

## フットサルにおける下肢キック動作の解析

尾崎 宏 樹      角 南 俊 介  
石井 秀 幸      加 納 樹 里

### Abstract

The kinematic difference of instep kicking between futsal and soccer were examined. Nine male elite futsal players performed maximal instep kicking with soccer ball and futsal ball. The kicking motions of both lower limbs were captured by three high speed cameras (250Hz). Especially, at the impact of kicking feet and balls were captured by a ultra high speed camera (2,000Hz) to calculate foot velocities and ball initial velocities correctly. Significantly greater ball velocity and foot-ball velocity ratio were achieved in soccer kicking. No marked differences were found for other kinematic parameters. But their external rotation angles of hip joint were greater than soccer player in current study. The results indicate that futsal players kicked with unique motion and coacher must teach proper kicking techniques in futsal.

### 1. 序 論

フットサルは屋内で行われる球技であり、ボールを蹴る動作を多用する点でサッカーと似ている。しかし、サッカーとフットサルでは、ピッチサイズや試合時間、選手の人数、交代方法、用具等が異なる。そのため、競技特性もサッカーとは大きく異なるものである。

特に使用するボールの特性の違いは、プレーに大きな影響を与えていると考えられる。

サッカーで使用されるボールは、外周が68～70cmで、重さは試合開始時に410～450g、空気圧は、海面の高さで0.6～1.1気圧と定められている。一方、フットサルで使用されるボールは、外周が62～64cmで、重さは試合開始時に400～440g、空気圧は、海面の高さで0.4～0.6気圧と定められている<sup>1)</sup>。つまり、フットサルボールは、サッカーボールに比べ、直径にしておよそ20mm小さく、また弾みにくい構造となっている。

これまでのサッカーのキック動作に関する研究から、ボール速度の速いキックをする際、蹴

り脚の足部質量中心でインパクトすることが重要であることが分かっている<sup>2)</sup>。また、その際に、キッカーはしばしば蹴り足長軸を地面に対して傾斜させる（蹴り脚足部を寝かせる）ことで、足部質量中心でのインパクトを可能にしている。

しかし、サイズの違うフットサルボールにおいても同様のキック動作でインパクトが可能であるか検証した報告はない。また、フットサルのキック動作について運動学的に分析した報告自体非常に少ない<sup>3)</sup>。そこで、本研究では、ボールサイズの違いが、キック動作にどのような影響を及ぼしているかを明らかにすることを目的とした。

## 2. 方 法

### 2.1 被 験 者

被験者は、フットサルの全国リーグであるFリーグに所属する選手9名（うち1名は日本代表選手）であった。いずれの被験者も右利きであった。被験者の特性はTable 1に示す通りである。

Table 1 The Characteristics of the subjects : Mean (SD)

Height (m)	17.2 (0.4)
Weight (kg)	67.6 (5.3)
Age (year)	26.4 (3.1)
Career	
Soccer player (year)	11.4 (4.5)
Futsal player (year)	9.7 (4.7)

### 2.2 実 験

準備運動後、直径20mmの動作分析用反射マーカを被験者の身体各部14ヶ所（左右の踝、外果、第五中足骨、足部質量中心、外側上顆、大転子、上前腸骨棘）に貼り付けた。

被験者に、サッカーボールとフットサルボールの両方をキックし標的に命中させるよう指示した。その際、ボール速度ができるだけ速くなるよう、全力でキックすることを求めた。標的は幅1m、地面からの高さ0.5mの正方形であり、ボール設置地点から4m前方に設置した。それぞれのボールにおいて、ボールが標的に当たり、且つ、被験者自身が成功と認めた試技が各5試技撮影されるまで測定を続けた。尚、サッカーボールとフットサルボールを用いる順序はランダムとし、測定前に十分なキック練習を行わせた。

被験者のキック動作を撮影するため、電氣的に同期された、3次元動作分析用の高速度カメラ（DKH inc. Fcam）3台を設置した。撮影速度は250fps、露出時間は1/1,000sであった。

