

様 式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19（共通）

科学研究費助成事業 研究成果報告書



平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：12102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K16442

研究課題名（和文）スポーツボールの飛翔軌道を予測する可視化システムの構築

研究課題名（英文）The visualization system on the predicts the flight of sports ball

研究代表者

洪 性賛（HONG, Sungchan）

筑波大学・体育系・助教

研究者番号：10638547

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000 円

研究成果の概要（和文）：風洞実験によりサッカーボール縫い目の位置変化から生じる空気の流れ変化について PIV システムを用いて可視化し，ボール縫い目の位置が，空気の流れを変えるメカニズムや，実際のサッカーボール飛翔軌跡への影響を明らかにした．また，平成29年度の研究では，異なるパネル数と表面のデザイン（ディンプル有無など）で構成された10個のサッカーボールを製作し，その空力特性を風洞実験で検討した．同様な材料（革）を用いて，パネルとパネルの間を糸（縫い目）で製作されたサッカーボールを32枚パネル，12枚のパネル，6枚のパネルで制作し，各パネルの数による空力の変化と，ボール表面形状による変化を中心に検討を行った．

研究成果の概要（英文）：This study set out to investigate the flight and aerodynamic characteristics of different orientations of the soccer ball, which is constructed from panels of different shapes. A wind tunnel test showed substantial differences in the aerodynamic forces acting on the ball, depending on its orientation. Substantial differences were also observed in the aerodynamic forces acting on the ball in different directions, corresponding to its orientation and rotation. Moreover, two-dimensional particle image velocimetry (2D-PIV) measurements showed that the boundary separation varies depending on the orientation of the ball. Based on these results, we can conclude that the shape of the panels of a soccer ball substantially affects its flight trajectory.

研究分野：スポーツ工学

キーワード：風洞実験

1. 研究開始当初の背景

一般に、サッカーボールは4年1回行われる FIFA ワールドカップを中心に、その公式球のパネルの形やデザインなどが変更されてきた。従来のサッカーボールは、典型的な形である六角形パネルと五角形パネルで構成された32枚のパネルであったが、2006年に行われたドイツワールドカップの公式球 (Teamegeist, 14-panels, Adidas) から、パネルの形状が大きく変化した。チームガイストというボールのパネル形式は、従来の32枚 (六角形と五角形) ではなく、14枚という画期的な形のため多くの話題になった。その後、2010年の南アフリカワールドカップでは8枚のパネルで構成されたジャブラニ (Jabulani, 8-panels, Adidas) が登場した。さらに、2014年のブラジルワールドカップでは、新球のブラズーカ (Brazuca, 6-panels, Adidas) が公式球として使用され、現在も多くのプロリーグを始め国際試合で試合球として使われている。また、このようなサッカーボールの変化に関する最新研究では、パネルの形 (数と向きなど) がボールの空力特性や飛翔特性に及ぼす影響などの流体力学的研究が報告されている (Goff, Asai & Hong, 2014; Hong & Asai, 2014)。

このように現代サッカーボールは、数年おきにボール表面の形が変化しており、現代サッカーボールの飛び方を着弾点で比較した結果ではボールの種類とパネルの向きにより、その飛翔軌道が変わると報告されている。また、現代サッカーボールの飛び方をシミュレーションで比較した結果ではボールスピードにより、その飛翔距離が変わると報告されており、同一のスピードで射出されたボールにおけるシミュレーション結果ではボールの種類によって飛翔距離が大きく変わることが確認できた。

しかし、現代サッカーボールに関する空力特性や飛翔軌道に関する研究は少なく、その解明が求められている。特に、サッカーボールのパネルの形 (向き、数、間隔など) がボールの飛翔軌道に及ぼす影響について全く解明されてない。

