

簡易に演奏可能なウインドシンセサイザーの開発

奈良女子大学附属中等教育学校 黒川 陸

1. 要約

本研究では、初心者でも早期に完成度の高い演奏を体験できるリコーダー型ウインドシンセサイザー(以下ウインドシンセ)の開発に取り組んだ。既存の技術よりも簡単に音の高さを変えられる「管を回転させるピッチベンド」と、息継ぎの間の無音時間をなくすことができる「息の吸い込みを利用した発音機能」を搭載している。

2. 研究の背景と目的

私はリコーダーの操作法で演奏でき、音量や音色の変化が容易なリコーダー型ウインドシンセに興味を持ち、既存のウインドシンセを演奏してみたところ、音の高さを滑らかに変化させる「ピッチベンド」という操作が難しいと感じた。これを解決するために、演奏中に楽器を支えているだけの手首や腕を利用して、管の回転によってピッチベンドを実現することを思いついた。また、息の吸い込みを利用して発音する機能があれば、息の吐き出しと吸い込みを繰り返すことで長いフレーズを途切れずに演奏できると予想した。これらの「管を回転させるピッチベンド」と「息の吸い込みを利用した発音機能」を実装したウインドシンセによって、楽器初心者でも早期に完成度の高い演奏を体験できることを目的にして開発に取り組んだ(図1)。

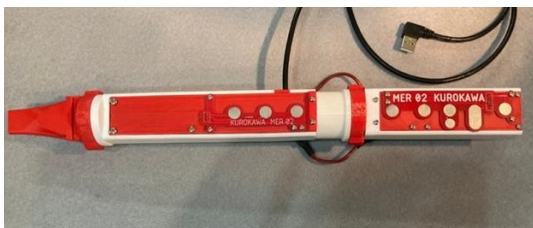


図1 開発したウインドシンセ

3. 研究方法

2で述べたように、既に類似のウインドシンセは製品として発売されている。そこで、まずは既存の製品と同程度の機能を持ったリコーダー型ウインドシンセを再現し、そのウインドシンセを土台に「管を回転させるピッチベンド」と「息の吸い込みを利用した発音機能」というオリジナルの機能を実装することにした。

3. 1 既存のリコーダー型ウインドシンセの再現

(ア) 試作品 1

(1) 息の測定

【方法】マウスピースに息を吹き込むと内部の気圧が上がることを利用して、マウスピース内に気圧センサを設置し、内部の気圧を測定した。装置の電源が入ったときに、一度大気圧を測定したものを「基準の気圧」として保存し、演奏中の気圧との差を「息の強さ」として処理した。

【結果】気圧センサを用いた息の測定に成功した。

(2) 運指の測定

【方法】スマートフォンのタッチパネルに使われている「静電容量センサ」で運指を測定した。

【結果】静電容量センサを用いた運指の測定に成功した。

(3) 音の生成

【方法】Digital Audio Workstation(以下 DAW)ソフトから音を鳴らすために必要な「音色」、「音量」、「音の高さ」の三要素の MIDI 信号を作成して出力した。

① 音色の MIDI 信号の作成

DAW ソフトの「チャンネル 1」に用意されている音色を選択して鳴らす信号を作った。

② 音量の MIDI 信号の作成

息の強さによって音量を操作するために、(1)で測定した「息の強さ」を MIDI の音量設定に割り当てた。

③ 音の高さの MIDI 信号の作成

(2)で測定した運指を、バロック式ソプラノリコーダーの運指に当てはめて、音の高さを決定した。

④ MIDI 信号の出力

①から③で作成した MIDI 信号を、Arduino 用 MIDIUSB ライブラリを使って、Arduino から USB でパソコンに出力した。

【結果】MIDI 信号を出力し、DAW ソフトの GarageBand から音を出すことに成功した。息の操作で音量に抑揚をつけ、バロック式ソプラノリコーダーの運指で演奏することができた

(4) 筐体

【方法】木材の板を組み立てた箱の外側に静電容量センサを取り付け、箱の内側に Arduino と配線を収めた。また、気圧センサが入ったマウスピースは 3D プリンターで印刷して、木箱に取り付けた。

【結果】木の箱が大きく持ちにくかったため演奏には向いていなかった。また、静電容量センサが指を置きにくい場所に配置されており不便だった。試作品 1 の写真を図 2 に示す。

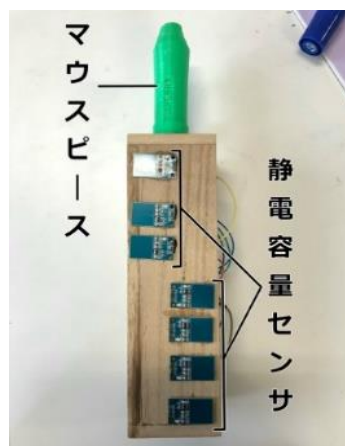


図 2 試作品 1

(イ) 試作品 2

(1) 息の測定

【方法】試作品 1 と同様の気圧センサで測定した。

(2) 運指の測定

【方法】試作品 1 と違い、フォトダイオードとレーザーを用いて運指を測定した。音孔の内部からレーザーを発光させ、指で音孔をふさいだときのレーザー光の変化量をフォトダイオードで測定した(図 4)。

