

# FF機の主翼の形状による飛行時間の違い

## Flight times the FF plane

保田 幸輝 村上 裕一

YASUDA Koki, MURAKAMI Yuichi

### I FF機について

FF機とは、Free Flight機の略称である。一般的な模型飛行機と同様な操縦することなく飛行する機体のことである。

### II 先行研究

#### 主翼について

主翼の後ろ部分は機体の動作とは反対の動きをする。左側の主翼の後ろ部分を下げたら、左側の主翼が上がり、右側の主翼が下がる。右側の主翼の後ろ部分を下げた場合も同様に、右側の主翼が上がり、左側の主翼が下がる。主翼の後ろ部分を左右同時に下げることで、機首を上げることができる。主翼の後ろ部分を左右同時に上げることで、機首を下げるができる。

主翼の上部を曲面、下部を平面にすると飛行時間が伸びる。

#### 水平尾翼について

水平尾翼の後ろ部分を下げると機首を下げることができ、後ろの部分を上げると機首を上げることができる。基本的には、左右同じになるように調整する。

尾翼の動かす角度が大きくなればなるほど、飛行時の速さは遅くなり、飛行時間も短くなる。

#### 垂直尾翼について

水平尾翼の後ろ部分を左側に曲げると機体が左側に、右側に曲げると飛行方向を右側に旋回する。

#### 重心について

重心は、機体の前後左右の質量バランスを見る場所である。長い時間飛ばすためには、重心を主翼前縁から85%のところに置くことが必要である。重心の位置が適切でない場合、飛行中に機体が墜落したり、失速したりすることがある。

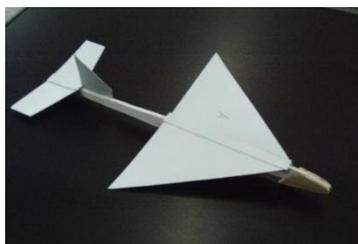
### III 研究目的

主翼の形状と飛行時間との関係性を見つけることによって、より長い時間飛行するものを作成する。

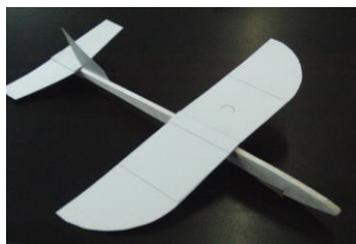
### IV 実験方法

#### 機体について

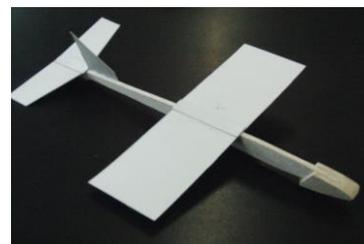
今回の実験では主翼と尾翼の部分は厚紙で作成し、機体の軸の部分はバルサ材で作成した。機体は全長が15cm、質量3.0g、主翼の面積は40cm<sup>2</sup>とした。重心位置は主翼前縁から85%の位置に調整した。実験で用いる機体は以下の5種類である(図1)



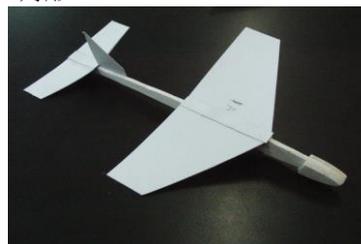
三角形



先端円形



直線形



台形1 (上底3cm, 下底7cm)



台形2 (上底4cm, 下底6cm)

図1 実験で用いる機体

## 発射装置について



図2 側面から見た発射装置

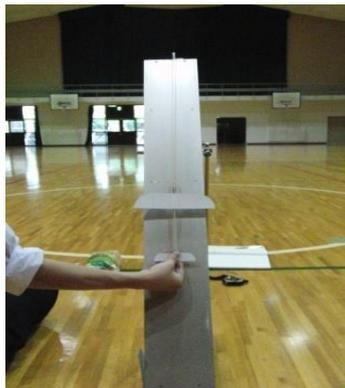


図3 後方から見た発射装置

物理の力学用の斜面（図2,図3）の先端部分に輪ゴムを取り付ける。輪ゴムに機体をひっかけた状態で輪ゴムを45cm引き、機体を飛ばす。この時の輪ゴムを45cm引くときの力の大きさを力センサーで測定したものが7.5Nの大きさの力に相当する。

