

# ウェルネス・エンタテインメントを実現するメディアアート

Media Arts: Towards Realization of Wellness Entertainment

京都市立芸術大学美術研究科  
博士後期課程(メディア・アート領域) 14607  
長嶋洋一

## 概要

本研究の目的は、「癒し/セラピー/リハビリ領域に役立つシステムの実現」を支援する枠組みの提案である。自己意識が心身の健康の源泉としてメンタルヘルスに役立つ「ウェルネス・エンタテインメント」を実現するためにメディアアートが出来ることは何か、これが本研究のテーマとなった。

本研究の方法は、まずウェルネス(ウェルビーイング)について考察し、「バイオフィードバック」「内受容感覚」をキーワードとした。そしてインタラクティブ・メディアアートや生体情報センシングのデザインを、スケッチング(物理コンピューティング)とシリアルス(役立つ)ゲームの視点から深化発展させた。さらにIT専門外の医療福祉従事者であっても、オープンソース公開情報を活用して有効なシステムを容易に実現できるようなフレームワーク/ツールキットを発表公開し、ワークショップやレクチャー活動を通じて専門家とのコラボレーション/意見交換によってエビデンスベースの検討を進めた。

本研究の意義は、特定の作品創作にとどまるのではなく、役立つシステムの実現を支援する枠組みからワークショップやレクチャーも含めた総合的な活動までの「道具箱」として、新たなメディアアートの可能性を位置づけたことにある。



# ウェルネス・エンタテインメントを実現するメディアアート

## 目次

### はじめに

## 第1章 背景から着想まで

### 1-1 メディアアート(サーベイ)

### 1-2 生体情報処理

1-2-1 筋電センシング

1-2-2 筋電ジャスチャ認識

1-2-3 呼吸センシング

1-2-4 心拍センシング

1-2-5 握力センシング

1-2-6 重心移動センシング

### 1-3 バイオフィードバック/内受容感覚/リハビリテーション

1-3-1 感覚の起源

1-3-2 知覚と意識：外受容感覚と内受容感覚

1-3-3 リハビリテーションとハビリテーション

1-3-4 ウェルネス(ウェルビーイング)

### 1-4 シリアスゲーム

1-4-1 「ゲーム・リハビリ」の事例

1-4-2 音楽ゲーム療法の事例

1-4-3 欧州のシリアスゲームの状況

### 1-5 オープンソース文化

## 第2章 本研究の内容

### 2-1 インタラクティブマルチメディア

2-1-1 インタラクティブ性

2-1-2 リアルタイム性

2-1-3 生体センシングの活用

2-1-4 マルチメディアによるフィードバック

2-1-5 アルゴリズムを自在に創造

### 2-2 エンタテインメントコンピューティング

2-2-1 情報処理学会EC研究会とシリアスゲーム

2-2-2 リハビリテーションにおける意義

2-2-3 メンタルヘルスからウェルネス・エンタテインメントへ

2-2-4 内受容感覚バイオフィードバックの4つのポイント

2-2-5 福祉領域ECの6つのポイント

2-2-6 筋肉の内受容感覚と触覚/触感のウェルビーイング

### 2-3 スケッチング(物理コンピューティング)

2-3-1 Sketching in Hardware

2-3-2 開発時/実行時のプラットフォーム: Max

2-3-3 連携通信のためのプロトコル3種

- 2-3-4 インターフェース・プラットフォームと注意点
- 2-3-5 スケッチングで実現した2つのシステム事例
- 2-3-6 ワークショップでのスケッチング例

#### 2-4 提供するフレームワーク/ツールキットの構成

- 2-4-1 OpenSourceハードウェア
- 2-4-2 OpenSourceソフトウェア
- 2-4-3 インターフェース・プラットフォーム(4種)の解説
  - いまだ現役のAKI-H8
  - Arduinoと拡張のための3種類のアプローチ
  - 異端のPropeller
  - 究極のARM mbed
- 2-4-4 テンプレート/サンプル集/ライブラリ
- 2-4-5 ドキュメント(記録/日記/FAQ/YouTube)

#### 2-5 OpenSource公開システムデザインの事例

- 2-5-1 汎用システム「VPP-SUAC」
- 2-5-2 汎用システム「PAW-double」

#### 2-6 全情報をインターネットで公開

#### 2-7 専門家とのコラボレーション

#### 2-8 ワークショップやシンポジウム

## 第3章 事例

### 3-1 制作システムの事例 (★印は最終発表展示)

- 3-1-1 「意識/注意」「感覚」に着目したアプローチ
  - 事例 "Unconscious"
  - 事例 "dynamic\_luminance"
  - 事例 "Affordance" (「noise\_move」・「noise\_zoom」・「gibson\_view」) ★
  - 事例 "listen\_ratio"
  - 事例 "segment\_reverse" ★
  - 事例 "自撮り鏡" ★
  - 事例 "illusion\_game" ★
  - 事例 "Nana\_Illusion" ★
  - 事例 "回転十字"
- 3-1-2 「錯覚」に着目したアプローチ
  - 事例 "trizonal\_spacewarp" ★
  - 事例 "Fraser" ★
  - 事例 "jitter\_illusion" ★
  - 事例 "shepard" ★
  - 事例 "ShiffrarPavel" ★
  - 事例 "foot\_step" ★
  - 事例 "move\_illusion1"
  - 事例 "CrazyDiamond" ★
  - 事例 "Munker" ★
  - 事例 "medama\_Illusion" ★
- 3-1-3 「時間」に着目したアプローチ
  - 事例 "10秒カウント" ★
  - 事例 "sonogram"
  - 事例 "Interactive Rhythm Game" ★
  - 事例 "function\_test"
  - 事例 "JumpingGirl" ★
- 3-1-4 内受容感覚に着目したアプローチ
  - 事例 "筋電ジェスチャ認識BFゲーム" ★

事例 "Lissajous"

事例 "PAW-UzuPicture" ★

事例 "PAW-eight" ★

### 3-1-5 触覚フィードバックに着目したアプローチ

事例 "筋肉体操"

事例 "12音FM生成タッチパネル"

事例 "UniUni\_single" ★

事例 "VFB10" ★

事例 "いたみん"

事例 "親指の達人"

事例 "腹八分目ベルト"

事例 "疲れ知らせる君"

### 3-1-6 マルチモーダル知覚に着目したアプローチ

事例 "direction\_illusion"

事例 "Dazed & Confused"

事例 "move\_illusion2"

事例 "Drive\_Game"

事例 "Breath\_Record"

事例 "右手(ゆうしゅ)に円を書き左手(さしゅ)に方を画ぐ"

事例 "MRTI2015" ★

### 3-1-7 汎用プラットフォーム"PAW-double"での事例集

事例 "PAW\_moire\_1" ★

事例 "PAW\_moire\_2" ★

事例 "AveMaria"

事例 "Norimatsu\_style"

事例 "PAW\_sound" ★

事例 "Takami\_style"

事例 "2018\_Fukuchi"

事例 "2018\_Higo"

事例 "2018\_Hirata"

事例 "2018\_Ogata"

事例 "2018\_nagata"

事例 "2019\_Inoue"

事例 "2019\_Oohata"

事例 "2019\_Mochida"

事例 "2019\_Sagesaka"

事例 "2019\_Sakuragi"

## 3-2 社会への提案事例

### 3-2-1 ワークショップ等

事例 ワークショップ「電子工作: ハンダ付けの秘伝公開」(京都精華大) 2014年5月19日

事例 ワークショップ「電子工作入門」(京都市立芸大) 2014年6月12/23日

事例 「スケッチング」ワークショップ(SUAC) 2014年11月23-24日

事例 Arduinoワークショップ(京都市立芸大) 2015年6月11-12日

事例 「スケッチング」ワークショップ(筑波大) 2015年7月2-3日

事例 「スケッチング」ワークショップ(SUAC) 2017年2月4-5日

事例 「スケッチング」ワークショップ(SUAC) 2018年2月10-11日

事例 「スケッチング」ワークショップ(SUAC) 2019年2月2-3日

### 3-2-2 バイオフィードバックセミナー

事例 バイオフィードバックセミナー(甲南女子大) 2015年10月12日

事例 バイオフィードバックセミナー(人間環境大) 2016年2月28日

事例 バイオフィードバックセミナー(けいはんな) 2016年12月18日

事例 バイオフィードバックセミナー(奈良学園大) 2018年3月31日

### 3-2-3 海外での提案事例

事例 Sketching2015(アリゾナ) 2015年7月31日

- 事例 SI2015(シンガポール) 2015年8月20日
- 事例 VS-Games2016(バルセロナ) 2016年9月9日
- 事例「スケッチング」ワークショップ2件(エカテリンブルク) 2016年9月20/21日
- 事例 VS-Games2018(Wurzburg) 2018年9月6日
- 事例 ICEC2018チュートリアル(Poznan) 2018年9月20日
- 事例 Sketching2019(デトロイト) 2019年9月27日

#### 3-2-4 国内での提案事例

- 事例 電気学会知覚情報研究会(浦田クリニック/スコール) 2017年1月7日
- 事例 奈良学園大オープンキャンパス 2018年4月15日・7月15日
- 事例 デモ/プレゼン「Maxサマースクール2018」(東京藝大) 2018年8月7日
- 事例 バイオフィードバック学会シンポジウム(愛知学院大) 2019年6月30日
- 事例 リハ工学カンファレンス2019(北海道科学大) 2019年8月23日
- 事例 情報科学技術フォーラム2019(岡山大) 2019年9月3日

## 第4章 検証と展望

### 4-1 事例の考察と検証

- 4-1-1 「錯覚」テーマの事例についての考察
- 4-1-2 事例 "Jumping Girl" についての考察と検証
- 4-1-3 事例 "PAW-eight" についての考察と検証
- 4-1-4 事例 "親指の達人" についての考察と検証

### 4-2 将来に向けての課題と展望

- 4-2-1 ワークショップの意義(デザイン・エンタテインメント)
- 4-2-2 ウェルビーイング/ウェルネスを支援する社会的意義
- 4-2-3 メディアアートの可能性

おわりに

参考文献/URL・図版出展

## はじめに

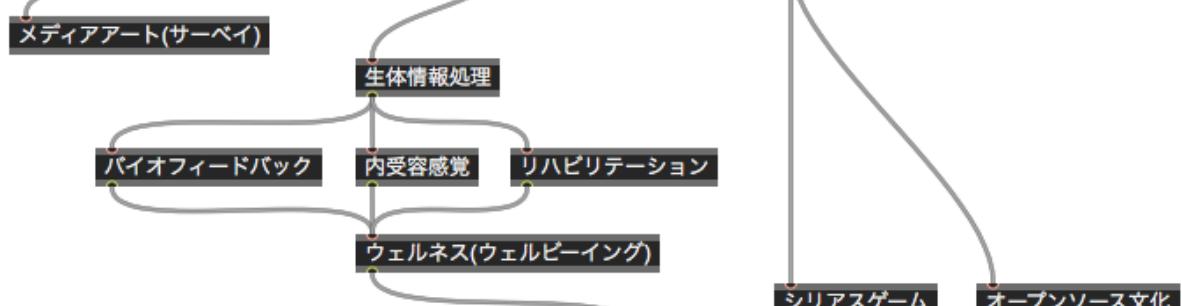
本研究は「人間の内なる力」の可能性に触発されて進んできた。地球上で自己の滅亡に繋がりかねないほど資源環境を貪り尽くしている「ヒト」は、進化生物学的には最上位に位置しているとされ、その生み出したテクノロジーは地球全体から宇宙にまで拡張している。しかし一つの生命体として「ヒト」の内なる力について考えてみると、例えば「感覚」や「意識」や「感情」について、あるいは「健康」や「恒常性」についてちょっと深く考察してみれば、まだまだ未知であることを知って愕然とさせられる。

私事になるが、筆者は誰かに脈を診てもらっている時に意識的に自分の脈拍をふっとスローダウンできる「技」を持っている。これは決して誇れる特技ではなく、幼児期に小児喘息に苦しめられたことがその遠因であった。小児喘息の発作はアレルギー反応として気道の内壁粘膜の細胞が肥大して気道が狭窄し、喘鳴と共に呼吸困難(息が吸えないだけでなく息が吐けない)となり、当時は(携帯型の吸入器が出現するのは四半世紀後)病院に行ってネブライザー装置で吸入治療しない限り、いったん起きた発作は一方通行で決して収まらなかった。そして発作時の苦しさを抑えるために子供心に身に付いた、か細い呼気と脱力のある感覚を身体に思い出せると、筆者の脈拍は十数秒間ほど、今でもスローダウン(無意識下の代謝低下)できるのである。

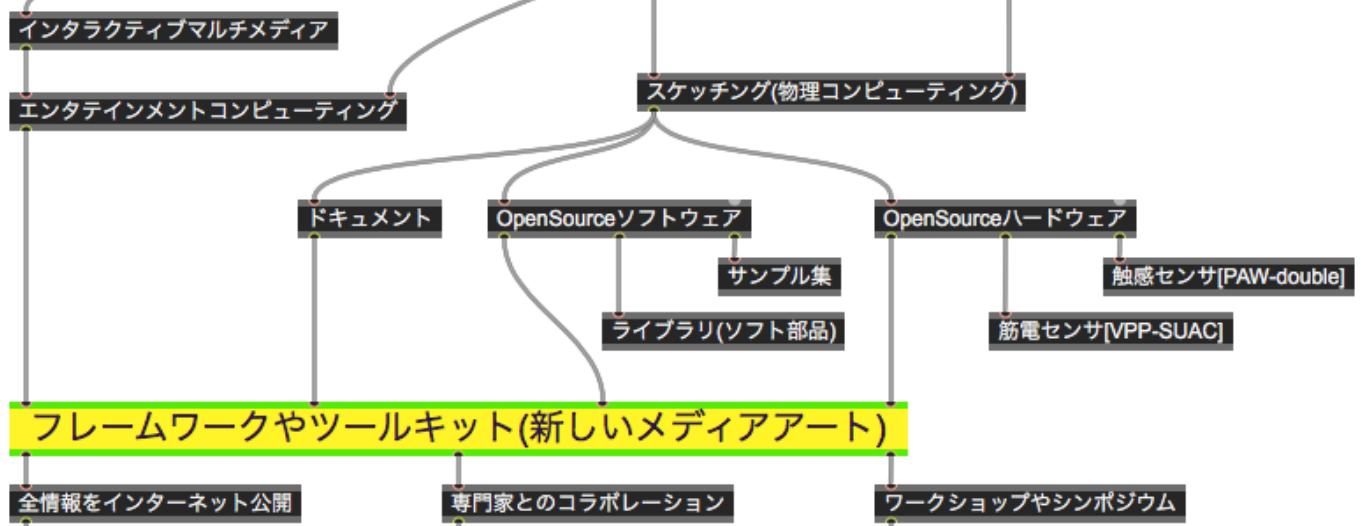
普段は快活なのに、アレルギーの出る季節の変わり目(春・秋)にだけ、急に病弱になる姿を気付かれたくない演技と無力感。発作が起きれば小学校から帰宅する道で、電柱ごとにつかまってゼイゼイ息を整えてから次の電柱に向かう恥ずかしさ。ところが、発作が起きた夜中にバイクの父の背中にしがみついて行った病院でポンプに繋がれたガラス製の吸入器を咥え、いざアロテック0.3ccアレバール1.0ccの霧を吸い込んだ瞬間、吸入治療はあと20分ほどかかる(まだ気管支に最初の薬剤が到達したかどうか)というのに、既に全身の筋肉を縛り付けていた緊張が弛緩して、まだ呼吸が微弱なのに快癒が約束された安堵感とともに苦しさが消滅した。この「喘息治療の吸入を開始した瞬間の安堵感」というのは体験者でなければ理解してもらえないが、本研究で追及している「内受容感覚から来るウェルネス」そのものだったと、後になって気付いた。

看護婦だった母は小児科の主治医と相談して当時の先端療法(副腎皮質ホルモン連続注射による減感作療法)を行ったり、煎じ薬・乾布摩擦・大蒜酒などあらゆる民間療法まで試したが、「小児喘息は身体の成長とともに体質が変わって克服できる。気力で克服しないと大人の喘息になって一生治らないよ」という母の言葉を子供ながらに本当に理解したある時から、すっぱり治ってしまったのはまさに事実である。本研究のテーマとなったウェルネス追求やリハビリテーションにおいて、クライアント本人の自己意識こそ心身の健康的源泉となる、という東洋医学や心身医学の視点(「病は氣から」)はまさにこの小児喘息の克服と同じ真理に基づいている。そんな「氣」(気持ち・気合い・気付き・気力)の驚くべき力に寄り添う「ウェルネス・エンタテインメント」を実現するためにメディアアートが出来ることは何か、これが本研究の動機であり目標である。

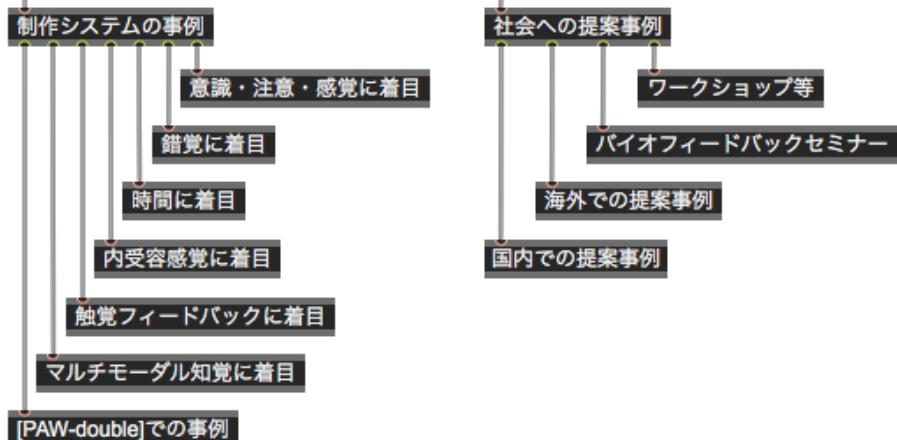
## 第1章 背景から着想まで



## 第2章 本研究の内容



## 第3章 事例



## 第4章 検証と展望

# 本研究の全体構成

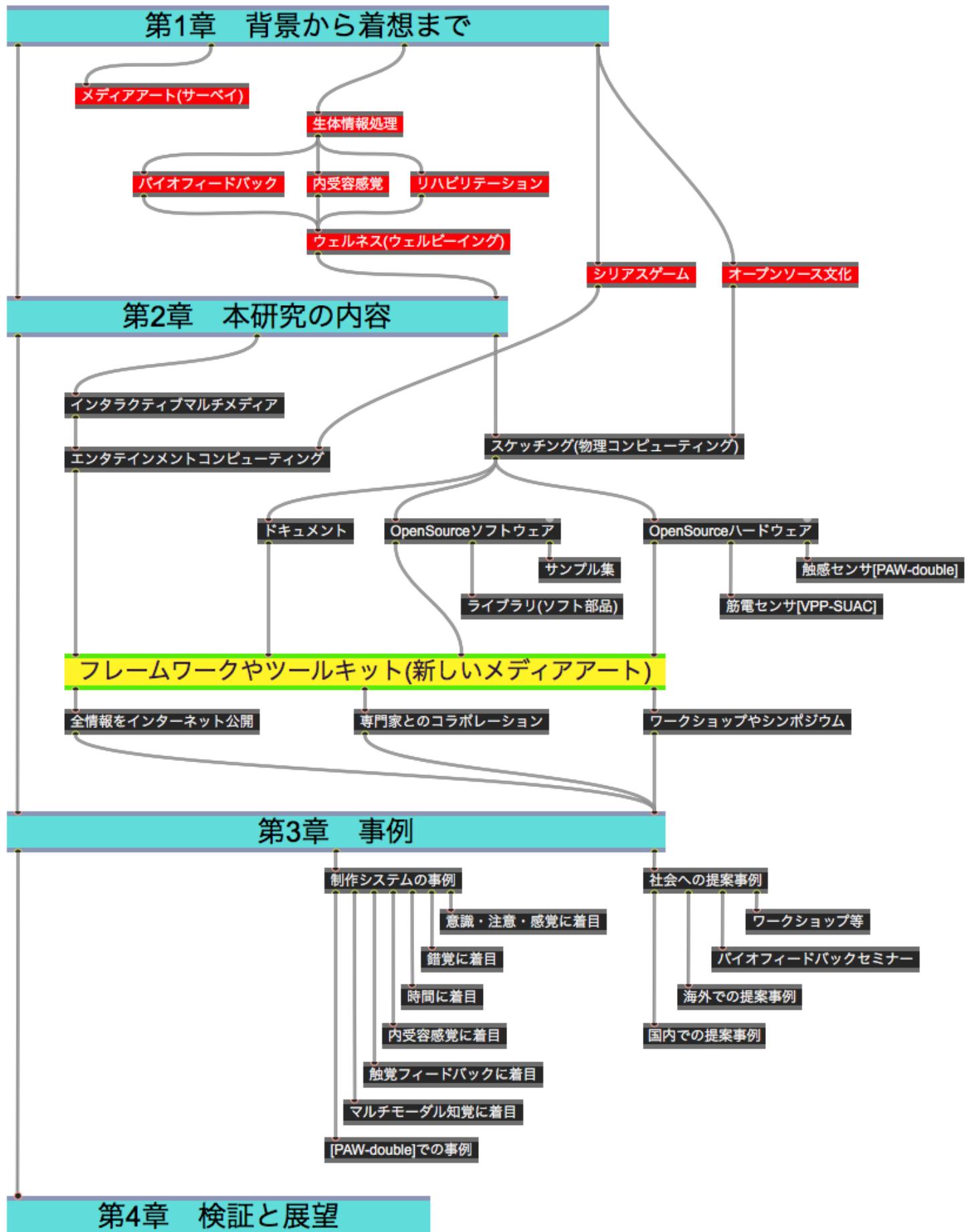
本研究は多くの要素が絡み合っているために、この論文ではメインの開発環境とした「Max」(Cycling'74)の動的なダイヤグラム表現(前ページ)により、その関係性をキーワードごとに整理して記述した。以下はおよその全体構成である。

第1章「背景から着想まで」では、文化的・学術的な背景から本研究の着想に至る経緯を整理した。まず関連したメディアアートのサーベイを行い、次に筆者がインタラクティブメディアアートとして「生体センシング/生体情報処理」に重点を置いて進めてきた研究に関連して、「バイオフィードバック」「内受容感覚」「リハビリテーション」などの領域に検討が広がり、これが「ウェルネス(ウェルビーイング)」という概念で統合されてきた考察について整理する。そして本研究の重要な背景となっている世界的な文化的潮流として、「シリアルゲーム」と「オープンソース文化」についても考察した。

第2章「本研究の内容」では、「ウェルネス・エンタテインメント」を実現していくためにメディアアートがフレームワークやツールキットとして活躍できる、という本研究の提案を構成する具体的な内容を詳解した。まず、筆者のこれまでの「インタラクティブマルチメディア」デザインというアプローチ(インスタレーションやパフォーマンス)について詳細に解説し、これをシリアルゲームの発想により発展させた「エンタテインメントコンピューティング」、特にリハビリテーションやメンタルヘルスの領域に応用する関係を考察する。さらに、オープンソース文化により生まれた「スケッチング(物理コンピューティング)」、具体的には「オープンソース・ハードウェア」と「オープンソース・ソフトウェア」の公開によって専門家でなく誰でも役立つシステムを実現できる、という体系について、新たに開発/公開した2つのハードウェアの具体例を中心に詳解し、誰でも容易にデザインできるフレームワーク/ツールキット、として提案した。そしてアウトプットに関して、「全情報をインターネット公開」「専門家とのコラボレーション」「ワークショップやシンポジウム」という3つの活動の展開までが提案するメディアアート(活動)である、という点を明確にした。

第3章「事例」では、具体的に制作したシステムの事例(一種のシリアルゲームと呼べる)を7カテゴリに分けて、「スケッチング」の具体化としての意味や「ウェルネス・エンタテインメント」的なポイントを解説しつつ紹介した。また社会への提案事例を4カテゴリに分けて、実際に専門家と進めてきたコラボレーションの事例や、ワークショップ・シンポジウム・チュートリアル・レクチャー・セミナーでの公開/発表/考察/議論などの事例を紹介し、欧米で根強く進展してきた「シリアルゲーム」の考え方と関連させて検討した。

第4章「検証と展望」では、まず第3章で紹介した事例の中から3件を選んで、本研究で注目した視点に基づいた考察/検討や、専門家との意見交換/議論に基づいた検証を行った。そして最後に「将来に向けての課題」として、(1)ワークショップの事例から考察した提案として「デザイン・エンタテインメント」というアイデアについて、(2)ウェルビーイング/ウェルネスを支援する社会的/文化的な意義、(3)本研究においてより拡大した意味でのメディアアートの可能性を考察した。



# 第1章 背景から着想まで

本研究は、「ウェルネス・エンタテインメント」という目標に対して、クライアントと実際に接している専門家とのコラボレーションによって、メディアアートが人々や社会に「役立つ」という可能性を見出して、その実現を支援するフレームワーク/ツールキットそのものをメディアアートの新しい姿として追求した。筆者が注目したインタラクティブ・メディアアートの本質的な特性、すなわち、(1)インタラクティブ性、(2)リアルタイム性、(3)生体センシングの活用、(4)マルチメディアによるフィードバック、(5)アルゴリズムを自在に創造、などの点が、リハビリテーションの現場で求められている「やらされるリハビリ」から「自力で治るリハビリ」への転換を強力に支援する、というアプローチである。つまり本研究では、伝統的なインストレーションやパフォーマンスなど個別形態のメディアアート「作品」がを成果物とするのではなく、メディアアートそのものの文化的/社会的意義の再構築を目指している。

本章「背景から着想まで」では、まず関連したメディアアートのサーベイを行い、次にインタラクティブメディアアートとして「生体センシング/生体情報処理」に重点を置いて進めてきた活動を紹介する。関連して、「バイオフィードバック」「内受容感覚」「リハビリテーション」などの領域に検討が広がり、「ウェルネス(ウェルビーイング)」という概念で統合されてきた考察について整理する。そして次章に繋がる重要な背景となっている世界的な文化的潮流として、「シリアルスゲーム」と「オープンソース文化」についても考察した。

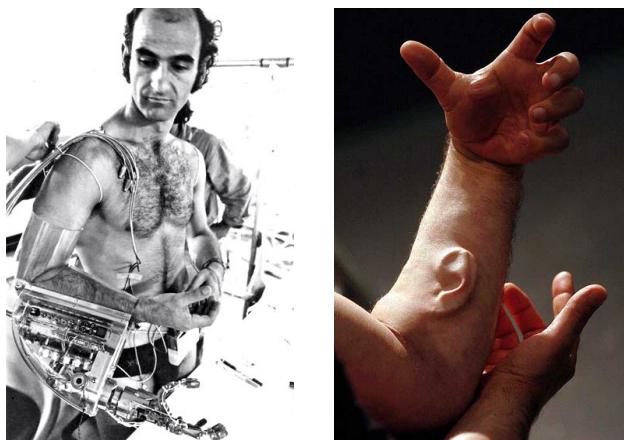
## 1-1 メディアアート(サーベイ)

メディアアート(Media Art)とは、20世紀半ば以降に生まれた、新しい技術的発明を利用した芸術表現(テクノロジーアート)、あるいは新技術/メディアによって生み出される芸術(ニューメディアアート)の総称である。その形態としては、コンセプチュアルアート、ビデオアート、コンピュータアート、ネットコンテンツ、インスタレーション、パフォーマンスなどの範囲に及ぶ。美学の方針からメディアアートを大きく分類すると、(1)非実時間的なスタジオワーク制作作業の結果としてのマルチメディア・コンテンツ(固定メディア)を再生鑑賞する「タイムライン作品」の形態(映像作品[Movie/DVD/YouTube]・音楽CD・プロジェクトマッピング等)と、(2)リアルタイムに相互作用(インタラクション)するアルゴリズムによって毎回異なったマルチメディア体験をライブ生成する「インタラクティブ作品」の形態(インスタレーション・パフォーマンス・ゲーム等)とに二分される。ごく簡単に言えば、前者は「鑑賞」するものであり、後者は「体験/参加」するものである。政治的/経済的な意図から文化庁はアニメ・漫画・ゲームまでメディア芸術と呼んでいるが、世界的には是認されていない。

筆者は、コンピュータ・エレクトロニクス分野の研究開発エンジニア(約10年)を経て国家資格「技術士」(情報工学部門・電気電子部門)を取得し独立してから30年間、おもに「インタラクティブComputer Music」の領域で活動してきた。コンピュータ音楽とコンピュータの歴史は同じ長さを持つが、1980年代までは、主として「Computerアルゴリズムによって生成された楽譜」を人間の演奏家が演奏したり、いわゆる「打ち込み音楽」としてタイムラインに沿ったサウンド要素を記述して自動再生する、固定的な音楽(基本的には毎回同じことが起きる)だった。しかし1990年頃から筆者が取り組んだ「インタラクティブComputer Music」とは、その場で生み出される音楽がセンサや偶然性などに応じて「変容する」タイプのパフォーマンスであり、作曲の一部として新楽器(新センサ)を開発し、ライブに音響を変化させるアルゴリズムを走らせて公演する、という筆者の活動形態は、まさにインタラクティブメディアアートそのものであった。本研究もこの領域の延長にあり、古典的な「展示され鑑賞する」(受け身)という個々の作品形態というより、発展的な「体験する」(能動的/対話的)応用としてリハビリテーションやウェルビーイング/ウェルネス領域に新たな可

能性を提案する「フレームワーク/ツールキット」(役立つシステムを生み出すことを支援する環境)としてのメディアアート、という可能性を追求した。

メディアアートは芸術と科学の融合によって生まれたが、これを予見したのがベンヤミンだった。多木浩二は「科学/美的なもの/詩的なものはまったく別のものではなくどこかで繋がりあっている。日本では科学的態度と美的感受性を別物として考えることが多いが、実は別物ではないのだと確信を込めて教えてくれたのがベンヤミン」と述べた。これは1991年から"Art & Science Laboratory"を主宰し、広く「芸術科学」を求めてきた筆者(「芸術科学会」2000年設立発起人)にとって、力強い言述である。ベンヤミンが100年前に「複製技術時代の芸術作品」で看破した視点は、劣化しないマルチメディア・デジタルコピー文化の現代においても本質的な問題提起である。ベンヤミンの示した基本概念のうち本研究で重視した点は、(1)「礼拝価値」は再生専用の映画/映像では実現できないリアルタイム・インタラクションの意義として、(2)「展示価値」は「スケッチング」によって一品料理でなく広範な応用を支援するオープンソースの意義として、(3)「気散じ(遊び)」はゲーム/ギャンブルなど狭義のエンタテインメントに限らない、人間の情動/感情/意識に繋がるウェルビーイング/ウェルネスという広義のエンタテインメントとして、(4)「没入」は無意識下コントロールの「意外」(AHA!)感の発見/演出に関連させて、(5)「触覚」は新・触覚/触感インターフェースを活用した多くのシステム試作(→「癒し」体験)として発展させた。



Stelarc: "Third Hand" and "Extra Ear" (<http://stelarc.org/?catID=20265/20229>)

メディアアートに関する世界的サーベイ文献「MediaArtNet」を調査した中で、生体情報センシングに重点を置いた本研究にもっとも関係するのは、自分の身体をアート表現のキャンバスと化した作品/活動で有名なステラークである。初期のショッキングな作品を別にすると、1980年代の作品"Third Hand"では右腕に「第3の腕」を増設し、そのロボットアームの制御に「生体情報センシング→義手制御」システムを実現した。1990年代の作品"Amplified Body"では脳波から身体全体にまでセンサ群を拡張させ、来るべきアンドロイド/ロボット時代の「人間の身体」についての文明論的な考察を提起した。作品"Extra Ear"では身体の知覚器官(外受容感覚のために特化した身体部分)を人体に増設するアプローチを進める一方、作品"Ping Body"ではこの逆方向、すなわちインターネットからの情報に応じて身体の各部分を強制的に動かす「テレ・イグジスタンス」(リモートコントロール)の具現化を自身の身体で表現し、再びアンドロイド/ロボット時代の恐怖を予言した。生体センサ・インプラント装置を人体に手術で埋め込む実用化として、この予言は既に現実のものとなった。

他人からの電気信号を身体に作用させて痙攣するステラークのアイデアと通じるシステムの開発をIAMASの三輪眞弘/赤松正行から依頼され、筆者は2002年にコンピュータ制御「電気刺激フィードバック装置」を製作提供して、IAMASでの複数のメディアアート・パフォーマンス作品の公演に活用した。この開発中に発見した「(聴覚を失った人でも)電気刺激で音楽を聞く可能性」という考察は、本研究の振動フィードバック

システム(→3-1-5 “VFB10”)において再び復活したアイデアであり、ベンヤミンが注目した「触覚」(という内受容感覚)にも通じる重要感覚チャンネルと深く関係している。21世紀に入ったステラークは身体のいろいろな器官をリアル造形としてデフォルメしつつ増設する方向に進んで、全体として過剰に「身体」「感覚」「振舞い」「外見のリアリティ」を追及する一方で、脳内活動や心理(メンタル)という領域については敢えて主張せず鑑賞者に考察を委ねており、脳科学/心理学などの考察を重視した本研究とはこの点で方向性が大きく異なっている。



赤松正行(IAMAS) 作品”Flesh Protocol” (<http://nagasm.org/ASL/SIGMUS0205/>)

美学/哲学のサーベイ中に調べた「メディアアートの時代」に対する文明批評としては、ドゥルーズが警鐘を鳴らした「情報管理社会」はまさに世界を網羅しつつあり、キットラーが指摘した文字文化/心的世界に対するメディア/テクノロジーの脅威も現実となり、ボルツが危惧した「情報洪水」による人間の退化と大衆操作/格差拡大も確実に広がっている。クレーリーが指摘した「低水準の注意持続を強制され続けて人間の感覚が磨耗する」状況、フォスターが懸念した「美的なもの・実用的なものが融合するだけでなく商業的なものへと包摂され、すべてのものがおよそデザインと見なされる」時代、いずれも(残念ながら)その通りになってきた。しかし本研究においては、フーコー/バルト/デリダを含めたこれらの美学的/哲学的サーベイを考察の参考としたものの、文明批評的negative視点で「言述する」のではなく、現場の専門家と共に「メディアアートが世の中に役立つ」デザイン追求として「実現する/活動する」、というpositiveな方向性をメインに据えた。

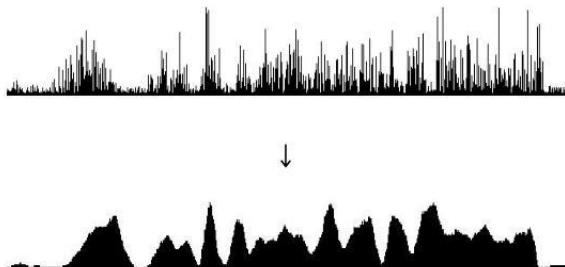
## 1-2 生体情報処理

これまで筆者が進めてきたインタラクティブメディアアート活動と筆者がデザインしてきたシステムの実例は第2章「2-1 インタラクティブマルチメディア」でまとめるが、ここではその中で「生体情報センシング」に関する部分を、次の「バイオフィードバック・内受容感覚・リハビリテーション」に発展する基盤として、先に整理紹介しておくことにする。

### 1-2-1 筋電センシング

まず、生体情報の中でも筆者が重視する「筋電」についてである。筋電計測では一般に、アナログの筋電センシング信号に「整流」+「平滑」という処理、つまり数学的に言えば積分演算、電子工学的に言えばローパスフィルタ、情報工学的に言えば移動平均処理により、「筋電パルス密度の時間的变化(エンベロープ)」を得て、これをデジタル変換して信号処理を行う。この筋電エンベロープ信号とは感覚的に言えば「筋肉に力が入っている強さ」の指標データであるが、平滑/積分処理によって本質的な時間的遅れ(レイテンシ)を伴っている。ただし随意筋に対して脳から「動け」という指令が出てニューロンパルスが発生し、これがわずかに遅れた筋電エンベロープ信号として得られても、実際には慣性質量を持つ腕や脚などが動きだす物理的遅延があるために、筋電情報は動作と「ほぼ同時」あるいは「わずかに先」に得られる。これは、身体

に取り付けた加速度/曲げのセンサとか身体各部を画像解析するシステム(必ず身体動作の後でなければ計測不可能)に対する、筋電センシングならではの優位性である。



筋電信号から筋電エンベロープへの変換



Atau Tanaka: BioMuse (<http://ataut.net/site/BioMuse>)

メディアアートの世界で「筋電」と言えばAtau Tanakaの"BioMuse"がもっとも有名である。ハーバードで哲学を学んだ後にスタンフォードで生体情報処理とコンピュータ音楽を研究する彼と筆者が出会ったきっかけは、実行委員会メンバーだった国際会議ICMC1993(Tokyo)での彼の発表(博士論文の前年)である。彼の研究は後に生体センサ装置"BioMuse"として製品化され、Atau Tanaka自身もBioMuse演奏者として"SensorBand"を組織し世界的ツアードで活躍した。彼との交流はその後も続き、「BioMuseを百分の一のコストで製作」した後述の筆者オリジナル筋電センサ"MiniBioMuse"シリーズは彼に絶賛された。もともと筋電センサは歴史的に「義手を制御する」という大目標があるが、敢えてAtau TanakaはBioMuseで「脳波/皮膚電位/筋電」を繊細な生体コントロール信号としてコンピュータに与えライブ演奏する(まさにバイオフィードバック)ことで、生体情報からメディアアートに発展する可能性を追及した。Atau TanakaがパリのSonyコンピュータサイエンス研究所の研究員を経て英国Goldsmiths大学教授となった後にも折々に議論を続け、最終的には本研究で開発した"VPP-SUAC"シリーズに至る筋電/脳波センシングへと発展した。以下、3世代にわたった"MiniBioMuse"シリーズを簡単に紹介する。

筆者のコラボレータ:照岡正樹と開発した初代の筋電センサが1995年頃に生まれた「MiniBioMuse-I」である。彼が設計したフロントエンド回路は汎用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(PCメモリ増設時に静電気を逃すステンレス製リストバンド)だけでなく足首にハム(誘導ノイズ)をキャンセルするための第3の電極を取り付けた。両手首にセンサ電極があるので、その間の筋肉の全体(両腕、胸[呼吸]など)の情報が検出できる。006P電池(9V)を2つ使用するなど課題も多かったが、VHSビデオテープ程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AKI-H8でA/D変換してMIDI出力する、という機能には、BioMuseの開発者Atau Tanakaも良好な評価を与えて後継機に期待を表明した。このセンサで検出した筋電信号は後にSonyのラジオCM「人体の音楽」編のための作曲(1-2-4)でも使用した。

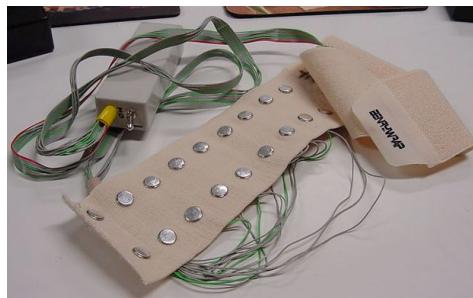


筋電センサ「MiniBioMuse-I」



筋電センサ「MiniBioMuse-II」

初代から新たな改良により1997年頃に開発したのが2代目の「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、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(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2SK146[東芝]により、単一電源で良好な高倍率差動増幅回路を実現)へと発展した。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、右腕と左腕それぞれの手首から肘までの前腕部の筋電情報を検出した。アナログ電圧出力はケーブルで延長したサブボックス(AKI-H8)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(1999年に京都と神戸で公演)にも使用できる実績を得た。



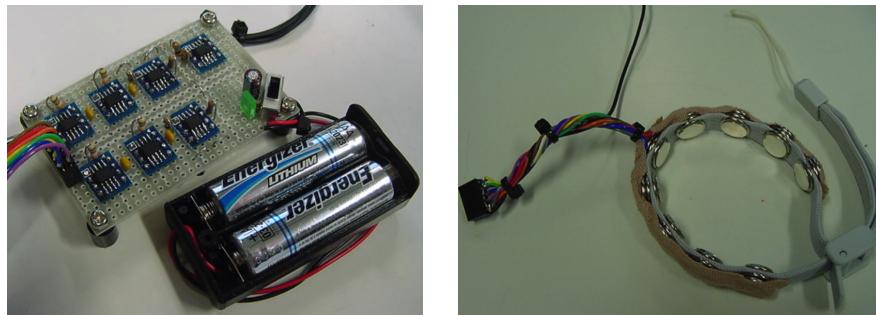
筋電センサ「MiniBioMuse-III」

3代目は2000~2001年にかけて進展し、最終的に「MiniBioMuse-III」として一気に結実した。初めて純銀円盤電極を採用し、両腕8+8=16チャンネルの前腕部の筋電情報をリアルタイムMIDI出力するとともに「生の」筋電ノイズをアナログ信号出力した。フロントエンドの2SK146が製造中止となる国内最後のロット20個を買い占めて製作したので、同じものはもう誰も作れない。この楽器を活用した作品群の公演は、海外だけでもKassel2001/Hamburg2001/Montreal2003/Amsterdam2004/Paris2004/Vancouver2005/Taipei2007/Yekaterinburg2010/Oslo2011と7カ国8都市にわたり、各地の専門家と聴衆に好評を得た。ベルト素材として利用していた介護用伸縮バンドが寿命で破断してしまい、2-1-3で後述する片腕用の「Myo」を2個使い両腕動作可能にカスタム化したことで「MiniBioMuse-III」はほぼ引退となった。ただし純銀円盤電極を含めて電子回路部分は健在であり、ベルトを補修すればいつでも復活できる。

## 1-2-2 筋電ジャスチャ認識

初代から3代目までは「筋電楽器」として開発したが、4代目「MegaChips」はやや状況が異なる。この新システムは任天堂Wii等のLSIを開発するメガチップス社からのSUAC(静岡文化芸術大学)受託研究として開発したため、契約により最終報告書は公開していない。システムが「4チャンネル」筋電センサと先代より縮退した理由は、筋電センサ電極を「Wiiリモコンの手首ストラップ」上に設置するという条件から、ペア電極として4チャンネル(8電極+接地電極の計9個)が限界だったためである。フロントエンドに新世代の高性能OPアンプを採用し、4チャンネル筋電情報をMaxにオーディオ入力して50バンド・リアルタイムFFTシステム(計200チャンネル)でパターン認識処理した。研究の目的は「手首から先のジェスチャを認識」

できるかどうかであり、手首から先の29種類のポーズを筋電システムで学習/再現/比較するという心理学実験をSUAC学生を被験者として行った。結果として被験者ごとに29種類のジェスチャの中で再現性の良好な5種類を選んで自在に選択再現できる、という成果を得たが、「万人に共通するジェスチャ(データ)は存在しない」という結論も報告した。

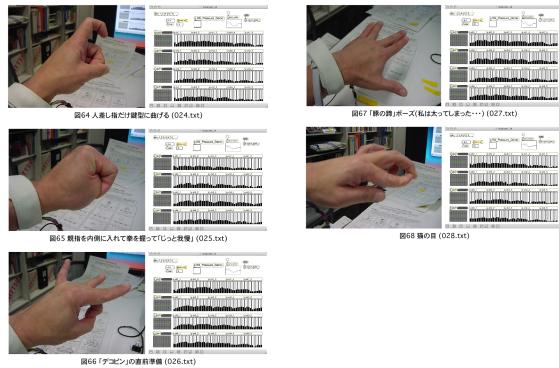


筋電センサ「MegaChips」

ここでは本研究に繋がる知見として、筋電ジェスチャ認識機能を発展させた一種のゲームモードを開発した際の発見がとても大きな意義を持つ。まず被験者が29種類のポーズを次々に真似た筋電解析情報を記録し、次に再び画面内の各ポーズを順に被験者が真似た(再現した)筋電解析情報との距離を刻々と比較して、被験者ごとに「再現性の良好な」5種類のポーズを選んだ。そして、この5種類のポーズ画像が画面の下端に並んで、現在の筋電解析情報と最も類似したポーズ画像だけが刻々と1ピクセルずつ上昇する、というゲームモードが開始する。画面を被験者本人が視覚的に確認して、あるポーズを選んでその画像を上げるためにポーズ再現中に試行錯誤的に「もぞもぞと脱力と緊張を繰り返す」、という典型的な「曖昧バイオフィードバック」である。随意筋とは言っても、この微調整はかなり曖昧な「無意識下の操作」であるが、意外にも面白いようにヒットした。この知見と先行研究を並べて検討することで、身体と感情、注意と自己、予測/期待と感情、意識と無意識、などの重要な視点を見出せた。この「無意識下・曖昧」バイオフィードバックによって発見した、リラックスと緊張の微調整から得られる成功(達成)の充実感/意外感の情動は、明らかに一種のエンタテインメントであったことは、後に本研究での検討に直結した。



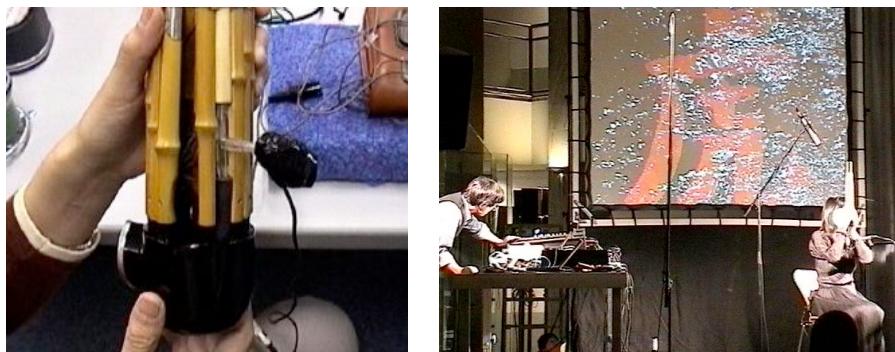
29種類のポーズ(1)



29種類のポーズ(2)

### 1-2-3 呼吸センシング

人間は生きている証として常に呼吸し、他の動物からヒトという特異な存在に進化した「言葉」を発するために独特の呼吸法を持つ。そして音楽における歌声や吹奏楽器のプレスだけでなく、深呼吸が精神を落ち着かせたり、緊張状態から過呼吸となったり、居合抜きの達人が腹式呼吸を礼賛するなど、人間のあらゆる情動/生理状態に密接に直結しているのが呼吸である。笙演奏家/作曲家の東野珠実に依頼されて1998年に開発した「笙プレスセンサ」は、伝統楽器「笙」を演奏するための呼気と吸気の両方を繊細に検出する一種の「呼吸圧センサ」である。笙の17本の竹のうちリード(呼気/吸気の両方で鳴動)の無いイミテーション2本のうち1本に小型のフジクラ製気圧センサ(大気圧に対するプラス/マイナスを高精度に検出)を仕込んで、呼気と吸気の変化データをホストにMIDI伝送した。笙プレスセンサを新楽器として活用した筆者の作品 "Visional Legend"(神戸/Paris/Kassel/Hamburgで公演)でのお披露目を皮切りに、彼女自身の作品群、さらにはヨー・ヨー・マのWorld Tourに委嘱された彼女の作品公演(New York)でも活躍した。



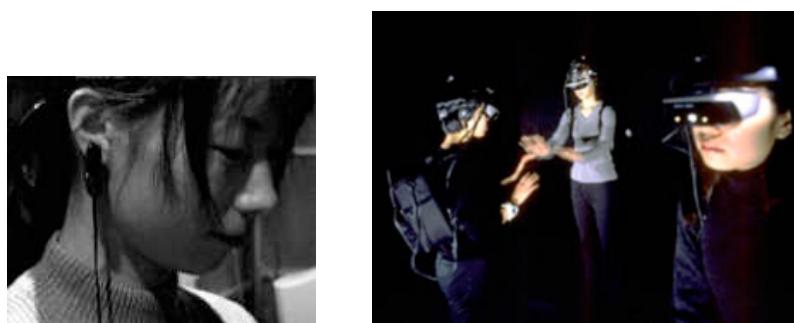
「笙プレスセンサ」と長嶋作品 "Visional Legend" の公演(Kassel)

次いで「東野珠実 Breathing Media」プロジェクトの公演(1999)において、ソプラノ歌手の歌唱の息づかいをセンシングして彼女の笙演奏の息づかいと組み合わせる、という構想を受けて開発したのが、AKI-H8を用いた「呼吸プレスセンサ」である。用いたのは医療用の伸長によって抵抗値の変化するビニールチューブで、心電図計とか脳波計に接続して呼吸状態や患者の生存をモニタする。これをソプラノ歌手の衣装の下で腹部/胸部に巻くと、歌唱に伴うプレスによって腹囲/胸囲が変化し、その微小変化をホイートストンプリッジ回路で検出してMIDI出力した。2016年に帝塚山大学の村尾忠廣教授に依頼され開発した呼吸プレスセンサも原理は同じであり、同氏の提唱する「逆腹式呼吸」理論(胸部でなく腹式呼吸を行う腹部を上下3領域に分割し、それぞれ歌唱時に凹ませるだけでなく膨らませる技法も提唱)の検証のため「3チャンネル・呼吸センシングシステム」をArduinoを用いて開発した。音楽心理学実験のため、ホストのMax側では3チャンネルの腹囲の変化グラフの表示/記録だけでなく、同時に歌唱音声のレコーディング、さらにビデオカメラで歌唱実験中の被験者の様子を録画して、分析ステップでの同時性に配慮した。

かつて学会発表した「映像酔い」の研究報告を知ったパイオニアから依頼されたSUAC受託研究「車酔いのセンシングと車内音像移動」において、被験者の鼻先に設置したCO<sub>2</sub>センサを用いて呼吸における「呼気末端二酸化炭素濃度」の変化をセンシングしたが、これも一種の「呼吸センサ」と言える。人間が普通に呼吸している際、あるいは心理学実験において被験者が実験条件に対応している際の被験者の鼻先に設置したCO<sub>2</sub>センサのデータを検出することにより、「無意識的に呼吸量が低下する(代謝が低下する)ことが車酔い/眠気の指標として使える」という学会発表に触れたことで、映像酔いに関する研究、さらに車酔いに関する研究に役立った。実際にテストカーに試乗した被験者が車酔いのような状態に入っていくと、無意識下に鼻先のCO<sub>2</sub>センサのデータが低下する事を確認できた。

### 1-2-4 心拍センシング

人間が生きている証として常に心臓は動き続けて血液が全身を循環し、その拍動のペースは運動状態や精神状態と密接に関係している。ICCビエンナーレ1997最終選考に唯一の日本人として採択された前林明次から依頼されインスタレーション作品 "Audible Distance" のために筆者が開発したシステムにおいて、3人の来場者の心拍情報センシングが重要な役割を果たした。使用したのは、フィットネスマシンに乗る人が耳たぶに取り付けるCombi製のクリップセンサで、赤外LEDから耳たぶを透過して光センサに到達する光量が、血管中の赤血球により心拍と同期して変化することを検出してワイヤレス送信した。この作品は、タテヨコ高さ5メートルの真っ暗な空間を、「立体音響ヘッドホン+HMD+耳たぶセンサ(→心拍無線伝送)+帽子(無線制御赤外LED2個→画像処理で視線方向検出)」を装着し、聴覚/視覚を遮断された3人の来場者が歩き回って互いの[距離]を体験する。HMDには他の2人の心拍に同期した3D-CGが視線方向に対応して表示され、ヘッドホンからは他の2人の心拍/位置に同期した3次元音響が聞こえる。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この作品は準グランプリを受賞し、その後ICCの常設展示作品として改良して、2年間無停止無故障の連続運転を達成した。



前林明次 作品 "Audible Distance" (<https://www.ntticc.or.jp/ja/archive/works/audible-distance/>)

2002年にSonyのラジオ番組向けCM"Net MDウォークマン"を制作するプロダクションから、「人体の音楽」というテーマで短い電子音響音楽の作曲を依頼された時には、防音室で筆者自身の左胸に高感度マイクを貼って心音をサンプリング録音し、その音圧データの変化(心拍)に基づいたサウンド生成アルゴリズム(Max)によって作曲・提供した。心音そのものや筋電センサ「MiniBioMuse-I」(1-2-1)からの筋電信号を活用したこの「人体の音楽」CMは2002年-2003年に関西でオンエアされ、後に日本シーエム放送連盟フェスティバルに入賞(ファイナリスト賞)した。

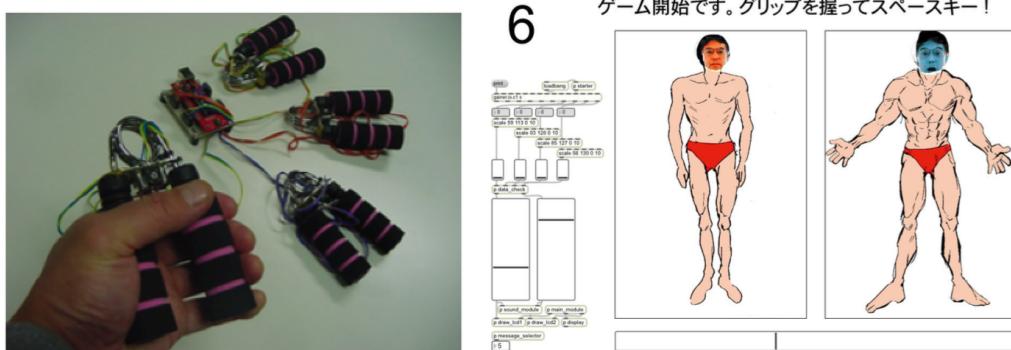
2009年にMAF(SUACメディアアートフェスティバル)2009とインターラッジで発表するために制作支援した学生インスタレーション作品「心臓音」(大塚理絵)では、来場者(体験者)自身が自分の胸に聴診器を当てて心音を聞き、分岐したパイプに仕込んだ小型マイクで心音を検出しMax/MSPでサンプリングする「心拍センシング」とした。この心拍情報に対応して、シリコンゴム製で伸縮する心臓に送るエアーポンプのバルブを同期制御することで、来場者は自分の心音を聞きながら、目の前の人體造形に埋め込まれ

た心臓の伸縮を自分の心拍分身としてリアルに眺める、という独特のシュールな世界観のバイオフィードバックを体験した。

### 1-2-5 握力センシング

生体情報センシングと言うと生体電気信号計測を連想するが、身体と「密に結合」した物理量の検出でもほぼ生体情報センシングと言えるものがある。1996年に作曲公演した筆者のライブパフォーマンス作品 "Johnny"では、ダンス奏者は筋肉トレーニング機器「ブルーワーカー」に曲げセンサ(ストレインゲージ)を貼り付けたものを持って、センサ情報に対応したサウンドとグラフィクスをライブ生成することで、「汗」と「力こぶ」を演じて表現した。筋電でなくこのように物理量(曲げ)から電気的情報(抵抗値変化)に変換した「筋力」も、一種の生体情報センシングと言え、聴衆が見つめたのはステージにおけるダンス奏者のバイオフィードバック即興パフォーマンスであった。

SUAC学生・見崎央佳のユニバーサルデザイン課題のために制作支援した「握力センサ」、すなわち4個の握力トレーニング用グリップにそれぞれ小型ジョイスティックを取り付けてGainer(2-3-2)に繋いだシンプルなインターフェースも、立派に握力(生体情報)センシングを実現した。この作品は、Maxによって検出された握力を荒く量子化して音階に割り当て、童謡など簡単なメロディーを4人で「演奏する」、というシステムであり、特定の音階を出すために「程よく」握力をコントロールする必要があった。最強筋力でなく「程よく」握るという操作風景は、本研究の触覚/触感センサ応用(ぎりぎりでなく中間領域で優しく操作する)の先駆けとなる、有効なりハビリテーションのツールとなった。このセンシングシステムは後にBFインスタレーション学生作品「筋肉体操」(3-1-5)にも再利用された。



握力センサと作品”筋肉体操”的画面例

### 1-2-6 重心移動センシング

第12回SUAC卒展(2015)で菅内祐未子が発表したインスタレーション作品”おしゃべりスリッパ”(毎朝、スリッパを履くと体重を測定して「今日はちょっと軽いですね」などと喋る)のために、Wii-Fitバランスボードを分解してストレインゲージを取り出してArduinoと繋いだ体重センサを開発した。このセンサは菅内作品を展示発表する直前に、2015年SUACメディアデザインウィーク「スケッチング」ワークショップの中で、TeamC(山森/山口/菅内/内山)のインスタレーション作品「マイケルジャクソンになる!」にも活用された。元々、任天堂のWiiバランスボードはその上に立つ人間の体重と重心移動を検出するものだが、この体重センサを「乗る台の片側にかかる体重だけを検出」するように設置することで、マイケルジャクソンがステージで斜めに傾くパフォーマンスの角度をより強調して表示する(体重移動を過度に強調して逆方向に回転させた背景画像と、体験者自身の画像とを合成し、その全体を背景画像の正常角度に戻した画像として鑑賞)、という不思議な錯覚効果を生み出した。このように、重心移動検出もほぼ生体情報センシングと言える。



作品”おしゃべリスリッパ”とWii-Fitのセンサ

### 1-3 バイオフィードバック/内受容感覚/リハビリテーション

上記のようなメディアアートにおける生体センシングとインタラクティブ、という組み合わせの本質は、まさにスポーツ医学やリハビリテーション治療で必須の「バイオフィードバック」(BF:Biofeedback)そのものである。古典的なBFとは、通常は自覚/制御が難しい身体状況や生体情報をセンシング技術により検出し、人間が感覚できる音/光/振動などのメディアに変換/提示してクライアントに自覚させるフィードバックと定義される。そして発展的なBFとして筆者が注目しているのが、クライアントが自身の身体状況などを意識的あるいは無意識的に制御することで、自分自身について深く気付き、いわばウェルネス・エンタテインメントとして「自力で治っていく」ことの支援である。「病は気から」(神経系→免疫系の連携)は科学的に立証されてきているが、臨床の場でもクライアントが自身の「内なる能力」に気付くきっかけを与えるツールとしてのBFの意義が提唱されてきた。本節ではバイオフィードバックというインタラクションが単なる物理的/機械的な「刺激-反応」に留まらず、メディアアートの支援によって、人間の意識/心理の領域でより深い「気付き(→脳活性化)」・「癒し(ウェルネス)」・「充足感(→治癒)」の可能性を持つ可能性を考察する。

#### 1-3-1 感覚の起源

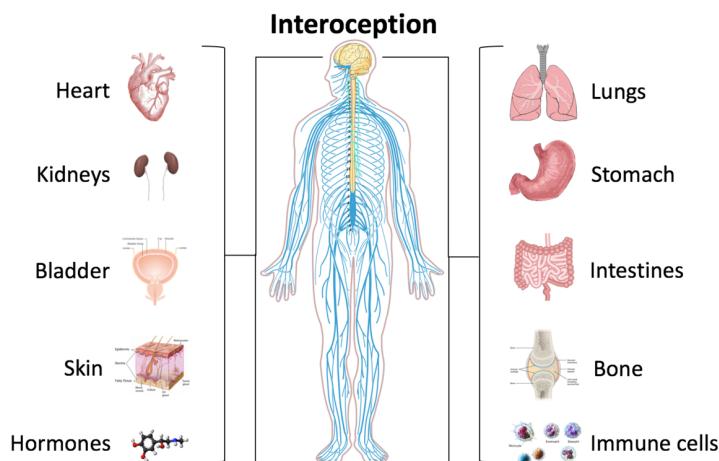
バイオフィードバックの基盤となる人間の感覚と神経系について、まず「視覚」の進化生物学的なルーツから考察/整理する。化学的分解によって生命を維持するバクテリア等にはエネルギー効率の限界があり、地球上の原始的生命は20億年前に水/酸素/日光エネルギーから二酸化炭素/炭水化物を合成する葉緑体を持つ「植物」に進化した。植物の一部は、(1)光合成を効率よく行うために日光エネルギーを感じる光センサ細胞(→後に動物の視覚細胞)を持ったり、(2)生息に適した場所に移動するための鞭毛/繊毛などの運動細胞を持つようになり、数億年前に「動物」に進化した。動物の視覚は運動機能の拡大によって感光だけでなく捕食/危機回避のために必須の画像認識系として成長し、身体各部の運動機能との連携のために神経系(中枢神経の前段階として梯子状の神経ネットワーク)が発達し、脊椎はこの神経系を保護しつつ身体構造の基盤となった。

地上に出た脊椎動物(昼間は見えても夜は見えない)は捕食/危機回避/交尾のために、(1)ある種では視力感度が発達し、(2)ある種では嗅覚が発達し、(3)ヒトは暗闇でも大気振動(音)を感じる聴覚を発達させた。現代の人間も、重低音振動や金属的高音ノイズを聞くと無意識に危険シグナルとして身構える(ドキッとする/ザワッとする)のは、この原始からの聴覚的本能に起因する。身体神経系の頭部末端の脳幹、その外に小脳/間脳/大脳などが過剰発達(進化の暴走: 役立つ機能が強化され続ける進化)を繰り返した末、現在のヒトの「脳」が形成してきた。人間の視覚は外界の状況把握能力を発展させて、両眼の網膜に映る2次元画像から脳内の画像認識処理によって(←この知覚メカニズムに対してギブソンは懐疑的)、見えていない「後ろのもの」が見えたり、3次元的な空間/奥行きまで推定/把握できるようになった。ベンヤミンも指摘したように、人間が生きるにあたって「見える」ことの重要性は五感の中でも圧倒的に優位(情報量の90%以上)である。

「聴覚」領域に関しては、危険察知/伝達の叫び声、コミュニケーション(集団/親子/交尾)のための声から発展して人間が得た「言葉」が、脳内で聴覚野と重なる言語野として発達し、情動を伴う「歌」や「音楽」の起源ともなった。「味覚」は捕食する対象の腐敗/毒性などの危機回避のために発達し、「嗅覚」は火山性ガスや捕食前の危険察知のために発達した。「触覚」は身体各部の危険察知センサから発達して、特に「手」については人間の身体行動の最高度のアクチュエータとしても発展し、あわせて運動制御におけるフィードバックシステムも完備してきた。このように、専用の感覚器から直接的に得られる五感(視覚・聴覚・嗅覚・味覚・触覚/身体感覚)の起源は、生物としての防衛本能や個体/種の存続に根ざした本質的なものである。脳では五感に関する知覚/認知の高度な情報処理を行っているが、感覚のルーツは実はこのようにシンプルな原理であると理解することで、次の考察に繋がる。

### 1-3-2 知覚と意識：外受容感覚と内受容感覚

ボルツは「知覚の問題とは眼や耳など感覚器官でなく脳の構造(つくり)の問題である」と指摘した。メディアアートはこれまで、主として人間の「視覚」「聴覚」「触覚」へ、あるいは「五感」のチャンネルに働きかけることを指向してきたが、これらの感覚/知覚は専用の感覚器によって得られた情報が神経系を通じて脳に届くもので、「外受容感覚」と総称される。外受容感覚からの情報は脳内処理によって意味化/言語化/顕在化されるが、脳の処理能力には限りがあるため、生命維持本能によって瞬時の判断が求められるプライオリティ(優先度)がある。そこでヒトの脳の生物進化的な戦略として、無意識下にモニタされている情報/刺激のうち、生存に有利なものや潜在的予想/期待から逸脱したものが優先して意識/注意のレベルに浮上する境界が生まれ、このメカニズムをフロイトは「前意識」、ダマシオは「原自己」、下條信輔は「前注意過程」と呼んだ。意識/覚醒のレベルに到達した外受容感覚の情報は脳の知覚認知処理の対象として、外界と自己の認識、様相性/統一性/志向性、共感性/親近性、図と地/ゲシュタルトなどの特徴処理を受けて人間の判断/行動/記憶などに反映される。このように外受容感覚はきわめて高速である。



内受容感覚 interoception (<https://en.wikipedia.org/wiki/Interoception>)

外受容感覚に対して、内臓や血管の状態、内分泌系・横紋筋などから神経系/化学物質によって脳が知覚するのが「内受容感覚」(interoception)である。情動emotionを誘発しうる刺激(ECS)が出現すると、身体各部(筋肉/関節/内臓)の情報は末梢神経→脊髄→脳幹→体性感覚皮質と集まるとともに、身体の活動によって生じた化学物質も血流から脳に作用する。意識としてECSに気付いていなくても扁桃体が反応し、さらに前脳基底/視床下部/脳幹が対応して機能する。これは「情動反応」として脳から身体各部に神経系の作用が届くもので、自律(内臓)神経系の信号は進化的に古い領域(扁桃体/帯状回/視床下部/脳幹)から、また筋骨格(随意)神経系の信号は運動皮質と皮質下運動核から出る。さらに脳から血液中の化学物質(ホルモン/神経伝達物質/調整物質)が身体各部に分泌放出され、身体内部の環境変化や、内臓/筋骨格などの一時的变化や特定の行動が起きる。下層の情動には「欲求(空腹感/喉の渴き/

好奇心/探究心/気晴らし/性欲)」、中層には「苦(→事後の罰)」や「快(→事前の報酬)」と結びついた行動、上層には「喜び/悲しみ/恐れ/嫌悪/プライド/恥/共感」などの社会的情動があり、その統合された最上位に感情feelingが位置する。このような内受容感覚と感情/意思決定との関係は本研究の重要な基盤である。

地球上の生物進化において、特にヒトは生存に有利な恒常性(ホメオスタシス)維持のために、間脳視床下部や自律神経系・内分泌系を高度に発達させてきた。その結果、脳は内受容感覚によって身体/環境と結びついて意識/自己を形成し、無意識下の予測/期待に対応した瞬時の判断を行う情動として、特に「快」の報酬系を発達させてきた。ダマシオのソマティック・マーカー仮説(SMH)によれば、実際に神経系や化学物質が到達しなくとも脳内の仮説ループが情動として瞬時の判断を行い、結果を評価/補正することで無意識下の予測が強化/学習される。そして、潜在的な予測と感覚/知覚が一致すると「親近性原理」から「快」となり、潜在的な予測が感覚/知覚に裏切られると「新奇性原理」から「快」となり、いずれも学習において「予測」への高速反応が進む脳へとヒトの進化が加速された(感覚皮質の暴走仮説)。ポピュラー音楽やクラシックが大衆に好まれるのは予定調和的な親近性に基づき、一方でフリージャズや即興音楽は新奇性にアピールして好まれる。ドルuzezやキットラーも、テレビやネットから常に「繰り返し」「刺激的な」情報が届く現代メディアにおける「過度の親近性/新奇性の強調」という社会的/文化的傾向について警鐘を鳴らしていた。

