

新・生体センサシステム“EmotiBit”は新楽器として使えるか

長嶋洋一¹

概要: ニューヨークのR&Dコンサルティング・グループである“Connected Future Labs”は2021年、「Wearable biometric sensing for any project」としてオープンソースの新しい生体センサシステムを発表し、KickStarterでのクラウドファンディングによって、新・生体センサシステム“EmotiBit”を2022年2-3月に提供する予定である。このシステムは定番の9軸センサ(加速度/ジャイロ/地磁気)に加えて、温湿度(3種)、心拍(3種)、皮膚電気特性(3種)の計18種類の生体情報を、小型軽量ウェアラブルWiFiモジュールから最大毎秒25サンプルでホストに伝送し、標準でOSCプロトコルも完備している。本稿では、過去に各種オリジナル生体センサ(楽器)を開発するとともにMyo/Muse/OpenBCI/Muse2などの生体センサを解析報告してきた立場から、この新しいシステムを紹介するとともに「新楽器」としての可能性について検討する。

Can the new biometric sensor system "EmotiBit" be used as a new instrument?

YOICHI NAGASHIMA^{†1}

Abstract: Connected Future Labs, a New York-based R&D consulting group, has announced a new open-source biometric sensor system as "Wearable biometric sensing for any project" in 2021. Through crowdfunding on KickStarter, the new biometric sensor system "EmotiBit" will be available in February/March 2020. In addition to the standard 9-axis sensors (acceleration/gyro/geomagnetism), this system transmits a total of 18 types of biometric data (temperature/humidity (3 types), heart rate (3 types), and skin electrical properties (3 types)) from a small and lightweight wearable WiFi module to a host at a maximum rate of 25 samples per second. This system also supports the OSC protocol. In this paper, we introduce this new system and discuss its potential as a "new instrument" from the standpoint of having developed various original biometric sensors (instruments) and analyzed and reported biometric sensors such as Myo, Muse, OpenBCI, and Muse2.

1. はじめに

筆者はこれまで、Computer Music / Media Artの領域で活動する中で、センサを活用したインタラクティブなシステムを数多くデザインし、作曲の一部として「新楽器」・「新インターフェース」を創作して公演してきた[1-69](←著者名を省略したが全て筆者)。センシング技術においては、コラボレータの照岡正樹氏(公益財団法人 ルイ・パストゥール医学研究センター AIデバイス研究室)と共に、特に生体情報センシングに注力して研究開発を進めてきた。たとえば、図1のオリジナル新楽器”MiniBioMuse-III”を活用した作品の公演は[39]によれば「Kassel, 2001」「Hamburg, 2001」「Montreal, 2003」「SUAC, 2004」「Amsterdam, 2004」「Paris, 2004」「Vancouver, 2005」「Taipei, 2007」「Yekaterinburg, 2010」「Oslo, 2011」「Tokyo, 2011」などを重ねてきた。そして2015年頃からは海外から生体センシング関連の機器/製品(BITalino、e-Health、Myo、Museなど)が登場するようになり[70-73]、筆者もこれらに関して調査/報告する[74-76]とともに、一部は音楽パフォーマンスへの活用を模索して新しくシステムを解析/ハック/活用したりした。

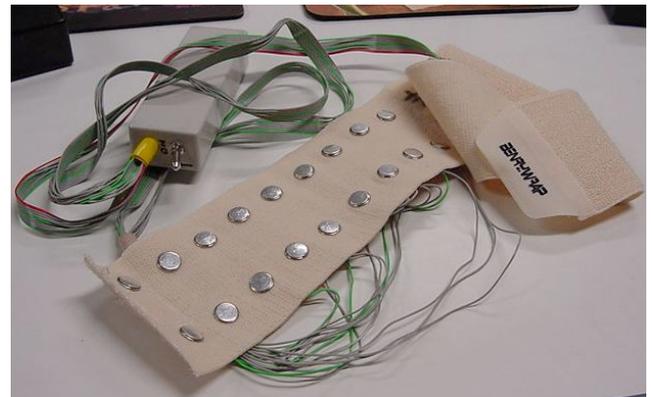


図1 MiniBioMuse-III.

その後も脳波のOpenBCIが出たりMuse(オープンソース)が消えてMuse2(closed)になったり、ファンが多かったのにMyoが終了したり[37]、とこの世界の動きはかなり劇的な印象がある。これら全ての生体センシングシステムに共通するのは、医療用と謳わずにコンシューマ用のセルフケア/メンタルヘルス用途として自己責任/ホビー用としているところであり、音楽に使うという市場はヘルス市場に比べて相当に小さいためか産業としては成立しにくく、その分だけアマチュア/アーティスト/デザイナーの活躍の場とし

