

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

長嶋洋一†

新しい筋電センサと筋電情報処理手法を開発し、手首から先のジェスチャ認識システムとして簡単なゲームモードを実装した。あらかじめ登録した自分の筋電ジェスチャを視覚的なフィードバックによって再現する被験者の行為を観察すると、無意識下の随意筋制御による内受容感覚理論/ソマティック・マーカー・モデルによく適合し、情動/感情を喚起するゲームとして一種の「癒し系」エンタテインメントとなりうる可能性を示した。

A study of interoceptive entertainment with bio-feedback

YOICHI NAGASHIMA†

This This is a experimental report about an application with EMG sensing. I have developed a system to recognize gestures of palm with 8-channel EMG sensor using realtime pattern matching. The key point is the visual biofeedback of the system. All subjects generate different parameters with gestures of the palm, there was not “general” rule of EMG gesture. Each subject has special parameter patterns compared to the whole subjects, and I showed the control of the special parameters to the subject with growing bar-graph in real time. The subject did not know the meaning of each control about parameters, but the score grew better by trying to relax and/or make tension unconsciously.

1. はじめに

筆者はこれまで、Computer Musicやメディアアートに関連する研究/システム開発/作曲/公演/教育などの活動を続けてきた[1]。Computer Musicの作曲の一部として新インターフェースや新楽器を制作しているが、その中で筋電センサ等の生体センサを新たに開発してきた[2-23]。また、GainerやArduinoなどが出現する前から、過去には秋月電子(秋葉原)のAKI-80やAKI-H8などのマイコンを活用してきたこともあり、オープンソース文化とともに普及してきたスケッチング(物理コンピューティング)について研究し、汎用のプラットフォームも開発してきた[24-40]。

CQ出版「インターフェース」誌2015年4月号「生体情報の信号処理」特集記事のため筋電情報など生体信号の情報処理に関して調査[41-65]し、マイクロエレクトロニクスとオープンソースの進展により登場した新たなプラットフォーム“mbed”に新・筋電センサ回路(図1)を実装した生体情報処理システム(図2)を開発して情報処理学会エンタテインメントコンピューティング研究会にて報告[67]、実装の詳細や追試可能なサンプルコードも全て資料Web[66]にて公開した。海外でも生体情報計測や筋電情報に注目が集まっているのか、2014年に新しいシステムが3つ登場した。このうち“BITalino”と“e-Health”については[68]で紹介しているが、本稿は“Myo”(図3)を活用したジェスチャ認識システム[68]についての続報である。

過去に手首から先のジェスチャ認識システムを開発した[20-23]際には、4チャンネル筋電情報を計200バンドのFFTで解析していたが、生体情報の特性に対応した新たな信号処理アルゴリズム(「リサージュ解析」と命名)によって実装に適したジェスチャ認識手法を提案し[69]、視覚的バイ

オフィードバックシステムとして実験した[70]。本稿では、ジェスチャ認識システムのゲームモードが、視覚的なフィードバックによって無意識下の随意筋制御による内受容感覚理論/ソマティック・マーカー・モデルによく適合し、情動/感情を喚起するゲームとして一種の「癒し系」エンタテインメントとなりうる可能性を報告する。

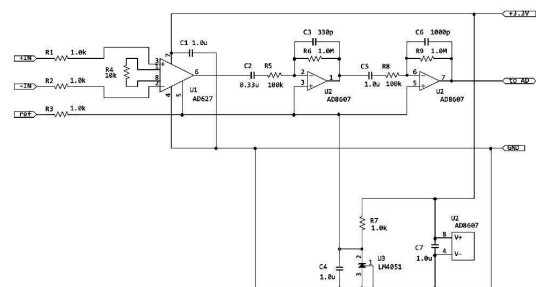


図1 新筋電センサ回路
Figure 1 The new EMG Circuit.

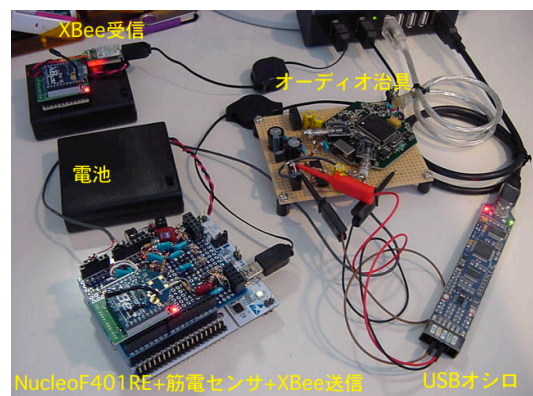


図2 新筋電センサシステムによる実験の様子
Figure 2 The experiment with the new EMG Sensor System.

† 静岡文化芸術大学
Shizuoka University of Art and Culture

2. ローコスト筋電センサ“Myo”

BITalinoやe-Healthとほぼ同時期(2014年前半)に世界的にリリース(オンライン予約受付)されたものの実際に出て来るのが2015年にずれ込んだのが、図3の“Myo”(199ドル)である。これはUSB Dongleに対してBluetoothで「9軸センサ(3次元方向・3次元加速度・3次元ジャイロ)」と「8チャンネル筋電情報」を伝送するという完結した(改変不可)アームバンドセンサ製品である。



図3 筋電センサ“Myo”
Figure 3 “Myo”.

