

## 大学生サッカー選手の異なる条件下におけるキック動作の運動学的解析

### Kinematic characteristics of kicking movement on different condition in collegiate soccer players

西田 祐士\*, 趙 天陽\*\*, 畑島 一翔\*\*\*, 飯田 周平\*, 田中 重陽\*

Yushi NISHIDA\*, Tenyo CHO\*\*, Kazuto HATASHIMA\*\*\*  
Shuhei IIDA\*, Shigeharu TANAKA\*

#### Abstract

The purpose of this study was to evaluate kicking movement under the different conditions using a motion capture system, and to investigate the kinematic characteristics of kicking movement. The subjects were 11 male collegiate soccer players. Subjects were performed kicking movement on the stationary ball (SB) and passed ball (PB) at the maximal efforts. The ball velocity was measured by speed gun. The center of gravity and the movement velocities of each part of the kicking leg were measured by the motion capture system.

No significant differences were observed between the SB and PB conditions for ball velocity, maximum foot swing, and maximum segment velocity for each body part. On the other hand, the values of the aiding speed were significantly higher in SB than that of PB condition. In PB condition, the tendency for the center of gravity, thigh and lower leg maximum velocity to appear earlier than in SB condition was confirmed. In addition, the velocity of the center of gravity in PB condition was significantly lower than that of SB condition during the 90% and 95% normalized phases immediately to impact.

From these results, it was indicated that the kicking movement for a ground ball is characterized by a deceleration of the center of gravity velocity just before the kick for achieve an accurate impact.

*Key words; Soccer, Kicking movement, Kinematic*

\* 国士館大学体育学部 (Faculty of Physical Education, Kokushikan University)

\*\* 武漢東湖学院 (Wuhan Donghu University)

\*\*\* 国士館大学大学院スポーツ・システム研究科 (Graduate school of Sport System, Kokushikan University)

## I. 緒言

近年、競技スポーツにおける専門動作は高性能な高速度カメラやモーションキャプチャシステムによって運動学・運動力学的観点から解析され、パフォーマンスの優劣や効率の良い動作の解明がなされている。サッカーのキック動作についてもあらゆる観点から多くの研究<sup>2) 4) 5) 7) 8) 9)</sup>がなされてきた。それらの多くは、ボール速度をキック能力の指標として評価し、蹴り足のスイング速度を高める<sup>10)</sup>ことや、インパクト時に足関節を固定すること、さらには、足部のインパクト位置など技術面の要素の重要性<sup>6)</sup>等が指摘がされている。さらに、異なる競技レベルのサッカー選手を対象に、スイング速度及び脚伸展パワーとボール速度の関係について検討したもの<sup>3)</sup>によれば、同一レベルのスイング速度及び脚伸展パワーであれば、熟練者の方がインパクトする技術が高く、より高いボール速度を有することが明らかにされている。これらの先行研究のほとんどが静止したボールに対する最大努力でのキック動作を対象としているが、実際のサッカー競技中でみられるキックやパス動作は、静止したボールよりもパスされたボールに対して行われることが多い。従って、サッカー選手のキック能力の評価は静止したボールに対するキック動作だけでなく、動的なボールに対しても評価する必要がある。静止したボールとパスされたボールに対するキック動作の運動学的特徴を明らかにすることは、サッカー選手のキック能力の向上や、コーチングの現場に役立つ情報を提供することが可能となる。そこで本研究では、静止した条件とパスされた条件における

キック動作をモーションキャプチャシステムによって捉え、キック動作の運動学的特徴を明らかにすることを目的とした。

## II. 方法

### 1. 被験者

被験者は、サッカーの専門的なトレーニングを現在も継続している男子大学生11名とした。被験者の年齢、競技年数及び身体的特徴を表1に示した。被験者には、事前に実験の主旨や研究目的、方法及び安全性について十分に説明し、実験参加の同意を得た。

