

平成 18 年度卒業論文

# 低速・軽量模型飛行機の開発とその特性評価

福岡工業大学工学部知能機械工学科

03E1009 江口 敬太 03E2005 井上 潤一郎

03E2020 河野 太 03E2031 新海 正嗣

指導教員 河村 良行 教授

## 目次

<b>第1章 緒言</b>	<b>2</b>
<b>第2章 1号機的设计・製作</b>	<b>4</b>
2.1 1号機的设计	
2.2 1号機の製作	
2.3 飛行実験	
<b>第3章 モーター選定</b>	<b>14</b>
3.1 実験方法	
3.2 選定	
<b>第4章 曳航風洞実験</b>	<b>20</b>
4.1 曳航風洞装置	
4.2 揚力・抗力測定	
4.3 実験結果	
<b>第5章 2号機的设计・製作</b>	<b>26</b>
5.1 2号機的设计	
5.2 2号機の製作	
5.3 飛行実験	
<b>第6章 大会概要</b>	<b>35</b>
6.1 大会の主催者と趣旨	
6.2 機体のレギレーション	
6.3 大会の内容とルール	
<b>第7章 結言</b>	<b>38</b>
7.1 まとめ	
7.2 今後の課題	
<b>参考文献</b>	<b>40</b>
<b>謝辞</b>	<b>41</b>
<b>付録</b>	<b>42</b>

# 第 1 章

## 緒言

本研究では、模型飛行機の製作技術の習得、航空力学の基礎知識の習得、3月24, 25日の第二回全日本学生室内飛行ロボットコンテスト出場の3つを目的とし、大会規定に則った、より低速飛行が可能な模型飛行機の開発を行う。一般的に飛行機設計の際、模型を製作し風洞実験により特性評価を行う。しかし、今回は機体のサイズに合う風洞実験装置がなかったため、曳航風洞実験装置を製作することにした。この装置を用いて、飛行時の揚力及び抗力を測定する。その結果を基に、より低速飛行が可能な機体を設計し、製作した。また、その機体を用いた実験及び映像解析により機体の特性評価を行う。

# 第2章

## 1 号機の設計・製作

## 2.1 1号機の設計

本研究では初めに製作技術の習得及び航空力学の基礎知識習得のため練習機として1号機を製作することにした。1号機の概要は以下のように決定した。

機体総重量は150g以内(内カメラ15g)で、機体の制御はエレベーター(昇降舵)、ラダー(方向舵)、モーター(プロペラ)の3チャンネル制御で行った。動力源は、モーターを使用した。

1号機の形状及び主要寸法は以下のようにして決定した。主翼のリブの形状は模型飛行機製作において、代表的なクラーク Y を使用し、主翼の翼長及び翼弦長、機体の全長は去年の大会優勝機を基に翼長 800mm、翼弦長 210mm、全長 720mm に決定した。また、横滑りを防止するため翼端に上半角をつけた。水平尾翼は、主翼面積の約 20%とし、垂直尾翼は、水平尾翼面積の約 40%にした。また、エレベーター及びラダーはそれぞれの尾翼面積の 1/3 とした。

材料については、翼は骨組みに軽量のバルサ材を使用し、翼面には被覆フィルムを貼った。胴体には、軽くて丈夫なカーボンロッドとポリスチレンフォームを使用した。図 2-1 はバルサ材とその切り取りに使用したカッターナイフで図 2-2 はカーボンロッドとポリスチレンフォームの写真である。表 2-1 に1号機で使用した材料を示す。

モーターは、駆動効率が良いことや寿命が半永久的であるなどさまざまな利点があり、中でも、軽量でトルクが強いことから DC ブラシレスモーターを使用することにした。また、DC ブラシレスモーターにはアウトランナータイプとインランナータイプがあるが今回は低速飛行機の開発を目標としているため、低回転で高トルクを得るのに適した構造であるアウトランナータイプを使用することにした。バッテリーはリチウムポリマー電池を 2 個並列で使用することにした。その他電装部品の詳細を表 2-2 に示す。

## 2.2 1号機の製作

主翼と尾翼の部品の製作は、バルサ材をカッターナイフで切り取り、瞬間接着剤を用いて接着し骨組みを作った。そして、骨組みに 20 $\mu$ m の被覆フィルムをコテ式アイロンで貼り付けた。図 2-3 は主翼で図 2-4 は尾翼のそれぞれの骨組みの写真で図 2-5 はフィルムとアイロンの写真である。本体はカーボンロッドを形状の長さに切り、主翼取り付け部や電装部品の取り付け部にはポリスチレンフォームを使用した。なお、主翼取り付け部は操縦性を向上させるため高翼にし、電装部品取り付け部は軽量化のため可能な限り小さくした。図 2-6 は電装部品取り付け部に電装部品を取り付けた時の様子である。尾翼のエレベーター及びラダーはテープにより接続した。サーボとラダー及びエレベーターホーンのコネクティングロッドにはバルサの径 4mm を使用し、両端は図 2-7 のようにピアノ

線を用いた。モーターマウントは軽いバルサを使用し、強度を保つため 3 枚をベニヤのように貼り付けた。ホーンは特に強度を要するため航空ベニヤを使用した。図 2-8 はモーターマウント及びラダー及びエレベーターホーンの写真である。なお、バルサ材をはじめとする材料は環境面を考え無駄なく使うように努力した。

主翼は翼長 800mm 翼弦長 210mm 機体の全長は 720mm で完成した。その他の諸元を表 2-3 に示す。また、図 2-9 は 1 号機の上面図で図 2-10 は、1 号機の外観である。

