

楽器未経験者に向けた弦管打複合の IoT 楽器の提案

矢田 絵理奈^{1,†1,a)} 岩井 将行^{1,†1,b)}

概要: 楽器未経験者にとって、楽器自体に触れる機会は極めて少ないと言える。たくさんの種類の中から選ばなければならず知識も必要となり、気軽に購入できる価格ではないこと、楽譜を読めなければならないなど、楽器未経験者が楽器を演奏することは非常にハードルが高い。そこで我々は、複数の演奏方法を取り入れた一つの楽器を提供できれば、楽器未経験者が楽器を知るきっかけになると考えた。これまで、ヴァイオリンをセンサで表現することに成功した。加えて管楽器と鍵盤の制作を行い、ひとつにまとめる事が本研究の目指すゴールである。今回は従来の IoT ヴァイオリンの改善と、マトリクス回路を用いた鍵盤の実装を行い、管楽器の構想を述べ、楽器未経験者が気軽に演奏できる楽器を提案する。

1. はじめに

楽器未経験者にとって、楽器に触れる機会は極めて少ない。たくさんの種類の中から選ばなければならず、多くが気軽に買うことができる価格ではないこと、楽譜を読めなければならないなど、楽器を演奏することは一般的にハードルが高い。

楽器には、鍵盤、弦、管、打など、多様な種類があり様々な演奏方法がある。具体的には、押す、叩く、弦を弾く、キーを押さえながら息を吹き込むなどである。そこで我々は、複数の演奏方法をまとめることができれば、一つの楽器で様々な演奏方法を知ることができると考えた。これまでヴァイオリンをセンサで置き換えることに成功した [1]。本稿では、機能のアップデートと、鍵盤の作成、管楽器の導入について述べる。

2. 関連研究

楽器の研究は多方面に渡る。未経験者でも簡単に演奏できるようにという視点や、体の不自由な人でも演奏できるという視点。持ち運びやすいようにとコンパクトを目指したもの、作曲や編曲を手助けするためや、自動演奏 [2] など、幅広く研究が進んでいる。VR エンタテインメントに向けたエア楽器演奏システム [3] では VR 上での触覚提示を行っている。こちらはギターモードとピアノモードとあり、複数の演奏方法を行うことができる。本システムのようにマイコンやセンサを用いた電子楽器の作成は盛んに行

われている。例えば川島らによるだれでもソロイスト G [4] は Arduino を用いた電子ギターの実装、評価を行っており、金井らによる PocoPoco [5] は数種のセンサを用いた楽器演奏インタフェースを作成した。本研究の目的は、安価であり、簡単に音が出る、様々な演奏方法を備えた楽器を開発することだ。ここでは、筆者が作成した IoT ヴァイオリンで参考にした、evio(エヴィオ) [6] と Arduino で作成したウィンドシンセサイザー [7]、複数の楽器を組み合わせで演奏することができる UnitInstruments [8] を紹介する。

2.1 evio(エヴィオ)

evio(エヴィオ)とは 2003 年に発売された電子ヴァイオリンである。弦に当たる部分の光学センサーによってスリットが印刷された弓を読み込む仕組みで、弓を動かすと音が出るというシステムである。弓の速さによって曲のテンポも変わるので、自分で演奏できている実感が持てるのが特徴である。しかし、音程の操作はできない。また、evio(エヴィオ)の他にもたくさんの玩具であるヴァイオリンが存在しており、evio(エヴィオ)同様弓を動かすと曲が進んでいくという仕組みだが、弓の接触部分が光学センサではなくスイッチのように左右に動かすことによって判定している仕組みのものだった。

2.2 ウィンドシンセサイザー

気圧センサを用いて息の量を判定し、静電容量のタッチセンサによってキーを作成した管楽器がマイコンを用いて作られている。黒川ら [7] はリコーダー型のウィンドシンセサイザーを作成していた。静電容量センサをプリント基盤で作成し、本体やマウスピースは 3D プリンターで作られ

