

競技用フライングディスクの空力性能と飛翔軌跡

伊藤 慎一郎^{*1}, 加瀬 光輝^{*2}, 鈴木 謙太^{*3}

Aerodynamic specification of competitive flying discs and their flight path

Shinichiro ITO^{*1}, Mizuki KASE^{*2} and Kenta SUZUKI^{*3}

^{*1} Kogakuin Univ. Dept. of Mechanical Engineering
1-24-2 Nishi-shinjuku, Shinjuku-ku, Tokyo, Japan 163-8677

A flying disc can fly through the air because of the combination of the lift and drag forces by the oncoming air flow. Actual flight conditions were confirmed to perform the wind tunnel experiment beforehand. In order to clarify the mechanism of flight of flying discs, the flow field structure and the fluid force were investigated on non-spinning and spinning conditions. In the fluid force measurement, lift and drag forces were taken by varying wind speeds, spin speeds, and angle of attack. Drag and lift forces were found to increase as spin increased. The angle of attack on the maximum range of lift-drag ratio or glide ratio was found to be wide from 6 to 13 degrees which was suitable for a long distance throwing. Using a smoke wind tunnel, flow visualization around the disc was performed in order to understand the effect of disc spin. It was found that spin enhances lift force by attracting the Coanda effect on the trailing edge.

Key Words : Flying disc, Aerodynamics, Flow visualization, Smoke wind tunnel

1. 緒 言

フライングディスクを安定して飛翔させるためには、揚力が重要であり理想的な回転数や迎角、速度などの飛翔状態が存在していると考えられる。これらの飛翔に関する基礎データを競技者に公開することで、記録向上、ゲーム戦略の拡大などが期待できる。フライングディスクには遊戯用のほかに Ultimate, Golf などの競技用ディスクが存在し、それぞれ飛翔特性が異なる。これはディスク本来の空力特性が異なるためである。

実際の飛翔状態の基礎データを得るためにフライングディスクを投擲し高速度カメラで撮影し解析を行った。得られたデータより、風洞実験の計測条件を決定した。煙風洞試験によりフライングディスク周りの流れを可視化し流れ場構造を把握する。また、3 分力検出器を用いてフライングディスクに作用する力を計測し、解析することで流れ場構造と流体力の関係性を検証し飛行原理も実験的に解明した。

本研究ではそれぞれのディスクの空力特性を調べ、実際の競技者によるディスク飛翔軌跡を解析し、理論的飛翔軌跡と比較した。

2. 実験方法

2.1 フライングディスクについて

実験で使用したフライングディスクを図 1 に示す。本研究では、Ultimate 競技用のディスクと特性比較をするために遊戯用の 2 種類のディスクを用いて実験を行った。それぞれのディスクの大きな違いは、エッジの形状が Ultimate 用は滑らかな丸みを持っているのに対し、遊戯用はほぼ直角になっている点、そして表面の溝の配置位置と本数である。



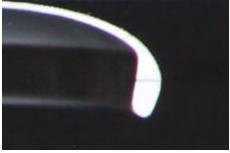
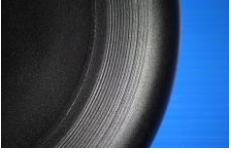




^{*1} 正員, 工学院大学 (〒168-8677 東京都新宿区西新宿 1-24-2)

^{*2} 工学院大学大学院 工学研究科

^{*3} 工学院大学 工学部

E-mail: ito@cc.kogakuin.ac.jp

Table 1 Flying disc used in the experiment

Ultimate 用 DISCRAFT 製 ULTRASTAR $d: 0.267\text{m}$ $m: 0.170\text{kg}$ $h: 0.033\text{m}$				
遊戯用 $d: 0.267\text{m}$ $m: 0.170\text{kg}$ $h: 0.033\text{m}$				

2・2 投擲実験

フライングディスクの空力特性を評価ために飛翔軌跡を把握すること、さらに風洞実験を行う上で計測条件が必要となる。飛翔状態のフライングディスクを高速度カメラで撮影し解析を行うことで、飛翔軌跡、迎角、速度、回転数を求めた。競技者による投擲を 250fps で撮影した。

2・3 流体力計測

飛翔状態のフライングディスクに作用する流体力を計測した。実際の飛翔状態を再現するために、開発した回転装置を図 1 に示す。計測条件は風速を 0m/s, 5m/s, 9m/s, 18.6m/s の各値に対して迎角を-5~15deg.まで 1deg.間隔で変化させ回転数は 0rpm, 400rpm, 600rpm, 1000rpm 時を計測した。

