

## 野球投球における投球種によるボールリリースと投動作の変化

齋藤 健治<sup>\*1</sup>, 細谷 聡<sup>\*2</sup>, 井上伸一<sup>\*3</sup>, 湯川治敏<sup>\*4</sup>

### Effects of breaking ball on the states of ball-release and the motion during baseball pitch

Kenji SAITOU<sup>\*1</sup>, Satoshi HOSOYA, Shin-ichi INOUE and Harutoshi YUKAWA

<sup>\*1</sup> Nagoya Gakuin Univ. Dept. of Health and Sports  
Kamishinano-cho 1350, Seto-shi, Aichi, 480-1298 Japan

The purpose of this study was to investigate the difference of joint motion and state of ball-contact between the pitches of fastball and breaking ball. The joint motion of upper limb, trunk and lower limb during baseball pitch were measured by accelerometers and gyro sensors. The state of ball-contact was measured indirectly by eight strain gauges attached to the surface of nail of 2nd and 3rd finger. Four subjects belonged to a college baseball team participated in this study and pitched fastball and breaking ball such as slider, shoot, forkball and curve ball five to ten times. Measuring with the sensors mentioned above, the angular velocities of joint motions and the strain of nail during the ball-contact were obtained directly or calculated. Those were rotation and tilting forward of trunk, rotation of hip, swing of forearm and upper arm, pronation of forearm, internal rotation of shoulder, rotation and swing of both side thighs, and left leg. As the results of analysis of the joint motion and the strain of nails, the following were clarified. The joint motions during the pitches of slider were similar to those during the pitches of fastball. The timing of ball-release of fastball pitches were later than that of slider pitches, and were earlier than that of shoot pitches. The strain of nail during the pitch of fastball was larger at nail tips called 'N' in this study. During the pitch of slider, the strain was larger at radial side of nail called 'W' in this study.

**Key Words** : Baseball Pitch, Breaking Ball, Strain, Nail, Sensor

### 1. 緒 言

野球の投球動作を分析するうえで、カーブなどの変化球投球とストレート投球の間の動作比較も興味の対象である<sup>(1)-(4)</sup>。三次元動作解析によると、変化球投球では、上肢関節に生じるトルクがストレート投球よりも小さいことや<sup>(3),(4)</sup>、カーブ投球では、バックスピンをかけるストレート投球に比して前腕が回外位にあることなどが明らかにされている<sup>(2),(4)</sup>。

野球に関する、スポーツバイオメカニクス研究において上述のような運動学的、力学的分析による知見の積み上げが重要である一方で、コーチングに即した課題もあげられる。例えば、コーチング現場や練習現場で利用可能な簡易計測法や分析・判定法の開発<sup>(5)-(8)</sup>、練習方法・練習器具の開発などである。これらの研究・開発が進展することにより、多様な動きを見せるアマチュア選手の動きの特徴や癖の抽出<sup>(9)</sup>、その善し悪しの判断や把握がより明確になると期待できる。さらに、それらデータの縦横断方向の蓄積は、修正や強化のための適切な指導・練習プログラムの作成につながると期待できる。

このような構想を実現するために必要なステップの一つとして、指導現場で簡易に使える利用視点(ソフト)

<sup>\*1</sup> 正員, 名古屋学院大学 スポーツ健康学部 (〒480-1298 愛知県瀬戸市上品野町 1350)

<sup>\*2</sup> 正員, 信州大学 繊維学部

<sup>\*3</sup> 正員, 佐賀大学 文化教育学部

<sup>\*4</sup> 正員, 愛知大学 地域政策学部

E-mail: saiken@ngu.ac.jp

の開発とセンサ（ハード）の開発があげられる<sup>(5)-(8)</sup>。本研究は、この一貫として変化球投球を題材に、上肢、体幹、下肢の関節運動、および爪ひずみからみたボールの把持・離球の状態を、センサを用いて計測および分析を行った。

## 2. 方 法

### 2・1 被験者、センサ装着、試技および計測

被験者は野球経験が10年以上の大学野球選手4名であった。被験者の手首に4個(Analog Devices社製ADXL190,  $\pm 100G$ )、上腕部に4個(Analog Devices社製ADXL150,  $\pm 50G$ )の加速度センサを、体幹背部と腰部(マイクロストーン社製MG2-01Da-RDB,  $\pm 4,000$  deg/s)、さらに両大腿外側部と踏み出し足下腿外側部にそれぞれ、二軸(InvenSense社製IDG-300,  $\pm 500$  deg/s)のジャイロセンサを装着した(図1a,b,2a)。

