

## 研究報告

# アロエベラを素材とするバイオメモリスタを用いた アナログシンセサイザーモジュールの検討

## Modules for analog synthesizers using Aloe vera biomemristor

西田 騎夕

Kiyu NISHIDA

情報科学芸術大学院大学

IAMAS

## 概要

本研究ではアロエベラを素材とするバイオメモリスタを用いたアナログシンセサイザーモジュールの開発とその演奏を通して、バイオメモリスタがもたらす表現の可能性について検討した。近年、アナログシンセサイザーは再評価されており、その中には生体现象をその一部に使用することで新しい表現を探求するものも見られる。生体信号を用いた表現はこれまでも見られたが、2015年に発表された粘菌バイオメモリスタを用いたバイオコンピュータの開発と音楽への応用は生体を電気素子として扱うという点で生体を用いた音楽表現を拡張した。本研究では先行研究に従ってアロエベラのバイオメモリスタとしての特性を測定し、2つのアナログシンセサイザーモジュールを開発した。また、実際のライブ演奏を通してメモリスタがもたらす表現の可能性、生体を用いた表現の可能性について検討した。

## 1. 背景

シンセサイザーはトランジスタや集積回路 (IC) などの電子技術の発展とともに新しい音楽表現を探求する楽器として開発されてきた。しかしながら、1980年代のアナログシンセサイザーからデジタルシンセサイザーへの移行の中で、シンセサイザーには様々な楽器の音色を再現するという機能が求められ、当初のツマミを自由に調整しながら新しい音楽表現を探求するという機能は複雑なものとなり、徐々にプリセットへと置き換えられていった (Manning 2004; Thom 2008)。

近年、ユーロラックのようなシンセサイザーの標準規格の登場などの影響によりアナログシンセサイザーは再び人気を集めている。ユーロラックとは1996年に楽器メーカーのDoepferが提唱したモジュラーシンセサイザーの大きさ、電圧レベルに関する標準規格であ

る。様々なメーカーがこの標準規格を採用したことによりモジュラーシンセサイザーの門戸が広がり、またモジュールの多様性が生まれることによって様々な音楽表現の可能性が生まれた (Rossmly and Wiethoff 2019)。例えば、*Cyclops*(2016)は制御電圧によってレーザープロジェクターを操作できるユーロラックビデオシンセサイザーモジュールである (LZX Industries 2016)。また、*MOTOR SYNTH*(2019)は音発生装置として電子モーターを用いた電気機械式シンセサイザーである。このシンセサイザーでは、電子モーターの回転速度を制御することによって目的の音を発生する (Gamechanger Audio 2019)。このような独創的なシンセサイザーの中には、その一部に生体现象を用いたものも見られる。次章では生体现象を音楽表現に用いた作品の歴史について述べる。

## 2. 関連作品

生体と音を結びつける試みは20世紀初頭から行われているが、音楽的意図を持ったものではAlvin Lucierの*Music for Solo Performer*(1965)が先駆的作品である (Eaton 1973)。この作品では独奏者の脳波が増幅、音に変換され、スピーカから出力された。この可聴域以下の音はパーカッションに共鳴し音を鳴らす。この音は独奏者にフィードバックされ、再び脳波に影響、音へと変換された。このように彼は演者の脳波を音楽作品に使用し、従来の演奏を行わずとも生体それ自体から発生される信号によって変化し、創造される音楽を生み出した (Mumma 2011)。この作品の発表の後、彼自身は脳波を使った作品を再び制作することはなかったが、バイオフィードバックミュージックと呼ばれる筋電や生体信号などを用いた音楽表現の探求は他の音楽家らによって1960年から1970年代にかけて続けられた。Richard Teitelbaumは*In Tune*(1967)や*Organ Music*(1968)で1964年にRobert Moogによって発表

されていたモジュラーシンセサイザーを用いることによって可聴域以下の脳波を知覚可能な音へと変換した (Teitelbaum 1974; Holmes 2016). 彼は脳波を電圧制御オシレータ (VCO), 電圧制御フィルター (VCF), 電圧制御増幅器 (VCA) といったシンセサイザーモジュールの制御電圧として用いた. これらは生体现象をシンセサイザーの中で用いた先駆的な作品である.

