

令和 5 年 6 月 13 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K11413

研究課題名（和文）風洞実験と数値計算を基にした自転車選手の低抵抗姿勢の探索

研究課題名（英文）Research for low resistance posture of cyclist based on wind tunnel experiments and computational fluid dynamics

研究代表者

洪 性賛（Hong, Sungchan）

東京工業大学・リベラルアーツ研究教育院・研究員

研究者番号：10638547

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、CFD方法と風洞実験を用いてサイクル選手回りの空気流れとその空気抵抗について検討した。特に、自転車用ウェアの生地表面形状の違いが選手の空気抵抗へ及ぼす影響を中心に比較検討を行った。まず、CFDの結果から、レース中に選手の頭、腕、脚部に空気抵抗が大きくなることが分かった。風洞実験では、腕部に近いシリンダー模型を用いて、様々な生地の空気力を比較検討し、生地の表面形状によって空気抵抗が変わるのが分かった。マネキン実験では、自転車ウェアの腕部の生地形状を変えることによって、最大約8%の空気抵抗を減らすのを発見した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

レース中の自転車と選手が受ける抵抗の90%が空気抵抗になり、そのうちの70%は選手の体にかかる抵抗であると報告されている。そのため、空気抵抗を減らす適切な選手の姿勢などについての研究は多く報告されてきた。しかし、選手の全身に着るウェアに関する研究は数少ない。本研究の結果から、選手が最大に走る最大速度と時間などのレース条件を考慮して、選手ごとに適切なウェアタイプの提供が可能になり、選手パフォーマンス向上に大きく貢献できると考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this study, the airflow around cycling athletes and its air resistance were examined using a CFD method and wind tunnel experiment. Specifically, this study is focused on how different surface shapes of fabrics of cycling suits affect the air resistance on cyclists. First, the CFD results indicated that the air resistance during a race is high on the head, arms, and legs of the cyclist. In the wind tunnel experiment, a cylinder model that resembles the shape of the arms was used to compare the aerodynamic forces of various fabrics, and the results showed that the air resistance changes according to the surface shape of the fabric. Moreover, the mannequin experiment revealed that by changing the fabric shape of the arms of the cycling suits, it is possible to reduce the air resistance by up to 8%.

研究分野：スポーツ流体力学

キーワード：自転車 空気抵抗 空気流れ スポーツウェア

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年、スポーツ選手のパフォーマンスに直接・間接的に関与する流体科学、工学的研究は、世界各国において優先度の高い研究課題の一つになった。また、空気抵抗を考慮した新ウェアやスポーツボールなどのスポーツ用具では、その表面形状の改良によって空力特性が変わり、競技パフォーマンスに大きな影響を与えると報告されている。そのため、スポーツ選手の姿勢や用具における流体力学的なメカニズム解明がプレーヤーのパフォーマンス向上に極めて重要となっている。そこで本研究では、スポーツ風洞を用いて、自転車選手の姿勢変化が、空力特性に及ぼす影響について検討すると共に、粒子画像流速測定法及び、数値流体解析を用いたプレーヤーの姿勢による身体全体の空気流れと各部位の流れ（境界層の移動、渦の生成・成長・崩壊など）を高精度に可視化することで、自転車選手の姿勢が競技パフォーマンスに及ぼす流体力学的メカニズムを明らかにし、パフォーマンス向上方法を示す。

### 2. 研究の目的

これまで、申請者は、現代スポーツボールの空力特性について数多く報告している。特に近年では、同一のスポーツボールでも表面上にあるパネルの位置や数などの表面形状によって、ボール周りの空気流れ（剥離点の移動）が変化し、ボールの空力特性と飛翔軌道に大きな影響を与えると報告している。このように、同一な物体（スポーツボール）でも表面形状（突起の意匠、縫い目の数や間隔、その位置関係、深さ、幅、長さ等）によって、その物体に及ぼす流体力学的メカニズムは変わると解明されてきている。一方で、人間（選手）の場合は、試合中、選手周りの空気変化はより複雑になるため、運動時の選手周りの空気流れや空力特性についての検討は極めて難しい。そこで本研究では、選手の姿勢変化における流体特性と、選手周りの流れ分布、剥離点の位置変化、後流の渦構造などが計測可能なスポーツ風洞実験とシミュレーションシステムを活用し、選手の姿勢変化が選手に当たる空力特性や空気流れに及ぼす流体力学的メカニズムを明らかにする。

