

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

長嶋 洋一（静岡文化芸術大学）

Bio-sensing technology for biofeedback rehabilitation

Yoichi Nagashima (Shizuoka University of Art and Culture)

Abstract

This is a report of bio-sensing technology and its application for biofeedback rehabilitation and biofeedback therapy. I have developed many types of bio-sensors in the field of media arts. And now I have started some collaborations with specialists/researchers in rehabilitation and therapy at the viewpoint of biofeedback. I will report the recent projects and recent Europe situations.

キーワード：生体情報センシング，筋電センサ，バイオフィードバック，リハビリテーション，セラピー療法，メディアアート

(Bio-sensing, EMG sensor, Biofeedback, Rehabilitation, Therapy, Media Arts)

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多くの新インターフェースや新楽器を制作し、その中で筋電センサ等の生体センサシステムを新たに開発してきた[2-33]。コラボレータの照岡正樹氏とともに過去に4世代にわたってオリジナル筋電センサを開発し、筋電楽器として音楽領域で活用してきたが、新たに開発した第5世代の筋電センサを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」特集にて公開し、2016年末にはさらに第6世代の筋電センサ(4ch, WiFi対応)の試作を完了した。本稿ではまず第2節でこの概要について報告する。

感覚器からなる「外受容感覚」に対して、内臓や血管の状態、内分泌系・横紋筋等の情報「内受容感覚」は、Damacioの提唱するソマティック・マーカー仮説(SMH)とともに、人間の感情や意思決定に大きく関係すると注目されている。本稿の第3節ではこの状況を整理して、カナダ発の筋電センサ“Myo”を活用した筋電パターン認識バイオフィードバック・システムでの実験から、随意筋を制御する無意識下のリラクゼーション作用が広義のエンタテインメント・セラピーになる可能性を提唱する。

筆者は新たに2年前からリハビリテーションやバイオフィードバック療法の専門家とのコラボレーションを開始しており、高額な医療用海外製BF機器を導入しなくても、メディアアート関連の手法と生体情報センシング技術とバイオフィードバックを組み合わせることで、クライアント

にカスタマイズ可能なBF療法・メンタルヘルスシステムが廉価/容易に実現できる可能性を追求している。本稿の第4節ではこの活動事例紹介とともに、この分野で日本が大きく遅れている状況についても考察する。

そして第5節では、筆者が2016年8～10月の6カ国7都市の欧露ツアー[34]の中で垣間みてきた、欧州を中心に際立った世界的傾向として、シリアスゲーム・メンタルヘルスへの注目と研究開発の進展を最新レポートとして報告する。

2. オリジナル筋電センサの開発

電気学会での報告は本稿が初めてであるが、筆者の筋電センサ開発に関しては過去の情報処理学会・音楽情報科学研究会などの場で報告しているので、筋電センサ楽器については文献[22]で公開しているドキュメントへのリンクを参照されたい。例えば第3世代の筋電楽器“MiniBioMuse-III”を活用した筆者のライブ音楽作品の公演は、海外に限定しても過去にKassel, Hamburg, Montreal, Amsterdam, Paris, Vancouver, Taipei, Yekaterinburg, Osloで行ってきており、そのYouTube記録動画へのリンクも置かれている[22]。

高性能OPアンプ等の登場を受けた第4世代のオリジナル筋電センサは楽器でなくジェスチャ認識のツールとして研究した[16-19]。ここでは手首ベルトの4チャンネル筋電センサ出力を各50バンド、計200バンドのFFT情報としてリアルタイム認識し、29種類のポーズから被験者ごとに特徴的な5ポーズを良好に認識できる事を報告した。

「インターフェース」誌「生体情報の信号処理」特集記

事のために開発した第5世代の筋電センサ[21-22]では、mbedマイコンに搭載する2チャンネルでコンパクトな新筋電センサ(情報伝送はWiFi)を開発した。ここでは簡易型のFFTによる筋電パターン認識に加えて、筆者が「リサージュ解析」と名付けた新たなアルゴリズム(後述)により、少ない処理量で有効な筋電ジェスチャ認識を実現できる可能性を提示した[23-24]。

