

サッカーワールドカップブラジル大会公式球「ブラズーカ」の秘密を科学的に解明
～ボールのパネル構成が空力特性や飛翔軌道を左右する～

研究成果のポイント

1. 現代サッカーボールのパネルの枚数・形状・向きと空力特性や飛翔軌道との関係を明らかにしました。
2. 風洞実験の結果、「ブラズーカ」(ワールドカップ 2014 公式球)は「ジャブラニ」(ワールドカップ 2010 公式球)に比べ、中速領域での空気抵抗が小さいことがわかりました。
3. 低回転で飛翔した場合、「ブラズーカ」は「ジャブラニ」に比べ、プレにくい(ナックルエフェクトが小さい)ボールであることがわかりました。
4. ボールの飛び方について、風洞実験とサッカーロボットによる実験の結果がよく一致することを示しました。
5. 多様なパネル形状で構成されたサッカーボールの、飛翔軌道が予測可能となりました。

国立大学法人筑波大学（以下「筑波大学」という）スポーツR&Dコア 洪性賛研究員と体育系 浅井武教授の研究グループは、筑波大学スポーツ流体力学実験室において、低速風洞実験装置（San Technologies社製）を用い、現代サッカーボールのパネルの枚数・形状・向きが、ボールの空力特性に与える影響を検討しました。その結果、「ブラズーカ」は「ジャブラニ」より、中速領域での空気抵抗が小さいことが明らかになり、ボールの飛翔軌道も予測可能となりました。

近年、様々な形や枚数のパネルで構成されたサッカーボールが登場し、2014年FIFAワールドカップでは6枚のパネルで作られた「ブラズーカ」が公式球として使用される予定です。また、2006年ドイツワールドカップでは14枚の「チームガイスト」、2010年南アフリカ大会では8枚の「ジャブラニ」が使われていました。しかし、このようにパネルの形状や数が異なるサッカーボールの飛翔特性や空力特性に関する研究は、これまでほとんど行われていませんでした。

本研究では、さまざまな種類の現代サッカーボール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向きに着目して比較検討しました。また、実際に飛翔するさまざまなボールの軌道をキックロボットを使って解析しました。それにより、ボールのパネル数だけでなく、初期条件としてのパネルの向き自体が、空気力や飛翔軌道に大きく影響することがわかりました。また、非定常状態における風洞実験の結果と実際の飛翔軌道との関係を調べたところ、両者は比較的良好に一致し、風洞実験を用いた非定常解析空力解析の可能性が拡大されました。

このような研究結果は、新しいボールの開発やデザインに応用できるだけでなく、最新スポーツ技術の理解・習得にも活用され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5月29日（英国時間）付けで掲載されます。

研究の背景

従来のサッカーボールは、32枚(五角形と六角形)のパネルで構成されていました。しかし近年、14枚で構成された「チームガイスト」と8枚で構成された「ジャブラニ」が登場し、パネルの形とデザインなどが大きく変化しました。さらに、2014年ブラジルワールドカップでは6枚のパネルで構成された「ブラズーカ」が公式球として使用される予定です。しかし、これらの多様なサッカーボールにおける異なるパネル数とパネルの形がボールの飛翔軌道や空力特性などへの流体力学的研究はほとんどなく、それぞれのボールの特性はよくわかっていませんでした。

研究内容と成果

本研究では、異なるパネルの形状や枚数で構成されたサッカーボールの空力特性と飛翔軌道を風洞実験及びキックロボットを用いて解析しました。対象としたサッカーボールは、「ブラズーカ」を始め、「カフォーサ」(2013年ブラジルコンフェデレーションズカップの公式球)、「ジャブラニ」、「チームガイスト2」(2008年ユーロカップの公式球)と一般的なサッカーボール(ヴァンタッジオ-32panels、molten社)の6種類で、それぞれ2通りの向きを設定し(図1)、空気力と飛翔特性を調べました。

