

令和元年6月2日現在

機関番号：11501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K16506

研究課題名(和文) サッカーにおいて目的の方向にボールを蹴るためのボールインパクト技術の解明

研究課題名(英文) Ball impact technique for kicking the ball to various directions in soccer

研究代表者

井上 功一郎 (Inoue, Koichiro)

山形大学・地域教育文化学部・准教授

研究者番号：10723710

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、サッカーのインステップキックによって、各種方向にボールを蹴り分けるためのボールインパクト技術について明らかにすることを目的とした。足部の3次元形状を推定する新たな分析手法により、足部とボールが接触する様子を正確に調べることができた。左右方向にボールを蹴り分けるためには、ボール中心に対して足部を接触させる位置を左右にずらし、対角からインパクトすること、そして、足部の姿勢を調整し、狙った方向に甲を向けてインパクトすることが重要であると明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、足部の3次元形状を推定する新たな分析手法により、これまで明らかにされていなかったサッカーのキックにおける足部とボールの接触位置を特定した。この分析により明らかとなった、意図した方向にボールを蹴るためには足部をどのような向きで、ボールのどこに接触させると良いかという詳細な知見は、各種方向にボールを蹴り分ける実践的なキック技術習得のためのコーチングに広く活用されると期待できる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of the present study was to identify the characteristics of the foot and ball impact motion in various ball launched directions. We succeed in analysing the detail foot motion during ball impact using a new technique that utilises the 3D foot shape estimation. We clarified that the offset distance from the centre line of the ball to the contact point plays an essential role to determine the ball launch direction. Moreover, we revealed that facing the instep of the foot towards the target direction is important to control the ball launch direction.

研究分野：スポーツバイオメカニクス

キーワード：キック方向 ボールインパクト位置 ボール速度 足部姿勢 足関節角度 インステップキック

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

野球のバッティング、テニスや卓球のストローク、ゴルフのスイングなどに見られる打撃動作では、打具（バット、ラケット、クラブ）とボールの衝突の仕方が打ち出されるボールの方向に大きく影響すると言える。サッカーのキックにおいてこの打具に相当するのは蹴り脚（直接ボールに接触する側の脚）の足部である。したがって、蹴り脚のスイング動作によって加速された足部が如何にボールに衝突するかが、蹴り出されるボールの挙動を決定すると考えられる。サッカーのインステップキック（足部の甲でボールを蹴る技術）においてボールと足部の衝突（ボールインパクト）を高速度ビデオカメラで撮影し、分析した先行研究により、ボールインパクト中の足関節の動きや足部の速度が明らかになっている(Nunome et al, 2006; Shinkai et al. 2009)。しかしながら、これらの研究では、任意の助走から特定の1方向へボールを蹴る条件に限って分析が行われている。

サッカーの実践場面に目を向けると、選手は状況が変化の中で様々な方向にボールを蹴る必要がある。各種方向へボールを蹴り出すキック動作のボールインパクトの様相を明らかにし、ボールの挙動との関係性を示すことで、足部をどのような向きで、ボールのどこに接触させると意図した方向にボールを蹴り出せるのかを知ることができると考えられる。このことが明らかとなれば、各種方向にボールを蹴り分けるキック技術を習得する（させる）ための有益な知見になることが期待できる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、サッカーのキック動作において、ボールに衝突する際の足部の進行方向や足部の姿勢、ボールと足部の接触位置を定量化し、目標となる方向にボールを蹴り出すためにはどのように足部をボールにインパクトさせれば良いかを明らかにすることであった。