¹ 静岡文化芸術大学
Shizuoka University of Art and Culture

での可能性が際立っている。

ニューヨークのR&Dコンサルティング・グループである“Connected Future Labs”は2021年、「Wearable biometric sensing for any project」としてオープンソースの新しい生体センサシステムを発表し、KickStarterでのクラウドファンディングによって、新・生体センサシステム“EmotiBit”を2022年2-3月に提供すると宣言した。このシステムは筋電センサや脳波センサではないが、定番の9軸センサ(加速度/ジャイロ/地磁気)に加えて、温湿度(3種)、心拍(3種)、皮膚電気特性(3種)の計18種類の生体情報を、小型軽量ウェアラブルWiFiモジュールから最大毎秒25サンプルでホストに伝送し、標準でOSCプロトコルも完備している。前年のシリコンウェハー工場の大規模火災に伴うチップ不足のために2021年の電子機器製造業界は半導体不足の大変な状況にあるが、本稿執筆時点では「必要なすべての部品の注文を確保し、メーカーと契約を結び、2022年2月にEmotiBitsを出荷する予定」とされている。本稿では、過去に各種オリジナル生体センサ(楽器)を開発するとともにMyo/Muse/OpenBCI/Muse2などの生体センサを解析報告してきた立場から、ベータテスタとしてこの新しいシステムを紹介するとともに「新楽器」としての可能性について検討する。あわせて、“EmotiBit”の重要な構成要素である高性能Arduinoの“Adafruit Feather MO WiFi”についても報告する。

2. EmotiBitプロジェクト

筆者がEmotiBitの情報を得て、クラウドファンディングKickStarterの出資者として一般よりも8ヶ月早くEmotiBitベータキットを手にしたのは、かつて「Open Source Brain-Computer Interfaces」のOpenBCI[77]のユーザとして実験して、ユーザ登録者としてこのコミュニティからの最新情報が届くためだった。現在でもOpenBCIのサイト[77]のメニューからEmotiBitの注文ページに行けるが、「PRE-ORDER EmotiBit orders are estimated to ship in February/March 2022」ということで、購入者は2022年の春まで指を咥えて待つことになっている。開発者のConnected Future Labs[78]については詳細を省略するが、この名称で検索すれば、その意欲的な活動についての情報を容易に得ることが出来る。KickStarterのページの情報は生き物であり時々刻々と変貌するのでURLを記載する意味が無いが、出資募集時のページをPDF化した資料[79]や、記録[80]の「2021年4月15日(木)」および「2021年4月16日(金)」のところにその初期の詳細情報が置いてある。

KickStarterでお約束のデモ動画は[81](連番で0から4まで)であり、ページ内に置かれていたアニメGIFは[82](連番で1から6まで)である。Myoではシステムをハックして両腕に(最大3個まで)装着できるものの、ファームウェアが「脚」と判定すると動作が停止するという「腕専用センサ」であった事を踏まえてか、脚に装着するというデモが印象的だった。ここで公開されたスペック[83-84]を見ると、まず「筋電」と「脳波」に関する計測の可能性を潔く捨象した上で、皮膚に触れる側の基板に2個の大きな電極(銀-

塩化銀)を持ってEDA/GSR(皮膚電気特性)を計測し、その間には心拍/血流計測のためのバイオモニタリングセンサ★と温湿度センサが配置されていた。★同等のセンサNJL5513Rは秋月電子[85]によれば「4個の高輝度LED(緑色LED2個、赤色LED1個、近赤外色LED1個)と高感度のフォトダイオードを1パッケージ化した高集積フォトセンサ」(240円)とあり、COVID-19のパルスオキシメータとして世界中に普及している。

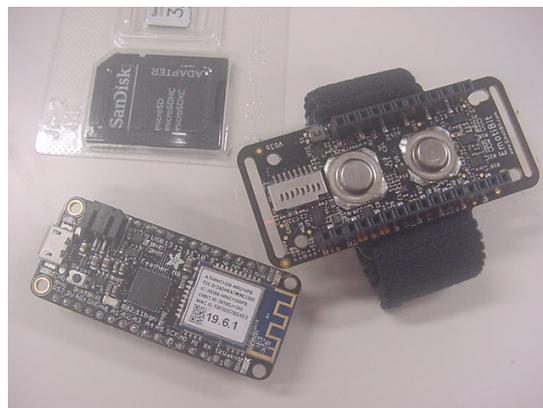


図2 EmotiBit.

ここまでは「案内され待たされている情報」だったが、2021年6月とされた初期ベータセットがFedExで実際に筆者に届いたのは2021年7月3日(後日、FedExから関税の請求書が届いた)であり[86]、そこで図2の現物と対面しつつ、同梱のメッセージカードでようやく「EmotiBitのサイト」[87]を知るようになった。

3. 初めてのEmotiBit

届いたEmotiBitベータキットには図2のようにコネクタでスタックする2枚の基板と、32GBマイクロSDカード(+アダプタSDカード)と、小型の3.7V400mAhリチウムポリマー電池が1個入っていた。EmotiBitはMyoやMuseのようなスマートな筐体が無くて基板むき出しであり、本体(センサ基板)にはわざわざベルトを通すための「枠」があってショボいマジックテープが付いていた。しかしこれがあまりにショボいので切除して、リハビリ用伸縮テープで腕に固定することにした。皮膚に触れる電極があるので全体を包むような筐体は不要であり、さらに脚や腕に装着するためのスマートな筐体(ケース)の3Dプリンタデータも公開していて、欲しい人はこのデータで簡単にケースを入手(制作)できるようになっているのは、オープンソースの強みである。ちなみにこのリチウムポリマー電池(PKCELL LP801735)はスタックした2枚の基板の間にすっぽり収まる超小型タイプであり、実験のために5個ほどストックするために型番指定で輸入代行業者に発注したところ、「海外からリチウムイオン電池の輸入は出来ない」と断られた。結局、代わりにちょっと大きめ(ぎりぎり2枚の基板の間に入る)のラジコン用リチウムポリマー電池(3.7V450mAh/500mAh)を国内のAmazonから入手できた。MyoやMuseの最大の致命的欠点は「リチウムイオン電池が寿命になったら交換できない」だったので、これは最大級の優位性である。