### データ処理の方法

実験で求めたデータから外れ値を除いた時の平均値を計算によって求める。

## V 実験

### 実験1

#### <目的>

主翼の形状が飛行時間に影響を与えるかどうかを明らかにする。

#### <方法>

主翼の形状が三角形と台形1のものをそれぞれ5機ずつ作成する。

発射角度を25°に設定する。

機体の飛行時間をそれぞれ3回ずつ測定する。

#### <結果>

表1 主翼の形状と飛行時間の関係（台形1）

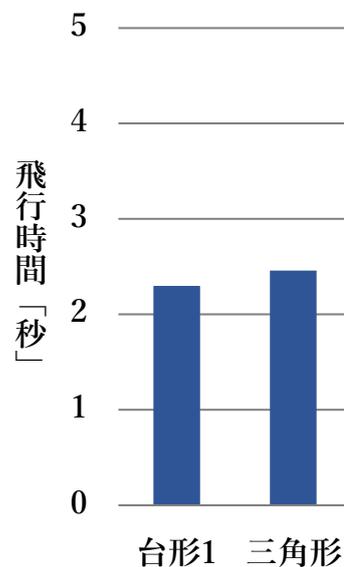
単位(s)

	1機目	2機目	3機目	4機目	5機目
1回目	2.28	2.31	2.60	2.30	2.30
2回目	2.32	2.28	2.28	2.29	2.31
3回目	2.31	2.32	2.32	2.31	2.30

表1 主翼の形状と飛行時間の関係（三角形）

単位(s)

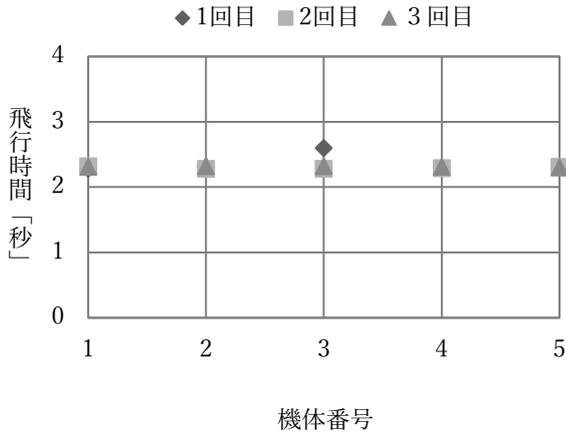
	1機目	2機目	3機目	4機目	5機目
1回目	2.46	2.47	2.49	2.46	2.46
2回目	2.46	2.47	2.46	1.46	1.46
3回目	1.54	2.48	2.45	2.46	2.46



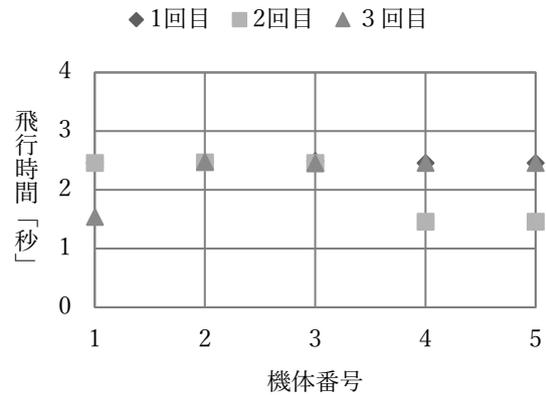
グラフ1 主翼の形状と飛行時間の関係

表1とグラフ1より主翼の形状が飛行時間に影響を与えることが明らかとなった。

## 台形1



## 三角形



グラフ2 主翼の形状と飛行時間の関係

実験1で計測したデータの散らばりをグラフ2に表すとほとんどのデータが一定の値をとっているため、別の機体を作成して行う実験4では、作成する機体の数を減らして行うことにした。

