

博士論文

令和 4 年度

ハンドル先行距離獲得からみたハンマー投ターン動作中の  
ハンマーヘッド加速技術に関するバイオメカニクス的研究

藤井 宏明

筑波大学

## 目次

博士論文に関係する業績一覧 .....	iv
表のタイトル一覧 .....	vi
図のタイトル一覧 .....	ix
第 1 章 緒論 .....	13
1.1 研究の背景 .....	13
1.2 目的 .....	5
1.3 課題 .....	6
1.4 本研究の仮定 .....	6
1.5 本研究の限界 .....	7
第 2 章 文献研究 .....	9
2.1 ハンマー投における投擲距離の決定要因 .....	9
2.2 ターン動作中のハンマーヘッドスピードの変化 .....	10
2.3 ターン動作中のハンマーヘッド加速について .....	11
2.4 ターン動作中のハンマーヘッド加速と身体の動き .....	13
第 3 章 方法 .....	17
3.1 分析対象者およびデータ収集 .....	17
3.2 分析区間および動作区分点 .....	20
3.3 算出項目 .....	20
3.4 時系列データの規格化 .....	43
3.5 統計処理 .....	43
第 4 章 ハンマーヘッドスピード増加に影響するハンドル先行距離獲得のためのハンドル	

の動き .....	44
4.1 緒言 .....	44
4.2 方法 .....	45
4.3 結果 .....	45
4.4 考察 .....	49
4.5 結言 .....	57
第5章 ハンドル先行距離獲得のための身体の動き .....	59
5.1 緒言 .....	59
5.2 方法 .....	60
5.3 結果 .....	60
5.4 考察 .....	66
5.5 結言 .....	74
第6章 記録水準の異なる競技者のターン動作中の上肢・体幹の動き .....	75
6.1 緒言 .....	75
6.2 方法 .....	75
6.3 結果 .....	75
6.4 考察 .....	97
6.5 結言 .....	108
第7章 記録水準の異なる競技者の投擲記録とターン動作中の下肢の動きとの関係性..	110
7.1 緒言 .....	110
7.2 方法 .....	111
7.3 結果 .....	111
7.4 考察 .....	121
7.5 結言 .....	129

第 8 章 記録水準の違いによるハンドル先行距離獲得のためのハンドルおよび身体の動き	131
8.1 緒言	131
8.2 方法	132
8.3 結果	133
8.4 考察	148
8.5 結言	159
第 9 章 総合討論	161
9.1 リリース時の投射スピードを高めるためのハンマーヘッド加速方略について	161
9.2 ターン動作中のハンドル先行距離獲得のための動作技術	162
9.3 高速下において競技者がターン動作を遂行するための動作技術	166
9.4 高速下において競技者がハンマーヘッド減速を抑えるための動作技術	170
9.5 指導現場への示唆	171
第 10 章 結論	175
10.1 ハンマーヘッドスピード増加に影響するハンドル先行距離獲得のための身体の動き	175
10.2 ターン動作中の記録水準の高い競技者の身体の動きの特徴	176
10.3 記録水準の違いによるハンドル先行距離獲得のためのハンドルおよび身体の動きについて	177
10.4 指導への示唆	178
10.5 今後の課題	178
文献	182

## 博士論文に関する業績一覧

### I. 論文

- 1) 藤井宏明, 大山卞圭悟, 藤井範久: ハンマー投ターン動作中におけるハンマーヘッドスピード増加に貢献するハンドル先行距離獲得のためのハンドルの動き. バイオメカニクス研究 23 (3), 110-119, 2019. (査読あり)
  
- 2) 藤井宏明, 大山卞圭悟, 藤井範久: 記録水準の異なるハンマー投競技者のハンマーヘッドスピードとハンドルの動き. 体育学研究 65, 643-657, 2020. (査読あり)
  
- 3) 藤井宏明, 大山卞圭悟, 藤井範久: 記録水準の異なるハンマー投競技者のターン動作におけるハンマーヘッド加速動作のキネマティクス分析. 体育学研究 66, 219-237, 2021. (査読あり)
  
- 4) 藤井宏明, 藤井範久: ハンマー投ターン動作中におけるハンドル先行距離獲得のための身体の動き. バイオメカニクス研究 25, 14-27, 2021. (査読あり)
  
- 5) 藤井宏明, 大山卞圭悟, 藤井範久: 投擲記録とハンマー投競技者のターン動作における下肢動作のキネマティクス変数との関係性. 陸上競技学会誌, 19-29, 2022. (査読あり)

### II. 学会発表

- 1) 藤井宏明, 藤井範久: 記録水準の異なるハンマー投げ選手のターン動作におけるハンマーヘッド加速動作のキネマティクスの分析. 第 69 回日本体育学会 (徳島大学), 2018 年 8 月 24 日.
  
- 2) 藤井宏明, 藤井範久: ハンマー投ターン動作におけるハンマーヘッドスピード増加とハ

- ンドル法線速度増加との関係性について. 第 25 回日本バイオメカニクス学会大会 (日本体育大学), 2018 年 9 月 4 日.
- 3) 藤井宏明, 藤井範久: 記録水準の異なるハンマー投選手のハンマーヘッドスピードとハンドルの動き. 第 70 回日本体育学会 (慶應義塾大学), 2019 年 9 月 12 日.
  - 4) 藤井宏明, 大山下圭悟, 藤井範久: ハンマー投競技者における投擲記録と両脚支持期の下肢動作のキネマティクス変数との関係性. 日本陸上競技学会第 19 回大会 (山梨学院大学), 2021 年 2 月 23 日.
  - 5) 藤井宏明, 藤井範久: 記録水準の異なるハンマー投競技者のターン動作中のハンマーおよび身体角運動量. 日本体育・スポーツ・健康学会第 71 回大会 (筑波大学), 2021 年 9 月 7 日.
  - 6) 藤井宏明, 藤井範久: ハンマー投における右足接地時のハンマーヘッド位置とハンドル先行距離との関係性. 第 27 回日本バイオメカニクス学会大会 (順天堂大学), 2021 年 11 月 7 日.

表のタイトル一覧

【第6章】

Table 6-1 Azimuth angle of hammer, elevation angle of hammer, shoulder rotation angle and hip rotation angle at each event.....	76
Table 6- 2 Correlation coefficient between record, Azimuth angle of hammer, Elevation angle of hammer, azimuth angle of left arm, shoulder rotation angle and hip rotation angle at each event.....	78
Table 6-3 Correlation coefficient between throwing record, angular displacement of azimuth angle of hammer, shoulder rotation and hip rotation during DSP and Ron-LP. ....	79
Table 6-4 Correlation coefficient between azimuth angle of hammer at Ron, angular displacement of azimuth angle of hammer, shoulder and hip rotation during Ron-LP. ....	80
Table 6-5 Correlation coefficient between throwing record, azimuth average angular velocity of hammer, shoulder rotation average angular velocity and hip rotation average angular velocity during DSP and Ron-LP. ....	81
Table 6- 6 Correlation coefficient between throwing record and time during DSP and Ron-LP. ....	83
Table 6-7 Correlation coefficient between throwing record and velocity of left and right shoulder joint center during Ron-LP.....	85
Table 6-8 Correlation coefficient between throwing record and increment of hammer head speed during Ron-LP.....	86
Table 6-9 Correlation coefficient between record, upper limbs, and trunk kinematic parameter	

at each event.....	88
Table 6-10 Correlation coefficient between throwing record, angular displacement of trunk front twist, trunk twist average angular velocity during Ron-LP. ....	90
Table 6-11 Angular displacement of shoulder joint horizontal abduction (Displacement of sh-habd) and average angular velocity of shoulder joint horizontal abduction (angular velocity of sh-habd) during LP-Roff. ....	91
Table 6-12 Correlation coefficient between throwing record, displacement of shoulder flexion/extension, shoulder flexion/extension max and min angular velocity during each turn. ....	92
Table 6-13 Correlation coefficient between throwing record, angular displacement of trunk back lean during DSP and trunk angular velocity of trunk back lean during Ron-LP. ....	93
Table 6-14 Correlation coefficient between throwing record, angular displacement of trunk right/left lean during DSP and trunk angular velocity of trunk right/left lean during DSP. ....	95
Table 6-15 Correlation coefficient between throwing record, body height and perpendicular distance between the line of force acting in the direction of centrifugal force on the hammer wire and the body center of gravity (rwire – bodyCG) at LP.....	96

**【第 7 章】**

Table 7- 1 Correlation coefficient between record and right leg joints kinematics parameter at each event. ....	113
Table 7-2 Correlation coefficient between record and angular displacement of right leg joint during DSP. ....	114



Table 7-3 Correlation coefficient between hip rotation angular velocity during DSP and angular displacement of right knee joint flexion during DSP.....	116
Table 7-4 Correlation coefficient between increase of hip rotation velocity and angular displacement of right hip adduction during DSP.....	117
Table 7-5 Correlation coefficient between record and left leg joints kinematics parameter at each event. ....	120
Table 7-6 Correlation coefficient between record and angular displacement of left leg joint during DSP.....	122
Table 7-7 Correlation coefficient between increase of hip rotation velocity and angular displacement of left hip joint abduction during DSP.....	123
Table 7-8 Correlation coefficient between throwing record and time during SSP.	124
Table 7-9 Correlation coefficient between throwing record and hip rotation angular velocity during SSP. ....	125

**【第 8 章】**

Table 8-1 Integration of positive leading distance of handle and max value of leading distance of handle during each turn. ....	137
Table 8-2 Hammer head moving distance.....	139
Table 8-3 Handle moving distance during HP—LP.....	140
Table 8-4 Time during DSP.....	150

**【第 9 章】**

Table 9-1 Correlation coefficient between Azimuth angle of hammer at Ron, angular displacement of azimuth angle of hammer, shoulder and hip rotation during DSP. ....	167
---	-----

図のタイトル一覧

【第3章】

Figure 3- 1 Experimental setup diagram (camera layout and calibration points ).	18
Figure 3- 2 Digitizing points of the body and the hammer head.	19
Figure 3- 3 Definition of turn phases.	21
Figure 3- 4 Rotating plane of hammer and instantaneous center of rotation.	24
Figure 3- 5 Rotating plane coordinate system, instantaneous center of rotation, and leading distance of handle.	25
Figure 3- 6 Hammer head velocity, handle velocity, velocity of hammer rotational component (Hammer ROT velocity) and angles of $\theta_1$ and $\theta_2$ .	26
Figure 3- 7 Definition of the segment coordinate systems.	27
Figure 3- 8 Definition of the joint coordinate systems.	30
Figure 3- 9 Angle definitions of hammer and shoulder rotation.	33
Figure 3- 10 Angle definitions of upper limbs and trunk.	36
Figure 3- 11 Reference frame on upper torso and hammer.	37
Figure 3- 12 Lower trunk reference frame.	40
Figure 3- 13 Angle definitions of lower limbs.	41

【第4章】

Figure 4-1 Hammer head, handle and instantaneous center of rotation (ICR) on static coordinate system (dotted line: Single Support Phase (SSP), solid line: Double Support Phase (DSP)).	46
Figure 4-2 Radius of curvature.	47

Figure 4- 3 Hammer head speed, Leading distance, tangential direction ( $X_{icr}$ left) and radial direction ( $Y_{icr}$ right) of hammer rotational component velocity (hammer ROT velocity) and handle velocity on rotation plane of hammer. ....	48
Figure 4-4 Relationship of hammer head velocity, hammer rotational component, handle velocity and leading distance of handle .....	52
Figure 4-5 Relationship between handle movement and handle velocity on two dimensional plane of hammer. ....	55

## 【第 5 章】

Figure 5-1 Comparison between the measured and calculated handle velocity on rotation plane of hammer ((a) Tangential direction ( $X_{icr}$ ) of handle velocity and (b) radial direction ( $Y_{icr}$ ) of handle velocity).....	61
Figure 5-2 Changes in the Shoulder joint angular velocity, upper trunk joint angular velocity, and lower trunk segment angular velocity. ....	62
Figure 5-3 Midpoint of the two hip velocity on rotation plane of hammer.....	64
Figure 5-4 Calculated handle velocity obtained from the motion toward radial direction ( $Y_{icr}$ ). .....	65
Figure 5-5 Calculated handle velocity obtained from the motion toward tangential direction ( $X_{icr}$ ). ....	67
Figure 5-6 Acquisition of handle velocity by shoulder extension movement during HP—LP. ....	69

## 【第 6 章】

Figure 6-1 Angle of upper limbs and trunk during turn and release phase.....	87
Figure 6-2 Typical motion at Ron2. ....	100
Figure 6-3 Moment of centrifugal force around CG of body. ....	106

【第 7 章】

Figure 7-1 Angle of Right leg joints during turn phase..... 112

Figure 7-2 Angle of Left leg joints during turn phase. .... 118

Figure 7-3 Left thigh angle and left shank angle during turn phase..... 119

【第 8 章】

Figure 8-1 Hammer head speed (Solid line: Excellent group, dot line: Normal group).  
..... 134

Figure 8-2 Tangential direction ( $X_{icr}$ ) of hammer rotation velocity, Leading distance  
of handle, Tangential direction ( $X_{icr}$ ) of handle velocity and Radial direction  
( $Y_{icr}$ ) of handle velocity on rotating plane coordinate system..... 135

Figure 8-3 Angle between hammer head velocity and handle velocity on  
the  $X_{icr}Y_{icr}$  plane. .... 138

Figure 8-4 Increment of hammer head speed during each turn phase. .... 141

Figure 8-5 Changes in the Shoulder joint angular velocity, upper trunk joint angular velocity,  
and lower trunk segment angular velocity ..... 142

Figure 8-6 Midpoint of the two hip velocity on rotation plane of hammer..... 144

Figure 8-7 Calculated handle velocity obtained from the motion toward radial direction ( $Y_{icr}$ ).  
..... 145

Figure 8-8 Calculated handle velocity obtained from the motion toward tangential direction  
( $X_{icr}$ ) ..... 147

Figure 8-9 Difference of handle velocity direction between Excellent group (black  
line) and Normal group (gray line) on the  $X_{icr}Y_{icr}$  plane. .... 152

Figure 8-10 Hammer head trajectory on reference coordinate system during HP2—

Roff3. (Excellent group (black line) and Normal group (dotted line))..... 153

Figure 8-11 Hammer head force during hammer head acceleration phase (Excellent group (black line) and Normal group (gray line))..... 155

## 第1章 緒論

### 1.1 研究の背景

#### 1.1.1 ハンマー投について

ハンマー投は陸上競技投擲種目のひとつであり、直径 2.134m のサークル内から全長約 1.2m、男子は重さ 7.26kg、女子は 4.0kg のハンマーを制限区域内（扇形 34.92°）に投げ、飛距離を争う競技である。ハンマーの飛距離を決定づける要因として、リリース時におけるハンマーヘッドの投射スピード・投射角度・投射高・およびリリース後の空気抵抗の 4 つが挙げられる。その中でも、投射スピードは投擲距離との関係性が高く（坂東ほか，2006；池上ほか，1994；室伏ほか，1982；岡本ほか，2006），競技者はリリース時のハンマーヘッド投射スピードを大きくすることを第 1 の目標としている。

ハンマー投の動作は、スイング、ターン、リリースの 3 局面で構成される。スイングは回転前の予備動作のことで、回転に入りやすくするためにハンマーヘッドスピードが適度に高められる。2~3 回スイング動作を行った後、回転動作（ターン動作）を行う。競技者はターンごとにハンマーヘッドスピードの増減を繰り返しながら、次第にスピードを増加させていたことが報告されている（Dapena,1984）。したがって、飛距離を争うハンマー投競技者はスイング動作およびターン動作を行い、ハンマーヘッドスピードを増加させ、遠くに投擲物を投げるためにリリース時の投射スピードを大きくする必要がある。なお、競技者は 3 回転、4 回転、5 回転のターンを行って投擲動作を行う。ハンマー投の世界記録は 3 回転投法を用いる Yury Sedykh 選手の 86.74 m である（2022 年 7 月 21 日時点）。しかしながら、世界歴代 10 傑や日本選手権出場者には 4 回転投法を用いる競技者が多くみられるように、現在は世界および日本国内においても 4 回転投法を用いる競技者が主流となっている。

### 1.1.2 ターン動作中のハンマーヘッド加速メカニズムについて

ターン動作は、スイング動作終了時点で、右足が離地した瞬間から開始される。その後、身体を回転させ、右足の着地と離地を繰り返しながらターン動作が行われる。その動作特性から、ターン動作中において両脚支持期「両足支持期 (Double Support Phase) (以下 DSP)」と片脚支持期「片足支持期 (Single Support Phase) (以下 SSP)」の2つの局面が存在する。バイオメカニクス的研究によって、ハンマーヘッドスピードは主に DSP で加速し、SSP で減速することが明らかにされている (Dapena,1984, 池上ほか, 1994)。したがって、リリース時の投射スピードを大きくするためには、DSP でハンマーヘッドスピードの増加量を大きくし、SSP での減速量を小さくすることで、正味のハンマーヘッドスピード増加量を大きくする必要がある。

ターン動作中のハンマーヘッドスピードを増加させるためには、ハンドルがハンマーヘッドと瞬間回転中心を結ぶ線分より先行した状態でワイヤーに張力を加えることによって、ハンマーヘッドを加速する効果が生じることが明らかにされている (藤井ほか, 2008b ; 藤井ほか, 2010)。さらに、藤井ほか (2010) はハンドル先行距離が正の値を示す区間のハンドル先行距離の積分値 (ハンドル先行距離積分値) とハンマーヘッドスピード増加量との間に有意な相関関係が認められたことを報告した。これらのことから、ハンマーヘッドスピード増加量を大きくするためには、ハンドルをハンマーヘッドと瞬間回転中心を結ぶ線分より距離的にも時間的にも長く先行させることが重要である (藤井ほか, 2010)。一方、藤井ほか (2010) は、ハンドル先行距離負積分値とハンマーヘッド減速量との間に有意な正の相関関係が認められたことから、ハンマーヘッド減少量を小さくするためには、ハンマーヘッドが距離的にも時間的にも長く先行することを避けることが重要であると述べている。これらのことから、ターン動作中における正味のハンマーヘッドスピード増加量を大きくするためには、できるだけハンドルをハンマーヘッドと瞬間回転中心を結ぶ線分より先行させる (ハンドル先行距離を獲得すること) が必要となるといえる。

ターン動作中においてどのような身体の動きがハンドル先行距離の獲得に繋がるかに関して十分に明らかにされていない。藤井ほか(2010)は、右利きの競技者に対して、左腕の水平外転と体幹の捻り戻し動作(下胴部に対する上胴部の左回旋動作)を同時に行うこと、および肩関節中点をハンマーヘッドからハンドルへ向かう方向よりも左肩から右肩に向かう方向よりに移動させるような力を体幹や下肢で発揮することによって、ハンドルを大きく先行させることができると報告している。しかしながら、この報告においては、ハンドル先行距離の増減と左腕の水平外転と体幹の捻り戻し動作などの変化パターンが、ハンドル先行距離の変化パターンと完全に一致しているとはいえず、ハンドルの先行距離の増減に関わる動作に関して推察するまでにとどまっている。これらのことから、ターン中におけるハンドル先行距離の獲得と身体の動きとの関係について定量的に検討し、ハンマーヘッドスピード増加に関わる身体の動きを再検討する必要があると考えられる。

### 1.1.3 記録水準の高い競技者におけるターン動作中のハンマーヘッド加速動作

坂東ほか(2006)は、投擲記録の高い競技者ほど各ターンのハンマーヘッドスピードが大きかったことを報告している。また、藤井ほか(2010)は、投擲記録の高い競技者ほどターン開始時のハンマーヘッドスピードが大きかったことを報告している。すなわち、リリース時のハンマーヘッド初速度が高い競技者ほど、ターン開始時からハンマーを投射するまで、常に大きいハンマーヘッドスピードが生じた中で回転運動を行っているといえる。ハンマーは、ほぼ円運動を行う特性から、ターン動作中のハンマーヘッドスピードが大きくなればなるほど、ハンマーヘッドに生じる遠心力が増加する。このことについて、坂東ほか(2006)は、投擲記録の高い競技者ほど、各ターンのハンマーヘッド加速度最大値が大きかったことを報告し、競技者のパフォーマンス向上のためには、ターン速度が大きい条件下でハンマーヘッドを加速することのできる能力(体力と技術)が必要となると述べている。これらのことから、飛距離を争うハンマー投競技者は、投擲距離を高めるためにスイングからターン動



作を行い、リリース時の投射スピードを大きくする必要があり、また、高速下で回転運動を行い、大きな遠心力に抗しながらハンマーヘッドを加速させていくための体力や技術が必要であるといえよう。

ハンマーヘッド加速動作について、室伏（1994）がハンマーの積極的加速区域である DSP においてできるだけ長い距離、または長い時間、全身の力を作用させていくことが重要であると述べているように、指導現場においては DSP を距離的にも時間的にも長くすることで、ハンマーヘッドスピードを大きくすることを重要視した指導がなされている。さらに、室伏（1994）は DSP においてハンマーヘッドを加速させるための技術課題として、体幹の捻転動作、重心の移動、後方への倒れ込み動作、地面の反発力を高める姿勢（動作）を挙げている。体幹の捻転動作について、素早い右足接地動作を行うことで身体に捻りが生まれ、獲得した捻りを戻すことで、ハンマーヘッドを加速していくことが望ましいとされている（室伏, 1994）。また、先述したように、ターン動作時にはハンマーヘッドに遠心力が生じる。したがって、その遠心力に抗するように身体を後方へ移動させ、身体（体幹も含む）を後方へ倒れこませることでハンマーを牽引することが必要となる。これらのことから、指導現場においては体幹の捻転動作や倒れ込み動作に関する指導に多く時間を割いている現状がある。

ハンマーヘッド加速動作に関するバイオメカニクスの研究に着目すると、ターン動作中における身体動作のキネマティクスの分析による複数の報告がある（藤井ほか, 2008b；藤井ほか, 2010；Gutierrez-Davila and Rojas-Ruiz, 2005；池上ほか, 1994；岡本ほか, 2005；Otto, 1991；田内と藤井 2009；湯浅ほか, 1984）。これらの研究の多くは、世界一流選手を対象とした研究であり、ハンマーと身体を単純な質点の 2 体運動として捉えたハンマーヘッドと身体重心の移動を記述したもの、体幹の捻転角度、体幹の前後傾角度の変化を中心としたキネマティクスの報告である。ハンマー投では、ハンドルを両手で保持することから、上肢において肩関節屈曲伸展運動および肩関節水平内外転運動が行われている。しかしながら、上肢の運動について、藤井ほか（2010）は、ハンマーヘッド加速において左腕の水平

外転運動（肩関節水平外転運動）が重要である可能性を指摘しているもののみである。また、指導現場においては下肢の動作を重要視している一方で、バイオメカニクス的研究においては下肢関節キネマティクスを詳細に検討した研究は、世界一流選手の膝関節の動きについて報告したもの（岡本ほか, 2005 ; Otto,1991）のみである。このように、ハンマー投のバイオメカニクス的研究では、十分に身体動作に関する分析がなされておらず、高速下での回転運動において、ハンマーヘッドを加速させていくための動作技術は明らかにされていない。また、上述したように、投擲記録の高い競技者ほど、ハンマーヘッドスピードや回転スピードが大きい状況であることを考慮すると、ハンマーヘッドに加わる遠心力に差があることから、ハンマーヘッドを加速するための技術が異なる可能性がある。このことから、記録水準が高い競技者あるいは低い競技者を含めた身体動作を検討し、投擲記録の高い競技者の特徴を明らかにすることで、高速下でのターン動作中においてハンマーヘッド投射スピードを大きくするための動作技術を明らかにする必要性もあると考えられる。バイオメカニクスの先行研究においては、体幹捻転動作について記録水準の違いを検討した研究（Gutierrez-Davila and Rojas-Ruiz, 2005）のみと非常に少なく、競技力向上のための知見としては不十分である。これらのことから、様々な記録水準の競技者を含めた身体の動きを検討することで、大きな遠心力に抗しながらハンマーヘッドを加速させていくための技術に関する有益な情報を得ることができ、指導現場において、競技者のパフォーマンスを向上させるための技術に関する新たな視点を提供することができる可能性がある。

## 1.2 目的

本研究の目的は、ハンマー投のターン動作中に必要とされる身体動作技術についてバイオメカニクス的に明らかにし、ハンドル先行距離獲得からみたリリース時のハンマーヘッド投射スピードを高めるための技術指導に対する示唆を得ることである。

### 1.3 課題

本研究の目的を達成するために、以下の課題を設定した。

研究課題 1: ハンマーヘッドスピード増加に影響するハンドル先行距離獲得のための身体の動きを明らかにすること

研究課題 1-1 ハンドル先行距離獲得のためのハンドルの動きについて検討すること

研究課題 1-2 ハンドル先行距離獲得のための身体の動きについて検討すること

研究課題 2: 記録水準の高い競技者の特徴を明らかにすることで、高速下でターン動作を行うために必要とされる身体の動きについて検討すること

研究課題 2-1 記録水準の異なる競技者を対象に、投擲記録とターン動作中の上肢・体幹の動きとの関係性について検討すること

研究課題 2-2 記録水準の異なる競技者を対象に、投擲記録とターン動作中の下肢の動きとの関係性について検討すること

研究課題 3: 研究課題 1, 2 によって得られた結果から、競技者のパフォーマンス向上のための新たなハンマーヘッド加速技術を検討すること

研究課題 3-1 記録水準の違いによるハンドル先行距離獲得のためのハンドルおよび身体の動きについて検討すること

### 1.4 本研究の仮定

- (1) 本研究で対象とした公認競技会における分析対象者は、国内外の一流ハンマー投競技者を代表するものである。
- (2) 公認競技会を模した競技場における実験に参加した競技者は、公認競技会と同様の条件で競技を行ったものとみなす。

- (3) 本研究では公認競技会での動作を撮影・分析したため、身体計測点にマークを貼付することができなかった。しかしながら、分析者はデジタイズを習熟しているため、計測点の座標は適切に収集できる。
- (4) 身体は 14 または 15 セグメントからなる剛体リンクモデルとみなすことができる。
- (5) 外国人選手にも日本人アスリート用の身体部分係数（阿江，1996）が適用できる。
- (6) 全ての試技において疲労による影響はない。
- (7) 第 5 章および第 8 章では 3 つの座標系（体幹下部・体幹上部・上肢）の動きからハンドル速度の生成について幾何学的モデルを用いた検討を行った。バイオメカニクス的研究においては、阿江ほか（1992）の 15 個セグメントモデルを活用し、胴体の捻りを伴った運動の解析を行うことができるように胴体の可動範囲を考慮して、左右の肋骨下端を境界面として上胴および下胴を設定し分析を行うことが多い。宮西ほか（1996）も同様に左右の肋骨下端を境に上胴を設定していた。しかしながら、本研究においては競技会において撮影した画像を分析した際、肋骨下端の判別が困難であったため、上胴・下胴の境界線を体幹中点に設定し、上胴・下胴と仮定した。

## 1.5 本研究の限界

- (1) 本研究で対象とした競技者は 4 回転投法を用いる成人男子競技者（用いたハンマー重量は 7.26kg）であり、重量の異なる対象者（ジュニア競技者：正規重量のハンマーは 6kg）や回転数の異なる投擲においては、本研究から得られた知見をそのまま適用できるとは限らない。
- (2) 対象とした試技の撮影では、撮影時期によって撮影スピードの異なるカメラ（HSV-500C<sup>3</sup>、撮影スピード毎秒 250 コマ、露出時間 1/2000 秒、NAC 社製、Exlim EX-F1、撮影スピード毎秒 299.7 コマ、露出時間 1/2000、CASIO 社製）を使用した。したがって、所要時間や算出項目のピーク値に差が生じる可能性がある。

- (3) 部分および全身の重心座標の算出に用いた身体部分の質量や慣性特性は、阿江 (1996) の推定式を用いて算出しており、分析対象者個々の慣性特性ではない。
- (4) 第 5 章および第 8 章において用いたモデルにおいて、ターン動作中におけるハンドル速度の測定値と計算値はほぼ反映していたが、完全に一致しなかった。
- (5) 14 または 15 セグメントからなる剛体リンクモデルとみなし分析を行う際、各セグメントの長さは一定となるべきである。しかしながら、競技会においてカメラの設置台数の制限により、本来デジタイズを行うべき箇所に死角が生じていた場面があった。できるだけ正確に手動によるデジタイズを行い、3 次元座標値を取得しているが、セグメント長の伸張短縮が生じている時点が存在する。

## 第2章 文献研究

### 2.1 ハンマー投における投擲距離の決定要因

投擲物の飛距離を決定する主な要因は、投射時（以下、リリース時とする）における投擲物の投射スピード、投射角度、投射高および空気力学的要因によって決定されることが一般的に知られている。Dapena（1984）は、ハンマー投においても投擲距離は、リリース時のハンマーヘッドスピード、投射高、投射角度およびリリース後の空気力学的要因によって決定されることを示唆している。

投擲距離に影響する要因の中でも、ハンマー投においてはリリース時のハンマーヘッドスピードが投擲距離の主な決定要因であることが多くの先行研究で確認されている（坂東ほか，2006；Dapena, 1984；藤井ほか，2010；Hunter and Killgore, 2003；池上ほか，1994；室伏ほか，1982；岡本ほか，1997；Pavlovic, 2020）。室伏ほか（1982）は、Miller（1975）が砲丸の飛距離を理論的に算出するために使用したリリース時の投射スピード、投射角、投射高を入力変数としたシミュレーション・モデルを用いてハンマーの理論的飛距離を算出した。その結果、投射スピード、投射角、投射高をある一定の比率だけ変化させたときのハンマーの飛距離の増減の程度は、初速度を変化させたときに最も大きかったことを報告している。また、投擲記録の異なる競技者を対象とし、投擲記録と投擲記録に影響する要因について検討した坂東ほか（2006）の研究では、投擲記録とリリース時のハンマーヘッドスピードは、相関係数 0.9 以上と非常に高い相関係数を示しており、ハンマー投における投擲記録を決定する主な要因であったと報告している。

一方、リリース時の投射高および投射角度については、投擲記録との関係性がみられたものとそうでない先行研究が散見される（坂東ほか，2006；池上ほか，1994；Isele and Nixdorf, 2010；室伏ほか，1982；岡本ほか，1997；Pacovic, 2020）。室伏ほか（1982）は、初速度ほど

その影響は小さいが、ハンマーの飛距離の増減に投射高および投射角度が関係していたと述べている。坂東ほか(2006)は、80.10m から 43.86m までの競技者を対象に投擲記録とリリースパラメータとの関係性について検討し、その結果、投射角は投擲記録が 60m までは有意な正の相関関係が認められたが、それ以上での投擲記録ではその傾向が弱まり、ほぼ一定の値を示したことを報告している。一方、投擲記録と投射角度との間に関係性が認められなかったという報告(池上ほか, 1994 ; 岡本ほか, 1997), 投射角度とは弱い相関関係が認められたという報告(Isele and Nixdorf, 2010 ; Pacovic, 2020) もみられる。なお、投擲記録と投射高の間には有意な相関関係が認められなかったことが多く報告されている(池上ほか, 1994 ; Isele and Nixdorf, 2010 ; 岡本ほか, 1997 ; Pavlovic, 2020)。

これらのことから、リリース時における投射スピードが最も投擲記録に影響するといえよう。またリリース時における投射スピードを大きくするためには、スイングからターン中においてハンマーヘッドスピードを増加させ、リリース時にハンマーヘッドスピードを最大にすることが必要になると考えられる。

## 2.2 ターン動作中のハンマーヘッドスピードの変化

ターン動作中におけるハンマーヘッドスピード変化について着目した研究では、ハンマーヘッドスピードは増減を繰り返し、リリース時のハンマーヘッドリリース速度を大きくしていたことが明らかとなっている(Dapena,1984)。ハンマーヘッドスピードは DSP で増加, SSP において減速していたことが報告されている(坂東ほか, 2006 ; Dapena,1984 ; Dapena and Feltner,1989a ; Gutierrez M.et.al.,2002 ; 池上ほか, 1994 ; Murofushi et al.,2005 ; Murofushi et al.,2007 ; 岡本ほか, 2006 ; 梅垣ほか, 2010)。また、投擲記録の高い競技者ほど、ターン開始時および第 1 ターンからハンマーヘッドスピードが大きいという報告(坂東ほか, 2006 ; 藤井ほか, 2010 ; Pavlovic, 2020) が報告されている。加えて、坂東ほか(2006)は、投擲記録とターン動作中におけるハンマーヘッド最大スピード, 最小スピード, 増加量および減速

量との関係性について検討を行った。その結果、投擲記録とハンマーヘッド最大スピードと最小スピードとの間にはすべてにおいて有意な相関関係が認められ、投擲記録の高い競技者ほどハンマーヘッドスピードが大きかったことを報告している。一方、投擲記録とハンマーヘッドスピード増加量および減速量との間には、記録に関係なくほぼ一定であったことを報告している。

これらのことから、リリース時の投射スピードが大きい競技者は、ターン開始時点からリリース時までにおいて常にハンマーヘッドスピードが大きいという特徴があるといえよう。したがって、坂東ほか (2006) が述べているように記録水準の高い選手は高速下でハンマーヘッドを加速することのできる能力 (体力と技術) があったといえよう。

### 2.3 ターン動作中のハンマーヘッド加速について

ハンマーヘッド加速のための技術について、室伏 (1994) はハンマーの積極的加速区域である DSP においてできるだけ長い距離、または長い時間、全身の力を作用させていくことが重要であると述べている。このことから、指導現場においては DSP を距離的にも時間的にも長くできるように指導を行っている現状がある。DSP の所要時間に着目した研究として、様々な記録水準の競技者を含めた研究を行った広瀬ほか (2016c) の報告によると、投擲記録の高い競技者ほど所用時間が短いことが報告されている。一方、DSP におけるハンマーの移動距離については、記録水準の高い競技者ほど小さかった (Gutierrez-Davila and Rojas-Ruiz, 2005)、各ターンにおけるハンマーヘッドスピードが大きい競技者ほど、水平面上におけるハンマーの角変位 (ハンマー方位角) が小さかったことなどが報告されている (Rojas-Ruiz and Gutierrez-Davila, 2009)。力学的には、短時間にハンマーを長く移動させることができれば、ハンマーヘッドスピードは大きくなると考えられる。これらのことから、リリース時の投射スピードを最大にするためには、ターン動作中の DSP において短時間にハンマーヘッドを加速する能力が必要になると考えられる。



ハンマー投以外の投擲種目（砲丸投，円盤投，やり投）では，それぞれの投擲物を手によって直接力を加えて加速させることができる．しかしながら，ハンマー投で用いる投擲物は，ハンドル，ワイヤーとヘッドがボールベアリングで接合されており，ワイヤーを介してヘッドに力を加えなければならないという特異性がある（田内と藤井，2009）．投擲種目とターン動作中におけるハンマーヘッドスピード増加に関する先行研究に着目すると，Dapena and Feltner (1989a) が，ハンマー軌道の中心とワイヤー（ハンドル）の位置関係がハンマーヘッド加速に影響する可能性があることを示唆している．ここでは，ハンマーヘッドとハンマー軌道中心よりもワイヤーが先行（ハンマーヘッドの進行方向に先行）した状態で，ハンマーヘッドは加速すると可能性を示唆している．このことについて詳細に分析した藤井ほか（2008b）の報告によると，ハンドルがハンマーヘッドと瞬間回転中心を結ぶ線分より先行した状態でワイヤーに張力を加えることによって，ハンマーヘッドを加速する効果が生じると報告している．さらに，ハンドル先行距離が正の値を示す区間のハンドル先行距離の積分値（ハンドル先行距離積分値）とハンマーヘッド加速量との間に有意な相関関係が認められたことから，ハンマーヘッド加速量を大きくするためには，ハンドル先行させるだけでなく，ハンドルをハンマーヘッドと瞬間回転中心を結ぶ線分より距離的にも時間的にも長く先行させることが重要であると述べている（藤井ほか，2010）．これらのことから，ターン動作中においてハンマーヘッドを加速させるためには，ハンマーヘッドと瞬間回転中心を結ぶ線分よりもハンドルを先行させる（ハンドル先行距離を獲得する）ことが重要となる．

太田ほか（2009）は，ハンマーの加速原理をエネルギー変化率に基づいたエネルギー回復と，回転のダイナミクスに基づいたパラメータ励振の観点から考察している．可変長振子モデルによる運動解析を行った結果，得られた運動方程式から曲率半径を短くすることがハンマーの回転スピード増大に貢献すること，ワイヤーの軸が曲率中心よりも先行している状態でハンマーヘッドは加速することを明らかにした．また，太田ほか（2010）は，ハンマーを励振するメカニズムについて，二重振子モデルを用い，運動方程式からワイヤーに直交

する加速度がハンマーの角加速度に影響していること、ハンマーヘッドの速度と反対方向へハンドルの加速度を与えることでハンマーの回転を加速できることを示している。さらに、ハンマーのエネルギー変化率からハンマーの加速原理を考察すると、ハンドル部の張力との法線方向の速度の積であるワイヤー軸方向のエネルギー時間変化率だけが、ハンマーの力学的エネルギーの増減を決定していることを示した。すなわち、ハンドルの牽引動作によって、ハンマーヘッドのエネルギーが増大することを示している。岡本ほか（2006）は、ターン中のローポイント近辺で、遠心力に逆らって身体を後方へ移動する力によってハンマーヘッドを加速していくと述べている。さらに、坂東ほか（2006）は、「回転の中心方向に積極的にヘッドを引くこと」によってハンマーヘッドを加速させていた可能性を示唆している。

これらのことから、ハンマー投のターン動作においてハンマーヘッドを加速させるためには、短時間にハンドル先行距離を獲得すること、および曲率中心方向へハンマー（ハンドル）を牽引させることが必要であるといえよう。しかしながら、曲率中心方向へ積極的にハンマー（ハンドル）を牽引する動きが、ハンドル先行距離の獲得に影響するかどうかは明らかにされていない。このことから、ターン動作中における競技者のハンドルの動きとハンドル先行距離の増減との関係性について検討を行い、ハンマーヘッドに対してハンドルをどのように動かすことで、ハンマーヘッドスピードが増加するのかを明らかにすることが必要となると考えられる。

#### 2.4 ターン動作中のハンマーヘッド加速と身体の動き

室伏（1994）は DSP においてハンマーヘッドを加速させるための技術課題として、体幹の捻転動作、重心の移動、後方への倒れ込み動作、地面の反発力を高める姿勢（動作）を挙げている。体幹の捻転動作について、体幹捻転角度は片脚支持期において体幹の捻りは大きくなり、両脚支持期において捻り戻しが行われることが一般的に知られている（藤井ほか、

2010 ; Otto, 1991 ; Sara et al., 2011 ; 田内と藤井, 2009). 一般的に, DSP における体幹捻り動作は, ハンマーヘッドスピード増加のための動作として, 指導現場においてはしっかり捻り戻しを行うよう指導される(室伏, 1994). Sara (2011) は, ハンマーヘッドスピード減速と体幹の捻転動作との関係性について検討している. 2 回転目および 3 回転目において, 接線方向の負の最大接線力と体幹捻転角度の最小値(最大捻り角度)との間に強い正の相関関係が認められたことを報告している. このことから, DSP においてできるだけ捻転角度を減少させ(体幹の捻り戻し動作を行い), SSP におけるハンマーヘッドスピードの減速を小さくすることが重要であると述べている. 藤井ほか(2010) は, ハンマーヘッド減速量を小さくする投擲動作として, ハンマーヘッド速度ベクトルとは逆方向の運動である左腕の水平内転動作および体幹の捻り動作が同時に行われることを避けるべきであると述べている. その理由として, 左腕の水平外転動作と体幹の捻り戻し動作を同時に行うことがハンドル先行距離獲得にとって必要な動きであることが挙げられる. したがって, 体幹の捻り戻し動作をハンマーヘッドが最も高くなる時点(High point, 以下 HP と略す)付近まで行い, HP から捻り動作を行うこと, また HP 付近から右腰の追い抜き動作を行い, 体幹の捻り動作の開始を遅らせることで, ターン局面での総ハンマーヘッド減速量を小さくすることができる可能性があるとして述べている. これらのことから, 長い距離および時間, 体幹の捻り戻し動作を行うことがハンマーヘッド加速・減速量に影響する可能性があるため, 競技者は体幹の捻り戻し動作を強調したハンマーヘッド加速動作を行うことがパフォーマンス向上のために必要であるといえよう. しかしながら, 藤井ほか(2010) および Sara (2011) においては, 世界一流競技者のような記録水準の非常に高い競技者の特徴から明らかにしたものではない. したがって, 様々な記録水準の競技者を対象として, 投擲記録と体幹の動きとの関係性について再検討し, 記録水準の高い競技者の体幹の動きの特徴を明らかにする必要があると考えられる.

湯浅ほか(1984) は, 下肢, 体幹, 上肢の順に回転運動が起こり, ハンマーヘッドに速度

が伝達されていくことが推察されたと述べている。また、藤井ほか(2010)は、ハンマーヘッドスピード増加に影響するハンドル先行距離の獲得について、左腕の水平外転動作と体幹の捻り戻し動作を同時に行うことが重要であると述べている。これらのことから、ハンマーヘッドを回転方向へ進める技術がターン動作中のハンマーヘッドスピード増加に影響すると考えられ、競技力向上のためには重要となると考えられる。さらに、室伏(1994)はDSPにおいて積極的にハンマーヘッドに力を作用させるための技術課題として、重心の移動および後方への倒れ込み動作を挙げている。桜井(2004)は、競技者は遠心力に逆らってハンマーを後方(背中側)へ引きつけることによって加速を促していると述べている。この倒れ込み動作に関しては、池上ほか(1994)や田内・藤井(2009)が世界一流競技者を対象に分析を行い、ハンマーヘッドスピード増加とともに体幹が後傾し、ハンマーヘッドに加わる遠心力に抗していたという報告にとどまっている。

ターン動作中の下肢動作の技術について、ハンマーヘッドスピードの増加は、主にターン動作中のDSPに生じることが報告されている(Dapena, 1984)。DSPは競技者の回転の勢いを獲得する局面でもある(Dapena and McDonald, 1989b)。身体の回転スピードを獲得するためには、左右の下肢で地面反力を獲得し、身体を回転させる力のモーメントを獲得する必要がある。Dapena and McDonald(1989b)は、右投げのハンマー投のターン動作中に鉛直軸まわりの正の角運動量(上方からみて反時計まわり)を獲得していたことを報告している。さらに、ハンマーと身体の合成重心まわりの角運動量の変化量は地面反力によって生じたトルク(力のモーメント)の結果であると述べている。また、Murofushi et al.(2007)はターン動作中の地面反力を測定し、左右の脚で発揮される地面反力によって身体を回転させる力のモーメントを獲得していたことを報告している。これらのことから、競技力向上のためにターン動作中の下肢関節の力発揮や下肢の動作技術が身体の回転スピードに及ぼす影響を検討する必要があると考えられる。指導書において、ターン動作中の下肢動作の技術については、投射直前までその膝関節の角度や脚と胴体との角度を維持しておかなければ

ならないこと（室伏，1994），ハンマーヘッドが最も低くなる時点（Low point，以下LPと略す）を通過すると同時に地面に接地しながら鉛直軸まわりに回転していた左下肢の回転を止めることにより，上半身の捻りを速く戻すこと（室伏，1994），投射時に膝関節の急速な伸展によって地面から大きな反発を得ること（室伏，1994），右足は軸脚に近づけて巻き込むように素早く回すこと（尾縣，1990）などが指摘されている．一方，ターン動作の下肢の動きに着目したバイオメカニクスの研究は，世界一流選手の膝関節の動きについて報告したもの（岡本ほか，2005；Otto,1991），ターン動作中の下肢の筋活動（碓井ほか，2000）が挙げられる．しかしながら，ターン動作中の下肢関節のキネマティクスを詳細に検討した研究や様々な投擲記録の競技者を対象にした研究は見当たらない．

これらのことから，ターン動作中のハンマーヘッド加速と身体の動きについては，世界一流の競技者の動作の特徴を明らかにした研究は行われてきた．しかしながら，ハンマー投ターン動作中の下肢の動きを中心とした身体動作に関する研究は非常に少なく，十分に検討されてきたとはいえない．また，競技力向上のための一知見として，記録水準の高い競技者あるいは低い競技者を含めた身体動作を検討する必要があることが指摘されている（藤井ほか，2010）．上述したように，記録水準の高い競技者は，記録水準の低い競技者と比較して，ハンマーヘッドスピードや回転スピードが大きい状況であることを考慮すると，ハンマーヘッドに加わる遠心力に差があることから，記録水準の違いによって動きが異なる可能性がある．このことから，様々な記録水準の競技者を含めた身体の動きを検討し，記録水準の高い競技者の動きの特徴を明らかにすることで，競技者がターン動作中の高速下においてもターンを行う，またはハンマーヘッドを加速させるために必要となる技術を明らかにし，指導現場において新たな知見を提供できる可能性があるものと考えられる．

## 第3章 方法

### 3.1 分析対象者およびデータ収集

対象者は、ハンマー投を専門とする男子競技者 44 名（投擲記録：80.50–44.17m 自己記録に対する達成率：94.9±3.3% 4 回転投法）であった。分析対象者には、世界選手権大会優勝者やオリンピック優勝者などの世界一流競技者、日本選手権大会上位入賞者や日本学生選手権大会優勝者などの日本一流競技者や日本学生一流競技者が含まれていた。投擲動作は、2007 年度から 2015 年度の競技会、競技会と同様の条件下での実験試技において、全力で正規重量のハンマーを用いた投擲を 3～6 投行った試技である。なお、競技会においては、競技会主催者から許可を得た上で撮影を行った。本研究で用いた VTR 画像の一部は（財）日本陸上競技連盟科学委員会によって撮影されたものも含まれている。また、実験試技に関しては対象者に研究目的、実験内容や起こりうる危険性などを書面および口頭で十分に説明し、安全面に十分配慮し遂行することを条件に実験参加への同意を得た。図 3-1 に、実験設定図を示した。投擲試技の撮影には、ハイスピードカメラ（HSV-500C<sup>3</sup>、撮影スピード毎秒 250 コマ、露出時間 1/2000 秒、NAC 社製、Exlim EX-F1、撮影スピード毎秒 299.7 コマ、露出時間 1/2000、CASIO 社製）を 2~3 台用いた。なお、対象者における最も記録の良い試技を分析試技とした。

VTR 画像を Frame DIAS IV（DKH 社製）を用いて 1 コマおきに手動デジタイズし、身体分析点 23 点およびハンマーヘッド 1 点の 2 次元座標値を得た（図 3-2）。キャリブレーションポールに取り付けられた較正点の 2 次元デジタイズ座標値と 3 次元座標値からカメラごと DLT 定数を算出し、DLT 法（Abdel-Aziz and Karara, 1971）を用いて分析点の 3 次元座標値を算出した。サークルの中心に右手座標系を設定し、X 方向を投擲方向に対し直交する方向、Y 方向を投擲方向、Z 方向を鉛直方向とした。なお、撮影は複数回に分けて行われており、標準誤差の最小値と最大値は、X 軸：5mm–9mm、Y 軸：7mm–9mm、Z：7mm–11mm

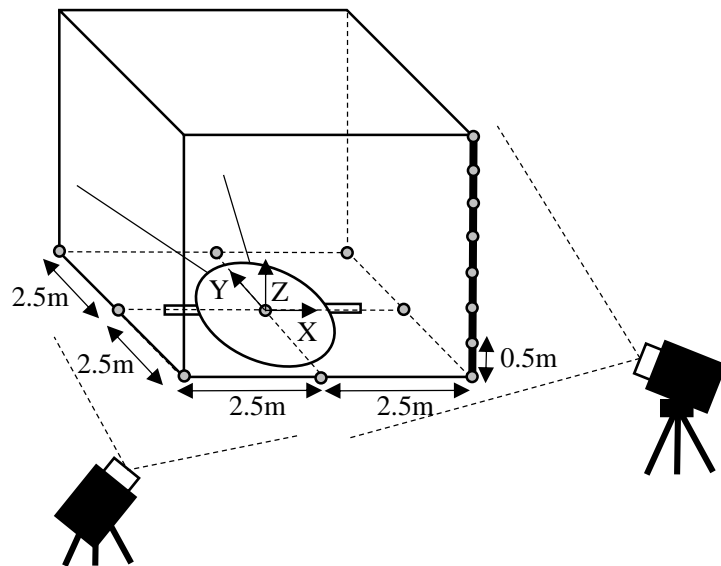


Figure 3- 1 Experimental setup diagram (camera layout and calibration points ).