### 2.3 飛行実験

まず製作した 1 号機が飛行可能かを確認するため滑空実験および飛行実験を行った。滑空実験では、重心位置を合わせるとスムーズに滑空させることが出来た。次に飛行実験では、初めは配線ミスのトラブルなどが何度も起こっていたが改良していくことにより、飛行させることが出来るようになった。滑空姿勢を図 2-11 に示す。次に曳航風洞実験の準備として、飛行速度を測定した。実験方法は、距離 10m の間を水平飛行させ、そのときにかかる時間をストップウォッチで測定し計算して求めた。その結果、1 号機では速度が 5.9m/s まで安定した飛行を保てることがわかった。

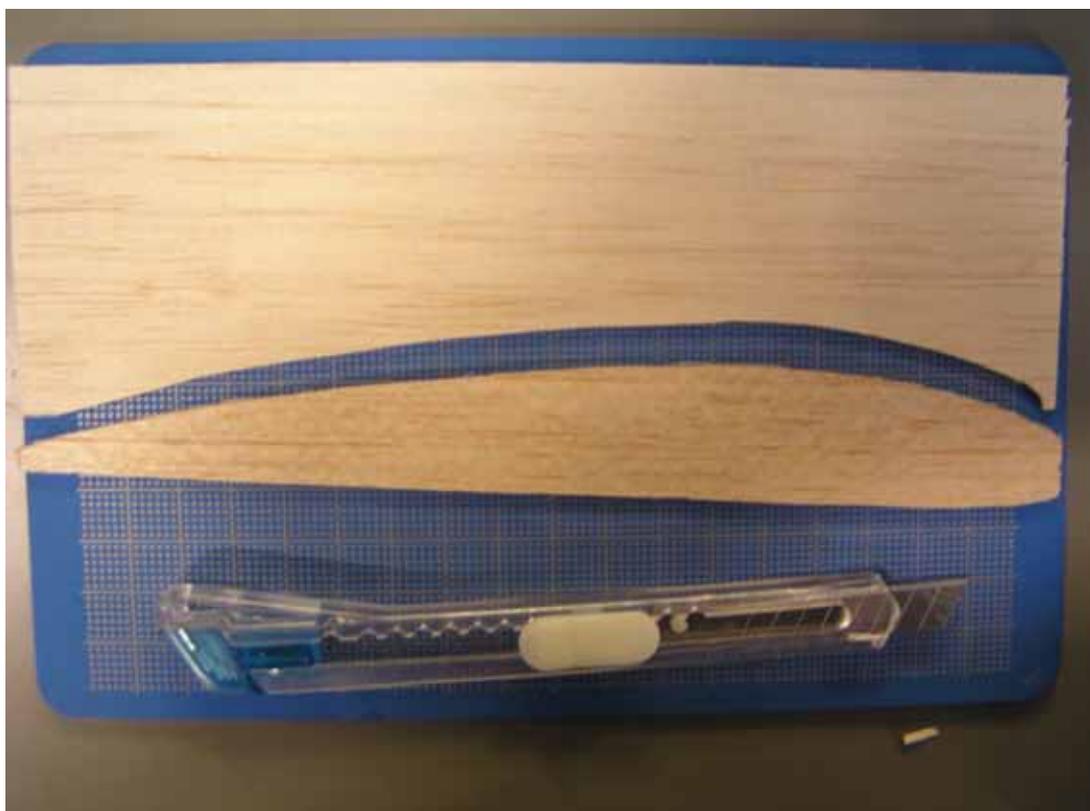


図 2-1 バルサ材及びカッターナイフ



図 2-2 カーボンロッド及びポリスチレンフォーム

表 2-1 1号機の使用材料

材料名	寸法	主な使用部位
バルサ材	厚さ 2mm	主翼
	厚さ 4mm	主翼
	厚さ 3mm	尾翼
	径 4mm	コネクティングロッド
ポリスチレンフォーム	厚さ 20mm	主翼取り付け部、電装部品取り付け部
カーボンロッド	径 4mm 厚さ 1mm	胴体
被覆フィルム	厚さ 20 $\mu$ m	主翼、尾翼
航空ベニヤ	厚さ 1mm	ラダー及びエレベーターホーン

表 2-2 1号機の電装部品

電装部品名	個数	商品名	仕様	会社名
モーター	1	Bronnco(12W)	サイズ(mm)	14.8×20.6
			重量(g)	7.2
			定格電力(W)	12
			定格推力(g)	90
スピードコントローラー	1	TMM 0703-3	サイズ(mm)	15×15×4
			重量(g)	3.7
バッテリー	2	WES 310	サイズ(mm)	3.3×23×48
			重量(g)	6.5
			電圧(V)	3.7
			容量(mAh)	310
			放電レート(C)	8
サーボモーター	2	W-038CL	サイズ(mm)	15.5×7.5×19.0
			重量(g)	3.8
			反応速度(秒/60度)	0.11
			トルク(kg/cm)	3.8
受信機	1	R4P /H 72MHz	サイズ(mm)	15×25×8.6
			重量(g)	4.8
			受信距離(m)	150
受信機用クリスタル	1	72MHz帯マイクロクリスタル		
送信機(プロポ)	1			FUTABA社
プロペラ	1	EP5030	サイズ(in.)	5
			ピッチ	3
			重量(g)	1.56
				GWS社



