

# お触り楽器

長嶋洋一†

アールティ社が2013年に発表したPAWセンサ(2個のLEDと2個のフォトトランジスタが配置された空間をウレタンで充填封止)を用いて、過去に追求した「触らない」楽器シリーズと真逆の「触りまくる」楽器の可能性について検討した。2個のLEDを時分割点灯してそれぞれのフォトトランジスタ受光量をセンシングするので、センサ1個あたり4チャンネルの「揉む」「触る」ニュアンスを容易に検出できる。新楽器「Multi Rubbing Tactile Instrument (MRTI2015)」として、両手で抱えられる大きさの卵形のプラスチック容器に計10個のPAWセンサを両手の掌の指先で包み込むような配置で取り付けて試作した。マイコンにmbedを採用し8チャンネルの青色LEDのPWM発光機能も搭載し、ホストPCに対して115200bpsの高速シリアル通信でMIDIプロトコルに準じて双方向通信する。

## Multi Rubbing Tactile Instrument (MRTI2015)

YOICHI NAGASHIMA†

This is a report of a novel tactile musical instrument. This instrument is called "Multi Rubbing Tactile Instrument (MRTI2015)", using ten pieces of "PAW sensor produced by RT corporation". The previous research was focused on "untouchable" instruments, but this approach is turned into fully tactile - "rub" and "touch". The controller is mbed (NucleoF401RE), and it communicates with host PC via high speed serial (115200bps) by MIDI-like protocol. I will report the principle of the sensor, and detail about realizing the new system.

### 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]。また作曲の一部として多くの新しい楽器やインターフェースを検討・開発・公演して報告してきた[2-42]。本稿は2015年8月の音楽情報科学研究会・夏シンポにおいて「新楽器へのアプローチ」と題したチュートリアル講演も行う予定なので、過去のこれらについては省略して、2015年に新たに開発した新楽器について紹介するとともに、コンピュータ音楽における意味を議論したい。

### 2. その伏線

この新楽器は当初「うにうにセンサ」と呼んで開発してきたが、その伏線となったのは、一連の「触らない」楽器シリーズ[34][35][37]である。これは簡単に言えば「現代版マルチチャンネル・テルミン」ということであり、SHARPの赤外線距離センサを多数用いて、多チャンネルのテルミン(的な)演奏を行った。一方、新楽器へのアプローチとして、古典的なニーズ指向に限らないシーズ指向[28]の視点、さらに既存の伝統楽器や工業製品(非楽器)の改造[36]という視点も伏線となった。オープンソース文化の現代、日常的に、秋月電子や共立電子や浅草ギ研などから出て来る新センサにアンテナを張って、面白そうなものについて実験するというのは、広い意味ではComputer Musicに関わる者の「教養」として必須であろう。

そしてもう一つの伏線は、最近注目している内受容感覚に関連して、感覚の小人(ホムンクルス)として有名な図(図1)である。人間の感覚や運動能力において、このアン

バランスに大きな「手」(正確に言えば「掌と指」というのは、弦楽器・管楽器など既存の楽器のほとんどがこのチャンネルで人間と接している、という事実を改めて再確認させる。



図1 ホムンクルス(体性感覚野の体の地図)

実際に筆者は「触らない」楽器の一部として、強力青色LEDからの光を掌と指で反射させて受光素子で検出する(8+8)16チャンネルセンサを開発したが、この「空中モミモミ」操作による微妙な発音パラメータ制御(演奏行為)は、掌と指によるコントロール能力について再発見をもたらした。これは数世代にわたるオリジナル筋電楽器におい

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

でも同様に実感していたところであり、人間が楽器を演奏する、という接点として「手」「掌」「指」というのは今後もずっと王道であろう。

### 3. PAWセンサ

このような状況の中で、筆者は2014年に「PAWセンサ」[43-44]という謎めいた新製品の情報を得て購入していたが、実際に実験したのは2015年春になってからである。

