

# 新楽器へのアプローチ

長嶋洋一†

この領域で多くのアプローチを重ねてきた立場から、音情研2015夏シンポのチュートリアルとして、新しくこの分野に挑戦したい方々に、ノウハウや注意点をまとめて伝授することで、日本発のユニークな新楽器の登場に寄与してみたい。具体的なメニューとして、(1)楽器の定義とは、(2)新楽器の歴史を技術的な潮流として解説、(3)新楽器に求められているもの(機能・仕様)のサーベイ、(4)新楽器と歌声合成の隆盛の原因は音生成技術の飽和(停滞)、(5)なぜ新楽器の開発が必要で伝統楽器では不十分なのか、(6)新しい音楽と新楽器の関係(ニーズ/シーズ)、(7)3つの陥穽:マッピング/レイテンシ/ユーザビリティ、という7つの項目から考察してみたい。

## Toward a new Musical Instrument

YOICHI NAGASHIMA†

This paper describes how to aim a new musical instruments. I will present some observations on the design, artistic, and human factors for creating musical interfaces and music controllers. Many example projects will be presented, and I will point out the key concepts..

### 1. はじめに

筆者はこれまで約25年間、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]。そして本稿の発表と同じ場である、音楽情報科学研究会・夏のシンポジウム2015(名古屋大)において、新たな新楽器の制作事例報告[2]を行うとともに、当初はオーガナイズドセッションとして「新楽器へのアプローチ」というタイトルで『音楽情報科学のテーマの一つである[新インタフェース/新楽器]に関する検討から、新楽器の開発だけでなく、認識・作曲・聴取支援などの領域にも関連した幅広い議論を提起してみたい』と企画提案した。しかし急な話のためオーガナイズドセッションとしては不発となったが、本稿についてはチュートリアル講演ということで受理されたものである。

当初の検討段階では、具体的な内容として、平田氏(はこだて未来大)のリクエストを受けて

- ・楽器の定義とは
- ・新楽器の歴史を技術的な潮流として解説
- ・新楽器と歌声合成の隆盛の原因は音生成技術の飽和(停滞)
- ・なぜ新楽器の開発が必要で伝統楽器では不十分なのか
- ・新しい音楽と新楽器の関係(ニーズ/シーズ)
- ・新楽器に求められているもの(機能・仕様)
- ・3つの陥穽:マッピング/レイテンシ/ユーザビリティ

という7つの項目を提示したが、その後、片寄氏(関西学院大)から、プリンストン大のPerry Cook氏の2本の論文[3-4]は欠かせない、とのアドバイスを受けて、6番目の項目を3番目に移動し、彼の論文にある総括的な提案をサーベイすることにした。なお、筆者自身がこれまで取り組んできた事例を本稿末尾の参考文献に並べても重複するだけなので、本稿と同じ研究報告に収録されている筆者の論文[2]の末尾にあるリファレンス[2-42]を参照されたい。

### 2. 楽器の定義とは

Computer Musicの業界では、本稿でテーマとする新楽器については大きく3種類、「New Instruments」「New Interfaces」「New Controllers」というような呼び方をしている。古典的なアコースティック楽器であれば、それ自体から空中に音響(音波)が生成放出されるのであるが、エレクトロニクス技術、後にコンピュータ技術ないし情報技術の時代となると、スピーカから空中に音響(音波)として出る前段に電気的信号があり、その電気的信号を演奏行為によって作り出す「電気楽器」が生まれた[5-6]。

本稿では主としてデジタル技術/情報技術の賜物としての新楽器を扱うので、まず古典的な電気楽器についてここで先に整理しておく、テルミンやオンドマルトノ等の電氣的発振器タイプの楽器、フェンダーローズ(音叉を叩く)・ Hammondオルガン(トーンホイール方式)・エレキギター等の電磁的ピックアップでアナログ振動を拾うタイプの楽器も立派に新楽器として歴史・意義を持っている。楽器の定義として共通するのは、音楽的な要請から生まれた楽器(後述のニーズ指向)と、新技術によって生まれた楽器が新しい音楽を生み出す(後述のシーズ指向)の違いはあるものの、いずれも「音楽の道具」として作曲家・演奏家・編曲家とのコラボレーションにより高度の音楽的/芸術的境地を目指している点を指摘しておきたい。

この意味で、本稿で扱わない領域を最初に列記しておく、まず「玩具/おもちゃ」は本稿では除外する。音楽的・教育的意義はあるが、明和電気やジャミネータ(改造して新楽器化した場合[7]を除く)は本稿では取り扱わない。また、「ジャイアント馬場でも指1本で光る鍵盤を追いかけるとメロディーが演奏できる」ような量産型工業製品の「お手軽電子楽器」も本稿では対象外とする。

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

### 3. 新楽器の歴史(技術的な潮流として解説)

前節の「電気楽器」[5-6]の歴史と重複しながら登場したのが「電子楽器」である。その歴史は加藤氏の文献[8]や筆者の文献[5]に詳しいが、当初はCPUの無い完全な電子回路による音源システムとして、大きく2つの流れに分岐した。その一方は鍵盤がピッチ電圧を与えるMoogシンセサイザーやRoland SYSTEM100のような「単音(モノフォニック)で豊富な音色の音響を生成する」シンセサイザであり、もう一方は初期エレクトーンのように鍵盤を楽音信号が通過し、音色のバリエーションは乏しいがポリフォニック(複音)演奏できる電子オルガン(当初の電子オルガンは「同時発音数=全ての鍵盤数」という仕様)であった。コンピュータ時代に登場した「同時発音数」という概念/制限により複音電子楽器の機能仕様が減退したというのは興味深い。いずれもヒューマンインターフェースとしては「鍵盤楽器」の形態を模しており、クラシックやポピュラーの伝統的音楽(12等分平均律に基づく調性音楽)の演奏に適していた点も指摘しておきたい。

電子楽器が大きく変貌した技術的トピックは、CPUの登場とLSIの進展にある。電子楽器に内蔵されるCPUプログラム(ファームウェア)によって鍵盤演奏情報を取得して、同時発音数の制限の下で音源システムに楽音生成情報を分配するアサイナ(assigner)アルゴリズムが生まれ(メーカーごと機種ごとに全て特許出願)、膨大な電子回路を搭載する音源LSIによって時分割多重化のデジタル信号処理によるポリフォニック楽音生成手法が達成され(メーカーごと機種ごとに全て特許出願)、ここに単音のシンセサイザと複音の電子オルガンに分かれた歴史が合流し、複音で自在な音色の楽音をリアルタイム生成するポリフォニックシンセサイザの時代が到来した。スタンフォード大・チョウニング博士が発明したFM音源はヤマハのCPU+LSI技術により名機DX-7となって世界を席卷した。YMOなどのシーケンサから発展したデジタル演奏情報の伝送プロトコルMIDIは既に30年以上の歴史を重ねつつまだまだ現役であり、現在の通信カラオケでゴージャスなサウンドがリアルタイム生成されている基本的な道具立ては、既に1980年代後半には確立して現在まで続いているのである。

1980年代にはまだパソコンが非力だったので、MIDIインターフェースを経由して外部に楽器メーカーの音源システムを繋いでいたが、1990年代に入るとCPUパワーが向上してソフトウェア音源の時代となった。過去からの膨大な特許の牙城に守られていた楽器メーカーを尻目に、アルゴリズムによって任意の音響信号を生成/再生/合成するソフトウェア音源システムは、CPUプログラムメモリのハードウェアとして固定されず任意に更新できることもあり、過去の特許に縛られない「ソフトウェアによる自由な楽音生成」が登場して現在に至っている。優れたリアルタイム楽音生成システムSuperColliderの作者はAppleに引き抜かれてMacOSのサウンドカーネルの開発者となり、フランスIRCAMで開発されたNeXTコンピュータ上の音響信号処理エンジンISPWのためのソフトMaxは1991年のMac版の登場から現在まで発展を続け、最初はMIDI情報だけだった処理対象がリア

ルタイム音響処理のMSP、リアルタイム3DCG処理のjitterと拡大してきた。意固地に強力な音響信号処理専用ハードウェアを持つシステムKymaは現在も続いているが、セプテンバーイレブンの翌週にKymaシステムを機内持ち込みしてヨーロッパツアーを敢行[9-10]するなどかつてKymaを愛用した筆者も今ではMaxに頼り切りになってしまった。仁義なき競争は常に続いているのである。

この1980年代から20世紀末までの時期には、新しい音源の登場にスポットが当たり、新インターフェース/新コントローラよりも圧倒的に鍵盤楽器の時代であった。図1はYESのリック・ウェイクマン(上)とELPのキース・エマーソン(下)であるが、当時の人気バンドのKeyboardといえ多数の鍵盤に囲まれる姿が定番だったのがよく分かる。



図1 1980年代のキーボード奏者

クラシック伝統音楽の世界で、その名の通り強弱を表現する究極の楽器として200年ほど改良が続いた歴史を持つピアノの電子楽器版では、個々の鍵盤のタッチをいかに検出するかに楽器メーカー各社は腐心した。MIDI規格は本質的には鍵盤楽器のための演奏情報プロトコルであり、個々の鍵盤ごとにピアノの打鍵速度をイメージしたイニシャルタッチ(ベロシティ)、さらにシンセサイザーの鍵盤全体を押す圧力に対応したアフタータッチ(チャンネルプレッシャー)が定義されているだけでなく、個々の鍵盤を打鍵した後で別々に押し込むポリフォニック・キープレッシャーまで定義していた事に驚かされる。技術的には、イニシャルタッチ(鍵盤を押し下げると順にONとなる2段スイッチのON時間差から打鍵速度を検出)がデジタル的に実現され、アフタータッチは鍵盤フレーム下に感圧センサを配置して実現した。ポリフォニック・キープレッシャー検出のために鍵盤ごとにアナログ感圧素子を配置するの

は、キャリブレーションとコストの関係でほとんど実現された事はなく(1000万円以上のフェアライトCMIとシンクラヴィアIIIでのみ実装)、オリジナル楽器でMIDIプロトコルをカスタマイズする場合には、ステータスバイト「0xA0-0xAF」を使っておけば既存の電子楽器とかぶらないので(対応する楽器が無いので共存可能)重宝する。

このように工業製品としての電子楽器ビジネスが隆盛する中で、Computer Music専門家の国際会議ICMCは1978年からの歴史があり、エレクトロニクス技術として新しいセンサが登場するとこれを使った新楽器が提案される、という発表の歴史が重ねられ、日本の某楽器メーカー技術者が発表せずにはICMCを聴講/録画し、翌年には何故かICMCで発表されたアイデアの新楽器が特許/製品として出てくるという風景も繰り返された。1995年にヤマハが出した初代Miburiは、正確に調整された曲げセンサで両手首・両肘・両肩の角度を0~5Vの連続アナログ値として検出する優れたシステムであるが、このセンサ情報を両腕の0度・90度・180度の角度の組み合わせ(図2)に強制クオンタイズするため、Wikipediaによれば“演奏中はロボットダンスを踊っているような動き”[11]となってしまう、全国の音楽教室の子供たちを北朝鮮のマスゲームのように同じ姿勢で演奏させようという事業部の目論見は見事に外れて“短期間で販売中止となった”[11]。この事実は本稿でも後述する「センサ情報と生成音響情報とのマッピング」に関して、伝説的な優れた反面教師となっている。



図2 YAMAHA Miburiによる音階演奏姿勢の例

筆者はイメージ情報科学研究所でこの初代Miburiのセンサ部分を切断して6つの関節の角度を検出する連続値MIDI出力センサに改造し、ダンサーなどのパフォーマンスの柔

軟なセンサとして、1990年代後半から2000年代前半までの多くの作品公演プロジェクトで活用した[12-18]。

河合楽器の研究開発者として1980年代後半に任意団体時代の音楽情報科学研究会で知り合った作曲家・中村滋延氏の作品公演のためのためのオリジナルセンサを開発したのが発端であるが、筆者はその後退社独立して1990年代を通して新楽器を色々開発し、ICMAに依頼されICMC2000(Berlin)にて“Sensors for Interactive Music Performance”というワークショップを行った[19]。この期間に開発した新楽器と作品事例が[19]に並んでいるので参照されたい。センサを上から順に列記すると、ドラムパッドと改造PowerGlove(Wireless化)、タブレット(描画情報で楽音合成)、16チャンネル衝撃センサ(グランドピアノ内に鎖や金属板を投げ入れた衝撃をセンシング)、改造ブルーワーカー(曲げをセンシング)、改造Miburi、Snakeman(赤外線ビームの遮断速度検出)、静電タッチセンサと筋電センサ、「光の絃」(縦13本横3本の赤外線ハーブ)、笙プレスセンサ、2チャンネル筋電センサ、改造琵琶PIPA(加速度センサ・ジャイロセンサ・衝撃センサ)等である。マイコンは秋月電子のAKI-80とAKI-H8だった。同様に筆者の関連テーマの講演[20-23]資料も参照されたい。

任意団体時代の音楽情報科学研究会が中心となって初めて北米/欧州以外で開催したICMC1993(早稲田大)において、当時スタンフォード大の院生だったAtau Tanaka氏が発表した生体センサBioMuseは翌年に製品として登場し、彼自身が筋電パフォーマーとして演奏(図3)する3人組のセンサーバンドは世界的に注目され、日本でも来日公演を行った。筆者はコラボレータの照岡正樹氏と組んで「100分の1のコストで作るBioMuse」というMiniBioMuseシリーズを3世代に渡って開発し、Atau Tanaka氏自身からも高く評価され、彼とは現在まで交流が続いている。筆者オリジナルの筋電楽器についての情報と作品公演記録のYouTubeリンク等は全て文献[24]にあるので参照されたい。



図3 BioMuseの演奏風景(Atau Tanaka氏)