### 実験2

<目的>

最も長い時間飛ぶことのできる発射角度を見つける。

<方法>

主翼の形状は実験1で用いた三角形のものを用いる

発射台の角度を0°~70°の値に調整する。

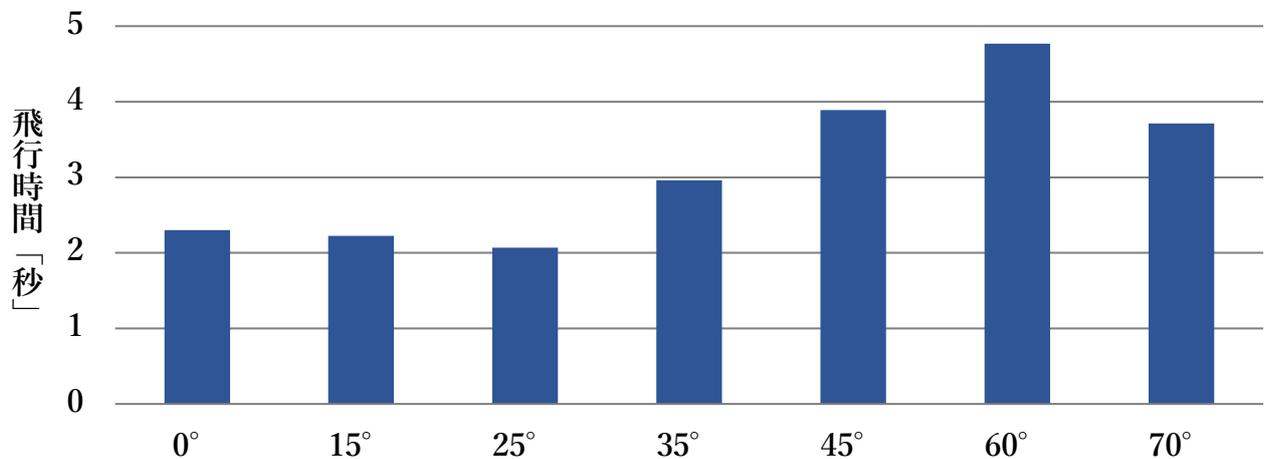
機体の飛行時間をそれぞれ5回ずつ測定する。

<結果>

表2 発射角度と飛行時間の関係

単位(s)

0°	2.35	2.33	2.25	2.27	2.30
15°	2.20	2.14	2.17	2.27	2.34
25°	2.06	2.12	2.04	2.13	2.04
35°	3.03	3.04	3.19	3.20	2.35
45°	2.96	3.25	4.25	5.58	3.30
60°	4.18	4.74	6.64	3.72	4.56
70°	3.30	3.65	2.66	3.07	5.89