	Consumer Grade		Research Grade			Open Source
	FitBit	Apple Watch	Empatica E4	Shimmer	BIOPAC	EmotiBit
Price	\$150-300	\$200-750	\$1690	\$589 per sensor	\$10000+	\$199
Multiple Emotional Data Streams			✓	✓	✓	✓
Scientifically Validated			✓	✓	✓	✓
Data Streaming			✓	✓	✓	✓
Easy to Wear	✓	✓	✓			✓
Integrated Sensors (No Wires)	✓	✓	✓			✓
Built-in SD Card				✓		✓
Use Without Cloud or 3rd-party Platforms				✓	✓	✓
Wireless Options	Bluetooth	Bluetooth	Bluetooth	Bluetooth	WiFi	WiFi, Bluetooth, LORA, more...
Arduino Compatibility						✓
Open-source						✓
9 Axis Motion Data Stream						✓

図3 各種生体センサの比較.

図3は「EmotiBitのサイト」[87]にあった、これまでの生体センサとEmotiBitとの比較表である。この手の比較は常に都合のいい項目だけを強調するので割り引いて見る必要があるが、オープンソースの強みはよく分かる。ちなみにここでの「EmotiBit」とは、生体センシング部分の基板だけのことであり、実際のシステムでは「生体情報センシング/信号処理」・「WiFi通信」・「リチウムポリマー電池の充電」などを担当するマイコン基板(EmotiBitシステムとして動作するためのファームウェアを書き込み済)とスタックする必要がある。この高性能Arduinoマイコン「Adafruit Feather M0 WiFi 1500」(長いので本稿では今後「Adafruit」と記す)については本稿においても重要なので詳しく後述する。

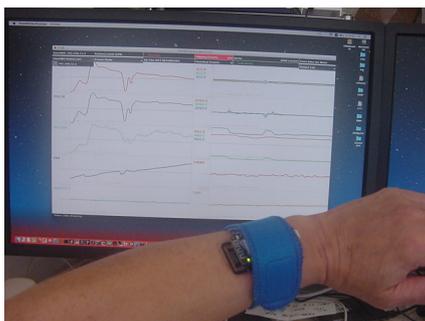


図4 最初のEmotiBit動作.

EmotiBitが届いたその日[86]、まずAdafruitマイコンを切り離してバッテリーを装着してUSB電源に繋ぐとリチウムポリマー電池は簡単に自動充電できた。必要な情報は全てGitHubに置かれているようで、まず最新のツール[88]をダウンロードして、EmotiBit Documentationのページ[89]から、お約束のGetting Started with EmotiBit[90]に進むことになった。同梱されていたマイクロSDカードに、WiFiアクセスポイントのSSIDとパスワードをplain textで保存して、EmotiBitボード上のSDマイクロカードソケットに挿入すると準備完了である。2枚の基板をスタックして腕に

装着すると「WiFi接続LED」と「データ通信LED」が点灯/点滅して、起動した「EmotiBitOscilloscope」というアプリの画面には、図4のように多種のセンサデータがわらわらと表示されて、届いたその日に簡単に動作を確認できてしまった[91]。

4. EmotiBitとEmotiBitOscilloscopeとOSC

EmotiBitの基板上にあるSDマイクロカードは単にWiFiアクセスポイントの情報を記述するだけのものではなく、刻々と生体情報をここにログして後でデータ解析(動作解析/生体情報解析)するためのものであるが、最終目的が「ライブComputer Musicでの新楽器」というリアルタイム用途に傾注している筆者にとって、この部分(ノンリアルタイム処理)は軽くスルーして先に進んだ。もっとも知りたいのはマルチメディア環境Max8との親和性であり、どこかに「OSC」という単語があったことから[90]のページから「Streaming Data in Real-Time and Recording」の項目を発見し、「Working with EmotiBit Data」というページ[92]で必要な公開情報に到達した。OSCの設定(IPアドレスとポート番号)は、「oscOutputSettings.xml」というファイルに記述するが、defaultでのIPはlocalhost、ポート番号は12345となっていた。そしてツールEmotiBitOscilloscopeを立ち上げて「Output List」メニューの中の「OSC」をONにすると、Max8はあっさり図5のように全てのセンサデータをリアルタイムにOSC経由で獲得できた。

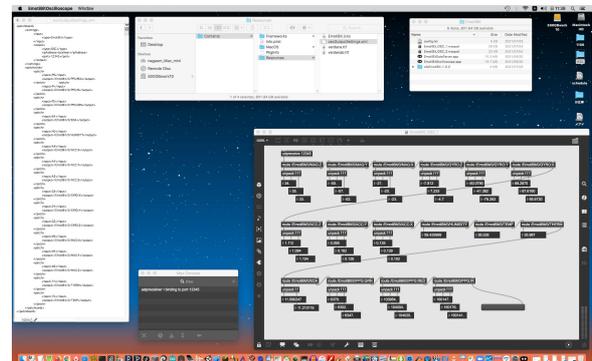
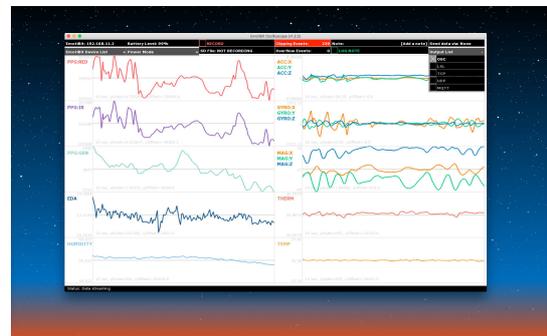


図5 EmotiBitからOSC.