### 1-3-3 リハビリテーションとハビリテーション

生物的本能であるホメオスタシス維持に対する最大の脅威は、健康あるいは日常的活動が阻害された状態、すなわち「病気/障害/不自由」などのトラブルである。医学は主として生命に関係するトラブルからの復帰を目指すが、生命の危機を脱して機能低下の状態が残った障害者(クライアント)に必要なのがリハビリテーション(rehabilitation)である。これは「能力低下の状態を改善し、障害者の社会的統合を達成するための手段、障害者が環境に適応するための訓練」(WHO1981)、さらに前向きに「身体的/精神的/社会的に最も適した生活水準を達成することで、各人が自らの人生を変革していくことを目指す過程」(国連1982)、と定義され、その歴史は長い。リハビリテーションには物理療法・作業療法・言語療法・心理療法・音楽療法・芸術療法など、相互に重複しつつ多くの領域がある。本研究では特に高齢化社会を意識して、ウェルネス/ウェルビーイングと通じる「認知症リハビリ・認知症予防」というテーマに注目している。脳内の異なる部位を同時に活性化させることは認知症予防に有効であるとされ、バイオフィードバックによって視覚・聴覚・触覚・運動感覚など複数のチャンネルから同時に「体験」するようなメディアアートはそのまま認知症予防ゲームとなる可能性が大きい。



リハビリテーション(<https://www.cooleydickinson.org/programs-services/rehabilitation-services/south-deerfield-clinic/>)

一方で、一般にリハビリテーションは「獲得済みの機能が何らかの原因で失われたときに行われる」のに対して、Anthony L. Brooks(2013)は「ハビリテーション(habilitation)」という概念を「出生前後に罹患した病気や外傷によって起きる先天的な障害を持った者の、もともと獲得されていない機能の獲得」と定義し、メディアアートがこの領域に大きく貢献できる可能性を提唱した(1-4-3)。またハビリテーションにおい

では、クライアント自身が欠けた機能に相当する活動を体得するだけでなく、それを支援するセラピスト/支援者自身もメンタルヘルス(協調共鳴感覚)によりウェルネスが向上する、という報告も重要である。

### 1-3-4 ウェルネス(ウェルビーイング)

「健康」とは「身体的/精神的/社会的に完全に良好な状態であり、単に病気/虚弱でないことではない」(WHO1948)とあるが、内受容感覚の発達により、ヒトは健康だけでなくさらに「快」を伴うホメオスタシス、すなわちウェルネス(Wellness)あるいはウェルビーイング(Well-being)を無意識/意識的に強く求める存在となった。Halbert L. Dunn(1961)が提唱したウェルネス/ウェルビーイングとは、「個々人が前進/成長して、より高い機能を獲得する可能性に向かって向上する変化の状態」という概念である。これをゴールと目指す医学的な物理療法/作業療法だけでなく、ストレス社会におけるメンタル領域を対象とした心理療法においてもウェルネスが再注目されている。これは、過去にエンタテインメントコンピューティング研究会において筆者が提唱した、広義の「エンタテインメント」(15世紀から続く単語"entertain"の語源の3つの意味「ゲストをもてなす」・「人々を楽しませる」・「心の中に何かを持つ」の3番目)に対応した意義とも言える。重要なのは「外から与えられる」のではなくて、「自分の内側からそうなる」というウェルネス/ウェルビーイングの本質(禅や東洋医学と通じる)であり、本研究はこの点を強く意識・追及した。

Dunnの定義で注目すべきなのは、「個々人が前進/成長して…向上する変化の状態」というのが定常的な(static)状態ではなくて、「向上する変化」という動的な(dynamic)状態、という点である。これはプリゴジンが「混沌からの秩序」で、ベルタランフィが「一般システム理論」で、ストロガツが「SYNC(なぜ自然是シンクロしたがるのか)」で述べた基本的概念と対応する。まず生物は個体として「開放系システム」(ホメオスタシスを保持するためにstaticでなくdynamicに外部エネルギーを活用してエントロピー増大に対抗する)であり、さらに「種」としての生殖/遺伝/進化のために、無意識下にもstaticでなくdynamicな生存(競争)戦略が必須となる宿命がある。この生存戦略を無意識に継承させるために進化の過程で強化されてきたのが「報酬系」と結びついた情動/感情である。

副交感神経系から分泌されるホルモンは身体/精神を鎮静化の方向に誘うが、「広義のエンタテインメント」を目指すセラピーは副交感神経系の活性化だけをターゲットにすればいいわけではない。ひたすら交感神経系を鎮静化させ、すなわちアドレナリンが減る方向だけに進めば、つまりは単に「寝てしまう」。「睡眠は活力の源」というのは真実だが、いつでも何でも眠たくすればいいわけではない。適切な生体リズムに従った、そして周囲の日照リズムに同期した睡眠であればいいが、細切れに寝てしまっては生体リズムが壊れた「時差ぼけ」状態(不健康)に陥るだけである。そしてこれと反対に、薬物中毒のような過度な興奮状態に牽引するのではなく、適切なダイナミズムでアドレナリンが出るような「知的興奮」(「新奇性」に対する報酬系の反応。脳の活性化→認知症予防としても注目)は、情動/感情とともに生命体をリフレッシュする刺激(ストレス解消)として役立ち、次に続く休息期に深く良好な睡眠をもたらすことにも繋がる。第3章では、マルチメディア環境で色々な「錯覚」(→意外感・開放感)を提供することで「新奇性」を刺激して「脳の活性化→認知症予防」を目指した多くの事例を紹介する。

音楽心理学における情動/感情の研究で得られた知見も、このウェルネス/ウェルビーイングの動的な特性を支持している。一般にメジャー和音は明るくて楽しい、マイナー和音は暗くて悲しい、という気分に対応すると思われているが、音楽心理学/音楽美学の研究報告によれば真実は逆である。被験者実験が示したのは、メジャー和音ばかりが続くと楽しくなくなり(飽きる)、マイナー和音ばかりが続くと悲しくなくなる(醒める)、という人間の複雑な情動反応だった。両者が交互に(動的に)繰り返されるバイブレーション(振幅)こそ音楽的感情の原点であり、さらに「沈鬱な気分の人(気晴らし目的で)明るい音楽を聞かせると余計

に落ち込む」とか「暗く陰鬱な音楽をとことん聞いた後にこそ逆境を乗り越える活力が湧いてくる」という興味深い報告も、人間のウェルネス・エンタテインメントにおいて重要な示唆を提供している。

## 1-4 シリアスゲーム

### 1-4-1 「ゲーム・リハビリ」の事例

日本でゲームと言えばスマホアプリや家庭用ゲーム機やゲームセンターやポケモンGOといった「遊興」ゲームを指す。しかし世界的には「シリアルゲーム」(役立つゲーム)という領域の研究が地味に続いてきた。筆者は情報処理学会エンタテインメントコンピューティング(EC)研究会の設立時からのメンバーであり、派手なマルチメディアやVR/ARなどの研究の陰で、BFゲーム応用として医学部と共同研究を行った棟方渚(北大・ゲーム学)のEC研究会における報告に注目した。彼女は皮膚電気活動(GSR)を指標に末梢交感神経系の活動を亢進させるゲームによるトレーニングを行い、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との関係性は本人にも不明)GSR制御のBF訓練により、発作を薬で抑制できない(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観察を報告した。この研究のエピソードとして報告された、被験者の一人の「生まれつき自分の一部であるてんかん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」(マイナスの感情)という感想は、一般に「病気」と呼ばれる状態すら望ましい恒常性の境地となり得る事を示しており、まさにウェルビーイング/ウェルネスの基準は個人によって異なるという、メンタルヘルスについての考え方の基本を確認させた。本研究の第3章で紹介する多くの事例(ウェルネス・エンタテインメントを目指す)が一種の「シリアルゲーム」となっていて、「気付き」で脳を活性化する錯覚体験ゲームや脳の複数領域を同時に活性化させるゲームなどは認知症予防に有効であるとされている。

### 1-4-2 音楽ゲーム療法の事例

筆者は即興性を重視したインタラクティブ・メディア・パフォーマンス活動に関係して、2009年に設立された「日本音楽即興学会」に発表参加を続けているが、最近はこの学会の重要な領域である「音楽療法」(ミュージック・セラピー)の専門家との交流の意義が増大している。多くの事例報告において、セラピスト自身が音楽性/即興性をもって対話的に(一種のゲームとして)クライアント自身の自由な即興を引き出すアプローチをとっていた。2015年大会メインテーマ「即興とウェルビーイング」の基調講演を行ったAlan Turry(New York大学ノードフ・ロビンズ音楽療法センター長)は米国のみならずポルトガル/イタリア/イギリス/韓国/日本等でも指導を行っていて、児童から成人までを対象とした音楽療法の幅広い臨床経験を持つ現役の音楽療法士である。自分を表現する即興歌唱ゲームによって「脳内の末期癌が縮退/消滅して快癒した」というセンセーショナルな実例報告は圧巻だった。同氏の圧倒的な実績から大会参加者が学んだのは、「音楽療法」とは決して音楽というチャンネルに特化したものではないという事、「対話」「交流」「協調」「共鳴」などまさにウェルビーイング、あるいはウェルネス・エンタテインメントの持つ可能性と奥深さである。

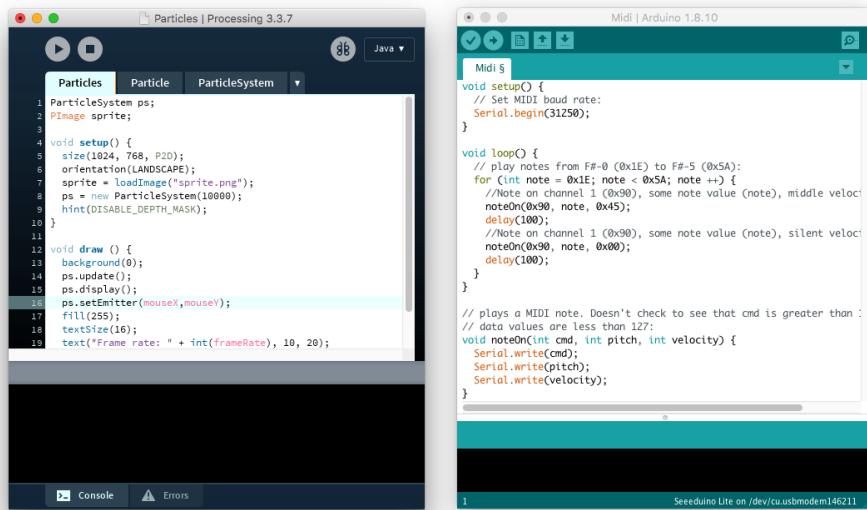
### 1-4-3 欧州のシリアルゲームの状況

筆者は2016年の欧露ツアーや2018年の欧州ツアーにおいて、シリアルゲームの国際会議VS-Games(Barcelona/Wurzburg)およびシリアルゲームを重点テーマの一つとするエンタテインメントコンピューティングの国際会議ICEC(Vienna/Poznan)に参加し、バイオフィードバック/リハビリテーションやウェルネス/ウェルビーイングという視点から専門家と議論してきた。ここで大きな収穫だったのは、VS-Games2016のKeynoteとして招待されたデンマークAalborg UniversityのAnthony Brooksによる

"ZOOM: A serious games intervention design model"という基調講演である。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験から「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」(ハビリテーション)という立場の研究をずっと続けてきた。外見上はほぼ同じアプローチが「セラピー」と「アート」の両方に向かう、という主張は重要な視点であり、1990年代前半にテレビで紹介された彼の作品、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しオーケストラと共に演る風景は感動的であった。同氏とはその後も情報交換/意見交換が現在まで続いている。また、ICEC2018では生体情報センシングやスケッチングに関するチュートリアルを行い、筋電ジェスチャー認識システムの実験で「曖昧に脱力してジェスチャ認識がヒットした時のAHA!感(ウェルネス)」について報告したところ、同じような内受容感覚エンタテインメントを追求している欧州の研究所の専門家に大きな賛同を受け、同じようなポイントを追求している研究仲間の存在に力付けられた。

## 1-5 オープンソース文化

ベンヤミンが時代の切り替わりを直感した「映画」から、芸術は「一人でゼロから全てを構築できない限界」という規模的な問題に直面してきた。専門性の分化と専門内容の深化、そして複製技術を基盤としたシステム構築の巨大化は、芸術の実現に多数の分業(コラボレーション)を要請することになったが、これは同時にコンセプトやテーマの主体性/一貫性という意味での本質的な弱点/リスクを生み出した。同じように規模の拡大を続けてオーケストラ音楽が「指揮者」と多数の「演奏者」の分業体制となった結果、「優れた演奏家の小規模アンサンブル(指揮者ナシ)のアイコンタクトによる阿吽の呼吸と即興性」が失われてしまうデメリットとなってしまった。オペラやミュージカルなども同じ本質的課題を抱えている。

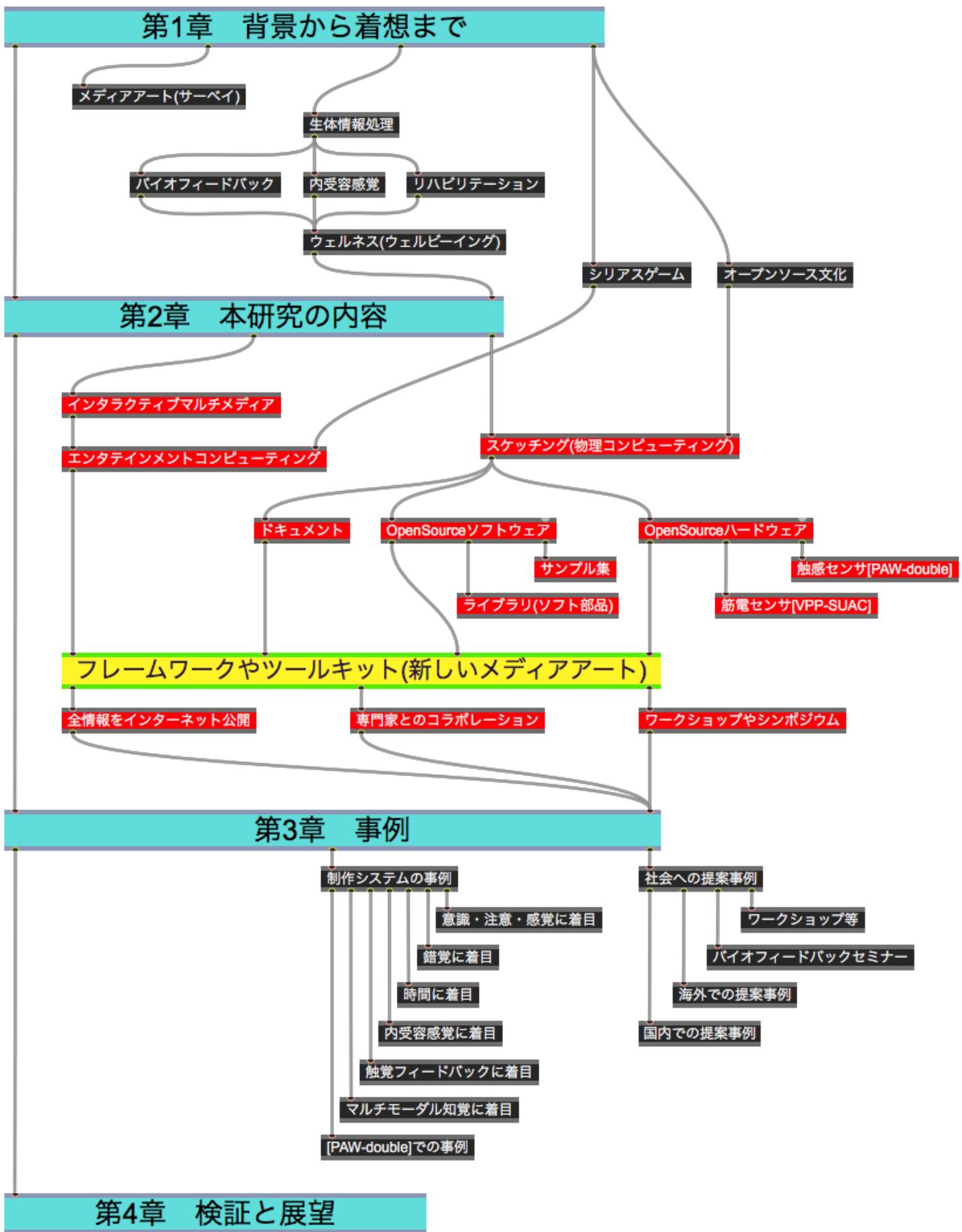


オープンソースIDEの画面例(左: Processing、右: Arduino)

メディアアート/テクノロジーアートにおいても同様である。過去には限られたコンピュータ資源に機能を詰め込む職人芸/名人芸的な技術が必要な時代もあって、筆者はその混沌期に技術者として成長できた偶然に感謝している。しかし現代では十分に高速/大容量なハードウェア資源が用意され、プログラマは「見やすく/冗長で/没個性」の龐大なコードを、ブラックボックス(ソフト部品/ライブラリ)をフル活用した協調支援ツールを活用して、多人数で分散プログラミングする時代となった。個性/専門性の消滅というデメリット・課題は残るもの、しかし、この規模的/効率的なメリットが後にオープンソース文化として花開き(Processingのプログラム開発画面とArduinoのプログラム開発画面が酷似しているのは、いずれも同じオープンソース文化の研究者が提供していることの典型例)、クリエティブコモンズ等の文化的潮流も生んだ。この状況を「高級言語がより高級化され使い勝手がよくなればなるほど、その言語とハードウェアとの距離は架橋しえぬほどに開いてゆく」と看破していたキットラーはその一方で、「インテルCPUのプロジェクト

モードは、一般ユーザの知らないところで政治的権力が監視する裏モードを確保するための秘密の機構であると、「管理社会」を予測/看破した文明論的警告を発した。この予言通りに、個人が全て監視されている中国などに限らず、世界中の人々の個人情報は気付かれずに収集蓄積される時代となった。

筆者が初めて参加した2004年のアルスエレクトロニカでは、新設された「インターネットに関連したアート(.net)」部門の金賞が「Creative Commons(CC)」であり、その発表の日からオーストリアは国家的にCCを施策の基本とする、と宣言して世界的に喝采を浴びた。現在のオープンソース文化の源流はフリーウェアとパブリックドメインにあるが、筆者はこの「みんなでハッピーになる」という文化に共鳴して、1995年頃から知的生産物(論文/記事、ソースコード、回路図、ライブラリ、実験/試作データ等)の全てをWebで公開してきた。国内向けに日本語で記述されたドキュメントには言語の壁があったが、最近ではGoogle翻訳などの性能が向上して、筆者の日本語Webサイトを翻訳しつつ追いかけてくれる海外の研究者/友人(米国・ロシア・フランス・台湾など)も少なくない。本研究においては、このオープンソース文化がソフトウェアだけでなくハードウェアに拡張した「スケッチング(物理コンピューティング)」の具現化として、システム構築やツールキットの基盤となっている。



## 第2章 本研究の内容

本章ではまず「2-1 インタラクティブマルチメディア」として、インタラクティブ・メディアアートの「(1)インタラクティブ性、(2)リアルタイム性、(3)生体センシングの活用、(4)マルチメディアによるフィードバック、(5)アルゴリズムを自在に創造」という特性に注目して、筆者のこれまでの具体的なプロジェクトのいくつかを紹介する。次いで、ここから本研究において直結/発展してくるのが「シリアルゲーム」の視点を重視した「2-2 エンタテインメントコンピューティング」という領域での活動である。ここでは内受容感覚バイオフィードバックを目指したポイント、認知症予防/脳活性化など福祉領域をターゲットとしたポイントを整理し、本研究でのフレームワークやツールキットに発展してきた状況を報告する。

続いて本研究のもう一つの大きな柱として、インタラクティブ・メディアアートのシステム実現のためのプラットフォーム、すなわち前章「オープンソース文化」を受けて発展した「2-3 スケッチング(物理コンピューティング)」の潮流と本研究での取り組みについて整理/紹介する。ここでは「IoT」を生み出した「Sketching in Hardware」、プラットフォーム、プロトコル、インターフェース・プラットフォームなどの要素について解説するとともに、具体的に2つのスケッチング実例、さらに「スケッチング」ワークショップでの実例を紹介する。

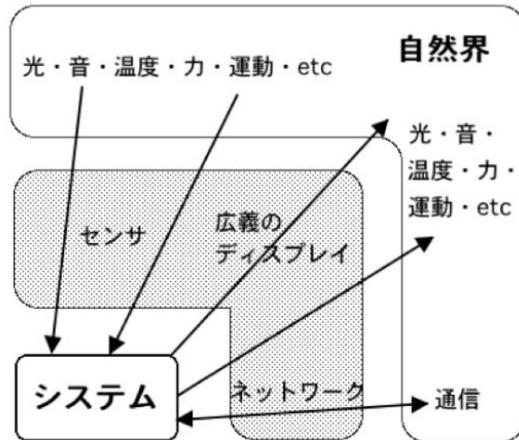
続く「2-4 提供するフレームワーク/ツールキットの構成」では、本研究においてメディアアートが支援する「容易に役立つシステムを実現する」ための構成要素を、具体的に「ハードウェア」「ソフトウェア」「ドキュメント」などの項目に関して整理解説した。ここでインターフェース・プラットフォーム4種(AKI-H8・Arduino・Propeller・mbed)を詳細に解説し、それぞれ開発/公開した具体的なサンプル集やライブラリについても紹介した。そして「2-5 OpenSourceシステムデザインの事例」として、本研究の重要な成果として新開発/公開した2種のOpenSourceプラットフォームの事例(「VPP-SUAC」「PAW-double」)について詳解した。

最後に、ウェルネス・エンタテインメントのためのフレームワークやツールキットの全体を新しいメディアアートと提案する、という具体的なアプローチとして、「2-6 全情報をインターネットで公開」「2-7 専門家とのコラボレーション」「2-8 ワークショップやシンポジウム」へと発展した状況を考察報告して、次章での具体的な事例紹介にバトンタッチしていく。

### 2-1 インタラクティブマルチメディア

#### 2-1-1 インタラクティブ性

人間と外界との、あるいは人間同士のインタラクションを実現するためには、メディアアート作品(典型的にはインスタレーション作品)を一つの「システム」と見做すと、構成要素として必要になるのが、(1)外界からの情報(人間からの働きかけを含む)をシステムに取り込む「入力インターフェース」、(2)外界への情報(人間への働きかけを含む)をシステムから生成/発信する「出力インターフェース」、(3)入力情報と出力情報との関係性を規定してリアルタイムに反応/生成するアルゴリズム装置(プログラム)、の3要素である。例えば外界へ出力する「ディスプレイ」とは狭義には視覚的デバイス(LED/LCD/モニタ/プロジェクタ/HMD等)を連想するが、広義には聴覚的ディスプレイ(スピーカ/ヘッドホン/ボディソニック振動)、さらに触覚的ディスプレイ(Force Display)として多種のモータや振動フィードバック方式/装置が注目されているように、入力(センサ)の対象が五感であれば、出力(ディスプレイ)の対象も五感の全てである。



システムと外界(自然)とのインターフェースのデザイン

しかしこの本質的構造はメディアアートに限らず、全てのインタラクティブな電子機器や、ゲーム機器/テーマパーク/ゲームセンターなどエンタテインメント・ビジネス領域でも仕掛けは同じである。メディアアートのアイデンティティが確保されるためには、それぞれの要素にアート/デザインとしてのこだわり(美的な視点・文化的な使命)を盛り込むことが必須である。本研究(バイオフィードバック専門家とのコラボレーション)においては、理系のエンジニアが制作したリハビリ製品が味気ないデザインでクライアントの興味/意欲を引き出せていないという問題提起から、ビジュアルデザインの得意な学生が描いた美少女キャラが「応援する」というシステムを試作したところ、「これは面白い」と良好な反応を得ることができた事例がある。



新楽器 "Peller-Min"

筆者のメインフィールド「コンピュータ音楽」領域での「新楽器」というアプローチは、ライブ音楽生成のためインタラクティビティが重要なインターフェースの典型である。2009年のインターラッジ特別コンサートとMaker大垣Meeting2010で公演した作品"controllable uncontrollability"のために制作した新楽器 "Peller-Min"は、名称の由来であるPropellerプロセッサ(2-3-4)を活用した新楽器である。シャープの赤外線距離センサを8個配置したリングを2重に並べて計16チャンネル・テルミンとして演奏するとともに、手前のテーブル部分では両手に対応して左右各8個の高輝度青色LEDが上空を投射し、その上空の掌からの反射光をセンシングする高感度照度センサを各8個隣接配置して、「空中で掌もみもみ」の動作を計16チャンネル・テルミンとして同時に演奏可能とした。元祖テルミンが2チャンネル(一方はピッチ、もう一方は音量)であるのに対して、計32チャンネルの微妙な表現は「腕」から「指先」へとニュアンスの可能性を大きく拡大した。非接触楽器であるテルミンの発想(触らない)を多チャンネルの極限まで追求したこの新楽器 "Peller-Min"によって、後にまったく対極的な「触りまくる新楽器」(触覚/触感センサ活用)の追求へと繋がった。



長嶋作品"GHI2014Ogaki"の公演(MOM2012)

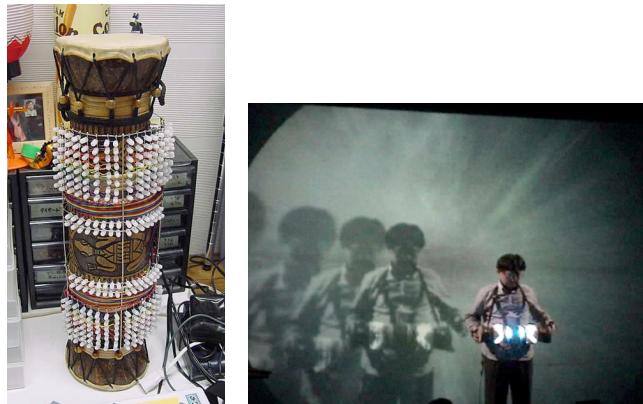
2012年のMaker大垣Meetingライブコンサートで初演した作品"GHI2014Ogaki"では、電子ブロック風のアナログシンセであるLittleBitsSynthモジュール群(本質的にインタラクティブな装置)をMaxで制御するインターフェースを開発した。ホストのMax側から10チャンネルのアナログ電圧を生成してLittleBitsコネクタに出力し、また10チャンネルのアナログ電圧をLittleBitsコネクタから入力してMax側に返すことで、単なるアナログ玩具(スタンドアロン)だったLittleBitsSynthが高度なインタラクティブシステムとして緊密にMaxと連携した。さらにLittleBitsArduinoのプログラムとしてFirmataを書き込んでMax側のmaxuinoと連携させ(2-3-3)、「ステージ上でLittleBitsSynthのモジュールを繋いでいく(=ライブに楽器を組み立てる)」のを接写するカメラマンの手元映像プロジェクトとともにパフォーマンスを行なった。作曲compositionという言葉は「音楽的要素を組み立てる」という意味であるが、音楽公演として「組み立てる」行為そのものを作品にした、というアプローチ"Assembling Music"はシンガポールの国際会議SI2015(3-3-3)において美学的にも評価され、コンピュータ音楽の国際学会ICMAのHI/UI特集論文集にも収録された。

## 2-1-2 リアルタイム性

インタラクティブ性と本質的に通じる特性「リアルタイム性」については、まず「システム時間」・「生体リズム/感覚時間」・「レイテンシ(遅延)とジッタ(ばらつき)」などの時間学的な検討が必須である。テレビの衛星中継では国内であっても画像や音声が不自然に遅延するが、視聴者は寛容な脳内処理によってこの時差を無意識に無視/吸収することが出来る。インタラクティブマルチメディアのシステムにおいては、コンテンツを視聴体験するまでの遅延やセンサが反応を取り込む遅延が本質的に存在するので、快適な没入感/達成感のためにはシステム構築において真の意味でのリアルタイム性に留意する検討が必須となる。本研究では事例"JumpingGirl"(3-1-3)において、視覚と身体動作を組み合わせた認知症予防ゲームのターゲット(避けるべき物体)が近づくスピードを数理的な操作で変更して、リアルタイム没入感を刺激する演出を試みている。

MAF2006でのパフォーマンスのためにインドネシアの民族楽器"Kendang"を改造した新楽器および適用作品"Cyber Kendang"は、翌年の国際会議NIME2007に入選しNew Yorkで再演した。伝統楽器のフォルム/歴史をリスペストしつつ改造する、という「GHI project」(楽器が光ってもいいじゃないか)の発想から、楽器を新たに光らせつつ電子システム/部品を伝統楽器に直接は取り付けない(接着も穴あけも一切不可)、という条件を定めた。そこで2種類の太いスズメッキ線をメッシュ状にハンダ付けしたフレームに304個のLEDを直接繋ぎ、電子回路も全てこのフレーム上に空中配線して、その全体を筒状の"Kendang"に柔らかく巻きつけ、弾力だけで固定した。当初はこの「叩くと光る太鼓」の演奏をビデオカメラの画像認識で検出してリアルタイム・サウンド生成する予定だったが、画像認識系の限界からイベント検出のレイテンシが150ミリ秒になったので断念した。最終的には両手に加速度センサ(衝撃検出)を貼り

付けたMIDIセンサを併用する演奏形態(遅延は数ミリ秒)として作曲したが、打楽器のようなアフォーダンスではこのリアルタイム性が必須条件である。



新楽器"Cyber Kendang"および長嶋作品"Cyber Kendang"公演風景(NY)

2014年には、前項で紹介した"Assembling Music"と「GHI project」のアイデアを継承合体させた新楽器「GHI2014」を、ダブルPropeller(8CPU並列処理×2)システムとして開発した。ここにはシーズとして、(1)学生作品「光るワンピース」のために採用した高輝度LEDテープとPropellerによるPWM制御、(2)LittleBitsとMOSSで活躍した高性能ネオジム磁石による物理的コネクション、(3)GHI自身が発する強烈な光により光測距センサが使えないために超音波距離センサを6チャンネル時分割走査、という要素が加わった。プロジェクトのコンセプトとしては、(a)GHIシリーズの続編を作りたい、(b)海外公演に持参するために分解してコンパクト化して現地で簡単に組み立てたい、(c)LEDの增量("Cyber Kendang"の304個よりも多く)、(d)教材としてメイキングを学生に紹介したい、(e)(セミ)スタンドアロン動作とともにスレーブマシンとして光り方をMax側から制御したい、(f)味気ない3Dプリンタの時代、20世紀の日本のものづくりを支えた「手作り」「試行錯誤」「現物合わせ」を再確認したい(バルサ材で制作し手塗り着色)、と多くの課題に挑戦した。分解できる楽器「GHI2014」はその一部分だけをインсталレーション作品に利用することも容易であり、2018年にMaker大垣Meeting2018で発表したインсталレーション作品「召喚 ICカードバトラー」に組み込むリアルタイム発光モジュールとして再利用した。

基本的にはリアルタイム性として全てのメディア(視覚/聴覚だけでなく触覚や身体感覚まで)が「早い」ほど良好であるが、これに加えてメディア心理学の視点から「遅延の効能」という新たなエンタテインメントの可能性も検討した。有名なマーカー効果やダブルフラッシュ効果などの視聴覚統合錯覚に時間的な要素が絡んだシステムをデザインすると、その「一種の錯覚」に気付くこと自体が「AHA!感覚」に通じるエンタテインメントになり得る。もっとも簡単な実験として、画面内で直交する方向に等速直線移動する2つの「玉」のアニメーションを描画して、その衝突のタイミングで打撃音を鳴らすと、大部分の鑑賞者は「2つの玉が衝突して跳ね返った」運動である、と自然に知覚する。ところがこの打撃音の発音タイミングを数十ミリ秒から100ミリ秒ほど遅らせてみると、「2つの玉はそれ違ってそれぞれ直進している」と自然に知覚するようになり、演出デザインによっては「AHA! エンタテインメント」(錯覚の気付き→脳を活性化→認知症予防)を目指せる。このように時間知覚はメディアアートにとって、脳内での「予測/期待」処理や「意外性」情動とも繋がった重要なターゲットであり、第3章ではこの観点から開発/公開した多くの事例を紹介している。

## 2-1-3 生体センシングの活用

筆者は依頼されて「日本バイオフィードバック学会学術総会」(2019年6月30日)のシンポジウムで筋電バイオフィードバックの可能性について講演した(3-3-4)が、シンポジウム企画/座長の辻下守弘教授(BF学会理事)によれば、一般にバイオフィードバック・リハビリテーションの領域では生体センシングの活用がま

まだ未開の状態であるという。多くのバイオフィードバックシステムのユーザインターフェースは「パソコンのキー」であるが、マウスやPCキーボードというのは、事務作業など効率よくパソコンを使うために進化してきたものの、「人間にとて自然な道具」であるかどうかは別であり、逆にOA病(肩こり・眼精疲労・頭痛など)の原因とも指摘されている。ウェルネス・エンタテインメントを目指してクライアントがより自然に良好なインタラクションを体験する、という目的から考えれば、キー/ジョイスティック/タッチパッドなど、「機械に都合が良い」インターフェースに人間が「合わせる」のは本末転倒である。この意味で、生身の人間であるクライアントからのアクション/リアクションを検出するセンサとして、人間から出てくる生体情報をそのままセンシングするアプローチは自然であり、技術的にはより高度になる(だからこれまであまり追求されてこなかった)とはいえ、積極的に新しい生体センシング/バイオフィードバックを追い求めていくことが重要で、本研究ではここを重点ポイントとした。

本研究で筆者がオリジナル開発した生体センシングに関するシステムについては、次節の「2-3 スケッチング(物理コンピューティング)」において詳細に検討するので、ここではそれ以外、実際に実験/改造した3種の海外製品について紹介する。これは最近に登場した生体センシング製品(医療用でなく制御/リラクセーション/実験用、かなり廉価)から、(1)筋電+9軸センサの"Myo"、(2)脳波+3軸センサの"Muse"、(3)脳波ヘッドギアのキット製品"OpenBCI"、の3種である。いずれも製品が提供する標準アプリをただ利用するのではなく、技術情報を解読してオリジナルのプロトコル・インターフェースを開発/改造し、ダイレクトに生体センシング情報を取得することに成功した。適用したComputer Music作品を海外公演したり、いくつかの学会で報告するとともに、2018年9月にポーランド・Poznanで開催された国際会議ICEC2018のチュートリアル・ワークショップでも、この先端状況をレクチャーした(3-3-3)。これらはバイオフィードバックにも応用可能なので、ここでそれぞれのアプローチを簡単に解説しておく。

"Myo"はカナダのThalmic Labs社が提供している、8チャンネルの筋電センサ・バンドである(199ドル)。専用USBドングルに対してBluetooth経由で8チャンネルの筋電情報と、3次元ジャイロ(角加速度)情報と、3次元加速度情報と、3次元方向ベクトル(地球の中心方向)情報を転送する。電極はステンレス製であるが内蔵MCUが高度な前処理を行っており、良好な筋電ジェスチャ認識を実現できる。標準的には片腕の前腕に装着し(Myoは脚に装着すると計測を停止する仕様なので「腕」専用)、「リラックス」に対して「グー」「パー」「掌を曲げる」「掌を反らせる」という4種類のジェスチャを登録して任意のキーに割り当てて、例えばプレゼンシートを次ページに進めたり動画/サウンドのスタート/ストップにジェスチャを割り当てるような使い方をする。



生体センサシステム"Myo"

しかしThalmic Labs社は"Myo"の技術情報を開発キットとともに公開しており、筆者はこれを独自に解析して、同時に2個(最大3個まで)のMyoと通信してそれぞれにIDを付与して区別し、4種のジェスチャ登録でなく、「8チャンネルの筋電情報と9軸センサ情報(ジャイロと加速度と方向ベクトル)」の全てを生体情報ストリームとして取得するオリジナルツールを開発した。ツールの出力はOSC(2-3-2)プロトコルでありホストPCのMax7環境とはきわめて親和性が高く、これまで開発してきたマルチメディア・インタラクティブシステムのための新センサとして「DoubleMyo」が容易に実現できた。なお、"Myo"はバッテリ節電のため、筋電情報入力がちょっと途絶えると勝手にスリープモードに入るが、音楽パフォーマンスにおいては「静止

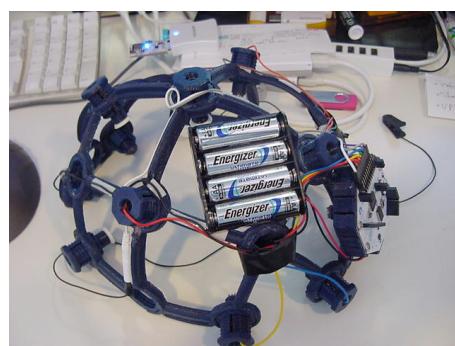
「持続する」という表現も重要であり、「スリープするな」というコマンドも発掘してMyoに送った。これにより「DoubleMyo」は使える新楽器として完成した。



生体センサシステム "Muse"

カナダのInteraXon社が提供している脳波センサ "Muse" は小型軽量ヘッドバンドで、医療器具ではなく Meditation Tool(メンタルエクササイズの道具)と明記している(299ドル)。 "Muse" の標準的な使い方は、iPhone/iPad用に完成している専用アプリをインストールしてBluetooth経由でMuseと接続するというものである。一言で言えば、Museアプリはリラックスを目的としてメンタルトレーニング(エクササイズ)するバイオフィードバックシステムと言える。初めて装着した時にはユーザの生体情報をあれこれ取得してアプリ側で記憶し、次回からはその状態と比較して本人であるかどうかを判断する。使い方としては日本の座禅やヨガの瞑想のように、瞑目してゆっくりと自然に呼吸し、心の中で1から10まで呼吸のたびにカウントして10になったら1に戻る事を繰り返す。この間、iPhone/iPadからは海辺の波打ち際の波音やそよ風の音が聞こえてきていかもリラックスでき、時には遠くから鳥のさえずりが聞こえてくる。実はこれが脳波からのリラックス・サインであり、慣れてくると、この鳥のさえずりをまた出す・もっと出すにはどうしたらいいかというバイオフィードバックから、短時間でリラックス状態に入るトレーニングとなる。

InteraXon社も "Muse" の技術情報を開発キットとともに公開しており、筆者はこれを独自に解析して、3次元方向ベクトル情報と、アルファ波・ベータ波・ガンマ波・シータ波の4種類とされる脳波データを全て生体情報ストリームとしてホストにBluetooth伝送するオリジナルツールを2種類(周囲電源: 50Hzと60Hzの両方)開発した。こちらもツールの出力はOSCプロトコルでホストPCのMax7環境とはきわめて親和性が高いが、ここで判明したのは「目を開けていると有効な脳波情報が取得できない」という問題だった。額の部分にある脳波電極に対して、目を開けていれば外眼筋など表情筋の筋電信号が脳波の100倍以上のノイズとなるので、瞑目していないと脳波センシングが成立しない。「新楽器」として音楽演奏する際には瞑目しているわけにはいかないので、尺八奏者の首振りのようなセンシング情報だけを使って、「DoubleMyo」とともに音楽パフォーマンス(ライブ音響生成+ライブ3D-CG生成)する作品を作曲し、仏ボルドーにて初演、モスクワにて再演した。さらに今後の活用に向けて、4種類の脳波チャンネルに相当する飽和センシング信号を非線形圧縮・パターン認識して「表情センシング」に使える可能性を追求する心理学実験ツールを開発した。



脳波センサ "OpenBCI"

"OpenBCI"とは、"open-source brain-computer interface"(脳波とコンピュータのインターフェースをオープンソースで)という「研究者・技術者・芸術家・科学者・デザイナ・企業等」のコミュニティである。中核となる"Cyton"ボードは8チャンネルの生体情報(脳波・筋電・心電)を取得してBluetoothでホストPCに送るArduino互換のボードであり、脳波ヘッドギアと頭皮の接触部分は「先端が丸い剣山」をスプリングで押し付ける乾式電極である。8チャンネルの脳波センシングシステム(ボード+電極+ヘッドギア)の価格は、完成品は約800ドルだが、自分で組み立てれば約600ドル、無料CADデータを入手して3Dプリンタで自作する場合には約350ドルになる、というのがオープンソースらしい潔さである。ただしごく最近になって古典的な湿式(ジェル)電極ヘッドギアも出してきたところを見ると、乾式電極の脳波センシングに限界がある証拠とも思える。

"Muse"は額に電極があるので瞑目の必要があったが、"OpenBCI"は伝統的な脳波計測箇所(頭頂・頭側・額)を正確に実現しているので、目を開けても脳波情報が取得できる。標準的な専用脳波表示ソフトでは、(本当かどうか)脳内の活性化されている場所が刻々とリアルタイム表示される。製品というよりも研究者のための実験的プロジェクトであり、"OpenBCI"技術情報も公開されていたので、筆者はそれぞれの脳波電極センシング情報を全て生体情報ストリームとしてホストにBluetooth伝送するコマンドを発掘するとともに、「"DoubleMyo"+"Muse"+"OpenBCI"を同時に走らせてMax7の画面からバイオフィードバックする」実験にも成功した。脳波電極ヘッドギアはオウム真理教事件をきっかけに日本ではタブーとなっていたが、海外ではこのように活発なコミュニティが着々と成果を積み上げており、今後もりサーチを進めていくたい。



ダブル"Myo"と"Muse"と"OpenBCI"を同時に使った実験の様子

## 2-1-4 マルチメディアによるフィードバック

ここまで述べたようなセンサとアルゴリズムを組み合わせて、インタラクティブシステムは最終的に人間(クライアント)や環境に対して何らかの「出力」を、センサへのアクションに対するリアクションとしてフィードバックする事になる。相手が環境であればその出力は「光・音・振動・動き」等の物理量であり、相手が人間であればそれら物理量を「視覚・聴覚・触覚」等の感覚(五感)として受け取る。ここでは筆者の3つのインタラクティブ・メディアアート作品プロジェクトを例にとって、「マルチメディアによるフィードバック」のデザインについて考察する。

2008年のSUAC MAF2008(メディアアートフェスティバル)で任田沙恵+小畠海香とともに発表したインスタレーション作品 "電子十二影坊(Dodeca Propeller)" は、「27インチ・ブラウン管を4×3=12台並べたモニタ壁」(元々は、それぞれにDVDプレーヤのNTSCビデオ信号を接続して12台のビデオ再生装置とする)を活用したインタラクティブ・インスタレーションとして企画した。各モニタに独立にリアルタイムCGパターンをNTSC信号として生成送出する12個のスレーブPropellerと、来場者の赤外線センシング情報をMaxからMIDI経由で受け取って12個のPropellerに情報を与えるマスターPropellerとの、計13個のPropellerチップを搭載した専用ボードシステムを開発した。全てのリアルタイムCG生成アルゴリズムを外部参照関

数として切り分けてプログラミング(→個別書き込み)出来るように制作し、2人の学生がspin言語で試行錯誤しながらCG描画パターン集を開発し、回路図からソースコードまで全ての情報をWeb公開した。



インсталレーション作品”電子十二影坊(Dodeca Propeller)”

2009年のSUAC MAF2009(併催・文化庁メディア芸術祭浜松展)で林美緒+奥山愛悠弥+藤岡綾美+松山みのり+道木綾乃とともに発表したインスタレーション作品”ネジマキウォール”は「動き」を現物として表現する。前年のSUAC院生・鈴木絢の大学院修了制作「ネジマキニンゲン」(床置きの多数の造形物がMax制御のモータで回転する)を、その本来のコンセプト「壁のように立てる」として実現するために半年かけて制作した。幅5メートル・高さ2メートルの壁面パネル(ステンレス製スタンドで立てた、幅500mm×高さ2000mm×厚さ3mmアルミパンチングメタル8面)には無数の造形物を制作配置し、さらにMaxで制御される計96個のステッピングモータに取り付けられた造形物が個別に回転/振動する。展示においては鈴木絢が学部卒業制作で制作した、元々のコンセプト映像作品「アタマノナカノカイブツ」を作品の壁面に重ねて投射した。実際に造形物が動く上からCGの中で動く物体が投射される様子は独特的のリアリティと幻想性を実現した。



インсталレーション作品”ネジマキウォール”

2011年にインターラッジ2011(首都大学東京)でSUAC1回生5人グループ「ジャミーズ娘+」(数馬あやの+鈴木千佳+土佐谷有里子+森川真衣+山田明歩)が公演したパフォーマンス作品”Revolution-J”は、Arduino内蔵版に改造した90年代のギター玩具「ジャミネータ」を楽器インターフェースとして、学生5人でサウンドと映像をリアルタイム生成するパフォーマンス作品である。技術情報が公開されていないジャミネータ(ジャンク)と一緒に分解/解析して、3次元加速度センサと3色LEDを追加してMIDI送信楽器に改造した。



パフォーマンス・プロジェクト”ジャミーズ娘+”

5人がスクリーン上のエリアを5分割して自分の陣地とし、5人の即興演奏による情報は、各自のテーマカラーの映像とともに陣地を拡大する「押し競饅頭」ゲーム的なパフォーマンスとしてフィードバックされた。教育的にも評価が高いこのプロジェクトのメイキング/公演の様子(YouTube)は限定公開にも関わらず数千アクセスを超え、元々ジャミネータを設計していた米国スタジオIDEOのエンジニアもこのプロジェクトを賞賛した。このプロジェクト(回路図やソースコードや動画リンクまで全情報を公開)自体がオープンソース文化の賜物であり、「初心者でもインタラクティブなシステムを容易に実現できる」という「スケッチング」のショーケースとなっていて、学会発表報告でも多くのアート系・デザイン系の専門家から絶賛された。

## 2-1-5 アルゴリズムを自在に創造

インタラクティブシステムの「関係性」を規定するのが、システム全体を構築するアルゴリズムである。筆者が約30年間、信頼するプラットフォームとして活用する「Max」(Cycling'74)(2-3-2)では、一般的な言語記述的プログラム(ソースを書いて→コンパイルして→実行してみる)でなく、最近になってMindStormやMatLabやScrachでようやく一般的になってきた「グラフィカルなオブジェクトを繋ぐパッチング」というUIを当初から採用しており、プログラミングを試行錯誤しながらその場で実行できる、というプロトタイピングのプラットフォームとして最適な機能を30年前の最初から提案してきた。役立つエンタテインメントコンピューティングにおいて、この「アルゴリズムをその場で自在に創造」・「クライアントに合わせたチューニングが容易」という特性は非常に重要である。

一例として、「画面内をちょこまかと移動するターゲットを撃つ」というシューティングゲームをデザインした際の検討事例を紹介する。視覚から来るターゲットの移動を知覚認知して、照準スコープの位置に来た瞬間にタイミング良くスペースキーを叩いて「撃つ」という関係性は、運動神経や認知機能のトレーニングとして有効である。ここで標的のターゲットを動かす手法として、(1)画面内を一定の速度でスキップして移動する、(2)画面内にランダムに出現する、という2種類を比較してみると、(2)の場合には完全に反射神経のゲームとなって難易度が高過ぎる(若者向け)のに対して、(1)の場合には「移動を予測して待ち構える」という戦略が可能なので、高齢者(認知症予防のための脳トレ)などにも取り組める難易度(スキップ間隔時間や移動距離)を容易に設定できる有効性を確認した。

画面内のX座標とY座標をそれぞれランダムに選んでその位置に静止画を描画(移動)する、というアルゴリズムは、どんな処理系でも持っている「ランダム」関数で簡単に実現できるが、その動きはとても不自然である。ところが「酔歩ランダム」というアルゴリズムを活用すると、いかにも生き物(昆虫とか微生物)が蠢いているような自然な感覚となる。酔っ払いの千鳥足をシミュレートした「酔歩ランダム」では、次の瞬間にどの方向に移動するか、という方向は完全にランダムであるものの、次の瞬間にどれだけ移動するか(足の長さ)に制約があるために、画面内をワープすることなく、さっきの場所のすぐ近くに、しかしランダムに移動するため、自然界としての予測を裏切らない。このようにアルゴリズムを自在に駆使することで、クライアントに違和感でなく親しみ/自然さ/没入感を与える、という点が重要となる。

別の「逃げもの」ゲームの制作プロジェクトでは、スクリーンに遠近法で3次元表示される「道」に沿って障害物がやってくるのを主人公がジャンプして避けるというシンプルな枠組みとした(3-1-3)。この「遠くから近づいてくる障害物」の3次元表示アルゴリズムについて、(1)等速直線運動、(2)指數関数的に加速して近づく、(3)加速度を毎回ランダムに変更、という3種類で試行してみた。すると、(1)の難易度はかなり低くて誰でも容易に到達を予測して避けられ、(2)の加速的な変化もゲームを繰り返すと「慣れて」きて難易度が中程度だった。しかし(3)のように次々と加速度が変更されるケースでは、言わば「重力の異なる色々な星に着陸した宇宙飛行士」のような新鮮さが面白いものの難易度は異常に高まった。リハビリなど福祉

領域でのシリアルゲームは、クライアントの状況に応じて最適な難易度にセッティングできるMaxの柔軟性は重要であると考える。

次節「エンタテインメントコンピューティング」の中で、内受容感覚に関連した「AHA!」感覚の演出というアプローチについて検討するが、ここで重要なのがMaxによる「錯覚のダイナミック化」という手法であり、アルゴリズムの柔軟性がポイントとなっている。古典的な視覚の錯覚(文献やネット上にある静止画素材)や、アニメGIF形式/ムービー形式でネットに溢れる「錯視動画」というのは、いずれも固定されたコンテンツとして、「ただ見るだけ」のものである。もちろんこれでも十分に「AHA!」感覚が刺激される、有効なエンタテインメントコンピューティングの一環なのだが、ここに筆者は「鑑賞/再生される錯視をパラメータ制御する」という新しいジャンルを提案した。古典的な錯視画像はそれだけのものだが、その心理学的な要素を分析して、例えば画像要素のサイズや比率や位置関係などを数学的に記述してMaxによってパラメータをスライダーで変更したり動的にゆっくり振動させたりすると、従来の理論を超える新たな発見が生まれる。動的な再生素材であっても、Maxによって速度や再生方向(反転)や色彩要素などのパラメータを可変/動的駆動してみると、これまた意外な「AHA!」感覚を新たに生み出すことになり、本研究において重視したポイントとなつた。具体的に実現した事例については、第3章「3-1 制作システムの事例」(3-1-1・3-1-2)において数多く紹介している。

## 2-2 エンタテインメントコンピューティング

### 2-2-1 情報処理学会EC研究会とシリアルゲーム

前節「インタラクティブマルチメディア」の領域から、第1章「1-4 シリアルゲーム」の視点を重視して発展させたのが本研究の「エンタテインメントコンピューティング」(EC)という領域での活動である。日本における一般的な用語としてのEC研究は、2002年に幕張メッセでの国際ワークショップIWEC2002(筆者も研究発表)の開催を契機として、情報処理学会に正式にEC研究会(筆者も発足時からのメンバー)が誕生した頃からになるが、海外では国際学会組織IFIPの傘下にICECという国際会議があり、日本の研究者はICEC2003からここに合流した。このEC研究会はSIGGRAPH関係者や他学会の研究会とも連携して、国内での専門家会議としてその名もエンタテインメントコンピューティング(例えば2019年なら「EC2019」)というイベントを開催するようになった。ここに集う専門家は、ゲーム理論、3D/VR/AR等のビジュアル技術、高速レンダリング技術、AI応用(囲碁/将棋/チェス)、ゲームビジネスモデル、ゲーム心理学、そして一部はシリアルゲーム(役立つゲーム)の専門家も、他学会との境界領域として参加してきた。

本研究に關係するシリアルゲームの領域としては、まず広い意味での教育支援として、自習支援、遠隔教育、アクティブラーニング等があるが、さらに高度専門技術を必要とするトレーニング支援として、海底/宇宙/原子炉内探査ロボットの操縦訓練なども守備範囲である。さらに一般的ビジネス(儲けを目標とする)の枠組みに入らない公共的/文化的なシリアルゲームとして、博物館/美術館などの展示手法と鑑賞支援、ゲーム体験中の人間の生理的/心理的分析、開発費を低減させて効率的に役立つゲームを生産する技術(福祉工学では個別のクライアントに対応してシステム開発するコストが量産型の製造業と大きく異なるために必須)、など多岐にわたる領域も含まれる。そしてもちろん、医学的なリハビリテーションやスポーツ支援、さらにリラクセーションや認知症予防など福祉領域での応用はシリアルゲームの重要な「王道」であり、エンタテインメントコンピューティングでの位置付けは拡大している。

### 2-2-2 リハビリテーションにおける意義

リハビリテーションの世界の「物理療法」はBF学会の言う「スポーツ・教育」領域にそのまま応用されるもので、(1)能力低下の状態を「自ら」改善するための効果的なサポート、(2)日々の改善/向上の様子を可視化することでメンタルなモチベーションを支援する、というような部分にメディアアートが役立つ。第一のタイプの典型例として筋力を鍛えるリハビリ/トレーニングを考えてみると、ピーク値を可視化(可聴化)することで目標や達成度を確認する、という関係性を実現すればよい。これはシンプルな筋電BFの図式であり、「クライアントの生体情報→システムが検出して数値化→可視化(可聴化)」という流れをクライアント自身が確認できる、というインタラクションである。また、従来のBFシステムが味気ない数値やグラフ表示であつたものを、デザイナが描いた美少女キャラが応援したり微笑むことで励まされる…というシンプルなゲーム化(2-1-1)は、専門家から有効性が期待できるとの評価を得た。また、筋トレ装置にセンサとArduinoを接続して、過去のデータを蓄積しつつ今日のデータと比較して「頑張れ」とか「まだ先週と同じ」とか「これまでの最高記録!」などと激励する(→モチベーションの維持)リハビリシステムとして実現でき、その試作はユニバーサルデザインの専門家にも評価された。

さらに、本研究において筋電センサを用いたリハビリテーションの第二のタイプとして提案したいのが、筋肉フルパワーのピーク値でなく、途中の曖昧なレベルにおける「微調整」をバイオフィードバックして可視化(可聴化)する、というものである。前章1-2-5の「握力センサ」で紹介した、Maxによって抽出された握力で童謡など簡単なメロディーを「演奏する」システムでは、特定の音階を出すためには、握力レンジの中間部分で「程よく」握力をコントロールする必要があった。これは第一のタイプと違って、グリップを握っていきながら刻々と生成されるメロディーの音階に聞き耳を立てて、微妙に筋力を増減させるという「微調整」が必要となる。最強のピーク結果だけをフィードバックするのではなく、刻々とフィードバックされる状況に「注意/意識を向ける」(脳内の複数の領域を同時に使う)エンタテインメントとして脳活性化(→認知症予防ゲーム)に繋がる点がとても重要である。

この時に、自発的に意図してグリップを握りつつフィードバック結果に注目し、BFインタラクションに応じて軽い脱力と握り込みとを繰り返している際の「横紋筋からの情報(感覚的な反作用)」はというのはまさに「内受容感覚」であり、脳内の情動/感情のチャンネルを刺激すると考えられる。前述のてんかんリハビリの事例、また前章1-2-2で見出した「手首から先の筋電ジェスチャ認識/再現」システムでの体験と同様に、意識/無意識のはざまで行う微調整がうまくヒットした時の「(チ)達成感」というのは、筋力ピークのスポーツ的な到達感と違って、なんだかもぞもぞしていたら上手くいった、という「柔らかな/不思議な」幸福感(→ウェルネス)になる、という注目すべきポイントである。この第二のタイプのリハビリでは、物理療法としてだけでなく心理療法(メンタルセラピー)としても役立っている意義を指摘しておきたい。

## 2-2-3 メンタルヘルスからウェルネス・エンタテインメントへ

前章1-3-3で整理したように、「自ら」改善していきたい「能力低下の状態」の原因が後天的なものであればリハビリテーション、先天的な原因であればハビリテーションであったが、同様にメンタルヘルスについても、一種の病気(後天的疾患)として対応すべきものと、生まれつきの「脳の個性」として対応すべきもの(発達障害・学習障害・スペクトラム障害など)とをきちんと理解する必要がある。リハビリとは物理的なトレーニングだけではなく、自身の意識として「ウェルネス(ウェルビーイング)に向かう」ことがその重要な基盤となるので、メンタルヘルスとウェルネス指向とは表裏一体であるとも言える。心身医学の「自律訓練法」(日本向けは「自己調整法」)は、自己催眠(ちょっと怪しい?リラックス法)と斬って捨てるには勿体無い、ある意味で真理を突いている重要なアプローチだ、というのが筆者の体感である。文献を理解した上で実体験として、実際に身体の隅々に意識を集中させることでウェルネスを増大させる(痛み/痒みを消す、内臓の不調を改善する、疲労回復)ことは可能な模様で、今後は実際に生体情報計測によってこれを検証していきたいと考えている。

メンタルヘルスやハビリテーションの分野と深く関連するサーベイとしてジャン=ピエール・クラン「芸術療法」があり、ヨーロッパで歴史の長いこの領域の事例が数多く紹介されている。現代でも、身体的あるいは精神的に先天的ハンディキャップを持った人々が、一般人を超越した芸術的才能を発揮している姿を賞賛する、というのは多くの芸術ジャンルに見られているが、歴史的には一種の「見世物」という差別意識や排除意識の産物でもあった。いろいろなマイノリティ差別が撤廃されつつある現代だからこそ、メディアアートによる可能性の拡大(支援)は、いわゆる芸術領域だけでなく、もっと一般的なエンタテインメントとして、本人だけでなく周囲とともにウェルビーイング/ウェルネスを体感できるような方法も考えていきたい。海外で成長した「e-sports」(スポーツとしてのゲーム)がようやく国内でも注目されてきたが、メダリスト級の「e-sports」プレイヤーの名人芸と集中度は、インターフェースを工夫することにより、一般的な健常者(→オリンピック)だけでなく、ハンディキャップを持つクライアント(→パラリンピック)が対等に参加できるエンタテインメントの可能性を持つ。本研究の「メディアアートがユニバーサルなシステムデザインを支援する」という提案は、この領域に大きく貢献できる可能性を持つ。

## 2-2-4 内受容感覚バイオフィードバックの4つのポイント

本項では、本研究において特に留意した、エンタテインメントコンピューティングにおいて内受容感覚バイオフィードバックを追求するための4つのポイント/視点を整理する。第一のポイントは、「意識の集中」「錯覚体験」「変化への気付き」という切り口である。よくある「じわじわとどこかが変化している画像(ほぼ静止画のような超スローモーション・モーフィング動画)」の変化を指摘する、という「AHA!体験」ゲームがその典型である。対象に意識を集中すること、そして変化に気づいた瞬間の「AHA!」という嬉しい感情(新奇性への報酬系に起因)は、認知症リハビリでも推奨されている重要なエンタテインメントであり、この「発見/気づきの喜び」を演出することはまさにウェルビーイング/ウェルネスの体感に繋がる。世間で話題になる以前の1990年代から筆者は「数独」パズルを趣味としてきたが、あれこれ理詰めに考えて正しい数字を発見した瞬間の「AHA!」(ドーパミンの湧出を体感)は何よりのリフレッシュ(メンタルヘルス)である。本研究では視覚や聴覚の錯覚、あるいは両者が合体したマルチモーダル錯覚を調査検討した結果、受け身な「static錯覚」(ただ見るだけ)ではなく、生体センシング情報によって錯覚パラメータをインタラクティブに操作するバイオフィードバックによって「[能動的に]錯覚に気付く」、というエンタテインメントの可能性を重視して、第3章での多くの事例を提案した。

第二のポイントは、「無意識を意識する」「自己の感覚に気付く」というような切り口である。上の「AHA!」というのは専用の感覚器による外受容感覚として知覚領域から瞬間に起きるが、こちらは人間が自分の自覚的な脳内プロセスとして、より深く自己に気付くことで深い充実感を持つのが目標である。前述した「筋電ジエスチャがヒットした」感覚はこれであり、明確な因果関係が説明/理解できないのに無意識下にうまくいっている、と気付くエンタテインメントは、情動/感情と結びついた内受容感覚バイオフィードバックと言える。ランダム・ドット・ステレオグラムを見るために交差法とか平行法とかあれこれ試行錯誤してスパッと「見えた!」という瞬間は上述の「AHA!」感覚に近い。しかし動画版のランダム・ドット・ステレオグラム(難易度が高くなかなか見えないので集中的な自己管理が必要)とか、ギブソンのアフォーダンス視覚論に触発されて試作した錯覚体験パッチ"Affordance"(→3-1-1)の事例は、上述の錯覚パッチ群よりも、むしろ「より深く自己の感覚に気付く」という満足感に繋がっている。

第三のポイントは、「懐かしさ」「記憶を発掘する」という切り口である。これは子供還りしてしまった高齢者の認知症リハビリで有効性が指摘されているアプローチであり、さらには「クライアントへのカスタマイズ」(親近性)にも繋がる。リハビリツールで使用するグラフィックやサウンドなどのコンテンツを、味気ない抽象的な素材でごまかさずに、例えばクライアント自身の故郷の風景写真とか、子供の頃の家族写真とか、昔懐

かしいわらべ唄など、脳内にエピソード記憶されている情報にまで(無意識的に)アクセスが及ぶように配慮することで、これも情動/感情と結びついた内受容感覚バイオフィードバックに貢献すると考えられる。本研究の提供する「容易にマルチメディア・システムの実現を支援するプラットフォームやツールキット」により、クライアント個々に即した写真・画像・サウンドなどのコンテンツを駆使することで、このカスタマイズが容易になっている。メディアアート業界のメリットの活用という意味では、このシステムを活用した「絵心のあるデザイナ/デザイン学生とのコラボレーション」という事例(→第3章)も意義がある。

第四のポイントは、触覚フィードバックの活用である。再びベンヤミンに還れば、やはり「触覚」は情動/感情のチャンネルに強く結びついている。ボディソニックの低周波振動(可聴帯域下)も含めるが、インタラクティブなシステムとして構築する場合に、ユーザインターフェースが単なるスイッチやレバーという片方向のセンサであるよりは、そこに触覚フィードバックのアクチュエータが組み込めないか、という視点は重要である。認知症リハビリにおいても、「手」(からのリアクション)を重視するというのが最近のトレンドであり、時代はまさにここに向かっている。リニア振動アクチュエータによる「繊細に制御できる振動(バイブレーション)フィードバック」という道具、さらに「優しい」物理的リアクション(ウレタンの柔らかい反発)を伴った触覚/触感センシングの「PAWセンサ」を活用した汎用システムの活用発信によって、「触覚フィードバックによる内受容感覚BF」という領域の拡充をさらに目指したい。

## 2-2-5 福祉領域ECの6つのポイント

本項では、本研究において留意した、エンタテインメントコンピューティングが福祉領域で「役立つ」ための6つのポイント/視点を整理する。第一のポイントは「インタラクション」である。クライアントは生身の人間(ときには複数)であり、システムはリアルタイムにインタラクションすることでクライアントの生体情報や働きかけ(アクション)や身体状態/精神状態をセンシングして、バイオフィードバックとしての情報/コンテンツをクライアントに返す。このインタラクションによって情動/感情が喚起されたり、無意識の感覚に気付いたり、記憶を発掘したり、内受容感覚バイオフィードバックによって満たされたりする。一方的にヒーリング音楽を聴いたりヒーリング映像を観たりする「鑑賞」でなく、自己に気付く自発的な「体験」・「参加」であるところが重要となる。インタラクティブ・メディアアートは元々、そのような関係性を実現するものであり、プラットフォーム「Max」はこの実現を強力に支援する。

第二のポイントはシステムとしての入力、「センサ、インターフェース」である。21世紀のテクノロジーが支える多種のセンサやインターフェースから、プラットフォーム「Max」と有効に連携するための手法を「ツール」として整備して公開提供することにより、過去には工学的に高度な技術を必要としていた領域を、ブラックボックス化・ソフト部品化・オープンソース化によって簡単にしていく、というのが本研究のアプローチである。もちろんこれはインタラクティブ・メディアアートの要素として必須である。本研究では最終的に2つの柱のオリジナルセンサシステムとして、本章の「2-5 VPP-SUAC」と「2-6 PAW-double」というシステムを発表公開し、ワークショップなどの場で提供(貸与)体験を推進するとともに、必要に応じて誰でも新たに製作できるための全てを情報公開した。これ以外のシステムについても技術情報やソースコード等は全てWebで公開している。

第三のポイントはシステムとしての出力、「可視化、可聴化、フォースディスプレイ」である。当面は五感のうち味覚と嗅覚のチャンネルはさて置き(関連研究の進展はチェック中)、視覚と聴覚と触覚のチャンネルをマルチモーダルに組み合わせてクライアントに提供するため、プラットフォーム「Max」と有効に連携する手法を「ツール」・「サンプルパッチ群」として整備して公開提供している。認知症対策のポイントとして「脳内の複数の領域を同時に活性化する」が提唱されており、まさにマルチモーダルなシステム出力が得意なメディアアートの活躍の場である。なお個人的な印象としては、HMDは映像酔いと個人差(自分の両眼視

力は著しくアンバランスで3D映像を楽しめないのでこれまで3Dモノには興味がない)が問題となるので、現状あまり深入りするつもりはない。登場した時に騒がれたKinectやGoogle Glassや3Dテレビ/4Kテレビがすっかり下火になっているのと同様に、HMDもそれほど画期的に普及しないのには理由があると考えられる。

第四のポイントはシステムとして入力と出力との関係性を構築する「アルゴリズムの実現」である。ここはインタラクティブ・メディアアートの中核であり、これまで情報科学の歴史とともに提案されてきた、確率・統計、ニューラルネット、フラクタル、カオス、マルコフ過程、遺伝アルゴリズム、 $1/f$ ゆらぎ、ファジイ、ベイズ推定、機械学習、パターン認識、特徴分析、引き込み、創発、継承、補間、外挿、マッピング、深層学習、ゲーム理論、データベース連携、などの数理モデル/理論の応用が実験できる領域である。上記の入力と出力との関係をリアルタイムに結びつける枠組みはプラットフォーム「Max」上にあり、これらの関係性はソフトウェア部品としてライブラリ化されているので、ブラックボックスとして結びつけて活用できる。なお、「AIがビッグデータから[万人に共通]の何かを得る」というアプローチは、個別のクライアントに対応した(オリジナル/カスタマイズ)バイオフィードバック・リハビリテーションの世界ではちょっと方向性が異なるので、当面は深入りせず静観している。