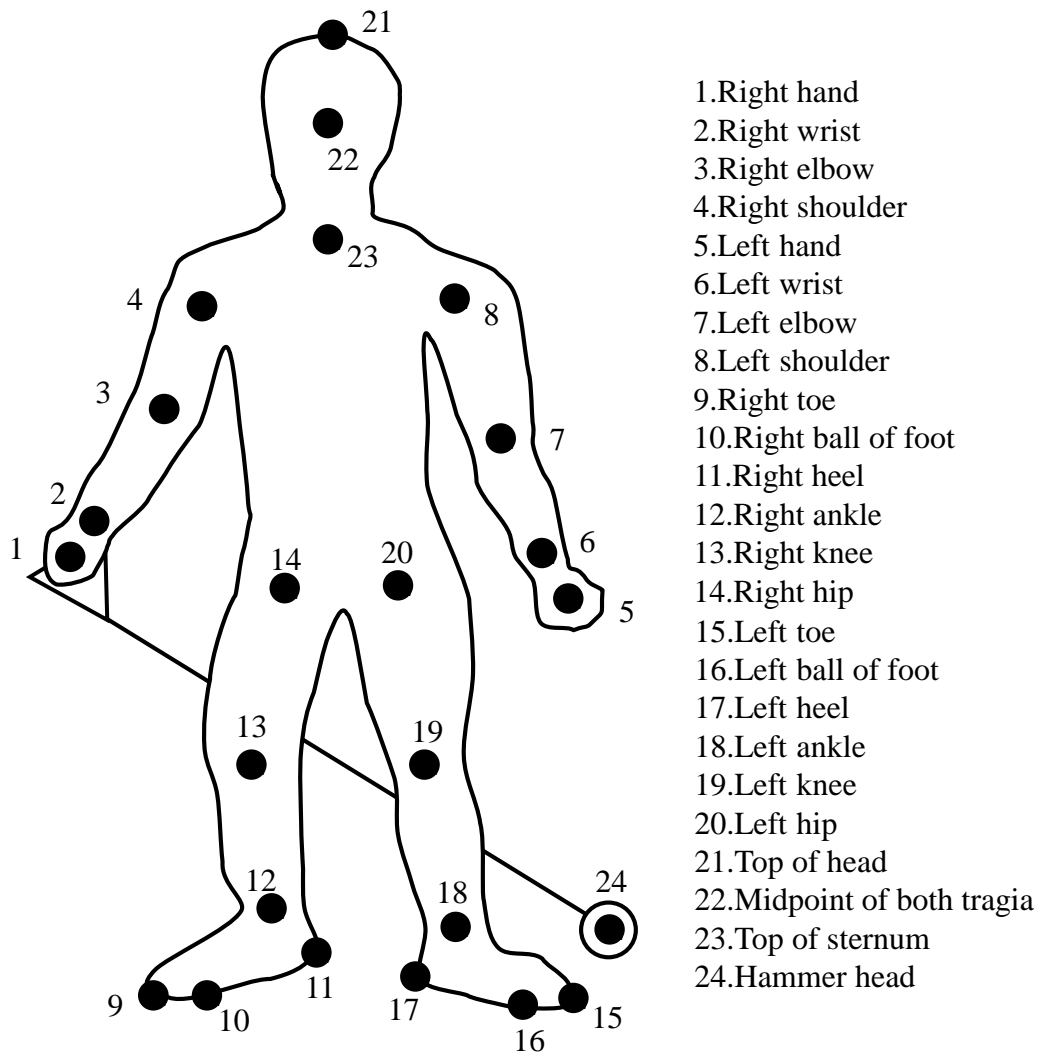


Figure 3- 2 Digitizing points of the body and the hammer head.



であった。そして、分析点の座標成分ごとの最適遮断周波数 (4.6–7.8Hz) を決定し (Winter, 2004), Butterworth digital filter を用いて平滑化を行った。なお, 上方からみて時計回りへ回転する左投げ競技者については, X 座標値の正負を反転することで, 右投げ対象者と同様に反時計回りに回転する対象者として扱った。

### 3.2 分析区間および動作区分点

図 3-3 に, 本研究における投動作中の局面定義を示した。本研究では, スイング終了時点 (右足離地) から最終ターン (4 回転目) の右足接地時点までの間をターン動作局面とした。右足が離地した時点を **Roff**, 右足が接地した時点を **Ron** とした。SSP は右足を離地してから接地するまでの局面, DSP は右足が接地してから離地するまでの局面とし, SSP と DSP を合わせた局面を 1 回転とした。なお, ハンマーヘッドの鉛直座標値が極大となる 4 回の時点を HP1, HP2, HP3, HP4 とし, HP 後にハンマーヘッドの鉛直座標値が極小となる 4 回の時点を LP1, LP2, LP3, LP4 と定義した。

### 3.3 算出項目

#### 3.3.1 ハンマーヘッド速度および身体セグメント端点の速度の算出

ハンマーヘッドおよび身体セグメント端点の 3 次元座標値を座標成分ごとに時間微分することで, ハンマーヘッドおよび身体セグメント端点の速度を算出した。また, ハンマーヘッド速度の合成値を算出することでハンマーヘッドスピードを算出した。さらに, 各ターンのハンマーヘッドスピード最大値から最小値を減算することで, 各ターンのハンマーヘッドスピード増加量を算出した (第 8 章)。第 6 章においては, 各ターンにおける Ron–LP 間のハンマーヘッドスピード増加量を算出し, 投擲記録との関係性について検討した。

静止座標系において左右の股関節中心を結んだ線分の midpoint (以下, 両股関節 midpoint と略す) の座標値を時間微分することで, 両肩関節中心速度を算出した (第 6 章)。さらに両肩関節

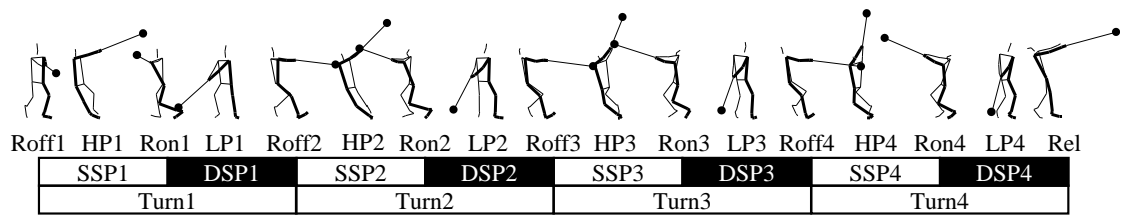


Figure 3- 3 Definition of turn phases.

中心速度の X および Y 方向の速度ベクトルの合成値を算出することで、水平面上における両肩関節中心速度を算出した。そして、水平面上における Ron-LP の両肩関節中心速度の最大値と増加量を算出した。

### 3.3.2 局面の所用時間の算出 (DSP, SSP および Ron-LP の所用時間)

本研究では、撮影した映像から各ターンにおける Ron-Roff , Roff-Ron および Ron-LP 間のコマ数を読み取り、使用したハイスピードカメラの撮影スピードで除すことで、DSP, SSP および Ron-LP の所用時間を算出した。

### 3.3.3 回転平面座標系, ハンドル先行距離およびハンドル速度の算出 (第 4 章と第 8 章)

ハンマー瞬間回転中心 (以下, 瞬間回転中心と略す) およびハンドル先行距離の算出には、藤井ほか (2008b) の算出方法を用いた。左手第 3 指の中手指節関節の座標値をハンドルとワイヤーの接続部 (以下, ハンドルと略す) の座標値と仮定し、撮影した各フレームの対象とする時点およびその前後の時点のハンドルおよびハンマーヘッドとの距離の 2 乗和が最小となる平面 (以下, ハンマー回転平面と略す) を算出した (図 3-4 左側)。次に、撮影した各フレームの対象とする時点で、ハンマー回転平面内における瞬間回転中心座標値 (ハンマー回転平面内の 2 成分) と瞬間回転中心回りのハンマーヘッドの回転角速度 (1 成分) を未知数とし、瞬間回転中心からハンマーヘッドおよびハンドルへ向かうベクトルと瞬間回転中心回りの角速度ベクトルとの外積により計算上のハンマーヘッドおよびハンドル速度ベクトルの算出式を導出し、さらに実測したハンマーヘッドおよびハンドル速度ベクトルとの差分ベクトルの大きさの 2 乗和が最小となる点を瞬間回転中心座標値として算出した (図 3-4 右側)。なお、瞬間回転中心を算出する際には、手動デジタイズによる誤差を低減するため、坂東ほか (2006) と同様に、ハンドル速度ベクトルおよびハンマーヘッド速度ベクトルに対して再度平滑化したデータを用いた (遮断周波数 6.25-7.50Hz)。そして、ハンマ

ヘッドを原点として、ハンマーヘッド速度ベクトルの方向を $X_{icr}$ （接線方向）、ハンマーヘッドから瞬間回転中心に向かう方向を $Y_{icr}$ （法線方向）、 $X_{icr}$ と $Y_{icr}$ に直交する方向を $Z_{icr}$ とする移動座標系（回転平面座標系、図 3-5）を設定し、ハンドルの $X_{icr}$ 座標値をハンドル先行距離とした（藤井ほか, 2008b）。

次に、回転平面座標系へハンマーヘッド速度ベクトルおよびハンドル速度ベクトルを投影し、回転平面座標系におけるハンマーヘッド速度とハンドル速度ベクトル（接線方向成分：接線方向のハンドル速度、法線方向成分：法線方向のハンドル速度）を算出した（図 3-6）。さらに、静止座標系におけるハンマーヘッド速度を式 3-1 に示すように、ハンドル速度とハンマーヘッドへの方向をもつ位置ベクトル（ワイヤーの長さ）とハンマーの角速度の外積から成るハンマー回転速度成分（hammer ROT velocity）に分けた。その後、式 3-1 の右辺第 1 項を回転平面座標系に投影することで、回転平面座標系におけるハンマー回転速度成分を算出した（図 3-6）。

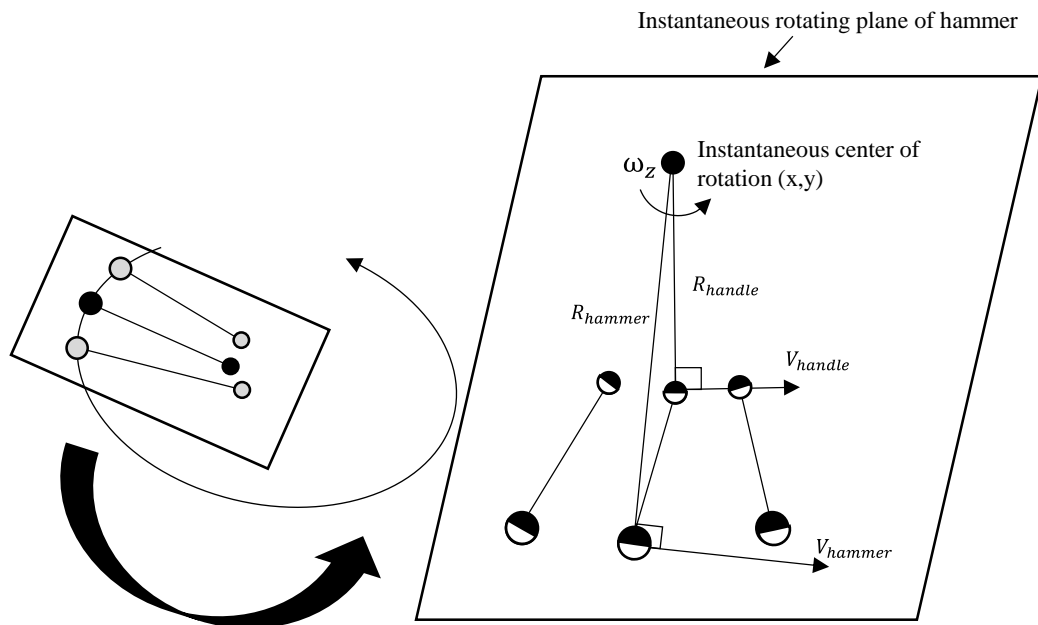
$$\begin{aligned} V_{hammer} &= V_{hammer/handle} + V_{handle} \\ &= \omega_{hammer} \times R_{wire} + V_{handle} \end{aligned} \quad (3-1)$$

なお、 $\omega_{hammer}$ はハンマーの角速度ベクトルを、 $R_{wire}$ はハンドルからハンマーヘッドまでの位置ベクトルを示している。

### 3.3.4 身体の動きによるハンドル速度の算出（第 5 章および第 8 章）

#### 3.3.4.1 体幹下部、体幹上部座標系および上肢座標系の定義

図 3-7a に、体幹下部座標系の定義を示した。左右の股関節中心を結んだ線分の midpoint（以下、両股関節 midpoint と略す）を原点とし、原点から左右の肩関節中心を結んだ線分の midpoint（以下、両肩関節 midpoint と略す）に向かうベクトルを $Z_t$ とした。 $Z_t$ と左股関節から右股関節に向かうベクトル $X'_t$ との外積により $Y_t$ を算出、 $Y_t$ と $Z_t$ の外積により $X_t$ を算出し、 $X_t$ 、 $Y_t$ 、 $Z_t$ からなる移動座標系を体幹下部座標系として定義した。



$\omega_z$  : Angular velocity vector in rotating plane

$R_{hammer}$  : Vector from instantaneous center of rotation to hammer head

$R_{handle}$  : Vector from instantaneous center of rotation to handle

$V_{hammer}$  : Velocity vector of hammer head

$V_{handle}$  : Velocity vector of handle

$$|\omega_z \times R_{hammer} - V_{hammer}|^2 + |\omega_z \times R_{handle} - V_{handle}|^2 \rightarrow \text{Minimum}$$

Unknown variables :  $\omega_z$  and coordinates (x,y) of instantaneous center of rotation

Figure 3- 4 Rotating plane of hammer and instantaneous center of rotation.

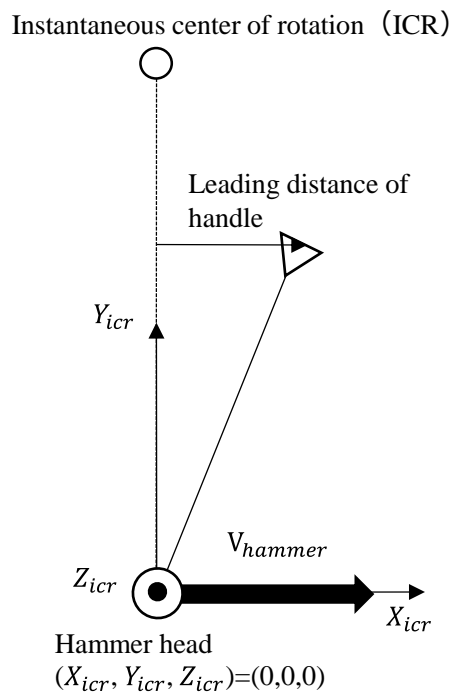


Figure 3- 5 Rotating plane coordinate system, instantaneous center of rotation, and leading distance of handle.

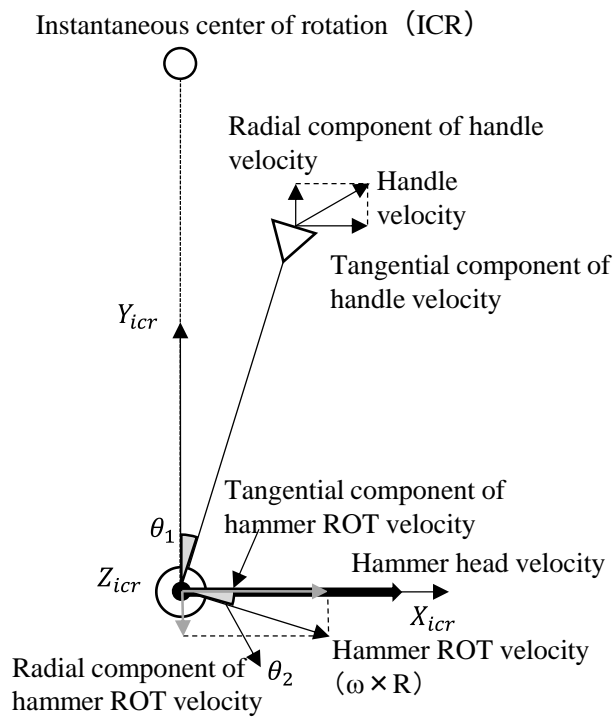


Figure 3- 6 Hammer head velocity, handle velocity, velocity of hammer rotational component (Hammer ROT velocity) and angles of  $\theta_1$  and  $\theta_2$ .

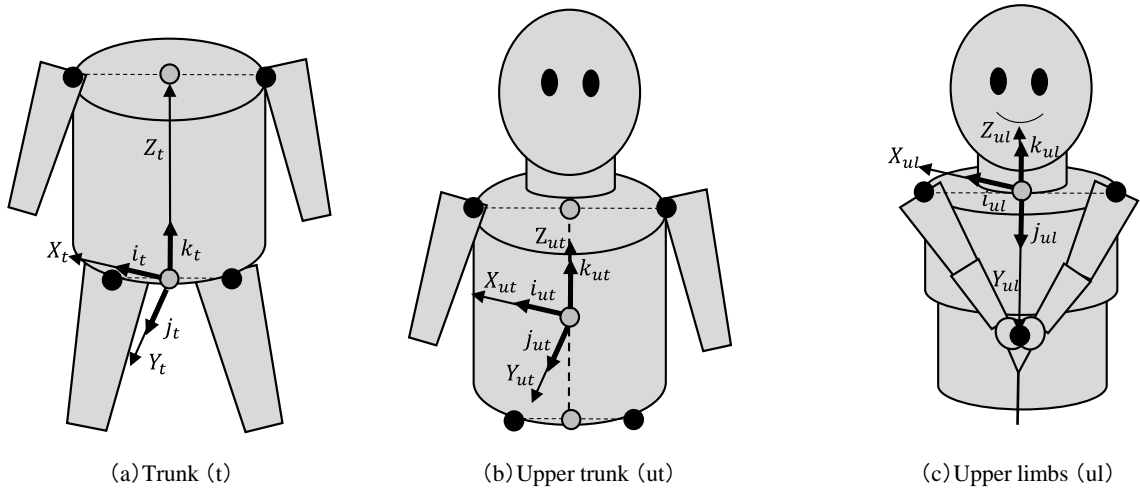


Figure 3- 7 Definition of the segment coordinate systems.



ハンマー投においては、体幹の捻転動作がパフォーマンスに影響していることが報告されている（室伏，1994；田内と藤井，2009）。このことから、本研究では両肩関節中点に体幹上部座標系を設定し、体幹下部座標系各軸回りとの相対角速度を検討することで体幹部の捻転動作を考慮することとした。図 3-7b に、体幹上部座標系の定義を示した。両肩関節中点と両股関節中点の midpoint（以下、体幹中点と略す）を原点とし、原点から両肩関節中点に向かうベクトルを  $Z_{ut}$  とした。 $Z_{ut}$  と左肩関節から右肩関節に向かうベクトル  $X'_{ut}$  との外積により  $Y_{ut}$  を算出、 $Y_{ut}$  と  $Z_{ut}$  の外積により  $X_{ut}$  を算出し、 $X_{ut}$ 、 $Y_{ut}$ 、 $Z_{ut}$  からなる移動座標系を体幹上部座標系として定義した。

図 3-7c に、上肢座標系の定義を示した。両肩関節中点を原点とし、原点からハンドルに向かうベクトルを  $Y_{ul}$  とした。左肩関節から右肩関節に向かうベクトル  $X'_{ul}$  と  $Y_{ul}$  の外積により  $Z_{ul}$  を算出、 $Y_{ul}$  と  $Z_{ul}$  の外積により  $X_{ul}$  を算出し、 $X_{ul}$ 、 $Y_{ul}$ 、 $Z_{ul}$  からなる移動座標系を上肢座標系として定義した。

### 3.3.4.2 身体部位の角速度および関節角速度の算出

本研究では、3.3.4.1 で定義した座標系の各軸方向の単位ベクトルを用いて、体幹下部座標系、体幹上部座標系および上肢座標系各軸周りの角速度を求めた。例として、体幹下部座標系の各軸方向の単位ベクトル ( $i_t$ 、 $j_t$ 、 $k_t$ ) の時間微分は、以下のように表すことができる（阿江と藤井，2002）。

$$\frac{di_t}{dt} = \omega_t \times i_t, \quad \frac{dj_t}{dt} = \omega_t \times j_t, \quad \frac{dk_t}{dt} = \omega_t \times k_t \quad (3-2)$$

ただし、 $\omega_t = \omega_{tx}i_t + \omega_{ty}j_t + \omega_{tz}k_t$  である。したがって、体幹下部の角速度ベクトルの成分は以下の式で求められる（阿江と藤井，2002）。

$$\omega_{tx} = k_t \cdot \frac{dj_t}{dt}, \quad \omega_{ty} = i_t \cdot \frac{dk_t}{dt}, \quad \omega_{tz} = j_t \cdot \frac{di_t}{dt} \quad (3-3)$$

なお、本研究においては  $\omega_{tx}$  を体幹前後傾角速度（正の値は後傾、負の値は前傾を示す）、 $\omega_{ty}$  を体幹左右傾角速度（正の値は右傾、負の値は左傾を示す）、 $\omega_{tz}$  を体幹長軸周りの角速度（反

時計回りを正の値)とした。求めた体幹下部の角速度ベクトルは、体幹下部座標系における角速度ベクトルであるので、座標変換行列を用いて静止座標系における体幹下部角速度ベクトルに変換した。同様にして、体幹上部および上肢の角速度ベクトルを算出した。

各関節の動きによるハンドル速度の生成について検討するために、体幹下部と体幹上部および体幹上部と上肢の静止座標系における相対角速度を算出し、体幹捻転関節座標系および肩関節座標系に投影することで体幹捻転関節および肩関節周りの角速度を算出した。

図 3-8a に、体幹捻転関節座標系を示した。体幹中点を原点とし、体幹中点から両肩関節中点に向かうベクトルを  $Z_{tj}$  とした。  $Z_{tj}$  と左股関節中心から右股関節中心に向かうベクトル  $X'_{tj}$  との外積により  $Y_{tj}$  を算出、  $Y_{tj}$  と  $Z_{tj}$  の外積により  $X_{tj}$  を算出し、  $X_{tj}$ 、  $Y_{tj}$ 、  $Z_{tj}$  からなる移動座標系を体幹捻転関節座標系として定義した。体幹捻転関節座標系の  $X_{tj}$  軸は屈曲・伸展、  $Y_{tj}$  軸は右屈・左屈、  $Z_{tj}$  軸は体幹長軸回りの捻転動作を示すものとした。

図 3-8b に、肩関節座標系を示した。両肩関節中点を原点とし、両股関節中点から両肩関節中点に向かうベクトルを  $Z_{shj}$  とした。  $Z_{shj}$  と左肩関節中心から右肩関節中心に向かうベクトル  $X'_{shj}$  との外積により  $Y_{shj}$  を算出、  $Y_{shj}$  と  $Z_{shj}$  の外積により  $X_{shj}$  を算出し、  $X_{shj}$ 、  $Y_{shj}$ 、  $Z_{shj}$  からなる移動座標系を肩関節座標系として定義した。肩関節座標系の  $X_{shj}$  軸は肩関節の屈曲・伸展、  $Y_{shj}$  軸は長軸回旋、  $Z_{shj}$  軸は肩関節水平左右回転を示すものとした。なお、本研究では、肩関節水平左回転は左肩関節水平外転および右肩関節水平内転、肩関節水平右回転は左肩関節水平内転および右肩関節水平外転が生じているものとした。

体幹捻転関節および肩関節の運動軸ごとの角速度は、静止座標系における体幹下部に対する体幹上部の相対角速度ベクトル ( $\omega_{ut/t}$ )、体幹上部に対する上肢の相対角速度ベクトル ( $\omega_{ul/ut}$ ) をそれぞれの関節座標系に投影することで求めた。たとえば、体幹捻転関節の角速度の算出は、以下のようなになる。

屈曲・伸展

$$\omega_{(ut/t)x} = (\omega_{ut/t} \cdot i_{tj})i_{tj} \quad (3-4)$$

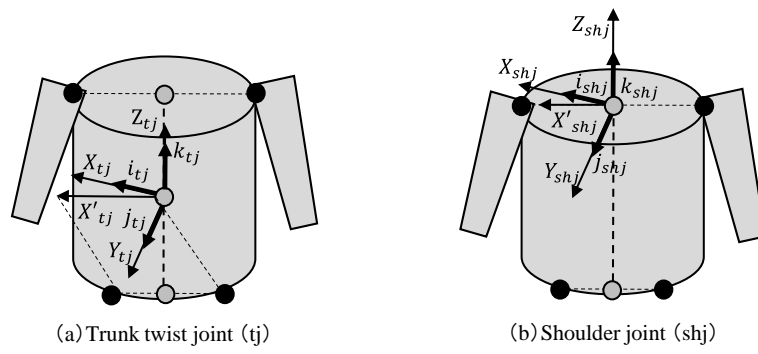


Figure 3- 8 Definition of the joint coordinate systems.

左屈・右屈

$$\omega_{(ut/t)y} = (\omega_{ut/t} \cdot j_{tj})j_{tj} \quad (3-5)$$

捻り・捻り戻し

$$\omega_{(ut/t)z} = (\omega_{ut/t} \cdot k_{tj})k_{tj} \quad (3-6)$$

ここで、 $\omega_{ut/t} = \omega_{(ut/t)x} + \omega_{(ut/t)y} + \omega_{(ut/t)z}$ である。 $\omega_{(ut/t)x}$ 、 $\omega_{(ut/t)y}$ 、 $\omega_{(ut/t)z}$ は、静止座標系における体幹捻転関節角速度、 $i_{tj}$ 、 $j_{tj}$ 、 $k_{tj}$ は体幹捻転関節の各軸方向の単位ベクトルである（図 3-8）。同様に、肩関節各軸周りの角速度を算出した。なお、体幹捻転関節座標系の $X_{tj}$ 軸および $Y_{tj}$ 軸回りの角速度の値はゼロになるため、本研究では削除した。

これらのことから、本研究では体幹下部の角速度（ $\omega_t$ ）（以下、「体幹角速度」と略す）、体幹捻転関節角速度（ $\omega_{ut/t}$ ）および肩関節角速度（ $\omega_{ul/ut}$ ）を用いて、ターン動作中における体幹部および肩関節の運動を評価した。

### 3.3.4.3 接線および法線方向における各関節の動きによって生じたハンドル速度の算出

本研究では Sprigings et al. (1994) および宮西ほか (1996) を参考に、ハンドル速度を以下のように表現した。

$$V_{handle} = V_{chip} + V_{ct/chip} + V_{csh/ct} + V_{handle/csh} \quad (3-7)$$

$V$  は速度ベクトルを示し、添字の chip, ct, csh, handle は両股関節中点、体幹中点、両肩関節中点、ハンドルをそれぞれ示し、 $V_{ct/chip}$  は両股関節中点速度に対する体幹中心点速度の相対速度ベクトル、 $V_{csh/ct}$  は体幹中心点速度に対する両肩関節中点速度の相対速度ベクトル、 $V_{handle/csh}$  は両肩関節中点速度に対するハンドル速度の相対速度ベクトルである。

ここでハンドルを質点とみなし、式 3-7 における右辺の各項を各座標系の角速度ベクトルを用いると、式 3-8 のように表現できる。

$$V_{handle} = V_{chip} + \omega_t \times r_{ct/chip} + \omega_{ut} \times r_{csh/ct} + \omega_{ul} \times r_{handle/csh} \quad (3-8)$$

なお、 $r_{ct/chip}$  は、両股関節中点から体幹中心点への相対位置ベクトル、 $r_{csh/ct}$  は、体幹中点

から両肩関節中点への相対位置ベクトル,  $r_{handle/csh}$  は, 両肩関節中点からハンドルへの相対位置ベクトルを示している.

次に,  $r_{ct/chip}$  および  $r_{csh/ct}$  は, 式 3-9 のように変換できる.

$$\begin{aligned} r_{ct/chip} &= r_{handle/chip} - r_{handle/ct} \\ r_{csh/ct} &= r_{handle/ct} - r_{handle/csh} \end{aligned} \quad (3-9)$$

ここで, 式 3-9 を式 3-8 に代入すると, 式 3-10 を得ることができる.

$$V_{handle} = V_{chip} + \omega_t \times r_{handle/chip} + (\omega_{ut} - \omega_t) \times r_{handle/ct} + (\omega_{ul} - \omega_{ut}) \times r_{handle/csh} \quad (3-10)$$

添字の t, ut, ul はそれぞれ体幹下部, 体幹上部, 上肢を示す. さらに  $(\omega_{ut} - \omega_t)$  を  $\omega_{ut/t}$ ,  $(\omega_{ul} - \omega_{ut})$  を  $\omega_{ul/ut}$  とおくことで, 式 3-10 を式 3-11 に変換できる.

$$V_{handle} = V_{chip} + \omega_t \times r_{handle/chip} + \omega_{ut/t} \times r_{handle/ct} + \omega_{ul/ut} \times r_{handle/csh} \quad (3-11)$$

式 3-11 に示す角速度は, 静止座標系における各部位の角速度である. 3.2.3.2 で算出した各関節の角速度ベクトルを式 3-11 に代入すると, 式 3-12 のように表現できる.

$$\begin{aligned} V_{handle} &= V_{chip} \\ &+ (\omega_{(t)x} + \omega_{(t)y} + \omega_{(t)z}) \times r_{handle/chip} \\ &+ (\omega_{(ut/t)z}) \times r_{handle/ct} \\ &+ (\omega_{(ul/ut)x} + \omega_{(ul/ut)y} + \omega_{(ul/ut)z}) \times r_{handle/csh} \end{aligned} \quad (3-12)$$

さらに, これらの値を回転平面座標系に投影することで, 接線方向および法線方向の両股関節中点速度, 体幹の運動によって生じたハンドル速度 (前後傾・左右傾・長軸回転), 体幹の捻転運動によって生じたハンドル速度 (捻転), 肩関節の運動によって生じたハンドル速度 (伸展屈曲・長軸回旋・水平左右回転) を算出し, これらの速度を身体の動きによる接線方向および法線方向のハンドル速度の生成について評価するものとした.

### 3.3.5 ハンマーおよび上肢・体幹のキネマティクスの算出 (第 6 章)

#### 3.3.5.1 ハンマー方位角, ハンマー傾斜角度, 左腕の回転角度, 肩の回転角度および腰の回

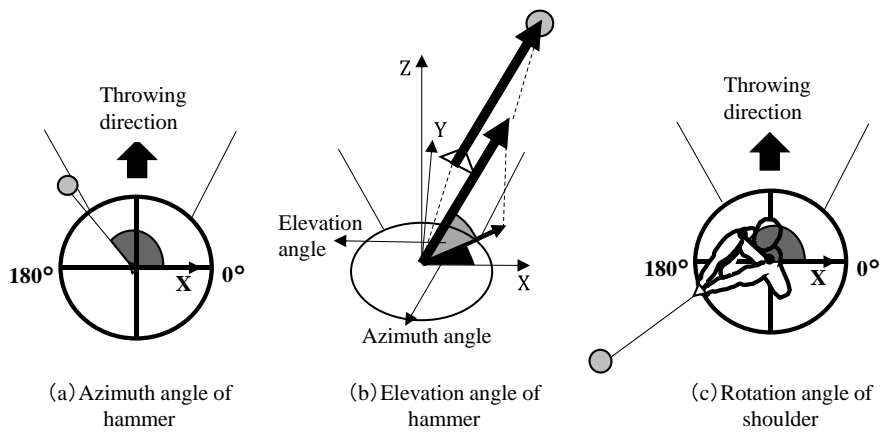


Figure 3- 9 Angle definitions of hammer and shoulder rotation.

## 転角度の算出

図 3-9a に、ハンマー方位角，図 3-9b にハンマー傾斜角度の定義を示した．静止座標系のハンドルからハンマーヘッドを結ぶベクトルの座標値を球面座標系に変換し，方位角成分をハンマー方位角（X 方向の単位ベクトルと水平面上に投影されたベクトルがなす角），仰角成分をハンマー傾斜角度とした．そして，各ターンの DSP および Ron-LP におけるハンマー方位角の変化量を算出した．

静止座標系の X Y 平面に左肩関節中心からハンドルを結ぶベクトルを投影し，X 方向となす角を左腕の回転角度とした．

図 3-9c に，肩の回転角度の定義を示した．静止座標系の X Y 平面に，左肩関節中心から右肩関節中心を結ぶベクトルを投影し，X 方向となす角を肩の回転角度とした．さらに，各ターンの DSP および Ron-LP における肩の回転角度変化量を算出した．また，左股関節中心から右股関節中心を結ぶベクトルを静止座標系の X Y 平面に投影し，X 方向となす角を腰の回転角度とした．さらに，各ターンの DSP および Ron-LP における腰の回転角度変化量を算出した．なお，ハンマー方位角，左腕の回転角度，肩および腰の回転角度に関しては，右投げ競技者の回転方向である反時計回りを正の値とした．

### 3.3.5.2 ターン動作中のハンマー方位角速度，肩および腰の回転角速度の算出

3.3.5.1 において算出したハンマー方位角，肩の回転角度および腰の回転角度を時間微分することで，ハンマー方位角速度，肩の回転角速度および腰の回転角速度を算出した．そして，DSP および Ron-LP のハンマー方位角速度，肩の回転角速度および腰の回転角速度の平均値を算出した．加えて，各ターンの SSP における腰回転角速度平均値および DSP における腰回転角速度の増加量を算出した．

### 3.3.5.3 体幹捻転角度および体幹捻転角速度の算出

肩の回転角度と腰の回転角度の差分を体幹捻転角度とした。なお、右肩関節が右股関節に対して後方に位置する時に負の値、右肩関節が右股関節に対して前方に位置する時に正の値とした。また、角度が減少する動作を体幹の後方回転（体幹捻転動作）、増加する動作を前方回転（体幹捻り戻し動作）とした。さらに、各ターンにおける Ron—LP の体幹前方回転角度変化量（以下、体幹捻り戻し角度変化量とする）を算出した。

算出した体幹捻転角度を時間微分することで、体幹捻転角速度を算出した。そして、Ron—LP における体幹捻転角速度平均値（以下 Ron—LP における体幹捻り戻し角速度平均値）を算出した。

#### 3.3.5.4 肩関節伸展屈曲角度の算出

3.3.4.1 にて定義した体幹下部座標系の  $Y_t Z_t$  平面に、両肩関節中点からハンドルに向かうベクトルを投影し、 $Z_t$  とのなす角度を肩関節伸展屈曲角度とした（図 3-10a）。

#### 3.3.5.5 肩関節水平内外転角度および肩関節水平内外転角速度の算出

図 3-11a に、上胴座標系の定義を示した。左肩関節中心から右肩関節中心に向かうベクトルを  $X_{ut}$  とした。両肩関節中点を原点とし、両股関節中点から両肩関節中点にむかうベクトルを  $Z'_{ut}$  とした。 $Z'_{ut}$  と  $X_{ut}$  の外積により  $Y_{ut}$  を算出、 $X_{ut}$  と  $Y_{ut}$  の外積により  $Z_{ut}$  を算出し、 $X_{ut}$ 、 $Y_{ut}$ 、 $Z_{ut}$  からなる移動座標系を上胴座標系として定義した。上胴座標系の  $X_{ut} Y_{ut}$  平面に、左肩関節中心からハンドルに向かうベクトルを投影し、 $X_{ut}$  とのなす角度を肩関節水平内外転角度とした（図 3-10b）。なお、各ターンの LP—Roff における肩関節水平外転変化量を算出した。さらに、算出した肩関節水平内外転角度を時間微分することで肩関節水平内外転角速度を算出し、LP—Roff における肩関節水平外転角速度平均値を算出した。



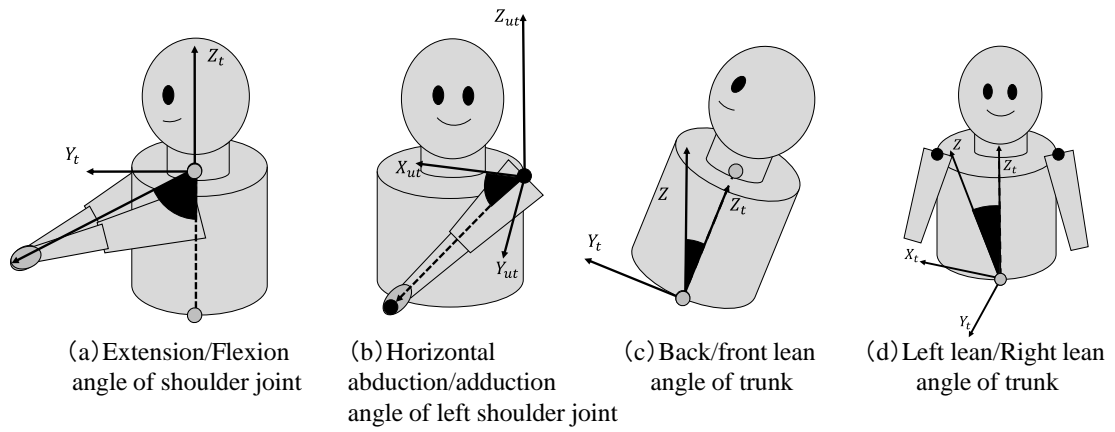


Figure 3- 10 Angle definitions of upper limbs and trunk.

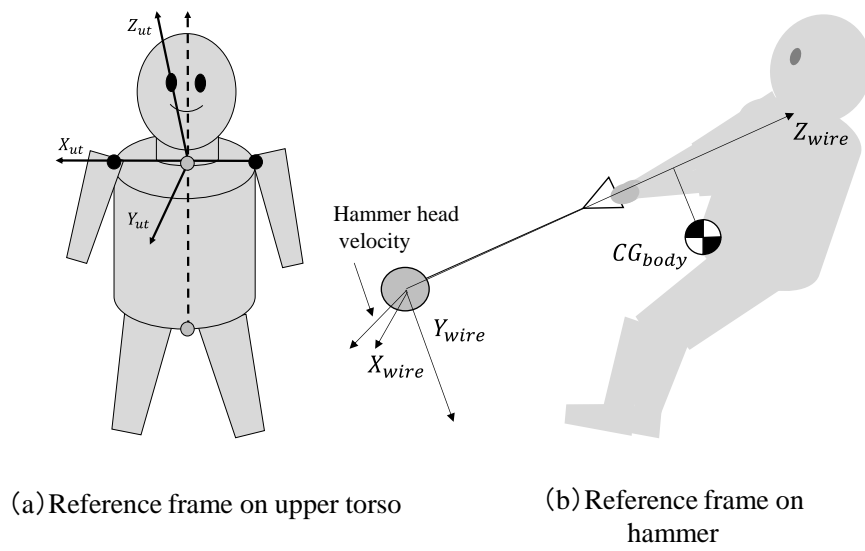


Figure 3- 11 Reference frame on upper torso and hammer.

### 3.3.5.6 体幹前後傾角度および体幹前後傾角速度の算出

図 3-10c に、体幹前後傾角度の定義を示した。両股関節中点を原点とし、体幹下部座標系の  $Y_t Z_t$  平面に静止座標系の  $Z$  軸の単位ベクトルを投影し、 $Z_t$  と投影されたベクトル  $Z$  とのなす角を体幹前後傾角度とした。なお、静止座標系の  $Z$  軸と平行の場合を  $0^\circ$  とし、鉛直軸よりも前傾した場合には負の値、後傾した場合に正の値とした。そして、DSP における体幹の後傾方向への角度変化量（以下、体幹後傾角度変化量とする）を算出した。

算出した体幹前後傾角度を時間微分することで体幹前後傾角速度を算出し、DSP における体幹前後傾角速度平均値、Ron—LP における体幹前後傾角速度最大値（以下、体幹後傾角速度最大値とする）および Ron—LP における体幹前後傾角速度変化量（以下、体幹後傾角速度変化量とする）を算出した。

### 3.3.5.7 体幹左右傾角度の算出

図 3-10d に、体幹左右傾角度の定義を示した。両股関節中点を原点とし、体幹下部座標系の  $X_t Z_t$  平面に静止座標系の  $Z$  軸を投影し、 $Z_t$  と投影されたベクトルがなす角を体幹左右傾角度とした。なお、静止座標系の  $Z$  軸と平行の場合を  $0^\circ$  とし、鉛直軸よりも左傾した場合には正の値、右傾した場合に負の値とした。そして、DSP における体幹の左傾方向への角度変化量（以下、体幹左傾角度変化量とする）および右傾方向への角度変化量（以下、体幹右傾角度変化量とする）を算出した。

算出した体幹左右傾角度を時間微分することで体幹左右傾角速度を算出し、DSP における体幹左右傾角速度平均値、体幹左右傾角速度最大値および体幹左右傾角速度最小値を算出した。

### 3.3.5.8 ハンマーと身体との間のモーメントアーム

#### 3.3.5.8.1 身体重心の算出

身体の3次元座標値から、阿江(1996)の身体部分慣性係数を用いて静止座標系における身体重心の座標値を算出した。

### 3.3.5.8.2 ハンマーと身体との間のモーメントアームの算出

図3-11bに、ワイヤー座標系の定義を示した。ハンマーヘッドを原点とし、原点から左手先にむかうベクトルを $Z_{wire}$ とした。 $Z_{wire}$ とハンマーヘッド速度ベクトル $X'_{wire}$ の外積により $Y_{wire}$ を算出、 $Y_{wire}$ と $Z_{wire}$ の外積により $X_{wire}$ を算出し、 $X_{wire}$ 、 $Y_{wire}$ 、 $Z_{wire}$ からなる移動座標系をワイヤー座標系として定義した。ワイヤー座標系の $Y_{wire}Z_{wire}$ 平面に、ハンマーヘッドを原点とした競技者の身体重心位置ベクトルを投影し、 $Y_{wire}$ 方向の座標値をハンマーのワイヤーに作用する遠心力方向の力の作用線と身体重心との垂線距離(以下 $r_{wire-bodyCG}$ )とした。また、 $r_{wire-bodyCG}$ を身長で除した値を身長に対するハンマーのワイヤーに作用する遠心力方向の力の作用線と身体重心との垂線距離( $r_{wire-bodyCG\%}$ )とした。

### 3.3.6 下肢のキネマティクスの算出(第7章)

#### 3.3.6.1 下胴座標系の算出

図3-12に、下胴座標系の定義を示した。両股関節中点を原点とし、静止座標系のZ方向の単位ベクトルを $Z_{lt}$ とした。左股関節中心から右股関節中心に向かうベクトル $X'_{lt}$ と $Z_{lt}$ の外積により $Y_{lt}$ を算出、 $Y_{lt}$ と $Z_{lt}$ の外積により $X_{lt}$ を算出し、 $X_{lt}$ 、 $Y_{lt}$ 、 $Z_{lt}$ からなる移動座標系を下胴座標系として定義した。

#### 3.2.6.2 左股関節伸展屈曲角度および右股関節伸展屈曲角度の算出

3.3.3.1にて定義した体幹下部座標系の $Y_tZ_t$ 平面に左股関節中心から左膝関節中心に向かうベクトルを投影し、 $Z_t$ とのなす角を左股関節伸展屈曲角度とした(図3-13a)。同様に、体幹下部座標系の $Y_tZ_t$ 平面に右股関節中心から右膝関節中心に向かうベクトルを投影し、 $Z_t$

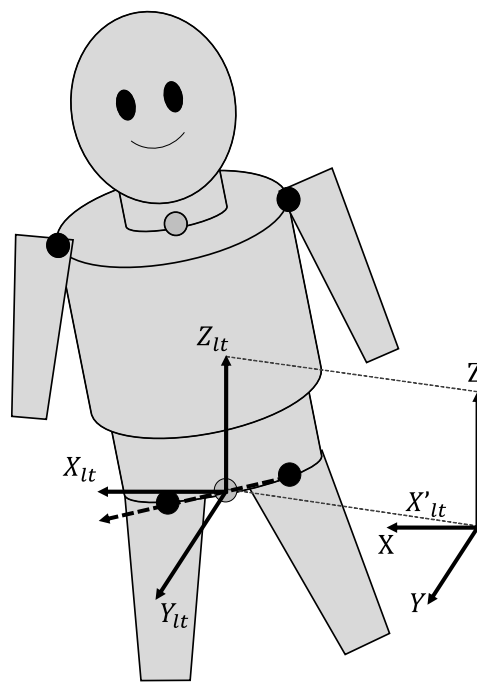


Figure 3- 12 Lower trunk reference frame.

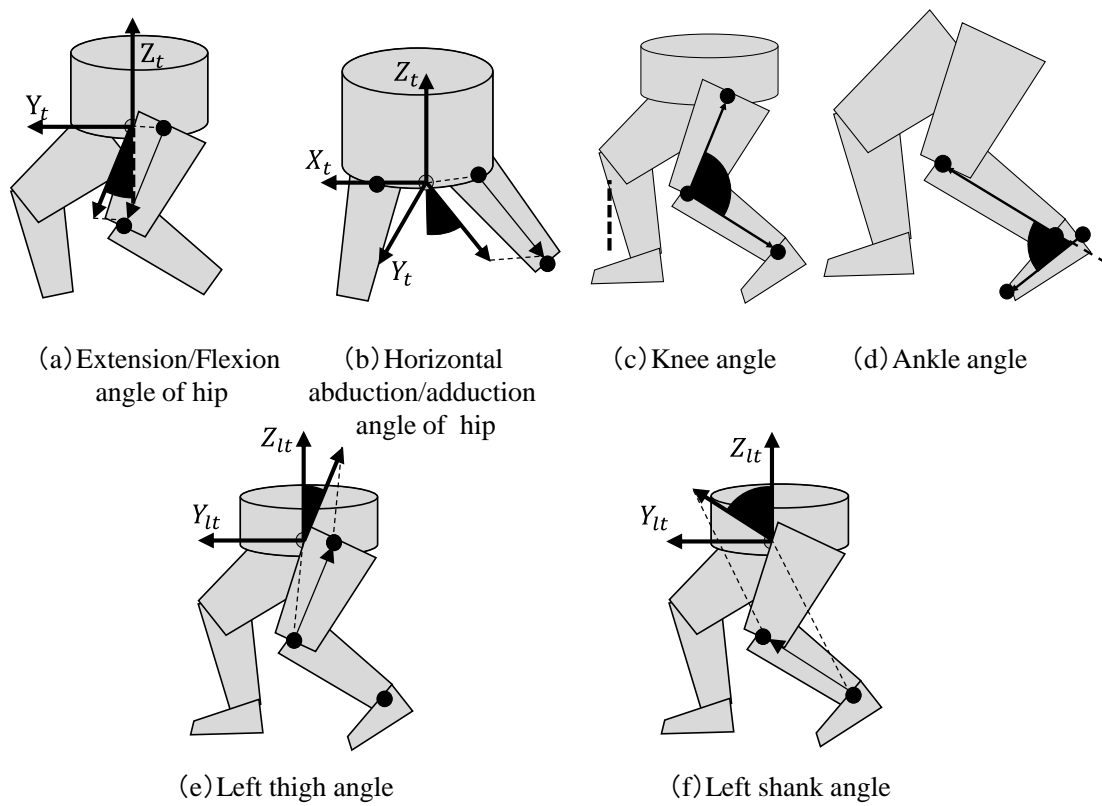


Figure 3- 13 Angle definitions of lower limbs.