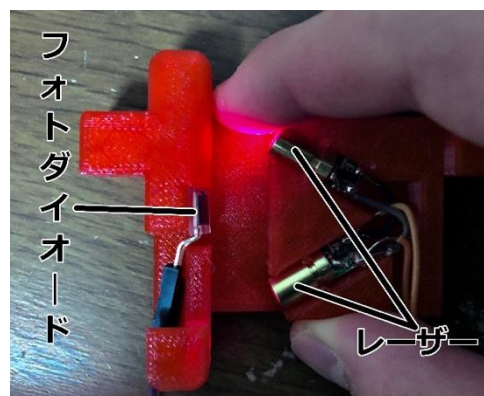


図 4 フォトダイオードとレーザー

【結果】運指を測定することに成功した。さ

らに、今まで使用していた静電容量センサでは測定できなかった、音孔に当てている指の面積も測定できた。これにより、指を当てる面積を変えることで音を変化させる機能への発展が期待できた。一方で、フォトダイオードが検知する光の量で運指を判断しているため、演奏会場の明るさの変化によって運指の検出精度も変わってしまう(上と同じ理由)欠点があった。

(3) 音の生成

【方法】試作品 1 と同様に Arduino から MIDI 信号を出力した。

(4) 筐体

【方法】3D プリンターで小さな部品を印刷し、それらを繋げて縦笛の形にした。

【結果】小さな部品同士を接合する場所が大きく、配線が難しかった。試作品 2 の写真を図 5 に示す。



図 5 試作品 2

(ウ) 試作品 3

運指の測定

【方法】試作品 2 ではフォトダイオードとレーザーを使用して運指を測定したが、演奏会場の明るさによって動作が不安定になった。そこで、試作品 1 で使用していた静電容量センサで運指を測定した。手で触れる部分は銅リボンで作った。

【結果】演奏会場の明るさに影響されずに運指を測定できた。一方で、静電容量センサは水濡れには弱いので、演奏者の指が湿っていると誤反応が起きた。

(1) 音の生成

【方法】試作品 1 と同様に Arduino から MIDI 信号を出力した。

(2) 筐体

3D プリンターで縦笛の形に造形した。試作品 3 の写真を図 6 に示す。

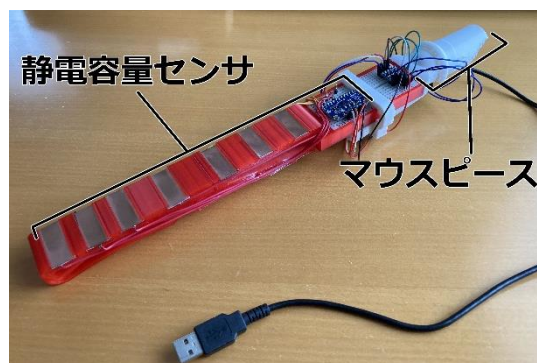


図 6 試作品 4

(エ) 完成品

(1) 息の測定

【方法】試作品 3 と同様の気圧センサを組み込んで息を測定した(図 7)。



図 7 マウスピースと気圧センサ

(2) 運指の測定

【方法】試作品 1,3 と同様に静電容量センサの MPR121 を用いて運指を測定した。静電容量センサの指に触れる部分をリコーダーの音孔の形にしたプリント基板で実装した(図 8)。また、演奏者にとって健康的だと考え、ランドの表面処理を Lead Free HASL(無鉛半田レベラー)を利用した。

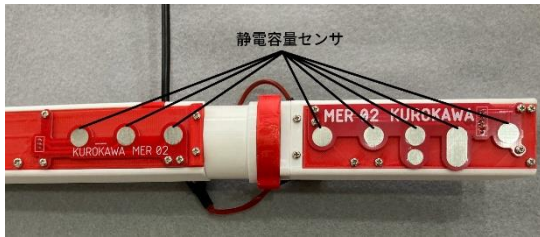


図8 静電容量センサを実装した様子

【結果】運指の測定に成功した。

(3) 音の生成

【方法】試作品 1,3,4 と同様に Arduino から MIDI 信号を出力した。

(4) 筐体

【方法】3Dプリンターでリコーダーを模した箱型の本体を印刷し、その中に電子回路を収めた。

【結果】箱の中の広いスペースを利用し、余裕をもって配線できた(図9)。



図9 筐体内部にある電子回路

3. 1 オリジナル機能1：管を回転させるピッチベンドの実装

手首や腕を利用して簡単に操作できるピッチベンドを実現するため、管を回転させるピッチベンドの実装を試みた。ウインドシンセを頭部管、中部管、足部管に分割し、その継ぎ目にベアリングを用いて回転するようにした。また、中部管と足部管の回転角に応じて、音の高さを変化させた。

