

体感音響振動による音楽再生

Music with Bodily Sensitive Vibration

辻 隆 志 *1

Takashi TSUJI

要約 聴覚を失った人が、音楽を楽しむ方法に体感音響振動がある。体感音響振動は、聴覚機能を経由せず、体を感じることができる振動を利用する技術である。その振動の周波数は約 300Hz 以下のところにあり、低音楽器や打楽器の音を再生するのに適している。本稿は、持ち運び可能な体感音響振動装置の製作に関する報告である。

1 はじめに

体感音響振動とは、音響装置（オーディオ装置）によって再生される音楽やコンサートの音を振動として身体に伝える音響再生方式である。聴覚を失った人でも振動によって音楽を体感し楽しむことが可能となる。

一部のメーカーから体感音響振動を利用した音楽再生装置の販売、あるいは貸し出しが行われているが^{1),2)}、聴覚障がい者が気軽に楽しめるポータブルタイプのもの普及は見受けられない。そこで2017年度から総合制作実習の一つのテーマとして、両手に振動を伝える小型の装置の開発に取り組んでいる。

本稿では、2017年度の試作1号器の製作、2018年度の改良の内容について報告する。

2 試作1号器

体感音響振動装置の試作1号器のブロック図を図1に示す。

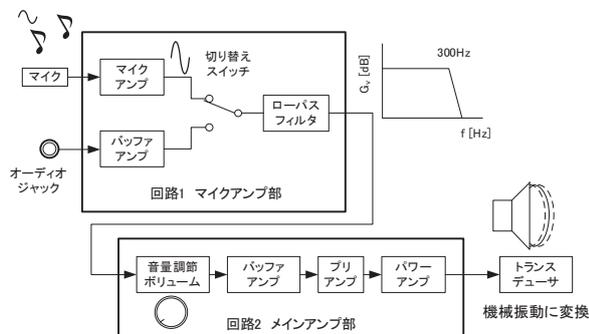


図1 試作1号器のブロック図

装置に内蔵されたマイク又はオーディオジャックから音楽等の電気信号をマイクアンプ部に送り、体感音響振動に適した周波数成分（300Hz 以下）を抽出する。その信号をメインアンプ部に送り電力増幅し、トランスデューサで機械振動に変換し出力する。

回路は左右のチャンネルごとに設けステレオ再生とした。

また、電気振動を機械振動に変換するトランスデューサとして小型スピーカ（TOYO 70FB02BC 8Ω MAX15W 843V）を用いた。

ローパスフィルタを通さず、トランスデューサに加える電圧 $0.1V_{pp}$ とし、加速度センサによりコーン中央（防塵キャップ）で最大変位を測定した結果を図2に示す。振動の主要部分が周波数 300Hz 以下の領域にあることがわかる。

