

[原 著]

## サッカーの「止めて蹴る」技術に関するバイオメカニクス研究

房野 真也<sup>1</sup>・森木 吾郎<sup>1</sup>・丸山 啓史<sup>2</sup>・吉田 卓史<sup>3</sup>・若井 研治<sup>4</sup>・磨井 祥夫<sup>4</sup>

### Biomechanics research on the technique to “stop and kick” a soccer ball

Shinya BONO, Goro MORIKI, Keishi MARUYAMA, Takashi YOSHIDA,  
Kenji WAKAI, and Sachio USUI

#### Abstract

Basic techniques used in soccer include “stopping, kicking, and dribbling” the ball. The technique of “stopping” the ball is used to not only reduce the speed of the moving ball, but also control and move it to a position where the player can start the next move smoothly. The present study aimed to examine the characteristics of the technique of “stopping” the ball and the following kicking actions. The subjects were 12 male college soccer players, and they were asked to perform two types of side-foot kick: “stop and kick” the ball coming from the right front and kicking a ball placed on the ground. The college students kicked the ball aiming at a mark nine meters away from them. An optical motion capture system was used to videotape their performances, and the results were as follows: 1) The first speed of the ball and swing speed when the two types of side-foot kick were performed were similar. 2) There was no difference in the hip joint angle of the kick leg. 3) Under the two conditions, the players pulled back their right shoulder and did not twist their waist. 4) In the right ball, the trunk was twisted very quickly just before the impact. 5) When they kicked the ball coming from the right, their bodies were facing that direction.

#### Keywords

サッカー, インサイドキック, 「止めて蹴る」技術 Soccer, side-foot kick, technique of “stop and kick” the ball

### 1. 研究目的

サッカーの基本技術はボールを「止める, 蹴る, 運ぶ」である。「止める」技術は, 動いているボールの勢いを打ち消すだけでなく, 次のプレーに移行しやすいところにボールをコントロールする技

術である<sup>1)</sup>。

これまでサッカーにおけるバイオメカニクス研究は, 「蹴る」技術を中心に数多くなされている<sup>2), 3), 4), 5), 6), 7), 8)</sup>。一方, 「止める」技術に着目した研究は, 「蹴る」に関する研究に比べると圧倒的に少ない。吉嶺ら<sup>9)</sup>は, グラウンダーのパスに対する正確

<sup>1</sup> 広島文化学園大学 人間健康学部 Hiroshimabunkagakuen University, Faculty of Human Health Science

<sup>2</sup> 呉工業高等専門学校 人文社会系分野 Kure National College of Technology, Humanity and Social Sciences

<sup>3</sup> 福山大学 経済学部 Fukuyama University, Faculty of Economics

<sup>4</sup> 福山平成大学 福祉健康学部 Fukuyama Heisei University, Faculty of Welfare and Health Science

な「止める」動作について検討し、成功試技よりも失敗試技のほうがボールと足部のボールインパクト位置にばらつきがあることを明らかにした。伊賀ら<sup>10)</sup>は、クッションコントロール時の下肢動作について検討し、熟練者は、足速度とボール速度は、接触後急速に減速し、その速度変化は指数関数的曲線になることを明らかにした。

これらの研究によって、「止める」技術の特徴の一部が明らかにされている。しかしながら、腰部の回旋などについては未だ明らかにされていないことが多い。

そこで本研究では、「止める」技術及びその後のキック動作の特徴を明らかにすることを目的とした。この目的を達成するために、静止したボールをキックする動作と比較することで、「止めて蹴る」動作の特徴を検討した。

## 2. 研究方法

### 2.1. 被験者

被験者は、中国大学リーグ上位チームに所属する男子大学サッカー部員12名とした。被験者は年齢 $20.8 \pm 1.5$ 歳、身長 $172.3 \pm 4.8$ cm、体重 $64.8 \pm 5.4$ kg、サッカー競技歴 $11.8 \pm 1.5$ 年であった。被験者には事前に実験の主旨を説明し、実験協力への同意を得た。キックしやすい脚を利き脚と定義すると、被験者は全員右脚が利き脚であった。全ての被験者は、10年以上の競技経験により、難易度の高い、動いているボールをキックする技術を習得していた。

