

投球動作解析のためのポータブルデータロガーの開発

Development of a portable data logger for pitching motion analysis

北村政嗣*, 佐川貢一*

Seiji Kitamura*, Koichi Sagawa*

*弘前大学

*Hirosaki Univ.

キーワード： 装着型センサ (body-mounted sensor), 携帯型データロガー (portable data logger), ワイヤレス (wireless), 投球 (pitching), 加速度 (Acceleration), 角速度 (Acceleration)

連絡先： 〒 036-8560 弘前市文京町 1 番地 弘前大学大学院 理工学研究科
北村政嗣, Tel./Fax.: (0172)39-3691, E-mail: h09gs851@stu.hirosaki-u.ac.jp

1. 緒言

投球障害はスポーツ障害の 1 つであり, その主な原因は適切ではない投球動作である。投球障害を予防するためには, 適切な投球動作の指導が不可欠である。投球動作の指導には, 腕の軌道推定や関節トルクの算出などを行う動作解析が有用である。しかし, 投球動作は高速であり, 市販のビデオカメラでは計測が困難であるため, 専用の計測装置が必要となる。

現在, 投球動作の解析には主に光学式動作解析装置が利用されている。しかし, 計測に赤外線を使用するため屋外で使用できないことや, 取扱に専門的知識が必要があることなどが問題となり, 普及の妨げとなっている¹⁾。このため, 加速度センサとジャイロから構成されるセンサシステム (3D センサ) を用いた装着式動作解析装置が研究されている。この方法は, 3D センサで計測された加速度や角速度を用いて数値計算を行い, 動作中の姿勢や関節角度変化, 軌道, 関節

トルクなど算出するもので, 屋外で使用できることや, 取扱が比較的容易であることが長所である²⁾。しかし, これまで使われている 3D センサは, AD コンバータを内蔵したデータ記憶用コンピュータと直接接続されているため, ケーブルが拘束感の原因となり投球動作に悪影響を及ぼすことが問題であった。また, 投球動作のような高速動作では, 加速度や角速度の変化の幅が広いと, 測定レンジの異なる 2 種類のセンサが必要となることから, 計測するチャンネル数の増加により, ケーブルの幅が更に太くなり, 拘束感が増加することも問題である。これらの問題を解決するためには無線タイプのデータ収集システムの利用が有効であるが, さらに, 無線通信を用いたサンプリング周波数 1[kHz] による多チャンネルでのデータ収集が可能な小型データログシステムほとんどない。

そこで本報告では, Fig. 1 に示すような, 多チャンネルで, ケーブルを使用しない複数のポー

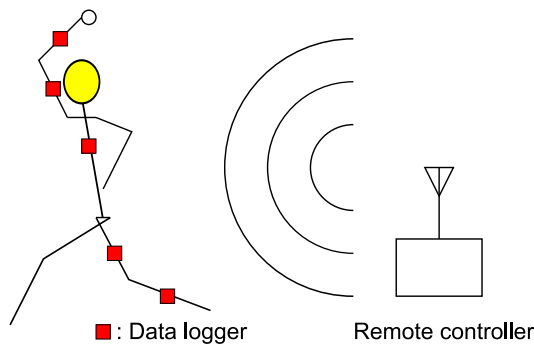


Fig. 1 ポータブルデータロガーのイメージ

タブルデータロガーシステムを提案し、その適応性を評価する。データロガーの制御は近距離無線ネットワークの世界基準企画の一つであり、低消費電力、低コストの無線通信を可能とする Zigbee によって行い、センサで計測したデータを microSD カードに記録することで、ワイヤレス化を実現し、拘束感の低減を実現する。また、遠隔制御を実現するリモートコントローラを設計することで、屋外での計測の容易化を実現する。

2. 装着式動作解析装置の概要

装着式動作解析装置は、加速度センサとジャイロ、センサからの信号を測定・保存するマイコン、メモリ、無線通信モジュールによって構成される装着型データログシステムと、センサで計測されたデータを処理・解析するコンピュータシステムから構成される。計測された加速度と角速度を用いて数値計算を行うことで、動作中の 3 次元姿勢や関節角度変化、関節トルクなどを算出する。

