

## 運動機能障がいに適応した4元数を測定する モーションヒストリーセンサの試作

宮崎英一, 坂井聡, 谷口公彦\*, 佐野将大\*, 近藤創\*, 野田知智\*\*

760-8522 高松市幸町1-1 香川大学教育学部

\*761-8057 高松市田村町1098 香川県立高松養護学校

\*\*761-8074 高松市太田上町513-1 香川県立聾学校

## Prototype of a Motion History Sensor to Measure Quaternion Adapted for Motor Function Disorder

Eiichi MIYAZAKI, Satoshi SAKAI, Kimihiko TANIGUCHI\*, Shoudai SANO\*,  
Hajime KONDO\* and Tomohiro NODA\*\*

*Faculty of Education, Kagawa University, 1-1 Saiwai-cho, Takamatsu 760-8522*

*\*Takamatsu Special Education School, 1098 Tamura-cho, Takamatsu 761-8057*

*\*\*Kagawa Prefectural School for the deaf., 513 Ootakami-machi, Takamatsu 761-8084*

**要旨** 宮崎研究室では、加速度センサを用いた単純なシステムでモーションヒストリー測定システムを試作し、運動機能に障がいのある方のスイッチ動作の特性を知る手掛かりとなるモーションヒストリーの計測を行った。ここでは4元数を用いて、測定された値から仮想空間の3次元物体に動作を行わせ、視覚的な比較でデータの正当性を定性的に確認した。モーションヒストリーは、測定対象の3次元での変化を時系列で記録するので、測定されたモーションヒストリーを用いて運動機能に障がいを持った方の運動特性の解析を行う事から、スイッチ操作における不随意運動の影響を低減出来る新しいユーザインタフェースの構築が期待できる。

**キーワード** 入力インタフェース, 加速度センサ, 4元数, モーションヒストリー

## 1. はじめに

運動機能に障がいのある方に対し、従来からの入力インタフェースとして一般的に用いられる、マウス、キーボード等は勿論、運動機能に障がいのある方の支援用押しボタンスイッチ・インタフェースでも症例によっては操作のユーザビリティ等において、更なる改善の余地のある事が、障がい者の方や支援者や方の聞き取りで分かった。

そこでこれらの問題点を改善するために、本研究室ではWEBカメラ<sup>i</sup>や加速度センサ<sup>ii</sup>等を用いたユーザインタフェースの開発を行ってきた。特に加速度センサは最近のスマートフォンやロボット等ICT機器の発達に伴い、小型なものが安価に入手出来るようになった。この加速度センサ(IMU)を用いた入力インタフェースはWEBカメラを用いたユーザインタフェースと比較して、以下の三つの特長がある。

- ① 加速度等の測定値が数値で計測されるので、定量的な計測が可能
- ② 測定において測定位置の影響を受けない
- ③ 周囲の外乱環境の影響を受けにくい

上記の①は、WEBカメラで測定されるのは、基本的に動画であるため、定性的な変化を視覚情報として見るのに適している。しかし、測定対象の移動や加速度を測定するのは、動画画面からカラートラッキング等の物体追跡計算を行う必要があり、測定精度等はトラッキングのアルゴリズムに依存する。一方、加速度センサは加速度等の値を直接測定するので、基本的には定量的な測定に適している。

②については、WEBカメラは測定対象を撮影して、その撮影された画像に処理を行い、トラッキング等を行う。このため、

WEBカメラで撮影された対象が適切に撮影されていないと、正確な計測が行えないという問題点がある。具体的にはマウスのクリック操作を撮影する場合、横から撮ると運動の変化が分かりやすいが、同じ動作でもこれを上から撮ると変化が分かりにくいというものである。一方、加速度センサの場合は基本的に測定対象に加速度センサをセットするだけなので、このような問題は発生しない。