床面に、標的方向を  $y$  軸、標的に対して  $90^\circ$  右方向を  $x$  軸、鉛直方向を  $z$  軸とする 3 次元の静止座標系を設置した。3 次元 DLT 法のためキャリブレーションボールを用いて、160 点のキャリブレーションポイントを撮影した。キャリブレーション範囲は、 $2\text{ m}(x) \times$  奥行き  $2\text{ m}(y) \times$  高さ  $1\text{ m}(z)$  とした。

また、蹴り足のスイング速度とボール初速度を算出するため、光軸が  $y$ - $z$  平面に垂直となり、被験者の右手側、ボールから  $3\text{ m}$  離れた位置に、2 次元動作分析用の超高速カメラ (Nac image technology inc. MEMRECAM fx-K4) 1 台を設置した。撮影速度は  $2,000\text{ fps}$ 、露光時間は  $1/5,000\text{ s}$  であった。このカメラに関して、測定開始前に、2 次元 DLT 法のためボール設置位置を含む  $y$ - $z$  平面にキャリブレーションボールを立て、80 点のキャリブレーションポイントを撮影した。キャリブレーション範囲は  $1\text{ m}(y) \times 1\text{ m}(z)$  とした。

### 2.3 データ処理

本実験での分析対象は、撮影された各 5 試技のうち、最もボール初速度の速かった 1 試技とした。

下肢の運動学的パラメータは、高速度カメラから得られた映像に映る反射マーカをデジタル化し、身体各部の 3 次元位置座標を算出することで求めた。デジタル化には、画像分析ソフト (DKH.inc Frame-DIAS II Ver3.0) を用いた。デジタル化範囲は、蹴り脚膝関節最大屈曲時からインパクトまでの leg-acceleration 期<sup>4)</sup> とした。

石井ら<sup>2)</sup>の方法を用いてボール表面 3 点 (上方, 下方, 標的側の表面) をデジタル化した。それらの位置座標から等距離にある点をボール中心位置として求めた。ボール初速度は、ボール中心位置の水平・鉛直各成分に関する回帰式の導関数を算出することで得た。

デジタル化範囲は、インパクト後、足部がボールから離れた最初のコマを含む 10 コマとした。

スイング速度は、足部質量中心位置に貼ったマーカをデジタル化し、水平・鉛直各成分に関する回帰式の導関数を算出することで得た。デジタル化範囲は足部がボールに接する直前のコマ以前の 10 コマとした。得られた各位置座標成分は、双方向による 4th-order Butterworth low-pass digital filter による平滑化を行った。最適遮断周波数の決定には、高速度カメラから得られた位置座標成分は Yu ら<sup>5)</sup>の方法を、超高速カメラから得られた位置座標成分は Winter の方法<sup>6)</sup>を用いた。

## 2.4 統計処理

算出した測定項目について、サッカー群とフットサル群における統計的な有意差を、繰り返しのあるt検定を用いて検討した。有意水準は5%未満とした。統計処理には、統計ソフト(SPSS 10.0)を用いた。

## 3. 結 果

### 3.1 ボール初速度・スイング速度・速度比

Table 2に、ボール初速度、スイング速度、速度比の結果を示す。ボール初速度は、サッカーボールで平均28.1m/s（最小24.4～最大30.9m/s）となったのに対し、フットサルボールで平均26.0m/s（最小23.1～最大28.2m/s）となり、サッカーボールの方が有意に速い結果となった。蹴り足のスイング速度では、サッカーボールで平均17.3m/s（最小14.7～最大20.9m/s）、フットサルボールでは平均17.5m/s（最小15.4～最大19.6m/s）とほぼ同様の値となり、有意な差は認められなかった。ボール初速度をスイング速度で除した値である速度比では、サッカーボールで平均1.63（最小1.43～最大1.77）となったのに対し、フットサルボールで平均1.49（最小1.38～最大1.69）となり、サッカーボールが有意に高い値となった。

