

聴覚実験に用いるイヤホンの諸特性*

○ 平原達也, 青山裕樹, 大谷真 (富山県立大学・工学部)

1 はじめに

電気音響変換器の選択は音刺激を用いる聴覚実験において重要である。ソリッドステート・ポータブル・オーディオプレイヤーの普及に伴って、様々なイヤホンが市場を賑わせている。これらのイヤホンについては、その主目的である音楽聴取に関する聴感レポートはある。また、イントラコンカ型イヤホンの特性に関する報告や設計法に関する報告がいくつかある^[1-3]。しかし、聴覚実験用イヤホンとして、それらの物理特性を計測した結果や、従来のヘッドホンと比較した結果はほとんどない^[4]。本報告では、9種類のイヤホンの IEC 711 カップラ応答、実耳応答、音響クロストーク特性、高調波歪特性を測定した結果について述べる。

2 イヤホンとヘッドホン

イヤホンおよびヘッドホンに関する規格として EIAJ RC-8140 及び IEC 268-7 がある^[5,6]。イヤホンは電気音響変換器を総称する用語で、ヘッドホンはイヤホンの中でヘッドバンドを用いるものを指す。そして、Table 1 に示されるように、ヘッドホンおよびイヤホンは装着状態によってその形式が命名されている。また、この表には無いが、小型スピーカを耳元に置いた、イヤースピーカ型とも呼ぶべきタイプもある。なお、電気音響変換器の種類によって動電型と静電型の区別がある。

今回比較したのは、イントラコンカ型イヤホン 4 種類と挿入型イヤホン 5 種類である。DNC-2007 は 2007 年の大学入試センタ英語リスニング試験に用いられたものである。また、耳覆い型の密閉型ヘッドホンとイヤースピーカ型の開放型ヘッドホン各 1 種類も比較対象とした。電気音響変換器は SR-001MK2 だけが静電型で、他は全て動電型である。

3 測定方法

イヤホンの諸特性は、IEC 711 カップラを内蔵した HATS (Brüel & Kjær, 4128C)、あるいはプ

ローブマイク (Etymotic Research, ER7C) を挿入した実耳にイヤホンを装着して計測した。ER7C のプローブは外径 0.95 mm 内径 0.5 mm のシリコンチューブで、その先端を鼓膜近傍に設置した。

イヤホンの諸特性は、オーディオアナライザ (Brüel & Kjær, 3560C) から 100 Hz から 20 kHz まで 1/12 oct. 間隔で出力した正弦波バースト信号音を、IEC 711 カップラに装着したマイクあるいはプローブマイクで検出し、計測した。イヤホンアンプとしてはオーディオアンプ (Accuphase E-308) を用いた。なお、プローブマイクの周波数特性は別途測定して補正した。

4 結果と考察

測定結果の代表例として、MX500, DNC2007 (イントラコンカ型イヤホン), MDR-EX90SL (挿入型イヤホン), HDA200 (耳覆い型・密閉型ヘッドホン) のカップラ応答と実耳応答を Fig.1 に示す。

Table 1: Earphone type

| 形式 (日本語) | 形式 (英語) | 説明 |
|----------|--------------|-------------|
| 耳覆い型 | circum-aural | 耳介を覆うタイプ |
| 耳載せ型 | supra-aural | 耳介に載せるタイプ |
| スープラコンカ型 | supra-concha | 耳甲介腔に載せるタイプ |
| イントラコンカ型 | intra-concha | 耳甲介腔に嵌めるタイプ |
| 挿入型 | insert | 外耳道に挿入するタイプ |

Table 2: Earphone list

| 形式 | 型名 | メーカー |
|------------------|------------|----------------|
| イントラコンカ型 イヤホン | MX500 | Sennheiser |
| | DNC2007 | Unknown |
| | TriPort IE | Bose |
| | SR-001 MK2 | STAX |
| 挿入型イヤホン | ATH-CK32 | Audio Technica |
| | E4C | Shure |
| | ER4B | Etymotic |
| | ER4S | Etymotic |
| | MDR-EX90SL | SONY |
| 密閉型ヘッドホン | HDA200 | Sennheiser |
| 開放型ヘッドホン | K-1000 | AKG |

* Physical characteristics of earphones for psychoacoustical experiments, by HIRAHARA Tatsuya, AOYAMA Hiroki, OTANI Makoto (Toyama Prefectural University).

