

バイノーラルとトランスオーラル再生の研究

システム科学技術学部 情報工学科

1年 齋藤 優季

1年 北嶋 理希

1年 佐々木 和生

指導教員 システム科学技術学部 情報工学科

准教授 高根 昭一

助教 安倍 幸治

准教授 渡邊 貫治

教授 西口 正之

1. 研究理由・目的

以前から、研究メンバー全員が音関係の技術に興味を持っており、動画サイトに上がっていたコンテンツで、ヘッドホンでの視聴時に曲が自分の周りを回って聴こえるものや、大自然の中心にいるように感じられるものがあつた。これらのコンテンツに用いられている技術やその仕組みに興味を持ったことが、本研究をやってみたいと感じた理由である。

本研究では、上記の技術として知られているバイノーラル技術やトランスオーラル技術について調べるとともに、設置したスピーカー以外の方向から音が聞こえるように MATLAB 上でフィルターを作成した。また、作成したフィルターを用いて作成した音を実際に聞き、どの方向から聞こえるのかを聴取実験を通じて調べた。さらに、フィルターを作るときに用いたインパルス応答の測定対象とした被験者以外の聴取者が聞くとどう聞こえるのかについても調べた。

2. バイノーラル再生とトランスオーラル再生の原理

2.1 バイノーラル録音再生

バイノーラル録音再生とは、耳に入ってきた時の音の状態をそっくりそのまま録音し、そのまま再生すれば録音時の音場を感じられるであろうというものである。そのまま再生することを考えると、再生にはヘッドホンやイヤホンが用いられることが前提となる。

2.2 トランスオーラル再生

収録された音の再生をヘッドホンなどで行わず、ステレオスピーカーで行うのがトランスオーラルシステムである。ヘッドホンでは右からの音は右耳に、左からの音は左耳にしか届かないとみなせるが、スピーカーの場合は右のスピーカーから出た音が右耳だけでなく左耳にも届く。左のスピーカーについても同様である。

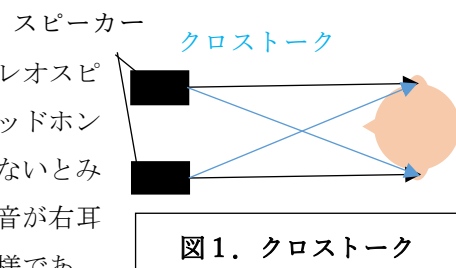


図1の水色の線のように、左右のスピーカーから右左にそれぞれクロスして到達する音は

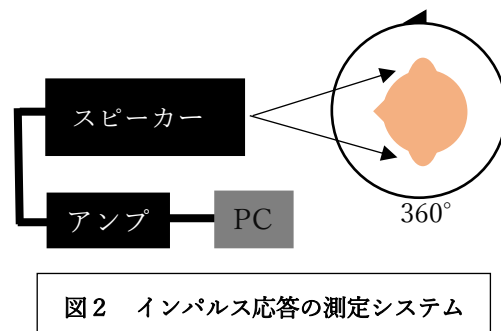
クロストークと呼ばれる。トランスオーラル再生では、クロストークをなくすために左右のスピーカーに入力する信号に事前に通すフィルターを作成する必要がある。このフィルターの特性はスピーカーの配置や被験者の頭部の形状などによって変化するとともに、クロストークの打ち消しの精度にも影響を与える。上記のような原理から、行う処理からみればバイノーラル再生はトランスオーラル再生におけるクロストークのない場合とみなすことができる。

3. トランスオーラル再生に関する実験

トランスオーラル再生の原理に基づいて各音源から耳元までのインパルス応答を測定し、それらを用いてフィルターを作成し、トランスオーラル音源の作成を行った。インパルスとは短いパルスの意味で、これをスピーカーから出したときの耳元の信号を測定することで、トランスオーラル再生のためのフィルターをつくることができる。トランスオーラル音源を用いて再生を行い、インパルス応答を行った被験者本人と本人以外の被験者がその音を聴取したときの違いについて調べた。

3.1 測定方法

図2のように、スピーカーを正面に置いた状態で椅子に座り、マイク付きイヤホンに装着して椅子を回しながら 0° から 330° まで 30° 刻みで12方向のインパルス応答を録音した。インパルスはスピーカーに接続したパソコンから入力した。スピーカーと測定者の距離は1.5mとした。これを、被験者A～Cの3人分行った。



