

## 聴覚過敏者のためのデジタル聴覚プロテクターの開発

奈良工業高等専門学校 電子制御工学科 ○田中 優花 ◎西田 茂生

### 要旨

日常生活で耳にする程度の環境音に対し、苦痛を伴う聴覚過敏という症状がある。本研究では、この症状の対策として、イヤーマフによって外部の音をカットした上で、必要な音のみ聴取するための聴覚プロテクターの開発を試みた。マイコンに取り付けた環境音取得用マイクへの入力音声に対し、音量と周波数を解析する音声処理を施すことによってノイズ中の必要音をリアルタイムで抽出する聴覚プロテクターを試作した。

### 1. 緒言

聴覚過敏とは、日常生活で耳にする程度の環境音に対して不快感や苦痛を伴う状態を指す。自閉症をもつ人には、特に幼少期、聴覚過敏などの感覚過敏のある場合が多い。自閉症の代表的な症状に社会性の障害、他者とのコミュニケーション能力に対する障害などがある。これらの症状の一因として、聴覚過敏が挙げられる。聴覚過敏者は集団での騒音や歓声等を苦手とすることも多い。その結果として、集団活動を避けるようになることがあるために、社会性の障害等に繋がっている。<sup>1)</sup>

重度の聴覚過敏の場合、日常生活に支障をきたすことから耳栓やイヤーマフなどの聴覚プロテクターを用いて対策されることがある。学校などでも、症状を持つ児童や生徒に対し、音刺激によるストレスを減らすために、耳栓やイヤーマフの使用を認めることが呼びかけられている。しかしながら、この場合、先生による全体へ対しての呼びかけなどの聴取する必要がある音まで聞こえにくくなってしまいう問題点がある。

本研究では、イヤーマフを用いて環境音を軽減したうえで、マイコンによるデジタル信号処理を用いて話声などの必要な音を聞き取れるようにするための聴覚プロテクターを開発する。

### 2. 聴覚プロテクターの概要

#### 2.1. 本体の概要

本体の概要図を Fig.1 に示す。遮音性の高いイヤーマフ外部に周辺環境音をピックアップするためのマイクを、内部にスピーカーを取り付ける。イヤーマフ外部に取り付けたマイクの入力から、話声などの必要な音のみを内部に取り付けたスピーカーより出力する。

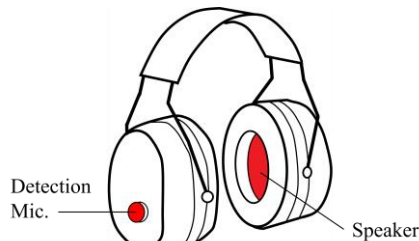


Fig.1 聴覚プロテクター概要図

#### 2.2. 音声処理の概要

マイクに入力された周囲の環境音に対して、周波数帯、音量を解析することで、会話相手の話声などの必要と推測される音声を抜き出す。

バンドパスフィルタ(BPF)を用いて、人間の声の周波数帯近辺である 200Hz~4kHz のみを出力する。さらに、ノイズゲートを用いることで、一定振幅以下の音声をすべてカットする。以上の2種の処理により、聴覚プロテクターにおける音声処理を実現する。

##### 2.2.1 IIR フィルタ

音声処理の第一段階として、入力音声に対して BPF を適用するためにバイクアッド型 IIR フィルタを用いる。Fig.2 に IIR フィルタのブロック図を示す。

IIR フィルタは、FIR フィルタよりも、少ない演算量で自由度の高いゲイン特性が得られる。位相特性については FIR フィルタの方が優れているが、人間の聴覚は位相の変化に鈍感であるため留意する必要はない。

式(1)に IIR フィルタの定義を示す。ここで  $x(n)$  は入力信号、 $y(n)$  は出力信号、 $a(m)$  と  $b(m)$  は乗算器にセットされるフィルタ係数、

$I$  と  $J$  は遅延器の数を表している。IIR フィルタはインパルスを入力信号としたとき、出力信号が無限にフィードバックされるためインパルス応答が無限に続くことになる。

$$y(n) = - \sum_{m=1}^I a(m)y(n-m) + \sum_{m=0}^J b(m)x(n-m) \quad (1)$$

バイクアッド型 IIR フィルタはフィルタ係数を変化させることでフィルタの特性を変化させることができる。今回使用した BPF のフィルタのパラメータの定義を式(2)~(6)に示す。ただし、 $f_{c1}$ 、 $f_{c2}$  はカットオフ周波数である。<sup>2)3)</sup>

$$b_0 = \frac{2\pi(f_{c2} - f_{c1})}{1 + 2\pi(f_{c2} - f_{c1}) + 4\pi^2 f_{c1} f_{c2}} \quad (2)$$