③については、WEBカメラで動画を撮影する場合、周囲の外光の変化等が測定精度に大きく影響を与える。撮影中に撮影対象の移動に伴い、撮影された画像の明るさが変化した場合、測定対象をロストしてしまい、トラッキング・ミスが発生する事がある。加速度センサの場合、このような外的要因の影響をほとんど受けないので、比較的安定した測定が行えるという利点がある。

本研究では、加速度センサのこれらの利点を生かし、運動機能に障がいを持った方のICT機器の利用をサポートするモーションヒストリーセンサの構築を行った。

ここでのモーションヒストリーセンサは測定対象物の3次元的な位置情報を時系列で連続して測定し、動作の記録を行うものである。元来、このモーションヒストリーは、運動特性の解析等に利用され、運動選手のフォーム改善にも応用されている。本研究室では運動機能に障がいを持った方の不随意運動の影響を除去する運動モデルを構築する事を最終的な目標とする。そのために正確なモーションヒストリーの測定が出来るシステムの試作を行った。

## 2. 加速度センサによるモーションヒストリー測定

本研究室では運動機能に障がいを持った

## 運動機能障がいに対応した4元数を測定するモーションヒストリーセンサの試作

方に対してICT機器の操作を支援するWEBカメラを用いた入力インタフェースの試作<sup>i</sup>を行ってきた。WEBカメラを用いた入力インタフェースは、測定対象とカメラの距離を変更する事で、数cm程度の指先の小さな動作から、十数cm程度の腕全体の大きな動作まで、1つのWEBカメラシステムだけで対応可能という利点がある。

更に、押しボタンスイッチ等の入力インタフェースと異なり、操作力や操作方向等に制限が無いので、筋ジストロフィーのように操作力の弱い方や運動機能に制限があり、指先の動作方向が制限される方でもスイッチ操作が可能である。

しかし不随意運動のように利用者の意図性を反映しない動作に関しては従来の押しボタンスイッチ同様に、測定値からの判別は困難であった。そこで本研究室では加速度センサを用いて、スイッチ操作に伴う指の動き等を3次元で計測し、これを記録するモーションヒストリーセンサの試作<sup>ii</sup>を行ってきた。