国際会議ICMCはComputer Music全般にわたるため、その中に「新楽器」「新インターフェース」というようなテーマのセッションがあったが、ACMのHCIコミュニティから発展して、2001年にグラスゴーで「New Interfaces for Musical Expression」という名称の国際ワークショップが開催され[25]、これが翌年からNIMEという国際会議に発展した。創始メンバーの大部分はICMCでもこのテーマで発表していたので、新楽器をテーマとした研究者にとって、ICMCとNIMEの両方で発表できるメリットがある。筆者がAtau Tanaka氏とATRのMichael Lyons氏から「NIMEの日本開催」を打診されたのは2002年であり、大会委員長としてSUACでNIME04[27]を開催するので皆さん日本において下さい、とモンテリオールのNIME03[26]で招致演説するまでにどれだけの水面下作業があったか(外務省/文化庁/国際交流基金の名義後援、ヤマハ/ローランドの強力な支援、多数の助成申請、等々)を述べる紙面が無いのが残念である[27]。このような経緯もあり、2000年以降の新楽器・新インターフェースの歴史については、NIMEのサイトの過去記録[28]を掘り下げていくと、多数の写真や論文がどんどん出て来るので、ぜひ隅々まで参照していただきたい。

NIMEについては筆者も多くの機会に報告/発表してきたが[29-34]、ここではその中で「新楽器の歴史」という本節を締め括るに相応しい事例を1件だけ紹介する。自身が世界的にも優れたバイオリニストであり作曲家/ジュリアード音楽院教授でもある木村まり氏は、世界中の作曲家からComputer Music作品の演奏者として新作初演のオファーが途切れぬが、NIME04[27]ではNYのLEMURが開発した音楽演奏ロボットを従えた圧巻の演奏を披露した。図4はリハーサル中の木村まり氏と“GuitarBot”の風景であるが、Maxの音響認識で自身のバイオリン即興演奏に追従する高速反応のギターロボットを極限まで共鳴振動させ、遂には金属疲労でパイプが破断した(SUACの金属工房で溶接して修復)凄まじいまでの演奏者と楽器の緊張感あるバトルは伝説としてNIMEコミュニティに語り継がれている。

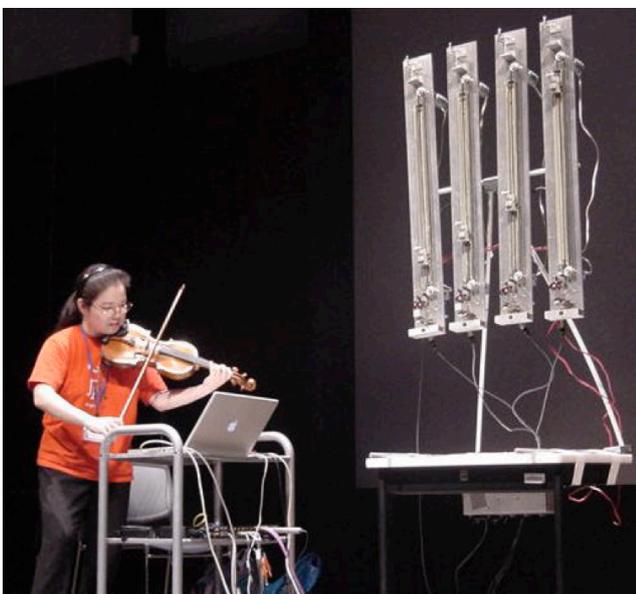


図4 リハーサル中の木村まり氏と“GuitarBot”(NIME04)

## 4. 新楽器に求められているもの(機能・仕様)

前節でざっくり新楽器の歴史をなぞってみたが、筆者の印象では、モバイルやユビキタスの時代に対応して安価で高性能な新センサが次々に登場してきたこと(筆者が1990年代に1個5万円で入手していた加速度センサ/ジャイロセンサが今では1個500円)、GainerやArduinoやmbedやXBeeなどのプラットフォームとスケッチング(物理コンピューティング)の台頭によるハードウェア・オープンソース文化の普及が新楽器/新インターフェースの隆盛をもたらしていると思われる。しかし新しい楽器と単なる技術デモの間には永遠の溝があり、ここを感覚的にでも理解しておかないと不毛な研究になる危険性がある事に留意したい。

本節では、新楽器に求められているもの(機能・仕様)として、プリンストン大のPerry Cook氏が2001年のCHIで発表した論文[3]と、これを検討/発展させて2009年のNIMEで発表した論文[4]をサーベイして、筆者と同様にこの世界で色々な新楽器を提案・発表してきた視点を整理する。この2本の論文内に掲載されている新楽器等の写真は紙面の都合で省略することもあり、筆者の拙い英語力のサーベイに頼らず、ぜひ原論文[3-4]を参照されたい。

Perry Cook氏の論文[3]のイントロ部分は期せずして上記の筆者の感想と一致しており、新しい楽器が生まれる背景として、多種の物理量センサが安価に登場し、マイコン/パソコンの性能が向上し、センサ情報を受けてリアルタイム音響/楽音生成するソフトウェアとユーザインターフェースが登場した事を挙げていた。ここで彼は3つのカテゴリに計13項目の原則(Principles)を提示している。

### 人間/芸術にかかわる原則

- 1) プログラマビリティは呪いです
- 2) スマート機器は、多くの場合、スマートではありません
- 3) 装置をコピーする、専門家の技術を活用することは、スマートです
- 4) 一部の演奏家は予備の帯域幅を持っているが、他は持っていない
- 5) 作品ではなく、楽器やコントローラを作ります
- 6) インスタント音楽、繊細は後で

### 技術的な原則

- 7) MIDI=ミラクル、工業設計された、(で)十分な
- 8) 電池は死ぬ(コマンドではなく、観察)
- 9) ワイヤは無線に比べてそれほど悪くはありません

### いくつかの他の原則

- 10) 新しいアルゴリズムは、新しいコントローラを提案します
- 11) 新しいコントローラは、新しいアルゴリズムを提案します
- 12) 既存の機器は、新しいコントローラを提案します
- 13) 日常のオブジェクトは面白いコントローラを示唆しています

この13項目をGoogle翻訳に突っ込んだ結果はおよそ上のようになった。10番から13番までの項目はそのまま自明なので、1番から9番までを筆者の視点も交えて日本語化しつつ解説していくことにする。ここには、8年後のPerry Cook氏の論文[4]においてそれぞれ改めて再考(さらに数項目を追加)している彼の意見も加味していく。

### 1) Programmability is a curse

「プログラマブル」の呪縛。新インターフェースがデジタル機器/情報機器である事は、ソフトウェア/ファームウェア/仕様変更によって自在に改訂出来る事を意味するが、いつになっても確定版とならない危険性を持つ。伝統楽器であれば最終形として完成しているので、演奏家は修

練によってその楽器を徹底的に自分に馴染ませる(自分がその楽器に馴染む)のに対して、新楽器が未成熟なまま新たな後継機に取って代わられる理由はここにありそうだ。新楽器を追求して行く上で、音楽表現のパートナーとして「納得いくまで完成度にこだわり抜く」姿勢が重要であろう。第1項目から、筆者もいきなり耳が痛い。

## 2) Smart instruments are often not smart

任意団体時代の音楽情報科学研究会(いわゆる「音楽サイド」の専門家がまだ多く存在した)時代の議論の中に、「操作が簡単なお手軽楽器」vs「操作が難解な繊細楽器」という議論があった。前者は音楽の初心者や一般に電子楽器を普及させるために有効だという説がある一方で、音楽の専門家は後者を譲らず、誰が演奏しても同じように鳴る楽器は音楽としてつまらない、と平行線であった。現在であればスマホやタブレット、あるいはKinectなど画像認識系でスマートに実装できる「楽器」を、おそらく後者派は心情的に支持しないだろう。ただしPerry Cook氏は機械学習や音楽情報検索の最近の研究成果が、後者の難解繊細楽器の演奏法習熟を支援する可能性を指摘している。

## 3) Copying an instrument is dumb, leveraging expert technique is smart

伝統楽器はそれぞれの歴史があり、IRCAM等で何度となくバイオリン風の新楽器が提案され続けているものの、やはり最高のバイオリンはアコースティックなバイオリンである。しかし、既に完成しているバイオリン、トランペット、マイクスタンド、ターンテーブル、ビートボックス、民族楽器などに敬意を表しつつ、これらの演奏法をテーマ/モチーフとした新楽器を目指すことには意義がある、という意見は筆者もまったく同感である。

## 4) Some players have spare bandwidth, some do not

優れた一部の音楽演奏家は一般には想像できないような演奏能力を持っているものの、トランペットのバルブは3個、トランペット奏者の指は10本、などの身体インターフェースのチャンネルには厳然たる制限がある。筆者のハンド付けの妙技はワークショップの場などで驚かれるが、普通の人には出来ない、両手で4~5点の部品を別個に空中保持するハンド付けによってのみ製作できる物もある。楽器についてもこれと同じで、極端には楽器制作・作曲・演奏を同一人物が行うことによってのみ実現できる世界が理想であるが、これはマイナーケースである。

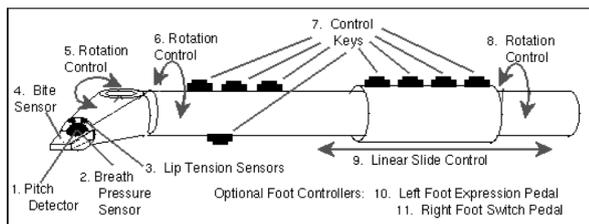


図5 The HIRN Meta-Wind Controller

図5は、Perry Cook氏らが開発した「思い付く限りの演奏情報センサを盛り込んだウインド楽器」の例であるが、

この楽器を完璧に演奏する演奏家も、この楽器の可能性を生かした優れた作曲/公演も、結局、出て来なかったというやや寂しい事実が象徴的である。

## 5) Make a piece, not an instrument or controller

楽器やコントローラを作るのが目的でなく最終目標は音楽作品の公演である、という重要な確認で、新たにこの世界に入るビギナーだけでなくベテランでも心せよ、というポイントである。音楽情報科学研究会に限らないが、国内の多くの「新楽器」学生発表が、単なる新センサの応用事例や玩具/エンタテインメント(ゲーム)程度のレベルの音楽に安住した単なる技術デモで終わっているのはとても悲しいことである。せつかくなら、この新楽器で世界に新しい音楽を出現させるのだ・という使命感を持って欲しい。なおこの項目については、2009年版では

### 18) Redesign with backward compatibility

と加えられている。つまり、新楽器を従来の新楽器の発展系として開発する場合に、下方互換性を持つことで過去の音楽作品の再演にも対応する、という重要性である。

## 6) Instant music, subtlety later

まずとりあえず簡単に演奏できる(MIDI音源に繋がれば音が出るコントローラ)、そして細かいことはその後によっけていけばいい、という視点である。新楽器・新センサというのは技術的に多くの問題を解決しつつ実現していくので、開発途中の動作確認などの場で、まずは状態パラメータがMIDI出力されれば、Maxで自由に確認/記録/再現できる。この意味で、未だにMIDI出力は有効な手法である。ちなみにこの項目については、2009年版で

### 19) Design (and pack) for post-9/11 travel

と付記された。あの9.11以降、新楽器の関係者は飛行機に持ち込む機材のチェックに悩まされるようになったが、その怪しげな機械に5ピンのDINコネクタがあると「音楽」と理解されたという経験があるらしい。しかしテロリストがMIDI端子のある爆弾を製作したら困ってしまうかも。

## 7) MIDI = Miracle, Industry Designed, (In)adequate

筆者は楽器メーカー時代から慣れ親しんでいるのでMIDIをいまだ活用しているが、Perry Cook氏も賛同してくれる事に勇気づけられた。ただし同氏が指摘するように、OSC[35]もまた汎用インターフェースの偉大な選択肢として共存している。筆者もMaxとSuperColliderとProcessingとをOSCで連携させてみた実績があり、最近では筋電センサMyoの活用にも役立っている。

## 8) Batteries, Die (a command, not an observation)

この項目で初めて、Perry Cook氏は2009年版で2001年の原則を否定した。21世紀最初の10年間とはモバイル/ユビキタス技術がバッテリーを画期的に発展させた時期であり、20世紀には頻繁な電池交換(筆者はアルカリ単3の7倍の寿命という1本400円の単3リチウム電池を、リハーサルが終ると本番前に必ず全て交換)の必要性からACアダプタによ

る電源ケーブルの意義が大きかったのに対して、体積あたりエネルギー密度の飛躍的な増大とニッカド電池→リチウムイオン電池という2次電池の発展により、合理的に新楽器/新インターフェース/新コントローラを電池駆動するデザインが認められてきている。現在でもスイッチング電源/ACアダプタが必要な局面は多数の高輝度LEDをドライブするようなケースであり、864個の高輝度LEDを用いた筆者の新楽器“GHI2014”[36]では12V20A(240W)の電力が必要なため、最初からバッテリー駆動は諦めた。

### 9) Wires are not that bad (compared to wireless)

この項目も2009年版では撤回された。BluetoothやXBeeや802.11(無線LAN)など、さらにWiiリモコンやiPhone/iPadなどのモバイル端末との連携により、新センサは演奏者の身体動作をケーブルで制限する制約から解放されつつある。最後に“Wires are still nice though.”と書くところが憎いが、筆者も個人的にはいまだワイヤード派である。XBeeなど無線インターフェースとUSBシリアルとMIDIとで、Max使いの筆者には同じserialオブジェクトなのであまり違いを感じない、というのも事実である。

- ★ New algorithms suggest new controllers
- ★ New controllers suggest new algorithms
- ★ Existing instruments suggest new controllers
- ★ Everyday objects suggest amusing controllers

2001年の13項目の「原則」の10番目から13番目に並ぶ上の4項目は、新楽器に限らず、およそデザイン教育に関わる者であれば世界中の誰もが同意できる常識である。ここにPerry Cook氏が2009年版で付記したのは、

**13b) Funny is often much better than serious**  
という、エンタテインメントコンピューティング研究会が喜びそうな視点である。古典的な現代音楽の専門家(←いまだ生存)が顔をしかめそうな意見だが、シリアスよりもファニーに行こう、というこの典型的ヤンキーの意見に欧州の専門家が同意するかどうかは微妙に疑問である。

