

# 新しい筋電楽器のジェスチャ・表現の検討について

## Gestures and Expressions for new EMG Instruments

長嶋洋一

静岡文化芸術大学

nagasm@suac.ac.jp

概要: これまで3世代の筋電楽器を開発してきたが、新しい第4世代の筋電楽器の研究開発に向けて、新しい筋電情報センシング手法とともに、手首から前腕で計測検出できる音楽表現のためのポーズ・ジェスチャーについて検討した。

Keywords: 筋電情報、新楽器、音楽的表現、ジェスチャー、パターン認識

### 1. はじめに

コンピュータ音楽を中心にしたメディアアート、システムと人間とのインターフェース等に関するテーマの研究活動とともに、その具体的な応用を実験的に検証する意味で、いろいろなインタラクティブ・マルチメディア作品を創作して公演・発表する活動を行っている[1]。オリジナルセンサを用いた実験的なシステムをリアルタイムパフォーマンスに応用することで、開発の過程や作品・公演の中から新たな研究テーマや課題が出てくることも多い。本稿ではその一つのサブテーマであるオリジナル筋電センサ(筋電楽器)の研究開発に関して、これまで3世代にわたって開発してきた筋電楽器を受けて、新しい第4世代に向けたアプローチについて報告する。

### 2. 腕の筋電情報のセンシング

人間の随意運動のセンシング対象として、歴史的には手/腕が重視されており、文献にも「腕の筋電情報」を取り上げたものは多い[2-17]。筋電センサを活用したコンピュータ音楽やインターフェースに関するテーマでは、IRCAM / CCRMAのAtau Tanaka氏によるBioMuseを利用した研究と音楽活動(sensorband)が国際的によく知られている[18-19]。ここでは、両腕の異なる2箇所ずつに筋電センサを取り付け、伝統的な楽器と変わらない修練と習熟により、身体表現としての演奏情報をリアルタイム音響合成パラメータに適用した演奏などを行っている。このBioMuseは市販の製品であるが、センサの銀-塩化銀電極を導電ジェルによって取り付ける手間、その電極の寿命と交換の手間、システムとしての大きさと重さ、そして何より高価である(約3万ドル)ことなど、活用

しているAtau Tanaka氏本人がいくつかの課題を指摘するものだった。

### 3. “MiniBioMuse”シリーズの開発研究

筆者は研究協力者としてアナログ電子計測の専門家の照岡正樹氏らと交流し、各種の高精度センサ、生体センサ等を研究開発してきた。小型軽量(可搬)・バッテリー駆動・リアルタイムMIDI化・シンプルで安価な筋電センサを目標として掲げ、“MiniBioMuse”と名付けた実験・開発を進めてきた。ここでは約10年にわたって、3世代の筋電楽器を研究開発してきた。本稿ではその詳細については省略するので[20]を参照されたい。この第3世代の筋電楽器“MiniBioMuse-III”を、新作の作曲・改訂とともに実際に公演に使用した記録としては以下である。

コンピュータ音楽作品“BioCosmicStorm-II”、作曲2001年、2001年9月19日『Workshop in CCMIX』(スタジオCCMIX(パリ)、パフォーマンス:長嶋洋一)

コンピュータ音楽作品“BioCosmicStorm-II”、作曲2001年、2001年9月25日『Ensembleconcert of “Human Supervision and Control in Engineering and Music”』(Kasseler Sparkasse Wolfsschlucht Kassel, Germany、パフォーマンス:長嶋洋一)

コンピュータ音楽作品“BioCosmicStorm-II”、作曲2001年、2001年9月26日『Ensembleconcert of “Human Supervision and Control in Engineering and Music”』(Altonaer Museum Hamburg, Germany、パフォーマンス:長嶋洋一)

コンピュータ音楽作品“Quebec Power”、作曲2003年、2003年5月24日『NIME03』(カナダMcGill大学 Pollackホール、パフォーマンス:長嶋洋一、コラボレータ:小川裕己・鈴木力哉)

