

# 光学ピックアップを用いた 2次元画像情報に基づく演奏システム

中西 恭介<sup>1,a)</sup> 馬場 哲晃<sup>1</sup> 串山 久美子<sup>1</sup>

**概要:**近年、ミュージック・シンセサイザやサンプラー等の電子楽器では、インタフェースと音源を分離することによって、ひとつのインタフェースで様々な音の波形を再現することが可能となった。一方で、インタフェースと音源のマッピングにおいてその設計指針を明瞭化できない問題を生じさせている。そこで上記問題解決のために、光学ピックアップを利用し、音声波形を物体の形状や色の濃淡から生成可能な楽器インタフェースを提案する。今回はその足がかりとして予め模様が付けられたパネルを用意し、その模様をスキャンすることで音の波形を生成するシステムのプロトタイプを制作した。物体に光を照射し反射した光の強度で電圧が変化するセンサを用い、回転するパネルの一点を測定する。センサの電圧変動をそのまま物理振動に変換することで音を鳴らすことができる。音の操作方法に物理的な制約を設けることで、操作方法と音源のマッピングにおいて、明確な設計指針を設けることができた。

## 1. はじめに

ピアノやバイオリン等の、いわゆる生(なま)楽器は物理振動によって音を出す。弦楽器では、弦を押さえる位置や、加える力の違いで音高・音量を変化させることが可能である。しかし、音色に関しては楽器の素材や形に依存するため、その楽器それぞれの特徴を持った音色となる。例えば、ピアノとバイオリンの音は全く別の音色として認識でき、ピアノでバイオリンの音を再現することやバイオリンでピアノの音を再現することは困難である。

近年では、ミュージック・シンセサイザやサンプラーなどの音の波形の作成・編集や、サンプリング音源利用が可能な楽器が開発され、広く使われるようになってきた。これらの楽器ではインタフェースとその音の間にあった物理的制約を取り払い分離することにより、ひとつのインタフェースで様々な音の波形を再現することが可能となった。一方でインタフェースと音源の間に物理的制約がなくなったことにより、その設計指針を明瞭化できない問題を生じさせている。そのため、音源と操作インタフェースのマッピングは主にアーティストやデザイナーのセンスに委ねられがちになっている。また、音色・音高・音量を操作するためのインタフェースに必然性がなくなってしまったため、ユーザは操作部の一つ一つの機能を覚える必要がある。

そこで本研究では、光学ピックアップを利用し、音の波形を実物体から生成可能な楽器インタフェースを提案する。色の濃淡や形状に基づいた波形生成により、2次元または3次元における模様や立体物形状を高速にスキャンすることで音の再生を実現する。今回はその足がかりとして予め模様が付けられたパネルを用意し、その模様をスキャンすることで音の波形を生成するシステムのプロトタイプを制作した。このプロトタイプでは、複数の模様が付けられたパネルをターンテーブルに載せて並べることで、ミュージックシーケンサの要領で演奏する。また、ピックアップを複数用いることで合成波の生成も可能である。

### 1.1 コンセプト

今回制作したプロトタイプは「物の音の生成」をコンセプトとしている。物体の模様を全てアナログで音の波形に変換することで「物の音の生成」を試みた。

### 1.2 関連研究

物体の起伏を音に変換するシステムとしてレコードプレーヤーが挙げられる。一般的なレコードプレーヤーでは回転するレコード盤に針を当てることで、レコード表面の音溝の振幅を電気信号に変換し音を再生するが、針の代わりに光学ピックアップを用いたレーザー・ターンテーブル [1] というレコードプレーヤーも存在する。レーザー・ターンテーブルではレーザーセンサでレコードの起伏をアナログのまま読み取り再生する。

<sup>1</sup> 首都大学東京システムデザイン研究科  
Graduate School of System Design, Tokyo Metropolitan University

<sup>a)</sup> kyoro920@gmail.com

物体の模様に基づいて音楽を生成するシステムとして Denis P Paul による AN INSTRUMENT FOR THE SONIFICATION OF EVERYDAY THINGS[2] がある。回転する物体の一点をレーザーセンサでスキャンし、その距離によって鳴らす音の高さを変化させる。一定の周期で物体が回転しているため、どのような形の物体を用いてもリズムが生まれ音楽を生成することが出来る。またセンサを移動して物体をスキャンする点を変えることで、リズムを動的に変えて演奏することも出来る。このシステムでは物体とセンサの距離によって音高を変化させているが、音源とインタフェースに物理的な制約はない。