第五のポイントは、「モジュール化：ハードウェアplatform+ソフトウェア部品」という手法である。プラットフォームの「Max」は登場した1991年から現在まで、「オブジェクト」と「パッチ」というモジュール化を基本思想としている(後にMATLABやMindstormやScratchが後追いで真似てきた)。そして周辺機器についても、センサやマイコンをハードウェアplatformとして標準化してMaxと連携する、という流れが世界的に発展してきた。本研究ではセンサやマイコン内のファームウェア(組み込みソフトウェア)も「ソフトウェア部品」としてモジュール化し、テンプレートとして公開提供することでブラックボックス化を推進している。なお、バージョン管理・公開ホストとして「GitHub」・「BitBucket」・「GitLab」・「Assembla」・「Phabricator」・「CloudForge」・「tracpath」などがあるが、最大の「GitHub」にはMicrosoft参入の影(デメリット)があり、当面は筆者自身のドメインから公開している。

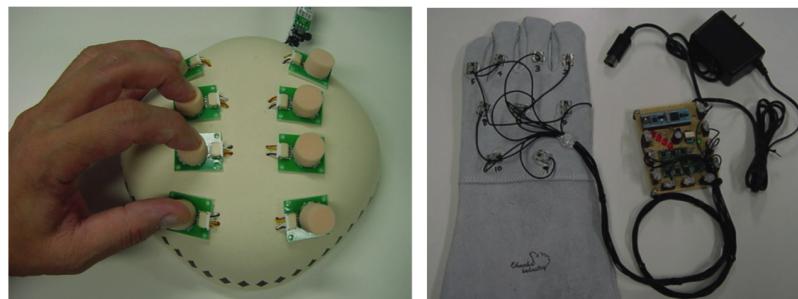
第六のポイントは「カスタマイズ」である。元々メディアアートの世界では、一般向けに商品化されるメディアコンテンツ/玩具とは一線を画して、作家の個性を反映させたり来場者(体験者)に応じてカスタマイズされてきた。福祉領域ではクライアントの個性に対応して(寄り添って)カスタマイズ可能である事は必須条件であり、この点でもプラットフォーム「Max」のユーザカスタマイズ機能が最大限に生かされる。また認知症リハビリなどの領域で重要な「懐かしさ」・「記憶を発掘する」という視点からは、クライアント個人のプライベートなコンテンツ(写真や録音)をシステムの素材コンテンツとして容易に取り込む機能が有効であるが(2-2-4)、ここも「Max」の得意なところである。真逆なアプローチである「ビッグデータ+AI」のデメリットについては上述のように静観しているが、可能性としてよりマクロな「ヒト共通の特性」(人種/性別/年齢/国籍等を超えた生物学的共通基盤の発見)に対応、という方向性については注視していきたいと考えている。

## 2-2-6 筋肉の内受容感覚と触覚/触感のウェルビーイング

筋肉には随意筋(横紋筋)と不随意筋(平滑筋)があり[例外として心臓だけは不随意の横紋筋]、筋電センシングの対象は主として随意筋に属する骨格筋である。そのため筋電バイオフィードバックと言えば、極限付近まで筋肉が伸縮する「限界」に挑戦するようなスポーツ的アプローチが主流であった。しかし筋電ジェスチャ認識の実験(1-2-2)を行った時に自分自身(および多くの被験者)が感じたのは、事前に記録した自分のジェスチャを「再現」しようとして、もぞもぞとジェスチャ(筋肉)を微調整する、すなわち掌から指までの多くの筋肉をなんとなく微妙に緊張/弛緩を繰り返す試行錯誤の中で、予想外にバイオフィードバック結果が「ヒット」して正解ジェスチャが再現された時の「意外な嬉しさ」、というウェルビーイング状態(広義

のエンタテインメント)であった。この時の筋肉は随意筋としての意図的なコントロールというよりも、半ば無意識的に客観視された(突き放された)曖昧な状態にあり、そこから「正解」報酬が生まれた感覚はまさに内受容感覚から来る「快」の情動であった。

触覚/触感センシングのシステムにおいても同様である。後述する触覚/触感インターフェース「PAW-eight」応用システムとして制作した「癒し系」コンテンツの事例では、スポーツ的に極限付近までPAWセンサのスponジを押し潰すのではなく、中庸付近のレンジで各センサの4系統センシング出力をがほぼ同じになるように「平坦に優しく」押す、という目標を設定した。3次元空間で立方体の頂点に位置する8個の光源(両手の8本の指に対応)は、それぞれのPAWセンサを押す力がレンジの中央付近で立方体の中心のブラックホール(目標)の内部に来るよう移動し、それより強くても弱くとも中心から離れる。これにより「中心からの距離に応じて生成される」サウンドのピッチが上がって耳障りになる。センサごと4系統の出力がでこぼこした状態であれば移動するベクトル成分が中心から「逸れる」方向に作用して距離が大きくなつて耳障りになる。ブラックホール中心付近に8頂点(8センサ)の出力全てが集結してくるとサウンドが静かな低音(→消滅)となり宇宙空間をイメージする残響も深く広がり、光源からの反射が減り宇宙空間の全体が暗くなつて心安らかに落ち着いてくる、という状況(これが嬉しい)に近付くようなゲーム性をデザインした。すると上述の筋電ジェスチャ認識における緊張/弛緩の中間帯での筋電リラックスとかなり似た状態となり、指先からの触覚アクションまで含めたウェルビーイング状態を実現することが出来た(広義のエンタテインメント)。この「嬉しい」も内受容感覚から来る情動であると言える。奈良学園大(リハビリ学科)のオープンキャンパスに参加した高校生や専門家(教員)に試してもらった感触/感想が、「平坦に優しく」押すことの有効性への確信の源泉となっている。



“PAW-eight”と”VFB10”

後述する高精度振動インターフェース「VFB10」の応用システムにおいて、手袋上に配置した複数のリニア振動アクチュエータの振動をわずかにずらした周波数で連続駆動した実験で得られたのは、周波数の差分である「唸り」の低周波成分の影響からか、自然に空中に手が持ち上がっていく(引き込まれる/吸い上げられる)ような運動錯覚という実験報告であった。振動によるむず痒さはあるものの、この触覚的身体振動は非日常的な「不思議感覚」であり、錯視图形を見たり聴覚的錯覚サウンドを聞いたときのような、これも一種独特的の広義のエンタテインメント(「発見の驚き」や「意外感(新奇性)」)の可能性と考えている。

感情心理学の領域を文献調査する中で、情動/感情が人間の「表情」と密接に結びついている事実を確認したが、情動/感情から表情が生まれるだけでなく、その逆方向、つまり「表情から情動/感情が生まれる」という可能性も検討した。具体的には前述した脳波センシングバンド“Muse”を、「顔筋電センシング(表情筋)」として使う検証実験をデザインした。Museからストリーム情報として得られる4種類の脳波チャンネルに相当する飽和センシング信号を、脳波でなく「額付近から得られる顔の筋電情報」としてまず非線形圧縮変換して「表情変化データ」とした。そして色々な感情や表情をイメージさせる表現を日本語読み上げ音声素材としてシステムから提示し、それを被験者に自分の表情として表現してもらった際の外眼筋/表情筋などの変化パターンをデータとして採集して、できれば「万人に共通する表情(と対応した感情)の筋電情報」のデータベースを実現したいという遠大な目標である。これはそのまま、本研究の発展の一つとして

目指したい「表情筋に着目した認知症リハビリ」(いろいろな表情を作ることは脳を活性化させて認知症リハビリとなる)に直結し、筋電センシングからリハビリテーションまでの道筋が1本に繋がることになるが、まだ道のりは遠く、現時点では「future work」としておく。

## 2-3 スケッチング(物理コンピューティング)

### 2-3-1 Sketching in Hardware

本研究の重要な要素である「スケッチング(物理コンピューティング)」については、一般的な用語としての「スケッチング」や「物理コンピューティング」の意味とは異なるので、まず最初にこの用語について解説する。現在では世界中の誰でも知っているIoT(Internet of Things: 何でもインターネット)という用語/概念を最初に打ち出したのは、PARCの元研究員であり、後にThingM社のCEOコンサルタントとしてPacBell, Crayola, National Public Radio, McGraw-Hill, Cypress Semiconductor, Whirlpool, Macromedia, Corel, Qualcomm, Yamaha等での委託デザインを行ってきたMike Kuniavskyである。同氏が主宰する国際会議「Sketching in Hardware」は2006年から始まり、同氏の趣旨に賛同するこの領域の専門家が招待されて世界先端の情報交換を行っている。オープンソース・ソフトウェアという概念は1980年頃から一般的になってきたが、Mike Kuniavskyはこれがオープンソース・ハードウェアに発展して新しいIT時代が到来するのをリードしてきた。何かシステムをデザインする際に、紙の上で描くスケッチやソフトウェア上のシミュレーションだけでなく、「実機」として動作まで実現してしまうラピッド・プロトタイピングというのがここでの「スケッチング」の意味である。

スケッチングと表裏一体をなす「物理コンピューティング」とは、過去にはPCや電子製品としてシステム内に「閉じて」いたコンピューティングが、センサ/アクチュエータ/ディスプレイ等を介して実際の物理世界(人間や環境)とインタラクションするように発展していくトレンドの事であり、実験物理学の世界で数値シミュレーションによって理論検証する用語とは別ものである。筆者はGainerの開発者である小林茂(IAMAS)に紹介してもらってMike Kuniavskyの招待を受け、これまで6回(2008プロビデンス、2009ロンドン、2012ポートランド、2013パロアルト、2015アリゾナ、2019デトロイト)のSketching in Hardwareに参加して、最新の研究開発状況を報告するとともに世界をリードする専門家と意見交換してきた。その常連はMaxの開発者David Zicarelli、MIT Media LabのCarla Diana、世界にボード類を提供するNathan Seidle(米国Sparkfun社CEO)やEric Pan(中国Seeed社CEO)、さらにスタジオIDEO、インテル、グーグル、マイクロソフトなどの研究者/デザイナまで熱心に参加し交流している。



“Sketching2019(Detroit)”で筆者が発表した様子

Sketching in Hardwareという国際会議自体が一つの先端ショーケースとしてワークショップのようなものであるが、ここに参加するメンバーはそれぞれスケッチング/物理コンピューティングの普及活動も進めている。次章3-2で詳述するように、筆者もこの世界先端状況を国内で紹介・発信するために、SUACメディアアートフェスティバルやSUACメディアデザインワークの一部として、2008年から2019年までに9回、タイトルもしばしば「スケッチング・ワークショップ」を開催し、参加した国内の多くの専門家・教員・学生・院生などと議論や情報交換を続けてきた。さらに、いくつかの大学に依頼されてワークショップ形式でこの概念を紹介した(京都造形芸術大・成安造形大・筑波大・京都精華大・京都市立芸大・東京藝大)。海外においても、研究機関や国際会議でのスケッチングに関するレクチャー、ロシアでの公開レクチャー/ワークショップ(計6回)などでこの概念を紹介し、2018年9月にポーランド・Poznanで開催された国際会議ICEC2018でも、専門家を対象としたTutorial Workshopの企画提案が受け入れられて実施した。筆者はこのような活動自体までが、役立つエンタテインメントを実現するための「道具箱」としてのメディアアート、の新しい可能性と考えている。

## 2-3-2 開発時/実行時のプラットフォーム: Max

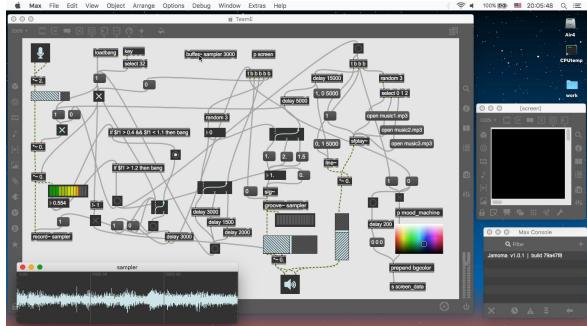
イメージ情報科学研究所の非常勤研究員として、筆者がSilicon Graphics社のIndyワークステーション(リアルタイム・マルチメディア処理機能をUnixカーネルに独自実装したIRIXマシン)を活用したメディアアート・パフォーマンスを追求した1990年代前半は、Microsoft系ではなくIndyとMacを複数台組み合わせたシステムが作品/公演のプラットフォームとなった。ここではC言語で直接、Open-GLグラフィックスをリアルタイム・レンダリング出来るIRIXシステム上のライブ3次元CG描画プログラムを開発し、C言語でオリジナル制御ソフトを開発したPCからのMIDI情報によってライブ制御した。この時代までのプログラム開発とは「ソースプログラム→コンパイル→実行プログラム」という流れであり、「開発」と「実行」のフェーズは断ち切られていたので、柔軟・頻繁にプログラムを改編するのは容易ではなかった。

「Max」とは、コンピュータ音楽研究者として50年以上も世界先端を走ったMax Mathews博士の弟子のMiller PucketteとDavid Zicarelliが、フランスの国立音楽音響研究所IRCAMでISPWボードのためのGUIソフトとして当初NeXTコンピュータ上に実装して開発した。後にDavid ZicarelliがCycling'74社を起業してMac版Maxを公開したことで、インタラクティブ・メディアアートの領域で30年にわたって世界的標準プラットフォーム(プロトタイピング・実行環境)となり、現在ではWindows版も出ている(一部の制限はWindows固有の問題に起因)。その最大の長所は「プログラミング環境=実行環境」という概念であり、極端にはMaxのライブ音楽生成パッチを走らせているコンサート公演中に、その走っているMaxパッチをステージ上でライブ変更することすら可能である。

この「箱(オブジェクト)同士を線で繋ぐだけのプログラミング」というMaxの機能は、1997年に"MSP"としてリアルタイム・サウンド処理に拡張され、2002年に"jitter"(プログラマ/アーティストのKit Crayton[Cycling'74]が開発)によってリアルタイム・ビデオ処理[64次元マトリクス演算]に拡張された。最新の機能としてMax7で追加されMax8で強化された"GEN"とは、GPUによる高速処理をモジュール化して追加するものである。本研究では、色々なインタラクティブシステムを容易に実現するための「道具箱」の基盤にこのMaxを据えて、多くの実例(→第3章)を実現してきた。過去には専用の高額機器でなければ実現できなかった「錯覚など実験心理学のシステム」・「生体計測バイオフィードバック」についても、Maxで容易に実現できるという筆者の事例報告は色々な学会で注目された。

基本的にMaxコミュニティはオープンソース文化に則っており、Cycling'74社のサイトには膨大な拡張オブジェクトライブラリ、豊富なチュートリアルとサンプルパッチ群、そしてMaxを活用した作品事例集などがある。初心者が質問するとベテランやスタッフが回答/支援する「フォーラム」も充実しているので、(英語

ベースであれば)マルチメディアコンテンツ制作にも不自由しない。日本語ドキュメントとしては、赤松正行+ノイマンピアノが出てきたMax解説書(「トランスMaxエクスプレス」→「2061:Maxオデッセイ」)が非常に充実している上に、松村誠一郎や大谷安宏もMax入門書を出している。さらに、多くの国内大学の研究室がCycling'74の英語ドキュメントをボランティアで日本語化して公開しており、一部のメディアアーティストも個人サイトでサンプルパッチや作品事例を紹介しているので、検索すれば容易に到達できる。



“Sketching2019(Detroit)”のワークショップにて2時間で完成したMaxパッチの例

「Max」以外のプログラム開発環境(「コンパイル」のステップが入るのでMaxより見劣りする)としては、標準開発環境としてUnixの「gcc」やWindowsの「.Net」やMacの「Xcode」とともに、Open-GLやopenFrameworksのオープンソース・ライブラリを活用する、というのが主流である。Directorは消滅し後継のFlashも消え行くことになったが、オープンソース文化でJavaベースの「Processing」、あるいは最近では「Unity」なども現在の有力プラットフォームである。ただし筆者があまりUnityに深入りしないのは、(1)既存のAssetを安易に利用することでオリジナリティが伸びず学生のデザイン教育には注意が必要なこと、(2)3D-CG生成環境がアニメーション的に完成され過ぎているために抽象的/数理造形的に自由なビジュアル表現の追求に向かない、という理由による。

IRCAMでMaxから分岐して成長した(Miller PucketteがIRCAMで公開)フリーの「PureData」は、データ処理に関する「方言」がだいぶMaxと相違してきている上にライブラリ等の互換性が無いので、逆に専門レベルは相当に上がる。Raspberry Piは実質的にUnixシステムなのでホスト(開発/実行環境)の候補ともなりうるが、本研究ではペリフェラル・プラットフォームと位置付けている。またXcodeは一般的なMacのアプリケーション開発環境であるが、本研究ではMyoやMUSEなどのインターフェース(ミドルウェア)開発にのみ使用しているので、本論文では解説の対象外とした。

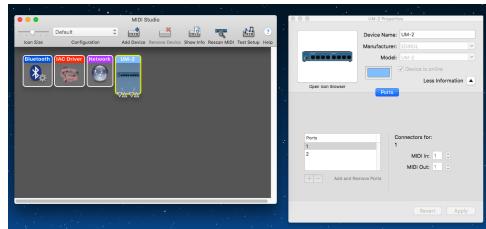
### 2-3-3 連携通信のためのプロトコル3種

複数の構成要素が柔軟に通信することで全体としてシステムが目的の機能を実現する、というのは、巨大化した20世紀テクノロジーが行き着いた当然のシステム構成法であり、「モジュール化」されたシステム要素間の連携のために、色々な通信プロトコルが提案してきた。コンピュータ技術史的には「セントロニクス(パラレル通信)」・「RS-232-C(シリアル通信)」などから始まって各種プロトコルの発展を分析するのも興味深いが、ここでは実際に筆者がずっと活用し、本研究で提案するフレームワーク/ツールキットでも重視する「MIDI」と「OSC」と「USBserial」の3つを解説する。

#### MIDI

MIDI(Musical Instruments Digital Interface)とはその名の通り、電子楽器の世界で全てのメーカーが独自性を捨て共通規格として共存するために定義された規格である。1983年頃から現代まで続く規格で、同時期の「VHS vs ベータ」のビデオテープ競合、「3インチ vs 3.5インチ」のフロッピーディスク競合、など世界の技術的な栄枯盛衰(負けた方は消える)歴史の中で、奇跡的に変わらない規格が残り続けている特

例プロトコルである。歴史が古いため通信速度が31.25kbpsと低速で各種インターフェース・プラットフォーム(次項)が容易に扱えるとともにPCソフトやMaxが標準的にサポートしたこともあり、音楽シーンに限らず、照明機器や制御機器のコントロール・プロトコルとしても活用されている。異なるメーカーの製品(電子楽器)同士をMIDIケーブルで接続することは、片方の電気的原因から相手が故障する可能性につながるため、MIDIケーブルでは光デバイス(フォトカプラ)で信号を電気的に分離(片方からの漏電は相手に伝わらない)する仕様になっており、コンサート会場など照明機器ノイズに溢れた劣悪な電磁環境でもMIDIは現役で活躍している。

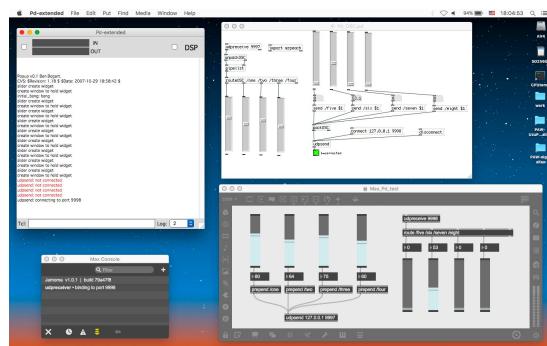


Mac OSで認識されるMIDIデバイスの様子

筆者はかつて楽器メーカーの研究開発者としてMIDIの詳細を熟知していたので、30年以上にわたってオリジナルシステムのインターフェース・プロトコルとしてMIDIを活用してきた。本研究においても、各種インターフェース・プラットフォーム(AKI-H8・Arduino・Propeller・mbed等)において、MIDI送信・MIDI受信に関するハードウェア周辺、さらにMIDIプロトコルを独自に拡張して汎用インターフェースとして活用するサンプルプログラム・ライブラリ等を多種、開発/公開してきた。このような「標準(OpenSource)ハードウェア」と「OpenSourceソフトウェア部品」は、技術的な詳細をブラックボックスとして「とにかく使える」道具となるのが強みである。「独自拡張MIDI仕様」というのは汎用規格のMIDIからは違和感があるが、ハードウェアもソフトウェアもMIDI仕様で「送る」側と「受ける」側の両方を開発するのであれば、流れている情報の「中身」は自由に定義しても問題ない。あるいは敢えて「LEDの輝度データはC3～C6の音域にマッピング」など独自仕様を電子楽器が解釈する(鳴る)情報で記述すれば、試作/実験(デバッグ)の際に、情報連携する相手がまだ実現されていなくても、電子楽器をエミュレータとして活用できるメリットとなる。

## OSC

UC Berkeleyの研究所CNMATが提唱し世界標準となったOSC(open sound control)プロトコルは、当初はCNMAT(音楽研究所)の特性に応じて、「MIDI情報をネットワーク環境で伝送する」ために開発公開された。しかし、OSCの「UDPによりあらゆるシステムをネットワークで繋ぐ」汎用性は世界中の研究者に注目されて、音楽だけでなくあらゆるデジタル情報を「ネットワーク越しに」色々なシステムでやりとりする「汎用プロトコル」として拡大・普及してきた。現在ではMax/Processing/Unityなどほとんど全ての開発環境がサポートしているだけでなく、2-1-3で紹介した"Myo"や"Muse"などがホストインターフェースにOSCサポート(実際にはDeveloperツールとして内部的に確保)しているように、技術情報を深読みしていくとOSCに到達する(活用可能な)アプリケーションやシステムは数多く存在する。



OSCで相互通信しているPureData(上)とMax8(下)の例

かつて筆者の研究「ネットワーク上での音楽セッションシステム」の学会発表論文を知ったヤマハからのSUAC受託研究として開発/試作した「GDS music」のシステムでは、離れた3人のPC(Max)がOSCを用いてネットワーク遅延を含む状況(同時性は欠落)で音楽セッションを一緒に楽しむ。このアイデア(同時性を捨てて遅延を組み込んだ新しい音楽の概念)から、筆者を筆頭発明者とするヤマハの米国特許(US 6,953,887 B2)にもなった。その後も複数システムの連携にOSCを活用した事例は多く、1台のMac内で「Max+Processing+SuperCollider」という3つのアプリケーションを同時に走らせてそれらがOSCにより連携するシステムも開発/公開した。

## USBserial

パソコンやデジタル機器の周辺では多種多様なインターフェース規格が乱立しているが、USBは比較的「生き永らえて」いる規格であり、このUSBを経由して「古典的シリアル通信」を活用する、という「USBserial」もまた「生き永らえて」いる。Arduinoから始まったインターフェース・プラットフォームにおいても、その内部にファームウェアを書き込むためのPCインターフェースは「USBserial」であり、筆者も最近ではMIDIだけでなく、Maxの「serial」オブジェクトから「USBserial」を経由して周辺システムと通信するようになってきた。

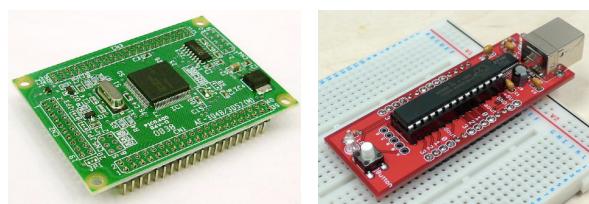


FeliCaリーダ(中央)からPCに接続するUSBserial(左下)の例

本章で紹介する事例の「VPP-SUAC」でも、筋電情報(+脳波情報)をいったんXBeeによってWiFi送信するが、この情報は「XBee-USB」モジュールで受信して、結局は「USBserial」経由でホストMaxに伝送している。「USB情報を光ファイバに変換して1km延ばす」などという機器もあるので、かなり愚直なこの「USBserial」は今後とも活躍すると思われる。

### 2-3-4 インターフェース・プラットフォームと注意点

インタラクティブなシステムを実現していくためのインターフェース・プラットフォームとして、筆者は1989年頃から秋葉原・秋月電子のAKI-80/AKI-H8マイコンでMIDI対応センサ群を製作し、MacのMIDIインターフェースを経由してMaxとやりとりしてきた。その後、IAMASの小林茂が開発/公開したGainer(CPUはCypress社のPSoC)が国際的な標準インターフェースとして、デザインやアートの世界で君臨した。これは複数のモードをホスト側からUSBserialで指定できるファームウェアと、Max/Flash/Processingのプラットフォーム3種に対応したミドルウェア(オブジェクトライブラリ)、サンプル集までを全てWeb上にフリー提供したことが最大の理由である。活躍の10年間を経て、Arduinoの普及などもあり2016年にGainerは製造中止となり消滅したが、この役割の後継とされたArduinoには課題もあり、本研究ではこの部分について新提案を行った(2-4-3)。



AKI-H8 と Gainer

本研究の「ツールキット」として品揃えした、標準的なペリフェラル・プラットフォーム(ハードウェア)の解説は次節2-4-3で行う。ホスト(Max)と通信してシステムを構築する「マイコンボード」(ファームウェアを開発して書き込む)としては、歴史を終えたGainerを除外して「AKI-H8」「Arduino」「Propeller」「mbed」の4種を取り上げて詳細に解説する。いずれも次節で紹介するように、ホストと通信するインターフェース・ライブラリをはじめとして、各種の高度な機能を汎用ライブラリモジュールとして開発・公開しており、ソースコードの詳細を理解する必要なく、ソフトウェア部品として活用して(完成しているバイナリ・ファームウェアを書き込むことで)高度なシステムを構築できるようにしてある(→2-3-6)。

なお、最近ではRaspberry Piおよびそのファミリも脚光を浴びているが、「3台連携システム」などの実験検証を行った上で筆者は本研究においてはRaspberry Pi群をインターフェース・プラットフォームとして採用していない。その理由は、周辺機器として「小型軽量化しつつ乾電池駆動したい」インターフェースとしては、Raspberry Piはバッテリ(モバイルUSB電池を含む)ではすぐに昇天するほど消費電力が大きく(5V2A)、つまりは「小型のパソコン」であって機動的な周辺機器としてはまだまだ発展途上でしかない、という判断による。これは時代とともに変化する見立てであるが、新しく発表されたRaspberry Piや「AIボード」(Jetson Nano)は性能が向上するとともに消費電力はさらに増大しており(5V3A)、この判断は当面のところ変化する見込みがない。

なお、このようなハードウェアを実験する際の注意点についてここで短く問題提起しておきたい。ペリフェラル・ハードウェアを実際に製作する際に、「ブレッドボード」を使うのが最近のデザイン教育の現場でブームとなっているが、筆者は専門家として断固反対する。多数の穴が並んでいて、マイコンやICや電子部品のリードをその穴に差し込み、配線に相当するリードも同様に差し込むだけでOK、というブレッドボードであるが、その手軽さの反面、電気的な信頼性はゼロである。トライアンドエラー(試行錯誤)実験であればともかく、「試作」であっても許容できず、ましてや「実機」の一部がブレッドボードのまま、というのはデザインとして言語道断である。生体センサの出力信号の電圧レベルに対して、ブレッドボードに差し込んだ部品のどこかが瞬間的にわずかに接触不良を起こした時のノイズ電圧レベルはおよそ1000倍から10000倍も大きい。ブレッドボードに差し込んだマイコンの多数のピンのどこか1本が1秒の10万分の一ほど接触不良になっただけでシステムはリセットされたり最悪は暴走する。この危険性を理解できずに放置するデザイン教育者は失格である。

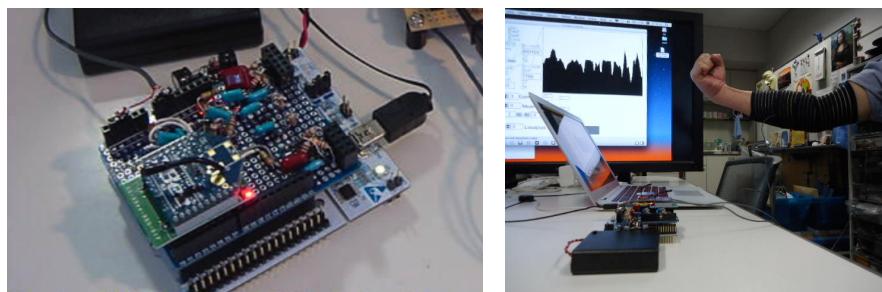
また、色々なパーツを組み合わせてシステムを構築する場合には、電源と信号電圧について注意点があるのでここで整理しておく。まず、AKI-H8およびArduinoの電源電圧/信号電圧は古典的な「+5V系」なので、従来の+5V系のデジタルシステムとそのまま接続可能である。一方、Propellerおよびmbedの電源電圧/信号電圧は「+3.3V系」なので注意が必要である。電源供給は、ボードには+5VやUSBから内部の+3.3V電源に変換するレギュレータが搭載されているので「+3.3V、+5V、+6～9V」のいずれも接続可能となる。信号電圧が「+3.3V系」の場合、入力に「+5V系」素子の出力を接続すると破壊故障となるためビットごとに信号電圧レベルシフタか1kΩの抵抗を入れる。ただし出力は、与える「+5V系」の素子がCMOSタイプであればスレショルド条件に合致してそのまま接続可能である。最近ではマイコン周辺ボード(XBeeやセンサ搭載ボード等)にも「+3.3V系」が増えているが、これは逆にPropellerおよびmbedには直結できるが、「+5V系」のAKI-H8およびArduinoに接続する場合に注意が必要である。周辺ボードからマイコンの入力への信号はマイコンがCMOSタイプなのでスレショルド条件に合致してそのまま接続可能であるが、マイコンの出力から周辺ボードへの信号はビットごとに信号電圧レベルシフタか1kΩの抵抗を入れる必要がある。

## 2-3-5 スケッチングで実現した2つのシステム事例

本項では、筆者がスケッチング(物理コンピューティング)の手法で実現したシステム事例のうち、第3章「事例検証」で解説紹介するシステムの前段となった、「CQ\_mbed\_EMG」と「指と触覚/触感とPAWセンサ」という2つについて紹介する。前者は2-5-1の「VPP-SUAC」に発展し、後者は2-5-2の「PAW-double」や、3-1-4の「PAW-eight」や、3-1-6の「MRTI2015」へと発展して、本研究の最終展示においても大活躍している。このように、スケッチングで新しいシステムを実験/試作することが、さらに新しい発展に繋がるという連鎖こそオープンソース文化が支援しているのだ、という典型例である。

## 事例(1) CQ\_mbed\_EMG

第1章において、1-2-1で筆者の筋電センサ開発の第1世代～第3世代(筋電楽器)を、さらに1-2-2で第4世代として「筋電ジャスチャ認識」の研究を紹介した。これを受けて本研究の一つの柱となった5代目「CQ\_mbed\_EMG」は、それまでの筋電センサを中心とした生体センシングについて、CQ出版「インターフェース」誌に60ページほどの特集としてまとめ、さらに急成長してきたマイコンmbedの活用事例にもする、という要請によって開発・執筆した。多くの関連文献を再調査し、システム的には第4世代「MegaChips」で採用した新しいフロントエンド回路をさらに改良し、mbed NucleoF401REをホストとしてそのArduinoシールド基板上に構築する2チャンネル筋電センサとした。電源は単3電池×4、さらにXBeeでWiFi出力することでUSBケーブルに由来するノイズを遮断した。



筋電センサ「CQ\_mbed\_EMG」

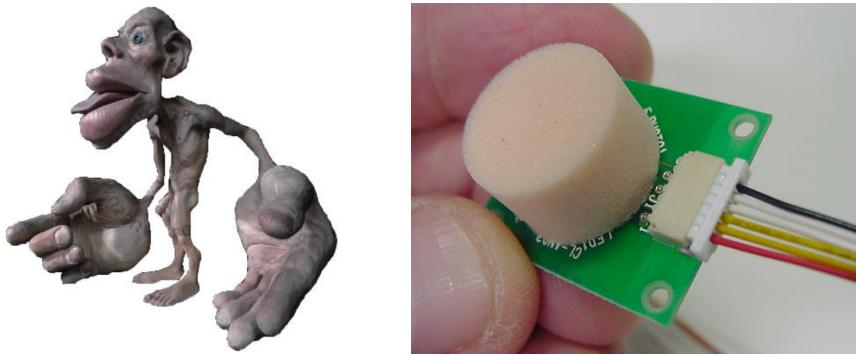
筋電情報パターン認識としては、簡易型のFFTとともに、筋電情報処理に特有のノウハウを駆使した新しい筋電認識アルゴリズム「リサジュー解析」を考案して発表した。これは筋電情報に特有の性質と、クライアントの身体環境によって大きく異なる筋電特性を考慮した一種の非線形変換アルゴリズムである。第4世代の時には4チャンネルの筋電センシング情報を50バンド・リアルタイムFFTシステム(計200チャンネル)という重厚長大な認識システムで処理していたが、この「リサジュー解析」のテクニックによって、後にはMyoの8チャンネル筋電情報に対してたった計28チャンネル「リサジュー解析」だけで、より軽快良好に処理できる事実を確認した。

この第5世代「CQ\_mbed\_EMG」では、まず筋電情報をそのままホストMaxに送ってMax上で生体情報処理の実験を行い、さらにはNucleoF401REのファームウェア内に前処理として生体情報処理アルゴリズムを実装した。この「インターフェース」誌の特集記事を読んだ、というバイオフィードバック・リハビリテーションの専門家・辻下守弘教授(甲南女子大→奈良学園大)からのコンタクトがあり、そこから本研究に直結する「生体情報処理とバイオフィードバック・リハビリテーションへのメディアアート応用」というコラボレーションの活動が始まった。そして共同研究者の照岡正樹と、「CQ\_mbed\_EMG」を4チャンネル化しつつさらに機能強化した第6世代「VPP-SUAC」システムに進化させてオープンソース化・公開した(2-5-2)。

## 事例(2) 指と触覚/触感とPAWセンサ

筋電を中心とする生体情報センシングと感覚/知覚/意識など基礎心理学領域の調査検討から始まった本研究では、後半になって「触覚/触感センシング」というテーマが新たに加わった。そしてこれが、ウェル

ネス・エンタテインメントの要素として当初予想以上に重要な活躍をしている。その伏線は、内受容感覚に関連した調査で知った「体性感覚の小人」(ホムンクルス)として有名な「あの絵」である。両方の掌と目・耳・鼻・唇・舌のサイズが極端な異形の姿は、人間の感覚や運動能力の鋭さに比例した大きさでデフォルメされている。このアンバランスに大きな「手」(正確に言えば「掌と指」)は、微妙な音楽表現の道具である弦楽器・管楽器など既存の楽器のほとんどがここで人間と接している事実を改めて再確認させる。かつて「触らない」楽器"Peller-min"の開発において、強力青色LEDからの光を掌と指で反射させる「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)へのコントロール能力を再発見していたが、人間が楽器を演奏する接点として「手」「掌」「指」というのは今後もずっと王道である。



「感覚の小人(ホムンクルス)」と PAWセンサ

アールティ社が開発したPAWセンサ(2000円)は、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た構造である。PAWセンサの動作原理は非常にシンプルで、ウレタン充填密封された中にある2個のLEDと2個のフォトセンサにより、LEDを点灯させた時のセンサ受光電圧を出力する。ただしPAWセンサの内部では空間的に異なる位置にLEDとフォトセンサが配置され、全て相互に影響し合う位置関係になっている。つまり、2個のフォトセンサの出力電圧は、LED1を点灯させた時とLED2を点灯させた時では光路が違っているので、2個のLEDを交互に時分割点灯させ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通りの光路/領域に対応した異なった変化を検出できる。このセンサをうにうにと触るのが、人間の体性感覚野/運動感覚野のいずれでも感度最大の「指先」なのがポイントとなる。「指先」は、弾力のある円筒形のシンプルなウレタンを変形させる最上のクリチカルな制御チャンネルであり、同時にウレタンの軟らかなリアクション(触感)を感じ取り「情動が喚起される」センサでもある。

データシートによればPAWセンサのLED点灯と光センシングは最小250μ秒ごとに実行できる。これはArduinoなどでは実装がやや困難(センサ1個だけならなんとか処理可能だが多数同時処理は無理)な高速処理であるが、mbed NucleoF401REでは同時にホストPCとの通信を115200bpsで行っても十分に余裕があるため、最初の実験機から全てmbedでインターフェースを開発した。シングルPAWセンサ実験機でMax画面上にセンサから得られる4チャンネルのデータを並んだバーグラフとして表示してみると、指先でウレタンを変形させるのに対応して、自然で繊細なコントロールが実現でき、同時に指先に自然なリアクションが返ってくる事を実感できた。そこでこのパラメータを、フルマント音声合成の4パラメータとしたアルゴリズムでサウンド化してみると、指先で柔らかいウレタンをいじる操作に対応して、生き物のような自然な反応の「声」が簡単に生成・制御できた。この単純なインタラクション(触覚/触感→「声」生成)からも十分に「癒される」というコメントを複数の体験者から得ることができた。

筆者の講義「音楽情報科学」を受講する4回生・宮本麻央がこのセンサの面白さに志願し、「触り方いろいろな声を出す」インスタレーション作品の制作に挑戦した。このシングルPAWセンサ実験機を貸し出してみると、演劇の心得のあるこの学生は多種の表情でまず色々な「声」をレコーディングして、PAWセンサを触って得られる4パラメータをそのサンプリング音声の再生速度や再生方向や音量バランスとして作用さ

ることで、自身が操作すれば艶かしいパフォーマンスとも言えるプレゼンとなり、他者がPAWセンサを触っても十分に楽しめるエンタテインメント作品となった。ジョイステイックなどの機械的コントローラと違って、PAWセンサのウレタン反発力から指先に返ってくる柔らかなリアクションは生成される「声」の優しさとの親和性が抜群であった。このPAWセンサの優しい触感は「癒し」「リラックス」という本研究の追求テーマに直結している。



PAWセンサを使った宮本麻央のシステム例

### 2-3-6 ワークショップでのスケッチング例

本研究の「役立つシステムを容易に実現することを支援するフレームワーク/ツールキット」というメディアアートの位置付けについて理解を深めるために、上述の2つの事例紹介に続いて、本章2-8や次章3-3-1で具体例を紹介している色々な「ワークショップ」において、どのようにスケッチングを行っているかを紹介する。半日～1日程度で「レクチャー(講演)」・「デモンストレーション」だけのワークショップもあるが、ここでは1日半から2日間で、参加者(初心者から専門家まで混在)が複数のグループに分かれて、グループごとにテーマを相談して、2日目の夕方にまでにそれぞれ何らかのシステムを完成させて互いにプレゼン(デモ)する、という形態(ハンズオン・ワークショップ)について取り上げる。

典型例として、ここではあるグループが「ディジタルおばけ屋敷」の「仕掛け」をテーマに何か作っていく、という流れをドキュメンタリー風に紹介する。これは過去に実際にSUAC学生が学園祭に向けて色々な仕掛けを実現していく事例そのものである。来場者が「仕掛け」に近づいたことをセンサで検出して、その反応として、(1)来場者の前から風が吹いてくる、(2)来場者の背後のドアがバタンと鳴る、(3)正面のモニタに来場者の顔が歪んで浮かぶ、という3種類の出来事が起きる…という構想になったとする。ここで必要となるのは、まずは来場者が「仕掛け」に近づいたことを検出するセンサであり、ホストのMaxにその情報が送られる。そしてMaxからの出力として、扇風機をONにして風を起こす(少ししたら止まる)、背後のドアをソレノイド(電磁石・突き上げ装置)で叩く、CCDカメラで撮影した来場者(赤外線LEDを照射)の顔を歪ませてモニタから出す、というような「仕組み」を組み合わせることになる。

通常、まったく何もない状態からこれらの要素を作り上げるには相当の時間と手間がかかるので、このシステムの実現は過去にはテクノロジーの専門家が取り組んできたレベルのデザインである。しかし筆者がSUACで行う「スケッチング」ワークショップの場合には、過去に多くの学生インсталレーション作品の構成要素として稼働してきた、「センサ」・「アクチュエータ」・「リレー」・「LEDボード」・「CCDカメラ」等の素材がロッカーに揃っていて、部品を仕入れて新たに製作しなくても使用可能な状態で待機している。重要なのは、それぞれのハードウェアを動かすファームウェアについても、「サンプル・ライブラリ」として稼働実績のある「ソフト部品」が揃っていることで、ゼロから試行錯誤するプログラミングも不要なことである。

来場者の近接センサについては、超音波距離センサ・赤外線反射型センサ・赤外線遮断型センサ・焦電センサなど多くのstkから、プレゼンで実演するスケール(検出距離)を検討して選択する。選ばれたセン

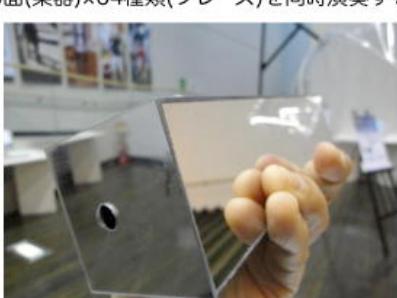
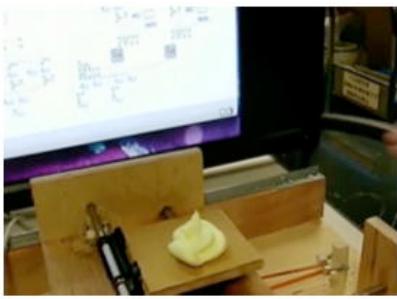
サはAKI-H8やArduinoと接続されて簡単に動作する(MIDI送信・USBserial)ようになっているので、Maxに接続してちょっとパッチを改編すれば、まず「来場者の接近を検出」までのMaxパッチが簡単に完成する。ここに、検出してから起きるあれこれに対応する機能を追加していけばよい。「必要な機能を要素ごとに分割して連結・統合することで実現する」いうのはスケッチング・ワークショップの目標であり、このプロセスはそのまま生きた実例となっている。

扇風機のON/OFFには秋月電子で250円の「ソリッドステートリレー(SSR)」を使うのが定番であり(当然このキットの完成品を常備している)、SSR基板にコンセント(タップ)をハンダ付けして、あとはMaxからArduinoに対して1ビットのON/OFF情報を送るだけで完成してしまう。Arduino2Max(2-4-3)のままでは「Arduino→Max」という逆方向の情報の流れであるが、このセンサ入力のためにMaxから送る予約コマンド"r"に加えて、別のコマンド"s"などを定義して、シリアル入力をモニタしているArduinoのプログラムを少しだけ追加すれば、「Max→Arduino」という双方向の制御まで容易に実現する。このように「自在にArduino2Maxを拡張して活用しよう」というのは筆者がスケッチング・ワークショップで提案している重要なテーマである(3-3-3)。

背後のドアをソレノイド(電磁石で突き上げる装置)で叩くというのは、これもMaxからArduinoにON/OFFを送ればいいが、ソレノイドは大電力を必要とするので、Arduinoの出力だけではパワーが不足する(無理に接続すると過電流で故障破壊)。そのために秋月電子で280円のモータードライバーを接続すればよく(Arduinoからの制御論理[正負]が反転することに注意)、この部分だけはワークショップの片隅にハンダ付けコーナーを設置して筆者が応援して製作する。ワークショップ(3-3-1)において、筆者は特定のグループに参加没入するのではなく、各グループの進展を全て見守って必要に応じて技術的に個別応援する、というスタンスである。SSRに比べてソレノイドやモータの制御はテクニカルなノウハウが必要なので、ブラックボックスとして「動作するモジュール」まで製作協力することが多い。

「正面のモニタに来場者の顔が歪んで浮かぶ」というのは、Maxのライブ・グラフィクス拡張機能"jitter"を活用すればお手のものであるが、Maxの初心者にはちょっと敷居が高い。しかしMaxの「jitter examples」ディレクトリには膨大なjitterサンプルが用意されていて、順に調べるだけで半日は遊べるほどである。そこで、「CCDカメラからの画像を入力」という標準的パッチを用意して、そこからはワークショップ参加者がスキルに応じて分担し「jitterサンプルを試行錯誤して発見」した画像変形機能を盛り込む、という作戦も有効である。ワークショップ参加者の中で特に初心者では、コンピュータにArduinoなど得体の知れない機器を接続するだけでも「怖い」という反応が普通であり、「何かやったら壊してしまうのでは」という心配を解消するのも重要な使命である。そこで、Maxの環境内で、PCのカメラ(自分の顔が左右反転で表示される)を素材に、「jitter examples」から適当に試して自分の顔が面白くなるものを選ぶ、という作業を担当してもらうことで、初心者でも安心して全体システムの一部の「創造」に参加できたという実感を得られる。

これらを統合して、簡単な造形を含めた「デジタルおばけ屋敷」システムは、3-4人のメンバーで半日～1日の集中した時間をかけて立派に実現できてしまった…というような多くの実例がある。「専門外の人でも役立つシステムを実現できる」ことをメディアアートの新しい可能性として追求してみたい、という契機となったトピックとして、ハンズオン(実際に制作体験)でなくデモンストレーション形式(Maxパッチ操作のみ実際に体験)だったものの、過去のワークショップに参加した看護学科の大学院生(看護師・介護士・療法士)の反応:「これだったら現場に役立つリハビリの道具が作れそう」という好意的な感想は印象的だった。



「Sketching」公開サイトの冒頭にある「スケッチングを活用したメディアアート学生作品」の実例

## 2-4 提供するフレームワーク/ツールキットの構成

### 2-4-1 OpenSourceハードウェア

本研究では、「ウェルネス・エンタテインメント」に役立つシステムを、テクノロジーの専門家でなくても容易に実現することを支援するためのフレームワーク/ツールキット、としてメディアアートを位置付けている。スケッチングの発想からここで「OpenSourceハードウェア」となるのは、(1)インターフェース・プラットフォーム(AKI-H8・Arduino・Propeller・mbed)であるボードマイコン本体(→2-4-3で詳述)、(2)それらと周辺電子回路とを結びつけるハードウェアのテクニック(2-3-4で述べた電源電圧/信号電圧のインターフェース法など)、(3)「インテリジェント・センサ」と呼ばれる周辺機器/ボード類、(4)通信プロトコルを実現するための通信ハードウェア(2-3-3)、などである。このうちインターフェース・プラットフォーム4種については、それらのボードに関するハードウェア情報だけでなく、書き込みされるファームウェアがそれぞれの処理ごとに「サンプル集」・「ソフトウェア・ライブラリ」(→2-4-4で詳述)として公開/再利用される点では、次項「OpenSourceソフトウェア」にも関係している。

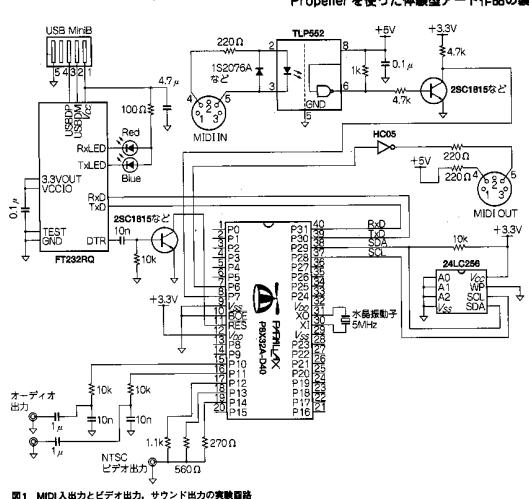
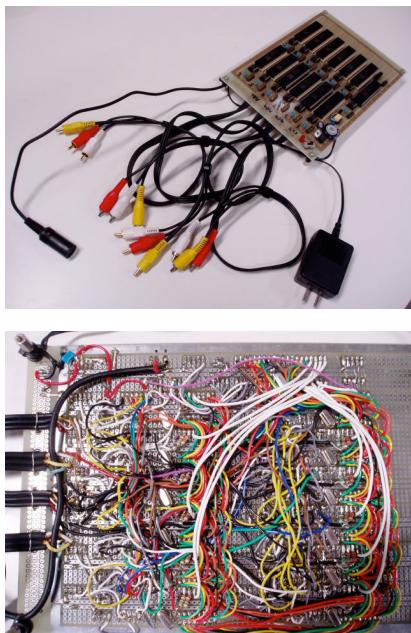


図1 MIDI入出力とビデオ出力、サウンド出力の実験回路



OpenSourceハードウェアの例(回路図公開、ハードウェア製作情報公開)

「インテリジェント・センサ」という一群のセンサは、市販システムとしてセンサからホストにUSBserial通信ないしOSC/Bluetooth通信する機能までを搭載したものである。具体的には本章2-1-3で紹介した「Myo」・「MUSE」・「OpenBCI」などが該当する。ただし本研究で活用する周辺装置という意味では、それぞれの製品が「標準」として提供している専用アプリを使用せず、オリジナル解析/開発によりハック(機能拡張、OSC通信対応化)してMaxプラットフォームと連携した「ツール」になっているもの、という点が重要である。メーカー製の市販アプリそのままでは、何も改造できない(応用できない)ので対象外である。

この他にも、システムの入力である「センサ」のモジュール群と、広義の出力である「アクチュエータ/ディスプレイ」のモジュール群が多種にわたってボード(キットないし完成品)として提供されている。例えばセンサ(入力)であれば、これまでに色々なシステムのために活用してきた「センサ単体部品」・「センサ基板(キット)」・「センサモジュール」・「センサシステム」などのパーツ類が品揃えとして並ぶ。過去には企業のエンジニアだけがセンサメーカーのサンプルやデータシート入手できたが、現在では各メーカーも個人対象のネットショッピングに対応し、またDigiKeyのように世界中の電子部品をプロアマ問わずオンラインショップで販売する商社の登場により、部品そのものも、さらにはデータシート等のドキュメント(PDF)までも、個人単位で

容易に入手できるという夢のような時代となった。オープンソース文化の賜物として、これらパーツを使用した電子回路の情報や関連ソフトウェアがWeb上に豊富にある、というのが「スケッチング」の時代なのである。

ここでは具体的な「センサ」と「アクチュエータ/ディスプレイ」を活用した過去の実例の詳細を個別に列記することは避けるが(2-3-5や2-3-6はその実例)、個々の試作/実験/プロジェクトごとに「過去の実績から効果的/短期間に再利用開発する」「過去の事例を数量的に拡大して新しい表現に挑戦」「新しいデバイスをシーズ指向で採用挑戦してみる」などの作戦を検討するのは、教育的意義とともに一種の「デザイン・エンタテインメント」である(新たな発見/成長に学生自身も興奮する)、と筆者は学会で提案報告して、デザイン関係の専門家の賛同を得た。

「フレームワーク/ツールキット」として容易にシステムを実現するという概念を、次節2-5-2で詳解するオリジナル筋電センサシステム「VPP-SUAC」を例として解説する。ここで開発した筋電センシング基板"VPP-SUAC"は、「インテリジェント・センサ」と同様に、CPUを持たない生体情報センサシステムであるが、Arduino互換のコネクタを持つことでホストマイコンとしてmbed(NucleoF401RE)を想定した。4チャンネルの高性能・生体信号センサとなっていて、ホストインターフェースはUSBserialまたはオンボードのXBee(WiFi)である。この場合、MaxとはUSBserialで直結、あるいはXBee(WiFi)を受けてUSBserialに変換するボードを使うことで、新たな技術を必要とせずに稼働する。このように、オープンソースの汎用「部品」を組み合わせて容易にシステムを構築する体系が「フレームワーク」である。

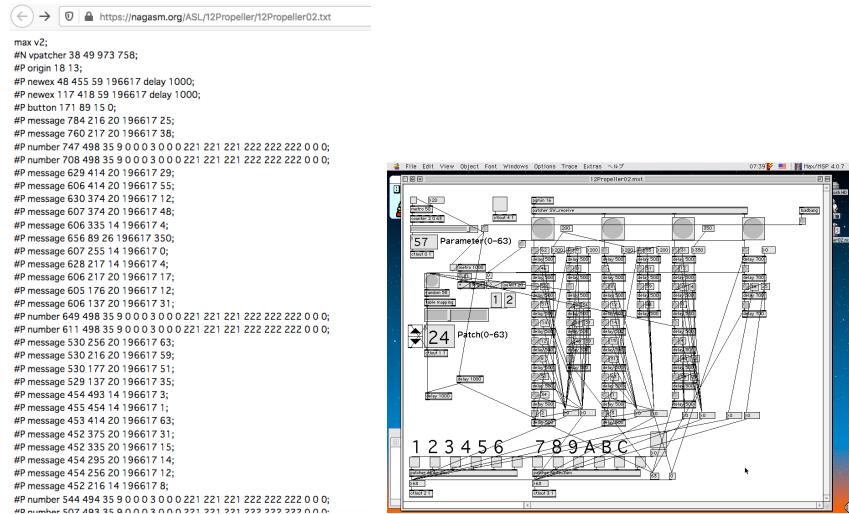
ここで重要なのは、CQ出版「インターフェース」誌の特集記事のために、mbed(NucleoF401RE)版として、生体センシングに特化したファームウェアとして「整流平滑」「移動平均」「生体計測ノイズ除去」「リサジュー解析」「FFT」などの処理に対応したライブラリ群を完備している、という点である。これによって新しいハードウェアである筋電センシング基板"VPP-SUAC"は、標準ハードウェアとして、生体情報計測を伴う新しいシステムをスケッチングする際に、ゼロから新しいファームウェアを開発しなくとも、稼働実績のあるこれらのソフトウェア・ライブラリを活用することで容易にシステム実現できる、というメリットが「ツールキット」としての意義となる。ホストMax側のパッチ集も同様に、複数のサンプルが色々な応用例として公開されている。こちらは具体的な用途に応じてカスタマイズするが、なにせMaxなので極めて容易である。

## 2-4-2 OpenSourceソフトウェア

前項と同様にスケッチングの発想からここで「OpenSourceソフトウェア」となるものを列記すると、対象としては(1)「インターフェース・プラットフォーム」(ボードマイコン)のファームウェア、(2)ホストMaxのパッチ、という2種類になる。またカテゴリとしては、この2種のそれぞれについて、(a)サンプル・プログラム集、(b)ライブラリ(ソフト部品)集、という位置付けが可能である。前者の対象は明確に異なるが、後者のカテゴリは明確に分離されるものではなく、個々の事例において開発したプログラムをそのまま単に公開すれば「サンプル・プログラム集」でとなり、後に再利用されるために汎用性を意識して整備・公開すれば「ライブラリ(ソフト部品)集」と呼ばれる、という区別である。

「テンプレート」というのもスケッチングの世界では標準的な概念である。これは「何の目的であってもスタートラインとして利用できる、発展拡張するためのベースラインとなるサンプルプログラム」である。リファレンスマニュアルに従ってプログラムの1行目から打ち込んでいかずに、プログラミングの最初はテンプレートをコピペして自分なりの名前にリネームして、そこからスタートするのは常識である。そこで、「サンプル・プログラム集」・「ライブラリ(ソフト部品)集」というOpenSourceソフトウェアのカテゴリに、より教育的な意味で「テンプレート」を加える立場もある。要するにバグの無い「サンプル・プログラム」から、さらに特定用途

に特化している部分をカットして、「何でも追加できる」ように削ぎ落としたものが「テンプレート」である。本研究では、具体的な用途を捨象する「テンプレート」まで追求しておらず、デザイナが参照して適宜、選択できる「サンプル・プログラム集」となっている。



OpenSourceソフトウェアの例(Maxパッチ)

「インターフェース・プラットフォーム」(ボードマイコン)のファームウェアについては、4種類のインターフェース・プラットフォーム(AKI-H8・Arduino・Propeller・mbed)ごとに2-4-4で紹介する。実際にはこれらファームウェアごとに、必ず通信してシステムを構築するホストMax側のパッチも存在しているので、いわば「ペア」となっていることで「ツールキット」を構成している点がポイントである。多くの場合、動作確認されたファームウェアと通信するホストのMaxパッチを新たな用途に向けてカスタマイズ(改訂)することで新しいシステムが実現できる。稀なケースとして、既存のボードマイコンのファームウェアのバグを発見して新たに改訂公開する場合もある。初心者のプログラミングに「バグの無いプログラムのための(プロの)テクニック」は期待できないので、ワークショップ等で試作した事例の場合にはそのまま公開しないでさらにバグチェックして完成度を上げる、という「裏方」活動も行なっている。

ホストMaxのパッチ、というのは本章2-2「エンタテインメントコンピューティング」の「2-2-5 福祉領域ECの6つのポイント」から言えば、デザインにおいてまさにメインの「楽しいお仕事」である。その6つのポイントを再録すると、「インタラクション」「センサ、インターフェース」「可視化、可聴化、フォースディスプレイ」「アルゴリズムの実現」「モジュール化：ハードウェアplatform+ソフトウェア部品」「カスタマイズ」であった。プログラミングが容易なMaxの特長を生かしてこれらの仕様を実現していくが、5番目の「モジュール化：ハードウェアplatform+ソフトウェア部品」という視点で整備していくけば、そのMaxパッチは「サンプル・プログラム」から「ライブラリ(ソフト部品)」へと成長して、公開され再利用される貴重な知的資源となる。

### 2-4-3 インターフェース・プラットフォーム(4種)の解説

本項では、4種類のインターフェース・プラットフォームであるボードマイコン(AKI-H8・Arduino・Propeller・mbed)について、それぞれの特徴やインタラクティブデザインにおけるポイントなどを詳解する。それぞれのサブタイトルとして、歴史が長いAKI-H8は愛情を込めて「いまだ現役のAKI-H8」、Arduinoは本研究で提案しているテクニックを交えて「Arduinoと拡張のための3種類のアプローチ」、Propellerはそのユニークさを強調して「異端のPropeller」、mbedはその名も「究極のARM mbed」とした。なお、それぞれのプラットフォームで筆者が開発/公開しているサンプル集・ライブラリ等については、次項2-4-4で紹介する。

#### いまだ現役のAKI-H8

「AKI-H8」は秋葉原の秋月電子オリジナル・マイコンボードであり、既に25年以上のロングセラーを続けている。内部フラッシュメモリにファームウェアを書き込む手順が最近のマイコンほどスマートでないのが最大の欠点だが、書き込みツールはいったん稼働してしまえば単純作業となる。筆者はこれまでH8:CPUクロック16MHz版(+12V書き込み)を活用してきたが、最近は25MHz版(+5V書き込み可能)が主流となっている。世間がArduinoのブームに進んだものの、過去にAKI-H8を使用した多くのFA機器(工場など)では、長期間の連続運転でも全く無故障を続けるために産業界からの存続要請が強く、過去に一度は販売終了を予告していた秋月電子は現在でも在庫「AAA」ランクで販売継続している。



AKI-H8(秋月電子)

C言語でも開発できるが、アセンブラーで最高性能にチューニングされたライブラリモジュールを活用することで、とうていArduinoでは実現できない高度な処理を容易に実現できる。本研究においては、公開提供しているライブラリ(サンプル集)は全てアセンブラーで開発した。筆者が過去に開発したシステムでは回路図情報も(ソースコードも)公開しているため、「バグの無い汎用ライブラリ」として開発済みのプログラム(バイナリコード)をそのまま書き込んで「汎用部品(ブラックボックス)」としてまだまだ活用できる意義がある(事例多数)。一例として、過去に「MIDIから光ファイバで延長した64個のLEDを個別にPWM制御点灯」というシステム(外付け部品の拡張が不要な最適設計)を開発していたので、新たに「MIDIから64個のモータを個別制御」システムを開発する際に、AKI-H8ソースコードを見ることなく、ライブラリから選んだ完成ファームウェアを書き込むだけで、同様の動作をブラックボックスとして容易に実現できた。

筆者のAKI-H8開発環境は非常に古風なので紹介すると、Windows XPパソコン(あるいはMacで起動したWindowsエミュレータ)の「MS-DOSプロンプト」内で、以下のバッチプログラムだけである。このバッチファイル名(任意)を仮に"aa.bat"とすれば、ターゲットプログラム"test"を開発するためにコマンドラインから入力する情報は「aa test」だけで済む。

```
a38h %1.src -cpu=300ha:20
l38h %1.obj -output=FlashROM.abs
c38h FlashROM
pause
flash
```

テキストエディタで任意のファイル名のソースプログラム(拡張子は[.SRC])を編集して保存し、たった5行のこのバッチ処理によりAKI-H8にUSB-RS232C変換ケーブルで接続したライタ(+12V版)を経由してファームウェアの書き込みを行える。メーカー提供のツール群により、まず1行目のアセンブラー「A38H.EXE」でソースをアセンブルしてオブジェクトモジュール[.OBJ]を出力し、2行目のリンク「L38H.EXE」で"FlashROM.abs"という中間ファイルに変換し(C言語での開発であればここまで2行すら不要)、3行目のCコンパイラ「C38H.EXE」およびそこから呼び出される実行モジュール群が機械語イメージ"FLASHROM.MOT"を出力するまで自動で進む。4行目の「pause」は、エラーが出た場合にバッチ処理を中断終了するためのもので、OKならリターンするとそのまま5行目の「FLASH.EXE」が起動する。ここで必要なパラメータ(初期値でOK)を指定すると、書き込みライタを経由してAKI-H8のフラッシュメモリ(プログラム領域)を上書きして開発が完了する。筆者がこれまでにオリジナル開発したAKI-H8の汎用「ソフトウェア部品」(サンプル集)、さらに参照・再利用できる(実績のある)「ファームウェア・ライブラリ」については、次項2-4-4で紹介する。

## Arduinoと拡張のための3種類のアプローチ

イタリアの研究チームが発表(裏面にイタリアの地図を印刷)したArduinoは、過去の汎用マイコン群と大きく異なり、まずProcessingと同等のオープンソースで完全フリーの統合開発環境(IDE)を持つ。そして回路図まで完全にオープンソース公開したので、多くのセカンドソース/サードパーティが「色々なArduino」という膨大なハードウェア・ファミリを開発/発表した。さらに世界中の専門家がライブラリやチュートリアルまで含めたドキュメント群をフリー文化として共有している。標準的Arduino(UNO)ボード上の特異な拡張コネクタ配置は後に標準規格となり、ここに挿すだけで各種のハードウェアを増設できる「Arduinoシールド」というボード群を生み、対応ライブラリもどんどん増殖して、遂にはRaspberry Piやmbedなど、Arduinoとは全く異なるアーキテクチャのボードですら拡張コネクタ配置として「Arduinoシールド互換」を採用するようになった。時代はまさにユビキタスからIoTに開花するタイミングであり、高度な専門知識をブラックボックスの内側に隠匿できることから、テクノロジーの外側にいた多くのデザイナを引き込んだ。



いろいろなArduino

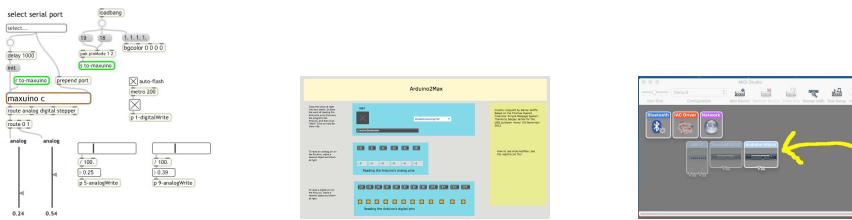
国内の多くの美大/芸大でもArduinoは流行しているが、近年デメリットとして、Arduino単体(スタンドアロン)では「電子工作レベル/ホビー工芸レベル」で留まって拡張していかない、という問題点が浮上している。これは本格的なメディアアートのために必須のホストコンピュータ(パソコンやワークステーション)のマルチメディア能力と結びつかなければ当然のこと、スイッチを押したらブザーが鳴ってLEDが点灯する、というのは嬉しいとしても、単体ではその程度で終わりである。Gainerはホストの高度なプラットフォームの「出張所」に徹した(スタンドアロン動作は無し)のに対して、後発で高性能とはいってもArduino単体での処理能力の限界は明白である。そこで筆者は、「ArduinoをホストPCの出張所とする」(Gainerのように使う)手法として以下の3種類を整理紹介し、本研究の一部として国内外で関連レクチャー/ワークショップ(3-3-1)を重ねてきた。

「ArduinoをGainerのように使う」第1の方法は「Firmata」であり、CCRMA・CNMAT・MITなどの多くの専門家がMIDIをベースとしたプロトコルに徹底した標準化・一般化を重ねて膨大な体系に成長した。その結果、対応するホストプラットフォームは、Max/Python/Processing/Perl/Ruby/Javascript/Java/.NET/Flash/PHP/iOS/openFrameworksなど多数あり、これら全てが「Firmataを書き込んだArduino」(システムの出張所)と通信できる。Maxで使う場合には、Firmataを書き込んだArduinoに対して「maxuino」というライブラリを用いてインターフェースすることで、ほぼGainerで実現した機能を拡張した形で活用できる。ただしmaxuinoは一般性を追求した副作用としてかなり複雑かつ冗長なので、本研究ではコア部分(Javascriptで記述した外部モジュール)だけを利用して余計な冗長部分をカットし、個別のオリジナル化を推奨するシンプルな(見やすく改良が容易な)「改良maxuino」を提案している。

Firmataの大袈裟なところを嫌うグループは第2の方法として、マルチメディアシステムで欲しいのはとりあえず多チャンネルの外界入力(アナログ/デジタル)を計測してホストに送ることだ、という基本に立ち返り、その部分だけをシンプルに実装した「Arduino2Max」が発表された。これはその名の通り、ArduinoはホストMaxに対する単純な汎用入力インターフェース専用動作に徹している。ホストPCから任意のタイミングで1文字"r"を送ると、これを受け取るまで待機していたArduinoは全力で必要な外部情報(アナログ/デジタル)を収集して一気にホストに返送する(2-3-6)。Max側ではmaxuinoのような特殊なライブ

ラリが不要で、serialオブジェクトで直接に通信できる。コミュニケーションが複雑になるのを避けた一方向ポーリングによるこのシンプルさは、Arduinoのファームウェアをユーザが簡単にカスタマイズできる余地を提供して「専門家でなくてもシステムを実現」というアプローチには好適である。本研究では多くの大学でのワークショップで伝授するとともに、筆者が個々のシステムに対応して改良したソースコードとライブラリを開発/公開しており、実際に第3章で紹介する多くの事例でも活躍している。

