研究報告

モーションセンサーを使用した音楽演奏システムの制作
THE EMPLOYMENT OF MOTION SENSORS IN MUSIC PERFORMANCE SYSTEMS

吉田紘希
Hiroki Yoshida
九州大学大学院芸術工学府
Graduate School of Design, Kyushu University

中村滋延
Shigenobu Nakamura
九州大学大学院芸術工学研究院
Faculty of Design, Kyushu University

概要

近年，クリエイティブ・コーディングによって制作されるメディアアート作品に Kinect や Leap Motion といったモーションセンサーを取り入れるケースが多く見受けられる．本稿では，モーションセンサーや演奏システムに関係する電子楽器の諸要素に触れ，それらの前提を踏まえた後に筆者の制作した演奏システム及びメディアアート作品についてそれぞれ解説する．また最後に，筆者が作品制作を通じて得た知見を元に，演奏システムにおいて有用となるモーションセンサーがどのようなものであるかを明らかにする．

Currently, there are many media arts projects that use motion sensors (e.g., Kinect or Leap Motion), and they have been produced through creative coding. To begin with, this paper explains motion sensors and the elements of electrophones. Further, it describes music performance systems and media arts projects that I have produced. Finally, it clarifies which types of motion sensors are useful in music performance systems, based on knowledge that I acquired through my work.

1. はじめに

近年，クリエイティブ・コーディング [1] による作品に Kinect[1] や Leap Motion[2] といったモーションセンサーを取り入れるケースが多く見受けられる．これらのセンサー及びセンサーを使用する際に必要となるライブラリの普及により，ナチュラル・ユーザ・インターフェースとなるシステムを安価に設計することが可能となり，メディアアート作品にも多く取り入れられるようになった．

モーションセンサーが利用されているメディアアートの中でも特に音表現に関わる代表的な例としては，《The V Motion Project》[2] や Chris Vik による《Dance Controlled Kinect Music (Part 1)》[3], 株式会社しくみデザイン[3] による《KAGURA》[4] が挙げられる．

特に図 1 に示す《The V Motion Project》においては，演奏者の体の動きを Kinect によってパーソナルコンピュータ (以降 PC) に取り込み「特定の音に対応した複数の仮想的なセンサーに触れる」や「手などの特定の部位の相対的な距離によって音色をコントロールする」といった演奏方法を取り入れている. それにより, 演奏者は楽器などに触れることなく音楽を演奏することが可能となっている（図 1),

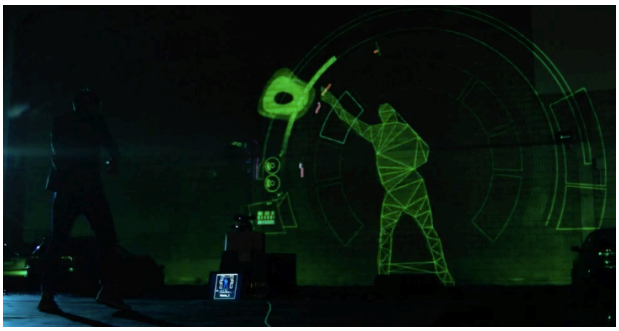


図 1. The V Motion Project

筆者は先に述べた作品のように，空間中で体を動かすことによって演奏できる演奏システムの制作を継続的に行ってきた．本稿ではまず，演奏システムの制作において特に解説が必要となる電子楽器とモーションセンサーについて解説する．その後に，筆者の制作した作品の中で最も新しい作品である《オトのトゲ》と，それまでの作品とを分けて解説及び考察し，それらの作品の開発によって得られた知見を元に，筆者の制作する演奏システ

[1] http://www.xbox.com/kinect
[2] https://www.leapmotion.com
[3] http://www.shikumi.co.jp

ムにおいて有用となるモーションセンサーがどのようなものであるか明らかにすることを目的とする．

2. 電子楽器の構成要素

電子楽器とは，電子回路の演算によって波形信号を作り出すことができる楽器の総称である．これら電子楽器の特徴は，波形信号の生成方法など発音に関わる部分以外にも「演奏者によってコントロールされる部位が楽器演奏において発音に直接物理的に関わるわけではない」という点にもある．電子楽器に対する入力は一度電気信号へ変換され，その情報は多くの場合 MIDI などの特定の規格に変換され，発音に関わる部分へと伝送される．