2016年には第6世代の新筋電センサ「VPP-SUAC」(図1)として、4チャンネル筋電計測+WiFi対応でArduinoシールドと同一サイズに実装した基板試作を完了した。本稿以前にこのシステムは未発表なので詳しく紹介すると、筋電センサのフロントエンド部分は第5世代をほぼ継承しつつチップ部品と両面実装小型基板により、XBee・TWEのWiFiモジュールまで搭載した。システムの実装においては性能の劣るArduinoでなく、コネクタ互換のmbed NucleoF401REに搭載することで、WiFi経由でホストに伝送する前の筋電センサ部分で、リモートゲイン調整・ハム(50Hz/60Hz)除去のDSPフィルタ処理・移動平均積分演算・筋電ジェスチャ認識用リサージュ解析までを実現することができる。普及しつつある“Myo”が「腕」専用であるのに対して、本システムはリハビリ領域で主要な対象となる「足」「腰」の筋電計測、さらに大きな需要のある排泄系(尿失禁/便失禁へのリハビリ療法)を視野に入れている。このシステムについては、BFリハビリ領域の専門家とともに2017年に後述のBFセミナーなどの機会に広く紹介していく計画である。

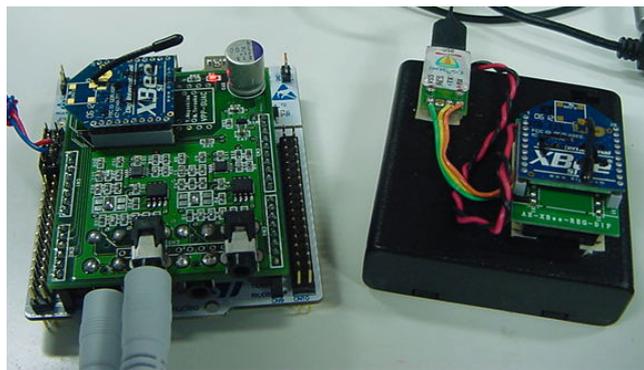


図1 新筋電センサ"VPP-SUAC"

Fig. 1. New EMG Sensor "VPP-SUAC".

3. 筋電バイオフィードバックとリラクゼーション

筋電情報は脳から制御指令する随意筋(横紋筋)への神経インパルスを計測したものであるが、一般に「五感」と呼ばれる外界に向けた感覚器(視覚・聴覚・味覚・嗅覚・触覚)からなる「外受容感覚」に対して、内臓や血管の状態、内分泌系・横紋筋等の情報「内受容感覚」は、Damacio[35-38]の提唱するソマティック・マーカー仮説(SMH)とともに、人間の感情[39]や意思決定[40]に大きく関係している、という新たな報告は、脳機能を外受容感覚と内受容感覚の両方に対する予測マシンとしてモデル化し

たSethの研究[41]とともに注目されている。以下に、筆者が筋電ジェスチャ認識システムを新たに試作して行った実験から、この「筋電バイオフィードバックによるリラクゼーション効果」の実例について報告する。

2014-2015年は海外からも多くの新しい生体計測システムが発表(発売)された。筆者はBITalino[40]・e-Health[41]とともに入手したMyo[43]の技術情報を解析/改造して新システムを制作した。Myoとは専用の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、完結した(改変不可)アームバンドセンサ製品である。ここでは第4世代の筋電センサ・ジェスチャ認識のツールとして使用した「手首ベルトの4チャンネル筋電センサ出力→各50band(計200ch)FFTリアルタイム認識」に代えて、「Myoの8チャンネル筋電センサ出力→28ch-Lissajous解析リアルタイム認識」を実装した。

ここで筆者オリジナルの「リサージュ解析」[24]とMyoへの適用法について解説する。2系統の信号に対する認識(可視化)処理として歴史があるリサージュ図形(あるいはリサージュ曲線)の元々の意味は、互いに直行する2つの単振動の変位量を(x, y)という2次元ベクトルと解釈して2次元平面にプロットした時に描かれる曲線である。これを拡張して2次元変数の関係性の可視化を目指した。過去からの知見とノウハウから、筋電信号の生体情報としての特性として、被験者の筋肉の状態の個人差は非常に大きいため、筋電エンベロープの絶対値の大小は筋電認識にほとんど寄与しない。重要なのは“y=x”の傾き1の直線からどれだけ離れているか、という差分なので、ベクトル(x, y)から直線y=xに下ろした垂線の足までの距離★が重要である。さらに筋電情報ではアーティファクトやノイズ低減のために信号が小さい部分は圧縮しても構わないという特性があり、上記★の距離にさらにベクトル(x, y)の大きさを乗じる非線形変換を施すことで、より有効に生体信号としての筋電チャンネルの差分が強調できる。そしてmbed NucleoF401REに実装する筋電情報の演算式として記述してみると、根幹部分は

$$\text{dat3} = (\text{dat1} - \text{dat2}) * \text{sqrt}(\text{dat1} * \text{dat1} + \text{dat2} * \text{dat2});$$