また、被験者の投球側人差し指と中指の爪にそれぞれ4枚ずつひずみゲージ(共和電業, KFG-1N-120-C1-11)を貼付し、ボールリリース前後の把持・離球状態を、爪ひずみを利用して観察した。それぞれの爪に、図2(b)に示すように十字状にゲージを貼付し、便宜上、東西南北を指すゲージをそれぞれE, W, S, Nと表す(爪の先がN, 爪の根がS)。計測チャンネルは計25チャンネルであった。

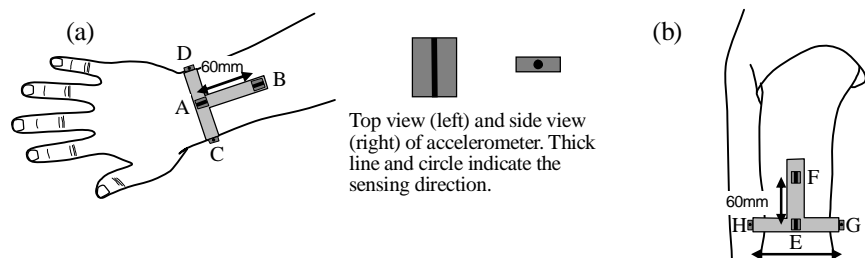


Fig.1 (a) Four accelerometers were used for measuring the accelerations at wrist. The angular velocity at wrist by arm swing was calculated from the acceleration measured by accelerometers A and B. The angular velocity of pronation/supination of forearm was calculated from the acceleration measured by accelerometers C and D.

(b) Four accelerometers were used for measuring the accelerations at upper arm. The angular velocity at upper arm by arm swing was calculated from the acceleration measured by accelerometers E and F. The angular velocity of internal/external rotation of shoulder was calculated from the acceleration measured by accelerometers G and H.

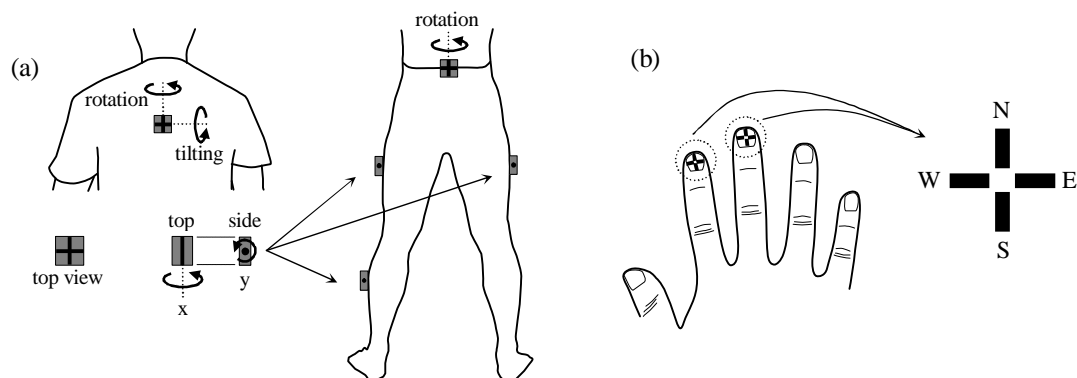


Fig.2 (a) Two-axis gyro sensors were used for measuring the angular velocities of rotation and forward tilting of torso at high back, and rotation of hip. The angular velocities about lower limb were also measured with two-axis gyro sensors.

(b) Eight strain gauges affixed on the nails of 2nd and 3rd fingers. Four strain gauges on each nail were expressed by north, west, east and south.

被験者には、室内に設置している前方5mにあるネットに向かって、次のような手順で投球を行わせた。ウォーミングアップ投球、10球のスピード漸増投球、20球の一定動作一定スピード投球、5球の変化球投球(投球可能な球種)であった。なお、投球の努力度は、センサやケーブルによる拘束の範囲内で可能な限りとした。

これらの間，被験者前方（投球方向）と側方（三塁側）から，300fps で高速ビデオ撮影（CASIO 社製, Exilim）した．また，投球方向において，スピードガン（Bushnell 社製）により投球スピードを計測した．このような試技において計測された 25 チャンネルのセンサ信号は，サンプリング周波数 1,000 Hz，精度 16 bit で A/D 変換しコンピュータに取り込んだ．取り込んだ信号は，遮断周波数 20Hz のローパスフィルタをかけた後，前腕と上腕の加速度からは次節に示すように角速度を計算した．

## 2・2 角速度計算

図 1a のセンサ A, B（あるいは図 1b のセンサ E, F）で計測される加速度をそれぞれ  $A_{z1}$ ,  $A_{z2}$  とすると（ $z$  は前腕あるいは上腕の長軸方向の軸），

$$A_{z1} = \ddot{R} - g + (\rho + d)(\omega_x^2 + \omega_y^2) \quad (1)$$

$$A_{z2} = \ddot{R} - g + \rho(\omega_x^2 + \omega_y^2)$$

$$A_{z1} - A_{z2} = d(\omega_x^2 + \omega_y^2) \quad (2)$$

$$|\omega| = \sqrt{\omega_x^2 + \omega_y^2} = \sqrt{(A_{z2} - A_{z1})/d} \quad (3)$$

