

# バドミントンシャトルコックの飛翔特性の解明と航空工学分野への応用

秋田大学大学院 工学資源学研究科 生産建設工学専攻

博士後期課程 3 年 中川 健一

## 1. 研究背景・目的

バドミントンは、近年ロンドン五輪で日本史上初のメダルを獲得し、日本中が沸き競技の注目度が増すとともに、手軽にできるレジャースポーツとしての魅力も改めて注目されるようになってきた。また、バドミントンは全ての球技の中で打球の初速が最も速いことで有名である。スマッシュ直後の初速は、最速で時速 300 km (83 m/s) 以上に達することもある。バドミントンが他の競技と大きく異なる点として、使用する球がシャトル状の独特な形状を有している点が挙げられる。シャトルコックは、半球状の形のコルクなどに、水鳥等の羽根を接着剤などで固定した簡単なつくりになっている。競技としてのバドミントンは、緩急を使い分ける様々なショットやフットワーク、対戦相手との駆け引きを要する。バドミントンはコースとスピードの緩急で試合をするスポーツと言える。このスピードは、力の入れ具合でも変化させることができるため、バドミントンは簡単に戦略性の高いゲームが楽しめるとともに、手軽にできるスポーツとしての楽しさの両面を兼ね備えている。こうしたバドミントンの魅力を引き出している要因に、シャトルの有する飛翔体としての空力特性があげられる。シャトルは、非常に抵抗の大きい飛翔体で、相手コートに届くまでに、空気抵抗を受けて急激に減速する。たとえば、初速 67 m/s で打ち出した場合、約 0.6 秒後には 7 m/s にまで減速する。こうしたシャトルの初速と終速の差が著しいことも、他の球技には無い大きな特徴と言える。シャトルは独特な形状から高い減速特性を有していると同時に高い飛翔安定性も有している。特にシャトルはラケットによる打撃（インパクト）直後、クルリと急激な迎角変化（縦回転）が生じ、非常に短い時間で安定飛翔していく。この高い空力安定性について、明らかにされているとは言い難い。そこで、本研究ではこうした姿勢変化をとまなう状態について着目し、シャトルの持つ独特な形状のどの部位、構造が高い空力安定性を生じさせているのかについて風洞実験で調べた。

## 2. 研究内容

### 実験装置

本実験で使用する実験装置の概略図を図 1 に示す。風洞は 0.29×0.29 m の正八角形の吹き出し口を有する回流風洞である。実験装置は、流体力測定のために三分力天秤を、回転角速度の測定にハイスピードカメラを用いた。迎角  $\alpha$  は Z 軸について時計回りを正とし、コルク部先端が主流方向に向かって平行な状態を  $\alpha=0^\circ$  とする。

実験で使用したシャトルは、試合球として利用されている第一種検定合格球の YONEX 製 NEW OFFICIAL を使用した。使用したシャトルの写真を図 2 に示す。シャトルの特徴的な構造である羽根付け根部の影響について調べるために、この隙間を塞いだシャトルでも実験を行った。

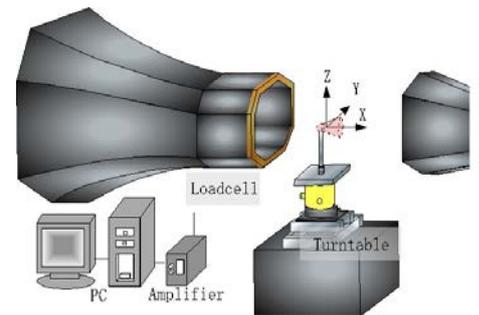


Fig.1 Schematic diagram of experimental setup.



(a) Standard shuttlecock. (b) Standard w/o gaps (c) Conic shuttlecock. (d) Conic w/o gaps.

Fig.2 Test model shuttlecocks

加工したシャトル(隙間なしシャトル)の写真を示す。羽根付け根部の隙間を通気性のない滑らかなテープで覆った。これにより、羽根付け根部の隙間からシャトル内部への流れを遮断した。レイノルズ数  $Re$  は、シャトル最大幅である羽根部後端径  $D$  を代表長さ、主流速  $U_0$  を代表速度として定義した。また、シャトルの先端(コルク部)が風上方向に向いている状態を迎角  $\alpha=0^\circ$  と定義した。

## 実験結果および考察

### シャトルの減速特性

図3にシャトルの各レイノルズ数について、無回転時におけるシャトルの隙間の有無を比較した抗力係数  $C_D$  を示す。隙間があるシャトル(通常シャトル)に着目する。通常シャトルの場合、抗力係数は  $Re=8.6 \times 10^4$  まで増加し、 $Re=8.6 \times 10^4$  を超えると徐々に減少している。それに対して、隙間のないシャトルの場合、通常隙間のあるシャトルと比べ、約3割程度減少している。一般的に投影面積などが増加する隙間を塞いだシャトルのほうが抗力は大きいように感じられる。しかし、実際に実験を行なうと通常シャトルのほうが抗力係数は大きくなる。

