

バイオフィードバック・アートからウェルネス・エンタテインメントへ

長嶋 洋一^{1†}

¹ 静岡文化芸術大学デザイン学部

要旨: バイオフィードバック・システムは、人間の状態や挙動を生体情報センシングして複数の感覚チャンネルでフィードバックするという意味では、各種のゲーム（ゲーム機／スマホ／ゲームセンター）やアミューズメント施設のアトラクション、そして科学館などに増えている体験型展示装置などと共通している。芸術の領域で20世紀になって登場した「メディアアート」はコンピュータ・エレクトロニクス技術の発展と共に Technology Art として進化しており、生体情報センサを道具としてバイオフィードバック・アートの領域も拡大させている。本稿では視覚／聴覚という古典的なチャンネルを超えたバイオフィードバックの事例として、筋電センサ（ピーク値でなく脱力した中庸の状態）および触覚／触感センサを用いて「ウェルネス・エンタテインメント」を目指すアプローチの事例について解説する。

キーワード: メディアアート, 内受容感覚, ウェルネス・エンタテインメント, 筋電センサ, 触覚／触感センサ

1. はじめに

20～21世紀のテクノロジー進展の恩恵を受けて発展したインタラクティブなメディアアート¹⁾は、人間とのやりとりを生体情報センシングすることでバイオフィードバックを実現する可能性を持つ[1]^{註*}。そして専用の感覚器による外受容感覚だけでなく、情動や意思決定と関連する内受容感覚²⁻⁴⁾までをバイオフィードバックの対象として拡張するアプローチによって、人間の「感覚・意識・感情」から「健康・恒常性」にいたるウェルネスの支援に役立つ可能性がある⁵⁾。さらにウェルネス追求やりハビリテーションにおいて、クライアント本人の自己意識こそ心身の健康の源泉になるという東洋医学や心身医学の視点は、最近の脳科学の進展からも支持されてきている。人間の「気」(気持ち・気合い・気付き・気力)の驚くべき力に寄り添う「ウェルネス・エンタテインメント」を実現するためにメディアアートが出来ることは何か、これが筆者の最近の研究テーマである。

Walter Benjamin が予見した「芸術と科学の融合」[A2, A3]は、デジタルによる完全な複製技術と21世紀のオープンソース文化によって本当の意味で花開いた。日本の製造業が世界から大きく遅れた原因はオープンソース・ソフトウェアの潮流に乗り遅れたからであるが、現在ではさらにオープンソース・ハードウェアの普及と共に ChatGPT/OpenAI などのバーチャル支援により、工学的な専門知識をブラックボックス化したデザ

イン手法が飛躍的に拡大普及している。一方、Gilles Deleuze が警鐘を鳴らした「情報管理社会」[A4, A5]、Friedrich Kittler が指摘した「メディア／テクノロジーの脅威」[A6, A7]、Norbert Bolz が危惧した「人間の退化と大衆操作／格差拡大」[A8, A9]、さらに Jonathan Crary[A10] や Hal Foster[A11] の懸念などの文明批評もことごとく、現代のインターネットや深層学習において現実のものとなってきた。芸術の一つの側面が「メタ技術」でありその突破口の一つはメディアアートであると信じている筆者は芸術や感性の領域から、「バイオフィードバック再考」という特集テーマにおける具体的アプローチを、特に注目している3つの事例として紹介する。

2. 物理コンピューティング (Sketching) と生体情報センシング

ソフトウェアによって動作するコンピュータシステムは、キーボード・マウス・タッチパネル・LCD などの標準インターフェースを越えて、センサやアクチュエータや「広義のディスプレイ」など拡張ハードウェアを介することで、現実の自然界（人間を含む）とインタラクションを行うことが可能となり、これは「物理コンピューティング」と呼ばれている（図1）。さらに従来の専用ハードウェアでなく、オープンソース・ハードウェア（Arduino など）とオープンソース・ソフトウェア（GitHub など）の活用によって、電子情報工学の専門家でも容易に高度なシステムをデザイン（ラピッド・プロトタイプング）できる「スケッチング」の文化が普及してきた。「IoT」

2023年4月6日受付

[†] 〒430-8533 静岡県浜松市中区中央2-1-1

静岡文化芸術大学デザイン学部

長嶋 洋一

Tel: 053-457-6215 Fax: 053-457-6210

E-mail: nagasm@suac.ac.jp

^{註*} 本稿末尾の「参考文献」（参照番号を1）等で示すに記載されない文献や、Web上の関連資料URLをまとめてネット上 <https://nagasm.org/ASL/SOBIM.html> (2023/10/1 確認) で公開し、本稿ではその参照番号を [A1] 等で示している。

