

## 小型ワイヤレスモーションセンサを小道具に組み込んだ インタラクティブパフォーマンスシステムによるダンスパフォーマンスの構築

武川貴史<sup>†1</sup> 支倉孝光<sup>†2</sup> 寺内翼<sup>†3</sup> 古里春菜<sup>†4</sup> 細井一成<sup>†5</sup> 児玉幸子<sup>†6</sup>

本研究では、小型ワイヤレス9軸センサモジュールを様々な小道具に組み込んで用いるインタラクティブCGパフォーマンスのシステムを開発し、それを生きたコンテンポラリーダンス「Clock - The Busy Days」を制作した。具体性の高い表現から抽象度の高い表現のCGを準備し、センサ値と映像・音声との連動手法について、実際のダンスと合わせながらどのような手法が適当か検討を行った。

### Interactive performance system incorporating small wireless motion sensor in props and construction of a dance using the system

TAKAFUMI TAKEKAWA<sup>†1</sup> HASERKURA TAKAMITU<sup>†2</sup>  
TSUBASA TERAUCHI<sup>†3</sup> HARUNA FURUSATO<sup>†4</sup>  
KAZUNARI HOSOI<sup>†5</sup> SACHIKO KODAMA<sup>†6</sup>

In this study, we developed an interactive performance system incorporating small wireless motion sensor in props. The hardware uses a compact BLE wireless 9 axis motion sensor module which can be easily incorporated in props for stage performance. The software uses 13 parameters, including attitude angles and quaternions calculated from 9 axis motion sensors, to move, rotate, and change the CG objects and effects on Unity. Using the system, it is possible to link the prop's movement created by the dancer in a complicated and delicate manner using 3DCG expressions. We created performance "Clock - The Busy Day" using this system.

#### 1. 研究の背景と目的

近年、パフォーマーの動きセンシングし、リアルタイムに映像に変化を加えるインタラクティブなパフォーマンス制作が数多く行われている。パフォーマーの動作をセンシングする方法には、カメラやマーカ、深度センサを使用して画像処理及び被写体までの距離を測定することで動作を検知する方法と加速度センサやジャイロセンサを取り付けたデバイスを使用して動作を検知する方法がある。

映像処理技術やセンシング技術の発達に伴い、比較的容易にインタラクティブCGを開発できるようになったため、専門の技術者ではない人達によって、インタラクティブパフォーマンスが制作されるようになってきている。そのような非エンジニアの人向けの、簡単に利用できるモーションセンサシステムやデバイスがいくつか開発されている。しかし、これらは、特定の道具やパフォーマンスを対象としている。

そこで本研究は、非エンジニアの人でも簡単に利用できるシステムを構築し、それを使って実際にダンスパフォーマンスを制作を試みる。具体的には、小型のワイヤレス9軸センサモジュールを使用して、センサを組み込んだ小道具を動かすとリアルタイムにCG映像と音楽に変化を加えるインタラクティブなCGによるパフォーマンスを演出するシステムを開発する。さらに、そのシステムを用いてコンテンポラリーダンスの演目「Clock - The Busy Days」を制作する。コンテンツのコンセプト・テーマを設定し、そのテーマに沿った小道具を選択してセンサを埋め込んで使用し、ダンスの場面に沿ったインタラクティブCGと音楽を制作する。

CG映像は、センサを埋め込んだ小道具を即興的に動かすダンサーの動きに効果的に連動するように、ダンサーによる直感的な表現が行えるようにデザインする。

最後に、システムを利用したダンスパフォーマンスを舞台上で実験し、動作と映像との連動を確認する。映像表現の異なる複数のコンテンツを用意することで、ダンスを演出する映像と小道具を操作するダンサーの動きの連動、演出の効果、システムの使いやすさ等について検証を行う。

