

無回転キックは意外と簡単？ ～サッカーのキック技術のコツを科学的に解明～

サッカーにおけるインステップキック（ストレートキック）やカーブキック、無回転キック（ナックルキック）等は、フリーキック等で頻繁に用いられ、極めて重要な技術です。これまで、これらのキック技術は、それぞれ独立した異なる技術として説明、指導されてきましたが、選手の体験談や事例研究を適用したものが多く、それぞれのキック技術のキーファクター（コツ）を把握することが困難で、膨大な時間や試行錯誤を費やしても、未習得に留まる場合が少なくありませんでした。

そこで本研究グループは、光学式3次元モーションキャプチャシステムとバーチャルモデリング技術を連携させ、インステップキック、カーブキック、無回転キックを統合して、バイオメカニクスの、コーチング学的に分析し、各キック技術の類似点や相違点から、技術のキーファクターを検討しました。その結果、水平面における足部のインパクト面方向と、そのスイング方向がなす迎え角（含む偏角）が大きなキックほど、ボールの横回転が増大する傾向が見られ、迎え角の大きさによってカーブキック（斜めインパクト）と無回転キック（フラットインパクト）が、連続的に蹴り分けられていることが示唆されました。

本研究成果により、これまで個別の技術として扱われていたさまざまなキックを統一的に把握することが可能になるだけでなく、カーブキックの延長線上として無回転キックのキーファクターを捉えることにより、多様なキック技術の習得が容易になると期待されます。

研究代表者

筑波大学体育系

中山 雅雄 教授

研究の背景

これまで、サッカーのキック動作に関する研究では、インステップキック（ストレートキック）、インサイドキック、カーブキック、無回転キック（ナックルキック）等を対象として、それぞれ独立した異なる技術として分析されてきましたが、エキスパート選手を事例研究的に概説したものや、力学的計測結果の羅列に留まっている報告が中心であり、複数のキック技術を関連付けて比較検討したものは多くはありませんでした。また、ボールインパクト時の足部姿勢やインパクトポイント、スイング軌跡等を統合的に分析し、そのキック技術のキーファクター（コツ）を検討して示した研究はほとんどありません。

一方、映像による分析が難しいとされてきたインパクトポイントの特定には、足部とボールのバーチャルモデルの作成が有用であると考えられます。そこで本研究では、光学式 3D モーションキャプチャシステムとバーチャルモデリング技術を連携させて、インステップキック、カーブキック、無回転キックのそれぞれにおける、ボールインパクト時の足部姿勢、インパクトポイントの位置、インパクト面方向やスイング方向、およびそれらが成す角度（迎え角）等を比較検討し、各キック技術の類似点や相違点を明らかにするとともに、キックごとのキーファクターの解明を試みました。

研究内容と成果

本研究では、実験協力者（大学サッカー男子選手）15 名を対象とし、インステップキック、カーブキック、および無回転キックについて、それぞれのキック動作を分析しました。実験協力者の足部には、Plug-in Gait モデル^{注1}の蹴り足踵（RHEE）に加えて母趾球（Mend1）、小趾球（Mend5）の3ヶ所に反射マーカーを貼付してバーチャルフットモデルを作成し、ボール表面には4点（top、front、right、left）のマーカーを貼付してバーチャルボールモデルを作成して、光学式 3D モーションキャプチャシステム（VICON、2000 Hz）のカメラ10台を用いてキック動作を記録するとともに、ボールの速度と回転数を計測しました。足部インパクトポイントは、踵マーカーを原点とした足部セグメント上の三次元座標変位とし、足部インパクトポイントの軌道は、初期位置のボール中心を原点とする変位として求めました。各試技の計測時間は、ボールインパクト前の0.005秒から、足部とボールが離れるインパクト後0.01秒までの間としました。

分析の結果、インパクト直前の平均足部内傾角度（前額面）は、インステップキックでは約50度、カーブキックは約20度、無回転キックは約40度であり、カーブキックの足部が最も傾いてインパクトしていることが示されました（図1）。

足部インパクトポイントの位置は、インステップキックでは左右成分が -27 ± 5 mm、前後成分が 155 ± 5 mm、鉛直成分が 51 ± 2 mm、カーブキックでは、左右成分が -37 ± 2 mm、前後成分が 151 ± 13 mm、鉛直成分が 47 ± 4 mm、無回転キックは、左右成分が -35 ± 7 mm、前後成分が 143 ± 11 mm、鉛直成分が 50 ± 3 mmでした（図1）。インステップキックは左右成分が他より有意に大きく、カーブは鉛直成分が他より有意に小さく、無回転は前後成分が他より小さくなっていることが分かりました。