という非常にシンプルな形に収まった。筋電ジェスチャ認識においては、時間的に変動するパラメータの差分が重要であり、生体情報に特有のノイズを低減させたり、個人差に関する部分を抑止するこの非線形変換が非常に有効であると判明した。そこでMyoの8チャンネル筋電情報から2つを選ぶ組み合わせとして、腕をぐるりと一周する8電極位置の中から「隣りの電極」「1つとばした電極」「2つとばした電極」「反対側の電極」という4通り、重複を除いた計28チャンネルのLissajous解析出力をリアルタイム筋電パラメータとして採用した。

そして筋電ジェスチャ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」として29種類の写真を画面に表示し、被験者にそのポーズを

真似るよう教示した。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種類のジェスチャ写真から表示して被験者はそのポーズを真似る。Myoの8チャンネル筋電情報からLissajous解析の28chデータを抽出した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。確認モードが終ると、システムは最終の「ゲームモード」(図2)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ナー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かば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2 「ゲームモード」の画面例

Fig. 2. Example of the "Game Mode".

4. バイオフィードバックからメンタルヘルス/セラピーへ

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[45-46]は、このDamacio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[47]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。

このような関連研究のリサーチ/サーベイとともに、筆者はバイオフィードバック療法の専門家である辻下守弘氏(奈良学園大)とのコラボレーションをスタートした。辻下氏が企画開催する「バイオフィードバックセミナー」の講師を担当(過去3回:甲南女子大/人間環境大/けいはんな)するとともに、セミナーの参加者である多様な専門家(医療関係/リハビリ関係/看護師/介護士/心理療法士など)との議論を続けている。BFによるリハビリ/セラピー/メンタルヘルスというのは、従来の投薬治療や医療機関の治療とは本質的に異なる「クライアント自身の内なる治癒力」を根源とするので、日本国内においては製薬会社・医師会などの既得権者による圧力/抵抗のために海外に比べて著しく普及していない、という現状もこのような場から知ることとなった。

メディアアートのためのシステム開発とは、スケッチング(物理コンピューティング)の手法によって、インタラクティブなシステムを容易にオリジナル制作することであり、ここにメディアコンテンツとしてユーザフレンドリーなインターフェースを実装することも可能である。その入力部分に、筋電センサなどの生体情報センシングモジュールを連結し、さらにリサージュ解析のような高速パターン認識アルゴリズムを導入することで、生体情報からバイオフィードバックシステム(リハビリ/エンタテインメント/セラピー)を実現する「環境」が整備されつつある。

2回目のBFセミナーに参加した人間環境大学博士課程の看護師/介護士との議論からは、医療/介護の現場で求められている(うまい対策が無い)多くの切実なリクエストを取材することが出来た。新しいシステム開発においては、現場からのニーズも視野に入れる必要がある点を痛感させられた。多くの領域の専門家と問題意識を共有して、実際の現場と結びついた形で新しいBFシステムを実験・検証・公開していきたい、というのがこの活動の目標である。

2017年夏には、筆者も会員である日本リハビリテーション工学協会の年次大会「リハ工学カンファレンス」を包含する形で、リハビリ技術/応用の国際会議「i-CREAT2017」が神戸で開催される予定である。当面はここでの発表ないしワークショップ開催を目指して、このコラボレーションをより発展させていきたい。

5. 欧州の最新状況報告

筆者が所属する静岡文化芸術大学(SUAC)では、実質的な短期サバティカルとして、専任教員が利用できる学外研修制度がある。筆者は2004年にこの制度を利用して7月26日～9月21日の58日間、基本的にはパリに滞在して複数の研究所(CCMIX・La Kitchen)での滞在研究・ワークショップ参加と新作公演・レクチャー講演(IRCAM・La Kitchen)を行い、途中で1週間ずつアムステルダム・リンツに移動して滞在研究(STEIM)・フェスティバル視察参加(Ars Electronica)を行ってきた[48]。

