は、Brüel & Kjaer 4128C の表面形状をレーザースキャナ (耳介部は CT スキャナ) で計測し構築した [5]。外耳道はその入口で閉塞されている。モデル表面は 28,000 の三角形要素から成り、最大要素長は 5.64 mm である。頭部表面は音響的に剛 (完全反射) を仮定し、20 kHz まで 86 Hz 毎に伝達関数を算出した。要素長 5.64 mm は 10 kHz で波長の約 1/6、15 kHz で約 1/4、20 kHz で約 1/3、に相当する。一般に 1 波長当たり 4-6 要素の離散化で精度の良い解析を行えるとされているが、3 要素と 5 要素の離散化による周波数特性の差が最大でも 1 dB であったとの報告 [6] もあり、本稿では 20 kHz までの結果を示す。

Fig. 2 に頭部中心及び外耳道入口を原点とした 2 つの座標系での点音源の配置を示す。両者を比較する事で HRTF の距離依存性に対する耳介への入射角の影響を調べる事が可能となる。各座標系における極座標をそれぞれ (r_h, θ_h) 、 (r_e, θ_e)

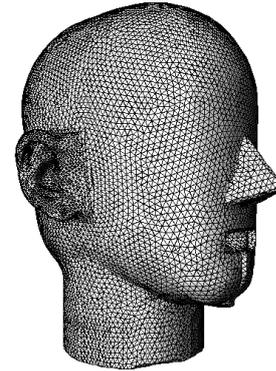


Fig. 1 B&K 4128C computer model

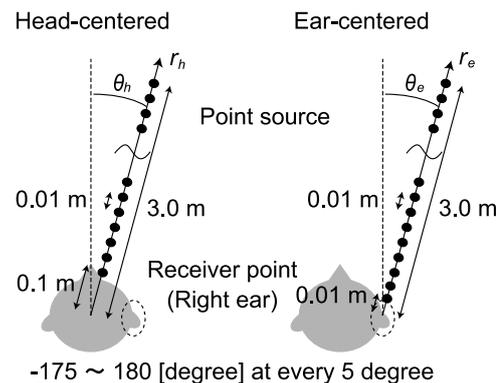


Fig. 2 Numerical configurations for a head-centered and ear-centered coordinate systems.

θ_e) (単位は [m] 及び [deg.]) とした場合に、 $r_h = 0.1 \sim 3.0$ 、 $r_e = 0.01 \sim 3.0$ (0.01 m 毎)、 θ_h, θ_e は共に $-175 \sim 180$ (5 度毎、正面が 0 度、受聴耳側が正)、に点音源を配置し右耳における HRTF を算出した。

3 結果

3.1 音源距離によるディップ位置の変化

結果の一例として、Fig. 3(a) に $\theta_h = -60, 30, 150$ の HRTF を示す。各図の縦軸が音源距離 (r_h) を示している。 $\theta_h = -60$ では、音源距離が小さくなるにつれて全帯域に渡ってゲインが減少し、またディップが深くなる。 $\theta_h = 30$ では音源距離が小さくなるにつれて、9 kHz 近辺のディップは深さを増し幅を広げる。またその周波数は低域側に变化する。 $\theta_h = 150$ では、遠方では 5 kHz に現れるディップが音源距離が小さくなるにつれて高域側へ移動する。特に $r_h \leq 0.5$ では急激に

* Numerical study on a source-distance dependency of the head-related transfer functions, by OTANI, Makoto, HIRAHARA, Tatsuya (Toyama Prefectural University)

