

脳波センサ“MUSE”は新楽器として使えるか

長嶋洋一^{†1}

概要：主としてリラクセーション(メンタルのエクササイズ)のために開発された脳波センシング・ヘッドバンド“MUSE”について、Computer Musicにおける新楽器/新インターフェースとしての応用という視点から検討した。MUSEは額に5電極、耳朶に2電極を持ち、さらに3次元加速度センサ情報とともにBluetoothでホストに生体情報を伝送する小型軽量廉価な装置であり、Bluetoothの設定としてUDPを指定するとOSC互換となるため、既存のComputer Musicシステムとの親和性に優れている。本稿では、時定数の大きさから音楽演奏情報に適さないとされてきた脳波パターン認識、ノイズ除去の状況、加速度による首振りセンシング、そしてアーティファクトを表情筋/外眼筋センサとして活用する可能性について報告する。

キーワード：脳波センサ, MUSE, 新楽器

Can we use the brain sensing headband "MUSE" as new musical instruments ?

YOICHI NAGASHIMA^{†1}

Abstract. The brain sensing headband MUSE has been developed for the relaxation and mental exercise. In this paper, I examined MUSE from the perspective for application as a new instrument / new interface in computer music. MUSE has a four-electrode on the forehead, the second electrodes to earlobe, and a three-dimensional acceleration sensor. It is a compact lightweight inexpensive apparatus for transmitting the biological information to the host via Bluetooth, and its configuration is fully compatible to OSC by specifying the UDP, therefore, it is excellent in compatibility with existing computer music system. In this paper, I will discuss about the EEG pattern recognition, noise reduction, the neck swing sensing, and the possibility of sensing of facial muscles / extraocular muscles - for musical performance / musical expression.

Keywords: Brain Sensor, MUSE, New Instruments for Musical Expression

1. はじめに

筆者はこれまで、Computer Musicを中心とするメディアアート領域で活動してきた[1][2]。2015年にはこれまで進めてきた筋電センサ関係をまとめる[3]とともに、内受容感覚・バイオフィードバックの視点から触覚に注目した新楽器を制作した[4]。本稿では、生体情報センシングの重要なパートを占める脳波センサの一例として、2015年に登場した脳波センシング・ヘッドバンド“MUSE”について調査解析し、新楽器として活用できるかどうかについて検討したので報告する。先に結論を書いておけば、「脳波楽器としては使えそうもない」「表情/ジェスチャー楽器としてはかなり使えそう」と判断した。

2. 生体情報と脳波情報

ここではまず脳波信号のおさらいの意味で、筆者がCQ出版「インターフェース」誌2015年4月号に執筆した特集記事「生体情報処理」から、生体情報の電氣的計測の特徴について整理しておく。神経繊維が高速の化学反応によりインパルスを伝播させる電気信号を検出する生体信号としては大きく3種類、**脳波**(EEG:ElectroEncephaloGram)、**心電**(ECG:ElectroCardioGram)、**筋電**(EMG:ElectroMyoGram)が

ある[5]。電気信号の伝わり方の特徴としては、神経や筋肉(内部)の活動電位が約100mVなのに対して、身体を伝導する際に1/1000~1/10000に減衰するために、皮膚表面で検出する電気信号は非常に微弱である。文献によりばらつきがあるが、表面電極で検出できる生体信号の電圧レベルは、EEG(脳波)で1 μ V~500 μ V、ECG(心電)で50 μ V~2mV、EMG(筋電)で10 μ V~10mVのオーダーである。また周波数帯域はおおよそDC~5kHz程度までで、EEG(脳波)で0.5Hz~70Hz、ECG(心電)で0.1Hz~200Hz、EMG(筋電)で1Hz~2kHzである。生体を電氣的に見ると信号源インピーダンスが相当に大きく、EEG(脳波)で1k Ω ~100k Ω 、ECG(心電)で1k Ω ~100k Ω 、EMG(筋電)で100k Ω ~10M Ω のオーダーである。ここに周囲環境からハム(交流誘導ノイズ)等が乗る電圧レベルは100~1000倍のオーダーであり、ペア電極と差動増幅回路によりコモンモードであるハムをキャンセルすること(共通の基準電極も必要になる)、50Hz/60Hzを選択できるノッチフィルタで減衰させる事が必要となる。

表面電極による生体信号計測に特有の経験則として、アーティファクト(基線変動)という、電極の接触状態/人体の運動による100~1000倍のオーダーの偶発的ノイズの除去、さらに電極が皮膚に馴染むまで数分程度かかるというノウハウも重要であり、長時間連続計測の場合には温度など周囲環境のドリフトに注意する必要がある。また生体信号に特有のポイントとして、閾値(細胞膜の脱分極→非線

^{†1} 静岡文化芸術大学
Shizuoka University of Art and Culture

形動作)、不応期、生体環境に有害な電気刺激等を与えない(危険防止)、個人差/疲労/適応/学習について考慮する、被験者実験には被験者の同意書・倫理委員会の承認が必要、などの注意点がある。

3. 脳波センシング・ヘッドバンド“MUSE”

カナダのInteraXon社が発表した 脳波センシング・ヘッドバンド“MUSE”[6]は図1のような小型軽量ヘッドバンドで、白黒2タイプが各299ドルである。同社のオンラインショップには関連グッズとして図2の“Zabuton”(219ドル)も売っているように、医療器具でなくMeditation Tool(メンタルエクササイズ)の道具とされている。



図1 MUSE
Figure 1 MUSE.