#### 2. 関連研究

##### 2.1 ダンスパフォーマンスにおけるセンサの利用

ダンスなどのパフォーマンスでインタラクティブな変化を起こすには、パフォーマンスにおける様々な動作の検出を行う必要がある。

動作の検出の手法として、ウェアラブルデバイスを用いた手法が多く研究されている。Chulsung Parkら[1]は、インタラクティブダンスのためのウェアラブルワイヤレスセンサプラットフォームの開発をおこなっており、複数のセンサをダンサーの体の各所に装着して、動作の検出を行っている。Ryan Aylwardら[2]も同様に身体のような場所にコンパクトなセンサを取り付け動作を検知することで、バイオモーションキャプチャやインタラクティブメディアのための低遅延かつ高分解能な無線センサプラットフォームの提案を行っている。これらの研究では、全身にセンサを取り付けているため、様々なパフォーマーの動作が検出できるが、複数のセンサを扱わなければいけないため、データが

複雑になる。そのため、非エンジニアでは、新しいコンテンツの開発が難しいと考えられる。

藤本ら[3]の研究では、足にのみ装着した小型無線加速度センサモジュールを用いて、複数人の動きの連携による音楽を生成するシステムの提案を行っている。ユーザ自身の動きに合わせた自由な演奏が実現を実現するためにスクリプト記述とマッチングを採用し、自身で動作パターンの登録ができるようにしている。これにより、動きと音を連携した新しいエンターテインメントを提案した。同じく足に装着してユーザーの動きでパフォーマンスを支援するシステムとして、no new folk studio の Orphe[4]が実用化されている。Orphe は約 100 個のフルカラーLED・リアルタイムのモーションセンサ・Bluetooth 通信機能を搭載したウェアラブルデバイスで、スマートフォンのアプリを使用することで光の色やアニメーション、足の動きへの反応を自由にデザインできるものである。これらのシステムは、非エンジニアでも比較的容易に扱うことができるようになっていくが、「靴」という特定の目的で使うものである。

## 2.2 9 軸モーションセンサの値で姿勢、動きの検出

パフォーマンスを支援する研究では、9 軸モーションセンサを利用して、パフォーマンスの支援を行っているものが存在する。小手川ら[5]の研究では、9 軸モーションセンサを用いて車椅子パフォーマンスの拡張を行っている。山本ら[6]の研究では、9 軸モーションセンサの他に、圧力センサを使用することで、リズムタップダンス技術の習得において有効なフィードバックを行っている。これらの研究においても特定の道具やパフォーマンスを対象としている。

## 3. システム構成

### 3.1 ワイヤレスセンサモジュールの小道具への組み込み

本研究では、身近な道具に簡単に組み込むことのできる小型のワイヤレス 9 軸モーションセンサモジュールによるシステムを構築する。サイズは 11×17×4(mm)、0.9 (g)である。センサは MPU9250 を使用し、無線通信は BLE 4.2、電源に 3.7(V)のリチウムイオンポリマー2 次電池を用いた。

このセンサモジュールを、ダンスの小道具(腕時計、枕、バトン)に取り付けた。これらの小道具は、5 章に述べるダンスのテーマに沿っているだけでなく、一般的なパフォーマンスの道具として利用しやすいと考えられる。腕時計は、ウェアラブルデバイスとして汎用性が高く、枕は、テカいっぱい振り回しても危険がない。長細いバトンは、バトンパフォーマンスやジャグリング用途への応用、杖や箒、刀など細長い物体での動作を検証できる。小道具へのセンサの取り付けは図 1 の向きになるように行った。

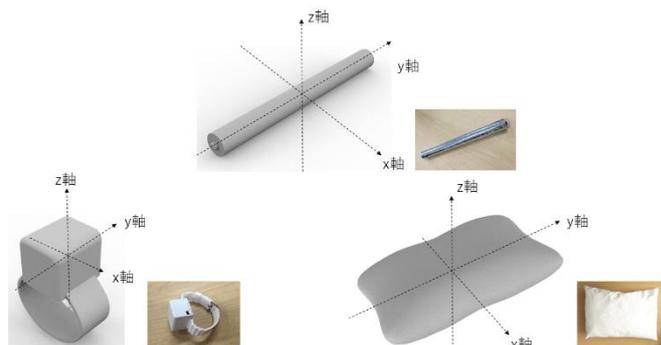


図 1 デバイス (上: バトン, 右下: 枕, 左下: 腕時計)