グラフ3 打ち出し角と飛行時間の関係

表 2 とグラフ 3 より発射角度を 60°に設定した時、飛行時間が最も長かった。したがって、これ以降の実験では発射角度は 60°に設定する。

### 実験 3

<目的>

実験 1 の関係性が正しいことを確認する。

<方法>

実験 1 と同じ機体を用いる。

発射角度を 60°に設定する。

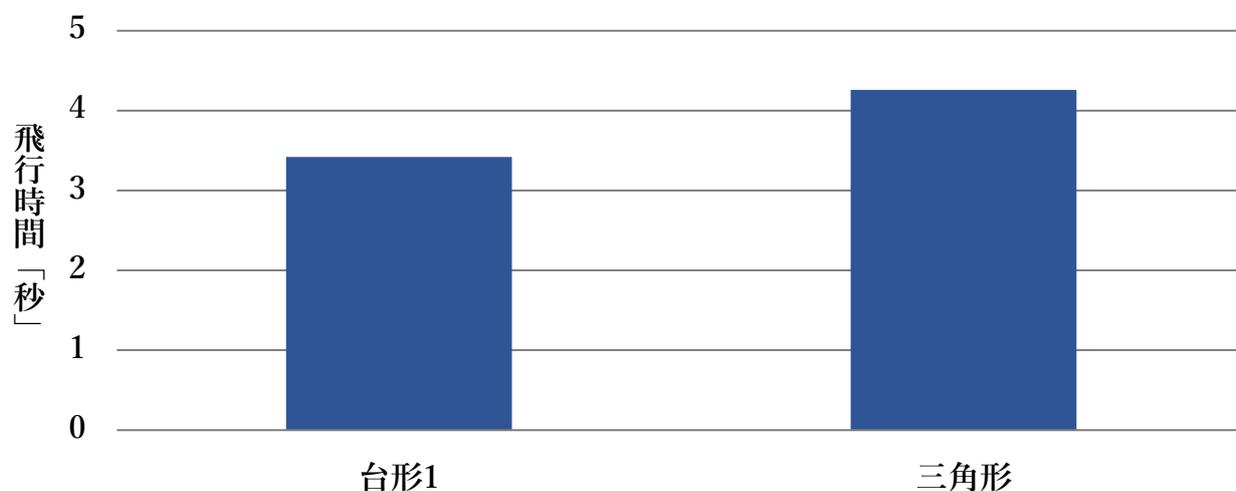
機体の飛行時間を 10 回ずつ測定する。

<結果>

表 3 主翼の形状と飛行時間の関係

単位(s)

台形 1	3.62	3.10	3.50	4.61	3.30	3.02	3.06	3.63	3.18	3.15
三角形	4.40	5.45	4.95	3.50	2.80	4.50	4.35	4.12	4.30	4.25



グラフ 4 主翼の形状と飛行時間の関係

表 3 とグラフ 4 より発射角度を 60°に設定した場合でも、形状の違いによる飛行時間の変化が見られた。

<実験 1 と実験 3 の考察>

グラフ 1 とグラフ 4 を比較すると、発射角度に関係なく台形 1 の主翼をもつ機体よりも三角形の主翼を持つ機体の方が飛行時間が長くなることが言える。したがって、実験 4 ではさらに主翼の形状の種類を増やして実験を行うことにした。

### 実験 4-1

<目的>

主翼の形状による飛行時間の違いを明らかにする。

<方法>

主翼の形が先端円形、三角形、台形 1、台形 2、直線形のを 1 機ずつ作成する。

発射角度を 60°に設定する。

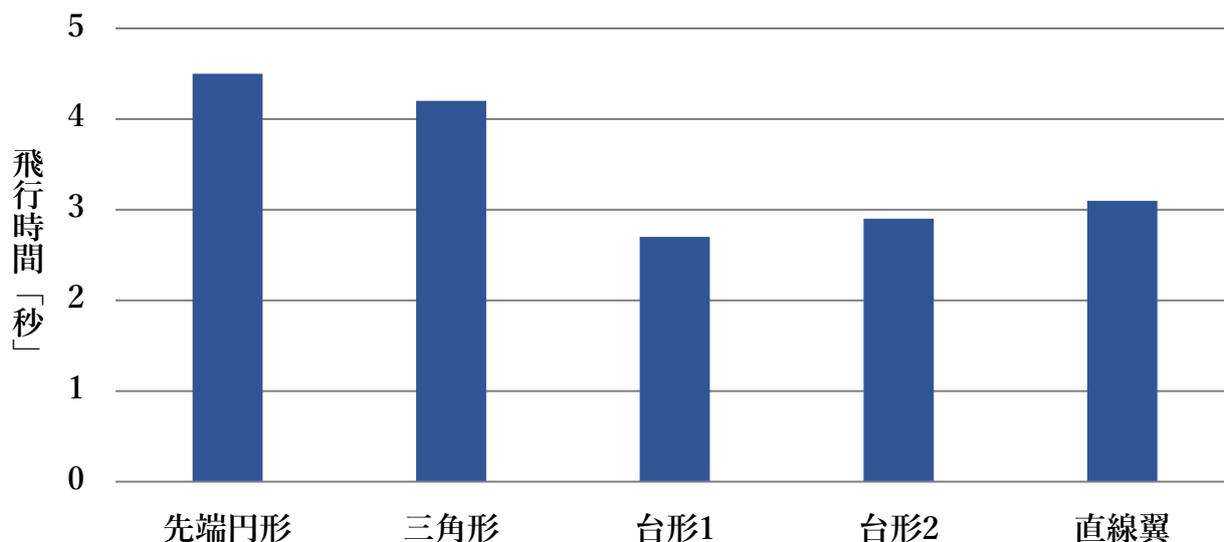
機体の飛行時間を 5 回ずつ測定する。

<結果>

表 4 主翼の形状と飛行時間の関係

単位(s)

先端円形	4.67	4.80	4.25	4.30	4.56	4.52
三角形	4.50	4.35	4.12	4.20	4.15	4.26
台形1	2.88	2.50	2.89	2.87	2.78	2.78
台形2	3.02	3.06	3.03	2.85	3.02	3.00
直線翼	3.05	2.85	3.63	3.06	3.15	3.15