3.2 トランスオーラル音源の作成

スピーカーの位置を設定して、測定したそれぞれの方向のインパルス応答を再生するためのそのスピーカー配置におけるクロストーク打ち消しのフィルターを作成した。クロストークが完全に打ち消されていれば、各フィルターをかけた結果は、所望の方向のインパルス応答と完全に一致するはずである。図3～6は、その一例を示したものである。再生したい音源の方向は 180° であり、図3, 4はトランスオーラル再生のスピーカー配置が 30° と 330° で、図5, 6は 90° と 270° で図3, 5が左耳(L)、図4, 6が右耳(R)である。各図において、元のインパルス応答が青色、作成したフィルターでつくられるインパルス応答が橙色である。これらの図を見ると、図5, 6の 90° と 270° に設定したもののほうが図3, 4の 30° と 330° に設定したものより両者の差が小さく、精度がいいと言える。そのため、トランスオーラル再生のためのスピーカーは 90° と 270° に配置することとした。また、被験者A, Bについてはフィルターが精度良く求められたが、被験者Cについてはフィルターの精度が低かったため、被験者A, Bのフィルターで聴取実験を行った。以降では、被験者A, Bを対象にして作成されたフィルターをそれぞれAフィルター、Bフィルターと呼ぶこととする。

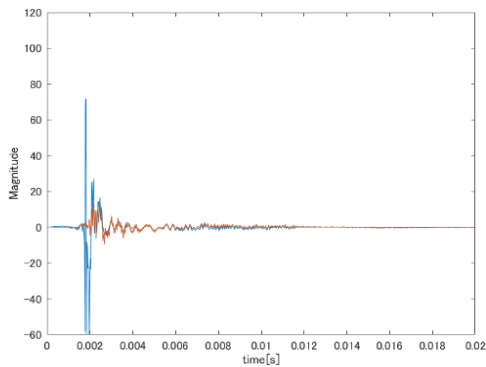


図3 インパルス応答とフィルターで合成された応答の比較(左, 再生方向: 180°, 音源配置: 30°, 330°)

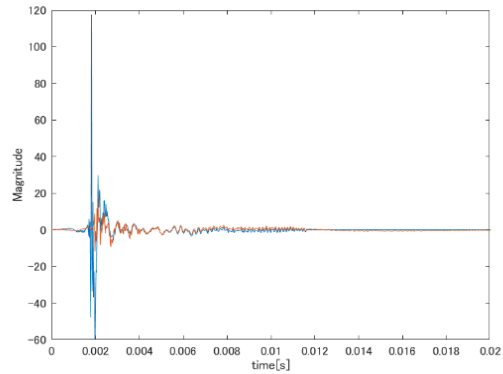


図4 インパルス応答とフィルターで合成された応答の比較(右, 再生方向: 180°, 音源配置: 30°, 330°)

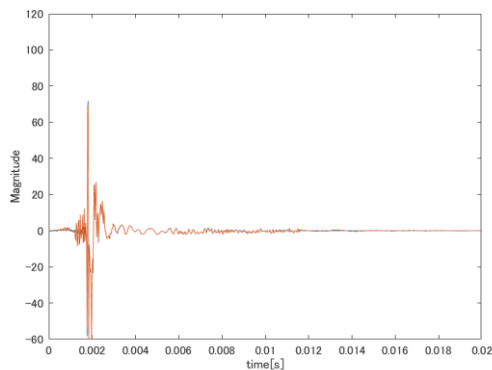


図5 インパルス応答とフィルターで合成された応答の比較(左, 再生方向: 180°, 音源配置: 90°, 270°)

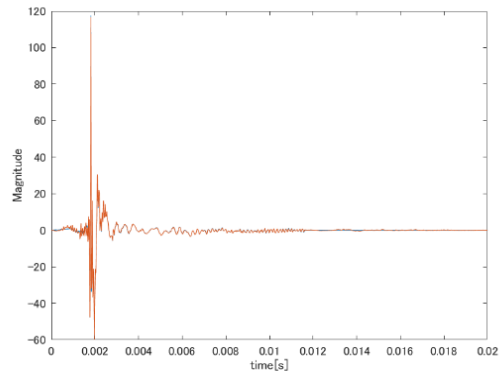


図6 インパルス応答とフィルターで合成された応答の比較(右, 再生方向: 180°, 音源配置: 90°, 270°)

