

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 16 日現在

機関番号：12604

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25750281

研究課題名(和文) サッカーの各種配球に対するキック動作のバイオメカニクス的研究

研究課題名(英文) Biomechanical study of kicking motion for various ball supply in soccer

## 研究代表者

新海 宏成 (Shinkai, Hironari)

東京学芸大学・教育学部・准教授

研究者番号：10581217

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、サッカーにおいて様々な条件で配球されるボールをダイレクトシュートした際のパフォーマンスの変容を分析した。その結果、転がるボールの速度が大きくなるほど、または飛んでくるボールの高さが高くなるほどキックの難易度は上昇し、ボール速度およびキックの正確性の両面でパフォーマンスが低下した。さらに、これらのパフォーマンス低下は、主にキックの最終局面であるボールインパクトの不正確さに起因していた。このことから、向かってくるボールの勢いを利用できるダイレクトシュートの場合、パフォーマンス改善のためには速度よりもインパクトの正確性を重視したスイング動作をとるべきであることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：In this study, the changes of the performance in soccer kicking supplying various ball conditions were analyzed. The larger the velocity of rolling ball or the higher the flying ball, the more difficult ball kicking; therefore, kicking performances decreased both ball velocity and accuracy. These decrease were mainly due to the inaccuracy of the ball impact which is final phase of kicking. From these results, in the case of the direct shot available to the momentum of the moving ball, it was suggested that players should give priority to the accuracy of ball impact than to swing velocity for the improvement of the performance.

研究分野：スポーツバイオメカニクス

キーワード：ダイレクトシュート ボレーシュート ボール速度 キックの正確性 ボール分布 ボールインパクト

## 1. 研究開始当初の背景

(1) サッカーのキックをバイオメカニク的に分析した先行研究は比較的多いが、そのほとんどは静止したボールに対するキック動作を対象としている。一方で、Kellis and Katis (2007) が「多くの場合、サッカーのキックは静止ボールではなく、選手の方に転がってくるボールに対して行われる」ことを指摘しているが、動いているボールを止めずに直接目標に向かってキックする動作についての研究はほとんど行われていない。僅かにある先行研究では、ボールの転がる速度が低速で課題としては容易な条件でしか行われておらず (Tol et al., 2002; Fabio et al., 2010), 転がる速度が大きくなると選手の動作やキックパフォーマンスがどう変化していくのかは明らかとなっていない。また、地面から浮いたボールをキックするボレーキックについても先行研究の希薄さはほぼ同様で、先行研究は学会大会の抄録で見られず (浅井と小林, 1990; 新海と磯川, 2004; Shan, 2008), 飛んでくるボール高さの変化に伴う動作やパフォーマンスの変化はあまり明らかになっていない。

(2) サッカーでは、静止ボールを自由な状態でキックする機会はほぼフリーキックの場面のみに限られており、選手が試合中に行うキックのほとんどは動いているボールのキックである。そしてこの動いているボールへのキックにおいて、よりミスが生じたりパフォーマンスのばらつきが大きくなったりすることが容易に予想される。それ故、指導現場でより求められているものは、動いているボールのキックパフォーマンスを改善するための情報だと言えるだろう。しかしながら、これまでの関連する先行研究では、複数回の試行から最も成功した1試行のみを分析する手法を用いることがほとんどであり、「キックパフォーマンスにはどのくらいばらつきがあるのか」や「ミスが生じる理由はどこにあるのか」といった点についてはあまり検討されてこなかった。安定したキックパフォーマンスを発揮するためのヒントはこういった分析から得られるものであるが、この点についての科学的情報は圧倒的に不足しているのが現状である。

## 2. 研究の目的

本研究では、様々な条件 (速度・高さ) で配球されるボールに対するキック動作の変容ならびにボール速度やキックの正確性の変化についてバイオメカニク的分析手法を用いて系統的に分析し、サッカー選手がより高く安定したボールキックパフォーマンスを発揮するためのポイントを明らかにすることを目的とする。これを実現するために、従来のように成功試技のみを分析するのではなく、失敗試技の分析も加えることで総合的なキックパフォーマンスの理解を目指す。

