

筋電楽器における音楽的ニュアンスの認識に向けて

長嶋洋一

静岡文化芸術大学

nagasm@suac.ac.jp

キーワード：筋電センサ、メディアアート、ジェスチャ

Toward the recognition of musical nuances in EMG musical instruments

Yoichi Nagashima

Shizuoka University of Art and Culture

Keywords : EMG Sensors, Media Arts, Gesture

あらまし：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。これまで3世代にわたる筋電楽器の開発の紹介とともに、第4世代のセンシング・ハードウェア、ジェスチャの特性を分類して表現の可能性を拡大させるソフトウェアについて検討する。

Abstracts : This is a report EMG musical instruments for Media Arts. I have developed three generations of EMG instruments, and the new target (4th generation) is the effective instruments for musical gesture/nuance.

1. はじめに

コンピュータ音楽を中心としたメディア・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、実際にいるいるインタラクティブ・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は、歴史的に「手」「腕」(図1)が重視されており、文献においても「腕の筋電情報」を取り上げたものは多い[2-11]。

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によるBioMuseを利用したヒューマンインターフェースの研究と音楽パフォーマンス活動(sensorband)が国際的によく知られている[12-13]。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氏自身がいくつもの課題を指摘するものだった。もともと音楽用途というよりも、身体障害者のための意志伝達手段や、脳波・眼球筋肉運動などの検出にも利用できる汎用生体センサであるため、医用機器としての信頼性やコスト要求からして当然であるとも言える。

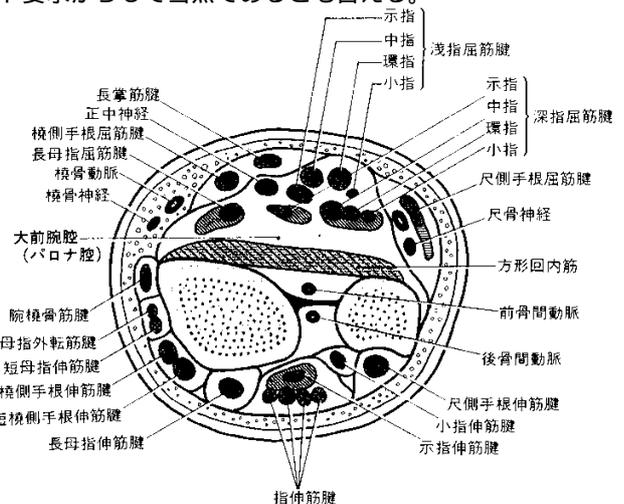


図1 前腕遠位の横断面

3. "MiniBioMuse-I"と"MiniBioMuse-II"の開発

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。そこでテーマとして「小型軽量(可搬)」「バッテリー駆動」「リアルタイムに筋電情報をMIDI

化」する「シンプルで安価」な筋電センサを目標として掲げ、敢えて"MiniBioMuse"と名付けて実験・開発を進めてきた。以下、その概要と検討事項について簡単に整理する。

3-1. 筋電センサ開発の課題

通常の物理量センサに比べて、生体センサには「個人差」「高感度」「ノイズ抑止」「使用感」などの課題が加わる。「個人差」とは、同じ生理指標でも個人ごとのばらつきが大きく、筋電で言えば、非力な(体育会系でない)人の中にはまったく筋電パルスが検出できない人もいる、という状況のことである。「高感度」については当然のこと、人間は電気鰻ではないので、電気信号として得られる情報は全て微弱なものである。高倍率増幅は必至である。「ノイズ抑止」は技術的にはもっとも重要なもので、生体から発生する他の信号、周囲環境から混入するノイズ信号とともに、ハム(商用交流電源の高調波ノイズ成分)の除去が切実な課題となる。「使用感」とは、ベッドに固定されているわけではなく音楽演奏という身体表現に利用することを目的としているので、自然な動作を制限するような形態でセンサを取り付けることができない、という実装上の課題である。

3-2. "MiniBioMuse-I"



図2 MiniBioMuse-I

図2は、筆者が初めて開発した初代の筋電センサ"Mini BioMuse-I"である。回路としてはOPアンプによる差動増幅回路を採用し、両腕のセンサ電極(パソコンのメモリ増設時に静電気破壊を避けるために利用するリストバンドを改造)だけでなく足首にハムをキャンセルするための第3の電極を取り付けた。OPアンプのために006P電池を2つ使用するなど課題も多かったが、VHSビデオテープのサイズながら筋電ノイズそのものをアナログ出力しつつ同時にA/D変換してMIDI出力する、という機能には、Atau Tanaka氏も良好な評価を与えた(後継機に期待表明)。