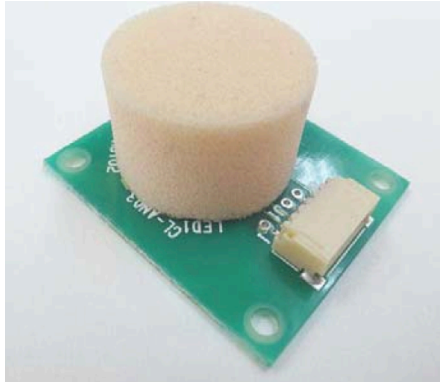


図2 PAWセンサ

(株)アールティが開発したというPAWセンサは図2のような外観であり、直径15mm×高さ10mmほどの円筒形のウレタンが21.5mm×25mmの基板の上に密着して載っている、という構造である。電源電圧/信号電圧は3.3V系なので、mbedやPropellerであればそのまま使えるが、Arduinoと接続する場合には電源に+5Vを与えないこと、アナログ入力電圧がフルスケールでなく3.3レンジ(実際にはこの範囲全体よりもかなり狭い)、という注意が必要である。

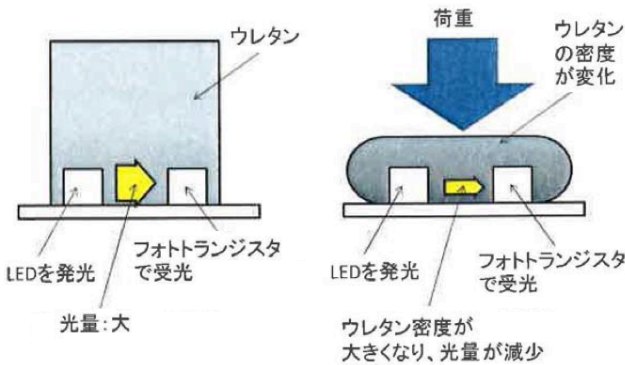


図3 PAWセンサの動作原理

PAWセンサの動作原理は図3のように非常にシンプルであり、ウレタン充填密封された空間内にあるLEDとフォトトランジスタのペアから、LED点灯時の受光電圧を出力する、というだけである。

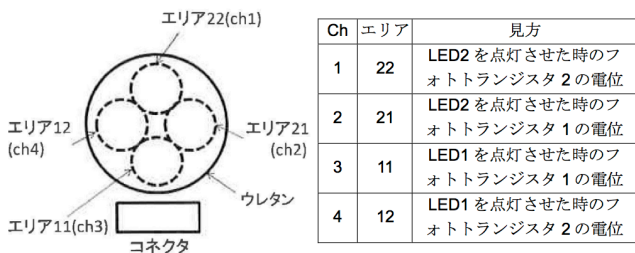


図4 PAWセンサのセンシング領域

ただしPAWセンサの内部には、図4のようにLEDとフォトトランジスタがそれぞれ2個、内蔵されており、これらは全て相互に影響し合う位置関係になっているところがポイントである。つまり、2個のフォトトランジスタの出力電圧は、LED1を点灯させた時とLED2を点灯させた時では異なるので、2個のLEDを時分割点灯させてセンシングすることで、たった2本のアナログ出力電圧から4通りの領域に対応した異なった変化を検出できるのである。ここで重要なのが、このセンサをうにうにと触るのが、図1にあるように、人間の体性感覚野・運動感覚野のいずれでも感度最大である掌の指先、というところで、弾力のある円筒形のシンプルなウレタンをうにうにするには最上のクリチカルな制御チャンネルである。

### 4. PAWセンサ～mbed～Max の試作

筆者はCQ出版「インターフェース」誌の2014年4月号に「生体信号の情報処理」特集記事を執筆した関係で、これまで触っていなかったmbedマイコン(NucleoF401RE)をマスターした[45-49]。そこでこのPAWセンサを実験するためにmbedを用いて、ホスト側にはMaxを用いるので、mbedから最高速の115200bpsのシリアル通信として出力し、Maxのserialオブジェクトで「疑似MIDIプロトコル」として受けるように設計した。その模様はWebに刻々と記載しているので興味のある方は参照されたい[50-52]。