楽器において，演奏者が物理的に働きかける部位をコントローラー部，音を伝搬する部位を発音部とすると，電子楽器はコントローラー部から発音部へと情報を伝達しているため，コントローラー部と発音部は必ずしも物理的に一致もしくは連続している必要がないだけでなく，その間に存在する楽器機能をモジュール化し独立させる [5] ことも可能である．

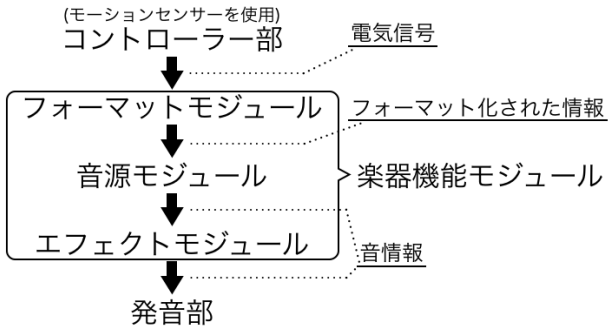


図 2. 電子楽器の構成要素

また，Timothy[6] らは汎用的マルチメディア演奏装置を制作するにあたって「連続的なメッセージ」と「離散的なメッセージ」を分けて扱うことが重要であると述べている．これは MIDI メッセージを考えても明らかであり，筆者の制作する作品においてもこれらのメッセージを利用し「連続的な表現」と「離散的な表現」を得ることが重要であると考えられる．

3. モーションセンサー

3.1. 近年のモーションセンサーの動向

2006 年 12 月に発売された Wii リモコンを皮切りに，Kinect や Leap Motion などの安価なモーションセンサーが発売され，広く一般家庭に普及するようになった．

さらに，Kinect 発売以降は開発者側による SDK[4] や API[5] の公開，購入者側によるハッキングが活発に行われるようになった上に，近年のクラウドファンディングサービスの流行により様々なモーションセンサーが開発されるようになった．

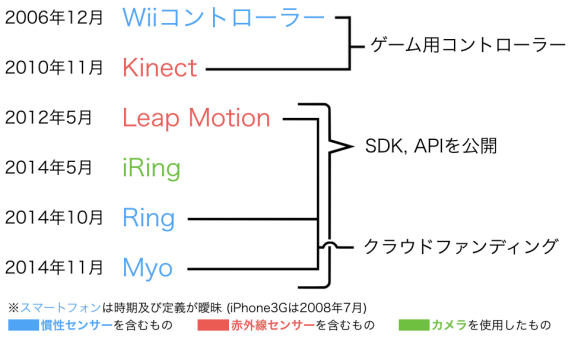


図 3. 近年のモーションセンサーの動向

3.2. モーションセンサーを使用するメリット

モーションセンサーを使用するメリットは大きく分けて 2 つ挙げられる．まず 1 つ目は演奏時に「物理的制約からの解放」されるという点である．Kinect などのモーションセンサーは，利用者に対して物理的な制約を殆どかけることなくその動きを正確に認識できるため，従来の楽器では一箇所に集積していたコントローラー部のインターフェイスを，モーションセンサーの許容する範囲に拡大し自由に再構成することができるようになった．

そして 2 つ目は「直感的な操作が可能」という点である．モーションセンサーを使用する際に，自らの動作とその結果を観察することでその関係性を理解できれば，直感的にモーションセンサーを使用することができる．

3.3. モーションセンサーの種類

一口にモーションセンサーと言っても，その種類は様々である．筆者が作品制作に使用したモーションセンサーを中心に見ると，「慣性センサーを含むモーションセンサー」として Wii リモコン，スマートフォンそして Myo が，「赤外線センサーを含むモーションセンサー」として Kinect と Leap Motion が，「カメラを使用したモーションセンサー」として iRing が，それぞれ挙げられる．

[4] Software Development Kit，あるシステムに対応したソフトウェアを開発するために必要なプログラムや文章をひとまとめにしたパッケージのこと．

[5] Application Programming Interface，あるソフトウェアの機能や管理するデータなどを外部のプログラムから呼び出して利用するための手順やデータ形式などを定めた規約のこと．

4. 《オトのトゲ》以前の作品

筆者は空間中で体を動かすことによって演奏できる演奏システムの制作を継続的に行っている．本章では筆者の最新の作品である《オトのトゲ》に至るまでの 4 作品の概要を説明し，次章にでは《オトのトゲ》を詳しく説明する．

