

## 研究報告

## 弦楽器のハイブリッド化と音響の制御

### Hybridization of string instruments and control of their acoustics

松宮 圭太

Keita MATSUMIYA

大分県立芸術文化短期大学

Department of Music

Oita Prefectural College of Arts and Culture

## 概要

ハイブリッド楽器 (Hybrid Instrument) とはピックアップマイクと振動スピーカーを用いて共鳴体を共振させる機構によって、アコースティックな響きとサウンドプロセッシングおよび音響合成により、ハイブリッドなサウンドを得る楽器である (IMAREV 2011-2014)。<sup>1</sup> 本研究では、ハイブリッド楽器の先行研究に基づき、ミクスト音楽の文脈に基づいて使用する目的で、通常のヴァイオリンを損壊せずに振動スピーカーを設置してハイブリッド化する方法と、ソフトウェアによって音響と音質を制御する方法を提示する。

A hybrid instrument is a musical instrument that produces a hybrid sound through acoustic resonance, sound processing, and acoustic synthesis by means of a resonance mechanism using a piezoelectric microphone and a vibrating speaker. Based on previous studies of hybrid instruments, this study presents a method of hybridizing a regular violin by installing a vibrating speaker without damaging it and controlling its acoustics and sound quality through software, for the purpose of using it in the context of mixed music.

## 1. はじめに

ハイブリッド楽器は、アクチュエーター付き楽器 (Actuated Musical Instrument)、アクティブ楽器 (Active Instrument) とも呼ばれ、既存の楽器に様々な電子音響技術を組み合わせることで演奏や音色の幅を広げた拡張楽器 (Augmented Instrument) の一種である。弦楽器を電子技術で拡張する研究と創作に関しては、楽器演奏の機械的補助から自動演奏機構、楽器内にスピー

<sup>1</sup> この定義においてはカワイのハイブリッドピアノ、ヤマハのトランスアコースティック™ ピアノは拡張楽器の一種ではあるが、ハイブリッド楽器とは言えない。ただしヤマハのトランスアコースティック™ ギターはハイブリッド楽器の一種である。

カーやエフェクター、オーディオ MIDI の信号変換機構を搭載するなどの試みがなされてきたが、そうした特殊な装置はクラシックや現代音楽の演奏文化における普及を見込んで展開してきたとは言い難い。振動スピーカーを用いたハイブリッド楽器の原理は、楽器の音の可能性を広げるという観点から、フィードバック制御されたアコースティック楽器とサウンドプロセッシングおよび音響合成を使用することに基づいている。その結果、最終的なサウンドはハイブリッドとなる。それはつまり、アコースティックな振動（または機械的な振動）とデジタル処理の重ね合わせから生まれた響きである。ハイブリッド楽器の大きな利点は、楽器演奏に音響合成の可能性を取り入れつつも、演奏家のインターフェースがアコースティック楽器のままであることにある (IMAREV 2011-2014)。こうした特徴は、楽器演奏と電子音響のためのミクスト音楽作品、ライブ・エレクトロニクス作品と親和性が高く、演奏家により主体的にそうしたレパートリーに挑戦するための手段として発展する可能性があり、また作曲家が新たな着想を得られる楽器に成り得ると考える。様々な楽器のハイブリッド化が考えられる中で、本稿では弦楽器、とりわけヴァイオリンの方法について考察する。

## 2. ハイブリッド・ヴァイオリンの原理

ハイブリッド・ヴァイオリン (HV) は、ピックアップマイクを取り付けた楽器の共鳴体に、更に電気的な振動装置である振動スピーカーを圧着することで、楽器の共鳴体によってその振動を増幅させるものである。

以下の図1にその仕組みを示し、ヴァイオリンの代わりに市販で普及しているエレクトリック・アコースティックギター (EAG) とハイブリッド化したギター (HG) との比較で解説する。

