

## 2つの楽器音の高低差を可視化する装置の開発

### Development of a Device to Visualize the Difference in Pitch Between Two Musical Instruments

大井 一輝<sup>†</sup>                      川久保 貴史<sup>†</sup>  
Kazuki Ohi<sup>†</sup>                      Takashi Kawakubo<sup>†</sup>  
<sup>†</sup>香川高等専門学校

#### 1 背景

オーケストラや吹奏楽といった、多くの楽器が集まって合奏する演奏形態においては、各楽器の音高を適切な状態に調整することが必要である。楽器ごとの調整が適切に行われていないと、合奏を行ったときに、音のうなりやひずみとなって非常に聞き苦しい音楽となる。また、演奏に用いる各楽器の調整を事前に行ったとしても、演奏者の奏法、演奏する場所の気温や楽器自体の温度、演奏中における楽器のコンディションの変化等によっても、その音程は変わっていく。そのため、演奏者は、合奏中に自分の演奏する楽器の音程を常に把握し、適切な音程で演奏するために十分なトレーニングが必要である。

#### 2 目的

本研究の目的は、楽器初心者が、合奏中に周囲の音を聞き、周囲と音を合わせられるようにトレーニングできる機材を作製することである。具体的には、基準の音程となる楽器1名と、初心者の楽器演奏者1名を想定し、この2人の奏者が同時演奏する楽器音の音程のずれを検出し、可視化する装置を作製する。音程のずれを聞き取るのは、楽器初心者には難しい。そこで、この装置を用いて、楽器初心者が、自分の演奏している音程が基準の奏者の音程とどのような関係（どの程度高い、もしくは低い）であるか、演奏しながら目視で知ることができれば、音程ずれの感覚を、耳だけでなく目でも感じることができ、楽器演奏のトレーニングに役立てることができると考えている。

本論文では、初めに、楽器の音程検出装置を作製し、次に、その装置を応用して、2つの楽器音の音程差を可視化する装置を作製したので報告する。

#### 3 楽器の音程検出装置について

##### (1) 装置の構成と原理



図1. 装置の構成図

楽器の音程を検出するための装置の構成を図1に示す。今回は、汎用マイコンボードである Arduino とシンプルな電子回路で構成した。<sup>[1][2]</sup>まず、集音回路部（コンデンサマイク）によって、楽器音を集音しアナログ電気信号へ変換する。次に、この電気信号を、波形整形回路部（トランジスタと汎用ロジックICを用いた電子回路）で音の周期に対応したデジタル信号（Hレベル5V, Lレベル0Vの方形波）へと変換する。このデジタル信号の周期を、測定・演算回路部（Arduino）で測定し、演算<sup>[2]</sup>することで音の周波数を求め、表示回路部（LCD）へ表示する。作製した回路の写真を図2に示す。全ての回路の電源はパソコンのUSB端子からArduinoを介して供給した。また図3に周波数表示例を示す。音程は周波数としてHzの単位で表示させた。