### 2.1 加速度・ジャイロ・地磁気測定

前回報告<sup>ii</sup>したモーションヒストリー計測システムを図1に示す。ここでは加速度セ

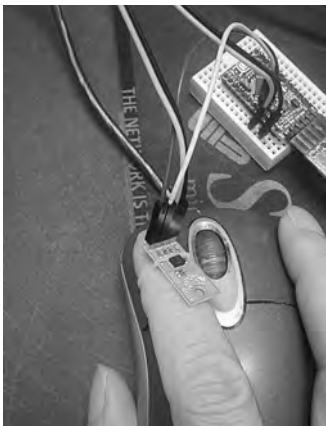


図1 加速度センサ測定

ンサとして「9DoF センサスティック」<sup>iii</sup>を用いた。これは小さな9自由度の慣性計測装置(IMU)であり、3軸の加速度センサ、3

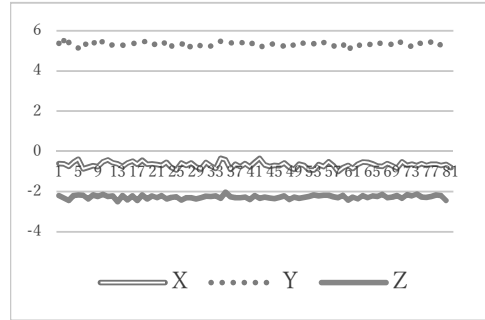


図2 a) Gravitational測定画面

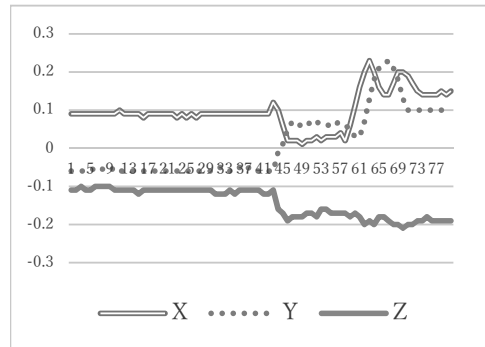


図2 b) Magnetic Field測定画面

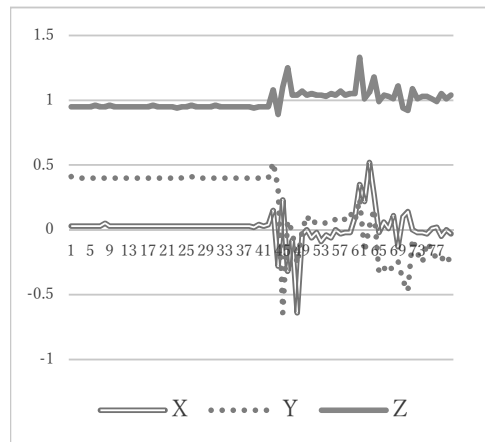


図2 c) Acceleration測定画面

軸のジャイロセンサ，3軸の磁力センサを持つ。またサイズも23×11mmと小型なため，指に固定しても，ユーザのスイッチ操作の妨げにならず，固定も簡単である。

ただ，このセンサはインタフェースとしてI2Cをもつので，コンピュータに直接接続する事が出来ない。そのため，ここでは組み込み機器の制御に用いられる事が多いマイクロコントローラ (Arduino Pro Mini) を利用した。これをI2Cのインタフェースとする事でコンピュータが加速度センサの測定データを計測できるようにしている。同図では，マウスの左クリック動作（1回のみ）に伴う加速度等の計測を行った。その結果を図2に示す。ここでは，各3軸 (x, y, z) で測定された加速度・ジャイロ・地磁気の値をプロットした。同図における各グラフの横軸はクリック動作に伴う時間軸を示している。

しかし同図からは，加速度センサで測定された測定値をグラフ化しても実際の動作が正確に測定できているかという定性的評価でさえも困難であった。

## 2.2 加速度センサによる4元数測定

上記で説明したように，加速度センサを用いたICT機器の操作に関する測定は行えたが，この測定されたデータでは定量的な評価は勿論，定性的な評価も行えなかった。そこで本研究では，測定された値の定性的な評価を行うため新しい加速度センサを用いて4元数の測定を行った。4元数とは主として3次元コンピュータグラフィックでは4元数は物体の回転を表すのに使用されるフォーマットである。ここで我々が日常的に使用するオイラー角を用いた回転の表示と4元数を用いた表示を比較<sup>iv</sup>してみる。オイラー角は

- ① 回転軸をオイラー角で表し，その軸を中心とした回転を角度で表しているの

直感的で「人間が理解できる」フォーマットで表現

- ② ジンバルロック (Gimbal lock: 3つある回転の自由度が2つに制限される) が発生する場合がある

という特徴がある。

一方，4元数はオブジェクトの向きや回転を表すのに使用され，任意軸で回転の向きと大きさを表現できる。これは4つの数字で構成されるが，この数字は角度や軸では無い。この特徴は

- ① ジンバルロックが発生しない
- ② 数的表現は，直感的に理解しづらい

という点にある。今回は，定性的な評価に用いる3次元CGシステム (Unity) が4元数を用いているので，加速度センサが測定する値は，このフォーマットに指定している。

本研究では測定されたデータの定性的な評価を行う事を目的とした。そのため，加速度センサで測定された4元数を利用して，コンピュータ内において3次元グラフィックスモデルを動作させた。本研究では，加速度センサで計測する実空間の物体と3次元モデルの両者を比較する。この比較から，3次元モデルの運動により，加速度センサが計測した値が正しいかどうかを視覚情報として定性的に判断する。更に計測された4元数をリアルタイムで記録すれば，それが測定対象のモーションヒストリーとして3次元的な動作の記録となる。よって本システムを用いる事で，4元数を用いたヒストリーセンサの実現が可能になる。

