

2023年度 3月修了 修士論文(1・2年制)審査依頼書 Master's thesis review request form				
提 出 者	大学院スポーツ科学研究科 スポーツ科学専攻 Graduate School of Sport Sciences			
	研究領域 Research Area	コーチング学領域		
	学籍番号 Student No.	5020A025-3	氏名 Name	川井 貴志
論文題目 Title クイックモーションを用いた投球動作の運動学的特徴 ～社会人野球投手を対象とした比較分析～				

審 査 員 Re- viewers	研究指導教員 (主査) Chief reviewer	土屋 純			
	副 査 assistant reviewers	副査1 Assistant reviewers No.1	矢内 利政	副査2 Assistant reviewers No.2	藤田 善也
		副査3 Assistant reviewers No.3		副査4 Assistant reviewers No.4	
		※審査員は、研究指導教員の他副査2名以上。副査のうち1名は修士課程研究指導担当教員であること。もう1名はスポーツ科学学術 院教員であること。4名以上必要な場合は、他の教員等を加えることができる。 Reviewers of the master's thesis consist of three or more academic staff members of Graduate School of Sport Sciences, of which the chief reviewer and at least one of assistant reviewers should be Graduate School of Sport Sciences academic staff members teaching research guidance for the Master's Program. When necessary, faculty members of the graduate school or department of the University or other universities or research institutions (assistants do not apply) can be added as reviewers			

審 査 期 間 Review period	
2 年制 2-year Course	1 年制 2-year Course
2024年1月31日(水)～2月2日(金) January 31 to February 2, 2024	2024年2月3日(土) February 3, 2024

論文公開審査会・口頭試問日時 Date of public review	
2024年 1 月 31 日 (水) 16:00 (month) (day) (day of the week) (Time)	
所 沢 キャンパス 100 号館 115 教室 Held in the classroom (campus) (building No.) (class room No.)	
オンライン ※実施方法詳細は別途お知らせします。 Held in online Details of how to conduct the public review will be announced separately.	
上記期間中に審査方、何卒よろしくお願いいたします。 Thank you for your consideration of the master's thesis during the above period.	

クイックモーションを用いた投球動作の運動学的特徴 —社会人野球投手を対象とした比較分析—

スポーツ科学専攻 コーチング学領域
5020A025-3 川井 貴志

研究指導教員：土屋 純 教授

第1章 緒言

野球の投手は、走者の有無に関わらず高い球速での投球が求められる。打者が出塁した場合、投球開始姿勢はセットポジションとなりかつ盗塁を防ぐ方法として踏み込み足を高く上げずに投球時間を短縮させたクイックモーションという投球動作を用いる。したがって投手のセットポジションには通常投球とクイック投球の2様式が存在し、クイックモーションを用いる場合においては、高い球速の投球を短い動作時間で行うという運動課題が生じる。しかしセットポジションにおける2様式の違いに関しての先行研究は多くない。そこで本研究の目的は、セットポジションの通常投球とクイック投球の投球動作の運動学的特徴を明らかにすることを目的とした。

第2章 方法

対象者は社会人企業チームに所属する8名で、投球動作の測定はチームの室内投球練習場で行った。身体運動の計測には電磁ゴニオメータ投球動作確認としてビデオカメラ、投球測定にはラブソードを用いた。投手には測定の説明した上で、体幹部と投球腕にセンサを貼付した。実験試技は、マウンド上の投球板から正規距離(18.44m)離れたホームベースの後ろに座っている捕手に向かって2つの条

件で全力投球を行うことであった。1つ目の条件はストレートボールおよび試合で用いる全変化球を2球ずつセットポジションから通常投球させるもので、もう1つの条件はセットポジションからクイックモーションを用いて投球させるものであった。

各試技について、7つのイベントにおける骨盤、胸郭、肩甲骨、上腕骨、前腕の角速度とこれらの身体部位を連結する各関節の関節角度を抽出した。①動作開始時点(INI)：骨盤、上腕骨、前腕のいずれかの合成角速度が57.3deg/sに到達した時点、②踏み込み足の最大挙上時点(MKH)、③投球腕のボールがグラブから離れた時点(SEP)、④投球腕の上腕骨外転角度が70°に到達した時点(E70)、⑤踏み込み足の接地時点(SFC)、⑥投球腕が最大外旋角度に到達した時点(MER)、⑦ボールリリース時点(BR)。

各イベントの到達時刻(BRの時刻を10秒として標準化した時刻)および各イベントにおける角速度と関節角度を条件間で比較した。到達時刻にはF検定を行った後、等分散性ではなかった為、ウィルコクソン検定を適用し、事後検定としてホルム法を採用した。投球速度と角速度および対応のあるt検定を実施した。統計的有意水準は全ての分析において $p=0.05$ 未満とした。

第3章 結果

投球速度は通常投球 (135.4 ± 4.1 km/h) とクイックモーション (134.2 ± 4.1 km/h) の間に有意差は認められなかった ($p=0.066$)。到達時刻については、クイックモーションの方が有意に早期に E70 以前のイベントに到達していた ($p=0.001$)。関節角度では INI における骨盤側方傾斜角、MKH における骨盤側方傾斜角と肩甲骨外旋角に有意差が認められた。また角速度においては、INI における骨盤側方傾斜角速度と骨盤回旋角速度、SEP における骨盤側方傾斜角速度と肩甲骨関節上方回旋角、SFC における肩甲骨関節後方傾斜角速度と肩甲骨関節内転角速度、MER と BR における肩甲骨関節内転角速度に有意な差が認められた。

第4章 考察

本研究の目的は、クイックモーションの運動学的特徴を明らかにすることであった。通常投球動作との比較分析の結果、クイックモーションではボールリリースまでの動作時間 (0.86s) が通常投球時 (2.12s) よりも有意に短い一方で、SFC 以降の身体部位の角度や角速度、動作時間については両条件で酷似していることが示された。つまりクイックモーションにおける投球動作は通常投球動作における E70 までの動作を短縮したものと言える。

クイックモーションでは MKH における骨盤の側方傾斜角度が水平に近い状態を保ち MKH の胸郭上腕関節外転角と SEP での肩甲骨関節上方回旋角が低くて肩甲

骨上方回旋角速度は高いことから、クイックモーションでは足を高く上げないため骨盤を側方や後方に大きく傾けることなく骨盤回旋を行っていること、および短縮された動作時間内に投球腕を挙上させるために肩甲骨上方回旋角速度を上昇させていることが示された。動作時間短縮への工夫は、MKH に向けて足を上げると同時に両上肢も一旦挙上させるという通常投球にみられる動作を省略している点にも見られ、クイックモーションではこの時点での挙上を行わず、投球腕を降下させつつ投球動作を開始していた。

MER から BR において、胸郭上腕関節外旋角に有意差が認められなかったが、肩関節外旋角についてはクイックモーションの方が有意に大きかった。これはクイックモーションの方が SFC から MER にかけての肩甲骨後方傾斜角速度が低く MER での肩甲骨関節後方傾斜角が小さかったことに起因する。このことはクイックモーションでは上腕骨外旋時に肩甲骨が低速度で後方傾斜していたことにより肩関節がより大きく外旋したことを意味し、肩内旋筋のストレッチショートニングサイクルによる筋力増強がより効果的に用いられたことを示唆するものである。

第5章 まとめ

クイックモーションにおける投球動作の時間短縮は SEP 時点までに行われていた。また投球動作は変容して角度および角速度に有意な差が見られたが、投球速度の違いはなかった。

2023年度 3月修了 修士論文

クイックモーションを用いた
投球動作の運動学的特徴
～社会人野球選手を対象とした比較分析～

早稲田大学 大学院 スポーツ科学研究科

スポーツ科学専攻 コーチング学研究領域

5020A025-3

川井 貴志

研究指導教員： 土屋 純 教授

目次

第 1 章 緒言	1
第 2 章 方法	3
2.1 対象者	3
2.2 測定環境と設定について	3
2.3 実験試技	8
2.4 データ処理	8
2.5 統計分析	9
第 3 章 結果	10
3.1 投球間の平均投球速度について	10
3.2 イベント時刻と動作時間	10
3.3 各イベントにおけるセグメント角度と関節角度の変化	14
3.4 関節角速度の結果	19
第 4 章 考察	26
4.1 始動期から E コッキング期の動作について	26
4.2 L コッキング期から加速期の動作について	28
4.3 クイックモーションの練習方法の提案	29
第 5 章 結論	31
付録	32
参考文献	33
謝辞	34

第 1 章 緒言

野球の投手は、走者の有無に関わらず高い球速での投球が求められる。しかし走者の有無により投球開始姿勢が異なるため、投球動作は大きく変容したものとなる。走者無しの場合においてはワインドアップポジション、セットポジションのいずれの投球開始姿勢から投球することができるが、走者が出塁した場合には盗塁を防ぐためセットポジションからの投球となりかつクイックモーションという投球動作の時間を大きく短縮させた投球動作を行わなくてはならない。したがって投手がクイックモーションを用いる場合においては、高い球速の投球を短い動作時間で行うという運動課題が生じる。しかしクイックモーションは、セットポジションに限られたことではない。ワインドアップポジションにおいても打者のタイミングを外す目的としてクイックモーションが用いられることがある。このことから、投手の投球開始姿勢を分類するとワインドアップポジションとセットポジションの 2 種類に投球様式は通常投球とクイック投球の 2 種類となる。

