

超近接場の頭部伝達関数*

○ 平原達也, 岡田脩平 (富山県立大学)

1 はじめに

頭部伝達関数(HRTF)は頭部周辺の一点から両耳の受音点までの音響伝達特性を規定する複素伝達関数で、両耳音響特徴が全てそこに含まれる。通常の HRTF は、頭部中心からの距離 r が 1 m 以上離れた位置に置いたラウドスピーカから音波を放射し、外耳道入口に置いたマイクロホンでそれを受けることにより測定した音響インパルス応答から算出する。しかし、ラウドスピーカの形状が大きいと、 r が小さい場合には音源が点音源とみなせず、HRTF の測定は困難である。そのため、これまでに $r < 0.2$ m の超近接場の HRTF はスパーク音源を用いてしか測定されていない^[1]。

本稿では、音響系の相反性を利用した HRTF 高速計測システムを用いて測定した、頭部中心からの距離が 0.13 m の超近接場における水平面の HRTF とその特徴について述べる。

2 相反則による HRTF 計測システム

音響系の相反性により、小型ラウドスピーカを外耳道入口に、小型マイクロホンを頭部周辺に置いても音響インパルス応答を測定できる。この相反則による HRTF の計測では、小型ラウドスピーカの放射音響パワーが小さいために遠隔場の音響インパルス応答は S/N が低下するが、近接場の音響インパルス応答は問題なく計測できる。また、一度の信号放射で多点の音響インパルス応答を同時に測れるために、高速に HRTF を計測できる。

我々が構築した相反則を利用した HRTF 計測システムは、Linux PC で AD/DA 変換器 (DASmini-E2000, COMEX) を制御し、48 kHz のサンプリング周波数で 48 ch の音響インパルスと同時に計測できる (Fig.1)。外耳道入口に設置する小型ラウドスピーカは挿入型イヤホン (HS-930i, CREATIVE) から取り出した超小型動電型スピーカユニット^[2] で、シリコーン印象材に埋めこんだ耳栓スピーカである。

遠隔場 ($r = 1$ m) と近接場 ($r = 0.22$ m) の HRTF 測定には円状フレームに小型 ECM (EM-133, Primo) を水平面に 10° 間隔で配置したものを用いた。超近接場 ($r < 0.2$ m) の HRTF 測定には、頭部に装着したベルトから放射状に伸ばした 1ϕ の針金の先に小型 ECM を水平面に 30° 間隔で配置したものを用いた (Fig. 2)。

音響インパルス応答の計測に用いた信号は 65,536 点の OATSP 信号で、左右の耳栓スピーカから交互に放射した。遠隔場の HRTF を求めるときには S/N を確保するために OATSP 信号の加算回数は 20 回とし、計測時間は約 55 秒であった。一方、超近接場の HRTF を求めるときに加算回数は 10 回とし、計測時間は約 30 秒であった。

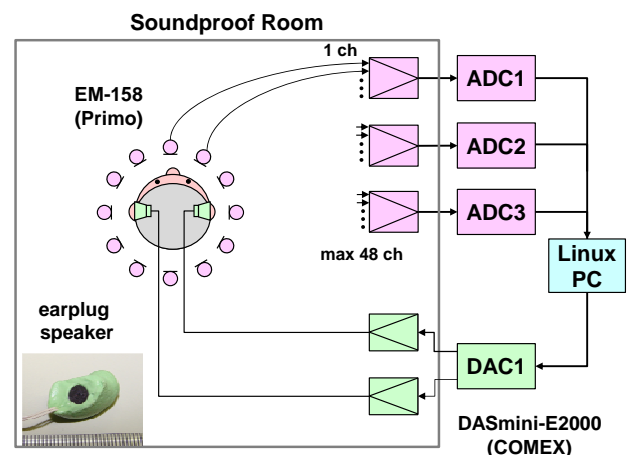


Fig.1 相反則による HRTF 高速計測システム

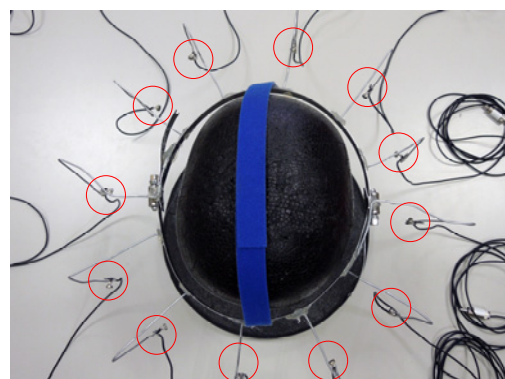


Fig.2 超近接場の HRTF 測定用マイクロホンアレイ

* Super-near-field head-related transfer function,
by HIRAHARA Tatsuya and OKADA Shuhei (Toyama Prefectural Univ.)