近年のバイオ技術の発展は新しい音楽表現を切り開きつつある. 例えば, *cellF*(2015) は独奏または音楽家との共創のための世界初の自律シンセサイザーである. この作品では多能性幹細胞 (iPS 細胞) 技術によって作家の皮膚から培養されたニューラルネットワークがモジュラーシンセサイザーを制御する (Moore, Ben-Ary, Fitch, Thompson, Bakkum, Hodgetts, and Morris 2016). *Earth Return Distortion (ERD)* (2015) はその回路に土を用いたユーロラックモジュラーシンセサイザーである. このモジュールを通る信号は土によって歪められ増幅される (ERD modular eurorack series 2020 2015). *SCÍON* (2017) はバイオフィードバックを用いたユーロラックモジュラーシンセサイザーであり, 植物や皮膚につないだ2つの電極間に電圧を印加することによって計測される導電率の微細な変化から制御電圧を生成する (Instruō Modular 2017; Plant Wave 2020). *Sonomatter* (2017) は微生物のはたらきによって発生した電気を音へと変換するシンセサイザーを用いた音響インスタレーションまたは演奏である (Ahn 2019). Miranda らは粘菌バイオメモリスタを用いたコンピュータを開発し, それを用いた音楽作品を 2016 年に発表した (Miranda, Braund, and Venkatesh 2018). このバイオコンピュータではバイオメモリスタがデータ処理ユニットとしてマイクロコンピュータと組み合わせ入り入力されたメロディーを変換し, 出力メロディーを生成した.

本研究では, バイオメモリスタの非線形性を利用した2つのシンセサイザーモジュールの開発を行った.

### 3. メモリスタ

メモリスタとは 1971 年に Leon Chua によってその存在が理論的に示された抵抗, コンデンサ, コイルに次ぐ第四の電気素子である. 彼はメモリスタを用いた様々な回路を提案したが, その後 2008 年になって初めて実用的な物理モデルが発見された. メモリスタンス  $M$  と呼ばれるメモリスタの抵抗値  $R$  は式 1 のように表せる.

$$M = R(q) = \frac{d\delta(q)}{dq} \quad (1)$$

ここで  $\delta$  は磁束,  $q$  は電荷.

メモリスタは他の電気素子は持たない非線形性を持つ. Chua は理想的なメモリスタのピンチドヒステリシスループは図 1 のように対称性をもち, 原点を通過す

ると述べた (Chua 2015). また, メモリスタは入力電圧の急激な変化に対して電流スパイクを示す. Gale らは電流スパイクは入力電圧の変化に対して必ず発生することを報告し, 解析モデルを提案した (Gale, Costello, and Adamatzky 2013). さらに Miranda らは電流スパイクの大きさは入力電圧の変化の大きさと関係があると述べている (Braund, Venkatesh, and Miranda 2019).

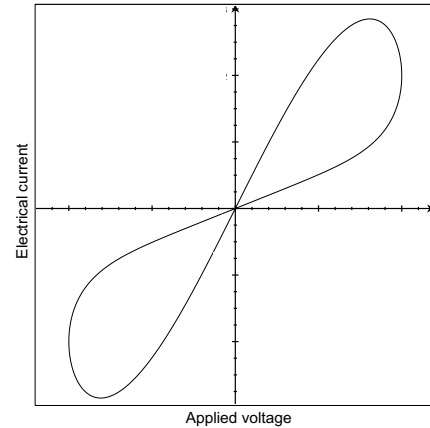


図 1: 理想的なメモリスタの示すピンチドヒステリシスループ

近年の理論解析によってメモリスタがニューラルネットワークや電位依存性イオンチャネルなどに存在することを明らかになっている. 特に, 生体素材を用いたメモリスタはバイオメモリスタと呼ばれる. Volkov らはアロエベラやオジギソウなどの植物もメモリスタの特性を持つことを示した (Volkov, Tucket, Reedus, Volkova, Markin, and Chua 2014).

本研究では制御や入手の容易さから, バイオメモリスタの材料としてアロエベラを用いた.

## 4. 測定

アロエベラのメモリスタとしての特性を電氣的に測定するために先行研究に基づいて2つの実験を行った.

