

創作ノート

非接触型電子楽器の開発を通じたサウンドデザイン Sound Design Through the Development of a Non-contact Electronic Musical Instrument

川合 雄佑, 伊藤 彰教

Yusuke KAWAI, Akinori ITO

東京工科大学メディア学部

School of Media Science, Tokyo Univ. of Tech.

概要

本発表では新たに開発した非接触型電子楽器を用いた即興演奏作品である《NON-CONTACT》を通じて、非接触型電子楽器における新たな演奏表現の可能性についての考察する。電子楽器のインターフェイスや先行研究の調査を経て、レーザーと超音波センサーを組み合わせたプロトタイプの開発を行った。プロトタイプを参考にし、開発した楽器のコンセプトや開発過程について説明し、非接触型電子楽器の新たな演奏表現の可能性を考察する。

1. 開発背景

最初の電子楽器であるテルミンが1920年に登場してから100年が経過した。テルミンはロシアのレフ・テルミンが開発した二つのアンテナで音量と音程をコントロールする電子楽器であり、電子的に発せられる音をコントロールするといった「電子楽器の目的」を最初に実現した電子楽器である。電子楽器の歴史の中で最も大きな技術革新であり、インターフェイスであるMIDI (Musical Instrument Digital Interface) の登場とともに、電子楽器は進化を続けてきた(北口2019)。現在も多種多様なインターフェイスやサウンドを搭載した電子楽器が増加し続けている。電子楽器の中でも主要なものとして鍵盤を搭載したシンセサイザーが挙げられるが、鍵盤以外にもパッドやステップシーケンサーを用いて演奏する楽器が増加している。このインターフェイスの違いによって演奏表現の多様性を生み出している。

最初の電子楽器であるテルミンは楽器に触れることなく手を空間中で動かすことにより演奏するものであった。楽器に触れることなく演奏する非接触型電子楽器は他にも、レーザーハープやD-Beamなどが挙げられる。レーザーハープはレーザーを弦に見立て、手

で遮ることで音を出す楽器である。D-Beamは日本の楽器メーカーであるRolandの電子楽器に多数搭載されており、赤外線センサーに手を近づけることで演奏やパラメータのコントロールを行っている。これらの非接触型電子楽器は鍵盤楽器やギターなどのように手や体を固定する必要がないため、他の楽器にはない演奏表現が可能であると考えた。本発表では非接触型電子楽器の開発を通じて、新たな演奏表現を可能にし、視覚的にも演奏者と視聴者を楽しませる非接触型電子楽器の開発と考察を行う。

2. 既存の非接触型電子楽器

本章では既存の非接触型電子楽器のメリットデメリットについて記述する。既存の非接触型電子楽器としてテルミン、D-Beam、レーザーハープ、AirSynthの4つを挙げている。

2.1. 手を近づけることで演奏する楽器

電子楽器の中に鍵盤や弦を持たないテルミンがある。テルミンは1919年頃にレフ・テルミンによって開発された電子楽器である。テルミンは見た目で見えるコントローラーも、他の楽器に似た特徴もない。音階のような幾何学的な構造に逆らい、理解が難しい楽器である。二つのアンテナに手を近づけることで音を出しており、手を触れずに演奏するこの楽器は神秘的な雰囲気が存在していた(ブレンド2018)。

同じ手を近づけることで演奏する楽器にD-Beamがある。D-BeamはRolandのシンセサイザーやグルーブボックスなどに多くに搭載されているインターフェイスである。D-Beamには赤外線センサーがあり、これに手を近づけることで演奏や音色に変化をつけることができる。ユーザーは任意のパラメータを設定することも可能である。演奏面では鍵盤では不可能な早弾きの

ような表現が可能である。音は連続的に変化するため狙った音程を出すのは困難である。

2.2. レーザーハープ

レーザーハープとはレーザーを手で遮ることで音を出し、レーザーを用いることで視覚的にも楽しめる楽器である。レーザーハープはレーザーを遮ることでオンオフの2値を扱っている。レーザーハープには Beamz 製と KVANT 製の物がある。有名なレーザーハープの奏者として音楽家の平沢進がいる。平沢進は Twitter や YouTube の生放送にてレーザーハープの解説を行っている。ダミーのレーザーを用意したり、腕の動きを工夫することで見ていて面白い動きを増やしていると述べている。レーザーハープは視覚的に楽しめる楽器ではあるが、オンオフの2値しか扱わないため演奏表現の幅は狭くなっている。