図 2-3 主翼骨組み

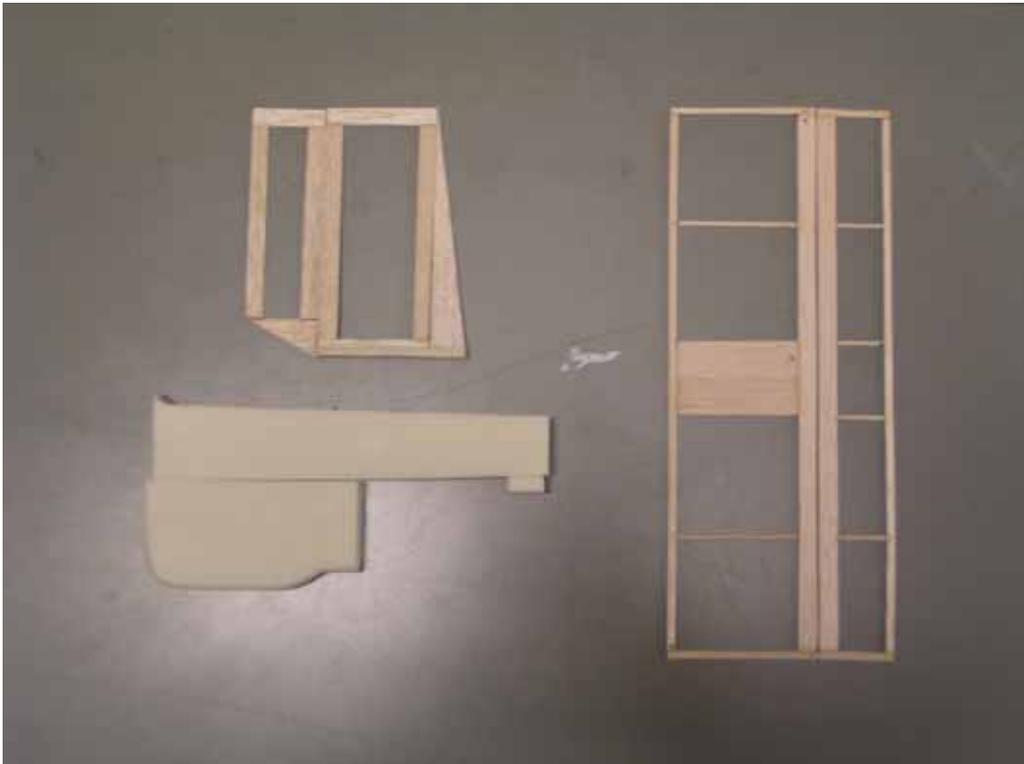


図 2-4 尾翼の骨組み及び胴体（主翼取り付け部、電装部品取り付け部）



図 2-5 コテ式アイロン及び被覆フィルム

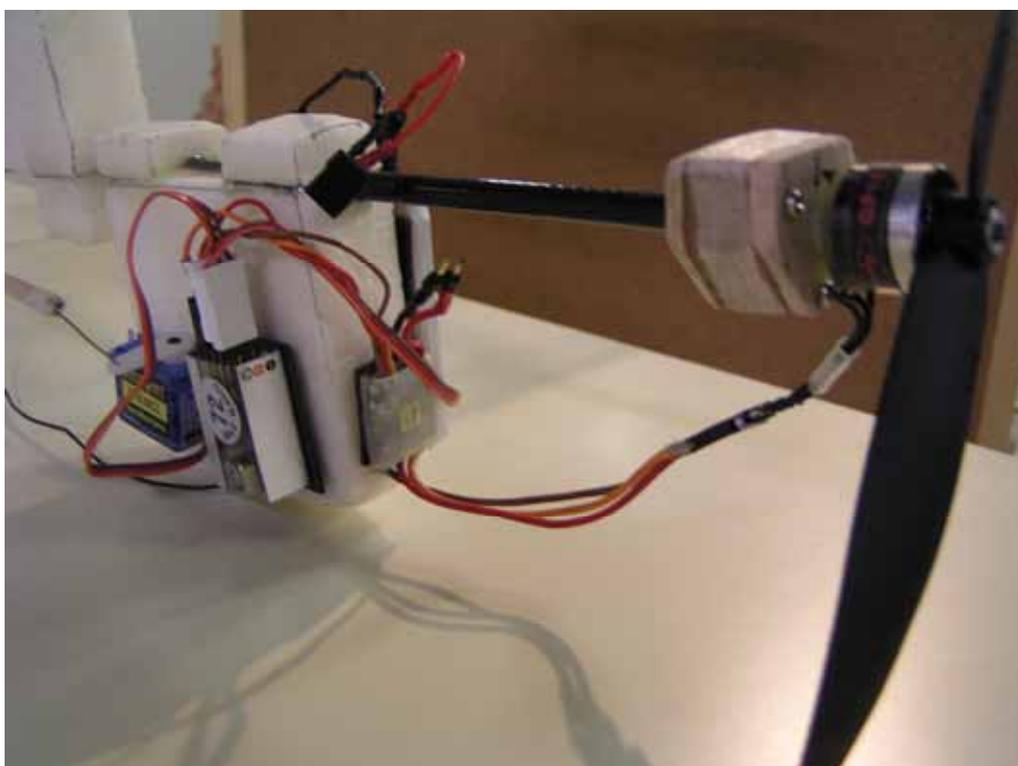


図 2-6 電装部の様子

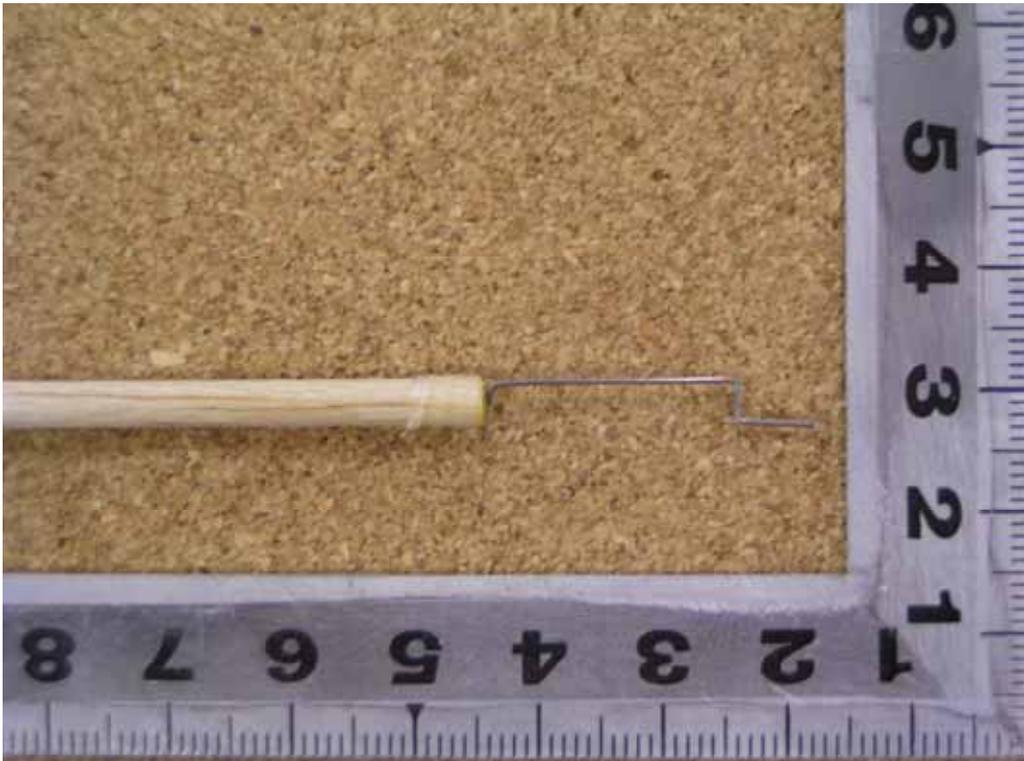


図 2-7 コネクティングロットの端

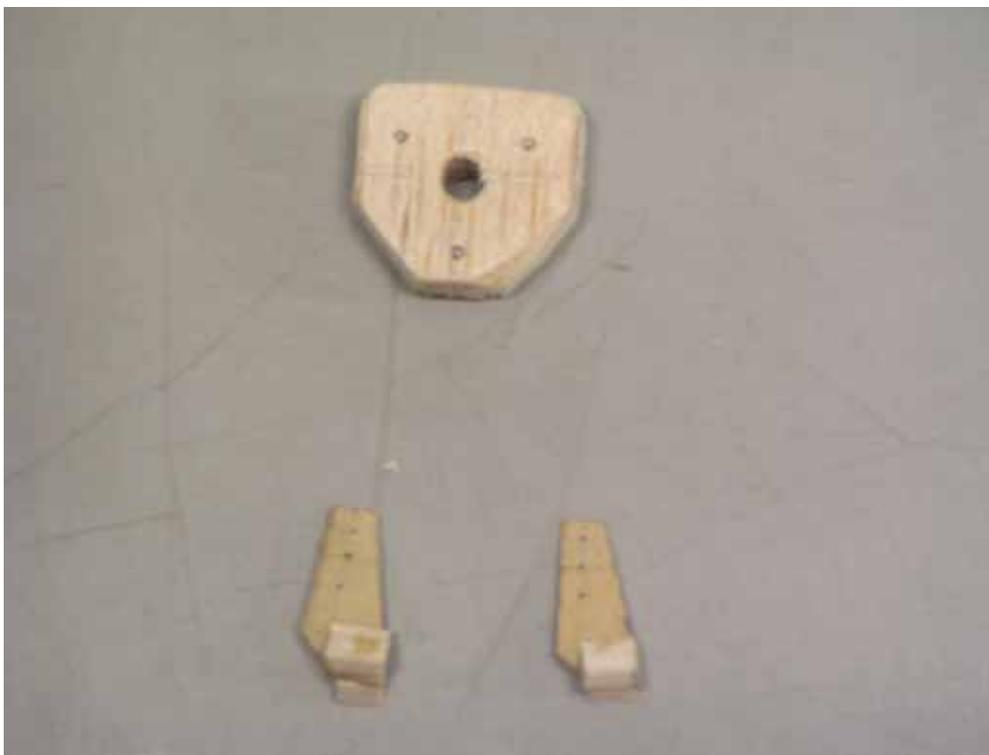


図 2-8 モーターマウント及びラダー及びエレベーターホーン

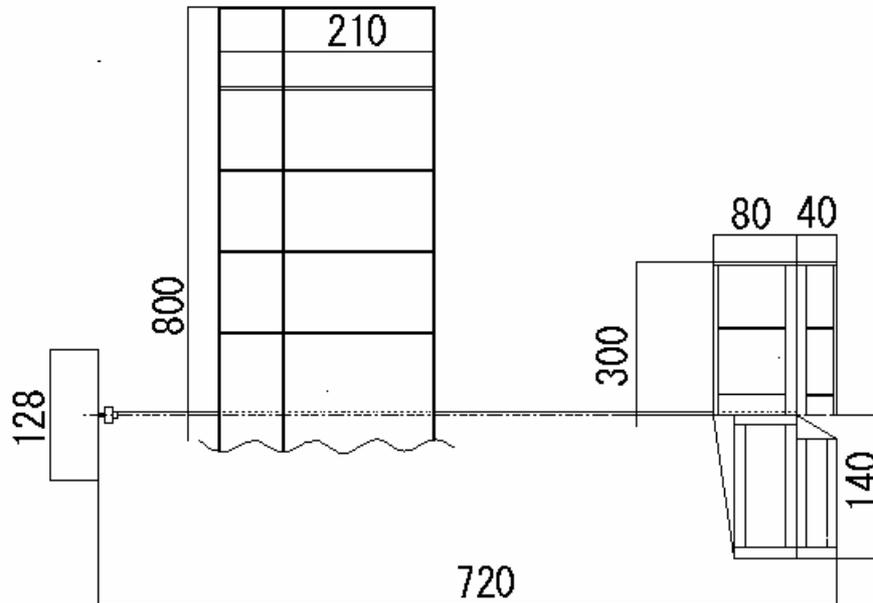


図 2-9 1号機上面図

表 2-2 1号機の諸元

主翼	面積	168000 [ mm <sup>2</sup> ]
	翼長	800 [ mm ]
	翼弦長	210 [ mm ]
	上反角	7 [ 度 ] (中央から)
水平尾翼	面積	36000 [ mm <sup>2</sup> ]