2・4 可視化実験

フライングディスク周りの流れ場構造を流脈として可視化するため側面、上方、後流側の 3 カ所から撮影を行った。計測条件は風速 2.3m/s, トレーサ物質はポリエチレングリコールを使用し、回転数は 0rpm, 400rpm, 600rpm, 1000rpm の各値に対して迎角を-5~15deg.まで 1deg.間隔で変化させ撮影した。

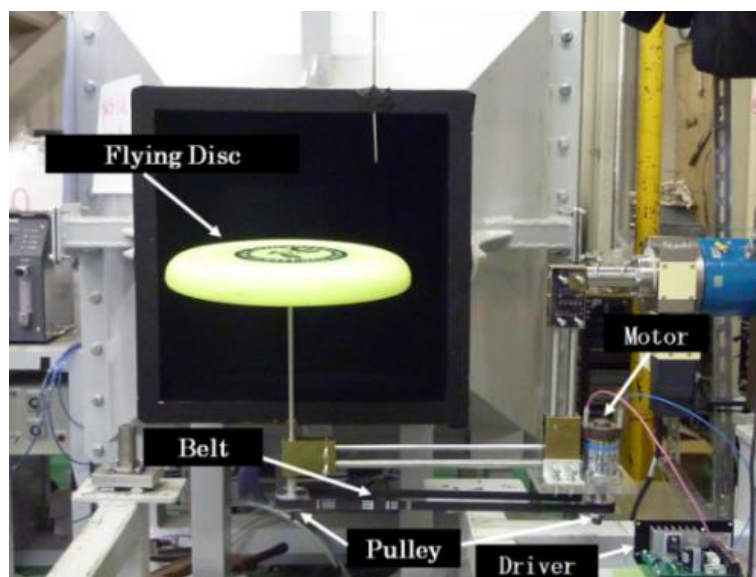


Fig. 1 Rotating and Load measurement gear

3. 実験結果及び考察

3・1 投擲実験

Ultimate 用と遊戯用の解析結果を図 2 と表 2 に示す. ここでの解析において, 水平に対するディスクの傾きを機体角度, 水平に対する飛行方向の傾きを飛行角度とし, 機体角度に飛行角度の絶対値を加えたものを迎角とする. 両ディスク共に機体角度, 飛行角度, 迎角に顕著な違いは見られなかった. また, Ultimate 用はより高い速度, 回転数域で投擲することが可能であった.

3・2 流体力計測

両フライングディスクの空力特性を図 3 に示す. 横軸は迎角, 縦軸は揚力係数及び抗力係数である. 揚力係数, 抗力係数は迎角が増加すると共に係数も高くなった. 飛行性能を迎角に対する揚抗比で回転数及びディスク別に比較したものを図 4 に示す. 図 3 のグラフにおいて, 11deg 以降では揚力係数が Ultimate 用の方が高くなっている. これは表 1 に示したエッジ形状が遊戯用に比べ緩やかになっていることで剥離が抑えられたと考えられる. よって,

揚力係数は高くなり, 抗力係数は低くなったことで, 図 4 に示した揚抗比が遊戯用よりも高くなったと考えられる.

3・3 可視化実験

Ultimate 用の無回転時と回転時, 遊戯用の無回転時と回転時での流れ場構造の煙風洞試験の結果を図 5 と図 6 に示す. 両ディスク共に無回転時では, 流脈がディスクの後縁エッジから離れていることに対して, 回転時には流脈が後縁エッジに付着している. これら流れ場の違いは, ディスクの回転によってディスク表面の流速が増加したためである. これはベルヌーイの定理より, 回転表面の圧力が低下しディスク周りの流れはディスク表面に付着し, 後縁エッジでコアンダ効果によって流れが下方方向に変化したためである. このことより, 運動量の交換が生じて回転しているフライングディスクではより多くの揚力が生じていることがわかる.

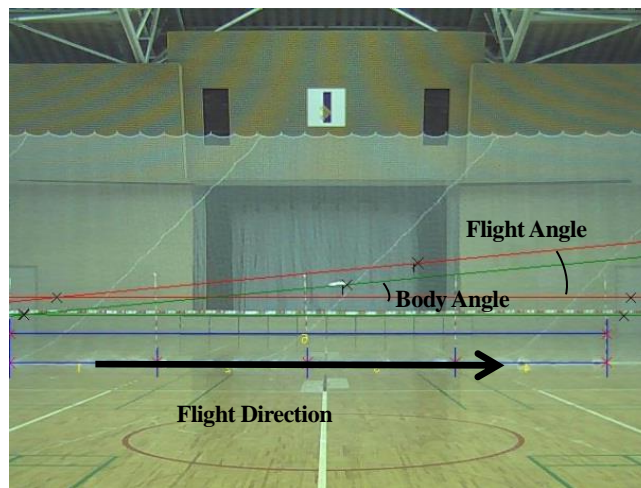


Fig. 2 Video analysis of flight experiment

Table 2 Flight Experiment Result

	Ultimate		Toy	
	CASE 1	CASE 2	CASE 1	CASE 2
Body Angle	5.79	6.42	6.93	6.34
Flight Angle	3.77	5.03	3.33	4.61
Angle of Attack	9.56	11.46	10.26	10.95
Velocity (m/s)	15.9	24.0	16.3	16.3
Spin Speed (rpm)	656.3	990.6	644.2	674.2