“MUSE”のサイト[7]によれば、InteraXon社のミッションは「先端的な脳センシング技術と経験によって、人々をより幸せに、より健康に、より結びつけられて生きることを可能にする」ことであり、同社のビジョンは「人々の毎日の生活の重要な一部として、これまで想像できなかったような新しいレベルの自由さ、繋がり感、幸福をもたらす」ことだという。

Zabuton: Bliss Floor Mat



Ships only to Canada and the U.S.

\$219.00



図2 関連グッズの「座布団」
Figure 2 Zabuton.

図3はMUSEのセンサ群などを示したものであり、バンドの細い中央部を額にあてて両端を眼鏡のように両耳にかけて装着する。61グラムと軽量なので眼鏡をかけた上に重ねても良好に装着でき、従来の生体センサのような電極ジェルや密着させるベルト類も皆無なので、ストレスなく長時間の装着が可能である点が新しい。7個のセンサと5時間連

続使用可能なバッテリーとBluetooth送信システムを内蔵しており、MicroUSBポートに接続することで充電する。脳波センサは額の部分に5個の乾式電極が並び、さらに耳たぶ部分では導電ゴム性のセンサ電極がクッションを兼ねている。そして最近の流行に乗って3次元加速度センサも内蔵しており、頭頂部の方向ベクトルを良好に検出する。

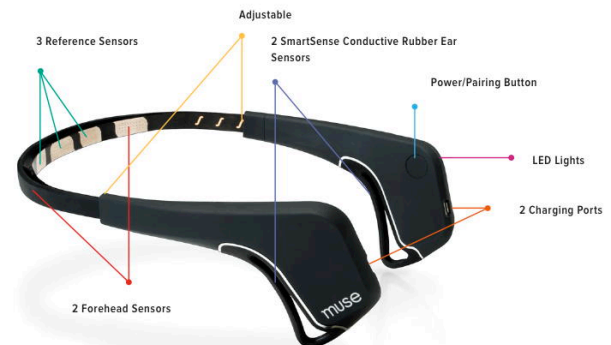


図3 MUSEのセンサ群
Figure 3 Sensors of MUSE.

“MUSE”の標準的な(一般ユーザの)使い方というのは、iPhoneやiPad用に完成しているアプリをインストールしてユーザアカウントを登録し、BluetoothでMUSEと接続してアプリを使う、というものであり、図4のようなちょっと怪しい感じの装着風景となる。“MUSE”アプリは一言で言えば、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。ユーザ登録して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ておき、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(別人であれば別アカウントの登録を要求)している。



図4 MUSEを使っているところ
Figure 4 Using MUSE.

基本的な「3分間エクササイズ」の場合、MUSEを装着するとアプリ画面内でシステムはまず、本人データと照合しつつ装着状態(アーティファクト)を確認する(図5左)。

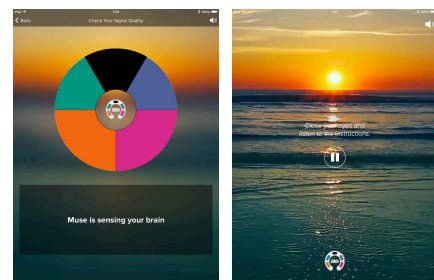


図5 MUSEアプリの画面例(1)
Figure 5 Screen of MUSE Application(1).

これに続いて“MUSE”アプリは、「目を瞑って」「指示に従って、音声で提示されたキーワードから連想される単語を3つ、頭に思い浮かべること」を求める(図5右)。例えば“Sports”と言われたらサッカーとラグビーとテニスなど、“fruits”と言われたら苺と蜜柑とバナナなどをイメージして、他の事を考えないようにする必要がある。この状態で脳波や脈拍からリラックス状態を検出すると、ようやくリラックスのエクササイズ本番3分間に移行する。

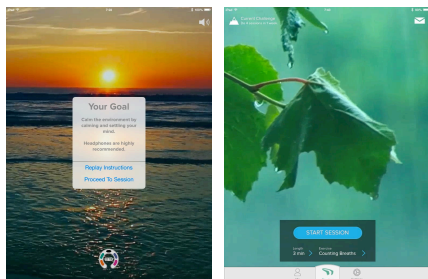


図6 MUSEアプリの画面例(2)
Figure 6 Screen of MUSE Application(2).

“MUSE”アプリの開発者は日本の座禅や瞑想をよく研究しているらしく、エクササイズ本番の指示(英語)は、筆者が京都・勝林寺[8]で2度経験した坐禅体験と完全に同一であった。すなわち瞑目して(勝林寺では半目)、ゆっくりと自然に呼吸して心の中で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…という繰り返しである。瞑目しているのでユーザは見えないが、図6はその画面の例である。この間、iPhone/iPadからは海辺の波打ち際の音やそよ風の音が聞こえてきて、いかにもリラックスできる。さらに時には、遠くから鳥のさえずりが聞こえてくる事もある。実はこれがリラックス状態のサインであり、エクササイズに慣れてくると、この鳥のさえずりをまた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リラックス状態にスッと入るトレーニングとなる。

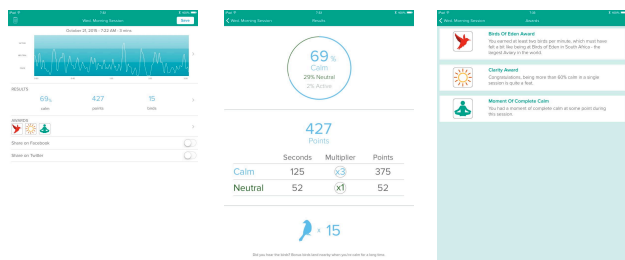


図7 MUSEアプリの画面例(3)
Figure 7 Screen of MUSE Application(3).