EAG はピックアップマイクが筐体の内側に仕込んであるアコースティックギターで、アンプやエフェク

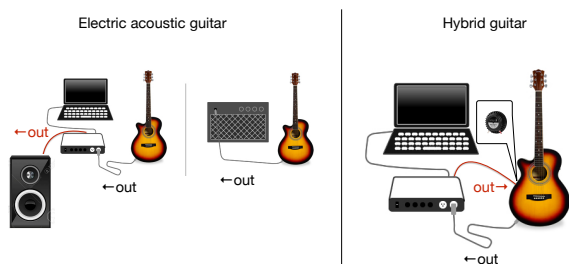


図 1: EAG と HG の違い

ターにつないでスピーカーから音が出る仕組みの楽器であるのに対し、HG はアコースティックギターにピックアップマイクと振動スピーカーが仕込んであり、ギターの筐体によって演奏音と電子音響が共鳴し、ハイブリッドなサウンドが出力される。ヤマハのトランスアコースティック™ ギターは外部機器との入出力はできないが、ピックアップマイクと振動スピーカーを内蔵し、かつシンプルなコーラスとリバーブを搭載した HG の一種といえる。

ヴァイオリンは HS 分類<sup>2</sup>によると擦弦楽器リュート属に当たり、撥弦楽器のギターと同じリュート属である。弦の物理的な振動による発音体とその振動を増幅する共鳴体から構成され、古典的な奏法には弓で弦を引く擦弦、弦を指で弾く撥弦、弓で叩く打弦などがあり、演奏によって発せられた弦の振動が楽器の筐体である共鳴体で増幅され、空気の振動を通じてオーディエンスに届く。この分類に基づき HV を捉えるならば、弦に加えて振動スピーカーを第 2 の発音体として同一の共鳴体によって振動を増幅させる楽器と位置づけられる。楽器の音色や周波数特性が共鳴体によって特徴づけられるように、HV から発せられる電子音響の響きもその楽器の共鳴体、ヴァイオリンの筐体によって特徴づけられる。ミクスト音楽において、楽器の筐体から発せられる電子音響を歪んだ響きと捉えるか、あるいは楽器とより調和した音響と捉えるかはキャリブレーションや音楽書法などの問題と絡んでくるため後ほど言及する。

### 3. 先行研究

フランス国立音響音楽研究所 (IRCAM) で 2011 年から 2014 年にかけて「バーチャル制御によるアクティブ楽器」(Instruments de musique actifs avec réglages virtuels) の研究を行っていたアドリアン・マム＝マニは『この 50 年間で、サウンド・シンセシスの科学と技術は、シンセサイザーを使った新しいサウンドの創造と制御を

<sup>2</sup> ザックス＝ホルンボステル分類

可能にした。しかし、いまだに世界中で何億というアコースティック楽器が使われている。実際、デジタル・キーボードやラウドスピーカーとの相互作用は、アコースティック楽器の繊細さに比べると相対的に乏しい。(IMAREV 2011-2014)』と述べ、主にギターのバックボードを振動させて楽器をハイブリッド化させる方法を研究し、2016 年に「世界で最初のスマートギター」HyVibe<sup>3</sup> として商品化した。