## 2.3 Unityによる3次元モデルの表示

3次元モデルの表示においては多くの計算量が必要になるため，少し前のスマートフォン等のICT機器ではハードウェアの性能不足から3次元モデルの表示が困難な場合があっ

## 運動機能障がいに適応した4元数を測定するモーションヒストリーセンサの試作

た。更に3次元モデルを作成するにも特別なソフトウェアや3次元で物体を扱うための数学的な知識が必要となるため、誰でもが簡単に3次元モデルを扱う事が出来なかった。しかし、最近のコンピュータやスマートフォンのハードウェアの発展に伴い、一般的に使用されるレベルの機器でも3次元モデルの扱いが可能になってきた。

またこれと同期して、Unity<sup>vi</sup>やUnreal Engine 4<sup>vii</sup>等の3次元モデルの作成を行うソフトウェアも充実してきた。これらは従来の3次元モデルを作成するソフトウェアと比較してIDE環境を有する事、多くの操作がGUIインタフェースで行えるので、初心者にも学習が簡単で使いやすい事、特に多くの技術資料が公表されており、有用な情報が多数存在することから、本研究ではUnityを3次元モデルの作成に用いた。

本研究で使用したUnityの操作画面を図3



図3 a) Unity操作画面

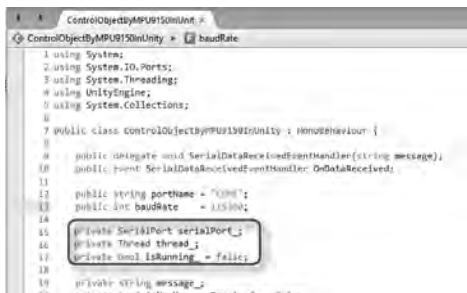


図3 b) シリアル通信部分

に示す。同図a)では画面の中心に円柱の3次元モデルが表示されている。このモデルの作成は画面を見ながらマウスのドラッグ操作だけで実行できるので、直感的に操作しやすく、誰でもが簡単に操作やモデルの作成が可能である。

次に問題になったのが、この3次元モデルにおける空間位置の外部からの制御である。通常、ゲーム等で使用される3次元モデルの操作はコンピュータのマウスやキーボードで操作を行う事が一般的であり、外部機器からの制御が困難である場合が多かった。ここで、キーボードやマウスといったインタフェース以外に3次元物体の位置制御を行うには、以下の2つの手法が考えられる。

- ① 予め3次元物体の空間座標と方向を定義したデータを作成しておき、CSVファイル等でシーケンシャルファイルとして読み込み、3次元物体を動作させる方法
- ② シリアルポートを介して加速度センサから測定された測定値で直接3次元物体を動作させる方法

の2つが考えられる。①の場合は、予めデータを作成しておくので、リアルタイムで動作の変更は困難であるが、固定された動作を繰り返すような場合に有効である。一方、②の場合は測定されたデータは直接3次元物体を動作させるので、その動作がリアルタイムで変更される。

今回の場合は比較のために測定対象を撮影しながら、コンピュータ上の仮想的な3次元空間で動作を再現させる。そのため必ずリアルタイムで計測を行う必要があるので、本研究では②の測定方法を選択した。ここではシリアルポートを介して加速度センサで測定した計測値をUnityに取り込んでいる。このスクリプトを同図3b)に示す。同図の四角形

で囲まれた部分がシリアルポートの通信部分を示しており、{COM5} というポートを介して、{115200 bps (bits per second)} の通信速度でデータの計測を行っている。この通信部分はUnityがビルトインで持っているので、誰でも簡単に利用できる。