これまでワインドアップポジションとセットポジションからの投球動作を比較した動作解析研究(蔭山, 2015) が、高校野球投手を対象として行われ、球速はセットポジションからの投球の方がワインドアップからの投球よりも低かったこと、および上脛および捻転の最大角速度と踏込足接地時における上脛および下脛の角速度はセットポジションからの投球の方がワインドアップからの投球に比べて有意に低かったことが報告されている。

また、(大鹿, 2013) は大学生野球投手を対象としてワインドアップポジション、セットポジション、クイックモーションの動作解析研究では、体幹および投球腕の動作について手関節を除く動きに有意な差は確認されなかったと述べている。一方、(山田ら, 2014) も同じく大学生野球投手を

対象とした研究によると、手部速度に有意な差が認められなかったことが報告されている。これらの実験研究では高校生野球投手による投球間には有意な差が認められ、熟練度の高い大学生野球投手には顕著な差が認められなかったことから、熟練度の程度による影響が存在するように見受けられる。しかしながら、さらに熟練度の高い社会人野球投手やプロ野球投手においても、「テイクバック動作で腕が上がらない」、「リリースにタイミングが合わない」、「球速やコントロールが低下する」といったクイックモーションを苦手とする選手は多く見られる。クイックモーションは、踏込み足を高く上げずに短い動作時間で行うことから、力学的には高い球速を獲得するには不利な動作となる。したがって、ワインドアップからの投球やセットポジションからの通常投球と比べて、セットポジションからクイックモーションを用いた投球では、球速の低下が生じるか、あるいは球速低下を生じさせないための代償動作が行われるものと考えられる。そこで本研究では、セットポジションからの通常投球とクイックモーションを用いた投球を対象として球速および投球動作を比較し、クイックモーションの運動学的特徴を明らかにすることとした。

第 2 章 方法

2.1 対象者

対象者は、社会人企業チームに所属する 8 名のうち右投手 6 名と左投手 2 名。選手の平均年齢は 22.7 ± 1.8 歳、身長は $1.81 \pm 0.05\text{m}$ 、体重 $82.9 \pm 4.1\text{kg}$ であった。投手は、それぞれの高校、大学と各地域において全国レベルで活躍したトッププレイヤーが集まる企業チームに所属しており、都市対抗野球大会での活躍が認められ後に、プロ野球チームにスカウトされた投手も 1 名含まれていた。

2.2 測定環境と設定について

投球動作の測定は選手が所属する社会人野球チームの室内投球練習場で行われ計測には以下の機材を使用した。身体動作には電磁ゴニオメータ 240Hz (Liberty, Polhemus 社製) を使用し投球動作確認としてビデオカメラ 240Hz (Phantom Miro, Vision Research 社製) を、また投球測定にはラプソード (Rapsodo Pitch2.0, Rapsodo 社製) と計測を行った。

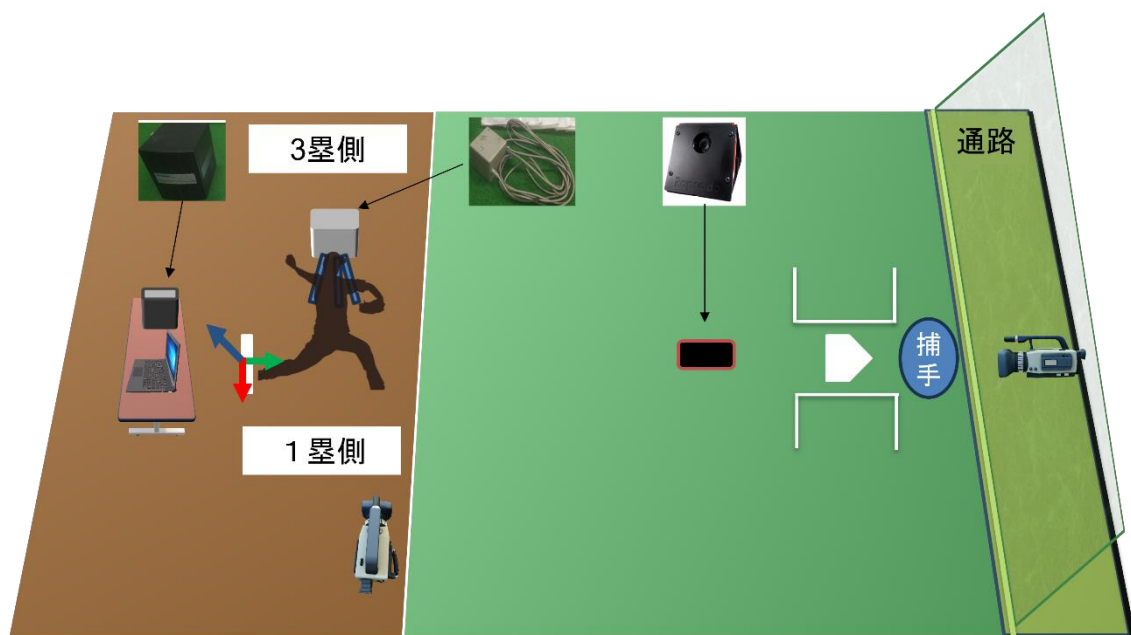


図 1 設定環境模式図を示す

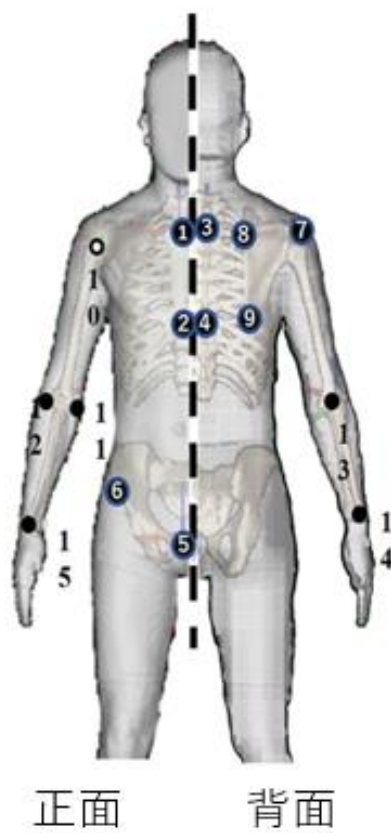


図 2 センサの貼付位置とセグメントの定義を示す

1. 胸骨丙 2. 剣状突起 3. 第 7 頸椎 4. 第 7 胸椎 5. 上前腸骨棘 6. 恥骨
7. 肩峰 8. 肩甲骨内側縁 9. 肩甲骨下角 10. 肩関節中心
11. 上腕骨内側顆 12. 上腕骨外側顆 13. 肘頭 14. 尺骨頭 15. 橈骨頭

(YanaiToshimasa.et al.. 2023). より改編

センサの貼付位置については（図 2）に示す位置に貼付を行い、動作分析のためにグローバル座標系の定義として X 軸を 1 墨へ向かうベクトルとして、Y 軸は本墨へ向かうベクトルとして、Z 軸は鉛直上方向のベクトルとした。（図 1）

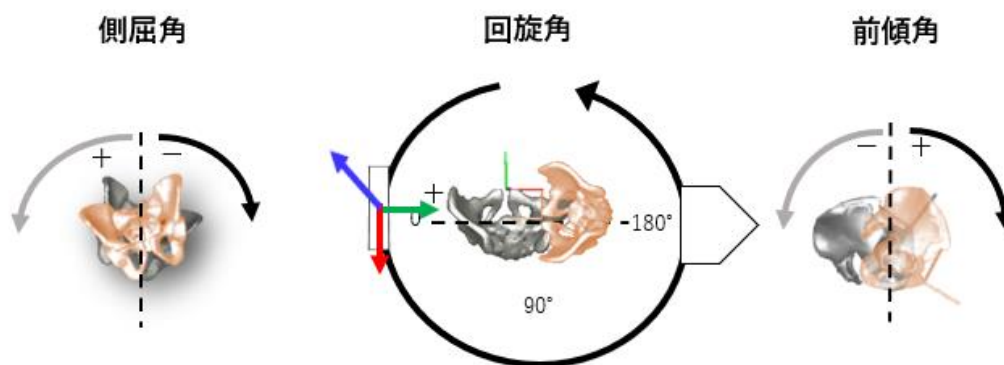


図 3 骨盤角度の定義を示す

骨盤の角度定義；Global 座標系に対する骨盤の右側方傾斜角度を正の値（+）、左側方傾斜角度を負の値（-）、Global 座標系に対する骨盤の左回旋角度を正の値（+）、右回旋角度を負の値（-）、Global 座標系に対する骨盤の前傾角度を正の値（+）、後傾角度を負の値（-）と定義した。骨盤傾斜角度は横断面が水平となる姿位を 0° 、また骨盤回旋角度は骨盤の