なお、本研究は国士舘大学研究倫理委員会の承認後に実施した(受付番号: 22017)。

### 2. 実験試技

実験試技としてのキック動作は、静止したボールに対するキック動作(静止条件)と転がされたボールに対するキック動作(動的条件)の2条件で行わせた。測定に使用したボールは、日本サッカー協会(JFA)の認定球である5号球(質量420g、ボール空気圧0.6hp、周囲: 68-70cm MIKASA社製)とした。スピードガン(SPEEDSTERV, Bushnell社製)を用いてボール速度を計測した。被験者にはランニング及びウォーミングアップを十分に行わせた後、11m前方に置かれたゴールネット(縦1.45m×横1.45m×高さ1.20m)の中央を標的として、インステップキックにより最大努力でのキック動作を行わせた。各被験者に自由な助走方法で標的を狙ってボールを蹴るよう指示したが、試技間で助走位置が変わらないように、助

表1 被験者の身体的特徴

n	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)	競技年数(年)
11	20.0±0.9	174.3±4.7	69.9±4.6	14.7±1.8

走のスタート位置とキック位置は両条件で統一した。動的条件の試技では、一定速度でボールを供給するために、被験者の右前方45°の方向、3mの位置に設置したネットの高さ1.5mの高さに2本のレールを設定し、ボールを転がすようにした。ボールがグラウンダーで転がる距離は2mとすることで、転がるボールの速度を20km/h前後に設定した。いずれの条件も、3回のキック動作を行わせ、ボール速度の最も高い試技を分析の対象とした。

### 3. モーションキャプチャシステム

キック動作の運動学的解析は3次元慣性センサーモーションキャプチャシステム(Xsens MVS: サンプル周波数240Hz)を用いて実施した。被験者には体格に合わせた専用スーツを着用させ、頭部(右側頭部)、胸部(胸骨中央の前額面)、骨盤(左右腸骨稜の中央背部)、左右の肩(左右の肩甲骨中央部)、上腕部(上腕長中央の側部)、前腕部(前腕長遠位部の前額面)、手の甲、左右の大腿部(大腿長中央の側部)、下腿部

(下腿長遠位部の前額面)、踵に、3Dジャイロスコープ、3D加速度センサー及び3D磁気センサーを搭載した慣性・磁気計測ユニットを装着した。計測中の測定データは、無線通信によってPC端末に取り込まれる。

鉛直方向をZ軸、試技開始時のキック方向をX軸、X軸と交差する方向をY軸とする右手座標系を静止座標系として定義し、キャリブレーションを実施した。本測定システムは、慣性・磁気計測ユニットが通信可能となることで、身体計測点17点から身体モデルが構築され、3次元座標データの取得が可能となる(図1)。

### 4. 分析項目と統計処理

本研究では、動作開始から動作終了までのデータを取得し、キック直前の蹴り足が地面に接地した地点から、インパクトまでを分析局面とした(図2)。静止条件と動的条件における分析項目は、ボール速度と蹴り脚足部の最大振上高及び助走速度とした。また、蹴り足の大腿部、下腿部、足部及び重心の3次元時系列データから合成速度を算