2.3. AirSynth

Air Synth は 2003 年にアメリカの電子楽器メーカーである ALESIS が発表した非接触型電子楽器である。Air Synth はテルミンや D-Beam のように手を近づけることで演奏を行う楽器である。赤外線センサーを用いて、手の動きを立体的に検出し、手の動きによって複数のパラメータをコントロールしている。複数のパラメータを同時にコントロールすることで、シンセサイザーなどのノブを回して音色を変化させるのに比べて、偶然生み出される音がある。AirSynth はパラメータのエディットができない欠点がある。

2.4. 非接触型電子楽器の問題点

非接触型電子楽器は楽器本体に手で触れずに演奏できるため、体の位置が制限されず動きを大きくした演奏表現が可能である。テルミンと D-Beam は連続的な変化を得意としているが、狙った音高を出すのが困難である。レーザーハープは視覚的に楽しめる楽器ではある演奏表現の幅は狭い。AirSynth は手の動きを立体的に読み取ることで複数のパラメータをコントロールした演奏表現が可能ではあるが、パラメータのエディット等が不可能である。これら非接触型電子楽器のデメリットを改善し、メリットを組み合わせることで、新たな演奏表現の可能とする非接触型電子楽器の開発を行う。

3. 先行研究

本章では、新たに非接触型電子楽器を開発する際の参考となる先行研究を挙げる。

円形レーザーハープ (佐藤ら 2017) では楽器の形によってレーザーハープを円形にすることで新たなインタラクションを生み出した。新たな演奏表現を考えるためにも、インターフェイスの組み合わせを行うだけでなく、楽器の形そのものにも着目し、設計を行う必要がある。楽器の形を考える際は演奏者と視聴者が理解しやすい、音とインターフェイスの合理性を考える必要がある。

Hunt らの研究では電子楽器におけるパラメータマッピングの重要性について述べている (Hunt et al. 2003)。電子楽器のパラメータマッピングを簡単にしてしまうと演奏者は操作についてすぐに理解をすることができるがあまり興味を持つことができない。パラメータマッピングを少し複雑にすることで演奏者は試行錯誤し、やりがいを得ることができる。中西の研究では簡易生のみを追求するのは最適ではないと述べている (中西 2015)。電子楽器の簡易性を追求すると演奏者が独自の表現手法を考えるために必要な要素を省くことになるからである。独自の表現手法を考えるための要素を取り入れることで演奏表現の多様性が生み出される。McDermott らはエンゲージメント、消費性、フロー性を維持するには難しすぎず簡単すぎない適切な難易度を継続的に提供することが必要であると述べている (McDermott et al. 2013)。長期的に魅力であり続けるには適切な難易度が必要になるので初心者が犠牲になる。

開発を行う非接触型電子楽器において、演奏者が独自の手法を模索するためにも、パラメータを簡易的なマッピングにはせず、AirSynth のように、複数のパラメータ変化などを行うことで音色の変化に偶然性を持たせる必要がある。複雑にしすぎると、演奏者を混乱させてしまう場合がある。

4. プロトタイプの開発

本章では新たな演奏表現を可能にする非接触型楽器の設計を行う際の参考として非接触型電子楽器の理解を深めるためにプロトタイプとしてレーザーハープを開発する。既存のレーザーハープを模倣するだけでなく、演奏表現の改善を試みる。レーザーハープは第2章で記述したデメリットである扱う値がオンオフのみの2値しかないことが原因となる演奏表現の幅の狭さが問題である。レーザーに加えて、超音波センサーを用いてテルミンのような連続的な音の変化を可能にすることで、演奏表現の改善を行なった。

4.1. ハードウェアの作成

レーザーハープは Arduino UNO を用いて作成する。Arduino UNO はファームウェアの書き換えを行うことで USB 経由で MIDI を送信することが可能となる。

レーザーハープはレーザーを CdS セルに当て、光量により CdS セルの抵抗が変化するのを利用し、レーザーを遮っているかを判断する。超音波センサーは送信機、受信機、制御回路が1つのモジュールになっている HC-SR04 を使用した。センサー類を取り付けるフレームには SUS 社の G-Fun を使用した。G-Fun はアルミフレームとコネクタを連結させることで様々な形を作り出すことが可能になっている。完成したものが以下の図1である。

