

野球選手の投球動作変化を用いた疲労度取得手法の提案 -投球障害予防支援システム構築に向けて-

西 山 勇 毅^{†1} 瀧 本 拓 哉^{†2} 米 澤 拓 郎^{†3}
中 澤 仁^{†3} 高 汐 一 紀^{†1} 徳 田 英 幸^{†1}

野球では崩れた投球フォームでの投球や過度の練習などにより、投球障害(肩や肘への怪我)が多く発生する。特に野手は自分の練習量を意識せずに練習することが多く、主観による体調管理しか行われていない。既存研究では、スポーツ障害の防止、投球パフォーマンスの向上などを目的として、三次元モーションキャプチャーや動画解析などによる投球動作の分析が行われてきた。しかし、これらの研究は実際の練習での使用を想定していないため、場所の制限や解析の時間的なコストなどの問題点がある。本研究では、野球選手の野手を対象に体に装着したウェアラブルなセンサを用いて客観的な投球疲労の取得手法を提案する。

Prevention Support System for Baseball player's throwing injuries

YUUKI NISHIYAMA,^{†1} TAKUYA TAKIMOTO,^{†2} TAKURO YONEZAWA,^{†3}
JIN NAKAZAWA,^{†3} KAZUNORI TAKASHIO^{†1} and HIDEYUKI TOKUDA^{†1}

Some baseball players have their shoulder and elbow injuries cause of the disorder of the throwing form and an overwork. Fielders especially practice without knowledge of their bodies and care for it. However it is difficult to recognize their throwing form and number of throws. This research has been supported player's performance by analysis of player's throwing using sanjigen-motion-catcher and douga-bunnseki for all time. But this research has problems with place and time. Because it doesn't assume actual practices. So we are researching for their new supports to improve their form and to take a break by using the radio small acceleration sensor which you can check your throwing form and number of throws easily.

1. はじめに

アマチュア野球の多くのチームでは“甲子園出場”や“日本一”など大きな目標を掲げ、その目標に向かって日々厳しい練習に取り組んでいる。そのため、練習量や練習時間は長くなり、選手に過度の負担がかかることで怪我が発生する。特に過度の投球や不適切な投球フォームなどによる、肩や肘への投球障害が多く発生している。

過度の投球や不適切な投球フォームでの投球の予防には、客観的な投球疲労を選手が知ることが重要である。従来より、投球動作の改善や、投球パフォーマンスの向上を目指して、モーションキャプチャーやハイスピードカメラから使った動作解析や乳酸値計測による疲労取得など、様々な研究が行われてきた。しかし、いずれの研究においても投球障害の主な原因である、練習中の過度の投球や不適切な投球フォームを予防するシステムの提案や研究は行われていない。既存研究より、投球数の増加に伴い投球疲労が蓄積する事で投球フォームが変化することが報告されている。本研究では、ウェアラブルセンサを使用して投球数の増加に伴う投球フォームの変容を用いて投球疲労を取得手法を提案する。

センサによる投球フォームの変化を取得するために、既存研究や医療関係者、選手へのアンケートを元にセンサの設置を決定する。センサを装着した状態を投球練習を行い、投球疲労による投球動作の変化を取得し、カメラデータと比較する。最も変化の出たセンサ位置のデータを元に、投球疲労の検出アルゴリズムを作成する。投球疲労による投球動作の変化には個人差があるため、選手の最も理想的な投球フォームでのセンサデータと比較することで算出する。

2. 投球障害の予防の必然性と関連研究

本章では、野球界における投球障害の現状と体調管理方法の現状を述べる。その後、本研究の関連研究を述べる。

2.1 野球界の投球障害の現状と体調管理方法

宮崎県の高校生を対象に行われた障害発生調査¹⁾によると、投球障害(肩関節や肘関節に

^{†1} 慶應義塾大学 環境情報学部

Keio University / Faculty of Environment and Information Studies

^{†2} 慶應義塾大学 総合政策学部

Keio University / Faculty of Policy Management

^{†3} 慶應義塾大学 政策メディア研究科

Keio University / Faculty of Policy Management

何らかの痛み)を抱えながらプレーしている選手が全体の 76.2 %である事が報告されている。投球障害を引き起こす原因としては、崩れた投球フォームでの投球や関節可動域の制限、ウォーミングアップ不足、過度の練習、筋力不足などがあげられる。中でも崩れた投球動作と過度の練習が最も主な原因である。また、臨床現場では投球フォームと投球障害には深い関係があると言われており、近年では投球フォームが異なることにより身体への負荷に差があることが、動作解析により認められると報告されている。