投球動作のような高速動作の場合、光学式動作解析装置のフレームレートに相当するサンプリング周波数は 1[kHz] 以上という要求がある。また、動作に影響を与えないためには 3D センサが小型・軽量である必要があり、ケーブルによる拘束感なるべく抑えられなければならない。これら全ての要求を満足するために、次のようなポータブルデータロガーを開発する。まず、

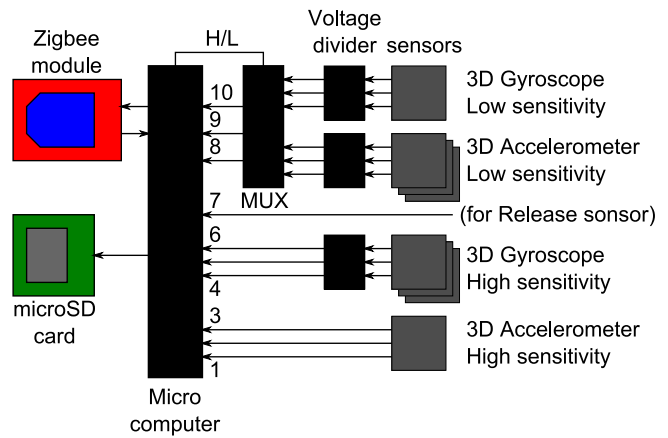


Fig. 2 ポータブルデータロガーの構成

計測開始の信号は無線通信モジュールによって送信される。3D センサによって計測されたデータはマイコンによって AD 変換されて取り込まれる。取り込まれたデータはバイナリ形式に変換され、microSD カードに書き込まれる。計測終了の信号を受信したら動作を終了する。

3. ポータブルデータロガーのハードウェア構成

ポータブルデータロガーのハードウェア構成を Fig. 2 に示す。前節で述べた機能を実現するデータロガーを開発するため、マイコンは Microchip Technology 社の dsPIC33FJ128GP802 (以下 dsPIC) を使用する。この dsPIC では、12 ビットの AD 変換に使用できるピンは 10 本であり、RAM は 16384 バイトである。無線通信モジュールは ZigBee 規格に準拠した MaxStream 社の XBee 802.15.4 である。

dsPIC33 シリーズは電源電圧が 3.3[V] であり、5[V] の電源を使用するセンサの電圧を直接 AD 変換することはできない。また、センサの出力インピーダンスは無視できない。そのため、センサの出力端子にボルテージフォロアを通した後で抵抗により分圧し、3.3[V] 以下に電圧を低下させる必要がある。

加速度センサやジャイロは 3 軸のデータを計測するため、1 種類あたり 3 本の出力となる。

また、広範囲で加速度や角速度を検出するセンサは検出感度が低く、ノイズによる影響が大きいため、検出範囲の広いセンサと検出感度が高いセンサを併用する必要がある。このことから、使用する 3D センサは 2 種類の加速度センサと 2 種類のジャイロを使用する。加速度センサは高感度タイプ (MMA7261QT, Freescale Semiconductor 社, 検出範囲 5[g], 感度 480[mV/g], 3 軸低加速度センサ) を 1 個と、低感度タイプ (ADXL193, ANALOG DEVICES 社, 検出範囲 120[g], 感度 18[mV/g], 1 軸高加速度センサ) を 3 個使用する。ジャイロは高感度タイプ (ENC-03RC, 富山村田製作所, 検出範囲 300[deg/sec], 感度 0.67[mV/deg/sec], 1 軸圧電振動ジャイロ) 3 個と、低感度タイプ (MG3-01Ab, MicroStone 社, 検出範囲 4000[deg/sec], 感度 0.2[mV/deg/sec], 3 軸ジャイロセンサ) を 1 個使用する。これらのセンサの出力数の合計は 12 本となる。一方、使用する dsPIC では、AD 変換用の入力ピンを 10 本しか持っていない。そのため、6 入力 3 出力のマルチプレクサを使用し、仮想的に入力を 12 本以上にする。ここでは、マルチプレクサは dsPIC の AD 変換入力チャンネル 8,9,10 に接続し、入力を 13 本とする。