	翼長	300 [ mm ]
	翼弦長	120 [ mm ]
	舵面 (エレベータ)	40 [ mm ] * 300 [ mm ]
垂直尾翼	面積	16800 [ mm <sup>2</sup> ]
	翼長	140 [ mm ]
	翼弦長	120 [ mm ]
	舵面 (ラダー)	40 [ mm ] * 140 [ mm ]
その他	全長	720 [ mm ]
	総重量 (カメラ含む)	119 [ g ] ( 134 [ g ] )

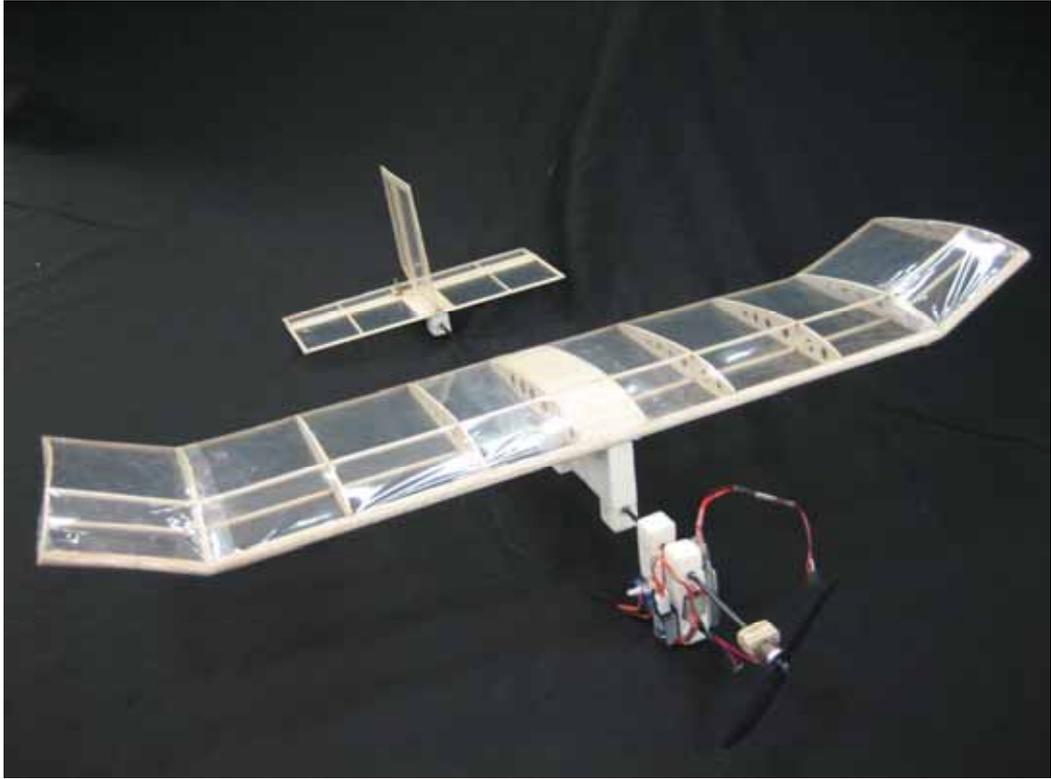


図 2-10 1号機の外観



図 2-11 滑空状態

# 第3章

## モータ－選定

### 3.1 実験方法

静止推力の測定方法は、図 3-1 のモーター推力実験の様子に示すように水平方向の力を垂直の力にかえ電子秤で測定している。このままでは静止推力は出ないので、電子秤に表示された値に支点からモーターまでと電子秤までの距離の比から計算し推力を求めるという方法である。電子秤に表示される値を  $P$ 、モーター推力を  $T$ 、支点からモーターまでの距離を  $A$ 、支点から電子秤までの距離を  $B$  とすると

$$T = \frac{B}{A} P \quad (3.1)$$

が成り立つ。測定はモーターを 4 分間回し、電子秤の数値を 10 秒間隔でとった。

### 3.2 実験

モーターは定格出力や機体の総重量などを考慮して、トルクが強く軽量な Gasparin CO2 Motors社のWasp (5W) とBronco (12W) についてモーター推力実験を行った。このときバッテリーは、WES Technik 社のLi-Poバッテリー WES-310 を 2 つ並列に接続しバッテリー容量を 620mAhとして使用し、プロペラはGWS社のEP5030 を使用した。2 つのモーターの定格詳細は表 3-1、使用したモーターとバッテリーを図 3-2 ~ 図 3-4 に示す。モーターの定格詳細に明記されている効率とは、静止推力  $T$ 、プロペラの直径  $R$  とするとプロペラが回転時の断面積  $S = \pi R^2$ 、空気密度  $\rho$ 、風速  $U$ 、重力加速度  $g$  から求められ、