そして再びこの制度を利用して、2016年8月28日～10月2日の37日間、6カ国7都市(Brussels, Bordeaux, Barcelona, Utrecht, Yekaterinburg, Moscow, Vienna)を巡る「欧露ツアー」に行った[49]。Brussels(ベルギー)はフライト乗り継ぎ/時差調整のための滞在、Bordeaux(フランス)では“tempora International meeting”に参加してプレゼンと新作初演と即興演奏公演参加[50-53]、Barcelona(スペイン)では国際会議“VS-Games2016”への発表参加[54-55]、Utrecht(オランダ)では国際会議ICMC2016(International Computer Music Conference)への発表参加[56]、Yekaterinburg(ロシア)ではEkaterinburg's Contemporary Art Academyでのレクチャー[57]と1日ワークショップを2回[58-59]と市民に公開のレクチャー[60]を行い、Moscow(ロシア)に移動してMARS Galleryでの“Human-Computer Interaction and Media Arts”というタイトルの2日連続レクチャー[61-63]を行い、Vienna(オーストリア)では国際会議ICEC2016(International Conference on Entertainment Computing)への聴講参加を行った[34]。ここではその中で、VS-Games2016(Spain/Barcelona)とICEC2016(Austria/Vienna)の2つの国際会議への参加から受け取った、欧州におけるリハビリ/セラピー支援の潮流について報告したい。

バルセロナの科学館「CosmoCaixa Barcelona」で開催された国際会議“VS-Games”というのは正式には“the 8th International Conference on Virtual Worlds and Games for Serious Applications”と言い、一般に娯楽エンタテインメントを指向するゲームに対抗(VS)して、「シリアスゲーム」に特化したものである。世界的にゲーム/アニメ/オタク先進国とされる日本でもシリアスゲームについてはかなり遅れていて注目度も低いが、「真面目なゲーム」というような意味で、具体的には教育支援やリハビリ支援やセラピーといった領域を主対象としていて、欧米、特にヨーロッパでは早くから研究開発・試行実践が積み重ねられてきた。

ここでの大きなトピックとしては、Keynoteの一人として招待されたデンマークAalborg UniversityのTony Brooks氏による「ZOOM: A serious games intervention design model」という基調講演があった。メディアアートに関連

する活動を進めてきた同氏は、家庭内に重篤な身障者がいた経歴から、ハンディキャップを持つ人々をテクノロジーで支援するという立場の研究も続けてきた。同じ活動が「セラピー」と「アート」の両方に行く、というのはまさに筆者も実践しつつある重要な視点であり、1990年代前半にテレビで紹介されたという、車椅子の演奏者がわずかに動かす腕をセンシングしてサウンドを鳴らす、という演奏風景はなかなか感動的であった。そして筆者の講演“Towards the BioFeedback Game with Interoception and Rehabilitation”の発表セッションの座長がTony Brooks氏であったことから、同氏と意気投合し、その後もメールによる情報交換が現在まで続いており、前節で紹介した国際会議「i-CREAT2017」に同氏が来日してともに関連講演などを実現したい・・・という準備が水面下で進行している。同氏のプロフィール/活動は[64]にあるように長期・広範であり、似たような方向に研究が進展している筆者はおおいに鼓舞されているところである。

VS-Games2016での発表(パラレルセッションなので筆者が参加した方に限られる)を概観すると、娯楽系と異なり企業活動(収益を上げることで存続発展)として成立しにくいシリアスゲーム開発のためのソフトウェア生産性向上技術、タブレットなど新端末を活用した教育支援、高齢化社会のためのリハビリ/エクササイズ/認知症防止、考古学/文化財の博物館展示支援、さらに他の国際会議でも軒並み登場した「ポケモンGOのようなゲーム」の開発紹介、と種々雑多であり、筆者が注目するバイオフィードバック応用の領域も複数あった。来年の開催はギリシャのアテネと発表されたが、このように限定的なシリアスゲームの国際会議がヨーロッパ各地で継承されている、という歴史的/文化的な「懐の深さ」に感銘を受けた。表層的な娯楽ゲームばかりを目指す日本にとって学ぶところは大きいのではないだろうか。

ウィーン大学で開催された国際会議“ICEC2016”であるが、元々は2002年に幕張メッセで初めて開催されたIWECE(International Workshop on Entertainment Computing)を実現させた、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と関連する海外の研究者が、翌2003年より国際会議としてスタートさせたものであり、筆者はこのIWECE2002にも発表参加していた。さらに筆者は2009年のICEC2009(Paris)でPhysical Computingテーマでワークショップを開催し、ここに世界の研究者とともに受講参加したロシアの研究者Denis Perevalov氏(“Mastering openFrameworks: Creative Coding Demystified”[65]の著者)と知り合って交流が始まったのが、2010年12月のロシアツアー[66]、さらに今回の欧露ツアーに繋がっているのである。応募論文がわずかにスコアが届かず採択されなかったために聴講参加となったが、このICEC2016に参加したことは、筆者の昨今の研究テーマに直結しているために非常に有益だった。