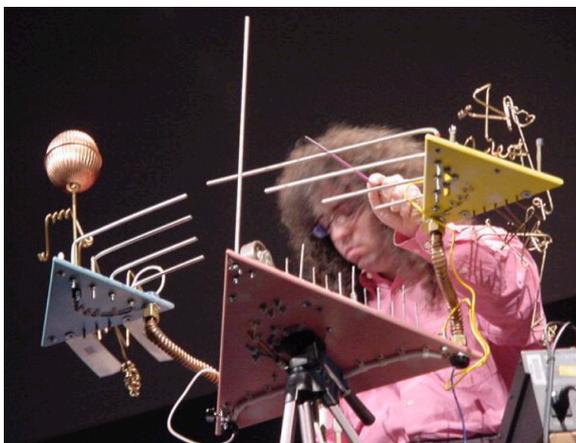


図6 “Mouseketier Praxis”の公演 (NIME06)

新楽器の研究に向けて上記の4項目★を体感するのに最適なのは、まずICMCやNIMEのコンサートセッションに聴衆として参加する事である。筆者はNIME04大会委員長としてNIME04の論文審査(採択率35%)とコンサートセッション(採

択率15%)の両方の審査に参加したが、審査委員のスコアシートには「新規性」「芸術性」「技術的卓越性」「NIMEコミュニティへの貢献度」などのチェック点があり、ダブルブラインドの厳正な審査を経て採択された作品の発表公演は圧巻である。図6は、NIME06(Ircam)[33]のコンサートでのMark Applebaum氏の作品“Mouseketier Praxis”の公演の様態であり、欧州ならではの芸術性を示した。仕掛けとしては多種の金属体を並べた打楽器であり、各サウンドをライブサンプリングしてリアルタイム信号処理するというスタンダードな楽器/システムであるが、作曲家の個々の打撃音(音素材)と奏法へのこだわり、深い音楽性に裏打ちされた構成と高度な演奏技法、音響信号処理の細部にまで精密に作り込まれた音楽生成アルゴリズムは他作品を圧倒し、会場でも絶賛された。まさに楽器があり音楽がある、音楽のための(古くて新しい)新楽器であった。



図7 “Children of rainger”の公演 (NIME06)

図7は同じNIME06のコンサートでの、BentLeatherBandの“Children of rainger”の公演の様態である。皮と木を使用した美しいフォルムのこれら吹奏楽器はまるで歴史ある伝統楽器に見えるが、中身はセンサとコンピュータの塊なのである。近代的/テクノ的な外見でなく、風貌や材質からこだわった欧州の専門家の姿は美しかった。筆者の過去の新楽器の中にも、これらICMC/NIMEコンサートで触れたユニークな発想に刺激/触発されたもの[37]、逆にあれならもっと上手く出来ると敢えて作ったものも少なくない。

Perry Cook氏の論文[4]には、NIME2007で追加提案したさらに数項目の「原則」があるが、ここでは省略する。筆者の見るところ、追加されている項目は21世紀になって人類が遭遇している文化的側面に影響され、初心にあった筈の音楽そのものからやや乖離した提言に変貌している印象がある。これは美学・哲学・広義のエンタテインメントなどにも関わる事であり、関連した研究を進めている[38-45]筆者としても興味あるところであるが、本稿のテーマからは逸脱してくるので深入りを断念する。

## 5. 新楽器と歌声合成の隆盛の原因は音生成技術の飽和(停滞)

前々節で紹介した新楽器/新インターフェースの隆盛をもたらしている技術的背景に加えて、音楽情報科学的に言えば、この原因は他にもあると思われる。これは日本発で

ブームになっている歌声合成の流行とも関係しているのだが、一言で言えば「音響/楽音生成技術の停滞」である。かつて1990年代にICMCに挑戦する日本人研究者の合言葉といえば、大矢健一氏の名言「男は黙って楽音合成」だった(楽音合成する女性研究者もいたので差別的な意味は無い)。本稿で扱う「楽器」とは第2節の定義のように、スピーカから空中に音響(音波)として出る前段の電気/電子的信号を演奏行為によって作り出すものであり、第3節の「新楽器の歴史」はそのまま同時に「楽音合成/音響生成の歴史」でもあった。12音平均律に基づく、つまり音階のあるようなサウンドであれば鍵盤楽器や自然楽器のメタファーで演奏できるが、音声合成(→後の歌声合成)やGranular Synthesisなどのような音響生成システムを鳴らす楽器であれば、より身体動作に直結したインターフェース/コントローラが求められるのは必然だった。そして幸運な20世紀後半の時代、「半導体技術の進展+コンピュータ技術の進展+楽音合成/音響生成技術の進展」は幸運な**タイアップ**で互いに刺激し合いながら新楽器(と新しい音楽?)を生み出しつつ発展してきたのである。

サウンドを生成する音源技術について改めてザッとおさらいすると[5][8]、テルミンのサイン波と初代ファミコンのような方形(PWM)波/鋸歯状波/三角波から始まり、単音のシンセサイザではVCO/VCF/VCAをADSR時間変化するEGで変調し、複音の電子オルガンでは簡単なフィルタで伝統楽器の音色(バイオリン/フルート/オーボエ等)に似せた。スイッチトオンバッハや富田勲やYMOなどが流行し、ヤマハのFM音源の豊富な非整数倍音の登場やハービーハンコックのボコーダ音声の登場も一世を風靡したが、ここに1980年代のPCM音源の登場がとどめを刺した。伝統的なアコースティック楽器のサウンドをスタジオで精密に収録したPCMデータは、音域/音量/持続時間(減衰音:ピアノの最低音だと1分間)の組み合わせで膨大になったが、天文学的と思われた自然楽器の良好なPCM音源がムーアの法則によってパソコンに実装されるようになると、「新しい/珍しい/ヘンな」楽音を求めているのは実は少数のちょっと変わった研究者/マニアだけである、という事実が世界的に判明してしまった。楽器メーカーが手を替え品を替え新シンセサイザを発売しても、小型キーボードでも携帯電話の着メロでも立派に自然楽器のリアルなPCMサウンドが出てくれば、一般大衆はクラシックやポップスやロックのサウンドをPCMやMP3で楽しむことで、それ以上のヘンな音など無くてもまったく困らないのだった。CD→MD→iPod→携帯、と良質なサウンド/音楽が持ち歩いて、カラオケでプロの演奏家と同等以上の良好な音響を体験でき、DTM(打込み音楽)とMIDIの普及が音楽大学出身のスタジオミュージシャンを駆逐した。現在、市販されるポピュラー分野の音楽CDで楽器パートを人間がまったく演奏していない(全て打込み)ものの比率はどれほどであろうか(80%? 90%?)。

安価なPCM音源が登場/普及するずっと前から、伝統的なアコースティック楽器のサウンドをロックやポップスに使いたいという音楽的要請に応えた電気楽器といえば図7の**メロトロン**[46]である。全ての音階の自然楽器のサウンド

を録音したテープの再生機を鍵盤数だけ並べ、鍵盤を押すと対応したエンドレステープに再生ヘッドが触れて音が出るという発想と、それを力づくで実際に実現してしまった1960-1970年代の音楽関係者のパワーには頭が下がる。図1(上)でもちゃんとメロトロンはミニムグの下にある。

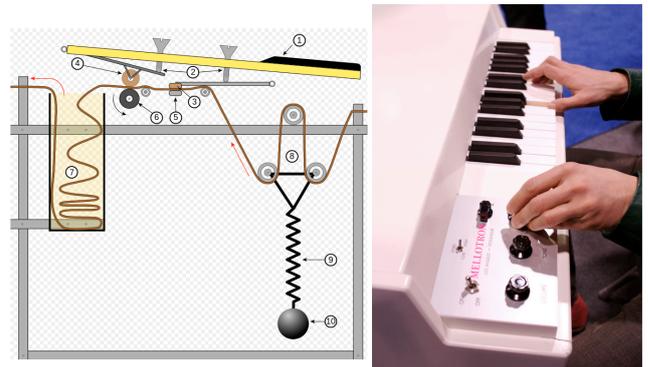


図7 メロトロン(Mellotron)

この新楽器メロトロンは半導体技術の進展を受けて、当然のように**サンプラー**に進化した。テープの摩耗がない半導体メモリのサンプリング音響のMIDI制御による無制限の再生は、テープ音楽で従来の録音テープ切り貼りに比べて1000倍から10000倍以上の効率化を実現した(美術における**コラージュ**のサウンド版)。そしてライブ音楽では、**DJ**や**ラップ**という新しいスタイルの音楽を飛躍的に発展させた。新楽器が新しい音楽を導いた好例であろう。

このように良好なPCM/サンプリングサウンドが簡単に入手できる時代となった21世紀は、新楽器にとって試練の時期となった。新しいセンサやインターフェースが登場しても、肝心の鳴っているサウンドはMIDI情報として良質のPCM音源(伝統的なアコースティック楽器の良好な録音サウンドの再現)やサンプリング音で十分である(平均律の音体系)とすれば、演奏者や作曲家を惹き付ける魅力ある楽器になかなか到達しない。このフラストレーションは、IRCAMを会場としたNIME06において、TENORI-ONを颯爽と発表したヤマハの技術者に対するNIME参加者の不満に如実に現れていた。Miburiの教訓を生かさず、せっかく面白いインターフェース(ディスプレイと一体化したコントローラ)なのに、内蔵音源に限定して肝心のセンサ生情報外部に出力されない、というのでは、楽音合成/音響生成の専門家が新インターフェースを活用したい新しい音楽の可能性の芽を最初から摘んでしまっているのである。TENORI-ONのコンセプトリーダーである岩井俊雄氏は、NIME04の基調講演(Robert Moog博士との豪華2本立て)において、自身は音楽が得意でないと宣言しており、ダイアトニックスケールから任意に音を選んでおけばオルゴールのように音楽的に破綻しない(そこそこ聞ける音楽)、という人類の音楽的経験則の枠内でのみ活動しているので仕方ないところがあるが、内部のマイコンが取得しているセンサ情報をoptionalに外部出力できる仕様は、21世紀型の楽器メーカーであれば最低限の標準機能とすべきだ、と提唱しておきたい。

このような困難な環境でも、技術的な可能性(新センサや3Dプリンティング等)から新楽器は続々と提案されてい

るが、これは楽音合成/音響生成技術の飽和しない停滞による産物とも言えそうである。ICMCなどでも、Granular SamplingとかScanned Synthesisなどが出てきて以来、画期的な楽音合成技術は停滞している印象がある。かつて楽音合成/音響生成を追求した研究者は、PCM/サンプリングでないリアルな物理モデル音源に傾注しているものの、いくら出来ても、モデルとしている古典的/伝統的アコースティック楽器の中途半端な模倣でしかないのは寂しい。ちょうどこのような状況にハマったのが**歌声合成**なのだろうが、歌声合成を音源とした場合、これを音楽的に納得いくまでコントロールする楽器とは何だろうか。図8のステラーク[47]のように**身体のあちこちに生体センサを埋め込む**しかないが、ちょっと頑張って練習して、カラオケでもバンドでも自分の歌声として実現する方が幸せ、という音楽の真実は揺るがないのである。ボーカロイドを好きなマニアが聞いて(再生して)楽しむのは自由であるが、ボカロ音源をリアルタイムに演奏して鳴らす新楽器、というのは暫くは困難だろう。少なくとも鍵盤楽器では意味がない。

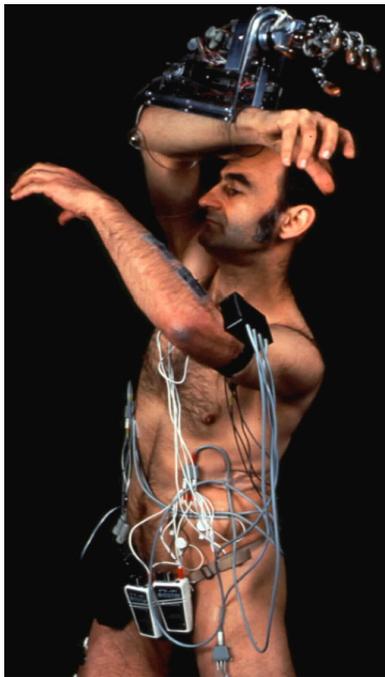


図8 ステラーク (Stelarc)

## 6. なぜ新楽器の開発が必要で伝統楽器では不十分なのか

本節と次節は平田氏からの質問項目に対応したものである。伝統楽器で古典的な伝統音楽を演奏する、という範囲であれば何も問題はない。淘汰され生き残ったクラシックの名曲を、伝統的なアコースティック楽器の練習を重ねて創造的/画期的な解釈とともに再現演奏する、というのは世界中のクラシック音楽家や大部分の音楽大学の目標である。即興に重点を置いたジャズ演奏においても、音楽の道具(パートナー)は手慣れた伝統楽器で十分である。ポップスやロックでは、楽器が複雑な演奏技法を支援するお手軽機能をサポートすることで、素人バンドでもそこそっぽっぽい(あまり変わらない)演奏が出来たらとても嬉しく

て、ビジネスとして市場がある。商業音楽では新楽器の出版はほとんど無いのである。

新楽器に頼らずに、伝統楽器(と修練により卓越した演奏家)によって新しい音楽を創造したい多くの現代音楽の作曲家は、古典的な調性音楽の枠組みとか12等分平均律とかリズムを破壊した枠組みで、なおかつ伝統的な楽器によって表現される音楽を模索するため、一般聴衆にとって聞きやすくも美しくも美しい音楽が多くなる。予定調和を排するために繰り返し無く「一寸先も見えない」現代音楽に聴衆は不安になる(一線を越えた現代音楽好きにはこの先行き不安こそが楽しい)。音色についても、伝統楽器を使いながら伝統的でない音色の現代奏法が求められて、たいていの場合には伝統楽器が培ってきた美しい音色を取ってノイズで破壊する方向に突き進むことになる。吹奏楽器を吹きつつ歌ったり唸ったり、ピアノの蓋を開けてバチで叩いたり物を投げ入れたり、本来あり得ない奏法として楽器を擦ったり捻ったり叩いたり傷つけたりして、音色や表現の可能性を拡張させてきた歴史が20世紀後半の現代音楽の一つの姿であった。