ArduinoをGainerのように活用する第3の方法は、ファミリの中でもUSB機能が強化された一部機種のArduino(Micro等)でのみ実現できるところがやや異質である。これはArduinoを、パソコンが「汎用USB-MIDIデバイス」として認識できるところまでファームウェア・ライブラリが支援しているもので、ユーザは黙って専用ライブラリの定義を含むコードをArduino Microに書き込む。するとUSBに挿しただけでMac OSであれば「対応MIDIデバイス」として自動認識登録されて一般の電子楽器と同じようなアイコンが出現する。MacでMaxを使っている場合には、そのままMIDIデバイスとして双方向に、しかもMIDI規格の31.25kbpsでなく3.6倍以上高速な115.2kbps(Bluetoothと同じ)で通信してくれる。あまり知られていないこの第3の方法は、今後大きく拡大する可能性があり、2018年9月のICEC2018チュートリアル・ワークショップ(ポーランド)でも目玉テクニックとして海外の参加者に伝授した。

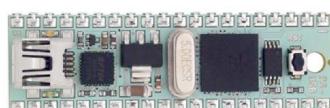


Firmata(+Maxuino) と Arduino2Max と Arduino-USBMIDI

「Arduino」の開発環境はArduinoサイトから入手できるオフラインIDEが基本である。最近はmbed風のオンラインIDEも登場したが、安定性と信頼性に課題があるのであまり利用していない。Arduinoでは、基本的に作品ごとにスタンドアロンのシステムに特化させて開発していく、利用するライブラリはArduinoサイトに豊富に提供されている標準ライブラリを活用するので、オリジナルの汎用「ソフトウェア部品」として参照・再利用できるファームウェア・サンプル集の数は、実際のArduino活用事例数に比べてそれほど多くない。筆者がこれまでにオリジナル開発したArduinoの汎用「ソフトウェア部品」(サンプル集)、さらに参照・再利用できる(実績のある)「ファームウェア・ライブラリ」については、次項2-4-4で紹介する。

## 異端のPropeller

「PIC」や「BasicStamp」で有名な米国Parallax社はMITと組んでコンピュータ教育の教材提供に熱心であり、何より自身がエンジニアを自認するCEOのKen Graceyが「究極の理想CPUを実現したい」という情熱で開発/発表したのがPropellerプロセッサである。内部でメモリやI/Oのリソースを共有する8個の32ビットCPU(80MHz)をハードウェア的に(プロペラが回るように)並列動作させる、というアーキテクチャは他にまったく類例を見ないユニークなものである。命令体系の理想的直交化(全ての命令が1ワード[32bits])や自己書換えコード(動作中に自分のプログラムの一部を上書き変更)などコンピュータ教育の視点からは最高に面白い。しかし「割り込み」すら本質的に存在しない、という画期的な概念は一般的なプログラマ(ユーザ)の理解を超えていたためか、世界中でPropellerを使いこなせる専門家は300人程度(国内では十数人)というマイナーさであるが、それでも負けずに製造提供が続いている。



Propellerプロセッサの載った”PropClip”ボード

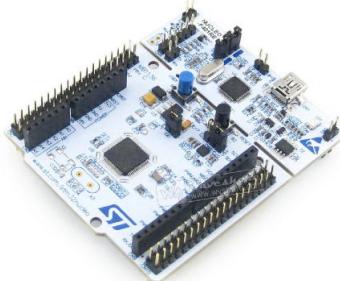
Propeller専用のspinという高級言語とassemblerとを組み合わせたプログラミングもかなり独特である。spinは開発言語としてかなり癖が強い(スペース1つ入るだけで動作が激変する特異な仕様)ものの、spinと理想的/効率的なアセンブラとで驚くほどの高機能を実現する(体感ではAKI-H8の10倍以上、Gainer/Arduinoの20倍以上)。気合いを入れてチューンアップするとRaspberry Pi並み(ちょっと前のパソコン並み)の性能が出るのに、Raspberry Pi(大電力消費でバッテリ動作は事実上困難)と違って、一般的な乾電池でも動作する(ArduinoやAKI-H8並みの省電力)という強力なメリットを持つ。本研究では、筆者がこだわりのアセンブラ・テクニックを駆使して開発した多くのソフトウェア部品を汎用モジュールとした「ツールキット」として公開提供している(→次項2-4-4)。

Propellerプロセッサの開発支援環境(IDE)としてParallax社が提供する専用IDEは、テキストベースなのに回路図をソースプログラム中にグラフィカルに表現出来る(回路図パターンを特殊フォントとして登録)というユニークなものだが、Windows専用であり、さらに日本人はWindowsの言語環境をEnglishに変更するという壁もあった。しかし個人的にPropellerに惚れ込んだデザイナBrad Campbellが開発したIDE「bst」は、Linux/MacOS/Windowsに対応しつつメーカー製IDEに遜色ない機能を誇っていて、まさにオープンソース文化そのものを強く主張した優れた環境として多くのPropellerファンを惹きつけた。

やや余談であるが、筆者に弟子入りを志願して韓国・ホソ大学からSUAC大学院に入学してきた学生・柳俊熙に対して、電子工学やMaxプログラミングとともに修了制作作品でPropellerを活用したインタラクティブシステムの制作を指導したが、彼は卒業後にまずシステム開発会社に入社し、翌年にデザイン学生憧れの「チームラボ」への転職に成功した。彼のシステム構築能力修得のために、修了制作でPropellerを理解した事が大きく役立っていた教育的意義が確認できた。

## 究極のARM mbed

CPU内部のアーキテクチャ・デザインまで全てをオープンソースで、というのは世界中のエンジニアの永遠の夢である。それはさておき(しかしこの理想に最も近い)、ほぼ究極の存在となりつつある「mbed」について整理紹介する。本研究の2つのシステム(「VPP-SUAC」・「PAW-double」)のハードウェア・プラットフォームとしても中核を成しているが、最近のゲーム機やスマート等のCPUとして有名なARM社がこのmbedの拠点である。自在なスペックのCPUコアを設計生成できるARMコンピュータの一つの形として、mbedという共通のCPUコアとチップをARM社が提供し、公開されている技術情報から、メーカー各社はArduinoを上回る膨大な種類のバリエーションの「mbedボード」群を開発製造し、高性能と低価格を競っている。最新版が手元に必要な開発ツール(IDE)をARMのサイトからダウンロードしようとして判明したのは、「オンラインIDEなのでツールのダウンロードは不要」という徹底したオープンソース文化だった。



mbedの一種：NucleoF401RE

mbedの開発のために、まずデザイナはARMサイトに無料登録する。そして登録ユーザとしてDeveloperページにログインすると、既に開発者としてのワークスペースが存在している。ソースコードのエディタももちろんオンライン、つまり手元に控えをコピーすることは出来るものの、基本的に全てのソースコードはARM社のサーバの自分のDeveloper領域にデータベースとして置かれ、必要に応じて他のデザイナにも簡単

に公開/共有できる。雑誌記事などで公開した場合、そのURLから読者もソースコードの部分だけを参照でき、それをコピペで自分のコードに再利用できる。コンパイル成功したCPUバイナリコード(ファームウェア)はブラウザが自動ダウンロードして手元のパソコンのデスクトップにアイコンが出現する。これをUSB接続した自分のmbed基板のディスクイメージアイコン上に「ドラッグ&ドロップ」すればプログラム転送が完了して実行でき、フラッシュメモリなので何度も上書き修正できる。

2019年7月現在で172種類のmbedボードがプラットフォームとして登場している。これまでIDEの世界では常にハードウェアやツールの改訂に伴う「ずれ」に悩んできたのだが、全てのプログラマのソースコードをARM社の自社サーバに統括し、ハードウェア(ARMコア)の改良に対して上位互換性を確認しつつIDEバージョンを改訂するためにIDEツール自体もARM社サーバ側にだけ置く、というスタイルは究極の王道である。著作物のプライバシーに関してはオープンソース文化とARM社を信じるしかないが、世界的な潮流はmbedが健全に成長する方向で進展している。本研究においては、mbedの中で秋月電子から安価入手できるNucleoF401REを採用して、オリジナル筋電センサシステム基板「VPP-SUAC」も、NucleoF401REのArduino互換シールドコネクタに搭載するように設計した。さらに触覚/触感センサ「PAW」のシリーズも全てNucleoF401REでライブラリ共通化してある(→次項2-4-4)。

## 2-4-4 テンプレート/サンプル集/ライブラリ

本項ではまず、4種類のインターフェース・プラットフォームであるボードマイコン(AKI-H8・Arduino・Propeller・mbed)のそれぞれについて、Open Sounrceの「テンプレート/サンプル集/ライブラリ」という視点から、筆者が開発/公開しているサンプル集・ライブラリ等を紹介する。4種のボードマイコンのサブタイトル(ネーミング)は前項と同じである。そして最後に、OpenSourceシステムデザインのための「フレームワーク/ツールキット」という位置付けにおいて、「テンプレート/サンプル集/ライブラリ」の意義についてあらためて整理する。

### いまだ現役のAKI-H8

これまでにオリジナル開発したAKI-H8の汎用「ソフトウェア部品」(サンプル集)として参考・再利用できる(実績のある)ファームウェア・ライブラリとしては、(1)FIFOバッファを介しての「MIDI送受信」、(2)「笙プレスセンサ」で開発したA/D入力→MIDI送信、(3)汎用の8チャンネル「A/D→MIDI」送信、(4)RS232CとMIDIの双方向通信(いずれもFIFOバッファリング付き)、(5)周波数設定が高精度(32ビット幅)の汎用オシレータ、(6)汎用のLED調光制御用PWM(パルス幅変調)出力、(7)MIDI入力2チャンネル・チャイム音合成、(8)ピッチトラッカー(マイク入力のサウンドのピッチ音階をMIDIノートに変換して出力)、(9)心理学実験システムの遅延時間計測モジュール、(10)アナログシンセ・VCOモジュール、(11)アナログシンセ・VCFモジュール、(12)アナログシンセ・VCAモジュール、(13)筋電センサ・MlniBioMuse-II用センシング→MIDI出力、(14)5×7文字・20文字・2行LCDモジュール表示、(15)多チャンネル赤外線センサ検出→MIDI出力、(16)MIDI入力ステッピングモータ制御、(17)IAMAS「ヒリヒリ」で開発したMIDI→電気刺激信号発生システム、(18)RFIDリーダと通信して結果を4ビットディジタル出力、(19)「ハンドロールピアノ」をハックしてMIDI出力化、(20)スイッチのタッピングをMIDIシステムクロックとして出力、(21)富士通テンのGPSモジュールから情報を取得してLCDモジュールに表示出力、(22)8入力8出力・ビデオ信号マトリクススイッチング(MIDI制御)、(23)水路お掃除ロボット制御(2リミットスイッチ→2モータ)、(24)8チャンネル赤外線スイッチ→ステッピングモータ回転制御、(25)「靄夜」で開発した64チャンネル高速PWM出力(MIDI制御)、(26)多点スイッチ→MIDIサンプラ制御、(27)MIDIテルミン(試作)、(28)64スイッチ入力→MIDI出力、(29)LEDフラッシュ(シフトレジスタ)制御、(30)多点MIDI入力リレー出力、(31)「4チャンネルフルスイッチ+MIDI」マージャ(入力MIDI情報に加えてスイッチ情報をMIDI化して矛盾なく調停して合流出力)、

(32)MIDI→電車模型コントローラ、(33)384個のスイッチ入力→MIDI出力、MIDI→100個のリレー制御、(34)MIDI→384個のLED点灯制御、(35)「ネジマキウォール」で開発した8チャンネルA/D→MIDIおよびMIDI→100個のステッピングモータ制御、(36)クルマの車速センサ信号→MIDI出力、(37)21チャンネル・衝撃センサ検出→MIDI、(38)「カラーオーケストラ」で開発した8ポイント・キューブID読み取りシステム、(39)筋電センサ・MlniBioMuse-III用センシング→MIDI出力、などがある。リレー制御であれば1個は1ビットだが、1個のステッピングモータを制御するには4ビットが必要なので、(35)は総計400ビット分を拡張ハードウェアを介して同時に高速制御していることになる。

## Arduinoと拡張のための3種類のアプローチ

これまでにオリジナル開発したArduinoの汎用「ソフトウェア部品」(サンプル集)として参照・再利用できる(実績のある)ファームウェア・ライブラリとしては、(1)MIDI送信(ArduinoのC環境ではMIDI受信はデータ落ちがあるので使えない)、(2)Javaアプレットと連携してLEDをPWM制御("Seriality"改良)、(3)アナログ入力→ステッピングモータ制御、(4)「ジャミネータ」で開発した「スイッチ群検出(→3色LED点灯)+3軸加速度センサ検出」→MIDI出力、(5)システム"Clyde"内ArduinoをハックしてMIDI出力化、(6)LittleBitsArduinoシステムをハックしてMIDI出力化、(7)"Firmata"を改造してオリジナル化+"maxuino"を改造してオリジナル化、(8)"Arduino2Max"を改造してオリジナル化(速度115200、入力A/Dチャンネルは最大12ch、ハンドシェークと連続出力の両方)、(9)タッチセンサモジュールとの連携でホストにUSB出力、(10)XBeeによるWiFiワイヤレス通信、(11)Arduinoを「汎用USB-MIDIデバイス」とする、などである。

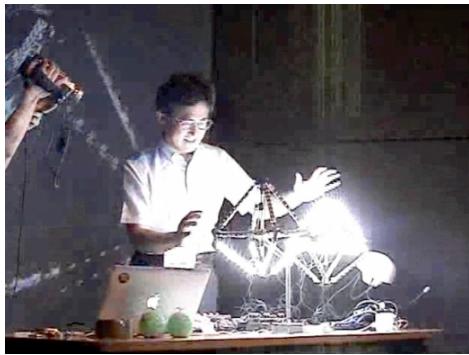
本章2-4-3で紹介した3種類のアプローチのうち2種がこの(7)と(8)である。(11)のArduinoが限定された「汎用USB-MIDIデバイス」になるという第3の方法は、そのために既に開発・公開されているライブラリとヘッダファイルを組み込むとそれだけで実現してしまうので、サンプルというよりテンプレートである。実際には(8)に挙げた"Arduino2Max"は、本研究においても多数の「同様のシステム」を開発してきたが、サンプルにある「A/Dチャンネル数」を実際のシステムに応じて2チャンネルとか6チャンネルに変更するだけなので、上記の一覧に比べて実際に開発した事例はもっと多くのシステムが実現されている。

## 異端のPropeller

他の3種類のボード(AKI-H8・Arduino・mbed)と異なる点として、Propellerチップ上にはアナログ電圧を入力する「A/Dコンバータ」ブロックが搭載されていない。内部に8個のCPUがあるので、そのうちのCPU1個と全32ポート(ピン)の2-3本の外部に抵抗/コンデンサを接続するだけで「A/Dコンバータ」や「D/Aコンバータ」等が容易に実現できる。筆者は24チャンネルとか32チャンネルに拡張するために外部に「A/Dコンバータ」チップ等を増設するなどの実績を重ねてきた。また他の3種類のボードと異なる点として、MIDIやシリアル通信のための「USART」(汎用シリアル通信)ブロックもPropellerには存在しない。しかし筆者は8個のうちのCPU1個のためにアセンブラーで「シリアル通信」ライブラリを開発して(1ビットの状態を刻々と高速処理する)、送信も受信も欠落の無い(ArduinoだとMIDI送信は出来てもMIDI受信は失敗する)高速シリアル通信機能を実現した。

このようにPropellerを活用したシステム/新楽器/インスタレーション作品(そのプログラムは格好のPropellerサンプル集となる)としては、「SUACboard」(Gainer/Arduino/AKI-H8/Propellerのいずれかを搭載する汎用拡張ボード)、「万変鏡」(小型カラーOLEDと加速度センサ/照度センサを内蔵)、「4つのマウスを同時に繋ぐ」(シリアルマウス4個と通信してホストにGainerで接続)、「光るワンピース」(24ブロックの高輝度LEDベルトを個別PWM制御)、「電子十二影坊」(12台のNTSCビデオモニタに個別のCGをリア

ルタイム生成出力)、「Peller\_Min」(16個の距離センサと16個の光反射センサによる32チャンネル・テルミン)、「GHI2014」(12稜に高輝度LEDベルトを持つ正8面体を2個並べた組立て可能な造形オブジェと6個の超音波距離センサからなる楽器)、「VFB10」(手袋に10個のリニア振動アクチュエータを配置して個別制御する高精度振動インターフェース→3-1-5)などがある。



新楽器「GHI2014」の公演風景

これらのPropellerサンプル集から「ソフトウェア部品」として参照・再利用できるファームウェア・ライブラリの機能としては、(1)積分型D/Aによるサウンド出力、(2)NTSC信号をアナログ的に合成してビデオ出力、(3)標準グラフィックライブラリを利用してDraw系のCGをスクリプトで生成、(4)サウンド信号のサンプリング入力、(5)FIFOバッファリングによるMIDI入力、(6)FIFOバッファリングによるMIDI出力、(7)USBシリアルでのホストとの高速通信(38400/115200)、(8)XBeeによるWiFiワイヤレス通信(FIFOバッファリング)、(9)外部CR時定数によるタイマー(時間計測)、(10)「電子十二影坊」で開発した複数Propeller間のコモンバスによる相互通信、(11)「電子十二影坊」で開発した多数のモニタのためのリアルタイムCG生成モジュール群、(12)「4マウス・インターフェース」で開発した、4個のシリアルマウスと個別通信して情報を取得しGainer経由でホストに返す、(13)24チャンネルのLEDをPWM制御、(14)超音波距離センサSRF02を3線式共通バスで同時に10個センシング、(15)ステッピングモータ制御、(16)PropellerOLEDモジュールのディスプレイ制御、(17)3軸加速度センサとシリアル通信して情報入手、(18)32チャンネルアナログ入力(4個のA/Dチップを外付け)、(19)リニア振動モジュールを高精度で制御、などがある。

## 究極のARM mbed

筆者が開発/公開しているmbedの汎用「ソフトウェア部品」として参照・再利用できるファームウェア・ライブラリの機能としては、(1)16進文字変換(ホスト通信のサブモジュール)、(2)FIFOバッファリングによるMIDI入力、(3)FIFOバッファリングによるMIDI出力、(4)MIDIメッセージ解読/生成処理モジュール、(5)高精度タイマ割り込み処理、(6)XBeeによるWiFiワイヤレス通信(FIFOバッファリング、38400/115200)、(7)高速A/D入力処理、(8)LittleBitsSynthシステムをハックしてA/DとD/Aを増設、(9)EDAセンシング処理、(10)生体センシング用整流/平滑処理、(11)生体センシング用ローパスフィルタ(FIRデジタルフィルタ)、(12)生体センシング用ノッチフィルタ(ハム除去用)、(13)生体センシング用アーティファクト除去フィルタ、(14)生体センシング用「リサジー解析」モジュール、(15)生体センシング用「簡易FFT解析」モジュール、(16)8チャンネルのLEDをPWM制御、(17)PAWセンサを時分割制御(250μsecタイムスロット)で同時に10個/8個/2個センシング、(18)新システム「VPP-SUAC」生体センシング処理、などがある。

## 「テンプレート/サンプル集/ライブラリ」の意義

上記のように、ハードウェアのペリフェラル・プラットフォーム群に対するファームウェア・ライブラリ集が豊富な品揃えとなっており、これによって外界(物理世界)とプラットフォームであるMaxとのインターフェース/インタラクションが容易に構築できる。そして本節2-3-1で紹介したように、個人的に教材として公開してい

る多くのMaxパッチも一種のTemplate/Example集であり、ここにCycling'74社がMaxの内部リソースとして提供している膨大なExample集、さらにMaxコミュニティで世界中のMaxユーザが発表/公開しているライブラリやExample集は、総数としては何万件というボリュームになる。何か新しいプロジェクトの実験/試作を始める場合に、白紙からMaxパッチを考え始めるよりは、例えばYAHOO.COMで「example eye-tracking」とか「example GPS」などのキーワードに「Max patch」を加えて検索すれば、Cycling'74のサイト内のドキュメントも含めて、たいていのテンプレート入手でき、そこからスタートにできる。スケッチングにおいては、デザイン上のこのようなノウハウ/リンクまでが「フレームワーク」を構成している。

本章2-2-5「福祉領域ECの6つのポイント」で、「ビジュアライズ(可視化)」・「カスタマイズ可能」と指摘した部分がここに関係していく。さらに本研究のテーマに即したMaxのためのTemplate/Example集としては、(1)「音楽生成」、(2)「ゲーム化」、というポイントが重要となる。まず「音楽生成」については、元々 Computer Musicの世界でアルゴリズム作曲や電子音楽音響生成を進めてきた立場としては、過去の作品に用いたMaxパッチの各所が自分にとって再利用可能なTemplate/Example集とも言える。しかしプログラミングの常として、「他人が書いたプログラムは読みにくい」という永遠の課題があり、この部分は音楽的な基礎理論などは公開するものの、混乱を避けるため「生の」音楽生成Maxパッチについては現状ではあまり公開していない。東京藝大で開催された「MaxSummerSchool2018」に発表参加して多くのMax専門家と議論交流し、これらの音楽生成モジュール(ソフトウェア部品)の標準化の意義を確認できたので、今後さらに整備と公開を進めていきたい。

もう一つの「ゲーム化」のためのTemplate/Example集に求められるポイントについて考察する。広義のエンタテインメント、リハビリなどを支援するツールにクライアントが「入り込む(没入する)」ことを支援/助長するためには、「ハマる」ゲームが欲しい、という点を指摘する意見も根強い。一般的なゲーム理論書、ゲームデザイン本・ノウハウ集などでもこの点は強調されているが、しかし個人的にはあまり「ハマる」ゲーム化を目指していない。スコアを付けるようにすれば、自分のスコアが向上していく励みになるとか、過去の他人のハイスコアを表示してその上に位置することを目指す、というのは定番だが、筆者があまり「勝負」にこだわりたくないのは、「勝ち」はともかく「負け」の意識はストレス(→メンタルヘルスに逆行)になりうる懸念からである。

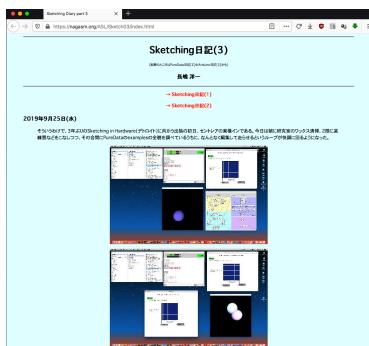
また、ゲーム性(緊張感/没入感)のためには「時間制限」というのがもう一つの定番であるが、これも「焦り」(ある種のストレス)を生むので、本研究のリラックス/メンタルヘルスの点では必要性よりも問題点が大きいと感じている。時間制限もスコアのプレッシャーもない、という状況だからこそ、時間的反応に個人差の大きい内受容感覚リハビリテーションが広義のエンタテインメントとして意味を持つ、という第一感を当面は重視しつつ、この「ゲーム化のTemplate/Example集」という要素を検討していきたい。なお、この部分はMax活用科目を受講した学生が課題作品として、毎年多くの「Maxゲーム習作」を築いてきており、その中から活用できるポイントを教材「Template/Example集」として抽出し積み重ね続けている。

## 2-4-5 ドキュメント(記録/日記/FAQ/YouTube)

本研究で提案するフレームワーク/ツールキットの構成の最後の要素が、「ドキュメント(記録/日記/FAQ/YouTube)」である。オープンソース文化やスケッチングの文化の最大のメリットは、「先行して開発されたものを真似て容易に実現/再現できる」というところにある。これは一般に向けてだけでなく、経験的には筆者自身が自分の作ったものを後で追加製作するためにも重要であり、多種のアーキテクチャのCPU/マイコンボードと多種の開発言語を駆使するため「1ヶ月前に作ったシステムの詳細は忘れてOK」という方針に基づいている。どんどん新しいシステムを作り出すための力ギは「サッサと過去を忘れる」ことであり、必要な情報がドキュメントとして適切に残され参照できるために整備を進めることがポイントである。筆者のサ

イトでも、回路図、部品のデータシートPDF、ソースコードなどが一体となって「また開発するための材料」として公開されている。

個人Web開始から25年、個人ドメイン[nagasm.org]取得から20年にわたってあらゆる知的財産をフリー ウェア(オープンソース)文化に賛同して公開してきた弊害として、残念ながら現在のドキュメント公開形式は試行錯誤の歴史とともに不統一のままである。当初はトピックを単発の「記録」としてまとめていたが、21世紀になって時代とともに進展するプラットフォームに即して不定期「日記」形式でも情報を記録するスタイルに変化し現在に至っている。ブログ日記とは違って、「Propeller日記」・「Max7日記」など、特定のテーマ(その頃に没頭した先端)を掲げている点がポイントで、ある技術を後日に追跡するためにはこのテーマ別のタイトルが参照に役立っている。最近では2019年になって「Sketching日記」シリーズが始まり、テーマを3年ぶりに参加するSketching in Hardware2019(Detroit)に向けて情報発信を続けている。



公開中「Sketching日記(3)」の画面例

多くの「オープンソースWebサイト」では、ビギナーからの質問に回答する「Q&A」や、さらに多数の共通質問に対する「FAQ」というコンテンツが充実している。筆者自身、新たな領域のテクノロジーに挑戦する時には、まずは「Tutorial」や「Getting Started」のコンテンツから勉強して、何か質問が浮かんだ場合にはまずは「FAQ」をチェックして重複が無いかを確認してから「Q&A」のページで質問を書き込む。すると先行しているベテラン/guruが快く解説してくれる…というのがオープンソースの醍醐味である。そして技術的に解決し理解したのちには、自分も新しいビギナーからの質問にアドバイスを書き込む、というGive & Takeが続いている。しかし筆者のWeb公開サイトにおいては、匿名の誰かが質問を自由に書き込むスペースを設けていない。これには理由があり、こちらは本名で全て公開しているので、質問がある場合には(本名の)メールにて受け付け、条件として回答をWebに(質問者は匿名のまま)公開することを許諾するよう求める、という方針を20年以上も続けている。教育的な意義、「みんながHappyになるオープンソース」という文化を信じてのことである。

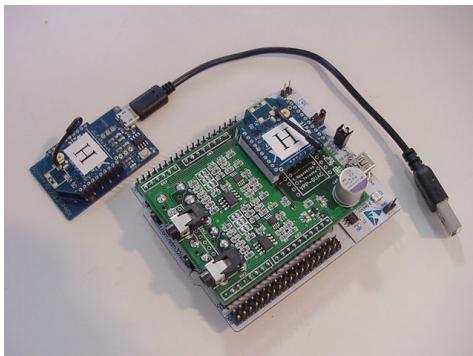
筆者がWeb公開しているYouTube動画は、2019年10月時点で1060本ほど(うちBGMや実験使用楽曲が著作権の関係で視聴地域制限となったものが10数本)である。2012年1月に「Making of "Jami-Girls' Band"」という学生とのスケッチング・プロジェクトの紹介動画を、ジャミネータの開発者であるスタジオIDEO(米国)のエンジニアに見せるために始めたのだが、その後も全てカテゴリは「教育」、そして「限定公開」(筆者のWebサイトのリンクからのみ到達でき、YouTubeの中やYAHOO等で検索しても見えない)属性としている。これも教育的な配慮であり、個人のブログではなく全ての情報発信は学生やデザイナのためのものである、というポリシーは一貫している。技術資料とともに、とりあえず実験や試作の様子を記録してYouTube化しておくことで、追試や一般のフォローにも役立ち、それまで個々のmovieを全て置いていた個人Webサイトの軽量化にも繋がった。

## 2-5 OpenSource公開システムデザインの事例

## 2-5-1 汎用システム「VPP-SUAC」

筆者の筋電センサ開発の第1世代～第3世代(1-2-1)、さらに第4世代の「筋電ジャスチャ認識」システム(1-2-2)に続いて、本章2-3-5で紹介した第5世代の「CQ\_mbed\_EMG」は個別部品をArduinoシールド汎用基板上に実装するために2チャンネルと限定されたものの、CQ出版「インターフェース」誌の特集記事となったように筋電センサ回路としての性能は十分であると確認できた。そこで共同研究者の照岡正樹と若干の改良を加えつつ4チャンネル化し、さらにXBeeを搭載してホストとWiFi接続できるようなArduinoシールド互換基板として、第6世代となる筋電センサ基板「VPP-SUAC」を開発した。国内最大の基板試作業者「P板.com」を利用して、第1版として10枚を試作し、部分改訂した第2版(ジャンパオプションにより脳波センサとしての可能性も付加)「VPP-SUAC2」として25枚を試作した。そしてオープンソースの視点から、全ての技術情報・基板製造データ・ソースコード等をWebで公開し、手元にあるシステムをワークショップやフィールドテストとして実際の現場に貸し出していく体制とした。

VPP-SUACの公開サイトでは、「P板.com」でこのシステム基板を試作するために提出した設計/基板製造データを含めて、回路図など全ての技術情報、mbedソースコード等をWebで公開して、むしろセカンドソースとして新たにこのシステムを誰でも作って下さい…と呼びかけている。チップ部品の調達から搭載まではこの技術情報によって「P板.com」で完結するので、あと筋電センサ基板「VPP-SUAC」に必要なのはNucleoF401RE上のArduinoシールド互換コネクタに挿入するヘッドピンと、電解コンデンサ1個と、あとは筋電電極ケーブルを接続するステレオミニソケット、の3種類の大きな部品をハンダ付けするだけである。



筋電センサシステム「VPP-SUAC」

ここで一つ反省点があるので混乱を避けるために先に説明しておく。上記のように「P板.com」で試作できる公開カスタム基板を「VPP-SUAC」・「VPP-SUAC2」と名付けたが、その基板に上述のように追加部品をハンダ付けして、さらにmbed NucleoF401REに搭載することで最終的に完成するが、本研究ではこの汎用筋電センサシステム全体も「VPP-SUAC」と呼んでいる。基板とそれを含む全体のシステムとが同じ名前というのはやや混乱を招くが、コラボレーションプロジェクトVPPとSUACでの研究が合体したこと、他のネーミングに変更する余地が無かったのが理由である。今後のプロジェクトでの注意点としたい。

上記のハードウェアの制作に続いて、汎用システム「VPP-SUAC」を構成するmbed NucleoF401REにファームウェアを書き込む必要がある。2-4-3のようにソースコードから開発するにはARM社のDeveloper登録が必要だが、筆者が基本的な筋電センサとして完成させたファームウェア「VPP\_SUAC\_03\_NUCLEO\_F401RE.bin」はコンパイル完了したバイナリ形式として公開している。そこでNucleoF401REをUSBでパソコン(Mac)に接続すると自動的にデスクトップに出現するディスクイメージアイコンの上に、このバイナリデータのアイコンを「ドラッグ&ドロップ」すれば、mbed基板上のLEDが点滅して数秒でプログラム転送が完了する(フラッシュメモリなので何度でも上書き修正可能)。

汎用システム「VPP-SUAC」にWiFiモジュール(XBee)を搭載するためには、ハードウェア的には秋月電子からXBeeと「XBeeソケット」を入手してハンダ付けすれば完成する。 WiFiモジュールの書き込み(Windows XP版)についてもこのWebサイトで具体的に解説している。なお、新しいXBeeには固有アドレスを書き込んで、「VPP-SUAC」上のXBeeと、ホストMaxの走るMacに秋月電子アダプタでUSB接続したXBeeとが、互いに相手の固有アドレスを指定したペアとして一意に双方通信を実現する必要がある。 XBeeに限らずどんなWiFiモジュールでも、購入してきた未設定状態のままでは使用できないので注意が必要である。

汎用システム「VPP-SUAC」を活用していくためには、上記のハードウェアでの制作に加えて、アプリケーション(ホスト)のMax側だけでなく、実用的/発展的にはNucleoF401RE側のファームウェアもカスタマイズしていく必要がある。そのスタートラインは、公開サイトで紹介している「VPP-SUAC03.maxpat」(筋電情報をそのまま生情報として取得)・「VPP-SUAC04.maxpat」(筋電エンペロープ[整流+平滑]の情報として取得)という2種のMaxパッチであり、これらに共通するファームウェアが「VPP\_SUAC\_03\_NUCLEO\_F401RE.bin」である。公開Webページにはこの組み合わせによる多くの実験の様子(YouTubeサンプル動画)へのリンクも置いてある。

前述の8チャンネル筋電センサ・バンド"Myo"(2-1-3)は優れた筋電センサ製品であるが、「腕専用」なので内蔵CPUは筋電パターンが「脚」と判定するとセンシング動作を停止してしまう。メーカ自身が頑として「腕専用」を公言してきたので、脚/足の筋電センサとして"Myo"は使えない。しかし高齢化社会を迎えて、筋電バイオフィードバック・リハビリテーションとして求められているのは「腕」よりも下半身/足腰である。介護・看護・リハビリなどの領域の専門家との議論の中で、足腰が弱って寝たきりになる事で(社交性が欠乏して)認知症が進行するという報告を受けて、このVPP-SUACは「下半身をターゲットとする筋電リハビリ」という新たな使命を持った。

VPP-SUACは現在、筆者が指導するSUAC学生の「認知症予防」システムの研究において、さらに照岡氏が検討している「筋電検出パンツ」(尿失禁・便失禁のリハビリ用)の研究など色々な応用実験のために活用している。筆者がSUACで開催する「スケッチング」ワークショップ(3-3-1)や、コラボレータ・辻下氏と開催しているバイオフィードバックセミナー(3-3-2)では、参加者に貸し出して実際に体験するためのハードウェア・プラットフォームとなっている。このシステムは次項2-5-2の「PAW-double」と並んで、公開サイトのオープンソース・ドキュメントとともに、本研究の具体的な成果物の柱である。

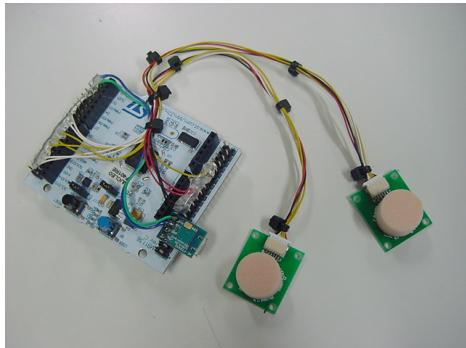
VPP-SUACの基板ジャンパオプションは3種類であり、標準的な筋電センシングに加えて、時定数を変えて筋電を高速計測するモードがある。これは運動状態計測など特殊な用途において、筋電パルスそのものを積分せずに高速に直接にA/D変換するためのものである。そして第3のモードとして、通常の筋電センシングのさらに10倍のゲイン設定によって、より微弱な脳波センシングに使えるオプションを設けた。これはMuseやOpenBCIなどのような頭部電極を想定したものではなく、照岡氏が構想している画期的な「鼻腔から脳波を計測する」アイデアの実験のために用意したもので、成功の可能性は未知であるものの、予備的実験を経て探求している。

## 2-5-2 汎用システム「PAW-double」

本章2-3-5で紹介したように、触覚/触感PAWセンサを用いたシステムとしてまず「シングルPAWセンサ」(センサ1個)を開発した。ここからさらに、後述する3-1-6のPAWセンサ新楽器「MRTI2015」(センサ10個)、3-1-4の新触覚/触感インターフェース「PAW-eight」(センサ8個)、という3世代を実験的に開発してきた。これらはいわば一品料理として開発したものだが、本研究のスケッチング/オープンソースの思想

から新たに「汎用化」と「標準化」を意識して開発/公開したのが、本研究の成果物として「VPP-SUAC」と並ぶ2本柱となった「PAW-double」である。

「PAW-double」でPAWセンサの数を2個に減らした理由は、NucleoF401REボード(1600円)・USBインターフェース基板(600円)に対してPAWセンサが部品代として占める重みを考慮したこと、最低限2個(計8チャンネルのセンシング情報)あれば、例えば両手のそれぞれの指で操作したり片手の異なる指で操作することで、「脳内の異なる領域を同時に活性化する」(→認知症予防に有効)という目標を達成できるからである。公開サイトでは回路図など全ての技術情報やソースコード、さらにドラッグ&ドロップで書き込むだけの完成ファームウェア・バイナリイメージを公開するだけでなく、個々の部品をネット購入して誰でも「PAW-double」を製作して動くまでの「作り方」・「最初の使い方」までを詳細に解説した。



「汎用・標準」触覚/触感インターフェース”PAW-double”

オリジナル基板の委託製作が必要となる「VPP-SUAC」に比べて「PAW-double」の最大の特長は、全てネット購入できる部品を揃えれば、公開サイトの「作り方」に従って誰でも同じものが容易に製作できる点にある。その作り方は、(1)PAWセンサの6極端子からケーブルを引き出す(やや高価だが嵌めるだけの専用コネクタケーブルもあり)、(2)NucleoF401REの裏面の2個のジャンパにハンダごてを当てて取り外し、2個のジャンパパターンをハンダブリッジで繋ぐ、(3)NucleoF401REのピンを6本カットして秋月電子USBインターフェースAE-FT234Xを差し込んでハンダ付け、(4)AE-FT234Xのシリアル2本をNucleoF401REのピン2本に配線、(5)センサ2個からのケーブル(計12本)を該当するNucleoF401REのピンにハンダ付け、という手順であり、これでハードウェアが完成する。

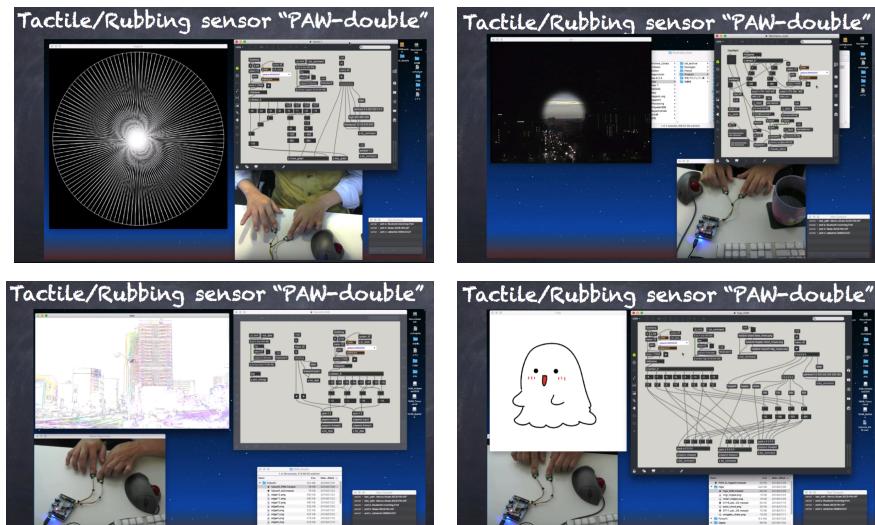
ここでNucleoF401REのUSB端子からホストPCのUSBに繋ぐとデスクトップにmbetのディスクイメージアイコンが出現するので、そのアイコン上にダウンロードした(完成している)

「PAW\_double\_NUCLEO\_F401RE.bin」ファイルのアイコンをドラッグ&ドロップすれば、ボード上のLEDが点滅して数秒でファームウェアの書き込みが完了する。そこでNucleoF401RE上の電源供給選択ジャンパを「U5V」(USB給電)から「E5V」(外部給電)にすればハードウェア完成であり、慣れる1システムを30分程度で製作できる。その後はPCに接続していたUSBは不要となり、NucleoF401REの書き込みブロック部分をカッターで切り離し小型化しても構わない。完成した「PAW-double」は新たに取り付けたAE-FT234XのUSBを経由してホストPCに繋ぐと、2個のPAWセンサからの8チャンネル情報が115200bpsの速度で「コントロールチェンジ」MIDI仕様のプロトコルで出力される。

ホストがMax7であれば、公開サイトにある「PAW\_double\_01.maxpat」パッチを起動して、「serial」オブジェクトに繋がった「print」を叩くとMaxコンソールウインドウに外部シリアル機器の一覧が表示されるので、該当する('usbserial'とか'ttyserial'など)ものをプルダウンメニューで選ぶと通信表示がスタートする。PAWセンサを押せばパッチ内の8個のスライダーが動くが、PAWセンサは個々のデータに製造時のばらつきがあるので、最初に一度だけこれを補正する必要がある。パッチ内の「sensor\_8」サブパッチを開くと、8チャンネルそれぞれのセンサデータ(0-127)に対して、出力範囲を0-100にスケーリングするため

の「scale」オブジェクトがあるので、4つの数値のうち左端を「PAWセンサを押さない時」の数値に、2番目の数値を「PAWセンサを最大限に押し込んだ時」の数値に変更すると、ちょうどセンサの変化範囲が0-100の範囲に標準化されるので、この補正したパッチをリネームしてテンプレートとするとその後の応用性が増す。

専門家でなくても「PAW-double」の触覚/触感インターフェースを活用したアプリケーション(エンタテインメント、リハビリ福祉など)の実験・試作が出来ることを支援する、という本研究テーマを推進するために、約20台の「PAW-double」システムを量産試作し、一部はコラボレータのリハビリテーション専門家にも提供した。これら複数の「PAW-double」は、筆者の講義/演習を受講する学生の課題制作に「標準インターフェース」として貸し出したり、ワークショップにおいても受講者に貸し出して活用している(本章2-8で後述)。開発直後の最初のサンプルとして筆者が試作した「PAW-double」アプリケーションとしては、(a)錯覚(重なった図をわずかにずらして重ねる)体験ソフト、(b)PAWセンサを優しくバランス良く押すと見たい写真が次第に見えてくるアプリ、(c)2個の円をPAWセンサで動かしてその間に張った弦でボールを弾くゲーム、(d)モアレ模様のライブ生成体感ソフト(2種)、(e)昼と夜の風景動画を時間移動する「穴」を動かすアプリ、等である。この一部は第3章3-1「制作システムの事例」として詳解している。



“PAW-double”を使ったアプリケーション試作例

サンプル提供開始の初年度(2018)にSUAC3回生が講義「音楽情報科学」の課題作品として制作した応用例としては、(1)重なった3個のモアレ図形やエッジ強調で2値化した風景画像を、1個は静止させて残り2個をPAWセンサで微妙にずらしたモアレ体験ソフト、(2)可愛い動物キャラの大きさ/縦横比と位置をそれぞれPAWセンサで微妙につついて変形させる「癒し系」ソフト、(3)画面内の「穴」をPAWセンサで移動させてその裏にある移動物体を捉えてスコアを稼ぐシューティングゲーム、(4)Webカメラに映った自分の顔画像を左右半分にカットして拡大縮小/移動させる操作をPAWセンサで調整して画面中央に正しく貼り合わせることを目指す「福笑い」ゲーム、(5)錯視の理論で有名な等間隔パターンの回転プログラム(Processingで制作)の変形パラメータをPAWセンサからOSC経由で渡すシステム、などがあり、さらに翌2019年にも5種の有用な実例が加わった。これらの一部は次章「制作システムの事例」の中で紹介する。

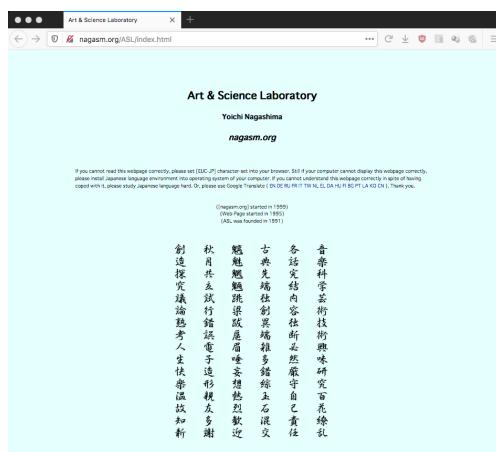
このように「PAW-double」を活用したMaxパッチが容易にプログラミング出来る、ということ自体が「スケッチング」の典型例となっているが、そこで扱うコンテンツとして敢えて「錯覚」テーマを多く取り上げていることは理由がある。本研究ではウェルネス・エンタテインメントの重要な要素として、内受容感覚とも通じる「脳活性化」・「気付きの[快]情動」に注目してきた。認知症予防やリハビリのためには、脳の複数の領域を同時に活性化させることが有効であり、「PAW-double」ではシステムからの視覚的/聴覚的ディスプレイ(これだけでもマルチモーダル)に加えて、センサを「押す」身体動作と関連する筋肉から来る内受容感

覚、さらにウレタンの反発による「触覚」というモードまで連携してくる。お手軽にはセンサをうにうに操作して「AHA!」感を生み出す錯覚の体験を自分で生成するゲームもよし、さらにはより「脳の複数領域の同時活性化」を指向した福祉(リハビリ)目的のゲームをデザインする、という方向の発展も期待している。

リハビリテーション領域やスポーツ領域での「触覚」バイオフィードバックといえば、大部分は「ピーク値」の検出とその成長/回復支援に重点が置かれてきたが、PAWセンサは物理的には繊細な機構なので、人間の筋力をそのまま与えるような設置には向いていない。どうしても筋力ピークを検出したい場合には、「加わる力の大部分を受け止める」ような力学的バッファが必要であり、例えば強力スプリングで加わる荷重の95%を受け止めつつ荷重に比例して最大10mm以内のストロークで変形するような「からくり」を設計しなければならない。これに対して「PAW-eight」(→3-1-4)のように、PAWセンサのスポンジを押し潰すのではなく、中庸付近の押し込みレンジで各センサの4系統センシング出力をがほぼ同じになるように「平坦に」「優しく」押す(それも8個のセンサ全てにおいて)、という「癒し系」内受容感覚エンタテインメントのアプローチは本研究の大きな特異性であり、ウェルネス・エンタテインメントの実現に向けた最大のメリットであると思われる。

## 2-6 全情報をインターネットで公開

本研究は、ウェルネスのための広義のエンタテインメントとして役立つシステムを、専門家でない医療福祉従事者やデザイナであっても、公開情報を活用して容易に創造できる「フレームワーク/ツールキット」を新しい概念のメディアアートとして提案/発表するものである。本章でここまで述べてきたように、オープンソース文化/スケッチング文化に賛同して、「関係する情報を全てWebで公開」という姿勢/枠組みそのものが新しいメディアアートの形態となっている。ここでは筆者の「全情報」に関して、実例とともに解説する。



公開サイト "http://nagasm.org"

筆者のドメイン[nagasm.org]には現在、大きく2種類のWebページを柱とするコンテンツが並んでいる。その第一は「ASL(Art & Science Laboratory)」という筆者自身の個人サイト[http://nagasm.org/ASL/]であり、第二に「SUAC研究室ページ」[http://nagasm.org/1106/]というSUACに関する情報(講義/演習/資料/学生作品)などを並べている。後者は前者の一部としてもリンクされ、コンテンツは全て相互に相対リンク参照されるよう配置しているので、サイト全体をUSBメモリに入れて持ち歩くと、ネットに接続していない全コンテンツをオフライン参照できる。2019年9月現在でその容量は42GBほどであり、[http://nagasm.org/ASL/]が約10GB、[http://nagasm.org/1106/]が約20GBである。ただし2-4-5で述べたように、作品の公演/展示風景とかシステムの実験の模様などを記録した動画の大部分はYouTubeに置いていてこのサイトにはリンクだけがあるので、コンテンツの実体としてはさらにあと20GB程度含まれている。

本研究につながる例を挙げると、「アーティストのための汎用センサ自作応援講座」(成安造形大学コラボレーション・プロジェクト)[<http://nagasm.org/SSS/>]、「インタラクティブ・アートのための技術講座」(京都造形芸術大学公開講座)[<http://nagasm.org/ASL/lecture01/>]、「Sensor@ComputerMusic」(情報処理学会チュートリアル)[<http://nagasm.org/ASL/withatau/>]、「筑波大学スケッチングワークショップ」[<http://nagasm.org/ASL/Tsukuba20150702-03/index.html>]、「電子工作ワークショップ」(京都市立芸術大学美術学部構想設計)[[http://nagasm.org/ASL/kuca\\_workshop\\_1/](http://nagasm.org/ASL/kuca_workshop_1/)][[http://nagasm.org/ASL/kuca\\_workshop\\_2/](http://nagasm.org/ASL/kuca_workshop_2/)]、「Arduinoワークショップ」(京都市立芸術大学美術学部構想設計)[[http://nagasm.org/ASL/kuca\\_workshop\\_3/](http://nagasm.org/ASL/kuca_workshop_3/)]などのコンテンツは、依頼されて実際に行つたレクチャー/ワークショップのための教材コンテンツであるが、その後も多くの人々に参照されている。「作るサウンドエレクトロニクス」[<http://nagasm.org/ASL/mse/>]というサイトでは、著書「コンピュータサウンドの世界」(CQ出版)の上級編としての意味合いもあり、現在でも多くの反応(質問やコメント)がある。

学会発表/ワークショップ/シンポジウム等での対外発表の際には、「紙」で印刷される資料というのはその場にいないと受け取れないので、基本的にプレゼン資料もWeb化しておき、そのURLをQRコード化してプレゼンの冒頭に提示して、写真を撮って後でアクセスするように推奨している。それぞれのコンテンツには、筆者のドメイン内の関連するページへのリンクも網羅されているので、その膨大さに困惑するほどダンジョン化しているのが最近の課題である。

筆者がCQ出版から世に出したものの技術の進歩に従って廃刊となった単著の単行本のうち、特に教育的な意義がある「マイコン技術者スキルアップ事典」・「Java & AKI-80」・「コンピュータサウンドの世界」の3冊については、CQ出版の編集長に許諾を得て、筆者が行う講習会・ワークショップ・レクチャーなどの受講者を対象とした資料として、PDF化してWebに置いている。一部の技術項目が陳腐化したとしても、これらの書籍で伝授しているテクノロジーの基幹部分は現役で有効であり、探せば筆者のドメイン[nagasm.org]から誰でも入手できるようにリンクを置いているのも、インターネット公開活動の一つである。

## 2-7 専門家とのコラボレーション

プロジェクトに多くの専門性が求められる現代は、異なる領域の専門家とのコラボレーションによって新しい可能性を開拓できる。エンジニアリングと音楽を専門とする筆者はLSIやCPUなどデジタル技術を得意としていたが、アナログ技術に強いコラボレーター・照岡正樹とのタッグによって、生体情報センシングなどこれまでの膨大な成果を生み出すことが出来たことに感謝している。河合楽器から独立後の日本技術士会コミュニティにおいても、多くの部門の技術士が意見交換する中から新しい発想が生まれ、高齢者リハビリ施設の見学など福祉領域の勉強会から、本研究に繋がる福祉工学の探求の発端が始まっていた。

「学会」という場はまさにコラボレーションの機会である。同じような領域の専門家が集まって「身内」の発表会をするのが「学会」だと揶揄されることもあるが、実際にはそれぞれが切磋琢磨して他よりも進んだ研究を求め合っている。学生などビギナーの稚拙さにはベテラン(権威)から高次元のアドバイスが突き刺さる、というのも学会の醍醐味である。そして最近では筆者は自分のメインフィールドの学会だけでなく、テーマが重なるものの隣接した学会に敢えて発表の場を求める「道場破り」の発表参加を重ねている。これには重要な意義があり、自分のホームグラウンドの学会では阿吽の呼吸で伝わるニュアンスが理解されなかつたり、自分が気付かなかった視点からの有益なアドバイスやコメントを得ることが多い。そして自分の発表を契機に、新たなコラボレーションとして共同研究や研究協力に発展した事例は数多くあり、「一人では出来ないことが出来る」ための機会として、今後も学会活動を活用していきたいと考えている。

本章2-3-5で述べたように、筆者のCQ出版「インターフェース」誌の特集記事を読んだことからコンタクトがあつて、バイオフィードバック・リハビリテーションの専門家・辻下守弘教授と、本研究に直結する「生体情報処理とバイオフィードバック・リハビリテーションへのメディアアート応用」というコラボレーションの活動が始まった。次章で詳述するように、辻下氏が主催する「バイオフィードバックセミナー」には、これまでに何度もメイン講師として協力しつつ、その場に集ったさらに新たな領域の専門家との交流・議論が非常に大きな成果となっている。

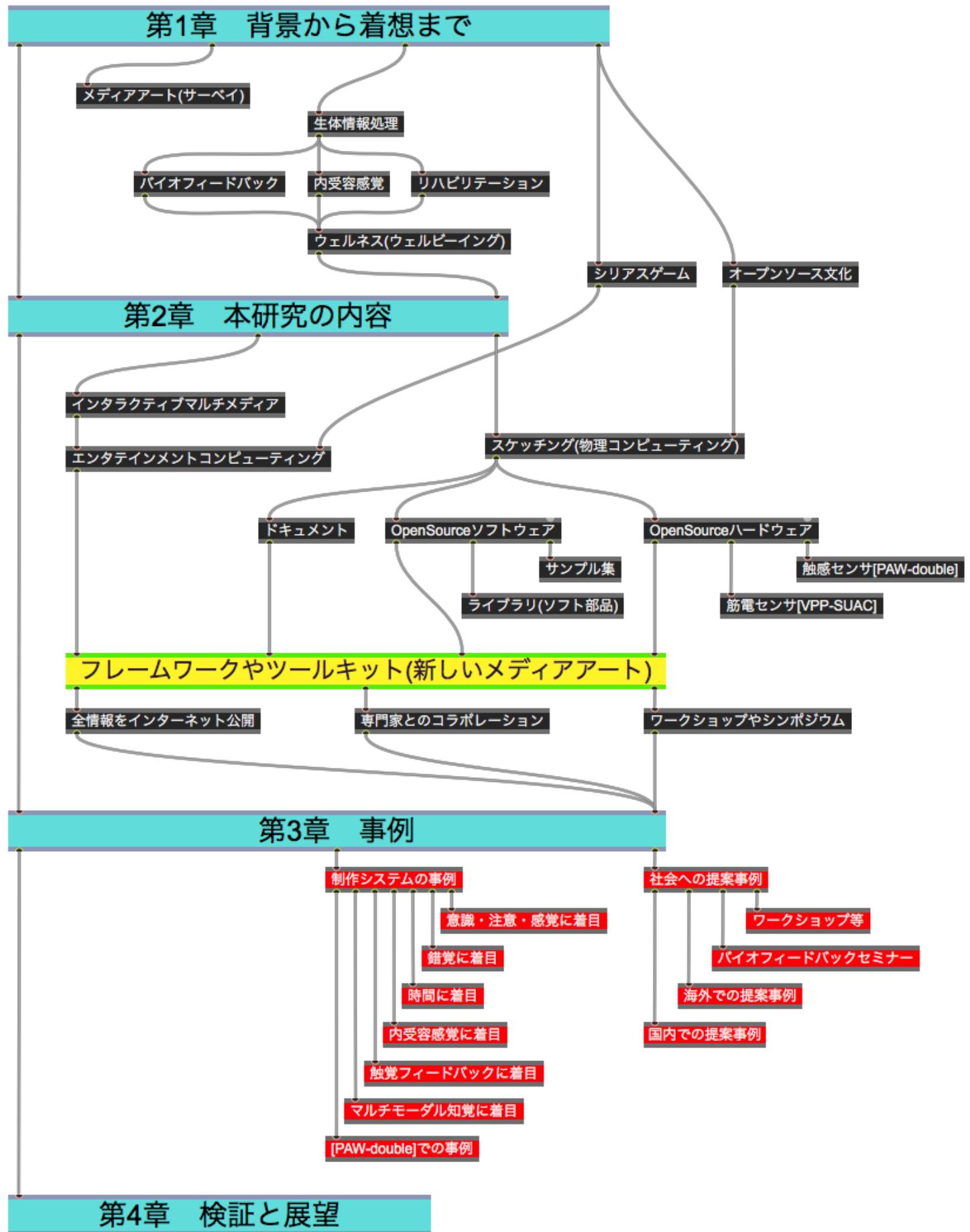
## 2-8 ワークショップやシンポジウム

上述の「2-7 全情報をインターネットで公開」で挙げた、成安造形大学・京都造形芸術大学・情報処理学会・筑波大学・京都市立芸術大学でのワークショップやシンポジウムの他にも、筆者のサイト[<http://nagasm.org/ASL/ASL.html>]からピックアップすると、これまで以下のような場を活用して、メディアアートの実現やスケッチング文化の普及に努めてきた。イメージ情報科学研究所(1992)、相愛大学(1994-2002)、豊橋サイエンスコア(1994)、電子情報通信学会(1995)、大阪大学大学院(1996-1998)、ソウル(1997)、ベルリン(2000)、パリ(2001/2004/2009)、アルステルダム(2004)、台北(2007)、京都精華大学(2014)、エカテリンブルク(2010/2016)、モスクワ(2016)、東京藝術大学(2018)、ポズナン(2018)、日本バイオフィードバック学会(2019)、などである。これらの一部は次章3-2「社会への提案事例」で詳細に報告する。

筆者が静岡文化芸術大学(SUAC)で「スケッチング/物理コンピューティング」のワークショップをオーガナイズして、専門家を招いて共同で開催したのは、これまでに2008/2009/2010/2013/2014/2015/2017/2018/2019と数多い。いずれにおいても筆者は講演者の一人としてレクチャーを担当するとともに、毎回それぞれ招待した講演者とともに、参加者をグループに分けて2日間で「何かを作り上げる」というワークショップに中心的に参加した。また、辻下氏が主催する「バイオフィードバックセミナー」におけるワークショップ/レクチャーの場としては、甲南女子大学(2015)、人間環境大学(2016)、奈良学園大学(2018)などがあり、それぞれ異なる領域の専門家との意見交換や情報交換が非常に有意義であった。これらの一部も次章3-2「社会への提案事例」で詳細に報告する。

上述の2-5-2 汎用システム「PAW-double」に関しては、研究発表として具体的な応用テーマを変えつつ複数の学会において紹介広報し、スケッチング・ワークショップにおいても受講者に貸し出して、実際に自分の手指でその面白さを体感する事を推奨した。具体的には、(1)2018年8月2日の電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究会(東京女子大)において初めて「触覚バイオフィードバック汎用プラットフォームの提案」として発表し、(2)2018年8月7日の「Maxサマースクール」(東京藝大)において参加者に紹介するプレゼンテーションに「PAW-double」を含め、(3)2018年8月22日の情報処理学会音楽情報科学研究会夏のシンポジウム(広島工業大)において「基礎心理学実験プロトタイピングツールとしてのMax7とウェルネスエンタテインメントプラットフォームとしてのMax7」の実例として紹介し、(4)2018年9月17日の国際会議ICEC2018チュートリアルでは「Bio-Sensing Platforms for “Wellness Entertainment” System Design」というタイトルのハンズオン・レクチャーのメインとして来場者に体験してもらった。これらの一部も次章3-2「社会への提案事例」で詳細に報告する。

本研究の最終発表展示についても、次章で紹介するいくつもの「事例」を体験できるインスタレーションのような形式で展示するとともに、可能であれば「バイオフィードバックセミナー」(スケッチングの紹介)の形式で、実際に本研究のアプローチが支援する「新たな何かを生み出せる」体験をデモンストレーション的に提供公開できないか、可能性を追求している。



## 第3章 事例

まず、前章で述べた種々の項目の統合によって実際に実験/試作/提案した「制作システム」(一種のシリアルゲームと言える)の事例について、視点として6種類に分類した「デザインのアプローチ」と、汎用プラットフォーム"PAW-double"での事例、という計7カテゴリごとに詳細に報告する。ここでは本研究の目指す「ウェルネス・エンタテインメントを実現するメディア・アート」に向けて、第1章での考察、第2章での「フレームワーク/ツールキット」へのアプローチにどう関係しているか、という点を確認しつつ検討/紹介した。

次に「社会への提案事例」として4カテゴリに分けて、実際に専門家と進めてきたコラボレーションの事例や、ワークショップ・シンポジウム・チュートリアル・レクチャー・セミナーでの公開/発表/考察/議論などの事例を「シリアルゲーム」の考え方と関連して検討した。この対外的な活動までが「道具箱」としてのメディアアート、という新しい提案を構成している。

### 3-1 制作システムの事例

本節では、前章で報告した「開発環境としてのフレームワーク/ツールキット」によって本研究の一環として生み出された、実験/試作/提案した制作システムの具体的な事例解説を行う。Max上で作成したパッチとして錯覚を体験する一種のゲーム/アプリ(→「気付き」の内需要感覚を喚起する一種のシリアルゲーム)、という小規模なものから、専用のハードウェアを試作してインターフェースのファームウェアを連携開発し、最終的にMax環境でインタラクティブ・マルチメディア作品(インスタレーション)と言えるような形態をとった大規模なもの(脳活性化のための没入体験型)まで、千差万別である。本節では、視点として6種類に分類した「デザインのアプローチ」ごとに事例を列記し、7番目のカテゴリとして汎用プラットフォームである"PAW-double"での事例をまとめた。本研究の最終発表展示は★印を付けた事例26件(→それぞれの項目で展示形態案まで詳細に解説)を予定しているが、印のない事例についてもWeb公開している。

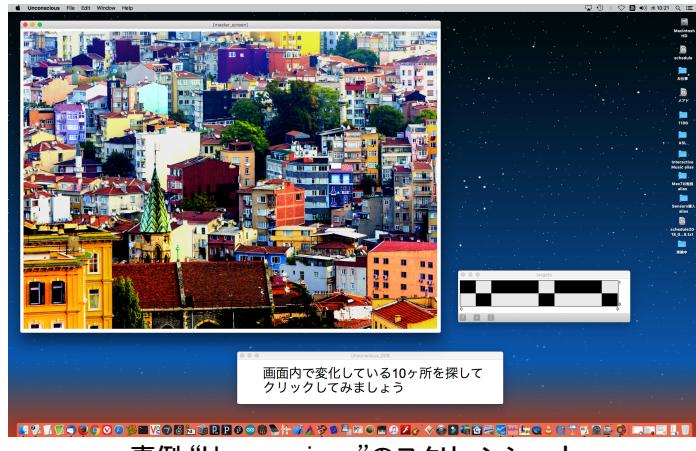
#### 3-1-1 「意識/注意」「感覚」に着目したアプローチ

第1のカテゴリは「意識/注意」「感覚」に着目したアプローチで、第2章2-2-4で考察した「無意識を意識する」「自己の感覚に気付く」というタイプの事例(シリアルゲーム)である。外部ハードウェアを伴わないMaxパッチの形態であり、インタラクションはマウスとキーボード操作となる。マルチメディア・コンテンツに適したプラットフォーム:Maxによって、種々の心理学実験素材(「意識/注意」や「感覚」への気付き)のアプリケーションが容易に実現できる、というTemplate/Exampleの意味を持つ。それぞれ心理学や脳科学から学んだきっかけや考察を元に制作されていて、人間の意識/心理の領域でより深い「気付き(→脳活性化)」「癒し(ウェルネス)」「充足感(→治癒)」の可能性につながるシリアルゲームと言える。

#### 事例 "Unconscious"

「AHA! 体験」(気付いた瞬間に脳が活性化するエンタテインメント)としての定番をそのまま実現したMaxパッチであり、Max(jitter)のプログラミングExampleとしての教育的な意味合いもある。画面の素材は多数のカラフルな建物がびっしり並んだ、世界遺産イスタンブールの都市風景写真である。この多数の建物のなかで10箇所の正解領域だけが、jitterのリアルタイム画像処理によってじわじわと色彩が変化していくが、非常にゆっくりでなかなか気付かない。ユーザはマウスでここぞと思うポイントをクリックすると、正解か間違いかが判定されてサウンドが鳴り、正解の場合にはその領域の色彩変化がストップする。「意識的に」「漠然とした」注意で眺めると気付くゲームとしてクオリティは高く、アルゴリズムとしてもマスク画像を活用してレイヤーを作るjitterプログラミングテクニックの好例である。学生を対象にテストしたところでは

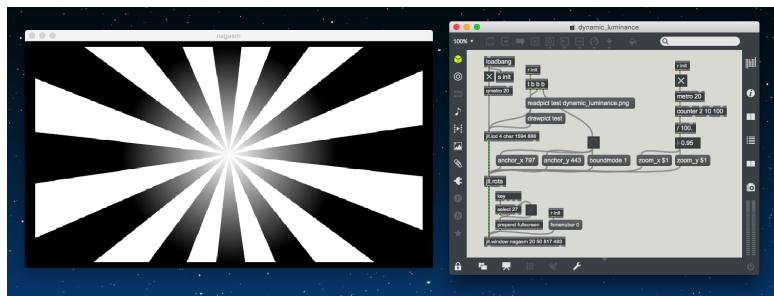
まずまず難易度が高いようで、今後、認知症予防/リハビリの現場でのフィールドテストでの検証を目指していきたい。



事例 "Unconscious" のスクリーンショット

### 事例 "dynamic\_luminance"

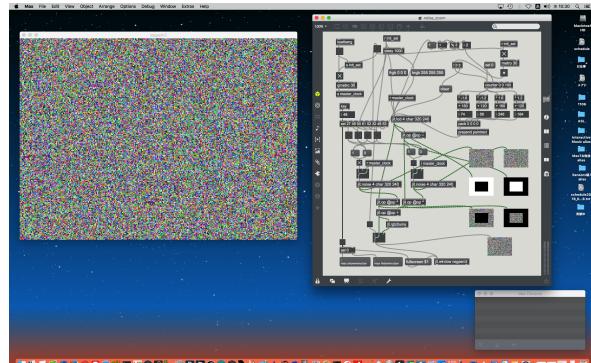
NTT基礎研究所(柏野牧夫)が公開している「イリュージョンフォーラム」は優れた「錯覚力タログ」であり、講義においても本研究の調査検討においても参照している。ここには多数の視覚的錯覚・聴覚的錯覚のサンプルが、主としてFlashやmovieとして提供されている。書籍の図/写真に比べてその動的なコンテンツは錯覚の理解に有効であるが、ずらりと並んだサンプルを次々にクリック「体験」していると、テレビ番組をただ漫然とザッピング視聴するような「受け身」になってしまふ(眺めるだけで深く考えない)懸念がある。そこでこのMaxパッチは、"dynamic\_luminance"と呼ばれる中心から放射状に拡大するモノクロ2値画像を、単純にズームするアニメーションとしてjitterで実現した。インタラクションは「フルスクリーンON/OFF」だけであるが、視野内に占めるターゲット画像の平均輝度によって、変化していないにもかかわらず中心付近のぼんやり明るい領域が大きく動くように感じられて、「意識/注意」の理論通りの体験を確認できた。MaxプログラミングのExampleとしては、単純なパッチでフルスクリーン化を実現するTemplate(他のアニメーション等に再利用可能という教育的意義を持つ)もある。全画面表示を実際に巨大スクリーンで試してみると予想以上の没入感に圧倒された。



