

# 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

長嶋洋一

SUAC(静岡文化芸術大学)

Performances with Bio-Sensors and the Latency/Response of systems

Yoichi Nagashima

Shizuoka University of Art and Culture

nagasm@computer.org

## 1. はじめに

コンピュータ音楽を中心としたメディア・アート、システムと人間とのインターフェース等に関するテーマの研究活動とともに、その具体的な応用を実験的に検証する意味で、実際にいろいろなインタラクティブ・マルチメディア作品を創作して公演・発表する活動を行っている(1-16)。オリジナルセンサを用いた実験的なシステム(図1)をリアルタイムパフォーマンスに応用することで、開発過程や作品・公演の中から新たな研究テーマや課題が出てくることも多い。

人間とシステムとのヒューマンインターフェースという意味では、MIDIギターやマウスやタブレット等も一種の「楽器」であるが、システムの都合で離散化・画一化されない、より人間に自然な連続量を検出する各種のセンサを活用した「新楽器」を制作し、作品に利用している。本稿では特に、Performer(狭義では「演奏家」)のジェスチャを検出するタイプについて、新センサの開発例の詳解と作品への応用事例を紹介し、関連した問題点について検討する。

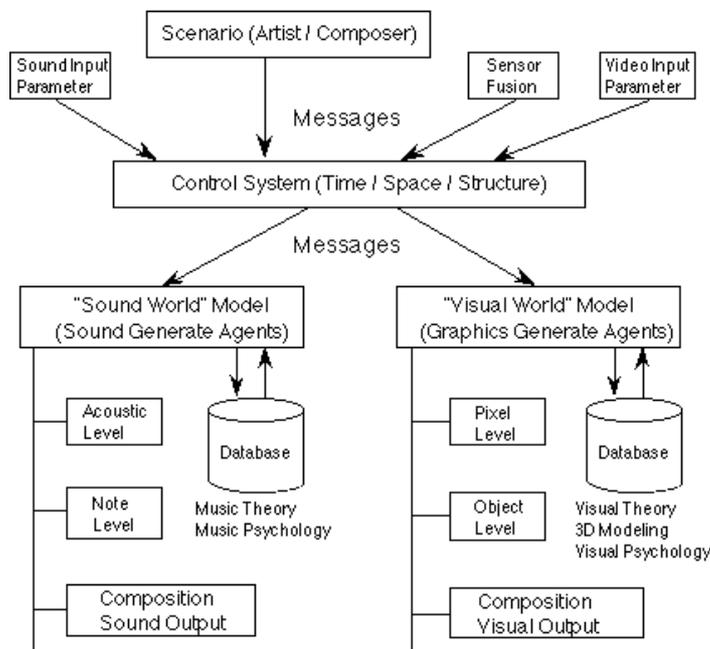


図1. 「目で聴き、耳で観る」システム

## 2. センサの開発事例(1993-2000)

図1のコンセプトで、音楽に限定せずにメディアアートを実現するための人間のパートナーである「作品の一部」として開発してきたセンサのいくつかについて簡単に紹介する。

### 2-1. ワイヤレスMIDIグローブ

図2は、ファミリーコンピュータ用に市販されていたPowerGloveというゲーム用入力装置を改造して製作したセンサである。ここでは、グローブの指ごとに内蔵されている圧力センサ(曲げに応じて抵抗値が変化する導電プラスチック)からの情報をワイヤレス伝送してMIDI化し、実際に作品公演において「指揮者」が装着した。