と表される．ここで， $d$  は，両センサ間の距離で図 1a, b とともに 60 mm である． $\omega_x$ ,  $\omega_y$  はともに  $z$  軸に垂直な軸まわりの角速度である．したがって，(3)式で表される  $|\omega|$  は，投動作中のあらゆる腕振り（長軸まわりの回転運動を除く）時に，前腕部（あるいは上腕部）で計測される角速度である．

一方，図 1a のセンサ C, D（あるいは図 1b のセンサ G, H）で計測される加速度をそれぞれ  $A_1$ ,  $A_2$  とすると，

$$A_1 = \ddot{R} - g + \omega_x \omega_y \rho + \alpha_z \rho \quad (4)$$

$$A_2 = \ddot{R} - g + \omega_x \omega_y \rho - \alpha_z \rho$$

と表される．ここで， $\ddot{R}$  は並進加速度， $g$  は重力加速度， $\alpha_z$  は前腕あるいは上腕長軸まわりの角加速度， $\omega_x$ ,  $\omega_y$  は長軸に直交する軸まわりの角速度， $\rho$  は回転軸からセンサまでの距離である．したがって，

$$A_1 - A_2 = 2\rho\alpha_z \quad (5)$$

$$\alpha_z = \frac{A_1 - A_2}{2\rho} \quad (6)$$

となる．ただし，回転軸から両センサまでの距離が等しいことを前提としている．このようにして求めた角加速度を積分することで，前腕長軸まわりの回転運動（前腕の回内外）と上腕長軸まわりの回転運動（肩の内外旋）の角速度を求めた．

## 2・3 統計計算

球種間の動作の類似度を定量化するために，異なる球種を投球したときに計測あるいは上述の方法で得られた角速度の平均波形を用いて相互相関関数を計算した．そして，類似度としての相関係数と動作の時間差を求めた．相関係数と時間差は，球種を要因として一元配置の分散分析および多重比較（Tukey の方法）により差の検定を行った．

## 3. 結 果

### 3・1 投球スピード

4 人の被験者のうち，ストレートは全員，スライダーは 3 人，カーブは 1 人，シュートは 3 人，フォークは 1 人が投球した．それぞれの投球スピードの平均は，ストレートが  $105.36 \pm 4.2$  km/h，スライダーが  $96.8 \pm 2.1$  km/h，カーブが  $80.5 \pm 12.8$  km/h，シュートが  $104.8 \pm 3.3$  km/h，フォークが  $97.8 \pm 4.3$  km/h であった．