Table 2 Ball initial velocities, Foot velocities and Ball-foot velocity ratio

sub.	Ball initial velocity (m/s)		Foot velocity (m/s)		Ball- foot verocity ratio	
	Soccer	Futsal	Soccer	Futsal	Soccer	Futsal
A	29.9	27.6	20.9	17.3	1.43	1.59
B	28.3	26.8	16.9	19.3	1.68	1.39
C	30.9	28.2	18.1	18.6	1.71	1.52
D	27.1	24.3	16.7	16.3	1.63	1.49
E	29.7	27.0	17.8	19.6	1.67	1.38
F	28.5	26.1	16.1	15.4	1.77	1.69
G	24.4	23.1	14.7	15.4	1.67	1.50
H	26.3	26.0	16.4	18.5	1.60	1.41
I	27.4	25.4	18.0	17.5	1.52	1.45
Mean	28.1	26.0	17.3	17.5	1.63	1.49
SD	2.0	1.6	1.7	1.6	0.10	0.10

\*:  $p < .05$ , \*\*:  $p < .01$

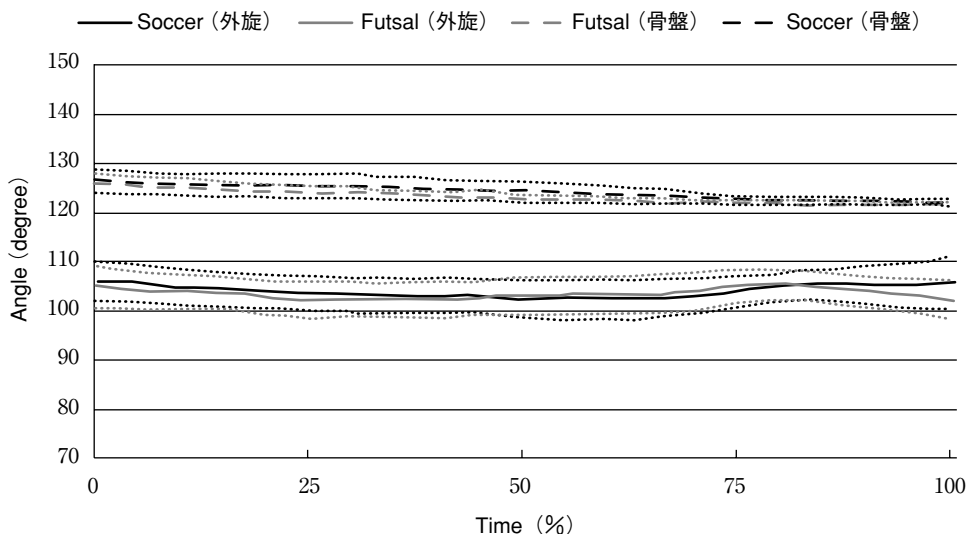
### 3.2 骨盤の水平回転と股関節外旋について

Figure 1に, 骨盤の水平角度と, 蹴り脚股関節外旋を示す指標の時系列変化を示した.

骨盤の水平角度は, 両上前腸骨棘を結んだ線分を x-y 平面に投影させたものとして定義し, y 軸とのなす角によって求めた. 90度の時に体幹が標的に正対しており, 値が大きくなるほど蹴り脚側 (右側) が標的に向かって後方に位置していることを示す. また, 蹴り脚大転子・外側上顆・外果によって構成される平面の法線ベクトルを x-y 平面に投影させたベクトルを, 蹴り脚股関節外旋を示す指標として定義し, y 軸とのなす角によって求めた. 値が90度の時が股関節内外旋0度であり, 値が大きくなるほど股関節外旋角度が大きくなることを示す.

骨盤の水平角度は, サッカーボール, フットサル共に125度前後で推移し, ほぼ同様の姿勢でインパクトを迎えていたことが分かった. また, 股関節外旋についても, フットサルボール時, インパクト直前で若干値が減少する傾向が見られたものの, 有意な差は認められなかった.