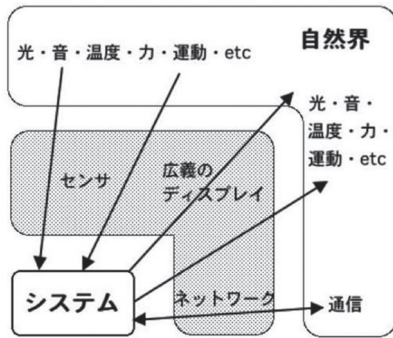


図1 システムと物理世界とのインタラクション

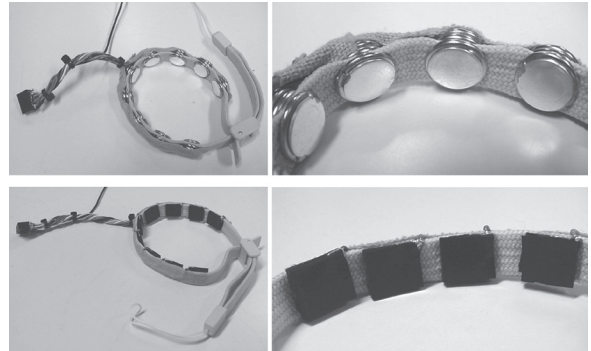


図2 純銀円盤電極と導電ゴム電極の例

(Internet of Things: なんでもインターネット)の提唱者である Mike Kuniavsky[A12] が2006年から主宰する, 先端デザインの国際会議 Sketching in Hardware[A13] に筆者は過去6回 [A14] 参加して世界の専門家と交流するとともに, 海外/国内でのワークショップ開催によってこの文化を紹介してきた [A15].

センシング関連の技術を概観すると, 加速度センサは HDD (ヘッド退避) とエアバッグの普及によって, 角加速度 (ジャイロ) センサはビデオカメラ (手ぶれ防止) とカーナビの普及によって, いずれも価格が普及前の100分の1以下になるとともに高性能・3次元化の進化を遂げた. 地球上の位置センサである GPS 技術はポケモン GO の出現など新エンタテインメント (文化) を生み出した. これに比べて生体情報センサは皮膚電極の古典的課題 (インピーダンス, ノイズ, アーティファクト) によって遅々とした発展となったが, 高感度アナログ半導体や AI パターン認識などの技術によって, 非常に高価な医療機器に限定されていたものが個人的ウェルネス・センシングの領域に普及してきた. 日本では各種規制の制約に阻まれているものの, 世界では「医療用ではない」と明記した新しい生体センシング・システムが次々と発表されて, 「バイオフィードバック・ゲーム」^{6,7)} という新分野がウェルビーイングの隆盛をもたらしている.

3. 筋電ジェスチャ認識システムでの事例

筆者はコラボレータの照岡正樹氏 (公益財団法人 ルイ・パストゥール医学研究センター AI デバイス研究室) と共同で, 筋電センサを中心とした生体情報センシングシステムの開発を1990年代後半から進めてきた [A16]. その第1世代から第3世代まではコンピュータ音楽のための新楽器として開発したが, 第4世代の筋電センサは任天堂系企業からの受託研究「ゲーム機リモコンの手首ストラップに筋電電極を配置して, 手首から先のジェスチャを認識するシステム」の開発研究を行った. ここではゲーム機リモコンの手首ストラップに図2のような4チャンネル (9電極) の純銀円盤電極・導電ゴム電極を設置して, 4チャンネルの筋電情報をそれぞれ50バンドFFTで解析し, 計200チャンネル・ライブ筋電FFT情報としてのジェスチャ認識を目指した. 図3は計29種類を設定した提示ジェスチャ [A17]