とのなす角を右股関節伸展屈曲角度とした。なお、角度の増大は股関節の屈曲動作、角度の減少は股関節の伸展動作を示す。

### 3.3.6.3 左股関節内外転角度および右股関節内外転角度の算出

3.3.4.1 にて定義した体幹下部座標系の $X_tZ_t$ 平面に左股関節中心から左膝関節中心に向かうベクトルを投影し、 $Z_t$ とのなす角を左股関節内外転角度とした（図 3-13b）。同様に、体幹下部座標系の $X_tZ_t$ 平面に右股関節中心から右膝関節中心に向かうベクトルを投影し、 $Z_t$ とのなす角を右股関節内外転角度とした。なお、本章においては時点における内転および外転角度の大きさを内転位および外転位とし、角度の増大は股関節の外転動作、角度の減少は股関節の内転動作を示す。

### 3.3.6.4 左膝関節伸展屈曲角度および右膝関節伸展屈曲角度の算出

左膝関節伸展屈曲角度は左大腿部と左下腿部がなす角、右膝関節伸展屈曲角度は右大腿部と右下腿部がなす角とした（図 3-13c）。なお、角度の増大は膝関節の伸展、角度の減少は膝関節の屈曲を示す。

### 3.3.6.5 左足関節底背屈角度および右足関節底背屈角度の算出

左足関節底背屈角度は左足部と左下腿部がなす角、右足関節底背屈角度は右足部と右下腿部がなす角とした（図 3-13d）。なお、角度の増大は足関節の底屈、角度の減少は足関節の背屈を示す。

### 3.3.6.6 左大腿前後傾角度および左下腿前後傾角度の算出

下胴座標系の $Y_{lt}Z_{lt}$ 平面に左膝関節中心から左股関節中心を結ぶ線分を投影し、 $Z_{lt}$ とのなす角を左大腿前後傾角度とした（図 3-13e）。下胴座標系の $Y_{lt}Z_{lt}$ 平面に左足関節中心から左

膝関節中心を結ぶ線分を投影し、 $Z_{it}$ とのなす角を左下腿前後傾角度とした（図 3-13f）。 $Z_{it}$ と平行の場合を  $0^\circ$ とし、鉛直軸よりも前傾した場合には正の角度、後傾した場合に負の角度とした。

### 3.4 時系列データの規格化

時系列データについては、1 ターンにおける 4 局面（Roff-HP, HP-Ron, Ron-LP, LP-Roff）をそれぞれの時間を 25%とし 1 ターンを 100%と定義した。さらに、4 回転の分析区間の時間を、3 次スプライン関数を用いた内挿補間により時間の規格化（400%）を行った。なお、本研究の時系列データのグラフは、横軸は規格化時間、縦軸は算出したハンマーおよび身体のキネマティクスであり、全対象者の平均値 $\pm$ 標準偏差で示した。

### 3.5 統計処理

統計処理に関して、各イベントにおける投擲記録とハンマーおよび身体のキネマティクスとの関係性を検討するため、ピアソンの積率相関係数を算出した。さらに、第 6 章においては、ハンマーの傾斜角度および肩関節伸展屈曲角度について、身長を抑制変数とした偏相関係数を、第 9 章においては身長および体重を抑制変数とした偏相関係数を算出した。なお、危険率は 5%とした。



## 第 4 章 ハンマーヘッドスピード増加に影響するハンドル先行距離獲得のためのハンドルの動き

### 4.1 緒言

ハンマーヘッドスピード増加の力学的な要因について詳細に分析した藤井ほか (2008) の報告によると、ハンドルがハンマーヘッドと瞬間回転中心を結ぶ線分より先行した状態でワイヤーに張力を加えることによって、ハンマーヘッドを加速する効果が生じると報告している。しかしながら、ターン動作中においてハンマーヘッドを加速させるために、競技者がどのようにハンドルを動かし、ハンドル先行距離が獲得できるかについては検討されていない。このことから、ハンドル先行距離の獲得のためのハンドルの動きを明らかにし、競技者のハンマーヘッド加速技術の指導のための知見を獲得する必要があると考えられる。

ハンマーヘッドおよびハンドルのキネマティクスを基に両者の関係を幾何学的に検討することで、競技者がハンドル先行距離を獲得するためにどのような方略を動作中に立てているのかを明らかにすることが出来る。室伏 (1994) は、ハンマーヘッドの加速を促すためには倒れ込み動作が重要であることを述べている。岡本ほか (2007) は、ターン中のローポイント近辺で、遠心力に逆らって身体を後方へ移動する力によってハンマーヘッドを加速していくと述べている。さらに、坂東ほか (2006) は、「回転の中心方向に積極的にヘッドを引くこと」によってハンマーヘッドを加速させていた可能性を示唆している。ハンマーヘッド加速時に競技者は回転中心方向へハンマー (ハンドル) を牽引しているという事実から、瞬間回転中心方向 (法線方向) へのハンドル牽引動作がハンドル先行距離の獲得につながっている可能性も考えられる。しかしながら、回転中心方向へ積極的にハンマー (ハンドル) を牽引する動きが、ハンマーヘッドスピード増加のためのハンドル先行距離の増加に影響することは明らかにされていない。このことから、競技者の瞬間回転中心方向へのハンドルの牽引動作とハンドル先行距離の増減との関係性について検討を行い、ハンマーヘッドに

対してハンドルをどのように動かすことで、ハンマーヘッドスピードが増加するのかを検討する必要があるものと考えられる。なお、この関係性を理解するためには、ハンマーヘッドおよびハンドルのキネマティクスを基に両者の関係を幾何学的に検討することが有効であること、また、競技者がハンドル先行距離を獲得するために、どのような方略を動作中に立てているのかを明らかにする上で有効な手段になると考えられる。

これらのことから、本章ではハンマーヘッドおよびハンドルのキネマティクスを基に両者の関係を幾何学的に検討し、投擲動作中のハンマーヘッドスピード増加に影響するハンドル先行距離の増減とハンドルの動きとの関係を明らかにすることとした。

## 4.2 方法

データ収集方法、時系列データの規格化およびデータ処理法については第 3 章で述べたとおりである。

## 4.3 結果

図 4-1 に、静止座標系におけるターン動作中のハンマーヘッド、ハンドルおよび瞬間回転中心の軌跡を対象者の平均値を用いて示した。図中の軌跡について、実線は DSP、点線は SSP を示している。ハンマーヘッドとハンドルの軌跡は同心円状を描き、ハンマーヘッドスピード増加局面である DSP において、瞬間回転中心は静止座標系 Y 方向へ移動した。図 4-2 に、ターン動作中における曲率半径の変化を示した。なお、曲率半径はハンマーヘッドスピード増加局面である DSP 前半 (Ron-LP) に減少する傾向がみられた。

図 4-3 に、回転平面座標系におけるハンマーヘッドスピード、ハンドル先行距離、ハンマー一回転速度成分、ハンドル速度について、分析対象者の平均値と標準偏差を示した。規格化時間 50-100, 150-200, 250-300, 350-400% 区間は、主なハンマーヘッドスピード増加局面である DSP を示している。ハンマーヘッドスピード (図 4-3 左上段) とハンドル先行

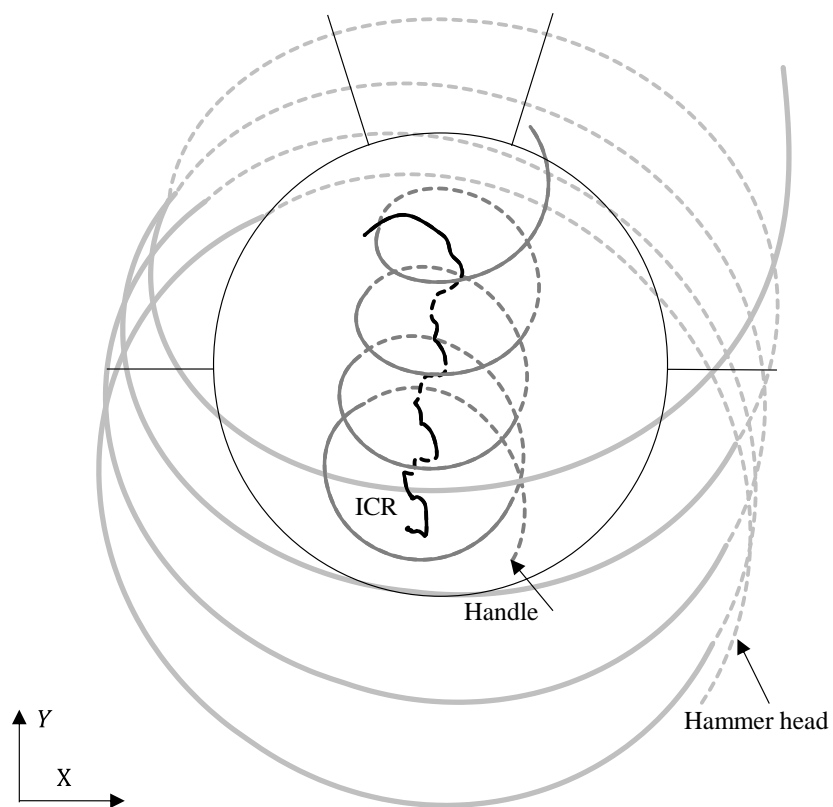


Figure 4-1 Hammer head, handle and instantaneous center of rotation (ICR) on static coordinate system (dotted line: Single Support Phase (SSP), solid line: Double Support Phase (DSP)).

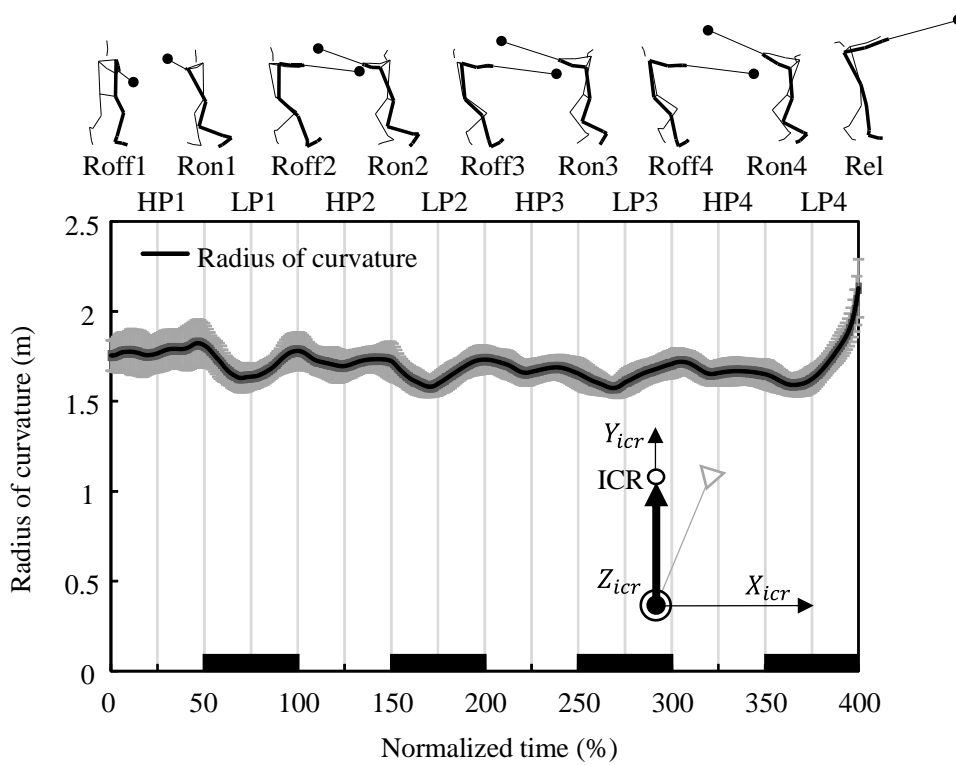


Figure 4-2 Radius of curvature

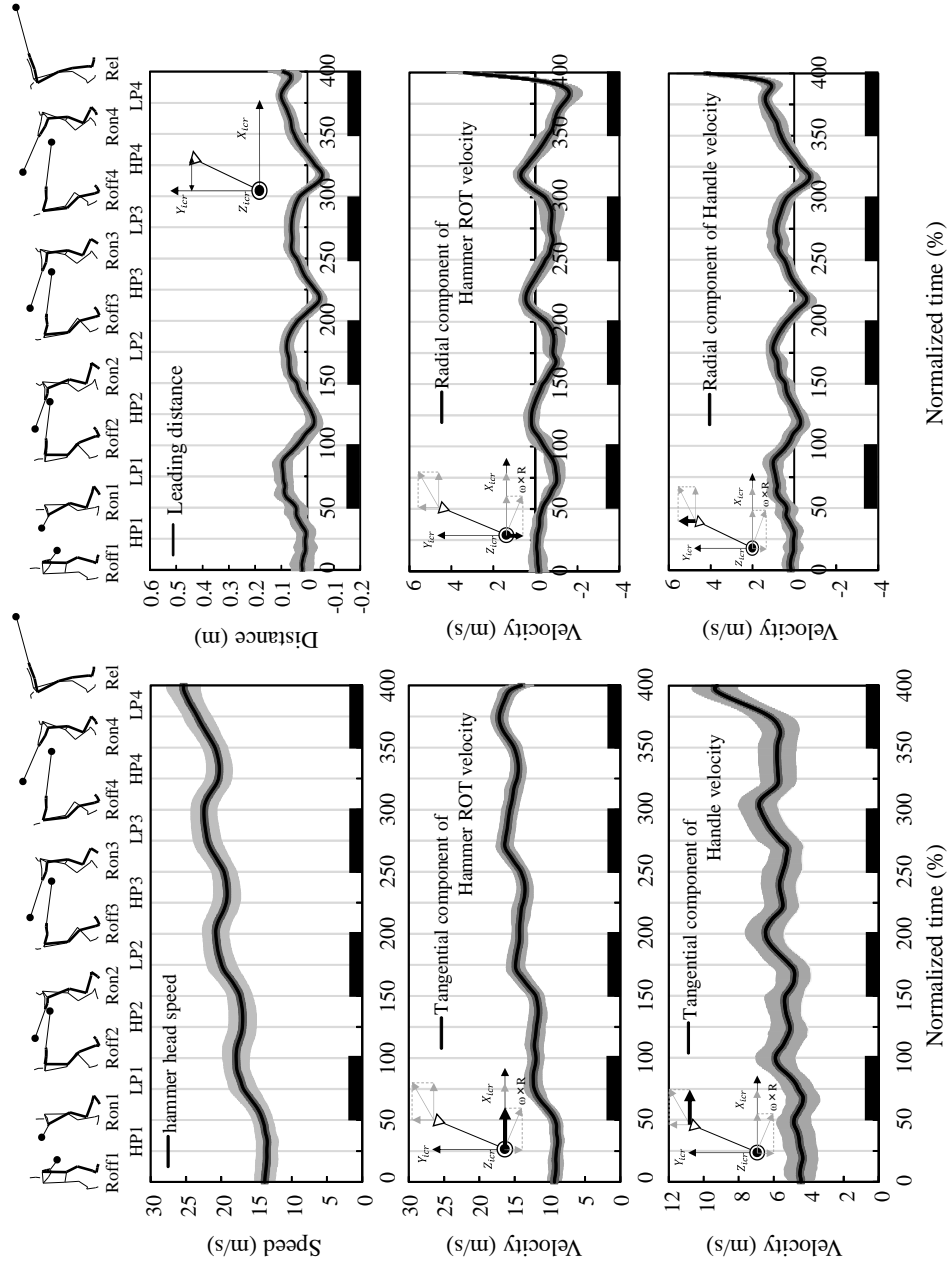


Figure 4- 3 Hammer head speed, Leading distance, tangential direction ( $X_{icr}$  left) and radial direction ( $Y_{icr}$  right) of hammer rotational component velocity (hammer ROT velocity) and handle velocity on rotation plane of hammer.

距離（図 4-3 右上段）に着目すると、ハンドル先行距離が正になるタイミングにおいて、ほぼ同時にハンマーヘッドスピードが増加していた。

接線方向成分のハンマー回転速度成分（図 4-3 左中段）は、ハンマーヘッドスピードの増加とともに増加していた。なお、ハンドル先行距離が正の値を示した後に、**Ron-LP** でハンマー回転速度成分が増加していた（図 4-3 右上段と左中段）。一方、法線方向のハンマー回転速度成分（図 4-3 右中段）は、**Ron4-Rel** を除いて、法線方向のハンドル速度（図 4-3 右下段）と正負は異なるものの大きさは類似した曲線を示していた。

ハンドルの動きを示す回転平面座標系における接線方向のハンドル速度（図 4-3 左下段）と法線方向のハンドル速度（図 4-3 右下段）は、ハンマーヘッドスピード増加とともに、接線方向のハンドル速度は減少、法線方向のハンドル速度が増加していた。また、法線方向のハンドル速度の変化パターン（図 4-3 右下段）は、ハンドル先行距離の変化パターン（図 4-3 右上段）と類似していた。さらに、法線方向のハンドル速度は各ターンにおける **HP-LP** で増加し、**DSP** 後半 (**LP-Roff**) は減少していた。また、**Ron4-Rel** における接線方向のハンドル速度および法線方向のハンドル速度は、各ターンと異なり **LP4** 付近から **Rel** において大きく速度が増加していた。

## 4.4 考察

### 4.4.1 ハンマーヘッドスピードとハンドル速度との関係について

本章の目的は、ターン動作中のハンマーヘッドスピード増加に影響するハンドルの動きとハンドル先行距離についての関係性について検討することであった。ターン動作中のハンマーヘッドスピード増加とハンドル先行距離の変化をみると、ハンマーヘッドスピード増加開始のタイミングは、ハンドル先行距離が正の値を示すタイミングとほぼ同時であり、先行研究の結果と一致した（図 4-3 左上段と右上段）。ハンマーヘッドスピードの増加に関して藤井ほか（2008）は、ハンドルがハンマーヘッドとハンマーの瞬間回転中心を結ぶ線分

より先行した状態でワイヤーに張力を加えることによってハンマーヘッドを加速する効果が生じ、逆にハンマーヘッドが先行する状態でワイヤーに張力を加えることによってハンマーヘッドを減速させる効果が生じると述べている。これらのことから、ハンマーヘッドスピードを増加させるためには、ハンドル先行距離を獲得することが必要であることが再確認できたと考えられる。したがって、ハンマーヘッドスピード増加に影響するハンドル先行距離の獲得のためのハンドルの動きについて検討することとした。

ターン動作中の静止座標系  $XY$  平面上におけるハンマーヘッド、ハンドルおよび瞬間回転中心の軌跡について、ハンマーヘッドスピード増加局面の DSP においては、瞬間回転中心は静止座標系の  $-X$  方向および  $Y$  方向へ移動していた (図 4-1)。特に DSP 前半においてはハンマーヘッドに瞬間回転中心が近づく傾向がみられた。このことから、ターン動作中の曲率半径の長さ変化について着目すると、各ターンの DSP 前半 (Ron-LP) において曲率半径は減少していた (図 4-2)。これらのことから、競技者はハンマーヘッドスピードを増加させる時、ハンドルを瞬間回転中心方向へ牽引することで、ターン動作を成立させていたと考えられる。したがって、瞬間回転中心方向へおけるハンドルの牽引がハンドル先行距離の獲得に関与しているかどうかを幾何学的に明らかにするために、回転平面座標系におけるハンドルの動きとハンドル先行距離の増減について検討を行っていく。

ハンドルの動きを表す回転平面座標系における法線方向のハンドル速度に着目すると、ハンマーヘッドスピード増加とともに、法線方向のハンドル速度が増加していた (図 4-3 右下段)。また、法線方向のハンドル速度の変化パターンは、ハンドル先行距離の変化パターンと類似していた (図 4-3 右上段と左下段)。これらのことから、瞬間回転中心方向へのハンドルの牽引動作がハンドルの先行距離の増減に影響している可能性が示唆される。さらに、法線方向のハンドル速度の増加とハンドル先行距離の増加との関係性について明らかにするために、ハンマーとハンドルのキネマティクスを基に、両者の関係について幾何学的に考察を行うこととする。ハンマーヘッド速度は、ハンドル速度とハンマー回転速度成分の

ベクトルの和によって表すことができる。図 4-3 を参考に、これらの速度成分の関係について、ハンドル先行距離が正の値を示す場合（図 4-4 (a)）、負の値を示す場合（図 4-4 (b)）に分けて図示した。ハンドル先行距離が正の値を示す場合は、ハンマーヘッド速度ベクトルに対して、ハンマー回転速度成分ベクトルは $\theta_2$ 度時計回りに向いている。したがって、ハンドル速度は必然的に法線方向成分の正の速度をもつことになる（図 4-4 (a)）。反対に、ハンドル先行距離が負の値を示す場合は、ハンマーヘッド速度ベクトルに対して、ハンマー回転速度成分ベクトルは $\theta_2$ 度反時計回りに向いている。したがって、ハンドル速度は必然的に法線方向成分の負の速度をもつことになる。ワイヤーの長さ（ハンドルからハンマーヘッドへむかう位置ベクトルの長さ）はほぼ一定であることから、ハンドルの位置座標を回転平面上の座標で表現すると、 $\theta_1$ の大小によって決定されるため、ハンドル先行距離、 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ と法線方向のハンドル速度の増減は一致する。したがって、ターン動作中のハンドル先行距離と法線方向のハンドル速度の増減変化パターンが一致したことは幾何学的に説明することができる。これらのことから、競技者がターン動作中にハンマーヘッドスピードを増加させるためには、瞬間回転中心方向へハンドルを牽引する必要性のあることが幾何学的に明らかになった。さらにこの結果から、野球の投球動作で用いられているボール速度に対する身体の動きとの幾何学的貢献度（宮西ほか、1996）を参考にして、ハンドル法線速度に対する身体の動きについて検討を行うことで、ハンドル先行距離獲得のための身体の動きを定量化することが可能となる。ハンドル先行距離の獲得と法線方向のハンドル速度との関係性が明らかになったことは、ターン動作中のハンマーヘッドスピード増加に対する身体の動きについて定量的に検討することを可能にするものであり、指導書で指摘されていた体幹捻転動作、身体の移動および身体の倒れ込み動作などのハンマーヘッドを加速させるための技術との関係性について明らかにできると考えられる。なお、本章において、法線方向のハンマー回転速度成分と法線方向のハンドル速度は、正負は異なるものの大きさは類似した曲線を示していた（図 4-3 右中段と右下段）。これらの速度の大きさは、本来は幾何学的に一



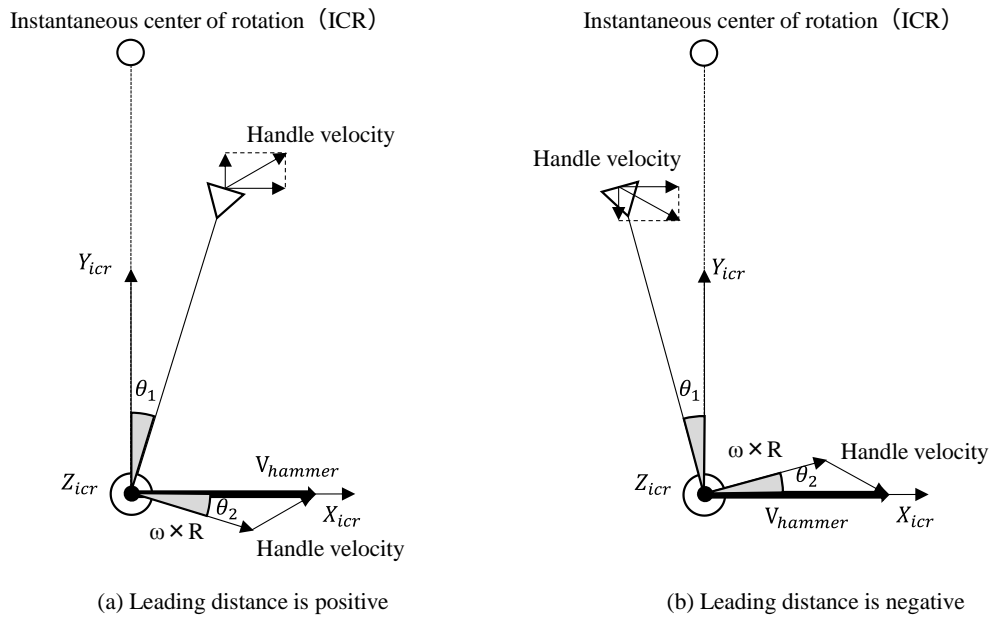


Figure 4-4 Relationship of hammer head velocity, hammer rotational component, handle velocity and leading distance of handle

致して打ち消し合うはずである。しかしながら、これらの数値が完全に一致しなかった理由として、手動デジタイズによるものまたはフィルタリングの影響などが考えられる。

#### 4.4.2 回転平面上におけるハンドル先行距離の増大とハンドルの動きとの関係について

藤井ほか (2008) はシミュレーションを用いて、ハンマーヘッド速度ベクトルに直交する方向 (本研究の $Y_{icr}$ 方向) に加速度 (法線加速度) が生じることは、ハンマーヘッドスピードの増加に貢献しないことを報告している。しかしながら、本章ではハンマーヘッドスピード増加に関与するハンドル先行距離の増減は、ハンドルの法線速度の増減と一致していた (図 4-3 右上段と左下段)。瞬間回転中心方向 (法線方向) へのハンドル速度の増加は、瞬間回転中心方向へ競技者がハンドルの牽引動作を行っていたことを示すものである。そのため、その瞬間のハンマーヘッドの法線加速度の増加のみを引き起こし、ハンマーヘッドスピード増加に影響しないかもしれない。このことから、ハンドルを瞬間回転中心方向へハンドルを牽引することは、直接その瞬間のハンマーヘッドスピード増加にはつながらないが、次の時点におけるハンドル先行距離の増加を導くことで、間接的にハンマーヘッドスピードを増加させることに繋がる可能性があると考えられる。また、回転平面座標系の向きは時々刻々と変化していくものである。本章の結果 (図 4-3) は、回転平面座標系上におけるデータを取り扱っていることから、固定座標系上と回転平面座標系との関係性も考慮しながら、ハンドル先行距離獲得について検討する必要があると考えられる。これらのことから、本章の結果 (図 4-3) を参考にして、ハンマーヘッドスピード増加局面において、ある瞬間 (時点 $t_i$ ) から  $\Delta t$  秒間の間に、競技者が回転平面上でどのようにハンドルを動かすことで、結果として次の瞬間 (時点 $t_{i+1}$ ) の回転平面座標系における法線方向のハンドル速度およびハンドル先行距離を増加させているのか検討していく。

図 4-5 に 2 次元平面上をハンマーが角速度  $\omega$  の回転速度をもって、ある時点 $t_i$ から  $\Delta t$  秒後に時点 $t_{i+1}$ へ移動した状態を、(a) ある瞬間から図中右上にハンドルが移動した場合と (b)

真横に移動した場合にわけて図示した。なお、本研究で扱ったデータのサンプリング周波数は、動作データに含まれる周波数に対して十分に高かったことから、時点 $t_i$ と $t_{i+1}$ における回転平面座標系の $X_{icr}$ および $Y_{icr}$ 回りの傾きの差は非常に小さいものとして扱い、2次元平面に単純化して説明を行う。また、 $\Delta t$ 秒後のハンマーの姿勢（ワイヤーの傾き）に関しては、本研究のターン動作中においては、常にハンマー回転速度成分は正の値を示していたことから、ワイヤーが反時計回りに変化したことを想定して図4-5を作成した。図4-5(a)においては、2次元平面上においてハンドルが図中右上へ移動したため、ハンドル速度ベクトルは図中右上への速度ベクトルをもつことになる。ここで、時点 $t_{i+1}$ における回転平面座標系に着目すると、ハンマーヘッド速度ベクトルに対して、ハンマー回転速度成分ベクトルは図中下向きとなる。なお、常にハンマー回転速度成分( $\omega \times R$ )はワイヤーと直交している。さらに、時点 $t_{i+1}$ における回転平面座標系における接線方向のハンドル速度と法線方向のハンドル速度の向きに着目すると、両成分ともに結果として正の値を示す。一方、ハンドルを水平方向のみ移動させた場合においては、結果的にハンマーヘッド速度に対して、ハンマー回転速度成分ベクトルは図中上向きのベクトルをもつこととなることから、時点 $t_{i+1}$ においてハンドル先行距離は減少し、ハンドル法線速度は負の値を示す。これらのことから、ある瞬間（時点 $t_i$ ）から、 $\Delta t$ 秒間後、ハンドルが2次元回転平面右上方へ移動した場合は、法線方向のハンドル速度は正の値を示し、ハンドル先行距離は増加する。一方、ハンドルが平行に移動した場合、法線方向のハンドル速度は負の値を示し、ハンドル先行距離は減少する。これらのことから、競技者がハンドルを牽引することで回転平面上においてハンドルがある瞬間よりも上方へ移動した場合、ハンドル先行距離は増大する。結果的に、ハンドル速度は次の時点で法線方向の速度を生じることとなることから、ハンドル先行距離と法線方向のハンドル速度の増減のタイミングが一致していたと考えられる。ハンマー投の加速動作においては、「回転中心方向へハンマーヘッドを引く」ことでハンマーヘッドを加速させている可能性を示唆している（坂東ほか、2006）。さらに、本研究ではハンマーヘッドスピード

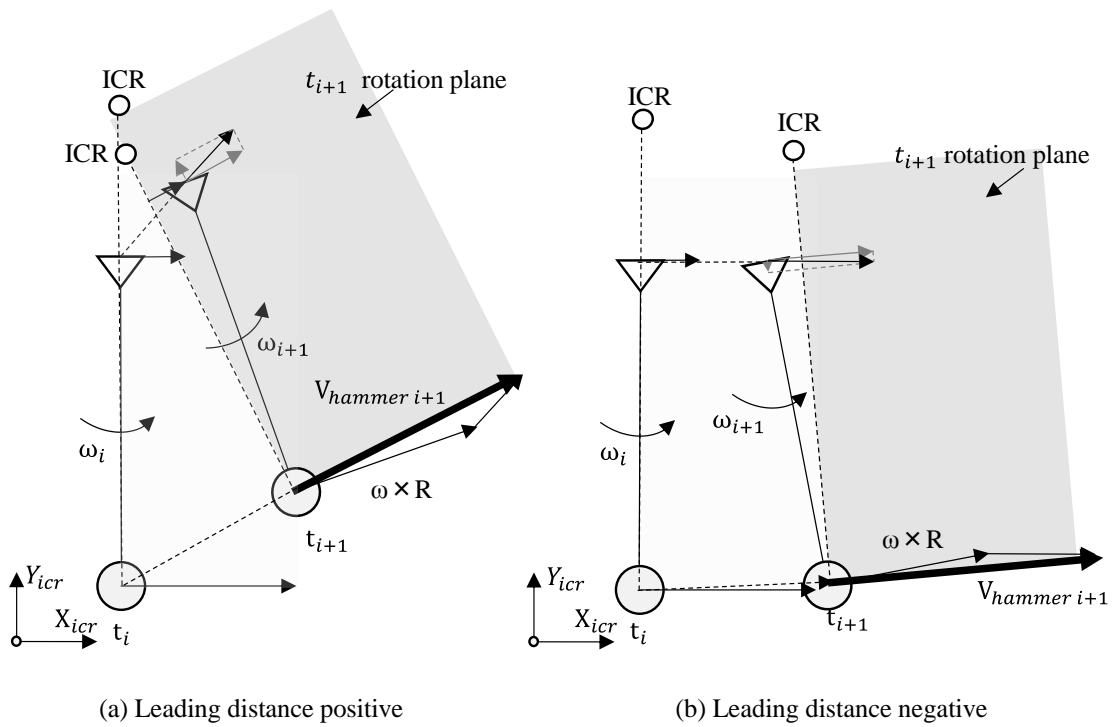


Figure 4-5 Relationship between handle movement and handle velocity on two dimensional plane of hammer.

増加局面前半 (Ron-LP) に、曲率半径は減少する傾向がみられた (図 4-2)。このことは、競技者はハンマーヘッドスピード増加開始地点で、瞬間回転中心方向へハンドルを牽引していたことを示している。これらのことから、本章で明らかになったことは、ある瞬間 (時点  $t_i$ ) における回転平面座標系の法線方向 ( $Y_{icr}$  方向) へのハンマーヘッド (ハンドル) に加わる法線加速度を大きくすることは、ハンマーヘッドスピード増加に影響しないが、ハンドルをある瞬間 (時点  $t_i$ ) から  $\Delta t$  秒間瞬間回転中心方向 ( $Y_{icr}$  方向) に牽引し続けることで、次の時点 ( $\Delta t$  秒後) のハンドル先行距離を結果的に増加させ、ハンマーヘッドスピードを増加させることができるという、今までに明らかにされていなかったハンマーヘッドスピード増加のための力学的メカニズムを詳細に明らかにしたものである。また、藤井ほか (2010) は、肩関節中点とハンドルを結ぶ線分を剛体としたモデルを使用して、肩関節中点にハンドルから肩関節中点へ向かう方向よりも左肩から右肩へ向かう方向寄りの力を加えることで、身体重心回りにハンドルを反時計回りに回転させるモーメントが発生し、ハンドル先行距離が獲得されると推察している。これらのことから、ハンマー投競技者は、図 4-5 のようにハンマーヘッドに対して、ハンドルを回転平面座標系  $X_{icr}Y_{icr}$  の正の方向へ牽引し、ハンドル先行距離を増加させるべきであると考えられる。

#### 4.4.3 ハンドル先行距離の獲得とハンドルの動きからみたハンマーヘッド加速方略

ターン動作中のハンドル先行距離とハンドルの動きの変化パターンから、HP-LP 間と LP-Roff 間ハンマーヘッドスピード増加終了地点 (Roff) では、競技者のハンマーヘッド加速方略が異なっていた (図 4-3 左上段、左中段と左下段)。各ターンのハンドル先行距離と法線方向のハンドル速度は HP-LP で増加した (図 4-3 右上段と左下段)。また、接線方向のハンマー一回転速度成分においても、Ron-LP 間でほぼ増加が終わっていた (図 4-3 左中段)。HP-Roff には両脚支持局面 (DSP) が存在し、積極的にハンマーヘッドを加速できる区間とされている。DSP において、室伏 (1994) は、積極的な身体の「移動」「倒れ込み」によってハ

ハンマー頭部の加速を促すことを指摘している。これらのことから、HP-LPにおいては、DSPにおける積極的な身体の移動や倒れ込み動作がハンドルの牽引動作を引き起こし、ハンドル先行距離の増加を引き起こすことでハンマーヘッドスピード増加を促していたと考えられる。一方、DSP後半となるLP-Roffにおいては、ハンドル先行距離および法線方向のハンドル速度が減少していた（図4-3 右上段と左下段）。また、LP-Roffにおいては、接線方向のハンドル速度が増加することでハンマーヘッドスピードを増加させていた（図4-3 左下段）。これらのことから、LP-ハンマーヘッドスピード増加終了時点においては、ハンドルの牽引力に対する「身体の移動」や「倒れ込み」の貢献は小さくなると推察され、身体の回転（肩の回転や左腕の水平外転動作）によって接線方向のハンドル速度を増加させることを優先し、ハンマーヘッドスピードを増加させていたと推察される。

法線方向のハンドル速度は、ターン動作中のRon4-Relのみ異なる変化パターンを示した（図4-3 右下段）。Ron4-Relは、ハンマー投におけるリリース局面（振り切り局面）である。ターン動作中のRon-Roffでは、次のターンに向かうために右足が離地する動作が伴う。一方、リリース局面（Ron4-Rel）ではLP以降、ハンマーのリリースにむけて鉛直軸まわりに回転していた左下肢の回転を止めること（ブロック動作）を行い、両足が地面に着いたまま、ハンマーのリリース動作の終了地点までハンマーヘッドを加速し続ける。また、Ron4-Relの接線方向のハンドル速度は、ターン動作中において最も大きく速度が増加していた（図4-3 左下段）。これらのことから、リリース局面では、ターン動作中と比較して、ハンマーを積極的に牽引できるために、よりハンドルを先行させる動きを強調した結果、ターン動作中と異なり法線方向のハンドル速度がLP4以降も増加していたと考えられる。

#### 4.5 結言

本章の目的は、ハンマーヘッドおよびハンドルのキネマティクスを基に両者の関係を幾何学的に検討し、投擲動作中のハンマーヘッドスピード増加に影響するハンドル先行距離

の増減とハンドルの動きとの関係を明らかにすることとした。主な結果は以下の通りである。

(1) ターン局面のハンドル先行距離は、回転平面上における法線方向のハンドル速度（瞬間回転中心方向）の増減パターンと一致していた。すなわち、ある瞬間に競技者が瞬間回転中心方向へハンドルを牽引することで、結果的に次の時点におけるハンマーヘッドスピードに影響するハンドル先行距離が増加する。

(2) ハンドル先行距離の獲得パターンから、ターン動作中の HP-LP と LP-Roff とのハンマーヘッドスピード増加のための動作方略は異なる。

本章では HP-LP において、ある瞬間に競技者が瞬間回転中心方向へハンドルを牽引することでハンマーヘッドスピード増加のための条件であるハンドル先行距離が増加することが明らかとなった。これらのことから、ハンマーヘッドスピード増加に関するハンドル先行距離の獲得と身体の動きとの関係性を定量的に検討すること、また記録水準の異なる競技者を対象としたハンドル速度の生成における身体動作の違いについて検討し、ハンマー投におけるハンマーヘッド加速において重要とされる身体の動きを明らかにし、記録水準を高めるための知見を得る必要性があると考えられる。

## 第 5 章 ハンドル先行距離獲得のための身体の動き

### 5.1 緒言

第 4 章では、ハンドル先行距離の増減パターンと瞬間回転中心方向のハンドル速度（以下「法線方向のハンドル速度」と略す）の増減が一致することを明らかとした。すなわち、法線方向のハンドル速度が正の値を示す局面（瞬間回転中心方向のハンドル速度が生成する局面）は、ハンマーヘッドとハンマーの瞬間回転中心を結ぶ線分よりハンドルが先行した状態となる。これらのことから、ハンマーヘッドスピードを増加させるためには、ある瞬間からハンドルを瞬間回転中心方向へ移動させ、ハンマーヘッドと瞬間回転中心を結ぶ線分よりハンドルを先行させる（ハンドル先行距離を獲得する）ことが必要となることが明らかになった。

ハンドル先行距離を大きくするための身体の動きに関して、藤井ほか（2010）は、右利きの競技者に対して、左腕の水平外転と体幹の捻り戻し動作（下胴部に対する上胴部の左回旋動作）を同時に行うこと、および肩関節中点をハンマーヘッドからハンドルへ向かう方向よりも左肩から右肩に向かう方向よりに移動させるような力を体幹や下肢で発揮することによって、ハンドルを大きく先行させることができると報告している。しかしながら、この報告においては、ハンドル先行距離の増減と左腕の水平外転と体幹の捻り戻し動作などの変化パターンが完全に一致しているとはいえず、ハンドルの先行距離の増減に関わる動作に関して推察するまでにとどまっている。これらのことから、ターン中のハンドル先行距離の獲得と身体の動きとの関係について定量的に検討し、ハンマーヘッドスピード増加に関わる身体の動きを再検討する必要がある。

ハンドルの動きと身体動作との関係性を定量的に検討する方法の 1 つとして、関節の運動（角速度）によって得られる身体遠位端の速度を 3 次元的に求めた宮西ほか（1996）や Sprigings et al.（1994）の方法を用いることが考えられる。この方法を用いて、ハンドル先行



距離獲得のための身体の動きを定量化できれば、指導書で指摘されていた体幹捻転動作、身体の移動および身体の倒れ込み動作などのハンマーヘッドを加速させるための技術との関係性について明らかにできるとともに、競技者の競技パフォーマンス向上のための技術指導における新たな視点を提示できる可能性がある。

そこで、本章の目的は、関節の運動（角速度）によって得られる身体遠位端の速度を3次元的に求める方法を用いて、ターン動作中の接線方向および法線方向のハンドルの動きを生成するための身体動作について検討することとした。

## 5.2 方法

### 5.2.1 回転平面座標系およびハンドル速度の算出

回転平面座標系の設定および接線方向および法線方向のハンドル速度の算出については、第3章で述べたとおりである。

### 5.2.2 身体の動きによるハンドル速度の算出

身体の動きによるハンドル速度の算出については、第3章で述べたとおりである。

### 5.2.3 時間の規格化

時間の規格化については、第3章で述べたとおりである。

## 5.3 結果

### 5.3.1 ハンドル速度の測定値と計算値

図5-1に、ターン動作中のハンドル速度の測定値と式3-12による計算値を示した。接線方向および法線方向のハンドル速度の測定値と計算値はほぼ同値を示した（図5-1aと図5-1b）。接線方向のハンドル速度は、各ターンのRon-LPで減少、LP-Roffで増加していた

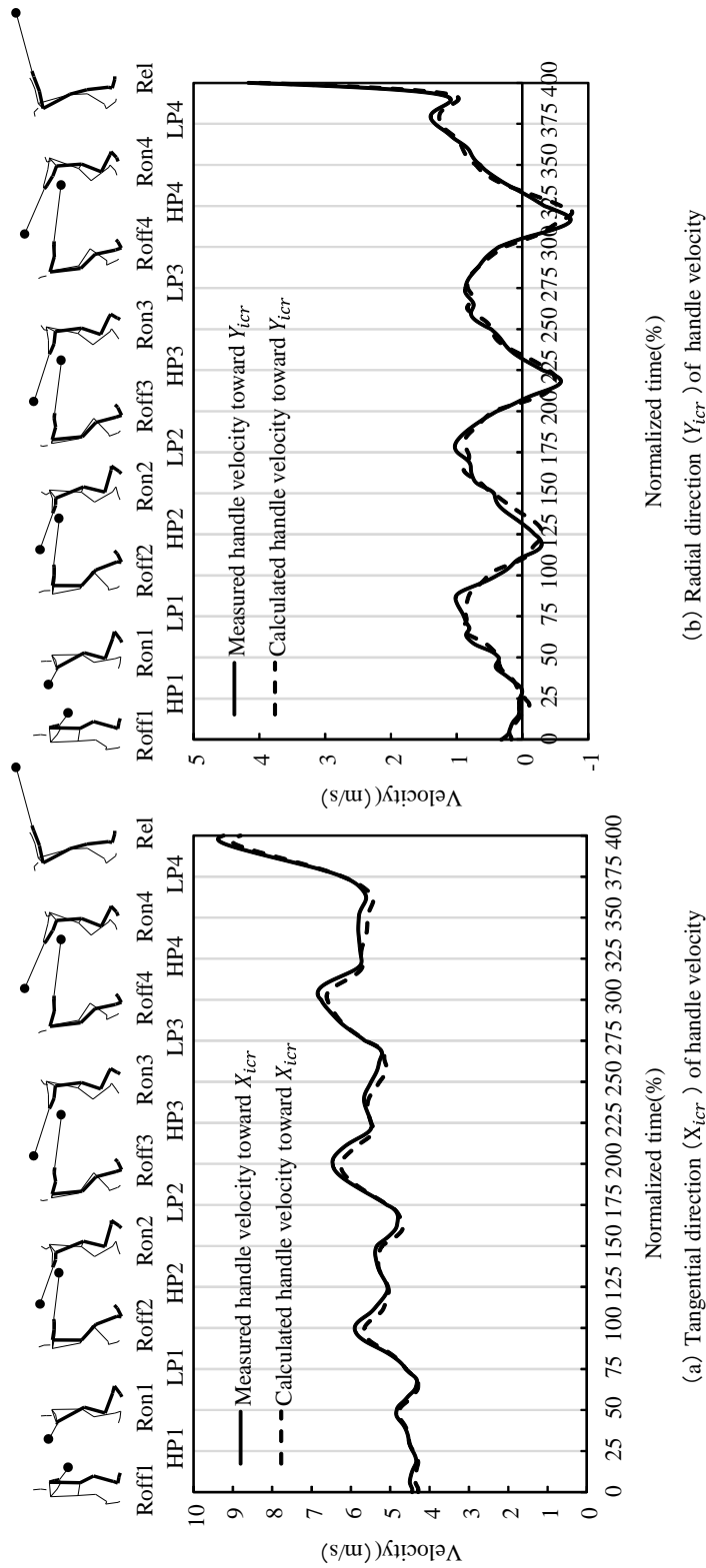


Figure 5-1 Comparison between the measured and calculated handle velocity on rotation plane of hammer ((a) Tangential direction ( $X_{icer}$ ) of handle velocity and (b) radial direction ( $Y_{icer}$ ) of handle velocity).