全3種類のキック試技を集約したインパクト直前の水平面における足の甲インパクト面方向および足部スイング方向のなす角度（迎え角）と、ボール回転数の関係では、迎え角が大きくなるほどボールの横回転数が増大する傾向がみられました（ $R=0.84, P<0.01$ ）（図2）。また、より詳細なボールインパクト過程におけるインパクトポイントとボール中心の位置、およびボール回転数の関係を検討すると、全試技を集約したスイングベクトルの平均偏角値とボール回転数とには、高い相関がみられました（水平面： $R=0.93, P<0.01$ 、矢状面： $R=0.83, P<0.01$ ）。

本研究で計測された足部インパクトポイントの位置は、いずれのキック技術においても、比較的剛性の高い足根骨（楔状骨等）近傍の、足の甲の中央部、やや内側（第一中足骨側）に分布していました。特に

インステップキックは、他のキックと比較して、骨盤のオープンスタンスによる股関節の屈曲、膝関節の伸展を活用したスイングにより、より足の甲の中央エリアでインパクトしている傾向を示していました（図3）。また、カーブキックは、インステップキックと比較して、骨盤のクローズドスタンスによる内旋、内転を用いたスイングになる傾向があり、インサイドに近い部位でインパクトすることにより、水平面での迎え角を形成してボール回転を生成していると思われました。さらに、無回転キックは、インステップキックとカーブキックの中間的スイングとなる傾向があり、骨盤をクローズドスタンスにしつつ、迎え角を小さくし、より足部重心に近い部位でインパクトすることにより、ボールの回転を抑制していると考えられました。

これらのことから、カーブキックでは、水平面での迎え角（含む偏角）の大きさやボールインパクト位置によってボール回転数をコントロールしていると推測され、逆に無回転キックでは、迎え角を低減し、スイング方向を直線的（フラット）にしてボール中心をインパクトすることにより、ボール回転数を抑制していると考えられました（図4）。このボールインパクト時における水平面での足部迎え角（含む偏角）のコントロールは、水平面での運動が中心となるため、骨盤はオープンスタンスを主動としたスイング動作より、クローズドスタンスを主動としたスイング動作の方が、より容易に実現できると推察されました。すなわち、骨盤のクローズドスタンスにより足部の迎え角（含む偏角）を生成してボールインパクトする技術が、カーブキックや無回転キック等の、ボールの横回転をコントロールするキック技術の重要なキーファクターの一つであると示唆されました。

従来、ボールに回転をかけるカーブキックと、回転を抑える無回転キックは、全く異なるキック技術として把握、説明されがちでしたが、本研究により、回転をコントロールするインパクト運動のメカニズムで共通の働きが示され、その意味では、カーブキックと無回転キックは兄弟的技術であり、それぞれに特別な練習が必要なわけではないとも言えます。これらの知見をスポーツコーチングや学習指導に活用することにより、新たなキック技術やコーチング方法の習得、開発につながる可能性があります。

今後の展開

本研究では、光学式3Dモーションキャプチャシステムとバーチャルモデリング技術を連携させ、キック動作の分析を行いました。この手法を応用することにより、他のさまざまなキックやトラップ、ドリブル等のボールテクニックも検討・解明できると思われれます。例えば、縦回転キックやディッピングショット等は未解明な面が多く、習得が難しいとされていますが、この分析手法を適用することにより、技術的キーファクターを示すことができ、選手の競技パフォーマンスが向上するだけでなく、コーチング方法の改善にも役立つと期待されます。