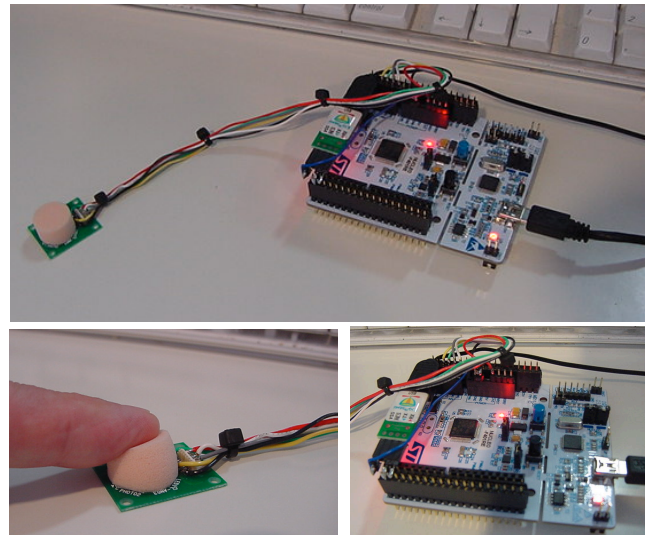


図5 試作した「うにうにセンサ」

図5は、NucleoF401REにPAWセンサを接続して、ホストPC(Mac)のMaxに対してUSBシリアル経由で送るために試作した「うにうにセンサ」の外観である。この時にはPAWセンサ用のコネクタケーブルが無かったので、基板に直接コードをハンダ付けしているが、後には純正ケーブルを入手して配線した。図6は、Max側で簡単な音声合成サンプルを入手して、このパラメータとしてPAWセンサのデータを適用し、ダミーとして簡単な音階を演奏ピッチとして与えた実験パッチの例である。なお、この動作はYouTubeで公開[53]している。mbed:NucleoF401REのソースコードはmbedサイトで公開しているものもあるが、この試作システムは実験機だったので[50]にあるソースを参照されたい。







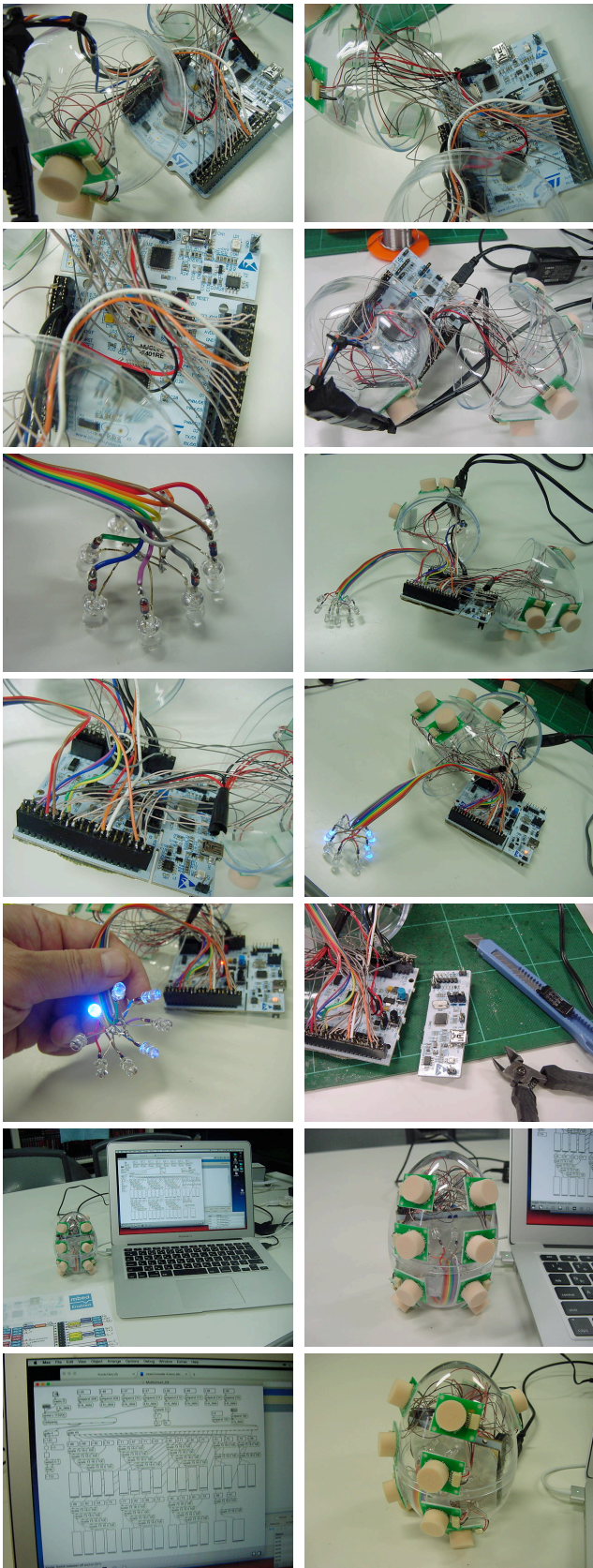
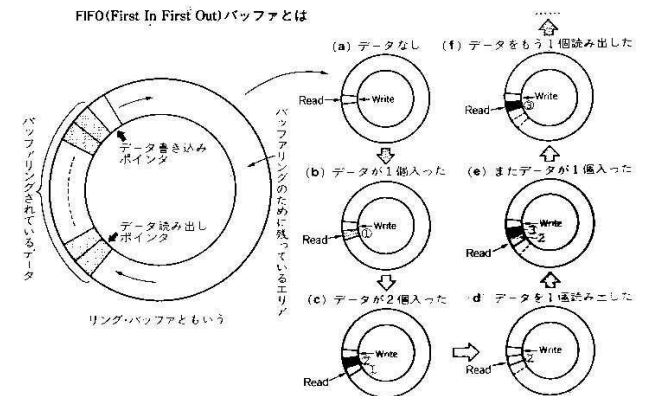