4.2. プログラミングの作成

Arduino 上で動作させるプログラムは ArduinoIDE を用いて Arduino 言語を記述する。レーザーを遮られていることを判定する配列を用意し、レーザーのステータス情報として、遮られていれば1を、遮られていなければ0を格納する。遮られている場合は Arduino のシリアル通信を用いて USB 経由で MIDI を送信する。超音波センサーで読み取った手とセンサー間の距離を MIDI CC で扱える範囲に変換し、MIDI CC を送信する。



図1: 完成したプロトタイプ

4.3. デモ動画の作成

プロトタイプとして開発した従来のレーザーハープのデメリットである演奏表現の狭さを改善することができた。開発したレーザーハープは従来のレーザーハープ同様にレーザーを遮ることで MIDI note を出力する。超音波センサーを組み合わせることでレーザーを遮っている間に手を左右に動かすことで MIDI CC を送信し、音色の変化させる動きが生まれる。従来のレーザーハープには無かった演奏表現を実現した。

開発したレーザーハープとモジュラーシンセサイザーである Doepfer A-100 を組み合わせて約7分間の即興演奏を行なったデモ動画を作成し ICSAF2020 に出

展した。デモ動画では MIDI/CV コンバーターである A-190-1 の MIDI CC である Portament Time、Portament On/Off、Modulation Rate、Modulation Depth、CV2 をコントロールした。

4.4. プロトタイプまとめ

非接触型電子楽器の理解を深めるためにプロトタイプの開発を行なった。プロトタイプでは従来のレーザーハープの演奏表現の狭さを改善するために、テルミンや D-Beam のような手を近づける動作を追加した。手をセンサーに近づける動きによってパラメータを変化させることで新たな演奏表現を生み出すことができた。開発したプロトタイプではレーザーが平面上に並んでいるため、二次元的な演奏表現になっている。非接触という楽器に触らない利点を活かすためにも3次元的な演奏表現を可能にすることが必要になると考えた。

5. 新たな非接触型電子楽器の開発

プロトタイプの開発では超音波センサーを組み合わせることで従来のレーザーハープとは違った演奏表現が可能となった。非接触の利点を活かし、動きをより大きくするために3パラメータを1つのインタラクションで制御できるように開発を行う。楽器の形を十字形にすることで3パラメータを1つのインタラクションで制御することが可能であると考えられる。

5.1. 開発コンセプト

新たに開発する楽器では、従来の非接触型電子楽器であるテルミン、D-Beam、レーザーハープ、AirSynth のメリットを活かした開発を目指す。コンセプトとして以下の4つを挙げる。

- 楽器に触れない利点を活かし、演奏する際の動きを大きくする
- 演奏する際は音程を段階的に変化させるため、レーザーを使用する
- 連続的な変化は超音波センサーを用いてパラメータを変化させる
- 3次元的な演奏表現をするために縦横でパラメータを変化させ、高さで音高を決める

5.2. インターフェイスの設計

3次元的な演奏表現を実現するためのインターフェイス設計について記述する。5.1節で記述したコンセプトを考慮しながらインターフェイスの構造について考える。段階的な変化をするためのレーザーと連続的な変化をするための超音波センサーに関しては、プロトタイプであるレーザーハープと同様に図2のような配置をする必要がある。レーザーによってオンオフを制御するには、レーザーを出力する部分の反対に明るさを計測するCdSセルを使用する。超音波センサーは向かい合って配置すると超音波が干渉し、誤動作を起こすため、プロトタイプと同様に片側のみに配置する必要がある。

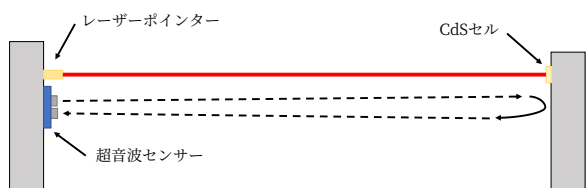


図2: センサーの配置

このセンサーの配置を考慮して縦横でパラメータを変化させ、高さで音高を決め、演奏する際の手を動かしやすい構造として十字型が最適なのではないかと考えた。考案したインターフェイスの形を図3に示す。