3 結果

$r = 1.0, 0.22, 0.13$ m で計測した水平面 HRTF のコンター図の一例を Fig.3 に示す。

$r = 1.0$ m の遠隔場では、5 kHz 附近にある |HRTF| の山 P1、1~2 kHz 附近にある |HRTF| の浅い谷 N0、および 6~10 kHz 附近にある |HRTF| の深い谷 N1 と N2 などが、水平角に応じて変化している。

$r = 0.22$ m の近接場では、肩部の反射に起因する N0 が消失するとともに、頭部による遮蔽効果が大きくなり、音源と同側耳では約 5 kHz 以下で周波数による |HRTF| の変化が小さくなる。これに対して、耳介の凹凸に起因する高域の N1, N2 は遠隔場と同じ周波数に出現する。

$r = 0.13$ m の超近接場では、頭部による遮蔽効果がさらに大きくなり、約 5 kHz 以下で周波数による |HRTF| の変化がさらに小さい。音源と同側耳の |HRTF| は一様に大きく、音源の対側耳の |HRTF| は一様に小さい。これに対して、耳介の凹凸に起因する高域の N1, N2 は遠隔場と同じ周波数に出現する。

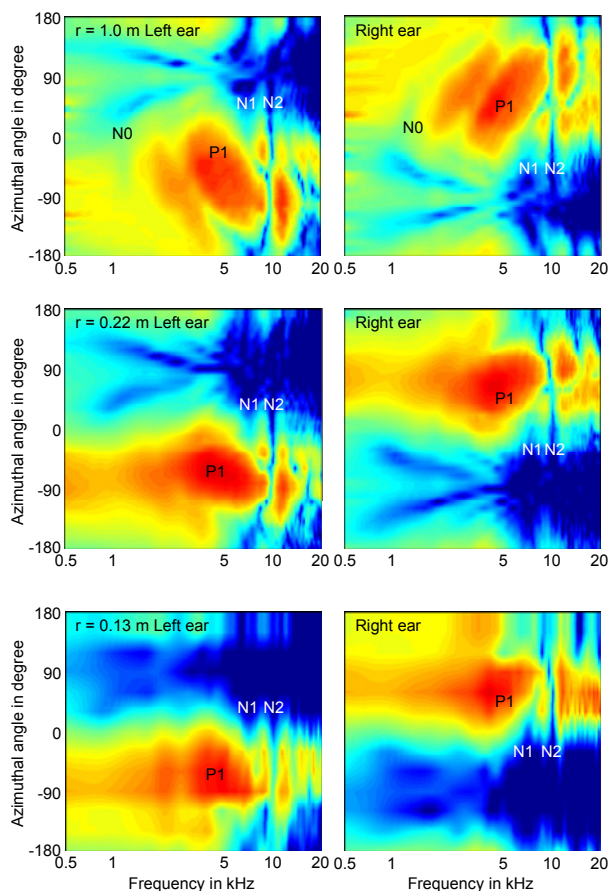


Fig. 3 遠隔場 ($r = 1.0$ m)、近接場 ($r = 0.22$ m)、超近接場 ($r = 0.13$ m) で計測した同じ実頭の水平面 HRTF のコンター図

Fig.4 は、Fig.3 に示す HRTF の 5 kHz 以下の帯域から算出した両耳間時間差 (ITD) と 500 Hz から 20 kHz の帯域から求めた両耳間レベル差 (ILD) の絶対値を描いた図である。

頭部中心からの距離 r の違いに伴う ITD の違いは少ないが、ILD の違いは大きい。まず、|ILD| の最大値は r が小さいほど大きくなる。また、遠隔場では前半面の水平角に対する ILD の変化は緩やかで後半面のそれは急であるのに対し、近接場と超近接場では、後半面の水平角に対する ILD の変化の方が前半面よりも急である。さらに、超近接場では 60° と 90° 、 270° と 300° の ILD の差は小さい。

4 まとめ

相反則を利用して超近接場の HRTF を計測した。超近接場 ILD の方位角変化は遠隔場と異なり、これが頭部への接近遠離音の音像が耳元で後ろへ動く現象^[3]の原因かもしれない。

謝辞

本研究の一部は科研費(25330203)の助成を受けた。

参考文献

- [1] 荒木 他, スパーク音源を用いた頭部伝達関数の測定, 音響学会誌 60(6), 314-318, 2004.
- [2] 今井, 他, 相反法による頭部伝達関数計測に用いる超小型動電型スピーカユニットの音響特性, 音響学会誌 68(10), 513-519, 2012.
- [3] S. Okada, T. Hirahara, Perception of approaching and retreating sounds, *Acoust. Sci. & Tech.* 36(5), 2015.

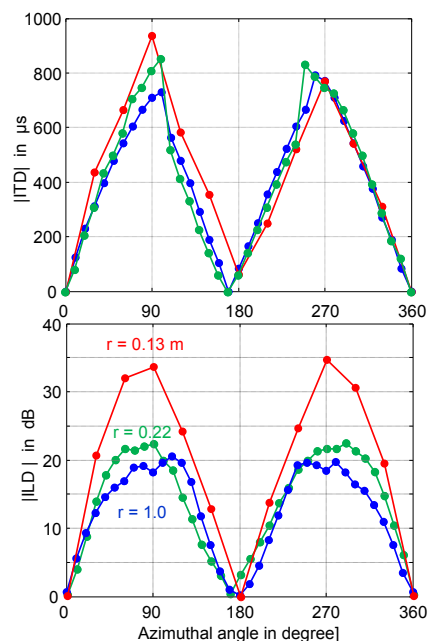


Fig. 4 遠隔場、近接場、超近接場の ITD と ILD