

無線マイコン TWE-LITE を用いたセンサシステムの開発とそのコンテンツ制作

平野 砂峰旅^{1,a)} 落 晃子^{1,b)}

概要: 本研究では、メディアアート、ライブコンピュータミュージックに適したセンサシステムとして、TWE-LITE を用いて、ワークショップ授業、インタラクティブメディアアート作品制作、ライブコンピュータミュージックパフォーマンスに利用してきた。TWE-LITE は、無線、ボタン電池駆動、小型と言った特徴を持つマイクロコンピュータである。ここでは、TWE-LITE を用いたシステム（ハードウェアとソフトウェア）について述べ、そして、それらのワークショップ授業、ライブパフォーマンスへの実用例を紹介する。さまざまな実用例を通じて、本システムはメディアアート、ライブコンピュータミュージックに十分利用可能であることがわかった。そして、これからの研究の方向性について述べる。

Development and Case Study of a Sensor Platform System Using the Wireless Microprocessor Module TWE-LITE for Media Arts and Computer Music

1. はじめに

インタラクティブメディアアート、メディアパフォーマンス、コンピュータミュージックの作品制作において、光、音、観客や演奏者の操作をセンシングしデジタルデータに変換しコンピュータに伝えるセンサシステムは重要な要素の一つであり、様々な無線のセンサシステムが使用されてきた。近年、IoT(Internet Of Things)用途のSOC(System On Chip) デバイスは、そのサイズ、価格、性能が格段に向上している。これらのデバイスは、マイクロプロセッサ、汎用入出力ポート、無線機能を内蔵し、センサシステムと同様の機能を持っている。こうした機器を利用する事でパフォーマンスのジェスチャーや観客の操作をデータに変換し、映像やサウンドのパラメータにマッピングすることができる。特に、IoT用途のSOC (System On Chip) マイクロコンピュータデバイスは、小型、軽量でさらに無線であるために新しい形態の楽器やメディアアート作品のユーザインタフェースの制作に利便性と大きな自由

度を与える。筆者らは、市販の無線機能内蔵のマイクロコンピュータ TWE-LITE を用いてメディアアート、ライブコンピュータミュージックに適したセンサシステムを開発し、ワークショップ授業、インタラクティブメディアアート作品制作、ライブコンピュータミュージックに利用してきた [1]。本論文では、TWE-LITE を用いたシステムとその特徴を説明する。そして、それらを利用して制作した作品について述べ、最後に考察とこれからの研究プランについて述べる。

2. 研究の背景

これまでメディアアートや電子音楽のライブパフォーマンスに利用可能な様々なセンサプラットフォームが開発されてきた。2000年代は、フィジカルコンピューティングが流行しマイクロコントローラとGPIOポート (General Purpose In/Out) 組み合わせたArduinoやgainer[2]が、利用されるようになった。Arduinoが最も普及したデバイスの一つで、コンピュータミュージックやメディアアートで多数用いられてきた。日本では、GPIOポートからセンサの情報を受け取り、USBでPCのそのデータを送信できるgainerも多く使用された。GPIOポートに接続するためのセンサ (ポテンショメータ、CDS、加速度センサ) の種類

¹ 京都精華大学
Kyoto Seika University, 137 Iwakura Kino-machi, Sakyo-ku,
Kyoto 606-8588, Japan

a) hirano@kyoto-seika.ac.jp

b) rakasu@me.com

も増え安価になり入手しやすくなった。2010年代は、IoTに対する社会的要求が増し、センサプラットホームデバイスは、より小さく、安く、高性能になった。いくつかのSOCデバイスは、マイクロプロセッサ、RAM,flashROM、無線機能,GPIOポートの全てを内蔵するようになった [4][6]。筆者らは、芸術系の学生に対して、Arduino,Gainerをセンサプラットホームとして使用したインタラクティブアート作品、あるいはコンピュータミュージック作品の制作を指導して来た。また、筆者ら自らもアーティストとしてコンピュータミュージック、メディアインスタレーションを制作して来た。そうしたなかで、センサプラットフォームを作品の中で使用してきた。そうした場合、センサシステムの特性として以下の3点が重要であった。