コンピュータ音楽作品“Wriggle Screamer”、作曲2004年、2004年6月6日『MAF2004公開レクチャーコンサート』(SUAC、パフォーマンス:長嶋洋一)

コンピュータ音楽作品“BioCosmicStorm-III”、作曲2004年、2004年8月30日『STEIM公開レクチャーコンサート』(STEIM、アムステルダム、パフォーマンス:長嶋洋一)

コンピュータ音楽作品“Coin’s Journey-2”、作曲2004年、2004年9月17日『La Kitchen 公開レクチャーコンサート』(La Temple、パリ、パフォーマンス：長嶋洋一)

コンピュータ音楽作品“BioCosmicStorm-III”、作曲2004年、2004年9月17日『La Kitchen 公開レクチャーコンサート』(La Temple、パリ、パフォーマンス：長嶋洋一)

コンピュータ音楽作品“Wriggle Screamer II”、作曲2005年、2005年5月27日『NIME05』(カナダ University of British Columbia、パフォーマンス：長嶋洋一)

コンピュータ音楽作品“BioCosmicStorm-III”、作曲2007年、2007年3月26日『互動藝術展演コンサート』(国立台湾師範大学ホール、台湾、パフォーマンス：長嶋洋一)

コンピュータ音楽作品“Resonated Vibrations”、作曲2008年、2008年12月20日『メディアアートフェスティバル2008』(静岡文化芸術大学、パフォーマンス：長嶋洋一)

#### 4. 第4世代の筋電楽器の開発に向けて

上述のように、第3世代の“MiniBioMuse-III”は、世界各地まで持ち歩いて劣悪なステージ環境にも耐えて活躍したために、その後の新しい開発・改良はしばらくストップした。これは、Atau Tanaka氏の演奏でもそうであったように、人間の演奏者は楽器に熟達することで、初めて装着した人には想像できないほど色々なニュアンスを表現できるようになって(慣れて)しまうためである。

その一方で、初めて筋電楽器を体験する人にとっても色々なニュアンスを表現できるようにしてみたい、従来よりも多種のボディランゲージ(ジェスチャー)をセンシング(認識)してみたい、という目標が登場した。そこで今回、第4世代となる新しい筋電楽器の開発に挑戦することになった。技術的な詳細については省略するので[20]を参照されたい。なお本稿末尾の余白に関連した写真を置いた。

##### 4-1. 筋電情報に対するFFT解析

第3世代までは各チャンネルの筋電信号のパワー変化を検出し、このパラメータを音響生成・音楽生成のパラメータに動的にマッピングする、という手法であった。しかし最近では、筋電情報を時間的に変化する情報としてパターン認識するというアプローチが登場し[21-22]、本研究では筋電情報をFFTして新しいパターン認識を求めることにした。

具体的には、Max/MSP/jitter(Max5)の環境において、筋電センサ信号を4チャンネル音響信号としてRoland社FA-101に取り込み、Firewire(IEEE1394)経由でリアルタイム入力して、サンプリング44.1kHz、量子化24ビット、FFTフレーム数4096として実数部・虚数

部を求め、これを極座標に変換して強度データのみを抽出し(位相情報は無視)、周波数バンドのうち冒頭の50バンド(約10Hzきざみで0-500Hzの周波数バンド)をリアルタイムに表示するシステムを試作した。図8はその実験システムの外観と画面例である。