アマチュア野球界では、一つのチームに所属する選手数が指導者の人数より多いため、練習量や体のケアなどの体調管理は個人に任されている。慶應義塾高校と慶應義塾大学野球部の選手に行ったアンケートによると、選手が練習中に肩や肘に疲労を感じる判断基準は「肘が下がってくる感じ」や「腕が重い」など主観に頼っていることが大半である。投手はピッチング練習などにおいて、練習相手である捕手が常に投球動作の変化をチェックしているが、野手は主観による体調管理がほとんどである。体調管理する上で、主観的な疲労情報だけでなく客観的な疲労情報を参考にすることは重要であるが、実際の練習現場において客観的な投球疲労情報は提供されていない。

2.2 関連研究

本章では、本研究を進めるに当たっての既存研究を述べる。スポーツ界では、古くからスポーツ障害の予防やパフォーマンスの向上を目的に研究が多く行われている。本章では、既存研究を「投球動作の定量分析」、「投球における疲労計測」、「センサによる投球動作の取得」、「投球障害の予防に関する研究」の4つにまとめて述べる。

2.2.1 投球動作の定量的分析

投球動作の定量的分析として三次元モーションキャプチャや動画解析などを利用した解析が行われている。これらの手を使うことにより精密なデータを取得することができる。

中村らの研究¹⁹⁾では投球動作を 1) ワインドアップ期、2) 前期コッキング期、3) 後期コッキング期、4) アクセラレーション期、5) フォロースルー期の 5 つに分類して解析を行った(図 1)。

中村らの研究³⁾より、投球動作においてコッキング期からアクセラレーション期前半に肩や肘に最も負荷がかかる事が分かっている。また、投球フォームの違いにより負荷の大きさが増減する事が報告されている。特に、後期コッキング期から加速期にかけて肩関節外転角度が減少(以下、「肘下がり」)することで肩や肘への負担が増加する。

2.2.2 投球における疲労計測

投球数における疲労度の計測方法として、「血中乳酸値の計測」「肩関節機能の変化」や「投

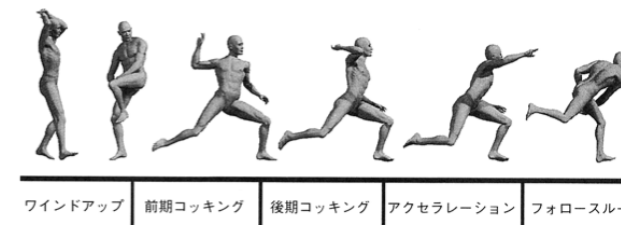


図 1 投球相分類 (出典『投球動作解析システムによる TOP ポジションの運動学的解析』¹⁹⁾)

球動作の変容」などが既存研究で行われている。それらの研究の概要を紹介した上で長所、短所を述べる。

血中乳酸値の計測とは、採血により全身疲労の目安となる乳酸値を計測するという方法である。陸上競技や水泳競技などの練習において疲労の目安として使用され、実際の練習現場でも使用されている。しかし、和田らの研究⁹⁾によると乳酸値の回復と作業能力の回復が一致しないことが報告されている。そのため乳酸値計測のみで投球疲労を取得する事は困難である。また、毎回採血する必要があるため選手への身体的負担になる。

肩関節機能は投球数が増加に伴い肩関節の内旋・外旋可動域と筋力が低下する事⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾が報告されている。場所の制限無く出来る手法として紹介されているが、練習後に計測するために練習中の過度の投球を予防する事は出来ない。特に関節可動域は投球した翌日に変化が出る事が報告されている。

投球動作は投球数の増加に伴い個人差はあるものの肩関節外転角度・踏込脚の股関節・膝の屈曲角度・重心・体幹側屈角度の変化¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾が報告されている。これらの研究は三次元モーションキャプチャやパイスピードカメラを使用して行われ、精密な動作変化を取得することができる。しかし、場所の制限や解析の時間的コストなど日常的に使用する事ができないシステムである。

