

## 環境音を自己調整できるデジタル聴覚プロテクタの開発

奈良工業高等専門学校 電子制御工学科 ○竹田理央 ◎西田茂生

### 要旨

聴覚過敏が原因で学習に支障をきたすことが報告されている。一般にはヘッドホンタイプのプロテクタを用いるが、聴覚過敏者が不快に感じる音には個人差があり、一律の処理では問題解決に至らない。本研究では児童が教室で使用し、スイッチ類の操作で個人にあった信号処理の設定が行える聴覚プロテクタを開発し、その有効性を評価した。その結果、開発した聴覚プロテクタにより想定した環境音を取り除けることを確認した。

### 1. 緒言

聴覚過敏とは、我々が日常生活で耳にする環境音に対し敏感になり我慢できないほど大きく感じるといった症状を指す感覚過敏の一種である。聴覚過敏の問題点として、様々な音が発生する場所では必要な音の判別が難しくなりパニック状態に陥ることもあり、人との交流や外出を避けるようになることが挙げられる。

解決策として、本研究ではイヤーマフにより外部の環境音を減少させるためスイッチやつまみを用いた操作部を設けた聴覚プロテクタを提案する。聴覚過敏により学習能力などに弊害が出る恐れから、児童が教室や家の中などの室内で使用することを想定して開発を行う。スイッチ類を操作することでマイコンによるデジタル信号処理の程度を変更し、外部の環境音において苦手な周波数の音や鉛筆のタップ音のような小さい音が気になる音を適切に処理できる。また、これはリハビリ的使用も可能である。

なお本稿では、前担当者である粟生小百合が扱っていたノイズゲート・LPF・HPF 処理を施し、印象評価を行った。



Fig.3 Protector outline

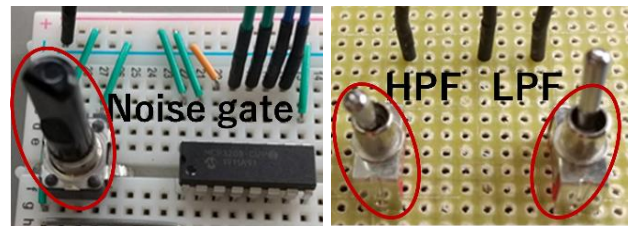


Fig.4 Circuit components which can be controlled by the protector wearer

### 2. 環境音の仕様

#### (1) 音声処理

Figure 1 に示すように、音声処理としてノイズゲート・LPF・HPF を用いる。

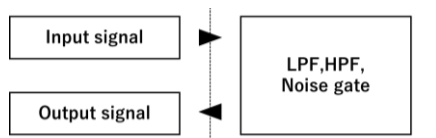


Fig.1 Flow of digital signal processing

2kHz~4kHz の高周波音は人間が不快に感じる周波数帯と言われており、黒板をひっかく音などがこれにあたる。このような音を減衰させるために LPF を用いる。また、蛍光灯などの不快な低周波音を減衰させるために HPF を用いる。

ノイズゲートは、Fig.2 に示すように入力された音声の振幅が設定したしきい値以下の場合に、出力する音声の振幅を零にする処理であり、小さいが気になる音を軽減する。

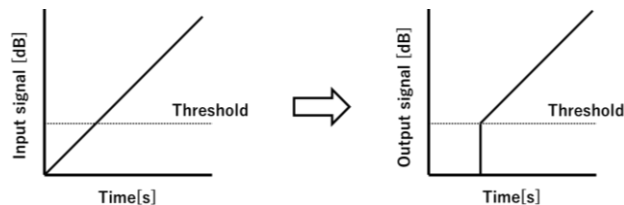


Fig.2 Characteristic of noise gate

#### (2) システム構成

聴覚プロテクタの構成を Fig.3 に示す。ヘッドホンには遮音性が高い KOSS 社の QZ99 を、マイコンとして Raspberry Pi3 model B を使用し、マイクには集音性マイクをする。また、Raspberry Pi 3 model B をヘッドホンに内蔵する。

聴覚プロテクタ装着者が操作する回路を Fig.4 に示す。Fig.4 のつまみでノイズゲートのしきい値を、スイッチで HPF・LPF のカットオフ周波数を変更する。Table 1 にスイッチの状態とカットオフ周波数の対応をまとめる。