事例 "dynamic\_luminance" のスクリーンショット

### 事例 "Affordance" - ★最終発表展示

古典的な視覚心理学の考え方(視覚情報がビットマップのように取得され→脳内で画像認識処理され→状況知覚に至る)に反対するギブソンのアフォーダンス視覚心理学の文献に触発されて、3種類のアフォーダンス検証用Maxパッチを制作した。これは心理学実験や「気付き」ツールが開発できるTemplate/Example集とも言える。展示形態案としては「パソコンの置かれたデスクで体験者がMaxパッチを切り替えて起動して体験する」想定である。

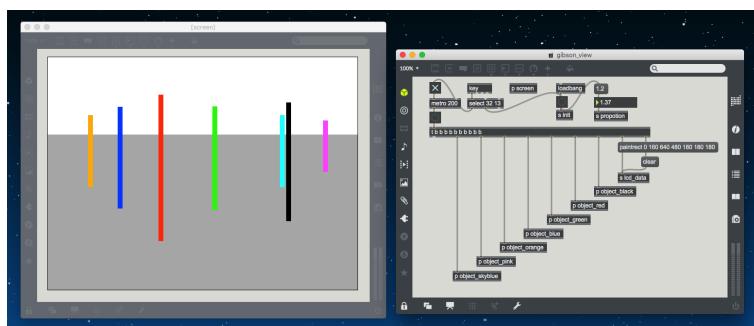


事例 "noise\_zoom"(Affordance)のスクリーンショット

「noise\_move」というパッチは、(a)背景がランダムノイズ動画、(b)画面内で回転し移動する三角形もランダムノイズ動画、という2画面をそれぞれマスクで抜いて合成したものである。背景と三角形のランダムノイズ描画処理をそれぞれ別途にON/OFFできるので、(1)ノイズ動画を背景として三角形のノイズ静止画が動く、(2)ノイズ動画を背景として三角形のノイズ動画が動く、(3)ノイズ静止画を背景として三角形のノイズ静止画が動く、(4)ノイズ静止画を背景として三角形のノイズ動画が動く、という計4パターンを切り替えて、それぞれ三角形が「見えるか?」というものである。(1)と(4)は誰でも「見えて」、(2)は誰も「見えない」。ギブソンは、「古典的な視覚理論では、人間は視覚系から届いた画像を脳内でゲシュタルト/パターン認識するというが、その理論では(3)は見えない筈だが実際には見えるだろう」と主張した。「状況の変化こそ知覚の源泉だ」というアフォーダンス視覚心理学を体感して自然に「意識」・「無意識」について考えさせられ、一般的な錯視とは異次元の意外感/不思議感が惹起される「刺激→脳活性化」の好例である。

この「noise\_move」パッチは、三角形が「ある数学的ルール」で線形移動しているので、体験者はある意味で容易に予測がついてしまう。しかしこの移動を「PAW-double」のセンサ出力にインタラクティブに対応させた場合には、見えると感じるか見えないと感じるか、という判定処理に自分の操作(触覚/触感を伴う)が加わることで「無意識」から「意識的」な領域に関係性を発展させる可能性がある。この「PAW-double」コントロール化についても今後、追求していきたい。

「noise\_zoom」というパッチは、「noise\_move」で「動く三角形」だったものが「長方形でズーム」という動きになったものである。こちらは、上のゲシュタルト認知の問題提起とともに、遠近法を理解する視覚のメカニズムとして、ギブソンが古典的な視覚理論の問題点を指摘していたアイデアを具現化したものである。このパッチは、「noise\_move」は三角形が動く2次元「平面」上での知覚であるのと違って、ランダムドット・ステレオグラムのような「奥行き感」まで生じるために、よりクラククラくる面白い視覚体験ができる。発展の余地がありそうな知覚認知アルゴリズムの教育的サンプルである。



事例 "gibson\_view"(Affordance)のスクリーンショット

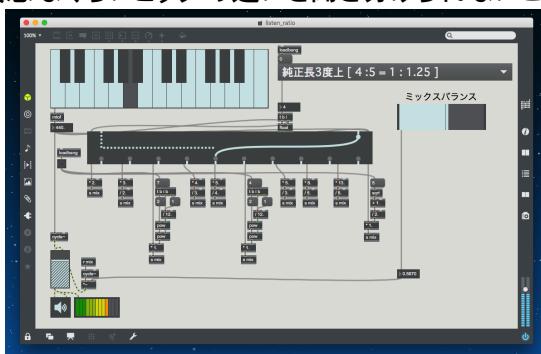
「gibson\_view」というパッチは、ギブソンがアフォーダンス視覚心理学で述べていた別の断定的仮説を検証するために作った。格好の課題なのでまず学生に静止画バージョンを制作してもらい、それをこのパッ

チで動画版にしてもやはり「見える」、と全員で納得した。学生に提示した静止画の制作ルールは以下である。(1)PhotoshopかIllustratorで「4:3」(800×600とか1024×768)のスクリーンを作る、(2)画面(視野)の高さ1/3のところ(上:下=1:2)に「水平線」を引く、(3)画面内の好きな場所にいくつでも、この水平線と垂直に交わるような太めの「線分」を描いてみる、(4)線分のルールとして、水平線から上よりも下方が大きくなるようにして、その比率(任意)は「全ての線分に共通」とする、(5)線分の上端と下端に「末端」表示を加えてもOK、というもので、いくつもの線分の並んだ風景から「自然な遠近感」(長い線分は手前にある、短い線分は遠くにある)を感じるのは何故なのか?がお題だった。このMaxパッチは、静止画でなくそれぞれの線分がこの条件を満たすようにランダム醉歩するアニメーションしたもので、いくら眺めても「自然な遠近感」となる「驚き」があり、これも「刺激→脳活性化」というエンタテインメントに繋がった。

### 事例 "listen\_ratio"

脳科学者・下條信輔の著書にあったヒントを発端として、古典的な音響理論を確認するという教育的な意義で作った「サウンド知覚に関するMaxパッチ」である。画面内の鍵盤で音階を選べるオシレータ(サイン波)の音と、それに対して「ある関係のもう1音(サイン波)」とを同時にミックスして鳴らす(→注意して聞き耳をたてる)、というものである。メニューから選べるのは、「オクターブ上 [ 1 : 2 ]」・「純正完全5度上 [ 2 : 3 = 1 : 1.5 ]」・「平均律 完全5度上 [ 1 :  $\sqrt{7/12}$  ]」・「純正完全4度上 [ 3 : 4 = 1 : 1.333... ]」・「純正長3度上 [ 4 : 5 = 1 : 1.25 ]」・「平均律 長3度上 [ 1 :  $\sqrt{4/12}$  ]」・「フィボナッチ第5/4項 [ 3 : 5 ]」・「フィボナッチ第6/5項 [ 5 : 8 ]」・「フィボナッチ第7/6項 [ 8 : 13 ]」・「フィボナッチ極限(黄金比) [ 1 : (1+ $\sqrt{5}$ )/2 ]」という9種類である。音楽学的には完全5度と長3度の音程について「純正律と平均律での聞き比べ」というのはかなりの集中を要する良問であり、音楽理論の一領域である「音律」の基本、さらに黄金比の美学に絡んだ新しい「比」も用意してみた。

専門家でなくてもリラックスすると「気付く」というギリギリのピッチの違いを体験する実験で、聴覚に注意を集中して協和を確認できた時の「快」情動はなかなか快適である。ただし個人差があって、響きの違いを聞き分けられない人もいる。子供の頃にピアノを習っていた、という人は音感がいいようで実は逆であり、「この鍵盤を弾くとこの音が出る(筈)と無意識に信じ込んできた」ピアノ出身者の相対音感は良くない。バイオリン(ギターのようにフレットが無いので常に鳴る音のピッチを聞いてフィードバック微調整する必要あり)とは対極的であり、幼少期にバイオリンを習っていたので数セントまで聞き分けできる合唱指導者(筆者)からみると、ピアノ出身者は可哀想なぐらいピッチの違いを聞き分けられないことが多かった。



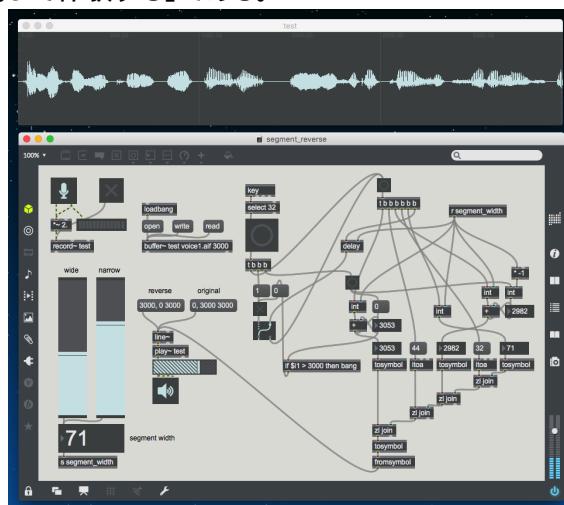
事例 "listen\_ratio" のスクリーンショット

### 事例 "segment\_reverse" - ★最終発表展示

人間の音声認知に関する知見を実際に再確認するために制作したMaxパッチであるが、もう一つの重要な意味として、「ラピッド・プロトタイピングツールとしてのMax」の意義を発信する材料となった。発端は、2018年6月「音学シンポジウム2018」(東大)の招待講演「聴覚皮質における音の時間的側面の処理」(堀川順生)で、モルモットの聴覚皮質を光計測する実験に関して紹介された「逆転音」の音声知覚、という話

題である。人間でもモルモットでも、連続音声を一定の区間(100msオーダ)に区分して、それぞれの区分で逆方向に再生すると、周波数成分としては同じなのに意味が取れなくなる。ただし区分の時間を40-50msecあたりまで小さくすれば次第に意味が取れてくる、というサンプル音響の紹介デモがあった。招待講演では固定的音響ファイルを再生しただけだったが、どのあたりでどのくらい「聞こえてくる」「聞こえない」のか、を実感してみたくなったので、その講演の合間(内職)と休憩時間やポスターセッションの合間、そして東京から浜松に帰る新幹線の車中で完成してしまったのがこのMaxパッチであり、心理学実験ツールのMaxラピッドプロトタイピングの好例となった。

まず音声メモリとして3000msecを定義し、いつでもマイクでリアルタイムサンプリングしたり、音声データの書き出し・読み込みが出来るようにした。講演内職中は声を出せないので、別の発表講演者の発表音声をマイクからサンプリングし音声データとして記録して読み出した。画面内には分割「区間」の設定用として100msec～1500msecというワイドスケールと、10msec～99msecのナロースケールの2種類のスライダを用意して、任意の区間を設定できるようにした。Maxパッチのプログラミングとしては音声の全域を「区間」に区切って、それを順番に単純に逆再生しているだけの処理であり、サブパッチで隠さずに入力全体が見渡せるようにしたこのパッチは、聴覚エタでありつつも視覚的に起きていることが理解できる、格好のMax教材(Template/Example)となった。学生に「意識的に注意して聞く」よう指示して実験すると、提唱された現象がインタラクティブに再現されて新鮮な驚きを生み、人間(と動物)の知覚認知・音声認知に対する興味関心に大きく役立った。展示形態案としては「パソコンの置かれたデスクで体験者がMaxパッチを切り替えて起動して体験する」である。

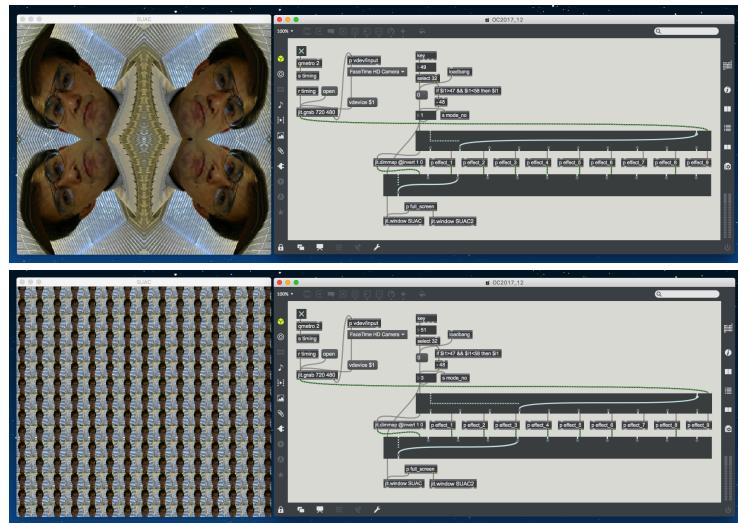


事例 "segment\_reverse" のスクリーンショット

## 事例 "自撮り鏡" - ★最終発表展示

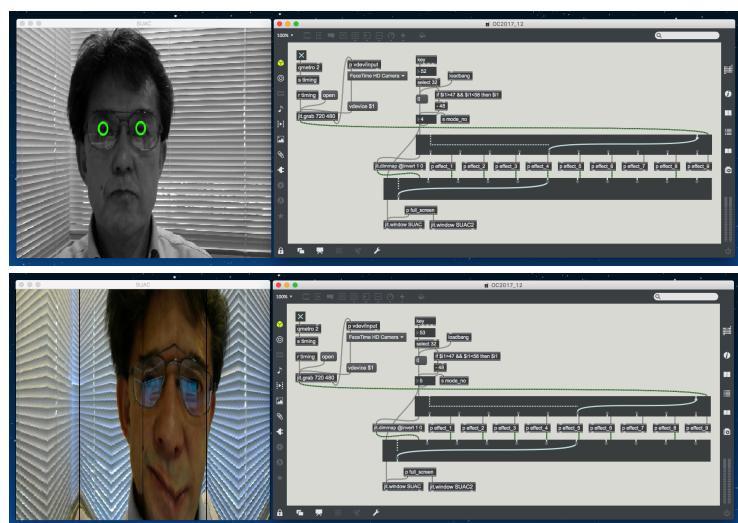
スタートラインとしては学生Max課題のためのTemplate/Exampleを目指したサンプルとして制作したが、2017年のオープンキャンパスで来場者が自分自身を素材に体験するインスタレーションとして展示してみると、多数の高校生(受験生)に大好評だった「視覚的お遊び」(驚きを演出する)Maxパッチである。その発端として、まず"Jabara"と名付けたMaxパッチを制作した。きっかけは学生からの依頼で、「お札の錯視」として有名な、お札を縦折りにしてジグザグ蛇腹状にすると、お札の肖像の顔が面白い表情になる、という現象をjitterのライブカメラ画像に施したい、というニーズから始まった。過去の作品"Dazed & Confused"で使ったアフィン変換は「長方形→平行四辺形」までの2次元変換であったが、この蛇腹変換では「長方形→台形」の2次元変換が必要であり、アフィン変換でなく2次元射影変換が必要だと判明して、数学的な文献を調査した。そして最終的に、射影変換のための「jit.mxform2d」という3×3変換行列がjitterでサポートされており、実装のためには「サンプル図形に射影変換を施して変換前後の行列要素を試行錯誤で決定する」という新手法を考案して無事に完成した。

上記の"Jabara"では、自分の顔画像(カメラから撮るので左右を反転する)を縦長の長方形4つに分割したものだったが、これを8分割に改良して、自撮りの自分の顔がまさに「お札の錯視」のような面白画像(注意しないと気付かない)となったので、これをメニューの1項目として、さらにテンキーの1から9までの9種類の「自撮り画像を変容させるMaxパッチ」として完成したのが、このインスタレーションMaxパッチ"自撮り鏡"である。具体的には、モード(1)は「自動回転曼荼羅」と名付け、自撮り画像を4分割してそのそれぞれが回転する。ここでカメラに対する顔の位置を動かすと切り取られる顔の部分が変化することで、最後に合体された顔から鼻が消えたり目が4つになったり、と楽しめる。



事例 "自撮り鏡"モード(1)/モード(3) のスクリーンショット

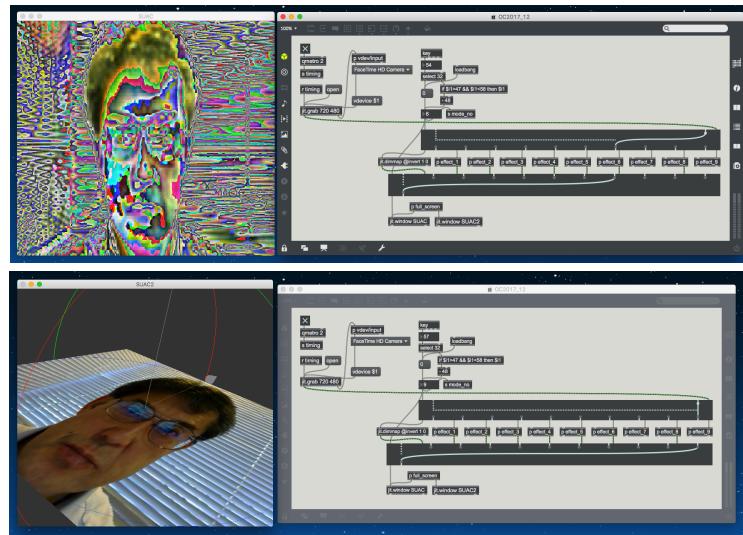
モード(2)は「お化け屋敷」で、かつてSUAC学園祭の学生企画のお化け屋敷で作ったパッチを再利用した。自撮りの自分の顔(暗闇のお化け屋敷では赤外線カメラで撮影)がサイケデリックな色彩変化処理でおどおどろしく表示される上から、赤い液体がどろりと重なって下りてくる、というものである。モード(3)の「モザイクズーム」は、単純に自撮り画像の自分の顔がズームアウトするとどんどん画面が同じ自分の小さな顔で埋め尽くされ、やがて再びズームインして拡大してくるのを繰り返す、という定番のビデオエフェクトのライブラリ版である。



事例 "自撮り鏡"モード(4)/モード(5) のスクリーンショット

モード(4)はかつて試作していた"Eye\_tracker"というMax/jitterパッチをそのまま嵌め込んだ。これは、IAMASのJean-Marc Pelletierが「cv.jit」に統合して「目玉追従」に特化したモジュールとして提供した「Eye\_Tracking」のオブジェクト・ライブラリを自分で整理改造したものである。同氏のライブラリは、人間

の顔の中で黒目の左右に白目がある領域を「目」として認識して、それがたいてい顔の上方に横並びしている、という認識結果をきれいに返す。そこで"Eye\_tracker"では、グレースケールの顔画像から両目の座標に緑色の円マークを追従して重ねてみた。人間の心理状態というのは、「目が泳ぐ」・「焦点が定まらない」など、目(の動き)と重要な関係性があるので、ウェルネスやメンタルヘルスを指向するシステムを目指す際に、この「アイ・トラッキング」は今後も役立つ機会がありそうである。モード(5)が上述の"Jabara"を8分割バージョンに改良したものである。



事例 "自撮り鏡" モード(6)/モード(9) のスクリーンショット

モード(6)は「サイケデリック」と名付けた、画面をカラフル(ランダム色)なモザイクに分割するアルゴリズムで、刻々とモザイク分割の粒度(荒さ)を変化させてみた。体験者は自撮り画像である事を知っているので、一見すると単なるカラフル分割画像であっても、身体を動かすと画像が追従することで、その素材が自分である事を意識して楽しめる。モード(7)は「波のように揺れる」と名付けたが、これはCycling'74が提供する膨大な「jitter examples」の中から筆者が発掘したものをそのまま活用した。カメラのライブ画像に対して、横方向に「画素のディレイ」をかけるというアルゴリズムであり、自撮り画像が静止していればほとんどそのままで何も起きない。しかし、例えば両手を横方向に出したり引っ込めたり…という「画面の横方向の運動」をしてみると、ディレイの残像で自分の腕が伸び縮みして見えて、幽霊にでもなったような不思議な感覚を楽しめる。この意外感はスマホ「盛り」画像に慣れている高校生にも新鮮なようで好評だった。

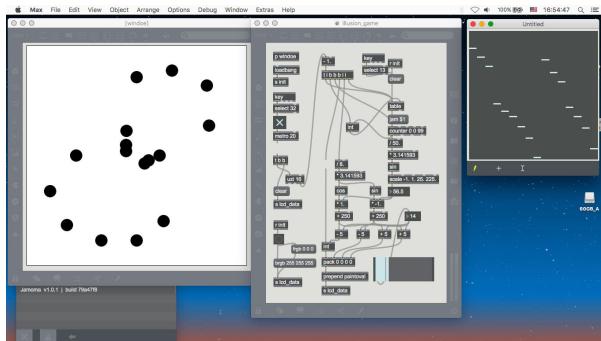
モード(8)は「画素塵芥崩壊」と名付けたが、要するに自撮り顔画像の画面に対する「ランダマイズ」のパラメータとしてjitterが用意している「粒度」・「x方向にrandomize」・「y方向にrandomize」などを刻々と変化させる、というものである。これは2日間で9つのモードを作る、という最後のネタ切れに近いところで捻り出した。そして最後のモード(9)は「Open-GL」と名付けたもので、MaxプログラミングとしてはこのモードのためにMaxパッチ全体を大幅に拡充して盛り込んだ。「9」キーを押してこのモードに入った瞬間は、画面に正方形に切り出された自撮り画像があるだけで何もないが、実はこのモードだけ、マウスを操作すると3次元空間内に浮かんだ正方形に「自分の映った自撮りライブ画像」が投射されている、と理解できて、マウスによって3次元空間内でこの正方形をぐりぐりと自在に回すインタラクションを体験できる。ぐるっと左右を裏返すと左右反転の自分が現れ、Open-GLという3D-CGの意味を自分が映った3次元オブジェクトで体験できることの「意外性」は高校生に好評だった。

この事例の展示形態案としては、「パソコンの置かれたデスクで体験者がMaxパッチを切り替えて起動して体験する」というシンプルな形態よりも、「体験者の体験する様子をプロジェクトで壁面投射する」という形態を第一候補としている。これはインスタレーション展示でよく見られる、「第一の体験者があれこれ体

験している様子を見かけた」第二の体験者が興味をもって次の待機者として並ぶ、という風景を目指したものである。体験者が自分で楽しむだけでなく、周囲で興味を持つ第二の体験者候補、という展示会場の連帯感(大きな意味でのメンタルな社会的ウェルネス)は大事にしていきたい。

## 事例 "illusion\_game" - ★最終発表展示

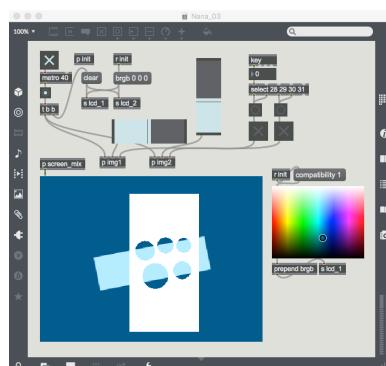
学生が発見したという「多数の点が中心から放射状に単振動往復運動しているのに、それぞれの運動位相の関係で全体として回転しているように感じる」という面白い錯視動画(アニメGIF)が報告された。しかしこの錯視動画は完成していて単に眺めて面白いだけだったので、「点の大きさを可変に」・「16個の点の単振動往復運動の位相をマウスで自由に設定できる」というMaxパッチとして完成させた。Maxのtableオブジェクトで16個の点のそれぞれの位相をリアルタイム表示しつつ、そのtableオブジェクトをマウスで自由にいじれる事で、このユニークな錯視の本質を面白いように理解でき、さらに設定によって逆回転や複数回転など新しい動きを創造できるゲームとなった。このMaxパッチにより、「錯覚ネタ」にインタラクティブに参加することが「意外感→脳活性化」の実感に繋がることを確認できた。展示形態案としては、パラメータ操作する個人差によって大きく結果が変わるのが面白いので、こちらも「体験者の体験する様子をプロジェクトで壁面投射する」が第一候補である。



事例 "illusion\_game" のスクリーンショット

## 事例 "Nana\_Illusion" - ★最終発表展示

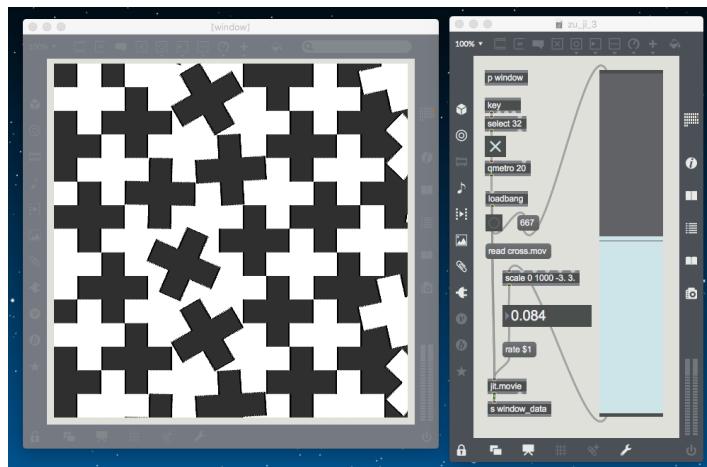
講義の中で調査していた学生(梅田那菜)が発見した錯視画像(見方によって「穴の開いた白い四角の奥にグレーの四角が見える状態」と「黒い円の手前に半透明のグレーがある状態」の2通りに見える)は単なる写真だった。これをMaxによって静止させたり動的に体験できるようにした錯視インスタレーションである。中央に数個の「穴」(透過)があいた白い長方形はスクリーン内を上下に動かせる。重なっている水平方向やや斜めのグレーの長方形はスクリーン内を左右に動かせる。「意識/注意」の持ち方によってどちらにも見えてくるこの錯覚パッチは、2個の图形それぞれを自動で往復運動させたり停止させたりして錯覚の違いを確認でき、背景色もカラースペース内で自在に設定でき、視覚の領域での「意識/注意」についての驚き(発見)を提供した。展示形態案としては「パソコンの置かれたデスクで体験者がMaxパッチを切り替えて起動して体験する」である。



事例 "Nana\_Illusion" のスクリーンショット

## 事例 "回転十字"

このMaxパッチは2019年に海外で報告された新しい錯視動画に関係している。画面内には白い十字と黒い十字が組み合わさって敷き詰められているが、その一部が整然と順に回転していく。回転する十字は「図」として知覚され反対色の十字が「地」になるが、次には逆の色の十字が回転するとそちらが「図」として知覚され、さっきまで「図」だった色の十字は「地」となる。これが次々に繰り返されるだけなのだが、まさに基礎心理学の基本中の基本の「図と地」がこれほど鮮明にクラクラする錯視は初めてである。まさに「意識/注意」について新鮮な発見をもたらす「錯覚ネタ」であるが、悔しいことに、現状のMaxパッチではこの錯視動画のスピードと再生方向をスライダーで変更するだけで「壁」に当たっており、今後いずれこの錯視をさらに掘り下げていきたいと考えている。



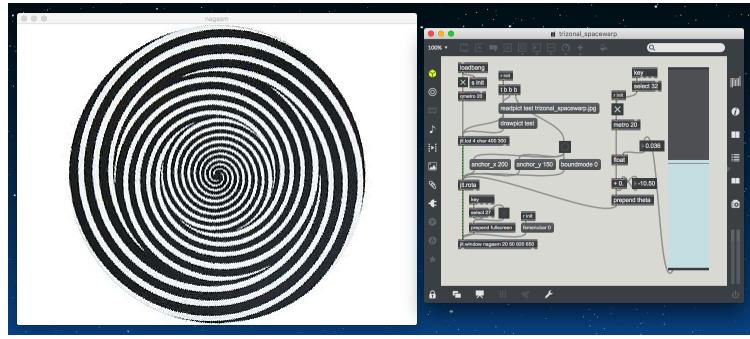
事例 "回転十字"のスクリーンショット

### 3-1-2 「錯覚」に着目したアプローチ

第2のカテゴリも全て外部ハードウェアを伴わないMaxのパッチであり、第2章2-2-4で考察した「錯覚体験」をストレートに実現したものである。古今東西の色々な「錯覚」を単に再現するよりも、本研究の「AHA!感」や「脳トレ」的に意義のあるものをテーマとして選んだ。前項の事例と同様に、古典的な「静止画」・「動画」を与えられたものとしてただ「見る」のではなく、マウスやキーボード操作によってインタラクティブに状況を変化させることで、より深い「気付き(→脳活性化)」・「癒し(ウェルネス)」・「充足感(→治癒)」の可能性につながる事例を目指した。いずれも体験者に「意外感」と「笑顔」を提供するシリアスゲームとなっている。

## 事例 "trizonal\_spacewarp" - ★最終発表展示

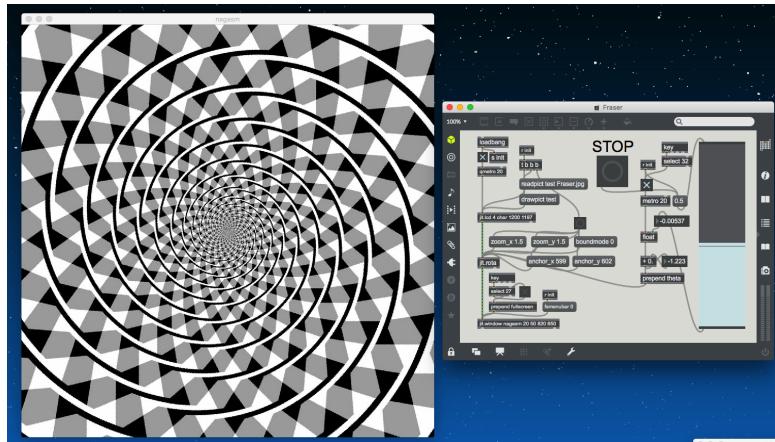
錯覚の調査をしていると、海外の錯覚研究者のサイトからロンドンの科学教材/手品用品メーカーに行き着いた。その商品で、同心円を半径方向に3等分したエリアのそれぞれに逆向きの渦巻き模様という不思議な画像を貼り付けた「コマ」を販売していた。まずこのコマを回して眺めてから急にコマを止めると、「運動残効の錯視」として、静止している筈の3つの同心円のエリアがそれぞれじわじわと「膨らんだり」「萎んだり」するという。この現物を購入するよりまずは実験してみよう、と作ったMaxパッチであるが、想像以上に面白い残効の錯視を楽しめるものになった。「3層の渦巻き模様の不思議な画像」をMax(jitter)で回転/停止させ、さらにその回転方向と回転速度を自在にスライダーで設定できるようにして、さらにフルスクリーン表示まで実装したので、本物のコマよりも多様な実験(本物のコマでは無理な回転速度など)が可能となった。この錯視は注視しすぎると酔いやすいので、過去に筆者が行った「映像酔い」を抑止する研究(→パイオニアからの受託研究で「車酔いの抑止」の実験に発展)にも使える可能性がある。展示形態案としては「パソコンの置かれたデスクで体験者がMaxパッチを切り替えて起動して体験する」である。



事例 "trizonal\_spacewarp" のスクリーンショット

### 事例 "Fraser" - ★最終発表展示

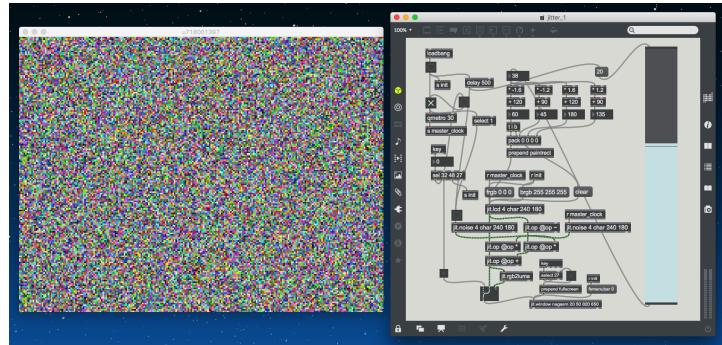
「渦巻きのフレイザーホルム」として有名なもので、NTT「イリュージョンフォーラム」でも静止画版が公開されている。一見すると中心から回転しつつ拡大した対数螺旋がいくつも重なっているように見えるが、実は拡大する模様のようで単純に「多重の同心円」静止画である、というのがそこでの解説だった。この图形や体験した印象が上述の"trizonal\_spacewarp"とかなり似ている気がしたので、渦巻きのフレイザーホルムの素材を実際にMax(jitter)で回転/停止させ、さらにその回転方向と回転速度を自在にスライダーで設定できるようにしたMaxパッチである。フルスクリーンにも出来るが、オリジナルの画面であっても非常に刺激的な「回転運動残効」錯覚体験ができる、格好の心理学実験ツールができた。この錯覚も「映像酔い」を抑止するための研究に使える可能性がある。展示形態案としては「パソコンの置かれたデスクで体験者がMaxパッチを切り替えて起動して体験する」である。



事例 "Fraser" のスクリーンショット

### 事例 "jitter\_illusion" - ★最終発表展示

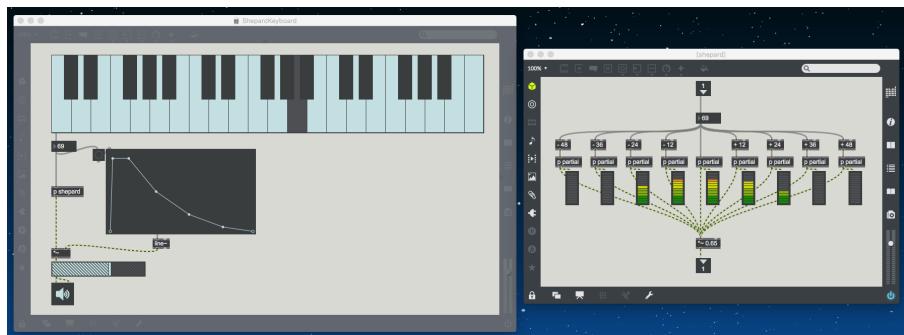
「ジッター錯覚」と呼ばれる運動残効の錯覚であり、NTT「イリュージョンフォーラム」ではON/OFFだけ出来るサンプルFlashがあるが、このMaxパッチでは素材のサイズや種類にバリエーションを盛り込んだ。背景はランダムノイズ動画であり、その中央付近に長方形のランダム静止画がある。そしてスペースキーで背景ランダムノイズ動画のアニメーションを止めると、画面全体がランダム静止画に塗りつぶされる筈なのに、さきほどまでランダム静止画だった部分の周囲がじわじわと動き出して、逆に「微動する長方形」がしっかりと見える、という面白い錯覚である。パッチ「jitter\_1」では、スライダーによって長方形の大きさを任意に拡大縮小でき、視野全体とターゲット图形の関係もテストできるようにした。パッチ「jitter\_2」では、サンプルとして用意した数種類の2値画像(太く描いたひらがなや顔文字など)をターゲット图形にすることで、ランダムドット立体視のように「图形を当てる」というゲーム化の道筋(サンプル化)を示した。展示形態案としては「パソコンの置かれたデスクで体験者がMaxパッチを切り替えて起動して体験する」である。



事例 "jitter\_illusion" のスクリーンショット

## 事例 "shepard" - ★最終発表展示

聴覚的な錯覚として歴史的に有名な「シェパード・トーン」を実際に体験するMaxパッチである。画面にはMaxでサウンドプログラミングする際に定番の大きな鍵盤(3オクターブ)があり、このピッチ情報が「shepard」という音源サブパッチに入り、その出力は単純な(パーカシブ減衰音)エンベロープ情報と乗算されてサウンド出力になる、スッキリとしたサウンド生成プログラムである。「シェパード・トーン」とは、永遠に上昇し続ける、あるいは永遠に下降し続けるサウンドという不思議なものであり、普通の楽器や声であればだんだん上げる/下げるといずれは音域の限界でストップするのに、このサウンドはずっと上り続ける/下がり続ける。その心臓部はサブパッチ「shepard」にあり、ここでは9個の同じ形の並列処理ブロック(サブパッチ「partial」とその出力レベルを表示するメーター)が並んでいて、入力ピッチはオクターブずつ違った値として並列処理ブロックに入り、最後は全てのサウンドが加算されて出力に至っている。聴覚的な錯覚を生む秘密はサブパッチ「partial」にあるが、レベルメーターによる可視化を頼りに解読と原理を理解することは学生にとって格好の課題である。さらにこのシンプルなMaxパッチはサブパッチによる階層化/構造化のTemplate/Exampleとなっている。これを改造して自分オリジナルの「シェパード・トーン」を制作して作品に適用する学生も出てきた。展示形態案としては「パソコンの置かれたデスクで体験者がMaxパッチを切り替えて起動して体験する」である。

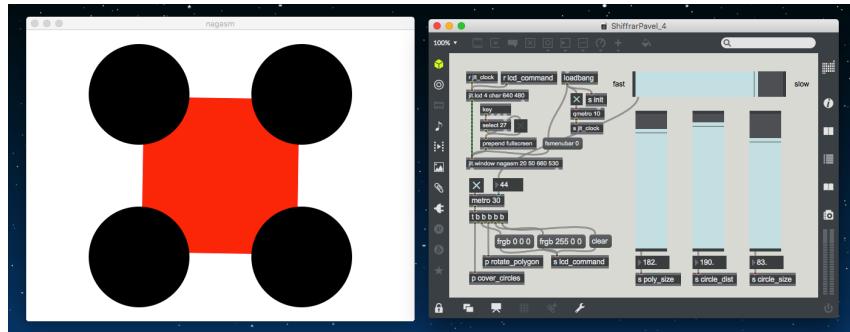


事例 "shepard" のスクリーンショット

## 事例 "ShiffrarPavel" - ★最終発表展示

NTT「イリュージョンフォーラム」で「呼吸する四角形」と名付けられている錯視で、ShiffrarとPavelによって1991年に報告された。赤い正方形が回転していて、その四角を覆い隠すような4つの黒い円によって、赤い正方形が呼吸するように大きさを変化させているように錯覚する。ただし「イリュージョンフォーラム」では、4つの黒い円を個別に動かすことが出来るだけだった。心理学的に検証するとすれば、(1)回転図形を正三角形/正方形/正五角形の3種類で試したい、(2)回転図形の回転スピードを変えてみたい、(3)回転図形の大きさを変えてみたい、(4)角を覆い隠す黒い円の大きさを一斉に変えてみたい、(5)角を覆い隠す黒い円の中心からの距離を一斉に変えてみたい、というリクエストが思い浮かんだので、この全てを実際に実現するために制作したMaxパッチ(シリアルスゲーム)である。錯覚の実験としては、このパッチの方が圧倒的に「イリュージョンフォーラム」よりも豊富な驚きと考察を提起してくれる。「ShiffrarPavel\_3」が正三角形、

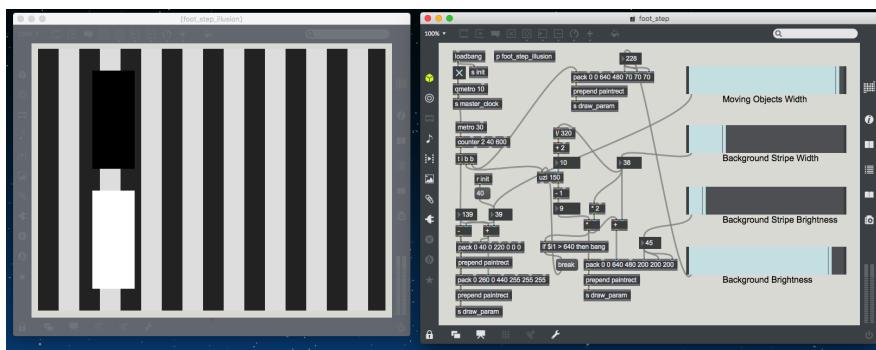
「ShiffrarPavel\_4」が正方形、「ShiffrarPavel\_5」が正五角形がのバージョンである。Max(jitter)プログラミングとしては、「send」・「receive」による階層化/構造化のTemplate/Example、あるいは数理造形(数学的にスッキリと幾何学的アルゴリズムを実現)の参考材料となった。展示形態案としては「パソコンの置かれたデスクで体験者がMaxパッチを切り替えて起動して体験する」である。



事例 "ShiffrarPavel" のスクリーンショット

### 事例 "foot\_step" - ★最終発表展示

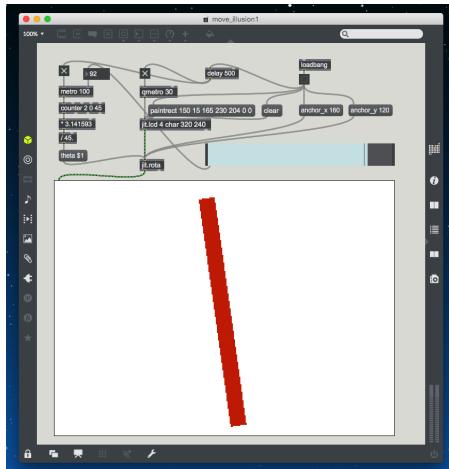
文献にあった「フットステップ錯視」(ループ動画)を実際にパラメータを変えて検証できるようにしたい、と制作したMaxパッチである。基本的には明暗の対比に起因する錯視だが、運動知覚とも絡んでいて、黒い矩形と白い矩形が上下わずかに離れて並んで、一緒に一定スピード(低速、ピクセル単位のなめらかさ)で画面を左右に往復運動する。背景には薄いグレーと濃いグレーの等間隔の縦縞模様がある、というもので、(1)動く2つの矩形の横幅、(2)背景画像の縦縞模様の横幅(間隔)、(3)背景画像の縦縞模様の明るさ、(4)背景画像の縦縞模様のコントラスト、という4種類のパラメータをスライダーで任意に可変することができる。うまく調整すると、縦に並んでピクセル単位のなめらかさと一緒に等速で動いている筈の黒い矩形と白い矩形が、なんとステップを踏むように交互に移動して見える、という錯覚である。錯視の多くは最初からパッと見えるのに対して、この錯視は4つのパラメータをうまく調整しないと見てこない(→見えた瞬間の嬉しさ[快の刺激]が大きい)、という点が逆にメンタルなエンタテインメントとして面白い。展示形態案としては「パソコンの置かれたデスクで体験者がMaxパッチを切り替えて起動して体験する」である。



事例 "foot\_step" のスクリーンショット

### 事例 "move\_illusion1"

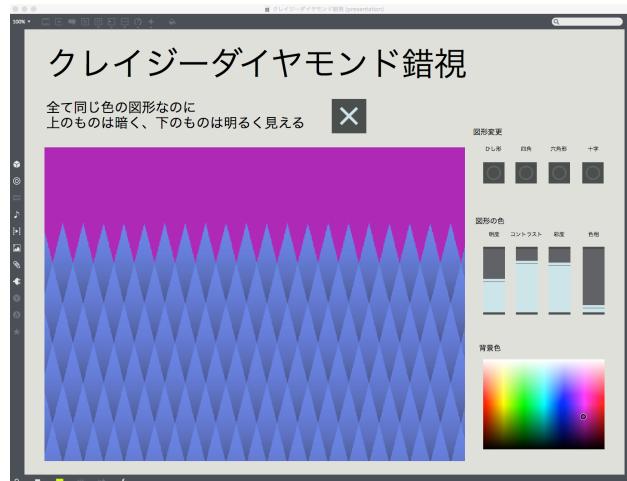
基礎心理学の専門家が合宿形式で集う「知覚コロキウム」に参加した際に基調講演で紹介された「典型的な錯覚」というサンプル動画を、受講しながらカスタマイズして再現したMaxパッチである。画面内で長細い棒が重心を中心として「垂直から180度回転して戻る」という往復運動を繰り返しているだけだが、Maxではスライダーでその回転速度を調整できるところがポイントである。低速にすると、往復回転運動の折り返し点で一瞬だけ長細い棒が垂直になると知覚できるが、その回転速度を速くすると、どう見ても折り返し点(垂直)まで行かないうちに反転するように見える、という錯覚である。シンプルなMaxグラフィックのTemplate/Exampleともなっている。



事例 "move\_illusion1" のスクリーンショット

## 事例 "CrazyDiamond" - ★最終発表展示

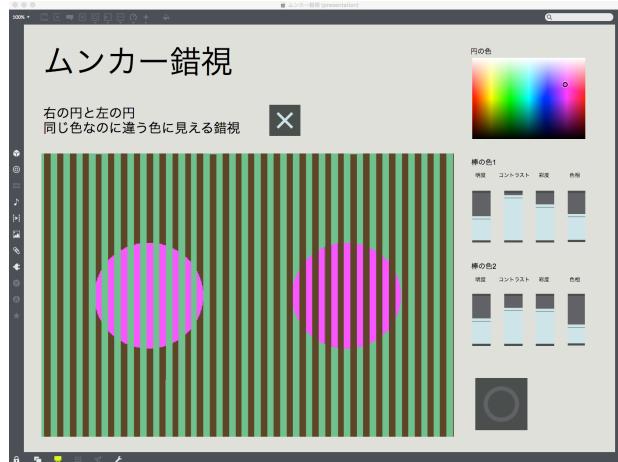
このMaxパッチは、専門科目「音楽情報科学」の課題「インタラクティブな錯視体験」として田口舞(3回生)と共に制作したインスタレーションである。一般的な「クレイジーダイヤモンド錯視」とは、同じ「グラデーションで上から下に明度が暗く変化するひし形図形」を多数並べて平面を充填すると、不思議なことに下方のひし形図形ほど明るく見えるという錯視画像(静止画)である。このMaxパッチでは、敷き詰める図形として「ひし形」「正方形」「六角形」「十字」の4種類を選択でき、それぞれの「明度」「コントラスト」「彩度」「色相」をスライダーで自在に変化させることが出来る。さらに上部の背景部分(→全体の印象に大きく影響する)もカラースペース内で自在に設定することができ、気に入ったところでスクリーンショットを撮れば、いくらでも多様なクレイジーダイヤモンド錯視画像を実験・生成できるものとなった。展示形態案としては「パソコンの置かれたデスクで体験者がMaxパッチを切り替えて起動して体験する」である。



事例 "CrazyDiamond" のスクリーンショット

## 事例 "Munker" - ★最終発表展示

このMaxパッチも、専門科目「音楽情報科学」の課題「インタラクティブな錯視体験」として田口舞(3回生)と共に制作したインスタレーションである。一般的な「ムンカ一錯視」とは、格子状に2種類の色の帯(a/b)が交互に並ぶところに、ある色(c)の円が左はaの格子の後ろに、右はbの格子の後ろにあるように並べると、同じcの色の筈なのに、左右で異なる色の円に見える、という錯視画像(静止画)である。従来の静止画の「ムンカ一錯視」であれば、「違って見えるけど実は同じ」という解説を承諾するだけ、あるいはわざわざ画像処理ソフトで両方からcの細片を切り抜いて並べて確認するしかなかった。このままでは錯視体験として、やや「後味の悪い」部類に属する。

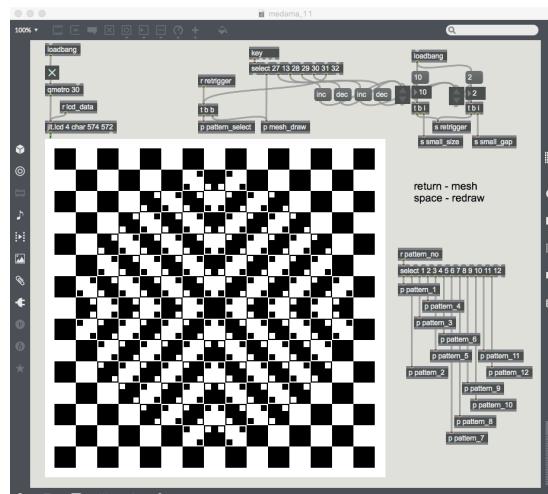


事例 "Munker" のスクリーンショット

しかしこのMaxパッチでは、まず2種類の格子の「明度」・「コントラスト」・「彩度」・「色相」をスライダーで自在に変化させることが出来る。さらに円の色(c)もカラースペース内で自在に設定することができ、気に入ったところでいくらでも多様なムンカ一錯視画像とする事ができる。そして本研究の目玉、錯覚の「意外性の演出」として、「格子(a/b)を消してグレーにする」(→それまで違う色に見えていた左右の円(c)は完全に同じ色!)という大きなボタンが置かれている。展示形態案としては、定番の錯視なのに「格子を消す」瞬間のインパクトがとても大きいので、こちらも「体験者の体験する様子をプロジェクタで壁面投射する」である。

### 事例 "medama\_illusion" - ★最終発表展示

このMaxパッチは、学生が発見した「膨らみの錯視」という錯視画像にインスピアされて、パラメータをマニュアルで変化させる事で可能性を大きく拡張した錯視インスタレーションである。全体は白黒の正方形が市松模様として整然と並んでいるが、その一部(あるパターンに従った位置)には、白黒反転の2個の小さな正方形が「目玉」のように並んでいる。この「目玉」がいることで、縦横の境界線は全て直線(市松模様)であるにも関わらず、中心部分が膨らんで「曲がって」見える、という印象的な錯視画像(驚きの度合いが非常に大きい)である。このMaxパッチのExampleとしての意義は、数理造形プログラミングの教材として有効な「スマートなアルゴリズム」のサンプルになっている(「目玉」の位置と種類についてテキストデータの配置マップファイルを別に持つて参考する)事である。インターラクティブに「目玉の大きさ」・「縁から目玉までの距離」を1ピクセルずつ増減することで、この錯視の持つユニークな特性(設定によって曲がり方の強さを違って感じる)を理解できる良好な心理学教材となった。展示形態案としては「パソコンの置かれたデスクで体験者がMaxパッチを切り替えて起動して体験する」である。



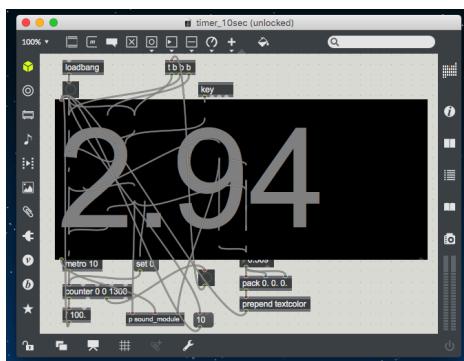
事例 "medama\_illusion" のスクリーンショット

### 3-1-3 「時間」に着目したアプローチ

第3のカテゴリは「時間」に着目したアプローチで、第2章2-1-2で考察した「リアルタイム性」の考察と関連して制作した事例である。最後の"JumpingGirl"だけ例外(一種のインスタレーション)であるが、その他は全て外部ハードウェアを伴わないMaxパッチ形態のシリアルゲームであり、インタラクションはマウスとキーボード操作である。「時間」そのものの考察(時間学)は本研究のメインテーマではないが、人間の「時間感覚」に注目してみると、そこには時間的錯覚や生体リズム(体内時計)や時間的な「意識」などの、本研究に重要な関係をもつ概念が多いことから、本研究においてもアプローチの1テーマとして注目した。

### 事例 "10秒カウント" - ★最終発表展示

Maxのプログラミング入門の最初に登場するのが、時間基準の「metro」(メトロノーム)オブジェクトである。基本的には「metroで時間をカウントする」という基本中の基本を洗練させて、本研究に通じる「気付きの楽しさ」まで発見できる世界に拡張するサンプルとなったMaxパッチである。ルールとしては、よくある「スペースキーを叩いたらスタート。心の中でちょうど10秒を数えたら、再びスペースキーを叩く。この時間差が規定の誤差内だったら成功」というゲームである。Maxでは「0.01秒ごとに刻々とカウントアップする数字」を表示するのはとても簡単であり、これを刻々と見ながらゴールに向けて心の中で9.7秒、9.8秒…と数えていけば簡単すぎて面白くない。



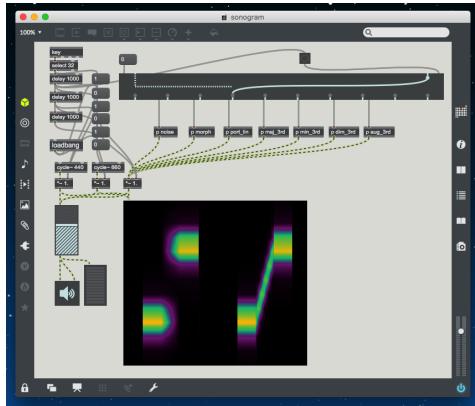
事例 "10秒カウント"のスクリーンショット(編集モード画面)

しかしこのパッチでは、スペースキーを叩くとスタートのピストル音とともにウインドウ一杯の大きな数字のストップウォッチが0.01秒ごとにカウントアップしていくが、3秒を過ぎるとじわじわと文字の表示が薄くなってしまい、遂に5秒あたりで完全に消えてしまう(→初めて体験した時の新鮮な驚き!)というのがポイントである。それまでの流れで心の中でカウントするが、この「消えている後半の5秒間」というのは予想外に長いことに驚かされる。たった10秒のカウントなのに、やってみると人間の時間感覚の曖昧さ、あるいは正確にカウントするための戦略(身体を揺すったり机をタップしたり)を考えることによって、「脳内の時間の儂さ」を再確認するという基礎心理学的な意義がある。MaxのCG機能さえ使わず、単に変数表示のフォント/色情報を変化させているだけ、というMaxプログラミングのオリジナルTemplate/Exampleとしても意義が大きい。展示形態案としては「パソコンの置かれたデスクで体験者がMaxパッチを切り替えて起動して体験する」である。

### 事例 "sonogram"

このMaxパッチは心理学関係の学会に発表参加した際に着想して、一つにはサウンドを可視化するツールである「スペクトログラム」・「ソノグラム」(spectroscope~)を実装するサンプルとして、さらに聴覚心理学における「音の移行」の知覚と時間との関係を可視化する、という目的で実験的に制作した。パッチ「sonogram.maxpat」を起動すると、音源としては純音(正弦波)を用いて、色々なパターンで最低音の「ド」から最高音(完全5度上)の「ソ」に、途中経過のサウンドを伴って移行する(その様子をソノグラムで確

認する)実験を行える。個々の実験のスタートはスペースキーで、バターンの切り替えは画面内のGswitch(graphical switch)で行う。「移行する」という「時間的変化の現象」を聴覚的なチャンネルから見直すことにつながっている。



事例 "sonogram" のスクリーンショット

### 事例 "Interactive Rhythm Game" - ★最終発表展示

2015年のバイオフィードバックセミナーを甲南女子大・辻下氏と開催した際の情報交換を受けて制作したMaxパッチである。紹介されたのは、認知症リハビリテーションのための「インターラクティブメトロノーム」という既存の高額なシステムであった。等間隔で提示される打楽器音に同期させてPCキーをタッピングして、両者の誤差が小さくなるようにトレーニングすることで、脳内の聴覚領域、時間処理の領域、身体動作の領域などを同時に活性化することで認知症予防や認知症リハビリに有効だという。

筆者はこの仕組みにインスピアされて、まず神戸から浜松までの帰途の新幹線内でそのシンプルな機構を同等に実現した。そして、単に画面内にタッピング時刻の誤差をバーグラフ表示していた味気ないインターフェース(あまり楽しくないトレーニング)の改良を目指した。最終的には、誤差の大きさに応じて応援したり怒ったり、という可愛い美少女(ゼミ学生がサクサクと10分ほどで描きあげた4種)の画面に変更したものを作成し、名前を変えた"Interactive Rhythm Game"とした。

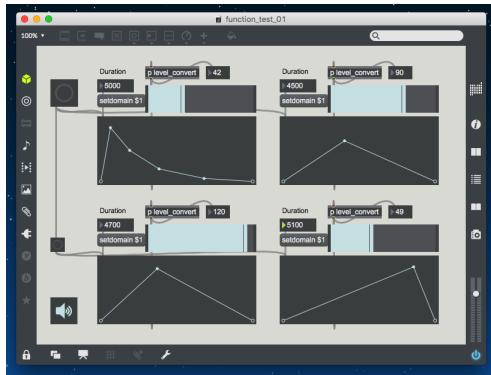
SUAC学生にテストさせてみた反応としては、内部のクロック音と自分のタッピング音との誤差が味気ないバーグラフで表示したものに比べて、おそらくアイドルおたくの熱意を理解できる人であれば、格段に改良されたという感想を持つだろう、など好意的意見があった。メディアアートと福祉領域とのコラボレーションにおいては、モチベーションに繋がる「絵」をデザイナが簡単に描けることで、このようなアプローチにも大きな意味がある。展示形態案としては「パソコンの置かれたデスクで体験者がMaxパッチを切り替えて起動して体験する」である。



事例 "Interactive Rhythm Game" のスクリーンショット

## 事例 "function\_test"

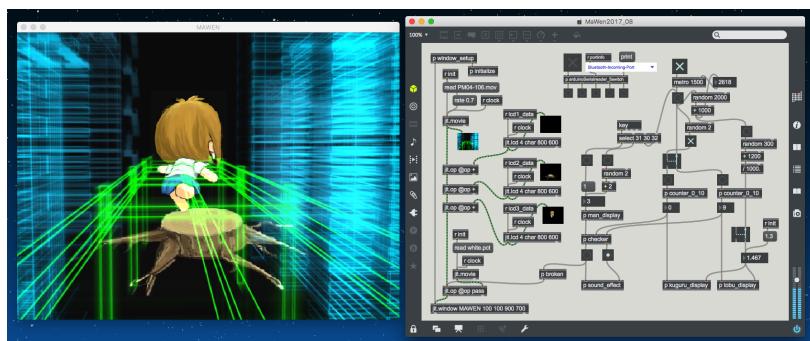
このMaxパッチは、キャラクター人形の中にRGBの3色LEDを多数配置して、そのそれぞれの点灯演出によって心理的表現をする物語インスタレーション作品を制作したい、というゼミ学生のMaxプログラミングを支援するために制作したオリジナルTemplate/Exampleである。通常の時間変化オブジェクト(metro, counter, slider等)でいちいち各LEDのそれぞれの色を制御するのではなく、パッチが雑多となるだけでなく、時間軸における相互関係や全体の同期について雑然として、とうてい「心理的表現」のような高度なアルゴリズム試行錯誤に適さない。そこで、「function」オブジェクトによって任意のグラフを描画しつつ、それぞれの「function」を同期関係をもってトリガする、という「多点多重・時間的演出」のためのアルゴリズムとした。これは今後も、時間的に推移するシステムのデザインにおいて広く活用されるTemplateである。



事例 "function\_test" のスクリーンショット

## 事例 "JumpingGirl" - ★最終発表展示

次節で紹介する、奈良学園大での「バイオフィードバックセミナー」(2018年3月)で紹介発表したインスタレーションが、院生・馬ブン(M1)と共同制作した認知症予防/リハビリのためのシステム「Jumping Girl」である。使用したハードウェアはもともと別作品のために制作した「5スイッチ・インターフェース」(Arduino2Maxを改訂)であり、ニーズとして高齢者の認知症リハビリに重要な「足」に着目した。アプローチのカテゴリとしては「触覚フィードバック」あるいは「マルチモーダル知覚」とも言えるが、ここでは時間的な視点を追求した部分にポイントを置いて紹介する。展示形態案としては、体験者の様子と大画面スクリーンの様子の両方を周囲の「第二の体験者」が見るというショーアクション的な面白さが大きいので、「体験者の体験する様子をプロジェクトで壁面投射する」である。



事例 "JumpingGirl" のスクリーンショット

Max/jitterでスクリーンに現れるのは、3次元的に風景がこちらに流れてくる(主人公の女の子の立場としてはランニングマシン上で前に走っている)ような環境で、遠近法で小さくなっている遠方から、2種類の障害物が道路上をこちらに向かってくるので、それを避け続ける、というよくある「逃げもの」ゲーム設定である。障害物は「鳥居」と「切り株」の2種で、遠近法の演算処理で3次元的に近づくにつれて大きくなるので、主人公の女の子は鳥居が近づいて来たらその直前に「しゃがみ込む」ことで避け、切り株が近づいて来たらその直前に「ジャンプする」ことで避ける必要がある。よくある設定で、カーソルキーの「↓」でしゃがみ、

「↑」でジャンプするのであれば、まさによくあるゲームで、すぐに飽きてしまう。しかしこのゲームは、工場現場で加工機を制御するための頑丈なFAフットスイッチ4個を、椅子に座った体験者の前に「ひし形」状に置く。つまり、両足を広げて「左右」のスイッチを同時に押した時だけ「しゃがみ込む」ことが出来て、両足で前後のスイッチを同時に押した時だけ「ジャンプする」ことが出来る。「左右」はほぼ1通りなのに対して、「前後」はどちらの足を前にしても一方を後ろにするかの瞬時判断が求められて、やってみるとこれが意外に混乱(→脳が活性化)する。ついハマリこむと汗だくになるほど、多くの体験者が楽しんでくれた。

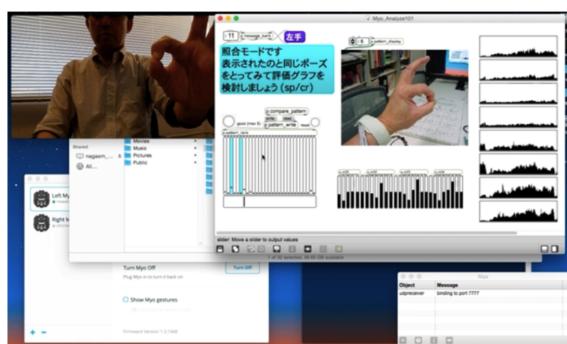
ここで「時間」に着目したアプローチとして重要なのは、「障害物が道路上をこちらに向かってくる」というアニメーションの工夫である。遠近法の3次元風景なので、当然ながら遠くて小さな障害物は次第に加速して指數関数的にこちらに近づいてくるが、その数学的特性を「敢えてランダムに変更」している。普通のゲームではこの加速特性が一定なので、慣れてしまえば「障害物を避ける」という動作はとても単純で簡単なもの(出現してからスイッチ操作までの時間が一定)になる。しかしこのMaxパッチ"JumpingGirl"では、不自然にジャンプ/ワープしたりする事はないものの、次第に近づいてくるその指數関数的「加速感」を変化させる。同じ所用時間で移動するという境界条件を保った上で、加速のための指數演算のパラメータをランダムに変動させて描画処理を行う。障害物が出現してから近づいてきてぶつかるまでの時間は実は同じなのに、その途中の加速感が変化(イメージとしては重力の異なる他の惑星に降り立った感じ)するので、かなり注意して身構えていても「早くジャンプし過ぎ」で落ちて衝突したり、「遅くしゃがんで」衝突したり…と、ゲームとしての難易度は相当に高くなつた。これによって「意外感とともに没入する」という効果を強調する成果を得られた。

### 3-1-4 内受容感覚に着目したアプローチ

第4のカテゴリは「内受容感覚に着目したアプローチ」で、第2章2-2-6で考察した「筋肉の内受容感覚と触覚/触感のウェルビーイング」を意識したタイプの事例である。ここに紹介した事例は、"Lissajous"だけは筋電認識システムを開発していくためのライブラリMaxパッチであるが、その他はいずれもMaxだけで閉じたものではなく、オリジナルのハードウェアとして「筋電センサ」や「触覚/触感センサ」などの生体インターフェースを伴った規模のシステム(インсталレーション/シリアルスゲーム)となっている。

#### 事例 "筋電ジェスチャ認識BFゲーム" - ★最終発表展示

第1章1-2-2のように、当初は第4世代の筋電センサ"MegaChips"から4チャンネル50バンド・リアルタイムFFTシステム(計200チャンネル)として実装していた筋電ジェスチャ認識(リアルタイム・パターン認識)実験システムが起点である。事前に記録した自分のジェスチャを「再現」しようとして、もぞもぞと掌から指までの筋肉をなんとなく微妙に緊張/弛緩を繰り返す試行錯誤の中で、バイオフィードバック結果が「ヒット」して正解ジェスチャ画像がぐんぐん画面内を上昇していく(再現された)時の「意外な嬉しさ」、というウェルビーイング状態を「広義のエンタテインメント」として発見した。



事例 "筋電ジェスチャ認識BFゲーム" のスクリーンショット(登録ポーズ照合)

そこで後に、2-1-3で紹介したMyo(片腕8チャンネル)にオリジナルの「リサジュー解析」(2-3-5)アルゴリズムを適用した、計28チャンネル筋電ジェスチャ認識システムのMaxパッチとして実装した。いずれにおいても共通の結果は、(1)万人に共通するジェスチャ(データ)は存在しない、(2)誰でも29種類のジェスチャの中から「再現性の良好な」ジェスチャが5種類以上ある(それらは他人とほとんど一致しない)、(3)「どうやってそうして/そうなっているのか詳細不明」なのに筋肉の無意識的な操作/リラックスの組み合わせから見事に希望ジェスチャを容易に選択して再現できる、というものだった。そして、この筋電BF再現の(無意識的な)一致の瞬間に感じる「新鮮で不思議な面白さ」を多くの被験者が報告した。

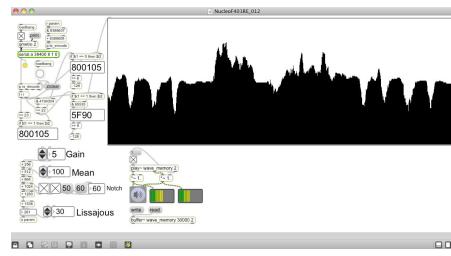


事例 ”筋電ジェスチャ認識BFゲーム”のスクリーンショット(ポーズ再現モード)

このシステム(インスタレーションとも言える)は、典型的な内受容感覚バイオフィードバックゲームになりうると確信しているが、短所もある。このシステムはいちいち、(1)体験者にセンサを装着してもらって、(2)29種類のジェスチャ画面を順に真似て比較用データを取得し、(3)再びジェスチャ画面を見て再現したデータを他データと比較して「再現性の良好なジェスチャを5種」選び出し、(4)最後にこの5種類のジェスチャを意識的に再現して競うゲームを体験する、という手続きが必要になる。一連の手続きがどうしても必要で時間がかかること、腕の細い被験者でほとんど筋肉のない人は有効なデータが取れなかった、という問題点の解決は今後の課題である。展示形態案としては筆者が補佐をして「パソコンの置かれたデスクで専用インターフェース(Myō)を装着した体験者が体験する」である。