特に、最近、スピードを最優先にするスキー競技、スケート競技、陸上の短距離競技、自転車競技等ではシミュレーションを用いた流体力学的研究が活発に行われている。また、風からの影響を長時間受ける長距離のマラソン競技やロードバイク競技でも空気抵抗が節減できる表面形状について研究が行われている。近年、申請者らは、冬スポーツで最もスピードを要求するアルペンスキー競技のダウンヒルレーサーに対する流体力学的特性を、レーサー身体の各部位についての空気抵抗を検討した研究を報告しており(Asai, Hong & Ijuin, 2017)、レーサーが受ける空気抵抗の大きさは、下腿部(～50%)、上腕部(～15%)、頭部(～12%)、大腿部(～9%)の順になることを明らかにした。これは、レーサー周りの渦構造が可視化されると共に、各部分の抗力が定量的に明らかになったものである。そこで本研究では、高スピードで長時間姿勢を維持するのが最も重要な自転車競技を対象として、選手の姿勢変化による空気抵抗の変化を、風洞実験と PIV（粒子画像流速測定法）、そして CFD（数値流体解析）のシミュレーションを用いて、姿勢変化がプレーヤー周りの空気流れに及ぼす流体力学的メカニズムを明らかにする。

### 3. 研究の方法

風洞実験を用いた自転車選手の姿勢変化による空力特性を比較検討（令和2年度～3年度）  
本研究では、スピードを最優先にする自転車競技を対象として、基本姿勢及び様々な姿勢変化（首の角度、両腕の位置、腰の角度など）が、競技パフォーマンスに及ぼす流体力学的メカニズムを明らかにすることで、プレーヤーの競技パフォーマンス向上を図る。そこで、自転車競技で最も頻繁に行われる基本的な姿勢を対象として、固定型マネキン・運動可能型フルスケールロボット、及び実際のプレーヤーを用い、基本姿勢と姿勢変化（世界トップレベル選手の姿勢も含む）による空力変化を風洞実験で比較検討を行った。

可視化方法による自転車選手周りの空気流れ・圧力分布の検討（令和2年度～4年度）  
PIV手法（粒子画像流速測定法）を用いて各姿勢における空気流れを可視化することで、各々の姿勢によるプレーヤー周りの剥離点変化（移動）や渦の生成・成長・崩壊などの空気流れを詳細に検討した。また、風洞実験と同様の条件（姿勢）に対して CFD のシミュレーション手法を用い、各姿勢における空気流れ（剥離点の変化（移動）や渦の生成・成長・崩壊など）を3次元で比較検討した。

### 4. 研究成果

2020～2021年度は、風洞実験と同様の条件（姿勢）に対して CFD のシミュレーション手法を用い、各姿勢における空気流れ（剥離点の変化（移動）や渦の生成・成長・崩壊など）を3次元で比較検討した。可視化実験から得られた結果は、風洞実験からの結果と比較検討することで、自転車選手の姿勢変化が選手周りの空気流れに及ぼす影響と選手に当たる空力特性について検討した。まず、風洞実験において使用したマネキンを元に、選手を乗せた競技用自転車の3次元モデルを作成した。このモデルについて数値流体解析 PowerFLOW5.5 を用いて2種類の速度（case1

= 16m/s, case2 = 20m/s) についてモデル周りの流動解析を行った。解析対象の競技マネキンについては、ヘルメットやスキンスーツ、バイクシューズを装着したもので、クランク角度については、地面に並行する角度で固定し、解析空間は 4.2m, 0.8m, 1.8m の領域に基準サイズ 5mm の約 2 億個のセルで構成して計算を行った。その結果、選手表面における圧力コンターから、モデルへの流れに対し淀み点となるヘルメットや、肩から腕、太ももから足といった部位において圧力が高くなっていることが分かった。また、選手にとって肩や足の付け根から足首までの側面において圧力が低くなり、脇の下や太ももから臀部にかけて流れが剥離していることが分かった。これらの数値解析結果から、選手の頭部および腕部と脚部についての空気抵抗が大きいのが解明された。

2022 年度は、CFD シミュレーション結果から、先行研究と同様に選手の頭部および腕部と脚部についての空気抵抗が大きいのが分かった。また、そのような部位周辺の流れ場をウェアによって制御し空気抵抗を低減するためには、身体の部位を模した形状で空気抵抗を計測する基礎実験を行い、ウェア研究開発における生地選びの指標を作ることが有効であると考えられ、選手腕部に着目し、その形状に近いシリンダー模型で基礎空力特性を検討することで、生地形状が空気抵抗に及ぼす影響について検討した。

シリンダー模型を用いた風洞実験の結果を示しており、本実験で使用した生地は、表面に凹凸のある生地 A と、縦向きのストライプの生地 B、そして、横向きのストライプの生地 C、滑らかな生地 D の 4 種類のタイプになる。ウェアを装着していない場合（ヌード）では、速度が大きくなるほど計測抗力が上昇することがわかった。また、ウェアを装着しないヌードの場合から空気抵抗が低減した割合をみると、生地 B では、時速 60km/h の時に計測した抗力が生地を装着しない場合に比べ 25%ほど減少した。そして、生地 A は、全速度区間（50～60 km/h）で抗力の低減がみられ、他の生地より低い空気抵抗をみせた。特に、55 km/h～60 km/h までの区間では、約 30%の空気抵抗を減らすとかなり良い結果を示した。また、生地 C と生地 D では、風速によってそれぞれ 1 から 2 %位の空気抵抗の変動が見られた。これらの結果は、生地表面の形状によって、周囲風速に応じて、シリンダーの周りで空気流れ場を変化させているのではないかと考えられる。この結果から、選手の主流スピードに合わせた素材選択により、最も効率的に推進力を生じることが可能になると判断できる。