Table 1 Correspondence between switch and Filter type

Switch states	Filter type	Cut off frequency[Hz]
SW1→ON	HPF	2000
SW1→OFF		3500
SW2→ON	LPF	200
SW2→OFF		0

カットオフ周波数の設定について説明する。

(a)LPF のカットオフ周波数: 2kHz~4kHz は人間が不快に感じる周波数帯であり、例として教室内で頻発する音としてペンのノック音が挙げられる。よって、まず 2kHz 以上をカットすることが必要である。しかしこの聴覚プロテクタは家での使用も想定しており、聞こえなければならぬ家電製品などのアラームには 2kHz 以上の周波数を含む場合がある。ここでは例として電子レンジのチンという音を挙げる。この音は 3.5kHz より少し低い周波数を多く含んでいるため、3.5kHz 以上をカットする。

(b)HPF のカットオフ周波数: 使用場所は室内を想定しているため、低周波音が不快感を与える状況は限られると考える。システムの簡単化のために HPF におけるカットオフ周波数の設定数は 1 つとする。また、不快な低音としては蛍光灯や電子レンジの加熱時のジーという音が例に挙げられる。特に電子レンジについては 180Hz 付近の低周波音を多く含んでいるため、カットオフ周波数を 200Hz とする。

### 3. 実験方法

以上のことから、本実験ではペンのノック音、電子レンジのチンという音及び加熱時の低周波音に LPF や HPF 処理を行う。周波数解析には Audacity を用いる。また、フィルタ処理においては、設定したカットオフ周波数の有効性を調査するため、10代と20代の男女それぞれ2人によるフィルタ処理後の音声評価を行った。

### 4. 実験結果

#### (1) LPF (SW1 が押されているとき)

ペンのノック音の周波数分布を Fig.5(a)に示し、これに対してカットオフ周波数を 2kHz とし高周波を遮断した結果を Fig.5(b)に示す。Fig.5(b)では LPF により、図中の○で囲まれた領域である 2kHz 以降に多く含まれるノック音が大きく減少していることがわかる。また、印象評価において回答者の 75%が、ノック音がカットされていると評価している。

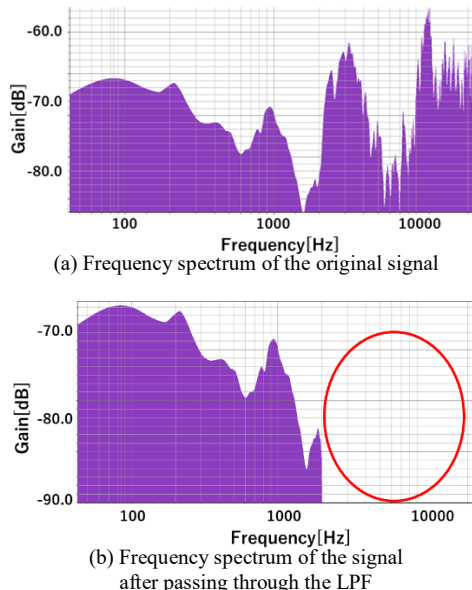


Fig.5 Experimental results of the sound of tapping a pen

### (2) LPF (SW1 が押されていないとき)

電子レンジの加熱音と、チンというアラーム音の周波数分布を Fig. 6(a)に示し、これに対してカットオフ周波数を 3.5kHz とし高周波を遮断した結果を Fig.6(b)に示す。Fig. 6(b)では LPF により、図中の○で囲まれた領域である 3.5kHz 以降の高周波が大きく減少し、3.5kHz より少し低い周波数であるアラーム音はカットされていないことが分かる。また、印象評価において回答者の 75%が、電子レンジのチンという音が聞こえると評価した。