まず風洞実験(図2)により、風速を7m/sから35m/sまで変化させながらそれぞれのボールの抗力(主流方向の抵抗力)と揚力(主流に対して垂直方向の力)を計測し、抗力係数を求めました。抗力係数が大きいほど飛翔方向とは逆方向から受ける力(空気抵抗)が大きく、ボールが飛びにくいことを示しています。ブラズーカはジャブラニに比べ、中速領域(25m/s以下、パスやロングキック時のボール速度)で抗力係数が急激に低下し、空気抵抗が小さくなる(ボールが飛びやすくなる)ことがわかりました(図3)。

また、無回転条件下、風速20m/sおよび30m/s中で、非定常の揚力(ボールを上下左右に揺らす力)を測定しました(図4)。その結果、いずれのボールもパネル向きの違いによる空気力にはほとんど差がなく、パネル枚数の方が空気力に対する影響が大きいことがわかります。また、特に風速30m/sでは、ブラズーカはカフォーサやジャブラニに比べてボールの向きによる揺れの差が小さく、安定した空気特性を示しました。

次に、キックロボット(図5)を用い、初速度30m/s、発射角度15°で30m先に設置したボード上への弾着点をプロットしました(図6)。この結果より、ブラズーカ以外のボールは向きによる飛翔軌道の差が大きく、ブラズーカが安定した飛翔特性をもつことがわかりました。

さらに、風洞実験およびキックロボット実験の結果の比較を試みました(図7)。それぞれの実験結果におけるボールの揺れの程度を、左右方向(図7左)および上下方向(図7右)についてプロットしたところ、両実験の結果はいずれも比較的良好に相関しており、風洞実験の信頼性は担保されると考えられます。

以上の結果より、サッカーボール表面の形状(パネル枚数やパネル向きなど)がサッカーボールの空気力及び飛翔軌道に影響を与える重要な要因であることが示唆されるとともに、ワールドカップブラジル大会の公式球「ブラズーカ」は、他のボールに比べて比較的安定した飛翔特性をもっていることが明らかとなりました。

今後の展開

本研究により、今まで究明できなかった風洞実験の結果と実際の飛翔軌道との相関関係が明らかになり、新サッカーボールの開発やデザインへの適用、さらには最新スポーツ技術の理解・習得が促進されるものと期待されます。

参考図



図1. 本実験で使用したサッカーボールとパネル向きの設定: (a, b) Adidas Brazuca, (c, d) Adidas Cafusa, (e, f) Adidas Jabulani, (g, h) Adidas Teamgeist 2, (i, j) Molten Vantaggio (conventional soccer ball).