ちなみにこのツールEmotiBitOscilloscopeには、「PowerMode」メニューの中に「Hibernate」という指定があり、これによってEmotiBitをスリープさせることが出来る。Museには電源ボタンがあったので長押しでスリープ出来るが、Myoには何もボタンが無く、充電しているUSBケー

ブルを抜くことが起動(リセット)だったので、内蔵リチウム電池は常に充放電を繰り返して著しく寿命を縮める欠点があった。そのため、ArmBandManager(MyoとホストとのBluetooth-USBインターフェースアプリ)のメニューに「スリープ」が追加されることでようやく「使える」道具に改善された歴史的教訓がある。先行システムに学んだEmotiBitでは、高度な処理が必要なリチウムイオンポリマー電池の自動充電機能やここでの遠隔スリープ機能を、本体基板でなく全てスタックするAdafruitマイコンによって実現しているのは非常にスマートなデザイン手法である。

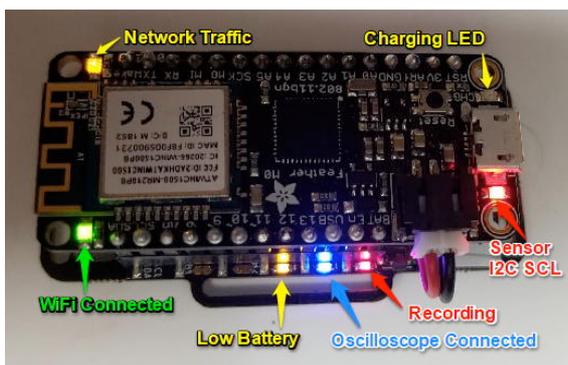


図6 EmotiBitのLED.

EmotiBitの両方の基板にある計7個のカラフルなLEDによって、充電完了、バッテリー低下、WiFi接続、ネットワークトラフィック、EmotiBitOscilloscope接続、センサI2C動作、など図6のように色々な動作状態を一瞬で確認できる機能もありがたい。[93]にあるように、EmotiBitが扱っている(Max8で取得できる)生体情報(TypeTag)は以下のような18種で、サンプリングスピードは図7のようになっている。

- EA EDA- Electrodermal Activity
- EL EDL- Electrodermal Level
- ER EDR- Electrodermal Response
- PI PPG Infrared
- PR PPG Red
- PG PPG Green
- TO Temperature (Si7013)
- TH Thermopile(ML90632)
- HO Humidity (Si7013)
- AX Accelerometer X
- AY Accelerometer Y
- AZ Accelerometer Z
- GX Gyroscope X
- GY Gyroscope Y
- GZ Gyroscope Z
- MX Magnetometer X
- MY Magnetometer Y
- MZ Magnetometer Z

EmotiBit sensor sampling rates

• The following table shows the sampling rates at which the sensors operate. Since all the sensors are not operating at the same sampling rates, this information can be useful in understanding the time-stamping between data from different sensors

Function	Data Type	Sensor IC	Sampling Rate (samples per second)
Motion	AX AY AZ GX GY GZ MX MY MZ	BMI160+BMI150	25
PPG (heartrate)	PI PG PR	MAX30101	25
Temperature & Humidity	TO HO	SI-7013	7.5
Temperature(FIR)	TH	MLX90632	7.5
EDA	EA EL ER	-	15

図7 EmotiBitのセンサ性能.

5. EmotiBit-OSC-Max8の性能計測

本報告では届いたばかりのベータテストシステムの紹介ということで、この18種類の生体センシング情報についての具体的な吟味には至っていないので、いずれ機会があれば続報したい。ここでは図8のように、EmotiBitOscilloscopeアプリから「OSC」オプションによってMax8に送ってみたトラフィックについて報告する。

実験は図8のように、「OSCの packets で届く生体情報の時間間隔を計測」とした。計測は2箇所、一つは「OSC packets 到着ごとにON/OFFするトグルの間隔」を2回に1回のペース(おそらく同等であろうと想定)で計測したもので、Maxパッチ内の右側のグラフ(縦軸はmaxが400msec)で表示してみると、およそ平均は200msec(毎秒5サンプル)であり、たまにフルスケールの範囲内(数msec~390msec)で暴れていた。もう一つはこのパッチがOSCメッセージをsequentialな「route」オブジェクトの連鎖でparsingしている処理の遅延の評価であり、1段目のrouteでclockerをONにして16段目のrouteでclockerをOFFにするまでの遅延を毎回、同じグラフによって表示した。こちらはおよそ平均が100msecであり、たまにフルスケールの半分の範囲内(数msec~200msec)で暴れていた。生体情報はMIDIと違って毎回正確に取得できるものではないので、これは全体として、まずまず「リアルタイム生体センサ」(→生体センサ楽器)としては好成績であると判断した。