そこで、本研究では、2014年 FIFA ワールドカップの公式球であるブラズーカを始め、世界トップリーグで使用されている様々なサッカーボールを対象として、そのボールの空力特性およびボールのパネル向き (Face) による流体力学的特性を検討する。さらに、パネル効果を検討するため、スポーツ流体シミュレーターを用いた CFD (数値流体力学) 解析と共に、PIV (粒子画像流速測定法) を用いた可視化手法により、ボール周りの流動態を検討することで、パネルの効果を究明する。従って、サッカーボールにおける異なるパネルの形とその向きに関する空力特性と飛翔特性を定量化し、サッカーボールの飛翔軌道が予測可能なシステムを開発する。また、本研究で用いた研究方法を、多様なスポーツ

ボールの可視化研究に適用し、世界に先駆けてボールの飛翔軌道を予測する可視化システムを構築する。

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いる。特に、ボールスポーツでは数年おきにボール表面の形が変化した新球が発表されており、選手が新球にどのように対応できるかがパフォーマンスを左右する重要な要因となっている。このような選手パフォーマンスに直接的、間接的に関与する流体工学的研究・開発は各国において優先度の高い課題の一つである。さらに、ボール表面の形 (パネル数及びその向きなど) によってその飛翔軌道が変わると報告されており、ボールの流体力学的メカニズムの解明がプレーヤーパフォーマンス向上に寄与する蓋然性は高い。

本研究では、ボール表面 (パネルの形) の空気の流れを可視化手法により、現代スポーツボールにおける空力特性と飛翔特性を解析しボールの飛翔軌道を予測する可視化システムを構築する。

3. 研究の方法

(1) スポーツボールの空力特性及び飛翔特性の検討

筑波大学にある回流型風洞を使用し研究を行った。この風洞の最大風速は、55m/s、吹き出しサイズは1.5m×1.5m、風速分布は±0.5%以内、乱れ度は0.1%以下である。この風洞を用いて、新球サッカーボールのブラズーカ (Brazuca, 6-panels, Adidas) を始め、現代スポーツボールを取り付け、実験を行った。また、同一なボールに対してパネルの向き (Face) を分け、各々のフェイスによるボールの空力を計測することでボールのパネル向きが空力特性に及ぼす影響を明らかにした。さらに、各々のパネルの向きを0°から360°まで位置を変えて、風速(U)を7m/sから35m/sまで計測すると同時に、CFD (数値流体力学) 解析により、各々のフェイスによるボールの空力を計測することで、スポーツボールの空力特性を検討した。

(2) ボール表面の形がボールの飛翔軌道に及ぼす影響を究明

ボール表面の形とボール飛翔軌道との関係を究明するために、PIV (粒子画像流速測定法) を用いた可視化手法により、ボール後流の動態を検討し、現代スポーツボールにおけるパネル特性を検討した。

4. 研究成果

平成27から28年度の研究では、風洞実験によりサッカーボール縫い目の位置変化から生じる空気の流れ変化についてPIVシステムを用いて可視化し、ボール縫い目の位置が、空気の流れを変えるメカニズムや、実際のサ

サッカーボール飛翔軌跡への影響を明らかにした。また、回転中、サッカーボールに働く空力特性について基礎研究として検討し、回転するサッカーボール後流の動きの変化を可視化することで、回転ボールに働く流体力の初期条件を明らかにした。

また、平成 29 年度の研究では、異なるパネル数と表面のデザイン（ディンプル有無と突起の模様など）で構成された 10 個のサッカーボールを製作し、その空力特性を風洞実験で検討した。同様な材料（革）を用いて、パネルとパネルの間を糸（縫い目）で製作されたサッカーボールを 32 枚パネル、12 枚のパネル、6 枚のパネルで制作し、各パネルの数による空力の変化と、ボール表面形状による変化を中心に検討を行った。その結果、サッカーボールの表面の形とパネル数がボールの空力特性に大きな影響を与えるのが明らかになった。また、今現在各国リーグで使用中の 10 種類のサッカーボールを対象として、現代サッカーボールの表面にある縫い目の特徴（長さ、幅、深さなど）が空力への影響について比較検討し、縫い目の特徴によってボール周りの空気の流に影響を与え、ボール軌道に大きな影響を与えるのが分かった。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 13 件）