¹ 情報処理学会

^{†1} 現在、東京電機大学

^{a)} erina@cps.im.dendai.ac.jp

^{b)} iwai@cps.im.dendai.ac.jp

ており、本体は上部と下部で回転して使用することができる新たな機能を追加していた。気圧センサを使用すると、その場の環境の気圧に息の圧力がプラスされた値が読み取れる。そのため楽器起動時の気圧を基準に息の圧力を求めている旨が述べられていた。本研究で管楽器を実装する際は、楽器起動時ではなく音程が変わるたびに、つまりキーが変わるごとに室内の気圧を更新することを検討している。

2.3 UnitInstruments

従来の電子楽器は既存の楽器の形を模倣することが主な目的だったが、楽器を発音、音程の決定などの構成要素(ユニット)の集合であると考え、これらの構成要素を部位ごとに分離し、他ユニットとの組み合わせを行うことによって新たな形の楽器を組み合わせられるユニット楽器を丸山ら [8] が作成した。各ユニットを組み合わせる場合、指板ユニットがピックアップユニットに2方向についているマルチネックギターや、ギターのように押弦し鍵盤で打鍵して演奏する楽器を作成することができる。既存の楽器の構成要素を組み合わせることによって演奏の難易度は高くなってしまったため、未経験者向けの楽器とは言えないが、楽器を構成要素の単位として見る視点が参考になった。

3. IoT ヴァイオリンの概要

ヴァイオリンは4本の弦を弓で振動させることにより音を出す楽器である。4本ある弦を左手の親指を除いた4つの指で押さえることによって音程を変えることができ、右手の弓の動き(ボウイング)により音色、音量などを操作する。弦を押さえないで鳴らす音を開放弦という。音程は大体指一つ分ずらしていくと半音上がっていく。弓の動かし方はダウン(弓の付け根から先にかけて動かすこと)とアップ(弓の先から付け根にかけて動かすこと)があり、これを切り替えていくことを弓を返す、と表現する。弓で弦を移動することを移弦という。ピアノは鍵盤を押すだけで音自体は出せるが、ヴァイオリンは構え方や弓と弦の触れさせ方など初心者が音を出すことが難しい楽器の1つであると言える。

ここでは本研究の第一歩として制作したIoT ヴァイオリンについて紹介する。システム構成図を図1に示す。また、実物を図2に示す。使用する機材は以下である。

- M5Stack-Core2
- 超音波センサモジュール
- 加速度センサモジュール
- JOYSTICK モジュール
- groveHUB モジュール
- 3D プリンターで作成した部品
- MIDI 野郎キット
- 50cm 定規
- (弓に見立てた) 棒

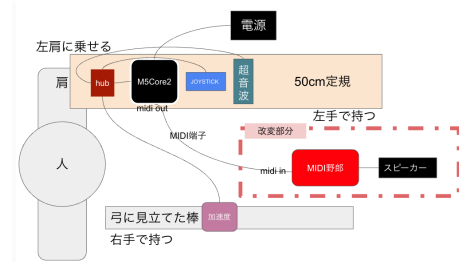


図1 IoT ヴァイオリンのシステム構成図

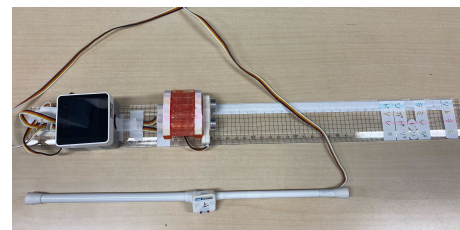


図2 IoT ヴァイオリン

3.1 使用するセンサ

まずJOYSTICKの機能を説明する。JOYSTICKはX座標とY座標の値を0~255の範囲で出力する。X座標で音の発生を判定する。X座標が120~130の値を取るとき音を止めており、それ以外の値の時に他センサが動くようになっている。