### 4.1. メモリスタ

アロエベラがメモリスタとしてはたらくことを確認するため, 正弦波交流電圧の印加に対する電流応答波形を測定した. 先行研究 (Volkov, Reedus, Mitchell, Tucket, Forde-Tuckett, Volkova, Markin, and Chua 2014) に基づいて, 電極をアロエベラの葉の維管束にそって挿す場合 (条件 1) と葉の表裏に挿す場合 (条件 2) の2つの条件で実験を行った.

実験の結果, 条件 1 では 0.01Hz 以下, 条件 2 では 0.1Hz 以下の正弦波交流電圧の印加に対してそれぞれ

ピンチドヒステリシスループが観測できた。したがってアロエベラがメモリスタとしてはたらくことが確認できた。図2は実験で観測されたピンチドヒステリシスループである。印加された電圧に対する電流応答は非線形なことがわかる。

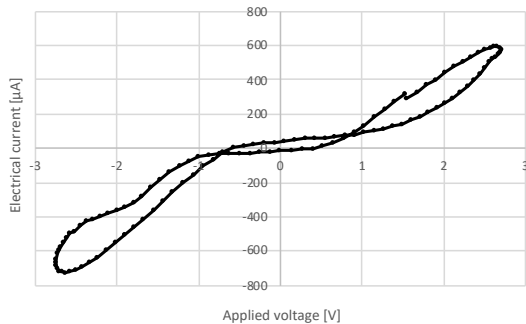


図2: 観測されたピンチドヒステリシスループ

#### 4.2. 電流スパイク

電流スパイクを観測するため、急激な印加電圧の変化に対する電流応答の変化を測定した。先行研究 (Gale, Costello, and Adamatzky 2013) ではすべてのメモリスタにおいて電流スパイクが観測できると述べられているが、これまでにアロエベラの電流スパイクに関する報告はない。したがって、この実験ではアロエベラバイオメモリスタの電流スパイクを観測し、印加電圧と電流スパイクとの関係を明らかにすることを目的とした。なお、詳しく観測を行うために測定には電流を電圧に変換し、増幅する自作回路を用いた。

実験の結果、アロエベラにおいても電流スパイクが発生することが確認された。また、電流スパイクの大きさは印加電圧の変化以前に加えられた電圧の大きさやその継続時間、電圧変化の大きさと関係があることが分かった。図3は実験で観測された電流スパイクの一例である。なお、この測定は電極を葉の表裏に挿した状態で行った。

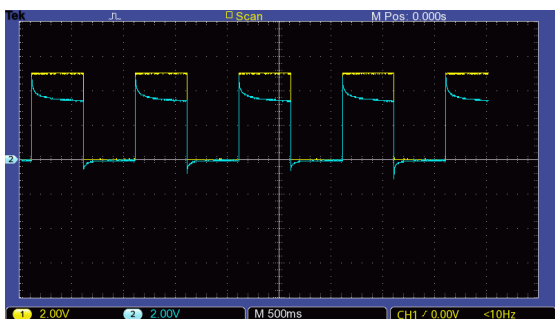


図3: 入力電圧 (黄色) の急激な変化による電流スパイク (青色)

#### 5. 実装

アロエベラバイオメモリスタを用いたアナログシンセサイザーモジュール Current to Voltage Converter (CVC) と Current Spike to Voltage Converter (CSVC) の2つを開発した。なお、設計はすべてユーロラックの標準規格に従った。

##### 5.1. CVC

CVCは低周波の正弦波交流電圧の入力に対してバイオメモリスタが示す非線形な電流応答を用いたモジュールである。CVCは図4のようにオペアンプと抵抗を用いた電流を増幅し電圧に変換する簡単な回路で構成される。演奏者はこのモジュールの2つの端子 (T1, T2) をアロエベラに接続し、可変抵抗 (R1) を回転させることで増幅度を調整できる。このモジュールの外観を図5に示す。