2.2.3 センサによる投球動作の取得

本節では、センサを使用した投球動作の取得に関する研究について述べる。この手法では、光学式モーションキャプチャやハイスピードカメラを使用するのと比較して計測場所の制限が少ないという長所がある。

佐川らの研究¹⁶⁾では投球動作改善のサポートを目的に、肘に装着した加速度センサと角速度センサから投球腕の軌跡を取得した。これにより、投球フォームの問題点を視覚的に捉

え、投球フォーム改善のサポートができる。しかし、投球動作は同じ位置から開始され、全力投球の4割ほどでしか計測していない。

北村らの研究¹⁷⁾では、複数のセンサを体に装着し投球時の運動連鎖を取得した。運動連鎖とは、筋肉の動きの順序の事であり、投球動作においては下半身から体幹、腕、指先の順に動作する。このシステムではその連鎖を取得する事で、投球フォームの改善による投球障害を予防する事を目的としている。

MITの研究グループ¹⁵⁾は、2種類の加速度とジャイロ、地磁気センサを搭載したセンサを体に複数個装着し、センサのみを利用して動作を取得するシステムを開発した。センサによる投球動作の取得ではモーションキャプチャを使用するよりも、サンプリング間隔を細かく取得できるメリットがある。さらに、モーションキャプチャと遜色無い精度で動作を取得する事ができる。

2.2.4 投球障害の予防に関する研究

従来から、練習前のウォーミングアップと練習後のアフターケアを徹底することで投球障害の予防に繋げる事が報告されている。慶應義塾大学野球部に実施したアンケートでも練習前と練習後の予防は徹底している事が分かった。石井壮らの研究¹⁸⁾では、肩関節周辺の関節可動域や筋力などを日常的に計測し、そのデータの変化を元に投球障害の発生を予測するシステムを開発した。これらの研究は、投球障害を予防するために一定の効果を発揮している。しかし、投球障害の主な原因である、練習中の過度の投球や不適切な投球フォームによる投球の予防をサポートしていない。

3. 問題意識と投球動作変化を用いた投球疲労取得手法の提案

野球界では多くの選手が投球障害を抱えながら練習しているにも関わらず、体調管理はほとんどの場合、選手個人に任せられている。さらにその方法は選手の主観に頼ったものがほとんどである。体調管理をする上で、客観的な投球疲労の情報を把握することは練習内容の判断において非常に重要であるが、実際の練習現場において取得することは困難である。

従来より投球障害の予防のために、客観的な投球フォームを取得する研究は行われてきた。しかし、モーションキャプチャやハイスピードカメラを利用した動作解析では、精密な動作変化を取得することはできるが場所の制限や解析のリアルタイム性に課題があり、実際の練習現場での利用は困難である。また、肩関節の機能を計測することによる投球疲労把握手法が提案されているが、練習中は選手は練習に集中するため、肩機能を確認することを忘れる可能性がある。さらに練習中に野球の練習とは関係ない動作をするため練習の妨げとな

り、練習中に選手個人で肩関節機能を計測する事は困難である。

3.1 目的

本研究の目的は、練習量が多く、野球選手の中でも客観的情報の少ない野手高校生・大学生の野球選手を対象とし、グラウンドでの客観的な投球疲労をリアルタイムに、選手に負担をかけずに計測する事である。

3.2 機能要件

本節では、前節で示した問題意識を解決するために実現すべき機能を、以下のようにまとめる。

- 実際の練習現場での使用

従来の研究では、投球疲労を取得できるが場所の制限や解析のために時間がかかり、実際の練習中に使用することが困難である。本システムでは、実際の練習現場であるグラウンドでの利用とリアルタイムでの投球疲労が必要である。また、投球障害を予防するためには、日常的に使用でき、且つユーザのプレーの妨げにならないシステム設計にする必要がある。