Myoを使うためには標準の“Myoコントローラ”というアプリケーションを起動してUSB DongleとMyoとでBluetooth通信を確立する必要がある。このツールのジェスチャー登録機能を使うと、脱力/グー/パー/パーで手首を屈曲/パーで手首を反らせる、という5種類のジェスチャーを学習して必要なパラメータをMyo本体に伝送し、Myoからはセンサの生データでなく5種類のジェスチャー番号をシンプルに取得して、一般のアプリケーションの操作(プレゼンソフトのページめくり、ムービーのスタート/ストップ等)に割り当てて、マウスでない新しい入力デバイスとしてお手軽に使える。図4は、筆者が開発したProcessingスケッチによって、OSC(Open Sound Control)を介して通信し、Max環境で筋電音楽生成や筋電ジェスチャー認識を行うシステムへと発展させた実験の様相である。



図4 “Myo”~Processing~Max の実験
Figure 4 “Myo” - Processing - Max.

Myo本体には電源スイッチが無く、USB充電器から外すと自動で立ち上がりホストPCのUSB DongleとのBluetooth通信を求め続けるため航空機に持ち込めない課題があったが、世界中の熱心なユーザの要望に応じて“Deep Sleep Mode”(パワーOFF)が完備されるなど、メーカーの対応も強力である。Myo本体のファームウェア、USB Dongleの“Myo ArmBand Manager”、各種プラットフォームに対応したSDKやライブラリ、も刻々とバージョンアップされており、筆者もXcode(C++言語)でオリジナルの「ダブルMyo~OSC」通

信プログラムを開発して、Processingを使わずに直接にMaxとMyoを結びつけた。この簡単なアプリケーションの重要な機能として、筋電情報にあまり変化が無い時にMyoが自動スリープするのを禁止する機能がある。これは筋電楽器としてMyoを使う時に、静かにしていてセンサが止まるとはパフォーマンスが成立しないので必須である。

3. “Myo”によるジェスチャー認識システム

ジェスチャー認識システムは、筆者が第4世代の筋電センサと200チャンネルFFTによって実現したもの[20-23]と、ユーザインターフェース部分を共通にしている。

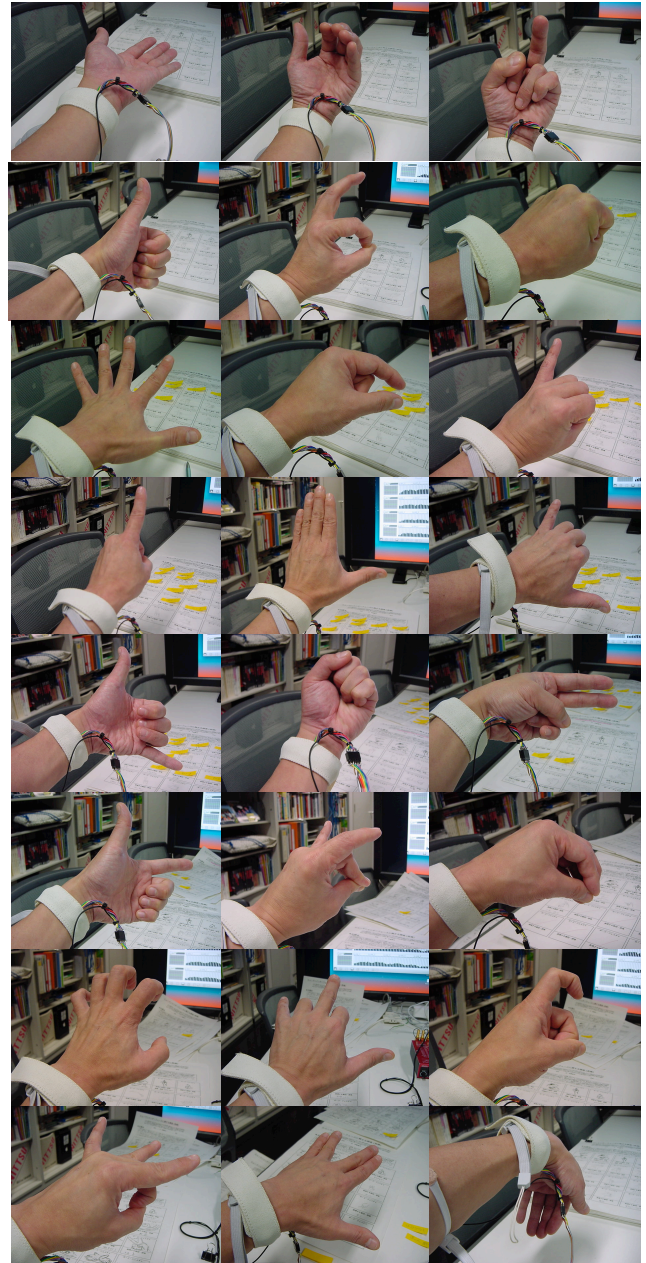


図5 「手首から先」のジェスチャー例
Figure 5 Examples of Gestures.

筋電ジェスチャー認識システムではまず、あらかじめ学生アンケートで集めた「手首から先のジェスチャー」として29種類の写真を画面に表示して、被験者にそのポーズを真似るよう教示した。図5はそのジェスチャー写真のうち24枚で

ある。この記録フェーズに続く確認モードとして、システムは再び29種類のジェスチャー写真から表示して被験者はそのポーズを真似る(図6)。第4世代の時には記録した29ポーズの筋電パラメータと現在入力されている筋電パラメータとを、FFT結果の200次元ベクトル空間における「距離」として計算したが、今回はリサージュ解析[69]の手法によりMyoの8チャンネル筋電情報から28パラメータを抽出した28次元ベクトル空間における「距離」として計算し、29種類のうちもっとも距離の小さいポーズ番号の棒グラフを1ポイントだけ自動で伸ばしていく。実験実施者は、提示されたポーズ番号のグラフが刻々と伸びて行く、つまりその被験者のポーズ再現性が良好なものを最大5個まで選んでマークする。なお、このポーズ番号に被験者を越えた一般性は見出せなかった。