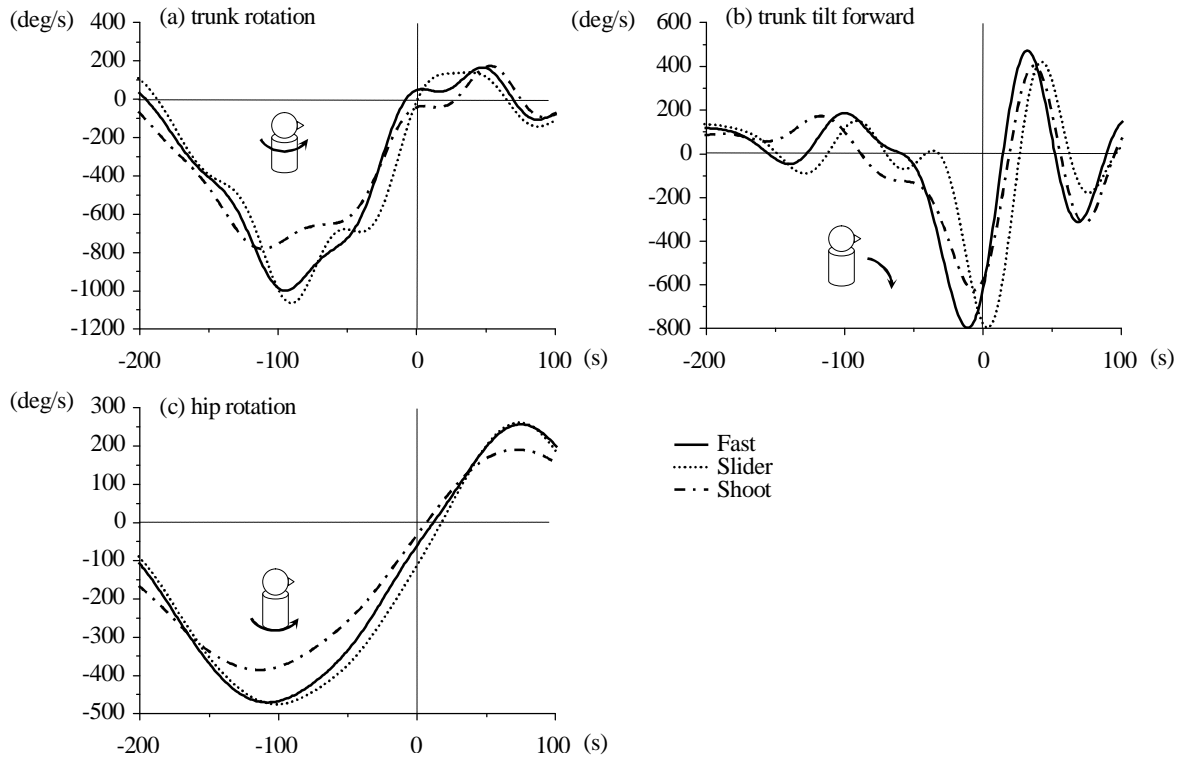


Fig.3 The angular velocities of (a) trunk rotation, (b) forward tilting of trunk, and (c) hip rotation during pitching fast ball, slider, and shoot ball. Time zero indicates the instant of ball-release.

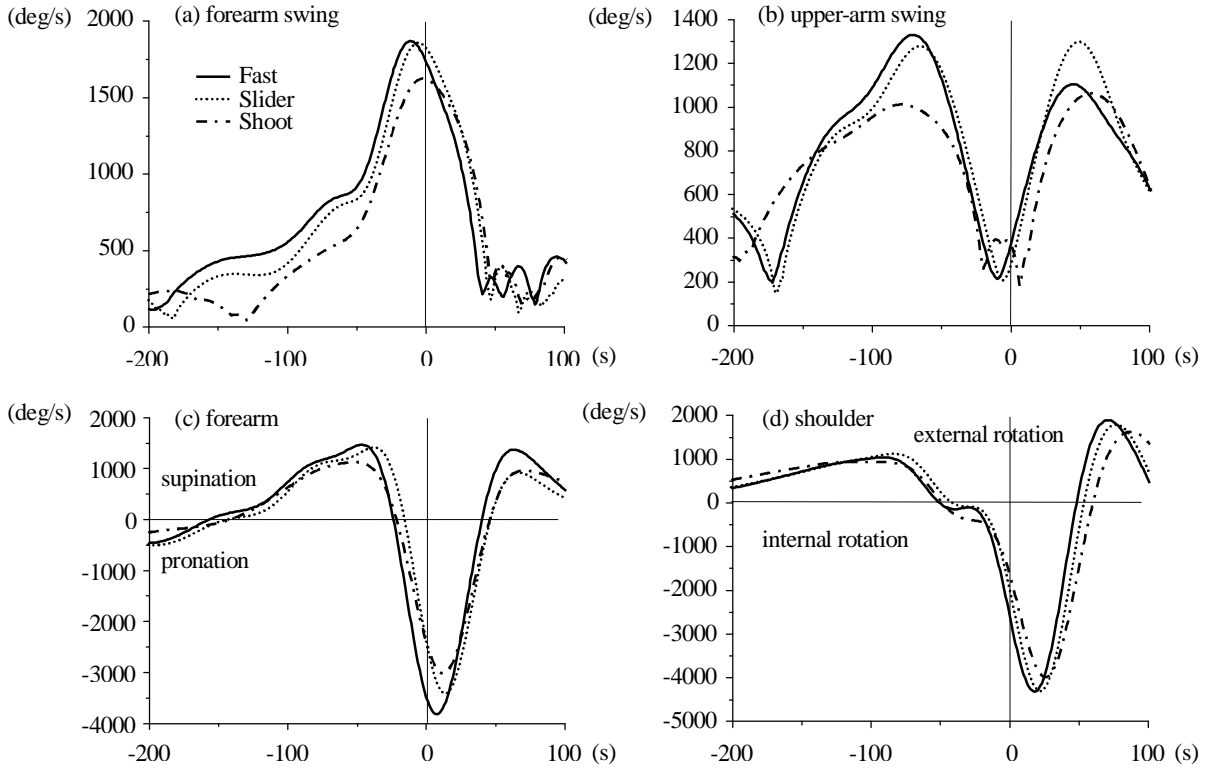


Fig.4 The angular velocities of (a) swing of forearm, (b) swing of upper-arm, (c) forearm pronation, and (d) internal rotation of shoulder during pitching fast ball, slider, and shoot ball. Time zero indicates the instant of ball-release.