### 3.1. バックボードを振動させる研究

マム＝マニのコンセプトに基づき、作曲家のホアン・アロヨが弦楽器製造者のルーカス・バレイと共同して 2015 年にターナ弦楽四重奏団のためにハイブリッド楽器のプロトタイプとして制作したのが、ターナチェロ (TanaCello) である (Houlès 2018)。ハイブリッド・チェロの試みであるターナチェロでは、チェロ筐体のバックボード内側に振動スピーカーを設置し、またサイドボードを加工して XLR 端子を設置し、外部の音響機器と接続される。駒の下にピックアップマイクを配置し、演奏音を拾うために使用している。実際に楽器を使用したターナ弦楽四重奏団チェリストのジャンヌ・メゾンオトはターナチェロの出来栄えに対し『出力はラウドスピーカーに比べて低いままであり (中略) 実際、テストは無価値なチェロで行われ、豊かな響きの可能性はほとんどなかったためか、楽器の音響特性を流用する電子部分の放射が制限されている』(Maisonhaute 2018) と述べ、弦楽器に直接加工が行われる仕組みである以上、高価な楽器を使ってハイブリッド楽器にすることの難しさと、演奏家として納得できる響きを得るのが困難なことを指摘した。またその一方で『エレクトロニクスは楽器の共鳴体によって色付けされている。これは、より室内乐的な新しいミクスト音楽の概念につながる。』(Maisonhaute 2018) と述べ、そのサウンドと体験の新規性に言及している。

### 3.2. 肩当を振動させる研究

ヴァイオリン奏者でアリゾナ大学研究者のセス・D・ソーンは、2019 年よりヴァイオリンの肩当に振動スピーカーを搭載する研究『アクティブ・ショルダーレスト・プロジェクト (Active Shoulder Rest)』を行っている。ソーンは『世界で初めて肩当に電氣的ハードウェアを搭載した』(Thorn 2021) としながら、弦楽器奏者が使用する一般的な付属品、人間工学的な補助器具である肩当に振動スピーカーを組み込むことで、触覚フィードバックによる演奏家のための演奏補助ツールを開発した。(Thorn 2019)

<sup>3</sup> <https://www.laguitars.com/>

『振動の伝達を減衰させるコーティングされたゴム足でヴァイオリンに結合された肩当は、ヴァイオリニストの鎖骨と胸に横たわり、あたかもヴァイオリン自体から発せられるかのように奏者の身体に感じられるマルチモーダルなフィードバックを可能にするが、ヴァイオリンの音響体にはあまり顕著な影響を与えない。』(Thorn 2021) と述べ、アクティブ・ショルダーレストの『触ることのできるフィードバック (tangible feedback)』によってヴァイオリン奏者が触覚で電子音響の振動を感じ、より電子音響と一体化した即興パフォーマンスができることの新規性を掲げる。

#### 4. 本研究における試み

以上の先行研究に基づき、振動スピーカーを楽器の共鳴体に響かせるターナ・チェロと、振動スピーカーを肩当を通じて演奏家の身体に響かせるアクティブ・ショルダーレストの発想を応用して、本研究では2020年4月より11月にかけて、通常のようなヴァイオリンに着脱可能で楽器の共鳴体を振動させる方法を試みると共に、加えてソフトウェアによって電子音響を制御する方法によって、メゾンオトが指摘した『電子音響の放射の弱さ』の是正を図った。

##### 4.1. 着脱可能な振動装置の設置の試み

ヴァイオリンの肩当を振動装置の固定器具として使用し、楽器の裏板に振動スピーカーを圧着することで、ヴァイオリンを損壊させることなくハイブリッド化する方法を取った。先行研究を参照しながら複数の振動スピーカー、アンプをテストし、最終的に使用した機材は以下のとおりである。

- ・振動スピーカー Dayton Audio DAEX32EP
- ・肩当 KUN 4/4
- ・パワーアンプ Dayton Audio DTA-120
- ・ピックアップマイク Shadow SH945 NFX