3. 研究の方法

(1) 対象者

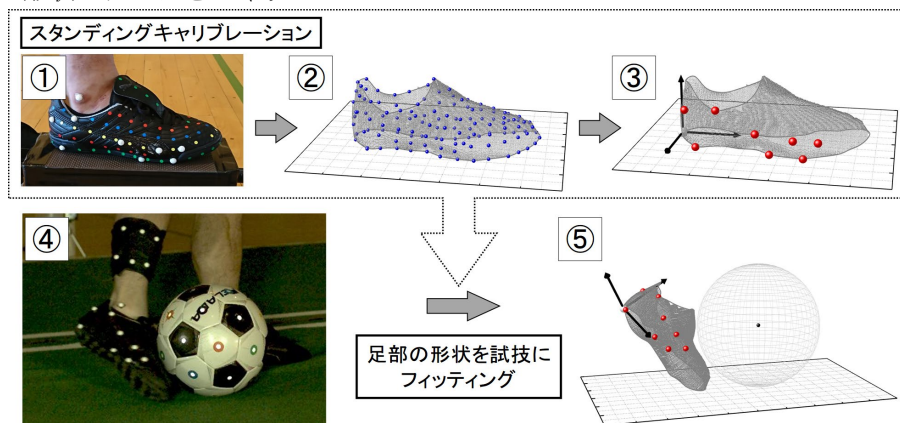
東北地区大学サッカーリーグ2部リーグに所属する男子選手7名（年齢：20.9 ± 1.3 歳，身長：172.9 ± 4.7 cm，体重：66.1 ± 4.7 kg）を対象とした。対象者は少なくとも11年の競技経験を有していた。

(2) 実験

30度の助走から、11m前方の正規サイズのサッカーゴールに向けて静止したボールをインステップキックする試技を対象者に行なわせた。その際、ゴールを縦に3等分した左、中、右の3つのエリアをそれぞれ狙うよう指示した。足部とボールのインパクトの様子は、3台の高速度ビデオカメラを用いて2000Hzで撮影した。

(3) 足部（シューズ）の形状の推定

ボールインパクトの際、足部とボールの接触部分は死角になり、ビデオの映像から正確に視認することができない。本研究ではこの問題を解決するために、スタンディングキャリブレーションによって予め計測した足部の3次元形状のデータから、キック動作中の足部の形状を推定する手法を考案した。具体的な手順は、以下の通りであった（図1）。①ボールインパクト中も視認可能な足部の外側に、8点の基準マーカー（白色のマーカー）を貼付した。また、形状を推定するために、シューズの表面を覆うように124点のマーカー（カラーのマーカー）を貼付した。②スタンディングキャリブレーションを行い、貼付したマーカーの3次元座標を算出した。さらに、マーカー間のデータをスプライン関数で内挿することにより、足部の形状を表す点群を算出した。③足部の外側に貼付した8点の基準マーカーから、足部の移動座標系を定義した。そして、形状の点群の位置を移動座標系に対する位置に変換した。④高速度ビデオカメラで撮影した映像から、キック試技中における8点の基準のマーカーの3次元位置座標を取得し、移動座標系を算出した。⑤移動座標系の方角をもとに、撮影したビデオ映像の各コマにおいて足部の形状のデータをフィッティングした。



(4) 分析項目

①ボール進行方向

左右におけるボールの進行方向を表す変数として、水平面に投影したボールの速度ベクトルの向きを求めた。この値は、ボール設置位置からゴール中央へのベクトルとのなす角度として算出した。

②足部とボールの接触位置

足部の形状を表す点群とボール中心の距離、及びボール半径から、足部とボールが最初に接触した位置を特定した。本研究では、後方からボールを見た場合のボールの正中線に対する左右のずれをボール上の足部接触位置として算出した。また、この接触位置を足部移動座標系から見ることで、足部上のボール接触位置を算出した。

③足部のスイング方向

足部のスイング方向は、ボールインパクト時点における足部重心の速度ベクトルの向きから算出した。ボール進行方向と同様、水平面に投影した速度ベクトルとゴール中央に向かうベクトルとのなす角度として求めた。

④インパクト面の方向

ボールインパクト時点における足部の甲が向きを、インパクト面の方向と定義した。この値は、足の甲に対する法線ベクトルを水平面に投影し、ゴール中央に向かうベクトルとのなす角度を求めることで算出した。