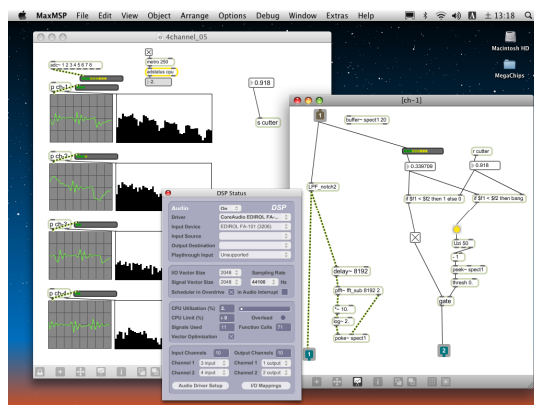
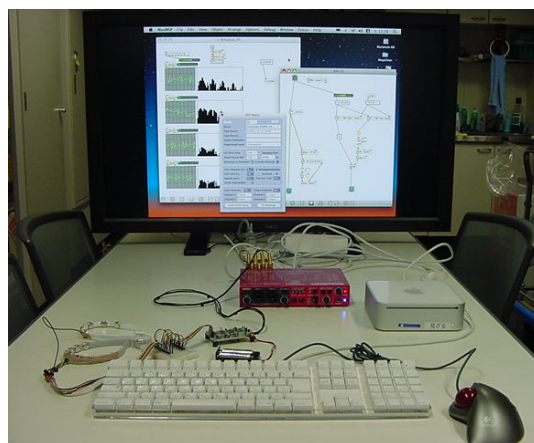


図1 筋電情報検出実験・試作システム

本研究において「筋電情報から音楽的ニュアンス(動的なジェスチャー)を認識する」というテーマに対して最初に構想した手法は、この筋電情報のFFTの各サブバンドの強度出力をそれぞれ時間変化する信号と捉えて、さらにもう一段FFTをかけてその低周波成分の変動パターンによって、繰り返し動作のジェスチャーを検出できないか、というアイデアであった。そこで図1のように4チャンネルの筋電情報がFFT化された段階で実際に実験、FFTの各バンドの出力をMax5の扱えるオーディオ情報に変換してFFTをかけてみた。センサ電極位置や各パラメータを色々に試した実験の結果、この方法ではジェスチャー認識に使える筋電情報が得られないと判明した。表面筋電情報の周波数スペクトル分析(FFT)において、40Hz以下の成分は筋肉の運動単位活動電位MUAPの発射パターン(頻度)に依存し、40Hz以上の成分はMUAPの波形に依存する

ため、期待した低周波(繰り返し)成分は40Hz以下の帯域では実質的にランダムに発射される筋電パルスの分布特性から特定のFFTバンドに入らずに分散し、40Hz以上の帯域はジェスチャーに同期した周波数成分とは関係ない情報だけなのであった。

図1のように、筋電情報が500Hz以下の帯域でリアルタイムにFFT可視化された実験システムの表示出力を見ていると、筋肉の動きが直感的に体感できるが、参考文献によれば、これまで筋電情報のFFT出力で使用されているのは、平均周波数・中央周波数・自乗平均平方根・整流平滑平均・積分EMG・標準偏差・パワー重心位置などの全体的な統計量が主流である。FFTのように時間周波数表現の手法によって筋電情報を解析するアプローチは、ICAやSFFTやウェーブレット変換などにより進められている研究途上なので、本研究でもさらに検討を進めていきたい。

#### 4-2. 筋電FFT全体のリアルタイムマッチング

前述のFFT実験で、手首の自然な位置の筋電電極ベルトを使っても「4チャンネルの筋電情報それぞれが刻々と変化する各50バンドのFFTデータ」という200データ/サンプル)のリアルタイム取得が実現できた。図2は、この表示画面の例であり、この200本のグラフがリアルタイムに変化する。