図10 製作の様子(2)

## 6. mbedとMaxに関する補足

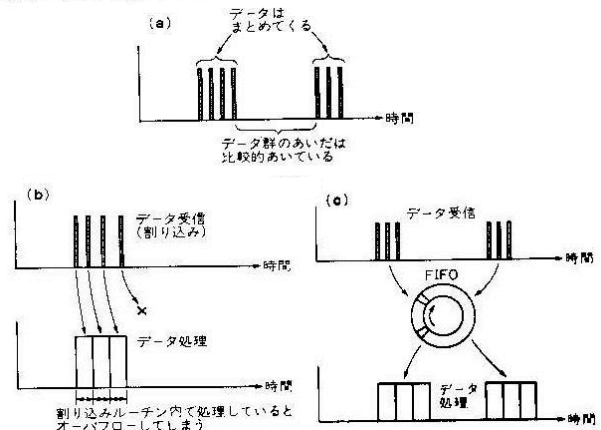
本稿執筆時点で、いつものように本システムの回路図をまだ描いていないが、資料[52]にある記述に従えば誰でも再現(複製製作)は可能である。ここでは新システムの開発

に挑戦してみたい若手のために、補足として新楽器開発のためのマイコン活用のノウハウを付記しておく。まず、資料[54-57]にあるMIDI送受信のためのFIFOバッファ(図11)[58]である。1983年からの歴史があり未だ現役のMIDI規格は、人間の演奏情報をセンシングして伝送するプロトコルとして十分な性能があるために、何度となく「より高速なMIDI」が提案されても生き残っている。しかしArduinoでC言語によりポーリングで記述すると、センサ情報を簡単にMIDI送信できるものの、少しのトラフィックでもMIDI受信を取りこぼして、まったく使い物にならない。



FIFOバッファ(リングバッファ)をMIDIに使う理由は図12(出展は[58])のように、リズム/ビートという音楽の本質により、人間の音楽演奏情報の伝送には時間的に大きな疎密があるためであり、マイコンであってもMIDI受信に割り込みを使うのは必須である。筆者が[52]などで公開しているmbedソースでは、シリアル割り込みハンドラでMIDI受信だけでなくMIDI送信についてもFIFOを定義して、メインプログラムでの時分割多重化処理に影響を与えないようにしてある。