図7左は、エクササイズ終了後の“MUSE”アプリ画面の一例で、上段に3分間の脳波グラフ(イメージ的にはストレス度で、下に下がるほどリラックス)、次段には図7中にある「平均69%のリラックス度」「ポイント合計427点」「15回、鳥のさえずり」などと表示され、その下段にはAWARDSのマークが3個並んで、図7右によれば「鳥がたくさん鳴いてよかった」「60%以上の安静度」「エクササイズ中ずっとリラックスしていました」というご褒美の意味が表示される。子供騙しのようなシンプルな「結果表示」であるが、リラックスした結果を定量化・ビジュアル化させて満足させる、という王道のインターフェースである。



図8 MUSEアプリの画面例(4)
Figure 8 Screen of MUSE Application(4).

図8は、エクササイズ結果のさらに詳細な表示画面例で、3分間の脳波グラフを時間軸を拡大してその状態変化を確認できる。グラフ下端の緑色の部分で鳥のさえずりが聞こえてきた、という確認もできる。

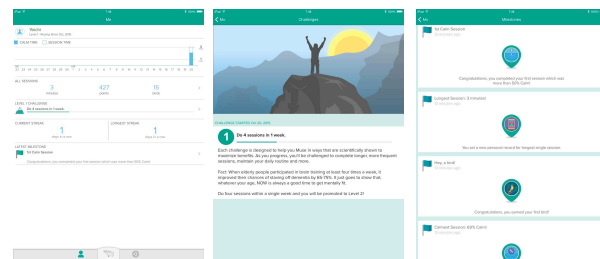


図9 MUSEアプリの画面例(5)
Figure 9 Screen of MUSE Application(5).

図9は、エクササイズ結果の別の画面例であり、このようなセッションを毎日行って、その記録を自分でモニターすることで、日々刻々とリラックスが上達するとか、自分のバイオリズムとストレス/リラックスとの関係を自覚できる、という至れり尽くせりの機能である。

4. “MUSE”のハックとカスタマイズ

4.1 Bluetoothメッセージを受け取る

上述のような一般ユーザとしてMUSEを使うつもりは毛頭ないので、メンタルエクササイズは早々に終わりにして、MUSEのDeveloper Kit[9]のページに進んだ。ここにはSDK一式、Documentation一式、さらにDeveloperフォーラムが完備していて、何か出来そうな環境である。

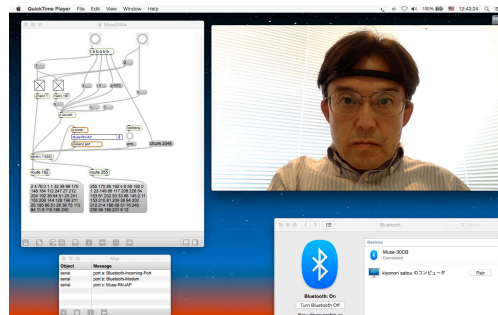


図10 MUSEのBluetoothを受けて表示
Figure 10 Display of MUSE Bluetooth.

まずはMacのBluetooth接続環境設定でMUSEと接続すると、図10のようにMaxのserialオブジェクト一覧リストに“port c: Muse-RN-iAP”というものが出現した。Bluetoothのスピードは115200bpsなのでこれで接続してみると、あっさりとMUSEから刻々と謎のデータストリームが送られてきて、とりあえずの接続は簡単に実現できた。

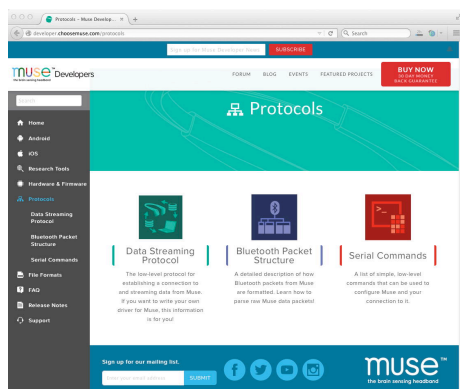


図11 MUSEのメッセージ/コマンド定義
Figure 11 Protocol/commands of MUSE.

