

# イヤホンの周波数特性の調査

システム情報学部 電子情報システム学科  
2年 日高 幸祐

指導教員 システム科学技術学部 電子情報システム学科  
助教 安倍 幸治、准教授 渡邊 貫治

## 1. 目的

主に音楽などを聴取するために用いられるイヤホンを構成する要素としては、音を鳴らす部分であるドライバー、筐体の素材・形、ケーブルの素材やイヤピースなど様々なものがある。それぞれの要素が再生される音にどのような影響を及ぼすかに興味があったため、構成要素の一部分を変更することによりイヤホンにおいてどの部品がどのように音を構成しているかを調べることにした。筐体やドライバーを自ら作成し入れ替えることは大掛かりな作業となり時間も予算も足りないため、今回はつけ外しが簡単で音の比較がしやすい音響フィルターを用いて音を比較する。

## 2. 音響フィルターとは

音響フィルターとはイヤホンの音を構成する要素の1つである。具体的なその役割は、音導管にスポンジを入れることで音質を変えたり、ドライバーの出力部にフィルターを貼ったりバランスドアーマーチュア (BA) ドライバー[1]限定ではあるが、出力部分の後方の空気穴にフィルターを貼るなどしてドライバーで駆動された空気の出力部のインピーダンスを制御することでドライバーから出る音を調整することである。フィルターは、用いるドライバーの種類を変更するだけでは調節することの難しい細かい音の調節のために用いられることが多い。今回扱うのは音導管に付けるフィルターとドライバーの出力部に貼るフィルターの2種類を用いて音を調節する。

## 3. 実験

イヤホンの音響フィルターを変更することにより、実際に聴感や周波数特性などがどのように変化するかを確かめるため、一つ目に周波数特性の測定及び聴感を確かめる実験を、二つ目に実際にそのイヤホンを使って音楽を聴き主観的に評価することとした。

本研究の検討のために用いるイヤホンとして、音響フィルターの付け替えによって周波数特性を変えることのできるfinal社のMAKE1を選定した。このイヤホンのように、音響フィルターを付け替えることのできる市販のイヤホンはあまり多くない。音響フィルターに対応した市販のイヤホンの中で、その製品のみで様々な種類の音響フィルターの付け替えが手軽に行えるといった利点があるが、MAKE1を利用することにした理由である。MAKE1の音響フィルターは網目の密度の違う樹脂で作られたフィルターA10種と密度の違うスポンジのフィルターB7種を変更できるようになっており、組み合わせとして77通りの音響フィルターが実現可能である。フィルターA、Bは図1のようにイヤホンに組み込まれる。今回はこれらの組み合わせの中から、周波数特性の差が大きく出ると考えた3通りの組み合わせで一つ

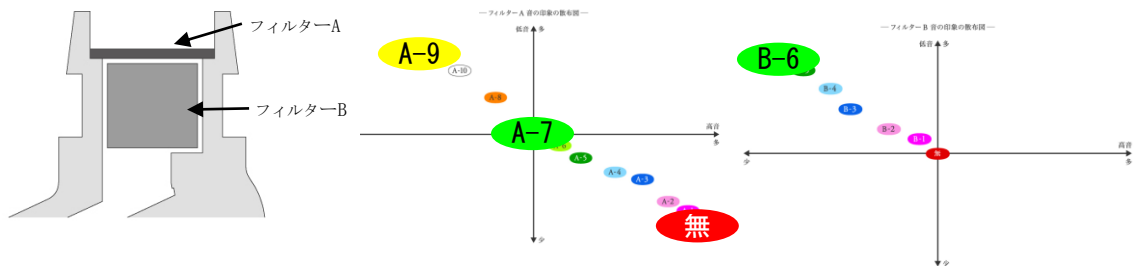


図1:フィルターの配置 図2:フィルターAの音の印象 図3:フィルターBの音の印象

目の実験を行うこととした。一つ目は、全てのフィルターの組み合わせの中で1番高音が大きく出ると考えられる「A、Bフィルター共に無し」(以後パターン①とする)、二つ目は、すべてのフィルターの組み合わせの中で周波数特性が一番平均に近い「A:⑦フィルター装着、B:フィルター無し」(以後パターン②とする)、最後に、すべてのフィルターの組み合わせの中で最も低音が強くと考えられる「A:⑨フィルター装着、B:B-6フィルター装着」(以後パターン③とする)である。これらのフィルターの選んだ基準としては図2、3にあるようにfinal社が測定したグラフをもとに選考した[2]。