FIFO バッファを使うケース



これまで、筆者の新楽器では基本的にいつもMIDIを使ってきたのには理由があり、「MIDIインターフェースを繋いだMax」ほど安定・確実なホストは他に無く、システムと共にプロトコルをオリジナルに定義していく新楽器開発において、情報伝送経路の信頼性が重要だったからである。しかし筆者が[59]で報告したLittleBitsSynthの拡張にお



いて、ArduinoのファームウェアとしてFirmata[60]を書き込み、ホストのMax側でmaxuino[61]を使うことでArduinoをGainerのように使ったこと、さらにmaxuinoを解析/改造して独自にMaxのserialオブジェクトにより制御可能としたこと[58]、これを発展させてSonyのFelica(SUICA等の交通系カードと互換)を簡単に読み込むRFIDリーダを開発したこと(図13)[62]により、MaxのserialオブジェクトでMIDIの31250bpsよりも高速な通信が身近になってきた。

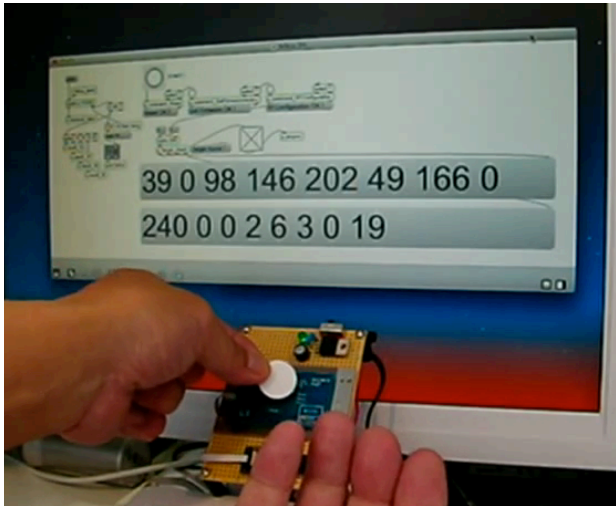


図13 MaxによるFeliCaリーダの実験

そこで本システムでは敢えてMIDIを使わずに、mbedのUSBシリアルポートを直接Macに繋いでMaxのserialオブジェクトにより通信している。ただしシリアル通信は基本的に1バイト単位なので、NucleoF401RE側では過去に開発したおなじみのMIDI通信ライブラリ[52]をそのまま使ってボーレートだけ115200bpsとし、Max側ではserialオブジェクトの出力をmidiparseオブジェクトで受けることで、通信プロトコルとしてはMIDI規格をそのまま活用している。もっともセンサ情報はいつものようにMIDI規格を外れて独自の定義でMIDIステータスに割り当てている。

本システムのmbed NucleoF401REプログラム[52]においては、ホストから新楽器に向けてのシリアル通信として、内蔵している8個の強力青色LEDのPWM点灯制御も実装している。ArduinoでもPWM点灯制御関数はよく使われていて、mbedのサイトにも標準的なPWMメソッドのサンプルが公開されているが、筆者はCQ出版「インターフェース」誌2014年4月号「生体信号の情報処理」特集記事でmbed自身によるFFT信号処理まで実装[45-49]したことから、オリジナルの拡張されたPWM処理ライブラリを完成させた。これは筆者が新楽器「GHI2014」の開発[63]の際に発見して実装した、PWM時分割スロットの処理単位時間を2の冪乗的に「粗く」する機能である。例えば100 $\mu$ sec単位でそれぞれのポートのLEDを7ビット分解能でPWM制御する場合、最小値点灯では「100 $\mu$ sec点灯、12.7msec消灯」、最大値点灯では「12.7msec点灯、100 $\mu$ sec消灯」となるが、この処理単位時間を2の冪乗的に増加させる筆者のライブラリでは、  
「0.2msec→0.4msec→0.8msec→1.6msec→3.2msec→6.4msec→12.8msec→25.6msec→51.2msec→100msec→200msec」