図2. ワイヤレスMIDIパワーグローブ

### 2-2. Miburi-Sensor

図3は、ヤマハが発売した「ミブリ」という楽器において、ミブリスーツという身体に密着したスーツに固定する、両手首・両肘・両肩の関節の曲げを検出するセンサである。

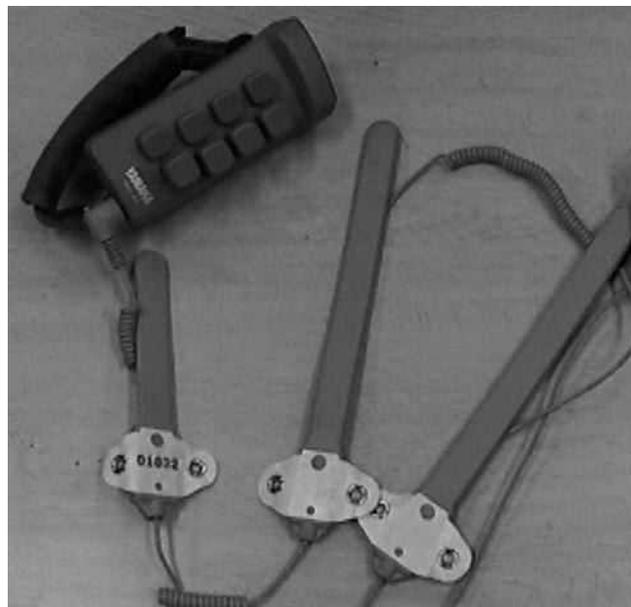


図3. 「ミブリ」の関節曲げセンサ

このセンサは高速・正確に電圧出力するにもかかわらず、製品「ミブリ」はその情報をドレミに離散化してユーザから隠蔽していたために、仕方なく図4のようなオリジナルマシン"Miburi-Sensor"を開発した。これはセンサの出力コードを切断して「生の」センシング出力電圧を取り出し、これをA/D変換してMIDI化するだけのシンプルなマシンであるが、図5のようなインタラクティブアートの公演において、ステージ上のPerformerの身振り(ジェスチャ)がリアルタイムに音響と映像をコントロールする生き生きとした表現に強力に貢献した。

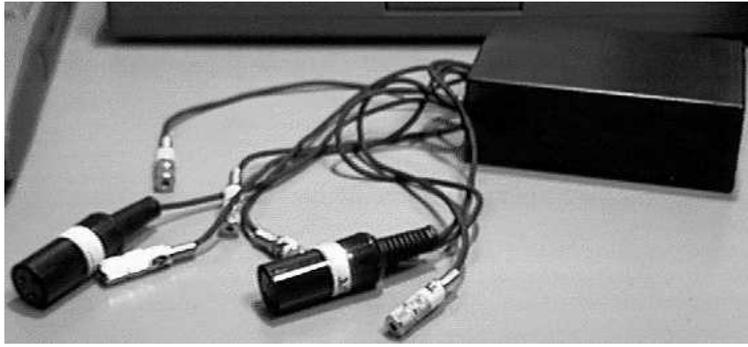


図4. オリジナル"Miburi-Sensor"



図5. 作品"Asian Edge"の公演風景

### 2-3. 赤外線ビームセンサ

図6は、難波のインド民芸品店で仕入れた太鼓の胴体に、日本橋のジャンク屋で見つけたマイクのフレキシブルパイプを組み合わせた、SNAKEMANと名付けたセンサである。このパイプの先端の間に赤外線ビームが走り、それを遮断する速度に応じたMIDI情報が出力される。原理としては単純なものであるが、機械的なスイッチを介さないで人間とインターフェースする、というこの方式はその後多くのシステムや作品で活躍した。例えば、ギャラリーの来場者をこの方法で非接触センシングして作品展示を開始させる、という演出は効果的である。



図6. オリジナル楽器 "SNAKEMAN"

図7は、このSNAKEMANが重要な要素として機能した作品"Atom Hard Mothers"の公演風景で、背景音響素材となった「鈴虫」をイメージしたPerformerが宙をまさぐる動作が赤外線ビームを遮ることでシーンが推移した。



図7. 作品"Atom Hard Mothers"の公演風景

図8は、この作品がお披露目となったオリジナル楽器「光の弦」であり、垂直方向に13本、水平方向に3本の光ファイバセンサによる光線の遮断を検出しているだけで、原理は同様である。ただしこの作品では、見た目そのままにハーブ的に演奏するシーンもあるが、別のシーンではフレーム内が6枚のプレートに分割された一種の打楽器のように変貌する、というように、「刻々と性格・特性が変化する楽器」という新しい発想を実現できた。なお、センサ情報により背景ライブ映像も高速に制御した。

