

ディンプル付きサッカーボールの飛び方  
～サッカーボール表面におけるディンプル形状の空力効果～

研究成果のポイント

1. サッカーボール表面のディンプル形状が空力特性に及ぼす影響を、世界に先駆けて示しました。
2. サッカーボール表面のディンプル形状が、飛翔軌道に与える作用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（以下筑波大学）体育系の洪性賛助教と浅井武教授は、筑波大学スポーツ風洞を用いて、サッカーボール表面形状（ディンプルの有無と突起の模様など）により、ボールの空力特性が変わることを明らかにしました。

従来、ゴルフボールのディンプル（凹み）は、ボール表面のラフネスを増大させ、飛翔距離が延びることが知られていました。しかし、サッカーボールの表面のディンプルは、ゴルフボールのディンプルより、ボール直径に対してサイズが小さく、その影響も小さいと推測され、実際の空力特性はほとんど不明のままでした。

これまでの研究により、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）は、パネルの枚数・形状・向きによって変わり、ボールの飛翔軌道に大きな影響を与えることを明らかにしてきました。しかし、表面の意匠、特にディンプル有無によって、空気力がどのように変わるのかは明らかではありませんでした。

本研究では、スポーツ風洞を用いて、サッカーボールにおけるディンプルの有無や異なる表面突起の意匠が、空気力に及ぼす影響について検討しました。その結果、サッカーボール表面形状が、ボールに働く空気力に大きく影響し、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。

- ◇ 本研究結果は、ELSEVIER社の科学雑誌「Heliyon」に10月25日（英国時間）付けで掲載されました。

本研究の一部は、科学研究費補助金基盤A（24240084）、若手B（25750283、15K16442）の支援を受けて行われました。

## 研究の背景

近年のサッカー界では、FIFAワールドカップ大会ごとに、サッカー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による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枚という画期的な構成のため、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、サッカーボールのパネル形状がさらに変化しました。

本研究グループは、先行研究において、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てきました (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) は変化し、ボールの飛翔軌道が大きな影響を受けることが示唆されました。さらに、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の変化をPIVで可視化し、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ました (Hong, Asai & Seo, 2015)。

ところが、2016年EUROカップでは、6枚で構成されたブラズーカ (2014年ブラジル大会) と同様なパネル形からその表面の形状を少し変えたボージュ (BEAU JEU, 6-panels, Adidas) が公式球として使用されました。このボールは、2014年ワールドカップで使用されたブラズーカのパネル数と形が同様であるにもかかわらず、ボール表面の模様には、小さな四角形の突起が凸凹で均等に構成されています。そのため、2014年ワールドカップ公式球のブラズーカが備えている特徴 (波のように広がっている四角形の突起様子) とは形状が変わっています。この変化は、これまでサッカーボールにおいて進行していたパネル数の変化から、ボール表面形状 (Surface roughness / texture) の変化へというトレンドの大きな変更になったと考えられます。しかし、サッカーボール表面形状 (dimpleなど) がボールの空力特性や飛翔軌道にどのように作用するかは不明のままです。

## 研究内容と成果

本研究では、サッカーボールの表面にディンプル形状を入れ、表面にあるディンプル模様がボールの空力に及ぼす影響について検討しました。実験に用いたのは、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です。用意したサッカーボールは、32枚パネルのサッカーボールと12枚のパネルで構成されたサッカーボール及び6枚のパネルで構成されたサッカーボールの3種類で、個々のサッカーボールにはディンプル有りのタイプとディンプル無しのタイプの2種類を作り、全部で6種類のサッカーボール (図1) を対象としてパネル数及びディンプルの有無が空力特性に及ぼす影響について、風洞実験を用いて計測し、その特性を明らかにしました。