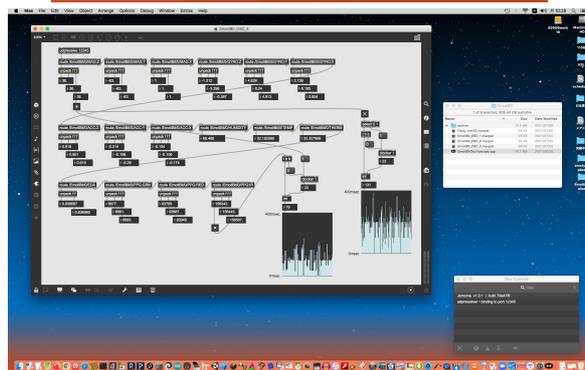


図8 OSCの性能計測.

6. Adafruit Feather MO WiFi

届いたEmotiBitベータテストシステムとは、生体情報センシング基板であるEmotiBitボードと、これまであまり知らなかったAdafruit社の高性能Arduinoである「Adafruit Feather MO WiFi」[94](図9。以下Adafruitボードとする)との組み合わせによって実現されているものだった。EmotiBit開発元のConnected Future Labsとしては、ノウ

ハウが多いWiFi周りを、同じオープンソース文化のAdafruit社にアウトソーシング(プログラム開発は自社としてもライブラリ等はお任せ)している図式となっている。そして、興味を持って追加で海外発注していたこのAdafruitボードが届いたところで、このボードを「EmotiBitを別にして」調べてみることにした。まずAdafruit社について調べてみると、創始者であるLimor “Ladyada” Fried女史(MIT)の素晴らしさと、オープンソース文化のど真ん中にある企業のスタイルに感銘を受けた[95-98]。

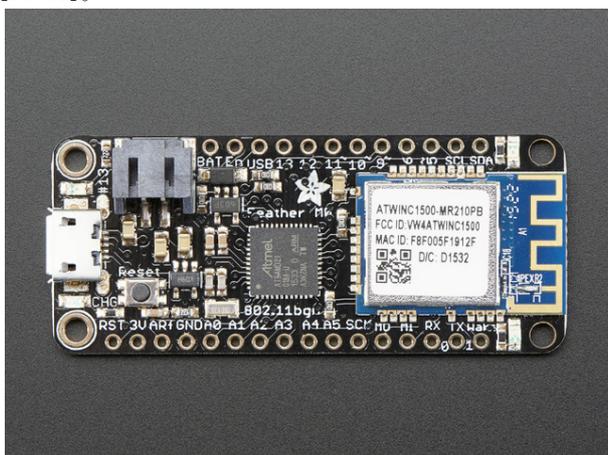


図9 Adafruit Feather M0 WiFi.

そして、調べてみるとAdafruit社の色々な製品群は、秋月電子やスイッチサイエンスなど国内の電子関係ショップで扱っているのに、このWiFiボード[94]についてはどこも扱っていなかった。これは2019年9月にデトロイトでのSketching2019[99-100]に参加した際に、参加者に配られていた新しいArduinoNANO33IoT・ArduinoNANO33BLEとまったく同じ状況である。もう2年前になるが、6軸センサのLSM6DS3とWiFiモジュールまで搭載しているArduinoNANO33IoTで、普通にArduino IDEでサンプルスケッチを走らせてみると、[101]のようにその部屋に飛んでいるWiFiのリストがずらっと出てきて非常に驚いたものだった。しかしこのArduinoNANO33IoTやArduinoNANO33BLEは、他のArduinoはさんざん販売している秋月電子やスイッチサイエンスにはいつまで待っても登場してこないのである。これはどうも、日本の電波関係の法律(認証)に関して、海外で製造販売されているWiFiやBLEを搭載したボード類は、例えばそれを組み込んだ製品を日本国内で製造・販売することが認められない・・・的な「障壁」があるため、部品として海外から個人輸入して実験するのは自由であるとしても、商社/ショップはおおっぴらに販売できないというような事情がある模様である。中国・深センのSeeed社は「自分でスマホを作れるキット」を数年前に出していたが、これも日本ではSIMカードの障壁でまったく使えないのと同様だろう。そんなことで閉鎖的になっている間に日本の電子/情報関係の企業は消え、いっぽう世界はどんどんオープンソース文化とともに力強く発展しているのだ。

図10はこのAdafruitボードに、(コネクタが合わないのでニッパーで切って)Amazonで購入したラジコン用リチウ

ムポリマー電池を繋いで、USB電源に接続した様子である。EmotiBitは完全にこの機能に乗っかっているだけで、このボード上の回路が自動充電機能(過充電保護・満タン充電後自動切断)を実装しているのだった。さらにAdafruit社の提供するライブラリをArduino IDEに追加すると、デトロイトで驚いた[101]のとまったく同じ画面が、筆者の研究室内で簡単に再現されてしまった。



図10 充電中のAdafruitボード.