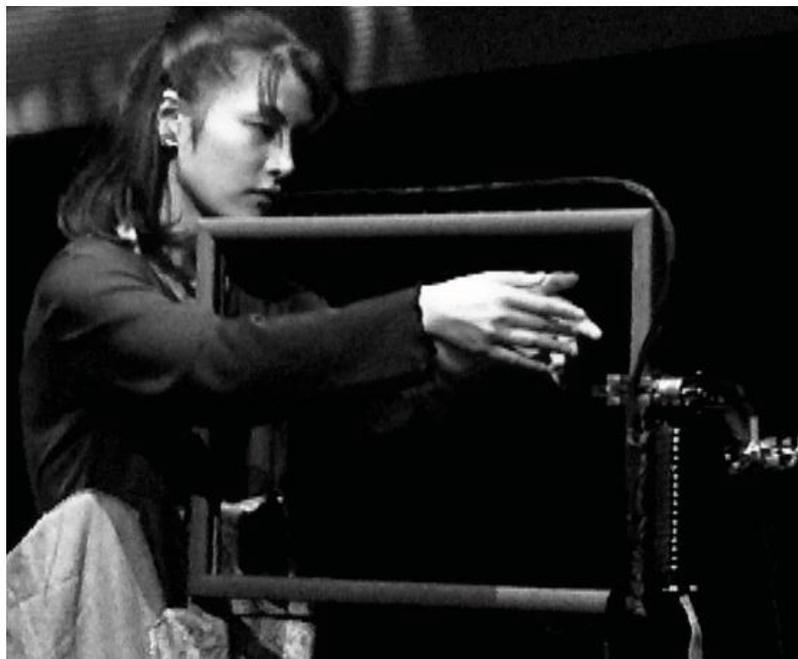


図8. オリジナル楽器「光の弦」

#### 2-4. 心拍センサ

図9は、ICCで常設展示された前林明次氏の作品のために製作したVRセンシングシステムの一部となる心拍センサの部分である。ニンテンドウ64用に市販されていたこの耳たぶセンサは、耳たぶの血流の変化を透過する赤外線の変化として検出するもので、システムではこれもA/DしてMIDI化し、来場者それぞれの心拍に同期した3Dサウンドと3D映像を他の来場者にHMDかから提示した。この開発を契機として筆者の関心は次第に生理・生体センサに向いていった。



図 9. 心拍センサを取り付けたところ

#### 2-5. 身体誘導電気(静電気)センサ

図10は静電タッチセンサである。このセンサ自体がオンボードのマイコンによって、ある体系のスケール感を持つMIDI ノート出力を行う一種の楽器としての機能も持っている。

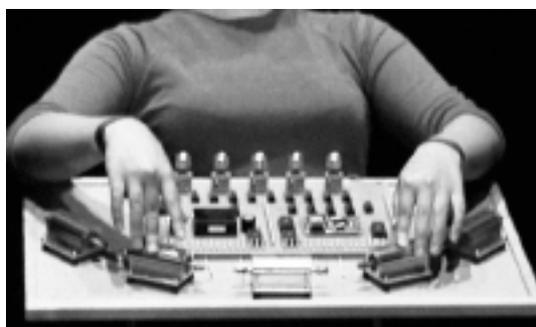


図 10. 静電タッチセンサ

システムは市販タッチセンサ（電極に触れると人体に誘起しているノイズによってON/OFFする）と同じものを5回路、搭載してMIDI出力化したものである。これとともにボード上（敢えてメカニクな概観をそのまま露出させている）の80個のLEDが次々に点灯する、という一種のインスタレーション作品として制作し、単体の展示・体験も可能である。タッチの電極部分には、日本橋のジャンク屋で発見した放熱フィン付の大電力抵抗器を利用した。図11はその演奏風景で、弾くのではなく「軽く触れるだけ」という演奏技法は新しい発見となった。



図 11. 静電タッチセンサによる演奏風景

#### 2-6. 筋電センサと"MiniBioMuse-I"

図12の"BioMuse"(市販製品)は非常に強力な生体アナログ信号センサであるが、約3万ドルと非常に高価な装置である。コンピュータ音楽の演奏では、「センサー一つだけではパーフェクトな表現の情報は得られない」「多数の低精度センサの情報を組み合わせる方が得策」という経験則があるために、BioMuseを実際に購入して使っている音楽家はあまり多くない。

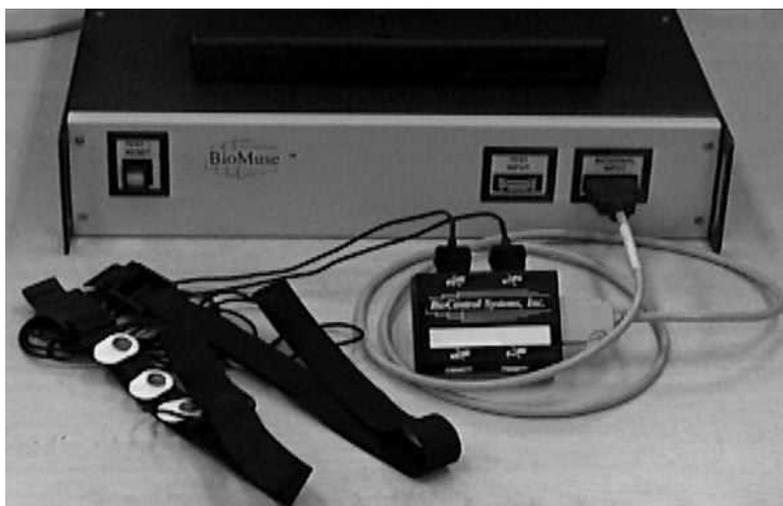


図 12. 製品"BioMuse"

そこで同じタイプの筋電位センサで、コストをBioMuseより2桁安くする目標で、図13-14の"MiniBioMuse-I"と名付けたセンサを開発した。アナログ回路部分の設計には、専門家でありコラボレータである照岡正樹氏の協力を得た。