⑤足部の姿勢角と足関節角度

ボールインパクト時点における足部移動座標系の3次元的な向きから、ボールインパクト時点における足部の姿勢角を求めた。これらは、つま先を上下に動かすヨー角、足部の長軸回りの回転であるロール角、つま先を左右に振るピッチ角の順に、カルダン角を用いて算出した。また、足関節角度として、背屈/底屈、内転/外転、内反/外反角度をそれぞれ算出した。

(5) 統計処理

蹴り出されたボール進行方向を説明する主要な要因を明らかにするため、ボール進行方向(Y)を目的変数とする重回帰分析を行った。説明変数にはボール上の足部接触位置(X_1)、足部のスイング方向(X_2)、インパクト面の方向(X_3)の3変数を投入した。なお、変数は全て標準化を施してから用いた。

足部の姿勢角や足関節角度を含む各変数に対して単回帰分析を行なった。そして、それぞれの相関関係について検討した。

4. 研究成果

(1) ボール進行方向に影響を及ぼす要因

ボール進行方向の最大値は17.0度(右方向)、最小値は-15.3度(左方向)であった。この、ボール進行方向から、ゴール上のボール到達地点を推定すると、ゴールの全体に分布するデータを得られたことが確認できた(図2)。

ボールの進行方向を目的変数とする重回帰分析を行なった結果、有意な回帰式が高い精度で得られた($Y = -0.65X_1 + 0.06X_2 + 0.32X_3$, $R^2 = 0.91$, $p < 0.001$)。また、各回帰係数の検定から、ボール上の足部接触位置(X_1 , $p < 0.001$)とインパクト面の方向(X_3 , $p < 0.001$)がボール進行方向に有意な影響を及ぼすことが明らかとなった。

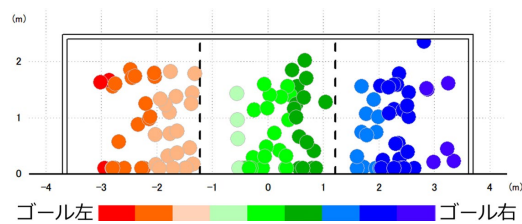


図2 推定したゴール上のボール到達位置

(2) 足部の接触位置

重回帰分析の結果、ボール進行方向に最も強い影響を及ぼすことが示されたボール上の足部接触位置のプロットを図3に示した。ボール中心に対しておおよそ左右均等に約8cmの範囲に分布していた。また、この変数の回帰係数は負の値(-0.65)であった。したがって、目的の方向にボールを蹴るためには、スイングの軌道を調整することで足部を接触させる位置をずらし、狙った方向の対角からインパクトする必要があることが明らかとなった。図4には、足部の

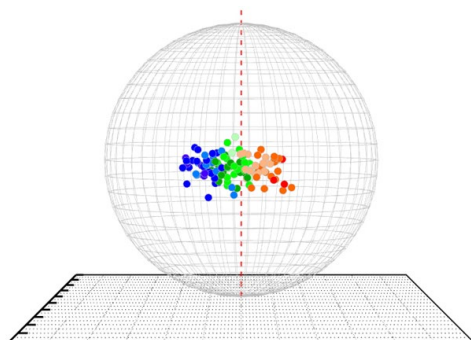


図3 ボール上の足部接触位置

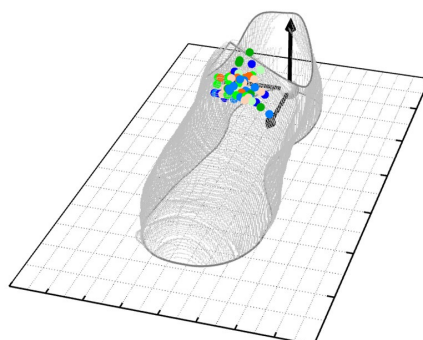


図4 足部上のボール接触位置

どの位置をボールにインパクトさせていたかを示す足部上のボール接触位置のプロットを示した。キック方向に関わらず甲の正面部分の比較的足関節に近い位置から、足部のやや内側にかけて分布していた。また、ボール進行方向と、この足部上のボール接触位置の各成分との間には有意な相関関係は認められなかった。これらのことから、足部をボールのどこに接触させるかが、目的の方向にボールを蹴るためには、重要な要素となる一方で、キックする方向に応じて、ボールに接触させる足部側の位置を調整することはしないと考えられた。