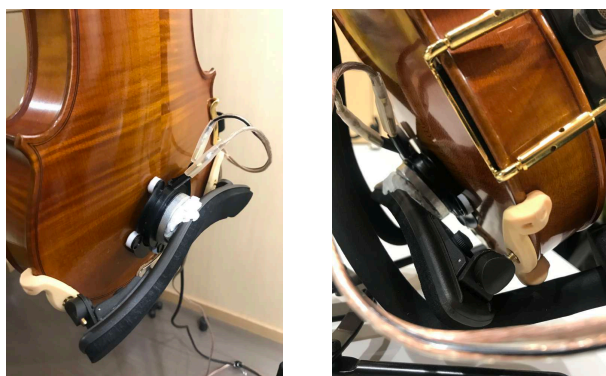


図 2: 肩当に固定された振動スピーカーと筐体への設置

振動スピーカーは、はがせる粘着剤(コクヨ ひつつき虫)で肩当に固定され、筐体と振動スピーカーの接地面や角度が自由に調整できる遊びを設けている。肩当自体は通常の使用方法で楽器に設置され、演奏の間の補助器具としての役割を持ちつつも、楽器を損傷させることなく振動スピーカーを筐体のバックボードに圧着させる役割を担っている。

ヴァイオリンと同じ方法でヴィオラにも専用の肩当に問題なく振動スピーカーを設置することができた。チェロには肩当が存在しないが、ヴィオラ用の肩当に、KUM のヴァイオリン用のゴム足を使ってチェロのセンターバウツに固定することで設置ができた。弦楽器奏者によると、肩当とそのゴム足は取り付けの楽器によって複数のメーカーのものを組み合わせることも多いとのことで、楽器の寸法に合わせて肩当の調整がある程度可能なことが分かった。このように、演奏家が慣れ親しんでいる補助器具を使用することで、楽器のハイブリッド化がより容易になると考えられる。ただし、この実験で使用したピエゾピックアップ Shadow SH945 NFX は駒の下に固定するタイプで着脱に時間を要するものであったため、より手早く着脱を行うには DPA 4099 のようなコンタクトマイクを使用するのが適切と思われる。

##### 4.2. キャリブレーション

ハイブリッド・ヴァイオリンから発する電子音響の音色は、ヴァイオリンの筐体の周波数特性に影響される。コンピュータを介して楽器から出力される電子音響が筐体の周波数帯域に起因して発生するハウリングを回避するために、Sonarworks 社のソフトウェア Reference 4 Studio Edition と付属の測定用マイクによるキャリブレーションを試みた<sup>4</sup>。

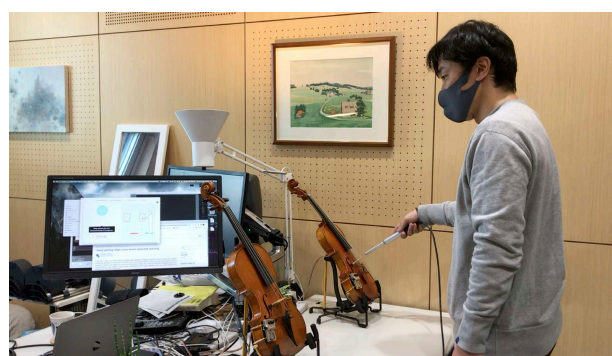


図 3: Sonarworks Reference 4 を使ったキャリブレーションの様子

ソフトウェアはステレオスピーカーに対してキャリ

<sup>4</sup>2023 年現在 Reference 4 は開発中止、SoundID Reference が後継。

レーションできる仕様のため、ハイブリッド・ヴァイオリンを二台用意し、ステレオスピーカーシステムに見立てて測定、補正を行った。Reference 4はコンピュータを介してスピーカーから出力される出音に対して、スピーカーが設置された部屋とリスニングポイントの音響測定と解析によって、よりフラットなリファレンスサウンドへと補正するために使われるソフトウェアである。普段音を聴くりファレンスポイントを設定し、その周囲 24 箇所による音響測定により左右の音量差や、周波数特性、位相特性を計測し、いかなる環境でも的確かつフラットな音を得るためのツールとして提供されている<sup>5</sup>。本研究ではあくまでも出音のハウリングを回避することが目的であってモニタースピーカーのキャリブレーションほどの精度を要求していなかったため、その効果は十分に感じられ、Reference 4を介して出力される電子音響は使用前に比べて圧倒的にクリアになった。キャリブレーションによって音響がクリアになったことと引き換えに生じた問題が遅延である。コンピュータのスペックもあり、ライブエレクトロニクス作品でリアルタイムプロセッシングを行うには看過できないレベルの遅延が生じたため、このシステムで音楽を制作するために、遅延を含めてもアンサンブルとして違和感の無い程度の楽器演奏と電子音響の掛け合いの構築など、音楽書法上で工夫を行う必要があった。このことを踏まえ、ライブエレクトロニクス作品でソフトウェアによるキャリブレーションを行うためには、他の軽いプログラムで行う必要があると考える。