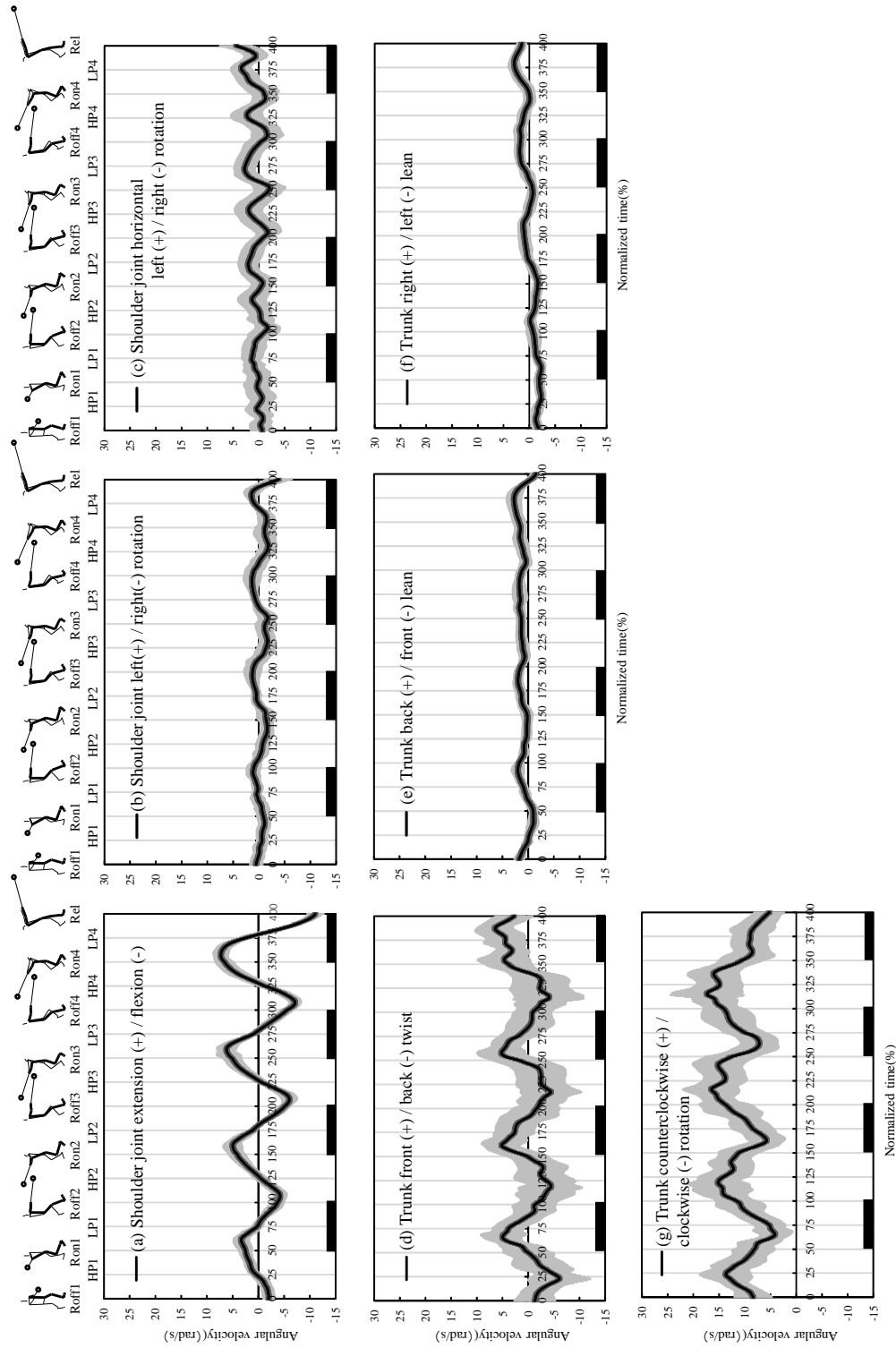


Figure 5-2 Changes in the Shoulder joint angular velocity, upper trunk segment angular velocity, and lower trunk segment angular velocity.

(図 5-1a). 一方, 法線方向のハンドル速度は, 各ターンの **HP-Roff** で正の値を示した (図 5-1b).

### 5.3.2 体幹, 体幹捻転, 肩関節の角速度

図 5-2 に, ターン動作中の体幹, 体幹捻転, 肩関節の角速度を示した. 肩関節の伸展屈曲角速度は, 各ターンの **HP-LP** において正の値 (伸展), **LP-HP** で負の値 (屈曲) を示し, 肩関節長軸回旋 (図 5-2b) および肩関節水平左右回転 (図 5-2c) と比較して, 振幅が大きかった (図 5-2a). また, 肩関節水平左右回転角速度は, 各ターンにおいて二峰性を示した (図 5-2c).

体幹捻転角速度は **DSP** において正の値 (捻り戻し動作), **SSP** では負の値 (捻り動作) を示した (図 5-2d).

体幹前後傾角速度は, **DSP** で正の値 (後傾) を示した (図 5-2e). 体幹左右傾角速度は, ターン前半に負の値 (左傾), ターン後半で正の値 (右傾) を示した局面が多くみられた (図 5-2f). 体幹長軸周りの角速度は **Roff1-Rel** で正の値を示し, **HP-LP** で減少. **LP-HP** で増加していた (図 5-2g).

### 5.3.3 両股関節中点速度

図 5-3 に, ターン動作中の両股関節中点速度を示した. **Roff1-Rel** において, 接線方向の両股関節中点速度は負の値を示した (図 5-3a). 一方, 法線方向の両股関節中点速度は, 各ターンの **LP-Roff** 付近で正の値を示した (図 5-3b).

### 5.3.4 身体の動きによる法線方向のハンドル速度

図 5-4 に, ターン動作中の身体の動きによる法線方向のハンドル速度を示した. 肩関節の伸展屈曲動作によって生じたハンドル速度は, 各ターンの **HP-LP** で正の値を示した (図 5-

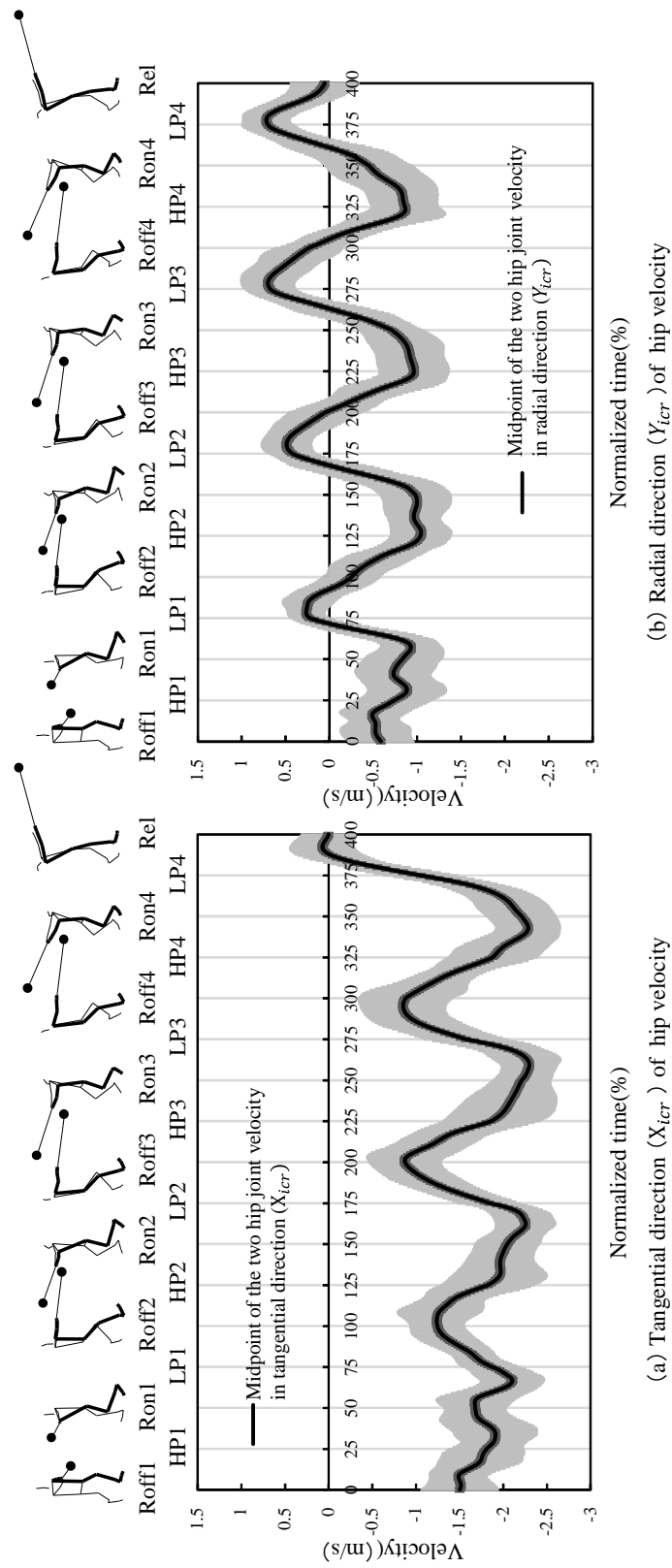


Figure 5-3 Midpoint of the two hip velocity on rotation plane of hammer.

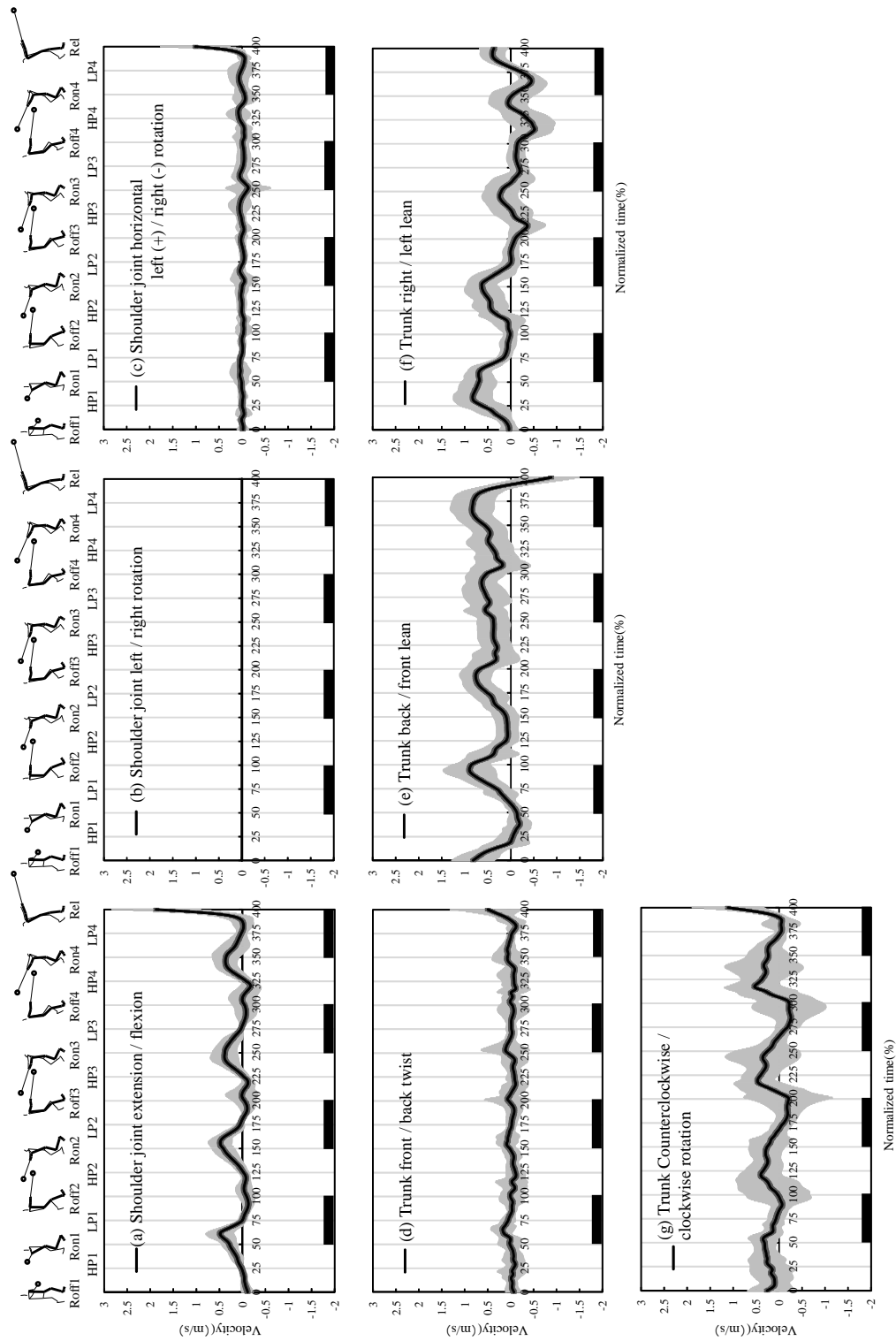


Figure 5-4 Calculated handle velocity obtained from the motion toward radial direction ( $Y_{cr}$ ).

4a). 体幹の運動によって生じたハンドル速度は、各ターンの  $R_{off-LP}$  で体幹の長軸回転動作によるハンドル速度が正の値、 $R_{on-Roff}$  で体幹の前後傾動作によるハンドル速度が相対的に大きな正の値を示した (図 5-4g および図 5-4e). なお、体幹の左右傾動作によるハンドル速度は、 $R_{off1-LP2}$  で正の値を、 $LP2-Rel$  で負の値を示す局面が多くみられた (図 5-4f).

### 5.3.5 身体の動きによる接線方向のハンドル速度

図 5-5 に、ターン動作中の身体の動きによる接線方向のハンドル速度を示した。接線方向のハンドル速度に対して、最も大きな値を示したのは体幹の長軸回転動作によるものであった (図 5-5g). 次に、体幹の捻転動作による接線方向へのハンドル速度が DSP において正の値を示していた (図 5-5d). また、各ターンの DSP においては肩関節の伸展屈曲動作によるもの、肩関節の水平左右回転動作によるハンドル速度も正の値を示した (図 5-5a と図 5-5c).

## 5.4 考察

### 5.4.1 身体の動きによる法線方向のハンドル速度の生成について

本章の目的は、関節の運動 (角速度) によって得られる身体遠位端の速度を 3 次元的に求める方法を用いて、ターン動作中の接線方向および法線方向のハンドルの動きを生成するための身体動作について検討することであった。身体の動きによる法線方向のハンドル速度の生成 (図 5-4) に着目すると、肩関節の伸展屈曲動作、体幹の前後傾動作、体幹の左右傾動作、体幹の長軸回転動作によって生成されたハンドル速度が正の値を示した。すなわち、これらの動作によってターン動作中のハンドル先行距離を獲得していたことが明らかとなった。

各ターンの  $HP-LP$  に着目すると、肩関節の伸展屈曲動作によって生じた法線方向のハ

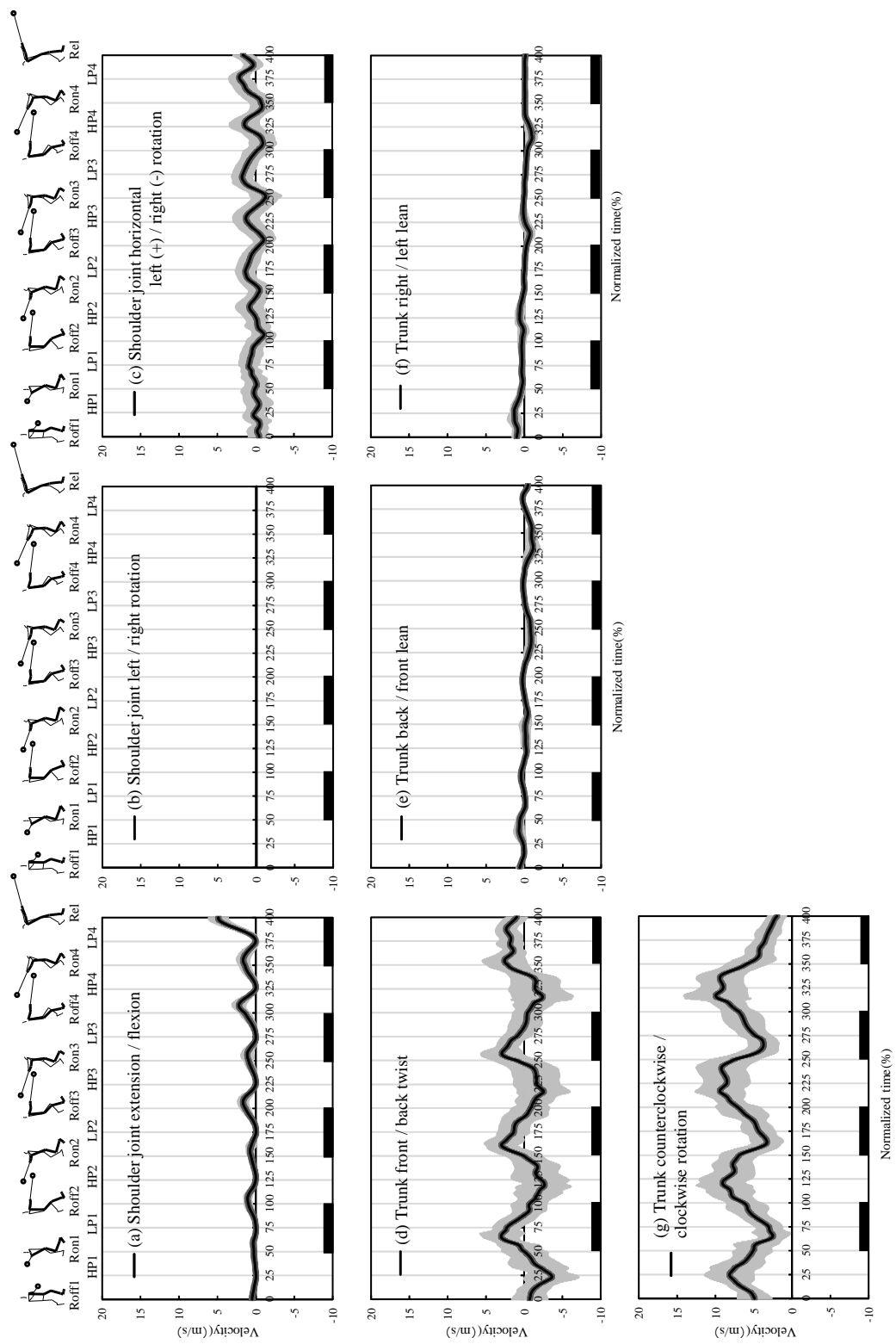


Figure 5-5 Calculated handle velocity obtained from the motion toward tangential direction ( $X_{1cr}$ ).



ンドル速度の値が増加し、正の値を示した（図 5-4a）。また、各ターンの HP-LP における肩関節は伸展角速度を示した（図 5-2a）。これらのことは、HP-LP において競技者は肩関節伸展動作を行うことで法線方向のハンドル速度を獲得していたことを示している。HP-LP はハンマーヘッドが下降する局面であるため、競技者はハンマーヘッド下降に先取りする形で肩関節伸展動作を行う。HP-LP における肩関節伸展動作は、図 5-6 で示したようにハンマーを牽引する方向へのハンドル速度を生成することに繋がる。したがって、この速度が回転平面上における法線方向のハンドル速度を増加させることに繋がっていたと考えられる。ハンマーヘッド加速に関しては、体幹の捻りを戻すこと（室伏，1994；田内と藤井，2009）、身体（体幹）が倒れ込むことと身体を移動すること（池上ほか，1994；室伏，1994；岡本ほか，2006；田内と藤井，2009）および左腕の水平外転動作（藤井ほか，2010）が指摘されているが、肩関節伸展動作に関して指摘したものは見当たらない。本章において、HP-LP において肩関節伸展動作を行うことは、法線方向のハンドル速度を増加させること、つまりハンドル先行距離を獲得することに繋がり、ハンマーヘッドスピード獲得に繋がることが明らかになった。一方、先行研究において、ハンマーヘッドスピード増加に影響する動作として挙げられていた、体幹の捻転および捻り戻し動作（室伏，1994；田内と藤井，2009）や左腕の水平外転（藤井ほか，2010）は、法線方向のハンドル速度の生成に貢献していなかった。

体幹の前後傾動作によって生じたハンドル速度に着目すると、ターン前半（Turn1 および Turn2）においては DSP で正の値、ターン後半（Turn3-Turn4）においては正の値を維持しながら、DSP で増加していた（図 5-4e）。また、同局面において、体幹は後傾角速度を示した（図 5-2e）。これらのことは、DSP において競技者は体幹後傾動作を行うことで法線方向のハンドル速度を獲得していたことを示している。さらに、法線方向の両股関節中点速度は、LP-Roff 付近で正の値を示したことから、LP-Roff 付近において競技者は身体の並進運動を行うことで法線方向のハンドル速度を獲得していた（図 5-3b）。すなわ

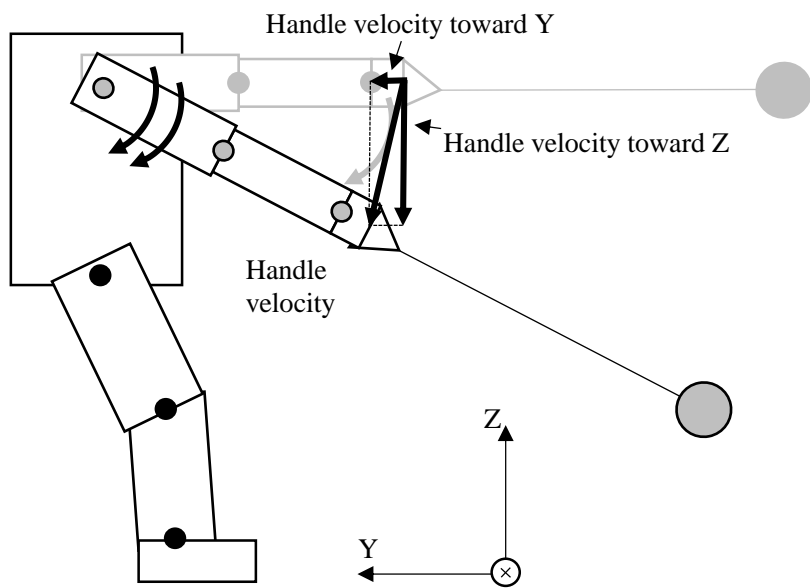


Figure 5-6 Acquisition of handle velocity by shoulder extension movement during HP—LP.

ち、主に体幹の後傾や身体の並進運動によって、DSP の法線方向の両肩中点速度を獲得していたといえる。指導書においても、身体を後傾させる「身体の倒れ込み」や身体の並進移動を利用して、ハンマーヘッドを加速させることが有効とされている（室伏，1994）。これらのことから、ハンマーヘッド加速局面である HP-Roff における法線方向の正のハンドル速度は、肩関節伸展動作、体幹後傾動作、両股関節中点の動きの順で獲得していたことが明らかとなった。このことは、ハンマーヘッドスピード増加に対して、「身体の倒れ込み」や身体の並進移動が影響していたことを本章が始めて明らかにしたといえる。

体幹の長軸回転動作および体幹の左右傾動作によって生じたハンドル速度も法線方向のハンドル速度獲得に大きく貢献していた（図 5-4g および図 5-4f）。両変数ともに SSP の開始局面である Roff-HP において増加し、LP まで正の値を維持していた（体幹の左右傾によって生じたハンドル速度はターン前半のみであった）。体幹長軸周りの角速度に着目すると、片脚支持局面である各ターンの Roff-HP において増加（反時計回りの回転）、体幹左右傾角速度は減少（左傾）していた（図 5-2g および図 5-2f）。これらのことから、競技者は Roff-HP において体幹の長軸回転動作や体幹左傾動作を行うことによって、法線方向の正のハンドル速度を獲得し、ハンドル先行距離を獲得していたことが明らかとなった。SSP は、ハンマーヘッドスピードの減速局面である。また、Roff-LP における法線方向の両股関節中点速度は負の値を示した（図 5-3b）。このことから、ハンマーヘッドスピードが減速する主な原因は、競技者がハンマーヘッド方向へ引っ張られることで、法線方向のハンドル速度が負の値（ハンドルの先行距離が負の値）になったためであると考えられる。競技者は SSP において「右足は地面から離れたらすみやかに軸足に近づけて巻き込むようにハンマー頭部を追い抜き接地させる」（尾縣，1990）や「ハンマーにぶらさがるような抜重動作を行い、からだでハンマーを追い越すように回り込み、からだのねじれをつくる」（金子，1988）など、水平面上の腰の回転速度を高めることで体幹の捻りを獲得し、ハンマーヘッド加速の準備を行う。そのため、指導現場では SSP の所要時間を短くすることや、水平面上における

腰の回転を素早くするよう指導される。本章の結果から、SSPにおける水平面上の腰の回転を素早くすることは、結果として体幹長軸周りの角速度を大きくすることに繋がり、正のハンドル先行距離を獲得し、SSPにおけるハンマーヘッドスピードの減速を抑えることに貢献する可能性がある。このことは、SSPにおいてハンマーヘッドスピード減少が大きい競技者に対して、減速を抑えるための技術指導として有効であることを示唆するものであり、今までに明らかにされていないことである。

#### 5.4.2 身体の動きによる接線方向のハンドル速度の生成について

身体の動きによる接線方向のハンドル速度の生成（図 5-5）に着目すると、接線方向のハンドル速度は、肩関節の屈曲伸展動作、肩関節の水平左右回転動作、体幹の捻転動作および体幹の長軸回転動作によって生成されたハンドル速度によって生成されていた。

身体の動きによる接線方向のハンドル速度について、最も大きな値を示したのは体幹の長軸回転動作によって生じたハンドル速度であった（図 5-5g）。体幹長軸周りの角速度に着目すると、類似した波形パターンを示し、常に上方からみて反時計回りに回転していた（図 5-2g）。すなわち、競技者の回転動作によって接線方向のハンドル速度を生成していた。きさ、および増減に最も影響していたことが明らかとなった。

接線方向のハンドル速度が減少する Ron-LP に着目すると、体幹の捻転動作によって生じたハンドル速度および肩関節の水平左右回転動作によって生じたハンドル速度が正の値を示していた（図 5-5d および図 5-5c）。この局面において、競技者は体幹の捻り戻し動作および肩関節水平左回転動作（左肩関節水平外転動作および右肩関節水平内転動作）を行っていた（図 5-2d と図 5-2c）。これらのことは、体幹の捻り戻し動作と肩関節水平左回転動作が接線方向のハンドル速度の生成に貢献していたことを示している。室伏（1994）は、体幹を捻転させ、捻り戻すことでハンマーヘッドを加速させると述べている。また、DSP 中のハンマーヘッド加速について、湯浅ほか（1984）は、下肢、体幹、上肢の順に回転運動が起こり、

ハンマーヘッドに速度が伝達されていくことが推察されたと述べている。本章においても DSP において、体幹捻転角速度の最大値が出現した後、肩関節水平左回転角速度の最大値が出現していた（図 5-2d と図 5-2c）。これらのことから、各ターンの Ron-LP における体幹の捻り戻し動作と肩関節水平左回転（左肩関節水平外転動作および右肩関節水平内転動作）は、体幹から上肢の順に回転運動を起こし、ハンドルを加速させることで、接線方向のハンドル速度を大きくし、ハンマーヘッドを回転方向へ加速させる役割があったと考えられる。なお、Ron-LP では、体幹長軸周りの角速度の減少によって接線方向のハンドル速度は減少していた（図 5-1a, 図 5-2g および図 5-5g）。競技者は Ron-LP において、「身体の倒れ込み」や身体の並進移動を用いてハンドル先行距離を獲得しようとするため、必然的に体幹長軸周りの角速度は減少したものと考えられる。これらのことから、Ron-LP において体幹の捻り戻し動作と肩関節水平左回転動作（左肩関節水平外転動作および右肩関節水平内転動作）は、体幹長軸周りの角速度減少による接線方向のハンドル速度の減少を抑えるためにも重要な動作であったと考えられる。

最後に肩関節の伸展屈曲動作によって生じたハンドル速度に着目すると、HP-LP および LP-Roff で正の値を示した（図 5-5a）。HP-LP 局面において肩関節は伸展運動を、LP-Roff 局面において肩関節は屈曲運動（負の値）を行っていた（図 5-2a）。これらのことは、各ターンの LP-Roff において、肩関節屈曲動作は接線方向のハンドル速度獲得にも貢献していたことを示している。第 4 章において、LP-Roff はハンマーヘッドスピードを高めるために接線方向のハンドル速度を高める局面であったことを明らかにした。LP-Roff はハンマーヘッドが上昇する局面であるため、競技者は肩関節屈曲動作を行うが、この動作が接線方向のハンドル速度を増加することに繋がることが明らかとなった。

#### 5.4.3 本章の限界点について

本章においては、ターン動作中におけるハンドル速度の測定値と計算値は完全に一致し

なかったものの（図 5-1），接線方向および法線方向のハンドル速度計算値と測定値はほぼ同値を示した（図 5-1a と図 5-1b）．野球の投球動作において，同様の方法を用いて検討した宮西ほか（1996）の報告でも，完全に一致しなかったことを報告している．その主な原因として，身体各部分を剛体としてモデル化したこと，前腕や手，指などの小さく高速度で運動する部分の角速度の測定精度などを挙げている．本章で速度が一致しなかったことは同様の理由に加えて，手動デジタイズによるものまたはフィルタリングの影響などが考えられる．しかしながら，宮西ほか（1996）同様に，計算値は実測値をほぼ反映していたことから，本章で用いた計算式で算出した値を用いて議論を進めた．

本章では3つの座標系（体幹下部・体幹上部・上肢）の動きからハンドル速度の生成について検討を行った．バイオメカニクス的研究においては，阿江ほか（1992）の15個セグメントモデルを活用し，胴体の捻りを伴った運動の解析を行うことができるように胴体の可動範囲を考慮して，左右の肋骨下端を境界面として上胴および下胴を設定し分析を行うことが多い．宮西ほか（1996）も同様に左右の肋骨下端を境に上胴を設定していた．しかしながら，本研究においては競技会において撮影した画像を分析した際，肋骨下端の判別が困難であったため，上胴・下胴の境界線を体幹中点に設定し，上胴・下胴に分けることとした．結果として，算出した体幹捻転関節座標系の $X_{tj}$ 軸および $Y_{tj}$ 軸回りの角速度の値はゼロとなったため，本章では競技者における肋骨下端周りの体幹前後屈動作や左右側屈動作が考慮されていないモデルを用いることになった．さらに，肩甲帯は胸郭から独立していることから，肩関節の動きは肩甲骨によって左右独立的に運動することが可能である．肋骨下端同様に，肩甲帯の動きを分析するための関節点を得ることが困難であったため，本章における体幹の動きは，肩甲帯の動きを含めたものとなっている．そのため，今後，体幹の上部・下部および肩甲帯の動きを含めたモデリングを行うことで，異なる結果が得られる可能性は残されている．

## 5.5 結言

本章の目的は、関節の運動（角速度）によって得られる身体遠位端の速度を3次元的に求める方法を用いて、ターン動作中の接線方向および法線方向のハンドルの動きを生成するための身体動作について検討することであった。主な結果は以下の通りである。

- (1) 法線方向のハンドル速度は、第一に SSP 前半において体幹の長軸回転および体幹左右傾動作によって生成され、その後 HP 以降において肩関節の伸展動作、DSP では体幹後傾動作や身体の並進移動によって獲得していた。
- (2) 接線方向のハンドル速度生成は、主に体幹の回転動作や体幹の捻り戻し動作によるものであった。また、肩関節水平左回転（左肩関節水平外転動作および右肩関節水平内転動作）および LP-Roff における肩関節屈曲動作によっても接線方向のハンドル速度を獲得していた。

したがって、ハンマーヘッドスピード獲得のための正のハンドル先行距離を獲得するためには、体幹の長軸回転、体幹の左傾動作、肩関節伸展動作、体幹後傾動作および並進運動が必要であることが明らかになった。また、接線方向のハンドル速度を大きくするためには、身体の回転スピードを大きくすることが重要となると考えられる。

## 第 6 章 記録水準の異なる競技者のターン動作中における上肢・体幹の動き

### 6.1 緒言

ハンマー投において投擲距離を向上させるためにはリリース時のハンマーヘッド投射スピードを高くすることが投擲記録を向上させるために最も重要であり、そのためにはスイングからターン中のハンマーヘッドスピードを増加させ、高速下においてハンマーヘッドに加わる遠心力に抗しながらターン動作を行う必要がある。しかしながら、競技者が高速下でターン動作を行うために必要とされる動作を検討した研究を行ったものはみられない。記録水準の高い競技者は、低い競技者と比較して、ターン動作中のハンマーヘッドスピードが大きく（坂東ほか，2006）、ターンの所用時間が短い（広瀬ほか，2016c）状況でターン動作を行っていることから、様々な記録水準の競技者を含めた身体の動きを検討し、記録水準の高い競技者の動作の特徴を明らかにすることで、競技者が高速下でターン動作を行うために必要とされる動作を明らかにできると考えられる。

本章では、記録水準の異なる競技者を対象に、投擲記録とターン動作中の動作との関係性について検討することで、競技者が高速下でターン動作を行うための動作技術を明らかにすることを目的とした。

### 6.2 方法

データ収集方法、時系列データの規格化およびデータ処理法については第 3 章で述べたとおりである。

### 6.3 結果

#### 6.3.1 ターン動作中のハンマー方位角，ハンマー傾斜角度

表 6-1 に、ハンマー方位角とハンマー傾斜角度の平均値±標準偏差を、各ターンにおける



Table 6-1 Azimuth angle of hammer, elevation angle of hammer, shoulder rotation angle and hip rotation angle at each event.

	Azimuth angle of hammer(deg)	Elevation angle of hammer(deg)	Shoulder(deg)	Hip(deg)
Roff1	-30.31± 23.54	0.46 ± 5.64	-112.16± 24.85	-117.41± 22.18
Roff2	-27.47± 17.91	-5.00± 6.79	-113.04± 17.89	-107.36± 19.52
Roff3	-23.99± 14.09	-10.88± 7.91	-111.84± 15.13	-104.23± 13.01
Roff4	-21.54± 13.99	-16.53± 9.11	-112.98± 15.61	-104.96± 15.47
Ron1	118.87± 21.49	4.21 ± 8.02	47.03 ± 26.39	96.64 ± 24.94
Ron2	134.49± 16.71	11.40± 8.22	57.19± 22.31	109.67± 19.83
Ron3	149.12± 17.27	13.27± 9.94	68.71 ± 23.22	117.10± 22.79
Ron4	164.31± 22.82	10.70± 14.79	87.09± 30.62	125.41± 26.59
HP1	46.24± 17.57	16.16± 5.09	-33.25± 20.62	-5.41 ± 29.81
HP2	68.01± 14.31	26.19± 4.49	-10.74± 17.07	28.13± 23.18
HP3	80.35± 12.56	33.48± 3.73	-2.88± 16.53	34.69± 19.62
HP4	90.04± 12.39	38.00± 3.24	6.14 ± 15.53	40.80± 17.47
LP1	233.36± 16.14	-28.72± 4.17	159.47± 15.45	170.55± 18.24
LP2	251.21± 14.55	-34.35± 3.54	170.99± 13.25	186.81± 18.35
LP3	263.16± 13.87	-38.69± 3.09	181.24± 13.90	192.36± 18.18
LP4	269.66± 12.97	-41.72± 2.81	190.49± 15.20	197.25± 16.95
Rel	378.21± 9.39	6.82 ± 5.98	290.84± 13.43	256.96± 13.52

4つのイベント（Roff, Ron, HP, LP）と Rel の各イベントで示した。ハンマー方位角はターンが進むにつれて値が増加，すなわち回転進行方向へ位置する傾向を示した。また，ハンマー傾斜角度は，ターンが進むにつれて HP の値は増加し，LP の値は減少した（表 6-1）。表 6-2 に，投擲記録と各イベントのハンマー方位角，ハンマー傾斜角度との関係性について示した。Ron1, Ron2, Ron3 において，投擲記録とハンマー方位角との間に負の相関関係がみられ，投擲記録と LP1, LP2, LP3 におけるハンマー方位角との間には統計的に有意な関係はみられなかった。Roff1, Roff2, Roff3, Roff4 において，ハンマー方位角との間に有意な負の相関関係がみられた。

投擲記録とハンマー傾斜角度との関係について HP2, HP3, HP4 においては有意な正の相関関係，LP2, LP3, LP4 においては有意な負の相関関係を示した。なお，身長に関するパラメータであるハンマーの傾斜角度について，身長との関係性を検討すると，身長が高い競技者ほどハンマーの傾斜角度が小さいという結果を得たことから，身長を抑制変数として投擲記録と LP2, LP3, LP4 のハンマー傾斜角度との偏相関関係を検討したところ，有意な関係性はみられなかった。

表 6-3 に，投擲記録と各ターンの DSP および Ron-LP におけるハンマー方位角変化量との相関関係について示した。投擲記録と DSP 中のハンマー方位角変化量との間には相関関係はみられなかった。一方，Ron1-LP1 および Ron2-LP2 におけるハンマー方位角変化量との間には正の相関関係がみられた。

表 6-4 に，Ron 時のハンマー方位角と Ron-LP におけるハンマー方位角変化量との相関関係について示した。全ての Ron-LP において，有意な負の相関関係がみられた。

表 6-5 に，投擲記録と DSP および Ron-LP のハンマー方位角速度平均値との相関関係について示した。投擲記録と DSP および Ron-LP のハンマー方位角速度平均値については，全ての局面において正の相関関係がみられた。

Table 6- 2 Correlation coefficient between record, azimuth angle of hammer, elevation angle of hammer, azimuth angle of left arm, shoulder rotation angle and hip rotation angle at each event.

	Roff1	HP1	Ron1	LP1	Roff2	HP2	Ron2	LP2	Roff3	HP3	Ron3	LP3	Roff4	HP4	Ron4	LP4	Rel
Azimuth angle of hammer	-0.522*	-0.220	-0.588*	-0.209	-0.603*	-0.232	-0.547*	-0.151	-0.518*	-0.216	-0.328*	-0.160	-0.394*	-0.229	-0.238	-0.179	-0.331*
Elevation angle of hammer	-0.319*	0.267	0.521*	-0.212	-0.407*	0.370*	0.431*	-0.352*	-0.317*	0.422*	0.245	-0.427*	-0.233	0.461*	0.161	-0.451*	0.168
Azimuth angle of left arm	-0.495*	-0.172	-0.538*	-0.197	-0.585*	-0.197	-0.546*	-0.182	-0.558*	-0.265	-0.319*	-0.184	-0.436*	-0.319*	-0.280	-0.097	-0.175
Shoulder rotation angle	-0.383*	-0.185	-0.675*	-0.135	-0.412*	-0.238	-0.603*	-0.102	-0.388*	0.300*	-0.315*	0.030	-0.121	-0.354*	-0.249	0.241	-0.173
Hip rotation angle	-0.367*	-0.042	-0.467*	0.050	-0.330*	-0.023	-0.375*	0.098	-0.360*	-0.017	-0.098	0.127	-0.062	0.079	-0.042	0.213	0.056

\*: a significance level is set at a risk rate of 5% or less.

Table 6-3 Correlation coefficient between throwing record, angular displacement of azimuth angle of hammer, shoulder rotation and hip rotation during DSP and Ron-LP.

		Displacement(deg)	Correlation coefficient vs throwing record
Azimuth angle of hammer	DSP1	213.66 ± 14.64	0.126
	DSP2	201.52 ± 12.83	0.143
	DSP3	189.33 ± 13.81	0.011
	DSP4	213.91 ± 20.31	0.114
	Ron1-LP1	114.49 ± 21.13	0.439 *
	Ron2-LP2	116.73 ± 16.42	0.422 *
	Ron3-LP3	114.04 ± 16.09	0.215
	Ron4-LP4	105.35 ± 19.78	0.157
Shoulder rotation	DSP1	199.93 ± 21.63	0.482 *
	DSP2	190.96 ± 21.01	0.360 *
	DSP3	178.30 ± 22.80	0.238
	DSP4	203.75 ± 32.74	0.164
	Ron1-LP1	112.44 ± 27.14	0.579 *
	Ron2-LP2	113.80 ± 23.96	0.505 *
	Ron3-LP3	112.52 ± 23.62	0.327 *
	Ron4-LP4	103.40 ± 29.48	0.382 *
Hip rotation	DSP1	156.00 ± 25.63	0.203
	DSP2	146.10 ± 21.02	0.130
	DSP3	137.94 ± 24.10	0.053
	DSP4	131.55 ± 29.50	0.063
	Ron1-LP1	73.91 ± 27.62	0.455 *
	Ron2-LP2	77.14 ± 27.76	0.332 *
	Ron3-LP3	75.26 ± 27.25	0.167
	Ron4-LP4	71.85 ± 26.97	0.157

\* : a significance level is set at a risk rate of 5% or less.

Table 6-4 Correlation coefficient between azimuth angle of hammer at Ron, angular displacement of azimuth angle of hammer, shoulder and hip rotation during Ron-LP.

		Correlation coefficient vs Azimuth angle of hammer at Ron
Ron1-LP1	Azimuth angle of hammer	-0.714*
	Shoulder rotation	-0.741*
	Hip rotation	-0.581*
Ron2-LP2	Azimuth angle of hammer	-0.614*
	Shoulder rotation	-0.683*
	Hip rotation	-0.393*
Ron3-LP3	Azimuth angle of hammer	-0.656*
	Shoulder rotation	-0.694*
	Hip rotation	-0.372*
Ron-LP4	Azimuth angle of hammer	-0.824*
	Shoulder rotation	-0.717*
	Hip rotation	-0.568*

\*: a significance level is set at a risk rate of 5% or less.

Table 6-5 Correlation coefficient between throwing record, azimuth average angular velocity of hammer, shoulder rotation average angular velocity and hip rotation average angular velocity during DSP and Ron-LP.

		Angular velocity (deg/s)	Correlation coefficient vs throwing record
Azimuth angular velocity of hammer	DSP1	577.47 ± 58.15	0.725*
	DSP2	707.51 ± 67.57	0.818*
	DSP3	804.30 ± 70.42	0.853*
	DSP4	790.72 ± 57.89	0.836*
	Ron1-LP1	533.93 ± 50.94	0.650*
	Ron2-LP2	661.18 ± 61.52	0.786*
	Ron3-LP3	748.14 ± 58.09	0.842*
	Ron4-LP4	792.55 ± 70.30	0.652*
Shoulder rotaiton	DSP1	536.99 ± 77.59	0.775*
	DSP2	665.50 ± 90.68	0.750*
	DSP3	741.12 ± 81.66	0.822*
	DSP4	751.06 ± 82.01	0.677*
	Ron1-LP1	520.62 ± 87.89	0.742*
	Ron2-LP2	639.92 ± 105.59	0.730*
	Ron3-LP3	733.49 ± 105.77	0.709*
	Ron4-LP4	768.99 ± 140.89	0.691*
Hip rotation	DSP1	429.13 ± 73.26	0.582*
	DSP2	526.24 ± 77.67	0.577*
	DSP3	605.40 ± 88.59	0.510*
	DSP4	483.00 ± 78.84	0.651*
	Ron1-LP1	342.59 ± 107.35	0.493*
	Ron2-LP2	436.16 ± 136.31	0.419*
	Ron3-LP3	495.36 ± 159.37	0.295
	Ron4-LP4	529.04 ± 146.15	0.297*

\*: a significance level is set at a risk rate of 5% or less.

### 6.3.2 ターン動作中の水平面上における体幹の回転動作

表 6-1 に、肩および腰の回転角度について、各ターンにおける 4 つのイベント (Roff, Ron, HP, LP) と Rel の平均値±標準偏差を示した。Roff 時の肩の回転角度を除いて、各イベントにおける肩および腰の回転角度はターンが進むにつれて値が増加、すなわち回転進行方向へ位置する傾向を示した。表 6-2 に、投擲記録と各イベントの肩の回転角度および腰の回転角度との関係性について示した。Ron1, Ron2, Ron3 において、肩の回転角度との間に負の相関関係がみられた。同様に、腰の回転角度は Ron1, Ron2 において負の相関関係がみられた。さらに、Roff1, Roff2, Roff3 において、肩の回転角度および腰の回転角度との間に負の相関関係がみられた。

表 6-3 に、投擲記録と各ターンの DSP および Ron-LP における肩および腰の回転角度変化量との相関関係について示した。投擲記録と DSP 中の肩および腰の回転角度変化量について、肩の回転変化量は DSP1 および DSP2 で正の相関関係がみられたが、腰の回転角度変化量は DSP1-DSP4 において相関関係がみられなかった。一方、投擲記録と Ron-LP の肩の回転角度変化量は全ての局面で、投擲記録と腰の回転角度変化量は Ron1-LP1 および Ron2-LP2 において正の相関関係がみられた。

表 6-4 に、Ron 時のハンマー方位角と Ron-LP における肩および腰の回転角度変化量との相関関係について示した。全ての Ron-LP において、有意な負の相関関係がみられた。

表 6-5 に、投擲記録と DSP および Ron-LP の肩および腰の回転角速度平均値との相関関係について示した。投擲記録と DSP および Ron-LP の肩の回転角速度平均値との相関関係については、全ての局面において正の相関関係がみられた。また、投擲記録と腰の回転角速度平均値との相関関係については、全ての DSP および Ron1-LP1, Ron2-LP2, Ron4-LP4 において正の相関関係がみられた。

Table 6- 6 Correlation coefficient between throwing record and time during DSP and Ron-LP.

	Time (s)	Correlation coefficient
DSP1	$0.38 \pm 0.05$	-0.439*
DSP2	$0.29 \pm 0.03$	-0.606*
DSP3	$0.24 \pm 0.03$	-0.580*
DSP4	$0.27 \pm 0.04$	-0.403*
Ron1-LP1	$0.22 \pm 0.04$	0.072
Ron2-LP2	$0.18 \pm 0.02$	-0.121
Ron3-LP3	$0.15 \pm 0.03$	-0.245
Ron4-LP4	$0.14 \pm 0.03$	-0.151

\*: a significance level is set at a risk rate of 5% or less.



### 6.3.3 DSP および Ron-LP の所用時間について

表 6-6 に、投擲記録とターン動作中の DSP および Ron-LP の所用時間との相関関係を示した。全ての DSP において負の相関関係がみられた。一方、Ron-LP の所用時間は、投擲記録と相関関係はみられなかった。

### 6.3.4 水平面上における Ron-LP の両肩関節中心スピード

表 6-7 に、投擲記録と水平面上における Ron-LP の両肩関節中心スピードの最大値と増量との相関関係について示した。両肩関節中心スピードの最大値および増量ともに全ての局面で正の相関関係がみられた。

### 6.3.5 Ron-LP のハンマーヘッドスピード増量

表 6-8 に、投擲記録と Ron-LP におけるハンマーヘッドスピード増量との相関関係について示した。全ての局面で正の相関関係がみられた。

### 6.3.6 ターン動作中の上肢関節角度および体幹のキネマティクス

図 6-1 に、ターン動作中の上肢関節および体幹前後傾角度および体幹左右傾角度の変化を示した。体幹捻転角度は、SSP で減少（体幹捻転動作）、DSP で増加（体幹捻り戻し動作）していた。肩関節水平内外転角度について、各ターンの SSP では値が減少（水平内転動作）、DSP の LP-Roff では最も大きく増加（水平外転動作）していた。肩関節伸展屈曲角度は、HP-LP は値が減少（伸展動作）、LP-HP は増加（屈曲動作）を行っていた。体幹の前後傾角度は、各ターンにおいて SSP で減少（前傾）、DSP で増加（後傾）していた。体幹の左右傾角度は、各ターンの Roff-HP で最大値（体幹最大左傾）、DSP (Ron-Roff) 中に最小値（最大右傾）を示した。

表 6-9 に、投擲記録と各イベントの肩関節水平内外転角度、肩関節伸展屈曲角度、体幹前

Table 6-7 Correlation coefficient between throwing record and velocity of left and right shoulder joint center during Ron-LP.

			Velocity (m/s)	Correlation coefficient vs throwing record
Velocity of left and right shoulder joint center	Max velocity	Ron1-LP1	2.06 ± 0.44	0.465*
		Ron2-LP2	2.94 ± 0.61	0.639*
		Ron3-LP3	3.55 ± 0.63	0.531*
		Ron4-LP4	3.91 ± 0.59	0.544*
	Increment of velocity	Ron1-LP1	1.03 ± 0.46	0.454*
		Ron2-LP2	0.84 ± 0.61	0.511*
		Ron3-LP3	0.56 ± 0.51	0.358*
		Ron4-LP4	0.61 ± 0.48	0.488*

\* : a significance level is set at a risk rate of 5% or less.

Table 6-8 Correlation coefficient between throwing record and increment of hammer head speed during Ron-LP.

	Velocity(m/s)	Correlation coefficient vs throwing record
Ron1-LP1	$2.72 \pm 1.06$	0.506*
Ron2-LP2	$2.60 \pm 0.70$	0.412*
Ron3-LP3	$2.36 \pm 0.61$	0.386*
Ron4-LP4	$2.51 \pm 0.74$	0.415*

\*: a significance level is set at a risk rate of 5% or less.