### 各迎角でのシャトルの空力特性

インパクト直後にシャトルはクルリと急激な迎角変化(縦回転)をし、その後安定に飛翔する。この縦回転時の安定性についてシャトルの構造が及ぼす影響を調べた。そこで、羽根を取り除き、代わりにスカート部を滑らかなテープで覆ったシャトル(円すいシャトル)を導入し実験を行った。

図4(a)から(c)に  $Re=1.3 \times 10^5$  における迎角を変化させた際の通常シャトル、隙間のないシャトル、円すいシャトルの揚力係数  $C_L$ 、抗力係数  $C_D$ 、ピッチングモーメント係数  $C_M$  を示す。図4(a)の揚力係数曲線において隙間を塞いだシャトルでは、羽根部に通気性がないことで揚力が大きくなる。抗力係数では、羽根部が上流側を向いている大きな迎角時で、隙間あり、なしの違いが生じている。羽根部が上流側にある場合、隙間のないことで大きな抗力が発生する。図4(c)にピッチングモーメント係数を示す。ピッチングモーメント係数では、いずれのシャトルでも  $0^\circ$  を境に符号が変わることが確認できた。また、 $0^\circ$  付近のピッチングモーメントの立ち上がりの傾きは、通常シャトルが一番大きく、隙間なし、円すいシャトルの順になっている。この  $0^\circ$  を境にしたピッチングモーメントの立ち上がりは、シャトルの安定性に関連する。つまり、大きな値になっていけば、シャトルが縦回転し、仮に  $0^\circ$  をオーバーシュートした際にも、 $0^\circ$  への戻り易さにつながる。この  $180^\circ$  付近のモーメントの傾向がこうした初期状態でのシャトルの挙動に影響している。さらに、通常シャトルでは、ピッチングモーメント係数のピークは、一番大きな値となった。

## 4. 結言

- (1)  $\alpha=0^\circ$  において回転のないシャトルの抗力係数は風速の増加に従い徐々に減少する。また、隙間なしシャトルの抗力係数は通常シャトルより約1/3倍となった。
- (2) 各迎角での揚力変動、抗力変動において、シャトルの隙間あり、なしで傾向に違いが生じる。一方、ピッチングモーメントは、通常シャトルで一番大きい値となった。

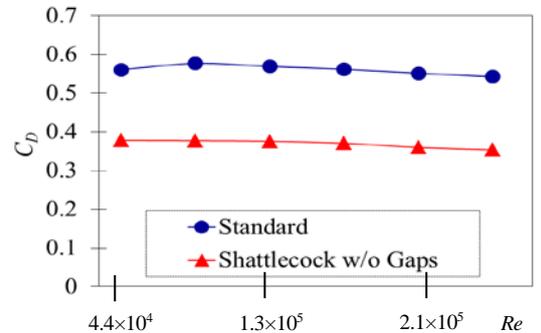
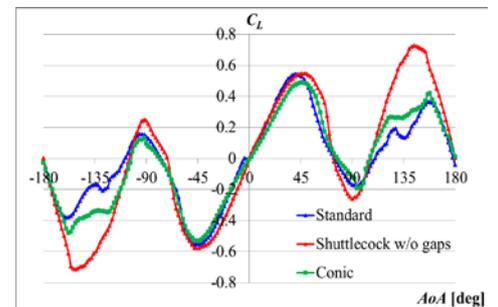
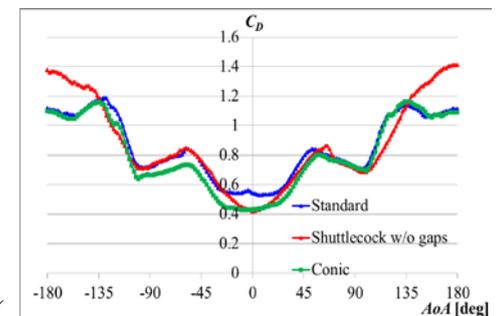


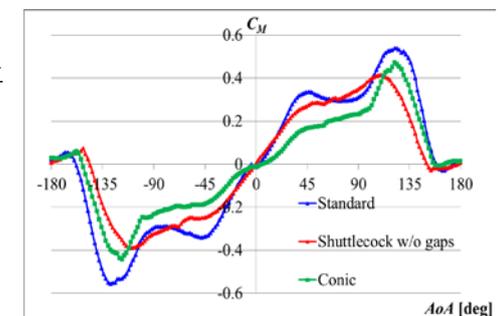
Fig. 3 Drag coefficients variations versus  $Re$  ( $\alpha=0^\circ$ ).



(a) Lift coefficient variations



(b) Drag coefficient



(c) Pitching moment coefficient variations

Fig.4 Aerodynamic coefficient variations for the shuttlecocks versus angle of attack at  $Re=1.3 \times 10^5$ .