### 2.2. 実験条件

一定速度でボールを供給するため、2本のレールからなる高さ1.75mのボールマシンを自作した。このボールマシンをキック地点から約3m離れた位置に設置した。ボールがグラウンダーで2m転がったキック地点におけるボール速度は、 $3.09 \pm 0.17$ m/s (n=12)であった。ボールマシンからボールが動き出してからキック地点に達するまでの時間は $1.64 \pm 0.05$ s (n=12)であった。被験者は、

ボールの動き出しからキックまでボールの動きを目で追い、タイミングを計って助走を開始した。このボールマシンを用いたキックに十分慣れた後に本試技を行った。被験者には、的を狙ってキックするように指示したが、ボールスピードについての指示は行わなかった。

実験の設定をFig. 1に示す。ボールマシンから配給されたグラウンダーボールを右足のインサイドでコントロールした後、右足のインサイドキックでキック地点から約9m前方に設置した1m四方の的を狙って蹴るように指示した。全ての被験者はボールコントロールとキックの課題動作を次のように行った。左足接地、右足でボールタッチ(ボールコントロール)、右足接地、左足接地、右足でボールをキック。本研究では、床上に静止したボール条件(以下、静止ボールと略す)及び、右前方から転がってくるボール条件(以下、右ボールと略す)の2条件とした。

各被験者で、キックされたボールが的に当たった試技が少なくとも3試技になるまで試行を継続した。的に当たった確率は、静止ボールでは $90.4 \pm 14.1\%$  (n=12)、右ボールでは $63.2 \pm 21.2\%$  (n=12)であった。分析対象試技は、被験者後方より撮影した映像データにより、的に当たった3試技の中で、的の中央に最も近い1試技とした。

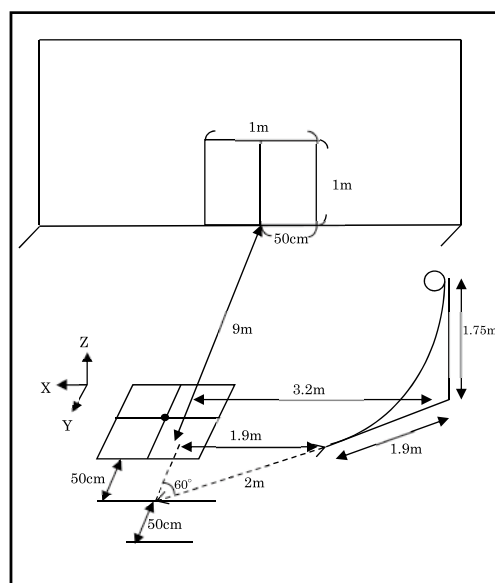


Fig. 1 Pattern diagram of experiment

### 2.3. 撮影方法

撮影には光学式モーションキャプチャシステム (Vicon 512E; Oxford Metrics Inc.) を用いた。同期した赤外線カメラ6台を用い、サンプリングは120fpsとした。撮影範囲は約3m (左右方向) × 6m (前後方向) とし、身体については助走からインパクト後に蹴り脚が床に着くまで、ボールについてはインパクト前後2.5～3mを撮影した。また、身体とボールにリファレンスマーカー (直径25mm) を貼付した。マーカー貼付部位は、身体の左右について、第2中足骨頭、足関節外果、踵部、腓骨中央 (両骨端中点)、大腿骨外側顆、大腿骨内側顆、大転子、上前腸骨棘、上後腸骨棘、肩峰、上腕骨外顆、尺骨茎状突起、および橈骨茎状突起とし、さらに左足関節内果、第7頸椎、第10胸椎、胸骨下端とした。また、ボール表面上の2点に、2点間の距離がボールの直径と等しくなる位置にマーカーを貼付けた。それぞれのカメラ画像上の身体部位を、Vicon付属ソフト (Body Builder; Oxford Metrics Inc.) を使用して、3次元の座標データ (x, y, z) に変換した。変換した3次元データを動作分析ソフトウェア (Frame-DIAS V, DKH, Japan) にインポートし、角度を算出した。平坦な床上で、的から7m地点を原点とし、的に向かい、後方をy軸正方向、左方をx軸正方向、上方をz軸正方向とした。取得した3次元位置データは、12Hzの4次Butterworthローパスフィルタを用いて平滑化を行った。なお、インパクトのフレーム同定は平滑化前に行った。分析対象とした時間帯は、静止ボールでは、軸脚接地時点 (以下、L-onと略す) からボールインパクト (以下、Impと略す) までの時間、右ボールでは、ボールコントロール動作のボールと足部の接触時点 (以下、Bcと略す) からImpまでとした。