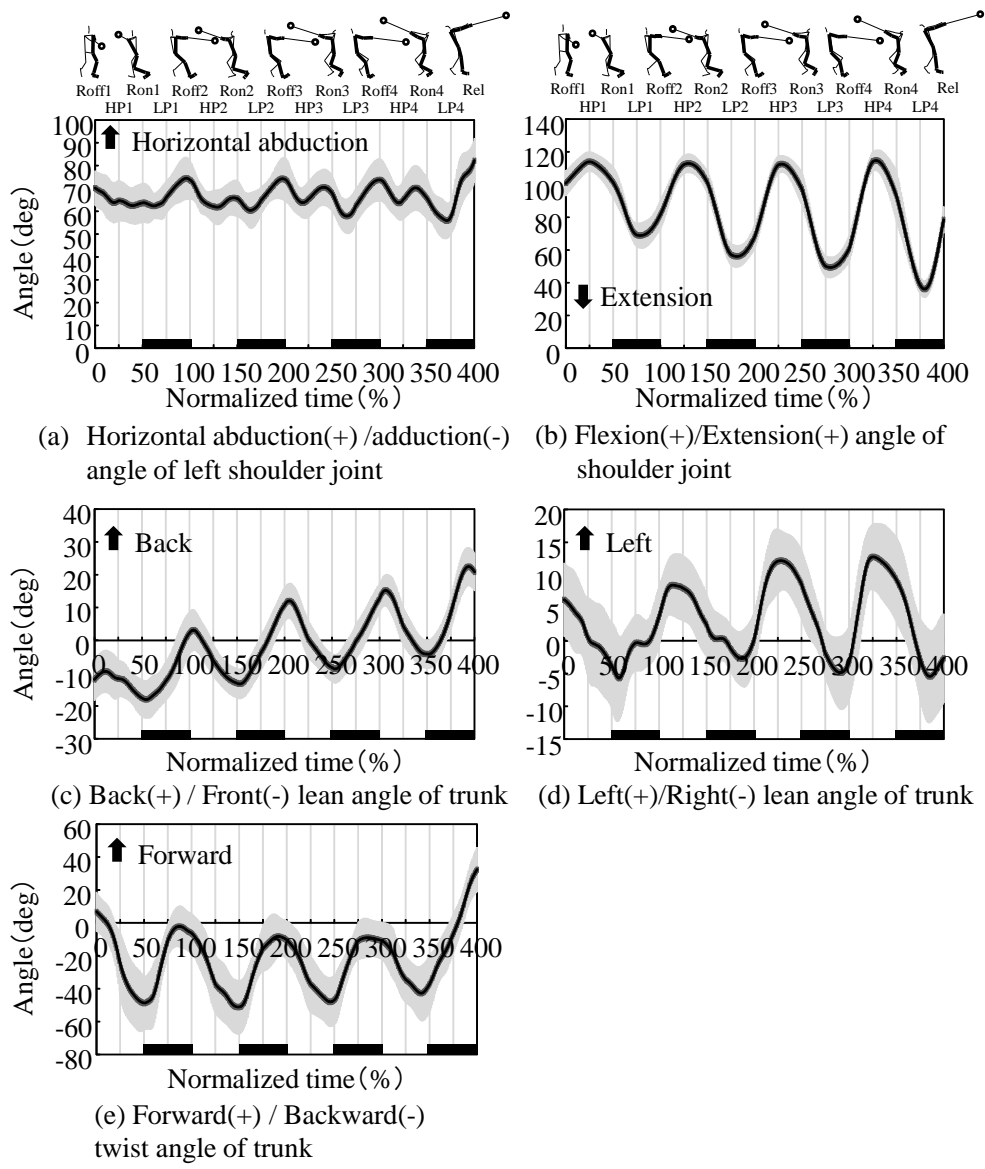
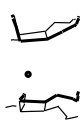

















Figure 6-1 Angle of upper limbs and trunk during turn and release phase.

Table 6-9 Correlation coefficient between record, upper limbs, and trunk kinematic parameter at each event.

																
	Roff1	Ron1	LP1	Roff2	HP2	Ron2	LP2	Roff3	HP3	Ron3	LP3	Roff4	HP4	Ron4	LP4	Rel
Horizontal abd/abb angle of shoulder joint	-0.196	0.481*	-0.252	-0.312*	0.097	0.296	-0.313*	-0.295	0.135	0.041	-0.396*	-0.570*	0.144	-0.035	-0.315*	-0.098
Extension/Flexion angle of shoulder joint	-0.250	0.493*	-0.449*	-0.501*	-0.150	0.174	-0.417*	-0.427*	-0.280	-0.048	-0.334*	-0.194	-0.211	-0.104	-0.242	0.170
Backward/Forward lean angle of trunk	0.040	-0.092	0.286	0.450*	0.271	0.224	0.290	0.221	0.309*	0.133	0.140	0.103	0.241	0.029	-0.165	-0.148
Right/Left lean angle of trunk	-0.271	-0.014	-0.216	-0.326*	-0.127	0.268	0.321*	-0.153	-0.171	0.386*	0.455*	0.078	-0.044	0.375*	0.588*	0.547*
Twist angle of trunk	-0.106	-0.262	-0.356*	-0.320*	-0.107	-0.221	-0.360*	-0.228	-0.099	-0.256	-0.162	-0.091	-0.476*	-0.338*	0.053	-0.152

\*: a significance level is set at a risk rate of 5% or less.

後傾角度，体幹左右傾角度および体幹捻転角度との間の相関関係について示した．体幹捻転角度は，Ron1，LP1，Ron2，HP4，Ron4 において投擲記録との間に負の相関関係がみられた．投擲記録と Ron—LP の体幹の捻り戻し角度変化量との相関関係について，全ての局面で有意な相関関係がみられなかった（表 6-10）．また，投擲記録と Ron—LP における体幹捻り戻し角速度平均値との相関関係について，Ron4—LP4 のみ正の相関関係がみられた（表 6-10）．

肩関節水平内外転角度は，Ron1 において投擲記録との間に正の相関関係，Roff2，LP2，LP3，Roff4，LP4 において，投擲記録との間に負の相関関係がみられた（表 6-9）．なお，各ターンの LP—Roff における肩関節水平外転角度変化量は，Turn1 のみ投擲記録と有意な負の相関関係がみられ，投擲記録と各ターンの LP—Roff における肩関節水平外転角速度平均値との間には有意な相関関係はみられなかった（表 6-11）．

肩関節伸展屈曲角度は，LP1，LP2，LP3 とローポイントにおいて，投擲記録との間に有意な負の相関がみられた（表 6-9）．身長に関するパラメータである肩関節伸展屈曲角度について，身長との関係性を検討すると，身長が高い競技者ほど肩関節伸展屈曲角度が小さかった．このことから，身長を抑制変数として投擲記録と LP1，LP2，LP3 の肩関節伸展屈曲角度との偏相関関係を検討したところ，有意な関係性はみられなかった．さらに，表 6-12 に，投擲記録と各ターンにおける肩関節伸展角度変化量および肩関節屈曲角度変化量との関係性を示した．Turn1 において肩関節伸展角度変化量および肩関節屈曲角度変化量との間に正の相関関係がみられた．一方，投擲記録と各ターンにおける肩関節伸展屈曲角速度最大値および最小値との関係性についての相関関係を統計的に算出した結果，すべてのターンにおいて投擲記録と最小値との間に負の相関関係がみられた．

体幹前後傾角度は，LP1 および HP3 のみ投擲記録との間に正の有意な相関関係がみられた（表 6-9）．また，投擲記録と DSP における体幹後傾角度変化量について検討すると，全ての局面で有意な関係はみられなかった（表 6-13）．その一方，投擲記録と DSP における体

Table 6-10 Correlation coefficient between throwing record, angular displacement of trunk front twist, trunk twist average angular velocity during Ron-LP.

		Average value	Correlation coefficient vs throwing record
Angular displacement of trunk front twist (deg)	Ron1-LP1	51.79 ± 21.54	0.286
	Ron2-LP2	49.59 ± 17.49	0.261
	Ron3-LP3	43.41 ± 17.23	0.148
	Ron4-LP4	70.49 ± 20.82	0.192
Trunk twist angular velocity (deg/s)	Ron1-LP1	176.19 ± 79.99	0.124
	Ron2-LP2	197.26 ± 109.86	0.173
	Ron3-LP3	228.57 ± 123.30	0.191
	Ron4-LP4	232.28 ± 120.51	0.444 *

\*: a significance level is set at a risk rate of 5% or less.

Table 6-11 Angular displacement of shoulder joint horizontal abduction (displacement of sh-habd) and average angular velocity of shoulder joint horizontal abduction (angular velocity of sh-habd) during LP-Roff.

		Average value	Correlation coefficient vs throwing record
Displacement of sh-habd (deg)	LP1-Roff1	26.10± 9.26	-0.324 *
	LP2-Roff2	23.49± 10.45	-0.220
	LP3-Roff3	23.38± 10.80	-0.204
	LP4-Rel	32.47± 11.74	0.056
Angular velocity of sh-habd (deg/s)	LP1-Roff1	229.99± 77.96	-0.011
	LP2-Roff2	241.68± 95.05	0.067
	LP3-Roff3	283.71± 136.47	-0.044
	LP4-Rel	444.83± 173.10	0.181

\* : a significance level is set at a risk rate of 5% or less.



Table 6-12 Correlation coefficient between throwing record, displacement of shoulder flexion/extension, shoulder flexion/extension max and min angular velocity during each turn.

			displacement (deg)	Correlation coefficient vs throwing record
Shoulder Flexion/extension (deg)	Extension	Turn1	47.73 ± 9.84	0.413 *
		Turn2	58.23 ± 7.28	0.241
		Turn3	64.21 ± 7.05	0.006
		Turn4	80.06 ± 7.86	-0.295
	Flexion	Turn1	46.53 ± 7.46	0.315 *
		Turn2	57.60 ± 7.29	0.122
		Turn3	66.41 ± 7.88	-0.012
		Turn4	60.36 ± 13.52	-0.124
Shoulder Flexion/extension angular velocity (deg/s)	Extension	min1	-251.25 ± 73.52	-0.578 *
		min2	-361.18 ± 107.25	-0.499 *
		min3	-430.20 ± 87.97	-0.505 *
		min4	-507.07 ± 91.10	-0.386 *
	Flexion	max1	196.35 ± 75.75	0.235
		max2	267.65 ± 77.80	0.110
		max3	302.06 ± 84.42	0.037
		max4	592.47 ± 74.82	0.349 *

\*a significance level is set at a risk rate of 5% or less.

Table 6-13 Correlation coefficient between throwing record, angular displacement of trunk back lean during DSP and trunk angular velocity of trunk back lean during Ron-LP.

			Average value	Correlation coefficient vs throwing record
Angular displacement of trunk back lean (deg)		DSP1	23.31 ± 7.08	0.070
		DSP2	25.26 ± 4.63	0.034
		DSP3	22.24 ± 4.64	0.031
		DSP4	26.64 ± 6.09	-0.097
Angular velocity of trunk back lean (deg/s)	Average angular velocity of trunk back lean	DSP1	59.09 ± 27.63	0.262
		DSP2	89.86 ± 23.29	0.448*
		DSP3	98.61 ± 22.04	0.409*
		DSP4	92.06 ± 25.45	0.055
	Max angular velocity	Ron1-LP1	180.99 ± 64.66	0.369*
		Ron2-LP2	204.29 ± 67.49	0.480*
		Ron3-LP3	217.11 ± 69.31	0.298*
		Ron4-LP4	235.06 ± 60.01	0.188
	Increment of angular velocity	Ron1-LP1	202.61 ± 85.77	0.212
		Ron2-LP2	226.81 ± 99.45	0.473*
		Ron3-LP3	257.37 ± 100.83	0.437*
		Ron4-LP4	243.64 ± 113.23	0.390*

\*: a significance level is set at a risk rate of 5% or less.

幹前後傾角速度平均値との間には、DSP2 および DSP3 において正の相関関係がみられた(表 6-13)。加えて、投擲記録と Ron-LP における体幹後傾角速度最大値との間には、Ron1-LP1, Ron2-LP2, Ron3-LP3 において正の相関関係がみられた(表 6-13)。さらに、投擲記録と Ron-LP における体幹後傾角速度増加量との間には、Ron2-LP2, Ron3-LP3, Ron4-LP4 において正の相関関係がみられた(表 6-13)。

体幹左右傾角度は、Ron2, HP3, Ron3, HP4, Ron4, LP4 とターン後半に投擲記録との間に正の相関関係、すなわち記録水準の高い競技者ほど体幹が左傾していたことがみられた(表 6-9)。また、投擲記録と DSP における体幹左右傾角度変化量との関係性について、体幹右傾角度変化量は DSP2 および DSP3、体幹左傾角度変化量は DSP4 で負の相関関係がみられた(表 6-14)。なお、投擲記録と DSP における体幹左右傾角速度最大値との間には有意な相関関係がみられなかった(表 6-14)。一方、投擲記録と DSP における体幹左右傾角速度最小値および体幹左右傾角速度平均値との関係性について、DSP2, DSP3, DSP4 において負の相関関係がみられた(表 6-14)。

### 6.3.7 ハンマーのワイヤーに作用する遠心力方向の力の作用線と身体重心との垂線距離

表 6-15 に、投擲記録と競技者の身長および LP におけるハンマーのワイヤーに作用する遠心力方向の力の作用線と身体重心との垂線距離 ( $r_{wire-bodyCG}$ ) との相関関係について示した。投擲記録と競技者の身長との間には正の相関関係がみられた。また、投擲記録と LP における  $r_{wire-bodyCG}$  には、全ての LP において正の相関関係がみられた。なお、投擲記録と LP における身長に対するハンマーのワイヤーに作用する遠心力方向の力の作用線と身体重心との垂線距離 ( $r_{wire-bodyCG\%}$ ) との間には、LP4 のみ負の相関関係がみられた。

Table 6-14 Correlation coefficient between throwing record, angular displacement of trunk right/left lean during DSP and trunk angular velocity of trunk right/left lean during DSP.

		Average value	Correlation coefficient vs throwing record	
Angular displacement of trunk right/left lean (deg)	trunk right lean	DSP1	-4.68 ± 4.06	-0.085
		DSP2	-8.16 ± 4.77	-0.318 *
		DSP3	-14.98 ± 5.55	-0.367 *
		DSP4	-17.23 ± 7.13	-0.165
	trunk left lean	DSP1	12.12 ± 6.51	0.182
		DSP2	5.26 ± 3.96	-0.127
		DSP3	2.79 ± 3.15	-0.197
		DSP4	5.20 ± 5.40	-0.371 *
Average angular velocity of trunk right/left lean (deg/s)	DSP1	14.44 ± 37.01	-0.043	
	DSP2	-21.99 ± 31.86	-0.295 *	
	DSP3	-71.81 ± 33.87	-0.364 *	
	DSP4	-90.28 ± 41.76	-0.419 *	
Max angular velocity of trunk right/left lean (deg/s)	DSP1	136.47 ± 50.62	0.153	
	DSP2	127.93 ± 69.24	0.262	
	DSP3	105.20 ± 76.68	-0.079	
	DSP4	109.45 ± 75.34	-0.292	
Min angular velocity of trunk right/left lean (deg/s)	DSP1	-127.00 ± 67.02	-0.162	
	DSP2	-121.08 ± 48.72	-0.487 *	
	DSP3	-148.78 ± 41.88	-0.504 *	
	DSP4	-156.74 ± 42.92	-0.314 *	

\*: a significance level is set at a risk rate of 5% or less.

Table 6-15 Correlation coefficient between throwing record, body height and perpendicular distance between the line of force acting in the direction of centrifugal force on the hammer wire and the body center of gravity ( $r_{\text{wire-bodyCG}}$ ) at LP.

	Correlation coefficient vs throwing record	
Body height		0.781 *
$r_{\text{wire-bodyCG}}$ at	LP1	0.440 *
	LP2	0.418 *
	LP3	0.449 *
	LP4	0.492 *
$r_{\text{wire-bodyCG}\%}$ at	LP1	-0.114
	LP2	-0.036
	LP3	-0.119
	LP4	-0.289 *

\*: a significance level is set at a risk rate of 5% or less.

## 6.4 考察

### 6.4.1 DSPにおける記録水準の高い競技者のハンマーヘッド加速方略の特徴について

本章では、記録水準による DSP のハンマーヘッド加速動作の違いについて検討を行った。その結果、記録水準の高い競技者は、Ron 時のハンマーヘッド位置がより投擲方向に向いた状態からハンマーヘッド加速動作を行っていたこと、Ron—LP のハンマーヘッド移動距離およびハンマーヘッドスピード増加量が大きいという特徴が明らかになった。

ハンマーの加速を促す条件として、室伏 (1994) はハンマーヘッドにできるだけ長い距離全身の力を作用させていくこと、ハンマー頭部にできるだけ長い時間、全身の力を作用させていくことがパフォーマンス向上にとって大事であることを述べている。またそのためには、右足接地のタイミングを早くすることが必要となると考えられている。そこで、投擲記録と Ron 時のハンマーヘッド位置との関係性について検討を行った。各ターンの Ron では投擲記録とハンマーの方位角との間に有意な負の相関関係がみられた (表 6-2)。このことから、DSP 開始地点である Ron において、記録水準の高い競技者ほど投擲方向にハンマーがある状態で右足を接地していたといえる。さらに、DSP のハンマーの移動距離、すなわちハンマー方位角変化量について検討を行った。その結果、本章においては、投擲記録と DSP 中のハンマー方位角変化量との間には相関関係がみられなかった (表 6-3)。すなわち、記録水準の高い競技者は指導書などで指摘されているように、DSP のハンマーヘッド移動距離を長くし、ハンマーヘッドスピードを増加させてはいなかった。記録水準の高い競技者は右足接地のタイミングを早くしていたにも関わらず、DSP 中のハンマー方位角変化量との間には相関関係がみられなかったが、各ターンにおける DSP の終了時点である Roff に着目すると、記録水準の高い競技者ほど、Ron 時におけるハンマーヘッド方位角の値が小さかった (表 6-2)。すなわち、記録水準の高い競技者ほど投擲方向へハンマーがある状態で右足を接地していたが、早いタイミングで右足離地を行っていたため、投擲記録と DSP におけるハンマー方位角変化量との相関関係がみられなかったと考えられる。

さらに、記録水準の高い競技者が早いタイミングで右足離地を行っていた理由として、Ron-LP における身体の移動が関係したものと推察される。第4章においてハンマーヘッドスピードに影響するハンドル先行距離は主に Ron-LP で増加していたこと、また第5章において身体の並進移動によって獲得されていたことを明らかにした。本章において Ron-LP の身体の並進移動について着目すると、水平面上における Ron-LP の両肩関節中心スピードの最大値、水平面上における Ron-LP の両肩関節中心スピードの増加量との間に統計的に有意な相関関係がみられた(表 6-7)。このことから、記録水準の高い競技者ほど Ron-LP において身体の後方移動を素早く行っていたといえる。DSP はハンマーヘッドスピードが増加する、つまりハンマーヘッドに加わる遠心力が大きくなる局面であるため、競技者は増大する遠心力に逆らってハンマーを後方(背中側)へ引き付ける必要性が生じる。記録水準の高い競技者ほど、ハンマーヘッドに加わる遠心力は大きくなる(坂東ほか, 2006)。また、ハンマーヘッドスピードを増加させるためには、ある瞬間に競技者が瞬間回転中心方向へハンドルを牽引することでハンドル先行距離が増加させる必要性がある(第4章)。これらのことから、記録水準の高い競技者ほど、Ron-LP においてハンマーヘッドスピードを獲得するため、また増大する遠心力に抗するために身体の後方への移動速度を大きくしていたことが、右足離地のタイミングを早めることに繋がったと推察される。この局面に着目し、投擲記録と Ron-LP におけるハンマー方位角変化量との関係性について検討すると、Ron1-LP1 および Ron2-LP2 において相関関係がみられた(表 6-3)。加えて、投擲記録と Ron-LP におけるハンマーヘッドスピード増加量との相関関係について検討すると、全ての Ron-LP において正の相関関係がみられた(表 6-8)。これらのことから、記録水準の高い競技者ほど Ron-LP のハンマーヘッド移動量が大きく、この局面における身体の後方への移動がハンマーヘッドスピード増加量を大きくすることに繋がったと考えられる。なお、投擲記録と Ron-LP の所要時間との相関関係について検討すると、全ての局面で有意な相関関係はみられなかった(表 6-6)。また、右足接地時におけるハンマー方位角と Ron-LP

のハンマー方位角変化量との関係性について検討すると、右足接地時のハンマーヘッド方位角が小さい競技者ほど、Ron—LP におけるハンマー方位角変化量が大きかった（表 6-4）ことから、右足接地のタイミングを早くし、Ron 時のハンマーヘッド位置がより投擲方向に向いた状態からハンマーヘッドを加速させることがハンマーヘッドスピード増加に影響している可能性が考えられる。

#### 6.4.2 記録水準の高い競技者のターン動作中の水平面上における身体の回転動作の特徴

本章の結果から、記録水準の高い競技者は、水平面上における Ron—LP における身体の回転量および回転スピードが大きいことが明らかとなった。

水平面上における体幹の回転動作を示す肩の回転角度および腰の回転角度に着目すると、ハンマー方位角と同様に、記録水準の高い競技者ほど Ron において小さな値を示した（表 6-2）。すなわち、記録水準の高い競技者（図 6-2b）は、Ron 時に身体の前面が投擲方向へより向いた姿勢で、ハンマーヘッド加速動作を始めていた競技者が多かったといえよう（図 6-2）。次に、ターン動作中の身体の回転動作範囲を示す肩と腰の回転角度変化量について相関関係を算出した。その結果、DSP において投擲記録と肩の回転角度変化量との間には DSP1 および DSP2 のみ有意な正の相関関係がみられた（表 6-3）。一方、腰の回転角度変化量との間に有意な相関関係はみられなかった。さらに、投擲記録と DSP 前半にあたる Ron—LP の肩の回転角度変化量について検討すると、全ての局面で正の相関関係がみられた（表 6-3）。なお、Ron—LP のハンマー方位角および腰の回転角度変化量については、Ron1—LP1 および Ron2—LP2 で正の相関関係がみられた（表 6-3）。加えて、Ron 時のハンマー方位角と Ron—LP における肩および腰の回転角度変化量との関係性について、全てのターンにおいて有意な負の相関関係がみられた（表 6-4）。このことは、Ron 時にハンマーがより投擲方向へ向いている選手ほど、Ron—LP のハンマー方位角、肩および腰の回転角度変化量が大きくなっていくことを示している。これらのことから、記録水準の高い競技者ほど、投擲方



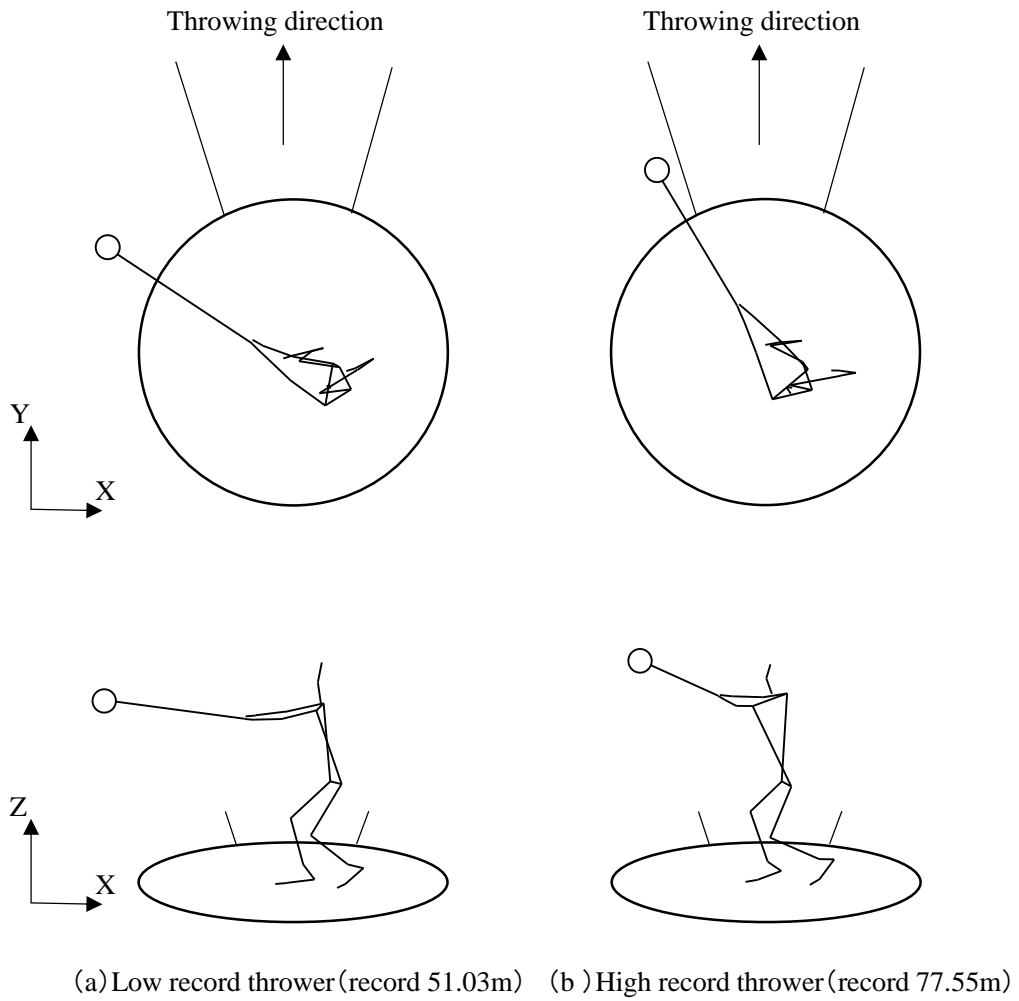


Figure 6-2 Typical motion at Ron2.

向へハンマー、肩、腰（体幹）を Ron 時に向けること、いわゆる半身の姿勢をとり、Ron—LP 中の身体の回転量を獲得していたと考えられる。

さらに、身体の回転スピードを表すパラメータとして DSP および Ron—LP における肩および腰の回転角速度の平均値を算出した（表 6-5）。その結果、記録水準の高い競技者ほど DSP および Ron—LP における身体の回転スピードが大きかったことが明らかになった（表 6-5）。また、投擲記録と DSP および Ron—LP 局面の所用時間に着目すると、広瀬ほか(2016c)の報告と同様に、DSP は全ての局面で負の相関関係がみられた（表 6-6）。これらのことから、記録水準の高い競技者ほど、DSP において身体の回転運動を短時間に行うことで身体の回転スピードを獲得していたことが明らかになった。一方、投擲記録と Ron—LP の所要時間との間には、有意な相関関係はみられなかった（表 6-6）ことから、記録水準の高い競技者は Ron—LP における身体の回転スピードが大きいが、その理由として DSP 前半（Ron—LP）における身体（肩および腰）の回転量を大きくしていたことが挙げられる。

#### 6.4.3 記録水準の高い競技者のハンマーヘッド加速に関する上肢・体幹の動きの特徴

本章の結果から、記録水準の高い競技者は、Ron—LP における肩関節伸展速度が大きかったこと、リリース局面（DSP4）でハンマーヘッドスピードの獲得のために体幹筋群の伸長—短縮サイクル（Stretch-Shortening Cycle, 以下 SSC）をより利用し、ハンマーヘッドを加速させていたことが明らかとなった。

第 5 章においては、HP—LP における肩関節伸展動作がハンドル先行距離獲得に貢献していたことを報告した。このことから、本章では投擲記録と各ターンにおける肩関節伸展角度変化量および肩関節伸展屈曲角速度の最小値との関係性について算出した。その結果、記録水準の高い競技者ほど肩関節伸展屈曲角速度最小値が小さい値を示した。これは、記録水準の高い競技者ほど、肩関節伸展速度が大きかったことを示している。一方、Turn2, Turn3, Turn4 における肩関節伸展角度変化量との間には相関関係がみられなかった。すなわち、ハ

ハンマーヘッド加速時における肩関節伸展動作範囲は差がみられなかったが、記録水準の高い競技者はその動作速度が大きかったといえる。これらのことから、ハンマーヘッドスピードを獲得するために、記録水準の高い競技者は Ron—LP において、短時間に肩関節伸展動作を行うことのできる能力があったと考えられる。

ハンマーヘッド絶対速度の増加のために、体幹の捻り戻しと左腕の水平伸展（左肩関節水平外転）動作は重要な動作であるとされている（藤井ほか，2010）。体幹捻転角度は、各ターンにおける SSP において捻転動作が行われ、右足接地地点（Ron）で最小値（最大捻転位）を示し、Ron—LP で体幹の捻り戻し動作が行われていた（図 6-1）。田内・藤井（2009）は、ターン動作中の世界一流選手の体幹の捻り角（本研究では体幹捻転角度に相当）について本章と同様の報告を行っており、SSP から DSP の移行にかけて、体幹の筋群は SSP で伸長され、DSP で SSC を引き起こし、より大きな力を効果的に発揮していたと推察している。本章では、記録水準の高い競技者ほど、Ron1、Ron2 時における体幹捻転角度は小さい値、すなわちより捻転位であった（表 6-9）。また、Ron—LP は体幹の捻りを戻すことによってハンマーを加速させていく局面でもある（図 6-1）。このことから、投擲記録と Ron—LP における体幹の捻り戻し角度変化量および体幹捻り戻し角速度平均値との相関関係について算出した（表 6-10）。体幹の捻り戻し角度変化量は全ての局面において、体幹の捻り戻し角速度平均値はターン動作中の Ron—LP（Ron1—LP1、Ron2—LP2、Ron3—LP3）との間には有意な相関関係がみられなかった。一方、ハンマーヘッドスピードが最も増加するリリース局面の準備局面である SSP4 の HP4 およびリリース局面開始時点である Ron4 において、投擲記録が高い競技者ほどより体幹が捻転位であった（表 6-9）。このことは、記録水準の高い競技者ほど、SSP4 の早いタイミングで体幹の捻りを作りだし、リリース局面におけるハンマーヘッド加速にむけての準備ができていたことを示すものと考えられる。さらに、投擲記録と Ron4—LP における体幹の捻り戻し角速度平均値との間には、正の相関関係がみられた（表 6-10）。これらのことから、記録水準の高い競技者は、リリース局面（DSP4）でハンマ

ーヘッドスピードの獲得のために体幹筋群の SSC をより利用し、ハンマーヘッドを加速させていたと考えられる。

肩関節水平内外転角度（対象者の平均値）について着目すると、各ターンの DSP 後半（LP-Roff）で、大きく肩関節水平外転動作を行っていた（図 6-1）。特に、リリース局面においては、ターン動作中と異なり肩関節水平外転動作が大きく、同時に体幹の捻り戻し動作が強調されていた（図 6-1）。これらのことから、投擲記録と各ターンの LP-Roff における肩関節水平外転の変化量および肩関節水平外転角速度平均値との関係性について算出した（表 6-11）。投擲記録と各ターンの LP-Roff（Turn4 のみ LP-Rel）における肩関節水平外転角度の変化量との関係は、Turn1 を除いて有意な相関関係はみられなかった。また、投擲記録と各ターンの LP-Roff（Turn4 のみ LP-Rel）における肩関節水平外転角速度平均値との関係も、全ての局面において有意な相関関係がみられなかった。このことから、ハンマーヘッドスピード獲得に対して肩関節水平外転動作範囲および動作速度については、記録水準による動きの違いはみられなかったといえる。投擲記録と LP-Roff の肩関節水平外転動作との間に相関関係がみられなかった理由として、記録水準の高い競技者ほど、LP-Roff において、身体（肩）の回転動作を利用したハンマーヘッド加速動作を行っていたことが挙げられる。水平面上におけるハンマーヘッド加速動作（上肢・体幹）は、主に身体（肩）の回転と腕の水平外転動作の動きによってハンドルを回転方向へ動かすことが必要となる。本章においては、投擲記録と各ターンにおける LP-Roff の肩関節水平外転角速度平均値との間には有意な相関関係はみられなかったが、記録水準の高い競技者ほど、DSP 中における肩の回転角速度平均値が大きかった（表 6-5 および表 6-11）。これらのことから、記録水準の高い競技者は各ターンの LP-Roff において、肩関節水平外転動作よりも、身体の回転を利用したハンマーヘッド加速動作を行っていたと推察される。

#### 6.4.4 記録水準の高い競技者のターン動作中の倒れ込み動作について

身体の倒れ込み動作は、ハンマーヘッド加速およびターン中の大きな遠心力に抗するためにも重要な動作となる。そこで本章では DSP における体幹前後傾角度および体幹左右傾角度について検討を行った。体幹前後傾角度について、各ターンの DSP では体幹が後傾し、ターン動作が進むにつれてより、最大後傾角が大きくなっていた (図 6-1)。また、各イベントにおける投擲記録と体幹前後傾角度との関係性について検討すると、体幹前後傾角度は LP1 および HP3 のみ記録水準の高い競技者ほど後傾していた (表 6-9)。次に、DSP 中における体幹後傾動作の動作範囲に着目し、投擲記録と DSP の体幹後傾角度変化量との関係性について検討すると、全ての局面で相関関係はみられなかった (表 6-13)。また、投擲記録と各ターンにおける DSP の体幹前後傾角速度平均値との関係性について検討すると、DSP2 および DSP3 において正の相関関係がみられた (表 6-13)。これらのことから、DSP の体幹後傾動作範囲には差はみられなかったものの、記録水準の高い競技者ほど、DSP において素早く後方へ体幹を倒していたことが明らかになった。さらに、投擲記録と各ターンの体幹後傾角速度最大値および Ron-LP の増加量との関係性について検討すると、記録水準の高い競技者ほど体幹後傾角速度最大値が大きく、Ron-LP の増加量が大きかった (表 6-13)。すなわち、記録水準の高い競技者ほど DSP の体幹後傾角速度が大きく、特に Ron-LP における体幹後傾角速度を大きくしていたといえる。このことは DSP におけるハンマーヘッドスピード増大に対してハンドルを牽引するために生じたものと考えられる。また、記録水準の高い競技者ほど、Ron-LP の両肩関節中心スピードの最大値および増加量が大きかったこと (表 6-7) は、Ron-LP における体幹後傾動作も影響していたものと考えられる。

体幹左右傾角度について、体幹前後傾角度と同様にターンが進むにつれて最大左傾角度が大きくなった (図 6-1)。また、ハンマーヘッド加速局面である DSP に着目すると、DSP1 における体幹は左傾方向へ、DSP2、DSP3 および DSP4 では右傾方向へ変化していた (図 6-1)。そこで、投擲記録と DSP 中における体幹右傾角度変化量および体幹左傾角度変化量との関係性を検討すると、体幹右傾角度変化量は DSP2 および DSP3、体幹左傾角度変化量は

DSP4 で負の相関関係がみられた (表 6-14)。また、投擲記録と DSP の体幹左右傾角速度最小値および体幹左右傾角速度平均値に着目すると、DSP2, DSP3 および DSP4 において、負の相関関係がみられた (表 6-14)。金子 (1988) は、ターン動作中のよい動きとして、左足荷重で次のターンへ入りやすくすることを挙げている。DSP において体幹の右傾動作が過剰になってしまうと右足荷重となる。このことから、ハンマー投競技者にとって、DSP 中の体幹の右傾動作は抑えるべきであると考えられるが、記録水準の高い競技者は遠心力の影響によって、DSP に体幹が右傾しやすくなっていたと考えられる。なお、体幹左右傾角度は、Ron2, HP3, Ron3, HP4, Ron4, LP4 とターン後半に正の相関関係がみられ、記録水準の高い競技者ほどより体幹を左に傾けていた (表 4-9)。これらのことは、ハンマーヘッドスピードの増加によって大きくなった遠心力の影響であると考えられる。特に最もハンマーの遠心力が高くなる LP4 では、競技者の身体の右下にハンマーヘッドは位置している。このことから、記録水準の高い競技者ほど体幹の後傾だけでなく左傾位をとることで、ハンマーの遠心力に抗するために牽引する姿勢をとっていたと考えられる。

肩関節伸展屈曲角度に着目すると、HP で最大屈曲位、LP で最大伸展位を示し、この動きはハンマーヘッドの上下動と同調していた (図 6-1)。なお、ターンごとに肩関節伸展屈曲角度最小値 (最大伸展位) は小さくなっていた。このことについて、競技者は、遠心力が大きくなるにつれて、ハンマーのワイヤーに加わる遠心力による身体重心回りのモーメントが大きくなるため、そのモーメントに負けないように身体を後方に倒して、その遠心力に抗する必要がある (図 6-3)。モーメントを小さくするためには、ハンマーのワイヤーに作用する遠心力方向の力の作用線と身体重心との垂線距離 ( $r_{wire-bodyCG}$ ) を小さくする必要がある。そのためには、ハンマー傾斜角度を小さくすること、また体幹を傾けることや肩関節を伸展させ、 $r_{wire-bodyCG}$  を小さくすることが必要となると考えられる。そこで、投擲記録とハンマー傾斜角度および肩関節伸展屈曲角度との相関関係について着目すると、ハンマー傾斜角度について、LP2, LP3, LP4 において記録水準の高い競技者ほど小さかった (表

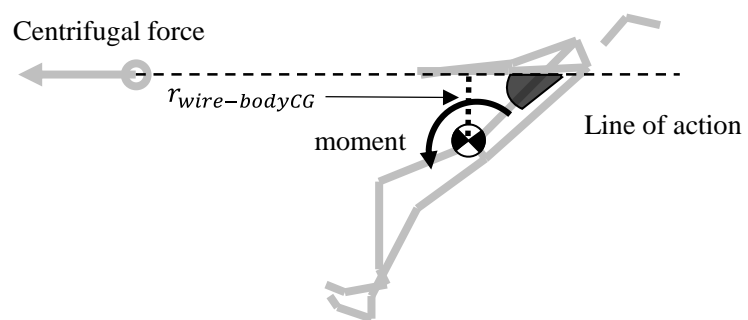


Figure 6-3 Moment of centrifugal force around CG of body.

6-2). また、記録水準の高い競技者ほど、LP1, LP2, LP3 において肩関節がより伸展位であった (表 6-9). これらのことから、記録水準の高い競技者ほど LP におけるハンマー傾斜角度を小さくすること、肩関節を伸展させることで  $r_{wire-bodyCG}$  を小さくしようとしていたと考えられる. そこで、投擲記録と各ターンの LP における  $r_{wire-bodyCG}$  との関係について検討を行った結果、投擲記録と有意な正の相関関係がみられた (表 6-15). 本章の対象者は、記録水準の高い競技者ほど身長が大きかった (表 6-15). 記録水準の高い競技者の LP におけるハンマー傾斜角度が小さく、肩関節伸展位であったにも関わらず、記録水準の高い競技者ほど  $r_{wire-bodyCG}$  が大きかったことは、身長が大きいたことが影響している可能性がある. これらのことから、投擲記録と競技者の身長に対するハンマーのワイヤーに作用する遠心力方向の力の作用線と身体重心との垂線距離 ( $r_{wire-bodyCG\%}$ ) との相関関係について再検討を行った. その結果、投擲記録と正の相関関係を示した LP における  $r_{wire-bodyCG}$  と比較して、LP1, LP2, LP3 で有意な相関関係がみられず、LP4 のみ負の相関関係がみられた (表 6-15).

この結果から、 $r_{wire-bodyCG}$  は身長による影響が大きく、記録水準の違いによる投擲技術の差でなかったものと考えられる. なお、 $r_{wire-bodyCG}$  の大きさに影響すると考えられる各ターンの LP におけるハンマーの傾斜角度および肩関節伸展屈曲角度について、身長を抑制変数とした偏相関係数を算出したところ、全ての項目について有意な相関関係はみられなかった. したがって、これらの変数は身長の高さに依存するものと考えられる. これらのことから、高身長の選手ほど LP においてより肩関節伸展位にすることで、ハンマーのワイヤーに作用する遠心力方向の力の作用線と身体重心との垂線距離を短くし、競技者にとって身体の前回りモーメントを小さくし、大きな遠心力に抗する必要があったと考えられる.

本章の結果から、記録水準の高い競技者ほど、Ron-LP における身体の回転、肩関節伸展速度、身体の並進運動、体幹後傾動作および体幹捻り戻し角速度が大きいといった特徴があることが示唆された (表 6-3, 表 6-5, 表 6-7, 表 6-10 および表 6-12). これらの変数がハンマーヘッドスピード増加に関係していることが推察されるが、本章の研究手法ではこれ



以上言及できない。第5章において、ハンマーヘッドスピード増加に影響するハンドル先行距離は主に HP—LP で増加していたこと、さらにハンドル先行距離は、身体の並進移動、身体の長軸回転、肩関節の伸展動作および体幹後傾動作によって獲得されていた。これらの動きはほぼ同様であることから、記録水準によってハンマーヘッドスピード増加のためのハンドル先行距離獲得のための動作技術が異なる可能性も考えられる。今後、検討が必要であると考えられる。

## 6.5 結言

本章の目的は、異なる記録水準のハンマー投競技者のターン動作中のハンマーヘッド加速動作について検討し、記録水準の高い競技者の加速動作の特徴を明らかにすることとした。主な結果は以下の通りである。

- (1) 記録水準の高い競技者ほど、Ron 時のハンマーヘッド位置がより投擲方向に向いた状態からハンマーヘッド加速動作を行っていたこと、また、Ron—LP におけるハンマーヘッド移動距離およびハンマーヘッド速度増加量が大きかった。
- (2) 記録水準の高い競技者ほど、水平面上における Ron—LP における身体の回転量および回転スピードが大きかった。
- (3) 記録水準の高い競技者ほど、Ron—LP における水平面上の左右肩関節中心スピードと体幹後傾速度の最大値が大きかった。
- (4) 記録水準の高い競技者ほど、Ron—LP における肩関節伸展速度が高いこと、リリース局面 (DSP4) でハンマーヘッドスピードの獲得のために体幹筋群の SSC をより利用し、ハンマーヘッドを加速させていた
- (5) 記録水準の高い競技者ほど、DSP における体幹右傾角度変化量および体幹右傾角速度が大きかった。

これらのことから、指導書などで指摘されている DSP の前半局面である Ron—LP におい

て、記録水準の高い競技者ほど右足接地のタイミングが早いこと、ハンマーヘッド移動距離が長いことおよびハンマーヘッドスピード増加量が大きいという特徴がみられた。また、Ron—LP における身体の並進運動、体幹の回転運動、肩関節伸展動作および体幹の倒れ込み動作に特徴があることが明らかになった。高速下のターン動作において、これらの動作の違いがハンマーヘッドスピード獲得技術に影響しているかどうかについて、本章の研究手法ではこれ以上言及できない。今後、記録水準の異なる競技者を対象に、ハンドル先行距離獲得における身体の動きの違いについて検討することで、高速下でのハンマーヘッドスピードを増加させるために必要となる技術に検討することができると考えられる。

## 第7章 記録水準の異なる競技者の投擲記録とターン動作中の下肢の動きとの関係性

### 7.1 緒言

ハンマーヘッドスピードの増加は、主にターン動作中の DSP に生じる (Dapena, 1984, 池上ほか, 1994). 第6章においては、記録水準の高い競技者ほど Ron—LP のハンマーヘッド加速動作に特徴のあること、投擲記録の高い競技者ほど DSP および Ron—LP における水平面上の身体 (肩および腰) の回転スピードが大きかったことが明らかとなった. これらのことから、ハンマー投の競技記録向上においては、高速下でのターン動作を遂行させるための身体の動きや身体の回転スピードを大きくするための技術を獲得する必要性があるといえよう. また、身体の回転スピードを獲得するためには、左右の下肢で地面反力を獲得し、身体を回転させる力のモーメントを獲得する必要性がある. また、身体の回転スピードが大きい記録水準の高い競技者は、ターン動作中により短い時間で身体を回転させていかなければならない. このことから、高速下でのターン動作を遂行するための下肢の動きについて検討し、競技者のパフォーマンス向上のための知見を得ることは必要不可欠であると考えられる. しかしながら、2.4 で述べたとおりターン動作における下肢の動きに着目した研究は少ない. また、ハンマーヘッド加速局面における下肢の動作について詳細に検討することで、指導書でも未だ指摘されていないハンマーヘッド加速に有効な下肢の動作技術を明らかにすることができる可能性がある.

さらに、第6章において、記録水準の高い競技者は右足接地のタイミングが早いことが明らかになった. 指導書では、右足接地のタイミングを早くするために、SSP で左膝関節を素早く屈曲し、脚の回転を高めることで SSP の所要時間を短くすることができるといわれている (金子, 1988). しかしながら、バイオメカニクス的研究において SSP の動作に着目した研究は、世界一流選手の特徴を明らかにしたもの (Otto, 1991) のみであり、横断的な研究において右足接地のタイミングを早くするための動作について検討した研究は見当たらず

ない。

本章では、記録水準の異なる競技者を対象に、投擲記録とターン動作中の動作技術との関係性について検討することで、競技者が高速下でターン動作を行うための動作技術を明らかにすることを目的とした。

## 7.2 方法

データ収集方法およびデータ処理法については第3章で述べたとおりである。

## 7.3 結果

### 7.3.1 ターン動作中の右下肢のキネマティクス

図7-1に、ターン動作中の右下肢関節角度を示した。右股関節伸展屈曲角度は、各ターンの **Roff-HP** で値が増加（屈曲）し、**HP-Roff** で値が減少（伸展）していた（図7-1a）。右股関節内外転角度は、各ターンの **SSP** で値が増加（外転）し、**DSP** で値が減少（内転）していた（図7-1b）。右膝関節伸展屈曲角度は、**SSP** で増加（伸展）し、**DSP4** を除く **DSP** で減少（屈曲）していた（図7-1c）。右足関節底背屈角度は、各ターンの **DSP** 後半 (**LP-Roff**) において値が増加（底屈）していた（図7-1d）。

表7-1に、投擲記録と各動作イベントにおける右下肢のキネマティクスとの相関関係を示した。右股関節伸展屈曲角度は、**LP1** のみ投擲記録と有意な負の相関関係がみられた。右股関節内外転角度は **Roff2**, **Roff3**, **Roff4**, **LP4**, **Rel** において投擲記録と有意な負の相関関係がみられた。右膝関節伸展屈曲角度は、**Ron2**, **Ron4** および **LP4** で投擲記録と有意な負の相関関係がみられた。右足関節底背屈角度は、**Ron1**, **Roff2**, **Roff3** において投擲記録と有意な負の相関関係がみられた。また、**LP2**, **LP3** および **Ron4** においては投擲記録と有意な正の相関関係がみられた。

表7-2に、投擲記録と **DSP** における右股関節伸展角度変化量、右股関節内転角度変化量、

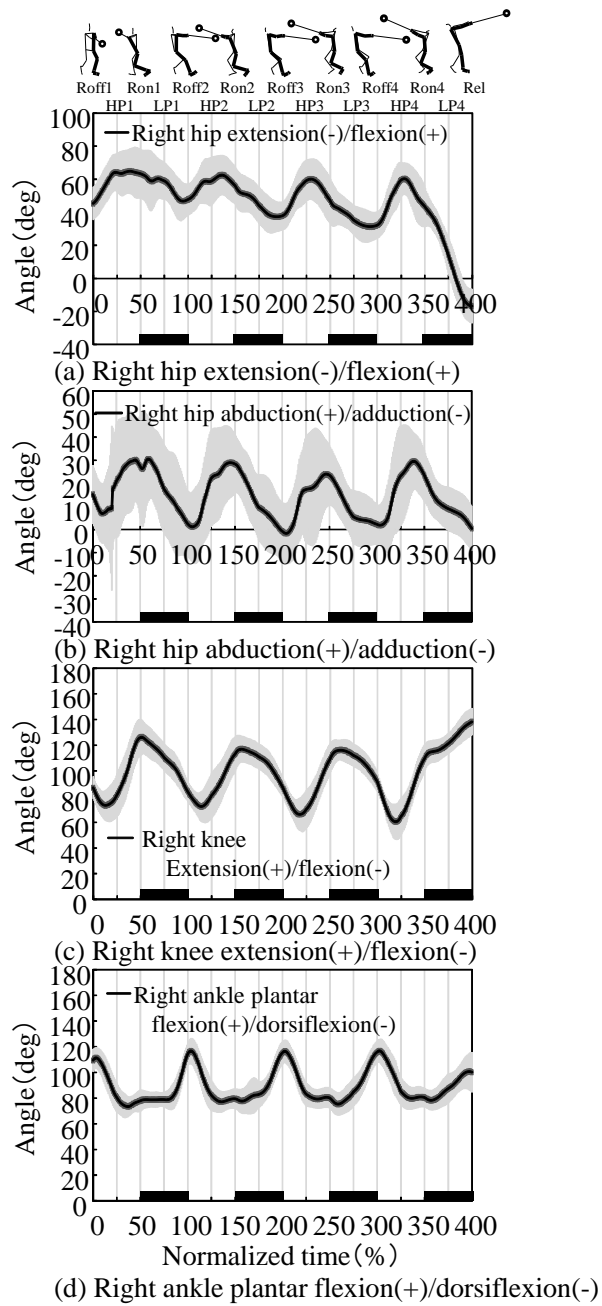
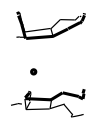







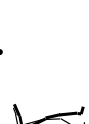









Figure 7-1 Angle of right leg joints during turn phase.