前額面がホーム方向に向いた角度を 180° となるよう調整した。

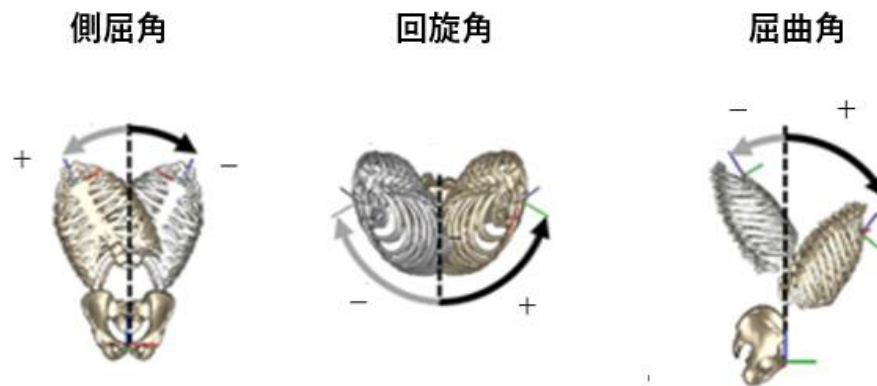


図 4 体幹角度の定義を示す

体幹角度の定義：骨盤に対する胸郭の右側方傾斜角度を正の値（+）、左側方傾斜角度を負の値（-）として、骨盤に対する胸郭の左回旋を正の値（+）、右回旋を負の値（-）として、骨盤に対する胸郭の屈曲を正の値（+）、骨盤に対する胸郭の伸展を負の値（-）、とした。

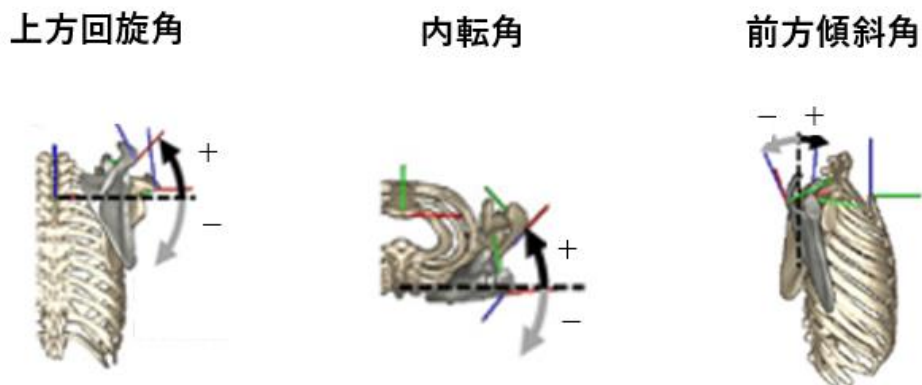


図 5 肩甲胸郭関節の定義を示す

肩甲胸郭関節角度の定義：胸郭に対する肩甲骨の上方回旋角度を正の値（+）、胸郭に対する肩甲骨の下方回旋角度を負の値（-）として、胸郭に対する肩甲骨の内転角度を正の値（+）、胸郭に対する肩甲骨の外転角度を

負の値（－）として、胸郭に対する肩甲骨の前方傾斜を正の値（＋），胸郭に対する肩甲骨の後方傾斜を負の値（－）とした。

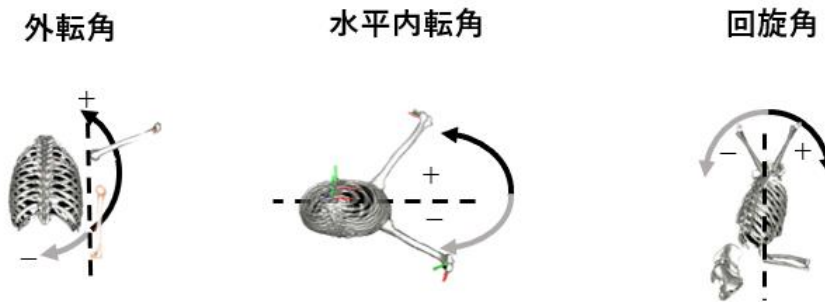


図 6 胸郭上腕関節の定義を示す

胸郭上腕関節の定義：胸郭に対する上腕骨外転角度を正の値（＋）、胸郭に対する上腕骨の内転を負の値（－）として、胸郭に対する上腕骨の水平内転角度正の値（＋），胸郭に対する上腕骨の水平外転を負の値（－）として、胸郭に対する上腕骨の内旋角度を正の値（＋），胸郭に対する上腕骨の外旋角度を負の値（－）とした。

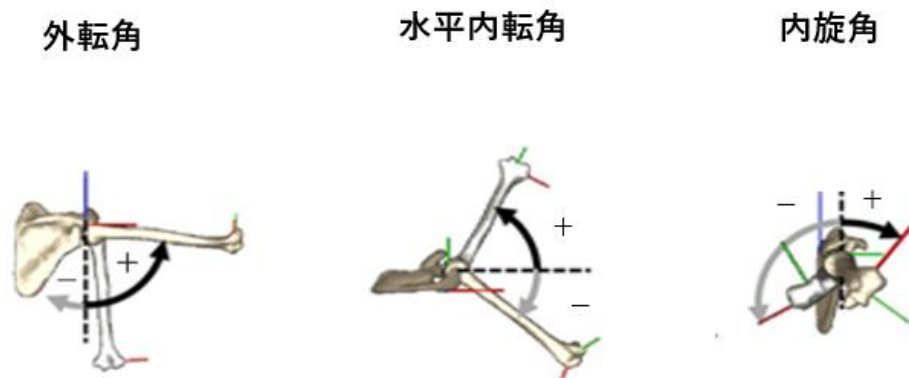


図 7 肩関節の定義を示す

肩関節角度の定義：肩甲骨に対する上腕骨の外転角度を正の値（+）、肩甲骨に対する上腕骨の内転角度を負の値（-）として、肩甲骨に対する上腕骨の水平内転角度を正の値（+）、肩甲骨に対する上腕骨の水平外転角度を負の値（-）として、肩甲骨に対する上腕骨の内旋角度を正の値（+）、肩甲骨に対する上腕骨の外旋角度を負の値（-）とした。尚、左投げ投手の角度値は、右投げ投手と同じ角度定義になるよう調整し角速度は、角度の変化量を時間微分することで値を算出した。

2.3 実験試技

実験試技は、マウンド上の投球板から正規距離（18.44m）離れたホームベースの後ろに座っている捕手に向かって 2 つの条件で全力投球を行うことであった。1 つ目の条件はストレートボールおよび試合で用いる全変化球を 2 球ずつセットポジションから通常投球させるもの（通常条件）で、もう 1 つの条件はストレートと全変化球を 3 球ずつセッポジションからクイックモーションを用いて投球させるもの（クイック条件）であった。

2.4 データ処理

投球動作分析は図に示した動作開始からボールリリースのまでの 7 つのイベントにおける骨盤、胸郭、肩甲骨、上腕骨、前腕の角速度と、これらの身体部位を連結する各関節の関節角度に着目して行った。投球動作時点は、①完全静止時点（セットポジション）②動作開始時点（INI）：骨盤、上腕骨、前腕のいずれかの合成角速度が 57.3 deg/s に到達した時点、③踏み込み足の最大挙上時点（MKH）、④投球腕のボールがグラブから離れた時点（SEP）、⑤投球腕の上腕骨外転角度が 70° に到達した時点（E70）、⑥

踏み込み足の接地時点（SFC）、⑦投球腕が最大外旋角度に到達した時点（MER）、⑧ボールリリース時点（BR）と定義した。これらの時点を4つの局面とし、セットポジションから MKH までを始動期として、MKH から SFC までを E コッキング期として、SFC から MER までを L コッキング期として、最後に MER から BR までを加速期と定義した（図 8）。各イベントの到達時刻（BR の時刻を 10 秒として標準化した時刻）および各イベントにおける角速度と関節角度を各試技から抽出した。



図 8 投球時点と局面の定義を示す

2.5 統計分析

到達時刻には F 検定を行い、等分散性の確認後にノンパラメトリック検定のウィルコクスの符号付検定を適用し、事後検定としてホルム法を採用した。投球速度と角速度および関節角度については、対応のある t 検定を実施した。統計的有意水準は全ての分析において $p=0.05$ 未満とした。

第 3 章 結果

3.1 投球間の平均投球速度について

通常投球とクイックモーションの平均投球速度を表に示した(表 1)。
平均投球速度において通常投球 (135.4 ± 4.1 km/h) とクイックモーション (134.2 ± 4.1 km/h) の間に有意な差はなかった ($p=0.066$)。したがって通常投球とクイックモーションの球速差は(1.2km/h)であり通常投球とクイックモーションの投球速度は同程度であることが示された。

表 1 各投球モーション平均投球速度

セットポジション			
	通常投球 (n=8)	クイック投球 (n=8)	P値 (*:p<0.05)
平均投球速度(km/h)	135.4±4.1	134.2±4.1	0.066

3.2 イベント時刻と動作時間

動作開始時(INI)の時刻は通常投球 (7.88s) の方がクイックモーション (9.14s) よりも早期である ($p<0.001$) ことが示された(表 2)。これはクイックモーションが通常投球よりもボールリリースまでの投球動作時間が有意に短いことを示すものである。同様に MKH と SEP の到達時刻についてもクイックモーション(MKH:9.41 s & SEP:9.40s) の方が通常投球(MKH:8.63s & SEP:9.30s) より有意に早い ($p<0.007$) ことが示された