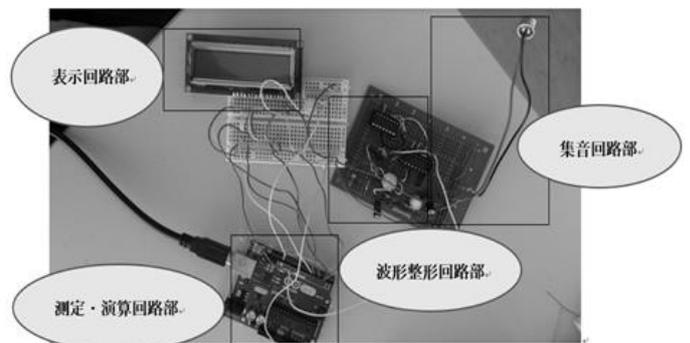


図2. 実際に作製した回路



図3. LCDへの周波数表示例

##### (2) 音程検出実験

この音程検出装置で、楽器音が正確に測定できるか、確認実験を行った。図4に実験図を示す。ここでは、実際の楽器音の代わりに、音程を任意の周波

数へ可変できるように、低周波発振器とスピーカーを用いた。実験手順を以下に示す。

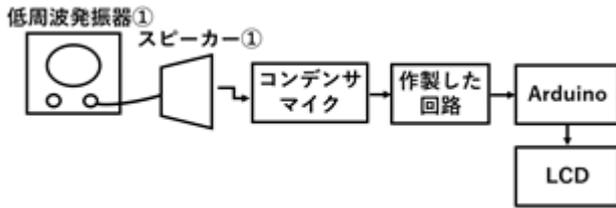


図 4. 実験図

- ① 低周波発振器で正弦波を可聴域の周波数に設定して発振し、音程検出装置の集音回路部（コンデンサマイク）が検出できる音量でスピーカーを鳴らした。
- ② この状態で、表示回路部（LCD）へ表示される周波数を確認し、低周波発振器の設定値と比較した。
- ③ 低周波発振器の設定周波数を変えて手順①②を行った。低周波発振器の周波数は 100Hz から 3.0kHz の範囲で変化させた。

(3) 結果と考察

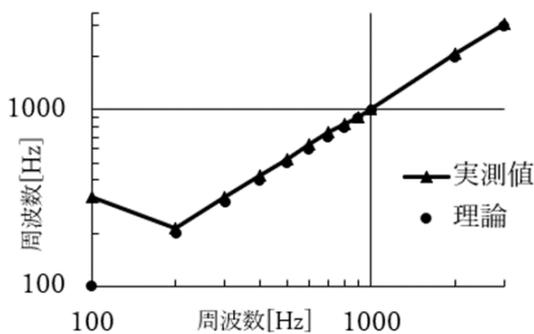


図 5. 周波数測定結果を示したグラフ

図 5 に実験結果のグラフを示す。横軸に低周波発振器の設定値、縦軸に表示回路部（LCD）の表示値をそれぞれ対数で示している。図中の理論値とは、低周波発振器の設定値と表示回路部の表示値が等しくなる場合（すなわち誤差がない場合）のプロットを示し、実測値とは、発振器の設定値に対して実際に表示された表示値のプロットである。実測値のプロットが、理論値のプロットからずれているほど、本装置で測定された音程（周波数）の誤差が大きいことを意味する。

実測値と理論値は、ほぼよく一致した結果となったが、100Hz の時は誤差が大きく表れた。100Hz から 200Hz の範囲で低周波発振器の周波数を微調整して確認を行ったが、約 150Hz を超えたところで急に

実測値と理論値が近づいた。当初、作製した装置の回路の特性を疑ったが、原因は、実験に用いたスピーカーにあった。実験に使用した小型スピーカー（ティアックシステムクリエイティブ社製 FW-60/2）は低音の再生には向いておらず、100Hz の信号を入力すると、100Hz の音と約 300Hz の高調波音が発生していることが聞き取れた。この高調波音を、本装置が検出し、実測値として 300Hz の表示が表れたため、誤差が大きくなっていると考えられる。

## 4 2つの楽器音の音程差を可視化する装置について

### (1) 装置の構成と原理

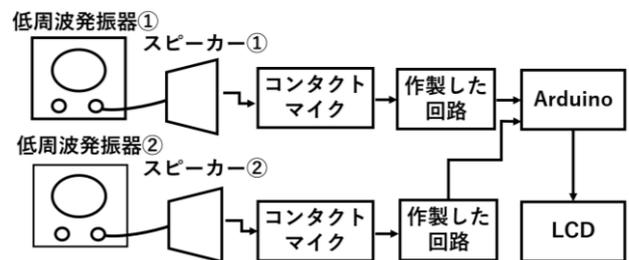


図 6. 機器の構成

図 6 が、2つの楽器音の音程差を可視化する装置の構成である。音程検出装置の集音回路部および波形整形回路部を 2 系統準備し、同時に発音された 2 つの楽器音をそれぞれ処理した後、測定・演算回路部（Arduino）へデジタル信号として入力する構成となっている。ここで、集音回路部のマイクは、2 人の奏者の楽器音をそれぞれ分けて集音するために、クリップで固定した楽器の音のみを検出できるコンタクトマイクへ変更している。測定演算回路部では、入力された 2 つのデジタル波形の周期から周波数の差を演算し、表示回路部（LCD）へ表示する。作製した装置の写真を図 7 に示す。また図 8 に周波数表示例を示す。2 つのマイクで検出した音程それぞれの周波数、および、両周波数の差を表示できるようにした。



