

Arduino およびセンサーを用いた スポーツ動作解析システムの試作

紅林佑亮^{†1} 清水剛士^{†2} 長谷川明生^{†3}

概要: Arduino Uno および 3 次元加速度角速度センサを組み合わせ、サッカーのキックおよび陸上競技の走動作時の加速度および角速度の取得を行うための装置を試作した。その装置を選手や初心者に着用しデータ取得およびデータ解析を行った。その結果、フォースプレートやモーションキャプチャといった高価な装置を利用しなくても、現場で有効なデータ取得と簡易な動作解析が可能であることが判明した。

キーワード: Arduino, スポーツ動作解析, 3 次元加速度センサー, ジャイロセンサー, サッカー, 陸上競技

Development and evaluation of a sports motion analysis system by using Arduino and 3D accelerometer with gyro sensor

YUSUKE KUREBAYASHI^{†1} TAKESHI SHIMIZU^{†2}
AKIUMI HASEGAWA^{†3}

Abstract: A sports motion analysis system is developed by using Arduino Uno, 3D accelerometer with gyro sensor. This system is successfully used to analyze kicking motion in soccer and sprinters' motions.

Keywords: Arduino, sports motion analysis, 3D accelerometer, gyro sensor, soccer, sprint

1. はじめに

著者の紅林は中京大学在学中にサッカーの愛知 2 部リーグのクラブチームの選手として活動していた。また、清水は 2015 年度の夏のインカレの優勝選手で、陸上 10 種競技のオリンピック強化選手の一人である。このような経緯から、スポーツ動作の正確な計測と解析に興味を持っていた。一般にスポーツでの動作解析には高速度カメラ、モーションキャプチャシステムおよびフォースプレートが使われることが多い。これらの設備は高価な上に設置場所に向かないと利用できず、だれもが使えるというものではない。そこで、筆者らはフィールドで使えてスポーツ動作のデータが取得可能なコンパクトでウェアラブルなデータ収集装置を組み込みコンピュータおよび小型の 3 次元センサの組み合わせ実現することを目指して試作した。その試作システムを実際に着用しデータ取得実験およびデータの解析を行った。その結果、このような装置が現場においてコーチング等に有用と考えられる成果を上げた。

2. システムの設計と制作

今回のシステムは 3 次元加速度・ジャイロセンサーを利用し、ウェアラブルかつスポーツの練習の現場で活用できるものを実現することである。なお、このシステムはサッカーのキック実験およびランニング実験で共通のものを利用する。

(1) システムの要件

現場での活用を目指すこと、ウェアラブルなことから本システムに対する要求要件は以下のようである。

- 単体でデータ収集装置として動作すること
- 運動に差し支えない大きさ質量であること
- 外部電源を要しないこと
- 電源を入れるだけで、すぐに利用できること
- 多くのプログラミングを要しないこと

^{†1} エスツーアイ株式会社
S2I

^{†2} NTN 株式会社
NTN Corporation

^{†3} 中京大学
Chukyo University

「電源を入れるだけで、すぐに利用できること」および「多くのプログラミングを要しないこと」という条件は、利用現場を想定してのことである。他の条件は、運動を妨げないためのものである。データの記録については、Bluetooth や WiFi でパーソナルコンピュータに実時間でデータを送信する案と SD カード等に記録する案とを検討し、装置の電力使用量、「単体で動作すること」、および実装の容易さからマイクロ SD カードに記録することとした。

(2) システム構成と使用法

センサとして InvenSense 社の MPU-6050 を搭載した GY521 ボードを使用する。取得可能なデータのうち、3次元加速度と角速度のみを今回のシステムでは利用する。データの収集と記録制御には当初 Raspberry Pi のようなボードコンピュータを考えていたが、扱いやすさ、プログラミングの容易さ、電源の投入やりセットですぐ使えるという点から Arduino Uno を選択した。

データ収集システムは、Arduino Uno および小型のブレッドボードを用いて構成した。ブレッドボード上には、センサおよびマイクロ SD カードリーダーを配置し、Arduino との配線にはジャンパ線を用いた。小型化のために、Arduino 基盤の上にセンサ等を搭載したブレッドボードを重ねて配置した。図 1 に組み上げたシステムの写真を示す。システムは台所用の小型プラスチックケースに収め、装着用のベルトを通す。システムの電源は Arduino の USB 端子から供給することにし、電源としてスマートフォン充電用のバッテリーを使用した。バッテリーはウエストポーチやジャージのポケットに入れ、装置とは USB コードで接続する。図 1 に装置の全景を示した。