Asai, T., Hong, S., Kimachi, K., Abe, K., Kai, H. & Nakamura, A., Flow visualisation around spinning and non-spinning soccer balls using the lattice Boltzmann method. *Proceedings*, 2, 237. (2018) 査読有, doi:10.3390/proceedings2060237

Kimachi, K., Hong, S., Shimonagata, S. & Asai, T., Impact points and their effect on trajectory in soccer. *Proceedings*, 2, 235. (2018) 査読有, doi:10.3390/proceedings2060235

Naito K., Hong, S., Kido, Masaaki., Nakayama, Masao., Sakamoto, K. and Asai, T., Effect of seam characteristics on critical Reynolds number in footballs, *Mechanical Engineering Journal*, 5(1), 17-00369. (2018) 査読有, <https://doi.org/10.1299/mej.17-00369>

洪性賛, 浅井武, サッカーボール飛翔の流体力学, *バイオメカニクス研究* 21(4), 169-173. (2018) 査読無

Hong, S. & Asai, T., Aerodynamic effects of dimples on soccer ball surfaces. *Heliyon*, 3, e00432. (2017) 査読有, doi:10.1016/j.heliyon.2017.e00432

Asai, T., Hong, S. & Ijuin, K., Flow visualisation of downhill skiers using the lattice Boltzmann method. *European Journal of Physics*. 38 024002. (2017) 査

読有,

doi.org/10.1088/1361-6404/38/2/024002

Hong, S., Nobori, R., Sakamoto, K., Kido, M., Nakayama, M. & Asai, T., Experiment of aerodynamic force on a rotating soccer ball. *Procedia Engineering* 147, 56-61. (2016) 査読有, doi: 10.1016/j.proeng.2016.06.189

Sakamoto, K., Numazu, N., Hong, S. & Asai, T., Kinetics analysis of instep and side-foot kick in female soccer players. *Procedia Engineering*, 147, 214-219. (2016) 査読有, doi: 10.1016/j.proeng.2016.06.216

Goff, J.E., Hobson, C.M., Asai, T. & Hong, S., Wind-tunnel experiments and trajectory analyses for five non-spinning soccer balls. *Procedia Engineering*, 147, 32-37, (2016) 査読有, doi: 10.1016/j.proeng.2016.06.185

Hong, S. & Asai, T., Aerodynamics on official soccer balls using korea leagues. *Korean Journal of Science and Football*, 5, 17-21. (2016) 査読有

Hong, S., Sakamoto, K., Oshima, T., Lee, K., Nakayama, M., Kido, M. & Asai, T., Aerodynamic analysis of vortex trajectory of soccer ball. *Korean Journal of Science and Football*, 5, 23-29. (2016) 査読有

Hong, S., Asai, T., and Seo, K., Visualization of air flow around soccer ball using a particle image velocimetry. *Scientific Reports* 5, 15108. (2015) 査読有, DOI: 10.1038/srep15108

Hong, S., Asai, T., & Seo, K., Flow visualization around panel shapes of soccer ball. *Procedia Engineering*, 112, 391-394. (2015) 査読有, doi:10.1016/j.proeng.2015.07.213

〔学会発表〕（計 20 件）

Asai, T., Hong, S., Kimachi, K., Abe, K., Kai, H. and Nakamura, A. Flow visualization of non-spinning soccer ball using direct numerical simulation, The 11th Pacific Symposium on Flow Visualization and Image Processing, 1-3 December 2017, Kumamoto, JAPAN

浅井武, 洪性賛, 高速度カメラを用いた回転するサッカーボール後流の可視化, Japan Congress on High Speed Imaging and Photonics 2017, 15-17 November, 2017, Hiratsuka (東海大学湘南校舎)

洪性賛, 中西康己, 原仲碧, 来海郁, 松竹貴大, 浅井武, 現代バレーボールの空力特性と飛翔特性, 日本機械学会 2017 スポーツ工学シンポジウム, USB-B22(全 6 項)、金沢、金沢商工会議所、2017 年 11 月 9 日～11 日