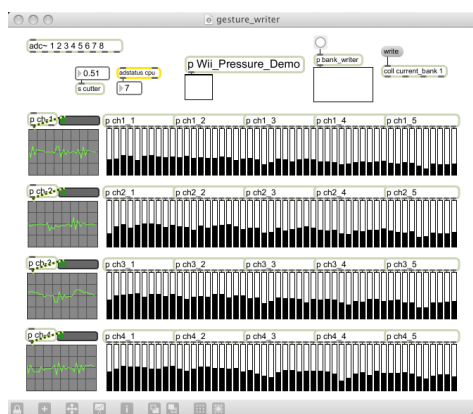


図2 筋電情報のFFT表示例

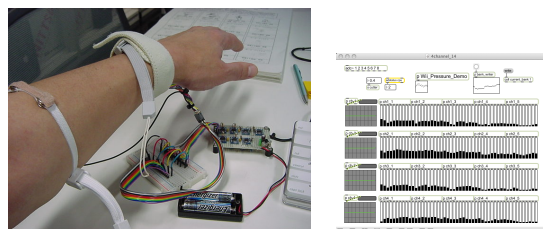
筋電電極の位置決めは、もっとも筋電が出ないと思われる骨の部分、筋電ベルトの締め具(電極が無い部分)の目印に使用して筋電ベルトの電極1の側に「0」、電極9の側に「7」と書き、装着位置は基本的に前腕のなるべく先、手首の骨の上の部分、筋電ベルトの締め具の位置をこの骨のまっすぐ上になるようにして、手首上面の平らな部分に「0」が来るように決定した。被験者の利き手が左右反対でもこの関係が成り立つように適宜、電極ベ

ルトを反転させ、「手首上面の平らな部分がチャンネル1(電極1-2)、そこから身体内側に向いた部分がチャンネル2(電極3-4)、およそ掌の上方(内側)の部分がチャンネル3(電極6-7)、そこから身体外側に向いた部分がチャンネル4(電極8-9)」というような配置に統一した。

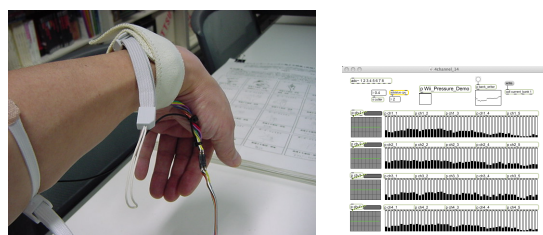
#### 4-3. 手首付近のジェスチャー

そして次のアプローチとして、前腕(手首)から先のいろいろなジェスチャーを「標準ポーズ」として定義し、実際に手首付近の4チャンネルの筋電情報とリアルタイムに比較して認識・識別できるかどうかについての実験に進むことにした。

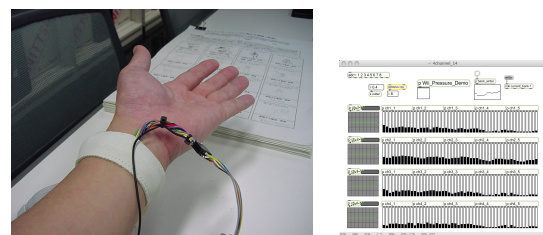
まず、静岡文化芸術大学学生69人に、自由な発想で「手首から先のジェスチャー」について構想してスケッチを提出してもらい、500を超える数のジェスチャー案を得た。この中から相互に異なりほぼ誰でも理解できるよう注意して、代表的な29種類の「標準ポーズ」を決定した。図3/4はこの29種類のうち最初の9種類の例である。それぞれ、FFT筋電情報パターンが異なって検出されている。