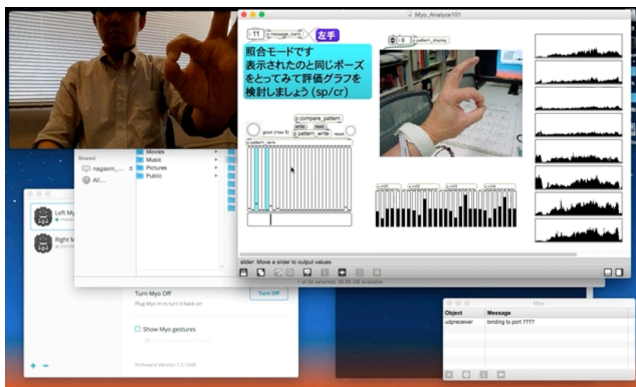


図6 ジャスチャー確認モードの画面例
Figure 6 Screenshot of "Gesture Re-make" mode.

筋電ジェスチャーの確認モードが終ると、システムは最終の「ゲームモード」(図7)に移る。ここでは、被験者が良好に再現できる、として選んだ5種類のポーズの画像が画面下段にバールグラフのように並んでいる。その中から好きなポーズを真似ると、ちょっとした加減でジェスチャー認識の「最小距離」にヒットしたたびに、そのポーズの画像が1ポイントずつ上昇する。この画像をつんつんと選択的に伸ばして遊ぶという実験中の被験者を観察していると、視覚的なバイオフィードバックによって、筋肉全体に対してなにか無意識的に行う制御が上手くいった時の満足感(情動/感情)が、広義のエンタテインメント(癒しシステム)として有効らしいという印象が強く、被験者の感想にもその傾向が強く現れた。



図7 最終のゲームモードの画面例
Figure 7 Screenshot of "Game" mode.

4. 内受容感覚とSMHと情動/感情

外受容感覚Exteroception(視覚・聴覚・味覚・嗅覚・触覚)に対して、内蔵や血管の状態、内分泌系・横紋筋等から脳が受容する内受容感覚Interoceptionは、Damasio [74-77]の提唱する図8のソマティック・マーカ仮説(SMH)とともに、人間の感情[78]や意思決定[79]に大きく関係している。SMHにおいて、身体の恒常性を維持するために無意識下で脳に送られる内受容感覚に従った脳内の状況予測マップが何らかの原因で予測から外れた場合に喚起されるのが情動であり、原初的には危機回避の感情(怒り・怖れ)に至った、という説明は生物進化論的にも納得できるし、ジャズのテンションノートを愛好する音楽心理的現象とも符丁している[68]。

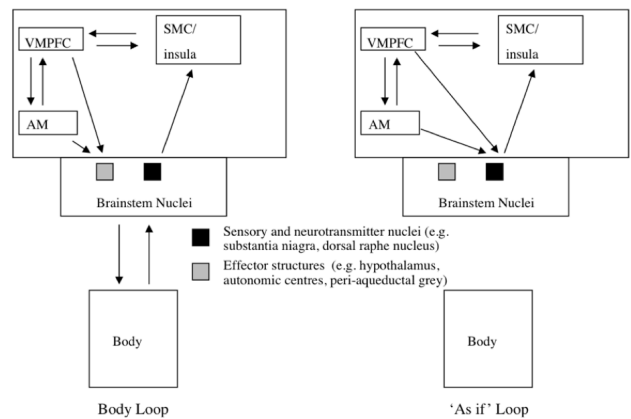


図8 ソマティック・マーカ仮説
Figure 8 Somatic Marker Hypothesis.

一方、脳機能をベイズモデルと予測符号化に基づく予測マシンとして捉えた研究において、Sethはこれまでの外受容感覚だけでなく内受容感覚も同様に関係することでSMHと結び付く(図9)と提案した[80]。このモデルは、Damasioが「あたかもループ」(As if Loop)として提唱した、時間的な遅延の大きい内受容感覚でも瞬時に危機回避するための情動生起のバイパス経路とも対応している。

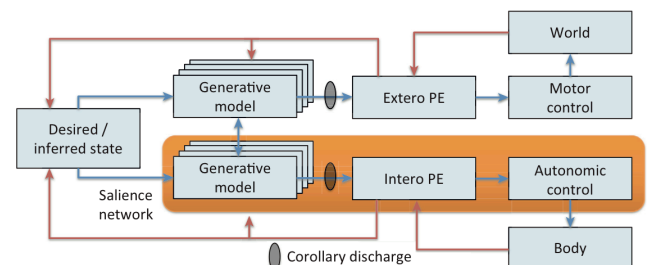


図9 Sethのモデル
Figure 9 Seth Model.

エンタテインメント用に開発したバイオフィードバックゲームを臨床医の意見を取り入れトレーニングシステムに改良して、医療分野での応用を試みた棟方の報告[81, 82]は、このDamasioのSMHと情動・感情との結び付きという視点から多くの示唆を与えた。先行研究[83]によれば、生体信号フィードバックを行うゲームとして、ユーザが直接コントロールできる呼吸活動や随意筋活動や息の温度制御と、直接コントロールできない皮膚電気活動(GSR)や心拍

について調査した結果、ユーザは前者の直接的にコントロールできる生体信号を好んだ。一方、棟方は皮膚電気活動を指標に末梢交感神経系の活動を亢進させるバイオフィードバックゲームによるトレーニングを行った結果、直接的にコントロールできているわけではない(スコアに直結する身体制御の詳細は本人にも不明)GSR制御のバイオフィードバック体験により、薬で発作を抑制できない(担当医師が匙を投げた)難治性てんかん患者の発作が明確に低減され、実験終了後も効果が持続するという画期的な観察を報告した。被験者の一人の「生まれつき自分の一部である発作が減ったことは何か自分のアイデンティティを失ったようで落ち着かない」(マイナスの情動・感情)という感想は、一般的に「病気」と呼ばれる状態すら望ましい恒常性の状態となり得る事を示している。