そこで新楽器、なのである。そこまでしてせっかくの伝統楽器を痛めつけるのであれば、いっそのこと全く新しい可能性を楽器自体に求めてもいいではないか、という姿勢の現代音楽の作曲家も出現した。もちろん新楽器を開発する研究者の方でも、必死に音楽理論/音楽美学を勉強して、新しい奏法・新しい音響・新しいスタイルの音楽を実現するためのパートナーとして新楽器に光を当てようとする。筆者の iPod に入っている音楽の多くが1970年代のプログレとJPOPであるというのは公然の秘密だが、漫然と聞き流す時の音楽は馴染みのクラシックでも懐かしいフォークや演歌でもいいのである。しかし一転してコンピュータ音楽に向かう時には、何か新しい音響/インタラクション/表現を求めてLive Computer Musicに取り組む。音源技術が停滞してもPCの性能向上とともにライブ音響信号処理能力は日々進展しており、伝統楽器のプロ演奏者に依頼して、クラシックでは使わないノイズの多い特殊音響を現代奏法で鳴らす。楽譜は**図形or無し**(アドリブ)で、演奏家自身が自分が生成に関与する音響を聞いて即興的に反応するように求める。ある**笙**の演奏家からは「そんな下品な演奏(アタック)をしたら師匠に破門されます」と拒否された。

1997年あたりからのComputer Musicは、(筆者と同様)ほぼ世界的に「伝統楽器の卓越した演奏をライブサンプリングしてライブプロセッシングする」スタイルの作品が主流となった。ここに、柔軟なインターフェースorコントローラとして、新たな意味で新楽器が面白く絡んでくる。演奏者の身体動作/表現はクラシックでも素晴らしいが、聴衆の予想を超えるサウンドやビジュアル要素までも即興的に自在に展開できる素地が整ってきた。例えば1990年代初頭に、中村滋延氏から演奏者の[光線を手刀で切る]・[箱を持ち上げる]・[物を投げる動作]などの身振りでサンプラーを鳴らしたい、という構想を受けて支援する新楽器を作った時代から発想/目的はあまり変わっていないが、実現できる音楽が飛躍的/画期的に拡大したのである。

## 7. 新しい音楽と新楽器の関係(ニーズ/シーズ)

既に「新しい楽器が新しい音楽を創る」「新しい音楽が新しい楽器を求める」という音楽における両輪の潮流についていくつか述べてきたが、ここでは改めてニーズとシーズの視点から、この課題について検討したい。本節でのニーズとは作曲家/演奏家/聴衆が従来の楽器では実現できなかった音楽的表現を新楽器に求めることであり、またシーズとは技術者/研究者/デザイナーが従来の楽器を越えた何か新しいものを提案して作曲家/演奏家の感性にアピールして新たな音楽に向かう、という事になる。

### 7.1 「新しい音楽」とは?

ここで最初に確認する必要があるのは、**新しい音楽**って何だろう? という問いである。世界中で毎日、新しい音楽(著作権にかからなければ原則的にはパクリでなく新しい)が生産(CD発売/ネット配信/YouTube/ニコ動/路上ライブ)され続けている。たった12音のクロマの組み合わせでよくも尽きないと思うが、これからも毎日、新しい音楽が出ては消費され続ける。どれも同じようなものじゃ、と言ってもヒットチャートを賑わす音楽から誰も見向きもしない音楽まで、ほとんど同じ音楽なのに行く末は天と地ほど違う。後藤氏ら産総研のSongle[48](図9)は「独自の音楽理解技術に基づき楽曲の中身(サビ/ビート/メロディー/コード)を自動解析して[音楽地図]を表示する可視化機能や、代表的で盛り上がるサビなどへ自在にジャンプできるサビ出し機能をもつ音楽鑑賞システム」であり「ユーザは[音楽地図]によって繰り返しなどのさまざまな観点到に気づくことで楽曲に対する理解を深め、サビ出し機能によって興味のある箇所を容易に見つけて楽しみながら鑑賞することができ、さらに自動解析の誤りをユーザが自発的に訂正できるインターフェースも提供することで、ユーザの訂正協力によってより正確な[音楽地図]を共有して表示」できるという[49-50]。しかし、ある音楽がイケてるかイケてないかはまったく教えてくれない。もちろん、いま分析している対象が**新しい音楽**かどうかとも知りえない。ここを深く考察しない限り、先には進まないのである。

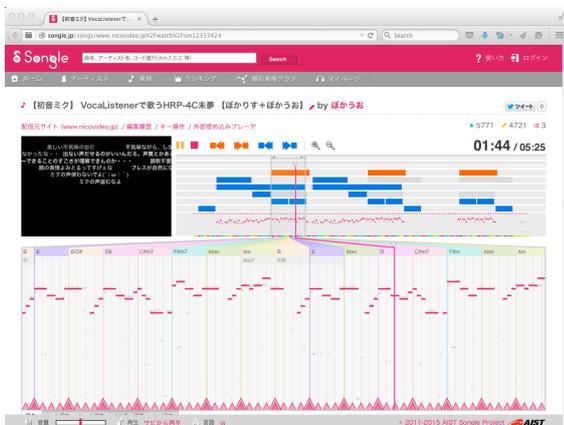


図9 Songle(産総研)

### 7.2 新楽器が活躍する場は新しくない音楽?

ヘンデルやモーツァルトの端正で軽快なピアノ音楽は当時の鍵盤楽器がハープシコード(弦を叩くのではなく引っ掻いて発音するのでほとんど強弱が無い)の段階だったため、これがベートーベンやリストの劇的/情熱的な新しい

ピアノ音楽に進化するには、鑄造フレームに高い張力で張られた剛体弦を打撃するハンマーと、毎秒20回近い連続打鍵を可能にするアクションを持つ、現代に通じるピアノが出現する必要があった。新楽器が新しい音楽をもたらした歴史の好例であるが、100年ほどかかっている。

これに対して20世紀に登場した新楽器**テルミン**は、YouTubeで検索すると多数の名演が出て来るが、演奏している曲目の多くはクラシックのバイオリン曲(サンサーンスとかシューベルトとか)であって、考えてみるとテルミンのために作曲された現代音楽作品で有名なものは無い。**オンドマルトノ**と言えばメシアンの「トゥランガリーラ交響曲」であるが、元々テルミンほどメジャーな新楽器ではない。**ミニム**が世界的に有名になった契機はスイッチト・オン・バッハであり、新しいサウンドが大衆に受け入れられた理由はバッハの名曲であったから、とも言える。シンセサイザの革命となったFM音源の**DX-7**は南米のポップス演奏に欠かせない楽器として浸透したと言われるが、その理由は低価格で壊れにくいから、とされた。**Miburi**同梱VHSデモビデオの音楽はよくあるFM音と中途半端なポップスでちっとも新しくなく(優れた関節角度の連続値センシングを殺したので仕方ない)、20世紀に製造販売された新楽器はあまり新しい音楽を喚起していない、という事実を確認する必要がある。人類の音楽への感性が進化するには100年単位の時間がかかるので、膨大な新楽器のほぼ全てが捨て石として消える覚悟も必要なのだろう。

### 7.3 音楽の基礎理論から新楽器を考える

音楽の基本的な協和原理や音律の理論[51]から、人間に共通に好まれる音体系の理論的枠組みというのは、中世のオクターブ/完全4度/完全5度のみを協和音程とする時代、ルネサンス/バロックに入って長3度/短3度まで協和音程として3和音を認めた時代、ロマン派を経て現代のポップスに至る全音/7th/USTなどのテンションノートまでを協和音程と許容する時代と進展してきたが、要するに平均律に基づく調性音楽という枠組みは不変である。12音から5音(ペンタトニック)だけ選ぶと民族音楽や童謡や演歌になり、7音を選ぶと各種スケールに対応した音楽スタイル/ジャンルとして自然に受け入れられる、飽和し安定した感性の時代である[52]。このヒューリスティクスを自動作曲システムとして整理/集結/実装したのが、筆者がIPA[未踏]プロジェクトに採択された「コンテンツクリエイターのための著作権フリー音楽クリップ生成システムFMC3(Free Music Clip for Creative Common)」[53]であり、理論的に妥当な音楽要素を天文学的な組み合わせからランダム生成するので著作権の心配が無いことになっている。

楽器が出す「音」の3要素は「ピッチ(音高)」「音量」「音色」であるが、**ピッチ(音高)**は上記のような縛りがあり、ポルタメントやグリッサンドやビブラートで時間的に変化させるとしても、メロディーやハーモニーのある音楽においてクロマの音体系の枠組みは破壊できない。13等分/17等分/41等分とかの変則平均律は、歴史的に協和の美と機能と声との相克を深く模索してきた**音律 temperament**[51]の歴史と議論の前にはあまりに利根的で

魅力も説得力も無い。現実には、音律を語る多くの専門家が実は数セントすら聞き分けられないのだ。

音の3要素のうち音量については、ICMC2000(Berlin)でのAtau Tanaka氏のOff-ICMCライブ(図10)が教訓となる。暗い部屋で、骨の髄まで響き渡る強烈な音量(デスマタルのライブの10-20倍を想像されたい)は、演奏者とスタッフと聴衆の全員に**耳栓が必須**で、耳栓を忘れた人は一瞬も両耳から両手が離せないライブであった。このレベルの音響に曝されて五臓六腑が振動する身体的緊張(本能的に生命の危険を感じる)と、その遠くから忍び寄ってくる彼岸のような危うい魅力は、まさに新しい音楽であった。この時の新楽器は「MSPで最大限に効果的な音響音圧を生成するアルゴリズム+積み上げられた巨大PA+揺るがない教会の音響空間(+Berlinの空気)」と言えよう。



図10 Atau Tanaka氏の巨大音量ライブ(ICMC2000)

また音量に関しては、多チャンネル空間音響システムによる**空間的音像移動spatialization**も、音楽的に新しい可能性を持つと思われる。人間の聴覚は変化/移動するサウンドに無意識に注意が向くので、音響信号処理の結果として空間音像を移動させるだけでなく、ホールの初期反射音を含めた音響空間そのものを一つの楽器、とするアプローチは、フランスを中心とした電子音響音楽ライブ操作再生システム**アコースモニューム**(ステレオCD音源をホール空間内に多種多数配置したスピーカ群に振り分ける送出コンソールをライブ操作する音楽、のための楽器)の考え方と並んで、海外のいくつかの研究機関で試みられている。

そしてやはり、音の3要素のうち**音色**こそが新楽器の存在感の本命であろう。電氣的にシンプルなサウンドに対しては**歪ませる**(AM/RM/FM)ことで新しい印象にする、逆にノイズが豊富なサウンドにはレゾナンス/フォルマント付きフィルタ(減算方式)で個性を与える、というのはアナログシンセの時代からの定番である。これ以上に新しいサウンドとなると、新楽器へのアプローチは音響合成/信号処理技術の追求と一体化する。ここで新楽器の役割が、音素材を生み出すことなのか、音響合成の多数のパラメータを効果的にコントロールすることなのか、信号処理パラメータを人間の演奏者の身体表現(動作)にどう対応させるのか…などの戦略に分かれていくことになる。これはまさに、音楽から新楽器に対して求められる**ニーズ**そのものである。

ここまで本稿を執筆してデジャヴのようなものを感じて

調べてみると、筆者は2012年(3年前)の音情研夏シンポで「Computer Musicパフォーマンスはこの20年間で進歩したのか」[54]と寄稿していた(結論は[あまり進歩していない])。内容は本稿とあまりかぶっておらず、作曲の一部として新楽器/新アルゴリズムを開発するという立場のニーズ/シーズの事例集として有効なのでこちらも参照されたい。その中でもボーカロイドについて淡白に述べていたが、この3年間にボカロはかなり普及し改良されてきた。さすがである。ただしGACKTとか小林幸子とかに**似せる**歌声の志向は、PCM音源の登場が楽音合成の発展を萎ませた過去を彷彿とさせる。新しい歌声合成を目指すのであれば宇宙人[55]や地底人や最低人(地底人のさらに奥深くに住む)の歌声でも合成したらどうだろう。ビジネスとして大衆に迎合すると「誰々っぽいど」を次々に量産するしかないのだろうが、それって新しい音楽なのだろうか。

#### 7.4 いろいろな学会から学べること(ニーズ/シーズ)

音楽情報科学研究会は1993年4月に情報処理学会傘下の正式な研究会となったが、それ以前の何年かは伏線/予行的に情報処理学会の研究グループとして活動した。この間に、任意団体時代の音楽情報科学研究会に参加していた多くの音楽家/演奏家/専門家が去っていき、音楽情報[科学]というより音楽情報[工学]の様相を強めて現在に至った。この進化はITの進展とともに深化しているので文句は無いが、この機会に筆者は敢えて**他学会に参加する他流試合の重要性**を強調したい。新楽器へのアプローチとして何より重要なのは柔軟な視点と旺盛な好奇心であり、情報処理学会の中に引き籠っているだけでは大したもの生み出せない。以下、筆者がここ数年の間に新たに参加/入会/発表/議論/交流してきた学会など(老舗の**日本音楽知覚認知学会**[56]と**芸術科学会**[57]については自明なので省略)について紹介し、新楽器に豊富な刺激/考察を提供してくれている事実を確認したい。

**電子情報通信学会**[58]はFITなどで情報処理学会と連携している巨大会であるが、SIGMUSに近いヒューマンコミュニケーション基礎(HCS)・ヒューマン情報処理(HIP)・マルチメディア/仮想環境基礎(MVE)・音声(SP)・情報論的学習理論と機械学習(IBISML)・マルチメディア情報ハイディングエンリッチメント(EMM)・信号処理(SIP)・応用音響(EA)などの定番の研究会よりも筆者が目しているのが、**非線形問題(NLP)**と**パターン認識/メディア理解(PRMU)**研究会である。NLPは本格的な複雑系数理科学の全般を網羅しているが、筆者が興味を持つのは同期/引き込み/カオスのあたりで、生命体として生体リズムを持つ人間と音楽のリズム/ビートとの関係を橋渡しするのが楽器、という視点から研究会に参加してみると、毎回、刺激されて驚くほどアイデアが湧いてくる。PRMUはより実践的に、多種のセンサで演奏行為などをセンシングした結果をいかにシステムが認識して生成する音楽に反映させるか…という点で示唆に富んだ収穫の多い場である。

