

楽器と玩具の融合 —静電容量センサと加速度センサによる電子楽器—

小出英範^{†1} 泉源^{†1}

現在、電子楽器には実際の楽器と同じ演奏方法で同じ音を出して、本格的な演奏をできるものがある。一方で、子どもが遊ぶ玩具として開発された電子楽器もあり、遊んでみて「面白い」と思える形状や演奏方法のものもある。本研究では静電容量センサと加速度センサを用いることで、2つの利点を兼ね備えた新しい電子楽器を提案する。

Fusion Between the Musical Instrument and the Toy —The Electronic Musical Instrument with Acceleration Sensor and Capacitive Sensor—

HIDENORI KOIDE^{†1} HAJIME IZUMI^{†1}

Today, The Electronic instrument makes a sound by a performe same as a real musical instrument, and play the instrument like a professional musician. On the other hand, the electronic instrument was developed in the toy for children play, and a shape and performe to think that it is interesting by playing it. I proposed the new electronic musical instrument which had advantages with acceleration sensor and capacitive sensor.

1. はじめに

現在、本物の楽器や演奏を目的とした電子楽器では子どもや初心者には難しいものがあり、多くの練習を必要とする。楽器や音楽が好きなら無理なく続けられるが、練習に飽きたり嫌になったりしてやめてしまう場合も考えられる。玩具として開発された電子楽器ならば演奏が嫌になることはないが、曲を本格的に演奏することは難しい。本研究では新しい演奏方法を考案することでこれらの問題を解消し、子どもや初心者でも簡単に演奏ができて、更に「面白い」と思える電子楽器を製作する。

電子楽器の形状や演奏方法については問題を解消できることに加えて、子供や初心者でもある程度曲を演奏できることと、気軽に演奏できて「面白い」と思えることを目指して形状と演奏方法を考えた。形状については表面を触ったり転がしたりして音が変わると面白いと考え球状とした。演奏方法については2種類のセンサを使用することとした。「ドレミファソラシ」の音階に対応させた7個の静電容量センサと波形変更用の1個の静電容量センサを楽器内部に設置し、楽器表面を指で触れたことを感知して音階を操作する。また、加速度センサで楽器の前方向と横方向の傾きを測り、前方向の傾きで音量を、横方向の傾きでオクターブを操作する。音色については、口笛に近い音を生成するために、出だし部分の波形を鋭い山形にすることでアクセントを付けて、切る部分の波形の振幅を2次の減衰曲線的に変化させることで切り方を滑らかにした。

2. 楽器の概要

2.1 外観とセンサの配置

楽器の内部にはマイコンや2種類のセンサ（静電容量センサと加速度センサ）、スピーカー、電池を内蔵している。特にセンサをどのように設置するかによって演奏方法は決まる。図1と図2を用いて説明する。楽器本体は図1に示す球状で、表面は左右に赤、青、黄、緑で8カ所に着色されている。この内の7カ所（右手の4つと左手の赤、青、黄の3つ）のいずれかに指で触れることで音を作る。左手の緑は3.3の波形変更に使用する。なお、この球は子どもの手でも持てるように直径は10cm、厚みは2mm、総重量は300gとなっている。静電容量センサと加速度センサは図2に示す部分に設置しており、静電容量センサは表面に着色した部分の裏側に設置している。静電容量センサの位置は手で持ったとき人差し指、中指、薬指、小指で触れることができると想定して決めた。加速度センサは楽器内部の中心部分に設置している。

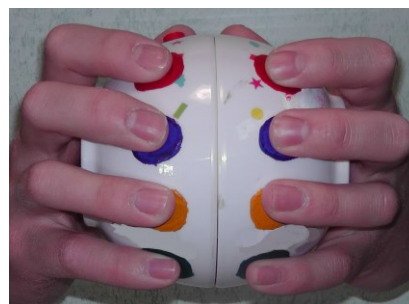


図1 電子楽器の外装

^{†1} 木更津高専電子制御工学科
Kisarazu National College of Technology department of control engineering

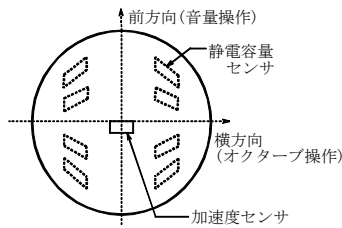


図 2 センサの配置

2.2 使用するマイコンとセンサ

2.2.1 マイコンモジュール

本研究では図 3 に示す Arduino Pro Mini (以下 Arduino) を使用した。マイコンモジュールの一種であり、開発環境が一体となっている。プログラミングには Arduino 言語というものを使用する。楽器本体は直径 10 cm と小さいが、本研究で使用する Arduino は 5~12 V で動作できるため[1], 006P 積層電池を電源として内蔵することが可能である。