4.1. 《Color Tracker》

《Color Tracker》は Max[6] パッチとして構成されており，映像の処理及び音の生成は全て Max 上で行われている．

PC に内蔵された （もしくは PC に接続された）カメラから得られた映像を Max 内のオブジェクトによって RGB 色空間で分析し，閾値以上の赤，青，緑色が検出された場合，二次元平面上において検出された範囲の x 座標と y 座標の最大・最小値を受け取るシステムになっている．

受け取った情報から，音響合成された音を生成するほか，カメラから得られる映像に加えて，検出された範囲に対して各色に対応した色の長方形が付与されるようになっている (図 4)．音響合成される音は，検出された範囲が広いほど大きくなり，検出された範囲の中心の座標によって音高や周波数特性が変化するようになっている．

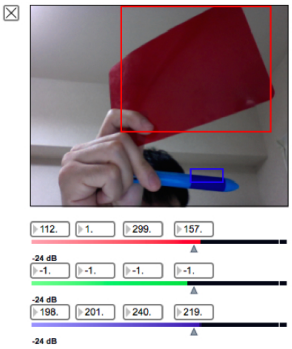


図 4. 《Color Tracker》の演奏画面

《Color Tracker》は，簡単かつ直感的に音を操作できるよう設計しているため，正常に動作すれば音が連続的に変化するはずであったが，RGB カメラによる色の認識は照明など周囲の明るさに左右されやすいことから意図しない挙動を見せることが多々あり，RGB カメラによる演奏システムの設計には限界があるということが判明した．

[6] http://cycling74.com/products/max/

4.2. 《.musician》

《.musician》はサンプラーのような楽器を現実空間に拡張した演奏システムを目標としており，RGB カメラに加え深度センサーも内蔵している Kinect を使用した．

この深度センサーを主に使うことにより，《Color Tracker》で問題となった RGB カメラの不安定さを解消し，さらに，音を連続的に再生，変化する《Color Tracker》に対して，演奏画面上 (図 5) に仮想的なセンサーを配置することで音の再生や停止という離散的な変化を演奏者がコントロールできるように設計した．

この作品も Max パッチとして制作しており，演奏者は演奏画面上に表示される 9 色の長方形に白い影が映るように手を押し出すなどの動作を行うことにより，各々の色に対応した音源（事前に収録したもの）を再生することができる．また，長方形の中でも位置によって音源の再生速度をコントロールすることができ，さらに各音源の再生位置を演奏画面によって視覚的に確認することができる（図 5)．

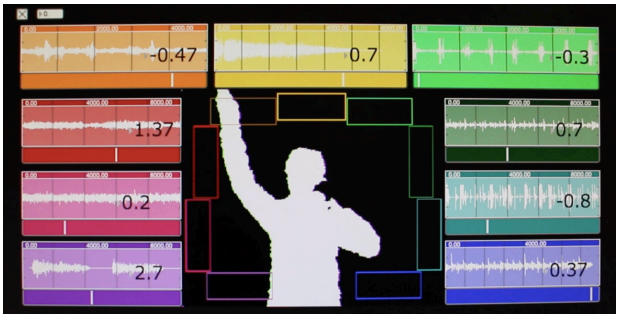


図 5. 《.musician》の演奏画面

先にも述べたが《.musician》には Kinect の深度センサーを主に使用しており，この深度センサーは赤外線マッピングと赤外線カメラを用いているため，室内での使用であれば照明の変化などに影響されず暗所でも演奏することが可能となっている．しかし一方で《.musician》では深度センサーによる Kinect と演奏者の距離のみの情報を使用しているため，演奏者の連続的な動きに直接対応した連続的な表現をするには至らなかったという課題が生じた．

4.3. 《␣tial sampler》

《␣tial sampler》もそれまでの作品と同様に Max パッチとして制作しているが，《.musician》で生じた課題を解決すべく，ナチュラルインタラクションデバイス向けのライブラリである OpenNI の中でも特に人体の姿勢認識

を担う NITE を使用したプロキシである OSCeleton[7] を追加することにより，演奏者の動きを三次元骨格位置情報に変換し OSC[8] 通信することが可能となった．

演奏画面は《.musician》に類似しているが，演奏者は片方の手で音源に対応する長方形に触れ，同時に反対の手を前に突き出すことによって，演奏者の意図する再生速度[9] で音源を再生することができる．音源の再生速度及び音源の停止は，長方形に触れる手の位置によってコントロールすることができ，もう一方の手は再生停止を決定するスイッチのような役割を担うことになる．各音源の再生位置や再生速度は《.musician》に比べ演奏画面上でも視認しやすいように改良している（図 6）．