Figure 1 Devices (Top: baton, bottom right: pillow, bottom left: watch)

### 3.2 データ構造と通信プログラム

小道具に組み込んだセンサモジュールと WindowsPC との通信は、BLE を用い 1 秒間に約 100 回の通信を行っている。接続する BLE デバイスの検出と選択を容易に行うため、GUI を用いて簡単に接続を行える通信プログラムを作成した。これは、以下の手順で BLE デバイスを検出し、接続するデバイスを決定する。

- ①接続されている COM ポートの識別
- ②近くにある接続可能なデバイスを表示
- ③接続したいデバイスの番号を選択し、接続

デバイスに搭載した無線モジュールは 13 個のデータの配列を送信する。データは、3 軸加速度成分 ( $a_x$ ,  $a_y$ ,  $a_z$ ), 3 軸角速度成分 ( $g_x$ ,  $g_y$ ,  $g_z$ ), 3 軸地磁気の成分 ( $m_x$ ,  $m_y$ ,  $m_z$ ), クォータニオン ( $w$ ,  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) の順に並んでいる。無線通信を確立後、地磁気補正を行う。

CG コンテンツを設計するにあたり、同種のモーションセンサと CG コンテンツの連動を行った武野の研究[7]を参考にした。武野は、加速度センサとジャイロセンサの合成成分  $Aa$ ,  $Ga$  を定め、その値を基に静止特定を行っている。

$$Aa = \sqrt{ax^2 + ay^2 + az^2} \quad \dots\dots\text{式}[1]$$

$$Ga = \sqrt{gx^2 + gy^2 + gz^2} \quad \dots\dots\text{式}[2]$$

## 4. ダンス「Clock-The Busy Day」

### 4.1 コンセプト

コンテンポラリーダンスは、各国のエスニック・ダンス、武術の型、映像やコンピューターなどの機材をつかった実験的パフォーマンスなど、多種多様なパフォーマンスが取り込まれている非常に演技の幅が広いダンスである。そのため、身体的な躍動感が非常に大きく、緩急も自在で、開発したシステムを利用しやすい分野である。

本研究で創作するダンスのテーマは「時間」とし、忙しく時間に追われて生きねばならない一人の女性の一日を表

現した。インタラクティブコンテンツの魅力としてアドリブへの対応力があるため、小道具の操作とCG映像の連動方法を説明したのちに、テーマに沿うようにアドリブで踊るようダンサーに依頼した。

様々なセンサの組み合わせや表現を試すために、コンテンツ内で7つのパートを作成し、コンテンツ全体でテーマに沿った物語を構成するようにした。音については、各パートの音楽を作曲し、インタラクティブな動作に連動するオリジナルの効果音を用意した。

#### 4.2 センサデータの組み合わせ

ダンスにおけるダンサーの動作とCGの適切な連動表現の検討を行うため、Unityで7種類の異なるCGコンテンツを制作した。それぞれ、センサデータを異なる組み合わせで利用し、CGの動きを生成する。パートごとに、ダンスの動きとの連動を考慮し、使用するセンサを表2のように決定した。躍動感と動きの緩急を表現するに、加速度センサやジャイロセンサをメインにした組み合わせとしている。

表1 各パートの名称と使用した小道具、センサ

Table 1 Combination of sensors for each part

パート名称	使用した小道具とセンサ
Morning (朝)	枕 ジャイロセンサ 加速度センサ
Getting up, going to work (起きて、仕事に行く)	腕時計 加速度センサ
Overcome (克服)	バトン ジャイロセンサ 加速度センサ, 四元数
Fulfilling moment (充実した時間)	腕時計 地磁気センサ 加速度センサ
A woman in a metropolis – Tokyo (東京の女)	バトン ジャイロセンサ
Slow dance in a room (部屋の中のスロウダンス)	枕 ジャイロセンサ 加速度センサ
Clocks (時計たち)	枕 ジャイロセンサ 加速度センサ