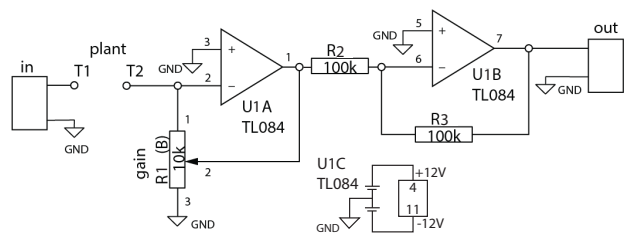


図4: CVC モジュールの回路図

##### 5.2. CSVC

CSVCは入力電圧の急激な変化に対してバイオメモリスタが示す電流スパイクを用いたモジュールである。CSVCの回路はCVCのものと同様であるが、小さな電流でも十分に増幅することができるように可変抵抗が100kΩに変更されている。このモジュールの外観を図5に示す。

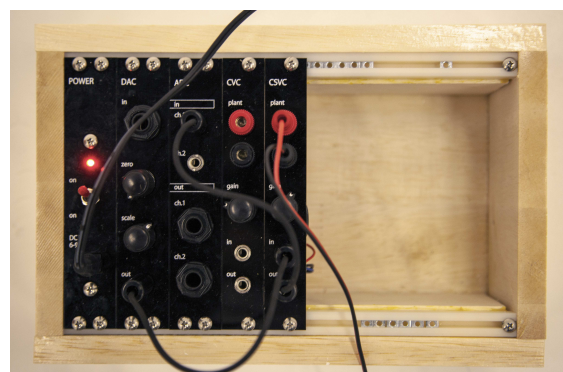


図5: モジュールの外観 (右から CSVC, CVC)

## 6. 実践

開発した2つのシンセサイザーモジュールを用いた表現の可能性を探求するため、2回のライブ演奏を行った。それぞれのライブ演奏について6.1で述べた後、具体的なモジュールの使用方法について6.2で述べる。

### 6.1. ライブ演奏

#### 6.1.1. NxPC.Live vol.40 & Freq, KID × IAMAS LIVE

2019年12月に九州大学で行われたNxPC.Live vol.40 & Freq, KID × IAMAS LIVEにてCVCモジュールを用いたライブ演奏を行った。この演奏ではCVCモジュールを1978年に発表されたアナログモジュラーシンセサイザーROLAND SYSTEM 700とともに使用した。また、アロエベラバイオメモリスタの低周波の印加電圧に対する反応を引き出すために、一般的なシンセサイザーのLow Frequency Oscillator(LFO)モジュールが出力できる周波数よりも低い0.001Hz~0.1Hzの電圧波形を出力できるSuper Low Frequency Oscillator (SLFO)を製作した。演奏ではSLFOをCVCに接続し、出力をSYSTEM 700のマルチプルジャックで分岐した後、制御電圧としてVCOやVCFのようなモジュールに接続した。CVCの入力電圧と出力電圧の観測にはオシロスコープを用い、アロエベラメモリスタの特性を引き出すためにアロエベラに挿す電極の位置や増幅度を調整した。演奏では観客がアロエベラバイオメモリスタによってもたらされる音を理解できるように少しの音数で始め、徐々に他の音を増やしていった。

#### 6.1.2. NxPC.Live vol.46 X 1/2

2020年にIAMASで行われたNxPC.Live vol.46 X 1/2にてCVCとCSVCモジュールを用いたライブ演奏を行った。この演奏ではこれらのモジュールをコンピュータ上のオープンソースヴァーチャルモジュラーシンセサイザーVCV Rack<sup>1</sup>とともに使用した。また、ハードウェアのアナログシンセサイザーとソフトウェアのヴァーチャルシンセサイザーを相互に接続するにあたって、標準的なオーディオインターフェースでは直流電圧の入出力ができないため、ソフトウェアとハードウェア双方にエンコーダとデコーダモジュールを製作し、相互に接続可能とした。演奏ではヴァーチャルシンセサイザーでシーケンサーやLFOからの制御電圧をエンコードした後、オーディオインターフェースから出力し、ハードウェア側でデコードし、CSVCやCVCに入力した。また、その出力信号をデコードしオーディオインターフェースに入力し、ヴァーチャル

<sup>1</sup> VCV Rack, <https://vcvrack.com>

シンセサイザー側でデコードした信号を制御電圧としてVCOやVCFに入力した。

また、アロエベラの内部状態は様々に変わり、理想的な反応を得ることは難しくパフォーマンス中に正しく動いてくれるとは限らないこと、また演奏者とアロエベラ双方が演者であり同じ外部刺激を受けていることを示すため、演奏の24時間前から演奏者と活動を共にするアロエベラの映像を撮影し、演奏冒頭に投影した。