センサで計測された電圧データは dsPIC によって 12 ビットで AD 変換されるため、12ch のデータを 1[kHz] サンプリングで取得する場合のデータ量は 1 秒間あたり 24000 バイトとなる。これを無線で通信する場合、スタートビットやストップビットなどを考慮すると、転送速度は 240[kbps] 以上必要であるため、AD 変換したデータを無線で逐次送信するのは困難であると考え。このため、microSD カードにデータを書き込む方法を使用する。

これまで述べたハードウェア構成の回路を実際に組み立てた試作機の写真を Fig. 3 に示す。基板中央に dsPIC を配置し、microSD カードにデータを記録するためのカードライタは基板右上、無線通信モジュール XBee は基板右下に配

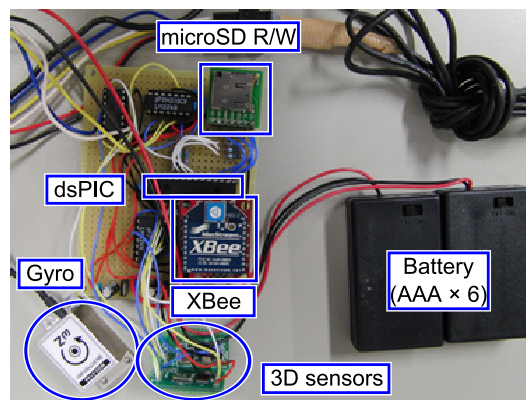


Fig. 3 開発したデータロガーの試作機

置した。写真左下にあるのがジャイロセンサである MG3-01Ab で、その右隣にあるのは他のセンサを実装したセンサユニットである。また、写真右側にあるのは単 4 電池が 3 本入る電池ケースであり、これを 2 個直列に接続し、3 端子レギュレータを使用することで 5[V] や 3.3[V] の電圧を生成する。現状では写真で示す状態であるが、今後は表面実装部品などを利用することで、50[mm]×50[mm]×20[mm] 以下の大きさを目指す。

4. ポータブルデータロガーのソフトウェア構成

microSD カードへの書き込みは Microchip Technology 社の File I/O Functions Using Microchip's Memory Disk Drive File System Library を利用する。このライブラリを使用することにより、microSD カードに FAT 形式でデータの読み書きを行うことが可能となる⁴⁾。

データロガーは、計測開始信号を受信すると、UART の割り込みにより動作を開始する。はじめに microSD カードの初期化を行い、計測データを記録するファイルを開き、実際に計測を行うタイマー割り込みを開始させる。タイマー割り込みは 1[ms] 毎に行われる。まず、チャンネル 1 から 10 まで順に AD 変換を行う。この時、dsPIC から出力されるマルチプレクサの制御信

号をLレベルとすることで、マルチプレクサを通過しないチャンネル0から7までに接続されたセンサの出力と、マルチプレクサの入力に接続されている低感度タイプの加速度センサの出力を読み込む。次に、マルチプレクサの制御信号をHレベルとし、マルチプレクサの出力に接続されているチャンネル8,9,10をAD変換することで、マルチプレクサに入力されている低感度タイプのジャイロの出力を読み込む。この方法を用いることで、dsPIC単体では10本であるAD変換用の入力を仮想的に13本に増やすことができる。AD変換は12ビットで行い、情報量の圧縮は行わず、2バイトのバイナリデータとしてバッファに記録する。

microSDカードに書き込む計測データを一時保存するバッファは、7000バイトのものを2個使用する。一方のバッファが埋まったら、他方のバッファに記録しながら、空き時間を見つけてmicroSDカードに計測データを書き込む。

データロガーが計測終了信号を受信すると、タイマー割り込みを停止させて計測を終了する。ここまでの一連の流れをFig.4に示す。

計測開始信号や計測終了信号は1文字の半角英字を使用しているため、リモートコントローラのハードウェア及びソフトウェア設計は、スイッチやボタンを操作することでdsPICから1文字の半角英字を送信するような回路の設計となり、容易に実現できると考えられる。