#### 4.3 具象オブジェクトによる表現

「Clock-The Busy Day」における、オープニングである「Morning(朝)」とエンディング「Clocks(時計たち)」のパートでは、ダンスパフォーマンスのテーマ「時間」を分かり易く反映させるため、時計の針をデバイスの動きと連動して動かす設定とした。これら2つのパートでは、3D空間内に配置した複数の時計の3DCGオブジェクトを、枕を振り回す動作と連動させて吹き飛ばす表現を取り入れている。



図2 ダンサーの動きと3DCGによる時計の連動

Figure 2 Dancer's movement and 3DCG clocks

冒頭の「Morning」では、眠っていた女性が時計の目覚まし音で起きて、枕を振り回して、時計の針(時間)をコントロールしようとし、眠気を振り払おうとしているシーンである。また、最後のパート「Clocks」は、一日の終わりを迎えた女性が、同様に時間と格闘しながら、眠りにつくというシーンである。

センサの値は、枕を振り回すという動きが主に円の起動を描くため、回転の動きをダイレクトに反映できるジャイロセンサの値をメインに使用した。実際の動作は、ジャイロセンサによりフレームごとのセンサモジュールの傾きを検出し、現在のフレームの傾きと1フレーム前の傾きの差から、針の回転方向を求めている。

「Morning」には、眠気を吹き飛ばすように時計を画面外まで吹き飛ばすシーンがある。そこでは、ジャイロセンサの各成分の平均値から時計が動く速さを決定した。

#### 4.4 CGエフェクトによる抽象的表現

「Clock-The Busy Day」における、「Getting up, going to work(起きて、仕事に行く)」、「Overcome(克服)」、「Fulfilling moment(充実した時間)」、「A woman in a metropolis(Tokyo)(東京の女)」の4つのパートでは、抽象的なCGエフェク

トのみを使用して、社会に生きる女性の様々な感情を表現している。

「Getting up, going to work」は、慌ただしい朝のダンスで、その勢いを表現するため、腕時計を使い、加速度センサを主に使用している。泡状の Particle エフェの軌跡を残すことで、動きとの連動が分かり易くなっている。エフェクトは、画面中央を軸として左右に点対象に広がるようにし、ダンサーの手による小道具の動かし方をよりダイナミックに反映させるため、下記の式で、加速度の対応を y 軸と z 軸で取り換える工夫をした。

$$\text{position}(x, y, z) = (ax, az, ay) \quad \dots\dots\text{式}[3]$$

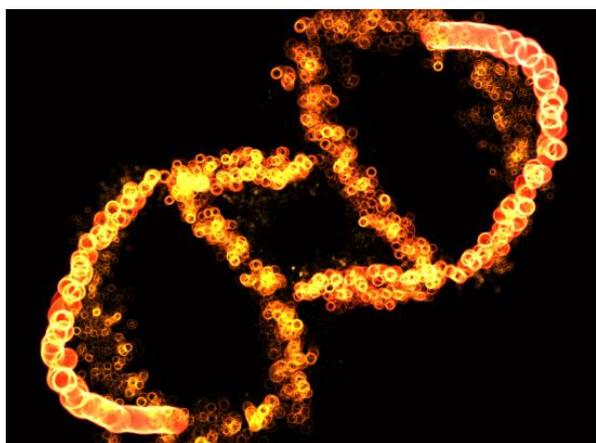


図 3 「Getting up, going to work」のCGエフェクト  
Figure 3 CG effect in “Getting up, going to work” part



図 4 ダンサーの動きとエフェクトの連動  
Figure 4 Interaction of Dancer's movement and CG

「Overcome」では、日中、仕事で受けるプレッシャーを克服しようとし、挑戦する気持ちを表現している。ダンサーの動きには緩急が付けられ、刀に見立てたバトンを構えて立ち回るような大きな動きで構成される。その動きをCGで表現するために、四元数のセンサ値を多く使用し