そしてMUSEのDeveloperページの先にある[10]のページ(図11)には、“Data Streaming Protocol”・“Bluetooth Packet Structure”・“Serial Commands”という欲しい情報がしっかりと定義されていた。MUSEの動作には大きく2種類のモードがあり、その第一は“Configuring Muse”ということで、Serial Commandsで定義されるASCIIコマンド/メッセージでMUSEの内部状態を知ったり設定を変更できる。例えば、周囲の電源ハムノイズを除去するフィルタ設定については、浜松や大阪で使う時には60Hzだが東京で使う時には50Hzに変更する必要がある。“MUSE”アプリのユーザ登録の最初のメニューには電源周波数エリアの指定項目があって、起動時に内部的にこのコマンドを送っている。

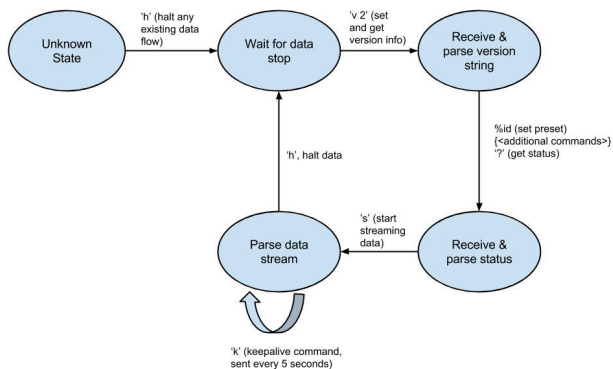


図12 MUSEの動作モード遷移
Figure 12 Mode Flowchart of MUSE.

“MUSE”のメインの動作モードは上の図12のように遷移する“Data streaming from Muse to the client”であり、ここに、Data Streaming Protocol[10]が関係してくる。文字で書けば以下のような流れである。

1. Stop the data stream(in case it happens to be streaming already)
2. Do a version handshake
3. Load a preset
4. Send other configuration messages(such as changing the EMI filtering based on region of the world)
5. Request Muse status
6. From this status a data stream parser should be configured
7. Start data streaming
8. Stream data and parse it
9. Stop the data stream when it is no longer needed

4.2 Bluetoothメッセージを解析する

図13は、このような“MUSE”のコマンドプロトコルをMax上で解析実験している様子であり、動作モード遷移に対応したコマンド文字列をserialオブジェクトから送りつつ、Bluetooth経由で戻ってくるメッセージをparseした。文字で書けば以下のような流れである。

- ・まずコマンド「h」でホールド(停止)にする
- ・コマンド「v 2」でバージョンを指定
- ・コマンド「g 407C」で電源フィルタを60Hzに設定 (50Hzであれば408C)
- ・コマンド「s」でストリーミングパケットの送出開始
- ・コマンド「k」を10秒以内の間隔で送り続けるとストリーミングを続ける(生き続ける)

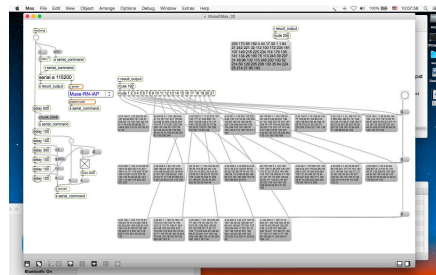


図13 MUSEのメッセージ解析例(1)
Figure 13 Message decoding from MUSE(1).

“MUSE”から届くストリーミング・パケットには、先頭データが192と255の2種類があり、これを図13のパッチにより255で始まるパケットをunpackしてparseしてみると、続く3データが必ず255か170か85になってその次に必ず192が来て、これが16進で“FF-FF-AA-55”の同期パケットであると判明したので以降は同期パケットを暖かく無視した。

“MUSE”のData Streaming Protocol[10]によれば、192=0xC0以外にも、Type Nibbleとしては以下のようなものが定義されているが、調べてみると何も届かず、デフォルト状態では“MUSE”は0xC - Compressed EEGパケットだけを送っているように思われた。

- 0xF - First nibble of sync packet
- 0xE - Uncompressed EEG
- 0xD - Error Flags
- 0xC - Compressed EEG
- 0xB - Battery
- 0xA - Accelerometer
- 0x9 - DRL/REF
- 0x0 - Invalid

さらに図14のようにたくさん届くデータをunpackしてparseしてみると、複数種類のデータが並んでいて、さらにそのデータ到着密度には濃淡がある、と判明した。

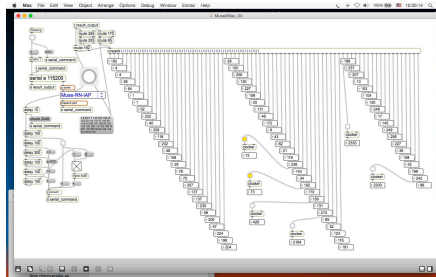


図14 MUSEのメッセージ解析例(2)
Figure 14 Message decoding from MUSE(2).

“MUSE”のプロトコル定義のページ[11]から、Bluetoothで送られて来るデータパケットは図15のように複雑に定義されている。できれば、生の脳波データ“EEG Data - 64 samples”に行きたいが、まずは最初の5バイトに**圧縮された脳波データ**が入っているというので、ここから検討した。図15によれば、“Compressed EEG Packet”では、ヘッダに続く**5バイトのデータ**に10ビット精度の**4チャンネル**分のEEG情報が置かれているという。これに続く2バイトはその後のデータ長である。

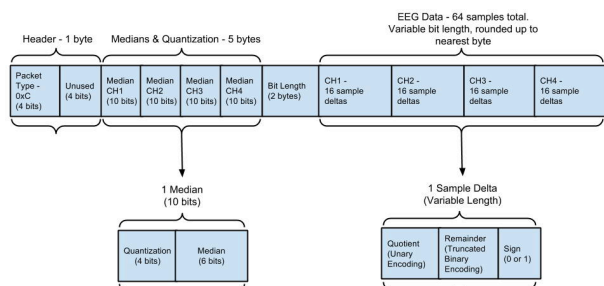


図15 MUSEのデータパケットの仕様
Figure 15 Data Packets Definition of MUSE.