本研究に最も類似した事例として Indianen というクリエイティブスタジオによる The Evil Eye[3] がある。様々な模様が印刷された紙のディスクをターンテーブルで回転し、一点を光学ピックアップでスキャンする。白と黒の光の反射強度の差で音の波形を生成している。ディスクには数種類のパターンが印刷されており、スキャンする位置によって旋律が変わる。光学ピックアップを用いて視覚情報をアナログのまま音情報に変換する手法は本研究で用いた手法と同じである。The Evil Eye では予め用意された旋律を再生しており、本研究のパネルをターンテーブルの上に載せていく演奏方法とは異なる。

## 2. センシング技術

この節では光学ピックアップとそれを用いたセンシング手法について述べる。本研究では光学ピックアップに赤外線 LED とフォトトランジスタを一つのパッケージに搭載したフォトリフレクタを用いた。物体に赤外線を照射し、反射した赤外線の量によって生じる電圧の変化を音の波形として用いた。

### 2.1 フォトリフレクタの仕組み

物体に赤外線 LED から赤外線を物体に照射し、フォトトランジスタで受光した反射光の量によって電流が発生し電圧が変化する。反射する赤外線の量によって電圧が変動するので、物体の素材・色・センサから物体までの距離によって大きく影響を受ける。

### 2.2 光学ピックアップの応用例

光学ピックアップは対象物に照射する発光素子と反射光を受け取る受光素子から成る。主に CD や DVD などの光学ドライブでデジタルデータの記録や再生を行うために用いられている。ディスクにレーザー光をあて、反射する光の強度の違いでピットの有無を判断してデータを読み取る。

デジタルデータを読み取る以外にも、先に紹介したレーザー・ターンテーブルのようにアナログ情報の読み取りにも用いられる。また、ギターやベースのピックアップとしても応用されている。LIGHTWAVE SYSTEMS が開発し

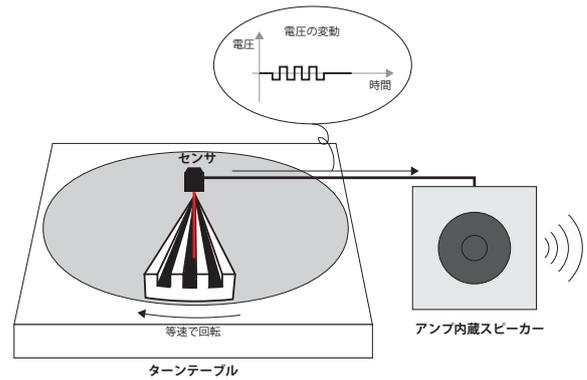


図 1 システムの構成

た LightWave Optical System[4] の光学ピックアップには赤外線 LED とフォトディテクタが用いられている。ノイズが少なく、細かな振動も拾うためサステインが長くなるのが特徴である。

## 3. システム概要

図 2 に示すように、本システムは主にターンテーブル、光学ピックアップ、波形の元となる物体、スピーカの 4 つで構成されている。回転する物体の模様を光学ピックアップでスキャンすることで電気信号に変換し、アナログのまま音の波形としてスピーカに出力する。これにより物体の模様を変化させることで様々な音の波形を再現することが可能である。今回はミュージックシーケンサのように予め用意された音源をターンテーブルに載せることで演奏することを想定して制作を行った。

### 3.1 ターンテーブル

既存のレコードプレーヤー neu DD-1200 を用いた (図 2)。ターンテーブルの直径は約 30cm で、回転数は 1 分あたり 33 1/3 回転と 45 回転の 2 つが選べ、± 10% のピッチコントロールが可能である。また、光を反射しにくくセンサに影響しにくいフェルト製のマットを載せた。

### 3.2 光学ピックアップ

光学ピックアップには ROHM 製の RPR-220 を用いた。物体に発光素子から赤外線を照射し、受光素子で感知した反射光の量によって電流が発生し電圧が変化する。即ち、反射光が強いほど流れる電流は大きくなり電圧は低下する。今回制作した回路は図 3 のようになる。流す電気の電圧は 3V、発光素子に 200 Ω、受光素子に 40k Ω の抵抗を接続し感度を調節した。この時、対象物からの距離が 4-10mm で最も感度が良くなる。