手を水平、掌を下向きにしてリラックス脱力

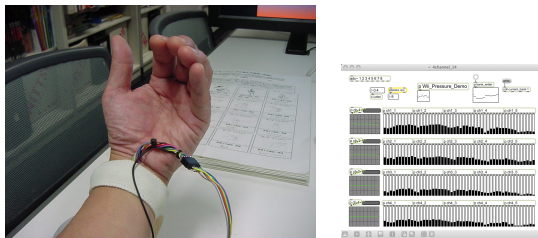


「おいでおいで」の形に手首を90度手前に曲げる

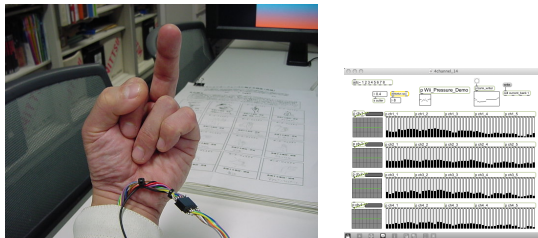


手を水平、掌を上向きにしてリラックス脱力

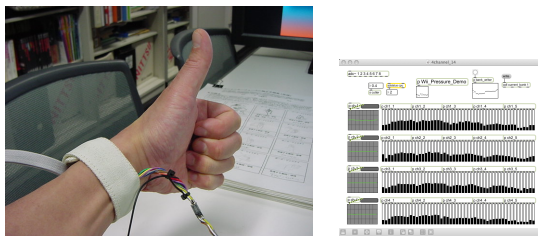
図3 「手首ポーズ」の例



「こっちに來い」の形に手首を90度手前に曲げる



中指を立てて侮蔑・挑発する



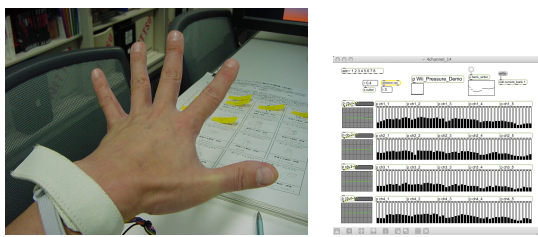
親指を立てて「グッジョブ！」



親指と人差し指とでマルを作って「OK」



拳骨をグッと握りしめる(親指は外側)



掌を思いっきり「パー」に開く

図4 「手首ポーズ」の例

#### 4-4. 被験者実験の第1/第2ステップ

まず同意書で承諾した22人の被験者について、年齢・性別・利き手のアンケートや握力・体脂肪率の計測を行った。これは、筋電電極ベルトの純銀円盤電極が皮膚に馴染んで良好な計測を自然に開始するためのウォームアップ時間の意味もある重要なものである。

図5は被験者実験システムの画面例であり、実験の第1のステップとして、まず29種類の標準ポーズごとに上記200ポイントのFFTデータ(10ステップの移動平均)をplain textファイルとして記録した。大型モニタの画面には実際の手首のポーズが表示され(利き手に応じて左右反転して被験者と同じ向き)、被験者がこれを真似てポーズが静止した瞬間を確認し、データ記録のクリックを行った。

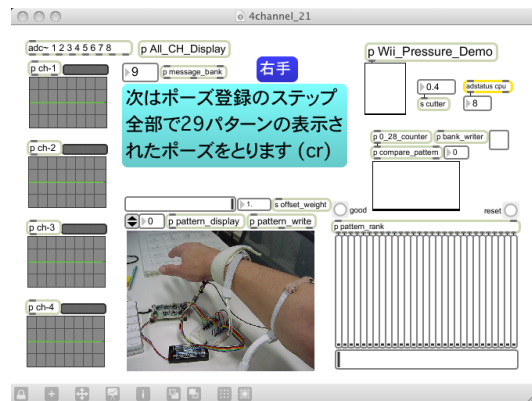


図5 被験者実験システムの画面例

第2のステップでは、同様に29種類のポーズが画面に出てくるので、被験者は再び、そのポーズをそれぞれ真似る。ただしシステム内では、第1ステップで記録した29種類の被験者の標準ポーズFFTデータの全てと現在の被験者のFFTデータと比較して2乗平均誤差が最小となるポーズを選択し刻々と表示する。これは現在のポーズ番号とは無関係に、画面右下の29本のスライダの位置を、そのサンプリングポイントにおいてもっとも類似したポーズ番号だけ1ポイントだけ上昇させる。筋電ならではの面白い現象として、(1)あるポーズの時にそのポーズ番号と同じスライダーが上昇するとは限らない。一見だいたい異なる形状のポーズでより良好な(類似する)FFTデータと判定される。また、(2)この刻々と上昇するスライダーを見て、被験者が意識的/無意識的にわずかに筋肉をコントロールすることで、特定のポーズのスライダーだけを連続して上昇させる事ができる。

この第2ステップでは、良好な対応(再現性のある)ポーズとして5種の候補を選択して登

録する。この5種類が多くの特験者に共通していればまさに「標準ポーズ」となるのだが、残念ながら再現性の高いポーズ番号には被験者ごとに相当なばらつきがあった。これは被験者ごとの、筋力・皮下脂肪の厚さ・皮膚の状態(乾燥肌/しっとり)・手首の太さなどの違いに起因するものと思われる。図6はこの第2ステップの画面例である。

