

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 5 月 16 日現在

機関番号：12102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25750283

研究課題名(和文) サッカーボールの飛翔軌道を決定する流体力学的要因分析

研究課題名(英文) Aerodynamics to determine the flight trajectory of the soccer ball

研究代表者

洪 性賛 (HONG, Sungchan)

筑波大学・スポーツR&amp;Dコア・研究員

研究者番号：10638547

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：無回転シュートの蹴り方について4台の高速ビデオカメラシステムを用いてカーブシュートやストレートシュートと比較し、キック動作における蹴り脚のスイング特性を検討した。さらに、ボールインパクト時における蹴り脚の局面を分析し、無回転シュートの技術的メカニズムを明らかにした。また、各種のシュートにおけるインパクト時の出発渦を可視化し、出発時におけるボール後流の渦形成を比較検討することでボールに働く流体力の初期条件を明らかにした。さらに、出発渦の初期構造が以後のボール飛翔軌跡に及ぼす影響を分析し、各種のシュートの異なる出発渦構造が実際に飛翔するボールに働く流体力及び飛翔軌道への影響を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In this study, I was used a four high-speed video camera system to investigate the swing motions of knuckle shots. University soccer players capable of kicking the knuckle shot were selected, and the swing motions of their kicking leg were compared as they kicked a knuckle, curve, or straight shot. Thus, in the present study, I found the kicking methods on knuckle shot by analyzing kicking motions and the phase of impact between the kicking foot and ball. Also, I analyzed the aerodynamic force and frequency that affect the flying knuckle shot kicked by an actual soccer player using high-speed video cameras and considered the unsteady aerodynamic characteristics of the knuckle effect ball. Furthermore, the fluid around the knuckle effect ball in flight was visualized using a smoke agent (titanium tetrachloride), and an attempt was made to clarify the fundamental fluid mechanics expressed by the knuckle ball as well as to analyze the vortex dynamics.

研究分野：スポーツ流体力学

キーワード：サッカーボール

## 1. 研究開始当初の背景

最近のサッカーでは、ボールインパクト技術が向上し、さまざまなインパクト部位の活用やスイング動作が行われるようになり、より複雑な変化球も編み出されて威力を発揮している。たとえば、トッププロ選手のインフロントを用いたカーブキックでは、サイドスピンの他にトップスピンをかける場合がある。このような意図的にトップスピンをボールにける技術は極めて特異な技術であり、従来のカーブシュート以上に曲がりながら落ちるシュートになる。また、一部のトップレベル選手は、意図的に回転をあまりかけない無回転系ボールでゴールを狙うナックリングシュートも行っている。この無回転系シュートは、ボール後流の不規則な渦振動の励起により、ボールが揺れたり落ちたりするとされており、ナックルボール、あるいはナックリングシュートと呼ばれるようになってきている(Asai et al., 2008)。

これまでの実際に飛翔するサッカーボールを対象とした流体力学的研究では、ボール周りの流体を、発煙物質(四塩化チタン)を用いて可視化し、その渦動態を分析すると共に、ナックルボールが発現する流体力学的メカニズムを大規模構造について報告された(Hong et al., 2010)。また、空中によるボールの挙動を正確に把握し、空気力の効果を厳密に定量化するためには、同一の飛び出し状態を再現性高く実現できるキックロボットを活用し、ナックルボールの非定常空力特性を比較検討してきた(Hong et al., 2011)。しかし、実際飛翔するサッカーボールの不規則な変化を引き起こす大きな原因の1つとして考えられるボールインパクトから生じる出発渦の形成、変形、崩壊に関連した研究は見当たらない。そこで本研究ではボールと蹴り足のインパクト場面(ボール出発時)を中心に、様々なシュートにおける蹴り足の運動及びインパクト時のボール変形と出発渦の動態を分析することでサッカーボールの飛翔軌道を決定する流体力学的要因を明らかにする。また、本研究で開発されるシステムを、実際に飛翔するスポーツボール後流の可視化研究に適用し、世界に先駆けて実運動中のボール後流の動態を定量的に明らかにする。

## 2. 研究の目的

近年、スポーツにおける流体力学的研究が最先端のトピックの一つになってきた。2010年南アフリカワールドカップ公式球のジャブラニ(JABULANI)騒動をあげるまでもなく、流体工学的研究・開発は世界各国の最重要課題の一つになっている。特に、現代サッカーでは、無回転または低回転で飛翔するサッカーボールにおいて、飛翔軌跡が急激に落ちたり、揺れたりする非定常現象が「ナックルボール」という不規則な変化球として注目され、そのメカニズムの解明が求められている。