### 2.4. 測定項目

測定項目は下記の項目とした。

#### 1) ボールの変量

ボール初速度: Imp後5コマのボール中心の平均速度

#### 2) 蹴り足の変量

蹴り足スイング速度: Imp直前の5コマの、蹴り脚足部質量中心の平均速度、インパクト位置: ボール中心に対する蹴り脚足部質量中心のx軸及びz軸位置 (x軸方向は進行方向に対してボール中心より左方向を正、z軸方向はボール中心より上方向を正)

#### 3) 蹴り脚の変量

蹴り脚股関節角度: 蹴り脚大転子と右肩峰を結んだベクトルと、蹴り脚大転子と蹴り脚大腿骨外顆を結んだベクトルとのなす角度、蹴り脚膝関節角度: 蹴り脚大腿骨外顆と蹴り脚大転子を結んだベクトルと、蹴り脚大腿骨外顆と蹴り脚外果を結んだベクトルとのなす角度、蹴り脚足関節角度: 蹴り脚足関節外果と蹴り脚大腿骨外顆を結んだベクトルと、蹴り脚足関節外果と第2中足骨頭を結んだベクトルとのなす角度

#### 4) 軸脚の変量

軸脚膝関節角度: 軸脚大腿骨外顆と軸脚大転子を結んだベクトルと、軸脚大腿骨外顆と軸脚外果を結んだベクトルとのなす角度

#### 5) 体幹の変量

腰回旋角度: 左右大転子を結んでxy平面に投影したベクトルと、x軸とのなす角度 (左大転子が進行方向に対して前方の場合正)、肩回旋角度: 左右肩峰を結んでxy平面に投影したベクトルと、x軸とのなす角度 (左肩峰が進行方向に対して前方の場合正)、体幹ひねり角度: 左右大転子を結んでxy平面に投影したベクトルと、左右肩峰を結んでxy平面に投影したベクトルのなす角度 (右大転子が進行方向に対して右肩峰より前方の場合正)

#### 6) 動作時間

静止ボールの動作時間: L-onからImpまでの時間  
右ボールの動作時間: BcからImpまでの時間

### 2.5. 統計処理

各変量は平均値±標準偏差で表した。静止ボールと右ボールの比較には、関連2群間t検定を行った。時系列変量は、右ボールではBcからImp

までの時間を100%として規格化した。また、右ボールにおける80%timeが各被験者のL-onにあたることから、静止ボールでは、80%timeから100%timeに規格化した。時系列データの静止ボール及び右ボールの比較には、代表値（L-on, Imp）を選び、関連2群間t検定を行った。有意水準は5%未満とした。統計処理はSPSS. 12.0J for Windowsで行った。

### 3. 結果

#### 3.1. 動作時間, ボール初速度, スイング速度

静止ボールの動作時間は $0.150 \pm 0.032s$ 、右ボールの動作時間は $1.124 \pm 0.158s$ であった。右ボールのL-onからImpまでは $0.166 \pm 0.022s$ であった。

ボール初速度は、静止ボールで $10.6 \pm 0.8m/s$ 、右ボールで $11.3 \pm 1.3m/s$ であった。ボール初速度に有意差は認められなかった。

スイング速度は、静止ボールで $15.3 \pm 1.7m/s$ 、右ボールで $14.9 \pm 1.7m/s$ であった。ボール初速度に有意差は認められなかった。

#### 3.2. インパクト位置

インパクト位置について、x軸方向は、静止ボールで $29.5 \pm 24.0mm$ 、右ボールで $46.4 \pm 30.9mm$ であった。x軸方向に有意差は認められた ( $p < .05$ )。

z軸方向は、静止ボールで $-24.8 \pm 40.5mm$ 、右ボールで $-28.8 \pm 16.0mm$ であった。z軸方向に有意差は認められなかった。

#### 3.3. 蹴り脚のスイングに関する動き

蹴り脚股関節角度についてFig. 2に示した。右ボールのBcでの角度は、 $128.0 \pm 9.4^\circ$ であった。L-onでの角度は、静止ボールでは、 $158.9 \pm 5.6^\circ$ 、右ボールでは、 $157.4 \pm 4.9^\circ$ であり、有意差は認められなかった。Impでの角度は、静止ボールでは、 $124.1 \pm 6.3^\circ$ 、右ボールでは、 $133.4 \pm 6.1^\circ$ であり、有意差は認められなかった。いずれの条件においてもL-onからImpに向けて屈曲位を示していた。