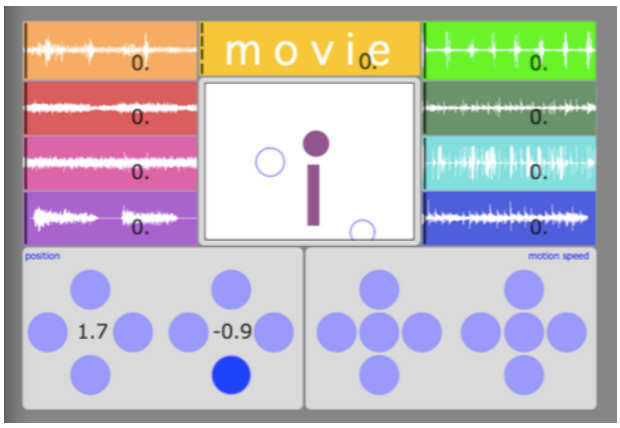


図 6.《␣tial sampler》の演奏画面

《␣tial sampler》では，先に述べた演奏システムの改善に加え，再生される音や演奏者の動きに応じてリアルタイムに変化する視覚的イメージも生成し，聴取者に対してはこの視覚的イメージを提示した（図 7）．

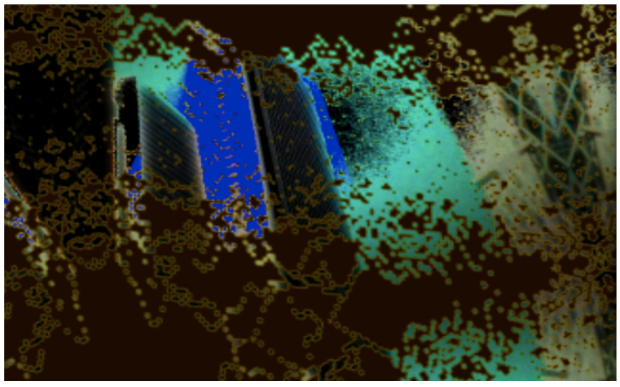


図 7.《␣tial sampler》の視覚的イメージ

《Color Tracker》が連続的な音の変化しか扱えなかったことに対し，《␣tial sampler》では両手を別々に認識することにより《.musician》で可能にした離散的な変化をより正確なものにできた．しかし，そのために演奏方法が難しくなってしまったことに加え，演奏者動きに対応した連続的な操作を行うことができる状態ではなかった．

4.4. 《humosic》

《humosic》では，Kinect と Leap Motion という 2 個のモーションセンサーを同時に使用し，それぞれのモーションセンサーから得られる三次元骨格位置情報を「連続的な表現」と「離散的な表現」に対応させることで両表現を同時に行うことが可能なシステムの制作を目標として設計した．

演奏者は PC の演奏画面（図 8）上に表示された鍵盤型のセンサーを見ながら演奏を行う．鍵盤型のセンサーに触れることによって音響合成された音を発音できるほか，触れる際の手の形によって任意の和音を弾くことが可能になったほか，もう一方の手で他の音を発音したり発音している音の音量や音高を連続的に変化させることも可能となっている．

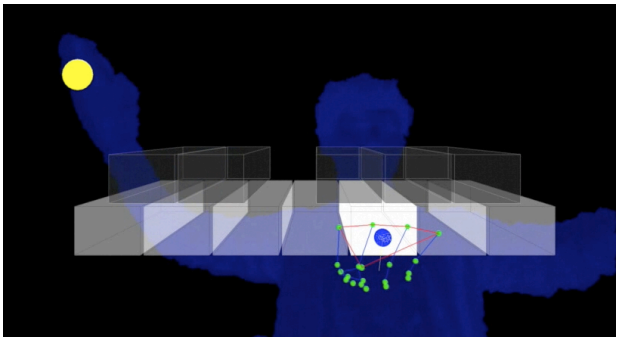


図 8.《humosic》の演奏画面

《humosic》では音高と音量の変化という「連続的な変化」と，音の再生・停止という「離散的な変化」を同時に扱うことが可能となった．しかし，これらの変化はどちらも手の骨格位置情報を使用していることから，工夫をすれば Leap Motion のみでも類似のシステムを制作することが可能であることが明らかになった．しかし一方で，「赤外線センサーを含むモーションセンサー」を使用していることから，演奏の際は特定の座標に演奏者が拘束されるという問題がある．