### 6.2. 使用方法

#### 6.2.1. CVC

CVCモジュールは低周波の正弦波交流電圧の入力に対してバイオメモリスタの示す非線形性に従った電圧を出力する。図6は0.1Hzの正弦波交流電圧の入力に対するCVCの出力電圧を示している。CVCモジュールの出力を制御電圧として他のモジュールに入力することによってバイオメモリスタの示す非線形性に従った変調が可能となる。

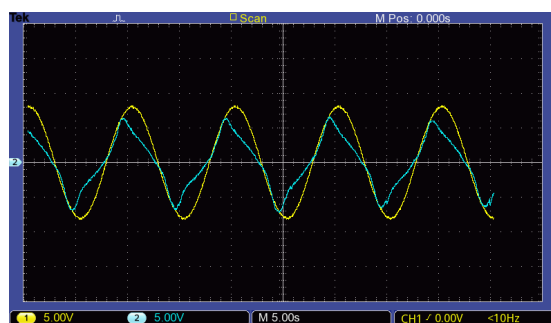


図 6: 0.1Hzの正弦波交流電圧入力（黄色）に対するCVCの電圧出力（青色）

#### 6.2.2. CSVC

CSVCモジュールは入力電圧の急激な変化に対して電圧スパイクを出力する。アナログシンセサイザーにおいて音高は電圧の大きさで表されるためキーボードコントローラーやシーケンサーを用いることで電圧の大きさを離散値で制御することができる。図7はキーボードコントローラーからの制御電圧に対するCSVCの出力電圧を示している。CSVCモジュールの出力を制御電圧として他のモジュールに入力することによってエンベロープジェネレータのように発音に合わせたバイオメモリスタの電流スパイクによる変調が可能となる。

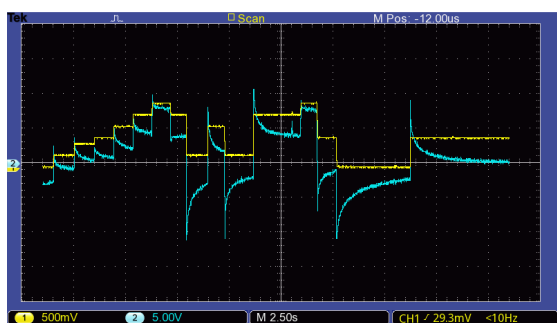


図 7: キーボードコントローラーの制御電圧の入力（黄色）に対する CSVC の出力電圧（青色）

## 7. 議論

### 7.1. シンセサイザーモジュール

本研究ではバイオメモリスタの特性を用いた 2 つの基本的なシンセサイザーモジュールを提案した。提案したシンセサイザーモジュールにおいて入力電圧に対するバイオメモリスタの電流応答はアナログ回路を用いて増幅、電圧に変換され出力された。すなわち、Miranda らがコンピュータの一部としてバイオメモリスタを入力されるメロディーから出力するデータの変換装置として用いたことと比較して、本研究においてバイオメモリスタは電圧によって音の制御を行う電圧制御アナログモジュラーシンセサイザーの枠組みの中で音を直接加工する機能としてはたらいっていることができる。

NxPC.Live vol.40 & Freq, KID × IAMAS LIVE ではアロエベラバイオメモリスタが 0.1Hz 以下の正弦波の入力に対して非線形性を示すことから CVC を SLFO のフィルターとして使用し、制御電圧として他のモジュールに入力することで音楽表現にバイオメモリスタが示す非線形性を結びつけた。しかしながら、もし可聴域の周波数の正弦波交流電圧に対して非線形性を示すメモリスタがあれば、その特性は新たな基本的波形を作るための VCO のフィルターとして直接的に音を加工するような使用方法も考えられるだろう。

### 7.2. バイオメモリスタの制御

アロエベラバイオメモリスタの特性は電極を挿す位置や深さ、電圧を印加する時間または日照時間など様々な要因によって影響を受けた。これに対して NxPC.Live vol.40 & Freq, KID × IAMAS LIVE では良い特性が得られるように電極を挿す位置を変え、探しながら演奏を行った。この行為はシンセサイザーにおいてツマミを回しながら目的の音を探す行為に似ていたものの、どのように安定的に継続してバイオメモリスタの特性を制御することができるかを明らかにすることは重要