“MUSE”のプロトコル定義のページ[11]の“Headers are bitwise big-endian”というのは曲者で、すぐ後に“10-bit bitpacked samples are both bitwise and byte-wise little-endian”とあり、さらに“Each sample’s lower bits are the upper bits of the first byte, and its upper bits are the lower bits of the second byte. The first sample uses the first two bytes, and the last sample uses the last two bytes”という。MIDIの**デルタタイム**以上の、筆者が遭遇したことのない変態的なフォーマットで、限られた資源のBluetooth通信で最大限にデータを圧縮するだけでなく、安易にMUSEの生データをハックできないように意図したプロテクトとも思える。

データ圧縮のアルゴリズムの概要は大きく2段階であり、まず隣接するサンプルデータの絶対値を扱うのではなく、**Golomb coding**(ロスレスの可変長データ圧縮)[12]のアルゴリズムで前後のデータの差分をとり**Golomb coding**データの平均を表すために“sample-delta”という可変長データの概念を用いる。この差分データが大き過ぎた場合に丸めるために**Quantization**(量子化ノイズを乗せて急激な変動を抑制)[13]をかけるという。そして、以下のようなアルゴリズムとエンコード法の解説記述が続く。

Differencing Method
Encoding Sample-Deltas
Computing the Quotient
Encoding the Quotient
Computing the Remainder
Encoding the Remainder
Encoding the Sign
Quantization

その次の項目“Implementation - Parsing Compressed EEG Packets”が解説の最後であったが、ここでようやく、この面倒な圧縮アルゴリズムはMUSEからの脳波の生データを部分転送するためのものであり、ごく簡易には、先頭5バイト(10ビット×4チャンネル)で、およそその脳波の擬似

的な情報を転送していると判明した。そこで5バイトから4チャンネル10ビットデータをプロトコル[11]に従って取り出してMaxのmultisliderで表示させてみると、図16のように波形が出て、目をむいたりこめかみに力を入れたりすると明らかに対応して変化が生じた。

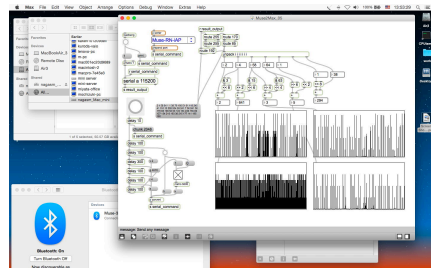


図16 MUSEのメッセージ解析例(3)
Figure 16 Message decoding from MUSE(3).

この先頭5バイト(10ビット×4チャンネル)に、データのスケール値4ビットと**Median**(中央値)を乗算し、擬似的な浮動小数点形式でダイナミックレンジを稼いでいるデータを表示してみた(体感としては脳波っぽい)のが図17である[14]。ツールを使ってOSC経由で脳波データを取得するのが王道だとして、Maxのserial機能の発展によりserialオブジェクトだけでMUSEのデータが取れた(コマンドも送れた)というのは、ゲリラ的な邪道であるが、なかなかの収穫(楽しいゲーム)であった。なお、先頭8バイトに続く膨大な生データの部分は追跡していないので、興味ある方々の追試解析報告に期待したい。

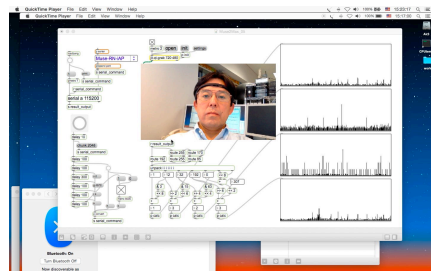


図17 MUSEのメッセージ解析例(4)
Figure 17 Message decoding from MUSE(4).

4.3 標準ツール“MuseIO”と“MuseLib”を利用する

ダイレクトにMUSEからのBluetoothを受けた成功に気を良くしてMUSE Developerサイト[9]のツール**MuseIO**からOSCで情報を入手しようとしてすぐに判明したのは、OSCではなく**OSC風なプロトコル**という事だった。OSCはUDPだがなんとMUSEはTCPなのだった。

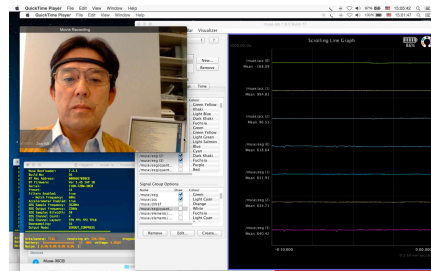


図18 MUSEのメッセージ解析例(5)
Figure 18 Message decoding from MUSE(5).

そこでMaxを使わずにMUSEをBluetooth接続して、**MuseIO**から**MuseLib**に、3軸加速度センサのデータと、図17と同様

の圧縮された4チャンネルの脳波データを渡して表示してみたのが、図18の画面である[15]。これは提供されているツールなので見栄えもいいが、データを自分の好きな用途に使えないので、「見せるだけ」である。

4.4 標準ツール“MuseIO”をUDPに設定変更する

ここで、ツールMuseLABの画面を思い出した。図19のように「TCP」の下に「UDP」というラジオボタンがあるが、これは「押せない」表示専用機能だった。そしてMuseIOのドキュメントページのいちばん下の“MUSE command line options”[16]の中の“OSC Options”の“--osc arg” (Output all data types[EEG/ACC/Status/Battery] to OSC. Multiple URLs can be specified, comma delimited. Do not include a path.)という記述の例として、

e.g. 'osc.tcp://localhost:4444,...'