等となり、各LEDは人間の眼の残像効果を外れて激しく点滅させることが出来る。これは過去にもステージ上での演出効果として確認しており、本システムの「光る楽器」としての存在感に貢献している。

## 7. おわりに

2015年に開発した、多重tactileセンサによる新楽器の開発について報告した。音楽情報科学研究会・夏シンポでの発表の場において簡単なデモを予定しているが、これがおそらく国内初演(世界初演はその1週間前にシンガポールの予定)となるだろう。実際に本格的なサウンド生成・リアルタイムグラフィック生成と組み合わせて「作曲」するのは、その先であり、2016年に計画しているロシアツアーでの世界初演を目指していきたい。

## 参考文献/リンク

- 1) Art & Science Laboratory, <http://nagasm.org>
- 2) Yoichi Nagashima, Real-Time Control System for "Pseudo" Granulation, Proceedings of ICMC1992, International Computer Music Association, 1992.
- 3) 長嶋洋一, Virtual Musicianにおける演奏モーションの情報処理, 平成5年度後期全国大会講演論文集I, 情報処理学会, 1993.
- 4) 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 (95-MUS-16), 情報処理学会, 1996.
- 5) 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.
- 6) 長嶋洋一, ネットワーク上の分散マルチメディア環境とセンサを活用した即興セッションシステム, 平成10年度前期全国大会講演論文集2, 情報処理学会, 1998.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) 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.
- 10) Yoichi Nagashima, BioSensorFusion: New Interfaces for Interactive Multimedia Art, Proceedings of ICMC1998, International Computer Music Association, 1998.
- 11) Yoichi Nagashima, "It's SHO time": An Interactive Environment for SHO (Sheng) Performance, Proceedings of ICMC1999, International Computer Music Association, 1999.
- 12) 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.
- 13) 長嶋洋一, メディア・インストールーションを用いたインタラクティブ・パフォーマンスについて, 平成13年度前期全国大会講演論文集2, 情報処理学会, 2001.
- 14) 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.
- 15) 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.
  - 16) 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.
  - 17) Yoichi Nagashima, Interactive Multi-Media Performance with Bio-Sensing and Bio-Feedback, Proceedings of 2002 International Conference on Audible Display, ICAD, 2002.
  - 18) Yoichi Nagashima, Interactive Multimedia Art with Biological Interfaces, Proceedings of 17th Congress of the International Association of Empirical Aesthetics, IAEA, 2002.
  - 19) Yoichi Nagashima, Bio-Sensing Systems and Bio-Feedback Systems for Interactive Media Arts, Proceedings of 3rd International Conference on New Interfaces for Musical Expression, NIME, 2003.
  - 20) 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, AES, 2003.
  - 21) Yoichi Nagashima, Combined Force Display System of EMG Sensor for Interactive Performance, Proceedings of ICMC2003, International Computer Music Association, 2003.
  - 22) Yoichi Nagashima, Controlling Scanned Synthesis by Body Operation, Proceedings of the 18th International Congress on Acoustics, ICA, 2004.
  - 23) 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.
  - 24) 長嶋洋一, 音楽/芸術表現のための新インターフェース (NIME), ヒューマンインタフェースシンポジウム2006論文集, ヒューマンインタフェース学会, 2006.
  - 25) 長嶋洋一, GHIプロジェクト - 楽器が光ってもいいじゃないか, 情報処理学会研究報告 Vol. 2007, No. 37 (2007-MUS-70)/(2007-EC-7), 情報処理学会, 2007.
  - 26) Yoichi Nagashima, GHI project and "Cyber Kendang", Proceedings of International Conference on New Interfaces for Musical Expression, NIME, 2007.