一方で、E70 以降のイベントについては到達時刻に有意差は認められなかった。このことは、クイックモーションは通常の投球動作全体が一様に時間短縮されたものではなく、E70 に達するまでの局面の動作時間のみが短縮されたものであることを示す。また、E70 以降の L コッキング期や加速期の動作時間については、通常投球と類似していることを示すものである。(表 2)

表 2 各イベントの到達時間

		時点[s]						
	パーセンタイル	INI	MKH	SEP	E70	SFC	MER	BR
通常投球	中央値	7.88	8.63	9.30	9.78	9.89	9.99	10.00
	四分位	7.56~8.77	8.44~9.20	9.13~9.44	9.70~9.79	9.88~9.9	9.98~9.99	10~10
クイックモーション	中央値	9.14	9.41	9.40	9.79	9.89	9.99	10.00
	四分位	9.02~9.16	9.36~9.44	9.29~9.46	9.70~9.79	9.89~9.9	9.98~9.99	10~10
有意確率 (両側)		<.001	<.001	0.007	1	1	1	1

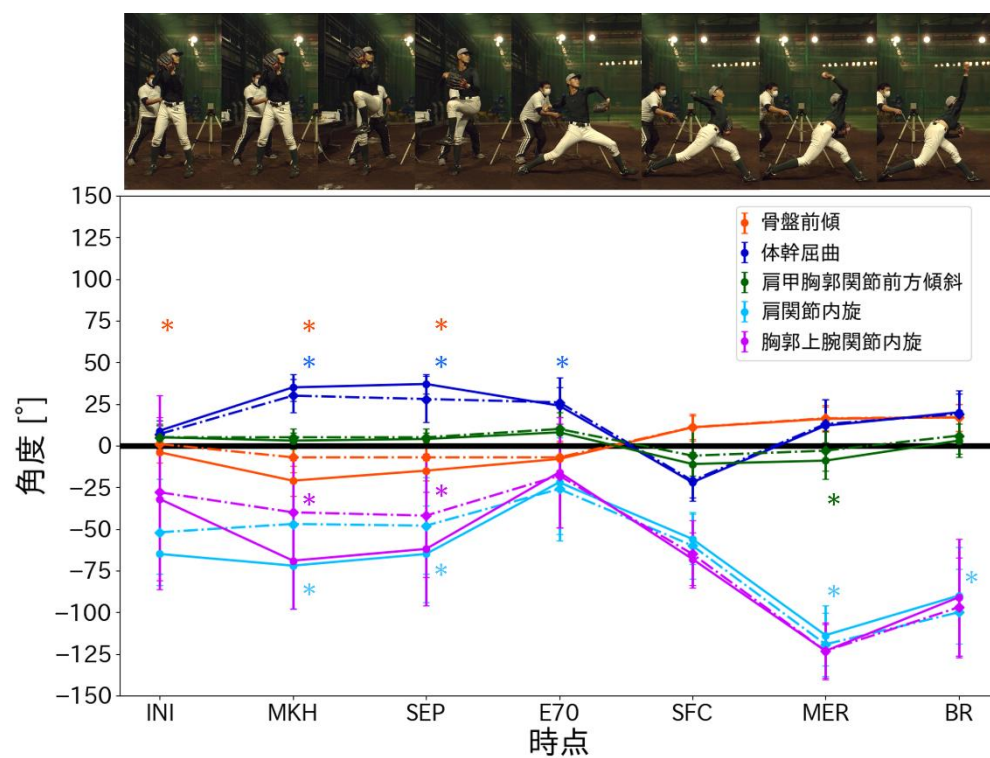


図 9 身体部位の角度の左右成分

実線は通常投球、破線はクイック投球を示す

表 3 身体部位の左右軸の角度成

関節角度 (度)	時点	通常投球 (n=8)	クイックモーション (n=8)	P値 (* : p<0.05)	効果量
+前傾/-後傾					
骨盤前傾	INI	-4 ± 6	1 ± 6	0.006*	-0.808
	MKH	-21 ± 9	-7 ± 9	0.001*	-1.276
	SEP	-15 ± 6	-7 ± 9	0.001*	-1.049
	E70	-7 ± 10	-8 ± 10	0.604	0.132
	SFC	11 ± 8	11 ± 7	0.539	-1.049
	MER	17 ± 8	17 ± 7	0.644	-0.118
	BR	17 ± 8	17 ± 8	0.924	0.024
+屈曲/-伸展					
体幹屈曲	INI	9 ± 6	7 ± 5	0.053	-0.525
	MKH	35 ± 8	30 ± 10	0.019*	-0.66
	SEP	37 ± 6	28 ± 14	0.003*	-0.902
	E70	21 ± 14	25 ± 14	0.003*	0.902
	SFC	-22 ± 11	-21 ± 10	0.347	-0.902
	MER	13 ± 16	13 ± 15	0.917	0.027
	BR	20 ± 13	19 ± 12	0.43	-0.203
+前方傾斜/-後方傾斜					
肩甲胸郭関節前方傾斜	INI	5 ± 8	5 ± 7	0.709	0.095
	MKH	3 ± 5	5 ± 5	0.21	0.327
	SEP	4 ± 4	5 ± 5	0.842	0.051
	E70	8 ± 9	10 ± 11	0.177	0.354
	SFC	-11 ± 7	-6 ± 16	0.378	0.051
	MER	-9 ± 11	-3 ± 12	0.031*	0.595
	BR	3 ± 10	6 ± 11	0.084	0.463
+内旋/-外旋					
肩関節内旋	INI	-65 ± 12	-52 ± 32	0.096	-0.444
	MKH	-72 ± 26	-47 ± 25	0.001*	-1.103
	SEP	-65 ± 29	-48 ± 29	0.005*	-0.818
	E70	-23 ± 30	-25 ± 33	0.503	0.172
	SFC	-56 ± 15	-60 ± 20	0.322	-0.818
	MER	-114 ± 18	-120 ± 19	0.038*	0.569
	BR	-90 ± 29	-100 ± 26	0.004*	0.84
+内旋/-外旋					
胸郭上腕関節内旋	INI	-32 ± 49	-28 ± 58	0.723	-0.09
	MKH	-69 ± 29	-40 ± 31	0.002*	-0.967
	SEP	-62 ± 34	-42 ± 37	0.004*	-0.838
	E70	-18 ± 31	-17 ± 32	0.405	-0.214
	SFC	-68 ± 16	-65 ± 20	0.323	-0.838
	MER	-124 ± 16	-124 ± 17	1	0
	BR	-91 ± 35	-97 ± 30	0.068	0.491

3.3 各イベントにおけるセグメント角度と関節角度の変化

身体部位の角度と関節角度の x 軸成分（身体の左右軸成分）の条件間差の結果を示す（表 3）。有意な条件間差は、INI から SEP までのイベントにおける骨盤前傾角度、MKH から E70 までの体幹伸展角度、MKH から SEP までの肩関節内旋角度および胸郭上腕関節内旋角度であった。SFC において有意差は認められず、MER における肩甲胸郭関節後方傾斜角度と肩関節内旋角度、BR における肩関節内旋角度に有意差が認められた。以上のように、有意差が多く見られたイベントは SEP までの局面に集中していた。