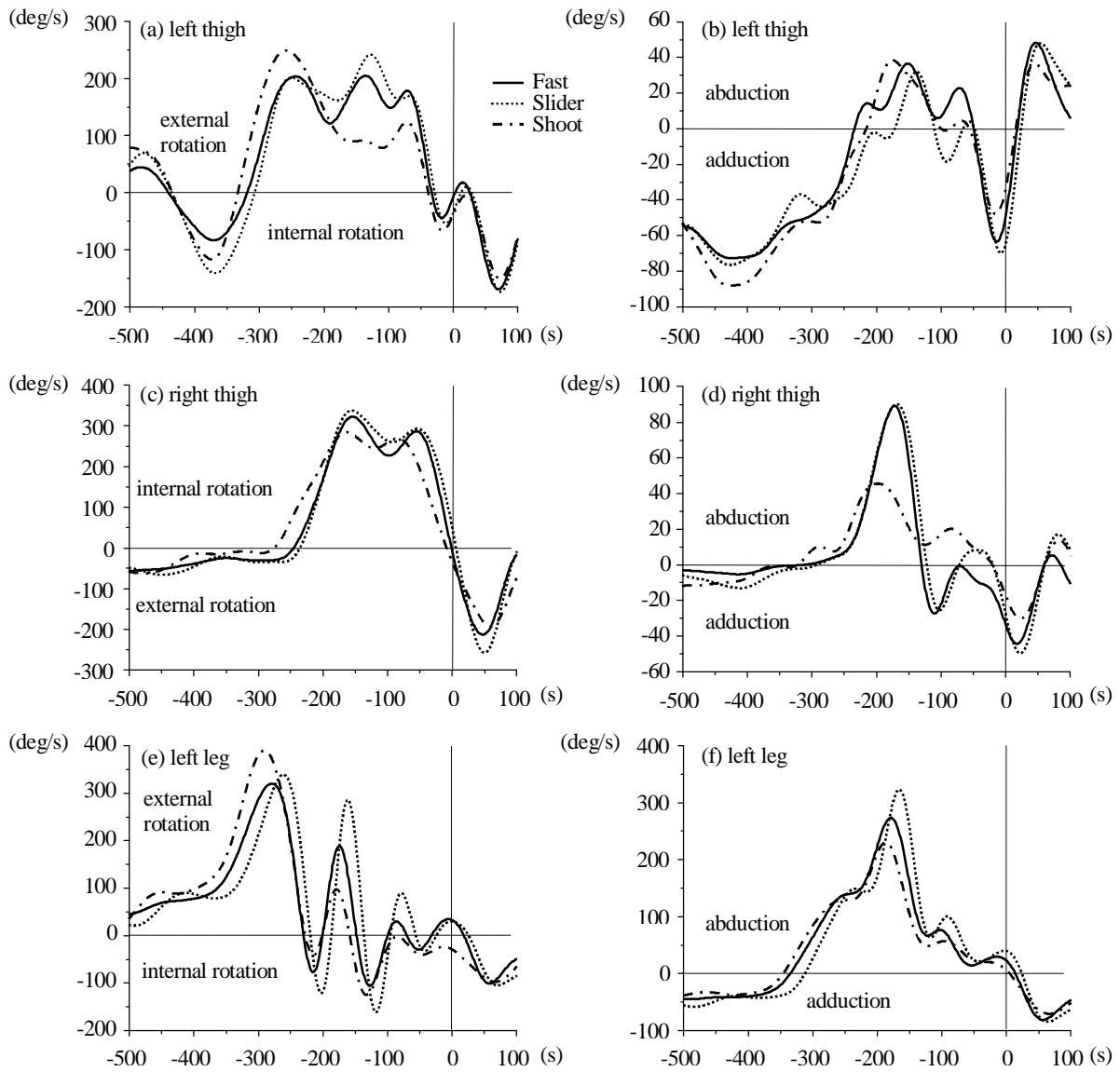


Fig.5 The angular velocities of (a) rotation about longitudinal axis of left thigh, (b) swing of upper-arm, (c) rotation about longitudinal axis of right thigh, and (d) internal rotation of shoulder, (e) rotation about longitudinal axis of left leg, (f) during pitching fast ball, slider, and shoot ball. Time zero indicates the instant of ball-release.