$$b_1 = 0 \quad (3)$$

$$b_2 = \frac{-2\pi(f_{c2} - f_{c1})}{1 + 2\pi(f_{c2} - f_{c1}) + 4\pi^2 f_{c1} f_{c2}} \quad (4)$$

$$a_1 = \frac{8\pi^2 f_{c1} f_{c2} - 2}{1 + 2\pi(f_{c2} - f_{c1}) + 4\pi^2 f_{c1} f_{c2}} \quad (5)$$

$$a_2 = \frac{1 - 2\pi(f_{c2} - f_{c1}) + 4\pi^2 f_{c1} f_{c2}}{1 + 2\pi(f_{c2} - f_{c1}) + 4\pi^2 f_{c1} f_{c2}} \quad (6)$$

##### 2.2.2. ノイズゲート

BPF を適用した音声に対し、第二段階の音声処理としてノイズゲートを用いて背景雑音を取り除く。

Fig.3 にノイズゲートの特性を示す。横軸に入力信号の振幅、縦軸に出力信号の振幅をとる。ノイズゲートは、入力信号の振幅が閾値以下の場合、出力信号の振幅を 0 にする処理を行う。<sup>3)</sup>

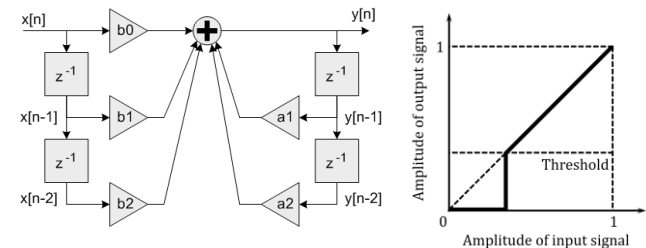


Fig.2 バイクアッド型 IIR フィルタ Fig.3 ノイズゲートの特性

### 3. 聴覚プロテクターの試作

#### 3.1. 本体の構成

試作した聴覚プロテクターを Fig.4 に示す。今回の試作品では、イヤーマフの代用として遮音性に優れた KOSS 社製ヘッドホン QZ99 を使用した。信号処理部には ST マイクロエレクトロニクス社製 ARM マイコン STM32F4 Discovery を使用し、外部環境音取得用に汎用コンデンサマイク C9767 を接続している。

#### 3.2. リアルタイム音声処理の流れ

Fig.5 に音声処理の流れを示す。

- (1) マイクに入力された音声を AD 変換し、マイコンに取り込む。
- (2) DMA により変換データをバッファに転送する。
- (3) 一定サンプル数がバッファに溜まったら IIR フィルタとノイズゲートの演算を行う。
- (4) 演算結果をバッファに渡す。
- (5) DMA により、結果を DA 変換器に転送する。
- (6) DA 変換の結果をマイコン搭載のミニジャックより出力する。



Fig.4 試作した聴覚プロテクター

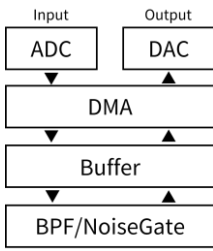


Fig.5 音声処理の流れ

#### 4. 処理結果の評価

試作した音声信号処理のプログラムにおいて、BPF、ノイズゲートの処理をすることで実際に必要音のみを取り出せているのか検証を行った。さらに、BPFを適用する際に適切なカットオフ周波数を調べるために、印象評価の実験を行った。

##### 4.1. 周波数帯域・音量変化の検証

IIRフィルタとノイズゲートのプログラムによって、適切に処理が行えているか検証を行った。入力音声として、実際に聴覚プロテクターを使用する環境を想定したパブルノイズ内の女性の音声、さらにフィルタ特性検証用のホワイトノイズを用いた。

##### 4.2. カットオフ周波数の変化による印象評価

BPFにおいて、適切なカットオフ周波数を調べるために20人を対象に印象評価の調査を行った。調査方法を以下に示す。

(1)検証内容について説明する。以下のような用紙を用いた。

これから、ある音声を再生します。その後、その音声に処理を加えたものを5種類再生します。

1番から5番にかけて、元の音声との違いが大きくなっていくので、「元の音声と印象が異なる」と思ったところに線を引いてください。特に印象の変化を感じない場合は空欄のままにしてください。

また、どのように印象が変化したが(こもっている、聞き取りにくい、かすれている等)、具体的に感じたことがあれば、線の下に記入願います。

例：3番以降が元音声と印象が異なり、こもっていると思ったとき

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
		こもった感じ		

(2)音声処理を加える前の音声を再生する。

(3)BPFの処理を施した音声を、連続して5種再生する。具体的な処理内容は、

a. 上側のカットオフ周波数を4k,2k,1k,500,250Hzと変化したもの(下側は100Hzで固定)

b. 下側のカットオフ周波数を100,250,500,750,1kHzと変化したもの(上側は4kHzで固定)