蹴り脚膝関節角度についてFig. 3に示した。右

ボールのBcでの角度は、 $140.9 \pm 9.6^\circ$ であった。L-onでの角度は、静止ボールでは、 $119.9 \pm 11.8^\circ$ 、右ボールでは、 $123.2 \pm 10.5^\circ$ であり、有意差は認められなかった。Impでの角度は、静止ボールでは、 $114.4 \pm 9.0^\circ$ 、右ボールでは、 $128.9 \pm 9.5^\circ$ であり、有意差は認められなかった。いずれの条件においてもL-onから屈曲し始め、その後Impに向けて伸展していた。

蹴り脚足関節角度についてFig. 4に示した。右ボールのBcでの角度は、 $94.1 \pm 10.5^\circ$ であった。L-onでの角度は、静止ボールでは、 $117.8 \pm 10.5^\circ$ 、右ボールでは、 $121.4 \pm 12.6^\circ$ であり、有意差は認められなかった。Impでの角度は、静止ボールでは、 $98.1 \pm 5.9^\circ$ 、右ボールでは、 $99.8 \pm 5.1^\circ$ であり、有意差は認められなかった。

#### 3.4. 体幹・蹴り脚のひねりに関する動き

腰回旋角度についてFig. 5に示した。右ボールのBcでの角度は、 $53.8 \pm 13.6^\circ$ であった。L-onでの角度は、静止ボールでは、 $22.8 \pm 3.6^\circ$ 、右ボールでは、 $29.6 \pm 5.8^\circ$ であり、有意差が認められた ( $p < .001$ )。Impの角度は、静止ボールでは、 $30.1 \pm 5.7^\circ$ 、右ボールでは、 $31.7 \pm 7.5^\circ$ であり、有意差が認められた ( $p < .001$ )。右ボールでは、Bcから60%timeまで水平面における反時計回りの回旋が見られた。

肩回旋角度についてFig. 6に示した。右ボールのBcでの角度は、 $52.6 \pm 10.3^\circ$ であった。L-onでの角度は、静止ボールでは、 $4.5 \pm 3.7^\circ$ 、右ボールでは、 $15.4 \pm 6.4^\circ$ であり、有意差が認められた ( $p < .001$ )。Impでの角度は、静止ボールでは、 $25.0 \pm 8.7^\circ$ 、右ボールでは、 $34.9 \pm 6.9^\circ$ であり、有意差が認められた ( $p < .01$ )。右ボールでは、Bcから80%timeまで水平面における反時計回りの回旋がみられ、その後、Impに向けて時計回りの回旋を行った。

体幹ひねり角度についてFig. 7に示した。右ボールのBcでの角度は、 $-1.2 \pm 9.1^\circ$ であり、L-onでの角度は、静止ボール、 $-18.3 \pm 5.3^\circ$ 、右ボールでは、 $-14.1 \pm 4.5^\circ$ であり、有意差が認められた ( $p < .05$ )。Impでの角度は、静止ボールでは、 $-5.1 \pm$

8.2°, 右ボールでは,  $3.2 \pm 8.8^\circ$  であり, 有意差が認められた ( $p < .05$ )。いずれの条件においても L-on あたりで最小値がみられ, その後, Imp に向けて増加していた。

### 3.5. 軸脚の動き

軸脚膝関節角度について Fig. 8 に示した。右ボールの Bc での角度は,  $151.5 \pm 10.9^\circ$  であった。L-on での角度は, 静止ボールでは,  $158.0 \pm 8.6^\circ$ , 右ボールでは,  $161.8 \pm 7.4^\circ$  であり, 有意差は認められなかった。Imp での角度は, 静止ボールでは,  $135.3 \pm 6.3^\circ$ , 右ボールでは,  $136.4 \pm 8.9^\circ$  であり, 有意差は認められなかった。いずれの条件においても L-on あたりから 90%time まで伸展位に移行し, Imp 直前まで再び屈曲していた。