Table 7- 1 Correlation coefficient between record and right leg joints kinematics parameter at each event.

																	
Extension/Flexion angle of Right hip	0.064	0.029	-0.224	-0.419*	-0.250	0.208	-0.175	-0.222	0.040	0.046	-0.271	-0.126	0.120	-0.073	-0.121	0.041	0.192
Abduction/Adduction angle of Right hip	-0.132	-0.008	0.010	0.019	-0.334*	0.247	0.100	-0.203	-0.354*	0.140	-0.168	-0.265	-0.426*	0.148	0.006	-0.305*	-0.299*
Extension/flexion angle of Right knee	0.215	0.189	-0.068	-0.090	-0.069	-0.030	-0.414*	-0.290	-0.114	-0.116	-0.265	-0.232	0.024	-0.050	-0.307*	-0.301*	-0.169
Extension/flexion angle of Right ankle	-0.279	-0.131	-0.316*	0.202	-0.302*	0.098	0.109	0.421*	-0.457*	0.093	0.283	0.350*	-0.288	0.055	0.313*	0.268	-0.157

\*a significance level is set at a risk rate of 5% or less.

Table 7-2 Correlation coefficient between record and angular displacement of right leg joint during DSP.

		Average value (deg)	Correlation coefficient Vs record
Displacement of right hip joint extension	DSP1	15.64+ 17.10	-0.180
	DSP2	18.10± 12.67	-0.183
	DSP3	18.10± 14.72	-0.321 *
	DSP4	60.44± 15.08	-0.232
Displacement of right hip joint adduction	DSP1	38.08+ 19.06	0.261
	DSP2	33.93± 15.93	0.312 *
	DSP3	24.27± 11.28	0.010
	DSP4	25.34± 11.40	0.143
Displacement of right knee joint flexion	DSP1	-42.26+ 12.62	-0.034
	DSP2	-25.61± 14.89	-0.320 *
	DSP3	-17.05± 13.70	-0.248
	DSP4	28.70± 13.11	-0.121
Displacement of Right ankle joint plantar flexion	DSP1	36.24+ 9.87	-0.011
	DSP2	35.65± 9.82	-0.505 *
	DSP3	35.59± 11.61	-0.410 *
	DSP4	19.65± 15.90	-0.298 *

\* : a significance level is set at a risk rate of 5% or less.

右膝関節屈曲角度変化量および右足関節底屈角度変化量との相関関係を示した。その結果、投擲記録と DSP における右足関節底屈角度変化量との間に DSP2, DSP3, DSP4 において負の相関関係がみられた。

表 7-3 に、DSP における腰回転角速度平均値と右膝関節屈曲角度変化量との相関関係を示した。DSP1, DSP2 および DSP3 において負の相関関係がみられた。

表 7-4 に、DSP における腰回転角速度増加量と右股関節内転角度変化量との相関関係を示した。DSP1 および DSP2 において正の相関関係がみられた。

### 7.3.2 ターン動作中の左下肢のキネマティクス

図 7-2 に、ターン動作中の左下肢関節角度を示した。左股関節伸展屈曲角度は、各ターンにおいて LP-HP で減少（伸展）、HP-LP で増加（屈曲）していた（図 7-2a）。左股関節内外転角度は、ターン動作中 HP-LP で値が増加（外転）し、LP-HP で値が減少（内転）していた（図 7-2b）。左膝関節伸展屈曲角度は、各ターンの SSP で減少（屈曲）し、DSP で増加（伸展）していた（図 7-2c）。左足関節底背屈角度は、Turn1 および DSP4 を除いてほぼ一定の値を示していた（図 7-2d）。

図 7-3 に、ターン動作中の左大腿前後傾角度および左下腿前後傾角度を示した。左大腿前後傾角度（図 7-3a）および左下腿前後傾角度（図 7-3b）は、SSP で増加（前傾）し、DSP で減少（後傾）していた。

表 7-5 に、投擲記録と各イベントにおける左下肢のキネマティクスとの相関関係を示した。投擲記録と左股関節伸展屈曲角度との間には、HP1, Ron1, LP1, Ron2, LP2, Roff3 とターン前半に有意な負の相関関係がみられた。左股関節内外転角度は、Rel のみ投擲記録と正の相関関係がみられた。投擲記録と左膝関節伸展屈曲角度との間には、Ron1 で正の相関関係、HP2 および HP3 で負の相関関係がみられた。投擲記録と左足関節底背屈角度との間には、Rel のみ負の相関関係がみられた。投擲記録と左大腿前後傾角度との間には、HP1,



Table 7-3 Correlation coefficient  
between hip rotation angular  
velocity during DSP and  
angular displacement of right  
knee joint flexion during DSP.

Correlation coefficient	
DSP1	-0.355 *
DSP2	-0.533 *
DSP3	-0.544 *
DSP4	-0.248

\*: a significance level is set at a  
risk rate of 5% or less.

Table 7-4 Correlation coefficient  
between increase of hip rotation  
velocity and angular  
displacement of right hip  
adduction during DSP.

Correlation coefficient	
DSP1	0.421 *
DSP2	0.298 *
DSP3	0.287
DSP4	0.011

\*: a significance level is set at a  
risk rate of 5% or less.

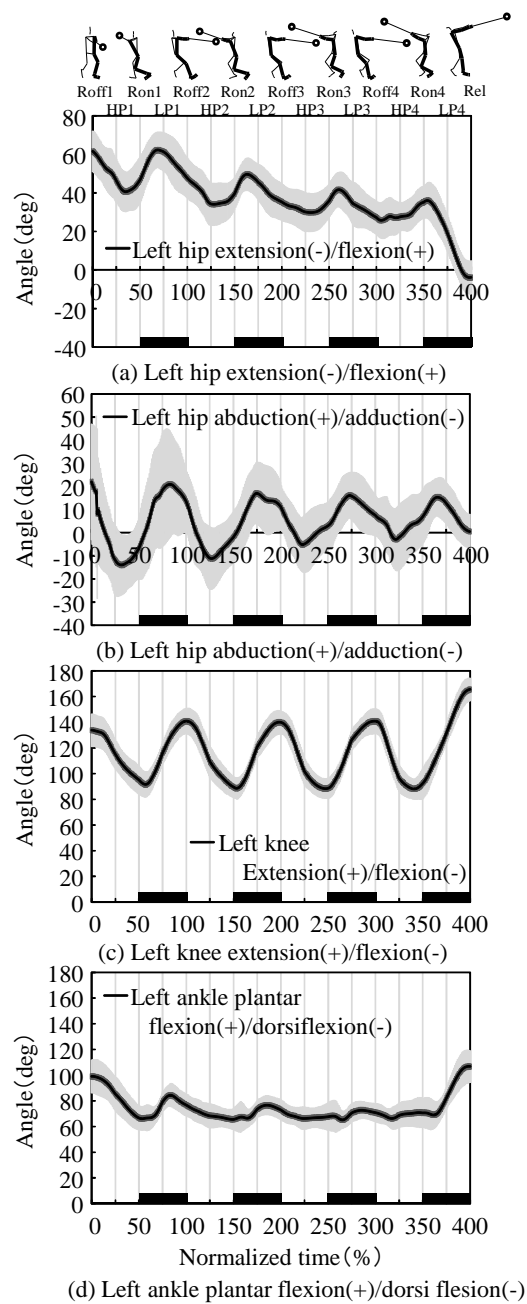
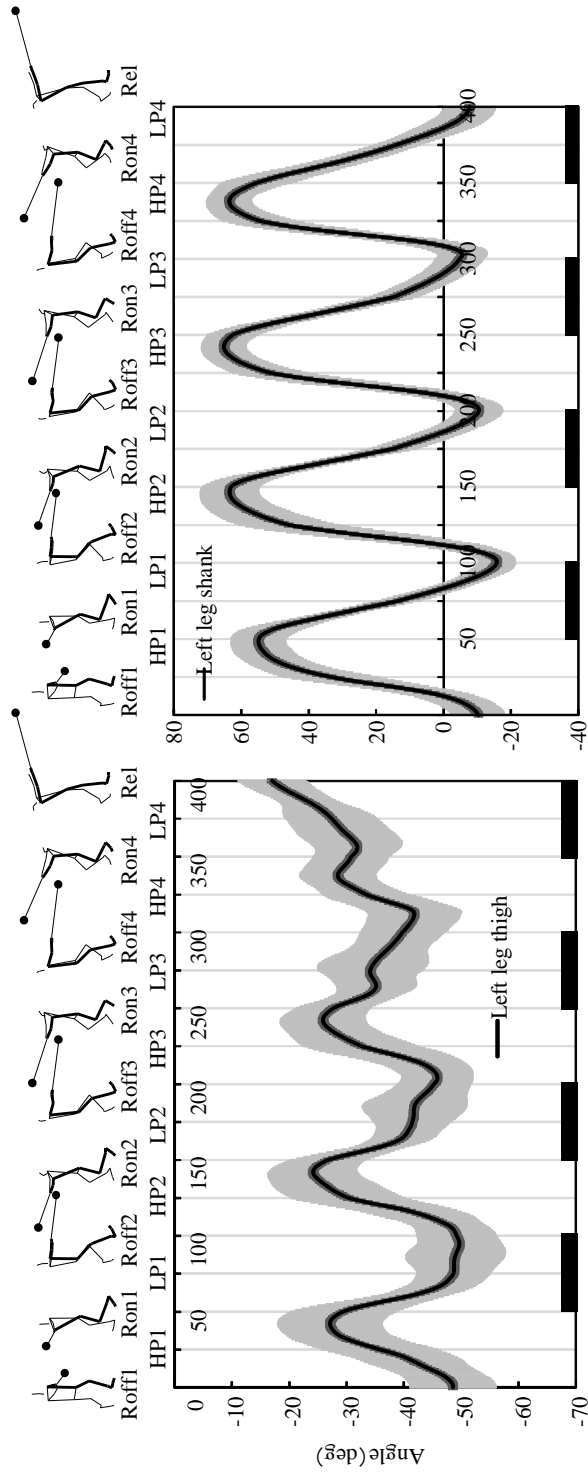















Figure 7-2 Angle of left leg joints during turn phase.



Normalized time(%)  
 (a) Left thigh angle  
 Normalized time(%)  
 (b) Left shank angle

Figure 7-3 Left thigh angle and left shank angle during turn phase.

Table 7-5 Correlation coefficient between record and left leg joints kinematics parameter at each event.

																	
	Roff1	HP1	Ron1	LP1	Roff2	HP2	Ron2	LP2	Roff3	HP3	Ron3	LP3	Roff4	HP4	Ron4	LP4	Rel
Extension/Flexion angle of Left hip	-0.124	-0.500 *	-0.602*	-0.320*	-0.187	-0.184	-0.462*	-0.394*	-0.333*	-0.164	-0.277	-0.295	-0.245	0.030	-0.105	-0.136	0.069
Abduction/Adduction angle of Left hip	-0.081	0.116	-0.096	-0.026	0.227	0.137	-0.047	-0.092	0.262	0.216	0.020	-0.141	-0.023	-0.042	-0.264	0.104	0.351 *
Extension/Flexion angle of Left knee	0.248	0.102	0.401 *	0.192	-0.225	-0.361*	-0.057	0.218	-0.151	-0.324*	0.136	0.240	0.064	-0.221	0.134	-0.076	-0.119
Extension/Flexion angle of Left ankle	0.168	-0.014	0.163	0.162	0.051	-0.247	0.245	-0.025	-0.263	-0.032	0.246	-0.099	-0.215	-0.226	0.250	-0.289	-0.324*
Left thigh angle	0.289	0.509 *	0.612*	-0.068	0.081	0.122	0.410*	0.294	0.354*	0.012	0.260	0.276	0.245	-0.209	0.060	0.256	-0.041
Left shank angle	-0.140	0.261	0.169	-0.183	0.371 *	0.428*	0.306*	-0.146	0.393*	0.243	-0.071	0.007	0.219	0.049	-0.066	0.210	-0.263

\*a significance level is set at a risk rate of 5% or less.

Ron1, Ron2, Roff3 において正の相関関係がみられた (表 7-5). 投擲記録と左下腿前後傾角度との間には, Roff2, HP2, Ron2, Roff3 において正の相関関係がみられた (表 7-5).

表 7-6 に, 投擲記録と DSP における左股関節屈曲角度変化量, 左股関節伸展角度変化量および左膝関節伸展角度変化量との相関関係を示した. 投擲記録と DSP1 における左股関節屈曲角度変化量との間に正の相関関係がみられた. また, 投擲記録と DSP1 における左膝関節伸展角度変化量との間に負の相関関係がみられた.

表 7-7 に, 腰回転角速度増加量と DSP 中における左股関節外転動作範囲との関係性を示した. DSP1 および DSP3 において有意な相関関係がみられた.

### 7.3.3 投擲記録と SSP の所要時間および腰回転角速度平均値との関係性

表 7-8 に, 投擲記録と各ターンの SSP 所要時間との相関関係を示した. 全ての SSP において投擲記録と負の相関関係がみられた.

表 7-9 に, 投擲記録と SSP における腰回転角速度平均値との相関関係を示した. 全ての SSP において投擲記録と正の相関関係がみられた.

## 7.4 考察

### 7.4.1 投擲記録と右下肢キネマティクスとの関係性について

DSP における右股関節伸展屈曲角度変化に着目すると, 股関節は伸展動作を行っていた (図 7-1a). 次に, 右膝関節伸展屈曲角度は Ron 付近で最大伸展位を示し, その後右足離地 (Roff) に向けて屈曲していた (図 7-1c). これらのことから, 競技者は DSP において右膝関節の屈曲を伴いながら, 主に右股関節伸展動作を行っていたといえる. また, 右足関節底屈角度は HP から LP までは約 80 度で角度が維持された後, LP-Roff で右足関節の底屈動作が行われていた (図 7-1d). 加えて, 投擲記録と DSP2, DSP3, DSP4 における右足関節底屈角度変化量との間に負の相関関係がみられた (表 7-2). このことは, 投擲記録の高い競

Table 7-6 Correlation coefficient between record and angular displacement of left leg joint during DSP.

		Average value (deg)	Correlation coefficient vs record
Displacement of left hip joint flexion	DSP1	19.04+10.46	0.371 *
	DSP2	12.65± 8.49	0.265
	DSP3	8.44± 6.35	0.210
	DSP4	3.17± 3.95	0.064
Displacement of left hip joint extension	DSP1	18.11+ 8.94	-0.151
	DSP2	16.98± 7.15	0.218
	DSP3	17.05± 8.73	0.116
	DSP4	42.14±11.36	-0.108
Displacement of left knee joint extension	DSP1	45.86+12.56	-0.526 *
	DSP2	50.37±10.22	-0.086
	DSP3	52.20±11.50	-0.043
	DSP4	73.29±14.64	-0.182

\*: a significance level is set at a risk rate of 5% or less.

Table 7-7 Correlation coefficient between increase of hip rotation velocity and angular displacement of left hip joint abduction during DSP.

	Average value (deg)	Correlation coefficient vs increase of hip rotation angular velocity
Displacement of left hip joint abduction	DSP1 40.40±22.89	0.463 *
	DSP2 27.69±17.03	0.153
	DSP3 19.05±11.97	0.530 *
	DSP4 13.11±10.15	0.156

\*: a significance level is set at a risk rate of 5% or less.



Table 7-8 Correlation coefficient  
between throwing record and time  
during SSP.

	Time (s)	Correlation coefficient
SSP1	$0.33 \pm 0.04$	-0.562*
SSP2	$0.28 \pm 0.04$	-0.595*
SSP3	$0.25 \pm 0.03$	-0.570*
SSP4	$0.26 \pm 0.04$	-0.510*

\*: a significance level is set at a risk rate of 5% or less.

Table 7-9 Correlation coefficient between throwing record and hip rotation angular velocity during SSP.

		Angular velocity (deg/s)	Correlation coefficient vs throwing record
Hip rotation angular velocity	SSP1	644.79± 81.55	0.404*
	SSP2	782.99± 107.11	0.475*
	SSP3	874.24± 117.18	0.676*
	SSP4	893.67± 97.79	0.651*

\*: a significance level is set at a risk rate of 5% or less.

技者ほど、LP-Roff における右足関節の底屈動作が小さかったことを示している。短距離走の下肢動作について、伊藤ほか (1998) は股関節伸展速度を効果的に脚全体のスイング速度に転換し、効率よいキック動作を行うためには、膝関節の伸展や足関節の底屈動作が少ないキック動作を行うことが重要であることを報告している。また、伊藤 (1998) は、足関節の役割は股関節伸筋群によって発揮されたキック力をそのまま地面に伝達することであり、足関節を固定させ、あそびをなくすことによって短い接地局面に対応していたと考察している。本章でも同様に、競技者の右下肢は DSP において主に股関節伸展動作を行っており、投擲記録の高い競技者ほど LP-Roff における右足関節底屈動作が小さいという特徴を示した。さらに、ハンマー投においても、DSP の所要時間は投擲記録の高い競技者ほど短く (広瀬ほか, 2016c)、DSP における肩および腰の回転速度平均値が大きかった (第 6 章)。これらのことから、ハンマー投の DSP においても、投擲記録の高い競技者ほど短い時間で力発揮を行う必要性があり、DSP 中の右足関節底屈角度変化量を小さくして、高速下でのターン動作を可能にしていたと推察される。

投擲記録と相関関係はみられなかったものの、DSP の腰回転角速度平均値が大きい競技者ほど、DSP1、DSP2 および DSP3 で右膝関節屈曲角度変化量が小さかった (表 7-3)。第 6 章において、投擲記録の高い競技者ほど DSP の腰回転角速度平均値が大きかったことから、DSP における投擲記録の高い競技者の下肢動作の特徴と捉えることができよう。これらのことから、ハンマー投のターン動作中において投擲記録の高い競技者は、DSP において右膝関節の屈曲、右足関節の底屈を抑えた股関節主導の脚のスイング動作を行うことで、高速下でのターン動作を可能にしていたと推察される。

右股関節内外転角度は、DSP において内転方向へ変化していた (図 7-1b)。また、投擲記録の高い競技者ほど Roff2、Roff3、Roff4 においてより内転位であった (表 7-1)。Murofushi et al. (2007) は、鉛直軸まわりに身体を回転させる力のモーメントの生成について、主に右足によって獲得された地面反力の貢献が大きかったことを報告している。そこで、DSP 中

の腰回転角速度増加量と右股関節内転角度変化量との関係性について検討すると、腰回転角速度増加量が大きい競技者ほど、DSP1 および DSP2 において、右股関節内転角度変化量が大きかった（表 7-4）。右股関節の内転動作は、競技者の右下肢を回転方向へ向ける動作となることから、水平面上における地面反力の向きや大きさに影響している可能性がある。これらのことから、DSP（Ron-Roff）における右股関節の内転動作は、DSP の地面反力の水平成分の向きを変化させ、右脚による身体を回転させる力のモーメントの獲得に寄与し、DSP 中の身体の回転スピードを大きくすることに関係していた可能性がある。しかしながら、本章では地面反力の測定を行っておらず、検討することは困難である。このことについて検討するためには地面反力の測定を行い、水平面上における地面反力の獲得に対する右下肢動作との関係性について検討する必要があると考えられる。さらに、金子（1988）や尾縣（1990）は、ターン動作の観察ポイントとして、SSP において、送り足（右足）を、軸足（左足）に絡ませるように送っているかどうかを観察することが大事であると指摘している。一般的に、軸足の膝（左膝）と右膝をより近づけることで、右脚が回転軸よりも遠回りしないようにし、すばやく次のターンにおける右足接地動作を行うよう現場で指導がなされる。また、尾縣（1990）は、右足を送るときに軸足から離して回転すると、からだの捻りを十分に利用できず、ハンマーに大きな加速を与えることが難しくなるとも述べている。これらのことから、投擲記録の高い競技者は、DSP に右股関節を内転させ、Roff 時に右股関節内転位で SSP を迎えることで、次のハンマーヘッド加速に対する準備を行っていたものと考えられる。

#### 7.4.2 投擲記録と左下肢キネマティクスとの関係性について

ターン動作中の DSP における左下肢動作について、左股関節は Ron-LP で屈曲し、LP 付近から Roff で伸展していた（図 7-2a）。また、DSP における左膝関節は、Ron-Roff で伸展していた（図 7-2c）。これらのことから、DSP の LP-Roff において競技者は左脚股関節お

よび膝関節伸展動作を行っていたといえる。Murofushi et al. (2007) は、DSP の投擲方向（本研究における Y 方向）の地面反力について、左足は投擲方向へ、右足はその反対方向への地面反力を発揮し、鉛直軸まわりの身体を回転させる力のモーメントを獲得していたことを報告している。これらのことから、競技者は左股関節伸展および左膝関節伸展動作を行うことで、投擲方向への地面反力を獲得していたと考えられる。そこで、投擲記録と DSP における左股関節屈曲角度変化量、左股関節伸展角度変化量および左膝関節伸展変化量との相関関係について算出すると、投擲記録と DSP1 における左股関節屈曲角度変化量と左膝関節伸展角度変化量との間に有意な相関関係がみられたものの、その他の局面においては有意な関係性がみられなかった（表 7-6）。これらのことから、DSP における左股関節伸展および左膝関節伸展動作範囲については、投擲記録による差は小さいものと考えられる。

DSP における左股関節内外転角度に着目すると、DSP 前半（Ron-LP）で外転し、DSP 後半（LP-Roff）で内転していた（図 7-2b）。また、DSP における腰回転角速度増加量の大きい競技者ほど、DSP1 および DSP3 における左股関節外転動作範囲が大きかった（表 7-7）。藤井ほか（2010）は、左股関節の水平外転動作によって骨盤の左回旋のための左股関節の水平内転可動域を確保し、骨盤の左回旋を行いやすくしていたと考察している。本章の結果から、腰回転角速度増加量が大きい競技者ほど、Ron-LP にかけてより左股関節を外転させることで、その後の腰の回転速度増加につなげていたものと考えられる。

投擲記録の高い競技者ほど SSP の所要時間が短く、SSP における腰回転角速度平均値が大きかった（表 7-8 および表 7-9）。すなわち、本章の結果から投擲記録の高い競技者ほど腰の回転速度を大きくし、SSP の所要時間を短くする能力に優れていたといえよう。SSP はハンマーヘッドの減速区間であることから、所要時間を短くすることはハンマーヘッドが距離的にも時間的にも長く先行することを避け、ハンマーヘッドスピードの減少を抑えることができる可能性があること（藤井ほか、2010）、さらに、DSP でのハンマーヘッド加速距離を大きくできる可能性がある。また、SSP の左膝関節伸展屈曲動作について着目すると、

左膝関節は屈曲動作を行っていた (図 7-2c). SSP では左膝関節を素早く屈曲し, 脚の回転速度を大きくすることで SSP の所要時間を短くすることができるといわれている (金子, 1988). そこで, 投擲記録と SSP の左膝関節伸展屈曲角度との関係性に注目すると, HP2 および HP3 において投擲記録の高い競技者ほど屈曲が大きかった (表 7-5). さらに, 投擲記録と SSP における左大腿前後傾角度および左下腿前後傾角度について注目すると, 左大腿前後傾角度は HP1, Ron1, Ron2 で正の相関関係, 左下腿前後傾角度は, HP2 および Ron2 において正の相関関係がみられた (表 7-5). このことは, 投擲記録の高い競技者ほど, Ron1 においては左大腿部が前傾位, Ron2 においては左大腿部および左下腿部が前傾位であったことを示している. なお, 同時点における投擲記録と左股関節伸展屈曲角度との相関関係をみると, HP1, Ron1, Ron2 で投擲記録の高い競技者ほど股関節伸展位であった (表 7-5). すなわち, 投擲記録の高い競技者ほど, ターン前半 (Turn1 および Turn2) において, より左股関節を伸展および左下腿部を前傾させた状態 (左脚を前傾させた状態) で右足接地動作を行っていたといえる. SSP で左脚の下腿部を前傾させることは, 上昇するハンマーに対し身体重心を低くすることや, 右足の接地を早めることに繋がると考えられる. これらのことから, 投擲記録の高い競技者ほど, SSP における腰回転角速度を大きくするだけでなく, ターン前半 (Turn1 および Turn2) において, 左脚 (軸脚) の大腿部および下腿部を Ron 時に前傾位になるように接地を行い, SSP の所要時間を短くしていた可能性があると考えられる.

## 7.5 結言

本章の目的は, 投擲記録の高い競技者の下肢動作の特徴を明らかにするために, 投擲記録と下肢関節キネマティクスとの関係性を検討することであった. 主な結果は以下の通りである.

- (1) 両脚支持期 (DSP) 中の右下肢動作は, 主に股関節伸展, 膝関節屈曲動作を行っていた

た。DSP 後半 (LP-Roff) では、足関節底屈動作もみられた。

- (2) 投擲記録の高い競技者ほど、DSP 中の右足関節底屈角度変化量が小さかった。また、各ターンの腰回転角速度平均値が高い競技者ほど、DSP 中の右膝関節屈曲角度変化量が小さかった。
- (3) 投擲記録の高い競技者ほど Roff2, Roff3, Roff4 においてより右股関節内転位であった。また、腰回転角速度増加量が大きい競技者ほど、DSP1 および DSP2 において、右股関節内転角度変化量が大きかった。
- (4) DSP 中の左下肢動作は、主に左股関節伸展および左膝関節伸展動作を行っていた。動作範囲に関して、投擲記録と有意な相関関係がみられた局面は少なかった。
- (5) 投擲記録の高い競技者ほど片脚支持期 (SSP) の所要時間が短く、SSP における腰回転角速度平均値が大きかった。また、ターン前半 (Turn1 および Turn2) の Ron において、投擲記録の高い競技者ほど、左大腿部および左下腿部が前傾位であった。

これらのことから、投擲記録の高い競技者ほど、DSP において右膝関節の屈曲および右足関節の底屈動作を小さくしながら股関節伸展動作を行うことで、高速下でのターン動作に対応していたと推察される。また、記録水準の高い競技者は DSP 中の右股関節内転動作に特徴がみられたことから、ターン動作中の身体の回転スピードを大きくすることに右股関節内転動作が影響している可能性があると考えられる。加えて、SSP の腰回転角速度平均値を大きくすること、ターン前半において SSP から DSP の移行局面で軸脚の前傾動作 (大腿部や下腿部の前傾) を強調した接地動作を行うことで、SSP の所要時間を短くし、右足接地のタイミングを早くすることが可能となると考えられる。

## 第 8 章 記録水準の違いによるハンドル先行距離獲得のためのハンドルおよび身体の動き

### 8.1 緒言

リリース時のハンマーヘッド投射スピードを大きくするためには、ターン動作中にハンマーヘッドスピードを大きくする必要がある。藤井ほか (2010) は、ターン動作中のハンマーヘッドスピードを増加させるために (1) ハンドルの先行距離をできるだけ大きくすること、および (2) ハンドルが先行している時間を大きくし、ハンドル先行距離正積分値を大きくすることが重要となると述べている。記録水準の高い競技者はそうでない競技者と比較して、ターン中のハンマーヘッドスピードが大きく (坂東ほか, 2006)、ターンの所用時間が短い (広瀬ほか, 2016c) ことが報告されている。これらのことから、記録水準の高い競技者は、より短時間に大きい力発揮をし、ハンドルを牽引していく必要があることから、ハンドル先行距離獲得が難しくなると考えられる。したがって、記録水準の違いによってハンドル先行距離の獲得技術が異なる可能性があるが、このことについて検討した研究はみられない。これらのことから、記録水準の異なる競技者を対象にハンドル先行距離の大きさとハンドル先行距離の積分値を算出し、その違いについて検討することで、ターン動作中の記録水準の高い競技者のハンドル先行距離獲得方略について明らかにすることが必要となろう。

また、第 6 章において、記録水準の高い競技者は Ron—LP におけるハンマーヘッドスピード増加量が大きく、身体の並進運動、体幹の回転運動および体幹の倒れ込み動作に特徴があることが明らかとなった。加えて、ターン動作中のハンドル先行距離は、HP—LP に増加し、体幹長軸まわりの回転動作、体幹の後傾動作および身体の並進運動によってハンドル先行距離が獲得されていた (第 5 章)。これらのことから、競技力向上のための知見を得るためには、競技力の高い競技者のハンドルの動きを検討し、リリース時の投射スピードを大きくするためのターン動作中のハンドル先行距離獲得技術を検討することが有効になると考



えられる。しかしながら、記録水準が高い競技者あるいは低い競技者を含めた検討はなされていない。

そこで、本章の目的は、異なる記録水準の競技者間におけるハンマーヘッドスピード増加に影響するハンドル先行距離獲得の違い、およびハンドル先行距離を獲得するための身体の動きの違いについて定量的に検討することとした。

## 8.2 方法

データの収集方法および回転平面座標系におけるハンドル先行距離、接線方向のハンドル速度、法線方向のハンドル速度、ハンマー回転速度成分についての算出については第3章で述べたとおりである。

### 8.2.1 各ターンのハンドル先行距離積分値の算出とハンドル先行距離最大値

各ターン (Turn) および DSP において、ハンドル先行距離が正の値を示す区間のハンドル先行距離を時間積分することによって、ハンドル先行距離正積分値を算出した (藤井ほか, 2010)。また、同区間におけるハンドル距離の最大値を算出した。

### 8.2.2 ハンマーヘッド移動距離およびハンドル移動距離の算出

ハンマーヘッド移動距離は、あるフレームから次のフレームまでのハンマーヘッドの絶対距離を算出し、ターン開始からターン終了時までの和をとることで算出した。また、同様の方法で各ターンの HP-LP, LP-Roff のハンマーヘッド移動距離を算出した。

HP-LP のハンドル移動距離は、あるフレームから次のフレームまでのハンドルの絶対距離を算出し、各ターンの HP から LP までの和をとることで算出した。

### 8.2.3 身体部位の角速度、関節角速度および身体の動きによるハンドル速度の算出

身体部位の角速度，関節角速度および身体の動きによるハンドル速度の算出については，第3章で述べたとおりである．

#### 8.2.4 時間の規格化と統計処理

データ収集方法，時系列データの規格化およびデータ処理法については第3章で述べたとおりである．

本章では，異なる記録水準の競技者間でのハンマーヘッドスピード増加方法の違いについて検討するために，2019年度日本選手権大会の参加標準記録（64m）以上の対象者を Excellent 群（n=18，投擲記録平均値  $74.77 \pm 4.30\text{m}$ ），それ未満を Normal 群（n=26，投擲記録平均値  $55.80 \pm 5.96\text{m}$ ）とした．各算出項目における両群の平均値の差に関して，対応のない t 検定を用いて有意水準 5% の検定を行った．特に時系列データの場合には，規格化時間の 1% 毎に検定を行った．

### 8.3 結果

#### 8.3.1 ハンマーヘッドスピード，ハンドル先行距離およびハンドル速度

図 8-1 に，ターン動作中の Excellent 群と Normal 群のハンマーヘッドスピードを示した．Excellent 群は Normal 群と比較して，ターン開始時点（Roff1）から Rel まで有意に大きい値を示していた．

図 8-2 に，ターン動作中の Excellent 群と Normal 群の接線方向のハンマー回転速度成分，ハンドル接線速度，ハンドル法線速度およびハンドル先行距離を示した．接線方向のハンマー回転速度成分とハンドル接線速度について，Excellent 群は Normal 群と比較して，Roff1 - Rel において有意に大きい値を示していた（図 8-2a，図 8-2c）．ハンドル先行距離およびハンドル法線速度は，Roff2，Ron3，LP4 - Rel 付近に有意差がみられた（図 8-2b，図 8-2d）．

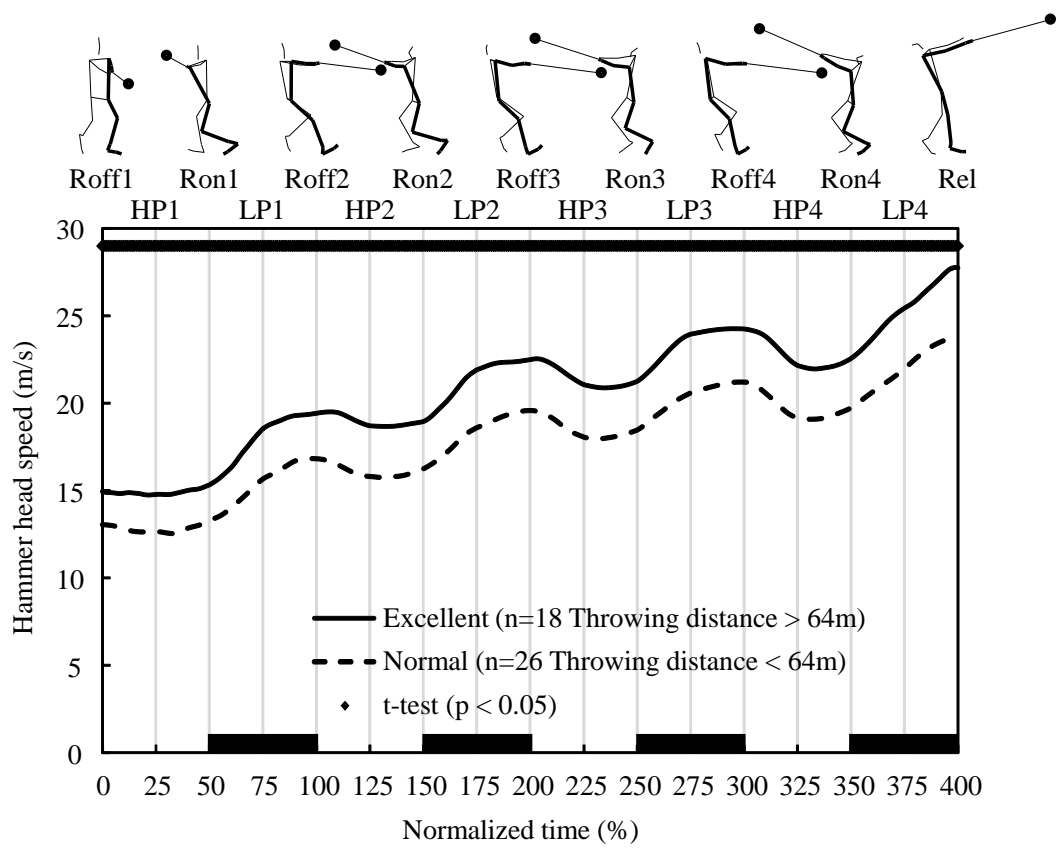


Figure 8-1 Hammer head speed (Solid line: Excellent group, dot line: Normal group).

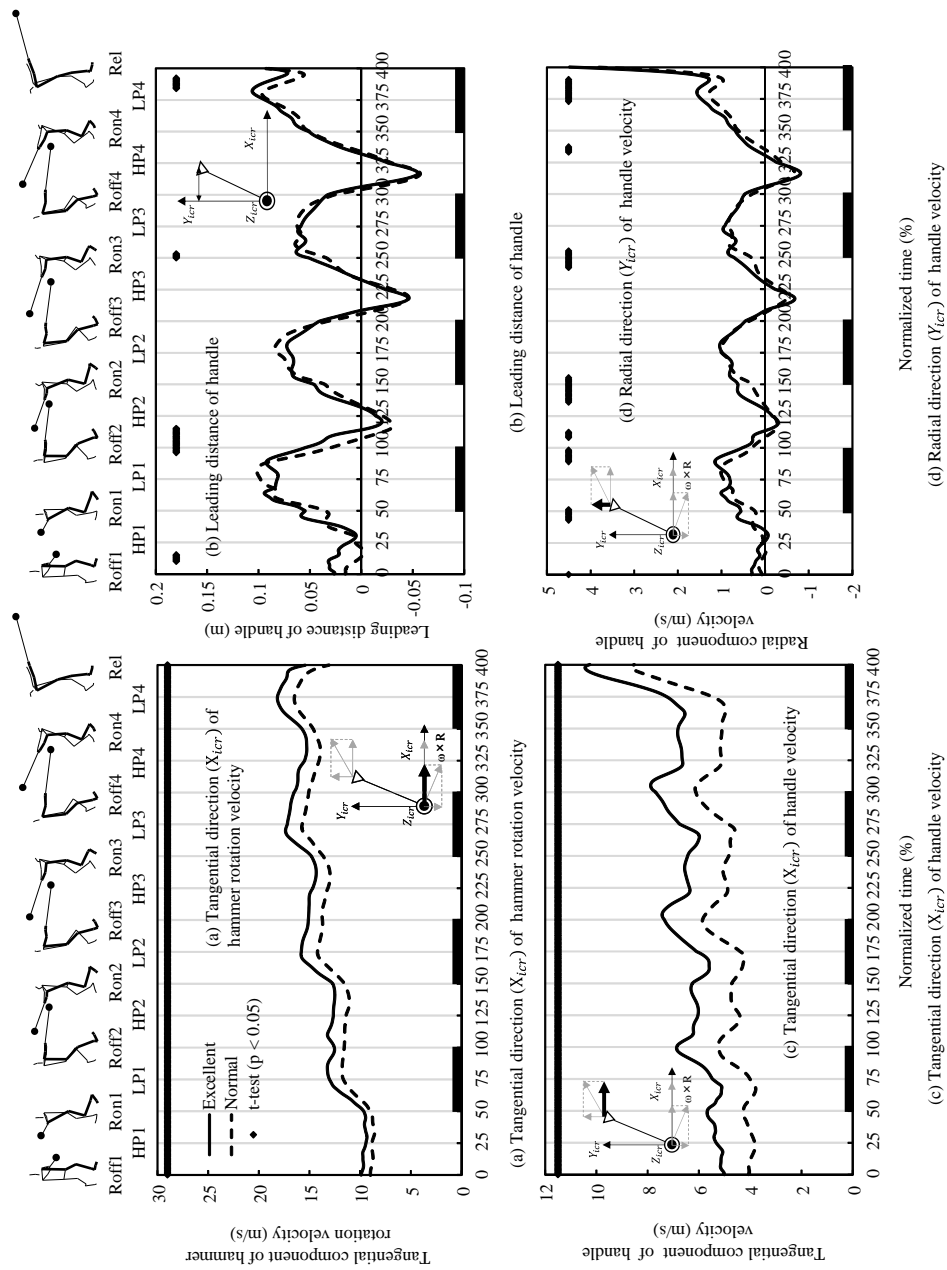


Figure 8-2 Tangential direction ( $X_{icr}$ ) of hammer rotation velocity, Leading distance of handle, Tangential direction ( $X_{icr}$ ) of handle velocity and Radial direction ( $Y_{icr}$ ) of handle velocity on rotating plane coordinate system.

表 8-1 に、ターン動作中の Excellent 群と Normal 群のハンドル先行距離積分値および最大値を示した。Normal 群と比較して Excellent 群は、DSP2 において有意に小さい値を示した。なお、統計的に有意ではないものの、Normal 群と比較して Excellent 群は小さい値を示した局面が多くみられた。

図 8-3 に、回転平面座標系 $X_{icr}Y_{icr}$ 平面上におけるハンマーヘッド速度ベクトルに対するハンドル速度ベクトルのなす角度を示した。正の値はハンマーヘッド速度に対して、ハンドル速度が上向き、負の値は下向きであることを示している。Excellent 群は Normal 群と比較して、LP1, LP2, LP3 付近において有意に小さな値を示した。

### 8.3.2 ハンマーヘッド移動距離，ハンドル移動距離およびハンマーヘッドスピード増加量

表 8-2 に、Excellent 群と Normal 群のハンマーヘッド移動距離を示した。Excellent 群は Normal 群と比較して、各ターンの HP-LP 間のハンマーヘッド移動距離が大きかった。なお、各ターンの DSP のハンマーヘッド移動距離について、有意差はみられなかった。

表 8-3 に、Excellent 群と Normal 群のハンドル移動距離を示した。Excellent 群は Normal 群と比較して、各ターンの HP-LP 間のハンドル移動距離が大きかった。

図 8-4 に、Excellent 群および Normal 群における各ターンのハンマーヘッドスピード増加量を示した。Turn1 および Turn4 において Excellent 群が有意に大きな値を示した ( $p < 0.05$ )。

### 8.3.3 体幹，体幹捻転，肩関節の角速度

図 8-5 に、ターン動作中の体幹，体幹捻転，肩関節の角速度を示した。Excellent 群は Normal 群と比較して、肩関節伸展角速度の最大値出現付近において値が大きく、最小値付近において値が小さかった (図 8-5a)。また、DSP1, DSP2 および DSP4 における体幹捻転角速度の最大値付近の値が大きかった (図 8-5d)。体幹前後傾角速度に着目すると、Excellent 群は Normal 群と比較して、Roff3-Ron3 および HP4-Rel 付近において大きな値を示した (図 8-

Table 8-1 Integration of positive leading distance of handle and max value of leading distance of handle during each turn.

		Excellent	Normal
Integration of positive leading distance of handle (m*s)	Turn1	0.033±0.007	0.035±0.010
	Turn2	0.019±0.005	0.022±0.007
	Turn3	0.014±0.006	0.015±0.005
	Turn4	0.023±0.007	0.022±0.005
	DSP1	0.029±0.007	0.031±0.008
	DSP2	0.018±0.005	0.021±0.005 *
	DSP3	0.013±0.005	0.014±0.005
	DSP4	0.021±0.006	0.020±0.004
Max value of leading distance of handle (m)	Turn1	0.132±0.033	0.140±0.035
	Turn2	0.108±0.029	0.116±0.032
	Turn3	0.098±0.035	0.092±0.028
	Turn4	0.129±0.044	0.126±0.031

\*: a significance level is set at a risk rate of 5% or less.

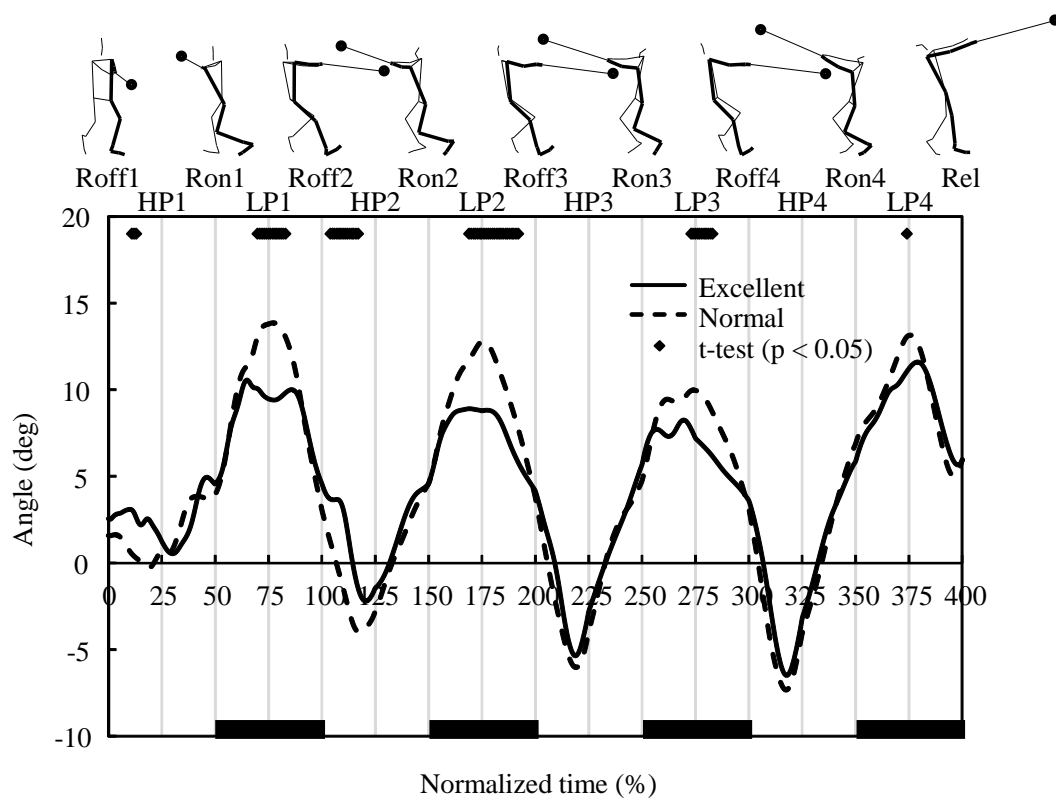


Figure 8-3 Angle between hammer head velocity and handle velocity on the  $X_{icr}Y_{icr}$  plane.

Table 8-2 Hammer head moving distance.

	Excellent	Normal
Roff1 – Rel	43.94 ± 1.08	42.18 ± 1.20 *
DSP1	6.22 ± 0.55	6.02 ± 0.45
DSP2	5.72 ± 0.44	5.53 ± 0.42
DSP3	5.24 ± 0.45	5.12 ± 0.51
DSP4	6.55 ± 0.88	6.17 ± 0.51
HP1 – LP1	5.62 ± 0.17	5.44 ± 0.23 *
HP2 – LP2	5.30 ± 0.13	5.14 ± 0.20 *
HP3 – LP3	5.21 ± 0.13	5.00 ± 0.14 *
HP4 – LP4	5.13 ± 0.14	4.96 ± 0.20 *
LP1 – Roff2	2.58 ± 0.47	2.93 ± 0.40 *
LP2 – Roff3	2.22 ± 0.59	2.35 ± 0.39
LP3 – Roff4	1.91 ± 0.66	2.00 ± 0.37
LP4 – Rel (m)	3.40 ± 0.42	3.28 ± 0.22

† Unit : [m] Mean ± SD

\*: a significance level is set at a risk rate of 5% or less.



Table 8-3 Handle moving distance during HP—LP.

	Excellent	Normal	
HP1—LP1	1.91±0.12	1.65±0.22	*
HP2—LP2	1.61±0.07	1.42±0.18	*
HP3—LP3	1.52±0.07	1.31±0.16	*
HP4—LP4	1.52±0.10	1.29±0.16	*

† Unit : [m] Mean±SD

\*: a significance level is set at a risk rate of 5% or less.