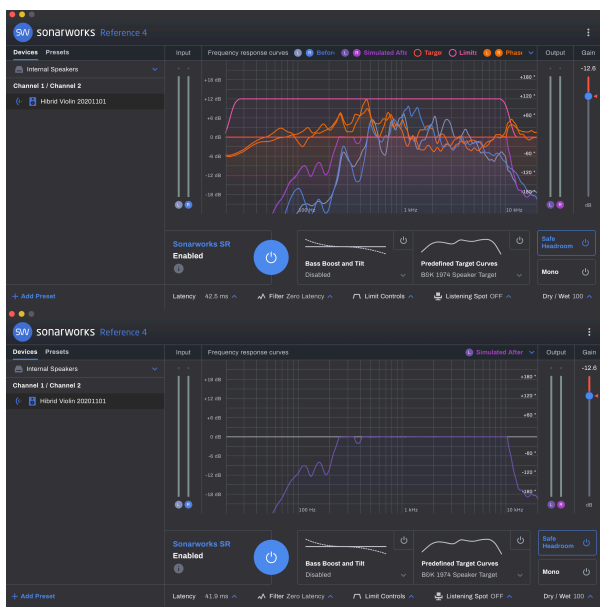


図 4: 図 4 音響校正の前後

<sup>5</sup> <https://www.sonarworks.com/>

### 4.3. フィードバック回避機構

また加えて、ピックアップマイクから弦の振動を拾って、その音に対してリアルタイムに信号処理を経てフィードバックした電子音響が筐体から放射される仕組みを取る以上、ピックアップマイクと振動スピーカーの音量バランス、周波数ごとの振幅によってハウリングが生じる危険がある。演奏の度に変化し得るそうした要素に対応してハウリングを回避するために、MAXの出力の直前にフィルターを設置した。

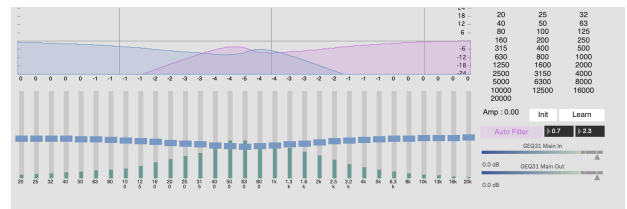


図 5: レゾナント・フィルターを使用したハウリング回避機構

出力音を 32 の周波数帯域に分散させ、超過した振幅を個別にレゾナント・フィルターによって抑える機構を使用して、リアルタイムにハウリングを回避した。ただし、ある周波数帯域の出力の超過が続いた場合、その時間だけその周波数帯のボリュームがフィルターによって出力が落とされるため、音色が変質する可能性が高い。今後、通常のフィードバックサプレッサーを用いたハウリング回避の方法も検討したい。

### 4.4. 演奏会の機材セッティング

ハイブリッド楽器を用いたミクスト音楽作品の演奏に当たって、ハイブリッド・ヴァイオリンとコンピュータにインストールされた MAX 等のソフトウェアをつなぐためのオーディオインターフェース、振動スピーカーを増幅するためのアンプを用意した。これらの機材で入出力の音量調整を行った上で、前述のキャリブレーション、ハウリング回避機構によって演奏と電子音響の細かい音量や音色の調整を図った。