- 投球疲労の個人差への対応

投球疲労の変化度合いには個人差があるため、個人に合わせた投球疲労の取得が必要である。

4. アプローチ

本研究では、機能要件を満たす解決手法として、以下の3つにまとめる。

- センサによる投球疲労の取得

三次元モーションキャプチャやハイスピードカメラを使用した動作解析による投球数の増加に伴う投球動作の変化は報告されているが、センサデータの変化は報告されていない。投球数の増加に伴い肘の高さが変化する事が既存研究より報告されている。本研究ではセンサを肘に装着し、投球数の増加に伴う肘動作の変化を取得する。そこで、定量的評価としてセンサとハイスピードカメラにより取得した投球疲労データの比較実験を行う。実験では、選手の肘にセンサを装着した状態から、一定距離の集球ネットに向かって設定された投球数まで投球練習を行う。投球練習はウォーミングアップを済ませた状態から開始する。一定回数毎に選手の投球疲労感に関するアンケートを行い、定性的評価とする。

- 投球疲労検出アルゴリズムの実装

既存研究より投球数の増加に伴う投球動作の変化には個人差があることが報告されている。本研究では、あらかじめ選手それぞれの理想的な投球フォームでのセンサデータを基準値として計測する。基準値と練習中のセンサデータを比較することで投球疲労を取得するシステムを構築する。

また、それぞれの基準値にも特徴がある。そのため、日常的にシステムを利用することで、個人の基準値の特徴や投球疲労によるセンサデータの変化の特徴を学習し、検出精度が向上する学習機構を実装する。

5. 設 計

本章では、プロトタイプ実装からの課題と既存研究を元にシステムの設計と実装について述べる。

5.1 プロトタイプ実装からの課題

本システムのプロトタイプとして Self Care Buddy System を実装し、2010 年 11 に行われた ORF(Open Research Forum) においてデモンストレーションを行った。プロトタイプでは、肘に装着した加速度センサ (SunSPOT: サン・マイクロシステム社、以下、"SunSPOT") から動作変化、投球強度、投球数の 3 つの取得し、投球データを練習中や練習後など状況に応じて表示するシステムを構築した。スポーツ関係者の方から（特に野球）の意見より、システム自体の必要を感じる事ができた。

投球動作では非常に高速での動作であり、肘には 50G 近い遠心力がかかっている。そのため、センサによる投球動作の取得のためには 100Hz (0.01 秒間隔) 以上でデータを取得でき、高い遠心力が加わっても計測できるセンサが必要である事が分かった。

5.2 使用センサと設置位置

プロトタイプでは SunSPOT を使用したが、データ取得間隔が不安定であり、最大で 6G までしか計測できないなどの問題点があった。そこで、本研究では運動計測システムロジカルプロダクト社製の 9 軸ワイヤレスモーションセンサ (図 2、以下"9 軸センサ") を使用する。本センサは、3 軸加速度、3 軸角速度、地磁気センサを搭載し、最高で 50G、1000Hz で計測する事ができる。

そこで本システムでは、既存研究より、投球数の増加に伴い投球時の利腕側の肘の動作が変化することが報告されていることから、投球腕の肘にセンサを装着する。

肘へのセンサ装着はアームバンドの上にマジックテープとゴムバンドで固定する。以下に、肘へのセンサ装着例 (図 3) を示す。

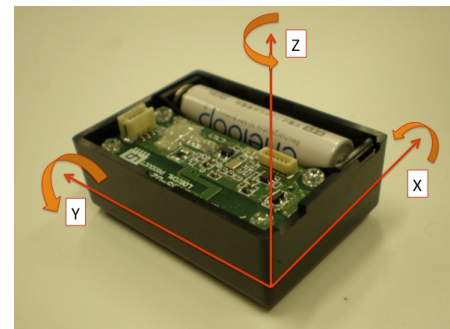


図 2 使用センサ



図 3 肘へのセンサ装着例

5.3 予備実験

予備実験として 9 軸センサを使用した"通常の投球フォームでの投球"と"意図的に崩した投球フォームでの投球"の動作取得実験を行った。被験者は慶應義塾大学野球部の選手（外野手）にお願いした。以下に取得した加速度データのグラフを示す。