次に超音波センサについて説明する。超音波センサとは超音波を発し、壁にぶつかって戻ってきた時間を計測することによって距離を測定できるセンサである。超音波センサを設置した場所から指板に置いた指までの距離によって音程を判断し、距離が30cm以上だと開放弦が鳴るようにした。

最後に加速度センサについて説明する。加速度センサは重力加速度から軸がどれだけ傾いているかを算出し、角度を求めることができる。距離によって音程を定めることができるようになったが、弦を区別ができない。そこで、ヴァイオリンの弦を張っている駒に注目した。この角度を弓に設置した加速度センサによって読み取るようにし、弦の区別を可能にした。また、ヴァイオリンを構えたときボディは床と平行ではない。加速度センサは重力から算出しており、地面との角度になっているので、構えた時の本体の角度を30°に設定し、あらかじめ角度に加えている。

JOYSTICKのヘッド部分はゲームのコントローラーのため、置き換えた弓があっても乗せる場所がない。そこで3Dプリンターを用いて図3の3Dモデルを作成した。モデルの傾斜は測定した弦と弓の角度が反映されている。どの傾斜がどの弦にあたるかを色で印をつけ、滑り止めをつけることによって弓が引っ掛かるようにした。

3.2 発声装置の変更

使用するマイコンはM5Stack-Core2で上記センサを

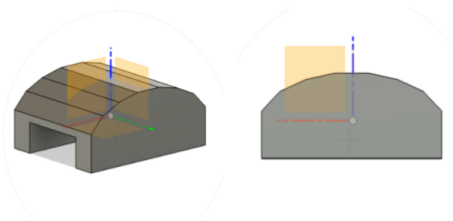


図 3 弓を乗せる場所の 3D モデル

HUB モジュールを介してセンサを繋ぐ。当初は M5Stack-Core2 から Bluetooth 通信でパソコンと接続しパソコン上の DAW ソフトで音色の設定をしてパソコンのスピーカーから音が鳴るようにしていた。今回、音色設定部分とスピーカー部分をパソコンを用いずに行えるよう、ワンチップ GM 音源 IC である MIDI 野郎キットを使用した。

演奏手順としては、右手の弓で JOYSTICK を動かすと動かし時の弓の加速度を読み取り、4つの弦を判定する。次に左手の指の位置を超音波センサで読み取り音程を決める。そして音の情報が M5Stack-Core2 から MIDI 野郎に送られ、スピーカーから音が出るという流れになった。外部機器であるパソコンを使用せずとも、デバイスで完結することができた。

3.3 EDGE IMPULSE[9] を用いた弓の角度判定

従来のシステムでは、キャリブレーションが十分でなく弓の判定が作動せず音が変わらない場合があった。そこで、AI によってパターン認識を行い、弦の判定が可能になるようにした。ヴァイオリンの 4 本ある弦のそれぞれの角度をボーイングごとに加速度のデータを収集し、EDGE IMPULSE を用いて解析を行なった。M5StickCplus を本物のヴァイオリンの弓に装着し G 線のダウン弓の右手の動かし方を 50 回、G 線のアップ弓の右手の動かし方を 50 回収集した。各弦についても同じように行なった。G 線のアップとダウン、A 線のダウンの解析を図 4 に示す。グラフより、同じ弦のボーイングによる差と違う弦の差が適切に収集することができていると分かる。EDGE IMPULSE を用いることで弦の角度や加速度の特徴量を読み取り、動作を判定することが可能となった。加えて音量を調整できるようになれば、ヴァイオリンのシステムとして完成できると考える。

4. 鍵盤楽器の作成

鍵盤楽器は沈み込んだ鍵盤がハンマーを持ち上げ弦を叩いて音が出るという仕組みである。多くの電子ピアノは圧力センサとピン数の多いマイコンを使用している。1音1音の音程が既に決まっているため、電子楽器にすると単純