本研究は、サッカーボールの後流を可視化することにより、ボールインパクトから生じる出発渦及び実際に飛翔するボールの空力特性を流体力学的に検討すると同時に、蹴り脚とボールのインパクト局面やそのスイング動作の特徴を運動力学的に解析することを目的とした。

## 3. 研究の方法

### (1) 無回転シュートの技術的メカニズム究明

サッカーゴール正面 25 m の地点にボールを静止し、蹴り脚の側方(被験者の右側方)、及び上方 2 m の地点に超高速ビデオカメラ(Fastcam, Photron 社, Tokyo, Japan, 2000 fps; 2048×2048 pixel) 2 台でボールインパクトを、また被験者の蹴り脚側の側方(被験者の右側方)及び後方に 2 台の高速ビデオカメラ(Fastcam, Photron 社, Tokyo, Japan, 1000 fps; 1024×1024 pixel) をセットし、計 4 台のカメラで各試技を撮影した。高速ビデオカメラ(1000 fps で撮影)の映像から座標値を算出し、ボール速度、ボール回転数及びスイング動作を分析した。

### (2) インパクト時のボール変形から放出される出発渦の可視化

各々のシュートからボールが出発する場面を、側方 1 m と上方 1 m の地点に超高速ビデオカメラ(Fastcam, Photron 社, Tokyo, Japan, 2000 fps; 2048×2048 pixel) 2 台と発煙物質(薬品)を用いてボール出発時のボール後流の渦を可視化し、異なるシュートから得た出発渦構成を 3 次元的に検討した。

### (3) インパクト時の出発渦とボールの飛翔軌道との関係究明

被験者の左側方、及び上方 10 m の地点に高速ビデオカメラ(Fastcam, Photron 社, Tokyo, Japan, 1000 fps; 1024×1024 pixel) 2 台を用いてボール軌道全体を撮影すると同時に蹴り脚の左側方と上方 2 m 地点に超高速ビデオカメラ(Fastcam, Photron 社, Tokyo, Japan, 1000 fps; 2048×2048 pixel) を各々セットし撮影した。さらに、ボール後流の渦を後方から観察するために被験者の後の上方(足場利用)からカメラで各試技を撮影した。

## 4. 研究成果

### (1) 無回転シュートの技術的メカニズム究明

無回転シュートを蹴ることができる大学サッカー選手の蹴り脚のスイング動作を対象に、4 台の高速ビデオカメラシステムを用いてカーブシュートやストレートシュートと比較し、キック動作における蹴り脚のスイング特性を検討した。さらに、ボールインパクト時における蹴り脚の局面を分析し、無回転シュートの技術的メカニズムを明らかにし

た。

(2) インパクト時のボール変形から放出される出発渦の可視化

各種のシュートにおけるインパクト時の出発渦を可視化し、出発時におけるボール後流の渦形成を比較検討することでボールに働く流体力の初期条件を明らかにした。

(3) インパクト時の出発渦とボールの飛翔軌道との関係究明

インパクト時における出発渦の初期形成が以後ボール飛翔軌跡に及ぼす影響を分析し、各々シュートの異なる出発渦の構造が実際に飛翔するボールに働く流体力及び飛翔軌道(大規模渦構造)への影響を明らかにした。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 9 件)

Hong, S., Sakamoto, K., Washida, Y., Nakayama, M. & Asai, T., The influence of panel orientation on the aerodynamics of soccer balls. *Procedia Engineering*, 72:786-791. (2014) 査読有, DOI: 10.1016/j.proeng.2014.06.133

Koizumi, A., Hong, S., Sakamoto, K., Sasaki, R. & Asai, T., A study of impact force on modern soccer balls. *Procedia Engineering*, 72: 423-428. (2014) 査読有, DOI: 10.1016/j.proeng.2014.06.074

Sasaki, R., Hong, S., Sakamoto, K., Nakayama, M. & Asai, T., The friction force between the soccer ball and the goalkeeper glove material. *Procedia Engineering*, 72: 654-569. (2014) 査読有, DOI: 10.1016/j.proeng.2014.06.111

Sakamoto, K., Sasaki R., Hong, S., Matsukura, K. & Asai, T., Comparison of kicking speed between female and male soccer players. *Procedia Engineering*, 72: 50-55. (2014) 査読有, DOI: 10.1016/j.proeng.2014.06.011

Hong, S. & Asai, T., Effect of panel shape of soccer ball on its flight characteristics. *Scientific Reports 4* : 5068. (2014) 査読有, DOI: 10.1038/srep05068