## 事例 "Lissajous"

この実験的Maxパッチは元々、前章2-5-1で紹介した、最新のオリジナル筋電センサシステム「VPP-SUAC」のために制作したものである。XBee経由でのWiFi受信に続いて、オリジナル提唱した「リサジュー解析」のアルゴリズムでデータを抽出したり、これをサウンド化するための実験を行うためのサンプルパッチとなった。実際には当時のバージョンの「VPP-SUAC」(ホストはmbed NucleoF401RE)のファームウェアと、これに対応するMax側のプロトコルは完全には確定させていないので、いわば「ホスト側とリモート側とでプロトコルを決めつつシステムを開発する」という作業のテンプレート、としての意義がある。途中経過であるからこそ、サンプル(改良を待つ材料)としては面白い。



実験 ”Lissajous”のスクリーンショット

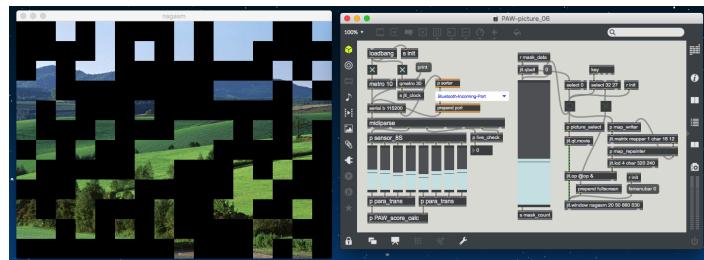
## 事例 "PAW-UzuPicture" - ★最終発表展示

前章2-5-2の汎用・触覚/触感センサシステム「PAW-double」を活用した、「癒し系」ゲームとして認知症予防効果を視野に入れたインスタレーション・パッチである。まず最初に、特定のBFゲームを想定せず「汎

用」を意識して試作した、グラフィック表示用の「ソフトウェア部品」としてのMaxパッチ"Uzu-Tool"を制作し、ここに生体センサとして「PAW-double」を適用して完成した。展示形態案としては「パソコンの置かれたデスクで専用インターフェース(PAW-double)を操作して体験者が体験する」である。

"Uzu-Tool"はクライアントからの連続量センシング生体情報が与えられることを想定して、パッチ内にはその連続値に相当するスライダーを置いてマウス操作できるようになっている。まずランダムに17種類のいずれかの「表示モード」が選ばれ、連続値スライダーの値に応じて、この各表示モードの順番に従って、用意された390枚の素材写真から選ばれた写真の上を真っ黒に塗りつぶしているセル(全体を横16分割×縦12分割したセル)が開いていくことで、次第に「その写真が何か」が分かってくる…というよくある「絵を当てるゲーム」の「見せる」機構である。17種類の「表示モード」は、「順番にラインが並ぶ(縦横×上下=4)」・「ラインがジグザグに連なる(縦横×上下=4)」・「右回りの渦状(中外×上下=4)」・「左回りの渦状(中外×上下=4)」というもので、あと17番目としてランダムにセルが開く。

「PAW-double」の2系統各4チャンネルの出力は、それぞれ「センサ出力の真ん中付近で4チャンネルがなるべく平坦になると出力値が急に大きくなるようなアルゴリズムとしてあり、両手で2個のPAWセンサを操作する場合には、両方のセンサを押す指先に「集中」する必要がある。イメージ的には、「一定の流量で流れ下っている川を遡る魚の推力」として出力値の積算データが作用するので、一瞬だけ出力値が良好では駄目で押し流されてしまう。出力値が連続的に出てくると、積算データが次第に大きくなって川の流れを上回り、そこから次第にスライダーが上昇して画面を隠しているセルが次々に開いて、その写真が見えてくる…というゲームである。ここで喜んで指先のバランスが崩れると途端に出力値が下がって、川の流れに負けてスライダーはゼロまで下がると「表示モード」の変更とともに素材写真がランダムに切り替わってしまう。



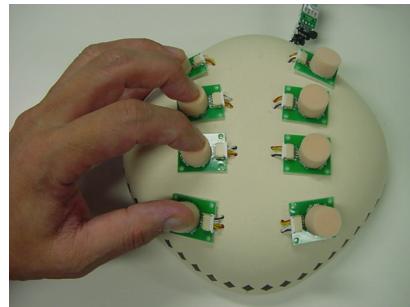
事例 "PAW-UzuPicture" のスクリーンショット

「両手の指先を同時に優しく」コントロールしていると、スライダーが面白いように上昇してセルが開いて写真が登場するので、この「ハマッた」感じの瞬間には、まさに筋肉調整の曖昧ゾーンから来る内受容感覚的な「やった」感がある。バイオフィードバックセミナーやリハビリ学科のオープンキャンパス来場高校生など多くの人々に体験してもらった感想として、インタラクティブなゲームとしての難易度はかなり高いと評価されている(判定値を変更すれば難易度を下げるのは容易)。何だか分からない写真が次第に開いていくのを当てるゲームというはある意味で認知症予防の王道であるが、この素材として使用する画像を、defaultのフリー風景素材から、クライアントの懐かしい写真(家族、友達、旅行…など)に差し替えることで、認知症リハビリなどに最適の「思い出が蘇る」(2-2-4)という機能を実現したいと考えている。

## 事例 "PAW-eight" - ★最終発表展示

PAWセンサを10個使った”MRTI2015”(2-3-5)において、両手の指先10本といつても現実には薬指と小指は個別に制御できなかった点に対応して開発したのが、新インターフェース”PAW-eight”であり、センサが8個と減ったもののダイソーのサラダボウル(108円)を曲面筐体としてmbetを内蔵し強度を上げたシステムとなった。”MRTI2015”から約2年後の開発であり、その間に認知症リハビリシステムなどの実験/検討で得られた知見を応用して、新楽器というよりも最初からバイオフィードバック・ウェルネスシステ

ムとしてのインターフェースに重点を置いた。互いに影響し合う薬指と小指については、小指は筐体を支えるため専用としてPAWセンサ操作の指から分離し、薬指の操作/感覚に集中する仕様とした。このシステムについても、制作するための技術情報は全てWebで公開している。



新触覚/触感インターフェース”PAW-eight”

2-2-6で紹介したように、8個のPAWセンサからの計32チャンネル・アナログ情報は小指を除く両手の8本指を対等な8チャンネル(各4パラメータ)と定義し、Open-GLによって描画される3次元空間内の立方体の8頂点に置かれた輝点(光源)から中心(重心)に向かう距離としてマッピングした。この8個の輝点を、全て中心にあるブラックホールの内部に収めるというバイオフィードバックゲームである。ただし各センサ毎の4チャンネル出力がアンバランスだと移動軸が逸れて中心に向かわず、指先にただ強く力を入れると反対側に通り過ぎるようにしてある。その結果、中間あたりの力加減のところで8本の指先を全て均等にリラックスしてバランスをとりつつ優しく押し込む、というタスクは相当に難易度が高い。高齢者の認知症リハビリには「指先を使う」というアプローチがあり、そのマルチメディア版としての実現を目指した。



事例 "PAW-eight" のスクリーンショット

この「PAW-eight」によるマルチメディア・バイオフィードバックシステムは、辻下氏と企画した「バイオフィードバックセミナー」の場で、さらに奈良学園大・リハビリテーション学科オープンキャンパスの場において、プロの療法士などの専門家から一般の参加者/高校生まで、多くの体験者に体験してもらった。いずれも最初は「恐々と」触り始めるものの、慣れてシステムの反応と触感の関係性が理解されてくると、プロアマ・年齢に関係なく嵌まり込んでくれて、困難さを訴える人もいれば素晴らしい上達する人もいた。ゲーム世代の若者(関係性を理解してマルチメディアを楽しむ)にはある意味で新鮮なインターフェースであったようで、短期間にマスターする高校生もいた。認知症予防や認知症リハビリなどの目標に対して、実際に脳からの随意筋チャンネルで行われる筋電/PAWコントロールに対するバイオフィードバックを実装する実験として、このような情動/感情からくる充実感が有効である、と試作機を体験した何人もの専門家から評価された。展示形態案としては、巨大なスクリーンを前にすると宇宙的な没入感がとても大きいので、「体験者の体験する様子をプロジェクタで壁面投射する」である。

### 3-1-5 触覚フィードバックに着目したアプローチ

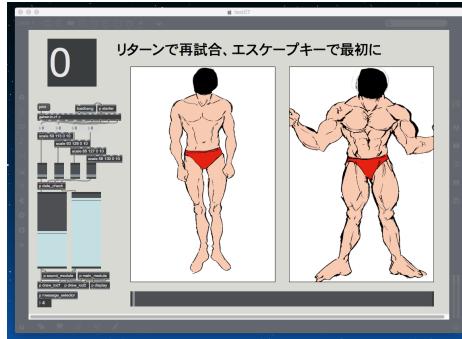
第5のカテゴリは「触覚フィードバックに着目したアプローチ」で、こちらも第2章2-2-6で考察した「筋肉の内受容感覚と触覚/触感のウェルビーイング」を意識したタイプの事例である。ここに紹介した事例は全て

Maxパッチとして閉じたものではなく、ハードウェアとして握力センサや触覚/触感センサや振動インターフェースなどのオリジナル生体インターフェースを伴った規模のシステム(一種のインスタレーション/シリアルゲーム)となっている。

## 事例 "筋肉体操"

課題として学生チームと共同制作したこのインスタレーション・パッチは、かつて院生が「ユニバーサルデザイン」課題のために利用した「握力センサ」(1-2-5)を、バイオフィードバックゲームのために再利用したものである。この「握力センサ」は、握力トレーニング用ハンドグリップの曲がり部分に小型ジョイスティックを取り付けた、握力(生体情報)センシングシステムである。過去の院生作品はMaxによって検出された握力を荒く量子化して音階に割り当て、童謡など簡単なメロディーを「演奏する」というもので、特定の音階を出すために「程よく」(優しく)握力をコントロールする具合を検出した。この部分は「内受容感覚に着目したアプローチ」という性格も持っている。

しかしこのセンサを活用(再利用)して制作したインスタレーション(ゲーム)「筋肉体操」は一転して、握力トレーニングのグリップを強く握ってピーク付近の設定値を超えるとようやく1ポイント進む、という構成であり、ゲーム開始から15秒以内にポイントを重ねてゴール出来ないとゲームオーバー、という仕組みなので、ひたすら何度もグリップの握りを繰り返すという、ピークを鍛える「ほぼ体育会系」の筋トレゲームとなった。ピーク状態をシステムが返す、という意味では一種の「触覚フィードバック」とも言える。



事例 "筋肉体操" のスクリーンショット

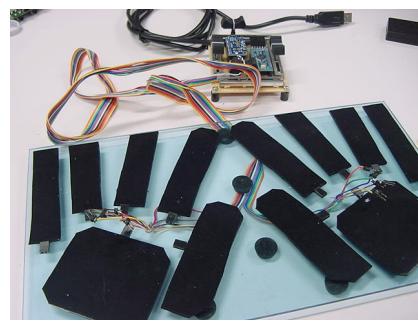
このパッチのポイントは2つあり、本研究において重要な位置を占めている。その第一は、コラボレータである学生の「絵心」の反映として、グリップを握るにつれて変化する画面内(勝負する左右2人のユーザに対応)の人体の「絵」が、最初のガリガリ君から次第に筋肉ムキムキの姿に膨れていく(ゲームオーバーだと骸骨に戻る)、という「絵の面白さ」である。そして第二に、ゲームの冒頭にjitterで2人の参加者の顔を撮影して、この表示されている肉体の顔部分を差し替える、という機能を追加してみると、エンタテインメントとしての魅力が大きく向上した点である。単純に筋力センシング結果が反映されるだけではバイオフィードバックとしての性格は弱いが、エンタテインメントとして自分がより入り込める(自分の分身という没入感)、という効果は今後のリハビリツール制作に繋がる参考例となった。一般にインスタレーションにおいては、(1)体験者としてその作品を操作している人、(2)その周囲で体験者の様子を眺めて自分もやってみたいと行列に並ぶ人、という2種類を考慮することが重要だが、後者が続出した意味でも収穫があった。

## 事例 "12音FM生成タッチパネル"

このインスタレーション・パッチは、「触感ゼロ」という特殊な(意外性)触覚フィードバックに着目したもので、対応するMaxパッチは"12\_rubber\_SW"である。元々は「Arduino2Max」を色々と実験・開発している中の改訂版として、通常は6チャンネルのA/D入力機能を持つArduinoが、外部にシリアル(I2C)通信の12チャンネルA/Dコンバータを持つことで、システムとして12チャンネル・アナログ入力まで拡張するために

制作した。インターフェース・ハードウェアとしては、透明アクリル板の上に、見るからによく分かる両手を模した10本の指と掌部分、計12チャンネルに相当する厚手の導電ゴムシートを配置して、ここに触れる人体の微弱な静電気をセンシングしている。

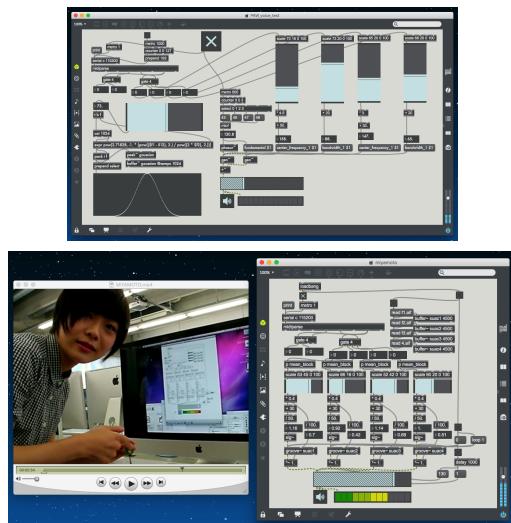
普通「スイッチ」というのは、ON/OFF操作と同時に「カチッ」という音がしたり接点の振動/衝撃が指先に返ってくることで良好なアフォーダンスとなるが、この「導電ゴム+静電気センシング」の場合には、しっとり・ひんやりしたゴムに触れるか触れないかという瞬間にスイッチ動作が完了しているので、あまりにもリアクションが無い、という逆方向の特殊な「ゼロ触覚フィードバック」を体感できる(→意外感が楽しい)。Maxパッチとして、生成するサウンドはFMサウンドのアルゴリズムを採用して、モジュレーションがゼロならサイン波(純音)、ここから歪んだ金属的音響までを自在に生成する。スイッチの持つストローク(ONからOFFまでの移動/沈み込みの距離)がゼロという触感は、ゴム電極のしっとり感とともに好評だった。



事例 "12音FM生成タッチパネル"

### 事例 "UniUni\_single" - ★最終発表展示

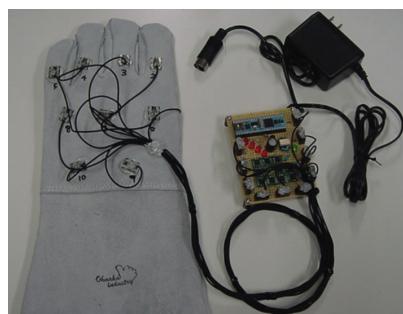
前章2-3-5で紹介した、触覚/触感センサ「PAWセンサ」を最初に使用して実験・制作した「PAWセンサ1個システム」の活用事例のインスタレーション試作である。もっとも最初の実験Maxパッチ"UniUni\_single"の目的は、mbedによる"PAWセンサ"のセンシング処理を確認することと、1個のPAWセンサから同時に得られる4パラメータの関係を体感として調べることだった。ここではフォルマント合成による人工的な「声」をシンプルな音階で自動生成するパッチを走らせて、そのフォルマント・パラメータにPAWセンサからの4パラメータをマッピングした。この最初の段階の実験システムは、非常にプリミティブながら、色々なインタラクションのアイデア(妄想)を喚起した。これが、同じハードウェアを使いつつMaxパッチを新たにプログラミングした4回生(宮本麻央)の「触り方でいろいろな声を出す」インスタレーション・パッチに結実した。展示形態案としては「パソコンの置かれたデスクで専用インターフェース(PAWセンサ1個システム)により体験者が体験する」である。



事例 "UniUni\_single"と宮本麻央作品のスクリーンショット

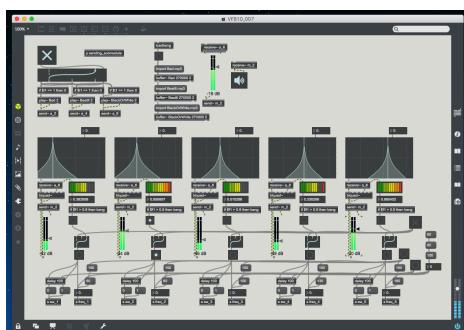
## 事例 "VFB10" - ★最終発表展示

第1章1-1で触れた、IAMASの三輪眞弘/赤松正行から依頼され開発した「電気刺激フィードバック装置」(コンピュータ制御で人体に複数チャンネルの電気刺激パルスを与える)と似た発想で、高精度振動インターフェース「VFB10」を開発した。このシステムデザインは具体的な作品コンセプトに向けた「ニーズ指向」(○○○を創りたい)でなく、「リニア振動アクチュエータ」(秋月電子: 80円)[+ブリッジドライバIC(100円)]というローコスト新技術に触発された「シーズ指向」(○○○を使って何か出来ないか)のデザイン例である。従来の回転モーター式(偏心ウエイトのアンバランス回転による振動)の振動デバイスと異なり、「リニア振動アクチュエータ」とはスプリングで保持されたウエイトの直線的な往復運動による振動デバイスである。回転モーター式振動デバイスがモーメント(惰性)のために振動の急激な開始/停止が困難なのに対して、(1)細かいタイミングでの急速なON/OFFが可能、(2)振動の位相(駆動方向)もバイポーラ(双方向)駆動制御により可能、(3)最適振動周波数(150Hz)の周辺で広範囲な振動帯域幅を持つ、(4)ディジタルパルス駆動なので振動周波数の設定を高精度に(小数点以下数桁[Hz]の精度まで)実現できる、など従来の振動デバイスにない特長を持っている。



高精度振動インターフェース「VFB10」

この高精度振動インターフェース「VFB10」は、耐熱手袋(連続動作させるとかなり発熱するため)の上に10個のリニア振動アクチュエータを配置して個別制御するものである。その予備実験中には、隣接する2つのリニア振動アクチュエータの駆動周波数をごく僅かだけずらす(ビートが発生する)ことで、「自然に空中に手が持ち上がっていくような運動錯覚」という現象を発見した。携帯電話のバイブ機能や携帯型ゲーム機のバイブ機能の歴史は長く、振動ディスプレイの可能性は多くの研究者も注目している。本研究の実験システムはまだ国内の大学やロシアでのワークショップで少数の学生に体験してもらったところであり、「新インターフェース」としての使い方は未知であるが、この振動錯覚現象については今後も追求ていきたい。



事例 "VFB10" のスクリーンショット

ここではそれと別に、かつて「電気刺激インターフェース」システムで思い至った「電気刺激で音を聞く可能性」に類する、「皮膚から音を聞く可能性」について正面から追求したMaxパッチ"VFB10"を紹介する。まず音源として、リズムとビートが明確なポピュラー音楽として、マイケルジャクソンの有名な曲を3曲(「Bad」「Beat It」「Black or White」)用意した。そして再生音響に5バンドの急峻なバンドパスフィルタをかけて、音楽音響を周波数帯域ごとに5つに分割した。そして、全部で10個あるリニア振動アクチュエータのうちの5個(親指から小指まで、それぞれの付け根付近と分離して知覚できる場所)に対して、上の5

つの音楽音響・周波数帯域ごとの音圧レベルに応じて、一定の閾値を超えたらトリガ出力するようにして、トリガがあれば対応したりニア振動アクチュエータを短時間、バースト状に振動させた。

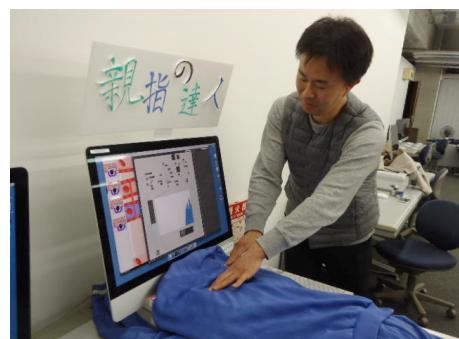
システムのパラメータとしては、「トリガが発生する閾値」、「バースト状に振動させる時間幅」などがあり、それぞれのニア振動アクチュエータは最大振幅の150Hzで駆動した。それぞれの対応(音楽と振動)の関係を理解できるように、バンドごとにサウンドの音量をコントロールしたり、特定のバンドだけ振動させたり、全体を一斉に振動させたり…という機能も盛り込んだ。これは複数の学会やワークショップで紹介したが、ほぼ大部分の体験者が、サウンドの成分と振動の位置との関係について理解して、まさに「皮膚から音を聞く可能性」を肯定的に賞賛したのは大きな成果となった。展示形態案としては「パソコンの置かれたデスクで専用インターフェース(VFB10)により体験者が体験する」である。

### 事例 "いたみん"

触覚/触感センサの汎用プラットフォーム"PAW-double"を活用しているので第7カテゴリにも属するが、ここでは「痛み」というテーマを重視してここで紹介する。SUACのMDW(メディアデザインワーク)2019「スケッチング」ワークショップで「Aグループ」(5人)が実質1日で実現したインスタレーションである。参加者に提供した"PAW-double"を活用して、子供が病院で「痛み」を表現するのが苦手な状況を改善するための「役立つ」インターフェースを目指した。"PAW-double"を柔らかいぬいぐるみに内蔵して、「体性痛」「神経痛」「ズキズキ」「ピリーッ」という4種類の「痛み」のイメージでぬいぐるみを握ると、その「触り方」をMaxパッチで簡易認識して4種類に分類する。それぞれの痛みに対応したアニメーション(学生が即興で描画/制作)がMaxから出現するとともに、メンバーの一人がサウンド制作の専門家だったので、痛みのイメージに合わせたサウンドもMaxから鳴らした。



事例 "いたみん"の動作例



事例 "親指の達人"の動作例

### 事例 "親指の達人"

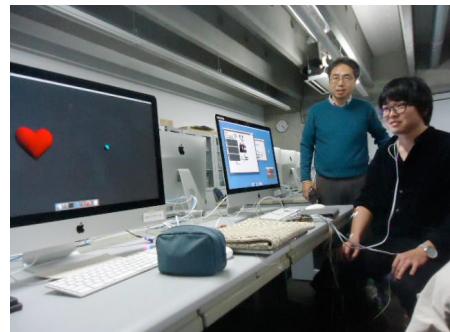
SUACのMDW2019「スケッチング」ワークショップで「Bグループ」(5人)が実質1日で実現したインスタレーションである。メンバーの一人が指圧療法の専門家だったので、そのプロの指圧の技を素人でも簡単に練習/習得できるようなトレーニングの「役立つ」ゲームを目指した。第1章1-2-6で紹介した「Wii-Fitバランスボードを分解してストレインゲージを取り出してArduinoと繋いだ体重センサ」を、指圧トレーニング用の簡易人体模型に仕込んで服を着せた。そして最初に、クラシック音楽(ワルツ)に合わせてプロの専門家が指圧する圧力パターンを「教師データ」として記録した。そして体験者が同じ音楽に合わせて指圧する圧力パターンのグラフを、専門家のグラフと一緒に刻々と表示して、その違いをリアルタイムに確認実感できるようにした。まさに触覚バイオフィードバックによる指圧トレーニングの可能性を提案できた。

### 事例 "腹八分目ベルト"

触覚フィードバックからは離れるが、同じSUACのMDW(メディアデザインウイーク)2019「スケッチング」ワークショップで「Cグループ」(5人)が実質1日で実現した生体情報計測インスタレーションの一つである。第1章1-2-3で紹介した「呼吸プレスセンサ」(腹部を上下3領域に分割して同時に計測してMaxに送る)を活用して、お腹が膨らんできたら通知して食べ過ぎを防ぐ、という動作を試作してみた。実際にメンバーの一人がデモンストレータとして呼吸プレスセンサを身体に装着して、コミカルなグラフィックとシンプルなサウンドで現実のアプリケーションのイメージを伝えた。



事例 "腹八分目ベルト" の動作例



事例 "疲れ知らせる君" の動作例

### 事例 "疲れ知らせる君"

SUACのMDW2019「スケッチング」ワークショップで同じ「Cグループ」が実質1日で実現したインスタレーションのもう一つである。参加者に提供した4チャンネル筋電センサ "VPP-SUAC"(2-5-2)を活用したもので、心拍と腕・肩の筋電情報をWiFi経由で取得して、そのパターンから「疲労」を通知することで「疲れを自覚」して、結果的に心身のウェルネスを実現したい、という目標を試作した。心臓付近の筋電情報の時間変化から心拍情報を得て画面内の心臓グラフィックが拍動し、腕・肩の筋電情報から「疲労度」イメージのグラフィックを生成した。実際にメンバーの一人がデモンストレータとして "VPP-SUAC" と筋電電極を身体に装着して、コミカルなグラフィックとシンプルなサウンドで現実のアプリケーションのイメージを伝えた。

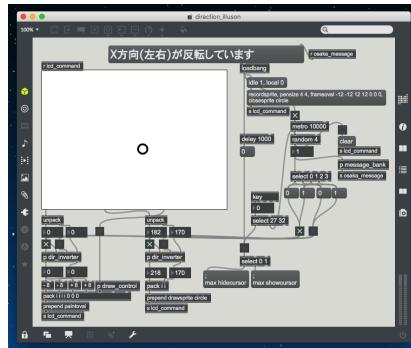
### 3-1-6 マルチモーダル知覚に着目したアプローチ

第6のカテゴリは「マルチモーダル知覚に着目したアプローチ」で、視覚・聴覚・触覚・身体感覚など複数の知覚チャンネルに同時に働きかけることを重視したシリアルゲームの事例である。ここに紹介した事例は、Maxパッチとして実現したものから、専用ハードウェアを伴った規模のシステムまで色々である。複数の感覚チャンネルの統合であるマルチモーダル知覚というのは、脳内の異なる領域での知覚認知の統合、という意味でかなり複雑なタスクとなるため、認知症予防や認知症リハビリにおける有効性が指摘されており、バイオフィードバック・リハビリテーションにおける重要なアプローチとなる。

### 事例 "direction\_illusion"

下條信輔の「サブリミナル・マインド」という文献中の「さかさ眼鏡」の心理学実験事例に触発された、というよりも書かれている内容を自分で追試したくて制作したMaxパッチである。グラフィック描画オブジェクト「lcd」に対してマウスで「お絵描き」するだけのシンプルなパッチだが、10秒ごとに「マウス座標への対応」処理がランダムに切り替わって、マウスの方向が反対になることもある。ただそれだけなのに意外にクラクラする感覚(視覚と運動感覚の絡んだマルチモーダル錯覚)を体験することができる。マウスのX座標とY座標のそれぞれにランダムで「マウスと同じ」か「マウスと逆」が設定されてこの情報は画面内にも表示されるが、いざ特定の方向が反対になってみると、単純なひらがな1文字すら描けないことに愕然とする。日常の当たり前というのは、経験的に慣れている方向感覚を前提としているが、これが当たり前でなくなった時の驚きを体験することは、「自分の無意識を改めて自覚する」という、知覚に対する意識に気付くチャン

スとしても大きな意義を感じた。このパッチ自体が、「マウス操作」・「描画」・「表示」などのTemplate/Exampleの重要な1項目となった。



事例 "direction\_illusion" のスクリーンショット

## 事例 "Dazed & Confused"

京都芸大博士展「INTERIM2015」で展示したインスタレーションで、内容としては上記

"direction\_illusion"の発想をより効果的に演出した。ユーザインターフェースはGainerを使ってゲームセンター用の大型ジョイスティック(先端に射撃用のボタンあり)を利用した。画面内の動画素材としてはメディアアートの世界で有名な「無限にズームする」"Zoomquilt"最初期のFlashをオマージュとして使用し、この無限ズームアウトの「消失点」を射撃すべきターゲットとした初期状態では、無限ズームアウト動画が水平方向・垂直方向のみのアフィン変換によって滑らかに「消失点」が移動していく、またジョイスティックで移動できる「照準」の十字記号は、普通にジョイスティックで移動できるので、これを合わせて射撃用ボタンを押せば、簡単に四角から流れるビームは的中する。

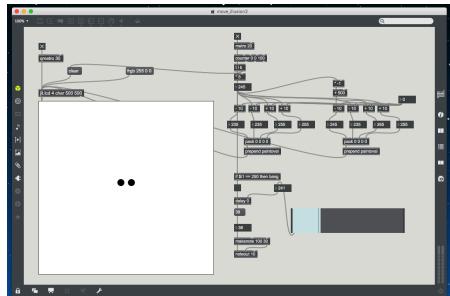
しかし的中して気持ちよい爆発音が響くと、次の瞬間から、(1)ジョイスティックの向きがランダムに切り替わって「照準」が思った位置に行かない、(2)無限ズームアウト動画の変形に「回転」が加わって気持ち悪くなる、という本番モードに突入する。この本番モードの気持ち悪い映像は「映像酔い」の心理学実験でも使ったという「札付き」である。知覚体験を過激に演出して、方向感覚の錯覚と映像酔いすれすれの同時体験を目指したインスタレーションであった。



事例 "Dazed & Confused" の展示風景(INTERIM2015)

## 事例 "move\_illusion2"

「時間に着目したアプローチ」のカテゴリにも属するが、ここでは視覚と聴覚の脳内での相互作用を重視した。基礎心理学の専門家が合宿形式で集う「知覚コロキウム」に参加した際に基調講演で紹介された「典型的な錯覚」というサンプルを、受講しながらカスタマイズして再現したMaxパッチである。正方形の白いスクリーンの右上から左下へ移動する黒い円と、同期してスクリーンの左上から右下へ移動する黒い円とが、刻々と重ねてアニメーションされている。パッチを見ればそれぞれの描画アルゴリズムは単純に座標をインクリメント/デクリメントしているだけなので、シンプルな等速直線運動の繰り返しである。



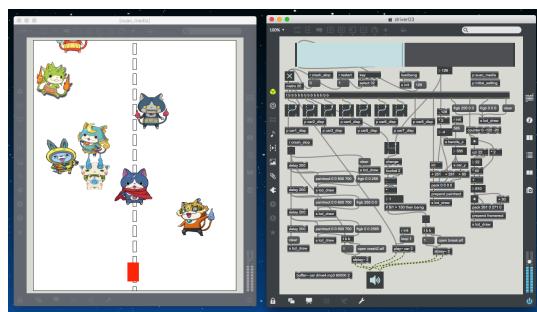
事例 "move\_illusion2" のスクリーンショット

このグラフィック描画と同時に、両方の黒い円がスクリーンの中心に到達した瞬間に、スネアドラム(打楽器)の音が鳴るようになっていて、さらにスライダーによって、その発音タイミングをミリ秒単位で遅らせることができるようにした。遅れがほぼゼロであると、眺めているうちに2つの黒い円は「衝突して弾んで折り返す」運動をしているように思えてくるのがマルチモーダル錯覚であり、衝突と同時に鳴る音が「通過」でなく「反射」と確信させる。いったん「反射」と意識すると、もう「反射」にしか見えなくなる。

スライダーによって、「スクリーン中に来た瞬間」から「ドラムが鳴る」までのタイミングの遅れ(時間差)を大きくしていくと、150msecから200msecあたりで何だか不自然になってきて、250msecを超えるともう「衝突」感がなくなって、「クロス通過する2つの円があり、その後で遅れて打楽器の音が聞こえる」という、マルチモーダルが分離した「別の事象」となる。誰でも思わず何度も繰り返してしまうこの面白さは、人間が自然界から学んだ物理的/数学的事象をどうマルチモーダル知覚しているのか、を考えさせる格好の材料である。さらに再生系メディアアートである映像作品を制作する学生にとって、「映像トラックとサウンドトラックとの時間差によってこれだけ印象が変わる」という重要な学教育的意義がある。

### 事例 "Drive\_Game"

学生Max課題のためのサンプルとして制作したものであり、最初からオリジナルTemplate/Exampleを目標としたMaxパッチである。しかしメディアアート的に料理してみると、視覚と聴覚の相互作用に関する大きな収穫があった。画面は縦方向に道路があり、ランダムに最大8種類の妨害キャラが選ばれて上から下に移動てくる。ユーザは画面下にあるクルマに見立てた長方形を左右に動かして「ぶつからないように逃げる」という典型的なアクションゲームのアルゴリズムExampleである。



事例 "Drive\_Game" のスクリーンショット

クルマが逃げるために、このMaxパッチでは画面上方の左右スライダーを操作するが、パッチを活用してインスタレーションとする場合には各種のセンサの入力をここに割り当てる。ピーク値を出すタイプでなく「微妙にコントロール」系のセンサが適しているので、PAWセンサなどのバイオフィードバック・ゲームのTemplateとして有効である。ポイントとしては、まずは画面中央にセンターラインとして単純に「切れ切れの長方形」を描画しているだけなのだが、上から降りてくるキャラと等速度にすると、まさに道路を進んでいく感じとなった。ここに合わせてエンジン音を加えてみると、マルチモーダル知覚の効用で、シンプルなのに十分な臨場感となった。そして左右移動の際にタイヤがきしむ音を加えてみると、ますますリアリティ(緊

張感)が向上し、これも被験者の学生に好評だった。知覚心理学を応用するとリアル感も「作り出せる」ものなのだ、という教材としての好例である。

## 事例 "Breath\_Record"

これは第1章1-2-3の「呼吸センシング」のところで紹介した、村尾忠廣教授の提唱する「逆腹式呼吸」理論の検証のための「3チャンネル・呼吸センシングシステム」(一種のインスタレーション)のMaxパッチ部分である。画像情報と音響情報と呼吸に関する情報との統合的処理を実現したシステムである。音楽心理学実験としては「逆腹式呼吸」理論の3チャンネルの両方向センシング・レコーダとして使用するが、このシステムのMax側の画面、つまり3チャンネルの腹囲の変化グラフの表示/記録、同時に歌唱音声のレコーディング/再生、カメラで実験中の被験者の様子を録画/分析という一体となったMaxの手法は、今後も生体情報センシングの領域で役立つTemplate/Example集の1つとなった。



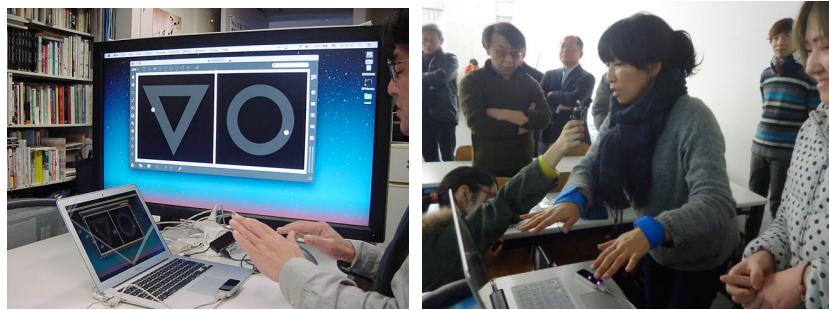
腹部を上下3領域の「呼吸プレスセンサ」をテストする帝塚山大学・村尾忠廣教授

なお、このMaxパッチにはさらに前身があり、京都工織大の小山恵美教授に依頼されて制作提供した、「筋電センサバンド"Myo"からの筋電情報を"ダブルMyo"を経由して取得し、2つのMyoそれぞれの9軸センサ情報と8チャンネル筋電情報を、被験者を撮影しているWebカメラの動画とともに、plain textデータとして刻々とロギングする」というパッチ"koyama"である。時間学会大会の会場での議論から小山教授に依頼されて、時間学的な実験のために使えるものとして制作した。これも心理学実験のデータロガーとしてMaxを活用するためのTemplate/Example集の1つである。これは後に、トヨタ中央研究所からの受託研究「自動運転車のための音楽生成システム」の研究において、トヨタ中研の実験車での記録データを筆者が浜松のSUACで解析するためのデータロガーにも発展した。

## 事例 "右手(ゆうしゅ)に円を書き左手(さしゅ)に方を画ぐ"

院生・馬ブン(M1)と共同制作したリハビリ・インスタレーション・パッチである。タイトルは中国(この院生は中国からの留学生で認知症の祖父がいる)の故事に由来する。認知症リハビリテーション/認知症予防トレーニングの有名なアプローチに「右手(左脳)と左手(右脳)で異なったことを同時に行う」というものがあり、このパッチではそのアイデアをシンプルに具現化した。物理的なアクションがセンサ(leap motion)自体には無い(空中で何も触らない)、という「儂さ」が逆に、うまく制御できないもどかしさを倍加させる。

Maxパッチ"BothHandsControl"によって、leap motionを設置した上空で、右手は画面に表示された円形の道路の中に右手センシングされた白丸を走らせ、左手は画面に表示された正方形や正三角形の道路の中に左手センシングされた白丸を走らせる(視覚的ダブルタスク)。道路から外れると警告サウンド(聴覚)とともにリニア振動アクチュエータ(VFB10の2チャンネルを差し替えて実装)の警告バイブレーション(触覚)が伝わってドキッとする。実際に体験してみると、この「右手と左手で異なったことを同時に行う」というのは健常者にとってもなかなかの難問であり、このタイプのインターラクティブシステムの色々な可能性を強く提示した。

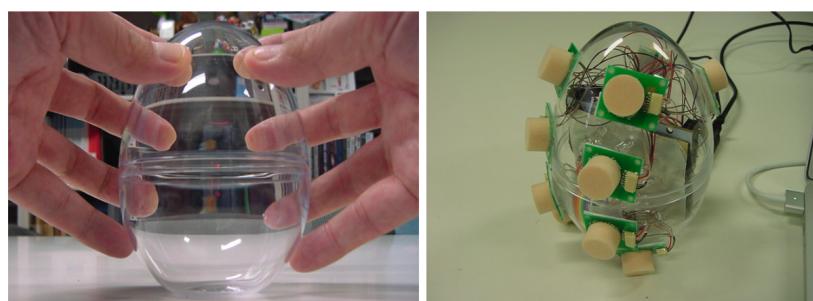


事例 "右手(ゆうしゅ)に円を画き左手(さしゅ)に方を画ぐ"の実演の様子

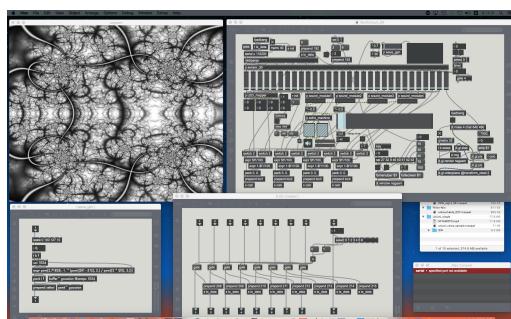
## 事例 "MRTI2015" - ★最終発表展示

前章2-3-5で紹介したシングルPAWセンサ実験機を学生に貸し出したのは、一転して「PAWセンサを使った新楽器」の開発に取り組んだからである。指が両手で10本あるとすれば、表現可能性として最大10個のPAWセンサを配置したい。ここから「操作子」としての楽器のフォルムについて考慮検討して、最終的にはプラスチック製の卵型の透明ケース(東急ハンズ)を採用した。透明ケース(内部のmbet基板と配線ジャンクルが圧巻)を採用したこと、パフォーマンス要素として「見せる」メリットとなり、センシング情報に対応して青色LEDを内部で点灯/点滅させるアイデアも加わった。NucleoF401REのアナログ入力チャンネル数の上限(32)から、10本の指の全てが4チャンネル計測でなく、互いに連携して独立に動きにくい薬指と小指はそれぞれ2チャンネル検出と減縮しているが、全ての指を使って卵型のケースを包み込むように操作するフォルムは、デモ体験展示に参加した内外の多くの人に高く評価された。

このPAWセンサ10個という新楽器を”MRTI2015”(Multi Rubbing Tactile Instrument)と名付けて関連情報を全てWeb公開したが、実際にはコンサートで作品公演した事がない楽器、という稀な事例である。PAWセンサの操作とリアルタイム画像生成/音響生成との関係、すなわちバイオフィードバック(可視化可聴化)試作Maxパッチ”MRTI2015”では、生成するサウンドにはフルマント合成をベースにアレンジした音声生成アルゴリズムを用い、人間の声というよりは猫の鳴き声のようなサウンドを微妙な表情変化とともに生成した。さらにCycling'74が提供する膨大な「jitter examples」の中から発掘した美しいフラクタル描画アルゴリズムを改良してライブ・パラメータ制御化して、センサ出力に対応したリアルタイム・フラクタルCGによるグラフィック生成を組み合わせた。



新楽器”MRTI2015”(Multi Rubbing Tactile Instrument)



事例 ”MRTI2015”のスクリーンショット

直接的には生成されるライブサウンド/グラフィックとの関係性が明確でないにも関わらず、この試作システムのデモンストレーションは想像を超えて非常に好評で、デザインの専門家が集う米国での国際会議 Sketching2015や、シンガポールでの国際会議SI15の併設サイエンスミュージアム一般公開展示の際には、大人も子供のように目を輝かせて無邪気に不思議な「触感と音響とビジュアル」の関係を楽しんでいたのが印象的だった。この楽器は、2015~2018年の計5回8カ国の海外ツアーでのデモンストレーション(USA/Singapore/Australia/France/Holland/Spain/Russia/Poland)において活躍してきた。本研究に通ずる「癒し楽器」・「癒しインスタレーション」という可能性としては、インターフェース「MRTI2015」はそのままで、生成されるサウンドとグラフィクス、というマルチメディア情報をバイオフィードバックとして今後さらに改訂/創作して、ウェルネス・エンタテインメントのシステムに生まれ変わる可能性を感じている。展示形態案としては、シンガポールのScience Museumでも壁面投射の没入感がとても好評だったので、「体験者の体験する様子をプロジェクトで壁面投射する」である。



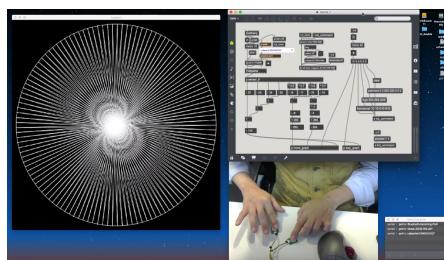
事例 "MRTI2015"を楽しむ専門家たち

### 3-1-7 汎用プラットフォーム"PAW-double"事例集

第7のカテゴリは、本研究の一つの成果の柱として、「癒し系」インスタレーションを生み出すための共通/汎用プラットフォームとして発表/公開した"PAW-edoubl"(2-5-2)の事例である。公開サイトで回路図など全ての技術情報やソースコード、さらに書き込むだけの完成ファームウェア・バイナリイメージを公開し、個々の部品をネット購入して誰でも出来る「作り方」「最初の使い方」までを詳細に解説して、ウェルネス・エンタテインメント・デザインのプラットフォームとしての普及を目指している。ここでは"PAW-double"を共通ハードウェア・インターフェースとして、色々なマルチモーダル(視覚+聴覚+触覚)な実験/試作システム(インスタレーション/シリアルスゲーム)がMaxパッチとして生まれてきているので、最終発表展示を交えてその事例の全体を紹介する。なお、事例"PAW-UzuPicture"(3-1-4)も"PAW-double"を使っていてこの第7カテゴリにも含まれており、最終発表展示において紹介する。

#### 事例 "PAW\_moire\_1" - ★最終発表展示

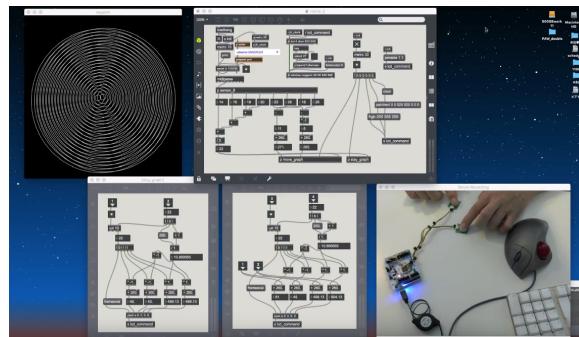
このMaxパッチは、画像をずらして重ねるのでなく、数理造形的にプログラミングによって描画した图形(中心から多数の半径が等角度で放射状に出る)の中心位置をずらして重ねるモアレMaxパッチである。移動しない元画像に対して、"PAW-double"の2個のPAWセンサのうち1個で半径の個数を、もう1個で中心位置の移動(xとy)をコントロールした。非常にシンプルなMaxパッチなのに、生成されるグラフィックは非常に美しく、"PAW-double"のためのTemplate/Example集の第1号となった。展示形態案としては「パソコンの置かれたデスクで専用インターフェース(PAW-double)により体験者が体験する」である。



事例 "PAW\_moire\_1"の動作例

## 事例 "PAW\_moire\_2" - ★最終発表展示

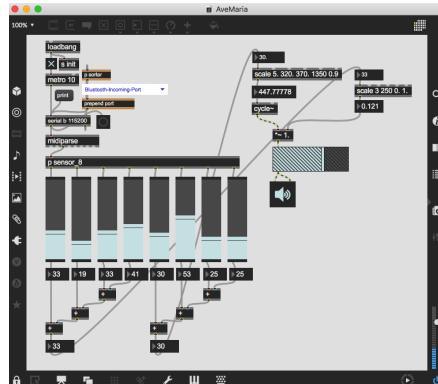
このMaxパッチは、"PAW\_moire\_1"に続くpart2であり、よくある数理造形的に描画した図形(多数の同心円)の中心位置をずらして重ねるモアレMaxパッチである。こちらも移動しない元画像に対して、"PAW-double"の2個のPAWセンサのうち1個で同心円の層数を、もう1個で中心位置の移動(xとy)をコントロールした。このモアレ画像も有名なものであり、"PAW-double"のためのTemplate/Example集の第2号となつた。展示形態案としては「パソコンの置かれたデスクで専用インターフェース(PAW-double)により体験者が体験する」である。



事例 "PAW\_moire\_2" の動作例

## 事例 "AveMaria"

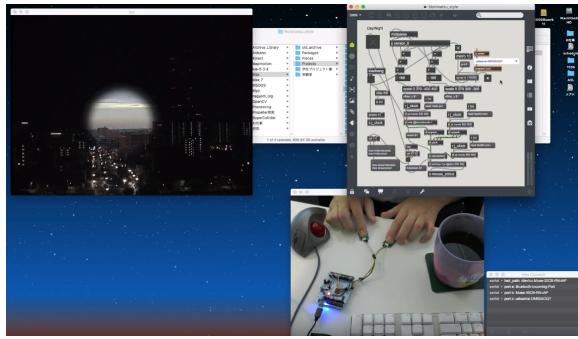
このMaxパッチは、新しいセンサ/インターフェースを実験した際にはほぼ必ず試作している、「テルミン風の操作実験」のためのMaxパッチである。バッハの名曲"Ave Maria"のピアノ伴奏(mp3)とともに、センサから取得した連続値をサイン波のピッチにマッピングして、元々は声楽曲であるこの曲をテルミンのようにデモ演奏してみる…という目的がある。PAWセンサ版のこのパッチを試してみた印象としては、他の連続量センサに比べて制御性/再現性がやや乏しいので、音楽演奏用としてはあまり適していない、という感想を持っている。適していないサンプルもまた、適したセンサとの比較に必要であり、この試作Maxパッチの存在意義は大きい。



事例 "AveMaria" の動作例

## 事例 "Norimatsu\_style"

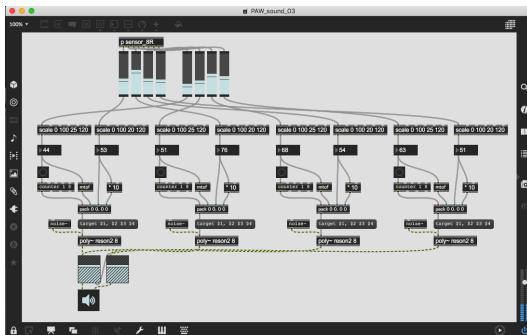
このMaxパッチは、SUAC卒業生(乗松遼)が制作していたインタラクティブ・インсталレーションを"PAW-double"版として改造したものである。街の風景を固定カメラで数時間撮影して2分ほどに高速化した動画が2種類、同一場所の映像として「昼」と「夜」がある。この2つの動画を重ねて、マウスカーソルの位置を中心にある大きさの「穴」(縁の部分はグラデーション)が開いていて動かせて、例えば「昼」の風景だと穴の部分だけ夜、「夜」の風景だと穴の部分だけ昼になっている、というアイデアである。このマウスを2個のPAWセンサからのセンシングデータに置換したものであり、曖昧な出力が得られるPAWセンサを生かしたコントロールのサンプルとして成功した。



事例 "Norimatsu\_style" の動作例

### 事例 "PAW\_sound" - ★最終発表展示

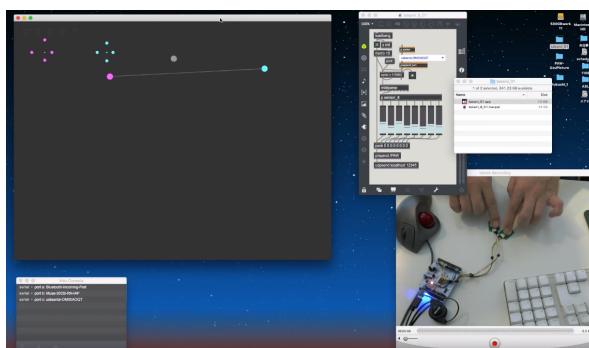
このMaxパッチは、完成パッチというよりも「ソフト部品」として、"PAW-double"の2個のPAWセンサからのセンシングデータを受けて、「なんらかのサウンド」を生成するモジュールとして開発した。試作として3種類が出来ていて、(1)たくさんの純音がピヨピヨと鳴って鳴る、(2)たくさんのFMサウンドで歪んだ迫力があり残響も加わる、(3)ノイズにレゾナンスフィルタをかけた多数のサウンド群、というものである。今後もサウンド生成・マッピングのためのTemplate/Exampleという意味で拡充していく予定である。展示形態案としては「パソコンの置かれたデスクで専用インターフェース(PAW-double)により体験者が体験する」である。



事例 "PAW\_sound" の動作例

### 事例 "Takami\_style"

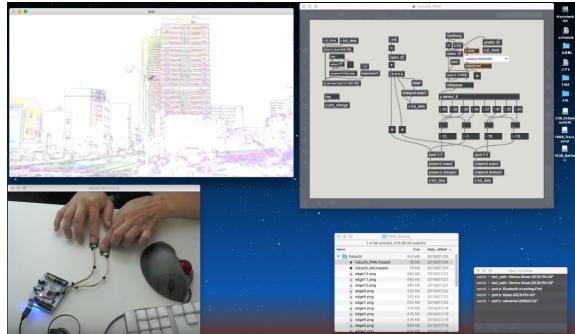
このMaxパッチは、高見安紗美(IAMAS→SUACスタッフ)がopenFrameworksとMaxとを合体させて制作したサンプル、として参考になる事例である。ゲームとしては2個のPAWセンサによってそれぞれ画面内の2個のボールを移動させ、その2個のボールの間に張られた「糸」によって弾かれる…というようなものである。切り分けとして、「2個のPAWセンサからのセンシングデータを受けてOSCで送る」というMaxパッチと、「OSCを受けてインタラクティブ・グラフィックを表示するXcodeプログラム」とにスッキリと分離しているので、新しい環境と共に存するTemplate/Exampleとなった。



事例 "Takami\_style" の動作例

## 事例 "2018\_Fukuchi"

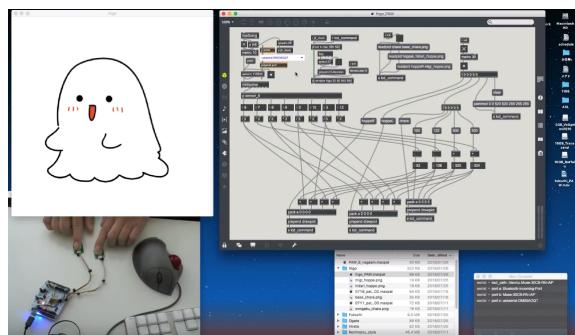
このMaxパッチは、専門科目「音楽情報科学」の課題「"PAW-double"を使って何かしよう」のために、福地未来(3回生)と共に制作したインスタレーションである。内部的にいくつかのモードがあり、モード(1)とモード(2)では、多数の円からなるモアレ図形(偏心と同心円)を3重に重ねて、そのうち2面をそれぞれのPAWセンサからのデータで移動させる、というものである。さらにモード(3)からモード(6)は、街中の風景画像(静止画)をエッジ強調した2値化画像を素材として、同様に3重に重ねて、そのうち2面をそれぞれのPAWセンサからのデータで移動させる、というもので、暑い夏に熱中症でふらついた視界のような不思議な体験を生み出した。一般にモアレは「2重」であったが、「3重」にして2面を動かす、というアイデアの勝利である。



事例 "2018\_Fukuchi"の動作例

## 事例 "2018\_Higo"

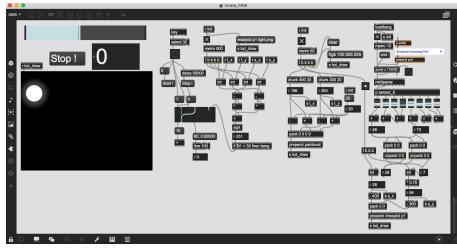
このMaxパッチは、課題「"PAW-double"を使って何かしよう」のために、肥後朱里(3回生)と共に制作したインスタレーションである。アザラシ型の癒し系ロボット「パロ」をバーチャルにイメージして、可愛い動物キャラの大きさ/縦横比と位置をそれぞれPAWセンサで微妙につついて変形させる「癒し系」ソフトとした。デザイナの卵であるデザイン系学生は、このような可愛いキャラをサクサクと描いてしまうので、プラットフォームとしてこのようなMaxパッチを共通の"PAW-double"に適用すると、いくらでも簡単に同様のものが品揃えできそうである。「パロ」は数十万円と高額なのに対して、こちらは数千円で「癒し系」(→ウェルネス)を目指したものである。



事例 "2018\_Higo"の動作例

## 事例 "2018\_Hirata"

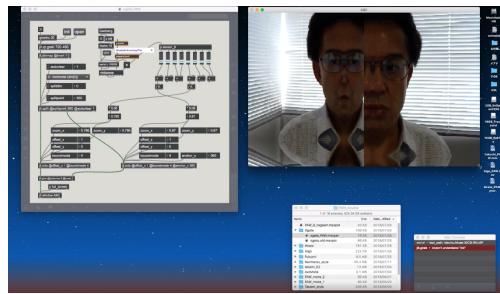
このMaxパッチは、課題「"PAW-double"を使って何かしよう」のために、平田幸希(3回生)と共に制作したインスタレーションである。上述の"Norimatsu\_style"のアイデアと似ており、2個のPAWセンサで動かす「穴」の向こうに隠れているランダム醉歩の移動物体を捉えてスコアを稼ぐシューティングゲームを目指した。動画版の"Norimatsu\_style"と違って静止画像を移動させる処理はかなり軽くなったが、「穴からターゲットが0.5秒見えたらスコアをカウントアップ」という精緻な設定だと、マウスやジョイスティックなどに比べて「正確俊敏なコントロールが苦手」というPAWセンサでは、なかなか上達しにくい(それが逆に面白いかどうかは微妙で意見が分かれる)という教訓を発見できた。



事例 "2018\_Hirata"の動作例

### 事例 "2018\_Ogata"

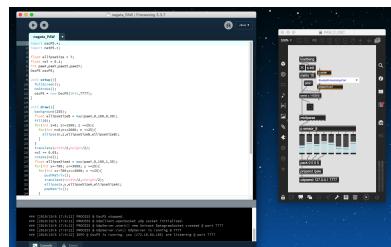
このMaxパッチは、課題「"PAW-double"」を使って何かしようのために、尾方航(3回生)と共に制作したインスタレーションである。Webカメラに映った自分の顔画像を左右半分にカットして、それぞれを拡大縮小/移動させる操作をPAWセンサで調整し画面中央に正しく貼り合わせることを目指す「福笑い」ゲームとなっている。これは参考に提供した筆者のMaxパッチ"自撮り鏡"(3-1-1)を研究してその一部をアレンジして制作したもので、この「先行Maxパッチを解析して美味しいところをコピペで自分のパッチにいただく」というオープンソース文化はMaxの歴史とともに推奨されている。デモを見ると必ず笑いが起きて、次には体験希望者が待機してくる、というインスタレーション・パッチの成功例となった。



事例 "2018\_Ogata"の動作例

### 事例 "2018\_nagata"

このMaxパッチは、課題「"PAW-double"」を使って何かしようのために、永田雅人(4回生)と共に制作したインスタレーションである。メインはMaxではなくProcessingであり、OSC経由で"PAW-double"とを融合したアプローチとして上述の"Takeami\_style"と同じアプローチをとった。つまり、「2個のPAWセンサからのセンシングデータを受けてOSCで送る」という橋渡しのMaxパッチと、「錯視の理論で有名な等間隔パターンの回転プログラムの変形パラメータをOSCから受けて表示するProcessingスケッチ」とにスッキリと分離しているので、こちらも新しい環境と共存させるTemplate/Exampleとなった。

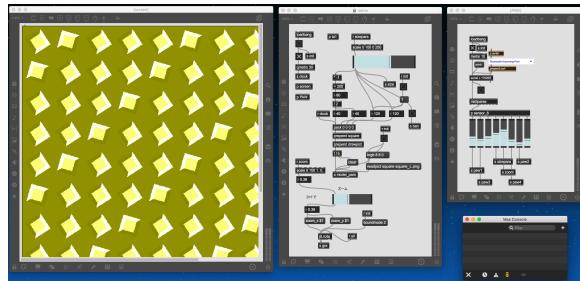


事例 "2018\_nagata"の動作例

### 事例 "2019\_Inoue"

このMaxパッチは、課題「"PAW-double"」を使って何かしよう+「インタラクティブな錯視体験」のために、井上聖菜(3回生)と共に制作したインスタレーションである。よく知られている「影のある板状の正方形が一定のルールで回転配置され多数並んだ画像」の一例として「建築道楽」という展覧会のポスターを発掘ってきて、これを静止画でなく多数のパラメータを動的に可変にして、さらにそのパラメータ制御をMaxの

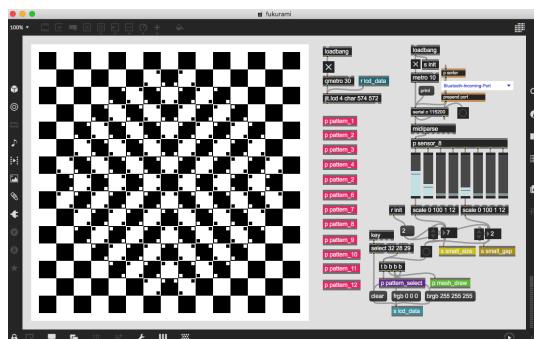
標準的なスライダー等でなく、"PAW-double"でうにうにと制御できるようにした。当初は多数のjitterオブジェクトが並んで非常に「重い」パッチとなっていたものを、最大限に減量して完成した。



事例 "2019\_Inoue" の動作例

### 事例 "2019\_Oohata"

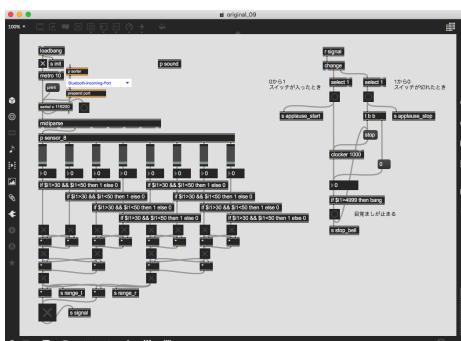
このMaxパッチは、課題「"PAW-double"を使って何かしよう」+「インタラクティブな錯視体験」のために、大畠美那子(3回生)と共に制作したインスタレーションである。筆者の制作した"medama\_illusion"(3-1-2)のMaxパッチを理解した上で、パラメータを"PAW-double"で制御できるようにしたものである。普通にPCのキーボードとかマウス/トラックボールでMaxのスライダーを制御するのに比べて、"PAW-double"版ではより自分で「操作している」という印象が強くなることを確認した。



事例 "2019\_Oohata" の動作例

### 事例 "2019\_Mochida"

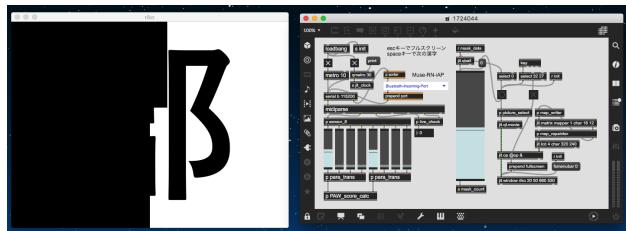
このMaxパッチは、課題「"PAW-double"を使って何かしよう」のために、持田侑菜(3回生)と共に制作したインスタレーションである。実際の造形まで制作する余裕はなかったが、制作ターゲット「目覚まし時計」のコンセプトは「鳴っているベルをなかなか消せない」というものであり、"PAW-double"の微妙なコントロールという特長の活用を目指した。すなわち、起床時刻となって目覚まし時計が鳴ったときに、普通はSTOPボタンを押せば簡単に鳴り止んでしまう(→二度寝)のに対して、この目覚まし時計の上部にある2つのPAWセンサを、「両方ともに中くらいの同じレベルで押して5秒間、保持する」という条件にならないと鳴り止まない、というイジワルな設定(これをするには完全に目覚める必要がある)を試作できた。



事例 "2019\_Mochida" の動作例

## 事例 "2019\_Sagesaka"

このMaxパッチは、課題「"PAW-double"を使って何かしよう」のために、提坂理子(3回生)と共に制作したインスタレーションである。筆者の制作した事例"PAW-UzuPicture"(3-1-4)のMaxパッチを理解した上で、「懐かしい写真が出てくる」というコンセプトを「部首から次第に見えてくる漢字を当てるゲーム」へと改訂した。詳細に調査して100個の漢字を選び、それぞれ「紛らわしい」見え方(例えば「鰯」と「鮒」と「鯖」と「鮎」と「鯨」と「鮫」…などは左から「へん」が見えただけでは確定せず回答できない)になるようにプログラムを改良した。文字ゲームとして十分に教育ツールの可能性もある事例である。



事例 "2019\_Sagesaka"の動作例

## 事例 "2019\_Sakuragi"

このMaxパッチは、課題「"PAW-double"を使って何かしよう」のために、桜木葉月(3回生)と共に制作したインスタレーションである。Maxプログラミングの初級編でよくある「逃げもの」ゲーム(醉歩ランダムで動く敵キャラに触れないように逃げる)であるが、通常はマウス/トラックボールで正確にコントロール出来るのに対して、"PAW-double"を使うと指先へのアクションはあるものの、思ったように自分のキャラを動かせない微妙さが逆に面白い感じに仕上がった。



事例 "2019\_Sakuragi"の動作例

## 3-2 社会への提案事例

ここでは、前節までの本研究の成果としての事例解説/報告に続いて、「社会への提案事例」(現場の専門家を交えた検討評価と考察)としてスケッチングに関するワークショップ等での事例報告、専門家を対象とした「バイオフィードバックセミナー」での事例報告や、海外での発表/評価/議論などの事例報告、国内での提案事例、というカテゴリに分けて、それぞれ博士後期課程入学の2014年から本審査の2019年までの時系列順に紹介していく。

なお本研究では、人体実験の倫理指針ガイドラインや専門性が必要な医療行為に配慮して、現場の「クライアント」(病院の患者や介護施設の入居者)に直接タッチすることは敢えて避けてきた。そこで、実際に現場でクライアントと接しているバイオフィードバックセミナー参加者などの意見交換・議論が「現場との架け橋」となってきた。現場の専門家ならではの意見やリクエストが得られたのは「ウェルネス・エンタテインメント」を目指すために非常に重要な材料となった。将来的にはこれら施設に立ち入って実験・検証していくコラボレーションも求めていきたいが、本研究においては準備等にかかる時間的制約もあり、その「入り口」までとして深入りしない方針をとった。

### 3-2-1 ワークショップ等

#### 事例 ワークショップ「電子工作: ハンダ付けの秘伝公開」

(京都精華大学) 2014年5月19日

同じメディアアート(Computer Music)の領域で活動する落晃子(京都精華大学 准教授)に招かれて、2014年5月19日に同氏が主催する「ミンミンゼミ」の特別講義として開催した。同氏とのコラボレーションは10年以上にわたっていて、Arduinoとセンサを用いたパフォーマンスの実現法を伝授してきた結果、テクノロジーと疎遠だった彼女が逞しくハンダ付けするまでになっていた。ワークショップではまず「スケッチング」の先端潮流とオープンソース文化についてレクチャーした。続いて、電子工作の勘所、ハンダ付けの極意、ArduinoをMaxと組み合わせるテクニック(2-4-3)などを伝授し、出席した院生・学生・助手・教員に対してスケッチング文化を紹介するとともに実践的な議論を行った。時間の関係でハンズオン(参加者がその場で何か作る)という形式でなく、筆者が実例を見せつつ詳細なデモンストレーションを数多く提示した。



事例「京都精華大学ワークショップ」の風景

#### 事例 ワークショップ「電子工作入門」

(京都市立芸術大学) 2014年6月12/23日

博士課程で浜松から通学することになった、京都市立芸術大学 美術学部 構想設計専攻の学生を対象とした特別講義として、2014年6月12日・6月23日の2回、ワークショップを行った。内容としては電子工作の勘所、ハンダ付けの極意、LittleBitSynthによる実演、Maxによるインタラクティブな作品のテクニックなどを伝えて、実際に体験する場とした。1日目には電子工作のポイントと実際に学生作品での応用例の紹介、そして電子工作キットでのトレーニング法を伝えるとともに実際にハンダ付けなどを全員で体験した。2日目は「物理コンピューティング(スケッチング)入門」というテーマで、具体的に高度なシステムを実現するためのポイントをデモとともに整理紹介する講演形式となった。