という嬉しい情報を発掘した。osc.tcpというのが指定できるとすれば、これをosc.udpとオプション指定してMuseIOを起動すれば、出て来るパケットはUDPとなって、つまりはMaxがudpreceiveオブジェクトで受け取れる、普通のOSCになってしまうのでは、という見立てである。

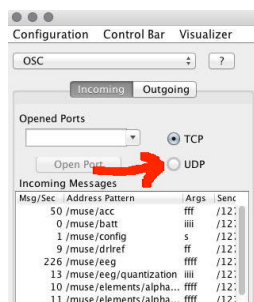


図19 MuseLABの画面の一部
 Figure 19 Menu of MuseLAB.

そしてコマンドラインからのMuseIOの起動オプションによって、今度は正々堂々とUDP-OSCでMuseIOからのパケットを受け取り、その中の圧縮された4チャンネルの脳波データと、3軸の加速度センサデータを綺麗に受け取って表示する、図20のようなMaxパッチ[17]が完成した。これはかつて25年前、尺八演奏家/作曲家の志村哲氏に多数のセンサを取り付け進めていた竹管の宇宙プロジェクト(イメージラボ)[18]で、志村氏の後頭部にジャイロセンサを取り付けて首振りセンシングしたのに比べて、よりスムーズで綺麗なデータであった。首振りがMuseからBluetoothで飛んできて、MuseIOからOSCでMaxに届いている、というのは美しい世界である。これで少なくとも、首振り演奏楽器はMuseで出来る、と確認できた。

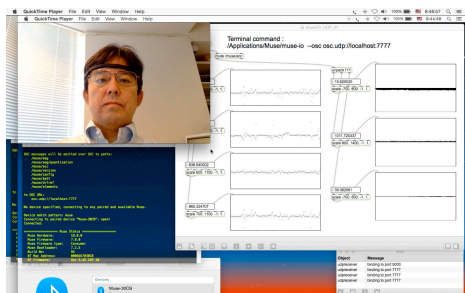


図20 MUSEのメッセージ解析例(6)
 Figure 20 Message decoding from MUSE(6).

5. MuseIO→OSC→MaxによるMUSEデータ処理

5.1 “MuseIO”起動用のスクリプト

ここまでの解析を経て、最後の仕上げに、図21のようにターミナルから入力するMuseIOのオプション付きコマンドをUnixシェルスクリプトとして書き出し、この拡張子を.shから.commandにして、chmod 755で実行権限を与えた。これによってアイコンを叩くだけでMUSE→OSC→Maxの設定を完了できるようになった。

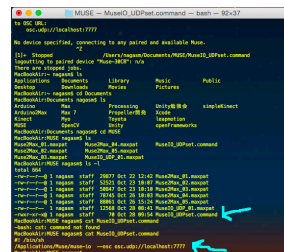


図21 MuseIOの起動スクリプト例
 Figure 21 Script example for MuseIO.

このMuseIO起動スクリプトには電源ハム除去のための交流ノッチフィルタのカットオフ周波数も指定できると気付いた(MUSEアプリから設定していたので既に60Hzになっていた)ので、ドキュメント[16]の記述から、“--50hz”ないし“--60hz”のオプションまで含めて、関東でも関西でもOKな2種類のMuseIO起動スクリプトを作った。

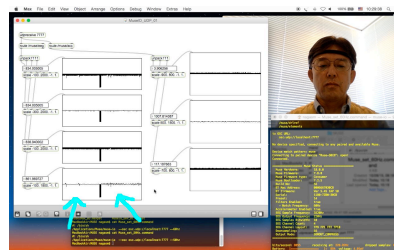


図22 MUSEの解析例(1)
 Figure 22 Analyze of MUSE(1).

図22のMax画面の左側の4段の脳波データは、MUSEの「TP9・Fp1・Fp2・TP10」の電極に対応して「シータ波・アルファ波・ベータ波・ガンマ波」のFFT演算結果であるという。矢印の脳波のところに、60Hzと50Hzとの違いが顕著に現れたのでおそらくガンマ波(30Hz~50Hz)であろう。図22の例では、前半のノッチフィルタが60Hz、途中でこのスクリプトを停止/変更して後半は50Hzのものであり、明らかに後半に電源ノイズが乗ってきている。

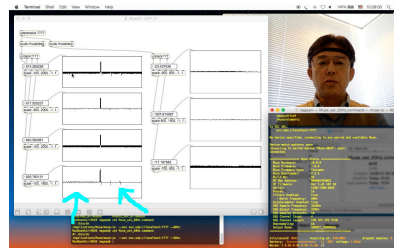


図23 MUSEの解析例(2)
 Figure 23 Analyze of MUSE(2).