図中で、ブレッドボードのほぼ中心に設置されているのが GY521 ボードで、左にマイクロ SD リードライタモジュールを配置した。ケースの左の切り欠きは電源およびスケッチ書き込み用の USB ケーブル接続用で、左上の切り欠きはリセットボタンを操作するためのものである。スケッチは、電源接続後にリセット操作により実行され、データ収

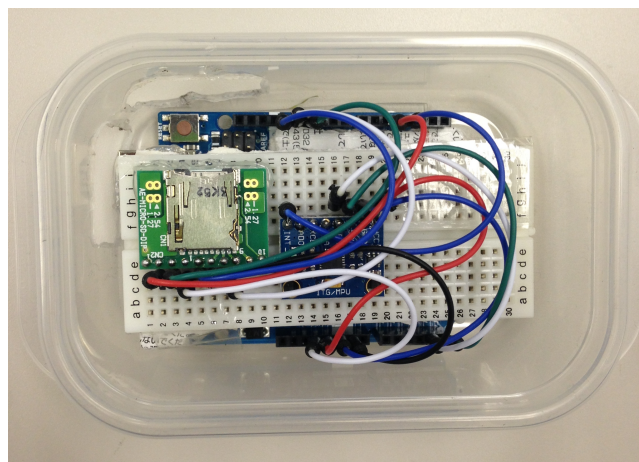


図 1 装置の組み上げ図

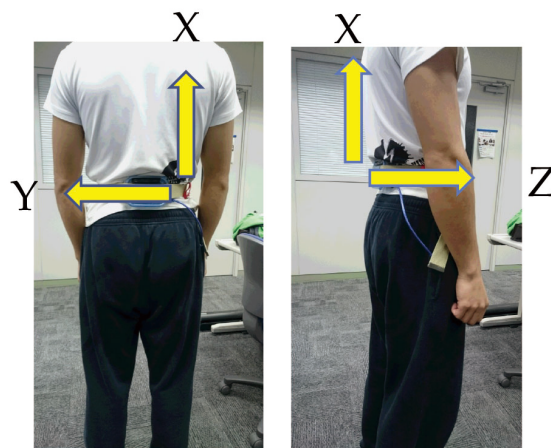


図 2 走動作解析での装置装着図

集可能となる。

以下にランニングでの走動作解析およびサッカーのキック動作解析に分けて記述する。GY521 では、センサの感度はソフトウェアで選択可能であるが、これらの実験では、予備実験から最大加速度 2G 設定に置いてレンジ不足であることが判明したのでレンジを調整して実験を行った。また、データ取得感覚は 100 ミリ秒とした。また、データは SD カードに CSV 形式で記録する。

3. 走動作の解析

ここでは走動作解析に関する実験について記述する。測定は本システムを装着して 30m 走を実施することで行った。

3.1 ランニングの計測と解析

短距離走でのランニング動作についての実験の際の装置取り付けを図 2 に示した。この取り付けでは、センサの X, Y, および Y 軸を図中に矢印で示した。センサ感度は 6G に設定した。本実験では、陸上部員 3 人に各 4 回の試技を行ってもらいデータを取得した。ここでは、取得したデータから作成した図の一部を示す。