その結果、サッカーボール表面におけるディンプルの有無により、風速の区間によって、ボールに働く抗力 (抵抗) が変わることが分かりました (図2)。中間スピード区間 (10 m/s ~ 20 m/s) では、ディンプル有りタイプのサッカーボールの方がディンプル無しタイプよりも相対的に小さな抗力となりました。しかし、シュートに相当する速いスピード区間 (25 m/s ~ 35 m/s) では、逆にディンプル無しの方が小さな抗力の値を示しました。これは、中間スピードではディンプル有りタイプが速く飛翔し、高いスピード区間ではディンプル無しタイプが相対的に速く飛翔する可能性を示唆しています。さらに、飛距離のシミュレーション結果では、強いシュート (初速度 30 m/s、発射角度 30°) の場合、12枚

のディンプル無しタイプが55.1mで、ディンプル有りタイプ(49.0m)より、遠くまで飛翔することが分かりました(図3)。

これらの結果を総合すると、サッカーボールの空力特性は、同様なパネル数または、同一のパネル形状で構成されたサッカーボールでも、表面ディンプル等、その表面形状の意匠によって異なる空気力をもつと考えられます。したがって今後は、開発するサッカーボールでは、ボール表面形状をどのようにするかが重要なポイントになるといえます。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ことが期待されます。

#### 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ディンプルや意匠が、空力特性に及ぼす影響が明らかになりました。さらに、本研究の結果を基に、ディンプルの空力特性(数、幅、深さなど)の定量化(ビッグデータ化)から、一般的な32枚のサッカーボールが持つ空力特性と同様な空力特性のディンプルサッカーボール(ゴルフボールのような1枚のサッカーボール)の開発も可能になり、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。