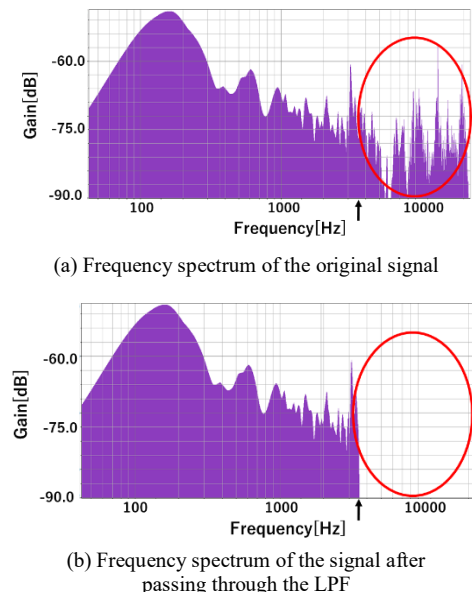


Fig.6 Experimental results of the sound of microwave alarm

### (3) HPF (SW1 が押されているとき)

電子レンジの加熱音と、チンというアラーム音の周波数分布を Fig.6(a)に示し、これに対してカットオフ周波数を 200Hz とし低周波を遮断した結果を Fig.7に示す。Fig. 7では電子レンジの加熱音に減衰が認められる。しかし印象評価では回答者の 50%が十分にカットされていたと回答し、その他 50%の詳細としては、概ねカ

ットされていたという回答が 12.5%、あまりカットされていないという回答が 25%、元の音源と変わらないという回答が 12.5%であった。このことから、評価にばらつきがあり一概にカットされていたとは言えない。

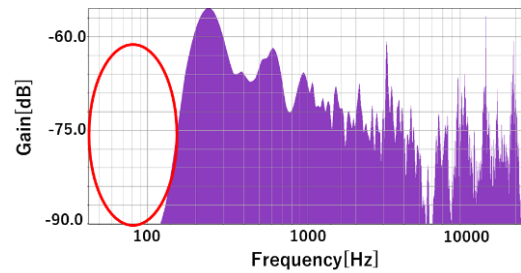


Fig.7 Frequency spectrum of the signal after passing through the HPF

### (4) ノイズゲート

聴覚プロテクタの使用を授業中に想定し、鉛筆が机に当たる音や紙をめくる音を発生させ「テスト、テスト」と発言した音声についてノイズゲート処理を行う。ノイズゲート処理後の波形を Fig.8 に示す。

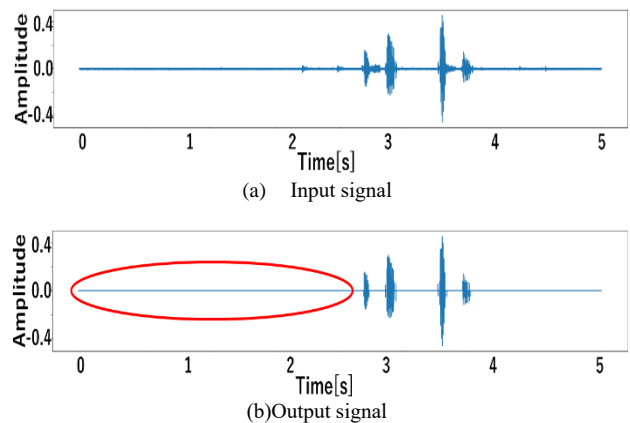


Fig.8 Experimental results using a noise gate

Figure 8(b)において 0~2.5 秒間の○で囲まれた領域内の波形に注目すると、Fig.8(a)と比較して、線が細くなっていることが分かる。このことから鉛筆が机に当たるタップ音や紙をめくる音のような小さな音がノイズゲートによりカットできていることが確認できた。しかし、「テスト」の「ス」のような声帯を振動させない音も一部カットされており、必要な音もカットしていることが分かった。

## 5. 考察

LPF によりペンのノック音についてカットでき、ノイズゲートにより雑音をカットできていることから、これらのプログラムの有効性を示すことができたと考える。

HPF による実験では、200Hz までをカットできているにもかかわらず、印象評価を行った結果にはばらつきがあり、HPF の効果を正確に確認できなかった。これについては、不快と感じる音の原因が低周波数のみではなく、特定の周波数が混じり合うことで発生していると考えられる。よって、特定の周波数のみを取り除く BEF を実装することが必要と考える。

ノイズゲートの問題点については「ス」などの音を抽出する音声処理プログラムを用いることでより自然な音声となるのでさらなる改良が必要であることがわかった。

## 6. 結言

環境音を自己調節できるデジタル聴覚プロテクタを開発した。つまみやすスイッチを操作する回路を作成し、それらを操作することで、フィルタ処理におけるカットオフ周波数の変更や、ノイズゲートにおけるしきい値の変更を可能にした。このことから聴覚プロテクタ装着者自身が環境音を適切に処理できるシステムの有効性を示すことができた。