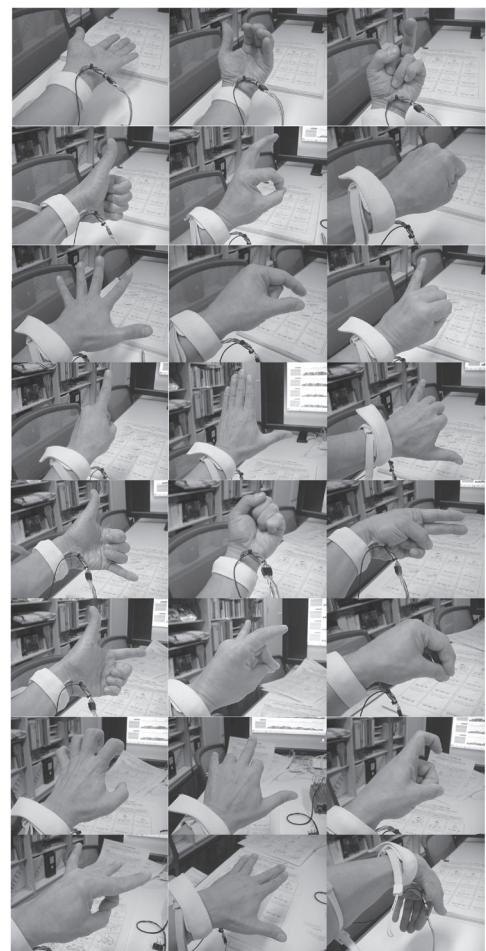


図3 手首から先のジェスチャの例

の一部であり, 14人の被験者はまず第1ステップとして, 画面内の写真のポーズを真似てその筋電FFT情報を記録する. 次の第2ステップでは図4のように被験者がポーズを真似た筋電FFT情報を, 記録されたその被験者のデータと比較した類似度 (29次元距離) で評価して「再現性の高い」5種類のポーズを選出する. 被験者実験の結果, 残念ながら「万人に共通する筋電ジェスチャ・ポーズ」は得られなかった⁵⁾.

しかし興味深い成果が得られたのは続く第3ステップである. ここでは図5のように, 被験者ごとに「再現性の高い」5種類のポーズの画像を並べて, 被験者は手首や腕の筋肉をも



図4 ポーズを真似てその筋電FFT情報を記録

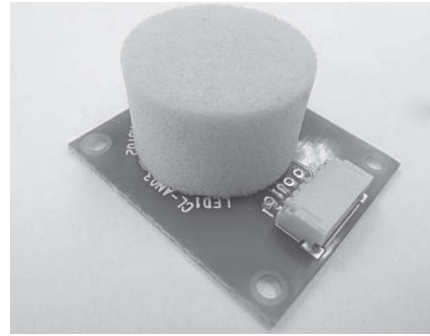


図6 PAW センサ



図5 特徴的なポーズを再現するゲーム

ぞもぞと動かし、システムはその瞬間の筋電FFTデータが29種類のうち最も類似した時ポーズ画像を1ピクセルだけ上昇させる。200チャンネル・ライブ筋電FFT情報として得られたこのジェスチャは、決して意図的に特定のポーズにヒットするわけではないものの、わずかな脱力と緊張とを試行錯誤的に繰り返していくうちに、あるポーズの画像が予想外にずんずん上昇する「ヒット」のポイントが出現する。多くの被験者がこの体験を「とても面白い」と申告したのが、その後のバイオフィードバック・エンタテインメント研究に進む契機となった⁸⁾。なお、このオリジナル筋電センサ・プロジェクトはその後、オープンソースで全情報を公開した新世代・筋電センサシステム「VPP-SUAC」となり、誰でも専門知識なく同じものを作って実験できる環境を提供している [A18]。

4. 触覚／触感センサ活用システムでの事例

インタラクティブなメディアアートを追求する者にとって、新テクノロジーにより過去に無かった「新センサ」が出現するのは、「シーズ指向」デザインとして可能性を探究する重要な対象となる。2013年にアールティ社が開発提供した「触覚／触感センサ」の「PAWセンサ」(図6)は、小型基板の上に2個のLEDと2個の光センサを配置してその全体を円筒形のウレタンスポンジで封止したユニークなセンサであり、指先でウレタン部分を「うにうに」「ぐりぐり」と押し、その位置／角度／大きさに対応して別個に変化する4チャンネル操作情報をライブに得ることが出来る。体育会系の強い力では簡単に壊れてしまう反面、「優しく触ってあげる」アクションに対して、「自

然で柔らかな」物理的リアクションが得られる点を、従来のストレインゲージ等の「圧力センサ」や物理的反応の無い「画像認識系センサ」に対する優位性として筆者は注目した。