#### 参考図

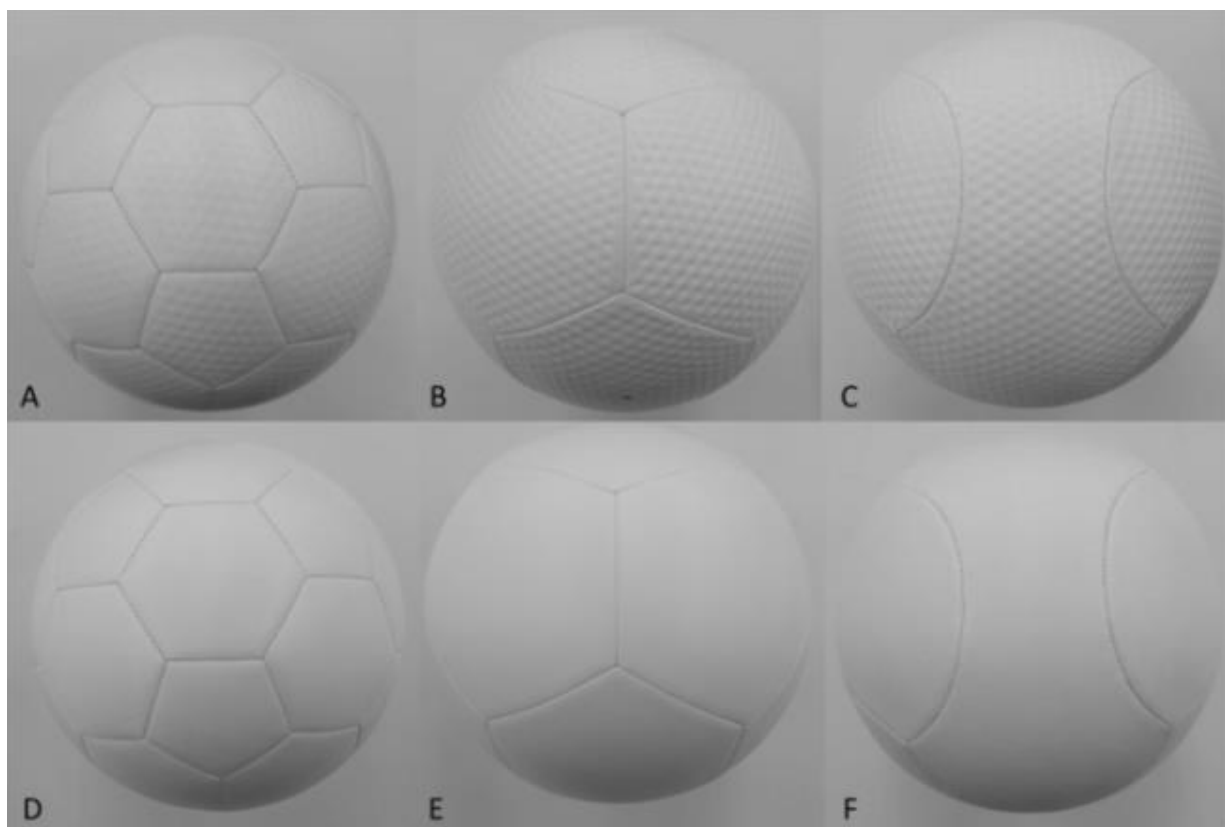


図1. 本実験で使用したサッカーボール: (A)ディンプル形 32 枚パネル、(B)ディンプル形 12 枚パネル、(C)ディンプル形 6 枚パネル、(D)ディンプル無しのツルツル形 32 枚パネル、(E)ディンプル無しのツルツル 32 枚パネル、(F)ディンプル無しのツルツル 6 枚パネル