そして図23の例では、前半のノッチフィルタが50Hz、途中でこのスクリプトを停止して後半は60Hzのものであり、明らかに後半には電源ノイズが消えている[19]。

5.2 Muse+ダブルMyo+MRTI2015とバッテリー消費

筆者は2015年春に、筋電センサMyoとそのSDK等を解析した。Myoは基本的に左右どちらかの腕に装着するセンサであるが、開発者向けページを詳細に解析し、Bluetooth用のUSB dongleを直接にアクセスして、図24のように2個のMyoに識別情報を設定し同時に2個のMyo情報をMaxにダイレクトにOSC送出するオリジナルツールをXcodeで開発した。Myoはバッテリーを長持ちさせるため、筋電情報が軽微である(脱力している)と気をさかせてsleepモードに入ってしまう(ArmBand Managerで再接続する必要がある)欠点があり、これを避けるために「強制的にsleepさせない」という指定も実現した。これにより、Myoを両腕に装着しての筋電楽器(静止状態を含むパフォーマンスに対応したインターフェース)として実用に耐えるレベルに成長した。

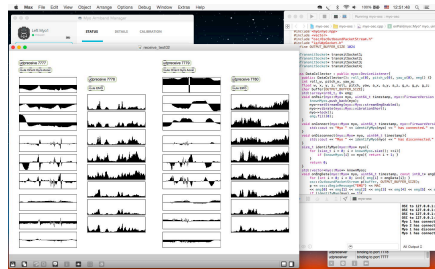


図24 ダブルMyo
Figure 24 Double MYO.

そこで次の実験として、Bluetoothを使用するMUSEと同時にBluetoothを使用するダブルMyoと、さらに2015年に開発した新触覚楽器MRTI2015[4]とを同時に使用する環境の構築とともに、MUSEとMyoのバッテリー消費を観察した。システムとしては図25のようなものとなり、図26および図27がその開発実験の様様である。

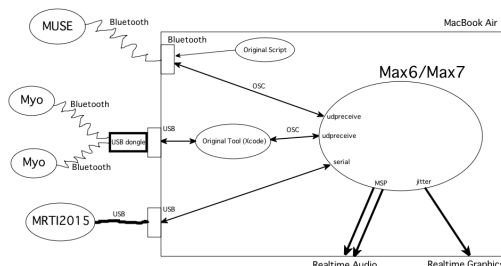


図25 MUSE+ダブルMyo+MRTI2015システム
Figure 25 The system of MUSE+doubleMyo+MRTI2015.

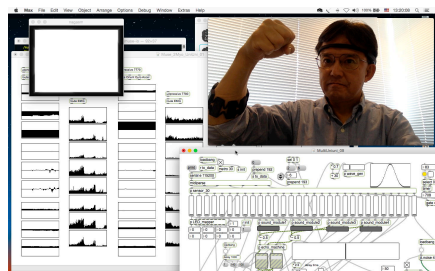


図26 開発実験の様様(1)
Figure 26 Development of the system(1).

図26の実験ではまず、13時にMUSEとMyoの動作を開始させた。MUSEは午前中にも使っていたのでフル充電でなく「94%」であり、2個のMyoは満タンである。約1時間かけて「2個のMyoの9軸センサと8ch筋電」のダブル表示と「MUSE

の4ch脳波と3軸加速度」までを1個のMaxパッチに合体させてみた結果、1個目のMyo(先にも買って使っていたのでバッテリー寿命がより短い)がわずかに減ってきてMUSEは「67%」まで減った。小型のリチウムイオン電池なので、いずれも妥当な減り方であるが、リハと本番を合わせて1時間以上は余裕で連続使用できそうだと、というのは体感的に安心できる容量である。

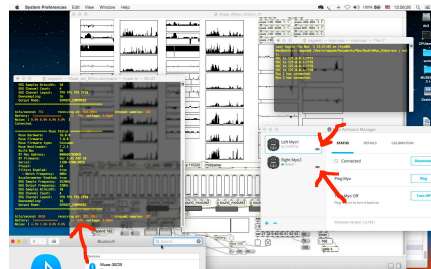


図27 開発実験の様様(2)
Figure 27 Development of the system(2).

その後さらに全てのセンサをそのまま装着してMaxパッチを走らせてBluetoothセンサ通信を続けていると、図27の15分後には、2個のMyoがいずれも2割〜3割は減ってきて、MUSEも「62%→61%」になってきた。とりあえずの心証としては、満タン充電しておけば連続90分〜2時間はほぼOKである。この間、Xcodeで自作した「ダブルMyo→OSC」プログラムと「MUSE→OSC」シェルスクリプトは、それぞれのBluetooth接続が落ちることなく続いた。Myoの方は、開発のためキーボードを打つ動作が通常の筋電センサと異なるために、両腕のMyoがバインドで頻繁に「どーなっているの??」と聞いてくるが、とにかくsleepせずに動き続けるというのが大事であり、ライブComputerMusicの道具(新楽器)としての条件として、重要な確認となった。

5.3 アーティファクト対策AGC

MUSEがMaxで使えるようになって最後に行った実験は、図28のようなものである。図28のMaxパッチの左側に縦に3つ並ぶのは3次元加速度センサによる頭の傾きであり、中央から右に並ぶグラフの左端の縦に4つ並ぶのがMUSEから来た脳波センサ情報である。この右側に、2種類の操作を施して縦に4つ並ぶ脳波センサ情報に注目されたい。

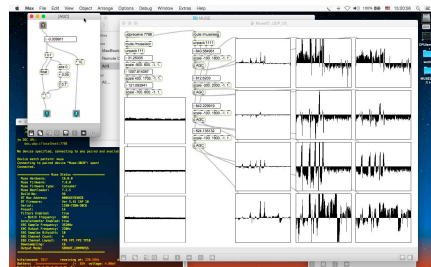


図28 開発実験の様様(3)
Figure 28 Development of the system(3).