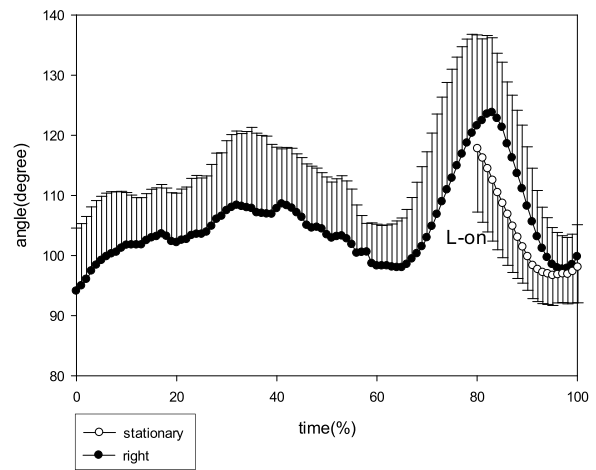


Fig. 4 Foot angle of kicking leg

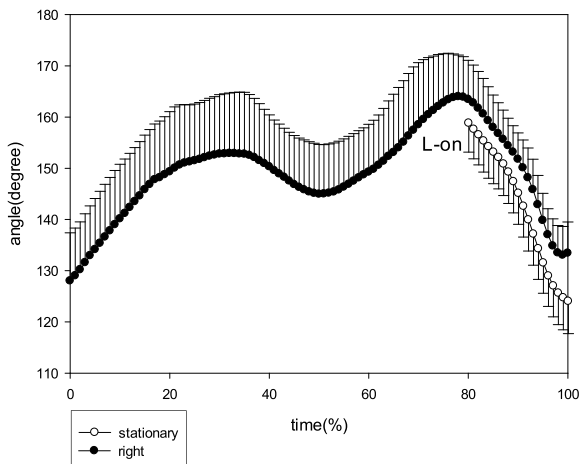


Fig. 2 Hip angle of kicking leg

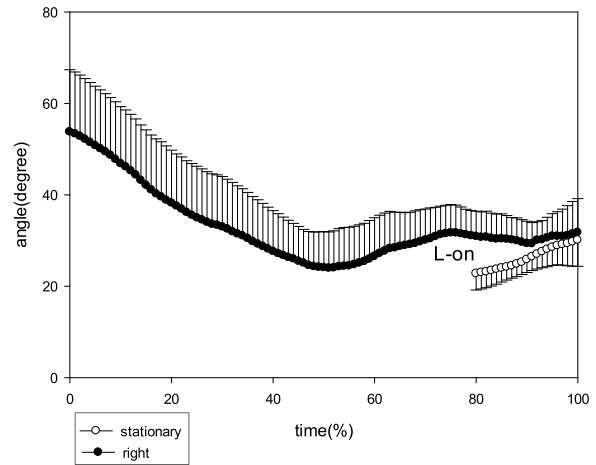


Fig. 5 Hip rotation angle

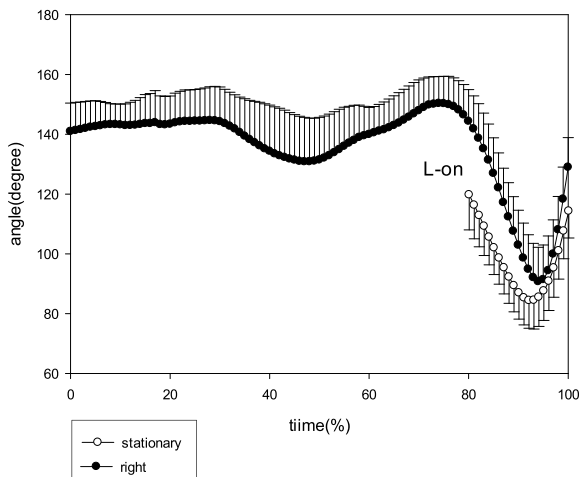


Fig. 3 Knee joint angle of kicking leg

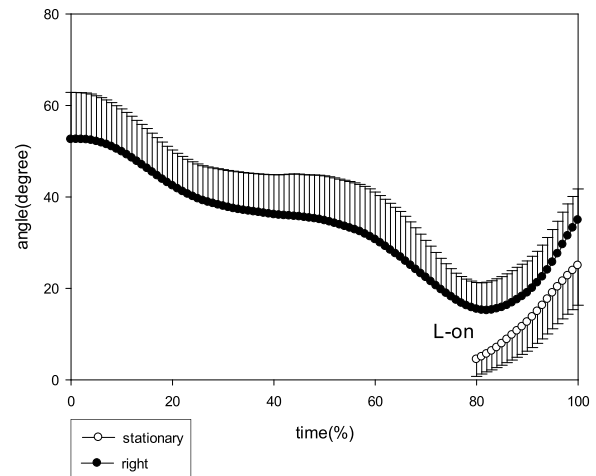


Fig. 6 Shoulder rotation angle

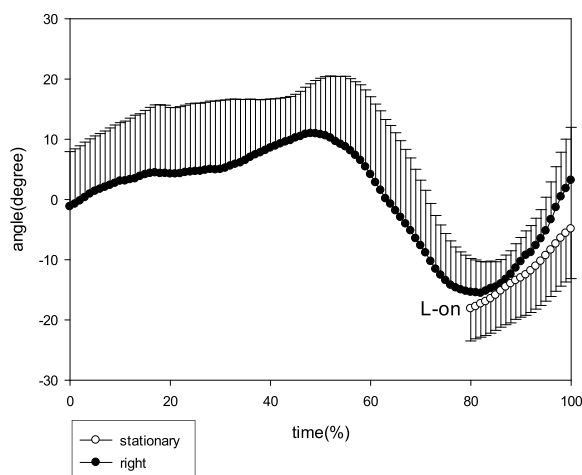


Fig. 7 Twist of trunk

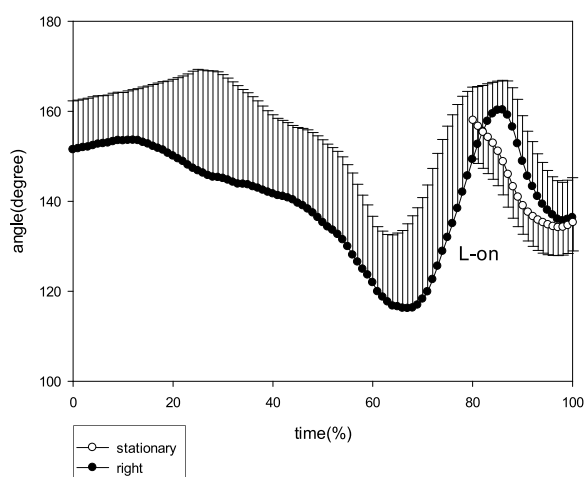


Fig. 8 Knee joint angle of supporting leg

## 4. 考察

### 4.1. ボール初速度，スイング速度

ボール初速度とスイング速度は、どちらも有意差が認められなかった。このことから、静止ボールと右ボールでの力の発揮は同程度であったと考えられた。

### 4.2. 蹴り脚のスイングに関する動き

蹴り脚股関節角度、蹴り脚膝関節角度、蹴り脚足関節角度 (Fig. 2, 3, 4) については、静止ボールと右ボールのL-onからImpにおいてそれぞれ類似した波形を示した。また、代表値 (L-on, Imp) においても、有意差はみられなかった。したがって、静止ボールと右ボールにおける蹴り脚のスイ