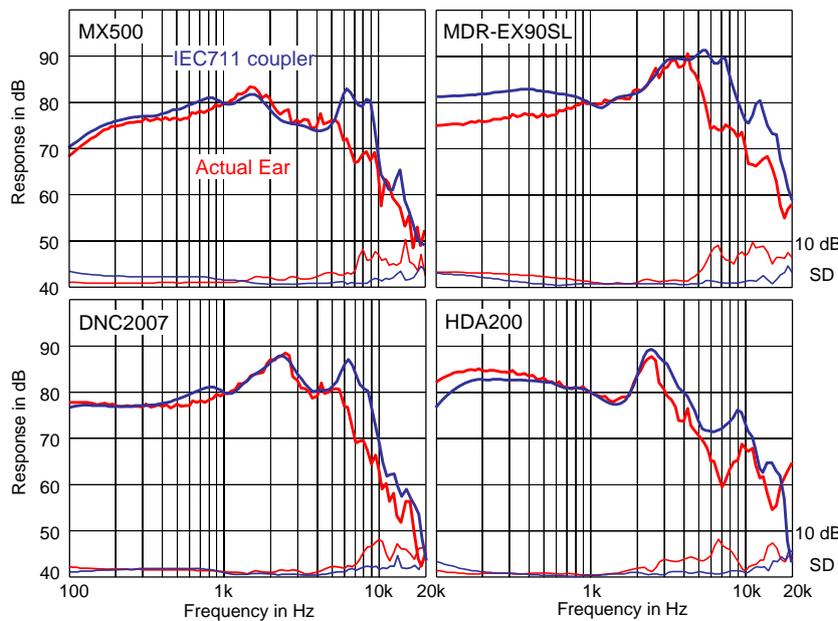


Fig.1 Actual ear and coupler responses.

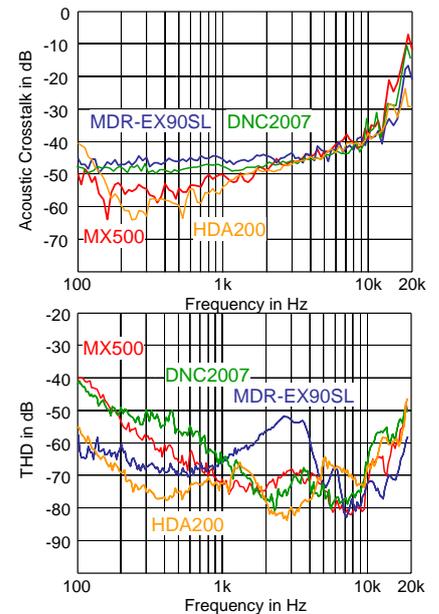


Fig.2 Acoustic crosstalk and THD characteristics.

カップラ応答は4個のイヤホンドライバを4回ずつ HATS に装着して計測した16回のデータの平均値、実耳応答は1個のイヤホンドライバを4人の被験者に4回ずつ装着して計測した16回のデータの平均値、および標準偏差である。

いずれのイヤホンも、周波数特性は平坦ではない。外耳道共振による応答のピークは、DNC2007 と HDA200 では約 2.5 kHz、挿入型の MDR-EX90SL では 4 kHz、MX500 では約 1.6 kHz にある。MX500 で下がる原因は不明である。

いずれのイヤホンも 5 ~ 10 kHz では実耳応答よりもカップラ応答の方が大きい。その他の帯域では MX500, DNC2007 の実耳応答とカップラ応答はよく一致している。これは他のイントラコンカ型イヤホンでも同様である。MDR-EX90SL は低域の実耳応答がカップラ応答より低い。これは他の挿入型イヤホンでも同様で、実耳装着時の音響漏洩の結果と考えられる。HDA200 は低域の実耳応答がカップラ応答より高い。これは実耳装着時の方が HATS 装着時より頭部と耳当てとの密着度が高いためである。

Fig.2 上図は各イヤホンの実耳装着時の音響クロストーク特性である。4 kHz 以下ではいずれも -45 dB 以下で、10 kHz 以上では音響クロストークは増加し 20 kHz では -10 dB 程度になる。

Fig.2 下図は各イヤホンを HATS に装着し、1kHz で 90 dB SPL となる入力を与えたときの2次~5次の高調波歪の総和 (THD) 特性である。THD は全帯域で -40 dB 以下であり聴覚実験に大きな影響は無い。

5 まとめ

イヤホンの実耳応答とカップラ応答は一致しない。イントラコンカ型では両者は比較的よく一致しているが、5 ~ 10 kHz では実耳応答よりも IEC711 カップラ応答の方が大きい。挿入型では音響漏洩の影響が低域においてある。音響クロストーク特性と THD 特性は特段の問題は認められない。ヘッドホン^[7,8]と同様にイヤホンの諸特性は様々であり、聴覚実験に用いる場合は、その諸特性を適切な方法で確認しておくことが大切であろう。

参考文献

- [1] 高橋千賀 他, “耳載せヘッドホンの音響定数評価による動作特性の解析,” 信学技報 EA2005-106, 11-16, 2006.
- [2] 小林恵 他, “イントラコンカ形ヘッドホンの特性と音響負荷との関係について,” 響学講論 3-Q-7, 2007.
- [3] 小西重行 他, “イントラコンカ型ヘッドホンの設計目標周波数特性について,” 信学技報 EA2004-135, 63-70, 2005.
- [4] 青山裕樹 他, “聴覚実験用イヤホンの諸特性,” 信学技報 SP2007-28, 25-30, 2007.
- [5] 大平郁夫, “オーディオ機器の規格と測定法 (3): ヘッドホン,” 日本音響学会誌, 45(7), 556-564, 1989.
- [6] 日本電子機械工業会 (EIAJ) 規格 RC-8140 「ヘッドホン及びイヤホン」, 1998.
- [7] 平原達也, “聴覚実験に用いられるヘッドホンの物理特性,” 日本音響学会誌 55(5), 370-376, 1999.
- [8] 平原達也, “ヘッドホンの陥穽,” 日本音響学会誌 53(10), 798-806, 1997.