纏めると、本研究では、CFD 方法と風洞実験を用いてサイクル選手回りの空気流れとその空気抵抗について検討した。特に、自転車用ウェアの生地の表面形状の違いが選手の空気抵抗へ及ぼす影響を中心に比較検討を行った。まず、CFD の結果から、レース中に選手の頭、腕、脚部に空気抵抗が大きくなることが分かった。風洞実験では、腕部に近いシリンダー模型を用いて、様々な生地の空気力を比較検討し、生地の表面形状によって空気抵抗が変わるのが分かった。マネキン実験では、自転車ウェアの腕部の生地形状を変えることによって、最大約 8%の空気抵抗を減らすのを発見した。これらの結果から、選手が最大に走る最大速度と時間などのレース条件を考慮して、選手ごとに適切なウェアタイプの提供が可能になり、選手パフォーマンス向上に大きく貢献できると考えられる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Asai Takeshi, Hong Sungchan	4. 巻 11
2. 論文標題 Aerodynamics of the newly approved football for the English Premier League 2020 - 21 season	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 9578
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-89162-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hong Sungchan, Asai Takeshi	4. 巻 11
2. 論文標題 Aerodynamic Differences between New and Used Soccer Balls	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 7204 ~ 7204
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app11167204	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Goncalves Marta, Kim Jin Young, Kim Yeseul, Rubab Najaf, Jung Narina, Asai Takeshi, Hong Sungchan, Weon Byung Mook	4. 巻 12
2. 論文標題 Droplet evaporation on porous fabric materials	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1087
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-022-04877-w	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Hong Sungchan, Asai Takeshi	4. 巻 11
2. 論文標題 Aerodynamics of Cycling Skinsuits Focused on the Surface Shape of the Arms	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 2200 ~ 2200
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app11052200	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hong Sungchan, Asai Takeshi	4. 巻 10
2. 論文標題 Effect of Surface Groove Structure on the Aerodynamics of Soccer Balls	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 5877 ~ 5877
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app10175877	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 浅井武、黒澤佑太、洪性賛	4. 巻 123
2. 論文標題 東京オリ・パラに関連した競技自転車ウェアの開発	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Society of Mechanical Engineers	6. 最初と最後の頁 16 ~ 19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/jsmemag.123.1220_16	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Asai Takeshi, Nakanishi Yasumi, Akiyama Nakaba, Hong Sungchan	4. 巻 10
2. 論文標題 Flow Visualization of Spinning and Nonspinning Soccer Balls Using Computational Fluid Dynamics	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 4543 ~ 4543
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app10134543	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hong Sungchan, Ozaki Hiroki, Watanabe Keita, Asai Takeshi	4. 巻 10
2. 論文標題 Aerodynamic Characteristics of New Volleyball for the 2020 Tokyo Olympics	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 3256 ~ 3256
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app10093256	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 ASAI Takeshi, KIMACHI Kaoru, HONG Sungchan	4. 巻 40
2. 論文標題 Visualization of Ball Kicking in Soccer	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Visualization Society of Japan	6. 最初と最後の頁 2~5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3154/jvs.40.157_2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 Sonoki S, Monji H, Hong S, Asai T
2. 発表標題 Study of fluid drag acting on tandem car models
3. 学会等名 The 16th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 園木翔大, 文字秀明, 浅井武, 洪性賛
2. 発表標題 隊列走行する自動車モデルが受ける流体抗力に関する研究
3. 学会等名 日本実験力学会 2021 年度 (学会 20 周年) 年次講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hong Sungchan
2. 発表標題 Improving athletic performance using sports aerodynamics
3. 学会等名 International Conference of Korean Society of Sport Biomechanics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hong Sungchan
2. 発表標題 R&D of sports equipment in Japan
3. 学会等名 2023 Global Sport Science Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Francis Mundia Mwangi, Yasushi Enomoto, Sungchan Hong, Saravana Perumal Shanmugam, Xiaojie Tian, Elijah Gitonga Rintaugu, Noriyuki Fuku and Tetsuhiro Kidokoro	4. 発行年 2021年
2. 出版社 IntechOpen	5. 総ページ数 336
3. 書名 Contemporary Advances in Sports Science	

〔産業財産権〕

〔その他〕

Having a Ball: <a href="https://www.tsukuba.ac.jp/en/research-news/20210507140000.html">https://www.tsukuba.ac.jp/en/research-news/20210507140000.html</a>
---

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	浅井 武 (ASAI TAKESHI) (00167868)	筑波大学・体育系・教授  (12102)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
韓国	Sungkyunkwan University			
米国	University of Lynchburg			