ング動作は同様な動きであると考えられた。

### 4.3. 体幹・蹴り脚のひねりに関する動き

効果的なキック動作を生み出すためには、体幹・蹴り脚のひねりに関する動きが重要である<sup>11),12),13)</sup>。腰回旋角度 (Fig. 5) について、先行研究<sup>3)</sup>で報告されているインサイドキックにおける腰回旋角度と比較すると、両条件とも同様の値を示したが、右ボールの角度の方が静止ボールより大きくなっていった。このことから、右ボールのキック動作では、静止ボールに比べ、体幹部分をボールが供給される方向に向けたままキック動作を行っていることがわかった。

また、肩回旋角度 (Fig. 6) の結果から、静止ボール、右ボールでは、両条件とも、Imp直前では腰の回旋動作をほとんどは行わずに、肩を捻る動作 (右肩を引く) を行っていた。また、体幹ひねり角度 (Fig. 7) の波形が類似していることからわかるように、体幹の捻りは両条件とも同様に使われており、これは蹴り脚を前方に振り出すためのカウンターバランス (下半身の回転を上半身で相殺) であると考えられた。右ボールでは、インパクト直前 (90%timeからImp) に、体幹をより大きく速く捻っていた。さらに、右ボールの肩回旋角度は、静止ボールに比べ、大きい値を示していた。このことは、右ボールでは、腰部に加え肩部もボールが供給される方向に向けたままキック動作を行っていることがわかった。