山口大学で広中平祐氏が学長時代に開設された**時間学研究所**を中心に2009年に設立された**日本時間学会**[59]は、その名の通り、時間に関する森羅万象を全て対象としている

凄い学会である。音楽とは本質的に時間芸術/時間現象であり、どんな分野のどんな研究報告も全て参考になる、というのが設立以来、参加しての実感である。筆者も「音楽における時間」とか音楽知覚認知や生体リズムと時間という視点で発表しているが、与えるものより得られるものの方が圧倒的に多い学会である。

2008年に設立された**日本音楽即興学会**[60]もまた、シリアスな音楽家から医療/福祉関係者、街の怪しいパフォーマーまで魍魎魍魎が跳梁跋扈する面白い学会である。即興の道具としての新楽器、と考えるとモロに直結するし、表現/行為/体験と情動/感性を橋渡しする存在と考えても即興と楽器というのは一心同体のような関係であると実感する。本稿では対象外としている玩具にまで楽器を拡張した場合の絶好のテストフィールドである。

2006年に設立された**表象文化論学会**[61]は、学会Webの冒頭に『世界規模の社会の激動とともに、文化状況もまた加速度的に多様化し流動化しつつある現在、その変容の力学を正確に捉え、精密に分析し、さらにそこで得られた研究成果を文化創造の現場にフィードバックしてゆくことを責務とする人文科学的な〈知〉が求められています。それは、文学、芸術、哲学といったジャンルから始まって、テレビ、映画、情報ネットワークなどが形成する現代的なメディア空間とそこに生起するポップ・カルチャーに至るまで、多種多様な文化現象の解明をめざして、理論と実践の両面における果敢な実験を恐れず、柔軟にして厳密な知的営為でなければなりません』と書かれているように、哲学/美学領域の人文科学系の学会であるが、演劇や音楽などのパフォーマンスアートが一つの軸でもあり、大会に音楽家のライブを招待講演として行うなど、かなり距離が近いことを実感させられる。工学系の立場が新楽器を製造物(モノ)として扱いがちなのに対して、この学会に参加することで新楽器を**音楽のパートナー**として捉える視点/美学を再確認させられる。

2015年3月に**知覚コロキウム**というワークショップに発表参加したのを契機に知った**基礎心理学会**[62]は1981年に設立された老舗学会であり、実験心理学の専門家が幅広く参加している。筆者の筋電楽器など生体センシングに関する最新状況、また実験心理学/メディア心理学の研究に関する多くの示唆があり、まだ入会せず大会聴講参加モードであるが、今後もより注目していくつもりである。日本音楽知覚認知学会だけでは知りえなかった多くの視点をたった1日の勉強会で獲得できたのには驚いた。

2015年7月の大会に突然の発表参加して知った**バイオフィードバック学会**[63]も前身の研究会が設立されたのが1973年、そして学会設立が1983年という歴史を持つ老舗学会だった。筋電センサと生体情報の信号処理という部分から講演を依頼されて接点を持ったばかりの学会であるが、ある意味で生体センサ楽器を演奏する行為そのものがバイオフィードバック(BF)になっているので、そのメンタルな影響や効果を研究する意義の重要性は今後さらに発展すると確信しているところである。

Gainer作者として有名な小林茂氏を通じて主催者のMike Kuniavsky氏と繋いでもらって、**Sketching in Hardware**に参加したのは、2008Providence[64]・2009London[65]・

2012Portland[66]・2013PaloAlto[67]・2015Arizonaである。Maxの生みの親であるDavid Zicarelli氏やMITの研究者、インテルの技術者、SparkFunのCEOも常連メンバーであり、学生とジャミネータを改造[7]した筆者は、実際にジャミネータを開発したIDEOのデザイナー本人と会って驚いた(**ジャミーズ娘+**は絶賛された)。このコミュニティのメンバーからはKickStarterを活用して、**LittleBits**や**MOSS**や**Makey**など、多くの新システムが世界に登場している。なおSketchingは招待制であり一般の国際会議のような参加公募集は無いので注意されたい。参加メンバーには翌年の参加がまず打診され、さらにメンバーがMike Kuniavsky氏に推薦するシステムであり、残席のアナウンスに筆者が推薦したヤマハの技術者が参加した年もある。**Makeコミュニティ**とも重複/交流があり、筆者はMake東京には参加できていないが、IAMASが開催する**Make大垣**については、過去3回の全てに発表参加している[68-70]。ここではスケッチングした作品展示だけでなくライブコンサートもあり、まさに新楽器の発表が続いている。図11はMOM2010に展示されていた新楽器で、ピカチュウが1体ごとに音階に対応したサンプリング音声で発声する。



図11 MOM2010に展示されていた新楽器

## 7.5 改造による「新楽器」と新しい音楽

新楽器へのアプローチの一つとして、既存の伝統楽器のフォルム/演奏方法、既存の工芸品/工業製品の存在感/安心感、などへの**リスペクトを込めた改造**という視点を筆者は重視してきた[37][7]が、ICMC/NIME/MOMなどの場で同好の士を数多く確認している。アコースティック楽器の多くがそれぞれの歴史の中で改良/改革/進化してきた事実は音楽的にも重要であり、何も無いところから100%斬新なアイデアで新楽器を発想できないとしても、ヒントは現在の音楽シーンを見回せばどこにでもある、と信じたい。

最近の学生の流行は3Dプリンタであり、筆者の指導した院生も新楽器の筐体を3Dプリンティングにより実現した[71]。これは単に外形(フォルム)だけでなく、回転やタッチを検出するセンサ機構まで一体成型した3D設計である点が秀逸であるが、筆者自身はまだまだ現物合わせの手作り[36]や、工芸品のビジュアル/機構を尊重した改造(電子化)[72-73]に拘っていきたいと考えている。ロックにおいては何よりギターの魅力[74]も捨て難いので、常にギターを新楽器に仕立て上げるという野心も忘れずにいたい。

## 7.6 ニーズ指向による「新楽器」と新しい音楽

本節のラス前として、これまでに述べていない5つの事例を「ニーズ指向による新楽器」の事例として紹介する。いずれも筆者が関与しているので伝聞でなくリアリティがあり、触発され興味をもった人からの問い合わせにも対応できる。筆者は全てのドキュメントをWebで公開しているが匿名コメントを許すブログは忌避している。Webを見て身元を名乗った学生などからの質問メールには個人名を伏せた上で内容を公開する可能性を許諾する条件で回答する事もあるが、つまりは[みんなでも共有してハッピーになる]というオープンソース/フリーウェア文化である。

第一の事例はIAMASに依頼されて開発納入した**ピリピリ**[75]である。一般に音楽における楽器は最終的にサウンドになる音源の電気信号を生成するが、依頼してきたIAMASの三輪氏/赤松氏の発想(ニーズ)はより突き抜けていた。Maxベースの音楽システムから人体に電気刺激を与える出力装置をMIDI制御して人体が痙攣/硬直/収縮することで音楽演奏を実現するという事であれば、これは立派に新楽器なのである。図12は、プロのダンサーが赤松氏がノイズからリアルタイム生成する音響と同期した生体刺激と青色LEDを伴った身体表現パフォーマンスを行っている模様である。これに対し三輪氏の作品“流星礼拝”は、車座に座った4人のパフォーマーに刺激電極を取り付け、ネット上のライブ情報検索から与えられるパルスによって手に持ったパーカッションを発音させる、まさに**人間楽器**であった。



図12 “Flesh Protocol”(赤松正之氏)の公演の様

第二の事例は音楽というより**演劇公演のための新楽器**である。筆者は約10年前、見ず知らずの劇団主催者(ネットで筆者を知ったらしい)からのメールで、ステージ上に配置した多数のスイッチから所定のサンプラー音を鳴らすMIDI信号を出力するシステムの開発(ニーズ)を依頼されて製作納品した(Web非公開)。筆者のサイト[76]にあるように、筆者は1993年以降、基本的に作家やアカデミック領域

からの依頼には研究者として「およそ部品代の3倍」、企業の場合には技術士として「部品代の30~50倍」というコストで新システムの開発委託に対応する事になっている。この劇団主催者とは会ったことも電話で話した事も無いが、費用3万円が振り込まれて筆者が製作納品したシステムは劇団の公演で活躍し(ソデで見ている音響スタッフのトリガに比べて、役者自身がトリガする音響のレスポンスは格段に違う)、仕様のマイナーチェンジ(AKI-H8ファームウェアの書き換え)は無料で宅急便が往復し、サンプラーの機種が変わってのハードウェア改造/追加には別途1万円に対応して、10年間以上無故障で働いているようである。

第三の事例はVPP[77]である。このプロジェクトのスタートラインは、京都駅ビルの新オープンに合わせたインスタレーションギャラリーの企画であった。筆者と照岡正樹氏と中村文隆氏の3人は以下のような内容で応募したが、ギャラリー企画そのものが消滅したために幻のインスタ企画となった。これが発端(ニーズ)である。

作品タイトル：  
“parivrat ganena saha”(サイバー托鉢)  
作品のテーマとコンセプト

この作品は、京都駅が展示会場となることを意識して創作された。京都の名だたる仏教都市であり、街の全体が「結界」の内部に存在すると考えられる。京都駅は、不特定多数の群集が行き来する場であるが、改札口という「門」を通過する事により、人は結界の内部、すなわち「修行の場」へと足を踏み入れるのである。我々はこの「駅」という場を「結界」としてとらえ、その中の展示スペースをもって、さらなる内側の結界を実現する。この作品は、「駅」という場に立ち、修行する托鉢僧をテーマとして制作されたメディア・インスタレーションである。人々が托鉢に施すのは布施(施すことで悟りへ近づく)の一種であり、駅を結界(=修行の場)として修行する托鉢僧をイメージしたこのインスタレーション作品を見たり聞いたり体験して、時間を共有してくれた方は、そのことにより「布施」をつんだことになる、というコンセプトである。

### 作品の概要

京都駅ビル・改札口付近の広場の群集を上空からCCDカメラ等でセンシングし、この人々の動きに反応したインタラクティブな画像と音響が、京都をイメージした展示媒体を経由して来場者に提示される。雑踏の騒音はキャンセル機構によって低減され、結界である展示空間は日常と離れた異空間を構成する。(あらかじめ制作された映像や音楽の単純な再生ではなく、その時その場の状況ごとに異なる「駅」の環境に対応した映像と音響が生成・変調され提示される。来場者の体験はそれぞれ異なり、その場限りのものである)

あわせて、このインスタレーション托鉢僧は、対峙し、しばし時間を共有する来場者からの「気」を感じ、功德として新たな「気」を投げ返す。(サイバー托鉢に内蔵された複数の生体センサにより来場者の動きや生理状態を感知し、映像や音響とともに「気」を生成する低周波遠赤外線生成機構により、来場者ごとに異なった反応で投射する)

京都駅ビルの一隅に展示されるこの作品は、インタラクティブなインスタレーションとして、またマルチメディア版のサウンドスケープとしての意味も持ったものとなる。

なかなか怪しい企画(ニーズ)であるが、[気]のテーマは我々にとっていまだ議論/考察/検討を進めている現役であり、いつかこの路線を実現する事を密かに狙っている。

第四の事例は、上のVPPメンバーにさらに何人かが加わって1990年代後半に夙川のライブハウスで行ったライブ企画が起点だった。ちょうど世間ではポケモンのテレビを見た子供がフラッシュ映像から体調不良を訴え病院に搬送された事件[78]があり、ライブハウスのマスター(故人)から「お客がゲロゲーロになるライブをしよう」(テレビと違って告知に同意したライブ来場者ならOK)と持ちかけられた(ニーズ)のである。この場合の新楽器とは、ニーズを実現するためのライブの道具立ての全てが広い意味での楽器となった。ホールを暗くして、注視させる小型自動演奏

ロボット(それぞれ木琴を叩く)を並べ、筋電センサでノイズを演奏する女の子が立ち、シェパードトーン(無限上昇/無限下降の音響)と重低音に包まれ、壁には映像をプロジェクションして、もちろん小さなピカチューがぐるぐる回る背景は盛り上がったシーンで赤と青を毎秒15回フラッシュさせた。結果として、来場した学生の一部の感想に「気持ち悪くなった」とあったので、ある程度はニーズを満たすことに成功したのだろうか。

第五の事例は、筆者が2015年7月に筑波大学で行ったワークショップ(特別講義)から紹介する。非常勤講師を担当していた大学以外でも、筆者はこれまでに、相愛大学(1995-2002)[80-82]、京都造形芸術大学[79]、成安造型大学[83]、筑波大学[84][89]、京都精華大学[85]、京都市立芸術大学[86-88](単なるレクチャー講演/特別講義は除外)でハンズオン・ワークショップを開催しており、SUACでもメディアアートフェスティバル(MAF)およびメディアデザインウィークに併設した物理コンピューティング/スケッチング・ワークショップ(2008-10/2013-15)を企画/開催してきた。直近[89]の例では、筑波大学の工学系/数理情報系/芸術系の院生/学生にSUAC院生も加わった12人が3チームに分かれて、レクチャーに続く2日目の午前に企画検討し、午後の3時間ほどで実際に動く何かを制作して最後にプレゼンまで行った、中身の濃いものである。この中の1チームは向き合った4人のうち2人がハイタッチすると割り当てられた音階が鳴ることでメロディーを演奏する集団楽器という構想(ニーズ)を立てた。図13[90-91]のように、メンバーは軍手に両面テープでアルミホイルを貼り、筆者はその場でGainerセンサシステムを設計しハンダ付けしサンプルMaxパッチを制作して提供した。Gainerの4チャンネルアナログ入力端子にそれぞれ+5V~GNDを電圧分割するスライドボリューム(50kΩ)の電圧を接続し、シールドケーブルでその電位を4人の軍手アルミホイルまで延長した。4個のスライドボリュームの設定値を+5V~GNDを5等分した約1.0V間隔とし、Max側では図14のように実際の入力電圧を上下に挟むスレショルドレベルを設定して、誰かとタッチした入力電圧の変化イベントを検出し4ビット2進数にエンコードして、2人の組み合わせごとに6種類の異なる音階を出力した(プレゼン動画は[92])。