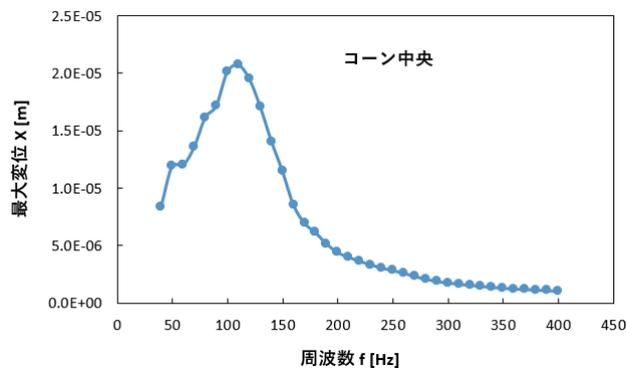


図2 振動の最大変位の周波数特性

*1 電子情報技術科

Department of Electronics and Information Technology

手の指や手の平で振動を感じられるように、スピー

力のコーンを取り除き、防塵キャップにドーム状の振動板を取り付けた。図3にその構造を示す。
 また、図4に完成した試作1号器の図を示す。

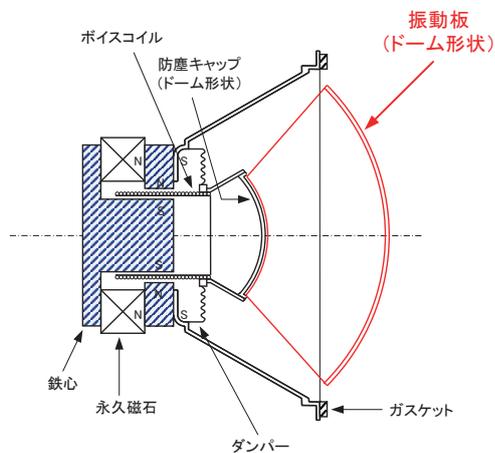


図3 スピーカを使用したトランスデューサ

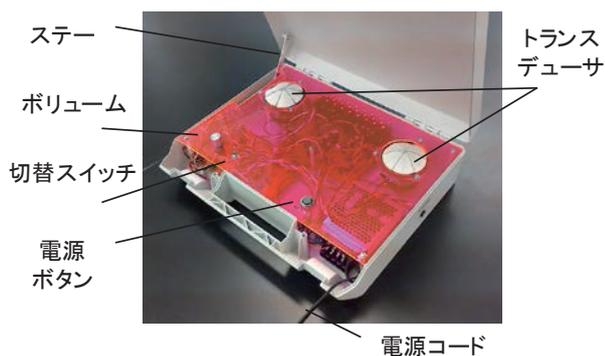


図4 完成した試作1号器 (外寸345×284×83mm)

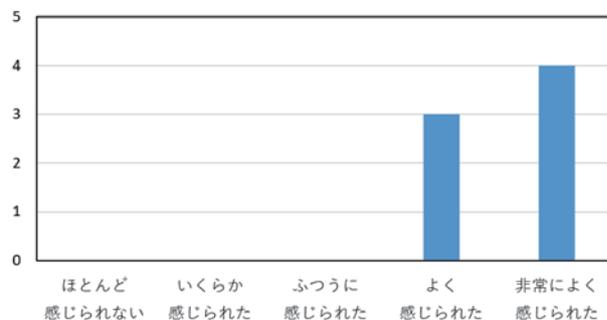
3 試作1号器の評価

千葉県立聾学校の高等部3年生7名の生徒さんに試作1号器の評価をしていただいた(図5)。
 図6にアンケート結果の一部を示す。

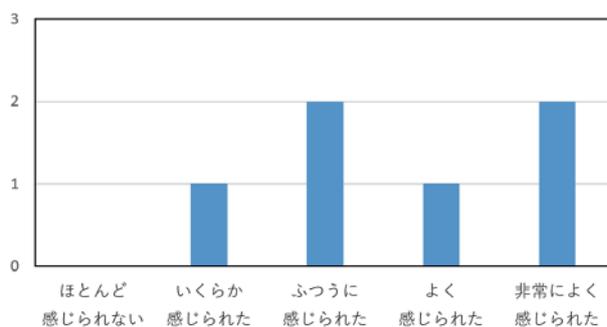


図5 試作1号器評価の様子

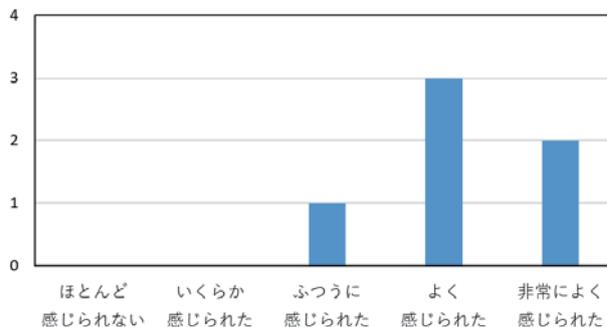
振動の感じ方



音楽の振動であること



リズム (テンポ)



音の高さ

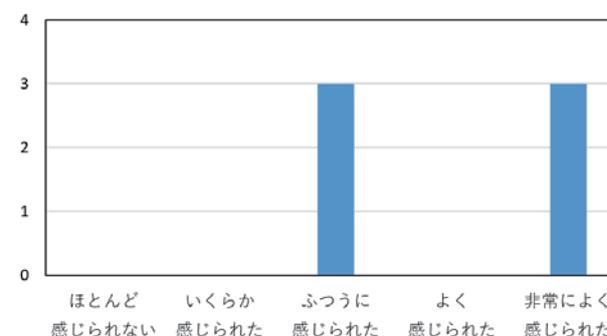


図6 評価アンケートの結果 (一部)

アンケートの結果、概ね良好な結果が得られた。
 その他、「音も大きく聞こえた方が良い」、「もう少し
 振動板を大きくして欲しい」などの意見をいただいた。
 「音が聞こえること」は、聾学校の指導教員によれば、
 重度の難聴の場合に小児期に人工内耳の手術を受ける
 ことが多いとのことであった。手術と訓練により音を
 聞くことができるようになるとの説明があった。