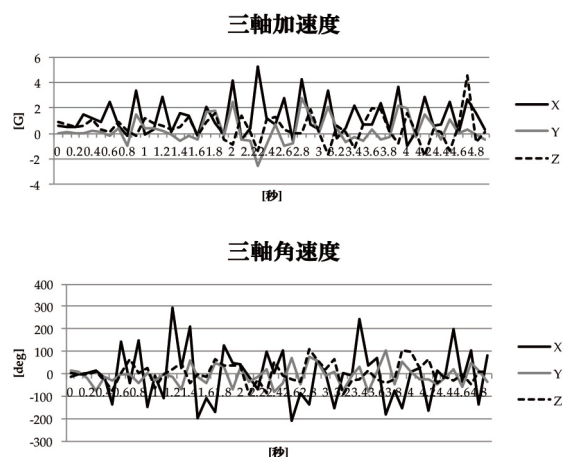


図 3a 速い走者 (4.85 秒) のデータ

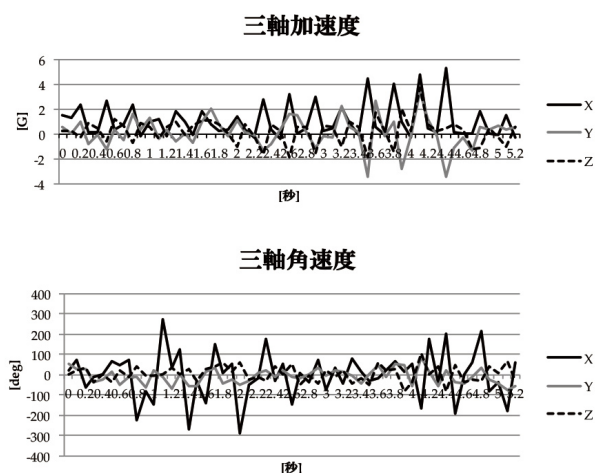


図 3b 遅い走者(5.14 秒)

図 3a には、速い走者の図 3b には遅い走者のデータを示した。速い走者では、上下加速度の最大値が計測時間の中間に現れている。一方、遅い走者の場合にはゴール直前に上下加速度の最大値が計測された。速い走者は時間的に中間地点までで加速を終えてトップスピードに達して、そのままゴールを走りぬけるというような走りをするのがデータから想定される。それに対して遅い走者は加速のペースが遅くゴール直前に力を入れているように読み取れる。横方向については、遅い走者の方が加速度の振れ幅が大きいことが読み取れる。このことから遅い走者は無駄な動きをしていることが推測される。

また、加速度や角速度の変化に規則性が見られそうなことから、清水の 4 回の試技のデータをつなぎ 256 点になるように 0 パディング処理を行ったものに対してフーリエ解析を行った。その結果を図 4 に示す。

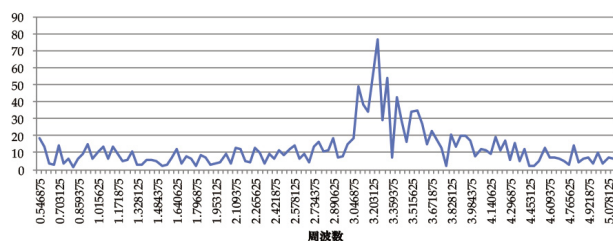


図 4 角速度のフーリエ解析結果

走動作時間が 21.09 秒で、同時に撮影した映像から歩数は 68 歩なのでピッチは 3.22 歩/秒が得られ、図 4 の結果とマッチしている。

一方で、ストライド走法ではなくピッチ走法の走者について、データ取得が行えないという症状が繰り返し発生した。これは、走動作時の衝撃で試作装置の配線の不具合が発生したことによると考えられる。

今回の実験では、被験者は経験者のみなので、今後未経験者も含めたデータ取得と解析が必要である。また、被験者数を増やすことも重要である。

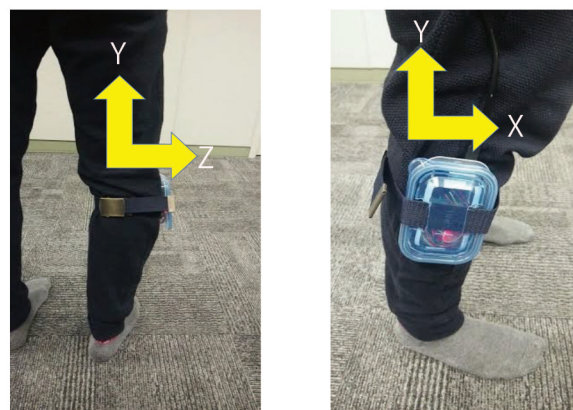


図 5 キック動作実験での装置装着

4. サッカーのキック動作解析

サッカーのキック動作解析実験では、インステップキック（足の甲でボールを強く蹴ること）動作について測定した。装置の装着の様子およびセンサーの軸の向きを図 5 に示す。感度設定は、このセンサーの最大レンジの 16G とした。本実験では、被験者としてサッカー未経験者 3 名と現役競技者 3 名の 6 名についてデータを採取した。