3-3. "MiniBioMuse-II"

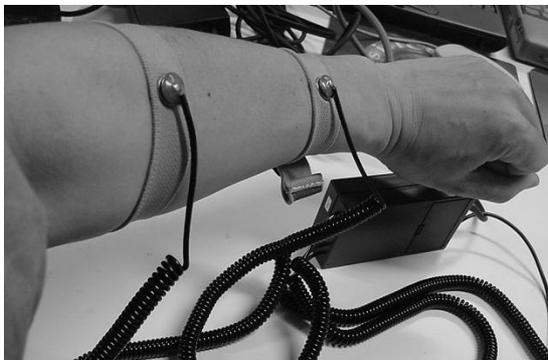


図3 MiniBioMuse-II

図3は、"MiniBioMuse-I"から新たな改良により開発した"MiniBioMuse-II"である。電子回路的には、ノイズの点で限界のあるOPアンプによるフロントエンド回路から、図4のような、高感度デュアルFETを用いたディスクリート・トランジスタ回路へと発展した。これは、特性の揃った2つのFETを金属ケースで熱結合した特殊なFETである2SK146によ

り、単一電源で良好な高倍率差動増幅回路を実現したものであり、小型ケースに2チャンネル*2電極とコモン電極の全ての回路を格納した。アナログ電圧出力はケーブルで延長したサブボックスでMIDI化するように分離した結果、照明などノイズ環境の劣悪なステージでのライブパフォーマンス(京都と神戸で公演)にも使用できる、という実績を得た。

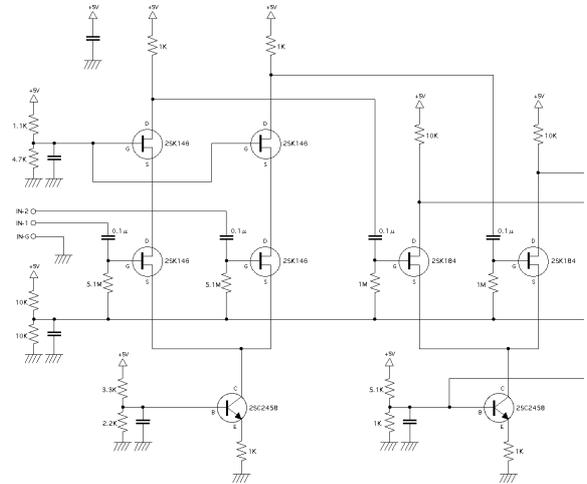


図4 MiniBioMuse-IIのフロントエンド回路(一部)



図5 MiniBioMuse-IIを用いた演奏風景

図5は、筆者の作品"Bio-Cosmic Storm"の京都での公演(1998年)の風景である。ステージ上のピアニストは両腕に"MiniBioMuse-II"のセンサを取り付け、そこから直接出力される筋電ノイズを音源としてSuperColliderでリアルタイム音響信号処理するシステムをコントロールするMaxのためのMIDI情報も同時に演奏出力した。ピアニストはステージ上のピアノの鍵盤に触れてはいけない、という指示のもと、鍵盤上空5cmでピアノ曲をシャドー演奏したりピアノそのものを押したりして、その筋電情報によりリアルタイムCGとともに楽音を生成した。

4. "MiniBioMuse-III"の開発

2000年から2001年にかけて、第3世代となる新しい"Mini BioMuse-III"を開発した。この筋電楽器については、後にいくつかのComputer Music作品の新作のために活用し、世界6ヶ国での公演において活躍した。以下、その構想・開発過程と概要・応用事例について紹介する。

4-1. 独立成分分析による多チャンネル計測

BioMuseのように腕に単一ないし2つの電極を用いるのではなく、腕をぐるりと巻くように多数の電極を用いて同時計測し、複数の筋肉の作用をパターン認識の一手法である独立成分分析(ICA)により検出する、という藤原の研究[14]と交流・情報交換する機会を得た。Atau Tanakaは電極の位置について独自のトレーニングにより(非対称な)適正設置場

所を獲得したが、この研究によれば、ベルト状の複数電極により情報検出とパターン認識の汎用性が得られる可能性があった。結果的には、この時にはICAの技術をシステムに生かすまでには至らず、次のステップへの課題として持ち越しとなり、これが本稿での新展開への布石となった。