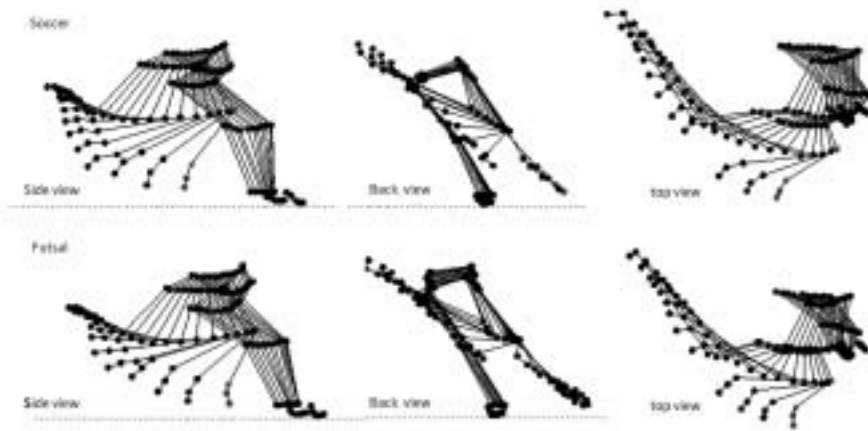
Figure 1 Average ( $\pm$ SD) horizontal angles of the pelvis and thigh-shank plane relative to the anterior direction



### 3.3 スティックピクチャー

スティックピクチャーを作成したところ, 多くの被験者で類似した図となった. Figure 2に, 典型例として1名の被験者のスティックピクチャーを示す. フットサルボールのキック動作時, 支持脚のボール進行方向に対する傾きがサッカーボール時より若干小さかった. ただし, 統計的な有意差は認められなかった.

Figure 2 Typical stick picture of soccer and futsal kicking



## 4. 考 察

### 4.1 蹴り足とボールの速度

超高速カメラの映像から算出した蹴り足のスイング速度では、サッカーボールを蹴る場合とフットサルボールとで有意な差は認められなかった。このことから、被験者は、サッカーボールとフットサルボールで同様の力発揮を行っていたと言える。

一方、ボール初速度はサッカーボールにおいて有意に高い値を示した。スイング速度が同程度であったにもかかわらずボール初速度に差が現れた要因は、フットサルボールの特性によるものと考えられる。ボール初速度をスイング速度で除した値である速度比が、サッカーボールにおいて有意に高い値となったことも、同様の要因のためと考えられる。

サッカーのキックに関するこれまでの先行研究では、プロ選手の全力インステップキックにおいて、22～30m/s程度であったとの報告<sup>7)</sup>がある。今回の実験は屋内で行われたため、助走を含むキック動作に多少の制限があったと思われる。にもかかわらず、サッカーボールでの初速度が平均28.1m/sであったことから、今回被験者として実験に参加したフットサル選手は、全力でのキックに関してはプロサッカー選手と同程度のキックパフォーマンスを有していたと考えられる。

### 4.2 骨盤の水平回転角度と股関節外旋

骨盤の水平回転角度は、サッカーボール、フットサルボール共に120～130度の間で推移し

ており、インパクト時はどちらもほぼ122度となっていた。leg-acceleration期全体にわたって角度変化が小さかったのは、leg-acceleration期に入ると、キック動作に必要な骨盤の回旋動作がほぼ完了しているためと考えられる。

蹴り脚股関節外旋を表す、大転子・外側上顆・外果が作る面の向きにおいてもボールによる違いは認められず、どちらもleg-acceleration期全般に渡り105度前後で推移していた。

インパクト直前、フットサルボールでわずかだが値が減少し、標準偏差の値も大きくなっていた。これは、インパクトに近づくにつれて膝関節が伸展し、大転子、膝関節中心、外果が作る面の面積が減少したことによる誤差の増大が要因と考えられる。

#### 4.3 キック動作に関する先行研究との比較

本研究の結果では、サッカーボールとフットサルボールでのキック動作に関する有意な違いは見られなかった。その原因として、サッカー選手からフットサル選手に転向した被験者が、フットサルによって新たに獲得したキック技術によって両方のボールをキックしていた可能性が考えられる。そこで、本研究と同様の指標を用いて、サッカーのキック動作を評価している先行研究の結果と比較した。