二つ目として、実際に音響フィルターを変更したイヤホンで音楽を聴き、その印象を評価する検討を行う。一つ目の検討では、物理的な特性として周波数特性の測定を行っているが、自身が一番興味のある点は、音楽の聴感が音響フィルターの変更によってどう変化するかであるため、この検討を行うこととした。検討に用いる楽曲はシンクロシティ(乃木坂46)、swim(04 Limited Sazabys)、ALL ALONE(UVERworld)、ハッピーオーラ(日向坂46)の4曲を選曲した。

周波数特性の測定方法は、ダミーヘッドに各条件のフィルターをセットしたイヤホン(MAKE1)を装着させ、用意した音源を再生し、ダミーヘッドの鼓膜位置に設置されているマイクロホンで収録した。これらの測定は、パソコンのフリーソフトであるREWを利用して測定した。REW(Room EQ Wizard)とは、ファイルやマイクから入ってくる音声をリアルタイムでフーリエ変換して周波数成分を表示するフリーソフトである[3]。

<実験手順>

- (1) パターン①の音響フィルターの設定を行う。
- (2) 音刺激の作成には、周波数を変えながら低い音から高い音までを出す音刺激(スイープ)を作ることが可能なWaveGeneというフリーソフトを使用した。作成した音刺激は、継続時間120秒で20 Hz~40000 Hzまで変化するスイープ音とした。スイープ音の長さは、次の式に基づいて120秒と設定した。

$$\text{スイープ時間} = \text{スイープ周波数幅} \cdot N \cdot N / F_s / F_s$$

スイープ周波数幅は変化させる周波数の幅であり、20 Hz~40000 Hzのスイープのときは、 $40000 - 20 = 39980$ となるため、 $39980$ となる。NはFFTサンプルデータ数であり、今回はソフトウェアのデフォルトの設定である $N = 4096$ とした。また、 $F_s$ はマイク入力のサンプリング周波数であり、 $F_s = 96000$  Hzとした。これで計算すると、スイープ時間 $= 39980 \cdot 4096 \cdot 4096 / 96000 / 96000 = 72$ 。8秒となる。このことから、最低72秒ほどあれば測定できると考えられるので、コンボボックスの中にある120秒を選んだ。

- (3) 作成したスイープ音をwaveファイルとして保存し、音源を発生させる機器に移動す

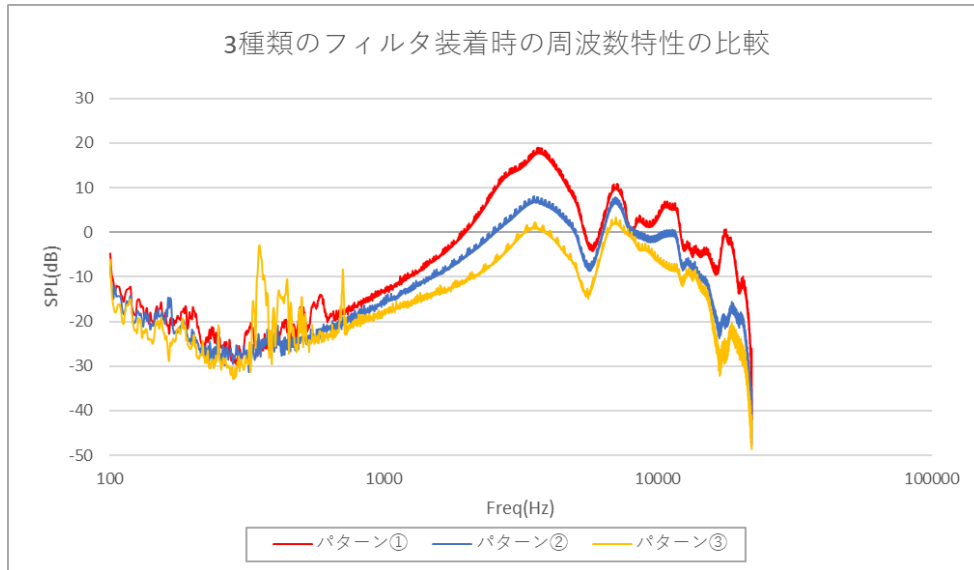


図3 各条件における測定した周波数特性

る。今回は音源再生にはSonyのスマートホンであるXperia XZを使用した。

- (4) 防音室でダミーヘッドに装着したMAKE1を用いて音源を発生させ、ダミーヘッドに内蔵されたマイクロホンを通じて、REW(Room EQ Wizard)へ入力する。
- (5) 入力された各周波数の最大値を記録したものを保存する。
- (6) (1)～(5)をパターン②、パターン③で行う
- (7) 得られた各周波数特性をグラフにした。