□使いやすさ

演奏会やワークショップ、展覧会では限られた時間のなかで、準備、実施される。そのため、センサシステムのセットアップは簡単でかつ短い時間でおこなわれる必要がある。デバイスが無線機能を持ち電池で駆動するのであれば、配線の必要がなく容易にセットアップできる。

□小ささ

メディアアート作品の場合、センサシステムは作品の中、あるいは展示会場の中に隠して設置されることがある。演奏の場合は、演奏者の身体や楽器に取り付けられる。そのため、センサシステムが小さいことが必要とされる。

□反応速度

演奏動作（あるいは、作品とのインタラクション）と、それに対して音や映像の変化が引き起こされるまでの反応時間は重要な要素である。システムの反応が遅い場合、コンピュータ音楽の場合は演奏を妨げ、メディアアート作品の場合はインタラクションが観客に理解されるのを妨げることになる。

3. システム

ここでは、本研究で用いた TWE-LITE を用いたセンサシステムのハードウェアとソフトウェアについて述べる。

3.1 ハードウェア

ハードウェア、無線通信機能を内蔵したマイクロコンピュータチップ (Microprocessor with wireless communication device) であるモノワイヤレス社 (Mono Wireless inc.) 製の TWE-LITE を用いた。表 1 にその特性を示す。

SOC デバイスとして、TWE-LITE を選択したのは以下の理由による。14mm X 14mm と小さいこと。無線通信方式が IEEE802.15.4 (この規格は Zigbee でも用いられている) であり、遮蔽物のない理想的な環境での電波の到達距離が 1000m であること。電源電圧が 2.0-3.6V なので市販の電池で動作すること。センサを搭載した TWE-LITE の応用製品やアンテナなどの周辺製品も発売されており、電

表 1 TWE-LITE の特性

Table 1 TWE-LITE Specification

CPU	32bit RISC	UART	2 ports
Clock	1~32 MHz	I2C	1 port
RAM	32k byte	SPI	3 select
Flash ROM	160k byte	A/D	10-bit 4channel
EEPROM	4k byte	GPIO	20 ports(max)

Size	13.97 x 13.97 x 2.5 mm
Voltage	2.0 V ~ 3.6 V
Current	4 mA (sleep) ~ 25.4 mA
Weight	0.93 g
Wireless	IEEE802.15.4, 2.4GHz, 250kbps, 2.5dBm

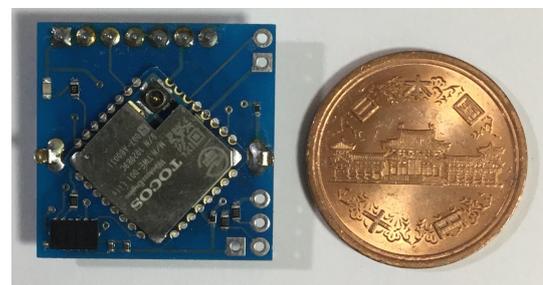


図 1 TWE-LITE2525A と 10 円硬貨

Fig. 1 TWE-LITE2525A and coin (10 JP YEN)

子パーツ店で市販されていて、容易に入手可能であること。

TWE-LITE は SOC デバイス単体として販売され、そしてこれを用いた製品も販売されている。応用製品として、DIP パッケージされているためブレッドボードに挿入して使用できる、教育やプロトタイピングに適した TWE-LITE DIP がある。また、3 軸の加速度センサーを内蔵し、ボタン電池で駆動できる小型の TWE-LITE2525A がある図 1。また、MONOSTICK は、USB コネクターを備えた TWE-LITE で PC の USB ポートを介して他の TWE-LITE 製品と PC とのデータの送受信を行うことができる。TWE-LITE R は、TWE-LITE DIP あるいは TWE-LITE2525A を USB 接続するためのアダプターで、PC から USB 接続しデータの送受信ができる。また、PC から TWE-LITE のマイクロコンピュータへプログラムを書き込むことができる。本研究では、TWE-LITE DIP あるいは、TWE-LITE2525A からセンサー情報を MONOSTICK が接続された PC に送信し、そのセンサー情報に応じて映像やサウンドを変化させるインタラクティブメディアアート、あるいはメディアパフォーマンスのためのシステムを構築する。図 2 に本システムを作品で使用する場合に想定されるシステムの構成を示す。