4-2. ソフトウェアDSPIによるノッチフィルタ

ステージなど劣悪なノイズ環境で筋電センサを使用する上でもっとも問題となるハムノイズの除去手法として、古くから知られたノッチフィルタをA/Dセンシングのマイクロプロセッサのソフトウェアで実現する、という可能性を実験する段階が到来した。具体的には、文献[15]にある図6のようなアルゴリズムを、秋月電子・AKI-H8のCPUプログラムとして実装する実験を行った。

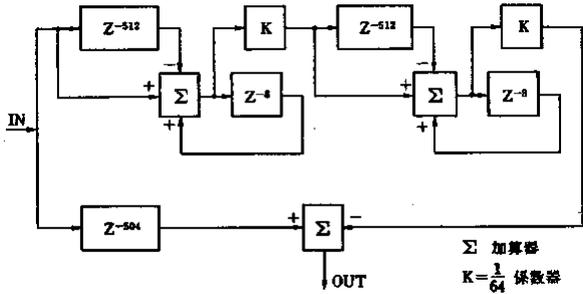


図6 ノッチフィルタのアルゴリズム例

"MiniBioMuse-III"の開発の過程で図6のアルゴリズムをAKI-H8に実装した結果、50Hz/60Hzのハム成分をカットする筈であったフィルタ出力は、実際には目に見えない(耳に聞こえる)違いを見出せないという結果であった。その理由は、(1) AKI-H8のアナログ入力A/Dを8ビット精度モードとして動作させた、(2) AKI-H8の内蔵RAMの容量からくる制限により、デジタルフィルタのビット幅として16ビット精度の確保が困難なため8ビット幅とした、という点にある。これにより、ビットシフト演算によって計算途中のデータが丸められて実質的には消滅してしまっただけで、8ビット幅の処理でも有効となる図6のアルゴリズムの一部をAKI-H8のソフトウェアとして実装して、何も無い状態よりは有意に有効なソフトウェア・フィルタリング(一種の積分型フィルタ)を実現することができた。

4-3. フロントエンド回路の改良

温度結合されたデュアルFET : 2SK146による図4の回路でもう限界と思われたフロントエンド回路についても、多チャンネル高密度実装を視野に入れた簡易型を狙いながらさらに性能を向上させる努力を進めた。具体的には、図14のように単一電源回路から3Vリチウム電池による2電源回路に変更して、オフセット特性とダイナミックレンジを向上させた。さらにフロントエンド回路にOPアンプによるローパスフィルタまで実装することとした。これにより、増幅回路としての性能を向上させつつ同時にA/D・CPU回路に至る信号ラインのローノイズ化を実現することができた。

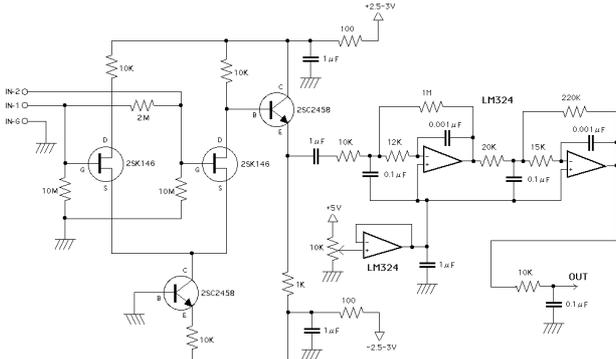


図7 MiniBioMuse-IIIのフロントエンド回路

4-4. 電極バンドの改良

前作"MiniBioMuse-II"までは、センシング電極として、静電気帯電防止用バンドを流用した簡易電極であったが、この部分を大幅に改良したオリジナル電極を制作することにした。



図8 MiniBioMuse-IIIの電極ベルト部分

図8はその電極バンド部分である。ベースとなっているのは介護用の伸縮ベルト(マジックテープで固定)で、ここに洋裁用の金属ボタンをカシメて、その上に純銀円板をハンダ付けした。前作まではこのボタンを単に嵌め合わせていたが、接触抵抗と接触不良があるために電線を直接にハンダ付けすることにした。2電極のペアが合計9列並んでいて、中央の1列がノイズ抑止のための差動回路の基準電位(アース)となる。