参考図

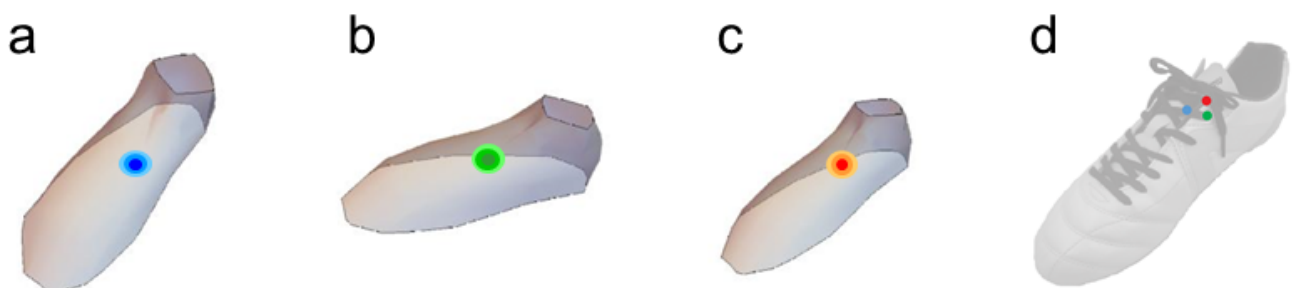


図1 ストレートキック (a)、カーブキック (b)、無回転キック (c) の足部姿勢（正面図）と平均インパクトポイント位置、およびそれらの位置の比較 (d)。

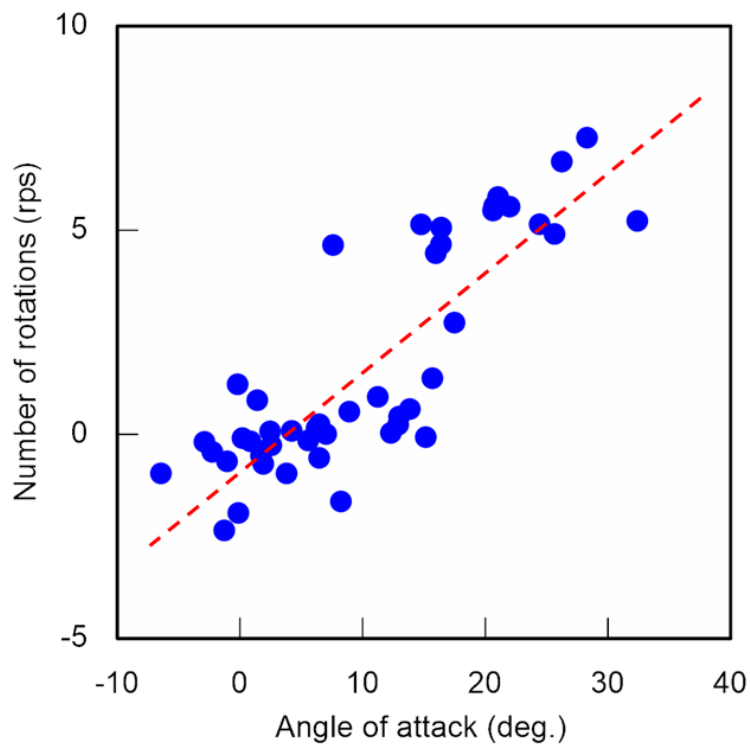


図2 ストレートキック、カーブキック、および無回転キックにおける迎え角（水平面、横軸）とボール回転数（横回転、縦軸）の関係（ $R = 0.84, P < 0.01$ ）。



図3 ストレートキック (a)、カーブキック (b)、及び無回転キック (c) における、ボールインパクト直前（下図）とボールインパクト直後（フォワードスイング開始時、上図）の下肢キネマティクス。