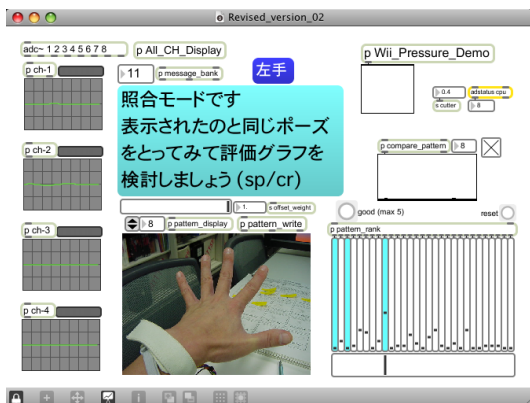


図6 被験者実験システムの画面例

#### 4-5. 被験者実験の第3ステップと考察

被験者実験の第2ステップ「照合モード」で29個のポーズのうち被験者の再現性の成績が良好な5ポーズが確定すると、実験ソフトは第3ステップとして、最後の「ゲームモード」になり、新しいウインドウが開く。ここでは図7のように、ほぼ画面一杯のウインドウ内に5本の縦方向の黒い画面ラインが横並びに現れて、その最下段に、第2ステップで登録した「よく出やすい」5ポーズの画像が表示されている。これはいわば、「5人の選手(ポーズ)による競争ゲーム」の初期状態(スタートライン)であり、スペース入力で全選手をスタートラインに戻すことができる。

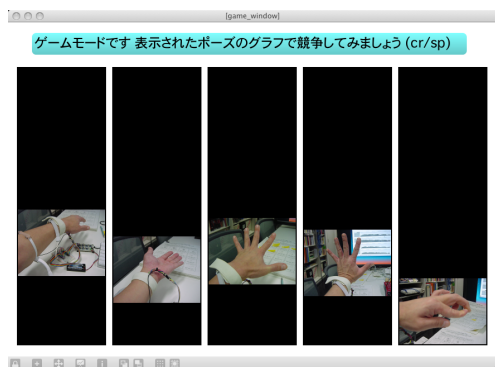


図7 被験者実験システムの画面例

被験者実験でもっとも興味深かったのがこのモードである。皮膚表面の限られた筋電信号をかなりラフに計測しているにもかかわらず

ず、検出結果と登録データのリアルタイム照合を自分の目で見て調整する、というフィードバック行為によって、多くの被験者が、ほとんど瞬時に特定のポーズの画像を選択的に進めるための制御を体得してしまった。「システムが被験者の個人差に合わせているのではなく、実は被験者自身が無意識にシステムの示す認識判定に適合したように振る舞う」という現象であるが、これは困難な楽器の演奏技法を習熟する音楽家と同様に、人間の適応能力の優秀さの反映である。

ほとんど全ての被験者において、自分の登録したポーズデータとリアルタイム照合してヒットする「good判定」ポーズが4-5種類、存在することを確認できた。しかし同時に、そのポーズの場所(番号)が被験者ごとに非常にまちまちで、すぐさま「ほとんどの被験者に共通するgood判定ポーズ」として規定する事の難しさも示した。

#### 5. 「標準ポーズ」の可能性

次の可能性としては、22人の被験者の筋電データを強引に単純平均してしまった場合、これが万人に共通の「標準ポーズ/ジェスチャ」データにならないか、という無謀な着想がある。そこで筆者自身が被験者となって、この「標準ポーズ」データとのリアルタイム照合を試みた。

実験結果の検討はまだ途中段階であるが、事前の予想を裏切って、被験者22人のデータを単純平均しただけの「標準ポーズ」データは、ほとんど違いの判らないグラフの概形の類似性からは想像できない意外な良好さで、29種類のポーズのうちの約10ポーズで、被験者(長嶋)自身の微妙なコントロールによって、ヒット率の上位に登場させることに成功した。