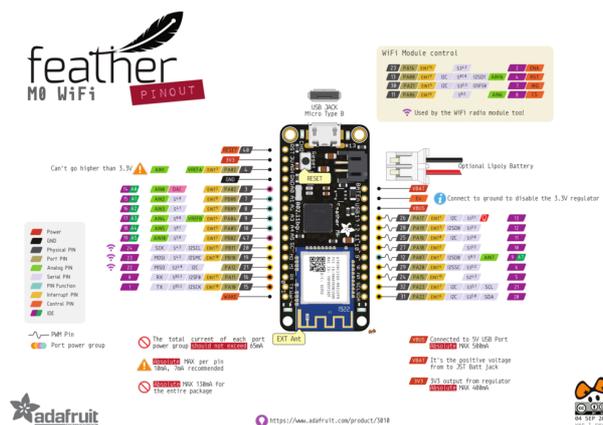


図11 Adafruitボードのピンマップ.

そして図11は、このAdafruitボードのピンマップ[102]である。PWMポート(連続値LED制御)が8ポート、10ビット精度でなく12ビット精度のアナログ入力10ポート、さらに地味に凄いのは1ポートのD/A出力(10ビット精度)まで持っているところである。オンボードのWiFiモジュールはオープンソースの世界の標準ライブラリに互換であり、唯一のおまじないとして `setup()` の冒頭に「`WiFi.setPins(8, 7, 4, 2);`」という1行を置くだけでいいのだった。

7. AdafruitボードのWiFi機能実験

その後、AdafruitボードのWiFi機能に関して、「WiFiアクセスポイント化+簡易Webサーバ化」という実験に成功し[103]、LEDを点滅させるWebサーバを走らせて外部の複数のクライアントから制御することに成功し[104]、ボード上のLEDを4個まで増設してWebサーバ化して外部から個別に点灯制御させ[105]、図12のように、6チャンネルのアナログ入力電圧を表示するWebサーバ化にも成功した[106]。

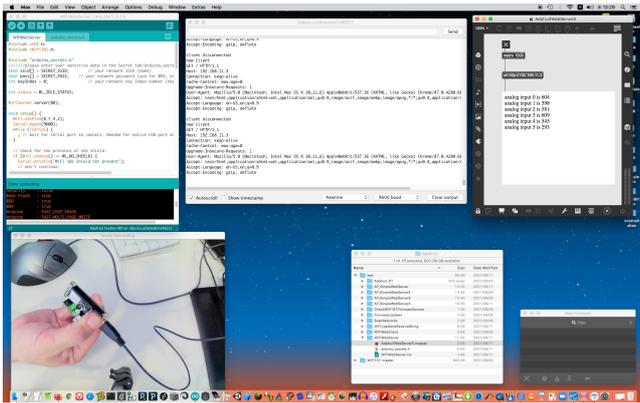


図12 AdafruitボードのWebサーバ化実験。

本稿執筆(原稿提出期限)の関係で実験は継続中であるが、さらに「WiFiUdpSendReceiveString」という機能の実験にも成功して、EmotiBitシステムとは離れて、Adafruitボードが自在にUDP、すなわちOSCメッセージをMax8とやりとり出来るところまで確認したところである。この意味するところは、EmotiBitシステムという生体センシングのシステムの性能とは別に、そのプラットフォームとなっているAdafruitボード単体でも、自由な周辺(センサ/ディスプレイ/アクチュエータ等)と組み合わせた「メディアアートのための優れた道具」として、WiFiという強力な道具を獲得できそうだ、という手応えである。

8. おわりに

新・生体センサシステム“EmotiBit”のベータ版をテストしている状況について報告した。タイトルの「新楽器として使えるか」については、時定数の大きそうな皮膚電位や温度/湿度などのセンシングについては、まだまだ今後の検討が必要である。ただし十分な性能で9軸センサが使えるのは間違いなく、さらにプラットフォームとなっているAdafruitボードそのものが、オープンソース文化の支えによって強力なWiFi機能を提供することで、この部分だけを見ても間違いなく「優秀な道具」であるという確証を得た。今後はさらにそれぞれの機能について実験/検討を進めるとともに、COVID-19を抜け出した暁に狙っている新作の作曲/公演のための道具を新たに創作するというステージを目指していきたい。

参考文献

1. <https://nagasm.org/ASL/index.html>
2. <https://nagasm.org/ASL/ASL.html>
3. Sensor@ComputerMusic. <https://nagasm.org/ASL/withatau/index.html>
4. "It's SHO time" --- An Interactive Environment for SHO(Sheng) Performance. <https://nagasm.org/ASL/paper/icmc99.pdf>
5. Sensors for Interactive Music Performance. <https://nagasm.org/ASL/berlin/index.html>
6. Workshop in CCMIX. <https://nagasm.org/ASL/paris/index.html>
7. Composition of "Visional Legend". <https://nagasm.org/ASL/kassel/index.html>
8. Bio-Sensing Systems and Bio-Feedback Systems for Interactive Media Arts. <https://nagasm.org/ASL/NIME03/index.html>
9. 「互動藝術展演」國際學術研討會 基調講演. <https://nagasm.org/ASL/Taiwan2007/index.html>