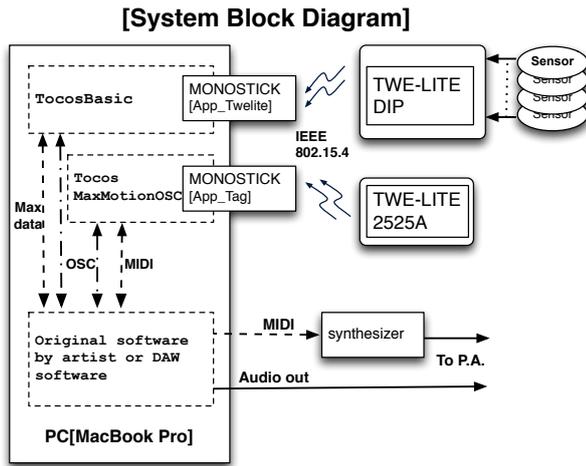


図 2 センサシステムのブロックダイアグラム
Fig. 2 sensor system blockdiagram

3.2 ソフトウェア

TWE-LITE を用いて作品を制作する場合、TWE-LITE の内蔵マイクロコンピュータのソフトウェアと TWE-LITE からのデータを受信する MONOSTICK のプログラム、そして PC 上で動作する作品のアプリケーションプログラムが必要となる。TWE-LITE DIP, TWE-LITE 2525A は、購入時にあらかじめそれぞれの用途に適したソフトウェアがインストールされている。TWE-LITE には、TWE-APPS がインストールされ 4ch アナログ入力、4ch デジタル入力、出力 4ch PWM 出力機能が備わっている。TWE-LITE 2525A には、ワイヤレスセンサとして使用するための SAMP-Monitor ソフトがインストールされていて、内蔵の加速度センサのデータをリアルタイムで送信することができる。これらのソフトウェアは mono wireless の web site においてサンプルのソフトウェアが上記の pre-install ソフトも含め 6 種類がソースコードと共に公開されている [5]。これらのソフトウェアは、C 言語で記述されていて SDK も公開されているため、ユーザがプログラムすることも可能である。MONOSTICK のプログラムは、センサ側の TWE-LITE と同じプログラムを選択してインストールすることで、PC と TWE-LITE のデータを送受信することができる。PC は、MONOSTICK と USB ポートを通じてデータを送受信するがプログラムとしては、シリアルポートのデータハンドリングすることとなる。また、TWE-APP と SAMP-Monitor は、データフォーマットが異なるのでそれにあわせてプログラムを作る必要がある。本研究では、Cycling74' 社の Max7 を用いて MONOSTICK を介して TWE-APP のデータを送受信する TocosBasic と SAMP-Monitor のセンサデータを受信する tocosMaxDual プログラムを作成した。いずれのソフトも 4 個までの TWE-LITE を同時に接続できる。これらのソフトは、TWE-LITE とデータを受信し Max で作られた