  - 27) Yoichi Nagashima, GHI Project : New Approach for Musical Instrument, Proceedings of ICMC2007, International Computer Music Association, 2007.
  - 28) 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.
  - 29) Yoichi Nagashima, Parallel Processing System Design with "Propeller" Processor, Proceedings of International Conference on New Interfaces for Musical Expression, NIME, 2009.
  - 30) 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.
  - 31) 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.
  - 32) 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.
  - 33) 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.
  - 34) Yoichi Nagashima, Untouchable Instrument "Peller-Min", Proceedings of International Conference on New Interfaces for Musical Expression, NIME, 2010.
  - 35) Yoichi Nagashima, Untouchable Instruments and Performances, Proceedings of ICMC2011, International Computer Music Association, 2011.
  - 36) 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.
  - 37) Yoichi Nagashima, Untouchable Performance and Technology, Proceedings of Asia Computer Music Project 2011, ACMCP, 2011.
  - 38) 長嶋洋一, Computer Musicパフォーマンスはこの20年間で進歩したのか, 情報処理学会研究報告 (2012-MUS-96), 情報処理学会, 2012.
  - 39) 長嶋洋一, GHI2014 - 楽器が光ってもいいじゃないか, 情報処理学会研究報告 (2014-MUS-104), 情報処理学会, 2014.
  - 40) 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.
  - 41) 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.
  - 42) 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.
  - 43) PAWセンサー, [http://www.rt-shop.jp/index.php?main\\_page=product\\_info&products\\_id=1303](http://www.rt-shop.jp/index.php?main_page=product_info&products_id=1303)
  - 44) PAWセンサー取扱説明書, [http://www.rt-shop.jp/download/PAW/PAWsensor\\_manual\\_JP20131225.pdf](http://www.rt-shop.jp/download/PAW/PAWsensor_manual_JP20131225.pdf)
  - 45) 長嶋洋一, 筋電センサ関係情報, [http://nagasm.org/ASL/CQ\\_mbed\\_EMG.html](http://nagasm.org/ASL/CQ_mbed_EMG.html), 2015.
  - 46) 長嶋洋一, mbed日記 (1), <http://nagasm.org/ASL/mbed/>
  - 47) 長嶋洋一, mbed日記 (2), <http://nagasm.org/ASL/mbed3/>
  - 48) 長嶋洋一, mbed日記 (3), <http://nagasm.org/ASL/mbed3/>
  - 49) 長嶋洋一, Myo日記, <http://nagasm.org/ASL/Myo/>
  - 50) 長嶋洋一, Xcode日記 (1), <http://nagasm.org/ASL/Xcode/>
  - 51) 長嶋洋一, Xcode日記 (2), <http://nagasm.org/ASL/Xcode2/>
  - 52) 長嶋洋一, Xcode日記 (3), <http://nagasm.org/ASL/Xcode3/>
  - 53) 長嶋洋一, PAWセンサのデモ, [http://www.youtube.com/watch?v=n7K7x0\\_2dD8](http://www.youtube.com/watch?v=n7K7x0_2dD8)
  - 54) 長嶋洋一, MIDIについて, <http://nagasm.org/ASL/midi03/>, 1991.
  - 55) 長嶋洋一, Java & AKI-80, CQ出版社, 1997.
  - 56) 長嶋洋一, コンピュータサウンドの世界, CQ出版社, 1999.
  - 57) 長嶋洋一, 作るサウンドエレクトロニクス, <http://nagasm.org/ASL/mse/>, 1999.
  - 58) 長嶋洋一, プロ電子技術者のコモンセンス, CQ出版社, 1994.
  - 59) 長嶋洋一, 音楽エンタテインメントを「作る」~SUACスタジオリポート2014~, 情報処理学会研究報告 (2015-MUS-106), 情報処理学会, 2015.
  - 60) Firmata, [http://firmata.org/wiki/Main\\_Page](http://firmata.org/wiki/Main_Page)
  - 61) maxuino, <http://www.maxuino.org/>
  - 62) 長嶋洋一, FeliCa読み込みシステム, [http://www.youtube.com/watch?v=k\\_Gbw-4mxAc](http://www.youtube.com/watch?v=k_Gbw-4mxAc)
  - 63) 長嶋洋一, 新楽器「GHI2014」, <http://nagasm.org/ASL/GHI2014/>