最初の実験ではまず、4チャンネルのセンサ操作情報をフォルマント合成による「歌声(母音)合成システム」のパラメータとして与えたところ、実際に生き物の鳴き声のようにPAWセンサの物理的リアクションとリンクした興味深い反応を得た [A19]。そこで学生プロジェクトとして「いやらしく触るといやらしい声がする」というインスタレーション作品を制作し、学生自身の声を変容させる面白いエンタテインメント(いやらしいというよりも可愛い)を実現した [A20]。この成功から「PAWセンサを10個配置して両手で包み込むようなセンサ」として第2世代の「MRTI (Multi Rubbing Tactile Instruments)」(図7)を開発し、両手の10本の指による計40チャンネルの操作情報からリアルタイムに変容するフラクタル画像(図8)をライブ生成するとともに、多数の生き物(猫のようなイメ

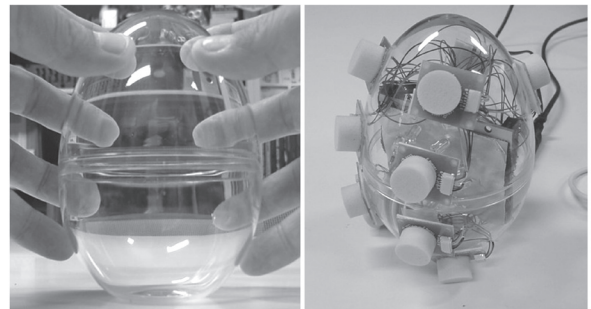


図7 MRTI (Multi Rubbing Tactile Instruments)



図8 MRTIの動作例

ージ)の鳴き声サウンドを生成するインスタレーション作品 [A21, A22] を実現した^{9,10)}。

この「MRTI」システムは、PAW センサの操作という触覚的な「入力」に対して、PAW センサからの物理的リアクションとしての「触感」、さらに両手の10本指によるコントロールに対応した視覚的なフラクタル画像のライブ生成、そして聴覚的な「不思議サウンド」という3つの異なる知覚チャンネルへの「出力」がフィードバックされる、というバイオフィードバック・エンタテインメントを実現していることになる。筆者は国際会議 Sketching2015 (米国 Arizona) および国際会議 SI2015 (Singapore) において、この「MRTI」システムを参加者/来場者に体験展示するという機会を得た。Sketchingの参加者といえば Google, Microsoft, Intel などの技術者や MIT, NYU などの研究者ばかり最先端の専門家集団であり、Singapore の Science Museum の来場者は大人から子供まで多種多様であった。しかし現地での多数の記録写真 [A23, A24] から得られたのは、詳しい関係性が不明であっても、この「優しいセンサ」を「うにうに」「ぐりぐり」とすると謎の画像とサウンドが生成される、という不思議な体験によって、総じて皆んなが思わず子供のように「笑顔」になっていたという事実である。笑顔は内受容感覚が生み出すエンタテインメントの象徴の一つであり、ここから「触覚/触感バイオフィードバックは人をハッピーにする」(→ウェルネス・エンタテインメント)という確信を得た。

5. ウェルネス・エンタテインメント試作システムでの事例

「MRTI」が新楽器というよりもウェルネス・エンタテインメントの道具という意義をもたらしたのを受けて、さらに新たに開発したのが「PAW-eight」システムである。人間の指は薬指と小指が一緒に動くために、小指は支えるだけとして残り8本の指専用で(8本×4系統⇒)32チャンネルの「触覚/触感センサ情報」をホストPCに返すことにして、伏せたサラダボウル(半球に近い)を筐体とした図9のような外観となった。なお内蔵マイコンは「MRTI」と同様に mbed

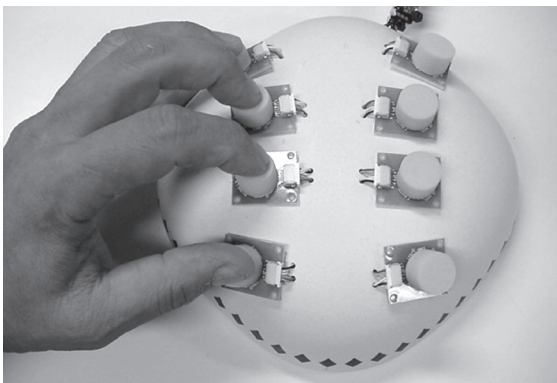


図9 PAW-eight

NucleoF401RE である。このシステムでは最初からウェルネス・エンタテインメントを指向して、PCでライブ生成するグラフィクスは3次元空間内の立方体として等間隔で8×8×8の位置に並ぶ球体(光源に照らされ反射する)と、PAW センサの操作で空間内を移動する8個の輝点(光源)を立方体の頂点の位置に配置し、システムの動作時には画面(スクリーン)は3次元カメラ視点がゆっくりと動き回る宇宙空間のような没入感を目指した [A25]。