物体から一定の距離を保つために、図 4 のようにレコードプレーヤーのトーンアームにアクリルを切り出した部品



図 2 ターンテーブルとして用いたレコードプレーヤー

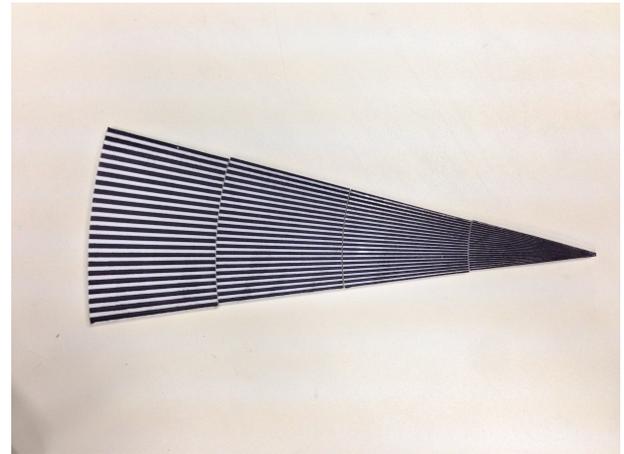


図 5 音源となる模様が付けられたパネル

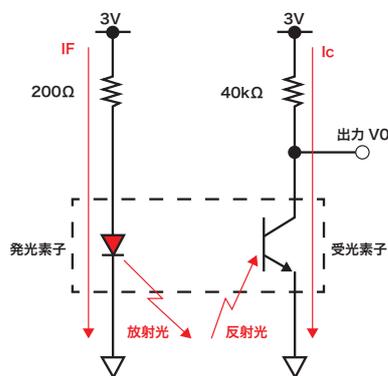


図 3 今回作成したセンシング部の回路図

を施した。ターンテーブルの回転速度1分間あたり  $33 \frac{1}{3}$  回転を基準とし、それに合わせてパネルの模様の間隔を調節することで音高を再現した。アクリルの円盤を16等分し、1ループ16拍とした。更に中心から4等分することで最大4つのメロディーを並行して作成可能とした。

### 3.4 スピーカ

本作品では、物体の模様をそのまま音声波形にするため、得られたセンシングデータを直接スピーカに接続し、音色を確認できる。

### 3.5 演奏方法

図6のようにターンテーブルに鳴らしたい音のパネルを載せてメロディーやリズムを作る。パネルは中心に行くほど幅の小さい物を置くと基準の音高で音を鳴らすことができる設計となっている。基準の音高を鳴らすためにはターンテーブルは1分間あたり  $33 \frac{1}{3}$  回転の速さで演奏を行う必要があるが、回転速度を変えてテンポや音高を変えながら楽しむことも出来る。音量はピックアップの高さで変えることで調節できる。また、ピックアップを横や縦に揺らすことで揺れるような音を再現できる。

## 4. 演奏システムとしての評価

### 4.1 操作性

システムの仕様上、音を鳴らすためには常に台が回転している必要がある。そのため、音を止めずに正確な位置にパネルを置いたり取り去るといったメロディーを編集する操作が難しいことが問題として挙げられる。この問題の解決策として、物体を回転させるのではなく、センサを回転させることが考えられる。ただし、センサと物体との間に手などの障害物が入ってしまう点に関しては検討が必要である。別の解決策として、ターンテーブルを複数用いるか、同心円上に複数に分割してそれぞれ独立して回転させることで、メロディーを編集する部分のみ回転を止めるという

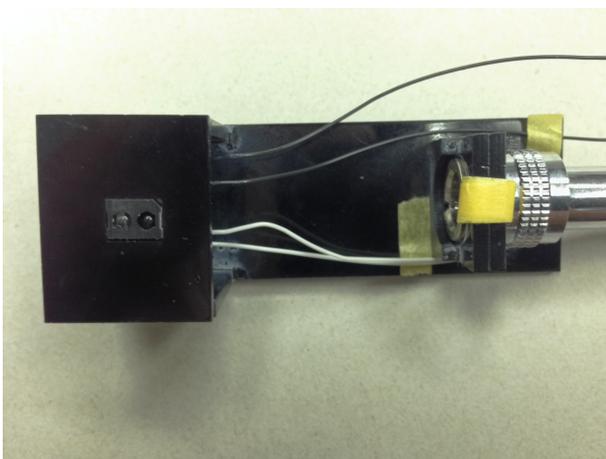


図 4 フォトリフレクタを用いた光学ピックアップ

で固定した。物体と光学ピックアップの最短距離は約2mmで、トーンアームを上げ下げすることで距離を調節することができる。物体と光学ピックアップの距離が大きくなるほど、電圧の変動が小さくなるため音量は小さくなる。