5. 内受容感覚BFエンタテインメントに向けて

内受容感覚と感情に関する研究は発展途上なので[78]、ここで今後の研究/実験の構想を述べる。まず当面の目標はSMHやSeth論文の仮説に対する追試/検証である。Seth論文では外受容感覚における脳内モデル検証として、ラバーハンド錯覚をHMDとKinectで実験するなど比較的シンプルな実験装置でトライしていて、従来の脳科学実験においてfMRIやPETなど巨大施設を必要としていたのに対して、より軽快な実験を行うアプローチを提唱している。バイオフィードバックはMax環境によって容易にマルチモーダルな条件提示を実現できることから、この手法を参考とした追試・検証をデザインして実験していきたい。

本報告の筋電ジェスチャー認識システムの最終ステップで行った一種のゲームモードは、予備的実験の段階でも情動/感情を伴う結果を予感させた。これを明確に計測するために、BITalino・e-Healthなどを活用し、自律神経系と深く関わる皮膚電気抵抗(GSR)センシングや心拍情報・呼吸情報と組み合わせた実験環境(図10)を構築中である。これを活用して、筋電ジェスチャー認識実験の一部として、能動的な随意筋の無意識下のバイオフィードバック微調整の際の情動と結びつく検出を目指したい。これにより、筋電を介した内受容感覚センシングへと繋がる可能性が期待できる。

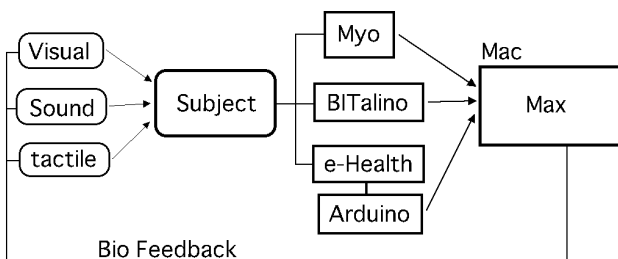


図10 新しい実験システム案
Figure 10 New Experiment System.

筋電計測システムはあくまで道具であり、情動・感情との結び付きを捉えるツールであるだけでなく、さらに目標は広義のエンタテインメントにある。Damacioによれば、内受容感覚は生物学的なホメオスタシス(物理的・化学的)のためだけでなく、メンタルなホメオスタシス(自己意識)のた

めにも中心的な役割りを果たしている可能性が高い。これは「意識」[84-86]、あるいは「心」そのものに繋がる、エンタテインメントの本質を検討する議論と直結している。医療エンタテインメントだけでなく、内受容感覚という新たな視点から、色々なエンタテインメントの可能性を追求することは、例えば「音楽と感情」というテーマにおいても、予測・期待などの情動から生まれる音楽的感情に対する新たなモデルを提供すると期待できる。「癒し」とは決して安静・平穏な方向だけでなく、期待の裏切りや予測誤差の修正など脳内の一種のストレスによって、結果としてカタルシス効果を生み出すことも含まれるのである。

筆者はここ数年、エンタテインメントに関する考察を深めてきた[87-94]中で、2014年8月の情報処理学会エンタテインメントコンピューティング研究会(メタ合宿)において、エンタテインメントコンピューティングを包含する「エンタテインメント科学」、さらにそれを包含する「エンタテインメント学」の必要性について述べた[95]。15世紀から続く“entertain”の語源からその3つの意味、(1)ゲストをもてなす、(2)人々を楽しませる、(3)心の中に何かを持つ、をまず指摘し、続いて「対象として」だけでなく、エンタテインメントそれ自体を深く考察する中から新研究のアイデアを、という逆転の発想を提案し、人間の脳/心の活性化の視点から、デザイナのデザイン活動そのものをエンタテインメントとして支援する環境の構築事例について紹介した。そして、従来よりも人間を広汎に支援する「エンタテインメント科学」、さらには心理学・美学・哲学など人文系のエンタテインメントも含めたより大きな学問領域としての「エンタテインメント学」が確立されていく可能性/必要性を提言した。そこでは、19-20世紀以降の人間社会における精神性の歴史[96-127]を美学的に分析し、21世紀の新しい文化の発展を支えるエンタテインメントという視点で、コンピューティングに囚われない「エンタテインメント研究」の発展を提言した。

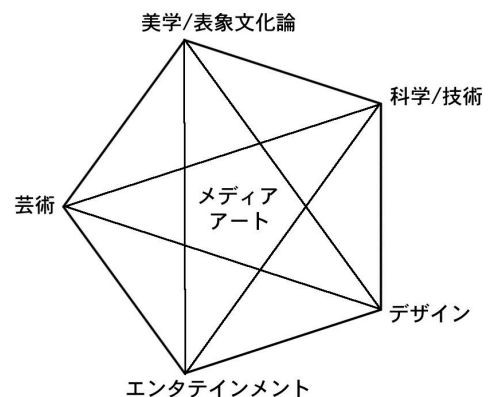


図11 5つの視点のマトリクス
Figure 11 Five points of my idea.