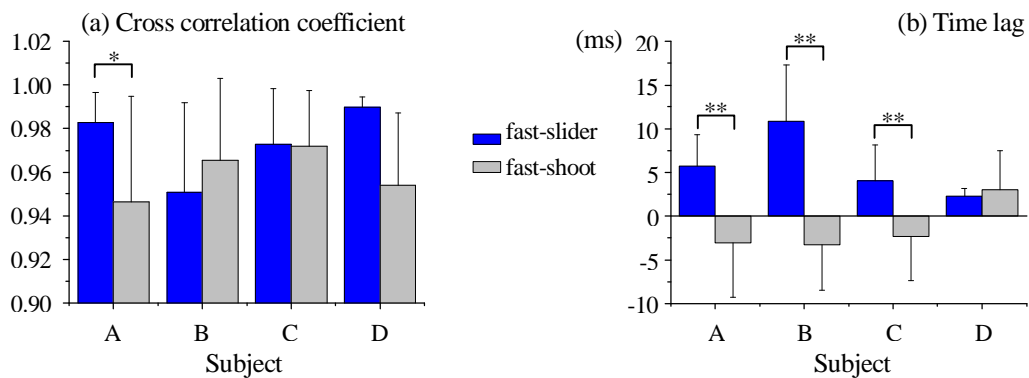


Fig.6 The cross correlation coefficient (a) and time lag (b) extracted from cross correlation functions that were calculated between the angular velocities of fastball pitches and slider pitches, or fastball pitches and shoot ball pitches by four subjects. These were averaged values of the cross correlation coefficients and time lags in all joint motions. \*\*  $p < 0.01$ , \*  $p < 0.05$ .

### 3・2 関節運動

図 3, 4, 5 に, 被験者が A ストレート Fast, スライダーSlider, シュート Shoot を投球したときの体幹腰部, 上肢, および下肢の角速度の平均波形を示す. 概ねボールリリース前 150~130ms がステップ足(左足)の着地時期(これ以降, レイトコッキング期), ボールリリース前 50~30ms が最大外旋位(これ以降, 加速期), そして時刻ゼロが爪ひずみ波形から決定したボールリリース時刻である.

この被験者の場合, 三球種のうち, ストレート投球とスライダー投球において近い関節運動パターンを示した(図 3~5). これらすべての関節運動について求めた相関係数を平均した結果が図 6(a)の被験者 A である. 被験者 A については, ストレート投球とスライダー投球の間の相関係数が, ストレート投球とシュート投球の間の相関係数よりも有意に高かった ( $p < 0.05$ ). シュート投球においては, ボールリリース前後においてストレート投球やスライダー投球よりも角速度が小さい傾向も認められた(図 3~5).