データロガーの開発環境は、Microsoft Windows XP上でMicrochip Technology社のMPLAB IDEを使用し、C言語で記述したプログラムをMPLAB C30 Cコンパイラによってコンパイルする。XBeeの設定はDigi International社のX-CTUによって行う³⁾。

5. 動作実験

複数のデータロガーを用いて同時に計測を行い、開発したデータロガーの同時サンプリングに

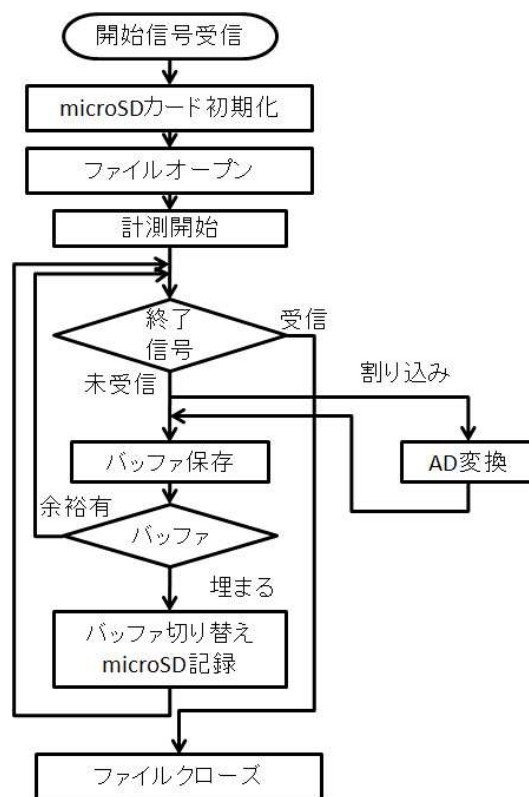


Fig. 4 フローチャート

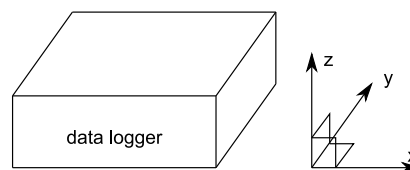


Fig. 5 データロガーの座標系

関する適応性を評価する。スタート信号はTera Term上でキーボードの's'を押すことにより、USBで接続されたXBeeから送信される。今回はセンサのキャリブレーションは行わず、データシートに記載されている感度とオフセット電圧を用いることでセンサの出力電圧から加速度や角速度に変換する。

5.1 単体での動作実験

はじめに、データロガー単体での動作確認を行う。データロガーの座標軸の取り方はFig.5のように定義する。計測する動作は次の通りである。まず、机に置かれたデータロガーを持ち上げ、x軸回りに+90度だけ回転させて、机に2,3秒ほ