(1) ウインドシンセの三分割

【方法】ウインドシンセのマウスピース部分を頭管部、頭管部に近い音孔三つ分を含む部分を中管部、残りの部分を足管部として分割した。

その後、中管部の両端にベアリングを固定し、ベアリングの穴に頭管部と足管部を差し込んだ(図10)。

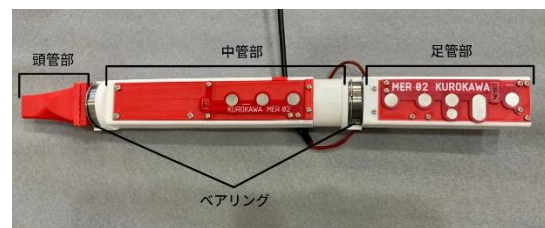


図10 管の継ぎ目のベアリングの写真

【結果】ウインドシンセを三分割し、それぞれが回転できるようになった。しかし、中管部と足管部の間に電気回路の配線があり、管を180°以上回転させるとねじれて断線しそうになった。

【考察】新しい装置を作るときは、中管部と足管部の間にスリップリングを入れて、配線が断線しないように工夫したい

(2) 中部管と足部管の回転角の測定

【方法】ロータリーエンコーダーを中管部に、回転軸を足管部に固定し、回転軸の回転角を測定した(図11)。

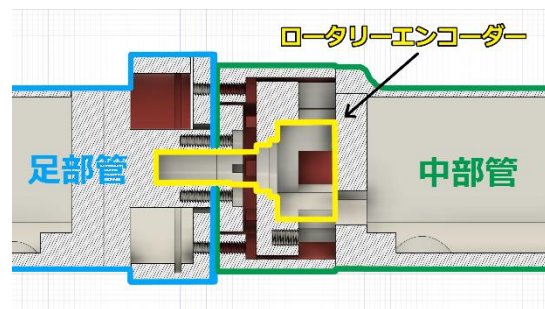


図11 固定されたロータリーエンコーダー

【結果】中部管と足部管の回転角度を7.2°ごとに測定することに成功した。

【考察】今回はロータリーエンコーダーの回転軸を直接管に固定したが、回転軸と管の間に歯車を設けて回転を増幅させることで、さらに細かい角度の測定ができると考えた。

（3）回転角の大きさに応じて音の高さを変化させる

【方法】管の回転角に応じて、発音中の音の高さを上げ下げさせた。実際に作成したウインドシンセで演奏したところ、回転させられる限界と感じたのが $\pm 72^\circ$ であった。多くのピッチベンドは上下に半音二分の振れ幅で音を変化させるため、 $+72^\circ$ で半音二分低く、 -72° で半音二分高くなるようにした。

【結果】管を回転させたときの音の高さの変化をオシロスコープで測定した。測定値と理論値(12平均律)の相対誤差を調べたところ、約0.5%だった。

【考察】測定値と理論値(12平均律)の誤差が約 $\pm 0.5\%$ だったことから、管の回転角に応じて、正確に音の高さを変えることができたと言える。

一方、 7.2° ごとにしか音の高さを変えられず、ピッチベンドとしては粗い印象を受けた。より滑らかに音の高さを変えるために、回転角を細かく測定する必要があると感じた。

3. 2 オリジナル機能2：息の吸い込みを利用した発音機能の実装

【方法】3.1の(1)で述べたように、「息の強さ」の値は大気圧との差から求めている。そのため、息を吐いて気圧が上がると「息の強さ」は正の値となり、息を吸い込んで気圧が下がると「息の強さ」は負の値となる。そこで、息を吸い込んだときにも

息を吐き出したときと同様に音が鳴るように、「息の強さ」を絶対値で処理した。

【結果】息を吸い込んだときと吐き出したときの音をオシロスコープで測定したところ、どちらも同様の波形であった

【考察】息を吸い込んだときに、息を吐き出したときと同様に音を鳴らすことができた。

4. 結果

・既存のリコーダー型ウインドシンセを再現できた。

・ロータリーエンコーダーを用いた「管を回転させるピッチベンド」の実装により、手首や腕を利用して音の高さを変えることができた。

・気圧センサの利用と得られた値に対する絶対値の処理により、「息の吸い込みを利用した発音機能」を実装し、息の吐き出しと吸い込みを繰り返しながら連続して演奏することができた。

5. 考察

「管を回転させるピッチベンド」と「息の吸い込みを利用した発音機能」の実装により、操作が簡単なウインドシンセを作ることに成功した。

6. 参考文献

[1] 「Arduino Micro で MIDIUSB を使う」

<https://canalier.com/arduino-micro%E3%81%A7midiusb%E3%82%92%E4%BD%BF%E3%81%86/>

[2] 「MIDIUSB library」

<https://www.arduino.cc/en/Reference/MIDIUSB>

[3] 「たのしい電子管楽器のつくりかた」

<http://naitoku.hatenablog.com/entry/2018/12/08/115704>