$$Tg = \frac{1}{2} \rho S U^2 \quad (3.2)$$

が成り立ち、これを变形し

$$U = \sqrt{\frac{2Tg}{\rho S}} \quad (3.3)$$

となる。次にモーターの仕事  $W$  は

$$W = \frac{1}{4} \rho S U^3 \quad (3.4)$$

となり、この値と定格電力との比が実際のモーターの効率となる。

まず Wasp (5W) の推力測定を行い、機体に取り付け飛行実験を行った。その結果、推力が十分でなかったため水平飛行は可能だったが高度を上昇させることは困難だった。そのため、定格出力の1ランク高いモーターである Bronco12W についても同様の実験を行ってみた。Wasp (5W) の時、困難であった高度の上昇も容易にできるようになった。次に Bronco (12W) についてさらに詳しく調べることにした。電流量の違いでのモーター推力の違いを知るため、前回のバッテリーに加え Advanced Energy 社の Li-Po バッテリー TP730 についても同様に推力実験を行った。

### 3.3 結果

WES-310 を使用したときの Wasp(5W) と Bronco(12W) の静止推力は約 31g、約 52g 前後で安定した。実験の結果より、Wasp (5W) では飛行ができないと判断し、Bronco (12W) を使用することに決定した。次に TP730 を使用したときは、バッテリー容量が増加したことで推力も増加し約 71g で安定した。どのモーターとバッテリーの組み合わせでも、バッテリーの電圧・電流が定格どおりに流れずに Wasp (5W) ・ Bronco (12W) とともに定格の推力には届かなかった。しかしバッテリー容量を増やすことにより、推力がより定格に近付けられることがわかった。

各バッテリーの詳細を表 3-2 に、推力実験より求めたモーターとバッテリーの組み合わせ詳細を表 3-3 に、推力の時間に対する推移を図 3-5 に示す。

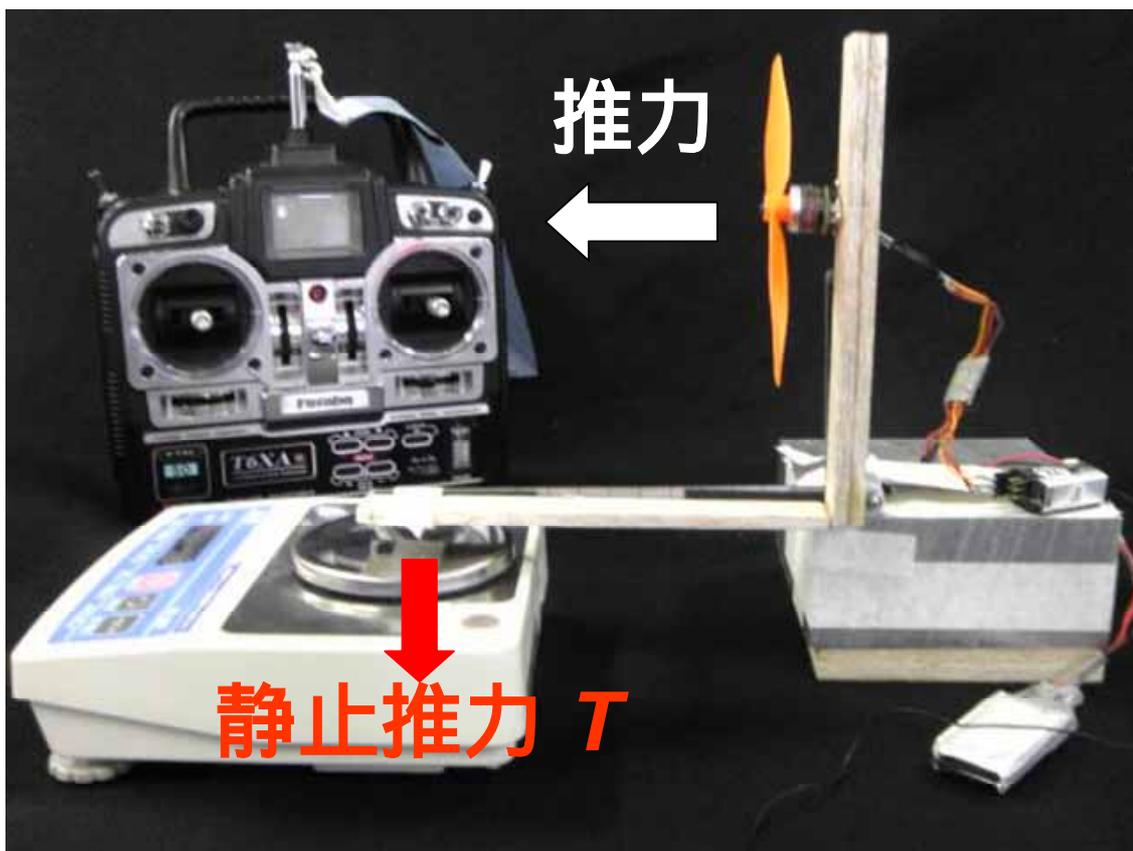


図 3-1 モーター推力実験の機材



図 3-2 ブラシレスモーター（左・Wasp 5W 右・Bronco 12W）



図 3-3 Li-Po バッテリー WES-310



図 3-4 Li-Po バッテリー TP730

表 3-1 モーターの定格

	Wasp ( 5W )	Bronco ( 12w )
サイズ ( mm )	Φ14.8×14.8	Φ14.8×20.6
重量 ( g )	4.8	7.2
定格電流 ( A )	2	4
定格電圧 ( V )	3.6	3.6
定格電力 ( w )	5	12
定格静止推力 ( g )	44	90
定格回転数 ( rpm )	7193	9825
効率 ( % )	31	37.8