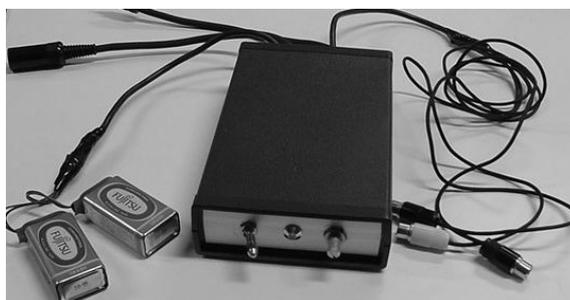


図 13. "MiniBioMuse-I"



図14. "MiniBioMuse-I"を取り付けたところ

このシステムは、(1)ノイズ除去付きOPアンプ・アナログセンシングアンプ回路、(2)生体ノイズ直接出力回路、(3)A/D変換回路、(4)A/D出力をMIDI情報出力する小型マイコン回路、からなる。出力ケーブルはMIDIとRCAのライン信号の2本である。センサの筋電バンド部分には、コンピュータメモリを増設する時に人体に帯電した静電気故障を防ぐために付属してくる、静電気放電用のリストバンドを改造して利用した。BioMuseと違い、このマシンではノイズキャンセルのために、接地電極として足首にも同じバンドを付ける。しかし、BioMuseでは必須だった、導電ジェルをべたべたと塗る必要もなく、ただこのバンドをはめるだけで、なかなか良好に筋電パルスを検出した。図15はこのセンサによる作品公演風景である。



図15. "MiniBioMuse-I"による演奏風景

#### 2-7. "MiniBioMuse-II"

図16は、ここから新たな改良により開発した"MiniBioMuse-II"である。電子回路的には、ノイズの点で限界のあるOPアンプによるフロントエンド回路から、高感度デュアルFETを用いたディスクリート・トランジスタ回路へと発展した。これは、特性の揃った2つのFETを金属ケースで熱結合した特殊なFETである2SK146により、単一電源で良好な高倍率差動増幅回路を実現したものであり、小型ケースに2チャンネル\*2電極とコモン電極の全ての回路を格納した。アナログ電圧出力はケーブルで延長したサブボックスでMIDI化するように分離した結果、照明などノイズ環境の劣悪なステージでのライブパフォーマンス(図17、京都および神戸で公演)にも使用できる、という実績を得た。

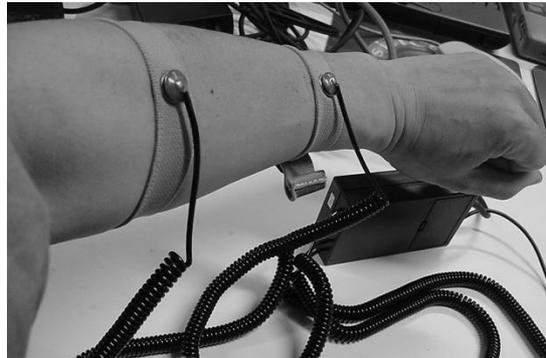


図16 MiniBioMuse-II



図17 MiniBioMuse-IIを用いた演奏風景

## 2-8. 笙プレスセンサ

雅楽に使われる伝統楽器「笙」は、呼気および吸気により音楽的に表現する。筆者はコラボレータである笙演奏家/作曲家の東野珠実氏のために、図18-19のような笙プレスセンサを開発した。笙では17本の竹のうち2本がイミテーションであり、そのうちの1本をゴム管に置換して半導体圧力センサを取り付け、呼気と吸気の双方向の息の連続量をMIDI情報化している。



図 18. 実験中の笙プレスセンサ



図 19. 作品"Visional Legend"の公演風景

## 2-9. 呼吸プレスセンサ

図20は、医療機器に使用されている「呼吸センサ」である。これは図21のように、胸部と腹部にゴムチューブとして巻いて、呼吸に伴って伸び縮みすることをセンシングする。



図20 呼吸センサのチューブ部分

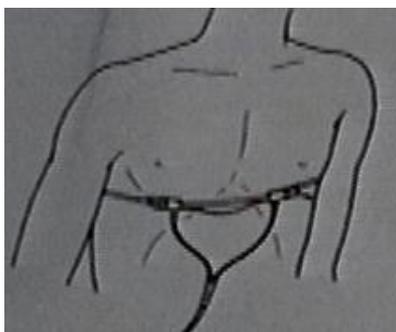


図21 呼吸センサの取り付け方

このセンサを用いて、東野珠実氏のBteathing Mediaプロジェクトのために開発したのが、図22のMIDI呼吸センサである。高感度ブリッジ回路によってセンサの伸び縮みに伴う抵抗値の微小変化をセンシングして、A/D変換してMIDI化する。これは東野氏の作品公演において、笙と共演するソプラノ歌手に装着して活躍した。歌手の演奏情報といえばマイクから得られる音響信号をリアルタイム信号処理する、というのが定番であるが、こちらのセンサの方がずっと情報検出が早い。歌声スタート前の予備動作から呼吸・発声関係の筋肉運動が開始しているからであり、これはとても重要な視点である。