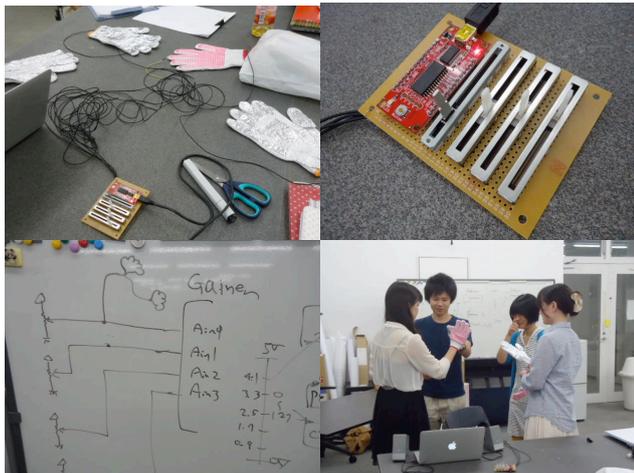


図13 筑波大学でのワークショップの風景

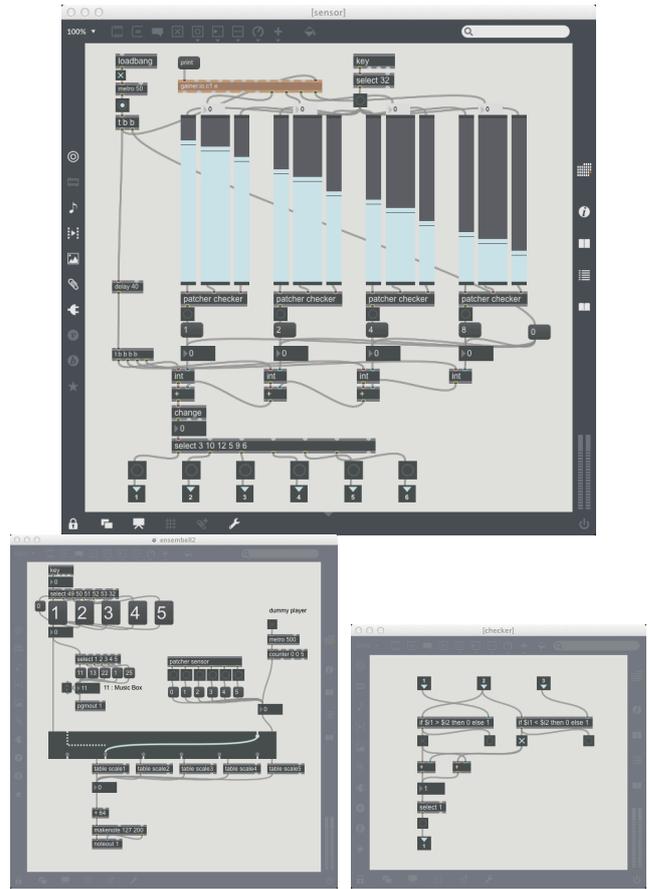


図14 ハイタッチ検出楽器のMaxパッチ例

### 7.7 シーズ指向による「新楽器」と新しい音楽

本節のオーラスとして3つの視点から「シーズ指向による新楽器」の事例として整理する。3つの視点とは「センサ/生体情報/コンピュータビジョン(CV)」である。

新楽器/新インターフェース/新コントローラのためのシーズとして何より重要なのは、次々に登場する新しいセンサである。CdSやピエゾ素子など古典的なセンサであっても可能性は無限であるが、ネットで世界中から最新の電子部品を個人でも入手できるこの時代、アンテナを立てて新しいものに飛びつくのは、少なくとも新楽器の可能性がより高くなる(ただし競争も厳しい)だろう。ここに個別のセンサを列記紹介することは省略するが、別発表する新楽器[2]はまさにこの好例だし、パーツとして購入し実験を待っている変なセンサは筆者の研究室には常に数種類ころがっている。URLは省略するが、秋月電子、共立電子、スイッチサイエンス、浅草ギ研、千石電商、などはチェックしているだけで楽しい。Sketchingコミュニティの友人たち、SparkFun[93]のCEOであるNathan Seidle氏[94]、seed[94]のCEOであるEric Pan氏[96]、いずれもスケッチングとプロダクト化を愛する情熱的な男であり、面白いアイデアのセンサがあればすぐに製品(基板)にして販売してやるよ、と言われている。現在のSparkFunの筋電センサ[97]はちょっと残念な仕様なので、数日後にSketching2015で会ったら(本稿執筆時点)、筆者と照岡氏とで開発した第5世代の筋電センサ回路[24]の製品化/商品化を打診してみようと思っているところである。

生体情報のうち筋電については既にあちこちで触れているので、ここではそれ以外について述べる。まず2015年3月の研究会(音情研+EC研)での筆者の報告[98]から、以下に生体情報と生体信号の計測の部分の抜粋引用する。筆者にすればこれ程たくさんの生体情報と有効なセンサ群があるのに、何かやってみたくはない方が不自然である。

大きく生体情報を分類すると、(1)生命体として生きている証であるバイタルサイン(血圧、脈拍、呼吸、体温、排尿/排便、瞳孔反射、脳波など)、(2)反射(無意識の反応)、(3)随意運動(意志/意図に基づく運動、発声/発音、脳波など)、の3種類がある。生体情報の計測は「非接触計測」と「接触計測」に分かれ、前者には画像認識・サーモグラフィー・医学的計測(レントゲン、CTスキャン、超音波エコー等)がある。また後者には化学的計測・物理的計測・電気的計測の3領域がある。

生体情報の物理的計測の例としては、呼吸の計測のために口頭/鼻先に置いたセンサで風量変化を検出したり、胸部に巻いた伸びセンサで肺の伸縮を検出したり、鼻先のCO2濃度センサの変化を計測する。また心拍の計測には、指先/耳たぶのクリップに赤外LED→フォトTRのペアを配置して、ヘモグロビン濃度変化に対応した透過光量変化を検出する。血圧は血管に加圧して心音から計測し、体温は温度センサで絶対値を計測する。皮膚電気抵抗(GSR: GalvanicSkinResponse)とは皮膚の電気伝導度のこと、汗腺(交感神経系)が影響する。姿勢の計測には、身体に取り付けた3次元加速度センサの重力方向に対する成分から推定する。最近では高感度マイクから筋肉の状態を計測する筋音の計測事例もある。

筆者がイーバという脳波センサに触れたのは1990年代前半だったと思うが、その当時でもMacに脳波バンドを取り付けてグッと念じる(α波を出す)とMIDI機器から音が出たり照明器具が点灯したりした。これが現在まで続いている[99]というのは驚きだったが、筆者が[100]で報告したように(詳細解説は省略)、現在では図15のようなお手軽な生体センサモジュールを手ででき、脳波/GSR/心電図を含めて実験できる素晴らしい時代なので、ぜひ活用したい。

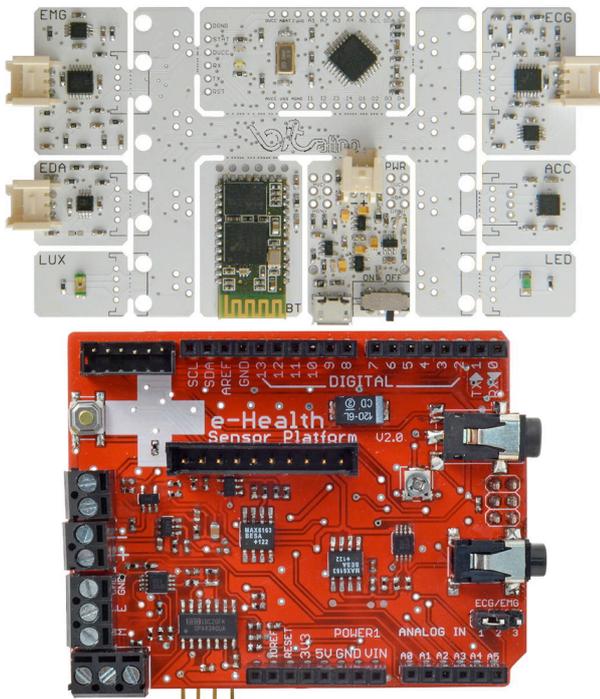


図15 "BITalino"(上)と"e-Health"(下)

本節の新楽器のためのシーズとして最後に取り上げるのは、Webカメラ、Wiiリモコン、Kinectなど大流行しているコンピュータビジョン(CV)、すなわち画像認識センサの技術である。SUACの学生インスタレーション作品でも2006年あたりから画像認識センサを活用したものがほぼ毎年のように出て来ており[101-116]、画像認識でないのにそう思える例[117-118]もある。しかし次節に述べるレイテンシの欠点が重くのしかかり、インスタレーションやゲームではまずまず使えるとしても、音楽の道具である「楽器」としてなかなか使えない印象がある。

2005年の単行本[119]で紹介したが、NTTがまだ裕福だった頃、NTTの美術館ICCのビエンナーレ1997の最終選考10人(制作費1000万円ずつ支給)に日本人で唯一採択された前林明次氏のインスタレーション作品"Audible Distance"を実現するために、筆者はNTT研究所から必要な画像センサ/心拍センサの開発を依頼された。ある審査員が「面白いが、ハリウッドのモーションキャプチャシステム[数億円]が必要で、実現するにはあと5年かかる」と言ったシステムを、2桁小さい300万円で作ることが目標となった。

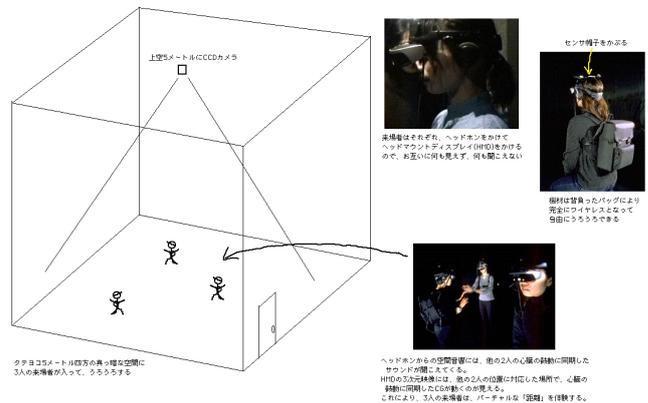


図16 作品"Audible Distance"の概要

図16は作品の概要であり、タテヨコ高さ5メートルの真っ暗な空間に3人の来場者が入り、立体音響ヘッドホンとHMDによって聴覚と視覚を遮断された来場者が、バーチャル空間の中でお互いの[距離]を体験する。3人のHMDにはそれぞれ他の2人の位置に対応した3D-CGが視線の向きに対応して表示され、ヘッドホンからは他の2人それぞれの位置と距離に対応した3次元音響が鳴る。

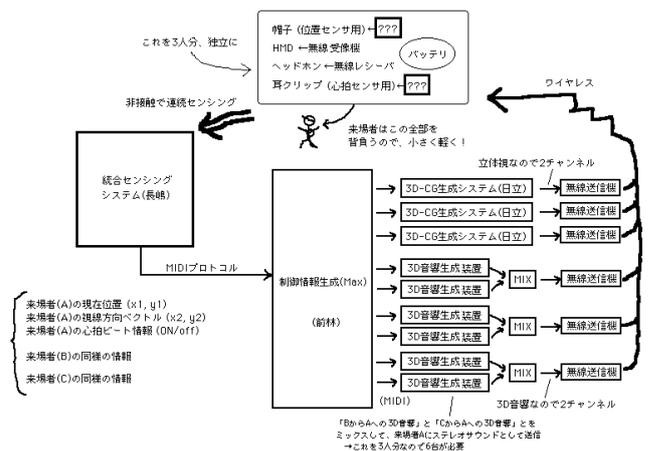


図17 作品"Audible Distance"のシステムブロック図

3人それぞれのHMD映像(2チャンネル)とヘッドホンのサウンド(ステレオ)は、全て異なる計12チャンネルの無線で別個に送信する必要がある。画像センシングとしては、タテヨコ5メートルの会場内での3人の位置座標だけでなく、3人がそれぞれどの方向を向いているかという**視線の方向ベクトル**も検出して、頭を回転した時にHMDの映像やサウンドを対応した方向に移動させる必要がある。これと同時に、CGとサウンドを心臓の鼓動と同期させるため、3人の心拍情報もそれぞれにセンシングする必要がある。全体としての必須条件は、来場者がケーブルを引きずりながら歩くのは危険なので完全にワイヤレスである事で、全ての情報通信は無線として、多数の機器とバッテリーを背負うために、来場者のバッグに搭載する機器には小型・軽量・低消費電力という条件も加わった。無線で映像を受信してHMDに表示する機器と無線でサウンドを受信してヘッドホンで聞く機器は市販製品をそのまま使うため、筆者が新規開発するセンシング装置にこの条件が強く要請された。図17はこの条件から筆者が設計したシステム図、図18は具体的なセンシングシステム図である。

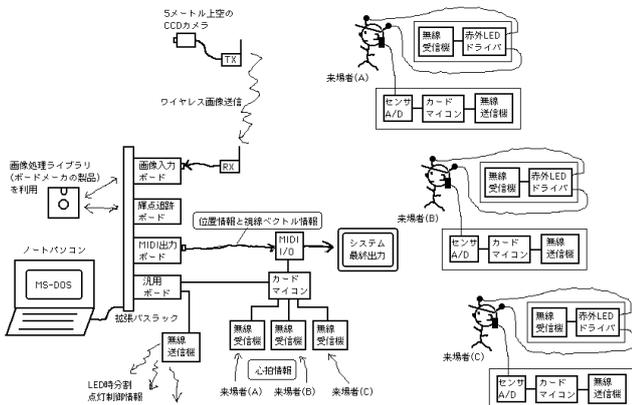


図18 作品“Audible Distance”のセンシングシステム図

ここからどのように筆者がこのシステムを実現していったかは文献[119]を参照いただくとして、図19のような心拍センサ、来場者が被る帽子に前後各2個ずつ配置した高輝度赤外線LED無線点灯システムを作った。まだまだパソコン(PC-9801という代物が日本を席卷していた)が非力なために、上空のビデオカメラからの画像認識処理には専用のハードウェア(10万円以上の専用ボード群)を使った。