グラフ 5 主翼の形状と飛行時間の関係

表 4 とグラフ 5 より先端円形,三角形と台形 1,台形 2,直線形の実験日が違うことによって、主翼の角度の違いや気象条件の違いが考えられる (表 5)。その結果、実験では正確なデータを計測することができなかった。

表 5 気象条件の違い 先端円形,三角形の実験日-I 台形,直線形の実験日-II

気象条件 (12 時)	I	II
大気圧 (h Pa)	1004.3	1010.6
気温 (°C)	19.7	20.1
湿度 (%)	36.0	91.0

そこで、今回と同じ機体と実験方法で実験 4-2 を行った。

#### 実験 4-2

<目的>

実験 4-1 の再実験を実験 4-1 とは異なる日に行う。

<方法>

実験 4-1 と同じ機体を用いる。

発射角度を 60°に設定する。

機体の飛行時間をそれぞれ 10 回ずつ測定する。

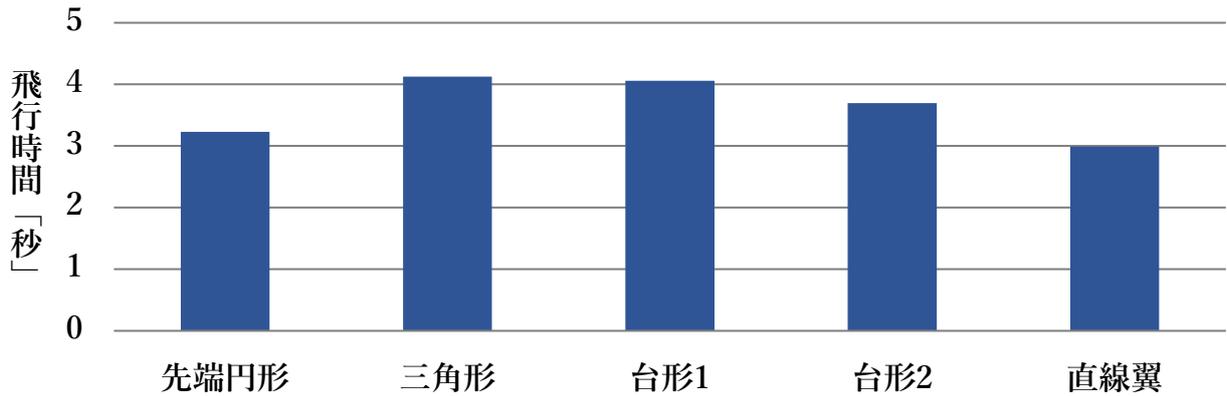
<結果>

表 6 主翼の形状と飛行時間の関係

単位(s)

先端円形	3.04	2.95	3.67	3.30	3.34	2.64	3.00	3.71	3.60	3.05
三角形	3.52	4.71	3.89	4.06	4.20	3.87	5.43	3.64	4.30	3.65
台形 1	4.18	4.74	6.64	3.72	3.82	3.25	4.56	3.50	3.12	3.04
台形 2	3.23	5.02	3.55	3.50	3.50	4.25	3.48	3.60	3.20	3.65
直線翼	2.65	5.14	2.60	2.50	2.48	2.23	2.48	3.15	2.68	4.01