(1) 実験条件および環境

各被験者は、本学サッカー場で装置を装着した状態でゴールに向かってインステップキックをする。ゴールまでの距離は 10m とし、助走距離は 5m 以内とした。本装置でのデータ採取とともに Adidas® の Adidas Snapshot[1] を用いてキックのシーンを撮影した。このソフトでは、撮影条件をあらかじめ制御することで、蹴られたボールの速度と角度および飛距離が算出できる。

図 6 に Adidas Snapshot で撮影した図を示す。



図 6 キック実験の様子

(2) 取得データ

上記の実験から得られたデータの 1 例を表 1a および表 1b に示す。表 1a は経験者のデータの部分で、表 1b は初心者のデータの部分である。

表 1a 取得データ（経験者部分）

時間	加速度X	加速度Y	加速度Z	角速度X	角速度Y	角速度Z
1819	-0.62	-0.45	-0.57	-15.67	279.82	-410.55
1920	-2.71	2.5	0.93	6.4	-65.3	-161.46
2018	0.14	2.49	1.71	-129.45	-157.74	-616.52
2119	0.24	5.53	-0.44	-193.9	0.24	-230.18
2220	-16	-10.4	2.01	477.01	-669.33	1688.29
2319	-3.29	0.4	1.72	480.67	-487.62	-72.74
2418	-1.08	-0.2	0.54	14.21	198.78	17.5
2520	-0.53	-0.37	0.22	27.13	87.32	15.73
2619	-2.1	4	-0.29	129.94	-69.39	-242.62

表 1b 取得データ（初心者部分）

時間	加速度X	加速度Y	加速度Z	角速度X	角速度Y	角速度Z
1818	-0.63	0.76	-0.33	27.26	-27.56	-59.51
1920	-0.7	0.99	-0.59	-1.4	-13.05	-42.74
2041	0.82	2.32	0.37	-13.9	47.99	-79.45
2119	1.09	1.47	-0.59	67.32	131.28	-125.1
2233	-1.4	1.1	-1.23	-177	57.62	225.98
2319	-1.87	-0.79	-0.59	-153.6	-17.99	392.99
2419	-1.64	0	-1.55	30.12	-157.8	-56.95
2524	-0.37	1.54	0.58	-109.6	-43.35	-115
2619	1.96	2.33	-0.26	13.48	-112.3	-65.91

得られた結果の一部をグラフ化して示す。図 7a および図 7b は、それぞれ初心者の加速度および角速度の測定値のグラフである。経験者の同様のグラフは同じように図 8a および図 8b に示した。

