

骨導音の周波数解析

Frequency Analysis of Bone Conduction Sound

○藤岡紘展¹, 関弘翔², 細野裕行²*Hironobu Fujioka¹, Hiroto Seki², Hiroyuki Hosono²

Abstract: The purpose of this research is to eliminate the difference between air conduction sound and bone conduction sound. The difference between the air conduction sound and the bone conduction sound is expected to be a frequency. Therefore, in this report, we aim to clarify the difference of frequency between air conduction sound and bone conduction sound by frequency analysis.

1. まえがき

1970年代以降, 交通・工事騒音などの増加に伴い, 騒音環境下における音声伝送の手段として, 環境雑音の低減性に優れた骨導マイクロホンの利用が提案されてきた. 骨導デバイスの1つである骨導マイクロホンは, 加速度ピックアップを経皮的に頭蓋骨に当て, 発話時の頭蓋骨振動から音声を検出するマイクロホンである[1]. 近年では骨導補聴器が開発され, 伝音性難聴の人でも音を聞くことができることで, 注目を浴びている. 骨導ヘッドホンは耳を塞がないという利点がある一方, 空気による鼓膜の振動で聞こえる気導音と, 頭蓋骨の振動で聞こえる骨導音で違いがあるという欠点がある. この欠点は, 人が難聴などにより骨導ヘッドセットを使うときに違和感を与える.

そこで本研究では, 骨導音と気導音の聴音の違いについて検証し, 骨導デバイスが持つ欠点を改善することを目的とする.

本報告では, 骨導音と気導音を周波数解析し, 骨導音と気導音の聴音の違いを明らかにすることを目的とする.

2. 周波数解析

周波数解析とは, 与えられた音の信号をフーリエ変換によって解析することである. 今回は離散フーリエ変換[2]を用いる.

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)W_N^{kn}, k=0,1,2,\dots,N-1 \quad (1)$$

(1)式で示されるような信号 $x(n)$ から $X(k)$ を求める演算は N 点離散フーリエ変換(discrete Fourier transform, DFT) とよぶ.

本研究の周波数解析は DFT を用いて行う.

3. 実験

骨導音と気導音の周波数の違いを検証することを目的に周波数解析の実験を行う. 本実験で使用する音源の仕様を以下に示す. また, 使用機材を Table 1 に示す.

[音]

- ・サンプリング周波数: 44100Hz
- ・ビットレート: 192bps
- ・ファイル形式: mp3

本実験では, 人間の声の周波数の範囲が 100Hz~1000Hz, 人間の可聴域が 20Hz~20kHz であることや, 使用機材の周波数特性から 50Hz, 100Hz, 250Hz, 400Hz, 500Hz, 750Hz, 1000Hz, 2000Hz で周波数解析を行う. その他, 基準音階周波数と呼ばれる 440Hz, 及びその半分の 220Hz に対しても周波数解析を行い, 計 10 個の周波数を基に比較する. 解析対象音源は各周波数における再生元の音(以下再生音とする), 気導音, 骨導音とする. ここで, 気導音はスピーカーで流した音を気導マイクロホンで録音した音とし, 骨導音は骨導ヘッドセット (Figure 1 参照) で流した音を骨導マイクロホンで録音した音とする.

また, 骨導音では骨導ヘッドセットで流す音量によって録音される骨導音の周波数に変化があるかどうかを確認するため, 音量が最大であるとき(音量 100)と最大音量の半分の時(音量 50)で周波数解析を行う.

Table 1. Used equipment

| Machine name used | Production company | Model number | Frequency characteristic |
|----------------------------------|--------------------|--------------|--------------------------|
| Air conduction sound microphone | SONY | ECM-PC60 | 50Hz~ 15kHz |
| Bone conduction sound microphone | TEMCO Japan | EM21N-TiP | 200Hz~ 3kHz |
| Bone leading headset | TEMCO Japan | HG40SIM-TU | None |
| Loudspeaker | iiyama | XUB2390HS | None |
| IC recorder | SONY | ICD-UJ560F | 50Hz~20kHz |

4. 結果

Table 2 ~ 5 に各周波数における再生音, 気導音, 骨導音 (音量 100, 50) の周波数解析の結果を示す.

50Hz の結果は誤差が大きい, 100Hz 以降は再生音, 気導音ともに周波数解析の結果が周波数の差の平均 0.088Hz で一致しているため, 離散フーリエ変換が問題なく行えていることが確認できる.

また, 骨導音と気導音の聴音の違いが周波数であると予想をしていたが, 結果は骨導音 (音量 100) と気導音の周波数の差の平均が 0.084Hz となるので, 骨導音と気導音とでは周波数の違いがないことがわかる. よって, 骨導音と気導音の違いは周波数特性に現れないため, 別の観点から検証する必要がある.