ただし、これは被験者本人の、意識的/無意識的で微細なコントロールによって得られた結果である。画面内の「ヒット」を示すバーグラフのポインタが1回でも動く(上がる)ことによって、その瞬間の付近に良好判定の状態がある、という仕組みを学習すると、強力な適応性を持つ人間は、表面筋電情報という限られたチャンネルから、なにがしかの有効なマッチング結果となるような「筋肉操作の組み合わせ」を生み出せるのである。被験者に目隠しすれば、まず間違いなくこの実験の良好な結果はほぼ全滅になると確信する。この点は、筋電センシングのもう一つの重要な本質・課題であろう。

## 6. おわりに

これまで3世代にわたって筋電センサを用いた楽器(音楽演奏インターフェース)を開発してきたが、新たなアプローチとして「音楽的ニュアンスの認識」を目標と設定し、より高度な音楽的表現(ジェスチャ)を検出するシステムの開発を目指している。本稿では、ここまでの概要を紹介するとともに、第4世代の筋電楽器の表現の可能性を拡大させるソフトウェアについての検討を報告した。新しい認識アルゴリズムについてはまだまだ途上であり、関連する方々との検討・交流を進めていきたい。

## 参考文献

- 1) Art & Science Laboratory <http://nagasm.org>
- 2) Yoichi Nagashima: "It's SHO time" - An Interactive Environment for SHO(Sheng) Performance, Proceedings of 1999 ICMC, International Computer Music Association (1999).
- 3) 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) <http://1106.suac.net/news/docs/suac2000.pdf>
- 4) 長嶋洋一: 新・筋電センサ "MiniBioMuse-III" <http://nagasm.suac.net/ASL/SIGMUS0108/>
- 5) 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 <http://nagasm.suac.net/ASL/sensor01/>
- 6) 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 <http://nagasm.suac.net/ASL/sensor03/>
- 7) Yoichi Nagashima: GHI Project - New Approach for Musical Instrument, Proceedings of 2007 ICMC, International Computer Music Association (2007).
- 8) 斎藤正男: 生体工学, 電子情報通信学会, pp. 33-57 (1985).
- 9) 星宮望: 生体情報計測, 森北出版, pp. 40-66 (1997).
- 10) 細田嗟一監修: 生体時系列データ解析の新展開, 北海道大学図書刊行会, pp. 273-297 (1996).
- 11) 上羽康夫: 手 その機能と解剖, 金芳堂, pp. 169-190 (1970).
- 12) シュフラー・S.シュミット: からだの構造と機能, 西村書店, pp. 113-117 (1998).
- 13) 岩瀬善彦・森本武利: やさしい生理学, 南江堂, pp. 244-259 (1969).
- 14) 生体情報の可視化技術編集委員会: 生体情報の可視化技術, コロナ社, pp. 185-210 (1997).
- 15) 日本生理人類学会計測研究部会: 人間科学計

測ハンドブック, 技報堂出版, pp. 252-262 (1996).

- 16) 池田謙一他訳: 生体工学, コロナ社, pp. 46-62 (1974).
- 17) 戸川達男: 生体計測とセンサ, コロナ社, pp. 260-269 (1986).
- 18) Atau Tanaka: Musical Technical Issues in Using Interactive Instrument Technology with Application to the BioMuse, Proceedings of ICMC1993 (1993).
- 19) William Putnam: The Use of The Electromyogram for the Control of Musical Performance, Doctoral Thesis of Stanford University (1993).
- 20) 長嶋洋一: 新しい筋電楽器のための筋電情報認識手法. 情報処理学会音楽情報科学研究会予稿集 (2010年5月発表予定).
- 21) 藤原義久・前川聡: 独立成分分析による筋電データからの各指運動の分離, 信学技報 MBE99-7, 電子情報通信学会, pp. 41-46 (1999).
- 22) 木塚朝博・増田正・木竜徹・佐渡山亜兵: 表面筋電図: バイオメカニズム学会, pp. 123-129 (2006).

## (参考) 実験のため開発した筋電センサの写真