この立方体の中心には「ブラックホール」があり、ゲームとしては「触覚/触感センサを操作して8個の輝点をなるべく全てブラックホール内に移動させる」ことを目指す。サウンドは純音(サイン波)であり、その音のピッチは8個の輝点とブラックホールの中心との距離に比例しているの、初期状態では耳障りな高いピッチの純音が8系統も鳴っていて、とても心地よいとは言えない。しかし輝点がブラックホールの中心に近づくとそのピッチは低音(理想的には消える)になると共に深い残響(リバーブ)がかかるようになり、非常に落ち着いた心地よさが増加する。ゲームとしてのルールは、8個の輝点(PAW センサを操作する8本の指に対応)全ての位置を移動させて立方体の頂点からブラックホールの中心を目指すのだが、ここで重要なのが、PAW センサからの4チャンネルの操作情報をなるべく同じ値(センサ感度の中央値付近。より強く押すと反対側に突き抜けてしまう)に「揃える」条件で立方体と中心との軸上に乗るために、4チャンネルの値が不揃いではばらばらだと決してブラックホールに近付かないので心地よいサウンドにならないようになっている [A25]。最初は練習モード(図10)として32本のセンサ値スライダーが並んだ画面で「センサごとに平坦で中間付近になるように」優しく押さえる感じに慣れると、本番モードでは全画面スクリーンでの没入感で深遠な宇宙空間を目指すことになる(図11)。

筆者が参加した国際会議 Sketching2019 (米国 Detroit) で、この新しいシステムを最先端の専門家集団に試してもらった様子 [A26] によれば、またまた子供のようにこの不思議体験に没入する笑顔を確認できた。さらに、専門家と交流する「バイオフィードバック療法セミナー」 [A27] の場での

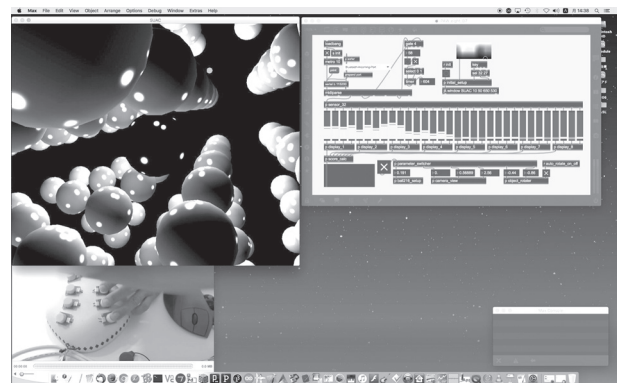


図10 「PAW-eight」システムの動作例(練習モード)



図 11 「PAW-eight」システムの動作例

看護師／介護士／療法士の反応，そして奈良学園大学リハビリテーション学科オープンキャンパスの機会に体験展示した高校生や専門家の反応から，このシステムの不思議体験が「ウェルネス・エンタテインメント」と言えるという評価を受け，さらに同時に脳内の複数部位（身体操作，触覚，視覚，聴覚）を活性化することによる「軽度認知症予防効果」についての意義も認められた。エンタテインメント・コンピューティングの国際会議 ICEC2018 で筆者が行った Tutorial Workshop[A28] の場（Poznan, Poland）でも，世界各地から参加した専門家に体験してもらっての議論を進められた。

「PAW-eight」が高度なテクノロジーによって実現されたシステムであったのに対して，筆者はオープンソース文化の賜物として，PAW センサを 2 個に限定し，ネット通販で全ての部品を入手して簡単な電子工作で製作完了する新システム「PAW-double」を発表し，必要なマイコンのファームウェア（CPU 書き込みプログラム，完成版なのでプログラミング不要）および対応 PC ソフト（Max8 パッチ）までを全て Web で公開した [A29]。あわせて電子工作ワークショップやバイオフィードバックセミナーでの体験のために手元に 20 個ほどの「PAW-double」を量産して，体験ワークショップや貸し出しに対応している。筆者の大学でのデザイン教育の場で教材として使ってみたところ，プログラミング初心者 of 学生作品として，多くの興味深いシステムが簡単に生み出されてきた [A30]。今後も，機会あるごとに色々な領域の専門家と議論・交流・ワークショップ等を通じていきたいと考えている。