た。気持ちの浮き沈みは、スクリーンに渦を巻くように広がるエフェクトの大小で表現した。ダンサーが勢いよく動くときはエフェクトが広がり、遅い動き、止まっているときはエフェクトが縮まっていく対応づけを行った。また、動きとの連動を表すため、ジャイロセンサの値を用いて回転の軌跡を描きながら広がるように設定した。単調な軌跡となる事を避けるため、四元数と加速度の値を使ってエフェクトにノイズをかけた。



図 5 「Overcome」  
Figure 5 “Overcome” part

「Fulfilling moment」のパートでは、充実した時間の喜びを表現している。このシーンでは、腕時計の小道具、加速度センサと地磁気センサの値を使用した。

このシーンでは、キューブ状のCGが画面に3つ並んでおり、左から地磁気センサと加速度センサの値を順番に対応させる。地磁気センサ値から姿勢を計算し、次に変化させるエフェクトの選択を行い、加速度が閾値を超えた瞬間にスケールが変化を起こすよう設定した。



図 6 「Fulfilling moment」  
Figure 6 “Fulfilling moment”

「A woman in a metropolis -Tokyo」では、都会に住む女性の気分を表現している。このパートでは、腰をひねるよう

な動作とともにバトンをひねるダンサーの動きと背景のCGの矩形を連動させるために、ジャイロの値のみを使用した。大きさの異なる矩形を同心円状に配置し、相互に逆回転を与えることで規則的ながらも錯視的でダイナミックな表現とした。モノトーンのCGは単調だが、その分ダンスの動きとの連動は明快である。



図 7 「A woman in a metropolis -Tokyo」  
Figure 7 “A woman in a metropolis -Tokyo”

#### 4.5 オブジェクトによる抽象的表現

「Slow dance in a room」は、一日の終わりへと向かうシーンである。その日の疲れや抑圧してきた様々な思いが溢れ、不安、憂鬱が去来する。「Morning」と「Clocks」同様、3D空間内に配置した3Dオブジェクトを枕で操作するが、感情を抽象的表現で象徴するようにした。このシーンでは、時間経過によってインタラクションを変化させた。最初は、枕から多数の球が出現し、空間に浮かぶ球（悩みを象徴する）を枕で動かしていく。次のシーンは、枕を抱きしめてダンサーが動くとともに、部屋の壁と天井が動き出すインタラクションを設定した。ここでは、迫ってくる壁で、不安や憂鬱が表現している。どの壁を動かすかの指示は、枕を回転させジャイロセンサの値で対応づけた。

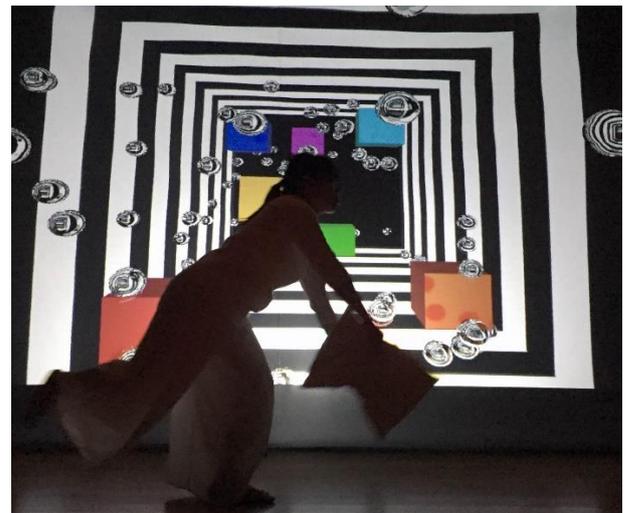


図 8 「Slow dance in a room」  
Figure 8 “Slow dance in a room”

## 5. 実験と考察

システムを用いたダンスパフォーマンス実験を6月21日に電気通信大学の講堂ステージを使用して行った。CG映像をディフュージョンシートによるスクリーン（4m×3m）にリア投影し、スクリーン前方に小道具を持ったダンサーが動き回る構成とした。照明は、映像が見えやすいようにスポットライトで横から照らすように調節した。