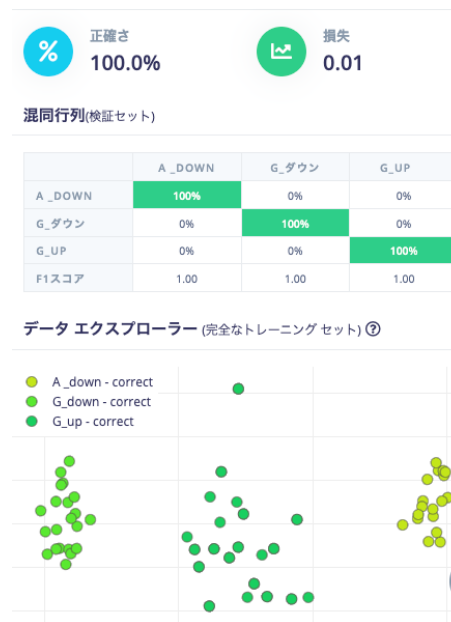


図 4 EDGE IMPULSE の解析

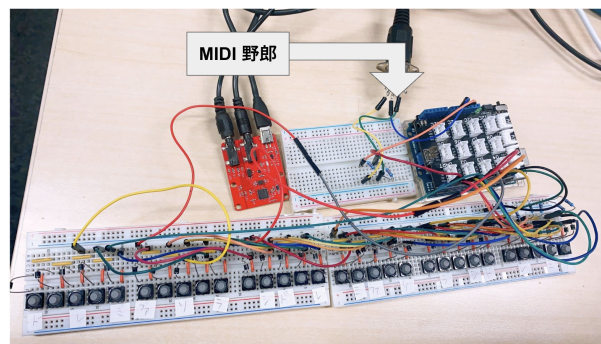


図 5 プロトタイプピアノ

に 1 つ 1 ピンで設計する場合、多くのピンが必要になる。ここでは、使用することにしたセンサの説明とピン数を節約するためのキーマトリクス方式について述べる。

4.1 使用するセンサ

今回制作したピアノを図 5 に示す。鍵盤数は 30 個である。鍵盤を判定するためにソフトタクトスイッチを使用する。ソフトタクトスイッチは、普通のものとは比べて押す部分が柔らかく、かつ静かな感触のタクトスイッチである。ソフトタクトスイッチを 30 個をマイコンに繋ぎ鍵盤 1 つ 1 つを判別する方法を取る。

4.2 キーマトリクス方式

プロトタイプとして Arduino をマイコンとして使用することにしたが、Arduino は 25 ピンしか使えない。そのためピンを少なくする方法を調べた。1つは抵抗をそれぞれのスイッチごとに変えて判別する方法、もう 1 つはキーマトリクス方式によってピン数を減らす方法である。前者は最終的には GND ピンと 5V の電源に接続するピンの 2

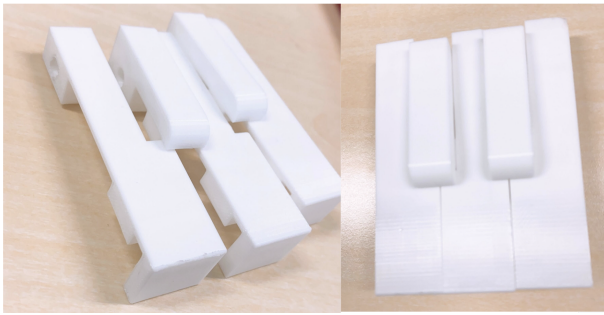


図 6 鍵盤の 3D モデル

つになるため大幅な節約が可能になるが、計測誤差が生じる可能性や 30 パターンの抵抗値を設定し、正確に配置しなければならぬため現実的ではない。

そこで、後者のキーマトリクス方式を採用した。キーマトリクス方式とは、OUTPUT に設定した各行を順番に LOW に設定し、INPUT に設定した各列の状態を読み取ることで、スイッチの判別を行えるように配線する方法である。30 個のスイッチのため、5 行 6 列のマトリクス回路を考えた。発声装置はヴァイオリンと同じく MIDI 野郎を使用した。しかし、スイッチは on/off なので音量は変えることができない。今後圧力センサに置き換えて音量を加えることも視野に入れている。また、鍵盤ハーモニカのように息の強さによって音量を変える仕組みにすれば、スイッチのままでも機能すると考える。