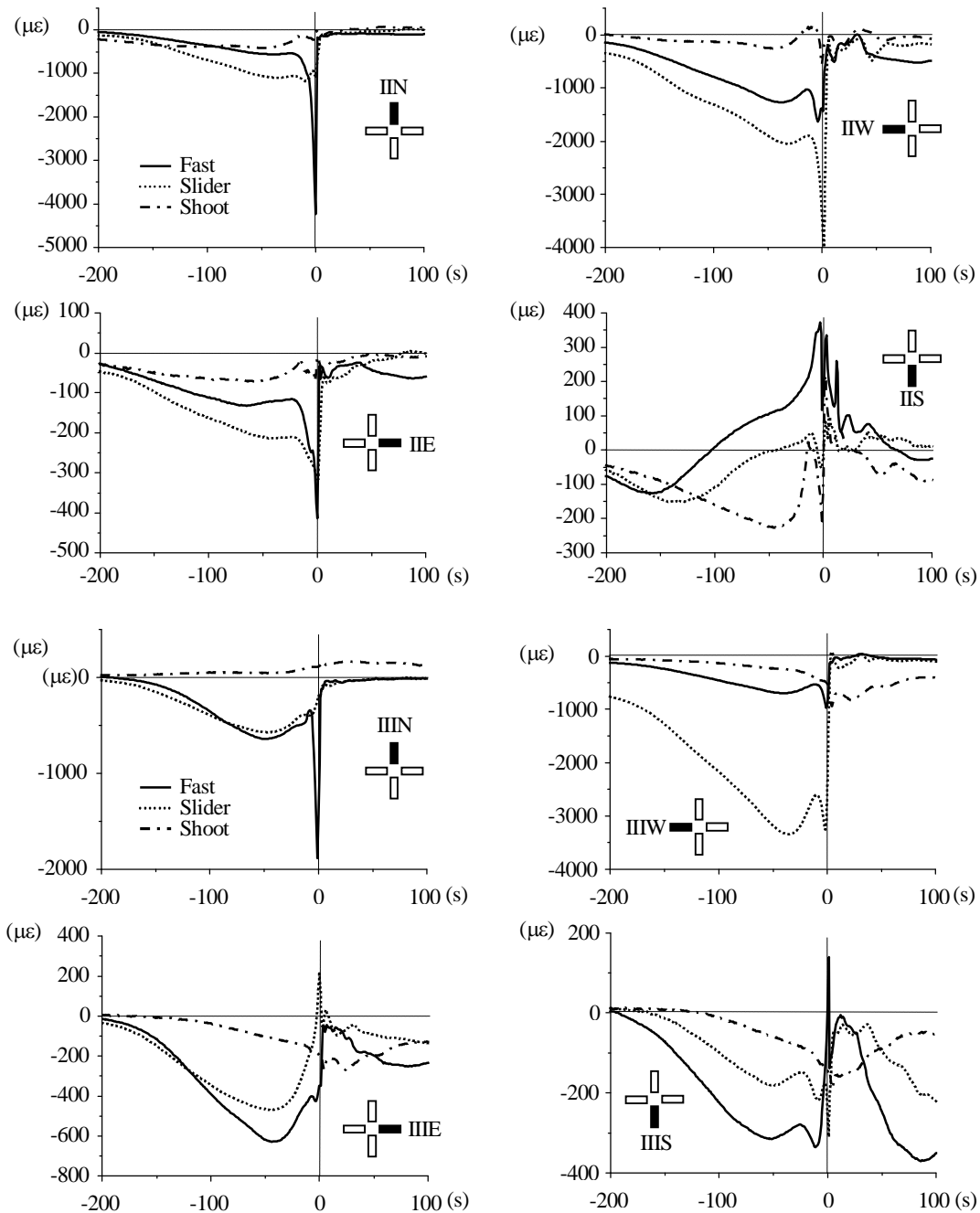


Fig.7 The strain of nails of 2nd and 3rd finger before and after the ball-release when subject A pitched fastball, slider and shootball. Time zero indicates the instant of ball-release.

一方、スライダー投球においてストレート投球よりボールリリースを基準として見た運動が遅れ、シュート投球において前腕の回内、肩の内旋を除く運動で先行する傾向にあった(図3~5)。この概傾向は被験者 A, B, C において認められ、スライダーとシュートの運動の平均値の間には有意な時間差が認められた ( $p < 0.01$ ) (図6)。

### 3.3 爪ひずみ

被験者 A が、ストレート、スライダー、シュートを投球したときの爪ひずみの平均波形を図7に示す。トータルのひずみ量はストレート投球において、スライダー、シュートより大きかった。

ストレート投球では IIN, IIIN のひずみが大きく、特に IIN においてボールリリース近傍に集中していた。これは、その他の被験者においても共通してみられた特徴であった。その他の部位は、ボールリリース前 200ms くらいから徐々にひずみが増大する(相対的に大きなひずみが生じる)傾向が認められた。また、IIS のように引張りひずみが生じる場合もあった。

スライダー投球では IIW, IIIW においてストレートより大きくなった。その他の部位では、大小のバラツキはあるものの概ねストレートと似たパターンであった。一方、シュート投球ではストレートやスライダーのような明確な強いひずみは検出されず、パターンもストレートやスライダーと異なる傾向にあった。

図8にボールリリース時の爪ひずみの大きさを、爪の模式図に示した。被験者による違いは認められるものの、ストレート投球は IIN, IIIN および IIIW に共通して大きなひずみが認められ、スライダー投球では IIW, IIIW に相対的に大きなひずみが認められた。

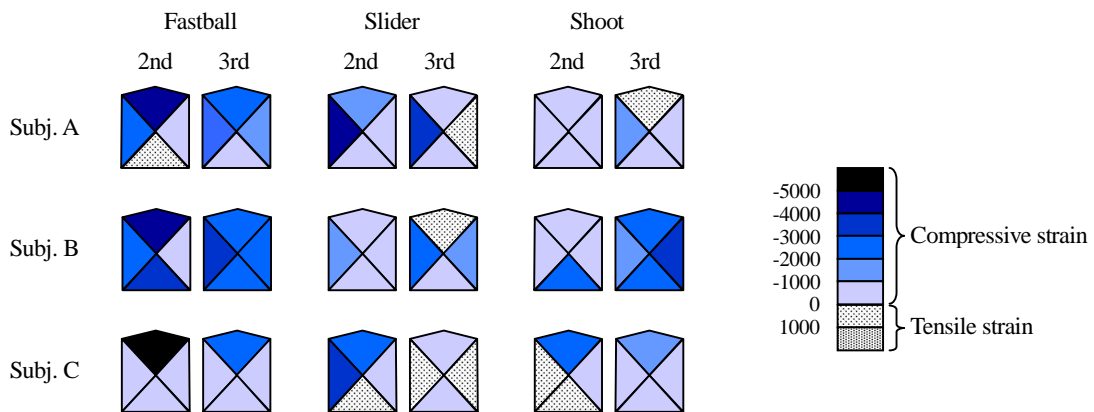


Fig.8 Visualization of the strain of nail at the instant of ball-release about three subjects.