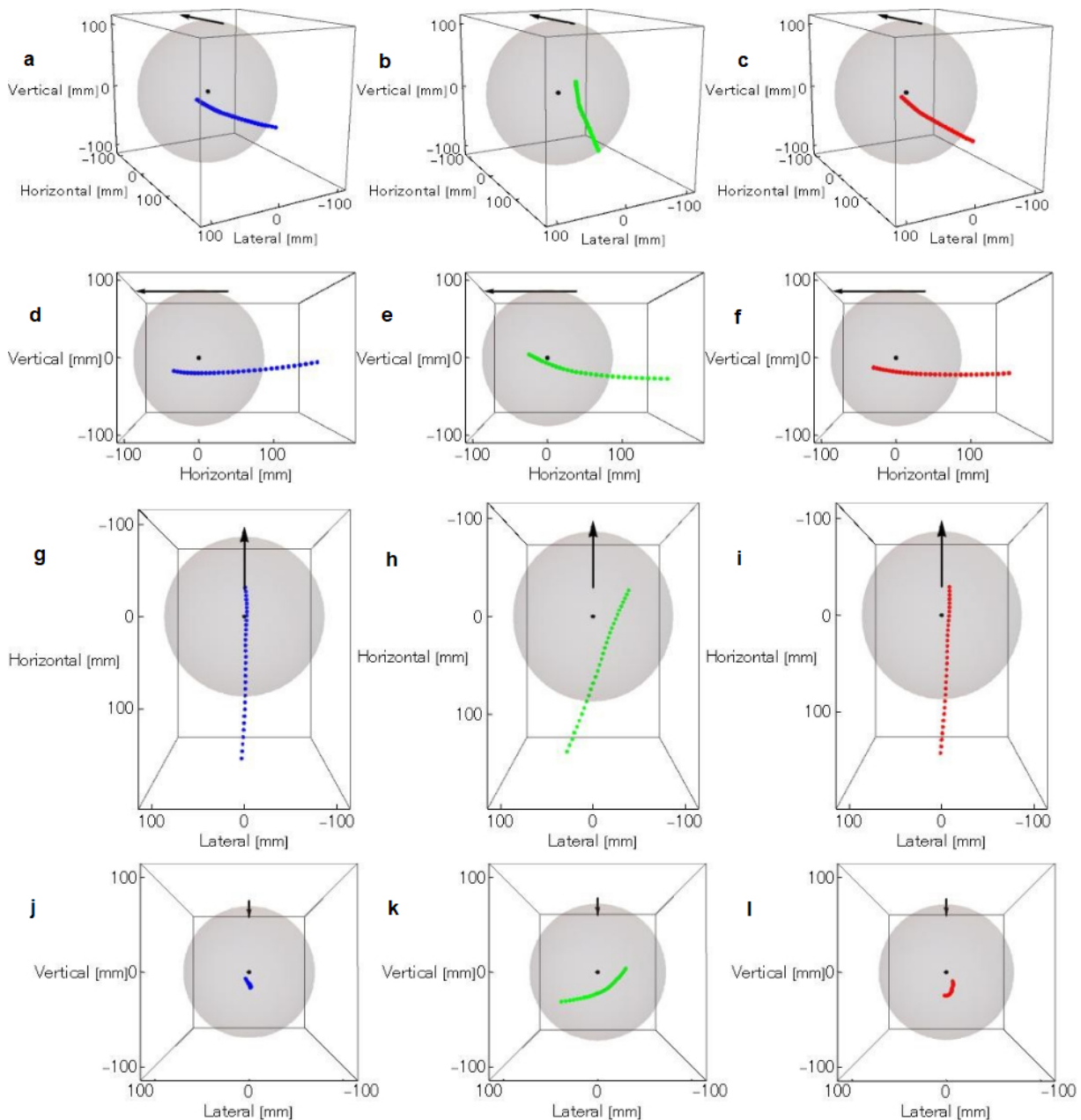


図4 各キック動作のボールインパクト過程における足部インパクトポイントの移動軌跡（ストレート：青色、カーブ：緑色、無回転：赤色（動作主視点：a, b, c, 矢状面：d, e, f, 水平面：g, h, i, 前額面：j, k, l））

用語解説

注1) Plug-in Gait モデル

光学式モーションキャプチャシステムで採用されている、汎用マーカー貼付位置モデルの一つ。

研究資金

科学研究費補助金（基盤研究（B）、20H04006）（研究代表者：浅井武）

掲載論文

【題名】 Features of ball impact in straight, curve, and knuckle kicks in soccer.

（サッカーのストレート、カーブ、ナックルキックにおけるボールインパクト特性）

【著者名】 Kaoru Kimachi^a, Masaaki Koido^b, Sungchan Hong^c, Shuji Shimonagata^d, Masao Nakayama^b, Takeshi Asai^b

^aDoctoral program in Coaching Science, University of Tsukuba, Tsukuba, Japan

^bFaculty of Health and Sports Sciences, University of Tsukuba, Tsukuba, Japan

^cInstitute for Liberal Arts, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan

^dFaculty of Education, Chiba University, Chiba, Japan

【掲載誌】 *Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*

【掲載日】 2022年6月28日

【DOI】 10.1177/17543371221101234

問合わせ先

【研究に関すること】

中山 雅雄（なかやま まさお）

筑波大学体育系教授

URL: <https://trios.tsukuba.ac.jp/researcher/0000001949>

【取材・報道に関すること】

筑波大学広報局

TEL: 029-853-2040

E-mail: kohositu@un.tsukuba.ac.jp