であろう。Miranda らは粘菌の発育を制御する専用の容器を制作することによってバイオメモリスタの特性を標準化した。粘菌と比較すると手に入れやすく測定が容易なアロエベラであるが、アロエベラの葉は 3 次元的な形状をしていることもあり、その特性を標準化することは難しいだろうと考える。

### 7.3. バイオメモリスタと音楽表現

生体をいかに制御し理想の特性を取り出すかを考える一方で、NxPC.Live vol.46 X 1/2 においては生体を演奏者として扱った。この試みはバイオメモリスタは生体が持つ機能の一部であり、その特性には生体の内部状態すなわちアロエベラの生体现象が関わっているため不安定なものであるということ強調するものであった。

Sonomatter が生体が発する電気信号を受動的に観測し、音へと変換を行うことに対して、SCÍON では電圧を印加することによって生体内で起こっている変化を音へと変換する。また、cellF や Earth Return Distortion (ERD) などは生体现象そのものに電気刺激を与えることによってその出力を取り出す。これらと比較して本研究では音を電圧として生体に印加することによって生体のはたらきを励起し、音の変換を行っている。すなわち、生体が生来備える機能を用いて音の加工を行っているということができる。

Alvin Lucier の *Music for Solo Performer* や Richard Teritelbaum の *In Tune* など生体现象を音楽表現の中で用いた初期の試みでは、聴覚刺激に対する脳波の反応が機能としてはたらいっている。これらの試みでは無意識下でおこる生体现象が機能としてはたらし、それを観測し、スピーカやパーカッションまたはシンセサイザーを用いて知覚可能なものへと変換することで表現に結びつけている。このような初期のバイオフィードバックミュージックが制御不可能な生体现象を表現にとり入れたことと比較してバイオメモリスタの研究を進めていくことによってより制御が容易な機能としてバイオメモリスタを音楽表現に取り入れることができるようになるだろう。その一方で、生体に電圧を印加することでメモリスタという機能を取り出したことに対して、不安定性として現れる制御不可能な生体现象に目を向けることも重要である。

## 8. 結論

本研究ではアロエベラバイオメモリスタを用いた 2 つのシンセサイザーモジュール CVC, CSV を提案した。これらのモジュールにおいてバイオメモリスタは直接的に音を加工する機能としてはたらく。また、2 つのライブ演奏を通して、アナログモジュラーシンセサイザーの枠組みの中でいかにバイオメモリスタが新し

い音楽表現の可能性を開くかについて検討した。その上で音楽表現の中でバイオメモリスタをただ制御可能な機能として扱うだけでなく、その反応として現れる不安定で制御不可能な生体現象に目を向けることも重要であると結論づけた。

なお、本研究で紹介したシンセサイザーモジュールのデモやライブ演奏の様子は <https://youtu.be/xoTcR1evzVo> にて視聴可能である。

## 9. 謝辞

本研究を進めるにあたって九州大学芸術工学研究科城一裕先生にご指導いただきました。本研究を振り返るにあたり IAMAS 教員の皆様にはたくさんの助言をいただきました。また、Nx.PC.Live には作品発表機会をいただきました。感謝いたします。

本研究の一部は、日本学術振興会科研費・若手研究 (A) ポストデジタル以降の音を生み出す構造の構築 [17H04772] および基盤研究 (B) 日本庭園の総合的アーカイヴの開発をめぐる研究 [19H01225] の支援を受け実施されました。