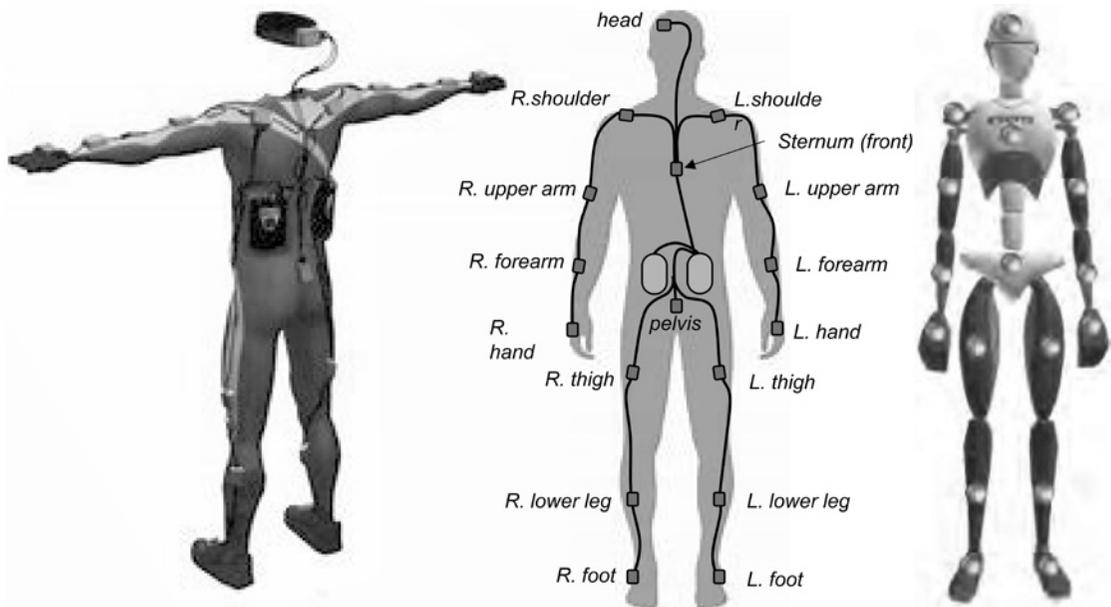


図1 モーションキャプチャシステムのスーツとセンサーの位置

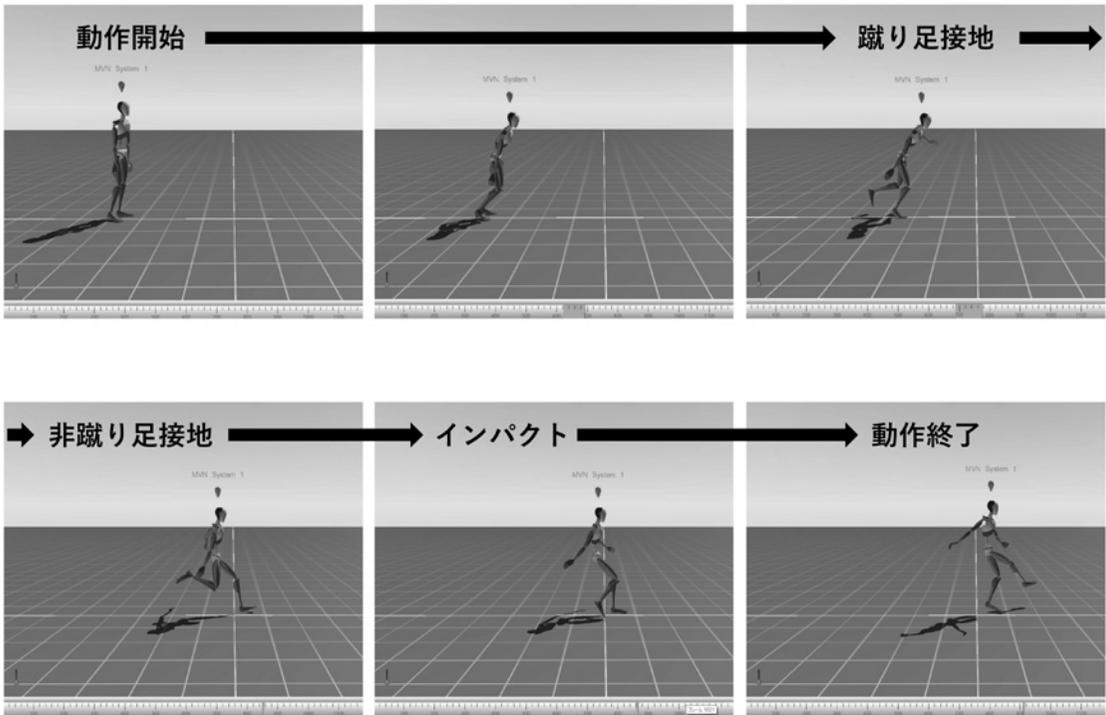


図2 分析局面

出し、分析局面の最大値を抽出した。助走速度は、分析局面である蹴り足が接地した時点の重心速度として抽出した。その後、静止条件と動的条件下で分析局面の動作時間が異なるため、分析局面を100%として規格化し、蹴り足の大腿部、下腿部、足部及び重心の速度を5% time毎の平均値として算出した。