筆者は1991年に“Art & Science Laboratory”[1]を設立し、2000年に設立された芸術科学会[128]の発起人にも名を連ねるなど、基本的に「芸術+科学」の2元論だったが、やがて「芸術+科学+哲学」の3元論に拡大し、上述の文献調査と検討の結果、現状では図11のような5つの軸のマトリクスを研究の基本的な視点とするに至った。

これまでの筆者の活動は、主として図12の2つの図式のような領域に重点があった。いずれも基本として左端の「芸術」に軸がある一方で、サイエンスとエンジニアリングにも第2の軸があり、ここに加わる領域として、SUACでデザイン教育を担当する(図12左)、あるいはエンタテインメントの拡張を提案する(図12右)、というような領域をメインフィールドとしてきた。新しく勉強を始めた「美学/表象文化論/哲学」の軸は、まだまだこれからであるが、ここに「心」「意識」「癒し」など、エンタテインメントの本質に関する重要なポイントがあると考えている。

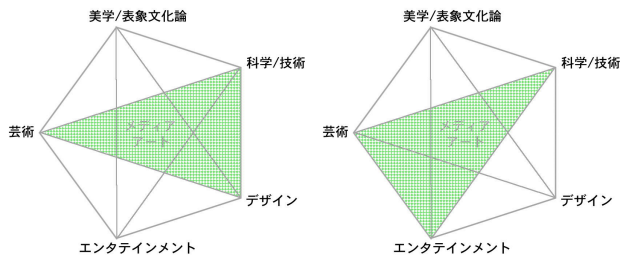


図12 5つの視点のマトリクスの例
Figure 12 Examples of the five points of my idea.

6. おわりに

新しい筋電センサと筋電情報処理手法を開発し、手首から先のジェスチャ認識システムとして簡単なゲームモードを実装した。あらかじめ登録した自分の筋電ジェスチャを視覚的なバイオフィードバックによって再現する被験者の行為を観察すると、無意識下の随意筋制御による内受容感覚理論/ソマティック・マーカー・モデルによく適合し、情動/感情を喚起するゲームとして一種の「癒し系」エンタテインメントとなりうる可能性を示した。筋電情報は脳から筋肉に指令が出た段階で発生するので、具体的に慣性質量を持つ肉体が動いてから検出する加速度/衝撃センサやスイッチより、さらにその動きを捉えるKinectなどの画像認識系センサより、はるかに早い段階で人間のパフォーマンスを抽出できる優位性がある。ここにバイオフィードバックの視点を組み合わせることで、広義のエンタテインメント、リハビリ治療、さらにメンタルな部分での「心」の支援(癒し系エンタテインメント)など色々な発展の可能性を秘めているので、今後もさらに筋電の世界を追求していきたい。

参考文献/リンク

- 1) Art & Science Laboratory, <http://nagasm.org>
- 2) 長嶋洋一, Interactive Computer Musicのための生体センサ等を応用した「新楽器」について, 平成10年度前期全国大会講演論文集2, 情報処理学会, 1998
- 3) 長嶋洋一, センサを利用したメディア・アートとインスタレーションの創作(研究ノート), 京都芸術短期大学紀要 [瓜生] 第20号1997年, 京都芸術短期大学, 1998
- 4) 長嶋洋一, 生体センサによる音楽表現の拡大と演奏表現の支援について, 情報処理学会研究報告 Vol. 98, No. 74 (98-MUS-26), 情報処理学会, 1998
- 5) Yoichi Nagashima, BioSensorFusion: New Interfaces for Interactive Multimedia Art, Proceedings of 1998 International Computer Music Conference, International Computer Music Association, 1998
- 6) Yoichi Nagashima, "It's SH0 time" - An Interactive

- Environment for SH0(Sheng) Performance, Proceedings of 1999 International Computer Music Conference, International Computer Music Association, 1999
- 7) 長嶋洋一, [サイバー楽器]のシステムデザインについて, 平成12年度前期全国大会講演論文集2, 情報処理学会, 2000
- 8) 長嶋洋一, インタラクティブ・メディアアートのためのヒューマンインターフェース技術造形, 静岡文化芸術大学紀要・第1号2000年, 静岡文化芸術大学, 2001
- 9) 長嶋洋一, 新・筋電センサ"MiniBioMuse-III"とその情報処理, 情報処理学会研究報告 Vol. 2001, No. 82 (2001-MUS-41), 情報処理学会, 2001
- 10) 長嶋洋一, 生体センサとMax4/MSP2による事例報告, 情報処理学会研究報告 Vol. 2002, No. 14 (2002-MUS-44), 情報処理学会, 2002
- 11) 長嶋洋一, 生体センサによるパフォーマンスとシステムの遅延/レスポンスについて, 平成14年度前期全国大会講演論文集4, 情報処理学会, 2002
- 12) Yoichi Nagashima, Interactive Multi-Media Performance with Bio-Sensing and Bio-Feedback, Proceedings of International Conference on Audible Display, 2002
- 13) Yoichi Nagashima, Interactive Multimedia Art with Biological Interfaces, Proceedings of 17th Congress of the International Association of Empirical Aesthetics, 2002
- 14) 長嶋洋一, 宇宙音楽と人体音楽の作曲事例報告, 情報処理学会研究報告 Vol. 2003, No. 16 (2003-MUS-49), 情報処理学会, 2003
- 15) 長嶋洋一, メディア・アートと生体コミュニケーション, 静岡文化芸術大学紀要・第3号2002年, 静岡文化芸術大学, 2003
- 16) Yoichi Nagashima, Bio-Sensing Systems and Bio-Feedback Systems for Interactive Media Arts, Proceedings of 3rd International Conference on New Interfaces for Musical Expression, 2003
- 17) 長嶋洋一, SCANNED SYNTHESISのための身体動作コントロール, AES東京コンベンション2003講演論文集, 2003
- 18) Yoichi Nagashima, Combined Force Display System of EMG Sensor for Interactive Performance, Proceedings of 2003 International Computer Music Conference, International Computer Music Association, 2003
- 19) Yoichi Nagashima, Controlling Scanned Synthesis by Body Operation, Proceedings of the 18th International Congress on Acoustics, 2004
- 20) 長嶋洋一, 筋電楽器における音楽的ニュアンスの認識に向けて, 電子情報通信学会 ヒューマン情報処理研究会 研究報告集, 電子情報通信学会, 2010
- 21) 長嶋洋一, 新しい筋電楽器のための筋電情報認識手法, 情報処理学会研究報告 2010-MUS-085, 情報処理学会, 2010
- 22) 長嶋洋一, 新しい筋電楽器のジェスチャ・表現の検討について, 日本音楽知覚認知学会2010年春季研究発表会資料, 日本音楽知覚認知学会, 2010
- 23) 長嶋洋一, 筋電センサの認識に関する新しいアプローチ, 静岡文化芸術大学紀要・第11号2010年, 静岡文化芸術大学, 2011
- 24) 長嶋洋一, マルチメディア・インタラクティブ・アート開発支援環境と作品制作・パフォーマンスの実例紹介, 情報処理学会研究報告 Vol. 96, No. 75 (96-MUS-16), 情報処理学会, 1996
- 25) 長嶋洋一, [広義の楽器]用ツールとしてのMIDI活用, 情報処理学会研究報告 Vol. 96, No. 124 (96-MUS-18), 情報処理学会, 1996
- 26) Yoichi Nagashima, Real-Time Interactive Performance with Computer Graphics and Computer Music, Proceedings of the 7th IFAC/IFIP/IFORS/IEA Symposium on Analysis, Design, and Evaluation of Man-Machina Systems, International Federation of Automatic Control, 1998
- 27) 長嶋洋一, 電気刺激フィードバック装置の開発と音楽パフォーマンスへの応用, 情報処理学会研究報告 Vol. 2002, No. 40 (2001-MUS-45), 情報処理学会, 2002
- 28) 長嶋洋一, 音楽/芸術表現のための新インターフェース, 静岡文化芸術大学紀要・第4号2003年, 静岡文化芸術大学, 2004
- 29) 長嶋洋一, マルチメディア心理学実験のためのプラットフォームについて, 日本音楽知覚認知学会2008年春季研究発表会資料, 日本音楽知覚認知学会, 2008
- 30) 長嶋洋一, サウンド・インスタレーションのプラットフォームについて, 情報処理学会研究報告 Vol. 2007, No. 50 (2008-MUS-75) (2008-HCI-128), 情報処理学会, 2008