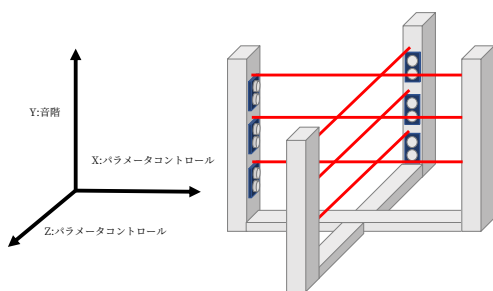


図3: インターフェイスの構造

図3で示した構造では4方向のフレームの間から手を入れてレーザーを遮り、高さの異なるレーザーで音階を決め、レーザー上の手の位置を超音波センサーで計測することでパラメータの変化をすることができる。この構造とセンサーの配置によって手を縦/横/高さの3方向に動かすことで、3パラメータを1つのインタラクションが制御することが可能であると考えられる。

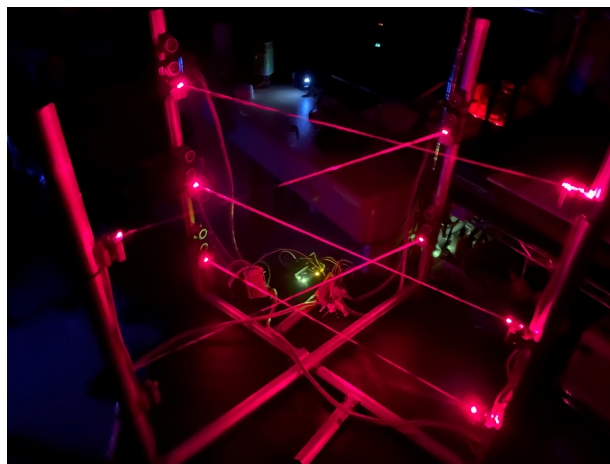


図4: 完成した非接触型電子楽器

5.3. ハードウェアの作成

5.2節での設計を元にハードウェアの作成を行った。基本的な構造は第4章で作成したプロトタイプに近いものになっている。G-Funは様々な形を作ることができるため、設計した楽器のフレーム部分プロトタイプと同様にG-Funを使って作成した。レーザーと超音波センサーの配置は互い違いになるように5つ配置した。

プログラムについてはプロトタイプ同様にArduino IDEを用いて作成した。レーザーが遮られている場合はArduinoのシリアル通信を用いてMIDIの送信を行う。超音波センサーで読み取った手とセンサー間の距離をIDI CCで扱える値の範囲に変換し、MIDI CCの送信を行う。完成したものが以下のものである。

5.4. デモ動画の作成

本研究で作成した非接触型電子楽器を用いて《NON-CONTACT》という7分間の即興演奏作品の作成を行った。開発した非接触型電子楽器は形を十字型にすることで、縦横でパラメーター、上下で音高を1つのインタラクションで演奏することができる。センサー類を互い違いで配置することで従来のレーザーハープのように1本ずつ遮る演奏も可能になっているが、上部より腕を入れて動かすことで複数のパラメーターを同時に変化させることも可能となっている。上部より腕を入れて動かしている様子は図5のようにになっている。

デモ動画では開発した楽器の音源としてポリフォニックアナログシンセサイザーであるSequential Prophet-6を使用し、KORG MS-20とSQ-1で作成したリズムパターンと組み合わせて演奏を行なった。コントロールするProphet-6のパラメータはMod Wheel、Distortion Amount、Low-pass Freq、Low-Pass Resonance、High-Pass Freqの5つである。