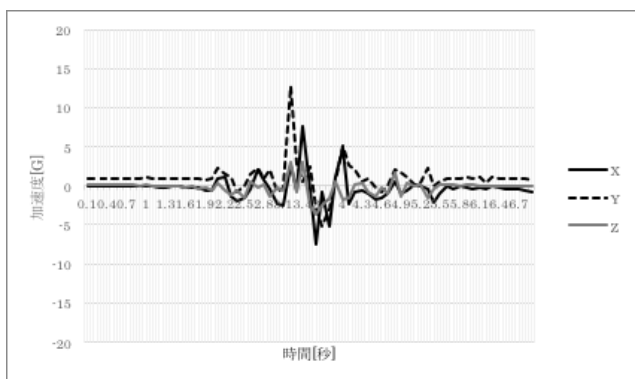


図 7a 初心者加速度データ

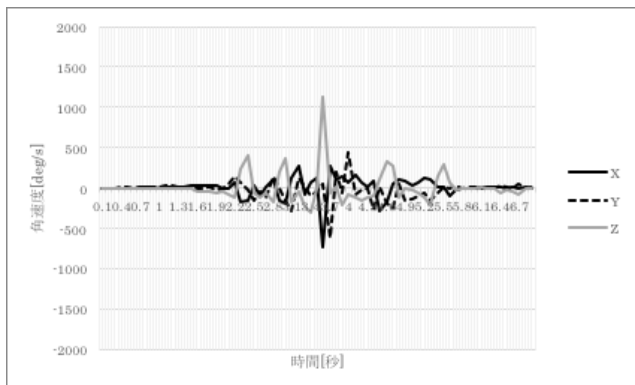


図 7b 初心者角速度データ

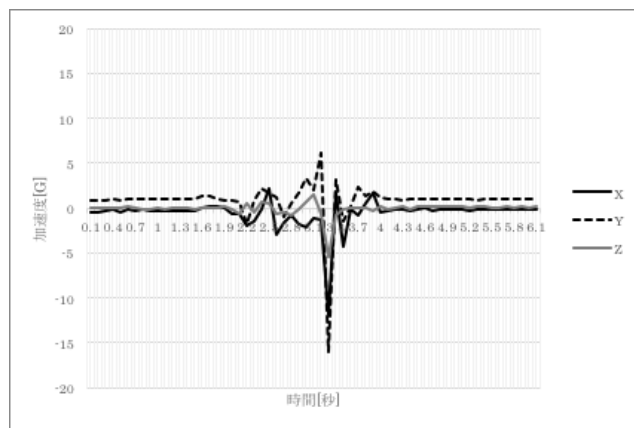


図 8a 経験者加速度データ

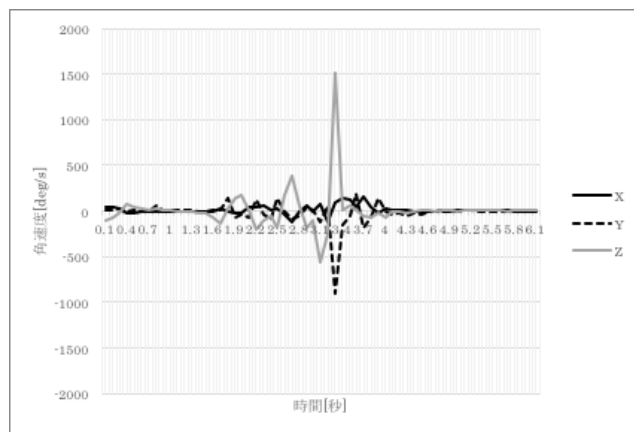


図 8b 経験者角速度データ

表 2a 初心者の Adidas Snapshot データ

被験者	速度[$\frac{km}{h}$]	角度[°]	飛距離[m]
被験者 1	53	10	7
被験者 2	51	14	9
被験者 3	55	16	11

表 2b 経験者の Adidas Snapshot データ

被験者	速度[$\frac{km}{h}$]	角度[°]	飛距離[m]
被験者 1	81	8	13
被験者 2	82	4	7
被験者 3	78	6	10

また、同時に Adidas Snapshot で取得したデータを表 2a および 2b に示した。

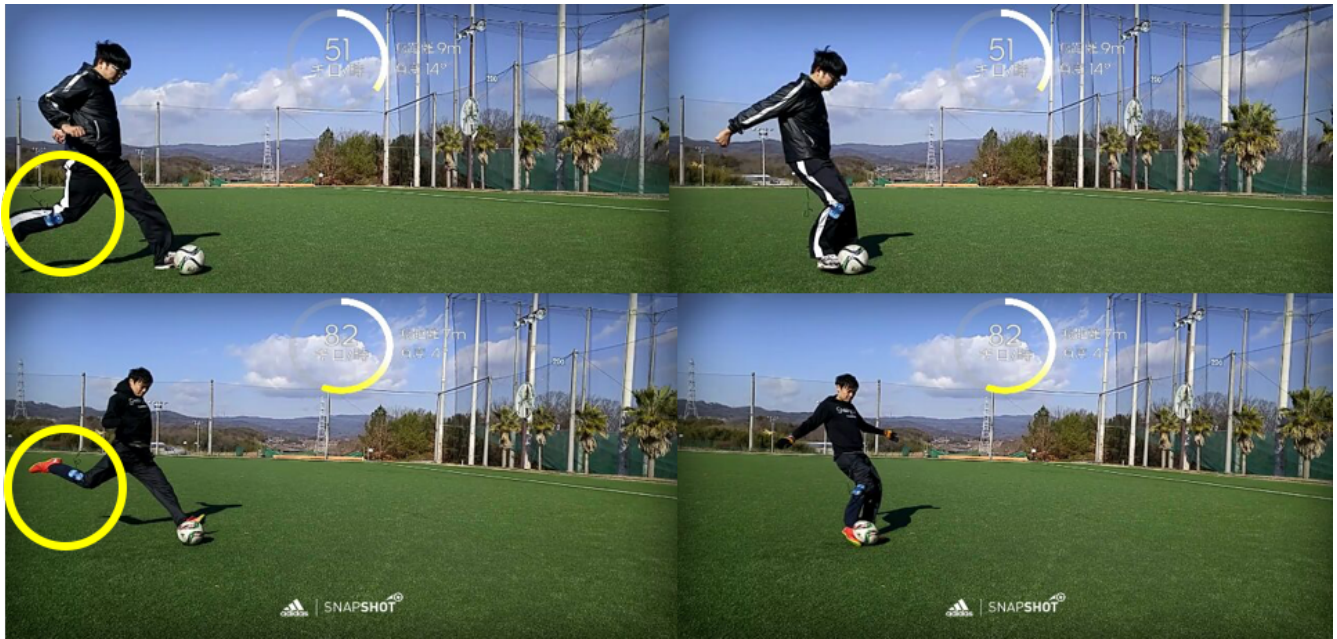


図 9 Snapshot 画像による初心者と経験者の比較

(3) データの解釈

図 7a,b および図 8a,b の比較から、以下の事柄が読み取れる。

- 初心者と経験者で加速度および角速度の最大値に大きな差がある。
- 初心者と経験者の加速度値から経験者はキック前に大きく力を入れて後方に足を引き上げていることがわかる。また、角速度データから、経験者の足の動きが大きいことも読み取れる。
- 角速度データから経験者はキックの瞬間にボールに向かって大きく足が動いていることがわかる。一方初心者は、その後も無駄に足が動いていることが読み取れる。

これらのことから、経験者は力学法則に則った合理的な動作をとっていることがわかる。

図 9 に Snapshot での初心者の映像と経験者のそれを比較して示した。図中で、上の画像が初心者のもので下が経験者のものである。図の左はキック前の映像で、右がキックの瞬間の映像である。

この図から、経験者では、キック前に引き足が、ほぼ後方水平の位置まで上がっているが、初心者の引き足は上がっていないことがわかる。また、足のひねりについても同様のことがいえる。Snapshot の画像と本装置で取得したデータは矛盾しない。