- 31)長嶋洋一, 並列処理プロセッサを活用したメディアアートのための汎用インターフェース, 情報処理学会研究報告 Vol. 2008, No. 78 (2008-MUS-76), 情報処理学会, 2008
- 32)長嶋洋一, メディアアートのための汎用インターフェースのプラットフォームについて, 情報科学技術フォーラム2008講演論文集, 情報処理学会・電子情報通信学会, 2008
- 33)長嶋洋一, フィジカル・コンピューティングとメディアアート/音楽情報科学, 情報処理学会研究報告 Vol. 2008, No. 89 (2008-MUS-77), 情報処理学会, 2008
- 34)長嶋洋一, デザインプロセスにおける「スケッチ」と物理コンピューティング, 静岡文化芸術大学紀要・第9号2008年, 静岡文化芸術大学, 2009
- 35)長嶋洋一, シーズ指向による新楽器のスケッチング, 情報処理学会研究報告 2009-MUS-080, 情報処理学会, 2009
- 36)Yoichi Nagashima, Parallel Processing System Design with "Propeller" Processor, Proceedings of International Conference on New Interfaces for Musical Expression, 2009
- 37)長嶋洋一, 並列処理プロセッサ"Propeller"によるプラットフォームの検討, 情報処理学会研究報告 2009-MUS-083, 情報処理学会, 2009
- 38)長嶋洋一, 並列処理プロセッサ"Propeller"によるスケッチング・プラットフォーム, 静岡文化芸術大学紀要・第10号2009年, 静岡文化芸術大学, 2010
- 39)長嶋洋一, 改造による新楽器の創造, 情報処理学会研究報告 (2011-MUS-93), 情報処理学会, 2011
- 40)長嶋洋一, デザイン・エンタテインメントを支援するプラットフォームについて, 平成24年度全国大会講演論文集, 情報処理学会, 2013
- 41)佐藤俊輔, 吉川昭, 木竜徹, 生体信号処理の基礎, コロナ社, 2004
- 42)谷口慶治, 若松秀俊, 医用電子・生体情報, 共立出版, 1996
- 43)星宮望, 生体情報計測, 森北出版, 1997
- 44)赤澤堅造, 生体情報工学, 東京電機大学出版局, 2001
- 45)福田忠彦, 生体情報システム論, 産業図書, 1995
- 46)生体情報の可視化技術編集委員会編, 生体情報の可視化技術, コロナ社, 1997
- 47)井口雅一, 人間-機械系: 人による機械の制御, 共立出版, 1970
- 48)岡本勉, 岡本香代子, 筋電図からみた歩行の発達: 歩行分析・評価への応用, 歩行開発研究所, 2007
- 49)シン・J・オー著/白井康正監訳/白井康正, 玉井健介, 武内俊次訳, 筋電図実践マニュアル: 各種検査法の手技とデータ解釈, メディカルサイエンスインターナショナル, 1999
- 50)Aldo O. Perotto著/栢森良二訳, 筋電図のための解剖ガイド: 四肢・体幹, 第3版, 西村書店, 1997
- 51)木下真男, 高宮清之, 筋電図の読み方, 新興医学出版社, 1998
- 52)藤原哲司, 筋電図・誘発電位マニュアル, 改訂3版, 金芳堂, 1999
- 53)岡本勉, 岡本香代子, ニューエクスサイズウォーキング: 筋電図の研究から開発した運動としての歩行, 歩行開発研究所, 2004
- 54)堀浩 他, 脳波・筋電図用語事典, 新訂第2版, 永井書店, 1999
- 55)栢森良二, 末梢神経麻痺の評価: 電気診断学とリハビリテーション, 医歯薬出版, 1992
- 56)木塚朝博, 増田正, 木竜徹, 佐渡山亜兵, 表面筋電図, 東京電機大学出版局, 2006
- 57)戸川達男, 生体計測とセンサ, コロナ社, 1986
- 58)丹羽真一, 鶴紀子, 事象関連電位: 事象関連電位と神経情報科学の発展, 新興医学出版社, 1997
- 59)西村芳一, DSP処理のノウハウ: RISC CPU (SH2)で実現する: 変復調/フィルタ/FFT/SBC/DCT, CQ出版, 2000
- 60)R. K. ヤング著/袋谷賢吉訳, ウェブレット: 信号処理とシステム推定への応用, トップラン, 1997
- 61)鳥居孝夫, 計測と信号処理, コロナ社, 1997
- 62)三上直樹, デジタル信号処理の基礎: はじめて学ぶデジタルフィルタとFFT, CQ出版, 1998
- 63)電子情報通信学会編, パターン認識, 電子情報通信学会, 1988
- 64)村田昇, 入門 独立成分分析, 東京電機大学出版局, 2004
- 65)アーボ ビバリネン, エルキ オヤ, ユハ カルーネン, 詳解 独立成分分析 - 信号解析の新しい世界, 東京電機大学出版局, 2005
- 66)http://nagasm.org/ASL/CQ_mbed_EMG.html
- 67)長嶋洋一, 生体信号の情報処理のためのプラットフォームについて, 情報処理学会研究報告 (2015-EC-35), 情報処理学会, 2015
- 68)長嶋洋一, 内受容感覚コントローラとしての筋電楽器 --- 癒し系エンタテインメントのために ---, 日本音楽知覚認知学会 2015年春季研究発表会資料, 日本音楽知覚認知学会, 2015