Nunomeらは、サッカー選手のインステップキックとインサイドキックのキック動作を対象にした研究<sup>4)</sup>で、骨盤水平角度と蹴り脚股関節外旋角度の時系列変化の様子を検討している。それによると、インパクト時の骨盤水平角度はインステップキックで105度前後、インサイドキックで120度前後であったと報告している。本研究では122度付近でインパクトを迎えていたことから、被験者の骨盤は先行研究でのインサイドキックと同様の姿勢をとっていたと考えられる。

また、Nunomeらは、インステップキックにおいて、インパクト時は股関節外旋角度が90度程度であったのに対し、インサイドキックでは、増加傾向を示しながら120度前後の外旋位でインパクトしていたとも報告している。本研究の結果は、インパクト時の外旋角度が105度程度であり、Nunomeらの示すインステップキックとインサイドキックの、ほぼ中間の値となっていた。

つまり、フットサルボールを全力でキックする場合、被験者は、サッカーのインステップキックよりも、蹴り脚股関節がおおよそ20度外旋した姿勢でインパクトしていたのである。

この要因の一つとして、サッカーボールとフットサルボールでのサイズの違いが挙げられる。フットサルボールはサッカーボールよりも直径にして20mmほど小さいため、サッカーボールの場合と同様に蹴ろうとすると、第1中足骨付近が地面に接触してしまう、あるいは接触

の恐れを抱かせると考えられる。そこで被験者は股関節を外旋させ、足の甲よりも内果側でインパクトすることで、シューズのソールを地面と平行に近い姿勢にし、足部の地面への接触を回避していたと考えられる。しかし、本研究で得られたデータからインパクト位置や足部の姿勢を詳細に検討することが困難であったため、今後明らかにしていく必要がある。

## 5. ま と め

本研究は、Fリーガーを対象に高速度カメラ（250fps）と超高速度カメラ（2,000fps）を用いてサッカーボールとフットサルボールのキック動作を撮影し、インパクト直前の下肢の動作について分析した。

サッカーボールとフットサルボールを同一被験者に蹴らせたところ、スイング速度は同程度であったが、サッカーボールでのボール初速度がフットサルに対して有意に速かった。

また、サッカーボールとフットサルボールでは、インパクト直前のキック動作はほぼ同様であった。しかし、サッカー選手のキック動作を研究対象とし、本研究と同様の指標を用いて動作を評価している先行研究の結果と比較したところ、フットサル選手の全力キックは、サッカーのインステップキックよりも20度前後、蹴り脚股関節を外旋させてインパクトしていることが分かった。

このことから、フットサルボールでのインステップキックは、サッカーボールでのそれよりも、足部のインパクト位置がやや内側にあることが示唆された。

## 参 考 文 献

- 1) 日本サッカー協会（2008）サッカー&フットサル競技規則2008/2009. 財団法人日本サッカー協会.
- 2) 石井秀幸, 磯川正教, 丸山剛生（2007）インステップキックにおけるインパクト位置がボール速度に及ぼす影響とインパクト中の衝撃力の解析. バイオメカニクス研究, 11 (3), 170-181頁.
- 3) Barbieri F A, Santiago P R, Gobbi L T, Cunha S A. (2008) Dominant and non-dominant support limb kinematics variability during futsal kick. Rev Port Cien Desp, 8 (1), pp.68-76. (in Portuguese)
- 4) Nunome H, Asai T, Ikegami Y, Sakurai S. (2002) Three-dimensional kinetic analysis of side-foot and instep soccer kicks. Med Csi Sports Exerc. 34 (12), pp.2028-2036.
- 5) Yu B, Gabriel D, Noble L, An K N. (1999) Estimate of the Optimum Cutoff Frequency for the Butterworth Low-Pass Digital Filter. JOURNAL OF APPLIED BIOMECHANICS, 15, pp.318-329.
- 6) Winter, A D. (1990) Biomechanics and motor control of human movement. 2nd ed. John Wiley & Sons, New York, pp.41-43.
- 7) Katis E, Kellia A. (2007) Biomechanical characteristics and determinants of instep soccer kick. Journal of Sports Science and Medicine, 6, pp154-165.