### 4.4. 軸脚の動き

北湯口ら<sup>14)</sup>よるとキック動作において、熟練者ほど、軸足を強く踏み込む動作を行っている。このことから、キック動作において軸足の踏み込みは、重要な要因であると考えられる。軸脚膝関節角度 (Fig. 8) の結果から、静止ボール、右ボールともに、L-onからImpまでの角度変化に大きな差は見られなかった。この結果から、異なる条件におけるキック動作であっても軸足の動きは同じであり、正確なキックを行うためには蹴り脚や体幹の動きを操作する技術が求められることが示唆

された。

## 5. 結論

本研究では、「止める」技術及びその後のキック動作の特徴を明らかにすることを目的とした。大学サッカー部に所属する大学生男子12名を対象とし、右前方から転がってくるボール（右ボール）に対するインサイドでの「止める」技術及びインサイドキック動作と、床上に静止したボール（静止ボール）のインサイドキック動作を比較したところ、以下の結果が得られた。

- 1) ボール初速度, スイング速度は同程度であった。
- 2) 蹴り脚の股関節角度には差がみられなかった。
- 3) 両条件とも、腰の回旋動作をほとんどは行わずに、肩を捻る動作（右肩を引く）を行っていた。
- 4) 右ボールでは、インパクト直前に体幹を大きく速く捻っていた。
- 5) 右ボールのキック動作は、ボールが供給される方向に向けたままキック動作を行っていた。

## 付記

本研究は、JSPS科研費17K13169の助成を受けたものである。

## 引用文献

- 1) 川本竜史・森谷志織 (2016) 女子サッカー選手によるインサイドボールコントロールに関するバイオメカニクス研究～競技年数に基づく比較検討～。バイオメカニクス研究, 20:164-175。
- 2) 布目寛幸・松永一成・山本博男 (1997) 球種別にみたフリーキック動作の3次元動作分析－日本人一流競技者の事例的研究－。Japanese journal of sports sciences, 16:105-110。
- 3) Nunome, H., Asai, T., Ikegami, Y., and Sakurai, S. (2002) Three-dimensional kinetic analysis of side-foot and instep soccer kick. *Medicine and Science in Sports Exercise*, 34:2028-36。
- 4) 下野智史・磨井祥夫・高橋和文 (2005) サッカーにおける直接FKの動作解析－トップスピンをかけるためのキック技術－。広島体育学研究, 31:25-33。
- 5) 下野智史・塩川満久・高橋和文・磨井祥夫 (2007) ボールの回転軸に着目した直接フリーキックにおける3次元動作解析。バイオメカニクス研究, 11:25-37。
- 6) Shinkai, H., Nunome, H., Isokawa, M., and Ikegami, Y. (2009) Ball impact dynamics of instep soccer kicking. *Medicine and Science in Sports Exercise*, 41:889-897。
- 7) 尾崎宏樹・角南俊介・石井秀幸 (2010) フットサルにおける下肢キック動作の運動学的解析。スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス講演論文集, 188-191。
- 8) 房野真也・塩川満久・沖原謙・磨井祥夫・奥田知靖・丸山啓史・黒川隆志 (2013) サッカーにおけるグラウンダーボールのキック動作解析。コーチング学研究, 26:167-176。
- 9) 吉嶺恵介・藤井範久・阿江通良・平山大作 (2005) サッカーボールコントロールに関するキネマティクスの研究。日本体育学会第56回予稿集, 263
- 10) 伊賀崇人・杉山康司 (2010) サッカー熟練者におけるクッションコントロール時の下肢動作に関する研究。日本体育学会第61回予稿集, 224
- 11) Roberts, E.M., and Metcalfe, A. (1968) Mechanical analysis of kicking. *Biomechanics I: Wartenweiler J., Jokl E., Hebbelinck M., editors. Baltimore: University Park Press; 315-319.*
- 12) Robertson, D.G.E., and Mosher, R.E. (1985) Work and power of the leg muscles in soccer kicking. *Biomechanics IX-B. : Winter D.A., Norman R.W., Wells R.P., Hayes K.C., Patla A.E., editors. Champaign, IL: Human Kinetics Publishers, 533-538.*

- 13) Cooper, J.M., and R.B. Glassow. (1972)      チング科学－軸足床反力からみた言葉かけの有  
    Kinesiology. The C. V. Mosby Company: St.Louis.      効性－. サッカー医・科学研究, 22:223-226。
- 14) 北湯口純・大道等 (2002) キック指導のコー