4-5. 高密度空中配線による実装

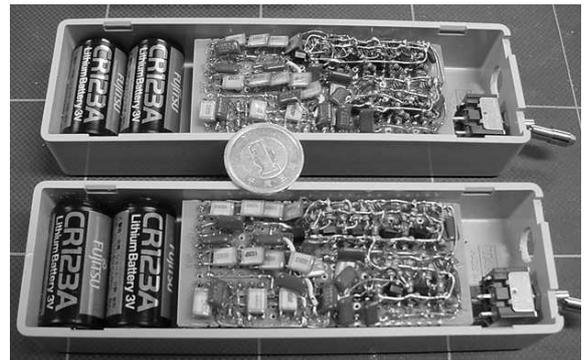


図9 フロントエンド部分(8ch+8ch)

図9は、両腕16チャンネル分が完成して、それぞれ2個のリチウム電池とともにケースに入れた様子である。図10は、この2個のフロントエンドボックスと接続する、AKI-H8の内蔵されたA/D - MIDIメイン・インターフェースであり、こちらは単3乾電池4本の+6V電源とした。



図10 メイン・インターフェース部分

図11は、この電極を装着した様子である。介護用ベルトは伸縮自在で無理なく密着固定でき、軽快なりボンケーブルとともに使用感は良好である。メインインターフェース

ボックスとの接続は図10に見えるフラットケーブルコネクタにより行う(向きが異なり混同しない)。

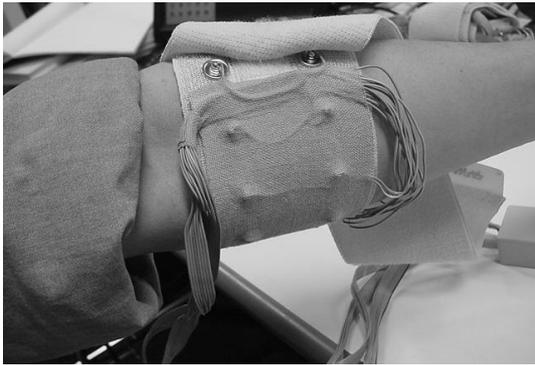


図11 MiniBioMuse-IIIの筋電ベルト装着風景

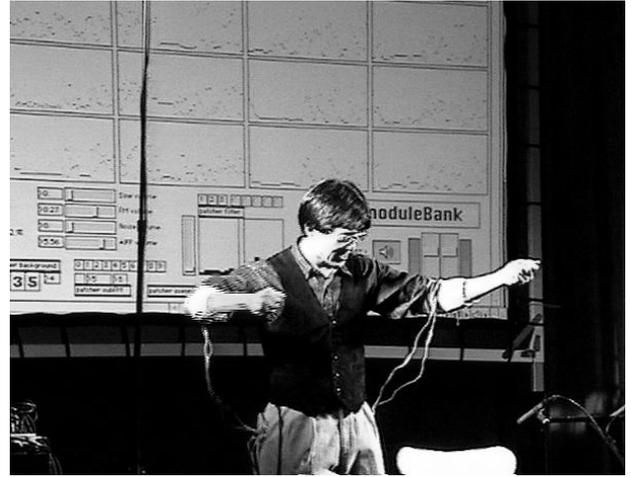


図12 MiniBioMuse-IIIを用いた演奏風景(1)

4-6. "MiniBioMuse-III"の応用・公演

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は以下である[16]。

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)(図12)

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)(図13)

コンピュータ音楽作品"Wriddle 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"Wriddle 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)

5. 第4世代の筋電楽器の開発に向けて

上述のように、第3世代の筋電楽器"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。



図13 MiniBioMuse-IIIを用いた演奏風景(2)

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。

5-1. フロントエンド回路

第3世代までは、デュアルFETなどディスクリート回路によって差動増幅回路を構成してきたが、最近の高入力インピーダンス高性能OPアンプの発展により、アナログデバイス社のAD627/AD8607を採用することにした。図14は実験中の回路例であるが、単一電源回路によって良好な性能のフロントエンド回路を実現できた。

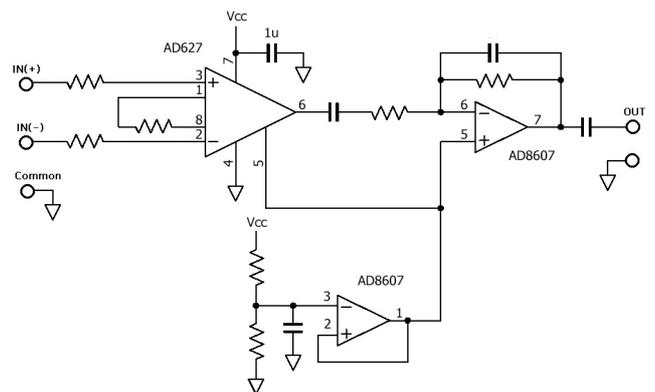


図14 新しい筋電フロントエンド回路の例

5-2. 筋電情報に対するFFT解析

第3世代までは、基本的に各チャンネルの筋電信号のパワー変化を音楽演奏パラメータとして検出する、あとはそ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、これだけでなく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ており[17]、本研究ではこの路線から、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。