なお, 骨導音における音量 100 と音量 50 の結果を確認すると 50Hz, 100Hz の結果は周波数の差が大きい, これは骨導マイクロホンの周波数特性外であるためである. 220Hz 以降は周波数の差が 0Hz となることから, 骨導音の録音時に骨導スピーカーの音量が与える影響がないことがわかる.

5. まとめ

本報告では, 骨導音と気導音の聴音の違いが周波数特性に現れると予想し, 周波数解析を行った.

結果から, 両周波数の差の平均は 0.084Hz と僅かであり, ほぼ同一周波数であることが明らかになった.

人が音の違いを認識するのは周波数と音色と言われている. また, 楽器などにおける音色の違いは波形の違いによるものであることが分かっている. よって今後は, 骨導音と気導音の違いを周波数ではなく, 音色によってどう変わるかについて検証する.



Figure 1. Bone leading headset (HG42-TBT)[3]

Table 2. Spectral analysis results 1

| Play back volume | Analysis sound | 50[Hz] | 100[Hz] |
|------------------|-----------------------|---------------|---------------|
| | Reproduced sound | 50.049 [Hz] | 99.976 [Hz] |
| | Number of data | 131072 number | 131072 number |
| | Air conduction sound | 90.002 [Hz] | 99.928 [Hz] |
| | Number of data | 262144 number | 262144 number |
| volume 100 | Bone conduction sound | 50.132 [Hz] | 99.928 [Hz] |
| | Number of data | 131072 number | 262144 number |
| volume 50 | Bone conduction sound | 49.964 [Hz] | 49.964 [Hz] |
| | Number of data | 262144 number | 262144 number |

Table 3. Spectral analysis results 2

| Play back volume | Analysis sound | 220[Hz] | 250[Hz] |
|------------------|-----------------------|---------------|---------------|
| | Reproduced sound | 220.093 [Hz] | 250.000 [Hz] |
| | Number of data | 131072 number | 131072 number |
| | Air conduction sound | 219.370 [Hz] | 249.987 [Hz] |
| | Number of data | 262144 number | 32768 number |
| volume 100 | Bone conduction sound | 220.042 [Hz] | 249.987 [Hz] |
| | Number of data | 65536 number | 262144 number |
| volume 50 | Bone conduction sound | 220.042 [Hz] | 249.987 [Hz] |
| | Number of data | 65536 number | 262144 number |

Table 4. Spectral analysis results 3

| Play back volume | Analysis sound | 400[Hz] | 440[Hz] |
|------------------|-----------------------|----------------|----------------|
| | Reproduced sound | 400.004 [Hz] | 440.002 [Hz] |
| | Number of data | 1048576 number | 1048576 number |
| | Air conduction sound | 400.047 [Hz] | 440.001 [Hz] |
| | Number of data | 262144 number | 524288 number |
| volume 100 | Bone conduction sound | 400.047 [Hz] | 440.085 [Hz] |
| | Number of data | 262144 number | 262144 number |
| volume 50 | Bone conduction sound | 400.047 [Hz] | 440.085 [Hz] |
| | Number of data | 262144 number | 262144 number |

Table 5. Spectral analysis results 4

| Play back volume | Analysis sound | 500[Hz] | 750[Hz] |
|------------------|-----------------------|---------------|---------------|
| | Reproduced sound | 500.000 [Hz] | 750.000 [Hz] |
| | Number of data | 131072 number | 131072 number |
| | Air conduction sound | 499.974 [Hz] | 749.961 [Hz] |
| | Number of data | 262144 number | 262144 number |
| volume 100 | Bone conduction sound | 499.974 [Hz] | 749.961 [Hz] |
| | Number of data | 262144 number | 262144 number |
| volume 50 | Bone conduction sound | 499.974 [Hz] | 749.961 [Hz] |
| | Number of data | 262144 number | 262144 number |

Table 6. Spectral analysis results 5

| Play back volume | Analysis sound | 1000[Hz] | 2000[Hz] |
|------------------|-----------------------|---------------|---------------|
| | Reproduced sound | 1000.000 [Hz] | 2000.000 [Hz] |
| | Number of data | 131072 number | 131072 number |
| | Air conduction sound | 999.948 [Hz] | 2000.064 [Hz] |
| | Number of data | 262144 number | 262144 number |
| volume 100 | Bone conduction sound | 999.948 [Hz] | 2000.064 [Hz] |
| | Number of data | 262144 number | 262144 number |
| volume 50 | Bone conduction sound | 999.948 [Hz] | 2000.064 [Hz] |
| | Number of data | 262144 number | 262144 number |

6. 参考文献

[1] 前田秀彦, 西澤典子, 武市紀人, 本間明宏, 前田昌紀, 玉重詠子, 米本清: 「骨固定型ピックアップから導出した直接骨導音の音響特性」, 音声医学言語学会, 2016.

[2] 樋口龍雄・川又政征: 「MATLAB 対応デジタル信号処理」, 森北出版株式会社, 2016.

[3] TEMCO ホームページ, http://www.temco-j.co.jp/pr_hg42tb/ (2017-09).