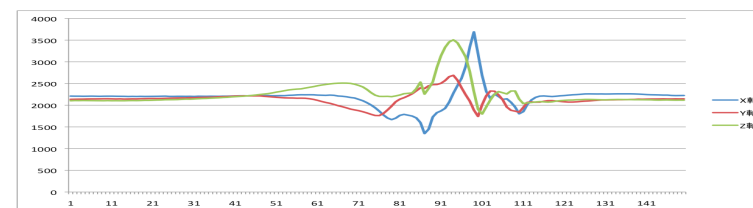


図 4 通常の投球フォーム

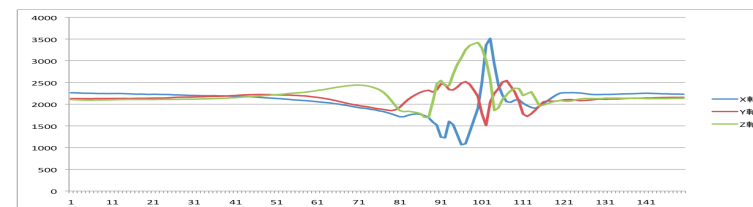


図 5 意図的に崩した投球フォーム

データ取得間隔は 100Hz とした。

予備実験を行った結果、取得した値が遠心力により振り切れることなく投球動作を取得できた。また、投球フォーム違いにより、Y 軸と Z 軸に変化がでる事が確認された。

5.4 アルゴリズム設計

選手それぞれの理想的な投球フォームでのセンサデータを計測し、基準値として保存する。基準値と練習中のセンサデータを比較することで、そのデータの差から投球疲労を取得するアルゴリズムを構築する。

また、投球疲労によるセンサデータの変化は人によって特徴があるため、その特徴を学習し、検出精度が向上する学習機構も実装する。

6. 評価方針

本章では、実験の目的と詳細な実験内容とその評価方法について述べる。評価には、定量的評価としてセンサデータとハイスピードカメラのデータを使用し、定性的評価として選手への疲労に関するアンケートを使用する。

6.1 実験の目的

ウェアラブルセンサによる投球動作変化の取得と目的とする。さらに、ハイスピードカメラデータとセンサデータとを比較することで、センサによる投球疲労取得の精度を測る。

6.2 実験内容

実験は、実際の練習での使用を想定しグラウンドでの計測を行う。投球距離は塁間を想定して 27.431 メートル (90 フィート) とし、センサを装着した状態で集球ネットに向かって投球する。

投球フォームは、野手の投球フォームの基本である、オーバーハンドからスリークウォータでの投球とする。

今回の実験の目的は投球疲労の取得のため、内野手特有のスナップスロー（挟殺プレーの際にスナップをきかせて投げる投げ方）やアンダーハンドスロー、ホビットスロー（二塁手がダブルプレーの際に二塁送球の際に使う投げ方）などの投げ方は考えないものとする。被験者には事前に意図的に違った投球動作での投球はせずに、“オーバーハンド（またはスリークウォータ）での投球”と“一定の力加減での投球”を意識するように説明する。以下に投球フォームの分類（図 8）を記載する。

センサによるデータ取得と同時にハイスピードカメラによる投球動作変化の取得も行う。ハイスピードカメラによる解析では、選手に体にフォットする紺色アンダーシャツを着ても

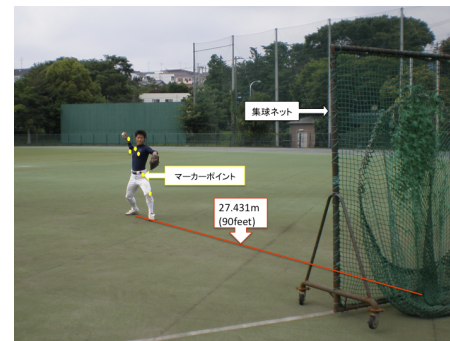


図 6 実験風景

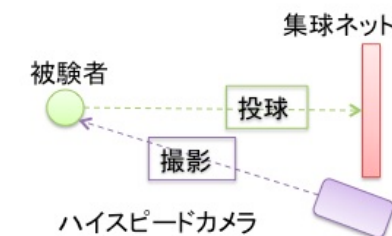


図 7 実験概要図

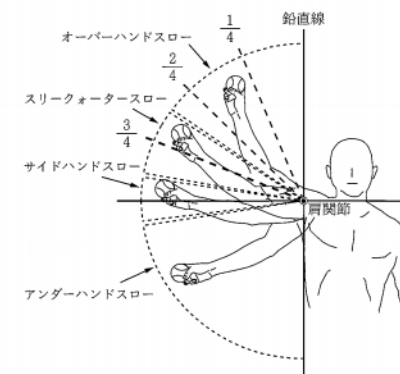


図 8 投球フォームの分類

(出典『大学野球投手におけるピッチング動作の改善事例：投球技術指導前後のトレーニング効果』²⁰⁾)

