

サッカーボール周りの空気の流れを可視化
～縫い目の位置がボールの飛び方を左右する～

研究成果のポイント

1. 現代サッカーボールの境界層(表面近傍領域)の流れを、世界に先駆けて可視化しました。
2. サッカーボールの表面にある縫い目の位置が、飛翔軌道に及ぼす基礎的メカニズムを明らかにしました。
3. サッカーボールの飛翔特性の理解、今後のボールの研究・開発やデザインに活用できる新知見が得られました。

国立大学法人筑波大学 スポーツR&Dコアの洪性賛研究員、体育系の浅井武教授、及び山形大学地域教育文化学部の瀬尾和哉教授の研究グループは、実験風洞とPIV(Particle Image Velocimetry)計測システム^{※1}を用いて、現代サッカーボール^{※2}表面近傍の空気の流れ(境界層)を可視化し、パネルの形が空気の流れを変えるメカニズムを検討しました。

先行研究により、パネルの枚数・形状・向きにより、ボールに加わる空気力(飛行する物体が空気から受ける力)が変わり、ボールの飛翔軌道に大きな影響を与えることが示唆されていました。しかし、サッカーボールのパネルの形が異なることによって、空気の流れがどのように変わるのかは不明のままでした。

本研究では、サッカーボール表面(縫い目近傍)における空気の流れを、PIV手法を用いて可視化し、縫い目近傍の流れ場の動態と空力特性について検討しました。その結果、サッカーボール表面を構成している縫い目の位置が、境界層の剥離点に大きな影響を与え、サッカーボールの飛翔軌道を決定する大きな要因の一つになっていることが示唆されました。今回得られた研究結果は、サッカーボールの飛翔特性の理解、新たなボールの研究・開発やデザインに活用できるものと期待されます。

本研究成果は、Nature Publishing Groupが発行するオンライン科学誌「Scientific Reports」に10月8日付けで掲載されます。

本研究の一部は、科学研究費補助金若手 B(25750283、15K16442)の支援を受けて行われました。

研究の背景

近年、サッカーボールは、FIFAワールドカップ大会を契機に、ボールパネルの形状やデザインなどが大きく変わってきています。2006年に行われたドイツワールドカップの公式球であるチームガイスト(Teamgeist)ボールはパネル数が14枚で構成されており、従来のサッカーボールの典型的な形である六角形パネルと五角形パネルの32枚のパネルボールから大きく変化しました。また、この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、多くの話題になりました。その後、2010年南アフリカワールドカップ大会では8枚のパネルで制作されたジャブラニ(Jabulani, 8-panels, Adidas)、2014年ブラジル大会では6枚のパネルで制作されたブラズーカ(Brazuca, 6-panels, Adidas)が登場し、さらにサッカーボールのパネル形状が変化しました。

先行研究において、我々の研究グループは、現時点で使用されているさまざまな種類のサッカー公式球を対象に風洞実験を行い、ボールに加わる空力特性を、パネル数およびパネルの向きに着目して比較検討しました(Hong & Asai, 2014)。その結果、パネルの枚数・形状・向きにより、ボールに加わる空気力(飛行する物体が空気から受ける力)が異なり、ボールの飛翔軌道に大きな影響を与えることが示唆されました。しかし、サッカーボールのパネルの形が異なることによって、どのように空気の流れが変わるのかは不明のままです。

研究内容と成果

本研究では、2013年 FIFA コンフェデレーションズカップの公式球であるカフサを用いて、パネルの向きが抗力、揚力に及ぼす影響を検討すると共に、ボール縫い目の位置変化から生じる空気の流れの変化を PIV で可視化し(図 1、2)、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ました。