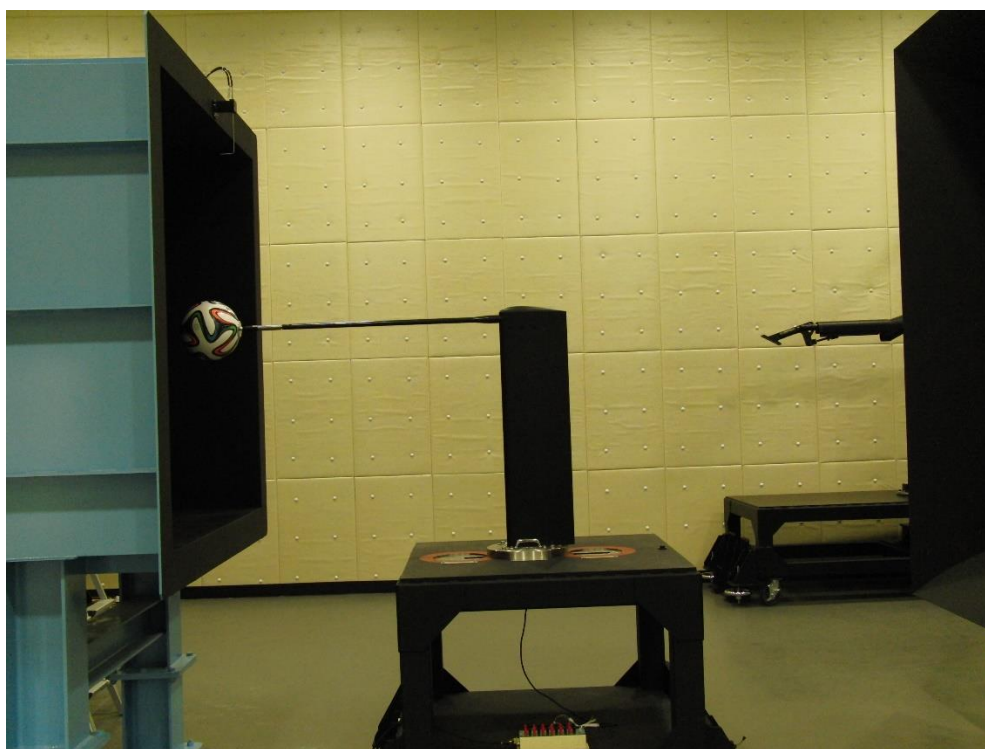


図2. 風洞実験装置

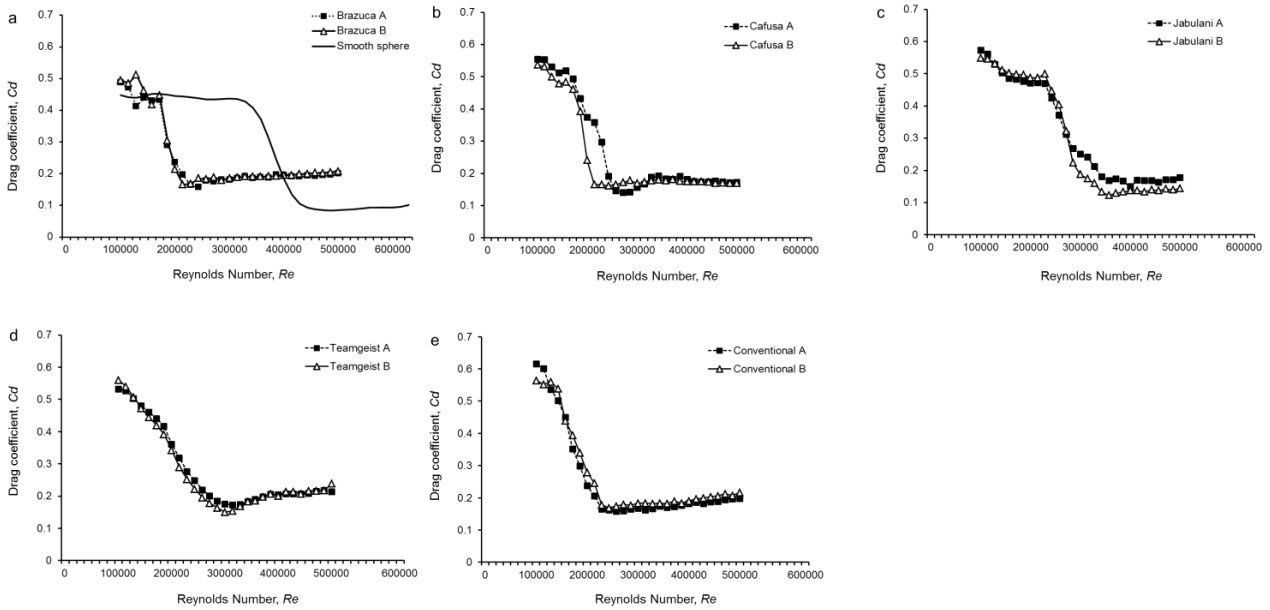


図 3. 風洞実験によるサッカーボールの抗力係数：(a) Brazuca, (b) Cafusa, (c) Jabulani, (d) Teamgeist 2, (e) conventional ball。縦軸は抗力係数、横軸はレイノルズ数。●と△は各ボールの向きの違いを示す。レイノルズ数が大きい（風速が大きい）ほど空気の流れは不安定（乱流）で、グラフの極小点（臨界レイノルズ数）を境に、ボール後方に生じる乱流が一時的に小さくなり、前方へ飛翔しやすくなる。