事例「京都市立芸術大学ワークショップ」の風景

## 事例「スケッチング」ワークショップ(SUAC) 2014年11月23-24日

筆者は2001年から2010年までSUACで「メディアアートフェスティバル」をオーガナイズして、付帯イベントとしてスケッチング・ワークショップも何度か開催してきたが、10年の節目でこのイベントは終了した。続いて2013年からSUACで毎年開催するようになった「メディアデザインウイーク」は、基本的に「学生作品の展示」・「特別講師を招いてのレクチャー(講演会)」をメインとしたが、筆者は毎回、ここに付帯した「物理コンピューティング(スケッチング)」テーマのワークショップを開催している。筆者に加えて複数の講師を招き、事前登録した参加者はグループに分かれて2日間で何らかの「作品」を実現してしまう、というハンズオン・ワークショップである。Webで一般に参加案内を広報して、SUACだけでなく他大学の学生・院生・教員、さらにSUACの地元・浜松の近郊から、ヤマハ・ローランド・カワイ・浜松ホトニクスなどのエンジニアも参加して交流するユニークなイベントである。

この2014年11月23-24日のワークショップは2015年2月に開催する「メディアデザインウイーク2015」のサテライトイベントとして例外的に前年11月の開催となったが、講師に筑波大の金箱淳一と京都精華大のRAKASU PROJECT.(落晃子)を招いて、筆者を加えた3チームでそれぞれインスタレーションの実現にチャレンジした。冒頭の講演セッションでは「スケッチングとは? SUACの事例紹介など」(長嶋)・「音楽演奏における自作ミニ楽器の活用事例、主に日本の伝統楽器とのコラボについて」(落)・「共遊楽器:聴覚障害者と健常者が共に楽しめる楽器の研究開発」(金箱)があり、さらに金箱氏が提唱している「クラップ・ライト・ドローイング」(叩くと光るおもちゃ)のワークショップとして、参加者が全員この簡単な装置を実際に制作し、SUAC構内の巨大な暗黒空間で一緒に光らせる体験を行った。その後、筆者と落氏のComputer Musicライブがあって1日目が終了した。



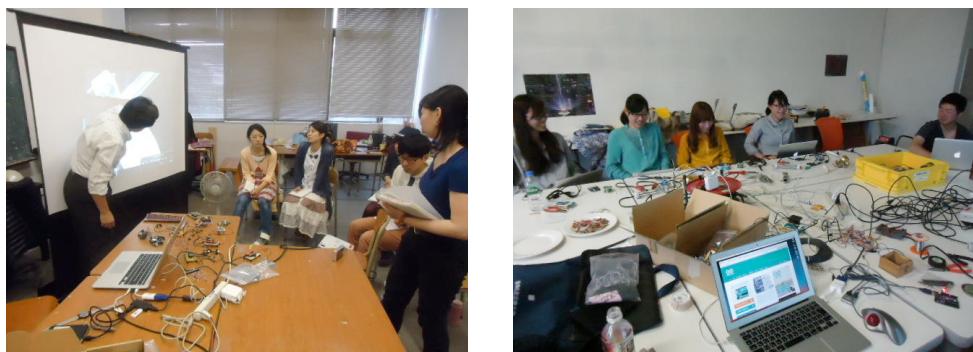
事例「SUACスケッチングワークショップ2014」の風景

2日目には4人ずつ3チームに分かれて(3人の講師はそれぞれ各チームを支援)、まる1日でそれぞれ何らかの「作品」の実現に挑戦した。Aチームは多数の加速度センサからMaxでサウンド生成するシステムで、「電車内で色々な動きをする人々の風景」を表現するインスタレーション/パフォーマンス作品を作り上げた。Bチームはメンバーの一人(筑波大博士課程)の作品試作を目指して、「色々な人の衣服を挟むとその色に応じたサウンドが鳴るクリップ」というインスタレーションを作り上げた。Cチームは第1章1-2-6の「重心移動センシング」で紹介したように、インスタレーション作品「マイケルジャクソンになる!」(MJがステージで斜めに傾くパフォーマンスの角度をより強調して表示する不思議な錯覚効果)の重心移動検出を行った。それぞれのチームの成果はYouTube動画として、ワークショップの記録ページからリンクされ公開されていて、少しずつ視聴カウントが伸び続けている。

## 事例 Arduinoワークショップ(京都市立芸術大学) 2015年6月11-12日

前年の「電子工作」ワークショップを受けて、京都市立芸術大学 美術学部 構想設計専攻の学生を対象とした特別講義として翌2015年6月11-12日に、よりAdvancedなテーマとして「Arduinoを理解し活用する」という2日間のハンズオン・ワークショップを行った。2日間のメニューとしては、(1)「Arduino+電子回

路」の電源をどうするか、(2)LEDを確実に点灯させる「定電流ダイオード」、(3)多数のLEDを点灯させる電流ドライブ回路、(4)センサとスイッチの繋ぎ方と調べ方、(5)同時にいくつもの処理を行うプログラム手法、という中級編のテクニックを紹介した。Arduino工作のサイトにあるサンプルの大部分は「1個のLEDを点灯させる」・「1個のセンサを監視する」といった単純なものだが、初心者が実際に制作してみると「たくさんのLEDを点灯させたい」・「たくさんのセンサに反応したい」・「プログラミングが下手で重く(遅くなる)」というような壁がある。この壁を突破するためのテクニックの伝授を目指した。



事例「京都市立芸術大学Arduinoワークショップ」の風景

### 事例「スケッチング」ワークショップ(筑波大学) 2015年7月2-3日

筑波大学で開催された第43回日本バイオフィードバック学会学術総会への発表参加のタイミングにあわせて、これまでSUACの「スケッチング」ワークショップに何度も参加して交流のある筑波大学の学生・院生・教員を対象に、「工学系/情報系/芸術系 特別講義」として2日間のハンズオン・ワークショップを行った。具体的に「演奏方法から考えて実際に動く新しい電子楽器を試作する」というテーマを掲げて、1日の午後と2日目の午前・午後までで3チームに分かれた参加者がそれぞれの作品を制作して最終プレゼンまで完走した。まさにスケッチングの醍醐味が凝縮されたワークショップである。

1日目は、(1)レクチャー「スケッチング概論」、(2)デモンストレーション、(3)レクチャー「Arduino+Firmata+maxuino」と「serial活用法」、(4)センサ付きサンプルArduinoをプログラミングしてみよう、(5)センサ付きサンプルArduinoをFirmata化してMaxからMaxuino経由で見てみよう、(6)翌日への宿題提示とグループ分け/テーマ検討、というメニューで、参加者は全員がMax7の走るPCを準備して実際にインタラクティブなプログラミングを体験した。



事例「筑波大学スケッチングワークショップ」の風景(1)

2日の午前には3チームに分かれて、(1)コンセプトモデル[紙だけ]制作、(2)アクティングアウト(テーマのデモンストレーション)を行い、午後には、(3)スケッチング大会(試作開発)、(4)合評会、まで充実した時間を過ごした。最終作品として、Aチームは子供が縄で行う「電車ごっこ」に加速度センサを仕込んで実際に動きに合わせて電車のサウンドを鳴らした。Bチームは4人がそれぞれ片手に軍手(アルミ箔の電極付き)をはめて、2人がハイタッチのように手を合わせると特定の音階の音が鳴るようにして、時間をかけて

練習して実際にちゃんと「曲」を演奏してみせた。ArduinoでなくGainerを使用したが、1チャンネルのアナログ電圧センサで4人の電極のうちのどれかが導通している状態を検出するための回路をその場でアドリブ設計して実際に稼働させ、生きたスケッチングの実例となった。Cチームは「アナと雪の女王」の映像に合わせて雪・水・光などの効果音を身体表現パフォーマンスで鳴らすためのマルチセンサ・システムを実現した。それぞれのチームの成果はこちらもYouTube動画として、ワークショップの記録ページからリンクされ公開されている。



事例「筑波大学スケッチングワークショップ」の風景(2)

### 事例「スケッチング」ワークショップ(SUAC) 2017年2月4-5日

この2017年2月4-5日のワークショップは2017年2月に開催した「メディアデザインウイーク2017」のイベントであり、講師は筆者と京都精華大のRAKASU PROJECT.(落晃子)が担当し、さらに参加者として京都精華大の平野砂峰旅も加わった3チームでそれぞれインスタレーション作品の実現にチャレンジした。冒頭の講演セッションでは「"ポストGainer"とSUAC保有のセンサ類について」(長嶋)・「WiFiセンサモジュールの活用について」(落)があり、続いて参加者がチームに分かれて「作戦会議」と「アイデアのプレゼン」を行った。その後に講師2人によるデモ/パフォーマンスのライブがあった。

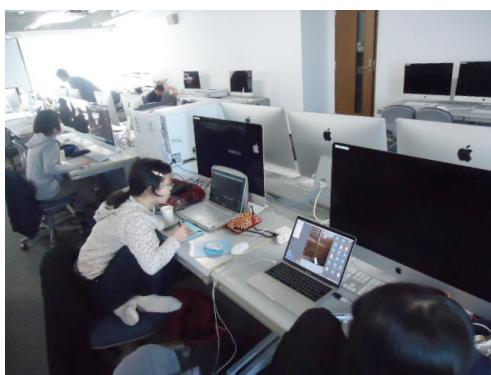


事例「SUACスケッチングワークショップ2017」の風景

2日目には4人ずつ3チームに分かれて(2人の講師はそれぞれ各チームを支援)、1日かけてそれぞれ何らかの「作品」の実現に挑戦した。Aチームは光センサを使った「対戦型」ゲームを仕上げた。Bチームは京都精華大の「平野+落」グループが活用を始めた「センサWiFiモジュール」を活用して、水槽にセンサを内蔵した球体を浮かべて、波を立てるとセンシング波面情報からサウンドが鳴るというインスタレーションを作り上げた。CチームはSUAC学生のバイノーラル関連研究を絡めて、触覚センサを取り付けたバイノーラル録音用ダミーヘッドマイクを触るノイズをワイヤレスで飛ばしてそれぞれ聴取した。ダミーヘッドを触った音がリアルに聞こえると首筋がゾワッとする興味深いインスタレーションとなった。各チームの成果はYouTube動画として、ワークショップの記録ページからリンクされ公開されている。

## 事例「スケッチング」ワークショップ(SUAC) 2018年2月10-11日

この2018年2月10-11日のワークショップは2018年2月に開催する「メディアデザインウイーク2018」のイベントであり、講師は筆者に加えて「奇楽堂」主宰の長谷部雅彦、筆者のコラボレータの照岡正樹を招いた。1日目のレクチャーセッションとしては、「スケッチング入門と筋電センサ"VPP-SUAC"について」(長嶋)、「生体センシングと脳波とバイオフィードバック」(照岡)、「奇楽堂の活動と"touchMIDI32"等について」(長谷部)という内容で、ヤマハ勤務の傍ら個人として「奇楽堂」ブランドで新インターフェースを発表している長谷部氏の簡易タッチセンサ"touchMIDI32"のお披露目となった。1日目の後半は2チーム(参加学生に初心者が多かったのでチーム数を減らした)に分かれてそれぞれの「作戦会議」と「プレゼン」を行った。



事例「SUACスケッチングワークショップ2018」の風景

2日目には2チームそれぞれが最終プレゼンに向けてひたすら作品制作を進めた。例年の3チームに比べて2チームとなったものの、それぞれのインスタレーション作品の完成度は例年を超えていた。Aチームは"touchMIDI32"を活用して、テーブルに4人が2人ずつ向かい合って座った状態で、足元のフットパネルでそれぞれスイッチを押すようなシステムを完成した。スイッチは単純なスイッチでなく、足の裏をぐりぐりすると多くの出力が出るようなものであり、これを受けたMaxで、4人それぞれのキャラクタが押し合いへし合いするようなゲームを完成させた。このゲームはバイオフィードバックセミナー(後述)でも話題になっていた、「高齢者の足腰を鍛えることで認知症予防へ」というテーマを具現化させた一例である。

Bチームは過去の演習科目で課題作品に使われた「顔の部分に穴があいている等身大の大きなボード」が演習室に残っていたのを活用して、まずこの顔の穴部分にPCモニタを配置して、色々な「顔」を表示するようにした。そして筆者が提供した"12音FM生成タッチパネル"(3-1-5)のタッチセンサをボードの「胸」の部分に置いた。作品としてはボード全体に色々な風景/背景が投射されていて、タッチパネルに触れるとボードの画像も穴の中の顔も色々に変化とともにサウンドが鳴る、というインスタレーションである。チームのメンバーに絵心のある学生がいたために、ビジュアル的に非常に楽しめる作品となった。各チームの成果はYouTube動画として、ワークショップの記録ページからリンクされ公開されている。

## 事例「スケッチング」ワークショップ(SUAC) 2019年2月2-3日

この2019年2月2-3日のワークショップは2019年2月に開催する「メディアデザインウイーク2019」のイベントであり、講師はコラボレータの照岡正樹を招くとともに、バイオフィードバックセミナーの場で交流していた、辻下守弘(奈良学園大学 保健医療学部 教授)・小貫睦巳(常葉大学 准教授)の各氏をゲストスピーカー(バイオフィードバックやリハビリテーションについての講演)として招いた。参加者として、講師の関係するリハビリテーション領域の専門家が加わったのは大きな成果である。このワークショップの参加者3チームの成果については、本章3-1-5で紹介したように、「いたみん」・「親指の達人」・「腹八分目ベルト」・「疲

れ知らせる君」という4作品が出来上がり、テーマとして生体情報センシングやバイオフィードバック・リハビリテーションを取り上げるという目標を十分に達成できた。各チームの成果はYouTube動画として、ワークショップの記録ページからリンクされ公開されている。



事例「SUACスケッチングワークショップ2019」の風景

### 3-2-2 バイオフィードバックセミナー

#### 事例 バイオフィードバックセミナー(甲南女子大) 2015年10月12日

前章2-3-5で述べたように、筋電センサを中心とした生体センシングについて、筆者は5代目筋電センサ「CQ\_mbed\_EMG」を開発してCQ出版「インターフェース」誌に特集記事を執筆したが、この特集記事を読んだ、というバイオフィードバック・リハビリテーションの専門家・辻下守弘教授(甲南女子大→奈良学園大)からのコンタクトから、本研究に直結する「生体情報処理とバイオフィードバック・リハビリテーションへのメディアアート応用」というコラボレーションの活動が始まった。そして2015年10月12日には第1弾として筆者を講師とする「バイオフィードバック療法セミナー」が甲南女子大 理学療法学科で開催されたが、その時のタイトルが「メディアアートツールMaxを用いたバイオフィードバックシステムの開発入門」というものだった。これには本研究のテーマに結実していく萌芽を感じさせる。

次世代バイオフィードバック療法システムの開発環境を手に入れよう！

**第2回リハのためのバイオフィードバック療法セミナー**

**マルチメディアアートツールMAXを用いた  
バイオフィードバックシステムの開発入門**

**講師:長嶋 洋一 先生**  
 静岡文化芸術大学教授・作曲家  
 デザイン学部デザイン学科(ビジュアル・サウンド領域)  
 大学院デザイン研究科

MAXは、Cycling '74社が開発した音楽、映像、パフォーマンスなどのアート表現に優れたプログラミング言語です。直感的にすぐプログラミングに取り組め、各種の外部センサーをトリガーリードイン機能で直接接続してデータを読み取ることができます。また、アートツールとして、メディアアート作家セミナーの開発にも幅広く利用されています。静岡文化芸術大学教授の長嶋洋一先生をお招きし、筋電図センサーを使ったMAXの開発と次世代バイオフィードバック療法システムの開発を体験して顶くことになります。

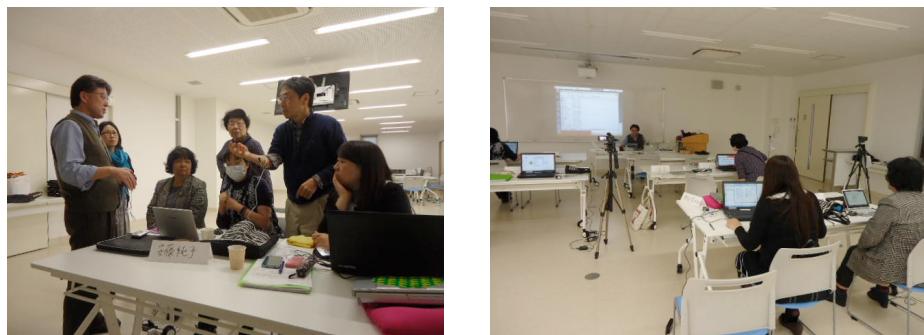
日 時：2015年10月12日（月）10：00～17：00（受付9:00開始）
場 所：甲南女子大学 1号館7階・義肢装具実習室 〒658-0001 神戸市東灘区淡路北町6-2-23
参 加 費：一般 5,000円（講義資料・体験版MAX・デモソフト付き） 学生 2,000円（講義資料・体験版MAX・学生証提示必須）
定 員：30名 ※資格に問合せなくどなたでも参加可能です

セミナーでは、(1)いろいろなシステムを自在に開発できるプラットフォームである「Max」を紹介し、(2)「Maxを用いたメディアアートの紹介」として色々な事例を紹介し、(3)「筋電センサ・生体センサ・触覚センサなどの事例紹介」としてオリジナル筋電センサや各種の生体センサ(非常に安価な時代になった)を紹介し、さらに(4)「Maxを用いたアプリケーションの作成体験」として実際に簡単なデザイン体験(ラピッド・プロトタイピング)を行った。参加者は甲南女子大リハビリテーション学科の学生/スタッフや、リハビリ療法士、リハビリ事業を進める医師会の専門家、リハビリ機器を開発するベンチャー起業の経営者など多様であり、ここで初めてリハビリテーションの世界の奥深さと多様な要望に接して、濃厚な意見交換が出来た。

さらに辻下氏の研究室で海外製の高額な専用機材やリハビリソフトを目の当たりにして、オープンソース/スケッチングの時代、ちょうど300万円のBioMuseに対抗して部品代3万円のMiniBioMuseを製作したように、もっと役立って有効なシステムがずっと安価に手軽に作り出せるのでは…という可能性について大きく議論が進展した。ここで知った高額なりハビリソフト「インターラクティブメトロノーム」にインスパイアされて、Maxで同等のより有効なパッチ"Interactive Rhythm Game"(3-1-3)を短期間に開発する契機ともなった。

## 事例 バイオフィードバックセミナー(人間環境大学) 2016年2月28日

上の神戸でのバイオフィードバックセミナーを受けて、2016年2月28日には名古屋の人間環境大学 看護学部で再び(拡大して)「バイオフィードバック療法セミナー」を行った。タイトルは「生体情報センシングとバイオフィードバック --- メディアート開発環境Maxの可能性 ---」というものだった。こちらは辻下氏の元同僚のリハビリ教員や、看護学部の博士課程学生で実際に現場で活躍している看護師/介護士/理学療法士などの専門家が参加してくれた。ここではSeeed社の簡易筋電センサ基板"Grove"をArduinoに接続した試作システムを多数用意し持参した。そして参加者全てが体験できるようにして、実際にMaxパッチで筋電センシング(可視化)が容易に実現できる、という体験に多くの参加者が好意的な反応を示した。



事例「バイオフィードバックセミナー」(人間環境大学)の風景

議論の中では現場ならではのリクエストとして、腕よりも足腰など下半身の筋電リハビリが切実に求められている実態や、特に高齢化社会で切実な「尿失禁」「便失禁」の予防とリハビリのために、脚だけでなく括約筋などの有効な筋電検出が求められている(現状は肛門に電極を挿入するので抵抗感が大きい)という現状も初めて知らされた。「おもらし」リハビリのための「パンツに接続できる筋電センサ」というリクエスト/議論が、本研究の次のステップで「VPP-SUAC」(腕だけでなく身体どこにでも使えるコンパクトで無線伝送の筋電センサ)に大きく影響することになり、非常に収穫の大きなコラボレーションを経験できた。

## 事例 バイオフィードバックセミナー(けいはんな) 2016年12月18日

2016年の欧露ツアーレポート(VS-Games2016やICEC2016の報告も含む)として企画された「バイオフィードバックセミナー」は、主催者の辻下氏が急用で出席できなくなったものの、長嶋・照岡チームによって、けいはんなプラザにて少数の参加者とともに予定通り開催した。ここでは本研究に関する多くのシステムや実験を欧露ツアーレポートで実際に何度もデモンストレーションしてきた、その集大成として再現デモを行うとともに、最終的な「VPP-SUAC」の開発に向けた議論などを進めた。



## 事例 バイオフィードバックセミナー(奈良学園大) 2018年3月31日

2019年4月から奈良学園大・保健医療学部・リハビリテーション学科がスタートすることになったが、この奈良学園大学登美ヶ丘キャンパスで2018年3月31日に開催したのが筆者としては4回目の「バイオフィードバックセミナー」であり、タイトルは「生体情報センシングとメディア・アートを用いたバイオフィードバックとリハビリテーションの可能性」であった。名古屋での開催に続いてゼミのSUAC大学院生(馬ブン)を引率して、新たにリハビリ関係のテーマで制作したパッチ事例や、"JumpingGirl"(3-1-3)の試作版などのプレゼンテーションも行った。

社会への提案事例を積み上げてきた効果として、以前の「バイオフィードバックセミナー」に参加した専門家、新たに参加した関連の専門家、そして奈良学園大のリハビリ療法の専門家なども参加し、もう一つの講演「バイオフィードバック(BF)とリハビリテーションの現状と課題」(小貫・辻下)という現場からの重要な報告とともに、議論の中身は非常に濃いものとなった。この時期になると本研究で進めてきた事例も非常に多くなってきたので、「VPP-SUAC」や「PAW-double」を実際に持ちこんでデモを行うとともに意見交換・リクエストなどを交えた。新しい脳波センシングの手法や「尿失禁」「便失禁」の予防とリハビリのための筋電電極に関する実験など、まだ世間的にも開拓されていない未知の領域にまで話題は拡大し、今後さらに多くの領域の専門家に呼びかけて続編を開催したい、という点で意見が一致している。現場の意見とともに進むプロジェクトの手堅さと意義を実感できた。



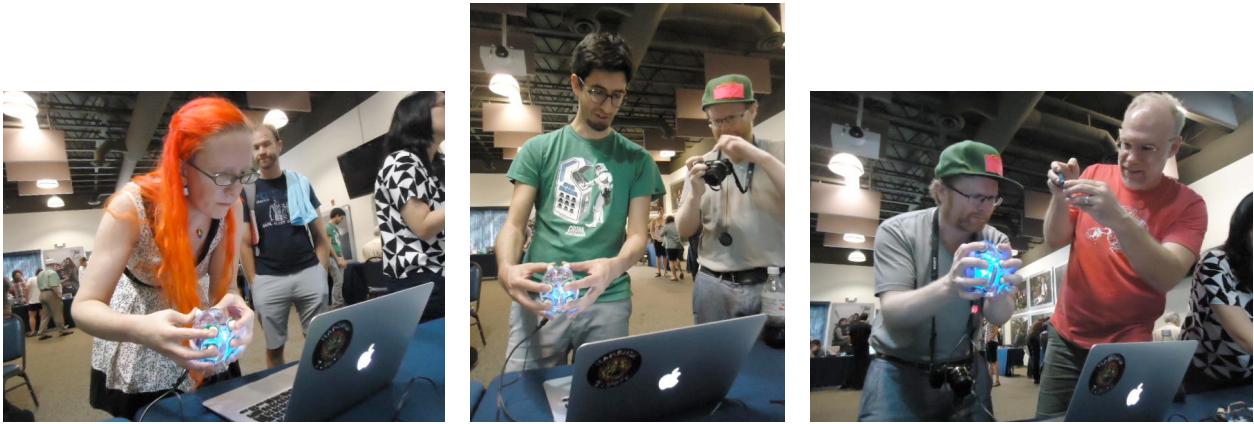
事例「バイオフィードバックセミナー」(奈良学園大学)の風景

### 3-2-3 海外での提案事例

#### 事例 Sketching2015(アリゾナ) 2015年7月31日

前章2-3-1で紹介した国際会議「Sketching in Hardware」への5回目の参加として、2015年7月に米国アリゾナ大学の地球環境実験施設「Biosphere 2」で開催されたSketching2015に参加した。この会議は参加者全員が研究者/エンジニア/デザイナとして必ずプレゼンして互いに先端状況を交換するというものであり、筆者は触覚/触感センサ「PAWセンサ」を10個配置した新楽器"MRTI2015"(2-3-5)を持参して、報告プレゼンとともにデモセッション"Sketching Showcase"でも提示した。

互いの成果を体験し合うデモセッションで実際に”MRTI2015”を置いて触れてもらってみると、GoogleやIntelやMicrosoftなどの鋭々たるエンジニアも、MITメディアラボの研究者も、みんな子供のような顔で目を輝かせて、笑顔でこの不思議なインタラクティブ・マルチメディア体験を楽しんだ。そして専門家からの感想として多かったのが、世界的にはまだ知られていなかった触覚/触感センサ「PAWセンサ」の「物理的リアクションの面白さと重要性」へのpositiveなコメントであった。これは本研究において、一つの「原点」となった機会であり、「曖昧な触覚が思わず笑顔を引き出す」という視点は「内受容感覚ウェルネス」への追求につながるエポックとなった。



事例 "Sketching2015"(Arizona)でMRTI2015を体験する参加者

### 事例 SI2015(シンガポール) 2015年8月20日

2015年8月にシンガポールで開催された国際会議「Sound & Interaction 2015」では、"MRTI2015"ではなく別テーマ("Assembling Music" - 楽器を組み立てる行為自体がパフォーマンスとなる作曲手法)の発表をしていたが、"MRTI2015"も持参して合間に参加者に体験してもらっていた。すると、同時期にシンガポールのサイエンスマジアムで行っている体験展示イベントに臨時にブースを増設するので是非とも"MRTI2015"を展示発表して欲しい、と主催者に依頼されて、この作品の展示公開が実現した。こちらは一般向けに開放された展示企画だったので、来場したのはSI2015に参加する専門家だけでなく、子供を含む家族連れなどもいた。

会場ではパソコン画面でなくプロジェクタが用意されたので、壁面に大きく投射されるフラクタル画像とともに、余裕あるスペースで"Assembling Music"と"MRTI2015"の体験デモを提供できた。そして、ちょっと前にSketching2015のデモ会場で頻発した「笑顔」は、こちらシンガポールでも体験者(大人も子供も)ほぼ全員が、目を輝かせて、笑顔でこの不思議なインタラクションを楽しんでいる風景として確認できた。この2つの国際会議での"MRTI2015"展示発表によって、改めて触覚/触感センサを用いたインタラクティブ・マルチメディア体験のもたらすエンタテインメントの奥深さを発見/再確認することができて、その後のデザインやウェルネス/ウェルビーイングに向けたアイデア検討に役立った。説明も言葉も要らず、大人でも子供でも楽しめる、という成果は「広義のエンタテインメント」の大きなヒントとなった。



事例 "SI2015"(Singapore)でMRTI2015を体験する参加者

### 事例 VS-Games2016(バルセロナ) 2016年9月9日

2016年の欧露ツアーアルバム(ボルドー・バルセロナ・ユトレヒト・エカテリンブルク・モスクワ・ウィーン)では、本研究とは異なるテーマ(Computer Music)で参加した国際会議や開催したワークショップもあるが、その中

で第1章1-4-3で述べたように、シリアルゲームの国際会議VS-Games2016(Barcelona)およびシリアルゲームを重点テーマとした国際会議ICEC2016(Vienna)に参加し、広義のエンタテインメントおよびBF/リハビリテーションやウェルネス/ウェルビーイングという視点から報告/議論/調査した。



事例 ”VS-Games2016”(Barcelona)で発表する筆者

このVS-Games2016での、「ハビリテーション」を提唱するAnthony Brooks博士との出会い(とその後の交流)については1-4-3で既に述べたが、会議参加者との意見交換においては、それぞれの領域(リハビリ/福祉/医療だけでなく、教育、文化財保護、就業支援、etc)に向けた意欲と真摯な向上心に圧倒された。狭義のエンタテインメント・ビジネスであれば「売れる/儲ける」という大目標があるが、シリアルゲームは根本的に儲からないので、「最小限のコストで有効なゲームを開発する手法」とか、「知的財産権をうまく活用して有効なゲームを生み出す手法」といった現実的なテーマまでが熱心に議論されていた。

世界だけでなく日本でも、福祉/医療の領域であればいくらでも予算がつくわけではないこの時代、有効なゲーム/システムでウェルネス/ウェルビーイングを実現して人々の役に立ちたい、という崇高な使命をもっているだけでは駄目で、オープンソース/スケッチングという武器も活用しつつ、さらに知恵を絞ってなんとかシリアルゲームの伝統文化を進めていきたい、という関係者の情熱に感銘を受けた。これは本研究にもそのまま継承されている。

## 事例「スケッチング」ワークショップ2件

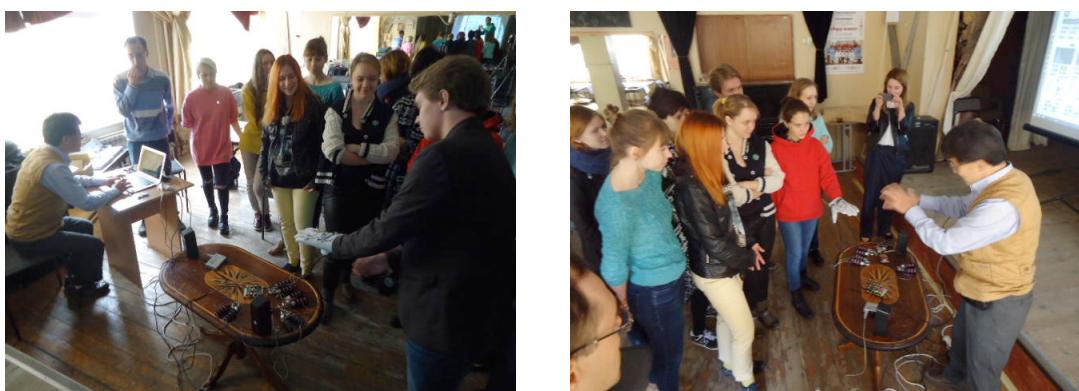
(エカテリンブルク) 2016年9月20/21日

まず、突然にロシアのエカテリンブルクという地方都市が登場する背景について、本研究の「スケッチング」とも関連するので簡単に解説する。筆者はエンタテインメントコンピューティングの国際会議ICEC2009に「Parallel Processing Platform for Interactive Systems Design」(Propeller[2-4-3]を活用)というチュートリアルを提案し採択されて、2009年9月2日にパリ・Conservatoire National des Arts et Metiersで1日コースのワークショップを行った。その参加者として、ロシアの若き研究者Denis Perevalovと知り合った。彼がデザイン学校の教員およびデザイン会社のプログラマとして拠点にするのが、ウラル地方の都市エカテリンブルクだった。メイルで情報交換を続けていた彼の紹介で、2010年冬にはエカテリンブルクの音楽アカデミーが開催するSYNC2010というイベントに招待されて、(1)作曲コンテストの審査員、(2)3日間それぞれ90分のメディアアートに関するレクチャー3件、(3)コンサートでの新曲の世界初演を行った。その後、Denis Perevalovはモスクワのデザイナと共にopenFrameWorksベースでのメディアアート制作を進めつつ筆者と情報交換を続けていて、筆者が2016年にSUAC短期サバティカルで欧州出張する際に、地元のエカテリンブルクと、さらにモスクワでも「スケッチング」に関するレクチャーとワークショップを開催する、という話になったのだった。

この2016年欧露ツアーやうちロシアのエカテリンブルクでは、2016年9月19日の昼間にArt Academy(デザイン専門学校)の生徒・教員を対象としたレクチャー講演、さらに晩には市内のギャラリー

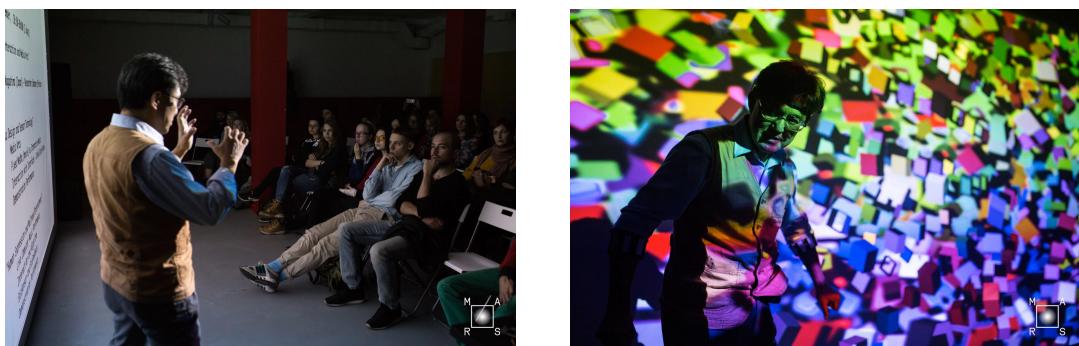
を会場として一般市民に公開されたレクチャー講演を行った。ロシアの地方都市のギャラリーに仕事が終わってからメディアアートに興味を持って集まつてくる一般市民がこんなにいるのか、と圧倒された。その翌日と翌々日には、それぞれ異なる専門のArt Academy学生を対象とした1日ハンズオン・ワークショップを開催した。筆者が英語で話すと、Denis Perevalovがロシア語に逐次通訳する…というやや冗長な枠組みではあるが、ほとんどロシアの人々が知らなかったメディアアートの世界を紹介して、幅広く交流することが出来た。

2016年9月20日のワークショップは「Introduction of Programming - Creating Art Objects」というタイトルで、Art Academyのデザインコースの学生を対象とした。内容としては、(1)Fixed Media [movie] vs Interactive Media、(2)Algorithm and Programming、(3)Simple Animation、(4)Sound - expand emotion、(5)Interaction with Interfaces、というようなもので、Max(ロシアではほとんど知られていない)を活用してこれだけ自在にメディアデザインが出来ますよ、という刺激を提供了。



事例 エカテリンブルクでのワークショップの風景

2016年9月21日のワークショップは「Interactive System Design - Creating Media Arts」というタイトルで、Art Academyのプログラミングコースの学生を対象とした。内容としては、(1)Mathematical Design(数理造形)、(2)Needs-oriented Design and Seeds-oriented Design、(3)Physical Computing - connect real world、(4)Sensors, Interfaces and Displays、(5)Programming "Original Interfaces"、というもので、かなり広範囲で高度な内容まで紹介してみた。ハンズオンで試作する余裕はあまり取れなかったものの、学生たちは新しいデザインに触れる機会となり、モスクワへ出発する日にはArt Academyの校長先生が、市長名の「感謝状」を持ってきて絶賛してくれた。



事例 モスクワでの2夜連続レクチャーの風景

シベリア横断鉄道でエカテリンブルクからモスクワに移動して、モスクワではMARS Galleryを会場に、2016年9月25日と26日の2夜にわたって(part 1/2)、「Human-Computer Interaction and Media Arts」というタイトルで一般市民に公開されたレクチャー講演を行った。こちらも仕事が終わってからメディ

アートに興味を持って集まつてくる人々(ただし外見からいかにもアーティスト系の人が多数)の熱心さに圧倒された。筆者の英語をDenis Perevalovがロシア語に逐次通訳するスタイルは同じものの、直接に英語で話しかけてくる人もいた。モスクワでちょうど開催されていた「VRフェア」という展示会にも参加したが、世界の先端VRからおよそ2年ほど遅れているものの、装置にしてもコンピュータにしても力強く発展している状況を垣間見ることが出来た。

## 事例 VS-Games2018(Wurzburg) 2018年9月6日

2016年の欧露ツアーリーに続いて2度目の参加(今回は発表はなくて聴講参加)となったシリアスゲームの国際会議VS-Games2018(Wurzburg)では、開催地のWurzburg大学でシリアスゲーム関係の研究が盛んである事を反映して(ポスターセッション6件のうち5件がWurzburg大学からの発表)、若い研究者を中心に2年前よりも実質的な研究発表が数多く見られた。シリアスゲームに関する会議では、「教育」・「リハビリ」・「訓練支援」・「展示施設」などのテーマ領域ごとにセッションが編成される事が多いが、VS-Games2018では、セッションタイトルとしては「TECH (I/II)」・「EDU (I/II)」・「HCI TECH (I/II)」・「HCI DESIGN」・「HCI EDU」というように、テクニカルな括り・教育関連の括り・HCIに特化した括り、などで構成されて、それぞれの中の具体的な応用テーマはあれこれ百花繚乱(玉石混交)という展開だった。



事例 VS-Games2018の風景

例えば「Session TECH I」での発表「Where's Pikachu: Route Optimization in Location-Based Games」は、直接的にはポケモンGOに関連した応用であるものの、研究の本質としてはGPSベースのシリアスゲームにおける最適な経路探索アルゴリズムについて考察していて、中身は完全に情報科学の最前線だった。同じセッションの発表「Validity of Virtual Reality Training for Motor Skill Development in a Serious Game」はタイトルからは「訓練支援」と読めるが、これもVR活用のシューティングゲームの練習用のようだ、実は提示素材に正確な物理モデルを適用するという真面目な数理科学的アプローチの研究だった。つまり最近のシリアスゲーム研究では、対象となる応用テーマ(表層)に拘泥せずにその本質を追求することで、他の広範な情報科学研究とリンクしつつある、という印象だった。

2年前のVS-Games2016(Bercelona)では2セッションをパラレルに進めたので、別会場となる発表の半分は聴講できなかったが、VS-Games2018はシングルセッション方式だったために、本研究と関連がありそうな研究発表を求めて、全ての発表に接することが出来た。新たに発表タイトルに何件も登場した用語というのが「Autism Spectrum Disorder」(自閉症スペクトラム障害)で、このテーマはICEC2018を含めて、まさに世界的に研究テーマのトレンドである事を実感した。ASDとか発達障害とか学習障害というのは「病気」でなく生来の「個性」である、というのがメンタルヘルスの世界での共通認識であり、現在では日本国内の大学などでもこれらのクライアント学生を支援する体制/運用が大きな課題となっているのとシンクロしていた。本研究におけるウェルネス/ウェルビーイングというアプローチは、これらクライアントの社会参加のための「ハビリテーション」(生後の傷病のリハビリでなく生来の個性的障害への対応)とも言えるものであり、会場で専門家と意見交換した収穫は大きかった。

ウェルネス/ウェルビーイングと関連するメンタルヘルスをテーマとした研究発表では、「Learnings and Challenges in Designing Gamifications for Mental Healthcare: The Case Study of the ReadySetGoals Application」という、前半だけであればまさに知りたいテーマの発表があったが、具体的なリサーチ対象として特定のゲームに限って調査しているので、一般的なゲームデザインについての理論のような掘り下げには至らなかった。同じように複数の既存のゲームを対象とした分析の「How Real Can Virtual Become? The Relation between Simulation and Reality Exemplified by the Digital Experiment」という挑戦的なタイトルの研究発表も同様にちょっと残念であった。

バイオフィードバック・リハビリテーションと言える「Measured and Perceived Physical Responses in Multidimensional Fitness Training through Exergames in Older adults」という発表は本研究のテーマにかなり近いが、基本的にフィットネス(極限の筋力などを鍛える)ということで、ちょっと本研究の求めていた方向(中途の部分での内受容感覚)とは違うものだった。また、「A Multisensory 3D Environment as Intervention to Aid Reading in Dyslexia: A Proposed Framework」という発表(「ディスレクシアの読書を助ける介入としてのマルチ感覚3D環境:提案された枠組み」)の「dyslexia」とは学習障害の一種で、知的能力及び一般的な理解能力などに特に異常がないにもかかわらず、文字の読み書き学習に著しい困難を抱える障害であり、失読症/難読症/識字障害/(特異的)読字障害/読み書き障害、とも訳され、発達性読字障害(DRD; Developmental reading disorder)とも呼ばれるものだった。ただし実際にこの研究が具体的にMultisensory(ここは本研究と通じる)でどのようなアプローチをとったのかは十分には理解できなかった。

## 事例 ICEC2018チュートリアル(Poznan) 2018年9月20日

2018年9月の欧州ツアーやでは、国際会議VS-Games2018(ドイツWurzburg)とともに国際会議ICEC2018(ポーランドPoznan)に参加した。過去に参加したICEC2009(Paris)・ICEC2016(Vienna)は単独開催の国際会議だったが、2018年は複数の情報系国際会議の連合であるIFIP(ICECもこの傘下)の全体会議WCC2018(Worls Computer Congress)としてPoznan大学で開催され、他の国際会議とともにその1パートとしてICEC2018が開催された。ここでは筆者は別テーマでの研究発表「Realtime Musical Composition System for Automatic Driving Vehicles」(トヨタ中央研究所から依頼された自動運転車に関する研究)とともに、事前に提案/採択されたTutorial Workshop「Bio-Sensing Platforms for “Wellness Entertainment” System Design (Bio-Sensing, Interactive Media, and Wellness Entertainment)」を開催して、本研究で進めてきたアプローチなどを紹介するとともに、興味をもって参加してきた世界の専門家と深く議論する機会となった。



事例 ICEC2018 Tutorial Workshopの風景

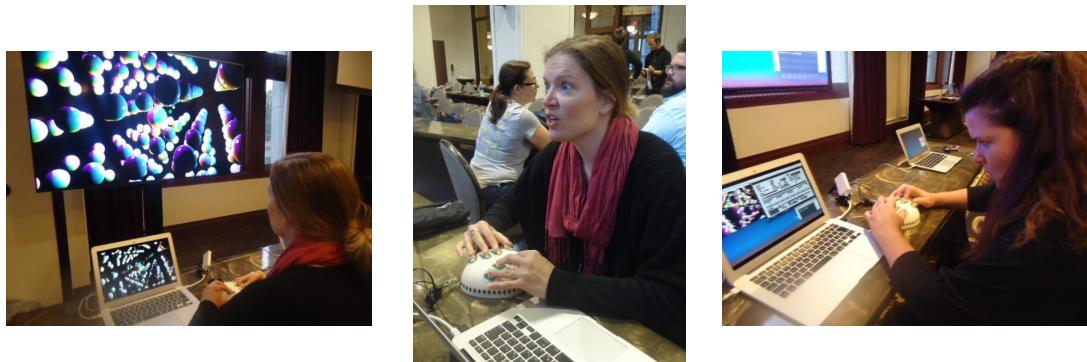
ここでICEC2018について、基調講演や特別企画を除いた一般講演の各セッションタイトルだけ列記しておくと、「Human-Computer-Interaction」・「Entertainment Systems & Technology」・「VR and AR」・「Digital Games」・「Storytelling, Narrative, and Behaviours」・「Entertainment Business, Information Systems, and Media Studies」ということになる。本研究と関連するシリアルゲーム(特に福祉領域)に関する発表は各セッションに散見していたが、例えば「Virtual Reality as e-Mental Health to Support Starting with Mindfulness-Based Cognitive Therapy」というタイトルからおおいに関連性を期待させた発表は、メンタルヘルスとして認知的セラピーするのにHMDをかけて擬似的な3D-CGの中で「石を拾っては積み上げる、という作業を続ける」という、ちょっと「人としてどうなのか」という感じの厳しいものだった。

「Design and evaluation of a fall prevention multi-player game for senior care centres」という発表は、高齢者が足腰から弱ってくるのを防ぐトレーニングのためのゲームについてのもので、太もものあたりにセンサを付けて、スポーツ的でなく遊び感覚で足腰を鍛えるというアプローチを報告した。これは本研究の中で登場した視点(足腰のトレーニングから認知症予防)とかなり近いものであり、今後も注目していきたい。「Digital Therapies」という発表はタイトルが壮大だったが、養育・公立学校教育の領域でのデジタル変換と仮想化プロセスによる精神的健康問題の増加予防措置についてのものだった。オンラインゲームの仮想的な3D環境内で、ユーザがどのような振る舞いをしたのかを記録して、そのログを解析することで「心の闇(病み)」を自動分析する、という「Digital Therapies」の可能性を提起したもので、背景となっている理論は「意思決定(Decision Making)は感情の反映である」という、まさに「内受容感覚」に関するキーワードが登場していた。

オランダ(Tilburg University)の研究者Lisa E. Romboutの「A.R.M. - Augmented Reality Muscularity」という発表は「増強現実筋」ということで、「AR環境内で筋肉ムキムキな自分の腕を見ると、ラバーハンド錯覚と同様に自分の筋肉がムキムキに感じるのでは」というアプローチだった。この発表者は初日のTutorialに全参加してくれたが、特にPAWセンサ(触覚/触感)に興味を持ったとのことだった。PAWセンサは国内販売のみで入手が困難では、と話していたが、さすがネットの時代、翌日にはPAWセンサの調達ルートを確保できたと話してくれた。彼女の発表後には、会場で「内需要感覚(interoception)」の重要性について共感できる議論が充実した。この視点は海外でも注目されている事を改めて確認できた。

## 事例 Sketching2019(Detroit) 2019年9月28日

前章2-3-1で紹介した国際会議「Sketching in Hardware」への6回目の参加として、2019年9月に米国デトロイトで開催されたSketching2019に参加した。筆者は最新の状況報告として”PAW-eight”と”PAW-double”を持参して、本研究の進展についての報告プレゼンとともにデモセッション"Sketching Showcase"でも提示した。



事例 Sketching2019デモの様子(1)



事例 Sketching2019デモの様子(2)

4年前のSketching2015での風景が再現されたようで印象的だったが、互いの成果を体験し合うデモセッションで実際に”PAW-eight”と”PAW-double”を置いて触ってもらってみると、GoogleやIntelなどのエンジニアもMITメディアラボの研究者も、またまたみんな子供のような顔で目を輝かせて、笑顔でこの不思議なインタラクティブ・マルチメディア体験を楽しんだ。本研究において注目した「曖昧な触覚が思わず笑顔を引き出す」という視点は「内受容感覚ウェルネス」への追求の柱として今後も重視していきたい。

### 3-2-4 国内での提案事例

#### 事例 電気学会知覚情報研究会(浦田クリニック/スコール) 2017年1月7日

筆者は所属する学会において、自分が所属しない他の研究会でも視野を広げるために「他流試合」的に発表することがあるが、「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」というこの発表

は初めての「電気学会」の研究会であった。発表参加した理由は、会場となった富山県魚津市の「浦田クリニック/スコール」という施設が、「カラダとココロと生活のフィットネス」を掲げたユニークな医療法人だからである。管理栄養療法とフィットネスクラブを組み合わせて、地域の高齢者を軒並み健康にしてきている(→その勢いで金沢駅前にも盛大にオープン)というこの施設を見たくて参加した、という人も多かった。



事例 知覚情報研究会の風景

ここでは普通の研究発表を行っただけで「社会に発信」とまではいかないが、この研究会にはいろいろな領域(医療、介護、セラピー、リハビリ)の専門家も筆者と同様の興味で参加したようで、バイオフィードバックセミナーとはまた別に、筆者の発表/提案に対する意見・議論の機会が得られたのは大きな収穫となった。

### 事例 奈良学園大オープンキャンパス 2018年4月15日・7月15日

翌年の新・リハビリテーション学科のスタートを告知する意味で、奈良学園大は2018年には数多くのオープンキャンパスを企画して受験生にアピールしてきた。リハビリ等に役立つツールをメディアアートによって容易に実現していく、という位置付けでこの新設学科の非常勤講師就任依頼を受けたこともあり、本研究の成果を実際の専門家や新鮮な感覚の受験生に体験してもらうという目的で、2018年4月15日と2018年7月15日の2回、奈良学園大オープンキャンパス(リハビリテーション学科)にスタッフとして展示參加した。



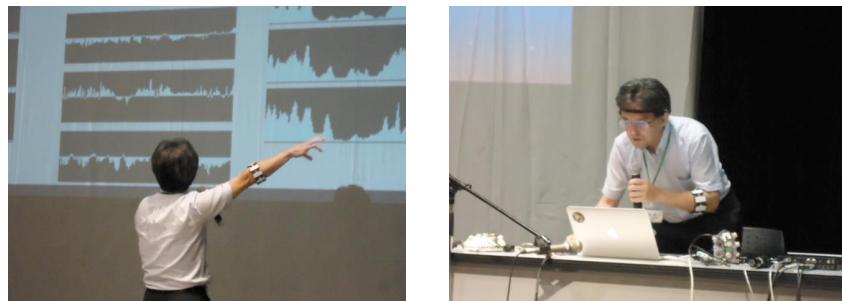
事例 奈良学園大オープンキャンパス2018の様子(試作システムの体験)

2018年4月15日には主として"PAW-eight"と"MRTI2015"を、そして2018年7月15日には"PAW-double"を使った"PAW-UzuPicture"と、再び"PAW-eight"を展示した。本章3-1-4で述べたように、この「PAW-eight」によるマルチメディア・バイオフィードバックシステムは、プロの療法士などの専門家から一般の参加者/高校生まで、多くの体験者に体験してもらうことでいろいろな意見を得ることができた。ゲーム世代の高校生(スマホとかゲーム機に慣れている)にとって、触覚/触感センサは逆の意味で新鮮なインターフェースであったようある。また現場の療法士からは、認知症予防や認知症リハビリなどの目標に対して、実際に脳から随意筋チャンネルによって筋電/PAWのコントロールに対するバイオフィードバックを実現できているとして、このような情動/感情からくる充実感が有効であろう、との評価を受けた。

### 事例 デモ/プレゼン「Bio-sensing demo with Max7」

(東京藝術大学) 2018年8月7日

長らくパリのIRCAMで活動してきた後藤英(筆者とは25年以上の交流)が東京藝大の先端芸術に着任して数年、同氏は2018年8月に5日間の「Maxサマースクール2018in藝大」を企画し、筆者も参加した。集結した国内のMaxマニアと交流するとともに、プレゼンテーションセッションにて「Bio-sensing demo with Max7 (DoubleMyo, MuseOSC, PAW-eight and VPP-SUAC)」というタイトル(ユトレヒトでのICMC2016で発表)で講演/デモを行った。会場を埋めたのはいずれもMaxを使い倒すだけでなく独自の改良やカスタマイズを行う猛者たちであり、充実した講師陣のレクチャーによってMaxの新たな可能性を共有した。その中で、筆者は2016年の欧露ツアなど世界先端と触れてきた報告とともに、これまで制作してきた多くのセンサ類を紹介するとともにデモンストレーションを行って交流した。



事例 Maxサマースクールでのプレゼンテーション(東京藝大)

バイオフィードバックセミナーではエンドユーザ(クライアント)に近い領域での意見が得られるのと対照的に、Maxサマースクールではシステム開発の最上流の領域で、「Max/GENではこんな事も出来る」・「Maxとこんなツールが連携できる」・「Maxの新機能としてこんなのが出てきた」等々の新鮮な情報提供に触れることも意義深い。プログラミングの世界の常であるが、あるところまでシステム開発に習熟すると、新しいプロジェクトにおいて、「既に体得しているテクニックで解決」しようとする。これは「確実にシステム実現する」という意味では手堅い方針であるが、長期的には「テクノロジーから遅れる」(陳腐化)リスクがある。過去に前例が無くても/無いからこそ、新しい先端にチャレンジしてスキルを向上させていく必要がある世界と言える。5日間のMaxサマースクールで「宿題」としてまとめたポイントはその後、1年間が経過しても全ては消化できていないほど膨大であり、さらに解析して今後の新しいシーズとして身に付けていきたいと考えている。

## 事例 バイオフィードバック学会シンポジウム

(愛知学院大学) 2019年6月30日

2019年2月のSUAC「スケッチング」ワークショップにおいて生体情報センシングやバイオフィードバック・リハビリテーションをテーマにして有益な交流が得られたことから、日本バイオフィードバック学会理事である辻下守弘教授が第47回日本バイオフィードバック学会学術総会で「筋電図バイオフィードバックを用いたリハビリテーションの新しい展開」というタイトルのシンポジウムを企画した。そして依頼されてシンポジウム講師として、筆者と照岡正樹と鈴木里砂(文京学院大学。辻下氏の教え子。SUACワークショップに参加して交流)の3人が講演を行った。

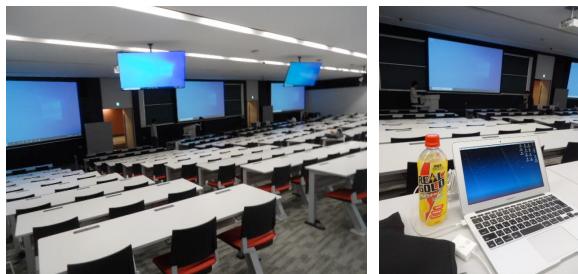
ワークショップではなくて単なる「講演」(後半にはパネルディスカッションとして議論)だったものの、会場にいるのは大部分が日本バイオフィードバック学会員で、現場でリハビリや脳科学研究をしている専門家ばかりであり、意見交換は有意義なものとなった。ここでも「実際の現場での試用について」の質問が出たが、ここで意見交換した専門家に、逆に将来的にその「場」を提供いただけないかと(コラボレーション)打診する可能性も出てくるので、この学会については今後もチェックを続けていきたい。このような場で発信したからこそ、専門家の意見やコメントを受けられたので、このような講演依頼の機会は今後も追求していくたい。



事例 BF学会シンポジウムの講演者(SUACスケッチングワークショップで出会った)

## 事例 リハ工学カンファレンス2019(北海道科学大学) 2019年8月23日

筆者は技術士として独立した頃から福祉工学の勉強のために「日本リハビリテーション工学協会」に参加して情報収集してきた。このリハ協会の最大のイベントが「リハ工学カンファレンス」という年に一度の大会であり、特別講演・研究発表・福祉機器コンテスト・機器体験会などの企画が満載である。多くは病院やリハビリ施設などの「現場」での実例(写真には目線の入ったクライアントの生々しい姿も多い)を報告しているので、基本的に筆者は発表なしに視察/聴講参加を続けてきた。過去に発表したのは2015年11月に「筋電ジェスチャ認識アルゴリズムに関する一提案」として、筋電認識が意思疎通システムとして使える可能性を問い合わせたものだけだった。



事例 リハ工学カンファレンスの風景

今年は本研究の全体テーマそのもの「バイオフィードバック・リハビリテーションの実現を支えるメディアデザインとシリアルスゲーム」というタイトルで、専門家の意見を求めてみようと発表講演した。これもワークショップではないが、会場にいるのはまさに現場の人々(電動の車椅子を操縦するクライアント本人も数多く参加)、看護・介護やリハビリなどの専門家ばかりであり、意見交換は非常に有意義だった。大きな枠組みとして「役立つシステムの実現を支援する」という本研究の目的に対して「本当に役立つシステムが簡単に作れるの?」という素朴な質問が出る。これに簡明に応えられる境地を目指さなければならない、と肝に銘じる機会となった。

## 事例 情報科学技術フォーラム2019(岡山大) 2019年9月3日

今さら「IT」もないが、このイベント「フォーラムIT」とは、電子情報通信学会(情報システムソサイエティ[ISS]・ヒューマンコミュニケーショングループ[HCG])と情報処理学会とが合体して開催する歴史ある研究発表大会である。筆者は過去に、勉強のために聴講参加したFITにおいて、自動車メーカーと医師との共同研究による「車酔い」の計測実験報告に接したことから、呼吸センシング(1-2-3)の一つ、呼気末端二酸化炭素濃度の計測を知って、マルチメディアにつきものの「映像酔い」の研究が始まった。このように「情報科学技術」の、ありとあらゆる研究が一同に会するという他流試合の面白さがある。Ars Electronicaと同時期なので最近は参加できなかったが、今回は本研究のテーマほぼそのもの「ウェルネス・エンタテインメントを実現するツールキット: スケッチングとメディアアート」というタイトル(やや重点を情報科学技術の方に置いた)で、社会への提案と広く意見交換する機会を求めた。



事例 FIT2019の風景

以前のFITでは、研究内容に直球で関連するセッションに割り当てられて発表してきたが、このタイトルはプログラム編集委員会でも困ったらしく(実際にプログラム編集委員から聞いた)、タイトル中の「エンタテインメント」という部分を取り出して、エンタテインメントコンピューティングの発表が並ぶセッション、しかし上位の大分類では「グラフィクス・画像」という分野に割り当てられてしまった。このタイトルから「福祉領域」・「バイオフィードバック」・「リハビリ」には連想しにくいので、「キーワード」には書いていたものの、そちらのテーマのセッションには回らなかった。さらにメインのイベント会場で同時刻(裏)に「若手研究者が描く未来予想図」というキャッチャーなセッションが行われたこともあって、筆者の発表するセッション会場は発表者とその2倍程度の聴衆、という閑散とした状態だった。それでも発表後の質疑では、定番の「実地テストについて」の質問、そしてメンタルヘルスの専門家からのコメントもあり、発表参加の収穫は得られたと考えている。

## 第4章 検証と展望

本章では、前章で紹介した事例の中から3件を選んで、本研究で注目した視点に基づいた考察/検討や、専門家との意見交換/議論に基づいた検証を行った。そして最後に「将来に向けての課題」として、(1)ワークショップの事例から考察した提案として「デザイン・エンタテインメント」というアイデアについて、(2)ウェルビーイング/ウェルネスを支援する社会的/文化的な意義、(3)本研究においてより拡大した意味でのメディアアートの可能性を考察した。

### 4-1 事例の考察と検証

本節ではまず、前章で紹介した中で多かった「錯覚」テーマの事例について、本研究での位置付けとその意義について考察した。そして第3章で紹介した事例の中から「JumpingGirl」・「PAW-eight」・「親指の達人」の3件を選んで、本研究で注目した視点(第1章で挙げた「内受容感覚」・「シリアルゲーム」・「バイオフィードバック」・「ウェルネス」など)に基づいた考察/検討や、専門家との意見交換/議論に基づいた検証を行う。

#### 4-1-1 「錯覚」テーマの事例についての考察

本研究では、第1章「バイオフィードバック/内受容感覚/リハビリテーション」の節において、「感覚の起源」・「知覚と意識：外受容感覚と内受容感覚」・「リハビリテーションとハビリテーション」・「ウェルネス(ウェルビーイング)」という4つの項目において、進化生物学的/基礎心理学的/脳科学的な知見について調査検討し、人間のメンタルな領域(意識/注意/情動など)に関する科学的な視点について深く考察した。そして「錯覚」という伝統的なテーマが、情動に繋がる「驚き/新鮮な刺激」としてメンタルなウェルネス・エンタテインメントに繋がる可能性を一つのテーマと据えた。認知症予防や認知症リハビリにおいて、脳内の複数の領域を同時に活性化することの有効性というのも、この「メンタルなウェルネス・エンタテインメント」に繋がるものであり、本研究で多くの事例として提案している一種のシリアルゲームは、このような人間の[崇拝な]メンタル領域(自分の健康について自覚する→自分で治るという方向性)を強く意識したものである。

そこで、前章で紹介した中で多かった「錯覚」テーマの事例というのは、その多くは古典的に報告された「錯視」や「錯聴」だったり、融合したマルチモーダル錯覚、さらに「残効」など動的(時間学的)な錯覚などから取材するとともに、現在でも刻々と世界で報告されている「新しい錯覚」についても意識的に取り上げた。その中にはまだ錯覚の理由について理論的に説明されていないものも含まれる。また、古典的な視覚的錯覚理論を否定するギブソンのアフォーダンス視覚理論に基づく錯覚なども取り上げた。

これらは「単純に体験する」だけでも情動に繋がる「驚き/新鮮な刺激」となるが、有効なシステムを容易に実現する(スケッチング)というテーマの本研究においては、単に再現するだけでなく、それらを「インターラクティブに操作」して「カスタマイズ」する、というアプローチを前面に出した。前章で紹介した「錯覚」テーマの事例の多くは、単純に静止画や動画の錯視を「眺める」のではなく、それらのパラメータを自分で操作することで、錯覚になったりならなかったりする曖昧な境界を試す、という「新鮮な体験」(→これも脳活性化)を提供するところがポイントとなっている。残効に関する動的な錯覚体験Maxパッチであれば、図形素材の回転や移動の速度や方向などを自在に変えて、自分なりに「もっとも強い」錯覚を実現することが可能で、逆にパラメータを変えることで錯覚現象が消滅する、という新しい実験/発見も提供している。

さらにMaxによってそのような高度なインターラクティブ・システムをこんなに簡単に実現/改編できるのだ、という体験も、例えば人間環境大学看護学科大学院のベテラン看護師/介護士の皆さんには、かなり新鮮

な発見として好評だった。それまでのリハビリ用システムは医療機器メーカーの提供する高額なシステムばかりだったのでに対して、本研究のスケッチングによって提供する試作システムのコストはその100分の1程度だったのである。これは今後とも、専門家との意見交換によって新しいシステムを実現し提案していく大きな基盤となった。

#### 4-1-2 事例 "Jumping Girl" についての考察と検証

前章3-1-3で紹介した事例(インスタレーション/シリアルゲーム)「Jumping Girl」は、SUAC院生・馬ブン(M1)と共同制作した認知症予防/リハビリのためのシステムである。事例「右手(ゆうしゅ)に円を書き左手(さしゅ)に方を画く」は学部時代に制作したが、その動機は中国の自宅にいる認知症の祖父とその介護に疲弊する家族に対する思いであった。筆者が支援した馬ブン(M2)の修了制作はこの作品とともにさらに2作品、「にゃん~パン」と「破茧成蝶(はちゅうせいちょう)」があるが、その全てが祖父と家族を念頭にした「認知症予防/リハビリ」を目指したものとなった。

「にゃん~パン」は一見すると単なる、ふてぶてしい顔をした猫のぬいぐるみである。しかしこれは認知症患者の介護ストレスで疲弊する家族のストレス解消のためのインスタレーションを目的とした、立派な福祉用途のインスタレーション/シリアルゲームなのである。多数の表情をデザインした末に検討して選ばれてオリジナルから改変した表情の猫のぬいぐるみを壁に投げつけると、衝撃に応じて大きな破壊音などが鳴ってストレスを発散できる、というものである。内部にWiFi加速度センサとワイヤレス音声伝送アンプを内蔵し、ホストMax7のパッチによって全体を実装した。

「破茧成蝶(はちゅうせいちょう)」もまた、高齢者の認知症予防ゲーム(シリアルゲーム)として制作した。蝶のモチーフの仮面を3Dプリンティングにより制作し、中央の「印堂穴」と左右の「四白穴」のツボの位置に、押すとそれが同時にツボ刺激になるようにスイッチを設置した。幼虫から蛹へ、蛹から蝶へ、という中国の古和をなぞった一種の養成ゲームで、幼虫の温度、食事、天敵からの守りなどを行う中で、条件として「正しく秒数を数え」てスコアを加えていく(bestの5.00秒から多くても少なくとも減点される)ことが脳の活性化に繋がる。



事例 “にゃん~パン”と”破茧成蝶(はちゅうせいちょう)”

このように一貫した「認知症予防/リハビリ」への願いが、最初に制作した「Jumping Girl」の原点であった。このシリアルゲームの体験者は、「近づいてくる障害物」をその加速状態とともに認識し、少女が近づく「鳥居」を「しゃがみ込む」ことで避けるのであれば両足を左右のフットスイッチに移動させて同時に踏み、少女が近づく「切り株」を「ジャンプする」ことで避けるのであれば両足を前後のフットスイッチに移動させて同時に踏む必要がある。スイッチを踏んで無事に避けた喜びは、リアルな叫び声という聴覚情報からも賦活される。

これを紹介した奈良学園大での「バイオフィードバックセミナー」(2018年3月)では多くの参加者に実際に体験してもらった。両足を広げて「左右」のスイッチを同時に押した時だけ「しゃがみ込む」ことが出来て、両足で前後のスイッチを同時に押した時だけ「ジャンプする」ことが出来るのだが、「左右」はほぼ1通りなのに対して、「前後」はどちらの足を前にしても一方を後ろにするかの瞬時判断が求められて、やってみると意外に混乱(→脳が活性化)する、と好評だった。高齢者はたいてい「下半身(足腰)」から弱ってくるが、これがさらに寝たきりに向かって加速する…という悪循環があり、脳活性化だけでなく下半身のトレーニングゲームという意味でも専門家の評価を得たのは大きな収穫となった。次のステップとしては、実際のクライアントのいる施設に持ち込んでの実験と検討、というステージを目指していきたい。

#### 4-1-3 事例 "PAW-eight" についての考察と検証

前章3-1-3で紹介した事例「PAW-eight」は、PAWセンサを8個使ったインターフェースを用いて、暗闇の3次元空間に整然と並んで浮かぶ反射球体がゆっくり動く中で、8個の「光源」となる輝点(PAWセンサを操作する8本の指にそれぞれ対応)の位置を移動させる、という無意識下の生体情報というよりは能動的な筋肉を使った(バイオフィードバックでない)ゲームであり、この部分まででは「シリアルスゲーム」というよりは単に「3D-CGゲーム」である。124-125ページの写真にあるように、デモ体験したSketching2019の参加者(研究者/専門家)は、大画面での3次元空間の迫力/没入感とともに、手元のPAWセンサのウレタン反発力という「優しい触感」を堪能していた。

通常、この手の「押す」「握る」「潰す」ようなアクションはスポーツ的にピーク力を求めるものが多いのに対して、ここで8本の指それぞれに対応した8個の輝点が空間の真ん中にある「ブラックホール」に入るよう調整するには、それぞれの指ごとに、PAWセンサの4チャンネルの出力値をフルスケールの半分あたりに「揃える」必要があり、指先に対する集中とともに実際に良好な位置に輝点が移動すると、距離に比例したピッチの耳障りなサウンドが消えてきて、さらに空間全体に残響(リバーブ)が深くなって耳触りが気持ちいいウェルネス状況に進展する。これを8個の輝点の全てで行うのはなかなか難易度が高いが、ツボを獲得する体験者も散見した。目標としては、認知症予防のための脳の活性化として、視覚と聴覚と指先の運動感覚と触感(内受容感覚)との融合を目指したシリアルスゲームである。

この事例を含めて、PAWセンサを使ったシステムのデザインにおいて筆者が「PAWセンサの4チャンネルの出力値をフルスケールの半分あたりに揃える」という条件を多用しているのには理由がある。能動的な筋肉による操作ではあるものの、目標とするのが「中間あたり」という領域であると、細かな操作をするためには「力を入れる」だけでなく「微妙に脱力する」という両方のバランスが必要となり、これがまさに「内受容感覚」(→無意識化の情動を喚起)の面白さとなる、というのがポイントである。奈良学園大・リハビリテーション学科オープンキャンパスの場で一般の参加者/高校生が体験している様子は象徴的だった。最初は「恐々と」触り始めるものの、慣れてシステムの反応と触感の関係性が理解されてくると、プロアマ・年齢に関係なく嵌まり込んでくれて、困難さを訴える人もいれば素晴らしく上達する人もいた。その表情から得られたのは、脳からの随意筋チャンネルで行われる筋電/PAWコントロールに対するバイオフィードバックを実装する実験として、このような情動/感情からくる充実感「ウェルネス」の可能性であった。