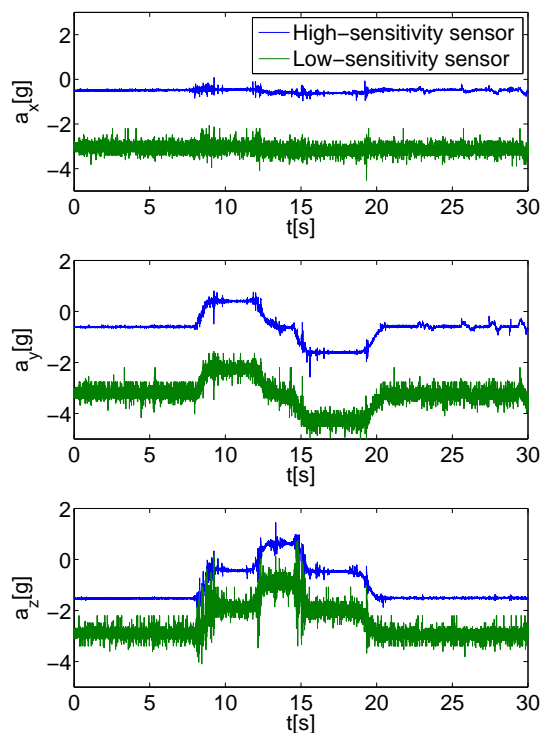


Fig. 6 単体での加速度の計測

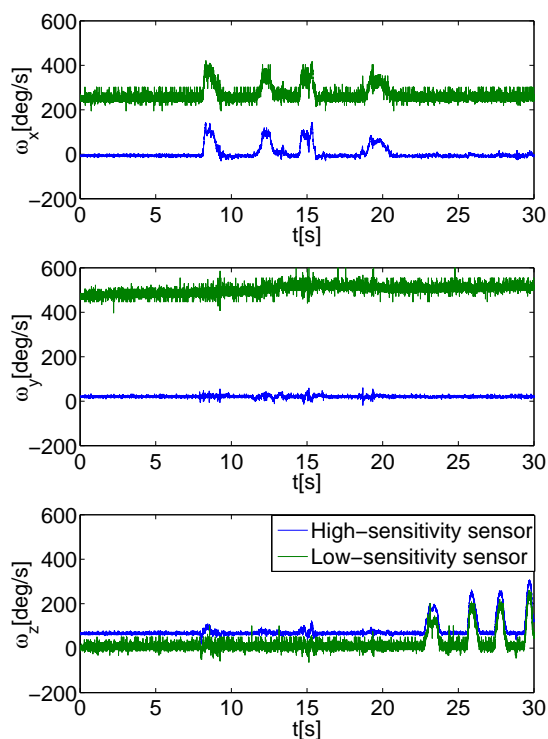


Fig. 7 単体での角速度の計測

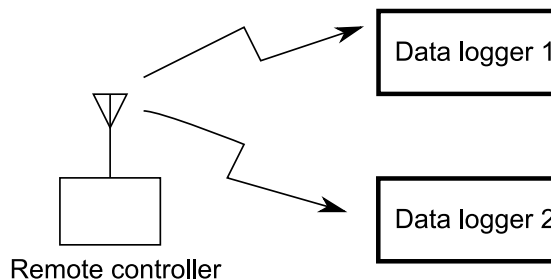


Fig. 8 複数台での動作実験のイメージ

ど置く。このような動作を4回行い、1回転させる。同様にして z 軸回りにも1回転させる。このような動作を行った時の3軸加速度 a_x, a_y, a_z をFig. 6, 3軸角速度 $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ をFig. 7に示す。 x 軸回りの角速度 ω_x , z 軸回りの角速度 ω_z の順で4回ずつピークが発生し、そのタイミングで y 軸方向の加速度 a_y と z 軸方向の加速度 a_z が変化していることから、単体で正常に動作していることが確認できる。また、高感度センサの波形のほうが、低感度センサの波形よりもノイズの影響が少ないことがわかる。

5.2 複数台での動作実験

次に、Fig. 8のように、2台同時に使用した場合について調査する。ここでは、2台のデータロガーの姿勢(センサの座標軸の方向)を一致させ、2台を重ねたまま動作させることで、2台の間で計測される時間の差を調べる。計測動作は、単体での実験と同じ要領で x 軸、 y 軸、 z 軸の順に回転を行う。microSDカードの容量はどちらのデータロガーとも同じ1GBのものを使用した。

高感度センサで計測された加速度をFig. 9, 高感度センサで計測された角速度をFig. 10に示す。ここでグラフの線の色は別のデータロガーで計測されたデータを示している。単体の実験と同様に、加速度や角速度が計測されていることを確認できるので、2台同時に使用可能であるといえる。