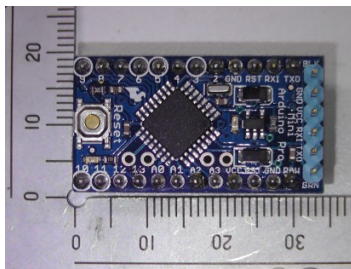


図 3 Arduino Pro Mini

2.2.2 静電容量センサ

静電容量センサの構成を図 4 に示す。抵抗器、銅膜、送信側ピン、受信側ピンを用いて構成する。この静電容量センサは使用する抵抗器の大きさによって感知する距離が決まる。本研究では本体の球の厚み 2 mm で反応するように抵抗値 1 M Ω の抵抗器を使用した。

また、本研究では直径 10 cm の小さい球の中に 8 個の静電容量センサを設置したため、隣の指に反応するなど誤作動が生じた。そのため対策として以下の措置を取った。

- センサに使用した銅膜の形状を図 5 (a) に示す。人の指の形に合わせて 15 mm \times 10 mm の長方形とした。ただし、他の指に反応する銅膜があったため、その銅膜に対しては寸法を小さく調整した。
- 銅膜を設置する場合は他の指に反応しないように他の銅膜とは 1.0 cm 以上の間隔を空けて設置した。
- 楽器内部の静電容量センサの導線も銅膜と同様に反応してしまうため、互いに接触しないように配線を調整した。
- 銅膜の断面を図 5 (b) に示す。グランドプレーンの役割を果たすように、グランドと接続した銅膜(グランド用銅膜)をセンサ用銅膜に絶縁して張り

付けた。絶縁には紙(ヤマハ クリーニングペーパー-CP2)を絶縁層として銅膜と銅膜の間に挟み込む 3 層構造にすることで実現した。

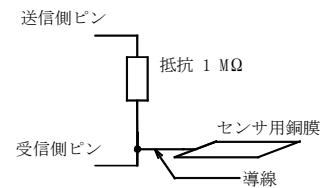


図 4 静電容量センサの構成

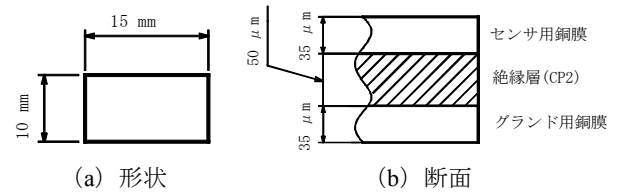


図 5 銅膜

本研究の静電容量センサは Arduino の静電容量センサのライブラリ[2]を利用した。静電容量センサの反応を図 6 を用いて説明する。送信側ピンからパルス信号が出力されており、指でセンサ用銅膜に触れると受信側ピンの読み取り値が Low から High に変化する。このとき受信側ピンの読み取り値は RC 回路のように遅れて High になる。High になるまでの時間をカウントして変化量をアナログ値で出力する。更にここでは、しきい値 V_h を設定することで High になる時間を調整することが可能である。また、送信側ピンと受信側ピンはプログラムで任意のピンを設定できる。

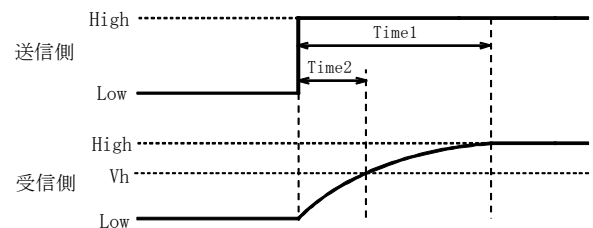


図 6 静電容量センサの反応

2.2.3 加速度センサ

加速度センサは ACB302 を使用した。ACB302 は 3 軸の加速度を測ってアナログ出力するため、1 つで音量とオクターブの両方を操作できる。なお、本研究では前方向と横方向の加速度(傾き)を検出する機能のみを使用した。

動作電圧については、2.7~5.5 V で動作するため、Arduino と共に動作させることが可能である。また、寸法については 0.9 cm \times 0.9 cm \times 0.7 cm (W \times D \times H) で、重さも 1.3 g と小型なので直径 10 cm の楽器本体に設置することが可能である。

3. プログラム

3.1 音の作り方

図7を用いて説明する。スピーカーに印加する電圧の周波数と大きさを操作することで音程（音階）と音量を操作する。

音程については Arduino 言語の遅延関数 `delay` を使用する。音階「ドレミファソラシ」の周波数はあらかじめ設定しておき、`delay` を使ってスピーカーに電圧を印加する時間と切る時間を各周波数に対応した時間とすることで音程を操作する。