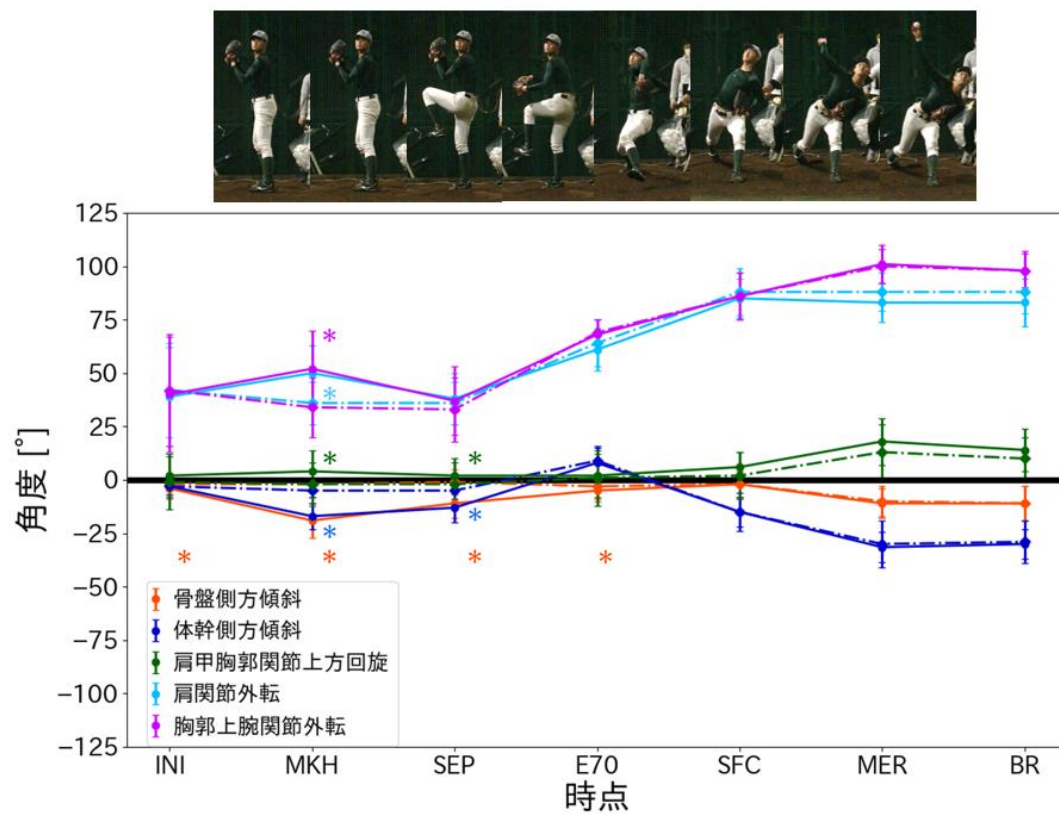


図 10 身体部位の角度の前後成分. 実線は通常投球、破線はクイック投球を示す

表 4 身体部位の前後軸の角度成分

関節角度（度）	時点	通常投球 (n=8)	クイックモーション (n=8)	P値 (* : p<0.05)	効果量
+右傾斜/-左傾斜					
骨盤側方傾斜	INI	2 ± 4	2 ± 4	0.039*	-0.556
	MKH	18 ± 8	2 ± 5	0.001*	-1.742
	SEP	11 ± 6	2 ± 6	0.001*	-2.136
	E70	5 ± 5	4 ± 6	0.031*	0.011
	SFC	2 ± 6	2 ± 6	1	0
	MER	10 ± 7	10 ± 7	0.606	-0.132
	BR	11 ± 7	10 ± 7	0.731	-0.087
+右側方傾斜/-左側方傾斜					
体幹側方傾斜	INI	-3 ± 5	-3 ± 4	0.674	-0.107
	MKH	-17 ± 6	-5 ± 3	0.001*	-2.109
	SEP	-13 ± 7	-5 ± 4	0.001*	-1.934
	E70	8 ± 6	9 ± 6	0.2	-0.335
	SFC	-15 ± 7	-15 ± 9	0	-1.934
	MER	-32 ± 7	-30 ± 11	0.252	-0.298
	BR	-30 ± 7	-29 ± 10	0.385	-0.224
+上方回旋/-下方回旋					
肩甲胸郭関節上方回旋	INI	2 ± 9	-1 ± 13	0.444	-0.196
	MKH	4 ± 10	-2 ± 10	0.047*	-0.54
	SEP	2 ± 8	-2 ± 10	0.039*	-0.564
	E70	2 ± 9	-1 ± 11	0.087	-0.457
	SFC	6 ± 7	2 ± 11	0.04*	-0.564
	MER	18 ± 11	13 ± 13	0.075	-0.478
	BR	14 ± 10	10 ± 10	0.064	-0.499
+外転/-内転					
肩関節外転	INI	39 ± 23	42 ± 22	0.619	0.127
	MKH	50 ± 13	36 ± 10	0.001*	-1.051
	SEP	38 ± 12	36 ± 10	0.3	-0.268
	E70	64 ± 8	65 ± 11	0.301	0.268
	SFC	85 ± 9	88 ± 11	0.475	-0.268
	MER	84 ± 9	89 ± 9	0.165	0.365
	BR	83 ± 11	88 ± 10	0.109	0.426
+外転/-内転					
胸郭上腕関節外転	INI	40 ± 27	42 ± 26	0.771	0.074
	MKH	52 ± 18	34 ± 14	0.001*	-1.123
	SEP	37 ± 16	33 ± 15	0.074	-0.48
	E70	71 ± 2	70 ± 1	0.19	-0.343
	SFC	86 ± 11	86 ± 11	0.341	-0.48
	MER	101 ± 9	101 ± 8	0.463	-0.188
	BR	98 ± 9	98 ± 8	0.903	-0.031

身体部位の角度と関節角度の y 軸成分（身体の前後軸成分）の条件間差

の結果を示す（表 4）。有意な条件間差は、INI から E70 までのイベントにおける骨盤側方傾斜角度と MKH から SEP までのイベントにおける体幹側方傾斜と肩甲胸郭関節下方回旋、および MKH における肩関節内転角度であった。以上のように、有意差が多く見られたイベントは SEP までの局面に集中していた。

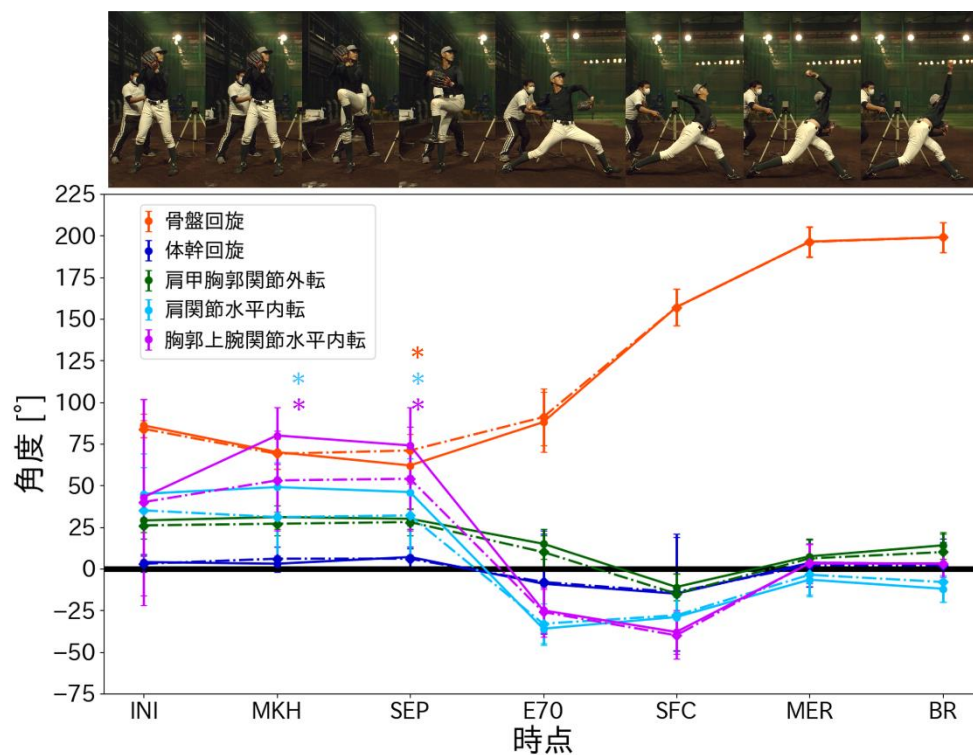


図 11 身体部位の角度の回旋成分. 実線は通常投球、破線はクイック投球を示す

表 5 身体部位の回旋軸の角度成分

関節角度 (度)	時点	通常投球 (n=8)	クイックモーション (n=8)	P値 (* : p<0.05)	効果量
+左回旋					
骨盤回旋	INI	86 ± 7	84 ± 5	0.124	0.407
	MKH	70 ± 10	69 ± 9	0.843	0.05
	SEP	62 ± 10	71 ± 10	0.001*	-1.62
	E70	92 ± 21	92 ± 17	0.822	-0.057
	SFC	157 ± 11	157 ± 11	0.101	-1.62
	MER	197 ± 9	197 ± 9	0.831	0.054
	BR	199 ± 9	199 ± 9	0.518	0.166
+左回旋/-右回旋					
体幹回旋	INI	4 ± 5	3 ± 5	0.403	0.215
	MKH	3 ± 5	6 ± 7	0.159	-0.371
	SEP	7 ± 6	6 ± 6	0.203	0.333
	E70	-13 ± 32	-11 ± 32	0.078	-0.473
	SFC	-15 ± 34	-14 ± 35	0.56	0.333
	MER	4 ± 14	3 ± 13	0.062	0.504
	BR	3 ± 15	2 ± 14	0.281	0.28
+外転/-内転					
肩甲胸郭関節骨外転	INI	29 ± 7	26 ± 8	0.148	0.381
	MKH	31 ± 7	27 ± 7	0.101	0.437
	SEP	30 ± 6	28 ± 8	0.154	0.375
	E70	11 ± 11	8 ± 12	0.327	0.253
	SFC	-11 ± 8	-15 ± 12	0.347	0.375
	MER	8 ± 10	7 ± 12	0.54	0.157
	BR	14 ± 8	10 ± 11	0.14	0.389
+水平内転/-水平外転					
肩関節水平内転	INI	45 ± 16	35 ± 34	0.182	0.35
	MKH	49 ± 15	31 ± 24	0.011*	0.725
	SEP	46 ± 20	32 ± 24	0.018*	0.661
	E70	-38 ± 11	-36 ± 11	0.428	-0.204
	SFC	-29 ± 12	-28 ± 13	0.323	0.661
	MER	-7 ± 10	-4 ± 12	0.164	-0.366
	BR	-12 ± 8	-8 ± 12	0.155	-0.374
+水平内転/-水平外転					
胸郭上腕関節水平内転	INI	43 ± 59	40 ± 62	0.807	0.062
	MKH	80 ± 17	53 ± 30	0.01*	0.731
	SEP	74 ± 23	54 ± 31	0.004*	0.849
	E70	-29 ± 16	-30 ± 14	0.554	0.151
	SFC	-38 ± 13	-40 ± 14	0.498	0.849
	MER	4 ± 12	4 ± 11	0.718	-0.092
	BR	3 ± 8	3 ± 10	0.826	0.056