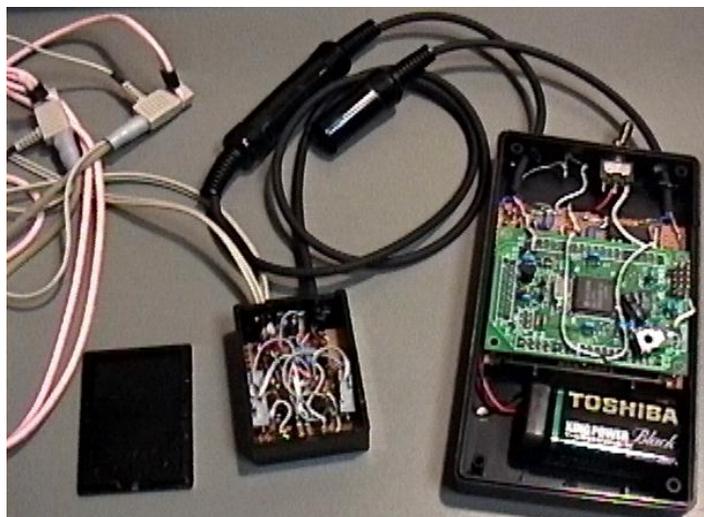


図22 オリジナルMIDI呼吸センサ

## 2-10. "MiniBioMuse-III"

図23は、2001年に新しく開発した筋電センサ最新版"MiniBioMuse-III"の電極バンドである。前作までは静電気帯電防止用バンド流用の簡易電極であったが、大幅に改良した。ベースは介護用の伸縮ベルト(マジックテープで固定)で、ここに洋裁用の金属ボタンをカシメてその上に純銀円板をハンダ付けした。接触抵抗と接触不良を避けて電線を直接にハンダ付けし、2電極のペアが合計9列並んで、中央の1列がノイズ抑止の差動基準電位(アース)となり、足首電極は不要となった。図24-26はその細部である。



図23 MiniBioMuse-IIIの電極部分

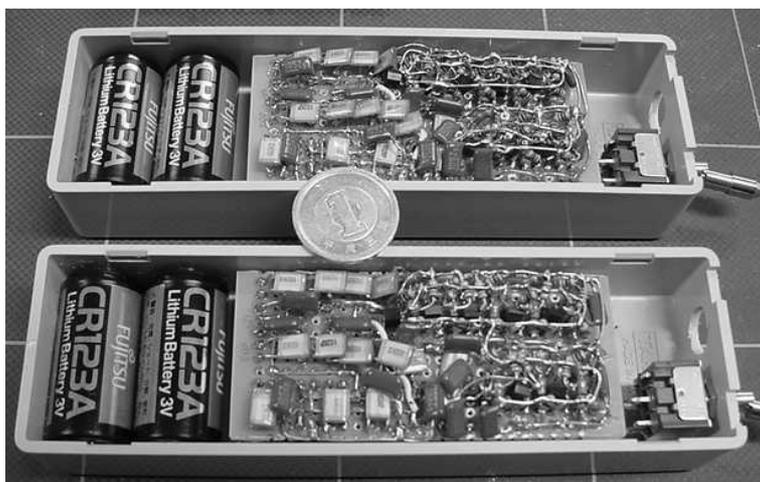


図24 フロントエンド部分(16ch)



図25 メイン・インターフェース部分



図26 MiniBioMuse-IIIの装着風景

図27は、"MiniBioMuse-III"から出力されたMIDI情報を16個のウィンドウで刻々と10msecごとに描画しつつQuickTime-GMサウンドを鳴らす、というMaxパッチの例である。このように筋電情報をリアルタイムに描画することで、パフォーマンスしている本人だけでなく、メディアアート作品の公演の場にいる聴衆もその関係を明確に理解できることを確認したために、後述する2001年9月の欧州公演において初演する新作では、この画面を作品の一部(背景グラフィクス)としてプロジェクトレーションすることにした。