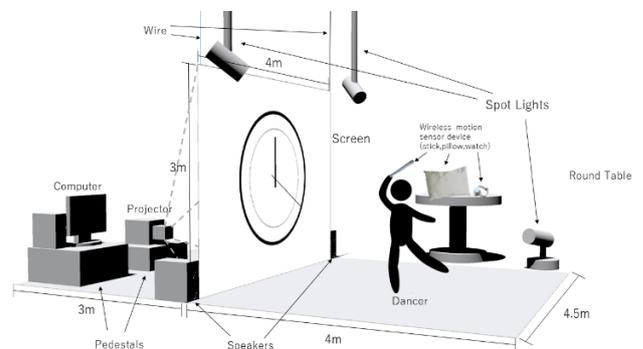


図 9 システム構成  
Figure 9 System overview

今回使用したセンサモジュールでは、地磁気センサは、加速度センサやジャイロセンサに比べ検出速度が遅かったため、地磁気を使ったコンテンツでは、激しい動きでは映像との連動がうまくいかず、動きの速さに制限をかけたしまった。

動きの連動がはっきりとわかる場面では、ダンスの盛り上がりを感じられた。その反面、連動が上手くないか、違和感が大きく良い印象が得られなかった。

## 6. 結論, 今後の課題

映像の前にダンサーが立つことを想定し, ダンサーと映像の重なりを効果的に演出する表現をもっと増やすべきと考える. 今回は, 背後だけの映像投影だが, 床や側面にも映像を投影しての実験も必要である.

センサと CG コンテンツの連動では, 姿勢を判別してインタラクションを起こすパートの連動が不安定だった. そのため, 地磁気だけでなく加速度, ジャイロの測定値を含めて姿勢を推定し, 互いに補正することにより安定した姿勢の推定を実現したい.

ダンサーは, 今回は即興でテーマに沿ったパフォーマンスを行ったが, 本来は, きめ細かいダンスの振り付けと, それに最適な CG による演出のインタラクションが必要と考えられる. 今後, ダンスパフォーマンスの特徴的な動作に対する最適なインタラクションの構築を進めていく計画である.

## 参考文献

- [1] Chulsung Park, Pai H. Chou, Yicun Sun: A Wearable Wireless Sensor Platform for Interactive Dance Performances, Fourth Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, (2006)
- [2] Ryan Aylward, Joseph A. Paradiso: A Compact, High-Speed, Wearable Sensor Network for Biomotion Capture and Interactive Media, the 6th international conference on Information processing in sensor networks, pp. 380-389, (2007)
- [3] 藤本実, 藤田直生, 細見心一, 塚本昌彦: ダンスパフォーマンスのための加速度センサを用いたウェアラブル楽器システム, WISS 2007 15th Workshop on Interactive Systems and Software
- [4] no new folk studio: Orphe,  
<https://no-new-folk.com/>
- [5] 小手川誠也, 馬場哲晃, 串山久美子, 韓旭: 9軸モーションセンサを用いた車椅子パフォーマンスの拡張, 情報処理学会インタラクション 2018, pp.395-398, (2018)
- [6] 山本亮典, 三輪貴信, エンリケズ・ギエルモ, ヤップ・フェイ・イー, 橋本周司: タップダンサーの技術向上のためリズム計測タップシューズの開発, 情報処理学会第 78 回全国大会講演論文集, vol.1, pp.255-256, (2016)
- [7] 武野泰樹, 支倉孝光, 児玉幸子: エアーハンドル: 軽やかな操作で仮想オブジェクトを回転・移動させるインタフェースデザイン, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2017 論文集, pp.75-78, (2017)
- [8] Sachiko Kodama, Shuzo Matsuno, Ryutaro Ogawa, Kenji Inokuchi, Toshiki Sato, Takahiro Shida, Yasuki Takeno, Eitetsu Komiyama: A practical ball sports platform combining dynamic body action with real-time computer graphics during ball play, SIGGRAPH Asia 2015 Emerging Technologies Article No.1 (2015)