身体部位の角度と関節角度の z 軸成分（身体の上下軸成分）の条件間差の結果を示す（表 5）。有意な条件間差は、SEP における骨盤回旋と MKH から SEP までのイベントにおける右肩関節水平内転と右胸郭上腕関節水平内転であった。

3.4 関節角速度の結果

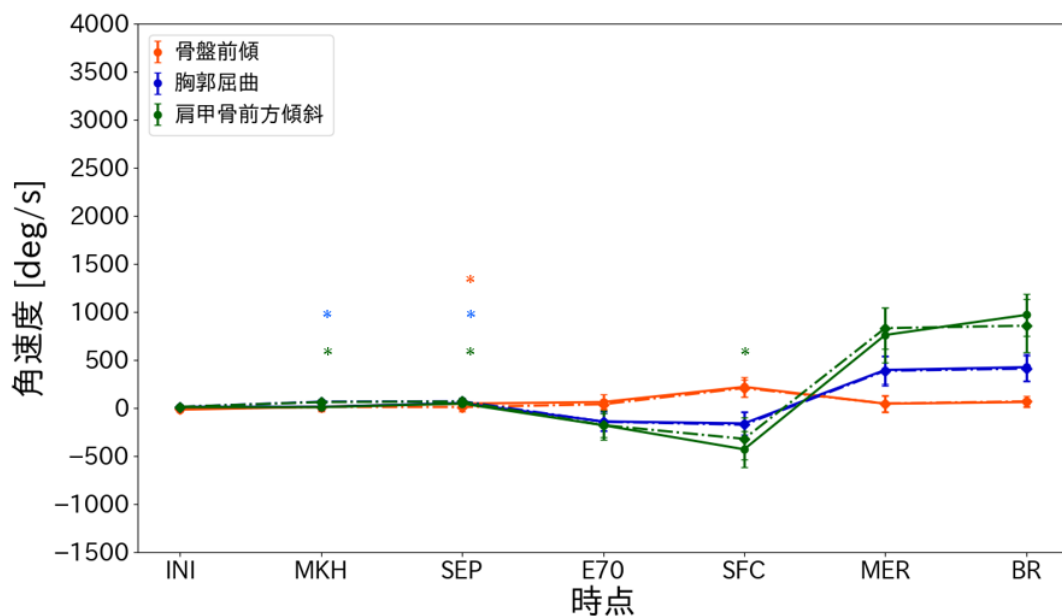


図 12 身体部位の角速度の左右成分. 実線は通常投球、破線はクイック投球を示す

表 6 身体部位の角速度の身体左右軸成分

関節角速度 (deg/s)	時点	通常投球 (n=8)	クイックモーション (n=8)	P値 (* : p<0.05)	効果量
骨盤前傾	+前傾/-後傾				
	INI	-16.5±15.7	-7.6±19.9	0.155	0.374
	MKH	12.7±36.2	10.8±47	0.862	-0.044
	SEP	46±48	9.7±41.4	0.008*	-0.761
	E70	38.3±54.7	27.5±71.2	0.46	-0.19
	SFC	220.3±103.7	208.5±89.5	0.578	-0.142
	MER	44.5±81	46.6±88.7	0.82	0.058
	BR	62±40.3	69.3±59.2	0.414	0.21
胸郭屈曲	+屈曲/-伸展				
	INI	11.2±16.7	12.2±13.7	0.775	0.073
	MKH	12.3±20.8	65.2±26.5	<.001	1.307
	SEP	51±26.1	69.9±25.3	0.001*	0.993
	E70	-140.5±68.4	-143±74.3	0.86	-0.045
	SFC	-160.5±118.9	-174.1±134	0.708	-0.096
	MER	395.9±150	387±152.9	0.359	-0.236
	BR	424.5±136.1	410.3±134.1	0.313	-0.261
肩甲骨前方傾斜	+前方傾斜/-後方傾斜				
	INI	8.7±17.1	4±19.6	0.533	-0.159
	MKH	9.1±18.6	62±29	<.001	1.543
	SEP	46.2±32	67±36.5	<.001	1.132
	E70	-178.9±132.8	-178.5±123.3	0.99	0.003
	SFC	-429.6±186.1	-321.2±218.7	0.004*	0.844
	MER	760.6±283.3	831.2±215.5	0.289	0.275
	BR	969.1±215.5	857.7±278.2	0.062	-0.505

身体部位の角速度の x 軸成分（身体の左右軸成分）の条件間差の結果を示す（表 6）。有意な条件間差は、MKH から SEP までのイベントにおける胸郭伸展と右肩甲骨後方傾斜と SEP における骨盤前傾と SFC における右肩甲骨後方傾斜であった。

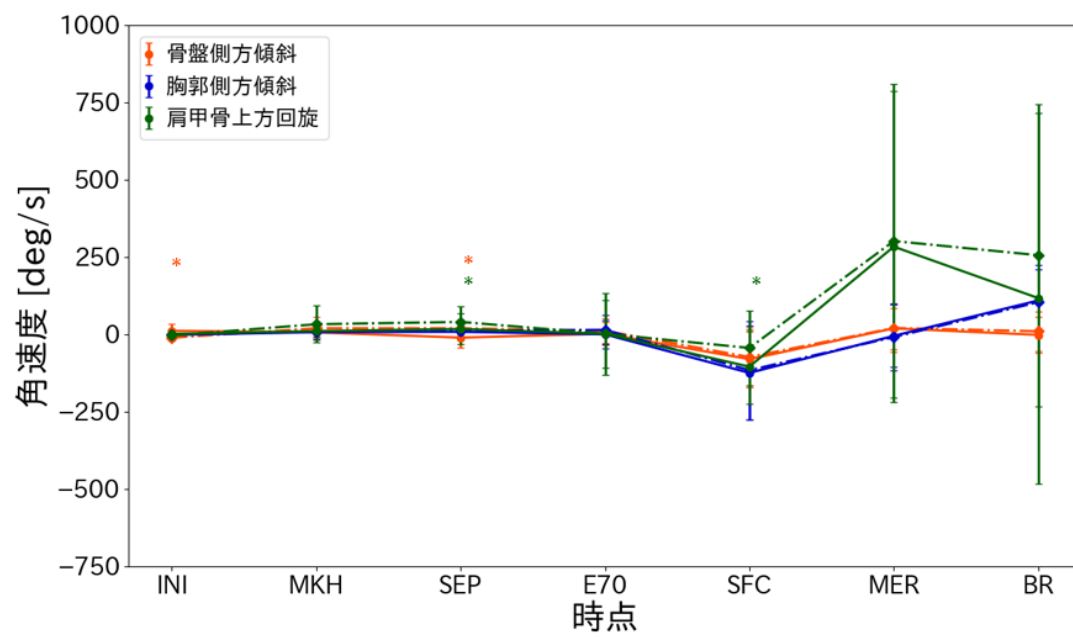


図 13 身体部位の角速度の前後成分. 実線は通常投球、破線はクイック投球を示す

表 7 身体部位の角速度の前後軸成分

関節角速度 (deg/s)	時点	通常投球 (n=8)	クイックモーション (n=8)	P値 (* : p<0.05)	効果量
+右側方傾斜/-左側方傾斜					
骨盤側方傾斜	INI	12±23.4	-10.8±9.9	<.001	1.205
	MKH	6.9±22.4	19.9±35.6	0.211	-0.327
	SEP	-10.4±30.9	20.2±29.3	0.002*	-0.948
	E70	-6.1±34.1	-0.4±36.3	0.493	-0.176
	SFC	-80±89.7	-73.3±97.1	0.727	-0.089
	MER	19.7±66.7	20.7±78	0.882	-0.038
	BR	-1.6±59.6	10.4±63.4	0.131	-0.399
+右側方傾斜/-左側方傾斜					
胸郭側方傾斜	INI	1.5±7.3	1±6.1	0.835	-0.053
	MKH	-7.5±15.3	-9.2±25.2	0.811	-0.061
	SEP	-8.6±27.1	-12.2±16.8	0.47	-0.185
	E70	-10.5±12.2	-6.8±33.8	0.69	0.102
	SFC	124.4±151.4	115.7±159	0.482	-0.18
	MER	4.7±100.5	8.6±108.6	0.755	0.08
	BR	-109.6±113.6	-104.4±107.2	0.623	0.125
+上方回旋/-下方回旋					
肩甲骨上方回旋	INI	1.5±12.9	-3.2±17.2	0.235	0.309
	MKH	10.8±18.6	32.9±59.6	0.125	-0.406
	SEP	17.6±49.5	40.5±51.1	0.003*	-0.9
	E70	5.1±115.9	-4±101.3	0.534	0.159
	SFC	-104.3±119.7	-43.8±119.8	0.024*	-0.629
	MER	283.9±502.2	302±507.3	0.82	-0.058
	BR	117.7±599.2	256.4±488	0.076	-0.477