その結果、サッカーボールの表面にある縫い目は境界層の剥離^{注3}を促すものの、その位置によっては再付着が生起し、結果的に剥離点を後方へ移動させる働きがあることが明らかになりました(剥離点の位置が、120度から145度に大きく変化した例を含む)。この剥離点の位置の変化は、ボール後方の空気の流れ(後流)の渦構造に影響を及ぼすと共に、揚力、抗力に作用し、飛翔するボールの軌道に影響を与えていることが分かりました。

これらの結果を総合すると、サッカーボール表面を構成している縫い目の位置が、境界層の剥離点に大きな影響を与え、サッカーボールの飛翔軌道を決定する大きな原因の一つになっていると考えられます。今回得られた知見は、サッカーボールの飛翔特性の理解、今後のボールの研究・開発やデザインに活用できるものと期待されます。

今後の展開

本研究により、これまで究明できていなかった、サッカーボールの表面にある縫い目が、境界層の剥離点の位置を変える基礎的メカニズムが明らかになりました。今後、新型サッカーボールの開発やデザインへの適用が期待されます。

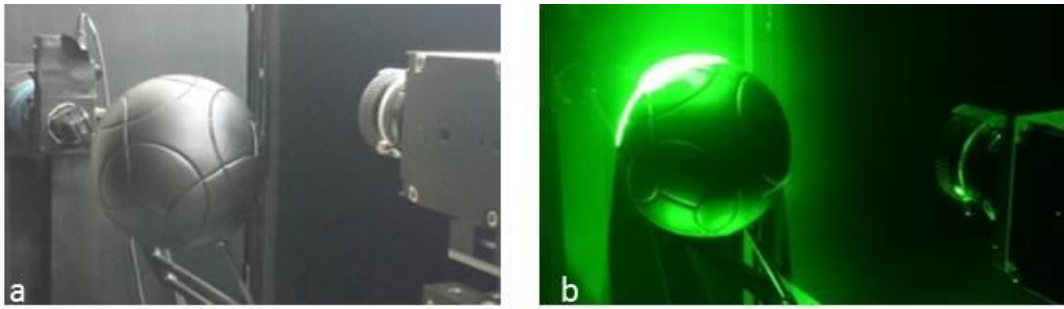


図1 本実験で使用した PIV 計測の設定: (a) 計測前、(b) 計測中

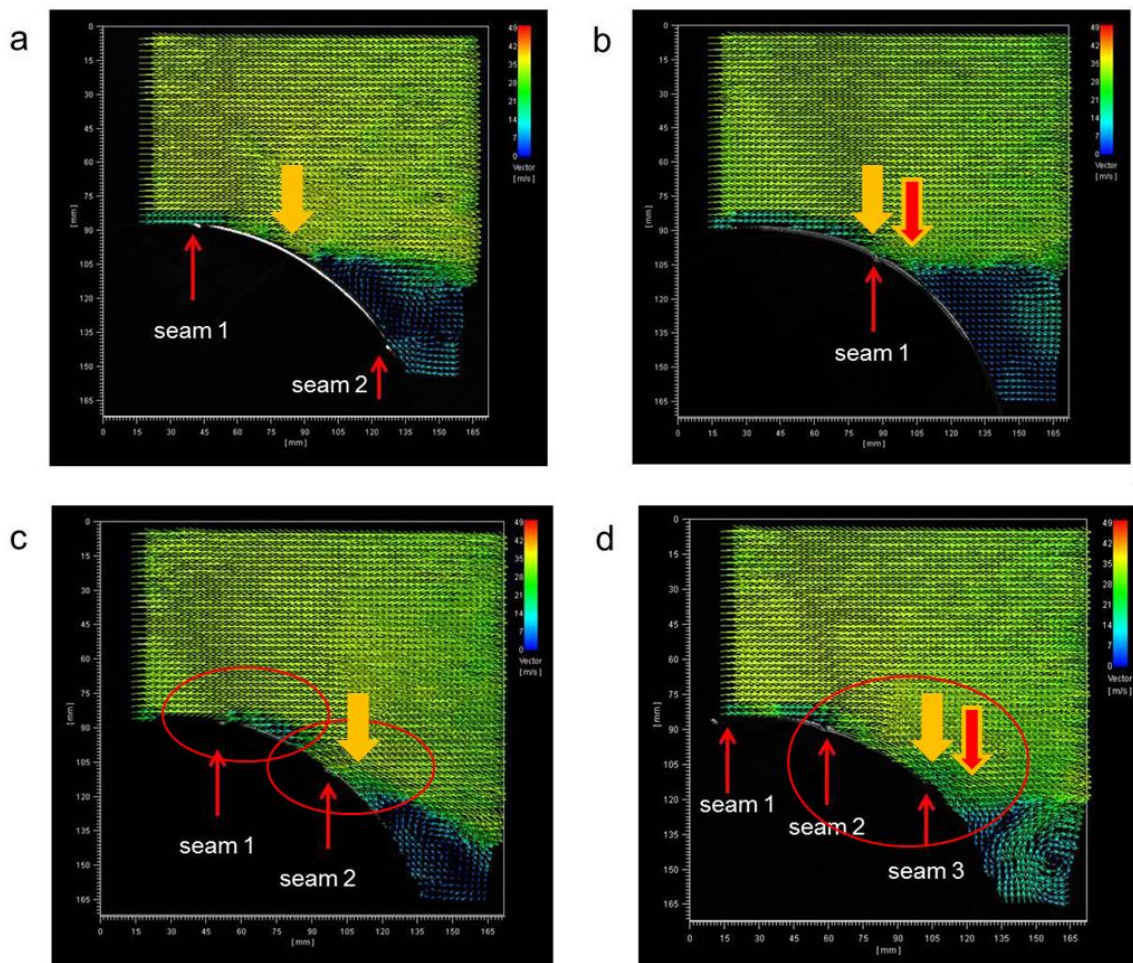


図 2 PIV を用いて可視化されたサッカーボール周りの空気流れ

縫い目(赤い矢印)が2つの場合(図 2a)、剥離点は約 120° に位置(太い黄色の矢印)する。しかし、剥離が起こる所 (120°) に縫い目が位置する(図 2b)と、その剥離点が少し後に移動(125° ; 太い黄色の矢印から赤い矢印の位置への変化)する。また、縫い目の間隔が比較的狭い(50mm)場合(図 2c)、seam1 で1回剥離が起こるが、直ぐ再付着し seam2 後方で完全に剥離(140°)する。さらに、縫い目が3つある場合(図 2d)、seam1 と seam2 で再付着が起こり、剥離点を最も後方(145°)に移動する。