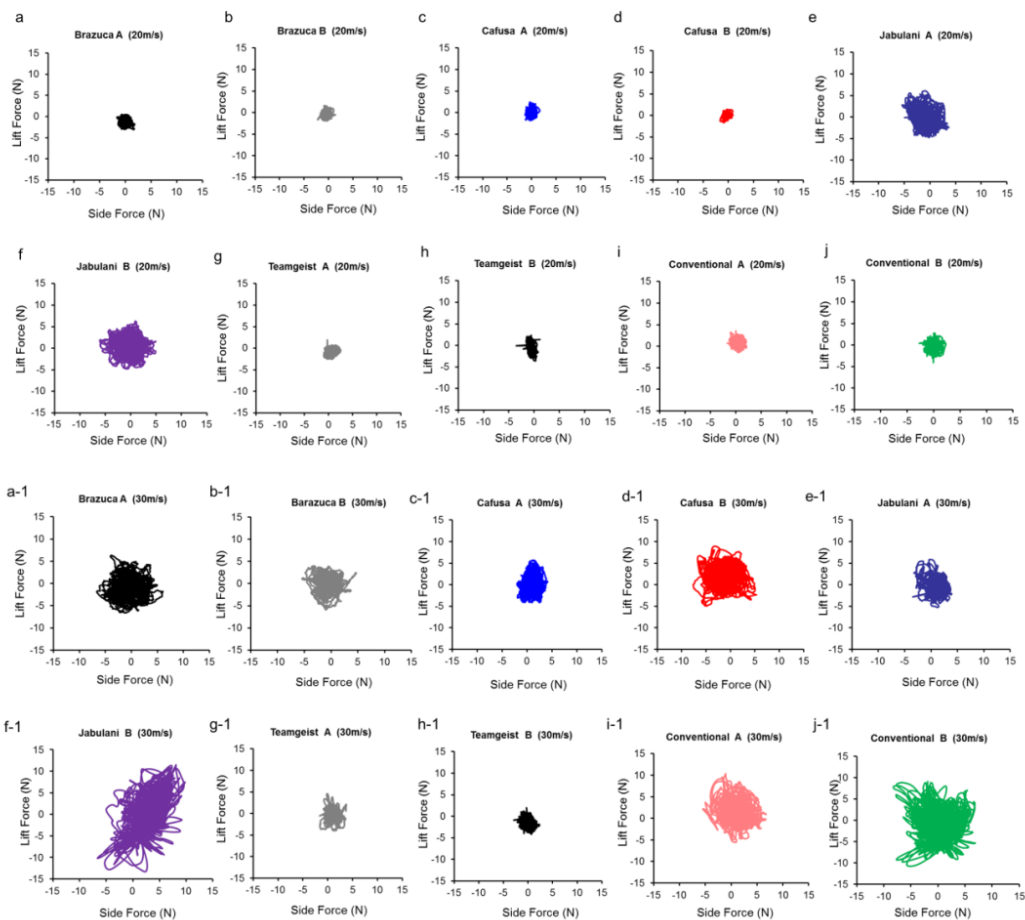


図 4. 風洞実験によるサッカーボールの揚力と横力との関係図：(a~j) 20 m/s, (a-1~ j-1) 30m/s 縦軸は揚力、横軸は横力を示す。描線の範囲が小さいほど、風の影響による上下左右のぶれが小さく安定性が良いことを示す。