このFFTパワースペクトル表示は簡単に実現できたが、その次のアイデアとして、「猫の喉をくすぐるようなジェスチャー」を認識しようとして、思わぬ壁に突き当たった。当初は、筋電情報のうち複数の指を曲げる動作に対応した周波数バンドのパワー成分を再び音響信号と看做してFFTをかけ、この超低周波バンド(1Hz以下の周期的振動)を検出することでジェスチャー認識できるのでは・・・と構想していたが、実験の結果、まったくこのような情報を獲得できなかった。

これは、筋電情報のスペクトル成分のうち40Hz以下は主に筋繊維刺激の発火頻度に対応していて、これは基本的にランダムパルスに近いために、FFTの特定周波数バンドに収まらないためであった。また40Hz以上の成分については、主として個々の筋繊維刺激パルスの形状に対応したものであり、希望する情報の獲得には関係なさそうである[17]。FFTのアプローチは現状、この段階で足踏み状態にある。

5-3. 筋電情報に対する独立成分分析

本研究で現在、検討している新しいアプローチは、第3世代の開発の時に検討したものの実際には適用しなかった、独立成分分析(ICA)の応用である。本稿執筆時点では、まだ具体的な実験結果について報告できないが、単なるパラメータマッピングに留まらない、ある意味で客観性のあるコントローラとなるための突破口として期待している。現在、課題となっているのは、多チャンネルの筋電情報を、できれば平均的なパワー積分情報として統合せず、個別の生情報のままでICAにかけて新しい意味を見い出すことが出来ないか、という部分で、色々と試行錯誤しているところである。

5-4. 筋電電極の新しい可能性

本研究で現在、あわせて実験・検討しているのは、これまでの純銀円盤電極に代わる、新しい筋電電極素材についてである。導電ゴム素材は色々な分野に応用されている新しい素材であるが、ゴム自体の組成もシリコンやプラスチックなど多様であり、また導体成分もカーボン粉末から銀粉末まで多様である。いくつかの簡単な予備実験でも、電極ベルトの締め付けが十分であれば、筋電センサとして実用的と思える成績の導電ゴム素材は見つかっており、最終的に人体に装着する筋電楽器のインターフェースの可能性について、これからも検討していく予定である。

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(ジェスチャー)を検出するシステムの開発を目指している。本稿では、これまでの3世代にわたる筋電楽器の開発の概要の紹介とともに、第4世代の筋電楽器に向けたセンシング・ハードウェアの検討、そしてジェスチャーの特性を分類して表現の可能性を拡大させるソフトウェアについて検討した。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/リンク

- [1] <http://nagasm.org/>
- [2] 斎藤正男、「生体工学」、電子情報通信学会、1985年、pp.33-57
- [3] 星宮望、「生体情報計測」、森北出版、1997年、pp.40-66
- [4] 細田崑一監修、「生体時系列データ解析の新展開」、北海道大学図書刊行会、1996年、pp.273-297
- [5] 上羽康夫、「手 その機能と解剖」、金芳堂、1970年、pp.169-190
- [6] シュフラー・S.シュミット、「からだの構造と機能」、西村書店、1998年、pp.113-117
- [7] 岩瀬善彦・森本武利、「やさしい生理学」、南江堂、1969年、pp.244-259
- [8] 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、1997年、pp.185-210
- [9] 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、1996年、pp.252-262
- [10] 池田謙一他訳、「生体工学」、コロナ社、1974年、pp.46-62
- [11] 戸川達男、「生体計測とセンサ」、コロナ社、1986年、pp.260-269
- [12] Atau Tanaka : Musical Technical Issues in Using Interactive Instrument Technology with Application to the BioMuse, Proceedings of 1993 International Computer Music Conference, 1993年
- [13] William Putnam : The Use of The Electromyogram for the Control of Musical Performance, Doctoral Thesis of Stanford University, 1993
- [14] 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、1999年、pp.41-46
- [15] 中村尚五、「ビギナーズデジタルフィルタ」、東京電機大出版局、1989年、pp.154-173
- [16] <http://nagasm.suac.net/ASL/ASL.html>
- [17] 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、2006年、pp.123-129