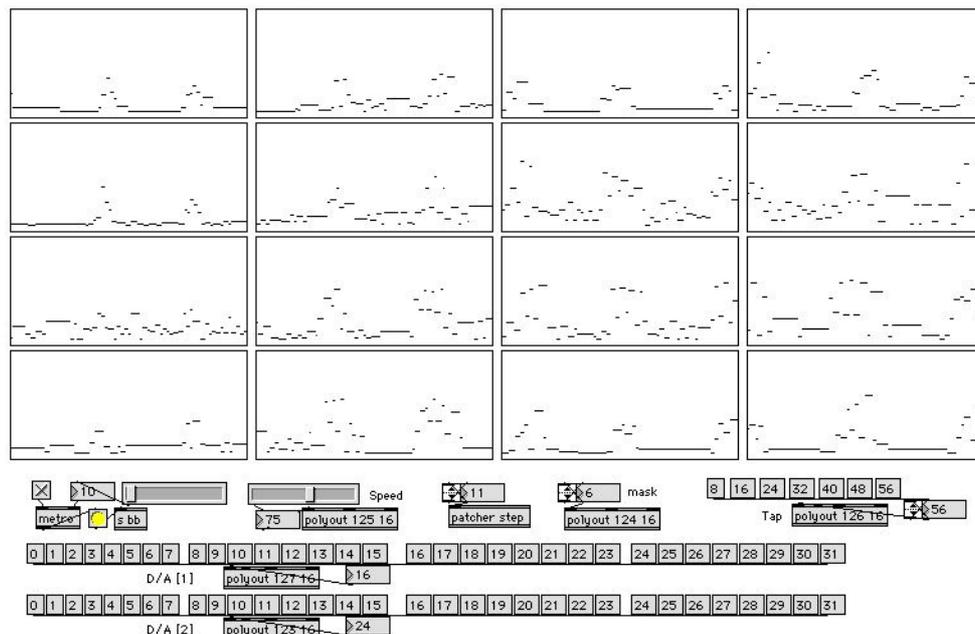


図27 MiniBioMuse-IIIのMIDI出力情報の例

### 3. 欧州公演の事例検討(2001年9月)

筆者は2001年9月、欧州講演・公演ツアーにて以下のような活動を行った。(1)Iannis XenakisにちなんだCenter for Contemporary MusicのスタジオCCMIX (パリ)にて、"Sensors for Interactive Music Performance"というWorkshopを開催(17)、(2)ドイツ・カッセルでの、音楽と工学を学際的に横断した"Workshop on "Human Supervision and Control in Engineering and Music"という国際会議での講演(18-19)、(3)これに付帯した3つのコンサートでの新作初演ツアー。ここでは上述の笙プレスセンサや新作筋電センサをライブで活用したメディアアート作品を公演し好評を得た。以下、「生体センサの遅延とシステムの反応」という視点を意識した検討とともに報告する。

### 3-1. 笙を使った作品公演

図28は、CCMIXでの筆者のワークショップ講演に付帯したデモンストレーションライブでも演奏した、東野珠実氏の作品 "I/O" の公演風景である。笙からのライブ情報により音響生成・音響処理とともにライブCGが「息づかい」に対応するかのように変化していく作品である。



図28 東野珠実 "I/O" の公演風景

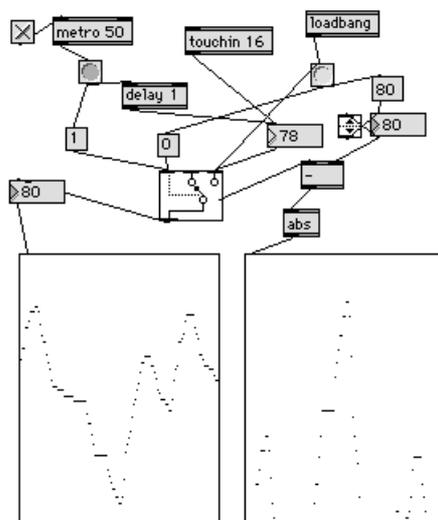


図29 笙ブレスセンサのMIDI出力情報例

図29はこの笙ブレスセンサの、実際に演奏している時の出力情報をMaxで表示している例である。笙という楽器は伝統的にはスタッカートやアタックという奏法は下品であるとされ(リードを傷めるという理由も大きい)、このようになめらかな変化となるために、センシングの遅延はあまり気にならない。しかし2001年10月に東野氏が高崎音楽祭で笙の呼吸で照明機器を制御する、という演出の公演を行った際には、呼気と吸気の切り替わり点付近でほぼゼロ値となる不感領域が存在する(照明がその一瞬は消えてしまう)という問題点が発見され、Max側で数百msec単位の遅延を加えて多重に加算する、という処理により自然な照明効果を得た。メディアアートでの「広義のディスプレイ」には多種の要請があることを実感した。図30はドイツで計3回公演した筆者の作品"Visional Legend"の公演風景であるが、ここでは笙からの情報はリアルタイム画像処理ソフトImage/ineの画像エフェクトや色彩変化パラメータとして利用された。



図30 長嶋洋一 "Visional Legend" の公演風景

### 3-2. 筋電センサを使った作品公演

図31は、筆者がCCMIXワークショップ講演の中で、新センサ"MiniBioMuse-III"を身につけて実際にその情報処理について解説しているところ、図32はハンブルクでのコンサートでの、新作"BioCosmicStorm-II"を演奏風景である。