図 5. キックロボット実験装置

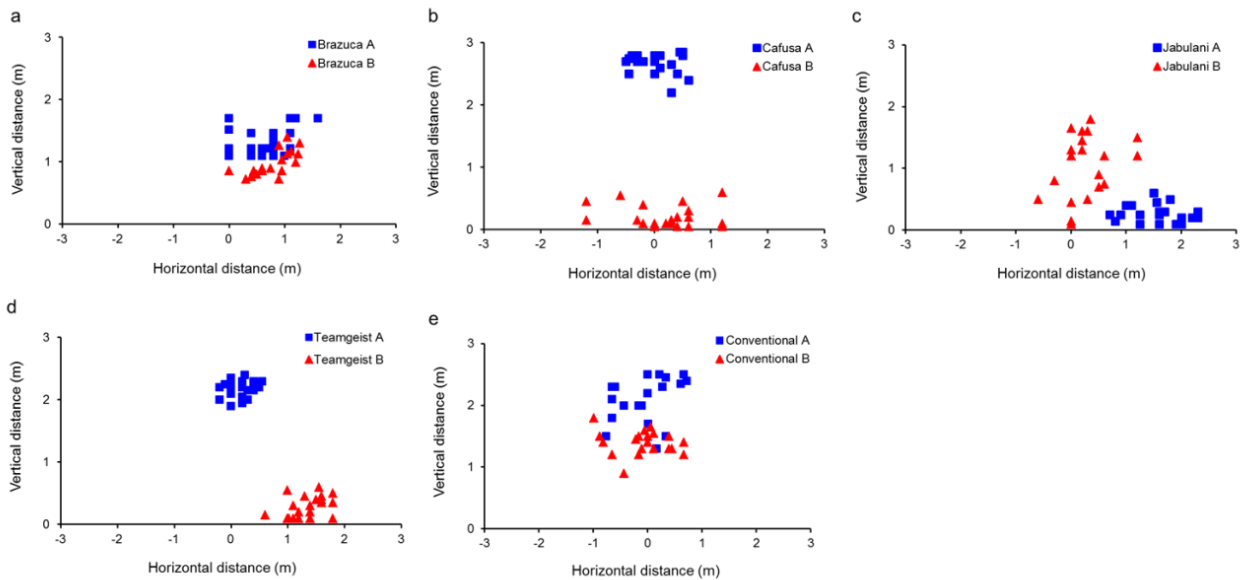


図 6. パネル向きによるボールの飛翔特性(弾着点)の比較: 初速度 30 m/s、発射角度 15°、(a) Brazuca, (b) Cafusa, (c) Jabulani, (d) Teamgeist 2, (e) conventional ball
各グラフの青と赤の点はボールの向きの違いを示す。青と赤のプロットが集約しているほど飛翔における安定性が高い。

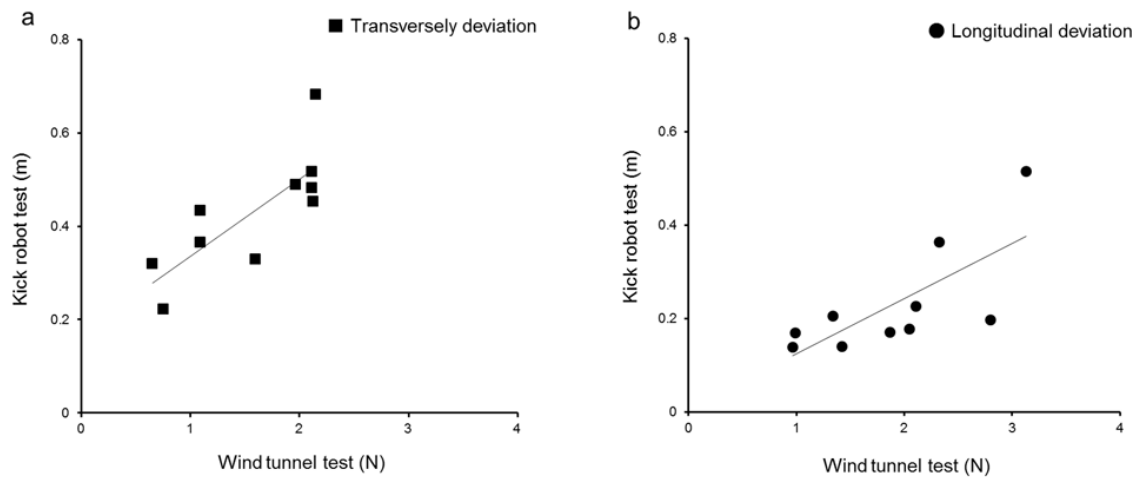


図7. 現代サッカーボールにおける空力特性(風洞実験結果、横軸)と飛翔特性(サッカーロボット実験結果、縦軸)との関係(右図:左右方向、左図:上下方向)

掲載論文

【題名】 Effect of panel shape of soccer ball on its flight characteristics

(和訳) サッカーボールのパネル形がボールの飛翔に与える影響

【著者名】 洪 性賛、浅井 武

【掲載誌】 Scientific Reports

問合わせ先

洪 性賛(ほん そんちゃん)

筑波大学スポーツR&Dコア 研究員

浅井 武(あさい たけし)

筑波大学体育系 教授