#### 4-1-4 事例 "親指の達人" についての考察と検証

2019年にSUACで開催した「スケッチング」ワークショップの参加者3チームがそれぞれ1日で実現した成果物のうち、ここでは「Bグループ」(5人)実質1日で実現したインスタレーション/シリアルスゲームの「親指の達人」について考察する。これは、メンバーの一人が指圧療法の専門家(常葉大学准教授・小貫睦巳氏)であったので、そのプロの指圧の技を素人でも簡単に練習/習得できるようなトレーニングの「役立つ」ゲー

ムを目指した。使用したセンサは第1章1-2-6で紹介した「Wii-Fitバランスボードを分解してストレインゲージを取り出してArduinoと繋いだ体重センサ」である。このセンサをまず、指圧トレーニング用の簡易人体模型に仕込んで服を着せた。

ワークショップの中で小貫氏が指圧療法について解説したのを受けて興味を持った「Bグループ」のメンバーは、小貫氏が紹介した既存の(指圧の強さをセンサで計測して数値とグラフで表示/記録するだけの味気ない)システムのデモを受けて、これを「楽しみながら役立つ指圧トレーニングゲーム」(シリアルスゲーム)に出来ないか、とまず検討した。このアプローチはまさに、本研究が提案する方向性そのものであると言える。メンバーは手分けしてそれぞれ得意な部分(音楽、造形、プログラミング、・・・)に分かれて残り半日でこのシステム「親指の達人」を実現してしまったが、それを支援したのは、「センサ→Max」という既に完成していたオープンソース・ハードウェアを活用したこと、そして多くのTemplateから容易にMaxパッチを試作して、実験して、実際に動くところまで進めた「デザイン環境」にある。センサデータを刻々と記録するMaxパッチや、色々な手法でリアルタイムにビジュアライズするオープンソース・ソフトウェア(Maxパッチ)は筆者が提供した。

このシステムでは、クラシック音楽(ワルツ)に合わせて、まずは小貫氏が「クライアント(患者)に有効なように」指圧センサ人形を実際に指圧して、その時間的データを「教師データ」として記録した。プロの小貫氏の指圧は、単に音楽のリズムに合わせてビートを叩くように押すのではなく、ワルツ音楽の盛り上がりに対応して脈打つような美しいカーブを描いているのが誰の目にも分かった。そして体験者は、同じ音楽を聴きながら指圧してみるが、そのグラフとともにプロの小貫氏のグラフも表示されることで、「勘所」の違いとか、無駄に力をかけているとか、まさに「指圧トレーニング」としてゲーム感覚で、かつマルチメディア・バイオフィードバックの支援によって、楽しく容易に「指圧の練習」が出来る、という立派なシリアルスゲームの試作品となった。この事例は今後のワークショップやバイオフィードバックセミナーの機会にも、有効な事例として紹介していく計画である。

## 4-2 将来に向けての課題と展望

本節では、(1)ワークショップの事例から考察した提案として「デザイン・エンタテインメント」というアイデアについて、(2)ウェルビーイング/ウェルネスを支援する社会的/文化的な意義、(3)本研究においてより拡大した意味でのメディアアートの可能性、という3点を考察して、将来に向けての課題と展望として整理する。

### 4-2-1 ワークショップの意義(デザイン・エンタテインメント)

本研究では色々なワークショップを行ってきたが、その意義として筆者は「デザイン・エンタテインメント」というアイデアについてここで提案しておきたい。ビジュアル・グラフィック・映像・ゲーム・インテリア・造形などのデザイン領域の学生に対して、主としてインタラクティブな要素の部分を指導する日々の中で、「デザイン」行為そのものが立派な「エンタテインメント」である、という確信を深くしてきた。絵心はあるがプログラミングは苦手(嫌い)、というデザイン学生はとても多いが、本研究のスケッチングの視点から「自分の描いたイラストが自分のアクションに反応して自在に動きだす」Maxパッチを伝授すると、目の色が変わってくる。ここで重要なのは理工系学生のプログラミング言語(英語のような)でなく、Templates/Examplesが豊富なMaxのオープンソース・ソフトウェア素材集の活用であり、さらに人間とのインターフェースにセンサ/ディスプレイ/アクチュエータ等のオープンソース・ハードウェアを活用すると簡単に現実世界とインタラクション出来る、という「発見」である。

これはデザイン学生だけでなく、ワークショップへの一般参加者、あるいはバイオフィードバックセミナーに参加した医療/福祉関係の専門家であっても同様だった。テクノロジーが発展して全てがブラックボックスになっている現代、まさか「役立つシステム」の実現に自分が関与するとは思いもよらないのだが、実はそのテクノロジーの進化はオープンソース文化とともに、逆に「興味を持つ誰もが実際に役立つシステムを実現できる」という可能性を大きく支援してきている。短期間に何かを実現してしまう、というワークショップの事例を重ねて検討考察してきた本研究は、この21世紀型のデザインの啓蒙活動と言えることも出来るかもしれない。何もかも新しく作るのでなく、「既存のもの」へのリスペクトとともに「改造する」という発想も筆者は重視しており、「改造のデザイン・エンタテインメント」についても今後、さらに探求していきたいと考えている。

#### 4-2-2 ウェルビーイング/ウェルネスを支援する社会的意義

本研究に関連した報告発表など学会等の場で色々な人々から得た質問/コメントの中でもっと多かったのが、「クライアントの実例」についてのものだった。筆者自身は医療機関・福祉施設などで実際のクライアントに触れる専門家ではないために、療法士・看護師・介護士などの専門家(実際に日々、現場でクライアントと接している人々)に試作システムを試してもらって、将来的な可能性などについてヒアリングや意見交換を行ってきた。「そういうシステムがあるなら施設に持つていて実際に試してみては?」という意見も少なからずいただいたが、限られた研究期間の中でクライアントに直接試してもらう場を求められなかったのは大きな反省点である。

過去には技術士として大阪の高齢者施設の院長と交流する中で、認知症(当時は「痴呆症」という用語)の患者が深夜にベッドから起き上がる発作を起こすと、ベッドからの落下で骨折して「寝たきり」になる(→症状が悪化する)ために、この発作を検出してナースコールする装置を試作納品したことがあった。センサとしてはベッド上空にFA用の赤外線ビームを走らせて監視し、ビームが遮断されたら「起き上がった」と検出してナースコールのボタンをONにするだけであり、設計から試作まで3日で完成した。しかしこれを大阪の施設に持っていくと、実際の現場では装置を置く場所や部屋の什器との兼ね合いなど多くの試行錯誤が延々と必要となり、「現場での実験」の難しさを痛感したものだった。インタラクティブシステムの創造/試作は容易であっても、これが現実のクライアントの現場に設置される事(医療行為の一環となるには法律的な障壁が高い)の重要性については今後も留意していきたい。有効な作戦としては、直接的にクライアントと接している専門家とのコラボレーションとして、療法士・看護師・介護士などの専門家に試作システムを貸し出して設置/実験してもらうというのが第一段階であるが、さらに次のステップとして「欲しいシステムを専門家が試作する」のを手伝う(専門家は自分が関与したシステムとして身近に感じる)、という形態を目指していきたいと考えている。

本研究は、福祉/医療/介護/看護/セラピーなどの領域の現場の専門家との意見交換/コラボレーションによって進めてきた。しかしあくまで「医療(CURE)」(医療機器の製作)でなく、クライアントの内なる力を引き出すこと(CARE)を支援する、という目標でのアプローチに限定した。厳格な医療機器には人命保護のための厳格な規定があり、これは医療工学の世界であって、そこに割って入る意図はない。しかしきッシング/オープンソースの時代になって、バイオフィードバック療法に活用できるようなシステムで言えば、従来の医療機器メーカー製品の高額なシステムの数百分の一のコストで、特注システム設計の専門企業(高コスト)に委託することなく、医療福祉分野に関わる看護師/介護士/療法士/セラピスト等であっても、工学を専門としない(しかしビジュアル表現は得意な)デザイナであっても、有効なCAREシステムを容易に実現できる状況になってきた。本研究ではこのような時代になっている事をまず人々が知ること、そして具体的にブラックボックスとして公開ライブラリ/ツール類を活用してシステムを試作できるという体験を提供すること、ウェルビーイング/ウェルネスという視点が人間の可能性を広げるという「広義のエンタテインメント」の

提案を追求した。この枠組みそのものが21世紀におけるメディアアートの一つの姿であり、使命であると考えている。

「バイオフィードバックセミナー」やシリアルゲームに関する国際会議などの場で、異なる領域の専門家との意見交換/議論を進めるなかで見えてきたのは、世界中がネットワークで繋がってコラボレーションできるこの時代には、自分の専門に閉じないことの重要性である。メディアアートがこれまで色々な形態/アプローチで開拓してきた領域(←サーベイ文献「MediaArtNet」の広大な事例)は尊重しつつも、「作品展示」とか「公演」というようなアウトプットに限定される必要はないと考える。また心理学や脳科学の進展は、過去に作家本人の主観的な意味付けに限定されていたメンタル領域でも、客観的/科学的なアプローチの可能性を示唆している。本研究では、「ウェルネス・エンタテインメント」という目標に対して、クライアントと実際に接している専門家とのコラボレーションによって、従来のインタラクティブ・メディアアート(インスタレーションやゲーム)が本質的に持っている特性(「やらされるリハビリ」から「自力で治るリハビリ」への転換を支援)が、人々や社会により「役立つ」という可能性を見出して、その実現を支援する枠組み/ツールキットそのものをメディアアートの新しい姿として追求した。このメディアアートの社会的意義、という視点は重要であると考える。

#### 4-2-3 メディアアートの可能性

かつてソフトウェアが高度化/複雑化していった時代には「エンドユーザ・プログラミング」という概念が提案された。コンピュータを活用したインタラクティブ・インスタレーション作品など典型的なメディアアートの領域では、歴史的には作家自身がテクノロジーやプログラミングのスペシャリストになるか、あるいはそういう専門家とのコラボレーション・プロジェクトとしてメディアアートを実現してきた。作家が求めるデザインであれば、その振る舞いを精緻にしていくための高度なプログラミングは作家自身が精進して獲得してきた。

しかし本研究の目指すところは、専門家でない人々(医療福祉関係やプログラミングが苦手なデザイナ)であっても高度な「役立つ」システムを容易に実現する「枠組み」を提供すること自体をメディアアートとしたい、という境地である。クライアントに接する専門家が、あるいは時にはクライアント自身が、ウェルネスを実現するために有効なインタラクティブシステム自分でデザインする、というのはまさに「エンドユーザ・プログラミング」そのものである。ネットで地球上の知識の全てが繋がった現在、オープンソース文化がこれを強力に支援している状況を活用して、「役立つ」メディアアートでありたいと思う。

ベンヤミンが予見した「芸術と科学の融合」は、デジタルによる完全な複製技術と21世紀のオープンソース文化によって本当の意味で花開いた。芸術のある側面が「メタ技術」であるとすれば、その突破口は本研究が挑戦したようにメディアアートからであると信じる。本研究はコンピュータ・エレクトロニクス技術の賜物であると同時に、人間の奥深くにある「自己の気付き」を引き出すための生体情報センシングや能動的バイオフィードバックによって、最終目標であるウェルネス・エンタテインメントの追求を目指した。本研究のスケッチング成果や全ての知的生産物はオープンであり、コラボレーションによってさらなる展開の材料となる事を待っている。今後もさらに色々なコラボレーションを進めて、メディアアートの可能性を追求していきたい。

# おわりに

本研究はメディアアートの新たな可能性について提案した。20-21世紀のテクノロジーの進展の恩恵を受けて発展したインタラクティブ・メディアアートは、本質的に人間とのやりとりを介してバイオフィードバックを実現する可能性を持っている。そして専用の感覚器による外受容感覚だけでなく、情動や意思決定と関連する内受容感覚までをバイオフィードバックの対象として拡張するアプローチによって、人間の「感覚・意識・感情」から「健康・恒常性」にいたるウェルネスの支援に役立つ可能性を確認した。ウェルネス追求やリハビリテーションにおいて、クライアント本人の自己意識こそ心身の健康の源泉となる、という東洋医学や心身医学の視点は、最近の脳科学の進展からも「事実/真理」として支持されてきている。人間の「気」(気持ち・気合い・気付き・気力)の驚くべき力に寄り添う「ウェルネス・エンタテインメント」を実現するためにメディアアートが出来ることは何か、これが本研究のテーマとなった。

第1章「背景から着想まで」では、メディアアートのサーベイ、「バイオフィードバック」「内受容感覚」「リハビリテーション」「ウェルネス(ウェルビーイング)」などの概念の検討/考察、重要な背景である「シリアルゲーム」「オープンソース文化」などの文化的・学術的な背景から本研究の着想に至る経緯を整理した。

第2章「本研究の内容」では、「インタラクティブマルチメディア」デザインというアプローチを解説し、これをシリアルゲームの発想により発展させた「エンタテインメントコンピューティング」、特にリハビリテーションやメンタルヘルスとの関係を考察した。さらに、オープンソース文化により生まれた「スケッチング(物理コンピューティング)」について、新たに開発/公開した2つのハードウェアの具体例を中心に詳解し、誰でも容易にデザインできるフレームワーク/ツールキット、として提案した。そしてアウトプットに関して、「全情報をインターネット公開」「専門家とのコラボレーション」「ワークショップやシンポジウム」という3つの活動の展開までが提案するメディアアート(活動)である、という点を明確にした。

第3章「事例」では、具体的に制作したシステムの事例を7カテゴリに分けて、「スケッチング」の具体化としての意味や「ウェルネス・エンタテインメント」的なポイントを解説しつつ紹介した。また社会への提案事例を4カテゴリに分けて、実際に専門家と進めてきたコラボレーションの事例や、ワークショップ・シンポジウム・チュートリアル・レクチャー・セミナーでの公開/発表/考察/議論などの事例を「シリアルゲーム」の考え方と関連させて検討した。

第4章「検証と展望」では、第3章で紹介した事例の中から3件を選んで、本研究で注目した視点に基づいた考察/検討や、専門家との意見交換/議論に基づいた検証を行った。そして最後に「将来に向けての課題」として、(1)ワークショップの事例から考察した提案として「デザイン・エンタテインメント」というアイデアについて、(2)ウェルビーイング/ウェルネスを支援する社会的/文化的な意義、(3)本研究においてより拡大した意味でのメディアアートの可能性を考察した。

本研究は古典的な「特定の作品」という形態でなく、役立つシステムの実現を支援するフレームワーク/ツールキットの公開やワークショップ等による活動の総体を、新たなメディアアートの姿として追求した。時代の進展とともにさらに人間のメンタルヘルスが注目されていくのは確実であり、これを支援する一助としてのメディアアートについて、色々な専門家とのコラボレーションによってさらに追求していきたいと思う。

# 参考文献/URL・図版出展

## 参考文献/URL

### 美学/哲学/芸術論/複雑系 関係

- Rudolf Frieling/Dieter Daniels. Media-Art Net 1. Springer Vienna Architecture, 1991  
S.K.ランガー, 池上保太/矢野萬里(訳). 芸術とは何か. 岩波書店, 1967  
木村重信. モダン・アートへの招待. 講談社, 1973  
日向あき子. 視覚文化 : メディア論のために. 紀伊國屋書店, 1978  
ロイ・アスコット, 藤原えりみ(訳). アート&テレマティクス : 新しい「美」の理論構築に向けて. NTT出版, 1998  
小林康夫/松浦寿輝. メディア : 表象のポリティクス. 東京大学出版会, 2000  
ジョン・A・ウォーカー/サラ・チャップリン, 岸文和(訳), ヴィジュアル・カルチャー入門 : 美術史を超えるための方法論. 晃洋書房, 2001  
三井秀樹. メディアと芸術. 集英社, 2002  
藤幡正樹. アートとコンピュータ : 新しい美術の射程. 慶應義塾大学出版会, 1999  
藤幡正樹. 不完全な現実 : デジタル・メディアの経験. NTT出版, 2009  
ジャン・ピエロ・ブルネット, 川本英明(訳). ヨーロッパ視覚文化史. 東洋書林, 2010  
多木浩二/他. 技術と芸術. 岩波書店, 1989  
多木浩二/他. 現代芸術の焦点. 岩波書店, 1990  
多木浩二. 眼の隠喻 : 視線の現象学. 筑摩書房, 2008  
多木浩二. ベンヤミン「複製技術時代の芸術作品」精読. 岩波書店, 2000  
多木浩二. 映像の歴史哲学. みすず書房, 2013  
多木浩二. 視線とテクスト : 多木浩二遺稿集. 青土社, 2013  
ヴァルター・ベンヤミン, 石黒英男(訳). 生産者としての作家. 晶文社, 1971  
ヴァルター・ベンヤミン, 丘澤静也(訳). 教育としての遊び. 晶文社, 1981  
ヴァルター・ベンヤミン, 今村仁司/他(訳). 方法としてのユートピア. 岩波書店, 1993  
ヴァルター・ベンヤミン, 久保哲司(訳). 写真小史. 筑摩書房, 1995  
ヴァルター・ベンヤミン, 浅井健二郎/久保哲司(訳). 記憶への旅. 筑摩書房, 1997  
ヴァルター・ベンヤミン, 久保哲司(訳). 図説写真小史. 筑摩書房, 1998  
ヴァルター・ベンヤミン, 高木久雄/他(訳). 複製技術時代の芸術. 晶文社, 1999  
ヴァルター・ベンヤミン, 浅井健二郎(訳). ドイツ・ロマン主義における芸術批評の概念. 筑摩書房, 2001  
ジル・ドゥルーズ, 中島盛夫(訳). カントの批判哲学 : 諸能力の理説. 法政大学出版局, 1984  
ジル・ドゥルーズ, 岡田弘/宇波彰(訳). 意味の論理学. 法政大学出版局, 1987  
ジル・ドゥルーズ, 宮林寛(訳). 記号と事件 : 1972-1990年の対話. 河出書房新社, 1996  
ジル・ドゥルーズ, 財津理/齋藤範(訳). 運動イメージ. 法政大学出版局, 2008  
ジル・ドゥルーズ, 國分功一郎(訳). カントの批判哲学. 筑摩書房, 2008  
千葉雅也. 動きすぎてはいけない : ジル・ドゥルーズと生成変化の哲学. 河出書房新社, 2013  
国分浩一郎. ドゥルーズの哲学原理. 岩波書店, 2013  
蓮實重彦. フーコー・ドゥルーズ・デリダ. 河出書房新社, 1995  
ミシェル・フーコー, 廣瀬浩司/他(訳). 知/身体 : 1978. 筑摩書房, 2000  
中山元. フーコー入門. 筑摩書房, 1996  
ロラン・バルト, 沢崎浩平(訳). 美術論集 : アルチンボルドからポップ・アートまで. みすず書房, 1986  
ロラン・バルト, 沢崎浩平(訳). 第三の意味 : 映像と演劇と音楽と, みすず書房, 1998  
ロラン・バルト, 花輪光(訳). 記号学の冒険, みすず書房, 1999  
ロラン・バルト, 花輪光(訳). 新=批評的エッセー : 構造からテクストへ. みすず書房, 1999  
ロラン・バルト, 森本和夫/林好雄(訳). エクリチュールの零(ゼロ)度. 筑摩書房, 1999  
ロラン・バルト, 蓮實重彦/杉本紀子(訳). 映像の修辞学. 筑摩書房, 2005  
ロラン・バルト, 保苅瑞穂(訳). 批評と真実. みすず書房, 2006  
ジャック・デリダ, 足立和浩(訳). 根源の彼方に : グラマトロジーについて[上・下]. 現代思潮社, 1972-1976  
ジャック・デリダ, 高橋允昭(訳). 他者の言語 : デリダの日本講演. 法政大学出版局, 1989  
ジャック・デリダ, 港道隆(訳). アポリア : 死す—「真理の諸限界」を「で/相」待一期する. 人文書院, 2000  
ジャック・デリダ, 林好雄(訳). 声と現象. 筑摩書房, 2005

ジャック・デリダ, 合田正人/荒金直人(訳). フッサール哲学における発生の問題. みすず書房, 2007  
フリードリヒ・キットラー, 原克/他(訳). ドラキュラの遺言: ソフトウェアなど存在しない. 産業図書, 1998  
フリードリヒ・キットラー, 石光泰夫/石光輝子(訳). グラモフォン・フィルム・タイプライター[上・下]. 筑摩書房, 2006  
ノルベルト・ボルツ, 識名章喜/足立典子(訳). グーテンベルク銀河系の終焉: 新しいコミュニケーションのすがた. 法政大学出版局, 1999  
ノルベルト・ボルツ, 山本尤(訳). カオスとシミュレーション. 法政大学出版局, 2000  
ノルベルト・ボルツ, 村上淳一(訳). 世界コミュニケーション. 東京大学出版会, 2002  
ノルベルト・ボルツ/アンドレアス・ミュンケル, 壽福真美(訳). 人間とは何か: その誕生からネット化社会まで. 法政大学出版局, 2009  
ジョナサン・クレーリー, 石谷治寛/大木美智子/橋本梓(訳). 知覚の宙吊り: 注意、スペクタクル、近代文化. 平凡社, 2005  
ジョナサン・クレーリー, 遠藤知巳(訳). 観察者の系譜: 視覚空間の変容とモダニティ. 以文社, 2005  
ハル・フォスター, 室井尚/吉岡洋(訳). 反美学: ポストモダンの諸相. 勲草書房, 1987  
ハル・フォスター, 横沼範久(訳). 視覚論. 平凡社, 2007  
ハル・フォスター, 五十嵐光二(訳). デザインと犯罪. 平凡社, 2011  
ハル・フォスター, 中野勉(訳). 第一ポップ時代～ハミルトン、リクテンスタイン、ウォーホール、リヒター、ルシェー、あるいはポップアートをめぐる五つのイメージ. 河出書房, 2014  
L.ファン・ベルタランフィ, 長野敬/太田邦昌(訳). 一般システム理論—その基礎・発展・応用. みすず書房, 1973  
I.プリゴジン/G.ニコリス, 小畠陽之助(訳). 散逸構造—自己秩序形成の物理学的基礎. 岩波書店, 1980  
I.プリゴジン, 小出昭一郎/安孫子誠也(訳). 存在から発展へ—物理科学における時間と多様性. みすず書房, 1984  
I.プリゴジン/I.スタンジェール, 伏見康治/伏見譲/松枝秀明(訳). 混沌からの秩序. みすず書房, 1987  
イリヤ・プリゴジン, 安孫子誠也/谷口佳津宏(訳). 確実性の終焉—時間と量子論、二つのパラドクスの解決. みすず書房, 1997  
北原和夫. プリゴジンの考えてきたこと. 岩波書店, 1999.  
R.L.Devaney, 後藤憲一(訳). カオス力学系入門第2版. 共立出版, 2003  
歳本由紀. リズム現象の世界. 東京大学出版会, 2005  
S.H.Strogatz. Nonlinear Dynamics and Chaos. Westview Press, 1994  
スティーヴン・ストロガツ, 長尾力(訳). SYNC なぜ自然はシンクロしたがるのか. 早川書房, 2005  
A.Pikovsky/M.Rosenblum/J.Kurths, 徳田功(訳). 同期理論の基礎と応用. 丸善, 2009  
郡宏. 生物リズムと力学系. 共立出版, 2011.  
L.クラーゲス, 杉浦実(訳). リズムの本質. みすず書房, 1994.

## 作家/研究者 関係

Stelarc. <http://www.mediaartnet.org/artist/stelarc/biography/>  
Wikipedia「Stelarc」. <http://en.wikipedia.org/wiki/Stelarc>  
Stelarc. Suspension. <http://www.mediaartnet.org/works/suspension/>  
Stelarc. Third Hand. <http://www.mediaartnet.org/works/third-hand/>  
Stelarc. Amplified Body. <http://www.mediaartnet.org/works/amplified-body/>  
Stelarc. Extra Ear. <http://www.mediaartnet.org/works/third-ear/>  
Stelarc. Ping Body. <http://www.mediaartnet.org/works/ping-body/>  
三輪真弘. <http://kalvos.org/masahiro.html>  
赤松正行. <http://akamatsu.org/aka/profile/>  
Atau Tanaka. [http://www.ataut.net/site/\\_Atau-Tanaka\\_](http://www.ataut.net/site/_Atau-Tanaka_)  
SensorBand. <http://www.ataut.net/site/Sensorband>  
Anthony Brooks. <http://dk.linkedin.com/in/anthonylewisbrooks>  
Denis Perevalov. Mastering openFrameworks: Creative Coding Demystified. <http://www.packtpub.com/application-development/mastering-openframeworks-creative-coding-demystified>  
Denis Perevalov, Igor Tatarnikov. openFrameworks Essentials. <http://www.packtpub.com/application-development/openframeworks-essentials>

## 基礎心理学/認知科学/脳科学/心理学 関係

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.  
Antonio R.Damasio, 田中三彦(訳). 無意識の脳 自己意識の脳. 講談社, 2003.  
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.  
Antonio R.Damasio, 山形浩生(訳). 自己が心にやってくる. 早川書房, 2013.

下條信輔. サブリミナル・マインド—潜在的人間観のゆくえ. 中央公論社, 1996.

下條信輔. 「意識」とは何だろうか—脳の来歴・知覚の錯誤. 講談社, 1999.

下條信輔. サブリミナル・インパクト—情動と潜在認知の現代. 筑摩書房, 2008.

寺澤悠理, 梅田聰. 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, pp49-76, 2014.

大平英樹. 感情的意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, pp140-154, 2014.

Anil K. Seth (2013). Interoceptive inference, emotion, and the embodied self. Trends of Cognitive Science, 17, pp565-573, 2013.

C.L.クラインク, 島津一夫(訳). 自己知覚—自覚の心理学. 誠信書房, 1984

濱治世/鈴木直人/濱保久. 感情心理学への招待: 感情・情緒へのアプローチ. サイエンス社, 2001

下山晴彦. よくわかる臨床心理学. ミネルヴァ書房, 2003

北村英哉/木村晴. 感情研究の新展開. ナカニシヤ出版, 2006

北原義典. 謎解き・人間行動の不思議—感覚・知覚からコミュニケーションまで. 講談社, 2009

福井康之. 感情の心理学: 自分とひととの関係性を知る手がかり. 川島書店, 1990.

佐藤香. 感情現象の諸相. ナカニシヤ出版, 2006

十一元三. 子供と大人のメンタルヘルスがわかる本 精神と行動の異変を理解するためのポイント40. 講談社, 2014

大庭健/鷺田清一. 所有のエチカ. ナカニシヤ出版, 2000

鷺田清一. 「待つ」ということ. 角川学芸出版, 2006

鷺田清一. 噛みきれない想い. 角川学芸出版, 2009

鷺田清一. パラレルな知性(犀の教室). 晶文社, 2013

山内昭雄/鮎川武二. 感覚の地図帳. 講談社, 2001

山岡淳(他). 生理心理学: こころとからだ. 福村出版, 1977.

J.J.ギブソン, 古崎敬/他(訳). 生態学的視覚論: ヒトの知覚世界を探る. サイエンス社, 1985

佐々木正人/三嶋博之(編訳). アフォーダンスの構想: 知覚研究の生態心理学的デザイン. 東京大学出版会, 2001

佐々木正人/三嶋博之(編訳). 生態心理学の構想: アフォーダンスのルーツと尖端. 東京大学出版会, 2005

佐々木正人. アフォーダンス. 岩波書店, 2015.

嶋崎裕志. ジェームズ・ギブソンの視知覚論と般化. 人文科学論集 人間情報学科編36, 信州大学, 2002-03

エレノア J.ギブソン, 佐々木正人/高橋綾(訳). アフォーダンスの発見: ジェームズ・ギブソンとともに. 岩波書店, 2006.

境敦史, 曽我重司, 小松英海. ギブソン心理学の核心. 効草書房, 2002.

ジェームズ J. ギブソン, 東山篤規/竹澤智美/村上嵩至(訳). 視覚ワールドの知覚. 新曜社, 2011.

エドワード・S・リード, 細田直哉(訳). アフォーダンスの心理学: 生態心理学への道. 新曜社, 2000.

### 生体計測/バイオフィードバック/リハビリテーション 関係

木塚朝博/木竜徹/増田正/佐渡山亜兵/バイオメカニズム学会(編). 表面筋電図. 東京電機大学出版局, 2006

佐藤俊輔/吉川昭/木竜徹. 生体信号処理の基礎. コロナ社, 2004

谷口慶治/若松秀俊. 医用電子・生体情報. 共立出版, 1996

星宮望. 生体情報計測. 森北出版, 1997

赤澤堅造. 生体情報工学. 東京電機大学出版局, 2001

福田忠彦. 生体情報システム論. 産業図書, 1995

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

戸川達男. 生体計測とセンサ. コロナ社, 1986

シン・J・オー(著)/白井康正/玉井健介/武内俊次(訳). 筋電図実践マニュアル: 各種検査法の手技とデータ解釈. メディカル サイエンス インターナショナル, 1999

Aldo O. Perotto(著)/柏森良二(訳). 筋電図のための解剖ガイド: 四肢・体幹, 第3版. 西村書店, 1997

木下真男/高宮清之. 筋電図の読み方. 新興医学出版社, 1998

藤原哲司. 筋電図・誘発電位マニュアル, 改訂3版. 金芳堂, 1999

堀浩(他). 脳波・筋電図用語事典, 新訂第2版. 永井書店, 1999

G.E.シュワルツ, 平井久(他編訳). バイオフィードバック, 上巻, 下巻. 誠信書房, 1975.

ロバート・M. スターン, ウィリアム・J. レイ, 石川中(他訳). バイオフィードバックとは何か: 心と身体の健康法. 紀伊国屋書店, 1983.

マーヴィン・カーリング/L.M.アンドリュース, 平井久(訳). バイオフィードバック—心身コントロールの現代医学. 白揚社, 1979

辻下守弘. 薬を使わず病をなおすバイオフィードバック入門. 秀和システム, 2011

辻下守弘/中川朋. 筋電図バイオフィードバック療法. 金芳堂, 2010

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), 情報処理学会, 2014

Munekata,Yoshida,Sakurazawa,Tsukahara,Matsubara. Design of positive biofeedback using a robot's behaviors as motion media. Proceedings of the 5th international conference on Entertainment Computing, 2006

- 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, pp103-112, 2011
- Nagai,Goldsteinb,Fenwickc,Trimblea. Clinical efficacy of galvanic skin response biofeedback training in reducing seizures in adult epilepsy: a preliminary randomized controlled study. Epilepsy & Behavior, Vol.5 (2), pp216-223, 2004
- 岩倉博光. リハビリテーション医学概論(リハビリテーション医学講座 第1巻). 医歯薬出版, 1997
- 上田礼子. 人間発達学(リハビリテーション医学講座 第2巻). 医歯薬出版, 1985
- 斎藤宏. 運動学(リハビリテーション医学講座 第3巻). 医歯薬出版, 1995
- 松村秩. 理学療法(リハビリテーション医学講座 第5巻). 医歯薬出版, 1987
- 三沢義一. 障害と心理(リハビリテーション医学講座 第9巻). 医歯薬出版, 1985
- 西野仁雄/柳原大. 運動の神経科学: 基礎から応用まで. ナップ, 2000
- 鹿島晴雄/加藤元一郎/本田哲三. 認知リハビリテーション. 医学書院, 1999
- 澤田雄二. 考える作業療法: 活動能力障害に対して. 文光堂, 2008
- 里宇明元/佐藤禮子. リハビリテーション. 放送大学教育振興会, 2007
- Brooks, A. L. Active and Non-Active Volumetric Information Spaces to Supplement Traditional Rehabilitation. Journal of Research and Practice in Information Technology, 45(2), 2013
- ジャン=ピエール・クライン, 阿部恵一郎/高江洲義英(訳). 芸術療法入門. 白水社, 2004

### 関連する著書/論文/学会発表/講演等(長嶋洋一)

- 長嶋洋一. マイコン・システム構築技術セミナー. 「インターフェース」150号記念, CQ出版社, 1989
- 長嶋洋一. マイコン技術者スキルアップ事典. CQ出版社, 1992
- 長嶋洋一. 音楽情報処理の技術的基盤. 平成4年度 文部省科学研究費 総合研究(B)音楽情報科学に関する総合的研究(課題番号 04352030), 1993
- 長嶋洋一. プロ電子技術者のコモンセンス. CQ出版社, 1994
- 長嶋洋一. Java活用情報発信マニュアル. 新技術開発センター, 1997
- 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
- 長嶋洋一. Java & AKI-80. CQ出版社, 1997
- 長嶋洋一. MIDIの活用とMIDIプログラミング. 情報処理学会音楽情報科学研究会・チュートリアル資料, 情報処理学会, 1997
- 長嶋洋一/橋本周司/平賀譲/平田圭二(編). コンピュータと音楽の世界. 共立出版, 1998
- 長嶋洋一. コンピュータサウンドの世界. CQ出版社, 1999
- 長嶋洋一. 作るサウンドエレクトロニクス. <http://nagasm.org/ASL/mse/>, 1999
- 長嶋洋一. センサ@コンピュータミュージック. 情報処理学会音楽情報科学研究会・チュートリアル資料, 情報処理学会, 1999
- 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
- 長嶋洋一. インタラクティブ・アートのための技術講座. <http://nagasm.org/ASL/lecture01/>
- 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. 京都芸術短期大学紀要[瓜生]第20号, 京都芸術短期大学, 1997. <http://nagasm.org/ASL/sensor01/>
- 長嶋洋一. メディアアートにおける画像系の制御について. 情報処理学会研究報告 Vol.2000,No.76 (2000-MUS-36), 情報処理学会, 2000
- 長嶋洋一. インタラクティブ・メディアアート. <http://nagasm.org/ASL/wander/>
- 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, 静岡文化芸術大学, 2003
- 長嶋洋一. 並列処理プロセッサを活用したメディアアートのための汎用インターフェース. 情報処理学会研究報告 Vol.2008,No.78 (2008-MUS-76), 情報処理学会), 2008
- 長嶋洋一. メディアアートのための汎用インターフェースのプラットフォームについて. 情報科学技術フォーラム2008講演論文集, 情報処理学会/電子情報通信学会), 2008
- 長嶋洋一. フィジカル・コンピューティングとメディアアート/音楽情報科学. 情報処理学会研究報告 Vol.2008,No.89 (2008-MUS-77), 情報処理学会, 2008
- Yoichi Nagashima. Interactive Multi-Media Performance with Bio-Sensing and Bio-Feedback. Proceedings of International Conference on Audible Display, ICAD, 2002
- Yoichi Nagashima. Interactive Multimedia Art with Biological Interfaces. Proceedings of 17th Congress of the International Association of Empirical Aesthetics, IAEA, 2002
- 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
- Yoichi Nagashima. Combined Force Display System of EMG Sensor for Interactive Performance. Proceedings of 2003 International Computer Music Conference, ICMA, 2003
- 長嶋洋一. 内受容感觉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
- 長嶋洋一. 内受容感觉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, EC2015実行委員会, 2015
- 長嶋洋一. 内受容感觉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, 情報処理学会/電子情報通信学会, 2015

- Yoichi Nagashima. Towards the BioFeedback Game --- with Interception and Rehabilitation ---. Proceedings of the 8th International Conference on Virtual Worlds and Games for Serious Applications, VS-Games, 2016
- 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
- Yoichi Nagashima. Multimedia Interactive Art : System Design and Artistic Concept of Real-Time Performance with Computer Graphics and Computer Music. Proceedings of Sixth International Conference on Human-Computer Interaction, ELSEVIER, 1995
- Yoichi Nagashima. A Compositional Environment with Interaction and Intersection between Musical Model and Graphical Model --- "Listen to the Graphics, Watch the Music" ---. Proceedings of 1995 International Computer Music Conference, ICMA, 1995
- 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, IFAC, 1998
- 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. 芸術科学会論文誌 Vol.3 No.1, 芸術科学会, 2003
- Yoichi Nagashima. Drawing-in effect on perception/cognition of musical beats and visual beats. Proceedings of International Symposium on Musical Acoustics, ICA, 2004
- 長嶋洋一. ハード音源／ソフト音源のMIDI発音遅延と音楽心理学実験環境における問題点の検討. 平成11年度前期全国大会講演論文集2, 情報処理学会, 1999
- 長嶋洋一. MIDI音源の発音遅延と音楽心理学実験への影響. 日本音響学会音楽音響研究会資料 Vol.18, No.5, 日本音響学会, 1999
- Yoichi Nagashima. Measurement of Latency in Interactive Multimedia Art. Proceedings of International Conference on New Interfaces for Musical Expression, NIME, 2004
- 長嶋洋一. 映像酔いとサウンドによる抑止の検討. 静岡文化芸術大学紀要・第7号2006年, 静岡文化芸術大学, 2007
- 長嶋洋一. マルチメディア心理学実験において提示するサウンド素材の検討, 日本音楽知覚認知学会2007年春季研究発表会資料, 日本音楽知覚認知学会, 2007
- 長嶋洋一. 2次元空間のサウンド知覚と音響素材の検討, 情報処理学会研究報告 Vol.2007, No.81 (2007-MUS-71), 情報処理学会, 2007
- 長嶋洋一. サウンドの空間的予告による映像酔いの抑止について. 情報処理学会研究報告 Vol.2007, No.127 (2007-MUS-73), 情報処理学会, 2007
- 長嶋洋一. マルチメディア心理学実験のためのプラットフォームについて. 日本音楽知覚認知学会2008年春季研究発表会資料, 日本音楽知覚認知学会, 2008
- 長嶋洋一. 身体に加わる加速度とサウンドの音像移動に関する心理学実験報告(4/4). 日本音楽知覚認知学会2012年春季研究発表会資料, 日本音楽知覚認知学会, 2012
- 長嶋洋一. 非齊次倍音の強い音色に関する実験心理学的検討. 情報処理学会研究報告 (2013-MUS-101), 情報処理学会, 2013
- 長嶋洋一. 聴覚的クロノスタシスに関する実験報告. 日本音楽知覚認知学会2014年春季研究発表会資料, 日本音楽知覚認知学会, 2014
- 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), 情報処理学会, 2016
- 長嶋洋一. メディアアートにおけるインタラクションデザインの事例紹介 --- SUACの学生インスタレーション作品の変遷 ---. 第59回ヒューマンインターフェース学会研究会 研究報告集, ヒューマンインターフェース学会, 2010
- 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学生インスタ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
- 長嶋洋一. 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. 電気学会知覚情報研究会・研究報告, 電気学会, 2017
- 長嶋洋一. マルチメディア作品におけるカオス情報処理の応用. 京都芸術短期大学紀要[瓜生]第18号1995年, 京都芸術短期大学, 1996
- 長嶋洋一. Chaotic Interaction Model for Hierarchical Structure in Music. 平成5年度前期全国大会講演論文集II, 情報処理学会, 1993
- 長嶋洋一. Musical Concept and System Design of "Chaotic Grains". 情報処理学会研究報告 Vol.93, No.32(93-MUS-1), 情報処理学会, 1993
- 長嶋洋一. Chaotic Interaction Model for Real-Time Composition. 1993年度人工知能学会全国大会論文集I, 人工知能学会, 1993
- Yoichi Nagashima. PEGASUS-2 : Real-Time Composing Environment with Chaotic Interaction Model. Proceedings of 1993 International Computer Music Conference, ICMA, 1993
- Yoichi Nagashima. Chaotic Interaction Model for Compositional Structure. Proceedings of IAKTA/LIST International Workshop on Knowledge Technology in the Arts, IAKTA, 1993
- 長嶋洋一. Chaos理論とComputer Music. 京都芸術短期大学紀要[瓜生]第16号1993年, 京都芸術短期大学, 1994
- 長嶋洋一. 非線形科学の視点から「コンピュータ音楽」を考える. 電子情報通信学会非線形問題研究会(NLP)研究会資料 NLP2010-133, 電子情報通信学会, 2011
- 長嶋洋一. カオスに対する聴覚的なアプローチ(1). 電子情報通信学会非線形問題研究会(NLP)研究会資料 NLP2011-158, 電子情報通信学会, 2012
- 長嶋洋一. サウンド知覚のカオス共鳴によるモデル化に向けて. 電子情報通信学会非線形問題研究会(NLP)研究会資料( NLP2013-144, 電子情報通信学会, 2014
- 長嶋洋一. Neural-Network Control for Real-Time Granular Synthesis. 1992年度人工知能学会全国大会論文集I, 人工知能学会, 1992
- Yoichi Nagashima. An Experiment of Real-Time Control for "Pseudo Granular" Synthesis. Proceedings of International Symposium on Musical Acoustics, ICA, 1992
- Yoichi Nagashima. Real-Time Control System for "Pseudo" Granulation. Proceedings of 1992 International Computer Music Conference, ICMA, 1992
- 長嶋洋一. Max前夜. <http://nagasm.org/ASL/max02/>
- 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. DSPサマースクール・チュートリアル, IAMAS/SUAC, 2002. <http://nagasm.org/ASL/dspss2002/>
- 長嶋洋一. ネットワーク上で相互作用するアルゴリズム作曲系を用いた音楽教育システム. 平成9年度前期全国大会講演論文集II, 情報処理学会, 1997
- 長嶋洋一. "Improvisession":ネットワークを利用した即興セッション演奏支援システム. 情報処理学会研究報告 Vol.97, No.67 (97-MUS-21), 情報処理学会, 1997

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

Yoichi Nagashima. "IMPROVISESSION-II" : A Perfprmng/Composing System for Improvisational Sessions with Networks. Proceedings of International Workshop on Entertainment Computing, ICEC, 2002

長嶋洋一. GDS Music--- ネットワーク遅延を伴う音楽セッション・モデル. 情報処理学会研究報告 Vol.2002,No.41 (2001-MUS-46), 情報処理学会, 2002

長嶋洋一. GDS(global delayed session) Musicの拡張モデルについて. 情報科学技術フォーラム2002講演論文集, 情報処理学会/電子情報通信学会, 2002

Yoichi Nagashima. GDS (Global Delayed Session) Music - new improvisational music with network latency. Proceedings of 2003 International Computer Music Conference, ICMA, 2003

長嶋洋一. GDS Music. <http://nagasm.org/ASL/GDSM/>

長嶋洋一. マルチメディア・インラクティブ・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

長嶋洋一. サウンド・インスタレーションのプラットフォームについて, 情報処理学会研究報告 Vol.2007,No.50 (2008-MUS-75)(2008-HCI-128), 情報処理学会, 2008

Yoichi Nagashima. Parallel Processing Platform for Interactive Systems Design. <http://nagasm.org/ASL/ICEC2009/>

長嶋洋一. デザインプロセスにおける「スケッチ」と物理コンピューティング. 静岡文化芸術大学紀要・第9号2008年, 静岡文化芸術大学, 2009

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

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

長嶋洋一. 並列処理プロセッサ"Propeller"によるスケッチング・プラットフォーム, 静岡文化芸術大学紀要・第10号2009年, 静岡文化芸術大学, 2010

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

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

Yoichi Nagashima. Parallel Processing System Design with "Propeller" Processor, Proceedings of International Conference on New Interfaces for Musical Expression, NIME, 2009

Yoichi Nagashima. Untouchable Instrument "Peller-Min", Proceedings of International Conference on New Interfaces for Musical Expression, NIME, 2010

Yoichi Nagashima. Untouchable Instruments and Performances, Proceedings of 2011 International Computer Music Conference, ICMA, 2011

Yoichi Nagashima. Untouchable Performance and Technology, Proceedings of Asia Computer Music Project, ACMP, 2011

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

Yoichi Nagashima. GHI project and "Cyber Kendang", Proceedings of International Conference on New Interfaces for Musical Expression, NIME, 2007

Yoichi Nagashima. GHI Project : New Approach for Musical Instrument, Proceedings of 2007 International Computer Music Conference, Vol.1, ICMA, 2007

Yoichi Nagashima. Assembling Music. Proceedings of 2nd International Symposium on Sound & Interactivity, SI15/ICMA, 2015. <http://www.computermusic.org/media/documents/array/arraySi15.pdf>

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

長嶋洋一. 新楽器「GHI2014」. <http://nagasm.org/ASL/GHI2014/>

長嶋洋一. 各種言語によるプログラミング例. <http://nagasm.org/ASL/program/>

長嶋洋一. MIDIについて. <http://nagasm.org/ASL/midi03/index.html>

長嶋洋一. MIDI日曜大工日記. <http://nagasm.org/ASL/midi02/>

長嶋洋一. Propellerを使った体験型アート作品の製作(前編). 「トランジスタ技術」, CQ出版社, 2008

長嶋洋一. Propellerを使った体験型アート作品の製作(後編). 「トランジスタ技術」, CQ出版社, 2008

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」, CQ出版社, 2015

長嶋洋一. CQ\_mbed\_EMG. <http://nagasm.org/ASL/mbed/>, [http://nagasm.org/ASL/CQ\\_mbed\\_EMG.html](http://nagasm.org/ASL/CQ_mbed_EMG.html)

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)

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

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

Yoichi Nagashima. BioSensorFusion:New Interfaces for Interactive Multimedia Art. Proceedings of 1998 International Computer Music Conference, ICMA, 1998

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), 情報処理学会, 2003

長嶋洋一. MiniBioMuse-I. <http://nagasm.org/ASL/mbm-1/>, <http://nagasm.org/ASL/MBM1/>

長嶋洋一. MiniBioMuse-II. <http://nagasm.org/ASL/mbm-2/>, <http://nagasm.org/ASL/MBM2/>

長嶋洋一. MiniBioMuse-III. <http://nagasm.org/ASL/mbm-3/>, <http://nagasm.org/ASL/SIGMUS0108/>

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

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

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, 情報処理学会, 2002

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

Yoichi Nagashima. Controlling Scanned Synthesis by Body Operation. Proceedings of the 18th International Congress on Acoustics, ICA, 2004

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

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

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

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, 静岡文化芸術大学, 2011

長嶋洋一. 筋電センサのジェスチャ認識に関する新手法. 電子情報通信学会バターン認識・メディア理解研究会技術研究報告(PRNU2015-54), 電子情報通信学会, 2015

長嶋洋一. プレスセンサー今昔. <http://nagasm.org/ASL/breath2/>

長嶋洋一. 笛プレスセンサ. <http://nagasm.org/ASL/sho/>, <http://nagasm.org/1106/news2/tono2005/>

長嶋洋一. AKI-H8による呼吸センサ. 情報処理学会チュートリアル参考資料, <http://nagasm.org/ASL/breath/>

長嶋洋一. エンタテインメント・コンポージング教育に向けて. 情報処理学会研究報告(2011-MUS-90), 情報処理学会, 2011

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

Yoichi Nagashima. Improvisational real-time composing environment for multimedia session performance, Proceedings of 2013 International Symposium on Performance Science, ISPS, 2013

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

長嶋洋一. 「ジャミーズ娘+」「Revolution-J」. <http://nagasm.org/ASL/Jaminator/>

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

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), 情報処理学会, 2015

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), 情報処理学会, 2016

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, 日本音楽知覚認知学会, 2016

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

Yoichi Nagashima. Multi Rubbing Tactile Instrument. Proceedings of International Conference on New Interfaces for Musical Expression, NIME, 2016

Yoichi Nagashima. Bio-Sensing and Bio-Feedback Instruments --- DoubleMyo, MuseOSC and MRTI2015 ---. Proceedings of ICMC2016, ICMA, 2016

長嶋洋一. 触覚バイオフィードバック汎用プラットフォームの提案 -メディアアートのウェルネスデザイン応用を目指して-. 電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究会技術研究報告(HIP2018-39), 2018

長嶋洋一. Bio-sensing demo with Max7 (DoubleMyo, MuseOSC, PAW-eight and VPP-SUAC). Maxサマースクール2018in藝大, 2018

長嶋洋一. 基礎心理学実験プロトタイピングツールとしてのMax7とウェルネスエンタテインメントプラットフォームとしてのMax7. 情報処理学会研究報告(2018-MUS-120), 情報処理学会, 2018

Yoichi Nagashima. Realtime Musical Composition System for Automatic Driving Vehicles, Proceedings of 2018 International Conference on Entertainment Computing, IFIP TC14 ICEC, 2018

長嶋洋一. PC環境での心理学実験におけるレイテンシヒッタの再検証. 日本音楽知覚認知学会2019年春季研究発表会資料, 日本音楽知覚認知学会, 2019

長嶋洋一. 音楽心理学実験ツールとしてのPC環境性能の再検討. 情報処理学会研究報告 (2018-MUS-123), 情報処理学会, 2019

長嶋洋一. 音楽情報科学ツール"Max"を用いたメディアデザイン - RFIDの活用例を中心として, 情報処理学会研究報告 (2018-MUS-124), 情報処理学会, 2019

長嶋洋一. 楽器と演奏される音楽との関係について. 情報処理学会研究報告 (2018-MUS-124), 情報処理学会, 2019

長嶋洋一. ウェルネス・エンタテインメントを実現するツールキット: スケッチングとメディアアート. 情報科学技術フォーラム2019講演論文集, 情報処理学会・電子情報通信学会, 2019

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/>

長嶋洋一. SUACスケッチング・ワークショップ2008. <http://nagasm.org/1106/news2/MAF2008/>

長嶋洋一. SUACスケッチング・ワークショップ2009. <http://nagasm.org/1106/news3/MAF2009/>

長嶋洋一. SUACスケッチング・ワークショップ2010. <http://nagasm.org/1106/news3/20101225/>

長嶋洋一. SUACスケッチング・ワークショップ2013. <http://nagasm.org/1106/news3/20130202/>

長嶋洋一. SUACスケッチング・ワークショップ2014. <http://nagasm.org/1106/MDW2014/report.html>

長嶋洋一. SUACスケッチング・ワークショップ2015. <http://nagasm.org/1106/MDW2015/report.html>

長嶋洋一. SUACスケッチング・ワークショップ2017. <http://nagasm.org/1106/news5/20170204/>, <http://nagasm.org/1106/news5/20170205/>

長嶋洋一. SUACスケッチング・ワークショップ2018. <http://nagasm.org/1106/news5/20180210/>, <http://nagasm.org/1106/news5/20180211/>

長嶋洋一. SUACスケッチング・ワークショップ2019. <http://nagasm.org/1106/news5/20190202/>, <http://nagasm.org/1106/news5/20190203/>, <http://nagasm.org/1106/news5/20190205/>

長嶋洋一. 筑波大学大学院特別講義 Sensor/Microelectronics Technology for Interactive Multi-Media Art. <http://nagasm.org/ASL/Tsukuba20070808-12/>

長嶋洋一. 筑波大学「スケッチング」ワークショップ. <http://nagasm.org/ASL/Tsukuba20150702-03/>

長嶋洋一. 京都市立芸術大学 電子工作ワークショップ(1). [http://nagasm.org/ASL/kuca\\_workshop\\_1/](http://nagasm.org/ASL/kuca_workshop_1/)

長嶋洋一. 京都市立芸術大学 電子工作ワークショップ(2). [http://nagasm.org/ASL/kuca\\_workshop\\_2/](http://nagasm.org/ASL/kuca_workshop_2/)

長嶋洋一. 京都市立芸術大学 Arduinoワークショップ. [http://nagasm.org/ASL/kuca\\_workshop\\_3/](http://nagasm.org/ASL/kuca_workshop_3/)

長嶋洋一. 京都精華大学 電子工作ワークショップ. <http://nagasm.org/1106/news4/20140519/>

Yoichi Nagashima. Lecture "Interactive Media Art with Biological Interfaces", STEIM Open Lecture Concert Series, Amsterdam, Holland, 2004

Yoichi Nagashima. Lecture "Interfaces for Interactive Media Art", IRCAM Open Lecture, Paris, France, 2004  
Yoichi Nagashima. Lecture "Interactive Art with Bio-Interfaces", La Kitchen Open Lecture, Paris, France, 2004  
Yoichi Nagashima. Lecture "Interactive Multi-Media Performance with New Interfaces", International Workshop on Computer Music and Audio Technology, National Chiao Tung University, 2007  
Yoichi Nagashima. 「互動藝術展演」國際學術研討會 基調講演. <http://nagasm.org/ASL/Taiwan2007/>  
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/)  
Yoichi Nagashima. SUAC Installation - Case Studies as "Physical Computing" -. [http://nagasm.org/ASL/ SYNC2010\\_Lecture\\_2/](http://nagasm.org/ASL/ SYNC2010_Lecture_2/)  
Yoichi Nagashima. Interactive Art with Bio-Interfaces. [http://nagasm.org/ASL/ SYNC2010\\_Lecture\\_3/](http://nagasm.org/ASL/ SYNC2010_Lecture_3/)  
Yoichi Nagashima. Lecture "Interactive Media Arts - New Ideas and New Technologies", General Lecture for Ekaterinburg's Contemporary Art Academy, Gorky library, Yekaterinburg, Russia, 2016  
Yoichi Nagashima. Lecture "Interactive Media Arts - New Ideas and New Technologies", General Lecture - open public, Ural branch of the National Center for Contemporary Arts, Yekaterinburg, Russia, 2016  
Yoichi Nagashima. Lecture "Human-Computer Interaction and Media Arts (part1/part2)", Lecture Workshop at MARS Gallery, Moscow, Russia, 2016  
Yoichi Nagashima. Tutorial Workshop "Sensors for Interactive Music Performance", ICMC2000, Berlin, Germany, 2000  
Yoichi Nagashima. Tutorial Workshop "Parallel Processing Platform for Interactive Systems Design, International Conference on Entertainment Computing, Conservatoire National des Arts et Metiers, Paris, 2009. <http://nagasm.org/ASL/ICEC2009/>  
Yoichi Nagashima. Workshop "Assembling Music", SoundIslands Festival Si15, ArtScience Museum, Singapore, 2015  
Yoichi Nagashima. Workshop "Introduction of Programming - Creating Art Objects", Practical Workshop for Art Academy's Designer Students, Center of Culture "Ordzhonikidzevsky", Yekaterinburg, Russia, 2016  
Yoichi Nagashima. Workshop "Interactive System Design - Creating Media Arts", Practical Workshop for Art Academy's Programmers Students, Center of Culture "Ordzhonikidzevsky", Yekaterinburg, Russia, 2016  
Yoichi Nagashima. Tutorial Workshop "Bio-Sensing Platforms for [Wellness Entertainment] System Design", International Conference on Entertainment Computing, Poznan University of Technology, Poland, 2018 <http://nagasm.org/ICEC2018workshop/>  
長嶋洋一. バイオフィードバックセミナー(1). <http://nagasm.org/ASL/BFseminar20151012/>  
長嶋洋一. バイオフィードバックセミナー(2). <http://nagasm.org/ASL/BFseminar20160228/>  
長嶋洋一. バイオフィードバックセミナー(4). <http://nagasm.org/ASL/BFseminar20180331/>  
長嶋洋一. 奈良学園大オープンキャンパス. <http://nagasm.org/1106/news5/20180715/>  
長嶋洋一. スケッチング(物理コンピューティング) チュートリアル/ワークショップ. <http://nagasm.org/Sketching/>  
長嶋洋一. Propeller日記. <http://nagasm.org/ASL/Propeller/diary01.html>  
長嶋洋一. Arduino日記. <http://nagasm.org/ASL/Arduino/>  
長嶋洋一. Processing日記. <http://nagasm.org/ASL/Processing/>  
長嶋洋一. SuperCollider日記. <http://nagasm.org/ASL/SuperCollider/>  
長嶋洋一. 続・Propeller日記. <http://nagasm.org/ASL/Propeller2/>  
長嶋洋一. 続々・Propeller日記. <http://nagasm.org/ASL/Propeller3/>  
長嶋洋一. RaspberryPi 日記. <http://nagasm.org/ASL/RaspberryPi/>  
長嶋洋一. PureData日記. <http://nagasm.org/ASL/PureData/>  
長嶋洋一. Max6日記. <http://nagasm.org/ASL/max03/>  
長嶋洋一. mbed日記. <http://nagasm.org/ASL/mbed/>  
長嶋洋一. Myo日記. <http://nagasm.org/ASL/Myo/>  
長嶋洋一. Xcode日記. <http://nagasm.org/ASL/Xcode/>  
長嶋洋一. postGainer日記. <http://nagasm.org/ASL/postGainer/>  
長嶋洋一. Max7日記. [http://nagasm.org/ASL/Max7\\_1/](http://nagasm.org/ASL/Max7_1/)  
長嶋洋一. 続・Max7日記. [http://nagasm.org/ASL/Max7\\_part2\\_1/](http://nagasm.org/ASL/Max7_part2_1/)  
長嶋洋一. Basic日記. <http://nagasm.org/ASL/Basic/>  
長嶋洋一. Sketching日記. <http://nagasm.org/ASL/Sketching/>

## スケッチングの実例となったインсталレーション作品等(長嶋洋一)

万変鏡. <http://nagasm.org/1106/installation3/0722006-3.swf>  
4マウス・インターフェース. [http://nagasm.org/1106/news3/Misaki\\_IF/](http://nagasm.org/1106/news3/Misaki_IF/)  
電子十二影坊(Dodeca Propeller). <http://nagasm.org/ASL/12Propeller/>  
「旗振り」システム. <http://nagasm.org/1106/news5/20160518/>  
メディア・インсталレーション作品「森海」システム解説. <http://nagasm.org/1106/shin-kai/>  
windmill. <http://nagasm.org/1106/news/tiger03/>, <http://nagasm.org/1106/news/tiger03/index3.html>  
季幻. <http://nagasm.org/1106/news/tiger06/origin.html>  
「なでなで」センサ. <http://nagasm.org/ASL/nadenade/>  
Beat Box. <http://nagasm.org/1106/news2/20070204/>  
Color Odyssey. <http://nagasm.org/1106/installation3/0622032-2.swf>  
食音植物. <http://nagasm.org/1106/installation3/0722002-2.swf>

海潮音. <http://nagasm.org/1106/installation3/0822007-1.swf>  
双極灯のヒ. <http://nagasm.org/1106/installation3/0822007-2.swf>  
ひとり応援団. <http://nagasm.org/1106/installation3/0822019-2.swf>  
OTOCakecco. [nagasm.org/1106/installation3/misaki\\_M2.pdf](http://nagasm.org/1106/installation3/misaki_M2.pdf)  
OTOCakecco. <http://nagasm.org/1106/news3/20111229/>, <http://nagasm.org/1106/news3/20120105/>,  
<http://nagasm.org/1106/news3/20120106/>, [http://nagasm.org/1106/news3/misaki\\_final/](http://nagasm.org/1106/news3/misaki_final/)  
日本の音風景. <http://nagasm.org/1106/installation3/Lee.pdf>  
カラーオーケストラ. <http://nagasm.org/1106/installation3/Ryu.pdf>  
誰かを待つ街. <http://nagasm.org/1106/installation3/mamiko.pdf>  
Nepic. <http://nagasm.org/1106/installation3/ikuma7.swf>, <http://nagasm.org/1106/installation3/ikuma7.pdf>  
Hikari. <http://nagasm.org/1106/installation3/kabayama.mp4>  
「いらない」と言われた子たち. <http://nagasm.org/1106/installation4/morikawa.pdf>  
The Shadow of a World. [http://nagasm.org/1106/installation4/tosaya\\_shadow.pdf](http://nagasm.org/1106/installation4/tosaya_shadow.pdf)  
おしゃべりスリッパ. <http://nagasm.org/1106/news4/sugauchi/resume1.jpg>, <http://nagasm.org/1106/news4/sugauchi/resume2.jpg>  
Wii/バランスボードからの改造. <http://nagasm.org/1106/news4/20141110/>, <http://nagasm.org/1106/news4/20141116/>, <http://nagasm.org/1106/news4/20141118/>  
SUPER UNKO MAKER. <http://nagasm.org/1106/installation4/unko.pdf>, <http://nagasm.org/ASL/postGainer3/fig4/mix.mp4>  
せんべい屋さん. <http://nagasm.org/1106/news4/20160212/p05.pdf>  
めざせ! 怪獣王. <http://nagasm.org/1106/news5/20170207/>  
「露夜」(もや). <http://nagasm.org/1106/installation/>  
ネジマキウォール. <http://nagasm.org/1106/news3/tiger30/>  
グリップセンサ. <http://nagasm.org/1106/news3/20120307/>

### 本研究の制作事例・公開Max/パッチ(一部)

[http://nagasm.org/1106/macss/dynamic\\_luminance.zip](http://nagasm.org/1106/macss/dynamic_luminance.zip)  
<http://nagasm.org/1106/macss/Affordance.zip>  
[http://nagasm.org/ASL/max06/fig2/listen\\_ratio.zip](http://nagasm.org/ASL/max06/fig2/listen_ratio.zip)  
[http://nagasm.org/ASL/paper/segment\\_reverse.zip](http://nagasm.org/ASL/paper/segment_reverse.zip)  
<http://nagasm.org/1106/mediasurien/OC2017.zip>  
[http://nagasm.org/1106/macss/trizonal\\_spacewarp.zip](http://nagasm.org/1106/macss/trizonal_spacewarp.zip)  
<http://nagasm.org/1106/macss/Fraser.zip>  
[http://nagasm.org/1106/macss/jitter\\_illusion.zip](http://nagasm.org/1106/macss/jitter_illusion.zip)  
<http://nagasm.org/1106/sound/shepard.zip>  
<http://nagasm.org/1106/macss/ShiffrarPavel.zip>  
[http://nagasm.org/1106/macss/foot\\_step.zip](http://nagasm.org/1106/macss/foot_step.zip)  
<http://nagasm.org/1106/macss/illusion.zip>  
<http://nagasm.org/1106/mediasurien/10sec.zip>  
[http://nagasm.org/ASL/Max7\\_part2\\_5/fig2/function.zip](http://nagasm.org/ASL/Max7_part2_5/fig2/function.zip)  
[http://nagasm.org/1106/sound/direction\\_illusion.zip](http://nagasm.org/1106/sound/direction_illusion.zip)  
[http://nagasm.org/ASL/BFseminar20160228/Drive\\_Game.zip](http://nagasm.org/ASL/BFseminar20160228/Drive_Game.zip)

### オープンソース/技術情報 関係

Arduino. <http://arduino.cc/>  
Firmata. <http://firmata.org/>  
maxuino. <http://maxuino.org/>  
Arduino2Max. [http://playground.arduino.cc/uploads/Interfacing/Arduino2Max\\_Nov2012.zip](http://playground.arduino.cc/uploads/Interfacing/Arduino2Max_Nov2012.zip)  
Parallax. Propeller. <http://www.parallax.com/catalog/microcontrollers/propeller>  
Parallax. Propeller IDE. <http://www.parallax.com/downloads/propeller-tool-software-windows>  
bst. <http://www.fnarfargle.com/bst.html>  
Processing. <http://processing.org/>  
mbed. <http://www.mbed.com/en/>  
mbed Boards. <http://developer.mbed.org/platforms/>

BITalino. <http://nagasm.org/ASL/mbed/index.html#BITalino>  
Jose Guerreiro. A Biosignal Embedded System for Physiological Computing. Thesis submitted in the fulfilment of the requirements for the Degree of Master in Electronic and Telecommunications Engineering, Instituto Superior de Engenharia de LISBOA, 2013  
e-Health. <http://nagasm.org/ASL/mbed/index.html#e-Health>  
MyoWare Muscle Sensor. <http://www.sparkfun.com/products/13723>  
Grove - EMG Detector. <http://www.seeedstudio.com/Grove-EMG-Detector-p-1737.html>  
necomimi. <http://www.ux-xu.com/product/necomimi>, <http://nagasm.org/1106/news5/20170412/>  
Myo. [http://nagasm.org/1106/news5/docs/Ending\\_Myo.pdf](http://nagasm.org/1106/news5/docs/Ending_Myo.pdf)  
List of Unofficial Tools and Bindings od Myo. <http://developer.thalmic.com/forums/topic/541/>  
MUSE. <http://www.choosemuse.com/>  
MUSE Developer Kit. <http://www.choosemuse.com/developer-kit/>  
OpenBCI. <http://openbci.com/>, [http://nagasm.org/ASL/Max7\\_5/index.html#OpenBCI](http://nagasm.org/ASL/Max7_5/index.html#OpenBCI)  
OpenBCIの組み立て. <http://nagasm.org/1106/news5/20170128/>  
Max. <http://cycling74.com/products/max-in-education>  
PureData. <http://puredata.info/>  
Max Tutorials. <http://cycling74.com/tutorials/>  
Max Forums. <http://cycling74.com/forums/>  
openFrameworks. <http://openframeworks.cc/>  
AKI-H8. <http://akizukidenshi.com/catalog/g/gK-00003/>  
NucleoF401RE. <http://akizukidenshi.com/catalog/g/gM-07723/>  
秋月電子. <http://akizukidenshi.com/>  
スイッチサイエンス. <http://www.switch-science.com/>  
浅草ギ研. <http://www.robotsfx.com/>  
千石電商. <http://www.sengoku.co.jp/>  
共立電子. <http://digit.kyohritsu.com/>  
イリュージョンフォーラム. <http://www.kecl.ntt.co.jp/IllusionForum/>  
VPP-SUAC. <http://nagasm.org/Sketching/VPP-SUAC.html>  
PAW-double. <http://nagasm.org/Sketching/PAW-double.html>  
leap motion. <http://www.leapmotion.com/>  
leap motion. <http://www.leapmotion.com/>  
leap motion developer. <https://developer.leapmotion.com/>  
赤松正行. aka.leapmotion. <http://akamatsu.org/aka/max/objects/>, <http://github.com/akamatsu/aka.leapmotion>

## 図版出展

(以下に記載のない本文中の図/写真は筆者オリジナルによる)

Stelarc. Third Hand. <http://stelarc.org/?catID=20265>

Stelarc. Extra Ear. <http://stelarc.org/?catID=20229>

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. <http://nagasm.org/ASL/SIGMUS0205/>

Atau Tanaka. BioMuse. <http://ataut.net/site/BioMuse>

前林明次. Audible Distance. <https://www.ntticc.or.jp/ja/archive/works/audible-distance/>

内受容感覚 interception. <https://en.wikipedia.org/wiki/Interoception>

リハビリテーション. <https://www.cooleydickinson.org/programs-services/rehabilitation-services/south-deerfield-clinic/>