次に、3台の間の時間差を調べる。ここでは

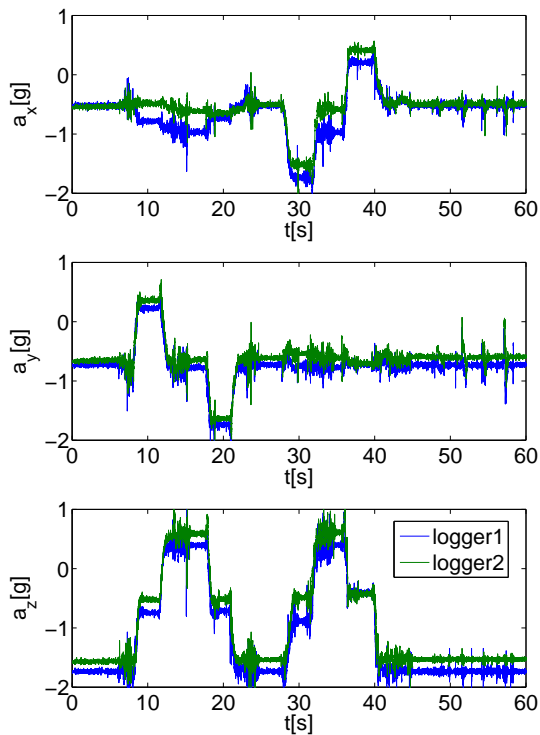


Fig. 9 2台同時での加速度の計測

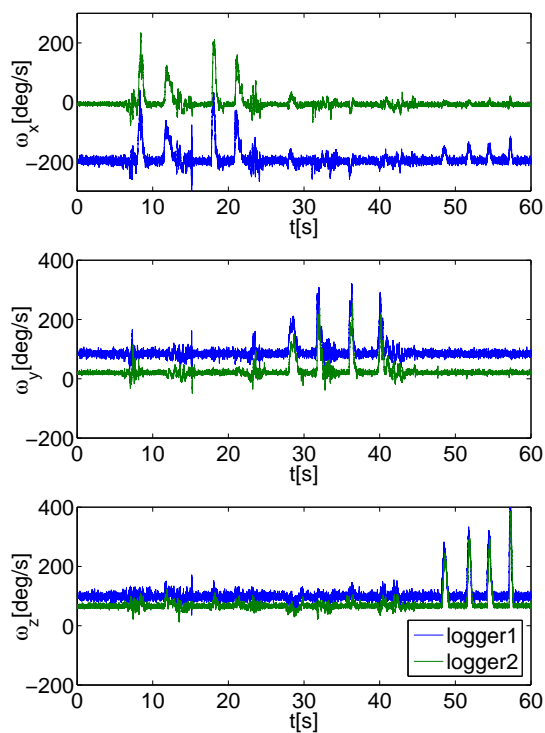


Fig. 10 2台同時での角速度の計測

3台のデータロガーをそれぞれロガー1, ロガー2, ロガー3と呼ぶことにする。microSDカードは、ロガー1ではKingston社の2GB, ロガー2とロガー3ではA-DATA社の1GBのものを使用する。また、投球時のリリース時刻を測定するリリースセンサの代わりに、シグナルジェネレータを接続し、全てのデータロガーに同一の電圧波形を入力した時の計測波形を調べる。シグナルジェネレータで生成した波形は0[V]から3[V]まで変化する1[Hz]ののこぎり波である。

計測された電圧波形を Fig. 11 に示す。Fig. 11 上は microSD カードへの記録開始時刻が等しいと仮定した場合であるが、ロガー1は他のロガーと比べて500[ms]以上先に波形が表れている。同じ実験を5回行ったが、ロガー1で計測された波形は他のロガーで計測された波形よりも常に500[ms]から600[ms]だけ早いことが確認された。実際には同一の波形であるから、このことはロガー1の計測開始時刻が遅れていることを意味する。この主な原因として考えられるのは、microSDカードの容量が異なるため、カードの初期化にかかる時間に差が現れたということである。一方、Fig. 11 下は microSD カードへの記録終了時刻が等しいと仮定した場合であるが、5回の実験で3回が40[ms]以内の差に収まり、最大でも200[ms]の差であった。また、5回の実験で3回、ロガー2とロガー3のデータ数が一致したが、ロガー1と他のロガー間でのデータ数の一致は見られなかった。

6. 考察

複数のデータロガーを同時に使用した場合、複数のデータロガーはほぼ同時刻に測定を開始・終了し、センサで計測したデータを取得できたことから、今回開発したデータロガーの回路及びプログラムを用いることで投球動作を計測できる可能性が高いことが分かった。しかし、複数のデータロガー間で、計測開始時刻、計測終了