表 3-2 バッテリー定格

	WES-310 (2 個並列)	TP730
電圧 (V)	3.7	3.7
容量 (mAh)	620	730
放電レート (C)	8	13 ~ 20
重量 (g)	16.5	15.6
サイズ (mm)	3.3×23×48	5×34×55

表 3-3 モーターとバッテリーの組み合わせによる推力の違い

	Wasp (5W)	Bronco (12w)
WES-310	32.6	52.8
TP730		73.4

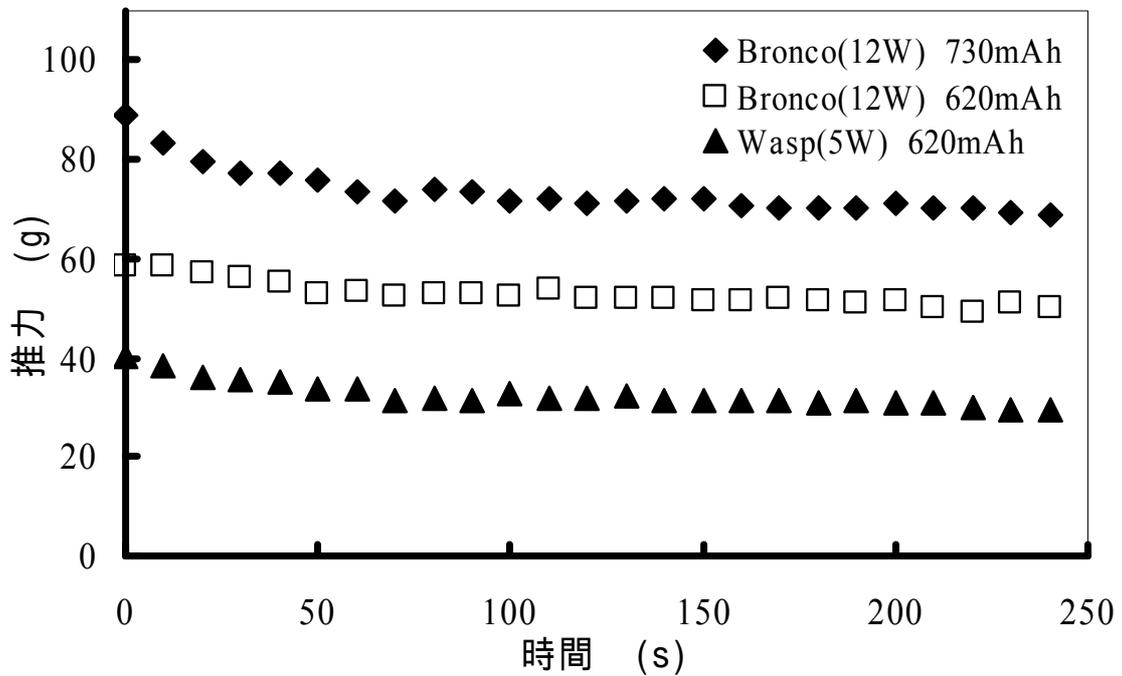


図 3-5 モーター推力

# 第4章

## 曳航風洞実験

#### 4.1 曳航風洞装置

本実験で使用した装置を図 4-1 に示す。なお、装置に使用した台車、台車走行用レール、秤 2 個、打ち出しゴムの外観を図 4-2～図 4-6 に示す。

実験時は図 4-1 に示す測定部のクリップにより、1 号機の重心部を挟み固定し、1 本 1.8m を 9 本繋ぎ 16.2m としたレールの上を走らせるときを飛行状態と仮定した。この時、装置を走らせる方法は手で押すことを試したが、短い距離で急に加速させるため、急激な力が加わり装置が不安定になり倒れてしまった。これを改善するため、一様の力で引っ張れるゴムを使用し、力を得るため、図 4-4 のように 5 本の束を繋げていき長さを 8m にした。(この時のゴムは、一番身近な輪ゴムを使用した)。また、装置でゴムを引っ張る時の配置は図 4-5 のようにした。

#### 4.2 揚力・抗力測定

測定は、スタートから 5.6m と 10.6m までを、台車に乗せた装置が通過した時とする。迎角 0、5、10、15、20 度に対して、速度 2~5m/s で装置を 15 回レールの上で走らせ、揚力及び抗力の測定を行った。この時、抗力 $F_D$ は進行方向と逆向きの力を言う。この力(抗力 $F_D$ )を測るには、L字アームで垂直方向の力に変換して抗力用秤で表示する。次に、揚力 $F_L$ は機体自身が浮こうとする上向きの力を言う。この力(揚力 $F_L$ )を測るには、もともと揚力用秤にかかっている力からどれだけ軽くなったかを測定する。測定中は、2 個の秤の表示部分をカメラで撮影し、揚力と抗力の数値を読み取る。抗力用秤・揚力用秤は図 4-6 (左: SEMADZU BW 6200S (最大許容荷重 6kg、最小表示 0.1g)、右: オーハウス SPG4001F (最大許容荷重 4kg、最小表示 0.1g)) に示す。なお、図 4-7、図 4-8 は揚力と抗力の実験値を平均し表したものである。