MUSEから届いた縦に4つ並ぶグラフ(左)において、ごく微細に変化しているのが脳波であり、それ以外の大きな変動は全て、眼を開けているために起きる外眼筋(まばたき)や表情筋によるセンサ電極の接触不良ノイズ(アーティファクト)である。そこで中央の縦に4つ並ぶグラフでは、このセンサ信号を10倍ゲインで拡大しているが、脳波部分

の波形が見えてきたものの、アーティファクト部分ではグラフが振り切れてしまっている。そこで縦に4つ並ぶグラフ(右)においては、簡単なアルゴリズムでAGC(自動ゲイン制御)を加えてみた。これは、微弱な信号では10倍ゲインとなりつつ、10倍された信号レベルが大きくなると急速に圧縮をかける非線形変換であり、結果として脳波部分も外眼筋と表情筋の筋電情報も、振り切れることなく取得できている、MUSEが顔筋電楽器として使える事を示している。

6. 脳波音楽と脳波楽器とMUSE

以上の解析・開発・検討を受けて、ここでMUSEの脳波楽器としての可能性について整理する。図29は、国際会議NIME2003の2日目の2003年5月23日、McGill大学のPollackホールでのコンサート第1夜の1曲目、Andrew Brouse氏の作品“Conversation”の公演の様態である。翌日に同ホールで公演した筆者は客席でこの作品を見届けたが、なんと金網(シールドのため必要)の籠の中に、脳波センサを付けた作曲家自身と、センサ電極を挿した鉢植えの植物が対峙していて、その「対話」ライブセンシング情報で音楽音響を生成するというものだった。これが本当に対話だったのかどうかは、本人と植物自身しか判り得ない。



図29 NIME2003の脳波音楽公演の様態
Figure 29 Performance in NIME2003.

思い出してみれば、Mac用の脳波バンドEVAの電極をべたべた舐めて装着したNifty-ServeのMIDIフォーラムの納本氏の姿に驚いたのは25年前の事であり、その当時から既に、リラックスしてアルファ波が出ればMIDI楽器が鳴ったり照明を点滅させたり出来ていた。ワイヤレスになった違いはあるものの、本質的には25年前とまったく同じことが繰り返されている。筆者がMUSEを使ってみてこりゃ駄目だ、と思った理由は目をつぶらないといけないという条件に集約できる。目を瞑って瞑想している状態を演奏行為だと宣言して開き直るならそれは音楽かもしれないが、周囲も見えず(インタラクション無し)じっと黙っていると、ようやくじわじわと出て来る脳波を音楽情報にどうマッピングしても、それは極度の自己満足ないしパフォーマンス芸でしかない、との指摘にどれだけ反論できるか難しいところである。結論として筆者は作曲家として、現時点では脳波音楽を出来るともやりたいとも思っていない。

7. おわりに

新しい脳波センサMUSEについて調査・解析・検討してみた。図30のように筋電センサ[3]を駆使した公演を続けて

きた筆者にとって、MUSEは新しい表情筋楽器としての可能性を大きく拓いた、という意義が大きい。今後、機会をみてMUSEを活用した作品の作曲・公演を目指していきたい。

参考文献

- [1] Art & Science Laboratory. <http://nagasm.org>
- [2] 長嶋洋一, 新楽器へのアプローチ.
http://nagasm.org/ASL/paper/SIGMUS201508_2.pdf
- [3] 長嶋洋一, 筋電センサ関係情報.
http://nagasm.org/ASL/CQ_mbed_EMG.html
- [4] 長嶋洋一, お触り楽器.
http://nagasm.org/ASL/paper/SIGMUS201508_1.pdf
- [5] 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.
<http://nagasm.org/ASL/paper/SIGMUS201503.pdf>
- [6] MUSE. <http://www.choosemuse.com/>
- [7] MUSE. <http://www.choosemuse.com/people-behind-muse/>
- [8] 毘沙門堂 勝林寺 坐禅体験. <http://shourin-ji.org/zazen1/>
- [9] MUSE Developer Kit. <http://www.choosemuse.com/developer-kit/>
- [10] MUSE protocols. <http://developer.choosemuse.com/protocols>
- [11] MUSE protocols. <http://developer.choosemuse.com/protocols/bluetooth-packet-structure/compressed-ecg-packets>
- [12] Golomb coding. https://en.wikipedia.org/wiki/Golomb_coding
- [13] Quantization. https://en.wikipedia.org/wiki/Quantization_%28signal_processing%29
- [14] <http://www.youtube.com/watch?v=ZVc4KNmN1mc>
- [15] <http://www.youtube.com/watch?v=QXwjSSY5VWY>
- [16] MUSE command line options. <http://dev.choosemuse.com/research-tools/museio/command-line-options>
- [17] <http://www.youtube.com/watch?v=9TWNK0V-DVE>
- [18] 竹管の宇宙プロジェクト. <http://ci.nii.ac.jp/naid/110002935518>
- [19] <http://www.youtube.com/watch?v=ws1yoip-w0A>
- [20] 長嶋洋一, ダブルMyo. <http://nagasm.org/ASL/paper/doubleMyo.pdf>
- [21] <http://www.youtube.com/watch?v=FVq0PSMG2GY>



図30 筆者の筋電楽器の公演の様態
Figure 30 Performance of EMG sensors.