らい、そこに黄色のテープで印（以下、“マーカーポイント”）をつける。マーカーポイントは、既存研究¹⁰⁾¹³⁾より、投球側の肩峰と、上腕骨外側上顆、橈骨茎状突起、胸骨剣鏡突起、非投球側の上前腸棘、膝蓋骨中央の 7 点とした。画像解析を用いて動作変化の取得を行った。

投球練習はウォーミングアップが完了した状態から 100 球ネットに向かって投球した。センサによる計測は毎球に行い、ハイスピードカメラによる計測と疲労に関するアンケートは 10 球毎に行った。被験者は 10 人とした。

7. 議論と展望

投球疲労を構成する要素は複雑なため、根拠のある投球疲労を取得するためには様々な視点から疲労について考える必要がある。

疲労の検出方法として投球数の増加に伴う投球フォーム変化や肩関節機能の変容や血中乳酸値の計測などが上げられる。

投球疲労による動作変化には個人差があり、センサ装着位置をバイオメカニクスの視点、臨床医的視点、選手の疲労感覚を元にセンサを検証する必要がある。今回の研究では、既存研究を元に肘にセンサ装着して行ったが、投球側の腕は投球の妨げになる可能性があり、さらに高い遠心力がかかるため他の箇所で計測できる方が望ましい。

既存研究では、投球数の増加に伴う肘の動作変化だけでなく、投球時の重心の高さ変化が報告されている。また、スポーツ科学の専門家である加藤貴昭氏（慶應義塾大学環境情報学部専任講師）によると、投球動作は全身運動なので、投球動作とは直接関係のない箇所にも変化が出る可能性を指摘して頂いた。

2011年5月に慶應大学野球部と慶應義塾高校を対象に「野球選手の”投球障害の実態”と”練習中の投球疲労感覚”の調査」を目的としたアンケートを行った。そのアンケートによると投球疲労により変化する部分は肘、肩に変化を感じている選手が多く、具体的な感覚としては「肩が重くなる、張る」や「肘が下がる」などの解答多かった。少数ではあったが、疲労した際に下半身に変化を感じており、下半身のねばり（筋力低下）により疲労を感じている選手がいた。

センサの設置位置の検証として、既存研究とスポーツ科学の専門家からの意見をもとにセンサ設置位置を検証する実験を考えている。既存研究より、投球数の増加に伴う重心の低下を腰に装着したセンサから取得する。腰のセンサ設置位置（図9）を以下に示す。

さらに、加藤氏の話にもあったように、投球動作は全身運動であり全身のバランスで投球動作を行っている。そこで、利き腕とは逆腕の肘にセンサを装着して投球動作の変化を取得する。

検証実験として新たに2つのセンサ設定位置を考えているが、比較対象として投球腕側の肘にもセンサを装着して実験を行い、今回の実験と同じくハイスピードカメラからにより動画解析を行う。

7.1 展 望

今後の展望として、”過度の投球”や”崩れた投球フォームでの投球”による投球障害を予防



図9 センサの腰への設置

するシステムの構築を考えている。本研究ではその前段階として、実際の現場であるグラウンドでリアルタイムで使用でき、尚かつ根拠のある投球疲労の取得を試みた。次の段階としては、実際にグラウンドで使用できるシステムを構築する。最終的には選手への投球疲労のフィードバック方法まで検証する。その際は、スポーツ心理学や認知科学、予防医学などの幅広い専門分野の方々と協力して投球障害予防支援システムを構築する。

本研究では「野球における投球障害の予防」も目的としてスポーツの範囲を限定した。しかし、野球と同じように”過度の練習”や”不適切な動作の繰り返し”により、障害に繋がる事は他のスポーツにおいても発生している。例えばバレーボールのスパイク動作や、テニス肘などがある。将来は、野球界に限らず、様々なスポーツや医療分野に対応したシステムの構築も考えている。今回は練習量の多い高校生、大学生を対象としたシステムを構築するが、将来的には最も投球障害発生率の高い小学生や中学生などの成長期の選手をサポートしたい。

8. ま と め

本研究では、ウェアラブルセンサを使用した野球選手（野手）の投球疲労を取得するシステムを提案した。既存研究より投球数が増加するにつれて肘の高さに変化することから、センサを肘に装着し投球フォームの変化を取得した。