演奏家が舞台上に楽器を持って登場しセッティングを行うに当たって、三つの段階が必要となった。舞台上で肩当てと振動スピーカーを楽器に設置し、ジャックでピックアップマイクに接続し、クリックトラックを聴くためのイヤフォンを耳に取り付ける工程である。作品の音楽書法によってはクリックトラックは必要ないかもしれないが、今回はシステムによって大きな遅延が発生したために、リアルタイムプロセッシングは極力減らし、予め音響合成したサウンドを再生するに止め、クリックトラックを用意した。またリハーサル中、振動スピーカーの取付が甘いと筐体と共振する事故が

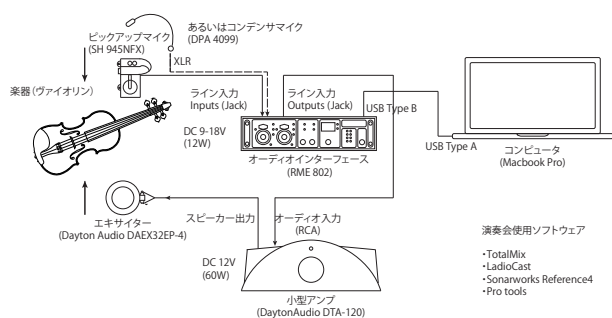


図 6: 機材配置図



図 7: ハイブリッドヴァイオリンのための《水中の橋》(2020) 初演

何度も発生したため、慎重に取付を行うように練習を行った。安全を期するためには、本番前には舞台上に楽器を設置し終わった状態で本番を迎える方が賢明かもしれない。

## 5. 作成したハイブリッドヴァイオリンによる楽曲の制作

以上のように制作したハイブリッド・ヴァイオリンとソフトウェアのシステムによって、ハイブリッド・ヴァイオリンのための《水中の橋》(2020)を大分県立芸術文化短期大学にて発表した。作品の内容については本論では割愛するが、先程述べたようにシステムの遅延の問題もあり、リアルタイムにおける楽器演奏と電子音響とのシビアな掛け合いは避けるように制作をした。それでもなお、電子音響に含まれる水の音と演奏のピチカート、その中間状態の音色などが同一の共鳴体から発せられる様子は、ラウドスピーカーから発せられるものとは全く異質の体験であり、メゾンオトの述べる「より室内乐的な新しいミクスト音楽」をオーディエンスに届けると共に、D. ソーンの述べる『触ることのできるフィードバック』で新たな演奏体験をヴァイオリニストに与え、そして作曲家として楽器演奏と電子音響との新たな音楽書法の可能性を感じられた。

## 6. まとめ

ミクスト音楽におけるハイブリッド楽器の意義は、楽器とラウドスピーカーにおける表現より、一層強い一体感の表現が可能になることである。またその表裏一体となるデメリットは、電子音響の周波数帯域が楽器の共鳴体に大きく作用されることと言える。そして、スピーカーとして設計されていない楽器を振動させることにより発せられる電子音響をより明瞭にするためのキャリブレーションや、ハウリング回避の機構などの調整は必須と考える。それによって得られるハイブリッドなサウンドは、スピーカーによる電子音響と楽

器演奏の間にある乖離、存在間の乖離を埋める可能性を持ち、オーディエンス、演奏家、作曲家に新たな聴取体験を与える。また、ハイブリッド楽器は、ミクスト音楽にまつわる様々な問題、電子音響システムを軽量化することで、設備の整っていないホールでミクスト音楽の演奏会を開催する自由を提供し、演奏者が自立して演奏できるようにすることで、電子音楽を伴う作品をより広く演奏できるようにすることができる。どのような楽器に対しても楽器を損壊することなくハイブリッド化することで、演奏者は設備の整った会場を必要とせず、簡単かつ自立的にミクスト音楽のリハーサルを行うことができる。リハーサルができることで、電子音響パートの知識は向上し、後進へのミクスト音楽作品のレパートリーの教育、普及も、通常のクラシック現代音楽作品に準じた形で、行うことができるようになる。作曲家にとっては、ハイブリッド楽器の制約と制限、響きの新規性により、新たな音楽書法を考案するきっかけになる。楽器演奏と電子音響は、ハイブリッド楽器によって、何をどのように鳴らすのか、という本質的な次元において、ピエール・シェフェールのオブジェ・ソノール、トリスタン・ミュライユの拡張した音響オブジェの先の融合する地点を目指せるのではないだろうか。