Goff, J.E., Asai, T. & Hong, S., A comparison of Jabulani and Brazuca non-spin aerodynamics, *Journal of Sports Engineering and Technology*, 228: 188-194. (2014) 査読有, DOI: 10.1177/1754337114526173

Hong, S. & Asai, T., Aerodynamic and flying characteristics of modern soccer ball. *Korean Journal of Science & Football*, 2: 27-34. (2013) 査読有

Hong, S., Go, Y., Sakamoto, K., Nakayama, M. & Asai, T., Characteristics of ball

impact on curve shot in soccer, *Procedia Engineering*, 60: 249-254. (2013) 査読有, DOI:10.1016/j.proeng.2013.07.008

Sakamoto, K., Shimizu, Y., Yamada E., Hong, S. & Asai, T., Difference in kicking motion between female and male soccer players, *Procedia Engineering*, 60: 255-261. (2013) 査読有, DOI:10.1016/j.proeng.2013.07.009

〔学会発表〕(計 15 件)

Hong, S. & Asai, T., Aerodynamic and flying characteristics of knuckle ball in soccer. *International conference on sport science and sports engineering*, (2014 年 12 月 12 日), Jakarta(Indonesia)

Hong, S. Understanding of the aerodynamics on soccer balls for youth players. *KSSF International Workshop Science and Football 2014*, (2014 年 12 月 5 日), ソウル(韓国)

洪性賛, 瀬尾和哉, 浅井武. サッカーW杯ブラジル大会公式球ブラズーカの飛翔特性, 日本機械学会 SHD シンポジウム 2014, (2014 年 10 月 30 日), アオーレ長岡(新潟県長岡市)

洪性賛, 浅井武, 瀬尾和哉. サッカーボールにおける縫い目の位置が飛翔軌道に及ぼす影響. 日本流体力学会 年会 2014, (9 月 16 日, 2014), 東北大学(宮城県仙台市)

洪性賛, 瀬尾和哉, 浅井武. パネル向きがサッカーボールの飛翔軌道に与える影響, 日本機械学会 2014 年度年次大会, (2014 年 9 月 8 日), 東京電機大学(東京都足立区)

洪性賛, 浅井武. サッカーボールのパネル構成が空力特性や飛翔軌道を左右する, 日本体育学会, (2014 年 8 月 26 日), 岩手大学(岩手県盛岡市)

Hong, S., Seo, K. & Asai, T., Flow visualization around panel orientations of football using a PIV. *Proceedings of the International Symposium on Flow Visualization 16*, (2014 年 6 月 25 日), 沖縄コンベンションセンター(沖縄県宜野湾市)

Hong, S. Reconstruction of a free-kick according to the evolution of soccer ball. *KSSF International Workshop Science and Football 2013*, (2013 年 12 月 20 日), Paju NFC(Korea)

洪性賛, 坂本慶子, 佐々木亮太, 小泉朝香, 中山雅雄, 浅井武, パネル向きがサッカーボールの抗力に与える影響, 日本機械学会 SHD2013, (2013 年 11 月 2 日), 工学院大学新宿キャンパス(東京都新宿区)

小泉朝香, 洪性賛, 坂本慶子, 佐々木亮太, 小池関也, 浅井武, ボールの形状から生じるインパクト特性の変化について, 日本機械学会 SHD2013(2013 年 11 月 2 日), 工学院大学新宿キャンパス(東京都新宿区)

佐々木亮太，洪性賛，坂本慶子，浅井武，サッカーボールとゴールキーパーグローブの衝突圧力解析と表面摩擦特性の評価，日本機械学会 SHD2013(2013年11月2日)，工学院大学新宿キャンパス（東京都新宿区）

浅井武，坂本慶子，加藤克也，深津明生，洪性賛，ボールキック運動における逆-順動力学解析環境の構築，日本機械学会 SHD2013(2013年11月2日)，工学院大学新宿キャンパス（東京都新宿区）

坂本慶子，佐々木亮太，田部井祐介，洪性賛，中山雅雄，浅井武，女子および男子サッカー選手におけるインステップキックのボール速度に関する研究，日本機械学会 SHD2013(2013年11月2日)，工学院大学新宿キャンパス（東京都新宿区）

Hong, S. & Asai, T., Ball-foot interaction in impact phase of knuckle shot, Proceedings of the ECSS2013, (2013年6月27日)，Barcelona(Spain)

Hong, S. Science of the freekick, Seoul International Science and Football 2013, (2013年5月24日)，ソウル（韓国）

## 6．研究組織

### (1)研究代表者

洪 性賛 (Hong, Sungchan)

筑波大学スポーツ R&D コア・研究員

研究者番号：10638547