これまでのICECと言えば、SIGGRAPHと並んで「娯楽系エ

ンタテインメント/娯楽系コンテンツ」の総ざらい国際会議である、という印象だった筆者の先入観は、参加して大きく軌道修正された。今回の参加者は時期的に他の国際会議と重複したこともあり非常に少なく、さらに目立ったのは、なんと王道の娯楽系でなく「シリアスゲーム」関係の発表(まるでVS-Games2016のデジャヴ)だった。この意味するところは重要であり、「真面目な」「役立つ」という方向にエンタテインメントコンピューティングの世界も進展していて、先進国で特に深刻な少子高齢化社会、さらにネットが地球を包み込み、Deep Learningが人間の知能を凌駕し、地球的な規模での環境問題が不可避である21世紀におけるエンタテインメントの意味が、人間に帰帰して本当の意味での「ウェルネス」を指向しているのでは・・・という感想を持った。参加者はほぼ重複していなかったが、VS-Gamesと半月も変わらない国際会議でほとんど同じ空気を感じたのは驚くべき収穫であった。

6. おわりに

本稿では、生体情報センシングのバイオフィードバック(BF)療法への応用について、欧州での最新状況の報告とともに、新たに進めようとしているプロジェクトについて報告した。筆者は過去にメディアアートの領域で生体センシング技術の活用を進めてきて、さらなる応用としてBFリハビリ療法やBFセラピーについて専門家とのコラボレーションを始めたが、これはTony Brooks氏が1990年代から活動の2つの主軸としてきた方針と同化してきた。Damacioらが提唱する内受容感覚の視点からも、バイオフィードバックはリハビリ療法やエクササイズだけでなく、脳活動そのもの、すなわちウェルネスやセラピーと直結する有効なアプローチであると言える。今後、シリアスゲームという概念の重要性とともに、関連する専門家との議論・実験を進めて新たなシステムの開発・試作・普及を目指していきたい。

参考文献

- (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, pp. 34-45 情報処理学会(1998)
- (3) 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), pp. 1-6 情報処理学会(1998)
- (4) Yoichi Nagashima, BioSensorFusion: New Interfaces for Interactive Multimedia Art, Proc. ICMC1998, pp. 1-4 ICMA(1998)
- (5) 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), pp. 1-6 情報処理学会(2001)
- (6) 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, pp. 1-6 情報処理学会(2002)
- (7) 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, pp. 1-16 情報処理学会(2002)
- (8) Yoichi Nagashima, Interactive Multi-Media Performance with Bio-Sensing and Bio-Feedback, Proc. ICAD2002, pp. 1-4 ICAD(2002)
- (9) Yoichi Nagashima, Interactive Multimedia Art with Biological Interfaces, Proc. 17th IAEA, pp. 1-4 IAEA(2002)
- (10) 長嶋洋一, 宇宙人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), pp. 1-6 情報処理学会(2003)
- (11) 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, pp. 107-122 静岡文化芸術大学(2003)
- (12) Yoichi Nagashima, Bio-Sensing Systems and Bio-Feedback Systems for Interactive Media Arts, Proc. NIME2003, pp. 1-6 NIME(2003)
- (13) 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, pp. 1-6 AES(2003)
- (14) Yoichi Nagashima, Combined Force Display System of EMG Sensor for Interactive Performance, Proc. ICMC2003, pp. 1-4 ICMA(2003)
- (15) Yoichi Nagashima, Controlling Scanned Synthesis by Body Operation, Proc. 18th ICA, pp. 1-4 ICA(2004)
- (16) 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, pp. 1-5 電子情報通信学会(2010)
- (17) 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, pp. 1-6 情報処理学会(2010)
- (18) 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, pp. 1-6 日本音楽知覚認知学会(2010)
- (19) 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, pp. 153-160 静岡文化芸術大学(2011)
- (20) 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), pp. 1-6 情報処理学会(2015)
- (21) 長嶋洋一, 生体情報の信号処理<筋電を中心に>, インターフェース2015年4月号pp. 34-114 CQ出版社(2015)
- (22) 筋電センサ関係情報, http://nagasm.org/ASL/CQ_mbed_EMG.html
- (23) 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, pp. 1-6 日本音楽知覚認知学会(2015)
- (24) 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, pp. 1-6, 電子情報通信学会(2015)
- (25) 長嶋洋一, 新楽器へのアプローチ, 情報処理学会研