プロトタイプの実装から、投球動作は非常に高速で高い遠心力がかかるため、センサを使

用して投球動作の変化を取得するためには、スポーツ動作でも計測することができるセンサが必要であることが分かった。

そこで本研究では、ロジカルプロダクト社製のセンサを使用した、センサにより投球動作の変化が取得できるかを検証するために”意図的に崩れた投球フォーム”と”健常な状態での投球フォーム”での予備実験を行った。その結果、動作の違いをセンサデータから取得する事ができた。次の段階としてセンサを使用した投球疲労の取得実験を行う。比較対象としてハイスピードカメラによる投球動作の変化を取得する。

さらに、今回はセンサの装着位置を肘としたが、現時点では投球の妨げになる可能性がある。そこで、選手自身の疲労に関する感覚や、スポーツ科学の専門家、医療関係者の意見を元に両肘と腰にセンサを装着し、最も投球疲労によって投球動作する箇所を検討する。

参 考 文 献

- 1) 大倉 俊之 他.『宮崎県高校野球選手に対する傷害調査』. 整形外科と災害外科. (52:p287289,2003)
- 2) 藤井康成 他.『高校野球選手に対するメディカルチェックの検討-傷害に関するアンケート調査の結果から-』. 整形外科と災害外科. (52:p712719,2003)
- 3) 中村 康雄 他.『投球フォームとボールリリース時の肩関節負荷』. 生体機能の解析と医療福祉. (17:p123132)
- 4) 井尻 朋人 他.『体幹アライメントが投球時の肩関節運動に与える影響』. 体力科学. (28:p7380,2009)
- 5) 宮西 智久 著.『野球の投球動作のバイオメカニクス的研究-加速局面の上脛と投球腕の運動に着目して-』. 筑波大学修士論文
- 6) 和田 正信 他.『筋収縮における乳酸の役割』. 体育学研究. 51: 229-239, 2006
- 7) 山本 正嘉 他.『ストレッチ, スポーツマッサージ, ホットパック, 軽運動が血中乳酸および作業能力の回復に及ぼす影響』. 国際武道大学. 日本体力医学会. p662
- 8) 三浦 一義 他.『競技現場におけるクーリングダウンと疲労回復について』. 日本体力医学会. p897
- 9) 松本 剛 他.『投球後の肩関節可動域の経時的変化』. 日本理学療法士協会. p114
- 10) 車谷 洋 他.『投球数の増加が肩関節周辺筋に与える影響』. 日本体力医学会. p848
- 11) 佐々木 理博 他.『野球選手の投球数の増加が肩機能に及ぼす影響-投球制限の観点から-』. スポーツ医学研究領域. 2007 早稲田大学スポーツサイエンス研究会修士論文
- 12) 平山 大作 他.『投球数の増加による上肢及び下肢動作の変容』. 日本体力医学会. p975
- 13) 石橋 秀幸 他.『投球数の増加に伴う投球動作の変化について』. 日本体力医学会. p758
- 14) 平山 大作 他.『野球投手の投球数の増加による下肢関節の力学的仕事量の変化』. 体力科学. (59:p225232,)2010

- 15) Michael Lapinski , Eric Berkson .『A Distributed Wearable, Wireless Sensor System for Evaluating Professional Baseball Pitchers and Batters』. 2009 International Symposium on Wearable Computers.
- 16) 佐川 貢一 他.『装着型センサによる投球時上腕の3次元一測定』. 計測自動制御学会東北支部 第216回研究集会 (2004.6.22)
- 17) 北村 政嗣 他.『投球動作解析のためのポータブルデータロガーの開発』. 計測自動制御学会東北支部 第258回研究集会 (2010.6.24)
- 18) 石井 壮 他.『投球障害肩の発症予測システムの開発-ロジスティック回帰分析を用いて-』. 体力科学 (59:p389394,2010)
- 19) 中村 真里 他.『投球動作解析システムによる TOP ポジションの運動学的解析』. バイオメカニズム学会. (15:p13-25,2002)
- 20) 宮西 智久 他.『大学野球投手におけるピッチング動作の改善事例: 投球技術指導前後のトレーニング効果』. 体育学研究. (4:p361-381,2007)