身体部位の角速度の x 軸成分（身体の前後軸成分）の条件間差の結果を示す（表 7）。有意な条件間差は、INI と SEP のイベントにおける骨盤側方傾斜と SEP と SFC のイベントにおける右肩甲骨上方回旋 MKH であった。E70 のイベントまでに角速度は同等になったが、SFC では右肩甲骨後方傾斜で有意差が現れた。

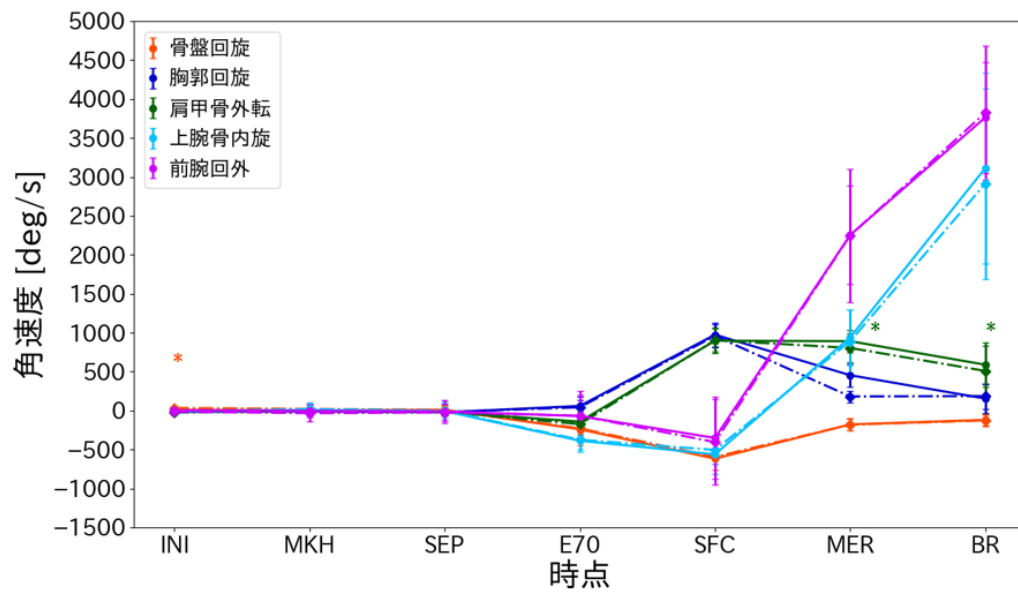


図 14 身体部位の角速度の回旋成分. 実線は通常投球、破線はクイック投球を示す

表 8 身体部位の角速度の回旋軸成分

関節角速度 (deg/s)	時点	通常投球 (n=8)	クイックモーション (n=8)	P値 (* : p<0.05)	効果量
骨盤回旋	+右回旋/-左回旋				
	INI	11.4±26.4	33.7±14.4	0.002*	0.954
	MKH	4.8±29.4	20.9±55.7	0.17	0.36
	SEP	10±47.9	10.1±66.3	0.995	0.002
	E70	-240.8±144.1	-228.2±156	0.607	0.131
	SFC	-618.4±142	-594±97.2	0.417	0.209
	MER	-176.7±75.6	-181.4±74.6	0.694	-0.1
	BR	-118.9±79.2	-126.2±66.4	0.493	-0.176
胸郭回旋	+右回旋/-左回旋				
	INI	-15.9±8.3	-22.9±14.8	0.169	0.361
	MKH	-12.2±15.1	-15.1±33.2	0.731	0.088
	SEP	-21.9±21.7	-19.4±33.3	0.786	-0.069
	E70	51.3±125.4	49.5±137	0.916	0.027
	SFC	974.2±149.9	959.3±150	0.615	0.128
	MER	454.4±147.2	181.4±74.6	<.001	1.766
	BR	154.7±185.1	187.2±164.2	0.086	-0.46
肩甲骨外転	+外転/-内転				
	INI	-12.3±14.1	-18.7±11.3	0.131	0.4
	MKH	-4.9±28.1	-3.4±48.4	0.853	-0.047
	SEP	-17.3±43	-15.5±47	0.822	-0.057
	E70	-182.8±123.9	-179.3±127.9	0.789	-0.068
	SFC	897.5±165	903.7±150.1	0.849	-0.049
	MER	891.4±144.7	804.3±184.4	0.032*	0.589
	BR	-589±287	509.5±327.2	0.007*	0.774
上腕骨内旋	+内旋/-外旋				
	INI	-6.5±16.4	-4.7±14.9	0.71	-0.095
	MKH	7.3±70.5	17.9±85.7	0.53	-0.161
	SEP	-7.4±122.5	-1.2±98.5	0.732	-0.087
	E70	-418.7±153.1	-393±223.8	0.445	-0.196
	SFC	-561.5±248.2	-505±186.7	0.178	-0.353
	MER	939.2±360.7	890±404.8	0.62	0.126
	BR	3112.4±1221.6	2914±1222.3	0.065	0.499
前腕回内	+回内/-回外				
	INI	0.1±0.6	0.3±0.8	0.396	0.218
	MKH	0.1±0.6	0.6±1.9	0.324	0.255
	SEP	-0.4±2.6	0.5±1.8	0.095	0.446
	E70	3.4±6.5	-0.3±7.8	0.173	-0.358
	SFC	-2253.2±634.8	-2249.3±856.7	0.981	0.006
	MER	-49.1±12.8	-49.3±16	0.925	-0.024
	BR	-3763.8±712.4	-3823.5±865.1	0.553	-0.152

身体部位の角速度の z 軸成分（身体の回旋軸成分）の条件間差の結果を示す（表 8）。有意な条件間差は、INI のイベントにおける骨盤回旋と MER か

ら BR までのイベントにおける肩甲骨内転であった。投球動作の加速期にあたる MER と BR において肩甲骨内転に有意差が認められた。

第 4 章 考察

本研究の目的は、クイックモーションの運動学的特徴を明らかにすることとであった。通常投球との動作との比較分析の結果、クイックモーションではボールリリースまでの動作時間（0.86s）が通常投球時（2.12s）よりも有意に短い一方で、SFC 以降の身体部位の角度や角速度、動作時間については両条件で類似していることが示された。つまりクイックモーションにおける投球動作は通常投球動作における始動期と E コッキング期までの投球序盤から中盤までの動作を短縮したものと言える。これまでの研究（大鹿、2013）（山田、2014）においても同様の結果が提示されていることから、本研究の結果は投球動作時間短縮の程度や短縮される区間が社会人投手と学生投手と類似することを示すものである。

4.1 始動期から E コッキング期の動作について

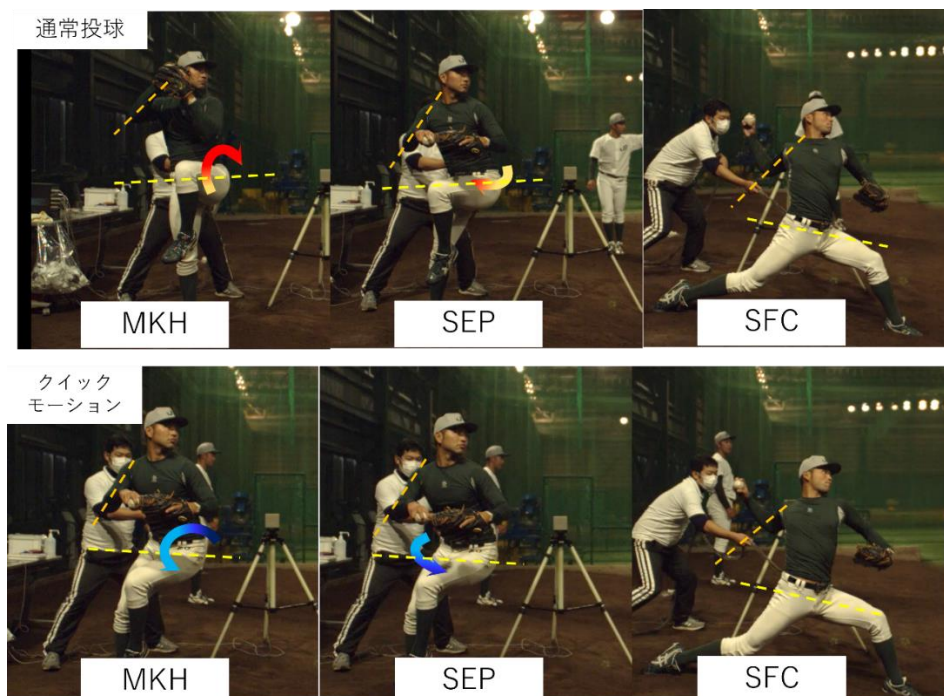


図 15 始動期から E. コッキングの投球動作を示す

始動期から E コッキング期におけるクイックモーションの動作では INI において骨盤回旋角速度が身体部位の角速度の前後軸成分の回旋速度が速く骨盤側方傾斜角度と前傾角度が水平に近い状態を保っていた。この結果は、クイックモーションでは足を高く上げないため、骨盤を側方や後方に大きく傾けることなく安定して骨盤回旋を行っていたことを示すものである。また MKH における胸郭上腕関節外転角度と SEP での肩甲骨胸郭関節上方回旋角度が通常投球より有意に低く肩甲骨上方回旋角速度は高いことから、クイックモーションでは MKH に向けて足を上げると同時に両上肢も一旦挙上させるという通常投球にみられる動作を省略し、短縮された動作時間内に投球腕を低い位置から適切な角度まで挙上させるために肩甲骨上方回旋角速度を上昇させていたものと推察される。このことは、クイックモーションでは MKH 時点での両上肢挙上を行わず、投球腕を降下させつつ投球動作を開始することで動作時間を短縮しつつ、上腕骨を素早く挙上させることによって SFC において通常投球との投球序盤の動作の有意な差を収束させていることが示唆された。