## 3. 研究の方法

(1) 異なる速度で転がるボールに対するキック動作とパフォーマンスの変容の解明

### 被験者

東北地区大学サッカー1部リーグに所属する男子選手9名とした (年齢:  $19.8 \pm 0.8$  歳, 身長:  $169.5 \pm 7.7$ cm, 体重:  $61.6 \pm 4.9$ kg, 競技歴:  $11.9 \pm 2.2$ 年, ポジション: FW3名・MF3名・DF3名, 利き脚: 右8名, 左1名)。

### 実験試技

前方13mに設置されたネット下部の隙間から転がってくるボールをインステップキックで再び前方のネットに蹴り返すようにシユートさせた。ネットには正規のサッカーゴールの大きさおよびその中心位置がわかるようにテープを貼付した。キックの際、選手へは「ゴール中心を狙いつつできるだけ速いボールを蹴ること」と指示した。

### 試技条件

静止 ( $0$ m/s), 低速 ( $4.7 \pm 0.3$ m/s), 中速 ( $6.6 \pm 0.3$ m/s), 高速 ( $8.6 \pm 0.5$ m/s) の4条件とし、条件間で各種変数を比較した。

### 記録方法

8台の赤外線カメラで構成されるモーションキャプチャシステム (VICON Bonita3) を使用し、240fpsで全身とボールの動きを撮影した。また、キックされたボールの正確性を記録するために、後方にビデオカメラを設置した。

### 分析試技

ボールが供給目標ポイント付近へ転がり、かつ極端な失敗ではない試行を、被験者毎に各条件3試行ずつ分析した (計108試行)。

### 分析項目

蹴り足 (外果) のスイング速度、ボール速度、反発係数 (キック効率の指標)、キックの正確性 (ゴール中心とボール到達点間の距離)、動作時間、インパクト時の蹴り足の傾き角度 (前額面) など。

(2) 異なる軌道と高さで飛翔するボールに対するボレーキック動作の測定

### 被験者

関東大学サッカー2部リーグに所属する男子選手2名とした (年齢:  $20.5 \pm 2.1$  歳, 身長:  $167.8 \pm 1.1$ cm, 体重:  $58.6 \pm 4.0$ kg, 競技歴:  $13.0 \pm 2.8$ 年, ポジション: FW1名・MF1名, 利き脚: 右2名)。

### 実験試技

キック方向に対して右側方約19mの位置に設置されたサッカーマシン (ジャグス社製, M1800) でボールの射出速度や角度を調節し、キック位置においてボレーキックが可能な範囲で様々な高さのボールを供給した。キック位置から9m前方にネットを設置し、選手には「ゴール中心を狙った全力のボレーシュートを蹴ること」と指示した。ネットには正規のサッカーゴールの大きさがわかるようテープを貼付し、ゴール中心には的を設置した。

### 試技条件

2名の被験者でボレーキックを遂行できた高さの範囲が異なっており、被験者Aで32cm~100cm、被験者Bで44cm~81cmであった。各被験者でインパクト時のボールの高さから低・中・高の3段階に分け、キック動作やボールパフォーマンスの分析および比較を実施した。

### 記録方法

8台の赤外線カメラで構成されるモーションキャプチャシステム（VICON Bonita3, 240fps）と3台の高速度カメラ（ディテクト社製 HAS-L1, 200fps）を使用し、全身およびボールの動きを撮影した。また、キックされたボールの正確性を記録するために、後方にビデオカメラを設置した。

### 分析試技

各被験者で完全な失敗試技（空振りや極端に大きくゴールを外れた試技）を除いた残りの全試行（被験者A：35試行、被験者B：34試行）を分析対象とした。

### 分析項目

蹴り足（第五中足骨近位端）のスイング軌跡および速度、ボール速度、反発係数（キック効率の指標）、キックの正確性（ゴール中心とボール到達点間の距離）、動作時間、蹴り脚および支持脚の膝関節角度など。

## 4. 研究成果

### (1) 異なる速度で転がるボールに対するキック動作とパフォーマンスの変容の解明

表1. 各パフォーマンスの条件間の比較

	静止	低速	中速	高速
蹴り足スイング速度 (m/s)	15.9 (0.7)	15.2 (1.0)	15.1 (0.9)	15.1 (1.5)
ボール初速度 (m/s)	26.1 (1.3)	27.1 (1.9)	27.2 (1.5)	26.9 (2.4)
反発係数	0.93 (0.05)	0.89 (0.08)	0.83 (0.05)	0.78 (0.08)
キックの正確性 (m)	1.37 (0.64)	1.64 (0.83)	2.19 (1.20)	2.49 (1.42)