主翼の形状と飛行時間の関係



グラフ 6 主翼の形状と飛行時間の関係

表 6 とグラフ 6 より同一の日に実験を行った結果実験 4-2 では、正確な関係性を確認することができた。

**実験 4-3**

<目的>

実験 4-1 の再実験を実験 4-2 の実施日とは別の日に行う。

<方法>

実験 4-1, 実験 4-2 と同じ機体を用いる。

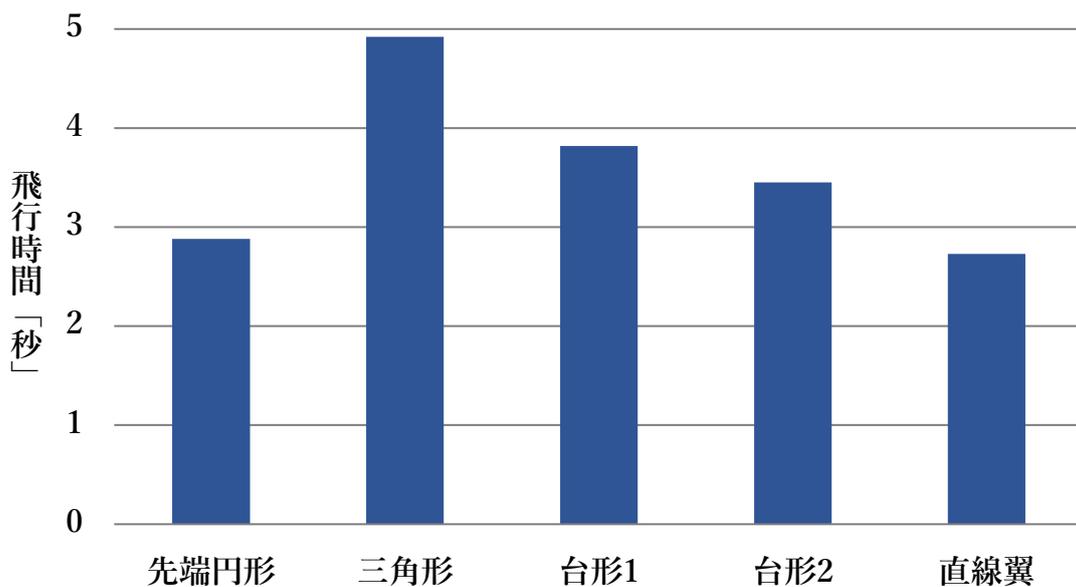
発射角度を 60°に設定する。

機体の飛行時間をそれぞれ 10 回ずつ測定する。

表 7 主翼の形状と飛行時間の関係

単位(s)

先端円形	2.00	2.80	2.78	2.85	2.97	2.98	2.90	2.89	2.87	2.88
三角形	2.48	5.43	5.55	5.02	4.25	1.98	4.32	5.09	4.78	2.25
台形 1	3.98	4.84	3.92	3.50	3.90	3.52	3.80	3.78	3.50	3.45
台形 2	3.61	3.81	3.74	3.46	3.42	3.43	3.37	3.25	3.15	3.28
直線翼	3.10	3.05	2.87	2.37	2.71	2.80	2.80	2.81	2.75	3.15



グラフ 7 主翼の形状と飛行時間の関係

表 7 とグラフ 7 より再度同一の日に実験を行った結果、実験 4-2 での関係性を確認することができた。  
<実験 4 の考察>

グラフ 6 とグラフ 7 より、それぞれの主翼の形状と飛行時間には関係があることが認められた。飛行時間が短かった先端円形の主翼をもつ機体、直線形の主翼をもつ機体に適した発射角度や主翼の面積があることが考えられる。

## VI 結論

今回実験で行った機体の質量 3.0g, 全長 15cm, 主翼の面積 40cm<sup>2</sup>, 発射角度 60° の場合、主翼の形状が三角形, 台形, 円形, 直線形の中では三角形の主翼をもつ機体の飛行時間が最も長い時間飛行すると考えられる。

しかし、主翼の形によって適切な発射角度が存在することも考えられるため、更なる実験が必要だと考えられる。

## VII 参考文献

- 「高性能紙飛行機-その設計・製作・飛行技術のすべて-」 二宮康明著 誠文堂新光社
- 「紙飛行機の基本調整法」 [www.geocities.jp/to2ohashi/hikou/syoho/kiso-ren.html](http://www.geocities.jp/to2ohashi/hikou/syoho/kiso-ren.html)
- 「紙飛行機の基礎についての研究Ⅱ」 静岡県総合教育センターあすなろ学習室生徒理科研究論 [gakusyu.shizuoka.ac.jp/science/ronbunshu/062081.pdf](http://gakusyu.shizuoka.ac.jp/science/ronbunshu/062081.pdf)
- 「よく飛ぶ紙飛行機の形状」 慶應義塾大学理工学部機械工学科 創造演習 2014 年度レポート [www.mech.keio.ac.jp/ja/souzou/proceedings2014/pdf/9-10.pdf](http://www.mech.keio.ac.jp/ja/souzou/proceedings2014/pdf/9-10.pdf)