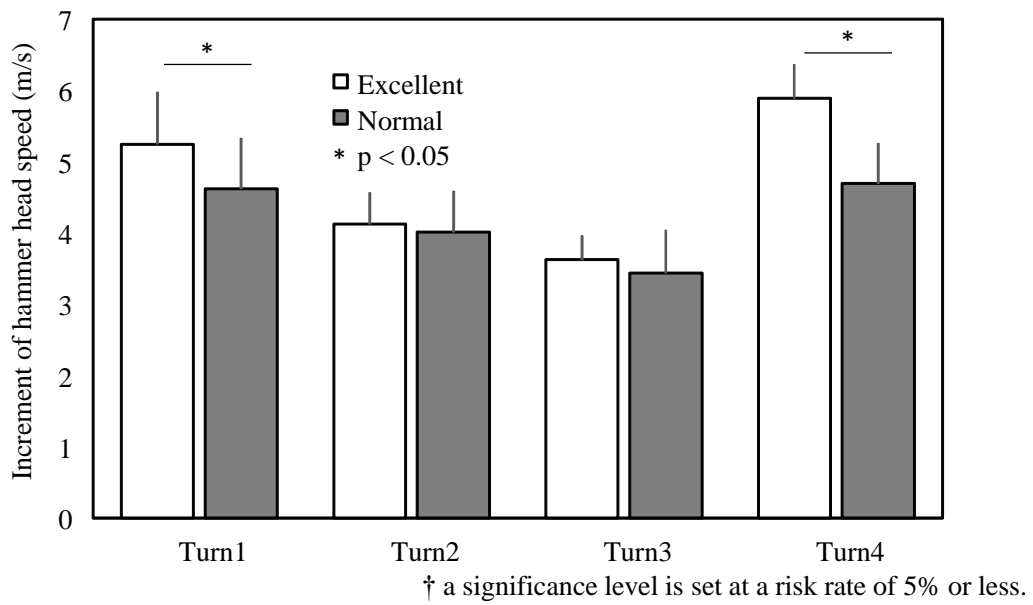


Figure 8-4 Increment of hammer head speed during each turn phase.

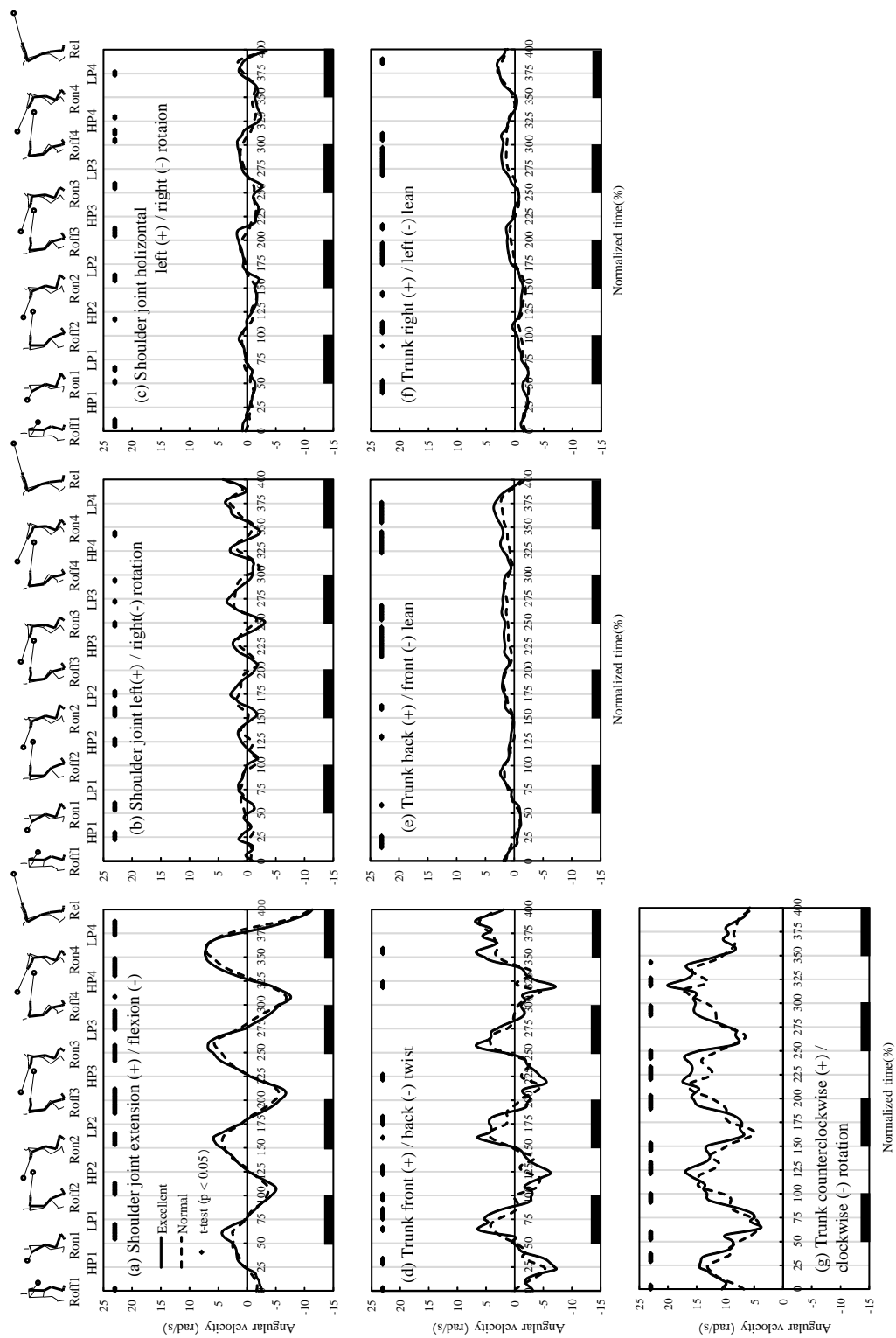


Figure 8-5 Changes in the Shoulder joint angular velocity, upper trunk joint angular velocity, and lower trunk segment angular velocity

5e).

体幹左右傾角速度においては, Excellent 群は Normal 群と比較して, LP1-HP2, LP2-HP3, Ron3-Roff4 において大きな値を示した (図 8-5f). 体幹長軸周りの角速度は, Excellent 群は Normal 群と比較して, LP1-Ron2, LP2-Ron3, LP3-Ron4 において大きな値を示した (図 8-5g).

#### 8.3.4 接線方向および法線方向における両股関節中点速度

図 8-6 に, ターン動作中の接線方向および法線方向における両股関節中点速度を示した. 接線方向の両股関節中点速度は, Excellent 群は Normal 群と比較して, ターン局面中の値が小さく, Roff2-Ron2, LP2-HP3, Ron3-HP4 において有意に小さな値を示した (図 8-6a). 一方, 法線方向に着目すると, 2 群間における統計的有意差がみられた局面が少なかった (図 8-6b).

#### 8.3.5 身体の動きによる法線方向のハンドル速度

図 8-7 に, ターン動作中の身体の動きによる法線方向のハンドル速度を示した. 肩関節伸展屈曲動作によって生じたハンドル速度について, Excellent 群は Normal 群と比較して, Ron1-LP1 および Ron2-LP2 の値が大きかった (図 8-7a). 体幹前後傾動作によって生じたハンドル速度について, Excellent 群は Normal 群と比較して, Roff3-Ron3 および HP4-Rel 付近において大きな値を示した (図 8-7e). 体幹左右傾動作によって生じたハンドル速度について, Excellent 群は Normal 群と比較して, LP3-HP4 において小さな値を示した (図 8-7f). 体幹の長軸周りによって生じたハンドル速度について, Excellent 群は Normal 群と比較して, SSP1 および SSP2 において大きな値を示した局面がみられた (図 8-7g).

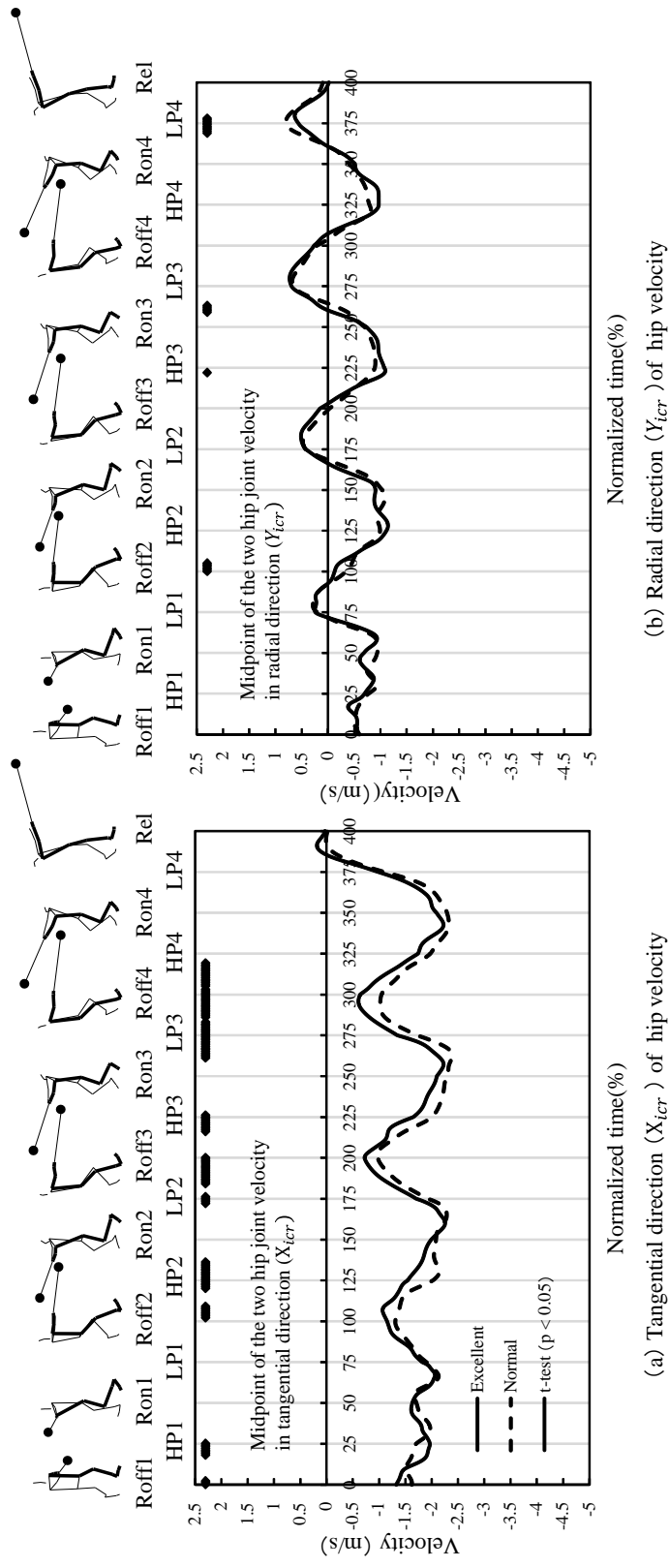


Figure 8-6 Midpoint of the two hip velocity on rotation plane of hammer.

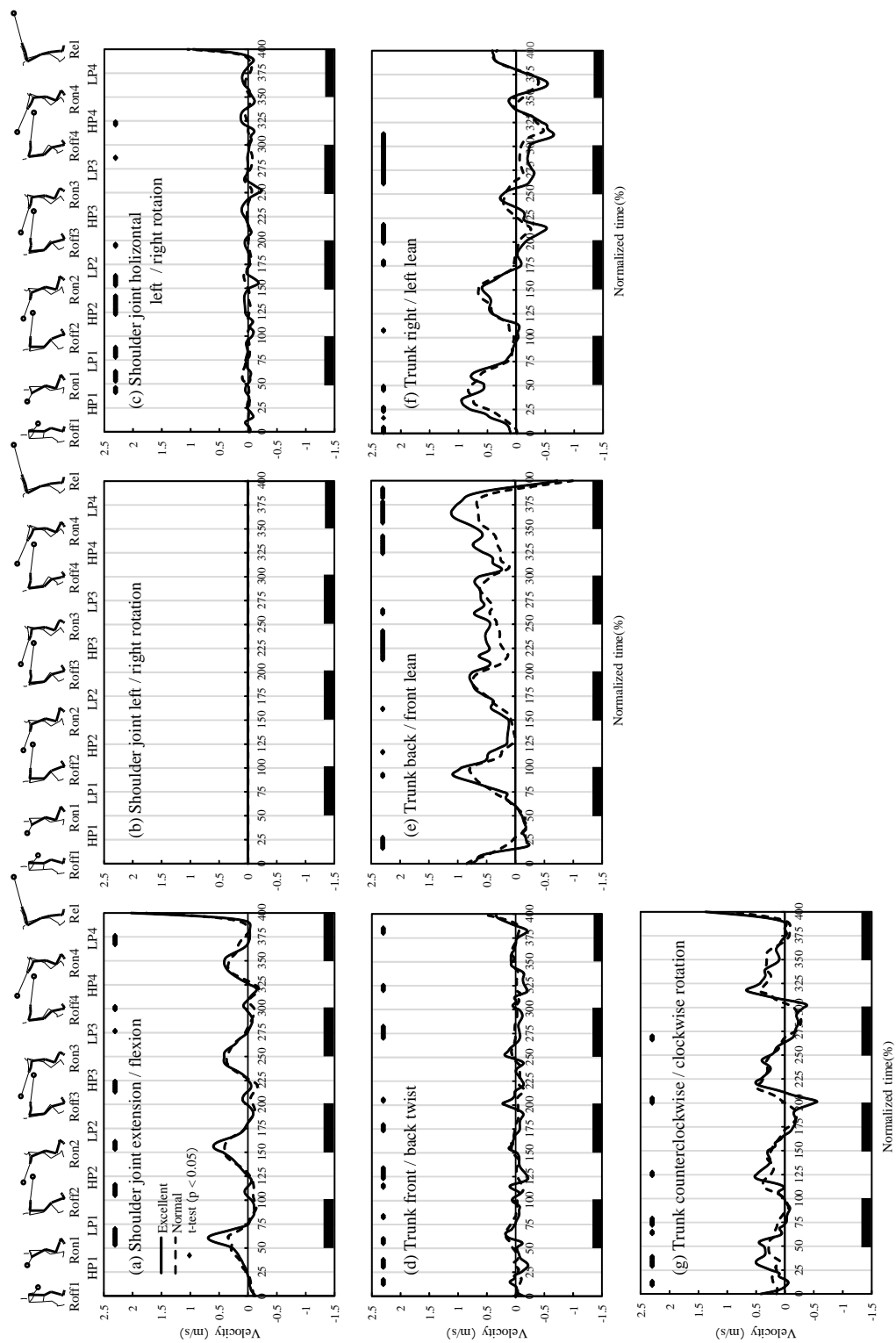


Figure 8-7 Calculated handle velocity obtained from the motion toward radial direction ( $Y_{cr}$ ).

### 8.3.6 身体の動きによる接線方向のハンドル速度

図 8-8 に、ターン動作中の身体の動きによる接線方向のハンドル速度を示した。肩関節伸展屈曲動作によって生じたハンドル速度について、Excellent 群は Normal 群と比較して、Ron1-LP1, LP1-Roff2, LP2-Roff3, LP3-Roff4 および LP4-Rel の値が大きかった (図 8-8a)。体幹の捻転動作によって生じたハンドル速度について、Excellent 群は Normal 群と比較して、DSP1 および DSP2 において大きい値を示した (図 8-8d)。体幹前後傾動作によって生じたハンドル速度について、Excellent 群は Normal 群と比較して、Roff3-LP3, HP4-Rel において小さい値を示した (図 8-8e)。体幹左右傾動作によって生じたハンドル速度について、Excellent 群は Normal 群と比較して、DSP1 および DSP2 において小さな値を示した (図 8-8f)。体幹の長軸周りによって生じたハンドル速度について、Excellent 群は Normal 群と比較して、各ターンの DSP および SSP において大きな値を示した (図 8-8g)。

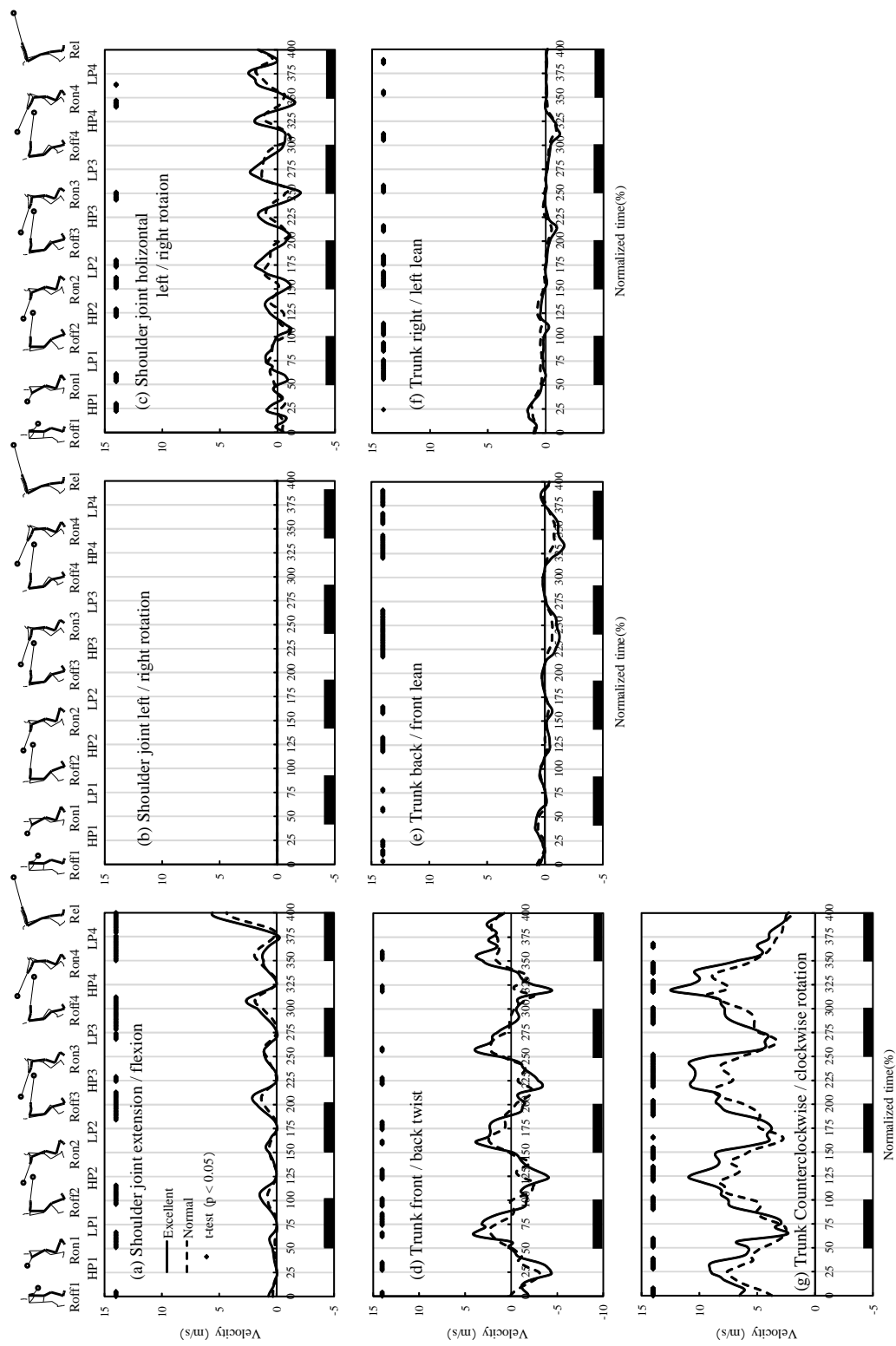


Figure 8- 8 Calculated handle velocity obtained from the motion toward tangential direction ( $X_{1cr}$ ) .



## 8.4 考察

### 8.4.1 異なる記録水準のハンマー投選手のハンドル先行距離

本章の目的の 1 つは、異なる記録水準の競技者間におけるハンマーヘッドスピード増加に影響するハンドル先行距離とハンドルの動きの違いについて検討することであった。ターン動作中のハンマーヘッドスピードについて、Excellent 群は Normal 群と比較して常に大きい値を示した (図 8-1)。坂東ほか (2006) は、記録水準の異なるハンマー投選手を対象に、投擲記録とターンごとにおけるハンマーヘッドスピード最大値、最小値、増加量および減速量との関係性について検討し、記録水準の高い競技者は各ターンのハンマーヘッド最大値および最小値が大きかったことを報告している。本章においても、先行研究と同様に、記録水準の高い競技者は低い競技者と比較して、ターン動作中にハンマーヘッドスピードが大きい状況でターン動作を行っていることが確認することができた。したがって、本章で設定した 2 群間には、十分に記録水準の違いがあるものとして議論を進める。

藤井ほか (2010) は、ハンマーヘッドスピード増加量を大きくするためには、ハンドルを先行させるだけでなく、ハンドルをハンマーヘッドと瞬間回転中心を結ぶ線分より距離的にも時間的にも長く先行させることが重要であると述べている。そこで、本章では記録水準の異なる競技者を対象に (1) ハンドル先行距離正積分値および (2) ハンドルの先行距離最大値を算出した。その結果、Excellent 群は Normal 群と比較して、Turn 中におけるハンドル先行距離最大値には差がみられなかった (表 8-1)。また、ターン動作中のハンドル先行距離の変化についても同様に、Excellent 群は Normal 群と比較して、LP1-HP2 および LP4-Rel において Excellent 群が大きい値を示したものの、統計的な有意差がみられた局面が少なかった (図 8-2b)。すなわち、ハンドル先行距離の獲得に関する大きさに関しては記録水準による差がみられなかったといえよう。一方、ハンドル先行距離正積分値について、Excellent 群は Normal 群と比較して、Turn 中におけるハンドル先行距離正積分値は差がみられなかったが、DSP2 においては小さい値を示した (表 8-1)。記録水準の高い競技者は、ターン動作中

の DSP 所用時間が短いことが報告されている (広瀬ほか, 2016c). 本研究においても, Excellent 群は Normal 群と比較して, DSP1, DSP2, DSP3 および DSP4 の所用時間が短かった (表 8-4). これらのことから, 記録水準の高い競技者はそうでない競技者と比較して DSP における所用時間が短く, 時間的に長く先行させることが困難であったために, ハンドル先行距離正積分値が小さくなったものと考えられる. これらのことから, 高速下のターン動作を遂行するためには, 短時間にハンドル先行距離を獲得し, ハンマーヘッドを加速させる能力が必要になると考えられる.

#### 8.4.2 異なる記録水準のハンマー投選手のハンドル速度

Excellent 群は Normal 群と比較して, ターン動作中の法線方向のハンドル速度に差がみられなかった (図 8-2d). 一方, 接線方向のハンドル速度が大きく (図 8-2c), HP—LP のハンマーヘッド移動距離が大きかった (表 8-2).

ハンドル法線速度について, Excellent 群は Normal 群と比較して, 各ターンの速度増加時に大きい値を示す時点で有意差がみられたが, ハンドル先行距離同様に, 統計的な有意差がみられた局面が少なかった (図 8-2d). 一方, 接線方向のハンドル速度に着目すると, Excellent 群は Normal 群と比較して,  $Roff1 - Rel$  で大きい値を示していた (図 8-2c). なお, ハンマーヘッド速度は接線方向のハンドル速度と接線方向のハンマー回転成分速度の和によって表すことができる. これらのことから, 記録水準の高い競技者は, そうでない競技者と比較して, ターン開始時点から接線方向のハンドル速度が大きい状態を維持しており, このことがリリース時の投射スピードを大きくすることに繋がったと考えられる.

Excellent 群と Normal 群のハンドルの動きの違いを検討するために, 回転平面座標系  $X_{icr}Y_{icr}$  平面上におけるハンマーヘッド速度ベクトルに対するハンドル速度ベクトルのなす角度を算出した. その結果, 各ターンの極大値出現付近において Excellent 群が小さな値を示した (図 8-3). このことについて, Excellent 群は Normal 群と比較して, ハンマーヘッド

Table 8-4 Time during DSP.

	Excellent	Normal
DSP1	0.378±0.05	0.395±0.05 *
DSP2	0.292±0.03	0.305±0.03 *
DSP3	0.243±0.03	0.254±0.03 *
DSP4	0.272±0.04	0.281±0.03 *

† Unit : [s] Mean±SD

\*: a significance level is set at a risk rate of 5% or less.

スピード増加局面（主に DSP）において接線方向のハンドル速度（図 8-2c）が大きく、法線方向のハンドル速度（図 8-2d）は差が小さかった。すなわち、接線方向のハンドル速度に対する法線方向のハンドル速度の割合は小さくなるため、回転平面座標系 $X_{icr}Y_{icr}$ 平面上におけるハンマーヘッド速度ベクトルに対するハンドル速度ベクトルのなす角度は小さくなっていったと考えられる（図 8-9）。

さらに、Excellent 群は Normal 群と比較して、回転平面座標系のハンマーヘッドおよびハンドルの絶対速度が大きかったこと（図 8-2c）、および回転平面座標系 $X_{icr}Y_{icr}$ 平面上におけるハンマーヘッド速度ベクトルに対するハンドル速度ベクトルのなす角度は小さかったこと（図 8-3 および図 8-9）を考慮すると、ハンマーヘッドスピード増加時におけるハンマーヘッドの軌道が異なる可能性が考えられる。第 4 章では、ハンマーヘッド加速方略について、ハンドル先行距離の獲得パターンから、ハンドル先行距離を増大させることでハンマーヘッドスピードを増加させる局面（HP-LP）と、接線方向のハンドル速度を増加させてハンマーヘッドスピードを増加させる局面（LP-Roff）があったことを報告した。このことから、各ターンの HP-LP および LP-Roff の Excellent 群と Normal 群のハンマーヘッド移動距離について検討を行った（表 8-2）。その結果、Excellent 群は Normal 群と比較して、各ターンの HP-LP 間のハンマーヘッド移動距離が大きかった。また、図 8-10 に HP2 を基準とした Roff3 までの Excellent 群と Normal 群のハンマーヘッド軌跡（静止座標系 XY 平面上）の平均値を示した。Excellent 群は Normal 群と比較して、HP2-LP2 までのハンマーヘッド移動距離が大きいことが観察された。指導書において、ハンマーヘッドスピード増加に関して、DSP を長くしハンマーヘッドの移動距離を大きくすることが重要であることが指摘されている（室伏, 1994）。一方、記録水準の高い競技者ほど、DSP のハンマー方位角変化量、すなわちハンマーヘッドの移動距離が小さくなっていたという報告（Gutierrez-Davila and Rojas-Ruiz, 2005）がみられるように DSP を距離的に長くすることを否定する研究もみられる。本研究も Excellent 群と Normal 群の各ターンにおける DSP のハンマーヘッド移動距離

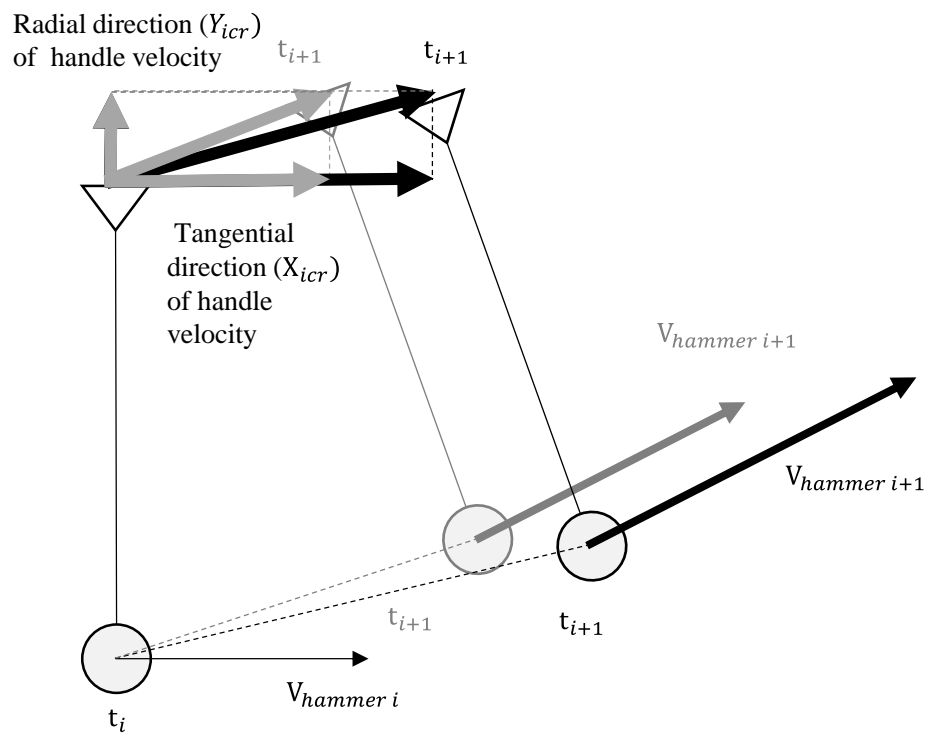


Figure 8-9 Difference of handle velocity direction between Excellent group (black line) and Normal group (gray line) on the  $X_{icer} Y_{icer}$  plane.

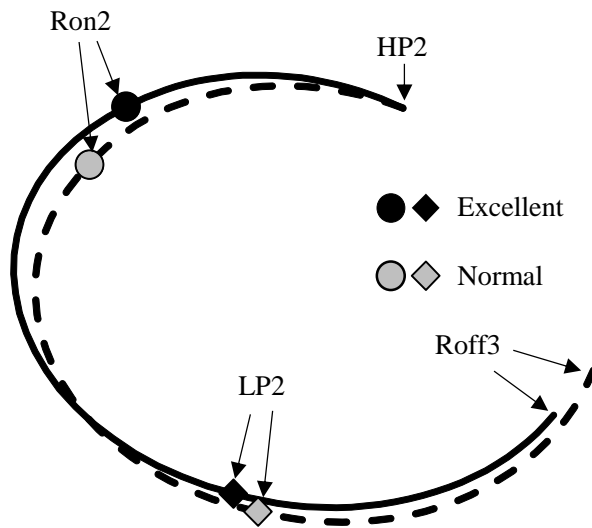


Figure 8-10 Hammer head trajectory on reference coordinate system during HP2—  
Roff3. (Excellent group (black line) and Normal group (dotted line)).

を検討すると、有意差はみられなかった（表 8-2）。本章において、Excellent 群が Normal 群と比較して HP-LP でハンマーヘッド移動距離が大きかった理由の 1 つとして、HP-LP におけるハンドル移動距離が大きかったことが挙げられる（表 8-3）。また、記録水準の高い競技者は HP-LP でハンマーヘッドスピードが大きい状態で、そうでない競技者とほぼ同値のハンドル先行距離を獲得していた（図 8-1 および図 8-2 (b)）。力学的に求心力は  $F = mV^2/r$ （F, 求心力 : m, 質量 : V, 速度（スピード） : r, 曲率半径）で表されることから、ハンマーヘッドスピードが大きくなるほど、求心力は大きくなる。すなわち、記録水準の高い競技者はそうでない競技者と比較して、より大きい求心力を発揮して瞬間回転中心方向へハンマーを牽引し、ほぼ同値のハンドル先行距離を獲得できていたことがハンマーヘッド移動距離を大きくできた 2 つ目の理由として考えられる。ほぼ同値のハンドル先行距離を獲得していたとしても、求心力が大きくなることで、ハンマーヘッドに加わる接線方向の力は大きくなる（図 8-11）。これらのことから、Excellent 群は Normal 群と比較して DSP ではなく、HP-LP のハンマーヘッド移動距離が大きくなったと考えられる。したがって、本研究の結果から、ターン開始時点から接線方向のハンドル速度が大きい状態を維持すること、また HP-LP においてハンマーヘッドスピードが大きい状態で、ハンドル先行距離を獲得できるようになることが、ハンマーヘッド投射スピードを大きくするために重要であることが示唆された。

#### 8.4.3 異なる記録水準のハンマー投競技者の法線方向のハンドル速度を生成する身体の動きの違い

本章の第 2 の目的は、記録水準の異なるハンマー投競技者のハンドル先行距離を獲得するための身体の動きの違いについて検討することであった。その結果、Excellent 群は Normal 群と比較して、HP-LP の肩関節伸展動作速度および体幹後傾動作速度を大きくすることでハンドル先行距離を獲得していたという違いがみられた。

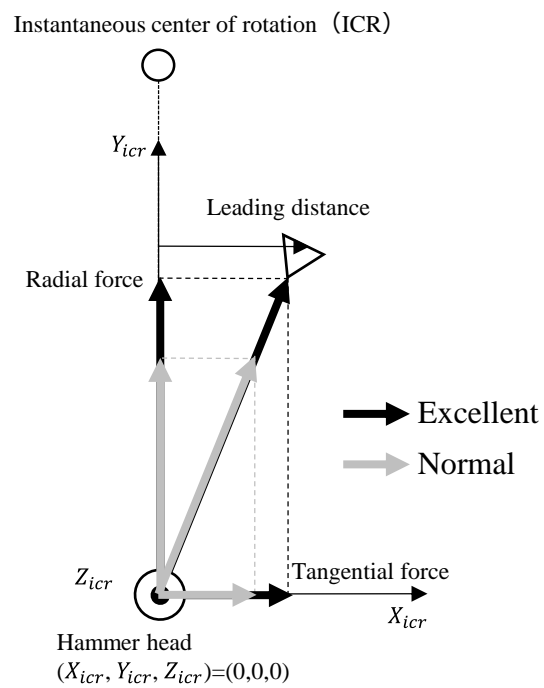


Figure 8-11 Hammer head force during hammer head acceleration phase (Excellent group (black line) and Normal group (gray line)).



法線方向のハンドル速度について、肩関節伸展屈曲動作、体幹前後傾動作、体幹左右傾動作、体幹の長軸まわりの動きおよび両股関節中点速度によって獲得していた（図 8-6b および図 8-7）。法線方向の肩関節伸展屈曲動作によって生じたハンドル速度について、Excellent 群は Normal 群と比較して、HP1—LP1 および HP2—LP2 において値が大きかった（図 8-7a）。また、その局面では肩関節伸展動作を行っており、さらに値が大きかった（図 8-5a）。第 5 章において、HP—LP で肩関節伸展動作を行うことでハンドル先行距離を獲得していたことを、第 6 章において記録水準の高い競技者ほど、肩関節伸展速度が大きかったことを明らかにした。本章においても、Excellent 群は Normal 群と比較して、HP—LP における肩関節伸展屈曲角速度が大きかった（図 8-5）。すなわち、記録水準の高い競技者はターン前半（Turn1 および Turn2）で肩関節伸展動作を素早く行うことによって、法線方向のハンドル速度を獲得、つまりハンドル先行距離を獲得していた。

次に、体幹の動きによって生じた法線方向のハンドル速度に着目すると、Excellent 群は Normal 群と比較して、体幹前後傾動作によって生じたハンドル速度が大きかった（図 8-7e）。第 5 章においては、記録水準の DSP 局面において体幹前後傾動作によって、ハンドル先行距離を獲得していたことを報告した。さらに、第 6 章においては、記録水準の高い競技者ほど、Ron—LP における体幹前後傾角速度の大きさおよび増加量が大いことを報告した。このことは、記録水準の高い競技者がハンドル先行距離を獲得するための動作の特徴であったといえよう。一方、Excellent 群は Normal 群と比較して、体幹前後傾動作によって生じたハンドル速度が大きかった局面である Ron3—HP4 において、体幹左右傾動作によって生じたハンドル速度が小さかった（図 8-7f）。第 6 章において、記録水準の高い競技者ほど、DSP 中の体幹の右傾動作範囲および動作速度が大きかったことを報告し、このことは遠心力の影響による可能性があることを指摘した。体幹左右傾角速度に着目すると、DSP 局面においては、主に体幹の右傾動作が生じており、記録水準の高い競技者は右傾角速度が大きかった（図 8-5e）。このことは、記録水準の高い競技者はそうでない競技者と比較して、DSP

において体幹の右傾動作速度が大きくなる傾向があり、法線方向のハンドル速度を小さくする、すなわちハンドル先行距離を減少させることにつながっていたことを示すものである。しかしながら、記録水準の高い競技者は、この局面において体幹後傾動作速度を大きくすることによってハンドル先行距離の減少を抑えていた。

HP4-Rel における法線方向の体幹前後傾動作によって生じたハンドル速度に着目すると、Excellent 群が Normal 群と比較して、大きい値を示す区間が多くみられた (図 8-5e)。特に LP4-Rel に関しては、ハンドル先行距離 (図 8-2b) も Excellent 群は Normal 群と比較して、有意に大きい値を示す局面がみられた。この区間は、リリース局面 (振り切り局面) に該当し、ターン動作中において最もハンマーヘッドスピードが増加する時点である。本研究においては、各ターンのハンマーヘッド増加量を算出すると、Excellent 群が Normal 群と比較して、Turn1 と Turn4 において有意に大きい値を示した (図 8-4)。この局面において Excellent 群が Normal 群と比較して体幹後傾角速度が大きかったことを考慮すると、記録水準の高い競技者はそうでない競技者と比較して、リリース局面の体幹後傾速度を大きくすることで、ハンドル先行距離を増加させハンマーヘッドスピードを大きくしていたといえよう。

#### 8.4.4 異なる記録水準のハンマー投競技者の接線方向のハンドル速度を生成する身体の動きの違い

記録水準の違いがみられた接線方向のハンドル速度を生成する身体の動きの違いについて検討した。その結果、記録水準の高い競技者はそうでない競技者と比較して、LP-HP の肩関節屈曲動作、DSP の体幹捻転動作および体幹長軸周りの動きによって生じたハンドル速度が大きかった (図 8-8)。

Excellent 群が Normal 群と比較して、ターン動作中の体幹長軸周りの角速度が大きく (図 8-5g)、接線方向の体幹長軸回転動作によって生じたハンドル速度が大きかった (図 8-8g)。これらのことから、記録水準の高い競技者の接線方向のハンドル速度の大きかった理由と

して、身体の回転速度が関係していたことが示唆された。第 6 章では、記録水準の高い競技者ほど、水平面上の DSP における肩および腰の回転角速度が大きいことを明らかにした。さらに、第 7 章において記録水準の高い競技者ほど、水平面上の SSP における腰の回転角速度が大きかったことを報告した。これらのことは、接線方向のハンドル速度の大きさに影響し、パフォーマンスを決定づける要素であったことが明らかとなった。さらに、接線方向の両股関節中点速度について、Excellent 群が Normal 群と比較して、値が大きい局面が多くみられた (図 8-6a) ことも、接線方向のハンドル速度を大きくしていた要因であったと考えられる。

一方、Excellent 群が Normal 群と比較して、体幹前後傾動作によって生じたハンドル速度や体幹左右傾動作によって生じたハンドル速度が小さい傾向がみられた (図 8-8e と図 8-8f) ことは、接線方向のハンドル速度が小さくなる要因となっていた。Roff3—LP3 に着目すると、Excellent 群が Normal 群と比較して、体幹の後傾角速度が大きかった (図 8-5e)。この局面においては、ハンドル先行距離の獲得を行うために、記録水準の高い競技者は、体幹の後傾角速度を大きくしていた (図 8-5e)。しかし、このことは、接線方向のハンドル速度を小さくさせるように作用していた。それにも関わらず、記録水準の高い競技者がそうでない競技者と比較して、接線方向のハンドル速度が大きかったことは、身体の回転運動による影響が大きいと考えられ、身体の回転スピードを向上させることが競技者のパフォーマンスを向上する鍵であるといえよう。身体の回転スピードを獲得するためには、左右の下肢で地面反力を獲得し、身体を回転させる力のモーメントを獲得する必要がある。Dapena and McDonald (1989b) は、右投げのハンマー投のターン動作中に鉛直軸まわりの正の角運動量を獲得していたことを報告している。さらに、ハンマーと身体の合成重心まわりの角運動量の変化量は地面反力によって生じたトルク (力のモーメント) の結果であると述べている。また、Murofushi et al. (2007) はターン動作中によって身体を回転させる力のモーメントを獲得していたことを報告している。第 7 章において、投擲記録の高い競技者ほど DSP にお

いてより右脚が内転していたこと、また右股関節の内転動作は、競技者の右下肢を回転方向へむける動作となることから、水平面上における地面反力の向きや大きさに影響していた可能性があることを報告したことは、DSPにおける身体を回転させる力のモーメントを獲得に有効な技術となり、接線方向のハンドル獲得に繋がる可能性があると考えられる。

Excellent群がNormal群と比較して、各ターンにおけるLP—HPの肩関節伸展屈曲動作によって生じたハンドル速度が大きかった(図8-8a)。さらに、Excellent群がNormal群と比較して、この局面における肩関節屈曲角速度が大きかった(図8-5a)ことから、LP—HPの肩関節伸展屈曲動作によって生じたハンドル速度が大きくなったと考えられる。また、体幹捻転動作によって生じたハンドル速度について、Excellent群がNormal群と比較して、DSPにおいて値が大きい局面が多くみられた(図8-8d)。記録水準の高い競技者は、DSPにおける体幹捻転角速度が大きいことから、接線方向へハンドルを移動させるために、体幹捻転速度を大きくしていたことが明らかとなった。

## 8.5 結言

本章の目的は、異なる記録水準の競技者間におけるハンマーヘッドスピード増加に影響するハンドル先行距離とハンドルの動きの違いについて検討すること、およびハンドル先行距離を獲得するための身体の動きについて定量的に検討することであった。主な結果は以下の通りである。

- (1) ハンドル先行距離に関しては、記録水準による大きな差はみられなかった。しかしながら、記録水準の高い競技者は回転平面座標系における接線方向のハンドル速度が大きかった。
- (2) 法線方向のハンドル速度の獲得について、Excellent群はNormal群と比較して、HP—LPの肩関節伸展動作速度および体幹後傾動作速度を大きくすることでハンドル先行距離を獲得していた。

(3) 接線方向のハンドル速度の獲得について、Excellent 群は Normal 群と比較して、体幹長軸周りの動きによって生じたハンドル速度が大きかった。

これらのことから、ターン開始時点から身体の回転速度を大きくすることで、接線方向のハンドル速度が大きい状態を維持できるようになること、ハンマーヘッドスピードが大きい条件下で HP-LP 間のハンドル先行距離を獲得できるようになることが、HP-LP 間のハンマーヘッド移動距離の増大に繋がり、競技パフォーマンス向上に繋がると考えられる。また、記録水準の高い競技者はそうでない競技者と比較して、体幹の後傾動作によって生じたハンドル速度が大きくなる傾向があり、このことは高速下でハンドル先行距離を獲得するために必要な動きであったこと、競技パフォーマンスに差がみられた接線方向のハンドル速度の大きさは、主に身体の回転スピードによるものであったことが本研究の結果から明らかとなった。

## 第9章 総合討論

本研究は、研究課題1（第4章と第5章）において、ハンマーヘッド加速に必要となるハンドル先行距離の獲得のための身体の動きについて明らかにできた。また、研究課題2（第6と7章）において、記録水準の高い競技者は Ron-LP のハンマーヘッド加速動作に特徴があることが明らかになった。加えて、研究課題3（第8章）では、記録水準の高い競技者のハンドル先行距離獲得技術について明らかにすることができた。そこで、本章では本研究で得られた結果から、ハンドル先行距離獲得からみたりリース時のハンマーヘッド投射スピードを高めるための技術について考察する。

### 9.1 リリース時の投射スピードを高めるためのハンマーヘッド加速方略について

先行研究において、記録水準の高い競技者は、ターン開始からターン局面全体においてハンマーヘッドスピードを高く保っていたことが明らかにされている（坂東ほか，2006；藤井ほか，2010）。本研究においても、記録水準の異なる競技者とそうでない競技者とのハンマーヘッドスピードの比較を行ったところ同様の傾向がみられた（図8-2）。すなわち、リリース時の投射スピードを大きくするためには、ハンマーヘッドスピードが大きい条件下でターンを開始することができ、ターン中においてもハンマーヘッドスピードの正味の増加量を大きくすることのできる能力が必要となると考えられる。

次に、ターン動作中のハンマーヘッド加速局面について、先行研究においてハンマーヘッドスピードは DSP で増加することから、この局面においてハンマーヘッドにできるだけ長い距離および長い時間、力を作用させていくことがパフォーマンス向上にとって重要であるとされており（室伏，1994）、多くの指導者はこの技術指導に重きを置いて指導を行っている。しかしながら、本研究では DSP のハンマーヘッド移動距離について、記録水準による違いはみられなかった（表6-3）。一方、記録水準の高い競技者ほど、Ron-LP のハンマー

ヘッド移動距離が大きかったこと（表 6-3）、加えて、ハンマーヘッドスピード増加量が大きかった（表 6-8）ことなど、Ron—LP のハンマーヘッド加速パターンの違いがみられた。

ターン動作中におけるハンマーヘッドスピードの増加に関しては、ハンドル先行距離を獲得することがハンマーヘッド加速の条件となる（藤井ほか，2008b；藤井ほか，2010）。本研究においても、先行研究同様の傾向がみられた（図 4-3）。第 8 章では、記録水準の異なる競技者のハンドル先行距離獲得の違いについて検討を行った。その結果、ハンマーヘッドスピード増加量に影響するハンドル先行距離の大きさやハンドル先行距離積分値には差がみられなかった（表 8-1 および図 8-2）。記録水準の高い競技者ほど、ターン動作中の DSP 局面における所用時間が短かった（表 6-6 と表 7-8）。これらのことから、高速下でターン動作を行うほど、ハンマーヘッドに加わる遠心力が大きくなること、加速局面における所用時間が短くなることから、ハンドル先行距離を獲得することが難しくなると考えられる。しかしながら、記録水準の高い競技者のこの局面におけるハンマーヘッド移動距離が大きくなった理由として、ほぼ同値のハンドル先行距離を獲得していたとしても、求心力が大きくなることで、ハンマーヘッドに加わる接線方向の力は大きくなったためであると考えられる（図 8-11）。DSP の前半にあたる Ron—LP は、ハンマーヘッドに加わる遠心力が増加する局面でもあり、その増加する遠心力に抗しながらハンドル先行距離を獲得する必要があるため、競技者にとってはターンの成否（ハンマーヘッドスピード増加）を決定づける重要な局面といえよう。本研究の結果から、競技者のパフォーマンスを向上させるためには、大きな遠心力に抗しながら、ハンドルに大きな仕事を行うことで、Ron—LP の間にハンドル先行距離を増加させるための能力（体力・技術）が必要となることが明らかとなった。

## 9.2 ターン動作中におけるハンドル先行距離獲得のための動作技術

ターン動作中のハンマーヘッドスピードを増加させる条件として、回転平面座標系におけるハンドル先行距離を獲得（ハンマーヘッドよりもハンドルが前方にある状態）する必要

性がある(藤井ほか, 2008b; 藤井ほか, 2010). 本研究では, ハンドル先行距離を獲得するための身体の動きについて検討した. その結果, ある瞬間に競技者が瞬間回転中心方向へハンドルを牽引することで, 結果的に次の時点におけるハンマーヘッドスピードに影響するハンドル先行距離が増加していたことが明らかとなった(第4章). さらに, HP-LPにおいて体幹の長軸回転, 体幹の左傾動作, 肩関節伸展動作, 体幹後傾動作および並進運動によってハンドル先行距離を獲得していたことが幾何学的に明らかになった(第5章). このように, ハンマーヘッドスピード増加に対して, 身体の動きとの関係性について定量的に示した研究は本研究が初めてである.