- 究報告(2015-MUS-108, pp. 1-18 情報処理学会(2015)
- (26)長嶋洋一, 内受容感覚とバイオフィードバックに注目した筋電情報ジェスチャ認識によるエンタテインメント, 情報科学技術フォーラム2015講演論文集, pp. 1-2 情報処理学会・電子情報通信学会(2015)
- (27)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, pp. 1-7 EC2015実行委員会(2015)
- (28)長嶋洋一, “脳波センサ” MUSE” は新楽器として使えるか, 情報処理学会研究報告(2015-MUS-110), pp. 1-8 情報処理学会(2016)
- (29)長嶋洋一, “脳波バンド” MUSE” による心理計測の可能性について, 日本音楽知覚認知学会2016年春季研究発表会資料, pp. 1-4 日本音楽知覚認知学会(2016)
- (30)長嶋洋一, 皮膚から音を聞く可能性・第2弾, 情報処理学会研究報告(2016-MUS-111, pp. 1-4 情報処理学会(2016)
- (31)Yoichi Nagashima, Multi Rubbing Tactile Instrument, Proc. NIME2016, pp. 1-2 NIME(2016)
- (32)Yoichi Nagashima, Towards the BioFeedback Game --- with Interoception and Rehabilitation ---, Proc. of 8th International Conference on Virtual Worlds and Games for Serious Applications, pp. 1-5 VS-Games(2016)
- (33)Yoichi Nagashima, Bio-Sensing and Bio-Feedback Instruments --- DoubleMyo, Muse0SC and MRTI2015 ---, Proc. ICMC2016, pp. 1-6 ICMA(2016)
- (34)長嶋洋一, 欧露ツアー2016の概要, <http://nagasm.org/1106/news5/docs/Tour2016.html>
- (35)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)
- (36)Antonio R. Damasio, 田中三彦(訳), 無意識の脳 自己意識の脳, 講談社(2003)
- (37)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)
- (38)Antonio R. Damasio, 山形浩生(訳), 自己が心にやってくる. 早川書房(2013)
- (39)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, pp. 49-76(2014)
- (40)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, Vol. 57, No. 1, pp. 140-154(2014)
- (41)Anil K. Seth, Interoceptive inference, emotion, and the embodied self, Trends of Cognitive Science, 17, pp. 565-573(2013)
- (42)BITalino, <http://www.bitalino.com/>
- (43)e-Health, <https://www.cooking-hacks.com/documentation/tutorials/ehealth-biometric-sensor-platform-arduino-raspberry-pi-medical>
- (44)Myo, <https://www.myo.com/>
- (45)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), pp. 1-3(2014)
- (46)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, pp. 67-78(2015)
- (47)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, pp. 103-112(2011)
- (48)長嶋洋一, Sabbatical2004, <http://nagasm.org/Sabbatical2004/>
- (49)長嶋洋一, Sabbatical2016, <http://nagasm.org/Sabbatical2016/>
- (50)<http://nagasm.org/1106/news5/tempora2016/>
- (51)http://nagasm.org/1106/news5/docs/tempora_TV.html
- (52)<http://www.youtube.com/watch?v=Cwz0F40n6S4>
- (53)http://www.youtube.com/watch?v=zeoBzi_Cq-I
- (54)<http://nagasm.org/1106/news5/docs/VS-Games2016.html>
- (55)<http://www.youtube.com/watch?v=RdwV5aJxdC4>
- (56)<http://nagasm.org/1106/news5/ICMC2016/>
- (57)http://nagasm.org/1106/news5/Russia_Lecture_1/
- (58)http://nagasm.org/1106/news5/Russia_Workshop_1/
- (59)http://nagasm.org/1106/news5/Russia_Workshop_2/
- (60)http://nagasm.org/1106/news5/Russia_Lecture_2/
- (61)http://nagasm.org/1106/news5/Russia_Lecture_3/
- (62)http://nagasm.org/1106/news5/Russia_Lecture_4/
- (63)http://nagasm.org/1106/news5/Mars_Photo/
- (64)<http://dk.linkedin.com/in/anthonylewisbrooks>
- (65)<https://www.packtpub.com/application-development/mastering-openframeworks-creative-coding-demystified>
- (66)<http://nagasm.org/1106/SYNC2010/>