### 3.3 波形の元となる物体

素材に比較的反射率の高い白のアクリルを用い、レーザーカッターで一定の間隔の模様をもつパネルを制作した(図5)。視認性を高めるために模様はスプレーで黒く塗装



図 6 演奏の様子

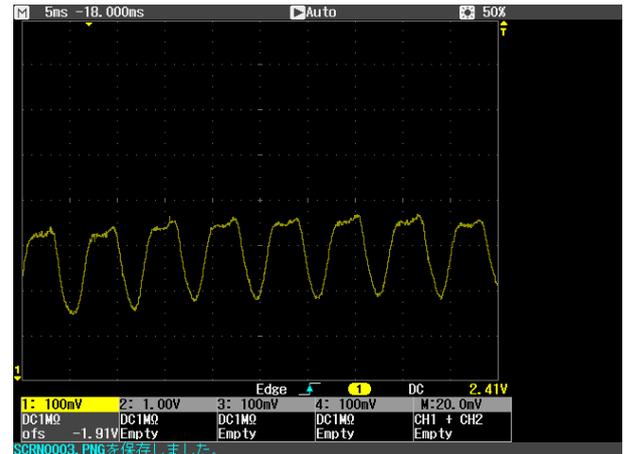


図 7 センシングにより得られた波形

方法が考えられる。

また音高とテンポがターンテーブルの回転速度に依存するため、どちらか片方のみを調節することが出来ない。この問題の解決策としては、今回用いた模様が付けられたパネルのように断片的な音の波形を生成するパネルを用いてシーケンサのように演奏するのではなく、物体全体の1回転を音の波形の1周期として音を生成するインタフェースを検討している。回転速度で調節するのは音高のみとなり、テンポは別の方法で変えることになる。

#### 4.2 音の再現性

今回制作したプロトタイプでは比較的安価で扱いやすいフォトリフレクタを光学ピックアップとして用いた。オシロスコープで電圧の変動を確認したところ、一定の角度で放射状に線を描いたパネルをセンシングした場合、図7のような波形が得られた。フォトリフレクタは反射した光の強さで電圧が変動するため、物体との距離、表面の素材、色等複数の要因に影響されてしまう。また、物体との距離が約4-10mmの間ないと精度よくセンシング出来ない。そのため、矩形波等の単純な波であれば再現可能であるが、複雑な波形を再現することは困難であることが分かった。今後は距離のみの反応するセンサを用いて、物体の形を波形に変換する方法を検討する。

### 5. 今後の展望

今回は物体の模様に基づいて音を生成するシステムのプロトタイプを制作したが、演奏システムとして多くの課題が残った。しかし、演奏方法に関しては音の生成方法がまだ検討段階であるため確定出来ない部分もある。そのため、まずは本研究の目標である音の波形を物理的制約に基づいて操作可能なインタフェースを制作する。レーザー測距センサ等の中距離でも精度良く測定できるセンサを用いて物体の周りの形状に基づいた音声波形の生成を試みる。対象の物体には粘土などの可塑性物質を用いて形状を変化さ

せることで音の波形を操作することを想定している。

#### 参考文献

- [1] Laser Turntable Player - Vinyl and Laser Record Player from ELP Japan. 入手先 (<http://www.elpj.com/>) (2013.11.16).
- [2] Dennis P Paul.: AN INSTRUMENT FOR THE SONIFICATION OF EVERYDAY THINGS. 入手先 (<http://dennisppaul.de/an-instrument-for-the-sonification-of-everyday-things/>) (2013.11.16).
- [3] Indianen.: Evil Eye. 入手先 (<http://www.indianen.be/?action=project&id=555>) (2013.11.16).
- [4] LIGHTWAVE SYSTEMS.: LightWave Optical System. 入手先 (<http://lightwave-systems.com/technology/>) (2013.11.16).