平均値(標準偏差)

インパクト直前の蹴り足スイング速度は静止条件で最も大きかったが ( $p < .01$ )、低・中・高速条件間に有意差は認められなかった(表1, 図1)。

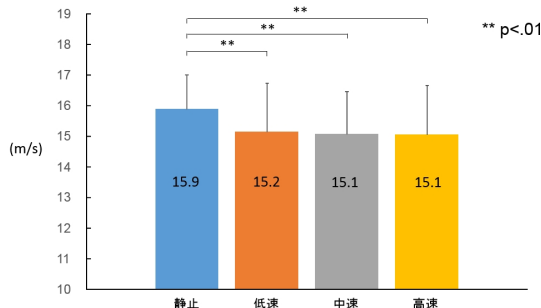


図1 インパクト直前の蹴り足スイング速度

ボール速度は静止条件が最も遅く、低速と中速との間に有意差が認められた ( $p < .05$ )。低・中・高速条件間に有意差は認められなかった(表1, 図2)。

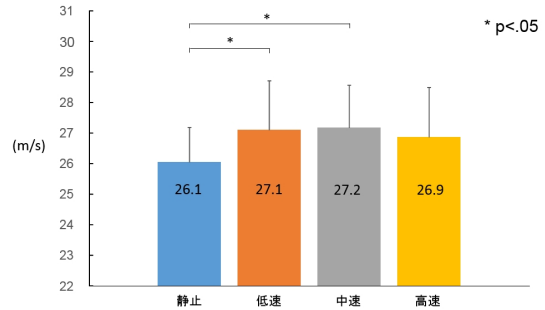


図2 ボール速度

反発係数（キック効率）はボール供給速度が大きくなるほど低下する傾向を示し、静止条件と中速・高速条件間 ( $p < .01$ ) および低速条件と中速 ( $p < .05$ )・高速条件間 ( $p < .01$ ) に有意差が認められた(表1, 図3)。

一般に、ボール供給速度が大きくなるほどインパクトの衝撃が大きくなってボール速度の増加が期待できるが、に示した通り本研究ではそのような結果とならなかった。これは、ボール供給速度の上昇に伴って足部の適切な位置でのボールインパクトが困難となり、その結果足部の受動的変形によるエネルギーロスが大きくなり、キックの効率が低下してしまったためと考えられた。

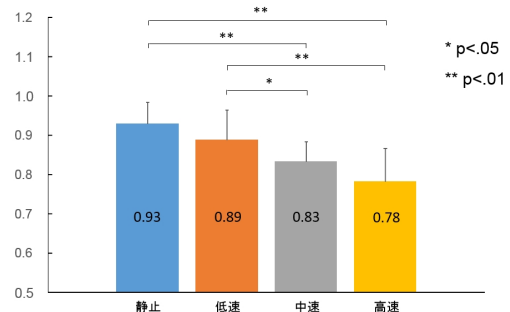


図3 反発係数

各条件間で動作時間（蹴り足離地～支持足着地、着地～インパクト）に大きな差は見られなかった。すなわち、選手達は速いボールが転がってきた場合にはその転がりを見極め、動作開始のタイミングを早くすることでどの条件でも同じように蹴り脚をスイングすることを試みたものと思われる。

各被験者、各試技条件における典型試行の大腿部角度（最大伸展時、インパクト時、角度変位）と膝関節角度（最大屈曲時、インパクト時、角度変位）には条件間に明確な差は見られなかった。この結果は、本実験で課した「全力でのキック」の指示が、被験者がより速い条件において正確性を優先しようとする判断を抑制したためかもしれない。

ボール供給速度が上がるほど正確性は低下する（ゴール中心とボール到達点間の距離が増加する）傾向にあり、静止条件と中・高速条件間に有意差が認められた（ $p < .05$ ）（表1, 図4）。