有意差の検定は、統計処理ソフト（Stat View5.0）で実施した。静止条件とPASS条件下における分析項目の有意差検定は対応のあるT-testで実施した。規格化時間による相対値については、規格化した時間と条件による二元配置分散分析で有意差を検定した。分析項目間の関係性については、単純相関による相関係数を算出し、有意性を検証した。いずれも、5%未満を有意とした。

表2 静止条件及び動的条件下におけるボール速度、助走速度、足部最大振上高の比較

項目	静止条件	動的条件下
ボール速度 (m/sec)	28.2 ± 1.0	28.4 ± 0.9
助走速度 (m/sec)	3.42 ± 0.28	* 3.11 ± 0.16
足部最大振上高(m)	0.63 ± 0.07	0.62 ± 0.08

\*: p &lt; 0.05

### Ⅲ. 結果

静止条件と動的条件下におけるボール速度、助走速度及び足部最大振上高を比較した（表2）。静止条件のボール速度は、28.2 ± 1.0m/sec、動的条件下は28.4 ± 0.9m/secを示し、両条件間に有意な差は認められなかった。一方、助走速度は静止条件が動的条件下よりも有意に高い値を示した。足部最大振上高は条件間に有意な差は認められなかつ

た。次に、静止条件と動的条件のボール速度の関係について検討した(図3)。両項目間に有意な相関関係は認められなかった。重心及び下肢各部位の合成速度の最大値を条件間で比較した結果、全ての部位において条件間の有意差は認められなかった(表3)。

静止条件及び動的条件の蹴り足接地からインパクトまでを規格化時間でまとめ、相対的に評価した(図4)。両条件における各部位の合成速度の最大値出現順序は、大腿部、重心、下腿部、足部の順であった。しかしながら、静止条件に対して動的条件下では、重心、大腿部及び下腿部の合成速度最大値出現の局面が早期にみられる傾向を示し

た。図5は、両条件における重心及び下肢各部位の合成速度の変化様相を規格化時間で比較したものである。大腿部、下腿部及び足部は異なる条件であってもほぼ同様な変化様相を示したものの、重心については終始静止条件が動的条件を上回り、インパクト直前の90、95%局面で有意な差が確認された。

#### IV. 考 察

本研究ではキック動作をモーションキャプチャシステムによって測定し、異なる条件下におけるキック動作の運動学的特徴について検討した。パスを想定した動的条件下では、転がってきたボールの運動量を利用できることからボール速度は静止条件よりも高くなると予想していた。しかしながら、本研究の結果では、両条件間に有意な差が認められなかった。グラウンダーボールのキック動作の特徴を検討した先行研究<sup>1)</sup>では、ボール速度に有意差は認められないことが報告されており、本研究の結果と類似していた。一方、先行研究<sup>1)</sup>では、下肢のスイング速度がグラウンダーボール条件の方が静止条件よりも有意に遅くなり、この要因として、グラウンダーボール条件では、スイングスピードが遅くても、転がってくるボールの運動量を利用して蹴ることができたものと推察している。本研究では、下肢各部位や重心の合成速度最大値には条件間による有意差は認められなかったことから、下肢のスイングスピードに相応したボール速度が得られたものと推察された。

また、図3に静止条件と動的条件におけるボール速度の関係を示したところ、両項目間に有意な相関関係は認められなかった。この結果は、静的条件で高いボール速度を生み出すキック動作を獲得していても、必ずしも動的条件下では高いボール速度を獲得できるわけではないことを示すものであり、先行研究<sup>1)</sup>で指摘されているようにグラウンダーによる