図31 CCMIXでの講演風景

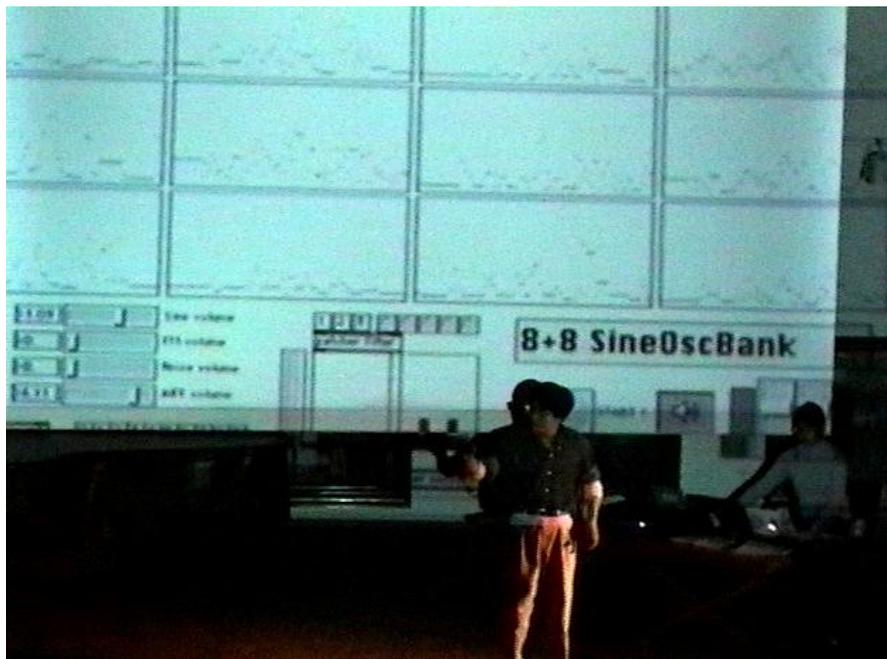


図32 "BioCosmicStorm-II" の公演風景

この作品の作曲(realize)に関しては、2001年の段階でのコンピュータ処理能力のほぼ限界に挑戦する作業となった。16チャンネルのMIDIセンサ情報をUSB-MIDI I/Fにより10msec間隔で連続受信して、さらにこの画面を外部ディスプレイにミラーリング出力しつつ、Max4/MSPによりソフトウェア信号処理によりリアルタイム音響生成を行うというのは、欧州に持参したiBookの能力としてほぼ限界に近かった。このため、図33にあるような、この作品を構成している音響信号処理ブロックのサブパッチの編集(作曲)においては、DSP処理状況(CPU占有率)のデータを監視して最大でも33%を越えないような構成にする、等のノウハウを駆使した。

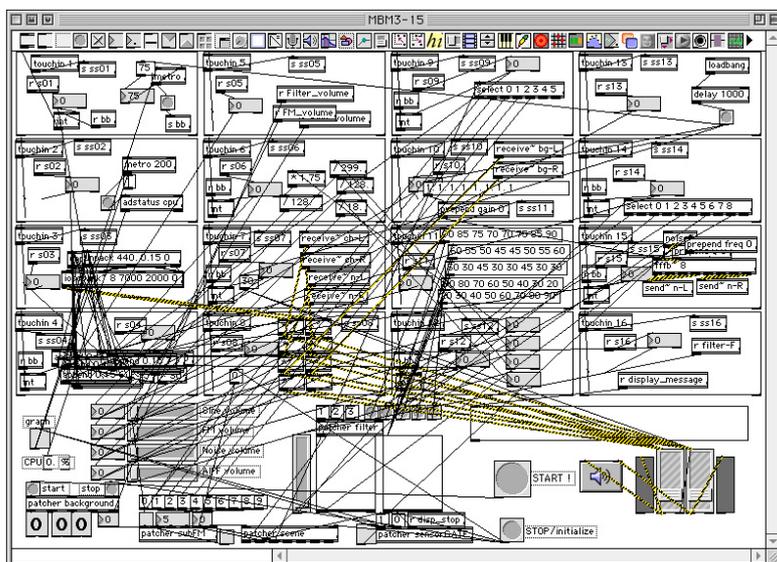


図33 "BioCosmicStorm-II" のパッチの一部

#### 4. センサからのレスポンスについて

このように多種の生体センサを活用したメディアアートを実験する中で浮上してきたのは、伝統的な楽器に必須のリアクションやレスポンスといった、人間へのライブフィードバックである。これは仮想現実システムや福祉機器の世界でも議論されてきた、「人間の繊細なコントロールは、相手からの詳細なリアクションにより実現される」という事実そのものである。以下、この重要な点について検討してみたい。

##### 4-1. センサーバンド

図34は、筆者が筋電センサに挑戦するきっかけともなった、IRCAM/Stanfordの研究者であり世界一のBioMuse演奏家でもある、Atau Tanaka氏の演奏風景である。同氏はこのフィードバックの課題に対する一つの解法として、「骨の随まで響く超巨大音量によるパフォーマンス」を提唱し、自らユニット"SensorBand"の公演において実践している。演奏者も聴衆もスタッフも耳栓が必須という、まさに轟くライブである。