#### 4. 実験結果

3種類のグラフを重ね合わせたものを図3に表す。ただし、データ数が多すぎたため2つの要素ごとに平均をとりグラフにした。

図3を見ると、5000 Hz付近で差がよく出ていることが分かる。

5000 Hz付近ではパターン①、②、③の順に高音が出ていることが分かる。

パターン①、②、③の順に高音が出ていることはfinal社が測定した結果と同じ結果となったが、10 Hz付近ではパターン②、①、③の順で低音が出ているのはfinal社の測定結果とは異なった結果となった。

聞いてみた感想は次のようになった

パターン①の時の感想は

- ・高音だけ飛び出て強く聞こえる。
- ・(BAの特徴かもしれないが)細かい音が聞きやすく感じる。
- ・vol 75くらいでちょうどいい (vol 150が最大)。それ以上あげると耳が痛い。
- ・特に低音に物足りなさは感じなかった。
- ・全体的に音が軽いイメージ

パターン②を聞いた時の感想は

- ・フィルターなしの時に比べて圧倒的に聞きやすくなった。
- ・全体的にフラットな音
- ・vol 85くらいがちょうどいい (vol 150が最大)

- ・高音が控えられた分低音の主張が強くなった。
- ・フィルターなしの時より細かい音は出ていない（？）

となった。

パターン③を聞いた時の感想は

- ・面白いほど低音が強くなった。
- ・フィルターのかけすぎによって音がこもって聞こえてしまっている気がする。
- ・音場も小さくなってしまっているように聞こえる。
- ・細かい音が他の2つに比べて出ていない。

となった。

## 5. 考察

パターン①～③を実際に聞いてみてフィルターが増えていくほどに高音が減り、低音が増幅しているというイメージで最初は思っていたが、実際はもとのイヤホンは高音がよく出るように設計されており、そこからフィルターを用いて高音を削り、低音を引き立てているように感じた。また、聞こえる音の細かさもフィルターを増やしていくにつれ減っているように感じた。

また、図⑥を見て分かるように1000 Hz以下はそれぞれのパターンにそれほど大きな差異はないように見えるが、1000 Hz以降ははっきりとパターン①、②、③の順で出ている音が大きいことが分かる。このことから、少なくともMAKE1の音響フィルターは低音を出力を制御するというよりは、高音の出力具合を制御するものであるといえる。

## 6. 総合的考察

当初の予想としては、音響フィルターの役割は高音を削るかつ低音を引き立てることだと考えていた。しかし、考察でも述べた通り、実際に組み合わせを変更し実験を行ったMAKE1の音響フィルターは高音を主として制御するものであった。なぜ1000 Hz以降に差が顕著に表れたかという点と1000 Hzとは女性の話し声の高さである[4]。また、2000 Hzからはソプラノ歌手の歌い声の高さだといわれている。イヤホンで音楽を聴く際メインとなって聞こえてくるのはボーカルの声だと考えられる。よって、この高さの周波数から上をいじることによって、歌としての高音を制御することができていると言えるのではないかと考えられる。

よってこのイヤホンはあえて元の設計を高音がよく出るように設計することによって、消費者が自らの手で好きな音を作り上げやすくしているのではないかと考えた。

## 7. 結論

3種類の音響フィルターを用いることによってそのフィルターがどのような役割を担っているのかを知ることができた。

## 参考文献

- [1] バランスドアーマチュアって？今更聞けないイヤホンの新常識  
<https://saikounooto.com/blog/badriver/>
- [2] MAKE1|final <https://snext-final.com/products/detail/MAKE1>
- [3] スピーカーの周波数特性を測ってみよう ～準備編～  
<https://howto-it.com/speakerspectra.html>
- [4] 音とは・音エネルギーと遮音特性・界壁の遮音特性  
<http://www.chiyoda-ute.co.jp/data/syaon.html>