浅井武, 洪性賛, 来海郁, 阿部恵子, 甲斐寿, 中村純, CFD を用いた回転するサッカー

ボール後流の可視化、日本機械学会 2017 スポーツ工学シンポジウム USB-B13(全6項)、金沢、金沢商工会議所、2017年11月9日～11日

来海郁, 洪性賛, 浅井武、サッカーにおけるボールインパクトの詳細分析、日本機械学会 2017 スポーツ工学シンポジウム, USB-B17(全5項)、金沢、金沢商工会議所、2017年11月9日～11日

Hong, S. & Asai, T. Trying to understand knuckle ball aerodynamics in soccer, Poster session presented at the 2017 FISU world conference on development through sport (2017, August, 28)Taipei, Taiwan.

Hong, S., Matsukura, K., Kimachi, K. & Asai, T. Aerodynamics of dimple soccer balls. Oral session presented at the meeting of the WCSS2017, (2017, June, 2)Rennes, France.

Matsukura, K., Naoki, N., Kimachi, K., Hong, S. & Asai, T., Characteristics of lower limb force exertion during diving motions by collegiate male soccer goalkeepers. Oral session presented at the meeting of the WCSS2017, (2017, June, 2)Rennes, France.

Kimachi, K., Sakamoto, K., Hong, S., Shimonagata, S. & Asai, T., Detecting impact points on a kicking foot. Oral session presented at the meeting of the WCSS2017, (2017, June, 2)Rennes, France.

Asai, T., Hong, S. & Kimachi, K., Magnus force of a spinning soccer ball in free flight. Oral session presented at the meeting of the WCSS2017, (2017, June, 2)Rennes, France.

Hong, S. & Asai, T. Aerodynamic characteristics of new design soccer balls, The 26th Annual Meeting of MRS-J, (19-22, Dec, 2016). Yokohama, Japan.

Hong, S. & Asai, T. Surface texture effects on the drag crisis for soccer balls, International conference in sports science and technology, pp. 120-125, (12-13, Dec, 2016). Nanyang, Singapore.

Asai, T. & Hong, S. Trying to understand knuckling effect ball in soccer, Proceedings of the International Congress on High-speed Imaging and Photonics: pp. 804-808, (7-10, Nov, 2016, Osaka, JAPAN)

Hong, S. & Asai, T. Effects of dimple on soccer ball aerodynamics, Proceedings of the International Congress on sport sciences research and technology support, pp. 5-7, (7-9 Nov, 2016). Porto, Portugal.

Hong, S. Aerodynamics of soccer ball. The 1st Japan-Korea joint conference on science and football, (15th Oct, 2016) Fukuoka, Japan.

Hong, S. & Asai, T. Effects of dimple on

a soccer ball flight, Oral session presented at the meeting of the ECSS2016, OP-BN18. (2016, July, 08) Austria

Hong, S. & Asai, T. Aerodynamic effects of a panel orientation on modern soccer balls. Oral session presented at the meeting of MoHe 2015 (International conference on movement, health & exercise 2015), USB-D3-08(2015, October, 7) Malaysia

Hong, S. & Asai, T. Prediction of the soccer ball trajectory by its panel shapes. Oral session presented at the meeting of the ECSS2015, OP-PM36-6. (2015, June, 24) Sweden

Hong, S. & Asai, T. How panel shape effect to fly on soccer ball. 8th World Congress on Science and Football, (2015, May, 21) Copenhagen, Denmark.

Asai, T., Hong, S. & Kamemoto, K. Counter-rotating vortex pair of a soccer ball in flight. 8th World Congress on Science and Football, (2015, May, 21) Copenhagen, Denmark.

[図書](計1件)

Hong, S. & Asai, T. Impact phase of the knuckle shot. Football Biomechanics, pp.68-76. Routledge Research in Football (2017-10)

6. 研究組織

(1)研究代表者

洪 性賛 (Hong, Sungchan)

筑波大学・体育系・助教

研究者番号: 10638547