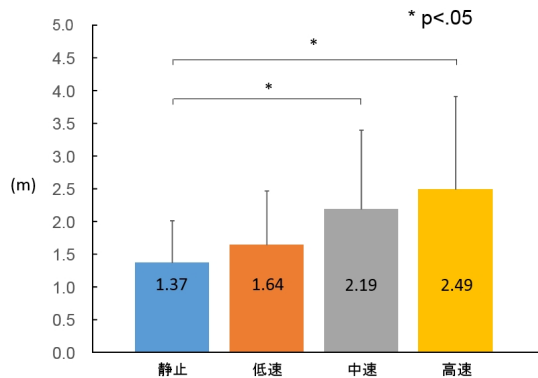


図4 ゴール中心とボール到達点間の距離

全ての被験者および全ての速度条件においてキックされたボールの到達位置は右肩上がりの分布を示した（左利きの選手は右肩下がり）。これは、狙った位置（本実験ではゴール中心）に対して左上と右下にボールが飛ぶことは稀であることを示している（図5）。

このようにボール分布が右肩上がりの分布になる理由は、多くの選手でインステップキックのインパクトが（前額面において）ボールに対して斜めに足を当てる特徴を持っているためと考えられた。すなわち、後方から見てボールインパクト位置がボール中心付近を捉えられていればボールは目標（ゴール中央）付近に飛ぶが、インパクト位置が中心よりも上や右方向にずれるとボールは目標よりも左下に飛び（図6左）、中心よりも下や左方向にずれるとボールは目標よりも右上に飛ぶ（図6右）。

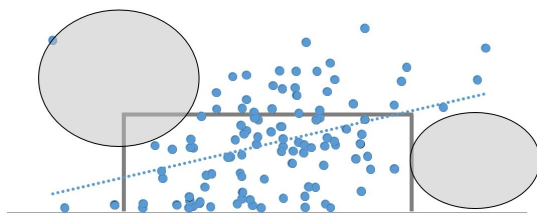


図5 ボール到達位置の分布（左利きの選手のデータは反転処理を施した）

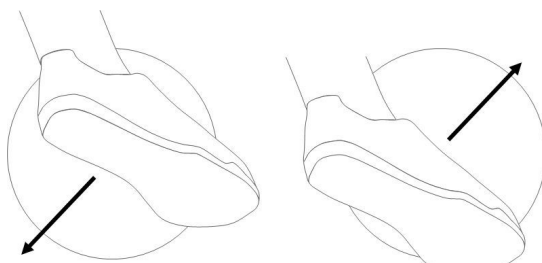


図6 ボールインパクト位置のずれとボール飛翔方向の関係

（2）異なる軌道と高さで飛翔するボールに対するボレーキック動作の測定

2名の被験者におけるボレーキックを遂行することができた高さの範囲は、被験者Aで32cm～100cm、被験者Bで44cm～81cmであり、被験者Aの方が広い範囲を示す結果となった。この各被験者のインパクト時のボールの高さから、さらにボレーキックを3つの高さ条件に分類した（被験者A：低32～54cm、中54cm～77cm、高77cm～100cm、被験者B：低44～56cm、中56cm～68cm、高68cm～81cm）。本実験では「全力のボレーシュートを行うこと」とだけ指示し、ボールインパクトを行う足部の部位までは指示しなかったが、被験者Aではどの高さでもボールを足の甲で捉えるインステップキックを試みており、一方で被験者Bでは高条件においてインサイドキックを試みる試行が数本見られた。

本実験では、体格（特に身長）が同程度の2名を被験者として採用したことから、ボレーキックを遂行可能な高さの違いは被験者の体格以外の点にあったと考えることができる。被験者AのポジションはFWであり、日頃のトレーニングで本実験と同様のシチュエーション（ゴール前）でのボレーシュートを行う機会が多いと思われる。上記に示したボレーキックが可能な高さの範囲の差や高条件におけるインパクト部位の差は、各ポジションに求められる技術や能力の違いの影響を受けているかもしれない。

キックされたボールの到達位置について分析したところ、ボールがゴール枠の左右に外れることは稀で、被験者Aでは全35試行中0本、被験者Bでは全34試行中2本のみ（ゴール左1本、ゴール右1本）であった。一方で、ゴールの上下方向については、ゴール中心を狙っているにもかかわらず、ゴールの上に外れたり、ゴール手前で1バウンドしてしまったりする試行が多く見られた（表2）。サッカーゴールは左右に長く（7.32m）、上下に短い（2.44m）形状をしていることも考慮すべきであるが、2名の被験者ともゴールの上下方向に明らかに大きなばらつきが見られた。