図19 心拍センサ送信モジュール部分



図20 センシングシステム実験・試作の風景

図20は実験・試作の様相である。3人の前後、計6個の高輝度赤外線LEDを時分割多重化により個別に瞬間的に光らせて、これを上空のCCDカメラから映像信号として1.25GHzのワイヤレス画像通信モジュールで伝送して拡張バスラック内の**画像入力ボード**に供給する。CCDカメラの視界がボード上の512\*512の画素データになる所要時間は、毎秒30フレームなので約30msecであり、メーカーから購入したCライブラリ集の2値化モジュールを利用したら全画面2値化の所要時間は約1secであった。もう一枚の**エッジ検出ボード**に領域の座標を与えると、輝点の重心座標は5msecほどで得られるが、6個の輝点のうちの1つの検出だけで1secもかかってそのままでは使えなかった。画像認識の専用ハードは起こせない。ここからC言語では遅いのでアセンブラにより、さらに生身の人間が暗い空間でうろろする特性を考慮した最適画像認識アルゴリズムを考案し[119]、体験者を追従/検出するセンシングをなんとか実現した。

本システムは全体としては1セット(一式)だが、来場者が入れ替わって身につけるワイヤレスモジュールや耳たぶセンサ等は、万一の破損や断線などのトラブルが予想されるため、最初から3セットでなく周波数を4パターンに拡張した4セット分を開発し、修理の際には残り3セットを使用して展示を止めずに交換/修理できるようにした。そしてこのシステムはICCビエンナーレ1997の展示/審査の2ヶ月間を無故障で乗り切って、作品“Audible Distance”はコンペで**準グランプリ**を受賞した[120-121]。

その後、ICCの**常設展示作品**としての改良を改めてNTT研究所から依頼されて大幅な改造が必要になった。システムの一部にノートパソコン(HDD)を使用するのは、長時間の連続使用には向かない期間限定運用システムのための方法であり、また常設展示となると、会場には一般の受付職員しかおらず、マニュアル化されたバッテリーの交換以外に、毎日の立ち上げ設定調整とかシステムのトラブルの対応が出来ない。改良開発の目標は**電源を入れたままで無停止の連続運転**となった。このような「メンテナンスフリーの連続運転」という条件はよくあり、もっとも過酷なのは人工衛星の観測機器や原子炉内の装置などで、誤動作してもリセットスイッチを押すことすら出来ない。詳細は[119]に

譲るが、このセンシングシステムの改造はOSとソフトウェアのROM化という定番テクニックに進展した。コンペ版ではパソコンに接続した拡張バスラックに画像認識専用ボードと心拍/LED制御の無線システムを搭載した自作ボードを入れていたが、ここにパソコンに相当する全機能を搭載したCPUボードとHDDに相当するROMディスクボードを入れて、データやプログラムだけでなくOSそのものまで全てROMデータファイルとして格納した。結局、ROM化したこのセンシングシステムはICC常設展示作品として、まる2年間の連続運転(電源は365日入れたまま)に耐えて、無停止無故障という記録を無事に達成できた。

審査員に「実現するにはあと5年かかる」と言わせたシステムを当時の技術レベルで実現するにはこのような苦労があったが、それに比べて現在の画像認識システムの能力には驚くしかない。パソコン、あるいはiPhoneやiPadでも良質な画像認識センサを実現できる。しかし新楽器としては、何より物理的なリアクションの欠如が致命的なため、筆者はまったくこれを新楽器やパフォーマンスに使いたいと思わない。シーズがあってもニーズに響かないというか、音楽演奏において反応の俊敏さと位置の正確さを求めたいケースにはまだまだ使えないようである。

## 8. 3つの陥穽: マッピング/レイテンシ/ユーザビリティ

本節ではまとめの意味で、筆者がこれまでも指摘してきた経験則として伝承させたい新楽器へのアプローチのための重要な3つの視点を提示する。本稿で細かいノウハウまで列記する紙面が無いので、興味があれば筆者を講師とするワークショップを企画して呼んで欲しい。基本的には「旅費さえ出るなら行きます(講師謝礼はアカデミック標準でOK)」という事を25年間ほど続けている。

### 8.1 マッピング

新楽器のデザイン戦略は結局のところMapping Strategyである、とICMCで学んだのはこの世界に入ってきてすぐだった。例えばテルミンのセンサ情報は2本のアンテナと演奏者の両手との静電誘導結合量の2系統であり、サウンド生成(ピッチ・音量)にこの2パラメータが対応しているので、直球というか関係性に発展の余地が無い。ところがデジタル時代のセンサは超強力である。例えばMyo[122]の「8ch筋電+9軸センサ」の後者を実現しているのは、図21の共立電子のセンサ[123]とほぼ同じようなセンサモジュールであろう。

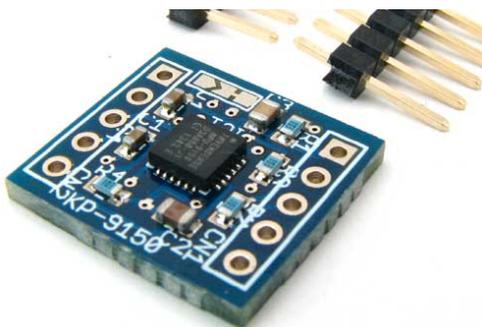


図21 9軸センサ(共立電子)

この16mm四方ほどのモジュールから、3次元重力方向・3次元ジャイロ(角加速度)・3次元加速度、という計9パラメータが連続値で得られる。一方で音源のリアルタイム楽音/音響生成パラメータはアルゴリズムによって異なるがこれまた膨大である。試みにミニムグのエミュレータを想定すると、ピッチ(VCO)にEG(ADSR)やLFOを付加してそれぞれのdepthも含めるだけでパラメータは軽く10個ほどになり、さらにVCFにもEGだけでなくLFO(ワウワウ)、VCAにもEGだけでなくLFO(トレモロ)が関与するととなると、相互に独立な音響生成パラメータは簡単に数十個になる。ここに、9軸センサからの独立した9パラメータの情報をどのようにスケールしつつマッピングするかで、楽器としての個性が画的に違ってくる。

人間工学的に、あるいは身体動作を舞踏演出的に考察して、この9軸センサ検出地点を演奏者の身体のどこに配置するかでさらに新楽器の個性はまったく別物になる。音楽のニーズについてもセンシング対象は人間に限らず、植物音楽・宇宙線音楽・地磁気音楽・株価/為替音楽・気象変動音楽など、およそ時間とともに変化するもの全てが音楽のソースとなりうる。ここでは変動するパラメータと生成される音楽の要素をどう組み合わせるのか、という戦略が何より重要であり、センシング対象の理解とともに、基本的にはまず音楽そのものの理解が必要になる。ある意味では、超古典的テーマ:自動作曲システムに対して、音楽要素生成パラメータをセンサによって変動させるのが楽器である、という発想の転換が成立するだろう。

### 8.2 レイテンシ

筆者は1990年代前半の研究報告で、音楽心理学実験においてMIDI機器やパソコンを安易に使用すると研究の基盤そのものが否定されうる、と警鐘を鳴らし大騒ぎになった。情報システムには、本質的な遅れ(レイテンシ)とばらつき(ジッタ)が存在するので、心理学実験の対象として想定する時間スケールが該当すれば、理論的に無意味な実験をデザインする危険性は現在でも続いている[124]。以下、新楽器のセンサ(単体だけでなくセンサ情報の信号処理・演奏情報の認識/抽出システムの全般の遅延も対象)に絞って、筆者が経験的に注意しているポイントを列記する。

KinectやWebカメラやWiiリモコンの画像認識系センサで痛感するのはレスポンスの遅さである。2次元の画面データをフレームレートで順にスキャン処理すれば当然であるが、例えばカメラ画像内の1領域をカメラに映っている演奏者の手先が叩く情報を検出するまでのパソコンを使った画像認識システムの遅延は数10msecから100msecオーダーになる。これは楽器として成立するだろうか。パーカッション音を発音するような楽器であれば、演奏者本人に苦痛の鈍さであるだけでなく、演奏を見ている聴衆にもその遅延と不自然さが伝わる。現在の画像認識センサ系を使った音楽パフォーマンスの大部分が、太極拳のようなゆっくりした動作で、瞑想系の音楽をなだらかにコントロールしている理由はここにある。WiiやKinectを使ったスポーツ系(格闘系)のゲームでは、画像情報を受けとって認識した結果に反応するのではなく、システムは常に直前の位置/動

きから一瞬先を予測して反応させ、現実の画像データと違って来た誤差を常に修正しているのである。この予測/修正アルゴリズムを高速に実装しない限り、生き生きとした音楽演奏に使える新楽器には成りえない。

環境情報や生体情報のセンシングにおいて重要なのは、信号処理の中でもノウハウのレベルが高い**ノイズ対策**の視点である。筆者は技術士として企業にノイズ対策・信頼性対策を指導してきた[125-132]ので、このノウハウは新楽器のためのセンシング技術にも生きている。全ての物理量センシングには、本質的にその物理量が振動するノイズが乗り、さらにセンサからの電気信号にも周囲からの電磁環境ノイズが乗る。パソコン等デジタル機器の電源はスイッチング電源なので、ここにもノイズは最初から乗っている。生体情報センシングでもまったく同様である[24]。単純なスイッチ接点でもチャタリングノイズが乗る。そこでセンサ情報処理については各種のフィルタリングや、不応期/ヒステリシスによる時間的閾値処理などが必要となるが、基本的にこれらの処理は全て**遅れを伴う**事を理解する必要がある。情報処理システムで積み重なった各部分のレイテンシを把握しつつ、メトロノーム速度=120の音楽であれば16分音符が31.25msecとなる**音楽的時間**とを定量的に比較・体感するセンスが重要である。

### 8.3 ユーザビリティ

多くの新楽器が、昨今のGUI+タッチパネルの流行に対応して、多数のパラメータが並ぶコントロール画面となる。図22の左はCCMIXのSTOCHOS、右はSTEIMのLiSaの画面で、10年以上も昔に筆者が現地で勉強した[134]ものである。

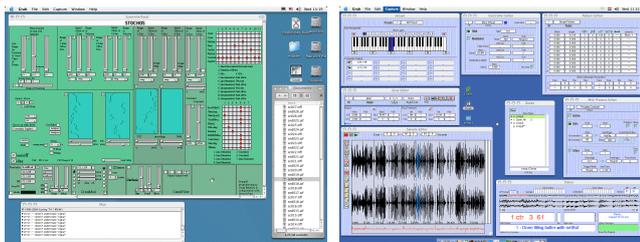


図22 CCMIXのSTOCHOS(左)とSTEIMのLiSa(右)

この画面は多数のパラメータを整然と網羅して至れり尽くせりのようで、しかし作者本人以外はあまり使えたものではない。むしろ音楽の相棒である新楽器のユーザビリティとして重要なのは強力な**人間の適応能力/順応性**に頼って、使い勝手を強制しない事である、というのが筆者の到達した境地である。前述したMiburiの反面教師しかり、任意団体時代の音情研で専門家が譲らなかつた「使いにくいがあれば自分で料理できる楽器こそ」しかり、である。Maxであれば自分で使いやすくカスタマイズ出来るので、それで十分なのであり、余計なお世話は不要なのだ。

## 9. おわりに

この領域で多くのアプローチを重ねてきた立場から、音情研2015夏シンポのチュートリアルとして、新しくこの分野に挑戦したい方々のために多くの実例とともに書き綴ってみた。筆者はまだまだ学生に負けず、日々、一緒に新しい領域に挑戦しつつ楽しみつつ新センサを実験したり新シ

ステムを試作している[133-145]。詳しくは書けないが某研究所との共同研究として、若手研究者に自動作曲のための音楽理論を指導しつつ、一緒にちょっと面白いものをこの世に出現させる研究も進めている。時には作家からの依頼を受けて、エンジニアモードに切り替えて新システムを開発提供している。プログラミングもいいが、現実世界と物理的にインタラクションする**現物のリアリティ**もいいものである。バーチャルな世界に引き籠らず現実の素材で機構/筐体を作り、「ブレッドボードに低信頼性の部品差込み」でなくきっちりとハンダ付けして、地に足の着いたちゃんとした**ものづくり**を指向する若手が増えて欲しいと願っている。本稿が、日本発のユニークな新楽器と新しい音楽の登場に少しでも寄与できれば幸いである。