とした。aの音声を再生した後に、再度処理前の音声を再生してから、bの音声を再生した。

入力音声として、男声、女声の2種を使用した。

#### 5. 評価結果

##### 5.1. 周波数帯域・音量変化の検証結果

パブルノイズ内の女性の音声に対し、ノイズゲートを適用した際の結果をFig.6に示す。一定値以下のノイズがカットされ、女性の音声のみを抜き出せることが確認できた。

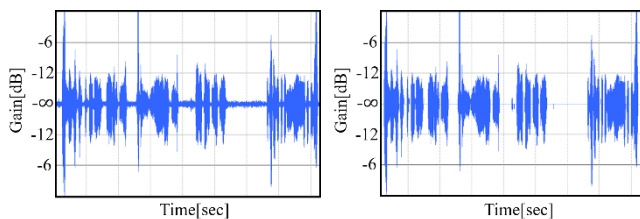
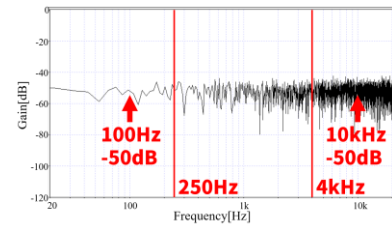
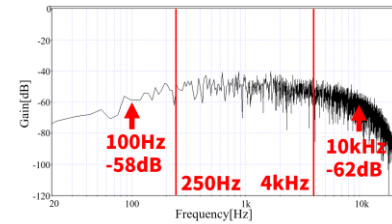


Fig.6 音量の検証結果

ホワイトノイズにBPFを適用した際の結果をFig.7に示す。今回の検証では帯域幅を250Hz~4kHzに設定した。これ以外の帯域幅に設定した場合においても、パラメータ通りの特性が得られていることが確認できた。



(a) 入力音声



(b) 出力音声

Fig.7 周波数帯域の検証結果

##### 5.2. 印象評価結果

カットオフ周波数を変化させ、被験者が「印象が変化した」と感じる段階の周波数について、各周波数における回答者数の集計を行った。結果をFig.8, Fig.9に示す。

集計結果より、上側のカットオフ周波数においては、男声・女声ともに2kHzまたは1kHz以上の周波数で印象が変化したという回答が大半を占めた。印象が変化したことで、「こもった」印象を受けるという回答が最も多かった。人間の声の平均的な周波数は十分この範囲内にあるが、子音の発音などで瞬間的に高周波域の音声が含まれていることが原因と考えられる。さらに、下側のカットオフ周波数では、男声・女声ともに250Hzもしくは500Hz以上のカットオフ周波数で印象が変化したと回答した被験者が大半を占めた。下側を変化させたときは、「軽い」印象を受けるという回答が最も多かった。

以上の結果より、男声の場合は100Hz~4kHz、女声の場合は250Hz~4kHzの帯域幅が適していると考えられる。これらの条件を適用した音声で、印象が異なると答えた被験者は1人のみだった。

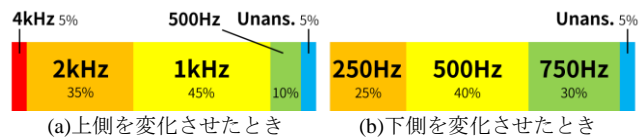


Fig.8 印象評価結果(男声)

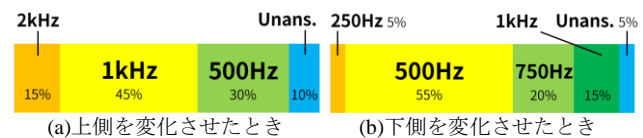


Fig.9 印象評価結果(女声)

#### 5. 結言

聴覚過敏者の聴覚プロテクター開発のための音声処理として、環境音に含まれる会話相手の音声を抜き出すことができた。さらに、開発に必要なマイコンによるリアルタイム音声処理のためのプログラムを試作することができた。実装の際は、ダイヤル等で使用者自身が任意にBPF・ノイズゲートの閾値を調整できるようにすることで、聴覚プロテクターを実現する。

#### 参考文献

- 1) 松原豊, 阿部崇, 松村汝京, 澤江幸則, 発達に気になる子の運動あそび 88, 学研教育出版(2014), p.15.121
- 2) 小坂直敏, サウンドエフェクトのプログラミング C による音の加工と音源合成, オーム社(2012), p.105
- 3) 青木直史, C 言語ではじめる音のプログラミング サウンドエフェクトの信号処理, オーム社(2008), pp.37, 87-96, 131-133