10. Interactive Multi-Media Art with New Technology. <https://nagasm.org/ASL/Tsukuba20070711/index.html>
11. GHI project and "Cyber Kendang". <https://nagasm.org/ASL/paper/NIME07.pdf>
12. GHI Project : New Approach for Musical Instrument. <https://nagasm.org/ASL/paper/ICMC2007.pdf>
13. Parallel Processing Platform for Interactive Systems Design. <https://nagasm.org/ASL/ICEC2009/index.html>
14. Parallel Processing System Design with "Propeller" Processor. https://nagasm.org/ASL/paper/NIME09_2.pdf
15. Untouchable Instrument "Peller-Min". <https://nagasm.org/ASL/paper/NIME2010.pdf>
16. Technology for Computer Music / Interactive Multi-Media Performance with New Interfaces. https://nagasm.org/ASL/SYNC2010_Lecture_1/index.html
17. Interactive Art with Bio-Interfaces. https://nagasm.org/ASL/SYNC2010_Lecture_3/index.html
18. Untouchable Instruments and Performances. <https://nagasm.org/ASL/paper/ICMC2011.pdf>
19. Untouchable Performance and Technology. https://nagasm.org/ASL/paper/ACMP2011_nagasm.pdf
20. Bio-sensing Platforms for "Wellness Entertainment" System Design. <https://nagasm.org/ICEC2018workshop/index.html>
21. Assembling Music. https://nagasm.org/ASL/paper/SI2015_nagasm.pdf
22. Multi Rubbing Tactile Instrument. https://nagasm.org/ASL/paper/NIME2016_nagasm.pdf
23. Bio-Sensing and Bio-Feedback Instruments --- DoubleMyo, MuseOSC and MRTI2015 ---. https://nagasm.org/ASL/paper/ICMC2016_nagasm.pdf
24. GHIプロジェクト - 楽器が光ってもいいじゃないか. <https://nagasm.org/ASL/paper/sigmus0705.pdf>
25. シーズ指向による新楽器のスケッチング. <https://nagasm.org/ASL/paper/sigmus0905.pdf>
26. 改造による新楽器の創造. <https://nagasm.org/ASL/paper/sigmus201112.pdf>
27. Computer Musicパフォーマンスはこの20年間で進歩したのか. <https://nagasm.org/ASL/paper/sigmus201208.pdf>
28. GHI2014 - 楽器が光ってもいいじゃないか. <https://nagasm.org/ASL/paper/sigmus201408.pdf>
29. お触り楽器. https://nagasm.org/ASL/paper/SIGMUS201508_1.pdf
30. 新楽器へのアプローチ. https://nagasm.org/ASL/paper/SIGMUS201508_2.pdf
31. 脳波センサ“MUSE”は新楽器として使えるか. <https://nagasm.org/ASL/paper/SIGMUS201603.pdf>
32. 脳波バンド“MUSE”による心理計測の可能性について. <https://nagasm.org/ASL/paper/onchi201605.pdf>
33. 皮膚から音を聞く可能性・第2弾. <https://nagasm.org/ASL/paper/SIGMUS201605.pdf>
34. post-Gainer時代の音楽情報科学platform. <https://nagasm.org/ASL/paper/SIGMUS201806.pdf>
35. 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-. <https://nagasm.org/ASL/paper/HIP201808.pdf>
36. 楽器と演奏される音楽との関係について. <https://nagasm.org/ASL/paper/sigmus201908-2.pdf>
37. 脳波センサ“Muse 2”・“Muse S”は新楽器として使えるか. <https://nagasm.org/ASL/paper/SIGMUS202011.pdf>
38. ウェルネス・エンターテインメントを実現するメディアアート. https://nagasm.org/ASL/paper/KCUA_nagasm_final.pdf
39. 筋電センサ. https://nagasm.org/ASL/CQ_mbed_EMG.html
40. 新・筋電センサシステム「VPP-SUAC」. <https://nagasm.org/Sketching/VPP-SUAC.html>
41. 新・触覚センサシステム「PAW-double」. <https://nagasm.org/>