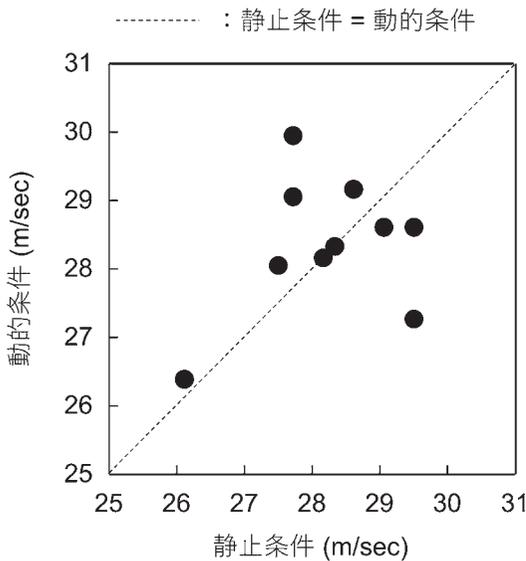


図3 静止条件と動的条件におけるボール速度の関係

表3 静止条件及び動的条件における重心及び下肢各部位の合成速度の比較

合成速度	静止条件	動的条件
重心 (m/sec)	4.28 ± 0.47	4.01 ± 0.47
大腿部 (m/sec)	5.11 ± 0.39	4.92 ± 0.46
下腿部 (m/sec)	10.15 ± 0.91	9.84 ± 0.64
足部 (m/sec)	12.74 ± 1.51	12.19 ± 0.99