4 試作2号器に向けての改良

2018年度は、試作1号器の評価を受けて次の改良を
 行うことにした。

- ① 機械的に弱いスピーカのボイスコイル側でなく、
 丈夫な永久磁石側の振動を伝える構造とし、振動
 板を大きくする。
- ② 永久磁石側の振動はボイスコイル側に比べて小さ
 いため、ボイスコイル側に重りを乗せ電磁石側の
 振動を大きくする工夫をする。
- ③ 大きな振動を得るため、回路を改良しパワーアン
 プの出力を上げる。
- ④ 音も聞くことができるようにオーディオ出力ジャ
 ックを追加する。アンプ付きスピーカを接続する
 ことによって音の再生もできるようにする。
- ⑤ 1号器では内蔵マイクを設けたが、ハウリングを防
 止する対策が必要となるため、内蔵マイク及びマ
 イク用アンプを廃した。

図7に試作2号器のブロック図を示す。

図8は、振動部分の構造であり、トランスデューサ
 (スピーカ)の永久電磁石側の振動を薄いアクリル板
 に伝える構造にした。ボイスコイル側に重りを乗せ、
 その反作用を利用して電磁石側の振動を大きくする。
 この構造によって振動板の面積も広くすることができ、
 トランスデューサの故障も防ぐことができる。

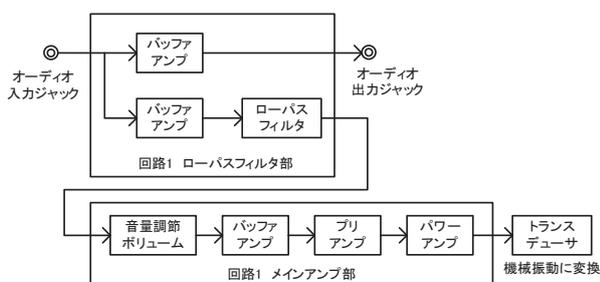


図7 試作2号器のブロック図

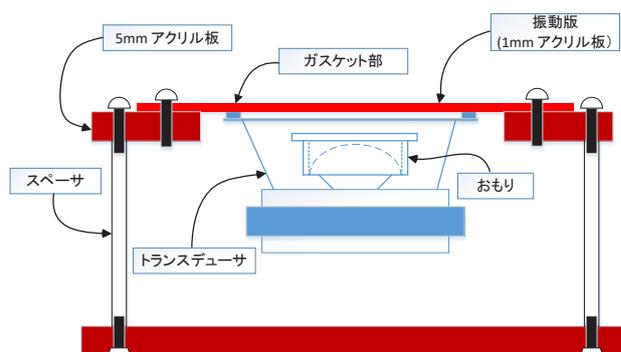


図8 振動部分の構造

図9に示すように新設計の振動板中央に加速度セン
 サを置いて振動の最大変位を測定した。
 振動が正弦波的に起こるとし、変位 x は、

$$x = X \sin \omega t \quad \dots(1)$$

ここで、 X は最大変位、 ω は角周波数、 t は時間で
 ある。

式(1)を、2階微分して加速度 a を求めると、

$$a = -\omega^2 X \cos \omega t \quad \dots(2)$$

センサの感度を α とすると、検出される電圧の最大
 値 e_{max} は、

$$e_{max} = \alpha \omega^2 X \quad \dots(3)$$

上式から、最大変位 X は、次式で表される。

$$X = \frac{e_{max}}{\alpha \omega^2} \quad \dots(4)$$

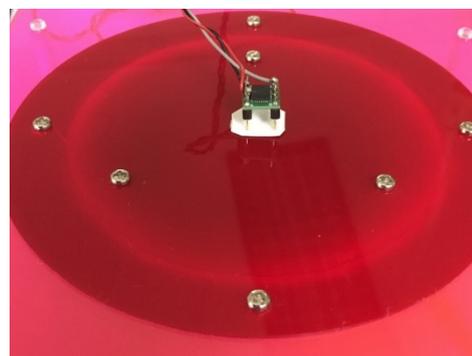


図9 加速度センサによる最大変位の測定

トランスデューサの端子電圧を図2の測定条件と同様の $0.1V_{P-P}$ として測定した結果を図10に示す。比較のために図2のデータとともに最大変位を対数目盛で示した。