さらに, 第6章では記録水準の高い競技者のハンマーヘッドスピード増加局面における動きの特徴について検討を行った. その結果, Ron-LPにおいて記録水準の高い競技者ほどハンマーヘッド速度増加量が大きかったこと, さらに, 水平面上における身体(肩および腰)の回転動作, 肩関節伸展動作, 体幹の後傾動作, 並進運動および体幹の捻り戻し動作スピードに特徴があることが明らかとなった(表6-3, 表6-5, 表6-7, 表6-8, 表6-10, 表6-12). なお, 第6章において, 記録水準の高い競技者とそうでない競技者の違いとして, 姿勢および動作範囲よりもこれらの動作スピードとの間の関係性について統計的に有意な相関関係がみられた項目が多かった. これらのことから, 第8章において, 記録水準の異なる競技者のハンドル先行距離獲得の違いについて検討を行ったところ, 各ターンにおいて獲得したハンドル先行距離積分値には差がみられなかったが, Excellent群はNormal群と比較して, HP-LPの肩関節伸展動作スピードおよび体幹後傾動作スピードを大きくすることでハンドル先行距離を獲得していた(図8-5および図8-7). これらのことから, HP-LPにおいて体幹の長軸回転, 体幹の左傾動作, 肩関節伸展動作, 体幹後傾動作および並進運動によってハンドル先行距離は獲得できるが, 高速下のターン動作中にハンドル先行距離を獲得できるようになるためには, Ron-LPにおいて肩関節伸展動作と体幹の後傾動作, すなわち身体の倒れ込み動作をより活用して, ハンドルを牽引することができるようになること



が必要な動作技術として挙げることができよう。HP-LPにおいて肩関節伸展動作を行うことは、ハンマーを牽引する方向へのハンドル速度を生成することに繋がることから、大きな遠心力下において強くハンドルを牽引するため貢献するものと考えられる（図 5-6）。指導書においては、「捻り」、「(身体の) 移動」、「倒れ込み」、「地面からの反発を得る姿勢」がハンマーヘッド加速において重要な技術であるとされていた（室伏，1994）が、新たに「肩関節伸展動作」も重要な技術として挙げられる可能性がある。しかしながら、肩関節伸展動作は主に HP-LP で生じていた（図 5-2）ことから、高い位置から低い位置へハンマーを移動させる際、重力によって肩関節伸展軸まわりにトルクが生じていた可能性も考えられる。競技者に対して、ハンマーヘッド加速時に積極的に肩関節伸展動作を行うように指導するための知見を得るためには、競技者が能動的に肩関節伸展動作を行っていたか検討が必要となると考えられる。今後、肩関節まわりの関節トルクの算出、またそのトルクが筋出力由来のトルクなのか検討を行うことで、指導者や競技者に対して「HP-LP において肩関節伸展を積極的に行うべき」と具体的な指導法の提案が可能となるものと考えられる。また、体幹後傾動作に関しても、ターン動作中の右足接地時に生じた鉛直地面反力によって身体重心周りに後方回転させるモーメントを獲得し、結果的に生じたものであると推察される。本研究の結果から、Excellent 群は Normal 群と比較して、身体重心周りに後方回転させるモーメントを大きく獲得していたものと推測され、その結果、体幹後傾動作のスピードが大きくなっていったと考えられる。本研究では、ターン動作中の地面反力および下肢関節トルクなどのキネティクスを測定していないため、Ron 時から体幹後傾動作を生成するためのメカニズムを明らかにできていない。今後、地面反力を測定することでこのメカニズムを検討し、指導に対する示唆を得る必要があるものと考えられる。

記録水準の高い競技者ほど Ron 時のハンマーヘッド位置がより投擲方向に向いた状態からハンマーヘッド加速動作を行っていた、すなわち右足接地のタイミングを早く行い、ハンマーヘッド加速動作を行うことは、ハンドル先行距離を獲得することを有利にする可能性

がある。投擲記録とハンドル先行距離を獲得する区間である Ron-LP の所用時間との間には有意な相関関係がみられなかった (表 6-6)。このことは、短い時間でターン動作を行わなければならない記録水準の高い競技者が、Ron のタイミングを早くすることによって、ハンドル先行距離を獲得するための所用時間を技術的に確保していた結果であると考えられる。高速下でターン動作を遂行するためには、より短い時間でハンドル先行距離を獲得しなければならないが、ハンドル先行距離を獲得するための所用時間を確保するために、右足接地のタイミングを早くする技術が必要となると考えられる。

また、Ron において体幹を捻転した姿勢でハンマーヘッドを加速することは短時間にハンドル先行距離を獲得するための力発揮を行うために必要な動作技術になる可能性がある。また、Ron1 および Ron2 において身長および身体質量を抑制変数とした投擲記録と体幹捻転角度との関係性について検討すると、投擲記録が高い競技者ほど体幹捻転角度が小さい、すなわち体幹を捻転した姿勢で右足接地動作を行っていた (Ron1  $r=-0.369$ ,  $p < 0.01$ , Ron2  $r=-0.352$ ,  $p < 0.05$ )。Kumar et al. (2002) によると、体幹を捻転しない状態と捻転した状態での等尺性筋力を測定した結果、捻転しない状態での筋力と比較して、捻転した状態から逆方向へ発揮した場合 (例えば、右回旋位から左回旋位へ力を発揮する) の筋力がより大きかったことを報告している。記録水準の高い競技者ほど、ターン動作中のハンマーヘッド遠心力が大きく、ハンドルを牽引するための力発揮は大きくなる。このことから、ターン開始時からハンマーヘッドスピードが大きく、遠心力が大きい条件下で動作を行っている記録水準の高い競技者ほど、右足接地時により体幹捻転位にすることで、ハンドルを牽引するための力発揮を大きくしていた可能性がある。しかしながら、実際のハンマー投のターン動作中における体幹の捻転動作とその発揮筋力 (トルク)、ハンドルの牽引力との関係性について検討は行っていない。今後、これらの関係性について検討し、大きな遠心力に抗しながらハンドルを牽引するために必要な力発揮をしやすい動作 (姿勢) について検討する必要があると考えられる。

### 9.3 高速下において競技者がターン動作を遂行するための動作技術

第6章および第7章において、記録水準の高い競技者はターン動作中の DSP および SSP における肩および腰の回転角速度平均値が大きかった (表 6-5 および表 7-9)。また、第8章において、記録水準間においてパフォーマンスに大きく差がみられた接線方向のハンドル速度は、体幹長軸回転動作によって生じたハンドル速度の幾何学的速度貢献が最も大きく、このことは体幹の長軸回転動作スピードが大きく関係していた (図 8-5, 図 8-8)。これらのことから、高速下でのターンを成立させるためには、ターン動作中の身体の回転スピードを高く維持する、また増加させる能力が必要となると考えられる。

本研究の結果から、ターン動作中の身体の回転スピードを高く維持する技術として、右足接地のタイミングを早くすることを提案することができる。記録水準の高い競技者は、Ron 時のハンマー方位角、肩の回転角度および腰の回転角度が小さい、すなわち、右足接地のタイミングが早く、体幹の前面が投擲方向へむいていた傾向がみられた (表 6-2)。指導書において、右足接地のタイミングを早くすることは、DSP のハンマーヘッドの移動距離を大きくし、ハンマーヘッドの積極的加速域を大きくすることが目的とされていた (室伏, 1994)。そこで、Ron 時のハンマー方位角と DSP におけるハンマー方位角変化量、肩の回転角度変化量および腰の回転角度変化量との相関関係について検討すると、Ron 時におけるハンマーヘッド方位角が小さい競技者ほど、DSP におけるハンマー方位角変化量、肩の回転変化量および腰の回転変化量が大きくなるという結果が得られた (表 9-1)。藤井ほか (2008a) は、世界一流競技者と日本一流競技者を対象としたハンマーヘッド加速動作について調査しており、Ron 時の肩および腰の回旋角度が小さかった競技者は、DSP における肩と腰の回旋角度変化量が大きかったことを報告している。このことは、体幹が投擲方向へ向いた状態で右足接地を行うことによって、DSP における水平面上の肩と腰の回転量を大きくすることができることを示唆している。本研究の結果から、ターン速度が大きい中でも身体の回転スピードを獲得するためには、身体の回転運動を距離的に長く、素早く動かすことが重要であ

Table 9-1 Correlation coefficient between Azimuth angle of hammer at Ron, angular displacement of azimuth angle of hammer, shoulder and hip rotation during DSP.

		Correlation coefficient vs Azimuth angle of hammer at Ron
DSP1	Azimuth angle of hammer	-0.565 *
	Shoulder rotation	-0.627 *
	Hip rotation	-0.365 *
DSP2	Azimuth angle of hammer	-0.572 *
	Shoulder rotation	-0.619 *
	Hip rotation	-0.367 *
DSP3	Azimuth angle of hammer	-0.615 *
	Shoulder rotation	-0.692 *
	Hip rotation	-0.505 *
DSP4	Azimuth angle of hammer	-0.912 *
	Shoulder rotation	-0.795 *
	Hip rotation	-0.692 *

\* : a significance level is set at a risk rate of 5% or less.

ると考えられる。これらのことから、右足接地のタイミングを早くすることは、高速下でターン動作を実現するための有効な動作技術として提案できる。

さらに、第7章で投擲記録の高い競技者の下肢動作について、DSPにおいて短時間にターン動作を行うためには、右脚の足関節や膝関節の伸展・屈曲動作を抑えたキック動作を行うことが必要であることを明らかとした。このことは、DSPの所用時間の短縮につながる可能性がある。また、ターン動作においては、身体角運動量を発生するための、身体を回転させるモーメントを下肢で生じさせ、身体の回転スピードを大きくする必要がある。そこで、身体の回転スピードが大きい記録水準の高い競技者の下肢動作の特徴について検討した結果、投擲記録の高い競技者ほどRoff2, Roff3, Roff4においてより内転位であった(表7-1)。また、DSP中の腰回転角速度増加量と右股関節内転角度変化量との関係性について検討すると、腰回転角速度増加量が大きい競技者ほど、DSP1およびDSP2において、右股関節内転角度変化量が大きかった(表7-4)。右股関節の内転動作は、競技者の右下肢を回転方向へ向ける動作となることから、水平面上における地面反力の向きや大きさに影響している可能性がある。しかしながら、本研究では地面反力の測定やキネティクスの分析を行い、身体に作用した力や関節トルクが、身体の回転動作にどのように作用したかについては検討していない。これらのことから、今後身体の回転モーメント発生に大きく貢献すると考えられる右脚を中心とした下肢動作のキネティクスの検討を行い、競技者が身体の回転スピードを獲得するために必要とされる力発揮能力について検討することが求められる。

また、最もハンマーの遠心力が大きくなる時点であるLPにおいて、より体幹を傾け、遠心力に抗する動作を行っていたことは、高速下でのターンを成立させるために必要な動作技術になる可能性がある。ハンマー投競技者の特徴として、世界で活躍する競技者は身長190cm前後、身体質量120kg前後であることに加えて、ハンマー投競技者の基本的資質として体格(身長(腕が長いこと)や身体質量がある)が必要であることが知られている(金子, 1988)。また、女子エリートハンマー投競技者を対象とした林(2015)によると、ベスト記

録の際の投射角と競技者の身長の間に関係がみられ、身長が低いほど投射角は小さく、身長が高いほど投射角は大きかったことを報告している。さらに、岡本（2007）は、ハンマー投の牽引力に身体質量が与える影響を検討した結果、選手の身体質量が軽いとハンマー頭部と身体重心との共通重心がハンマー頭部に近づくことによって、共通重心周りに回転するハンマー頭部の回転半径が小さくなり、ハンマー頭部の速度が同じ場合にはより大きな牽引力が必要であることを報告し、ハンマー投のような回転運動において身体質量が軽い場合、物理的に不利であると述べている。これらのことから、ハンマー投の競技パフォーマンス（投擲記録）には競技者の身長および身体質量が影響していると考えられる。本研究の対象者は世界一流競技者および日本一流競技者を含んでいた。そこで、投擲記録と身長および投擲記録と身体質量との相関関係について検討したところ、正の相関関係が認められた（投擲記録と身長： $r=0.781, p<0.05$ 、投擲記録と身体質量： $r=0.580, p<0.05$ ）。このことから、9.3.2 では身長および身体質量の影響を取り除き、投擲記録と身体の動きとの関係について検討するために、身長および身体質量を抑制変数とした偏相関関係を用い、投擲記録と身体の動きとの関係性について再検討することとした。身長および身体質量を抑制変数とした投擲記録と体幹前後傾角度との偏相関関係について、各ターンのLPにおいて正の相関関係がみられた（LP1： $r=0.56$ 、LP2： $r=0.295$ 、LP3： $r=0.321, p<0.05$ ）。また、身長および身体質量を抑制変数とした投擲記録と肩関節伸展屈曲角度との偏相関関係について、各ターンのLPにおいて負の相関関係がみられた（LP1： $r=-0.57$ 、LP2： $r=0.42$ 、LP3： $r=-0.378$ 、LP4： $r=-0.322, p<0.05$ ）。これらのことは、投擲記録の高い競技者ほど、LPにおいてより肩関節伸展位で体幹を後傾していたことを示している。また、身長および身体質量を抑制変数とした投擲記録と体幹左右傾角度との偏相関関係について、LP4において投擲記録の高い競技者ほど体幹が左傾していた（LP4： $r=0.392, p<0.05$ ）。つまり、DSP4においては、記録水準の高い競技者ほど体幹を左傾させていたということになる。加えて、身長および身体質量を抑制変数とした投擲記録とLP時の左股関節伸展屈曲角度との偏相関係数を算出す

ると、全てのLPにおいて負の相関関係がみられた (LP1 :  $r=-0.468$ , LP2 :  $r=-0.462$ , LP3 :  $r=-0.434$ , LP4 :  $r=-0.317$ ,  $p<0.05$ ). このことは、投擲記録の高い競技者ほど、LP時に左股関節が伸展していたことを示している。坂東ほか (2006) から、ターン動作中の曲率半径および法線加速度の変化について確認すると、各ターンのLP付近で曲率半径は最も小さく、法線加速度が大きくなっていた。すなわち、LPはターン動作中において、ハンマーに最も遠心力が加わる時点である。そのため、ハンドルを牽引する力を大きくするために左股関節の伸展、体幹の後傾および左傾し、身体を傾けることによってハンマーヘッドの遠心力に抗する動きを行っていたものと考えられる。また、第6章において記録水準の高い競技者ほど、Ron-LPにおける身体の回転、肩関節伸展速度、身体の並進運動、体幹後傾動作のスピードが大きいという特徴がみられた。これらの動作スピードが大きかったことは、LPにおいてハンマーの加速および遠心力に抗するための姿勢作りを行うために必要であったと考えられる。これらのことから、Ron-LPにおいて、身体の回転、肩関節の伸展動作および体幹の後傾動作を素早く行うことで、身長・身体質量の大きさに関わらず、最もハンマーの遠心力が大きくなる時点であるLPにおいて体幹を傾けることでハンマーに生じる遠心力に抗する動きを行っていたといえよう。

#### 9.4 高速下において競技者がハンマーヘッド減速を抑えるための動作技術

ターン動作中において、高いハンマーヘッドスピードを維持するためには、ハンマーヘッドスピードを加速する能力・技術とともに減速を小さくすることも必要となる。ハンマーヘッドの減速について、藤井ほか (2010) は、ハンマーヘッドがハンドルおよびハンマー瞬間回転中心を結ぶ線分より先行を避けることが重要であること、さらに、このハンマーヘッドの先行距離を短くするためには、ハンマーヘッド速度ベクトルとは逆方向の運動である左腕の水平内転動作および体幹の捻り動作が同時に行われることを避けるべきであると述べている。体幹捻り戻し動作をHPまで行い、HPから捻り動作を行うことがターン局面での

総ヘッド減速量を小さくするために重要であると述べている。SSP は、ハンマーヘッドスピードの減速局面である。本研究の結果から、Roff-LP における法線方向の両股関節 midpoint 速度は、負の値を示した (図 5-5)。すなわちハンマーヘッドスピードが減速する主な原因は、競技者がハンマーヘッド方向へ引っ張られることで、法線方向のハンドル速度が負の値 (ハンドルの先行距離が負の値) になったためであると考えられる。競技者は SSP において「右足は地面から離れたらすみやかに軸足に近づけて巻き込むようにハンマー頭部を追い抜き接地させる」(尾縣, 1990) や「ハンマーにぶらさがるように抜重動作を行い, からだでハンマーを追い越すように回り込み, からだのねじれをつくる」(金子, 1988) など, 水平面上の腰の回転速度を大きくすることで体幹の捻りを獲得し, ハンマーヘッド加速の準備を行う。そのため, 指導現場では SSP の所要時間を短くすることや, 水平面上における腰の回転を素早くするよう指導される。本研究の結果から, SSP における水平面上の腰の回転を素早くすることは, 結果として体幹長軸周りの角速度を大きくすることに繋がり, 正のハンドル先行距離を獲得し, SSP におけるハンマーヘッドスピードの減速を抑えることに貢献する可能性がある。このことは, SSP においてハンマーヘッドスピード減少が大きい競技者に対して, 減速を抑えるための技術指導として有効であることを示唆するものであり, 今までに明らかにされていないことである。

## 9.5 指導現場への示唆

本研究の結果から, 競技力を向上させるためには, HP-LP におけるハンドル先行距離の獲得を大きな遠心力下において獲得できる能力を身に付けることが重要であると考えられる。そのためには, 自らの競技レベルを超える負荷下におけるハンマーヘッド加速能力 (体力・技術を含む) を向上させるためのトレーニングを開発する必要があるものと考えられる。

そのトレーニング方法の 1 つとして, 通常の競技レベルよりも大きな遠心力下において,



ハンマーヘッド加速をすることのできる条件を作り出すことが可能となるハンマーヘッドへの負荷を可変することのできるレジスティッドトレーニング (Resisted training) が挙げられる。レジスティッドトレーニングは、試合運動に近縁的な運動に対して、外的負荷を増大させ運動を遂行するトレーニング方法であり、その競技に要求されるパワーや筋力を強化することを主たる目的としている。ハンマー投における高重量ハンマーを用いたレジスティッドトレーニングに関する研究では、ハンマーヘッドの重量の増加によってターン局面におけるハンマーヘッドに作用する力の増大が報告されている (Bartoniets, 1994 ; 広瀬ほか, 2015)。また、広瀬ほか (2016b) はハンマー投において高重量試技は正規重量試技と比較して、右足接地のタイミングが相対的に早くなることで、DSP をより回転の早期から開始させ、DSP 前半のハンマーヘッドが下方に移動する局面において、ハンマーヘッドを長い区間加速させていたことを報告している。このことから、ハンマーヘッドが HP から LP に移動する局面は、牽引力の発揮が要求されることから、これらの動作に対して特異的に負荷をかけることが可能なトレーニング方法であると述べている (広瀬, 2016a)。本研究においては、記録水準の高い競技者ほど右足接地時のタイミングが早く、Ron—LP におけるハンマーヘッド移動距離が長かったこと、また、この局面におけるハンマーヘッドスピード増加量が大きかったことが明らかになっている。このことは、高重量ハンマーを用いた際に生じるこの特徴は、記録水準の高い競技者のハンマーヘッド加速動作の特徴と類似している。室伏 (1994) は、ハンマーが右奥 (投擲方向側) から正面 (投擲方向に対して反対側) に移動する局面において、投擲方向に身体を移動させる「倒れ込み」を利用することでハンマーヘッドを効率的に加速させることができると述べている。さらに、本研究では HP—LP において体幹の後傾動作や身体の並進運動によって、ハンドル先行距離を獲得していたことを明らかにした。すなわち、高重量ハンマーを用いたトレーニングを行うことで、競技者が体感することのできる負荷の増大によって、自然に HP—LP におけるハンマーヘッド加速動作および技術を高めることが可能となると考えられる。また、広瀬ほか (2016a) は、高重量

ハンマーによる投擲は、ターン局面中全ての DSP における身体重心の投擲方向側への移動距離が有意に増大したことを報告している。このことから、DSP において投擲方向側への重心移動（倒れ込み）を伴いながら、より回転の早期から、長い区間ハンマーヘッドの加速を遂行する技術を習得するトレーニングとして有用であると述べている。本研究においては、身体の並進移動や体幹後傾動作がハンドル先行距離の獲得に影響することを明らかにした。このことから、高重量ハンマーによるトレーニングを行うことで、身体の並進移動を行うための能力を改善し、パフォーマンス改善のためのハンマーヘッド加速能力を向上させることが可能となるかもしれない。

しかしながら、高重量ハンマーにおけるレジスティッドトレーニングの欠点として、ターンの所要時間（DSP 所用時間も含む）が長くなることが挙げられる。広瀬ほか（2016b）は、男性競技者を対象に正規重量（7.26kg）と高重量（8.0kg）を扱った際のターン動作において、キネマティクスの観点から報告を行った。その結果、ターンの所要時間および DSP の所用時間が長くなったことを報告している。本研究で明らかにしたように、競技者はパフォーマンス向上の条件として、DSP において短い時間でハンドル先行距離を獲得する必要があることから、所用時間が長くなるレジスティッドトレーニングではこのことを達成することが難しいと考えられる。しかしながら、自らが体験することのできない外的負荷を加えることができることから、トレーニング方法の1つとして挙げることができよう。

運動の専門的なスピードや筋力を養成する方法として、運動遂行時にかかる空気抵抗や体重、用具の重量などの外的負荷を軽減させて行うものと、増大させて行うものがある。前者をスピード感、運動リズムやタイミングの改善を目指したアシスティッドトレーニングがある（村木，1994）。ハンマー投においては、正規の重量より軽いハンマーを投げる、またはワイヤーを短くするなどの方法があり（室伏，1994）、正規重量の投擲では達成することが難しい超最大スピード（Supra maximal speed）レベルでの運動遂行を実現することにより、ターン動作時におけるスピード感やリズム、タイミングを習得するために用いられてい

る。ハンマー投における軽量ハンマーについての先行研究では、ターン動作中の運動エネルギーが小さくなること (Bartoniets,1994)、正規重量より軽量である 6kg のハンマーを用いた場合ターン動作中の所用時間が減少すること (廣田, 2008) が報告されている。特に、廣田 (2008) の報告によると、ターン動作中における所用時間が短くなった理由として、全ての対象者において DSP の所用時間が短くなったことを挙げている。これらのことから、重量ハンマーおよび軽量ハンマーを用いたトレーニングを混合的に行うことで、競技者のパフォーマンス向上に必要とされる HP—LP におけるハンドル先行距離の獲得を大きい遠心力下において獲得できる体力および技術を身に付けること、DSP において短時間にハンマーを加速させる能力を向上させることができる可能性がある。また、適切な重量・ワイヤー長を用いることで、両条件を満たすトレーニングを実現できる可能性があると考えられる。

## 第 10 章 結論

本研究の目的は、ハンマー投のターン動作中に必要とされる身体動作技術についてバイオメカニクスの観点から明らかにし、ハンドル先行距離獲得からみたリリース時のハンマーヘッドスピードを大きくするための技術指導に対する示唆を得ることであった。10.1 から 10.3 において本研究で設定した課題に対する結論をまとめ、10.4 で技術指導に対する示唆を提示する。

### 10.1 ハンマーヘッドスピード増加に影響するハンドル先行距離獲得のための身体の動き

第 4 章において、ハンマーヘッドおよびハンドルのキネマティクスを基に両者の関係を幾何学的に検討し、ターン動作中のハンマーヘッドスピード増加に影響するハンドル先行距離の増減とハンドルの動きとの関係性について検討した。その結果、ハンドル先行距離は、回転平面上における法線方向のハンドル速度の増減パターンと一致していた。このことから、ハンマーヘッドスピードを増加させるためには、ある瞬間からハンドルを瞬間回転中心方向へ移動させ、ハンマーヘッドと瞬間回転中心を結ぶ線分よりハンドルを先行させる（ハンドル先行距離を獲得する）ことが必要となることが明らかになった。

さらに、ハンドル先行距離は、回転平面上における法線方向のハンドル速度の増減パターンと一致していることを利用して、第 5 章では関節の運動によって得られる身体遠位端の速度を 3 次元的に求める方法を用いて、ターン動作中の法線方向のハンドルの動きを生成するための身体動作について検討した。その結果、SSP 前半において体幹の長軸回転および体幹左右傾動作によって法線方向のハンドル速度が生成され、その後 HP 以降において肩関節の伸展動作、DSP では体幹後傾動作や身体の並進移動によって法線方向のハンドル速度が生成されていた。

以上のことから、ハンドル先行距離獲得のためには、ある瞬間に競技者が瞬間回転中心方

向へハンドルを牽引することで、結果的にハンドル先行距離が増加する。また、ハンドル先行距離を増加させるためには、SSP 前半において身体の回転動作および体幹左右傾動作によって獲得され、その後 HP 以降において肩関節の伸展動作に加え、身体の倒れ込み動作や身体の並進移動によって獲得することができることが明らかとなった。

## 10.2 ターン動作中の記録水準の高い競技者の身体の動きの特徴

第 6 章において、記録水準の異なる競技者のターン動作中の上肢・体幹の動きを検討した。記録水準の高い競技者ほど Ron—LP のハンマーヘッド移動距離およびハンマーヘッドスピード増加量が大きかった。また、記録水準の高い競技者ほど、水平面上における DSP および Ron—LP における身体の回転量および回転スピード、Ron—LP における水平面上の左右肩関節中心速度と体幹後傾速度の最大値、Ron—LP における肩関節伸展速度が大きかった。

第 7 章において、記録水準の異なる競技者の投擲記録とターン動作中の下肢の動きとの関係性を検討した。投擲記録の高い競技者ほど DSP 中の右足関節底屈角度変化量が小さかった。投擲記録の高い競技者ほど Roff2, Roff3, Roff4 においてより内転位であった。さらに、DSP 中の腰回転角速度増加量と右股関節内転角度変化量との関係性について検討すると、腰回転角速度増加量が大きい競技者ほど、DSP1 および DSP2 において、右股関節内転角度変化量が大きかった。

第 9 章において、身長と体重を抑制変数として投擲記録とターン動作中のキネマティクスとの偏相関関係について検討した。記録水準の高い競技者ほど、LP において左股関節が伸展し、体幹が後傾および左傾していたことが明らかとなった。

以上のことから、記録水準の高い競技者は Ron—LP のハンマーヘッド加速技術に特徴があることが明らかになった。加えて、DSP において右膝関節の屈曲および右足関節の底屈動作を小さくしながら股関節伸展動作を行うこと、右股関節内転動作を大きくし、Roff 時

により内転位にすること、ハンマーヘッドの遠心力が最も大きくなる LP において地面に対して身体を傾け、左股関節が伸展した姿勢をとることが高速下のターン動作を遂行するために必要とされる技術となる。

### 10.3 記録水準の違いによるハンドル先行距離獲得のためのハンドルおよび身体の動きについて

第 8 章において、異なる記録水準の競技者間におけるハンドル先行距離およびハンドル先行距離を獲得するための身体の動きについて検討した。ハンドル先行距離および法線方向のハンドル速度の変化パターンに関しては、記録水準による大きな差はみられなかった。しかしながら、Excellent 群は Normal 群と比較して、HP—LP において肩関節伸展動作および体幹後傾動作のスピードを大きくすることでハンドル先行距離を獲得していた。また、Excellent 群は Normal 群と比較して、回転平面座標系における接線方向のハンドル速度が大きかった。加えて、Excellent 群は Normal 群と比較して、体幹長軸まわりの動きによって生じた接線方向のハンドル速度が大きかった。

これらのことから、競技者のパフォーマンスを向上させるためには、ターン開始時点から身体の回転スピードを大きくすることで、接線方向のハンドル速度が大きい状態を維持できるようになること、ハンマーヘッドスピードが大きい条件下で、HP—LP 間のハンドル先行距離を獲得できるようになることが、HP—LP 間のハンマーヘッド移動距離の増大に繋がり、競技パフォーマンス向上に繋がると考えられる。さらに、高速下のターン動作中にハンドル先行距離を獲得できるようになるためには、HP—LP において肩関節伸展動作と体幹の後傾動作、すなわち身体の倒れ込み動作をより活用して、ハンドルを牽引することができるようになることが重要となるといえる。

#### 10.4 指導への示唆

競技者のパフォーマンスを向上させるためには、ハンマーヘッドスピードが大きい条件下で、Ron (HP) -LP でハンドル先行距離を獲得できるようになることが必要となる。そのためには、ターン動作中の身体の回転スピードを高く維持する能力、および大きい力発揮を行い、ハンドルを牽引する体力・技術が必要となる。また、Ron (HP) -LP においてハンドル先行距離を獲得し、ハンマーヘッドスピードを増加させるために、競技者は肩関節の伸展動作、身体の倒れ込み動作および身体の移動を利用して、瞬間回転中心方向にハンドルを牽引できるようになることが重要である。

指導現場では、両脚支持期 (DSP) のハンマーヘッド加速に着目した指導が行われることが多いが、ハンマーヘッドスピードが大きい条件下で、Ron (HP) -LP でハンドル先行距離を獲得できるようになるように指導することが必要となる。そのためには、ハンマーヘッド加速開始時のタイミングや身体重心の移動の改善に有効であるとされている正規ハンマーの重量を変更したレジスティッドトレーニングやターン動作中の回転スピード改善のために行われるアシスティッドトレーニングの併用が有効であると考えられる。

#### 10.5 今後の課題

本研究においては、指導書などで指摘されているハンマーヘッドスピードを増加させるための技術について、より詳細にハンマーヘッド加速をすべき局面の提示、またはハンマーヘッドを加速させるための技術に関して、キネマティクスの分析を通じて定量的にその関係性を示し、よい技術である理由を明確にできた。しかしながら、キネマティクスの分析の注意点、および手法の限界について、小池 (2012) はキネマティクス間の相関関係を統計的に導いたとしても、この関係は動きの結果同士の相関として導きだされたものであり、因果関係を意味するものではないと述べている。また、キネマティクスの分析を高速・高加速動作となるスポーツ動作に適用して、動作の力学的なしくみを説明しようとする際には注意

が必要であることも述べている。本研究で扱ったハンマー投は、この高速・高加速動作となるスポーツ動作の代表例となる。本研究は、関節の運動（関節角速度）によって得られる法線方向のハンドル速度の算出や投擲記録とキネマティクス変数との関係性からハンマーヘッド加速技術について運動学的に検討したものである。さらに、競技者のパフォーマンス向上のための技術を理解し、コツを得るためには、その動きが生じた要因を詳細に明らかにすることや、本研究で明らかになった身体の動きによってハンドル先行距離を獲得できるかについて、シミュレーションや実験による検証も必要となる。

スウィング動作のように多体系として動力的な相互作用によって加速が行われている系に対しては、入力である関節トルクだけでなく、遠心力項・コリオリ力項といった運動依存項が末端部の加速に大きく関与していることが明らかとされている（小池と石川，2009；小池ほか，2009；小池ほか，2010；橋口と小池，2013；Koike and Mimura, 2016；Koike et.al., 2019）。また，富永ほか（2021）や小池ほか（2022）は，ハンマー投においてハンマーヘッドスピード生成に対しては関節トルクや運動依存項の貢献が大きいことを明らかにしている。これらのことから，ハンマー投におけるハンマーヘッド加速動作は関節トルクや運動依存力による影響が大きく，これらの要因を考慮した分析が必要となると考えられ，本研究のようなキネマティクスのみ分析ではハンマーヘッド加速技術を定量的に評価することは困難であると考えられる。森と小池（2006）は，人間の動作は関節の回転運動により引き起こされる身体各セグメントの並進および回転運動の結果として発現すると述べている。この時，各セグメントは関節により連結されており，その運動は他のセグメントに影響を及ぼす。これらの運動は全て系の運動方程式に支配されているため，多体系の運動方程式に基づく分析を行うことは，走動作や投動作，跳躍動作といった複雑な多関節運動をより詳細に分析および理解する際に非常に有効となると述べている。また，Koike et al. (2019) は，多体系の運動方程式の解析式を用いて，スポーツ動作における評価量の生成要因を定量化する手法を提案し，運動依存項による貢献を，それを生み出している他の項（関節トルク，



外力，重力項）に帰着させる手法を提案し，運動依存項の発生要因を定量化している．さらに，富永ほか（2021）や小池ほか（2022）はハンマーヘッド加速技術を評価するため，上記の方法を用いて，ハンマーヘッドスピードの生成要因を定量化している．これらのことから，ハンマーヘッド加速技術を評価するためには，関節トルクだけでなく，運動依存項を介した間接的な貢献を考慮したハンマーヘッドスピード生成要因を定量化する多体系の運動方程式に基づく動力的な分析を行い，今後検討することが必要となる．

また，ターン速度が大きい条件下でハンマーヘッドを加速することのできる能力として記録水準の高い競技者の体力の特徴を明らかにすること，さらに，本研究で推察した即時および長期的なハンマー投におけるハンマーヘッド重量の変化によるレジスティッドトレーニングやアシスティッドトレーニングの併用が，ハンドル先行距離獲得のために必要とされる動作を習得するために有効であるか検討し，ハンマーヘッドスピードが大きい状況でリリースできるようになるための指導プログラムの作成のための知見を得る必要性があるう．

## 謝辞

本研究は、スポーツバイオメカニクス研究室に所属して以降、指導教員である藤井範久教授の長年のご指導と励ましのもとに行われたものです。多大なご迷惑をおかけしましたが、最後まで懇切丁寧なご指導、叱咤激励をし続けて頂きました。深く感謝するとともに、厚く御礼申し上げます。

高木英樹教授、小池関也教授、木越清信准教授、高松潤二教授には、ご多用中にもかかわらず何度も本論文をご精読頂き、有用なコメントを頂きました。深く感謝するとともに厚く御礼申し上げます。

阿江通良名誉教授には、私をバイオメカニクスの道に導いて頂いただけでなく、研究者、教育者としての在り方についてご教授頂きました。深く感謝するとともに厚く御礼申し上げます。

大山卞圭悟准教授には、他大学から研究生として迎え入れて頂き、その後修士課程で陸上競技研究室に所属し、修士論文の作成から博士論文の作成まで、投擲競技の指導者としての視点から多くのアドバイス、時にはくじけそうになったときにご相談に乗って頂くなど、精神的な面も含めて支えて頂きました。深く感謝するとともに厚く御礼申し上げます。

さらに、本研究の実験、論文作成にあたり多大な協力をしてくださった日本陸上競技連盟科学委員会、スポーツバイオメカニクス研究室および陸上競技研究室のメンバーの皆様、深く感謝致します。なお、本研究で用いた VTR は、日本陸上競技連盟科学委員会の活動の一環として収集されたものも使用させて頂きました。ここに記して感謝致します。

最後に、未熟な私を最後まで応援し、優しく見守り、支えてくれた両親および妻に感謝を申し上げます。

文献

Abdel-Azis, Y. I. and Karara, H. M. (1971) Direct linear transformation from computer coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry. Proceedings ASP UI Symposium on Close-range Photogrammetry, American Society of Photogrammetry: Falls Church, pp. 1-19.

阿江通良 (1996) 日本人幼少年およびアスリートの身体部分慣性係数. Japanese Journal of Sports Science, 15 : 155-162.

阿江通良, 藤井範久 (2002) スポーツバイオメカニクス 20 講. 朝倉書店, pp.29-30.

阿江通良, 湯海鵬, 横井孝志 (1992) 日本人アスリートの身体部分慣性特性の推定. バイオメカニズム, 11 : 111-121.

坂東美和子, 田辺智, 伊藤章 (2006) ハンマー投げ記録とハンマーヘッド速度の関係. 体育学研究, 51 (4) : 505-514.

Bartonietz, K. (1994) A biomechanical analysis of throws with different weight and length hammers. Modern Athlete and Coach, 32: 33-36.

Dapena, J. (1984) The pattern of hammer speed during a hammer throw and influence of gravity on its fluctuations. Journal of Biomechanics, 17 (8): 553-559.

Dapena, J. and Feltner, M. E. (1989a) Influence of the direction of the cable force and of the radius of the hammer path on speed fluctuations during hammer throwing. Journal of Biomechanics, 22:

565-575.

Dapena, J. and Feltner M. E. (1989b) A three-dimensional analysis angular momentum in the hammer throw. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 21: 206-220.

藤井宏明, 大山卞圭悟, 田内健二, 持田尚, 遠藤俊典, 末松大喜, 大宮真一 (2008a) ハンマー投における世界一流選手と日本一流選手のバイオメカニクス的分析 (日本陸連科学委員会研究報告). *陸上競技研究紀要*, 4 : 128-132.

藤井範久, 小山陽平, 阿江通良 (2008b) ハンマー投げにおけるハンマーヘッド加速に関する研究—力学的観点からの再検討—. *バイオメカニクス研究*, 12 (4) : 230-242.

藤井範久, 小山陽平, 阿江通良 (2010) ハンマー投ターン局面におけるハンマーヘッド加速技術の研究—ハンマーヘッド加減速パターンの違いに着目して—. *体育学研究*, 55 (1) : 17-32.

Gutierrez-Davila, M., Soto, V. M. and Rojas-Ruiz, F. J. (2002) A biomechanical analysis of the individual techniques of the hammer throw finalist in the Seville Athletics World Championship 1999. *New Studies in Athletics*, 17(2): 15-26.

Gutierrez-Davila, M. and Rojas-Ruiz, F. J. (2005) Comparative biomechanical analysis between hammer throwers of different performance levels. *Journal Human Movement Studies*, 49 (1): 31-47.

橋口友洋, 小池関也 (2013) バドミントン・スマッシュ動作のヘッドスピード獲得メカニズムにおけるラケットシャフト部のしなりの影響. 日本機械学会スポーツ工学シンポジウム講演論文集, 17-22.

林忠男 (2015) ハンマー投における投射角と選手の身長に関する研究. 日本体育大学紀要, 45 (1), 53-60.

広瀬健一 (2016a) ハンマー投におけるレジスティッドトレーニングの特性およびトレーニングの有効性の検討. 筑波大学大学院人間総合科学研究科コーチング学専攻博士論文.

広瀬健一, 大山卞圭悟, 藤井宏明, 青木和浩, 尾縣貢 (2015) ハンマー投におけるレジスティッドトレーニングの負荷特性 —高重量ハンマーによる投てきに着目して—. コーチング学研究, 29 (1) : 31-40.

広瀬健一, 大山卞圭悟, 藤井宏明, 青木和浩, 尾縣貢 (2016b) ハンマー投における高重量ハンマーによる投てきのキネマティクスの特性: レジスティッドトレーニングとしての利用法の検討. 体育学研究, 61 : 75-89.

広瀬健一, 大山卞圭悟, 前田奎, 梶谷亮輔, 山元康平, 中野美沙, 木越清信, 尾縣貢 (2016c) ハンマー投のターン動作と投てき記録との関係. 陸上競技研究, 105 : 24-29.

廣田知穂 (2008) ハンマー投げにおけるヘッド重量の変化が投動作に及ぼす影響 —軽量ハンマーの使用に着目して—. 筑波大学体育研究科研究論文集.

Hunter, I. and Killgore, G. (2003) Release velocity and angle in men's and women's hammer throw. *Track Coach*, 162: 5180-5182.

池上康男, 櫻井伸二, 岡本敦, 植屋清美, 中村和彦 (1994) ハンマー投のバイオメカニクス的研究. 日本陸上競技連盟強化本部バイオメカニクス研究班編, 世界一流競技者の技術, 第3回世界陸上競技選手権大会バイオメカニクス班報告書. ベースボール・マガジン社, pp. 240-256.

Isele, R. and Nixdorf, E. (2010) Biomechanical analysis of the hammer throw at the 2009 IAAF World Championships in Athletics. *New Study in Athletics*, 25 3/4: 37-60.

伊藤章, 市川博啓, 斎藤昌久, 佐川和則, 伊藤道郎, 小林寛道 (1998) 100m中間疾走局面における疾走動作と速度との関係. *体育学研究*, 43 (5-6) : 260-273.

金子今朝秋 (1988) 陸上競技指導教本 種目別実技編. 日本陸上競技連盟, 大修館書店, pp.235-248.

小池関也 (2012) 動作分析のための各種解析手法. 日本機械学会スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス講演論文集, 17-22.

小池関也, 石川達也 (2009) 身体動作の順動力学的分析における運動依存項の関節トルク項への帰着. 日本機械学会ジョイント・シンポジウム 2009 講演論文集, 355-360.

Koike, S., Ishikawa, T., Alexander P. Willmott, Neil E. Bezodis (2019) Direct and

indirect effects of joint torque inputs during an induced speed analysis of a swinging motion. *Journal of Biomechanics*, 86: 8-16.

小池関也, 石川達也, 藤井範久, 阿江通良 (2010) テニスサーブ動作におけるラケット速度生成に対する上肢筋張力の貢献. 日本機械学会スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス講演論文集, 66-71.

小池関也, 川村卓, 阿江通良 (2009) 野球打撃動作におけるヘッドスピード生成に対する上肢関節の順動力学的貢献. 日本機械学会 Dynamics and Design Conference2009 講演論文集 (CD-ROM).

Koike, S., Mimura, K. (2016) Main contributors to the baseball bat head speed considering the generating factor of motion-dependent term. *Procedia Engineering*, 147: 197-202.

小池関也, 森洋人, 阿江通良 (2006) 多体系の運動方程式に基づく跳躍運動の動力学的分析 (身体重心鉛直速度に対する下肢関節トルクの貢献度). 日本機械学会ジョイント・シンポジウム 2006 講演論文集, 17-22.

小池関也, 富永天平, 井村祥子, 大山卞圭悟 (2022) 陸上ハンマー投げ動作の順動力学的貢献分析による国内一流競技者のヘッドスピード獲得技術の抽出. 第 28 回日本バイオメカニクス学会大会論文集 2022.

Kumar, S., Yogesh, N. and Doug, G. (2002) Isometric axial rotation of the human trunk from pre-

rotated postures. *European Journal of Physiology*, 87: 7-16.

Miller, D. I. (1975) "Computer simulation of human motion," in Whitng, H.T.A. (Ed.), *The human movement series, Technique for the analysis of human movement*, Lepus Books: London, pp.74-87.

宮西智久, 藤井範久, 阿江通良 (1996) 野球の投球動作におけるボール速度に対する体幹および投球腕の貢献度に関する 3 次元的研究. *体育学研究*, 41 (1) : 23-37.

村木征人 (1994) *スポーツトレーニング理論*. ブックハウス HD, pp.118-128.

Murofushi, K., Sakurai, S., Umegaki, K. and Kobayashi, K. (2005) Development of a system to measure radius of curvature and speed of hammer head during turns in hammer throw . *International Journal of Sport and Health Science*, 3: 116-128.

Murofushi, K., Sakurai, S., Umegaki, K. and Takamatsu, J. (2007) Hammer acceleration due to thrower and hammer movement patterns. *Sports Biomechanics*, 6 (3): 301-314.

室伏重信 (1994) ハンマー投げ. *ベースボール・マガジン社*, pp.27-50.

室伏重信, 齊藤昌久, 湯浅景元 (1982) ハンマー投げのバイオメカニクス的研究-投射時におけるハンマー頭部の初速度・投射角・投射高が飛距離に及ぼす影響-. *中京体育学研究*, 21 (3) : 38-43.



尾縣貢（1990）実戦陸上競技フィールド編．大修館書店，pp.189-191．

岡本敦（2007）ハンマー投げの牽引力に体重が与える影響．環境経営研究所年報，6：51-53．

岡本敦，池上康男，桜井伸二（2005）日本陸上競技連盟バイオメカニクス研究班 男子一流  
ハンマー投げ選手のバイオメカニクスの分析．陸上競技研究紀要，1：163-166．

岡本敦，桜井伸二，池上康男（2006）ハンマー投の科学．陸上競技学会誌，12：105-111．

岡本敦，桜井伸二，池上康男，若山章信，宮西智久，川村卓，只左一也（1997）アジア大会  
におけるハンマー投げのバイオメカニクスの分析．日本陸上競技連盟監修 アジア一流  
陸上競技者の技術：第12回広島アジア大会陸上競技バイオメカニクス研究報告．創文企  
画：東京，pp,193-190．

太田憲，梅垣浩二，室伏広治，羅志偉（2009）振子モデルによるハンマー投運動の解析．日  
本機械学会ジョイント・シンポジウム 2009 講演論文集，447-452．

太田憲，梅垣浩二，室伏広治，羅志偉（2010）二重振子のパラメータ励振原理によるハンマ  
ー投運動の数理解析 スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス講演論文集，319-  
324．

Otto, R. M. (1991) A kinematic analysis of Yury Sedikh's world record hammer throw. *Modern Athlete  
and Coach*, 29: 3-7.

Pavlovic, R. (2020) Biomechanical analysis hammer throw : the influence of kinematic parameter on the results of finalist world championships. *American Journal of Sports Science and Medicine*, 8 (2): 36-46.

Rojas-Ruiz, F. J. and Gutierrez-Davila, M. (2009) The relation between angular displacement of the hammer in the double support phase and its velocity in the hammer throw. *Journal of Human Sport and Exercise*, 4 (3): 254-261.

桜井伸二 (2004) ハンマー投. *スポーツバイオメカニクス*. 深代千之ほか編, 朝倉書店, pp. 36-38.

Sara, MB., Kevin, FN., Yvette, LE., Doug, R. and Lawrence WJ. (2018) Analysis of the separation angle between the thorax and pelvis, and its association with performance in the hammer throw. *International Journal of Sports Science and Coaching*, 13 (6): 993-1000.

Sprigings, E., Marshall, R., Elliott, B., and Jennings, L. (1994) A Three-dimensional kinematic method for determining the effectiveness of arm segment rotations in producing racquet-head speed. *Journal of Biomechanics*, 27 (3): 245-254.

田内健二, 藤井宏明 (2009) ハンマー投げ一回す力, 飛ばす力. *体育の科学*, 59 (6) : 396-402.

富永天平, 井村祥子, 野中愛里, 小池関也 (2021) ハンマー投における全身モデルに対するハンマーヘッドスピード生成要因の定量化 (運動依存項の帰着法の検討). *日本機械学会*

スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス講演会 2021 抄録集.

梅垣浩二, 室伏広治, 藤井宏明, 桜井伸二, 田内健二 (2010) 世界陸上大阪大会の男・女ハンマー投上位 8 名のバイオメカニクスの特徴. 日本陸上競技連盟バイオメカニクス研究班編, 世界一流競技者のパフォーマンスと技術, 第 11 回世界陸上競技選手権大阪大会, 日本陸上競技連盟バイオメカニクス研究班報告書. 日本陸上競技連盟, pp.201-211.

梅垣浩二, 室伏広治, 太田憲, 桜井伸二 (2012) ハンマー投における身体重心-ハンマー間の相対運動. スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス講演論文集 2012, 265-270.

碓井崇, 大山卞圭悟, 永井純 (2000) ハンマー投ターン動作における右脚の筋活動. 陸上競技研究, 41 (2) : 29-32.

湯浅景元, 奥山秀雄, 室伏重信, 斉藤昌久 (1984) ハンマー投げのバイオメカニクスの特性. 体育の科学, 34 (4) : 319-322.

Wells, R. P. and Winter, D. A. (1980) Assessment of signal and noise in the kinematics of normal, pathological and sporting gaits. Proceedings of the special conference of the Canadian society for biomechanics, London, Ontario, Canada, Human Locomotion, 92-93.

Winter, D. A. (2004) Biomechanics and Motor Control of Human Movement (third edition). John Wiley and Sons, pp.49-50.