- 69)長嶋洋一, 筋電センサのジェスチャ認識に関する新手法, 電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会 (PRMU) 研究会資料 (技術研究報告 PRMU2015-54), 電子情報通信学会, 2015
- 70)長嶋洋一, 筋電ジェスチャ認識におけるバイオフィードバックの効果, 第43回日本バイオフィードバック学会学術総会予稿集, 日本バイオフィードバック学会, 2015
- 71)M. カーリンズ+L. M. アンドリュース, バイオフィードバック - 心身コントロールの現代医学, 白陽社, 1978
- 72)辻下守弘, バイオフィードバック入門, 秀和システム, 2011
- 73)エリック・ペパー (監修), 辻下守弘/中川朋 (編集), 筋電図バイオフィードバック療法, 金芳堂, 2010
- 74)Antonio R. Damasio, 田中三彦 (訳), デカルトの誤り - 情動、理性、人間の脳, 講談社, 2000
- 75)Antonio R. Damasio, 田中三彦 (訳), 無意識の脳 - 自己意識の脳, 講談社, 2003
- 76)Antonio R. Damasio, 田中三彦 (訳), 感じる脳 - 情動と感情の脳科学 よみがえるスピノザ, 講談社, 2005
- 77)Antonio R. Damasio, 山形浩生 (訳), 自己が心にやってくる - 意識ある脳の構築, 早川書房, 2013
- 78)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, Vol. 57, No. 1, 49-76. 2014
- 79)大平英樹, 感情の意思決定を支える脳と身体の機能的関連, 心理学評論, Vol. 57, No. 1, 140-154. 2014
- 80)Anil K. Seth, Interoceptive inference, emotion, and the embodied self. Trends of Cognitive Science, 17, 565-573. 2013
- 81)棟方渚, バイオフィードバックゲームの医療応用, 情報処理学会研究報告 (2014-EC-33). 2014
- 82)棟方渚/櫻井高太郎/中村光寿/吉川浩/小野哲雄, バイオフィードバックゲーム"The ZEN"のトレーニング効果とエンタテインメント性 - 長期実験観察と治療応用の一症例の報告 -, デジタルゲーム学研究 第7巻第2号, 日本デジタルゲーム学会, 2015
- 83)Nacke, L. E. et al, 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
- 84)下條信輔, 「意識」とは何だろうか - 脳の来歴、知覚の錯誤, 講談社現代新書, 講談社, 1999
- 85)下條信輔, サプリミナル・マインド - 潜在的人間観のゆくえ, 中公新書, 中央公論社, 1996
- 86)下條信輔, サプリミナル・インパクト - 情動と潜在認知の現代, ちくま新書, 筑摩書房, 2008
- 87)Yoichi Nagashima, "IMPROVISESSION-II": A Performing/Composing System for Improvisational Sessions with Networks, Proceedings of International Workshop on Entertainment Computing, 2002
- 88)Yoichi Nagashima, Parallel Processing Platform for Interactive Systems Design, ICEC2009 Tutorial, <http://nagasm.org/ASL/ICEC2009/>
- 89)長嶋洋一, メディアアートにおけるエンタテインメントの視点とは - 開学10年間のSUAC学生インスタレーション作品の変遷, エンタテインメントコンピューティング2010論文集, EC2010実行委員会, 2010
- 90)長嶋洋一, エンタテインメント・コンポーザリング教育に向けて, 情報処理学会研究報告 (2011-MUS-90), 情報処理学会, 2011
- 91)長嶋洋一, コンテンツ制作支援のためのエンタテインメント科学とエンタテインメントデザイン, 電子情報通信学会2011年ソサイエティ大会講演論文集, 電子情報通信学会, 2011
- 92)長嶋洋一, デザイン・エンタテインメントを支援するプラットフォームについて, 平成24年度全国大会講演論文集, 情報処理学会, 2013
- 93)長嶋洋一, エンタテインメント科学とデザイン・エンタテインメント, 情報処理学会研究報告 (2013-EC-28), 情報処理学会, 2013
- 94)Yoichi Nagashima, Consumer Generated Media and Media Entertainment - Latest Report from Japan, Journal of International Scientific Publication: Media & Mass Communication, Varna, Bulgaria, 2014
- 95)長嶋洋一, 「エンタテインメント科学」から「エンタテインメント学」へ, 情報処理学会研究報告 (2014-EC-33). 2014