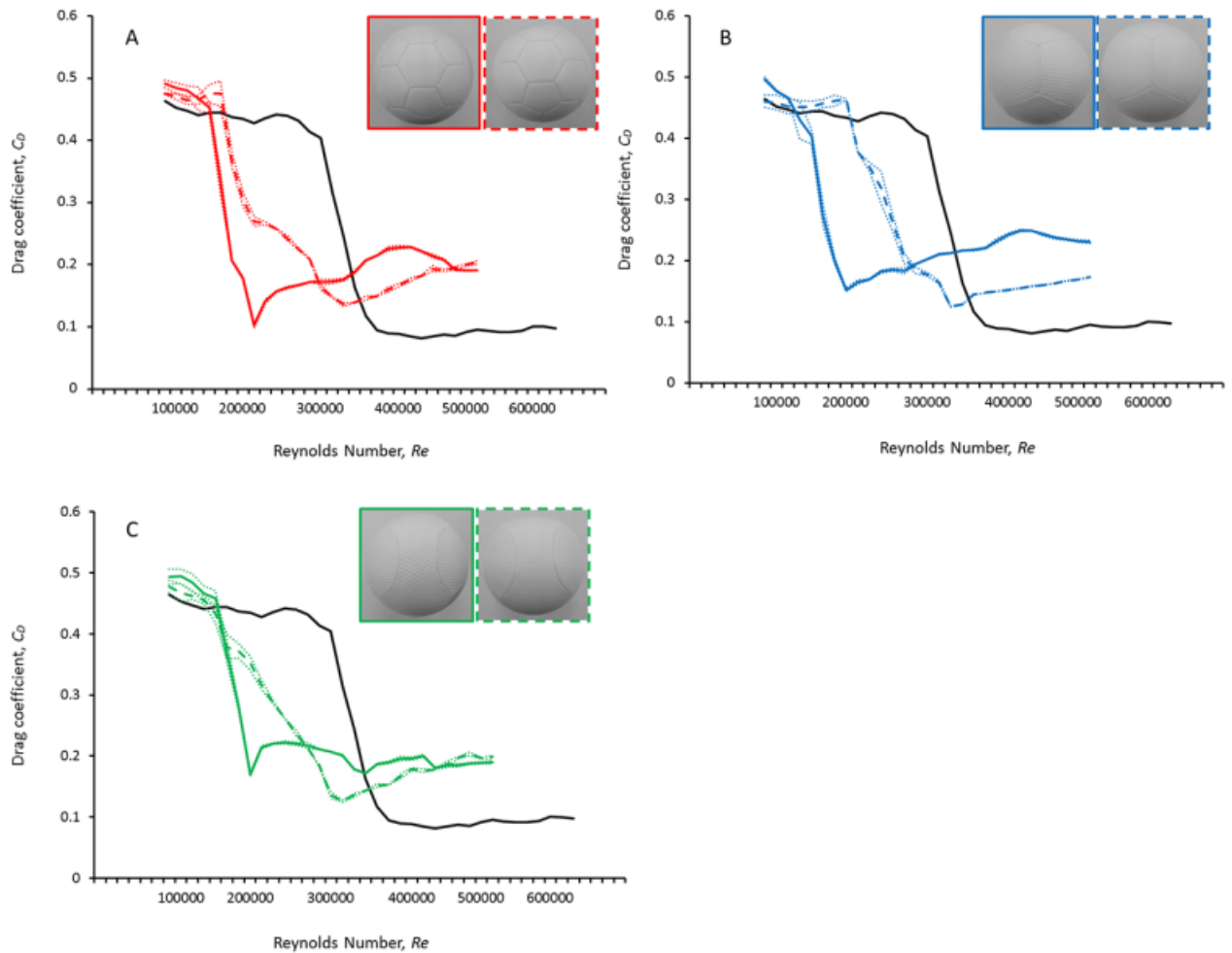


図 2. ディンプル有無による抗力の変化：

縦軸は抗力係数（空気抵抗）を、横軸はレイノルズ数（風速）を示している。

(A)32 枚サッカーボール、(B)12 枚サッカーボール、(C)6 枚サッカーボール

(実線がディンプル有り、点線がディンプル無しタイプ、黒線は smooth 球の結果)

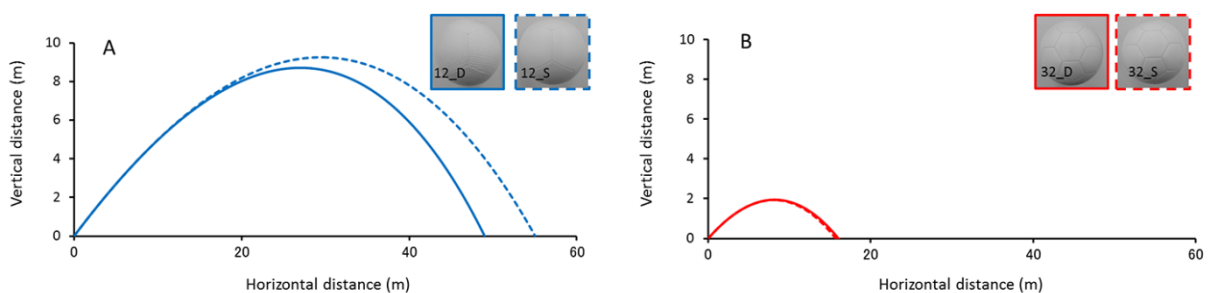


図 3. 飛距離の比較: (A)12 枚サッカーボール（初速度: 30 m/s, 発射角度: 30°）、

(B)32 枚サッカーボール（初速度: 15 m/s, 発射角度: 25°）

(実線がディンプル有り、点線がディンプル無しタイプ)

#### 参考文献

- 1) Hong, S. & Asai, T., Effect of panel shape of soccer ball on its flight characteristics. *Sci. Rep.* 4, 5068. DOI: 10.1038/srep05068 (2014)
- 2) Hong, S., Asai, T. & Seo, K., Visualization of air flow around soccer ball using a particle image velocimetry. *Sci. Rep.* 5, 15108. DOI: 10.1038/srep15108 (2015)

#### 掲載論文

【題名】 Aerodynamic effects of dimples on soccer ball surfaces  
(和訳) サッカーボール表面におけるディンプル形状の空力効果  
【著者名】 洪 性賛、浅井 武  
【掲載誌】 *Heliyon*, 3(10): e00432  
DOI: 10.1016/j.heliyon.2017.e00432

#### 問合わせ先

浅井 武 (あさい たけし)  
筑波大学体育系 教授  
Tel. 029-853-2711  
E-mail: asai.takeshi.gf@u.tsukuba.ac.jp

洪 性賛 (ほん そんちゃん)  
筑波大学体育系 助教  
Tel. 029-853-2650  
E-mail: hong.sungchan.fu@u.tsukuba.ac.jp