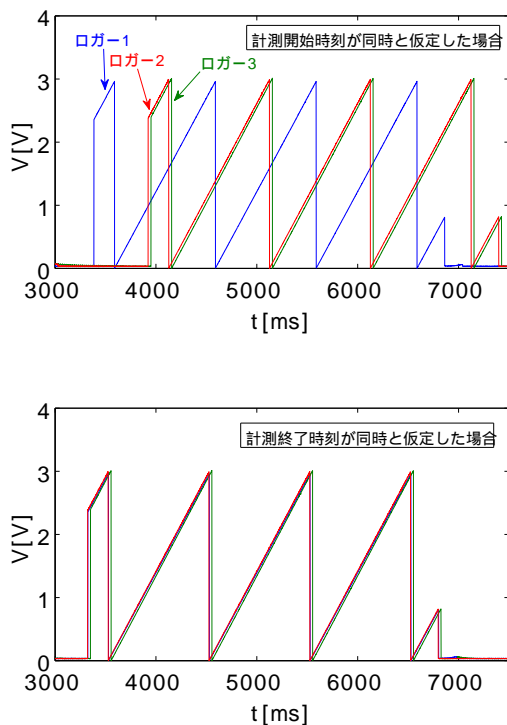


Fig. 11 データロガー間の時間差

時刻のどちらも一致していないという問題がある。計測開始時刻が遅れる主な原因は上で述べたように、microSD カードの初期化に要する時間がカードの容量に依存するからである。そのため、初期化を行ってから改めて計測開始信号を送る方法を検討する必要がある。また、計測終了時刻が一致しない原因として推測されるのは、dsPIC 側が受信成功したことをコンピュータに知らせるために無線通信を行っていることである。1 台の XBee(親機) から複数の XBee(子機) にブロードキャストした場合、子機に到着する信号の子機間での時間差を測定した結果、1[ms] 以下の値となった。一方、この時の親機と子機間の通信時間は 4[ms] 程度であった。このことから、数十ミリ秒の時間差の原因は、親機と子機の通信が何度か発生していることが考えられる。そのため、センサが動作しているか確認する必要がある場合には、XBee による無線通信を使わずに、LED を点灯させるなど別の方法

を選択する必要がある。

7. 結言

本研究では、投球動作解析に使用するためのポータブルデータロガーシステムを開発した。開発したデータロガーを使用することにより、投球動作計測時に拘束感を与える原因であるケーブルがなくなり、通常の投球動作への影響の少ない計測を行うことが期待される。

今後の課題は、データロガーの小型化、軽量化である。設計した回路を表面実装で実現することで、実用的な規模まで回路が小型化されることが期待できる。そして、開発したデータロガーを用いた投球動作解析のソフトウェアの開発を行う。最終的には、投球動作における上肢と下肢の運動連鎖の測定を行い、投球障害の予防や治療のために必要となる情報を提供することや、投球動作を評価する新たな指標を発見することを目標とする⁵⁾。

参考文献

- 1) 田中 聡, 大坪奈美子, 中村康雄, 中村真里, 林豊彦, 信原克哉: モーションキャプチャ・システムを用いた上肢運動測定のための最適なマーカ貼付法, 信学技報, MBE2003-60, 13/18 (2003)
- 2) Hideharu KODA, Koichi SAGAWA, Kouta KUROSHIMA, Toshiaki TSUKAMOTO, Tazataka URITA and Yasuyuki ISHIBASHI: 3D Measurement of Forearm and Upper Arm during Throwing Motion using Body Mounted Sensor, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, 4-1, 167/178 (2010)
- 3) <http://www.digi.com/support/productdetl.jsp?pid=3352>
- 4) http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=1824&appnote=en532040
- 5) Masaya HIRASHIMA, Katsu Yamane, Yoshihiko Nakamura and Tatsuyuki Ohtsuki: Kinetic chain of overarm throwing in terms of joint rotations revealed by induced acceleration analysis, Journal of Biomechanics, 41-13, 2874/2883 (2008)