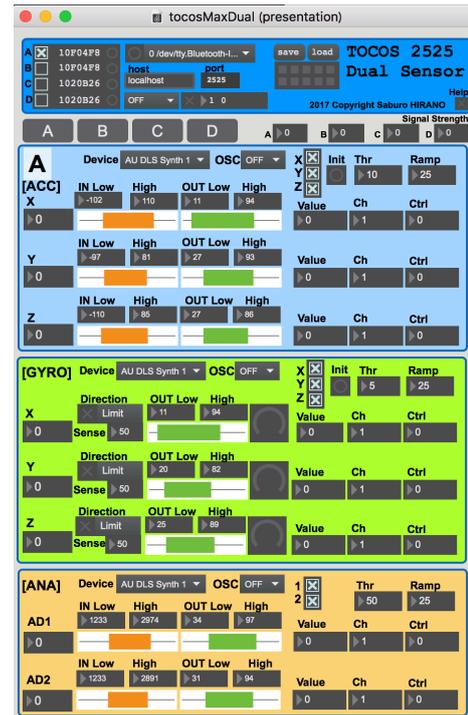


図 3 TocosMaxDual の操作画面
Fig. 3 Screen shot of TocosMaxDual

他のソフトとデータを渡す、あるいは MIDI, OSC (Open Sound Control) により MIDI 楽器あるいは、ソフトシンセサイザ、映像アプリケーションと連携をとるためにプログラムされている。図 3 に tocosMaxDual の操作画面を示す。また、Max に馴染みのない音楽家でも使用できるように、tocosMaxDual をもとにして Ableton 社のソフトウェア Live のプラグインとして実装した。図 4 に tocosMaxMotionOSC の Live バージョンの画面を示す。これにより音楽家は、Live の MIDI コントローラを接続して使用することと同様に、音楽制作にセンサシステムを使用することができる。にその操作画面を示す。tocosMaxDual は、センサのデータを他のアプリケーションで容易に利用できるように、入力されたセンサデータのノーマライズ、移動平均を用いた平滑化、入力と出力それぞれの最小値、最大値を設定することによる線形変換といった機能を実装している。

4. 作品制作事例

ここでは、本研究のセンサシステムを実際に用いて制作された作品について述べ、その性能と使用上の問題点を明らかにする。

- 1: 学生作品での使用。
- 2: 筆者らのコンピュータミュージックでの使用。
- 3: サウンドインスタレーション作品”Co-Rolling”の作品とシステム。

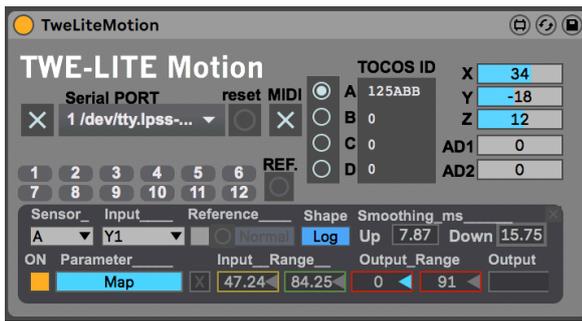


図 4 TWE-LITE motion の操作画面
Fig. 4 Screen shot of TWE-LITE motion

4.1 学生作品での使用例

2015年インタラクティブメディアアート作品の制作実技授業として、芸術系の学生に TWE-LITE を用いた半日4時間の workshop 授業を2回行った。学生は3人ずつ4つのグループにわかれ、TWE-LITE DIP と Cds を用いた光センサを bread board で回路を組み立て、光の変化に反応して映像や音が変わるというインタラクティブメディアアート作品を制作した。2013年は、gainer を用いて、2014年は arduino を用いて似た workshop を実施してきた。TWE-LITE が無線で小型であることからインストールの設置が短時間で済む事ができた。また PC と無線で接続できることからセンサの近くに PC を設置する必要がなくインストールの自由度が上がった。また小型であることから、様々なモノにセンサを仕込むことができた。例えば、宝箱の中に光センサーと TWE-LITE DIP を仕込み、宝箱を開くと明るくなり、それをセンシングして映像を変化させるといった表現が見られた。

4.2 コンピュータミュージックでの使用

2016年5月7日 Bears Electroacoustic Festival vol.3 (大阪 Namba BEARS) にて、Mac に MIDI 接続した KORG KAOSSPad KP3 (エフェクタ及びシンセサイザ) のコントロール用として TWE-LITE2525A を使用した。tocos-MaxMotionOSC ソフトウェアを用いて、X 軸方向の傾きを KAOSS Pad 操作パネルの X 方向、Y 軸を同 Y 方向に割り当て電子音の音色やエフェクタをコントロールした。TWE-Lite は、リストバンドを使用し左腕手首部分に装着した。腕を上下に激しく振ったり、ねじったり揺らしたりすることにより、ホワイトノイズを主体とした電子音をコントロールする。見た目も派手なパフォーマンスとなり、観客からも大変好評を得ることができた。