### 3. 加速度センサによる予備計測

上記で説明したように、本研究では、加速度センサで計測された値が正しいかどうかを定性的に評価する。そのため実際の物体に加速度センサを貼り付け、この物体を動作させると同時に加速度センサで測定された値でコンピュータ上の仮想的3次元空間で物体を動作させた。この両者を視覚的に比較しながら、定性的な評価を行う。

本研究で試作した、このシステムを図4に示す。同図a) にシステム全体図を示しているが、

ここでは同図の手前側に実際に加速度センサを貼り付けた物体が、また画面奥のコンピュータ画面に仮想的な3次元空間内の3次元の円柱が表示されている。ここでは、この円柱が手前の物体と同期して動くようになっている。

同図b) がこのシステムの詳細を示している。本研究では実空間の物体は繰り返して同じ動作が可能ないようにサーボボータを組み合わせた簡単なロボットアームを使用した。これは2つのサーボボータを組み合わせた2自由度のアームになっており、制御プログラムによって様々な動作が繰り返し可能になる。

特に今回は、加速度センサの評価を行うので、プログラムによって何度でも同じ動作が出来る事が重要である。このサーボボータの制御はArduinoと呼ばれるシングルボードのマイクロコントローラを用いて制御している。この機器は組み込み機器の制御に用いられるような超小型のコンピュータであり、出力ポートからサーボボータの回転をダイレクトに制御可能なので、このようなシステムに適している。

また上記で説明したように、本研究で用いた加速度センサはI2Cで制御されるので、同じくこのArduinoを制御用のマイクロコントローラとしている。本研究では加速度センサとしてMPU-6050 (InvenSense 製のI2C接続のジャイロ・加速度センサ) を使用した。

一般的に、ジャイロ (角速度センサ) の特性は温度によって変化<sup>1)</sup>するので、ノイズの影響も考慮した高精度な計測を行う場合には、加速度センサが計測した値を直接利用せず、何らかの方法で補正を行う必要がある。今回使用したMPU-6050にはDMP (Digital Motion Processor) という機能が予め組み込まれており、ソフトウェアから制御を行う事



図4 a) システム全体図

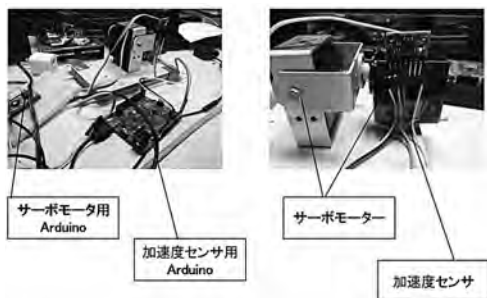


図4 b) システム詳細図

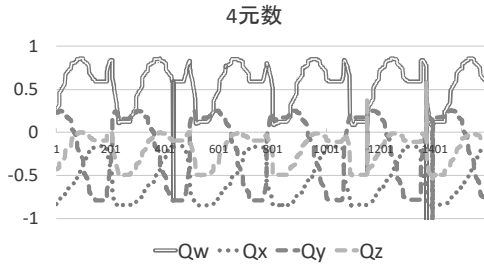


図5 測定された4元数

で、補正済みの4元数データを簡単に利用できるという利点がある。

このシステムを用いて実際に測定を行った例を図5に示す。ここでは特定の運動を連続して6回行い、その時系列の4元数をプロットしている。この図から分かるように、この図を見ただけでは、実際の物体（ここではロボットアームの先端部）がどのように動作したかは、想像がつかないであろう。しかし、今回測定された値（4元数）を用いてコンピュータで上の仮想空間では、3次元の円柱がロボットアームと同じ動作をリアルタイムで再現できていた。

ここでのサーボボータの制御プログラムは2軸のサーボボータが互いに回転しあいながら捻り合うような動作を行ったが、この動きがコンピュータ画面上の3次元モデルでも再現出来ていた。よって、ここで得られた値は定性的に正しいという事ができた。