図 7. 実際に作製した回路



図 8. LCD への周波数表示例

## (2) 2音の音程検出実験

2つの楽器音の音程差が正確に測定できるか、確認実験を行った。ここでも、実際の楽器音の代わりに、音程を任意の周波数へ可変できるように、低周波発振器とスピーカーを用いた。実験手順を以下に示す。

- ① 図6に示す、2台の低周波発振器①②とスピーカー①②で、可聴域の周波数の正弦波音を鳴らし、作製した装置の集音回路部①②（コンタクトマイク）2つでそれぞれの音を検出した。
- ② この状態で、表示回路部（LCD）へ表示される周波数を確認し、低周波発振器の設定値と比較した。同時に、周波数カウンタを用いて、低周波発振器①②から発振されている正弦波音が、各低周波発振器の設定値と一致していることを確認した。
- ③ 低周波発振器②の周波数は 1.0kHz 固定とし、低周波発振器①の周波数を 100Hz から 2.0kHz の範囲で変化させ、手順①②を行った。

## (3) 結果と考察

図9が実験結果のグラフである。横軸には可変した低周波発振器①の周波数値、縦軸には可変した低周波発振器①と固定した低周波発振器②の周波数（1.0kHz）との周波数差を示している。差分（理論値）のプロットは、低周波発振器①の周波数と低周波発振器②の周波数の設定値の差、差分（測定値）のプロットは、本装置の表示回路部に表示された値である。測定値のプロットが、理論値のプロットからずれているほど、本装置で測定された2音間の音程差が、理論値からずれていることを示す。

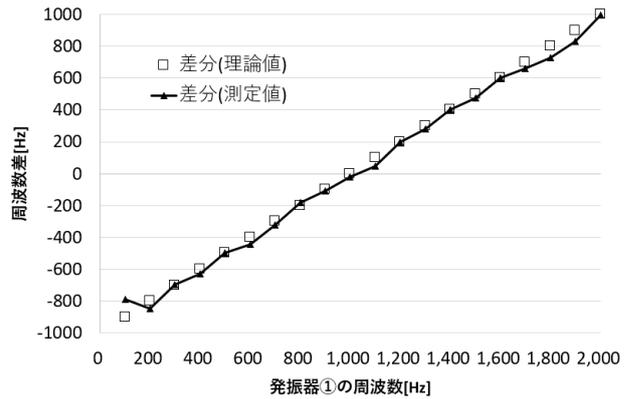


図 9. 低周波発振器②の正弦波信号を 1kHz に固定した時の周波数測定結果

実測値と理論値は、ほぼ一致している。しかし、低周波発振器①の周波数を 100Hz にした時の差分の測定値が、理論値から大きくずれる結果となった。低周波発振器②の周波数は 1.0kHz 固定であるので、低周波発振器①の周波数から低周波発振器②周波数を引いた、差の理論値は -900Hz である。これは、本装置において、検出した2音の音程差（周波数の差分）の絶対値が大きくなった時、誤差が大きくなることを意味している。Arduino へ組み込むプログラムの補正等で改善することが必要と考えられる。

## 5 おわりに

本論文では、初めに、楽器の音程検出装置を作製した。可聴音を検出し、Arduino へ取り込み、音程（周波数）を測定する装置を作製することができた。今後の課題としては、2つの楽器音の音程差が大きくなった時の誤差の低減のために、補正プログラム等の対応を行いたい。また、今回の実験では、楽器音として、低周波発振器からの正弦波音を使用した。実際の楽器音は正弦波のような単純な波形ではなく、倍音（高調波）を含む複雑な波形となる。そのような実際の楽器音での動作を確認し、対応できるように改良を行っていきたい。

## 参考文献

- [1] 和泉勲「わかりやすい電子回路」, コロナ社 pp255~296 (2005)
- [2] Massimo Banzi「Arduinoをはじめよう」, オーム社 pp87~141 (2012)