6. おわりに

世界最大のメディアアートのコンペティション／フェスティバルである Ars Electronica は 1979 年からの歴史を持つが，その最大の部門である Visual Effect/Computer Animation 部門（SIGGRAPH と並ぶ）では，10 年前から「Expanded Animation」というシンポジウムを開催してきた。再生専用の映像として閉じるだけでなく，映像もインタラクティブになったり人間の視覚以外の領域に拡張されるべき，という視点である。筆者は 2022 年 9 月に 10 周年となる「Expanded Animation」シンポジウムの「Synaesthetic Syntax: Gestures of Resistance」テーマのセッションで「Interactive Multimedia Generated by Rubbing/Tactile Interfaces - Biofeedback Effects for Wellness Entertainment」という招待講演 [A31] を行って，本稿で紹介した「触覚／触感ウェルネス・エンタテインメント」の事例紹介・デモンストレーション・議論を行ってきた（Linz, Austria）。ここでは多くの専門家から positive な反応と意見を受けることが出来た。光学的センサの画像認識は性能が向上しているものの，肝心の「触覚／触感」（自然な物理的リアクション）が欠如している欠点があり，視覚／聴覚を超える領域でのバイオフィードバックこそ人間の感情に働きかける可能性を最大限に発揮できるものと考えている。

参考文献

- 1) Frieling, R. and Daniels, D.: Media-art net 1. Springer Vienna Architecture, 1991 Nihon, T. and Tokyo, J.: Biomechanics of joints, Journal of Biomechanics, 3(1), 20-25, (1994).
- 2) Seth, A. K.: Interoceptive inference, emotion, and the embodied self, Trends of Cognitive Science, 17(11), 565-573, (2013).
- 3) 寺澤悠理, 梅田聡: 内受容感覚と感情をつなぐ心理・神経メカニズム, 心理学評論, 57(1), 49-76, (2014).
- 4) 大平英樹: 感情的意思決定を支える脳と身体の機能的関連, 心理学評論, 57(1), 140-154, (2014).
- 5) 長嶋洋一: 内受容感覚バイオフィードバックによる“癒し系エンタテインメント”の考察, エンタテインメントコンピューティング 2015 論文集, EC2015 実行委員会, 1-7, (2015).
- 6) Nagai, Y., Goldstein, L. H., Fenwick, P. B. C. and Trimble, M. R.: Clinical efficacy of galvanic skin response biofeedback training in reducing seizures in adult epilepsy: a preliminary randomized controlled study, Epilepsy & Behavior, 5 (2), 216-223, (2004).
- 7) Nacke, L. E., Kalyn, M. R., Lough, C. and Mandryk, R. L.: Biofeedback game design - using direct and indirect physiological control to enhance game interaction, Proceedings of the 2011 Annual Conference on Human

- Factors in Computing Systems, 103-112, (2011).
- 8) 長嶋洋一：生体情報センシングのバイオフィードバック療法への応用について，電気学会知覚情報研究会・研究報告 PI-17-003, 1-6, 電気学会, (2017).
 - 9) Nagashima, Y.: Towards the bio-feedback Game --- with interoception and rehabilitation ---. Proceedings of the 8th International Conference on Virtual Worlds and Games for Serious Applications, VS-Games2016, 1-7, (2016). DOI: 10.1109/VS-GAMES.2016.7590372
 - 10) Nagashima, Y.: Bio-sensing and bio-feedback instruments --- DoubleMyo, MuseOSC and MRTI2015 ---, Proceedings of 2016 International Computer Music Conference, ICMA, 54-59, (2016).



長嶋洋一 (ながしま よういち)

1981年京都大学理学部物理学科卒。2019年京都市立芸術大学美術研究科後期博士課程修了。Ph.D(Media Arts)。技術士(情報工学部門・電気電子部門)。作曲家。ASL(Art & Science Laboratory)長嶋技術士事務所所長。現在、静岡文化芸術大学 デザイン学部・大学院デザイン研究科教授。音楽を中心としたメディア・アート領域において研究／創作／教育などの活動に従事。ICMA・芸術科学会・日本時間学会・日本音楽即興学会・日本音楽知覚認知学会・情報処理学会 音楽情報科学研究会・日本技術士会 各会員。