4.2 L. コッキング期から加速期の動作について

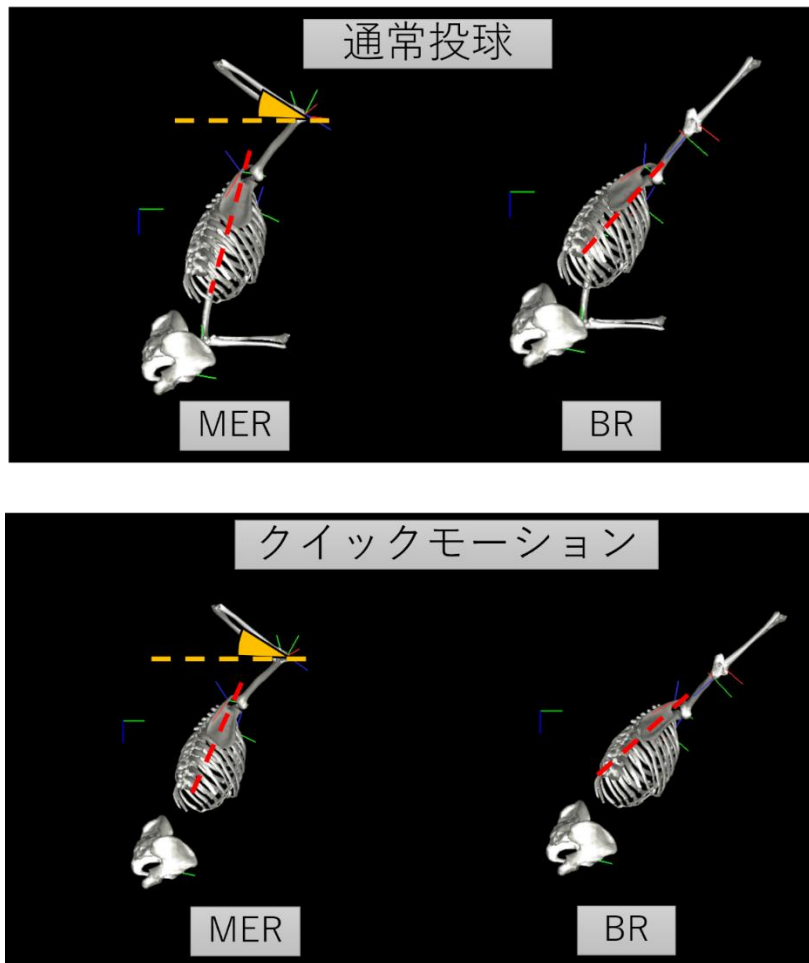


図 16 L. コッキング期から加速期の

肩関節内旋角度と胸郭上腕関節前方傾斜角度を示す

L. コッキング期から加速期の動作では MER から BR において、胸郭上腕関節外旋角に有意差が認められなかったが、肩関節外旋角についてはクイックモーションの方が有意に大きかった。これはクイックモーションの方が SFC から MER にかけての肩甲骨後方傾斜角速度が低く MER での肩甲骨胸郭関節後方傾斜角が小さかったことに起因する。このことはクイックモーションでは上腕骨外旋時に肩甲骨が低速度で後方傾斜していたことにより肩関節がより大きく外旋したことを意味し、投球動作を外見から見ることで

違いが確認できないが、肩内旋筋のストレッチショートニングサイクルによる筋力増強がより効果的に用いられたことが、投球動作の L. コッキング期から加速期における動作の違いはあったものの、投球速度および肩関節内旋角速度においては通常投球と同等であったことからクイックモーションの投球動作として重要な要素であることが示唆された。

4.3 クイックモーションの練習方法の提案

始動期から E コッキング期に着目すると、クイックモーションは短い時間で行う動作であることから①肩関節外転を短時間で行うことが必要である。また L. コッキングから加速期に着目すると、②上腕外旋時に肩甲骨の後方傾斜速度を低下させることにより肩関節をより大きく外旋させ、ストレッチショートニングサイクルによる筋力増強をより効果的に用いることが必要である。前者①を行うには、上腕骨挙上動作の主働筋となる三角筋と棘上筋、および肩甲骨上方回旋の主働筋となる前鋸筋や僧帽筋上部線維など動員が必要となる。クイックモーションが苦手な投手や動作時間が十分に短縮できない投手は、これらの筋群の筋力と筋持久力を高めるためエクササイズを導入することがすすめられる。また肩甲骨下方回旋に誘導する筋肉として肩甲挙筋、大菱形筋、小菱形筋、小胸筋などがあり、これらの筋肉が過度に緊張しないようストレッチを行い柔軟な動きができるようにしておくことも重要である。後者②を運動依存力に抗って行うには、主働筋である小胸筋、前鋸筋、僧帽筋下部の筋力や筋持久力を鍛えることが重要であると考えられる。また、近年ではプライボールと呼ばれる重さが 100g から 2000g までの 6 種類の異なる重さのゴム製のボールを用いて壁に向かってボールの重さを利用し主に関節可動域の増加が期待できることに加え

てどの重さのボールに対しても同じ投球動作で行うといったトレーニングは、クイックモーションのような通常投球とは異なる腕を速く上げることや投球終盤局面の肩甲骨の微細な動きに対して有効な練習であると考えられる。また腕を上げる動作は、股関節を屈曲させることや、腕を上げる動作のタイミングが重要ではあるが抜重を使うことでクイックモーションの腕上げ動作をやりやすくする方法でもある。これらの動き作りも行い最終的には、投球練習の割合を見直してみることも大切になる。

第 5 章 結論

本研究の目的は、クイックモーションを用いた投球動作の運動学的特徴を明らかにすることを目的とした。その結果、投球動作時間は(0.86s)と有意に短く投球動作の短縮は E70 時点までに行われていたが、クイックモーションでの投球速度の有意差は認められなかった。投球動作の違いは始動期から E. コッキング期で、クイック特有の小さな足挙げ動作と小さなテイクバック動作に起因する差異が見られた。また L. コッキング期から加速期にかけて肩甲骨を早いタイミングでより大きく前方傾斜させることによって肩関節外旋角を増大させていたことが明らかになった。

付録

1. プライオボール



参考文献

- 1) 蔭山雅洋;. (2015). ワインドアップポジションとセットポジションからのストレートによる投球のバイオメカニクスの比較高校野球投手における投球速度および投球動作中の下肢と体幹に着目して. 体育学研究.
- 2) 大鹿晃司;. (2013). 野球のピッチングにおけるクイックモーションのバイオメカニクスの研究. 紀要論文 名古屋大学総合保健体育科学センター
- 3) 山田洋;. (2014). 野球のピッチングにおける投法の違いが動作に与える影響・東海大スポーツ医科学雑誌.
- 4) YanaiToshimasa. (2023). Proximal to distal sequencing impacts on maximum shoulder joint angles and the risk of impingement in baseball pitching involving a scapular independent thoracohumeral model. Scandinavian journal of medicine & science in sports.

謝辞

本論文を執筆するにあたり，多大なご指導を頂きました主査の土屋純先生に心より御礼を申し上げます。また副査としてご指導頂きました矢内利政先生，藤田善也先生にもあわせて御礼を申し上げます。研究室ミーティング等で多くの助言を頂きました岡部文武先生，浅野祐樹先生，小沼憲吾さんにも感謝しております。また土屋研究室、矢内研究室、藤田研究室の院生の皆様にも色々なご意見や助言をいただきましてありがとうございました。6年前になりますが、早稲田大学のスポーツ科学研究科で学びたいと考え科目等履修生として入学させていただきました。今でも忘れておりません。第1回目の大事な演習で、私は教室を間違えてしまい遅刻をしてしまいました。そして焦っている中で、白板を見たときにさらに衝撃を受けたことが印象に残っております。勉強させていただいている中で、わからないことが多々ありましたが、土屋先生や矢内先生にきちんと理解できるよう丁寧に説明していただき教えていただけたことが、私にとって良かったと思っています。また発表でのご指摘をいただき多くの学びをさせていただき本当に充実した6年間であったと考えております。今後は、野球を指導する立場となりますが、少しずつ進歩していきます。また早稲田大学に来て皆様に、お会いさせていただくことを願っております。本当にありがとうございました。

2024年2月 川井 貴志