## 7. 参考文献

- Garant, Dominic. 2011. "Tristan Murail, les objets sonores complexes - Analyse de "L'Esprit des dunes""", l'Harmattan.
- Houlès, Fabien. 2017. "Le premier quatuor à cordes hybride: L'exemple de Smaqra de Juan Arroyo", l'Harmattan.
- Maisonhaute, Jeanne. 2018. "Le TanaCello, un instrument polyvalent dans l'apprentissage du violoncelle" n° 6 - Techniques et méthodes innovantes pour l'enseignement de la musique et

*du traitement de signal*, Revue Francophone d'Informatique et Musique.

Overholt, Dan., Berdahl, Edgar., Hamilton, Robert. 2011 "Advancements in Actuated Musical Instruments" *Organised Sound* 16 (2), 154-165.

Schnell, Norbert., Battier, Marc. 2002 "Introducing Composed Instruments, Technical and Musicological Implications" *Proceedings of the 2002 Conference on New Instruments for Musical Expression (NIME-02)*.

Thorn, Seth D., Lahey, Byron 2019 "A Haptic-Feedback Shoulder Rest for the Hybrid Violin", *Proceedings of the 2019 International Computer Music Conference The International Computer Music Association*.

Thorn, Seth D. 2021. "Machinic Intersection: Not—Yet—Chaconne", *xCoAx 2021 9th Conference on Computation, Communication, Aesthetics X*.

IMAREV (Instruments de Musique Actifs avec REglages Virtuels, Projet de l'agence nationale de recherche en partenariat avec l'IRCAM, Coordinateur du projet Adrien Mamou-Mani.

大久保雅基 2023 「深層学習のデジタル信号処理を用いた楽器による環境音の変奏」先端芸術音楽創作学会 会報 Vol.15 No.1 pp.1-5.

水野みか子 2014 「20世紀作曲家における音色と音高」先端芸術音楽創作学会会報 Vol.6 No.3 pp.17-20.

羅》(大駱駝艦・壺中天 2015)、混声合唱、二台ピアノ、鍵盤打楽器と電子音響のための組曲《土と炎》(多治見少年少女合唱団・パロー文化ホール 2023) など。



この作品は、クリエイティブ・コモンズ 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/> をご覧頂るか、Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA までお手紙をお送りください。

## 8. 著者プロフィール

### 松宮圭太 (Keita MATSUMIYA)

作曲家。2018年より大分県立芸術文化短期大学専任講師。愛知県立芸術大学音楽学部卒業。東京藝術大学大学院先端芸術表現専攻修了。ロームミュージックファンデーション奨学生としてパリ国立高等音楽院作曲科高等第一課程、第二課程および楽曲分析クラス修了。IRCAM 作曲研究課程を経て、フランス国民教育省の派遣によりカサ・デ・ヴェラスケスにてアーティスト・イン・レジデンス。第8回武生作曲賞受賞、第8回デステロス作曲コンクール佳作、第87代在マドリッド・フランス・アカデミー芸術会員。情報と即興への関心から、作曲制作における音響オブジェ、数理モデル、身体の理の相互協調を模索する。創作は多岐に渡り《ギター小協奏曲》(ソフィア王妃芸術センター 2017)、ハイブリッド・ヴィオラのための《奇想曲》(アルス・ムジカ、ブリュッセル 2015)、舞台音楽《阿修