- 96) ジョナサン・クレーリー著/遠藤知巳訳, 観察者の系譜視覚空間の変容とモダニティ, 以文叢書, 以文社, 2005
- 97) ノルベルト・ボルツ著/識名章喜, 足立典子訳, グーテンベルク銀河系の終焉新しいコミュニケーションのすがた, 叢書・ユニベルシタス:657, 法政大学出版局, 1999
- 98) フリードリヒ・キットラー著/石光泰夫, 石光輝子訳, グラモフォン・フィルム・タイプライター, 筑摩書房, 2006. 25) ヴァルター・ベンヤミン著/高木久雄[他]訳, 複製技術時代の芸術, 晶文社クラシックス, 晶文社, 1999
- 99) ハル・フォスター編/室井尚, 吉岡洋訳, 反美学 - ポストモダンの諸相, 勁草書房, 1987
- 100) ハル・フォスター編/樽沼範久訳, 視覚論, 平凡社ライブラリー:608, 平凡社, 2007
- 101) ジル・ドゥルーズ著/宮林寛訳, 記号と事件 - 1972-1990年の対話, 河出書房新社, 1996
- 102) ジル・ドゥルーズ著/財津理, 齋藤範訳, 運動イメージ, 叢書・ユニベルシタス:855, 法政大学出版局, 2008
- 103) ジャック・デリダ著/足立和浩訳, 根源の彼方に - グラマトロジーについて, 現代思潮社, 1972-1976
- 104) ジル・ドゥルーズ著/岡田弘, 宇波彰訳, 意味の論理学, 叢書・ユニベルシタス:219, 法政大学出版局, 1987
- 105) ジル・ドゥルーズ著/國分功一郎訳, カントの批判哲学, ちくま学芸文庫, 筑摩書房, 2008
- 106) ジャック・デリダ著/合田正人, 荒金直人訳, フッサール哲学における発生の問題, みすず書房, 2007
- 107) 多木浩二[他], 技術と芸術, 講座・20世紀の芸術:4, 岩波書店, 1989
- 108) 多木浩二[他], 現代芸術の焦点, 講座・20世紀の芸術:8, 岩波書店, 1990
- 109) ミシェル・フーコー著/廣瀬浩司[他]訳, 知/身体, ミシェル・フーコー思考集成:7, 筑摩書房, 2000
- 110) ジョナサン・クレーリー著/石谷治寛, 大木美智子, 橋本梓訳, 知覚の宙吊り - 注意・スペクタクル・近代文化, 平凡社, 2005
- 111) ロラン・バルト著/沢崎浩平訳, 美術論集 - アルチンボルドからポップ・アートまで, みすず書房, 1986
- 112) ロラン・バルト著/保苺瑞穂訳, 批評と真実, みすず書房, 2006
- 113) 大庭健, 鷺田清一編, 所有のエチカ, ナカニシヤ出版, 2000
- 114) ヴァルター・ベンヤミン著/今村仁司[他]訳, 方法としてのユートピア, パサージュ論:4, 岩波書店, 1993
- 115) ヴァルター・ベンヤミン著/丘澤静也訳, 教育としての遊び, 晶文社, 1981
- 116) ヴァルター・ベンヤミン著/浅井健二郎編訳, 久保哲司訳, 記憶への旅, ちくま学芸文庫, ベンヤミン・コレクション:3, 筑摩書房, 1997
- 117) ヴァルター・ベンヤミン著/浅井健二郎訳, ドイツ・ロマン主義における芸術批評の概念, ちくま学芸文庫, 筑摩書房, 2001
- 118) 蓮實重彦, フーコー・ドゥルーズ・デリダ, 河出書房新社, 1995
- 119) ロラン・バルト著/森本和夫, 林好雄訳註, エクリチュールの零 (ゼロ)度, ちくま学芸文庫, 筑摩書房, 1999
- 120) ロラン・バルト著/蓮實重彦, 杉本紀子訳, 映像の修辞学, ちくま学芸文庫, 筑摩書房, 2005
- 121) 多木浩二, ベンヤミン「複製技術時代の芸術作品」精読, 岩波書店
- 122) フリードリヒ・キットラー著/原克[他]訳, ドラキュラの遺言 ソフトウェアなど存在しない, 産業図書, 1998
- 123) ノルベルト・ボルツ著/山本尤訳, カオスとシミュレーション, 叢書・ユニベルシタス:679, 法政大学出版局, 2000
- 124) ノルベルト・ボルツ, アンドレアス・ミュンケル編/壽福眞美訳, 人間とは何か - その誕生からネット化社会まで, 叢書・ユニベルシタス:926, 法政大学出版局, 2009
- 125) ノルベルト・ボルツ著/村上淳一訳, 世界コミュニケーション, 東京大学出版会, 2002
- 126) ジャック・デリダ著/林好雄訳, 声と現象, ちくま学芸文庫, 筑摩書房, 2005
- 127) 千葉雅也, 動きすぎたはいけない - ジル・ドゥルーズと生成変化の哲学, 河出書房新社, 2013
- 128) 芸術科学会 <http://art-science.org/>