2016年5月27日に行われた、「Fukuyama Hall of Art

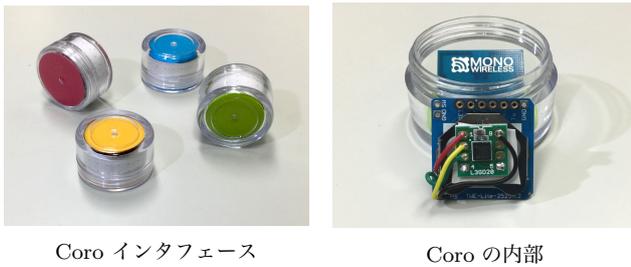
& Culture -Reed & Rose- Main Hall” (広島県福山市) 「Kasetsu Dairaku The penmanship as performing arts」での演奏での活用事例について。2003 名収容の大ホールでの、書家・大楽華雪自身が筆を動かすことで電子音を演奏するという試み。80 歳の大楽は、リストバンドで TWE-Lite を固定した腕で筆を握ってもらうことに、違和感を感じないとのことだった。しかし大楽の手の動きは予想よりもはるかに繊細であったため、センサの感度の調整には最も神経を費やした。その結果、本番では筆の動きがダイレクトに音に反映するパフォーマンスを実現することができた。大楽の手に装着した TWE-LITE と、Mac 側の USB スティック型受信機が、直線距離にして 10m 程度離れることもあったが、遅延を感じることもなく作動していた。これまでに、自身の手または書家の筆に加速度センサを有線で接続することによる、同様のパフォーマンスは何度も行ってきた。有線に比べて、本システムは無線によるため、手は非常に動かしやすかった。

2018年7月1日 同志社女子大学京田辺キャンパス頌啓館ホールでの研究コンサート -ピアノソロとアコースティック音楽の融合における音響音楽表現の新たな可能性を探る- において、落梟子作曲の「Prepared Pianist」を、落自らが演奏した。ピアノ演奏者の手足に装着された加速度センサにより、PC 内のソフトウェア音源からプリペアド・ピアノの音がコントロールされて演奏される。この PC からのプリペアドピアノ演奏音と、演奏者が演奏する生のピアノ演奏音とが合わさって聴衆に届けられる楽曲である。演奏者が無線センサをホールのステージ上で使用し、プリペアドピアノのサンプリング音源ソフトウェアの実行されるコンピュータがホール中央のミキサー席にあり、その距離がステージと約 20m であった。このコンサートのリハーサル時に、通信がやや不安定になりセンサのレスポンスが遅くなる場面があった。

4.3 サウンドインストール”Co-Rolling Sounds”

サウンドインストール作品”Co-Rolling Sounds”は、最初 2016 年 12 月 15~18 グループ展 カメラオブスクラ 10 @広島で展示された。”Co-Rolling Sounds”は、終わることのない音楽を創造する体験をもたらすサウンドインストールである。次に 2017 年 10 月、国際コンピュータ音楽国際会議のサウンドインストール部門に入選し、中国、上海の Xuhui Art Museum にて展示された。

作品は、TWE-LITE2525A に角速度センサ L3GD20 を増設したオリジナルのセンサ 4 個と PC、MONOSTICK、USB オーディオインタフェース、4 チャンネルのパワーアンプ、そして 4 台のスピーカから構成される図 5 にブロックダイアグラムと設置図を示す。オリジナルのセンサは、プラスチック製のクリーム容器に入れて転がすことがで



Coro インタフェース Coro の内部

図 5 Coro インタフェース
Fig. 5 Coro's interface

きるインタフェースとし、これを”CoRo”と名付けた図 6.4 個の”CoRo”はテーブルの上に置かれ、観客はそれを自由に転がすことができる。”CoRo”の動きに合わせて、PC のソフトウェアシンセサイザが発音する。4 個の”CoRo”は、赤、青、緑、黄とそれぞれ異なる色になっていて、異なる音色の音を発音する。”CoRo”の動きによる加速度と角速度は音のピッチと音の大きさにマッピングされている。また回転する速度は、机を取り囲むように配置された 4 台のスピーカを用いて回転する音像の回転速度にマッピングされている。一人の観客が、複数の”CoRo”を操作して様々な音色の組み合わせを楽しむことも可能である。また、複数の観客が合奏することも可能である。そうした時に、お互いの”CoRo”の音色が干渉し不快な響きにならないようにサウンドデザインを行なっている。

5. 考察と今後の研究

学生作品制作については、小さくて様々なモノにセンサを取り付けることができ、その結果多様な作品が制作できたことが、特筆すべき点だった。学生にとって、センサシステムそのものの使用は難しくはなかった。しかし、センサのデータでサウンドや映像のパラメータをどのようにコントロールするのかといった部分に苦労していたようであった。加速度センサのように多次元のデータによってパラメータをコントロールするプログラムが難しかったようである。こうした部分の解決方法として、機械学習を用いた多変数のパターンマッチングやデータの挿入、外挿を検討していきたい [3]。