(3) インパクト面の方向と足部の姿勢

重回帰分析の結果、インパクト面の方向もボール進行方向に有意な影響を及ぼすことが示された。つまり、インパクト面の方向に応じてキック方向が変化すると考えることができる。図5には、左エリアと右エリアそれぞれの方向へのキックにおけるインパクト面の方向の典型例を示した。インパクト面は狙った方向に向けられる傾向にあることが確認できた。

さらに、このインパクト面の方向と足部の姿勢角（ピッチ角、ロール角、ヨー角）の相関関係についてそれぞれ検討したところ、インパクト面の方向とロール角の間に非常に強い相関関係が認められた ($r = 0.98$, $p < 0.001$)。これらのことから、目的の方向にボールを蹴るためには、足部のロール角、すなわち長軸回りの回転によって足部の姿勢を調整し、狙った方向に甲を向けてボールをインパクトすることが重要であると考えられた。

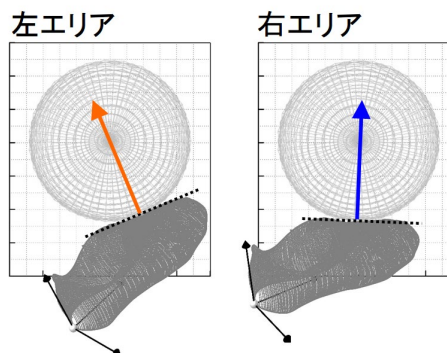


図5 左右それぞれの方向へのキックにおけるインパクト面の方向の典型例

(4) 足関節角度と足部の姿勢

足部の甲の向き調整に寄与すると考えられた足部のロール角と、足関節の背屈/底屈、内転/外転、内反/外反角度の関係についてそれぞれ検討した。その結果、いずれにおいても有意な相関関係は認められなかった。つまり、足関節の関節角度を変化させることにより、足部の姿勢を調整するものではないことが考えられた。各種方向へのインステップキックにおいて腰部を含む下肢のキネマティクスを検討した先行研究によって、助走に対して角度のついた方向へボールを蹴る場合ほど腰部の回旋動作や両股関節の内旋動作など、水平面内における動作が強調されることが報告されている (Kellis et al., 2004; Scurr & Hall, 2009; 井上ら, 2013)。これらのことから、足部の姿勢角の調整は、足関節ではなく、近位の関節やセグメントの動きをコントロールすることで行われることが示唆された。

(5) まとめ

サッカーのインステップキックによって、目標となる方向にボールを蹴り出すためには、①狙った方向の対角から足部をボールにインパクトさせることと、②足部を長軸回りに回転させることで足部の姿勢を調整し、足の甲を狙った方向に向けてボールをインパクトすることが重要であることが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計1件)

- ① Inoue, K., Nunome, H., A pilot study of ball impact characteristics in varied ball launched directions in soccer instep kick. ISBS Proceedings Archive 36(1) 102-105. <https://commons.nmu.edu/isbs/vol36/iss1/144/> (peer review)

〔学会発表〕 (計3件)

- ① 井上功一郎. サッカーのダイレクトシュートにおいてシュート方向が正確性に及ぼす影響. 日本フットボール学会 16th Congress. 順天堂大学 (千葉県). 2018年12月23日-24日.
- ② Inoue, K., Nunome, H. A pilot study of ball impact characteristics in varied ball launched directions in soccer instep kick. The 36th Conference of the International Society of Biomechanics in Sports. Auckland (New Zealand). September 10-14, 2018.
- ③ 井上功一郎, 布目寛幸. サッカーのインステップキックにおけるキック方向とボールインパクトの関係. 第25回日本バイオメカニクス学会. 日本体育大学 (東京都). 2018年9月4日-6日.

6. 研究組織

(1) 研究分担者

なし

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：布目 寛幸

ローマ字氏名：(Nunome, Hiroyuki)

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。