また、Snapshot から得られた結果ともマッチしており、データは初心者と経験者のボールの速度差およびボールの角度の違いをよく説明している。

(4) 本実験の問題点

今回の実験で映像を見ていると初心者と経験者では上半身の動作にも差異がある。上半身にも本装置を取り付けて測定できると、さらに有用なデータが得られたのではないと思われる。

今回は入手できなかったが、センサー入りのサッカーボールと併用できると、トータルでキックの力学が解析できたであろう。

5. まとめ

走動作の測定およびサッカーのインステップキック動作の測定および解析結果から、本装置の有用性が確認できた。特に、インステップキックの動作について、未経験者と経験者の身体動作の差異がデータから明確に描き出せたことは重要である。走動作解析については、被験者数や対象を追加しての実験が不可欠であるが、現状でも速い走者とそうでない走者の差異は検出できそうである。

本研究で試作した装置は、Arduino Uno、センサー、およびモバイル充電電池とケース周辺機材のみで、5000 円程度で実現可能な安価なものであるが、スポーツ現場でデータを採取して個別のコーチング等に応用可能である。

ブレッドボードでの実装のためか、ランニングでの実験において不備が発生したが、ユニバーサル基板やプリント基板上に半田付けで実装すれば問題ないと考えられる。

本格的な利用には、装置の小型化と電源の小型化が必要とされるが、コインの大きさの Arduino や 3.3V 動作のものもアナウンスされており、電源を含めても現在の試作品の体

積で 8 分の 1 のものが実現できそうである。

なお、本装置はスポーツの現場での動作解析のみならず、工場等で優秀な技能者の身体動作の解析等にも応用できると思われる。

本研究は、中京大学情報理工学部の 2015 年度の卒業研究として実施したものである。

参考文献

- [1]Adidas, <http://adidas.jp/blog/20130909-161504.html>
- [2]清水剛士, Arduino Uno を用いた加速度センサによる走動作解析, 2015 年度中京大学情報理工学部卒業論文, 2016 年 1 月
- [3]紅林佑亮, サッカーのインステップキックに関する動作の解析, 2015 年度中京大学情報理工学部卒業論文, 2016 年 1 月