更に、ここで測定された4元数が対象となる物体の時系列の動作が測定できているので、これがモーションヒストリーセンサとしての機能を持つ事が証明できた。

#### 4. 実際の動作測定

ここでは上記で説明したシステムを用いて実際のマウス操作に伴うモーションヒストリーを測定してみた。この時の実験図を図6



図6 a) マウスクリック測定画面

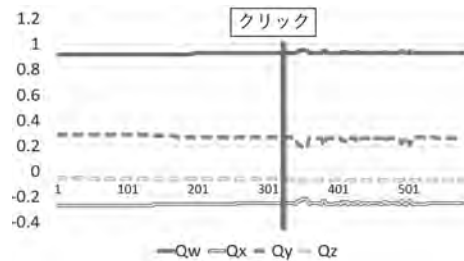


図6 b) 測定された4元数

に示す。同図のa)には測定中の画面を示しており、画面手前には人指し指の先端部に加速度センサ (MPU-6050) を張り付けてマウス操作を行っている。また同図の画面奥にはコンピュータの仮想的な3次元空間内に、円柱の3次元物体が表示されている。ここでマウス操作を行うと、この円柱もそれに合わせて動く事が確認できた。

また同図b)にはこの時の測定された4元数の測定データをプロットしている。測定されたこの図からだけでは、測定が正しく行われているかは判別がつかないが、同図a)に示したように、仮想空間内の物体の動きが実際のマウス動作と視覚的に一致していたので、客観的観点から、この測定されたデータは正しい値と思われる。

#### 5. おわりに

本研究では加速度センサを用いた単純なシ

システムでモーション測定システムを試作し、運動機能に障がいのある方のスイッチ動作の特性を知る手掛かりとなるモーションヒストリーの計測を行った。ここでは4元数を用いて、測定された値から仮想空間の3次元物体の動作として視覚的な比較で測定されたデータの正当性を確認した。

今後は実際の運動機能に障がいのある方にこのシステムを利用してもらい、モーションヒストリーの測定を行う予定である。そして測定されたモーションヒストリーから、運動特性の解析を行い、不随意運動等の影響が運動特性にどのように表れているかを確かめ、運動モデルの構築を行う。その後、このモデルを用いてスイッチ操作に伴う不随意運動の影響を除去できる入力インタフェースの開発を行い、運動機能障がいを持った方でも、ICT機器を十分に活用でき、日常生活の質が向上できるような環境の構築を目指すものである。

## 6. 謝辞

本研究は、平成29年度科学研究費補助金(基盤研究(C))「マルチモーダル・インタフェースを応用した肢体不自由児における意思表出構造の解明」(課題番号15K01460)の一部として行われたことを記して謝意を示す。

## 7. 参考文献

- i WEBカメラを用いた肢体不自由者用入力インタフェースの試作, 宮崎英一; 坂井聡; 谷口公彦; 佐野将大; 野田知智; 近藤創, 香川大学教育学部研究報告第II部, 第66巻 第1号, pp.17-24, 2016
- ii 加速度計を用いた不随運動を伴うスイッチ動作の測定, 宮崎英一; 坂井聡; 谷口公彦; 佐野将大; 野田知智; 近藤創, 香川大学教育学部研究報告第II部, 第67巻 第2号, pp.59-66, 2017
- iii 9DoF Sensor Stick Hookup Guide, <https://learn.sparkfun.com/tutorials/9dof-sensor-stick-hookup-guide>
- iv Unityの回転と向き <https://docs.unity3d.com/jp/540/Manual/QuaternionAndEulerRotationsInUnity.html>
- v 【Unity】Quaternionの使い方 <http://www.f-sp.com/entry/2017/08/30/171353>
- vi Unity <https://unity3d.com/jp>
- vii Unreal Engine <https://www.unrealengine.com/ja/features>
- viii InvenSenseのジャイロ・加速度センサMPU-6050を使う <http://n.mtng.org/ele/arduino/tutorial024.html>