4.3 3D プリンタを用いた鍵盤の作成

図のように用いているブレッドボードの上から被せられる鍵盤を 3D プリンターを用いて作成した。鍵盤の裏に突起がついており押すとスイッチが反応するようにした。黒鍵に丸みをつけ再現性を持たせた。今後ユニバーサル基盤によってスイッチの配線することを検討しており、うまく噛み合うようにスイッチと鍵盤を配置する。

5. 管楽器の構想

管楽器はキーを押さえて音程を決め、口から息を吹き込むことで音量や音色を制御する楽器である。使用するセンサは気圧センサと静電容量タッチセンサである。楽器を一つにまとめるにあたって、金管楽器の面と木管楽器の面を作成予定である。金管楽器はピストン部分を模倣した縦型のスイッチを導入予定で、木管楽器はキーを静電容量タッチセンサをスライドして存在する木管楽器に近い位置に移動できるような仕組みを考えている。発声機構はヴァイオリンやピアノと同様に MIDI 野郎を使用する。マウスピースやリードが各楽器によって特徴があるので、調査を重ねてそれぞれの楽器の特徴を抑えられるような楽器を作りたい。

6. まとめと展望

本稿では、楽器未経験者のための弦管打複合楽器を作成するため、IoT ヴァイオリンの改善と、鍵盤楽器の作成、管楽器の構想について述べた。EDGE IMPULSE を用いることで弓の角度を解析することができ、弦の判定の正確さを高めることができ、キーマトリクス方式を用いて鍵盤楽器の作成ができた。今後、性能の評価を行う。さらに、管楽器の作成を行い、それぞれに使用するマイコンの統一、基盤の作成を行うことで複合楽器の完成を目指す。また、楽器未経験者に限らず、既存の楽器を演奏できないような方へのアプローチも考えて開発を進めていきたい。そして、楽器を演奏するだけでなく、作曲に活かせるようなアプリやシステムの開発によって IoT 楽器として完成させる。

参考文献

- [1] 矢田絵理奈, 岩井将行. 楽器未経験者のための弦管打複合楽器の開発を目指した IoT ヴァイオリンの制作. インタラクシオン, pp. 207–212, 2023.
- [2] 麻布学園物理部無線班. 22 式弦楽器自動演奏装置「空震」, 2022. <https://twitter.com/butumubutumu/status/1575238403192287232>.
- [3] 岩谷亮明, 澤田秀之. VR エンタテイメントに向けたエア楽器演奏システム. インタラクシオン, pp. 587–592, 2014.
- [4] 川島奨大, 美馬義亮, 柳英克. 豊かな表現に着目した演奏装置の提案 愉しく演奏「だれでもソロイスト」. 情報処理学会インタラクシオン 2019.
- [5] 金井隆晴, 菊川裕也, 鈴木龍彦, 馬場哲晃, 串山久美子ほか. PocoPoco: 実物体の動きを利用した楽器演奏インタフェース. 情報処理学会論文誌, Vol. 53, No. 3, pp. 1050–1060, 2012.
- [6] ITmedia. 誰でも弾ける、7000 円の電子バイオリン トミー, 2003. https://www.itmedia.co.jp/news/0304/15/njbt_04.html?print.
- [7] 黒川陸, 藤野智美. 簡易に演奏可能なりコーダー型ウインドシンセサイザーの開発. 2020.
- [8] 丸山裕太郎, 竹川佳成, 寺田努昌彦. Unitinstruments: 楽器の機能要素を再構築可能なユニット型電子楽器の設計と実装. 日本ソフトウェア科学会, Vol. 28, No. 2, pp. 2193 – 2201, 2011.
- [9] Edgeimpulse. [urlhttps://edgeimpulse.com/](https://edgeimpulse.com/).