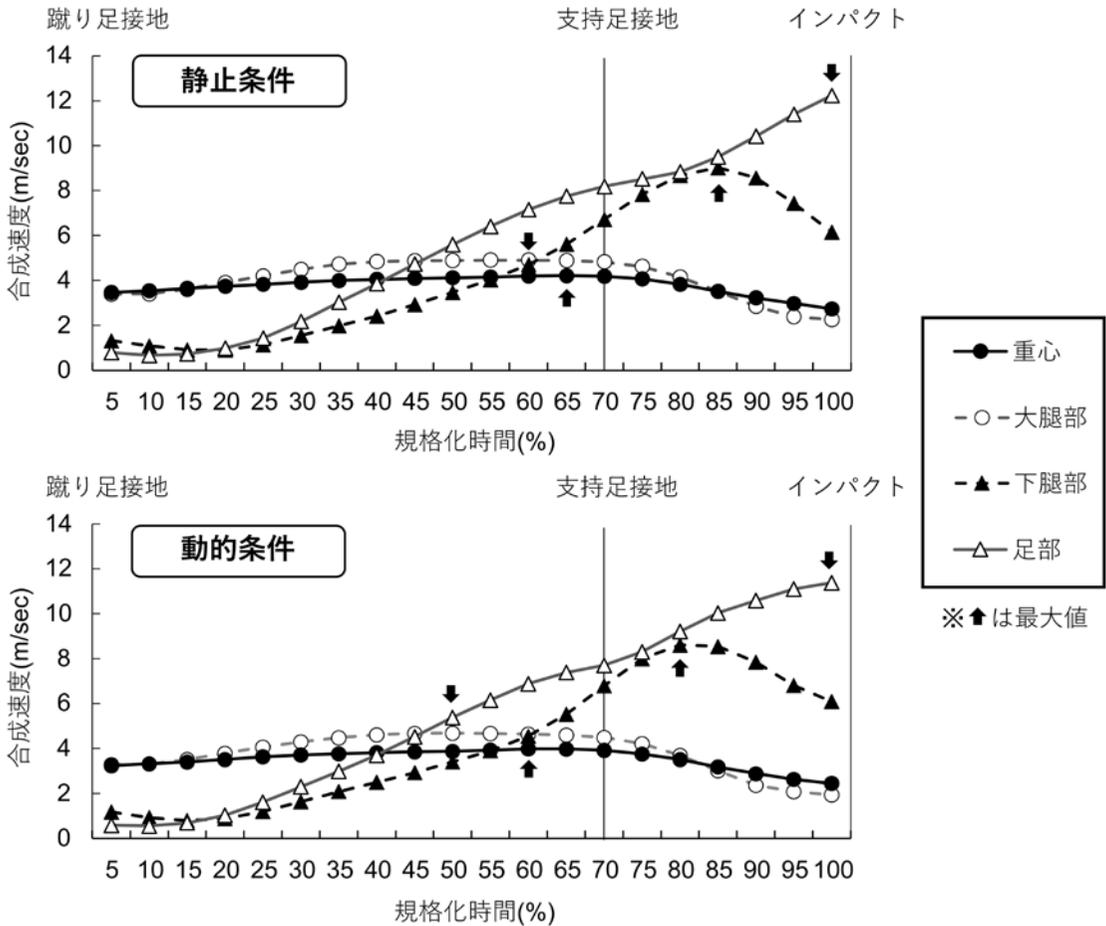


図4 重心及び下肢各部位の合成速度の変化

ボールの運動量をうまく利用できたものもあれば、そうでないものも存在することが明らかとなった。

助走速度は、静止条件に対して動的条件では有意に低い値を示し、ボールキック直前の助走速度が異なることが明らかとなった。さらに、規格化時間で評価したところ、両条件ともに各部位の最大速度は大腿部、重心、下腿部、足部の順に出現し、下肢各部位の運動連鎖に大きな違いは認められなかったものの、動的条件では、重心、大腿部及び下腿部の最大速度出現局面が、静止条件よりも早期に出現する傾向を示した。重心、大腿部の最大速度の出現は、支持足接地前であったことも

考慮すると、動的条件では、ボールの動きに対してタイミングを調整するために、助走速度を制御した可能性が示唆された。これまでに、キック動作におけるボール速度を高めるためには、下肢のスイング速度を高める<sup>10)</sup> ことに加え、正確にインパクトすることの重要性が指摘<sup>6)</sup> されている。本研究では、動的なボールに対するキック動作の特徴として、支持足接地直前の助走速度の減速が認められた。先行研究の指摘と本研究の結果を考慮すると、グラウンダーによるボールに対するキック動作は、正確にインパクトするために、キック直前の重心速度を減速することで調整している可能性が示唆された。