3.3 聴取実験

音源信号は、フリー音源サイトから入手した大太鼓の音を使用した。聴く際は図7のように、スピーカーを90°と270°に置き、90°と270°を除く計10方向からの音をランダムに再生した。この際、被験者A, Bで作成したフィルターでそれぞれトランスオーラル音源を作成した被験者は中央に座って音を聴取し、聞こえる方向を回答した。被験者はA~Cの3名である。

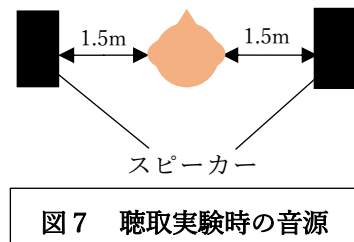


図7 聴取実験時の音源

3.4 実験結果

実験結果を図8, 9に示す。各図の横軸は聞かせたい方向の音(指示方向)、縦軸は感じた方向の音(回答方向)である。これらの図から分かるように、各被験者の感じ方には違いが見られる。Aフィルターで本人(被験者A)が聞いた時、図の対角線上に多くあることから、指示方向と回答方向が比較的近いことがわかる。ただし、指示方向と一致していないところもあり、完全に回答

方向が比較的近いことがわかる。ただし、指示方向と一致していないところもあり、完全に一致しているわけではない。その傾向は、図9のBフィルターで本人（被験者B）が聴取したときの傾向と同様である。一方、図8における被験者B,Cや図9における被験者A、Cのように、フィルターを作成した被験者ではない者の指示方向と回答方向の対応を見ると、本人の場合と比べて指示方向と回答方向の対応は対角線からより離れており、図8では、被験者B,Cの回答は後方（120°～210°）分布している。一方、図9では被験者Aが前方に聞こえている音が多いのが分かる。つまり、前から出た音を後ろから出たと感じたり、後ろから出た音を前から出たと感じたりする現象が生じている。そしてA,Bフィルターどちらも前方の音（0°～90°、270°～360°）は上手く聞き取ることが出来なかった。このような現象は前後誤りと呼ばれ、本人以外のインパルス応答を用いてトランスオーラル再生を行った場合に良く起きる[3]。

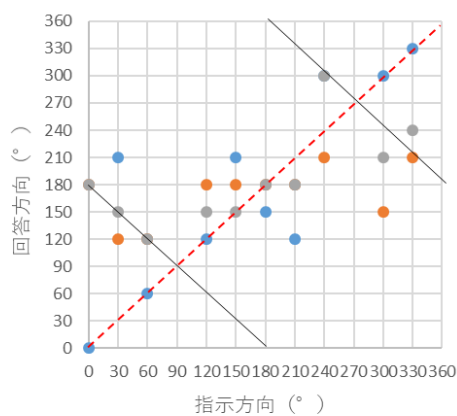


図8
指示方向と回答方向の関係(A
フィルター)

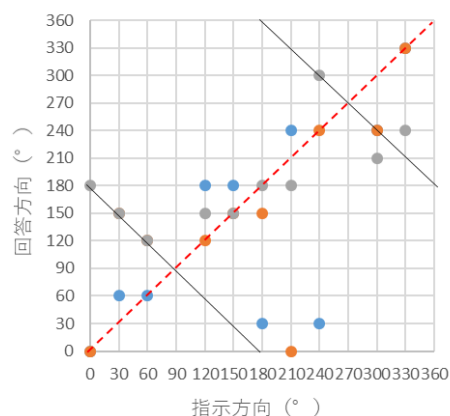


図9
指示方向と回答方向の関係(B
フィルター)

4. まとめ

今回の研究では、トランスオーラル技術について学び、MATLABを用いてそのための処理を行うとともに、トランスオーラル再生における被験者の影響について調べた。結果としては、本人で求めたフィルターにおいても完全に指示方向と回答方向は一致しなかったものの、音が聞こえる位置を変えることができた。本人以外の場合には、一致したところもあれば、聞こえた方向の前後が逆となる場合もあった。本研究ではトランスオーラル技術を習得することができたが、今後はそれを生かして、指示方向と回答方向が合致するようなフィルターの作成方法やスピーカーの最適な配置について深く調べていきたいと感じた。

5. 参考文献

1. 適応フィルタを用いたトランスオーラルシステム, <http://www-ai1.csis.oita-u.ac.jp>
2. 演出・アニメ[1] | 効果音(大太鼓), <https://soundeffect-lab.info>
3. 北脇 信彦 編著, 音のコミュニケーション工学—マルチメディア時代の音声・音響技術—
コロナ社