用語解説

注1) PIV(Particle Image Velocimetry)計測システム

流体可視化手法の一つで、流れに多数の粒子マーカを注入し、レーザー光を照射して流体速度を計測するシステムです。本研究では、風洞内におけるサッカーボール周りの粒子の動き(移動)をレーザーで照らし、高速カメラで連続的に流れを可視化しました。

注2) 現代サッカーボール

現在使用されているサッカーボールの総称。

注3) 剥離と再付着

飛翔するサッカーボール表面には、厚さ数ミリの境界層と呼ばれる流れの層があります。その境界層が、ボール表面から剥がれて後流渦を作るのを剥離と呼び、剥離した後、再度、ボール表面に沿う流れに戻るのを再付着と呼びます。

参考文献

Sungchan Hong & Takeshi Asai, Effect of panel shape of soccer ball on its flight characteristics. Sci. Rep. 4, 5068; DOI: 10.1038/srep05068 (2014)

掲載論文

【題名】 Visualization of air flow around soccer ball using a particle image velocimetry

(和訳) PIV 計測システムを用いたサッカーボール周りの空気流れの可視化

【著者名】 洪 性賛、浅井 武、瀬尾 和哉

【掲載誌】 Scientific Reports

問合わせ先

浅井 武(あさい たけし)

筑波大学体育系 教授