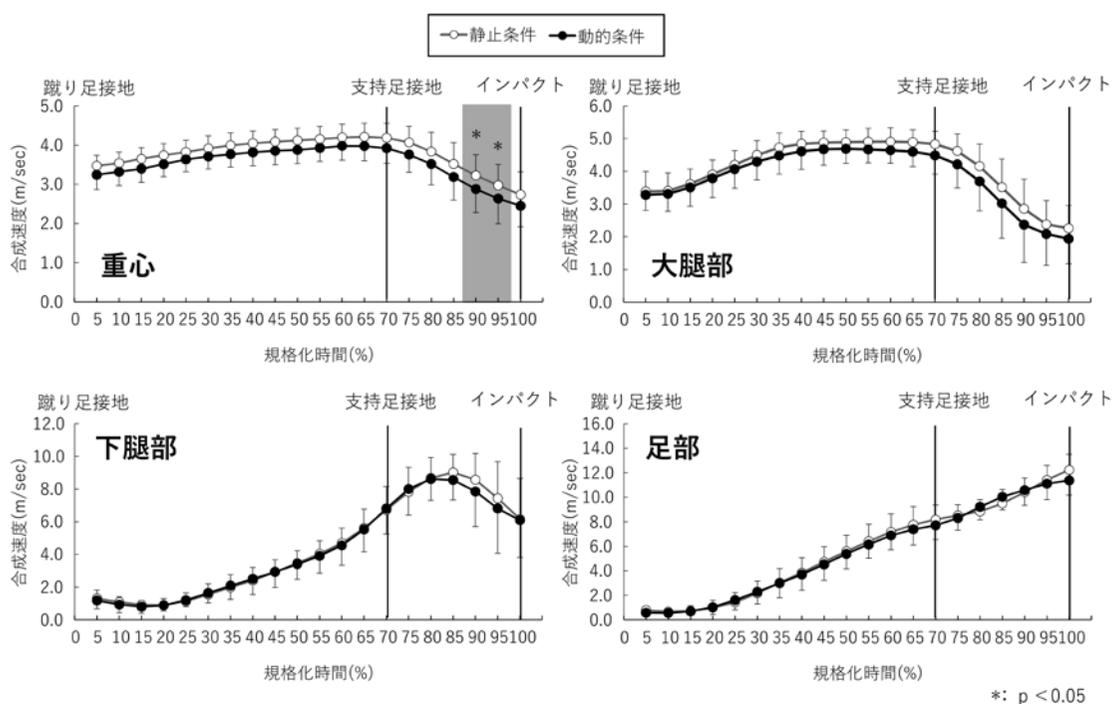


図5 重心及び下肢各部位における合成速度の変化

## V. 総括

本研究ではキック動作をモーションキャプチャシステムによって測定し、異なる条件下におけるキック動作の運動学的特徴について検討した。その結果、以下のことが明らかとなった。

1. ボール速度、足部最大振上高、身体各部位の合成速度最大値は、静的条件と動的条件間に有意な差は認められなかった。一方、助走速度は静止条件が動的条件よりも有意に高い値を示した。
2. 静止条件に対して動的条件では、重心、大腿部及び下腿部の合成速度最大値出現の局面が早期にみられる傾向が確認された。また、規格化時間で評価したところ、動的条件の重心の合成速度は、インパクト直前の90、95%局面で静止条件よりも有意に低い値を示した。

以上の結果から、グラウンダーボールに対する

キック動作は、正確にインパクトするためにキック直前の重心速度を減速させる特徴があることが明らかとなった。

## 参考文献

- 1) 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 (2012) 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, 第26巻, 第2号: 167-176.
- 2) Inoue, K., Nunome, H., Sterzing, T., Shinkai, H., and Ikegami, Y. (2014) Dynamics of the support leg in soccer instep kicking. J. Sports Sci., 32: 1023-1032.
- 3) 伊藤浩志, 村木征人. (1997) 走, 跳, 投動作のグレーディング能力に関する研究, スポーツ方法学研究, 第10巻, 第1号: 17-24.
- 4) 荻山靖, 渡来真人, 関子浩二. (2014) サッカーのインステップキックにおけるボール速度に影響する支持脚の筋力およびジャンプ能力: 助走速度の相違に着目して, 体育学研究, 59: 755-770.
- 5) 川本竜史, 宮城修, 大橋二郎, 深代千之. (2006) サッカーのインサイドキックにおける Speed-accuracy trade-off) のメカニズム, バイオメカニ

- クス研究, 10 (4) : 235-244.
- 6) 村木征人, 稲岡純史. (1996) 跳躍運動における主観的強度 (努力度合) と客観的出力との対応関係. スポーツ方法学研究, 第9巻, 第1号 : 73-79.
  - 7) 中村康雄, 齊藤稔, 林豊彦, 江原義弘. (2010) 熟練者・未熟練者におけるインステップキック動作解析, バイオメカニズム, 20 : 53-64.
  - 8) Nunome, H., Ikegami, Y., Kozakai, R., Apriantono, T., and Sano, S. (2006) Segmental dynamics of soccer instep kicking with the preferred and non-preferred leg. J. Sports Sci., 24: 529-541.
  - 9) 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, 1 : 25-37.
  - 10) 手島貴範, 角田直也. (2010) 発育期男子サッカー選手における下肢スイング速度がボールキック能力に及ぼす影響, 発育発達研究, 第47号 : 1-9.