ハードウェア面での問題点として、コンサートホールのステージと客席の距離での通信の不安定さがあげられる。この原因は特定できてはいない。しかし、送受信機間の距離の問題の可能性が高い。遮蔽物のない環境での到達距離が 1000m ではあるが、センサ取り付け方向とアンテナの指向性の問題、腕に取り付ける際にサポータを使用していることによる電波の減衰、他の無線機器からの電波による混信などの要因から 20m 程度の距離が問題になった可能性もある。現在使用している TWE-LITE のデバイスの約 2 倍の強度の電波出力可能なバージョンの TWE-LITE が市販されているので、その使用を検討中である。

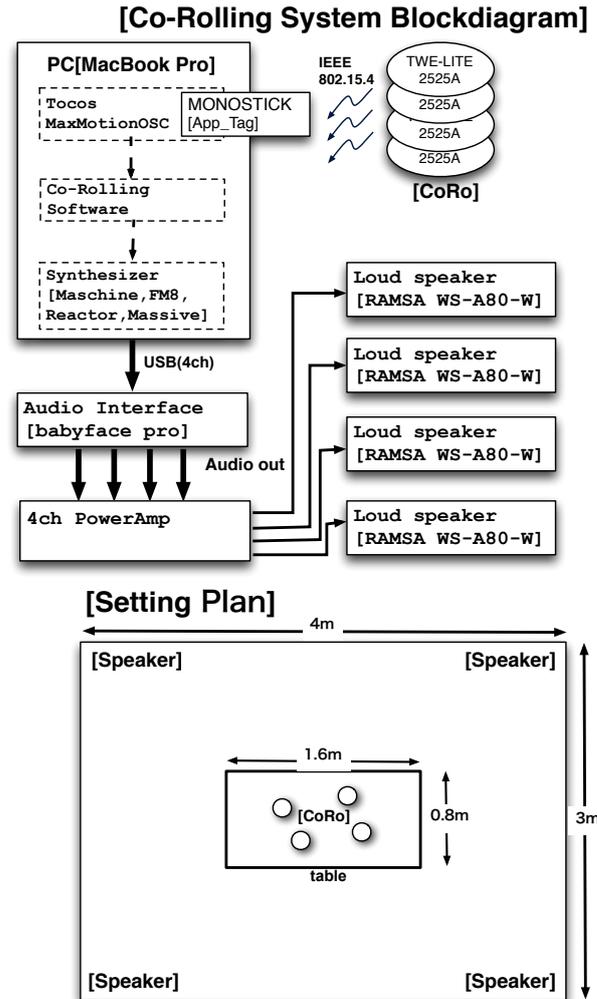


図 6 Corolling sounds のブロックダイアグラムと設置図
Fig. 6 Blockdiagram and setting plan of "Co-Rolling sounds"

謝辞 本研究システムを作品制作に使用していただいた京都精華大学の学生の方々に感謝します。また、センサシステムを用いて素晴らしい演奏を提供していただいた、大楽華雪氏に深く感謝します。

参考文献

- [1] S.Hirano, A.Ochi: *Development and Case Study of a Sensor Platform System Using the Wireless Microprocessor Module TWE-LITE for Media Art and Computer Music*, Proc. International Computer Music Conference, pp.386-371(2017).
- [2] S.Kobayashi, T.Endo, K.Harada, S.Oishi: *GAINER: A Reconfigurable I/O Module and Software Libraries for Education*, Proc. International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME2006), pp.346-351(2006).
- [3] Fiebrink, R., and D. Trueman: *End-user machine learning in music composition and performance*, CHI 2012 Workshop on End-User Interactions with Intelligent and Autonomous Systems,(2012).
- [4] x-IO Technologies: x-OSC, 入手先 (<http://x-io.co.uk/x-osc/>),(2019.05.10).

- [5] Mono Wireless:TWE-APPS, 入手先 (<https://mono-wireless.com/jp/products/TWE-APPS/>),(2019,05,11).
- [6] Espressif:ESP-WROOM-02, 入手先 (<http://espressif.com/en/products/hardware/esp-wroom-02/overview>),(2019.05.10).