オクターブについては ACB302 から読み取った数値に「1オクターブ上がる」、「オクターブはそのまま」、「1オクターブ下がる」という3つの範囲を設けて、どの範囲に含まれるかによってオクターブを操作する。1オクターブ上がる場合は周波数を2倍にして、1オクターブ下がる場合は周波数を半分にする。

音量については Arduino 言語のアナログ出力関数 `analogWrite` を使用する。ACB302 から読み取った数値を Arduino 言語の数値変換関数 `map` でアナログ出力に適切な値に変換してスピーカーにアナログ出力することで音量を操作する。

以上の手順と各センサからの読み取りを繰り返して音を作る。

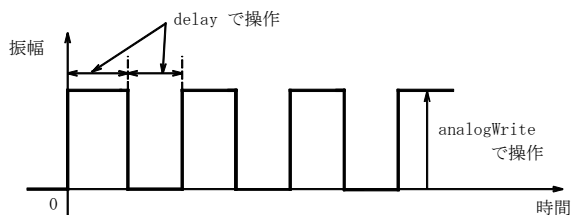


図7 音の操作

3.2 音階の判別

「ドレミファソラシ」のどの音を作るかは、7個の静電容量センサからのアナログの数値を比較して決める。しきいとなる数値を設定しておき、いずれかの静電容量センサからの数値がしきいを超えたら各静電容量センサからの数値を比較する。各静電容量センサに周波数を対応させておき、最大の数値となった静電容量センサに対応した周波数の音を作る。

3.3 音の波形について

音の波形について、本研究では本物の楽器に近い音を目指して波形を作った。音質や音色を決める要素には主にアタック、ディケイ、サステイン、リリースの4つがある[3]。それぞれ、

- アタックは音の出だしから振幅が最大になるまでの部分。

- ディケイはアタックの最大振幅からサステインの振幅になるまでの部分。
- サステインは振幅が一定となっている部分。
- リリースは音を切る部分。

となっている。本研究ではこれらの要素を調整して図8、図9、図10の3種類の波形を作った。

図8について説明する。図8ではアタック、ディケイを短くすることで出だしにアクセントを付けて、サステインを長くすることである程度音が響くようにしている。リリースでは振幅を2次の減衰曲線的に小さくすることで切り方を滑らかにしている。また、サステインの振幅はアクセントの強さを考慮して、アタックの最大振幅の70%としている。各要素の時間配分は波形の試行を繰り返し、スピーカーからの音を聞いて確認して、実際の楽器の音に近いと判断してアタックから順番に1:2:5:2としている。音を出す時間をあらかじめ決めているため音をのぼすことはできず、楽器に指で触れるたびに図8の波形の音が1回作られる。

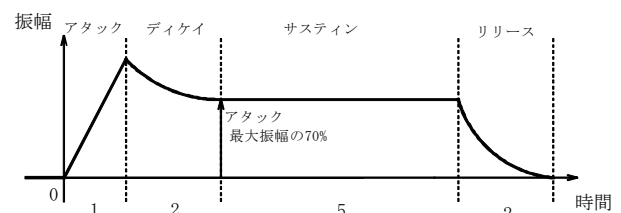


図8 要素を調整した波形

図9について説明する。図9では要素がサステインのみの方形波となっている。音としては、そのままの電子音となり、指で楽器に触っている間は音をのぼし続ける。

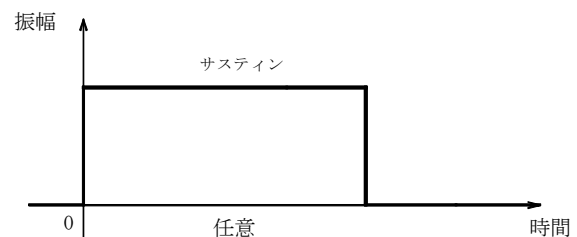


図9 サステインのみの波形

図10について説明する。図10では図8と同様に波形を調整しており、更に図9と同様に音をのぼせるようになっている。指で触っている間は方形波の音をのぼし続けるが、出だし部分のアタック、ディケイ、切る部分のリリースは波形を調整してつなげている。これにより波形を調整しつつ、音をのぼせるようになっている。ただし、低い音を作るときにアタック、ディケイの部分が長くなってしまった

ため、アタック、ディケイの要素を少なくしている。これによりアタック、ディケイ、リリースの時間配分は1:2:4とした。サスティンは指で触っている間継続するため時間は任意である。