前述の状態ではモーションセンサーを使用するメリットを十分に生かせてるとは言えないため，次章で解説する《オトのトゲ》では「慣性センサーを含むモーションセンサー」を使用することで演奏者の自由度を確保することを目標の一つに掲げた．

ここまでの 4 作品をまとめると表 1 のようになる．

[7] https://github.com/Sensebloom/OSCeleton/
[8] OpenSound Control，音楽演奏データをネットワーク経由でリアルタイムに共有するための通信プロトコル．
[9] 逆再生を含む

表 1.　4 作品の比較

作品名	《Color Tracker》	《musician》	《_tial sampler》	《humosic》	《オトのトゲ》
使用センサー	カメラ	Kinect	Kinect	Kinect Leap Motion	Myo スマートフォン
連続的な変化	○	×	×	○	○
離散的な変化	×	○	○	○	○
意図した演奏	×	△	○	○	○
演奏の難易度	容易	やや容易	複雑	やや複雑	容易

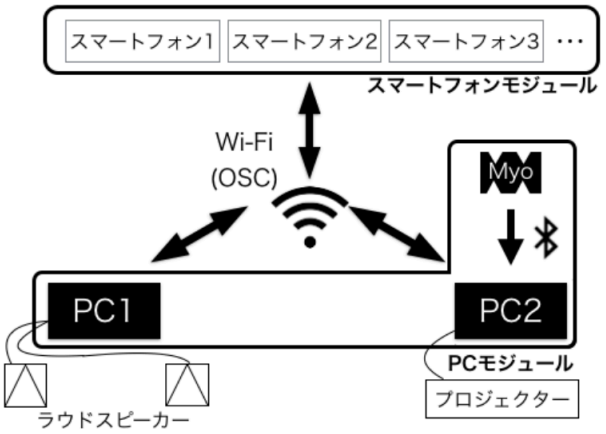


図 9.《オトのトゲ》システム概要

5.《オトのトゲ》

5.1. 制作指針

「連続的なメッセージ」と「離散的なメッセージ」が相互に干渉しないようにするため，《オトのトゲ》ではモーションセンサー以外にも複数のセンサーを内蔵しているスマートフォンと Myo を使用し，モーションセンサーを使用するメリットや電子楽器の特徴を生かした音楽演奏システムを制作することを指針とした．

また，モーションセンサーによる直感的な操作のしやすさを生かすために，音や，音情報について知識を持たない人たちにターゲットを定めて「録音された音の様々な変化を体感することで，デジタル化された音情報の性質を身近に感じてもらう」という目的を設定したサウンドインスタレーションとして制作することも指針とした．

5.2. システム概要

《オトのトゲ》はスマートフォンを使用した「スマートフォンモジュール」と，Myo を使用した「PC モジュール」の 2 つのモジュールからなっており（図 9），両モジュール間での協調演奏が可能である．

「スマートフォンモジュール」では，内蔵マイクロフォンから 1 秒以内の音を録音し，スマートフォンの傾きによってその音を様々な速度・音量で再生できるほか，シーケンサー機能を用いて演奏することも可能である．また，録音した音源のデータを OSC 通信で「PC モジュール」へとリアルタイム転送できる．

「PC モジュール」には Play Mode と Ctrl Mode があるが，それ単体では音楽を演奏することができない．音楽を演奏するためには「スマートフォンモジュール」から録音データを受け取った上で Play Mode を操作する必要がある．一方で，Ctrl Mode ではすべてのスマートフォンの音量と，シーケンサーの BPM を一括してコントロールすることが可能である．



図 10.《オトのトゲ》演奏の様子

5.3.《オトのトゲ》の考察

《オトのトゲ》では，Myo とスマートフォンを使用したことにより「連続的なメッセージ」と「離散的なメッセージ」を相互に干渉することなく取得することが可能となり，それぞれを表現へと昇華することができた．また，演奏者はインスタレーション内を自由に歩き回ることができたため，演奏者の物理的制約は軽減したと言える．他にも「スマートフォンモジュール」を使用した演奏者に話を聞くと，「操作がわかりやすくて音の変化も面白い」などと好評を得ることができたが，これは作品を制作するにあたりターゲットを「音や音情報について知識を持たない人たち」に定め，「録音された音の様々な変化を体感することで，デジタル化された音情報の性質を身近に感じてもらう」という目的を設定したことで得られたと考えられる．