## 10. 参考文献

- Ahn, S. H. (2019). Sonic transformation with living matter. In *In proceedings of ISEA symposium (Inter-Society for the Electronic Arts)*, Gwangju, South Korea, pp. 462–465.
- Braund, E., S. Venkatesh, and E. Miranda (2019). Phybox: A programmable interface for physarum polycephalum-based memristors. *International Journal of Unconventional Computing* 14, 217–233.
- Chua, L. (2015, 06). Everything you wish to know about memristors but are afraid to ask. *Radioengineering* 24(2), 319–368.
- Eaton, M. L. (1973). *BIO - MUSIC*. Ultramarine Pub Co.
- ERD modular eurorack series 2020 (2015). Erd/erd. <https://www.1010.co.uk/org/ERD.html> (閲覧日: 2021年2月4日) .
- Gale, E., B. d. L. Costello, and A. Adamatzky (2013). Observation, characterization and modeling of memristor current spikes. *Applied Mathematics and Information Sciences* 7, 1395–1403.
- Gamechanger Audio (2019). Motor synth. <https://www.gamechangeraudio.com/motor-synth/> (閲覧日: 2021年2月4日) .
- Holmes, T. (2016). Early “live” moog modular artists: Richard teitelbaum and the first moog modular synthesizer in europe. <https://moogfoundation.org/early-live-moog-modular-artists-richard-teitelbaum-first-moog-modular-synthesizer-europe/> (閲覧日: 2021年2月4日) .
- Instruō Modular (2017). Scíon. <https://www.instruomodular.com/product/scion/> (閲覧日: 2021年2月4日) .
- LZX Industries (2016). Cyclops. [https://lzxindustries.net/products/cyclops?\\_pos=1&\\_sid=eed6725e9&\\_ss=r](https://lzxindustries.net/products/cyclops?_pos=1&_sid=eed6725e9&_ss=r) (閲覧日: 2021年2月4日) .
- Manning, P. (2004). *Electronic and Computer Music*. Oxford University Press.
- Miranda, E. R., E. Braund, and S. Venkatesh (2018). Composing with biomemristors: Is biocomputing the new technology of computer music? *Computer Music Journal* 42(3), 28–46.
- Moore, D., G. Ben-Ary, A. Fitch, N. Thompson, D. Bakkum, S. Hodgetts, and A. Morris (2016). cellf: a neuron-driven music synthesiser for real-time performance. *International Journal of Performance Arts and Digital Media* 12(1), 31–43.
- Mumma, G. (2011). Alvin lucier’s music for solo performer 1965. In K. D. A. L. Gurusinghe, Nilendra (Ed.), *Source : Music of the Avant-garde, 1966–1973*, pp. 79–81. University of California Press.
- Plant Wave (2020). Frequently asked questions. <https://www.plantwave.com/faq> (閲覧日: 2021年2月6日) .
- Rossmly, B. and A. Wiethoff (2019, June). The modular backward evolution - why to use outdated technologies. In *Proc of the 2019 Int Conf on New Interfaces for Musical Expression (NIME’19)*, Porto Alegre, Brazil, pp. 343 – 348.
- Teitelbaum, R. (1974). In tune: Some early experiments in biofeedback music. In D. Rosenboom (Ed.), *Biofeedback and the Arts, Results of Early Experiments*, pp. 35–56. Aesthetic Research Centre of Canada.
- Thom, H. (2008). *Electronic and Experimental Music: Pioneers in Technology and Composition Third Edition*. Media and Popular Culture Series. Routledge.

Volkov, A. G., J. Reedus, C. M. Mitchell, C. Tucket, V. Forde-Tuckett, M. I. Volkova, V. S. Markin, and L. Chua (2014). Memristors in the electrical network of aloe vera l. *Plant signaling & behavior* 9(7), e29056.

Volkov, A. G., C. Tucket, J. Reedus, M. I. Volkova, V. S. Markin, and L. Chua (2014). Memristors in plants. *Plant signaling & behavior* 9(3), e28152.

## 11. 著者プロフィール

### 西田騎夕 (Kiyu NISHIDA)

1996年東京都生まれ。2015年より九州大学芸術工学部音響設計学科で「音」を物理学、心理学、生理学また文化史、芸術学など多面的な方向から学ぶ。2018年4月より1年間ドイツのカールスルーエ造形大学メディアアート学部に留学し、立体音響やネットアートを学ぶ。立体音響と観客のスマートフォンを使った視覚インタラク션을組み合わせたライブ演奏作品を制作。帰国後は九州大学芸術工学部音響設計学科城研究室に所属し、新しい楽器とそれによる音楽表現の拡張について研究を行う。現在、情報科学芸術大学院大学 (IAMAS) 修士1年。



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/> をご覧頂くか、Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA までお手紙をお送りください。