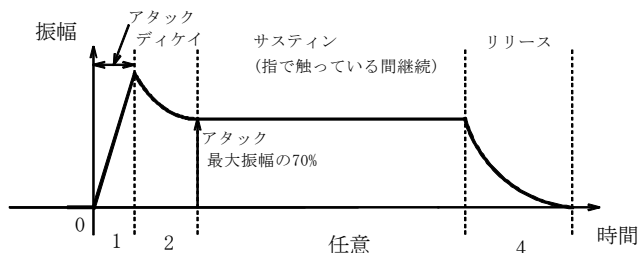


図 10 調整して音をのばす波形

また、本研究ではこれらの波形の切り替えも操作できるようにしている。切り替えは音階の判別に使用していない静電容量センサ（左手の緑）で行う。センサに触れると合図の音が鳴り、図8、図9、図10の順で音が切り替わる。

3.4 オルゴール機能について

演奏者が操作して音を作る機能の他に、オルゴール機能を追加した。このオルゴールは楽器を10秒以上操作しない（静電容量センサが指の接触を感知しない）と演奏を始める。なお、オルゴールの曲は「証城寺の狸囃子」とした。

4. 電子楽器の評価

楽器は正常に機能するだけでなく楽しさや演奏しやすさも評価する必要がある。この評価は個人の偏りが生じないように多数の人間から得なければならない。本研究では実際に楽器を演奏してもらってアンケート調査を実施することで評価した。アンケートは木更津高専の学生20人（経験者4人、初心者16人）に対して実施した。図11に楽器の面白さ（形状や演奏方法について限定せず、演奏してみてどのように感じたか？）について、図12に演奏の簡単さについて示す。

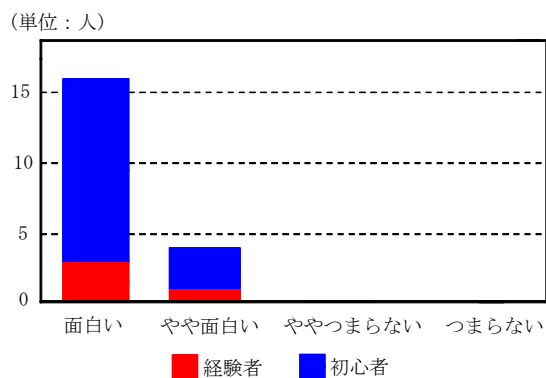


図 11 楽器は面白いか？

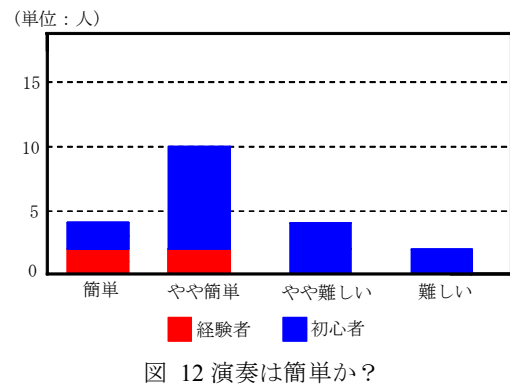


図 12 演奏は簡単か？

また、アンケート項目以外にも以下の意見、要望があった。

- 視覚的な機能が良かった方が面白い。
- #やbも操作できるようにして欲しい。
- 初めて演奏すると難しい。
- ピアノやドラムなど別の音も演奏したい。

5. まとめ

「製作した楽器は面白いか？」については「面白い」、「やや面白い」という意見が多かった。本研究では子どもや初心者でも気軽に演奏できる電子楽器を目指しているが、それには演奏して「面白い」と思われなければならない。アンケートは木更津高専の学生に対して実施したが、部活動などで音楽の活動をしている経験者は4人で、残り16人は初心者であった。ほとんどが初心者という中で「面白い」と感じてもらった。よって、楽器の経験のない子どもや初心者でも気軽に楽しく演奏してもらえると考えられる。

「操作は簡単か？」については、評価がばらけており、「やや難しい」、「難しい」という評価もあった。本体の大きさや重さ、音量やオクターブを操作する場合に本体を傾ける加減、傾けた場合（腕をねじった場合）の指の動かし方などで演奏が難しくなってしまったと考えられる。

今後の改良点について、演奏が難しくなったことについては静電容量センサの感度や、オクターブを操作するための加速度センサの数値の範囲を調整することが有効であると考えられる。意見や要望については音の波形を別の波形に調整したり、機能を追加したりするなどして対応できる。

謝辞 本研究の楽器の製作にご協力頂いた皆様に、またアンケートに答えて頂いた皆様に心より感謝致します。

参考文献

- 1) Sparkfun: Arduino Pro Mini 328 – 5V/16MHz
<https://www.sparkfun.com/products/11113>
- 2) Arduino 日本語リファレンス
<http://www.musashinodenpa.com/arduino/ref/>
- 3) ヤマハ株式会社: 鳴るほど楽器解体全書
<http://www.2yamaha.co.jp/u/naruhodo/18synthesizer/synthesizer2.html>