## 4. 考 察

ボールリリースを基準として角速度波形を重ね合わせた場合、スライダー投球の動作がストレート投球より遅れ、シュート投球の動作がストレート投球より先行するという平均的傾向が、本研究の被験者で認められた(四人の平均でスライダーが 5.7 ms 遅れ、シュートが 1.4 ms 先行)。裏を返せば、スライダー投球のボールリリースがストレート投球より早く、シュート投球のそれがストレート投球よりも遅れるということになる。後者の判断が妥当だとすれば、スライダー投球における 5.7 ms のボールリリース先行は、ボールスピード(すなわち手の振り)が 100km/h の場合、ストレート投球よりボールリリースが約 16cm 手前ということになる。同様に考えると、シュート投球の 1.4ms の遅れは約 4cm 捕手側でボールリリースしていることになる。加速期~ボールリリース~フォロースルー前半における前腕の動きが、回外位から一貫して回内することを考えると、上記のようなボールリリースの位置関係がスライダー、ストレート、シュートという順になるのは妥当であるといえる。ただし、図3,4に示されているように、体幹前傾や上肢の動きに必ずしもそのような順序性が認められないケースもあった。

角速度波形(動作)パターンと爪ひずみパターンが、ストレート投球とスライダー投球の間で比較的類似していた。これは、ボールリリースにおけるタイミング(位置)やスピンのかけ方(ボール回転軸の方向)に違いがあるものの、一般的には、俗に言う「腕の振り」の違いが少ない球種であることが原因であると考えられる。そ

れに対し,シュート投球は,図3~5や図7に見られるように,ストレートおよびスライダー投球と異なるパターンが認められた.シュート投球の場合,スピンをかけるためには第四指方向にボールをぬく(動かす)ような手の使い方が必要になり(この場合チェンジアップやシンカーとみなされることもある),第一指方向にボールを動かすスライダーよりも投げにくさがともなう.この投げにくさがボールリリース以前の,諸関節運動角速度の相対的な小ささやひずみ量の少なさに影響した可能性がある.

前述のような動きの類似性や順序性に関する概傾向は,個別に見ると個人内の関節間に差異が認められるだけでなく(図3bや図4a,c,d),図6のように個人間の差異も認められた.図3~5,7に示した被験者Aは,ストレート投球とスライダー投球の間により高い類似性が認められたが,被験者Bでは有意性はなかったものの,ストレート投球とシュート投球の間の類似性の方が高かった.また,被験者Cにおいてはスライダー投球とシュート投球は同等であった.動きのタイミングにおいては,被験者Dはスライダー投球とシュート投球の時間差が同等で,他の被験者のような差が認められなかった.このような,投球種間,個体間,あるいは試技間の異同,動作とボールリリースの関係については,被験者個人の特徴あるいは癖に起因すると片付けることもできるが,今後,被験者や試技数を増やすことによって,原因となるメカニズムや関節運動間の関係やそれらのボールリリースへの影響について精査することが必要である.

## 文 献

- (1) Elliott, B., Grove, J. R., Gibson, B. and Thurston, B., A three-dimensional cinematographic analysis of the fastball and curveball pitches in baseball, *Int. J. Sport Biomech.*, Vol.2 (1986), pp.20-28.
- (2) Sakurai, S., Ikegami, Y., Okamoto, A., Yabe, K. and Toyoshima, S., A three-dimensional cinematographic analysis of upper limb movement during fastball and curveball baseball pitches, *J. Appl. Biomech.*, Vol.9 (1993), pp.47-65.
- (3) Fleisig, G.S., Kingsley, D.S., Loftice, J.W., Dinnen, K., Ranganathan, R., Dun, S., Escamilla, R.F., Andrews, J.R.: Kinetic comparison among the fastball, curveball, change-up, and slider in collegiate baseball pitchers. *Am. J. Sports Med.*, Vol.34 No.3 (2006), pp.423-430.
- (4) 中村康雄, 林 豊彦: ストレートとカーブの投球動作の運動学・動力学解析, *Doshisha Journal of Health & Sports Science*, Vol.2 (2010), pp.38-46.
- (5) 齋藤健治, 井上伸一, 湯川治敏, 慣性センサによる野球投球時の上肢と体幹の運動計測, *スポーツ工学シンポジウム, シンポジウム ヒューマン・ダイナミクス講演論文集*, (2009), pp.177-181.
- (6) 齋藤健治, 渡辺正和, 井上一彦, 井上伸一, 酒井淳一, 竹田忠紘, 野球投球における上肢・体幹運動の慣性センサ計測, *名古屋学院大学論集, 人文・自然科学篇* Vol.48 No.1 (2011), pp.33-48.
- (7) 齋藤健治, 井上一彦, 井上伸一, 加速度センサにより計測した野球投球時の体幹および前腕の運動と投球スピードとの関係, *人間工学*, Vol.48 No.1 (2012), pp.40-47.
- (8) 齋藤健治, 仰木裕嗣, 井上伸一, 市川 浩, 山岸正克, 宮地 力, 高井省三, 手首で計測した加速度による投球スピードの推定, *体育学研究*, Vol.47 No.1 (2002), pp.41-51.
- (9) 齋藤健治, 井上伸一, 湯川治敏, センサによる野球投動作の計測と動作再現性の評価, *シンポジウム: スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス 2012 講演論文集*, (2012), pp.181-184.