## 参考文献/リンク

- 1) Art & Science Laboratory, <http://nagasm.org>
- 2) 長嶋洋一, お触り楽器, 情報処理学会研究報告(2015-MUS-108), 情報処理学会, 2015. (高画質版→ [http://nagasm.org/ASL/paper/SIGMUS201508\\_1.pdf](http://nagasm.org/ASL/paper/SIGMUS201508_1.pdf))
- 3) Perry Cook, Principles for Designing Computer Music Controllers, [http://soundlab.cs.princeton.edu/publications/prc\\_chi2001.pdf](http://soundlab.cs.princeton.edu/publications/prc_chi2001.pdf), 2001.
- 4) Perry R. Cook, Re-Designing Principles for Computer Music Controllers: a Case Study of SqueezeVox Maggie, [http://www.nime.org/proceedings/2009/nime2009\\_218.pdf](http://www.nime.org/proceedings/2009/nime2009_218.pdf), 2009.
- 5) 長嶋洋一, コンピュータサウンドの世界, CQ出版社, 1999.
- 6) 作るサウンドエレクトロニクス, <http://nagasm.org/ASL/mse/>, 1999.
- 7) 長嶋洋一, ジャミネータと遊ぼう, <http://nagasm.org/ASL/Jaminator/>, 2010.
- 8) 加藤充美, 電子楽器の変遷と音楽音響の研究課題, コンピュータと音楽の世界, 共立出版, pp.14-26, 1998.
- 9) <http://nagasm.org/1106/europe/report.html>
- 10) <http://nagasm.org/1106/europe/EUreport.html>
- 11) Miburi, <https://ja.wikipedia.org/wiki/Miburi>
- 12) Yoichi Nagashima, "David" (1995) <http://www.youtube.com/watch?v=F02BfEv3gbE>
- 13) Yoichi Nagashima, "Asian Edge" (1996) <http://www.youtube.com/watch?v=hdYIml-CyH0>, <http://www.youtube.com/watch?v=n0E-CFRrNc>, <http://www.youtube.com/watch?v=ZL61siGkcNw>, [http://www.youtube.com/watch?v=zhu\\_0fygaaU](http://www.youtube.com/watch?v=zhu_0fygaaU)
- 14) Yoichi Nagashima, "Johnny" (1996), <http://www.youtube.com/watch?v=ri6MTatPNdU>
- 15) Yoichi Nagashima, "Ephemeral Shimmer" (1997), <http://www.youtube.com/watch?v=42uyyPkwFgg>
- 16) Yoichi Nagashima, "Atom Hard Mothers" (1997), <http://www.youtube.com/watch?v=LoLrTsrQlJy>, <http://www.youtube.com/watch?v=f-E1Dv8KV5c>, <http://www.youtube.com/watch?v=EWB6oQuIeZc>
- 17) Yoichi Nagashima, "Wandering Highlander" (2000), <http://www.youtube.com/watch?v=Thr-3iC48EQ>
- 18) Yoichi Nagashima, "Nature System" (2005), <http://www.youtube.com/watch?v=LS-Rnjo-L0o>
- 19) Yoichi Nagashima, Sensors for Interactive Music Performance, <http://nagasm.org/ASL/berlin/>, 2000.
- 20) 長嶋洋一, インタラクティブアートの統合的システム・プラットフォームとしてのMax/MSP, <http://nagasm.org/ASL/dspss2002/>, 2002.
- 21) Yoichi Nagashima, Interactive Multi-Media Performance with New Interfaces, <http://nagasm.org/ASL/Taiwan2007/>, 2007.
- 22) Yoichi Nagashima, Interactive Multi-Media Art with New Technology, 2007.
- 23) Yoichi Nagashima, Technology for Computer Music / Interactive Multi-Media Performance with New Interfaces, [http://nagasm.org/ASL/SYNC2010\\_Lecture\\_1/](http://nagasm.org/ASL/SYNC2010_Lecture_1/), 2010.
- 24) 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.
- 25) <http://www.nime.org/2001/>
- 26) <http://www.nime.org/2003/>
- 27) <http://nagasm.org/NIME/>
- 28) <http://www.nime.org/past-nimes/>
- 29) 長嶋洋一, NIME (New Interfaces for Musical Expression) 参加報告, 情報処理学会研究報告 Vol. 2003, No. 111 (2003-MUS-52), 情報処理学会, 2003.
- 30) 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.
- 31) 長嶋洋一, NIME04/MAF2004開催報告, 情報処理学会研究報告 Vol. 2004, No. 111 (2004-MUS-57), 情報処理学会, 2004.

- 32) 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.
- 33) 長嶋洋一, NIME06参加報告, 情報処理学会研究報告 Vol. 2006, No. 113 (2006-MUS-67), 情報処理学会, 2006.
- 34) 長嶋洋一, WOCMAT2007/NIME07 参加報告, 情報処理学会研究報告 Vol. 2007, No. 81 (2007-MUS-71), 情報処理学会, 2007.
- 35) OSC, <http://opensoundcontrol.org/>
- 36) 長嶋洋一, 新楽器「GHI2014」, <http://nagasm.org/ASL/GHI2014/>, 2014.
- 37) 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.
- 38) 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.
- 39) 長嶋洋一, エンタテインメント・コンポーザング教育に向けて, 情報処理学会研究報告 (2011-MUS-90), 情報処理学会, 2011.
- 40) 長嶋洋一, エンタテインメント・コンポーザング教育に向けて, 情報処理学会研究報告 (2011-MUS-90), 情報処理学会, 2011.
- 41) 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.
- 42) 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.
- 43) 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.
- 44) 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), 情報処理学会, 2014.
- 45) Yoichi Nagashima, Consumer Generated Media and Media Entertainment, Journal of International Scientific Publication: Media & Mass Communication, ISSN 1313-2339, Published at: <http://www.science-journals.eu>, 2014.
- 46) Mellotron, <https://en.wikipedia.org/wiki/Mellotron>
- 47) stelarc, <http://stelarc.org/?catID=20290>
- 48) Songle, <http://songle.jp/>
- 49) [https://www.aist.go.jp/aist\\_j/press\\_release/pr2012/pr20120829/pr20120829.html](https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2012/pr20120829/pr20120829.html)
- 50) <http://itri.aist-go.jp/project/songle.html>
- 51) 長嶋洋一, 音律について, <http://nagasm.org/ASL/temper/>, 1993.
- 52) <http://nagasm.org/ASL/chord/>
- 53) 長嶋洋一, コンテンツクリエイターのための著作権フリー音楽クリップ生成システムFMC3 (Free Music Clip for Creative Common), <http://nagasm.org/FMC3/>
- 54) 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.
- 55) 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.
- 56) 日本音楽知覚認知学会, <http://jsmpc.org/>
- 57) 芸術科学会, <http://art-science.org/>
- 58) 電子情報通信学会, <http://www.ieice.org>
- 59) 日本時間学会, <http://timestudies.net/>
- 60) 日本音楽即興学会, <http://jasmim.net>
- 61) 表象文化論学会, <http://www.repre.org/>
- 62) 日本基礎心理学会, <http://psychonomic.jp/>
- 63) 日本バイオフィードバック学会, <http://www.jsbr.jp/>
- 64) <http://nagasm.org/1106/Sketch08/>
- 65) <http://nagasm.org/1106/Sketch09/>
- 66) <http://nagasm.org/1106/Sketch2012/>
- 67) <http://nagasm.org/1106/Sketch2013/>
- 68) <http://nagasm.org/1106/news3/MOM/students.html>
- 69) <http://nagasm.org/1106/news3/tiger38/report.html>
- 70) <http://nagasm.org/1106/summer2014tour/>
- 71) 長嶋洋一, 音楽エンタテインメントを「作る」～SUACスタジオレポート2014～, 情報処理学会研究報告 (2015-MUS-106), 情報処理学会, 2015.
- 72) Yoichi Nagashima, GHI project and “Cyber Kendang”, Proceedings of International Conference on New Interfaces for Musical Expression, NIME, 2007.
- 73) GHI Project : New Approach for Musical Instrument, Proceedings of 2007 International Computer Music Conference, Vol.1, ICMA, 2007.
- 74) GuitarWorld, The 20 Best Rock Guitar Intros of All Time, <http://www.guitarworld.com/20-best-rock-guitar-intros-all-time-video/25007>
- 75) 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. <http://nagasm.org/ASL/SIGMUS0205/>
- 76) <http://nagasm.org/ASL/ASL.html>
- 77) <http://nagasm.org/vpp/>
- 78) <https://ja.wikipedia.org/wiki/ポケモンショック>
- 79) 長嶋洋一, インタラクティブ・アートのための技術講座 - センサとMIDIシステムによるインタラクション入門, <http://nagasm.org/ASL/lecture01/>
- 80) <http://nagasm.org/ASL/paper/souai98.pdf>
- 81) <http://nagasm.org/ASL/lecture04/>
- 82) <http://nagasm.org/ASL/kyma06/>
- 83) 長嶋洋一, インタラクティブ・アートのためのセンサテクノロジー, <http://nagasm.org/ASL/paper/SEIAN001.JPG>
- 84) 長嶋洋一, Sensor/Microelectronics Technology for Interactive Multi-Media Art, <http://nagasm.org/ASL/Tsukuba20070711/>
- 85) <http://nagasm.org/1106/news4/20140519/>
- 86) [http://nagasm.org/ASL/kuca\\_workshop\\_1/](http://nagasm.org/ASL/kuca_workshop_1/)
- 87) [http://nagasm.org/ASL/kuca\\_workshop\\_2/](http://nagasm.org/ASL/kuca_workshop_2/)
- 88) [http://nagasm.org/ASL/kuca\\_workshop\\_3/](http://nagasm.org/ASL/kuca_workshop_3/)
- 89) <http://nagasm.org/ASL/Tsukuba20150702-03/>
- 90) <http://nagasm.org/1106/news4/20150702/>
- 91) <http://nagasm.org/1106/news4/20150703/>
- 92) <http://www.youtube.com/watch?v=M6XrcBw16yM>
- 93) <http://www.sparkfun.com/>
- 94) <http://www.sparkfun.com/pages/Nathan>
- 95) <http://www.seedstudio.com/>
- 96) <http://nagasm.org/1106/Sketch2013/DSC00551.JPG>
- 97) <https://www.sparkfun.com/products/13027>
- 98) 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.
- 99) <http://www.kuwatec.co.jp/Products/ibva/>
- 100) 長嶋洋一, 内受容感覚コントローラとしての筋電器器 --- 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.
- 101) <http://www.youtube.com/watch?v=OSKW1kCXHYa>
- 102) [http://www.youtube.com/watch?v=p\\_j07Mxkz9U](http://www.youtube.com/watch?v=p_j07Mxkz9U), <http://www.youtube.com/watch?v=Ry8m8EXIYko>, <http://www.youtube.com/watch?v=kJZ6201vhFw>
- 103) <http://www.youtube.com/watch?v=ioI7VuzI-Js>
- 104) <http://www.youtube.com/watch?v=3gyv4mnd00I>
- 105) <http://www.youtube.com/watch?v=H8CKkFtdbL4>
- 106) <http://www.youtube.com/watch?v=S6gwU2HMAvW>
- 107) <http://www.youtube.com/watch?v=TFHtYxPqs-0>
- 108) <http://www.youtube.com/watch?v=iVtMDezGmqw>
- 109) <http://www.youtube.com/watch?v=roWmhzBib0w>
- 110) <http://www.youtube.com/watch?v=kdvBMrhpE-0>
- 111) <http://www.youtube.com/watch?v=y0Iu2CjabS0>
- 112) <http://www.youtube.com/watch?v=ZomZ9F1ku8>
- 113) <http://www.youtube.com/watch?v=cjMkxXXEKQ>
- 114) <http://www.youtube.com/watch?v=UWlG8erWLSs>, <http://www.youtube.com/watch?v=5QRfKAV0m0>
- 115) <http://www.youtube.com/watch?v=SIRZcx3Y8Q>
- 116) <http://www.youtube.com/watch?v=RpdzQNRbIgo>, <http://www.youtube.com/watch?v=kxYJrdvnpZI>
- 117) [http://www.youtube.com/watch?v=3Jsx3Bce\\_4](http://www.youtube.com/watch?v=3Jsx3Bce_4)
- 118) <http://www.youtube.com/watch?v=KfTzq8NjZEW>
- 119) 長嶋洋一, よくわかる組み込みシステムのできるまで, 日刊工業新聞社, 2005.
- 120) [http://www.nttic.or.jp/Archive/2005/art\\_meets\\_media/Works/work10\\_j.html](http://www.nttic.or.jp/Archive/2005/art_meets_media/Works/work10_j.html)
- 121) [http://www.nttic.or.jp/About/Collection/Icc/AUDIBLE/work\\_j.html](http://www.nttic.or.jp/About/Collection/Icc/AUDIBLE/work_j.html)
- 122) <http://nagasm.org/ASL/Myo/>
- 123) <http://eleshop.jp/shop/g/g402251/>
- 124) 長嶋洋一, 音楽的ビートが映像的ビートの知覚に及ぼす引き込み効果, <http://nagasm.org/ASL/beat/>
- 125) 長嶋洋一, マイコン技術者スキルアップ事典, CQ出版社, 1992.
- 126) 長嶋洋一(他), 研究・技術開発 成果促進マニュアル, アーバンプロデュース, 1993.
- 127) 長嶋洋一, プロ電子技術者のコンセンサス, CQ出版社, 1994.
- 128) 長嶋洋一, はじめて学ぶノイズ対策, 工業調査会, 1995.
- 129) 長嶋洋一(他), 新製品開発がわかる事典, 時潮社, 1995.
- 130) 長嶋洋一, はじめて学ぶ情報セキュリティ, 工業調査会, 1996.
- 131) 長嶋洋一, 電子回路とノイズ対策がわかる本, 工業調査会, 1997.
- 132) 長嶋洋一, 図解 新しいノイズ対策, 工業調査会, 2002.
- 133) 長嶋洋一, あらえっさっさの日記, <http://nagasm.org/1106/news/araessassa/>
- 134) 長嶋洋一, Sabbatical 2004, <http://nagasm.org/Sabbatical2004/>
- 135) 長嶋洋一, Propeller日記, <http://nagasm.org/ASL/Propeller/diary01.html>
- 136) 長嶋洋一, Processing日記, <http://nagasm.org/ASL/Processing/>
- 137) 長嶋洋一, SuperCollider日記, <http://nagasm.org/ASL/SuperCollider/>
- 138) 長嶋洋一, Arduino日記, <http://nagasm.org/ASL/Arduino/>
- 139) 長嶋洋一, Raspberry Pi 日記, <http://nagasm.org/ASL/RaspberryPi/>
- 140) 長嶋洋一, PureData日記, <http://nagasm.org/ASL/PureData/>
- 141) 長嶋洋一, Max日記, <http://nagasm.org/ASL/max03/>
- 142) 長嶋洋一, mbed日記, <http://nagasm.org/ASL/mbed/>
- 143) 長嶋洋一, Myo日記, <http://nagasm.org/ASL/Myo/>
- 144) 長嶋洋一, Xcode日記, <http://nagasm.org/ASL/Xcode/>
- 145) <http://nagasm.org/ASL/abroad.html>