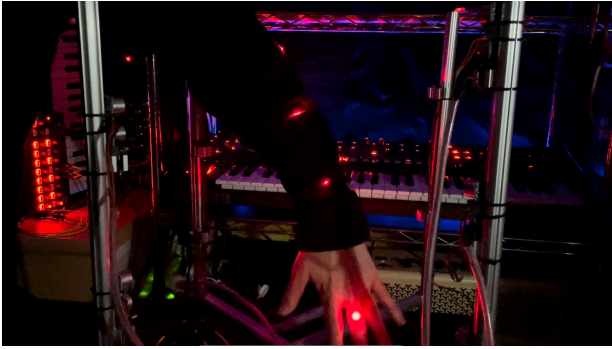


図 5: 演奏の様子

5.5. 考察

図2のセンサーの配置を考慮し、1つのインタラクションで3つのパラメータ制御を可能とするために、図6にあるインターフェイスの形が有用であると考えられた。高さの異なるレーザーによって音程のコントロールを行う。設定する音高を下から上に向かって音高を高くすることで直感的に演奏できると考えられる。プロトタイプの段階では超音波センサーでコントロールするパラメータを複数設定したが、手の位置によって変化を理解しにくいパラメータもある。モジュレーションやフィルターなどの発音している音に対してリアルタイムに変化させるパラメータの方が最適であると考えられる。デモ動画ではパラメータが連続的に変化するものを設定した。インターフェイスの形によって手の動きを上下・前後・左右の動きが可能となり、動きの少ない既存のレーザーハーブからは大きな改善が可能である。開発したレーザーハーブの上部より腕を入れて動かすことで複数のパラメータを同時に変化させ、手の動きも大きくなっている。欠点としてはレーザー上で手の位置を計測しているため、演奏する際はレーザー上でしか手を動かすことができない。体の動きの大きさに関してはインターフェイスの大きさに比例して、動きは大きくなると考えられるが可搬性などの問題も生じる。レーザーハーブはハーブの延長線上にある楽器である。ハーブは弦が1列に並んでいるが、開発したレーザーハーブは弦が交差しているため、ハーブとは違った演奏表現が可能であると考えられる。

6. まとめ

本発表では新たに開発した非接触型電子楽器を用いた即興演奏作品を通じて、非接触型電子楽器における新たな演奏表現の可能性についての考察した。従来の非接触型電子楽器のメリットを組み合わせることで新

たな演奏表現が可能となった。非接触という利点を活かし、動きをより大きくするために3パラメータを1つのインタラクションで制御できるようにすることで演奏する際の動きを大きくし、演奏者と視聴者は視覚的にも演奏を楽しむことができると考えられる。

今回開発した楽器ではプログラム上で送信するMIDI note や MIDI CC を設定していたが利便を向上させるためにもハードウェア側で設定を行えるコントローラが必要である。センサーは十字形に配置されており、センサー上でしか音色変化を行えない問題点が挙げられる。

参考文献

- Hunt, A. and Marcelo M. Wanderley, Matthew Paradis. 2003., *The importance of parameter mapping in electronic instrument design*. Journal of New Music Research, 3(4), pp.429-440.
- McDermott, J. and Toby Gifford, Anders Bouwer, Mark Wagay. 2013. "Should Music Interaction Be Easy?" In: Holland S., Wilkie K., Mulholland P., Seago A. (eds) *Music and Human-Computer Interaction*, Springer Series on Cultural Computing. Springer, London, 29-47. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-2990-5_2
- 北口二郎, 2019, 『電子楽器の技術発展の系統化調査』, 独立行政法人 国立科学博物館.
- 佐藤遥香, 居城のぞみ, 羽田久一, 2017, 「円形レーザーハーブ-Laser Loop-」, 映像情報メディア学会技術報告, 41(12), pp.129-131.
- 中西宣人, 2015, 「演奏表現の多様性を生み出すデジタル楽器デザインの研究」, 東京大学博士論文, pp.2-3.
- 藤野純也, 2019, 「電子楽器の演奏インターフェイスとしての鍵盤装置の普及とその文化的起源: 日本のオルガン受容と関連して」, 芸術文化研究, 23, pp.41-55.
- ブレンド, M., ヲノサトル (訳), 2018, 『未来の<サウンド>が聞こえる-電子楽器に夢を託したパイオニアたち-』, アルテスパブリッシング.
- Blend, M., 2012, *The Sound of Tomorrow-How Electronic Music Was Smuggled into the Mainstream-*. New York: Bloomsbury USA Academic.

7. 著者プロフィール

川合 雄佑 (Yusuke Kawai)

1999年神奈川県生まれ。東京工科大学メディア学部メディア学科所属。中学生時代に Yellow Magic Orchestra の音楽に出会い、シンセサイザーによる音作りを始める。楽器演奏のほか、Arduino を用いた楽器の制作も行う。



この作品は、クリエイティブ・コモンズの表示 - 非営利 - 改変禁止 4.0 国際 ライセンスで提供されています。ライセンスの写しをご覧になるには、<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/> をご覧くださいか、Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA までお手紙をお送りください。