図34 BioMuseを演奏するAtau Tanaka氏

#### 4-2. 筆者のセンサ群に関する考察

前述した筆者のセンサ群に関しては以下のような検討を行ってきた。図2のMIDIパワーグローブや図4の"Miburi-Sensor"のように、自分の身体(関節や筋肉)の動きそのものを密着型でセンシングする場合には、もともとその肉体の慣性質量などがフィードバックとなっているので、良好な制御が容易に実現できた。これに対して図6や図8の赤外線ビーム遮断タイプのセンサでは、本物のハーブと違って自分の手に返ってくる感触が存在しないため、演奏者は表現のために長いトレーニング/リハーサル期間を要した。笙プレスセンサでは、笙の底部にある「空気溜り」の内部圧力をセンシングしているが、この部分にリアクション機構を設ければ笙としての演奏行為そのものを制約するために、現状では解決方法は見い出していない。図22の呼吸センサについても、有効なデータを得るためにはかなり不自然なテンションで身体に巻く必要があり、生命維持装置のための医療機器としては有効であるものの、声楽家の自然な呼吸検出、という意味では問題がある、と認識している。

#### 4-3. "PiriPiri"プロジェクト

"MiniBioMuse-III"によるパフォーマンスを通じて、筋電情報はリアルタイム音響生成・音響信号処理のパラメータ制御のために、「空中に何かをジェスチャする」という表現との相性の良さを認めることができた。しかしAtau Tanaka氏のようなアプローチ以外にも、何か筋電パフォーマンスに対するライブフィードバックが

できないか、と2001年末からIAMASと開始したのが、「PiriPiriプロジェクト」と呼ばれる、生体電気刺激フィードバックの手法である。

図35は、市販の低周波治療器、いわゆるマッサージ器である。生命に危険の無い範囲でかなり強力かつ高速な刺激を与えることができる。考えてみれば筋電センサというのは、既に身体に良好な状態で接触する電極を持っているのであり、センシングするだけでなく、時分割動作により時には逆方向の電気刺激フィードバックを返すことも容易である。この部分は今後、さらに研究と実験を進めて新しい可能性を開拓したいと考えている。



図35 低周波治療器(電気刺激)

## 5. おわりに

いろいろな生体センサに関する事例紹介、筋電センサ"MiniBioMuse-III"を活用した新作等について報告した。人間の振る舞い、あるいは息づかいなどの連続的な情報とメディアアートとの熱い関係をさらに求めて、研究・開発と実験・公演活動をさらに進めていきたい。作品そのものだけでなく、センサやシステムやソフトウェアもまた作品の重要な一部である。その発展した内容や結果は、またいずれ次の機会に報告したい。

## 参考文献

- [1] Y.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年
- [2] Y.Nagashima et al. : 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、1995年
- [3] 長嶋洋一 : マルチメディア・インタラクティブ・アート開発支援環境と作品制作・パフォーマンスの実例紹介、情報処理学会研究報告 Vol.96,No.75 (95-MUS-16)』（情報処理学会）、1995年
- [4] 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1997年、1998年
- [5] 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)、1998年
- [6] Y.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-Machine Systems、1998年
- [7] Y.Nagashima : BioSensorFusion:New Interfaces for Interactive Multimedia Art、Proceedings of 1998 International Computer Music Conference、1998年
- [8] Y.Nagashima et al. : "It's SHO time" -- An Interactive Environment for SHO(Sheng) Performance、Proceedings of 1999 International Computer Music Conference、1999年
- [9] 長嶋洋一 : マルチメディアComputer Music作品の実例報告、情報処理学会研究報告 Vol.97,No.71 (94-MUS-7)、1994年
- [10] 長嶋洋一 : 「身体情報と生理情報」、長嶋・橋本・平賀・平田編「コンピュータと音楽の世界」、共立出版、1997年、pp.342-356
- [11] 長嶋洋一 : 「コンピュータサウンドの世界」、CQ出版、1999年、pp.148-166
- [12] 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)、2000年
- [13] 長嶋洋一 : 静岡文化芸術大学スタジオレポート、情報処理学会研究報告 Vol.2000,No.118 (2000-MUS-38)、2000年
- [14] 長嶋洋一 : インタラクティブ・メディアアートのためのヒューマンインターフェース技術造形、静岡文化芸術大学紀要第1号2000年、2001年
- [15] 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)、2001年
- [16] Y.Nagashima : Composition of "Visional Legend"、Proceedings of International Workshop on "Human Supervision and Control in Engineering and Music"、2001年
- [17] <http://nagasm.org/ASL/15-01/index.html>
- [18] <http://nagasm.org/ASL/14-12/index.html>
- [19] <http://www.engineeringandmusic.de/>