- Sketching/PAW-double.html
42. ジャミネータと遊ぼう. <https://nagasm.org/ASL/Jaminator/index.html>
 43. 新楽器「GHI2014」. <https://nagasm.org/ASL/GHI2014/index.html>
 44. プレスセンサー今昔. <https://nagasm.org/ASL/breath2/index.html>
 45. ウェルネス・エンタテインメントやバイオフィードバックを実現するフレームワーク/ツールキットとしてのメディアアート. <https://nagasm.org/Sketching/index.html>
 46. 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. <https://nagasm.org/ASL/dspss2002/index.html>
 47. ライヴComputer Musicパフォーマンスにおける身体運動とインタラクションについての考察. https://nagasm.org/ASL/online2021_01_03/HCS202101.html
 48. 「広義の楽器」用ツールとしてのMIDI活用. <https://nagasm.org/ASL/midi01/index.html>
 49. インタラクティブ・マルチメディア作品"Asian Edge"について. <https://nagasm.org/ASL/asian/index.html>
 50. 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. <https://nagasm.org/ASL/sensor01/index.html>
 51. センサとマイクロエレクトロニクスの概要. <https://nagasm.org/ASL/sensor02/index.html>
 52. 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. <https://nagasm.org/ASL/sensor03/index.html>
 53. オリジナルMIDIセンサを作ろう. <https://nagasm.org/ASL/original/index.html>
 54. 生体センサなど. <https://nagasm.org/ASL/harp/index.html>
 55. 脳波センサ・心拍センサ. <https://nagasm.org/ASL/brain/index.html>
 56. 実録・笙プレスセンサを作る. <https://nagasm.org/ASL/sho/index.html>
 57. "MIBURI-Sensor"の製作. <https://nagasm.org/ASL/miburi/index.html>
 58. 身体情報と生理情報. <https://nagasm.org/ASL/body/index.html>
 59. AKI-H8による呼吸センサ. <https://nagasm.org/ASL/breath/index.html>
 60. アーティストのための汎用センサ自作応援講座. <https://nagasm.org/SSS/index.html>
 61. インタラクティブ・メディアアート. <https://nagasm.org/ASL/wander/index.html>
 62. SUACにおけるメディアアート活動の報告(2000-2001). <https://nagasm.org/ASL/suac2001/index.html>
 63. メディア・アートと生体コミュニケーション. <https://nagasm.org/ASL/suac2002/index.html>
 64. 生体センサとMax4/MSP2による事例報告. <https://nagasm.org/ASL/SIGMUS0202/index.html>
 65. 音楽/芸術表現のための新インターフェース. <https://nagasm.org/ASL/suac2003/index.html>
 66. 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. <https://nagasm.org/ASL/sensor03/index.html>
 67. SCANNED SYNTHESISのための身体動作コントロール. <https://nagasm.org/ASL/AES2003/index.html>
 68. 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. <https://nagasm.org/ASL/SIGMUS0205/index.html>
 69. 「即興」に関して. <https://nagasm.org/ASL/JASMIM2010/index.html>
 70. BITalino. <https://bitalino.com/>
 71. e-Health. <https://www.cooking-hacks.com/documentation/tutorials/chealth-v1-biometric-sensor-platform-arduino-raspberry-pi-medical.html>
 72. Myo. <https://developerblog.myo.com/>
 73. Muse. <https://choosemuse.com/>
 74. 長嶋洋一. 内受容感覚コントローラとしての筋電楽器 --- 癒し系エンタテインメントのために ---, 日本音楽知覚認知学会2015年春季研究発表会資料, 日本音楽知覚認知学会, 2015. <https://nagasm.org/ASL/paper/onchi201506.pdf>
 75. 長嶋洋一. 筋電センサのジェスチャ認識に関する新手法, 電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会 (PRMU) 研究会資料 (技術研究報告)PRMU2015-54, 電子情報通信学会, 2015. <https://nagasm.org/ASL/paper/PRMU201506.pdf>
 76. 長嶋洋一. 内受容感覚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. <https://nagasm.org/ASL/paper/FIT2015.pdf>
 77. OpenBCI. <https://openbci.com/>
 78. Connected Future Labs. <https://www.linkedin.com/company/connected-future-labs/>
 79. <https://nagasm.org/ASL/Sketch09/fig1/EmotiBit.pdf>
 80. <https://nagasm.org/ASL/Sketch09/index.html>
 81. <https://nagasm.org/ASL/Sketch09/fig1/0.mp4> ~ <https://nagasm.org/ASL/Sketch09/fig1/4.mp4>
 82. <https://nagasm.org/ASL/Sketch09/fig1/1.gif> ~ <https://nagasm.org/ASL/Sketch09/fig1/6.gif>
 83. <https://nagasm.org/ASL/Sketch09/fig1/018.jpg>
 84. <https://nagasm.org/ASL/Sketch09/fig1/019.jpg>
 85. <https://akizukidenshi.com/catalog/g/gK-16107/>
 86. <https://nagasm.org/1106/news6/20210703/index.html>
 87. EmotiBit. <https://www.emotibit.com/>
 88. <https://github.com/EmotiBit/ofxEmotiBit/releases>
 89. EmotiBit Documentation. https://github.com/EmotiBit/emotibit_docs
 90. Getting Started with EmotiBit. https://github.com/EmotiBit/EmotiBit_Docs/blob/master/Getting_Started.md
 91. <https://www.youtube.com/watch?v=wB-OGlGghw>
 92. Working with EmotiBit Data. https://github.com/EmotiBit/EmotiBit_Docs/blob/master/Working_with_emotibit_data.md#Real-Time-Streaming
 93. https://nagasm.org/ASL/Sketch10/fig2/Visualizer_green_800px.gif
 94. <https://learn.adafruit.com/adafruit-feather-m0-wifi-atwinc1500/>
 95. https://ja.wikipedia.org/wiki/Adafruit_Industries
 96. <https://i-maker.jp/blog/adafruit-7601.html>
 97. <https://www.rs-online.com/designspark/rs-supports-makers-with-adafruit-deal-jp>
 98. <https://makezine.jp/blog/2017/07/open-source-ideals-engineering-genius-helm-adafruit-maker-revolution-manufacturing.html>
 99. <https://nagasm.org/1106/Sketch2019/index.html>
 100. <https://nagasm.org/ASL/Sketch03/index.html>
 101. <https://nagasm.org/ASL/Sketch03/fig1/025.jpg>
 102. <https://nagasm.org/ASL/Sketch10/fig6/007.png>
 103. https://www.youtube.com/watch?v=Pwcl_kapku0
 104. <https://www.youtube.com/watch?v=PYFgPKOzf3k>
 105. <https://www.youtube.com/watch?v=MVnh3mbtE6c>
 106. <https://www.youtube.com/watch?v=gTvMrixSuHA>