また《オトのトゲ》では，楽器機能モジュール間での協調演奏を達成しようと試みたが，PC モジュールの演奏者とスマートフォンモジュールの演奏者との間では，

お互いの演奏についての認識に差が生じ，十分に達成できたとは言えない状態であった．この問題を解決するために，今後の作品改良において「同じコントローラ部を使用し，複数の楽器機能モジュールの中から操作するモジュールを演奏者が自由に選択できる」ように設計を行いたいと考えている．

6. おわりに

ここでは，筆者が制作したすべての作品を踏まえた上で，3 章で挙げた 3 種類のモーションセンサーについて，演奏システムを制作する際に重要となる離散的なメッセージと連続的なメッセージをどのように取得できるか考察し，筆者が制作する演奏システムにおいて有用となるモーションセンサーがどのようなものであるか明らかにする．

まず「慣性センサーを含むモーションセンサー」を見ていく．慣性センサーのみであれば常に連続的なメッセージを送り続けるだけだが，Wii リモコンのボタンやスマートフォンのタッチパネル，そして Myo の筋電センサーがそれぞれ，離散的なメッセージを送るセンサーとなっている．これらの離散的なメッセージは連続的なメッセージと違う仕組みで取得できることから，連続的なメッセージを得る動作の中で離散的なメッセージを得ることが可能であり，演奏者の動作が制限されにくくなるというメリットがある．

次に，「赤外線センサーを含むモーションセンサー」を見ていく． Kinect と Leap Motion は両者とも人間の三次元骨格位置情報を取得できるため，連続的なメッセージは常に送り続けている．その中で離散的なメッセージを得ることを考えると， Leap Motion は《humosic》において指の曲げ伸ばしの状態という小さな動作で取得できる離散的なメッセージを複数同時に取得できたことから Leap Motion の方が有用であった．しかし，Kinect と Leap Motion はどちらも設置場所を固定し，そのセンサー認識範囲でしか演奏者の動きを取得することができないという問題があった．

最後に「カメラを使用したモーションセンサー」について考える．「カメラを使用したモーションセンサー」は「赤外線センサーを含むモーションセンサー」に似ているものの，カメラは周囲の明るさの影響を受けやすく，特に暗闇ではほとんど使い物にならないことから，赤外線センサーと比べるとその有用性は低いと考えられる．

これらのことから，離散的なメッセージと連続的なメッセージを取得する方法について考える際には，連続的なメッセージを得る動作の中でも離散的なメッセージを得ることができるようにすることが重要であると言える．更に，離散的なメッセージを得るための動作は連続的なメッセージを得るための動作に比べて小さいとより良いということがわかった．

また，この他にも，「慣性センサーを含むモーションセンサー」のようにモーションセンサーが演奏者の動きをなるべく制限しないこともまた非常に重要であるということが《オトのトゲ》から明らかになった．

7. 参考文献

[1] 田所淳, “「クリエイティブ・ミュージック・コーディング」オーディオ・ビジュアル作品のためのオープンソースなソフトウェア・フレームワークの現状と展望”, 先端芸術音楽創作学会 会報 Vol.5 No.4, pp15-20, 2009.

[2] The V Motion Project, http://www.custom-logic.com/blog/v-motion-project-the-instrument/.

[3] Dance Controlled Kinect Music (Part 1), https://chrisvik.wordpress.com/2012/03/06/dance-controlled-kinect-music-part-1/.

[4] KAGURA , http://www.kagura.cc/.

[5] 中島武三志, 菅野由弘, “音楽演奏システムの分散ネットワーク化”, Vol.2013-EC-30, No.4, pp.1-6, 2012.

[6] Timothy Chen, 西本一志, 間瀬健二, “汎用的マルチメディアアート演奏装置のインターフェースデザインに関する一検討”, No.03, pp.87-92, 2000.

8. 著者プロフィール

吉田紘希 (Hiroki Yoshida)

1989 年福岡県生まれ. 九州大学芸術工学部音響設計学科卒業．九州大学大学院芸術工学府の修士課程に在学中．クリエイティブ・コーディングによる音楽系メディアアート作品の中でも特に，モーションセンサーを用いる音楽演奏システムを制作・研究している．

中村滋延（Shigenobu Nakamura）

1950 年生まれ．作曲家，メディアアーティスト，音楽評論家，映画研究者．交響曲 5 曲を含む 100 曲以上のクラシック系現代音楽を作曲．また「音楽系メディアアート」という領域を創成し，視覚要素を含むコンピュータ音楽やサウンド重視の映像アートを多数制作，現在，九州大学大学院教授（芸術工学府コミュニケーションデザイン科学コース，芸術工学部音響設計学科）．