新振動板(永久磁石側)は、ボイスコイル側に比べて1~2桁最大変位が小さく、ボイスコイル側よりも低周波側に振動の主要部分があることがわかる。

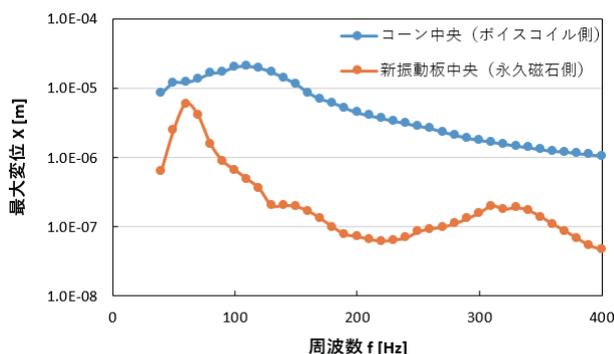


図10 振動板の最大変位の周波数特性

振動板をトランスデューサの永久磁石側に変更したことによって振動の最大変位が小さくなる。これを補うためにパワーアンプ回路を改良し、出力を大きくした。

改良したパワーアンプの回路図を図11に示す。オペアンプ増幅回路とアクティブ負荷を組み合わせて出力電圧の振幅を大きくした結果、最大出力を試作1号器の $0.5W$ から $1.6W$ に上げることができた。

5 ブレッドボードでの回路試作と評価

図7に示したブロック図の回路をブレッドボードに組み立て、オーディオ出力端子にアンプ付きスピーカを、パワーアンプ出力に新設計のトランスデューサを

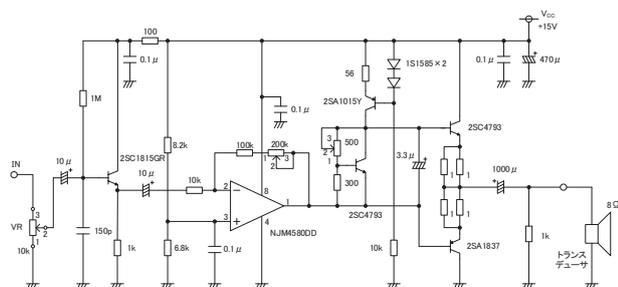


図11 改良したパワーアンプの回路図

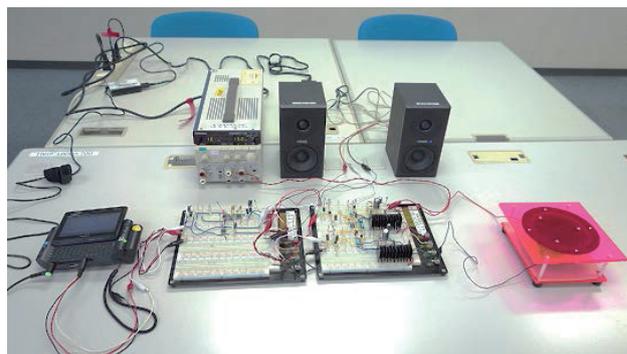


図12 ブレッドボードでの評価

接続し音楽信号を入力した。図12にその様子を示す。

振動板はバスドラム、スネアドラム、コントラバス、ベースギターの振動を良好に再生し、アンプ付きスピーカの音と合わせることで臨場感を強く感じることができた。

聴覚障がい者だけでなく健常者にとっても音楽の楽しみ方として選択できる方式である。

6 学生指導上の課題

本テーマは前述のように総合制作実習の1テーマとして、学生の教育を目的に取り組んでいるものである。

今後はさらに学生が主体的に実習に取り組めるように工夫し、回路の検討、回路基板や振動板の組み立て、プラスチックケースへの組み込みを行い試作2号器として完成させる予定である。

学生に指示して得られた実験データの中には、実験条件などが詳細に記録されていないものもあり、再現実験に苦勞することがあった。実験ノートに必要な記録を残すことの重要性が理解できるように、通常の授業でも指導しなければならないと改めて感じている。

また、本テーマは電子回路の分野に加え、機械的な振動も主要な部分を占めており、電子情報分野に関わらず向学心を持って知識を吸収しようとする意欲が必要であると考えている。

参考文献

1) 機材貸出お申し込み

<https://jpn.pioneer/ja/corp/society/karadadekikou/bodysonic/>

2) Springs-Chord

<http://springs-chord.jp/sound/>