表2 各高さ条件における上下方向のばらつきの割合

被験者A

高さ条件	試技数	割合		
		枠内	1バウンド	ゴール上
低	10	50%	30%	20%
中	14	36%	50%	14%
高	11	18%	55%	27%

被験者B

高さ条件	試技数	割合		
		枠内	1バウンド	ゴール上
低	10	30%	50%	20%
中	17	29%	47%	24%
高	7	29%	29%	43%

各被験者のボレーキック時の動作について分析した結果、示したボレーキック時にボールが上下方向にばらつく、すなわちボールのインパクト位置が上下方向にずれる原因は、主に「インパクト時の足部姿勢」「蹴り足のスイング軌跡」「支持脚の伸展動作」の3点によるものと考えられた。

地面の高さにあるボールをキックする場合（ボールに対して足部を斜めに当てる）と異なり、ボレーキックでは足部をより水平方向に倒した姿勢でボールインパクトを試みる。そのため、インパクトの瞬間における足部の高さの微妙な差がボールのインパクト位置の上下方向のずれに直結することになり、足部がボール中心よりも上に位置してしまうとボールは下方向に飛び、足部がボール中心よりも下に位置してしまうとボールは上方向に飛んでしまうことになる。

また、ボールを真っ直ぐに前方のゴールにキックするためには、蹴り足を水平にスイングし、且つボール中心を正確にインパクトしなければならない。しかしながら飛んでくるボールの高さが高くなるほど、選手は蹴り足のスイングを水平方向から上方向に変化させたり、支持脚を大きく伸展させたりして（股関節の伸展や足関節の底屈も含まれるが、主に膝関節の伸展動作）、蹴り足の足部を高い位置まで到達させようと試みなければならない。これらの上方向への動きが、インパクトの瞬間における足部とボールの位置関係のずれへとつながり、ボールの上部や下部を捉えてしまったり、ボールを下から上に蹴り上げてしまったりするミスへと繋がることが示唆された。

### (3) まとめ（指導現場への応用）

2つの実験によって、キックされたボールの分布は、前方から転がってきたボールに対しては右肩上がり（左利きの場合右肩下がり）、側方から飛んできたボールに対しては上下方向にばらつくことが明らかとなった。これには、それぞれのキックにおけるインパクト時の足部姿勢が影響している。

前方から転がってくるボールをダイレクトでキックする場合、転がるボールの速度が大きくなるほど足部の適切な位置でインパクトができなくなり、ボール速度が期待値よりも増加しなかったり、キックの正確性が失われてしまったりする結果を招きやすい。このことから、転がるボールをキックする場合には、ボールの転がる速さに合わせて、大きなスイングをするよりも正確さを重視した小さなスイングに調整する方が、結果的にボール速度とキックの正確性の両方を高めることに繋がられるかもしれない。

また、側方からボールが飛んでくるボレーキックの場合、ボールの高さが高くなるほど蹴り足を高く上げるために上方向への身体の動きが生じるため、ボール中心への正確なインパクトができなくなってしまう。ボレー

キックにおいてはこのような動作の特徴をよく理解し、ボールの中心を正確にインパクトすることを最重要視することと、蹴り足のスイングを常に水平に保つよう身体を操作することで（例えば、支持脚の伸展が生じてしまう場合、蹴り脚の股関節より末端をダウンスイングさせることで上下方向の動きが相殺される）、正確性の改善に結びつけられるかもしれない。

## 5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 2 件)

新海宏成, 井上功一郎, 岩崎領, 布目寛幸. サッカーにおける転がるボールに対するインステップキックのパフォーマンス. 日本フットボール学会 13th Congress, 2016年3月12日, 東洋大学(東京都・文京区).

新海宏成, 井上功一郎, 布目寛幸. 様々な速度で転がるボールに対するサッカーダイレクトシュートのパフォーマンス変容. 第28回日本トレーニング科学学会大会, 2015年11月14日, 鹿屋体育大学(鹿児島県・鹿屋市).

〔その他〕(計 1 件)

トレーニング科学研究賞大賞 受賞. 2015年11月15日, 鹿屋体育大学(鹿児島県・鹿屋市).

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

新海 宏成 (SHINKAI, Hironari)  
東京学芸大学・芸術・スポーツ科学系・准教授  
研究者番号: 10581217

### (2) 研究協力者

井上 功一郎 (INOUE, Koichiro)  
布目 寛幸 (NUNOME, Hiroyuki)  
岩崎 領 (IWASAKI, Ryo)