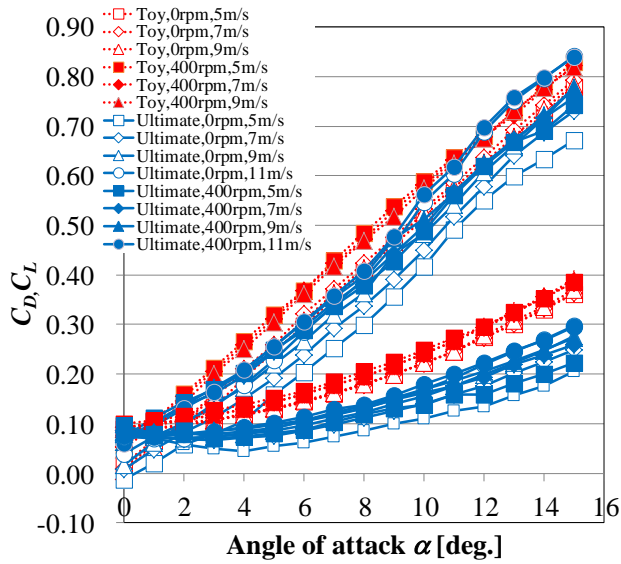


Fig.3 C_L and C_D curves with respect to angle of attack α

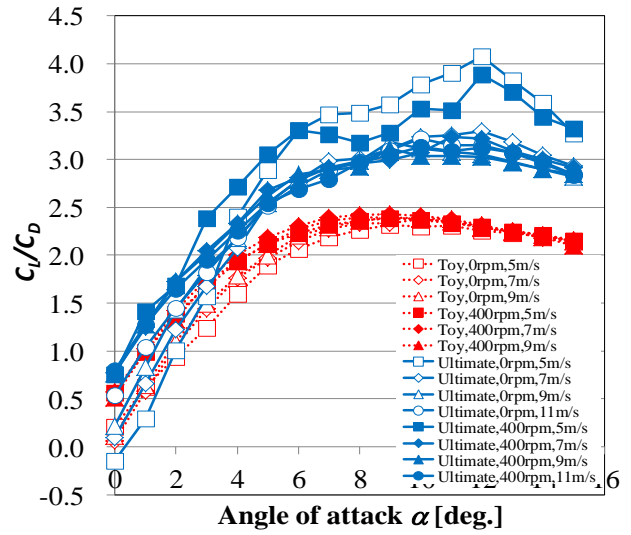
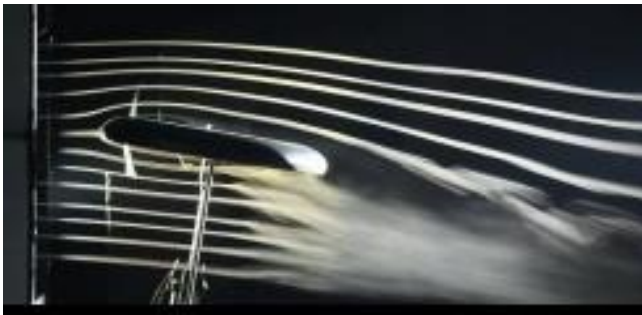


Fig.4 C_L/C_D with respect to angle of attack α



(a) 0rpm



(a) 0rpm



(b) 400rpm



(b) 400rpm

Fig.5 Side view at $\alpha=9^\circ$ (Ultimate)

Fig.6 Side view at $\alpha=9^\circ$ (Toy)

4. 結 語

本研究では、Ultimate 競技用のディスクと遊戯用フライングディスクを投擲し飛翔実験で得られた結果を基に流体力計測と可視化実験、軌道解析を行い以下の知見を得た。

1. Ultimate 用、遊戯用フライングディスクは最大揚抗比付近における迎角の範囲が 6deg.~13deg. と広い。
2. Ultimate 用は遊戯用に比べ揚抗比が約 0.5 高く、飛翔性能が良い。

5. 文 献

- [1] Bloomfield, Louis A. “The Flight of the Frisbee” Scientific American, April 1999.
- [2] Motoyama, Eugene “The Physics of Flying Discs”, December 13, 2002.
- [3] 安田 邦男, フライングディスクの飛行・空力特性について, 日本航空宇宙学会論文集 47, (547), 314-320, 1999-08