#### 4.3 実験結果

曳航風洞実験より、2 つのグラフから分かることは、今回製作した 1 号機の失速点は迎角 10~15 度であった。理由として、図 4-7 の揚力が迎角 10~15 度を境に各速度で減少していることと、図 4-8 の抗力は迎角 10~15 度から増加している傾向が見られることが挙げられる。

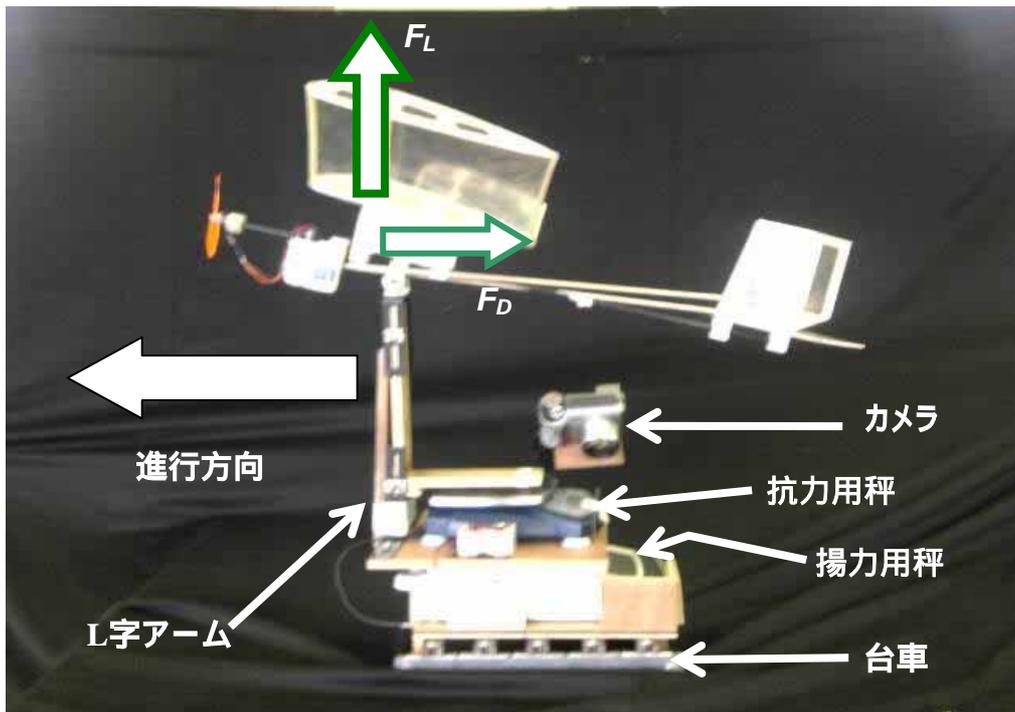


図 4-1 曳航風洞装置



図 4-2 台車



図 4-3 台車走行用レール

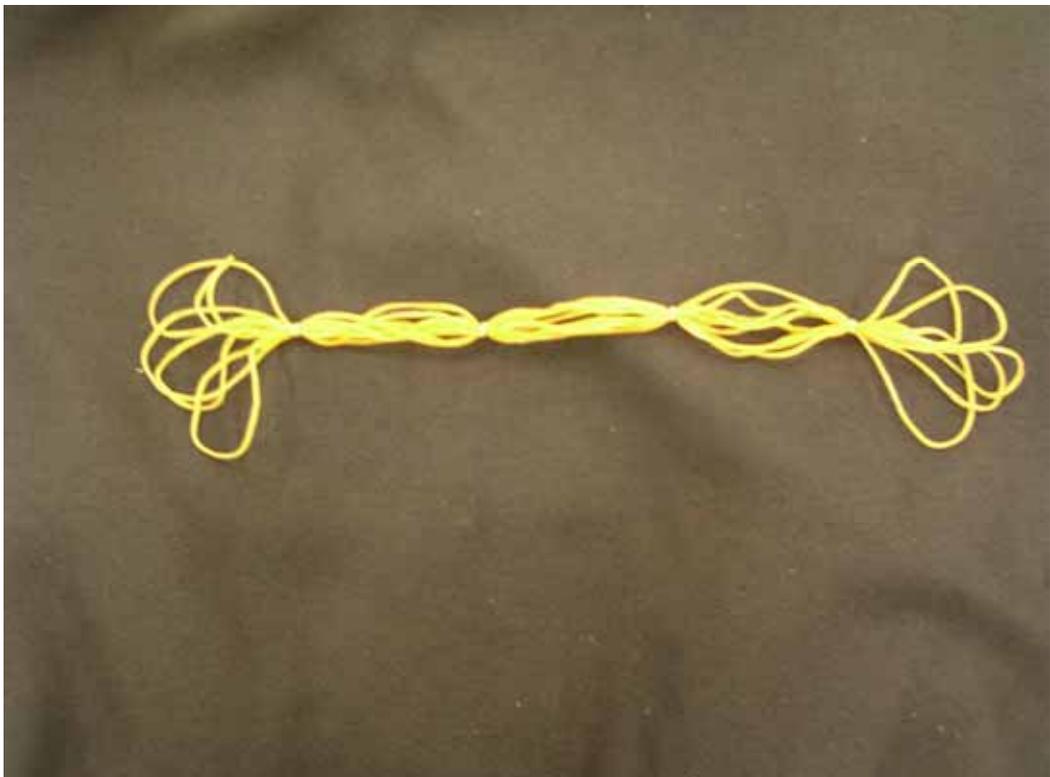


図 4-4 打ち出しゴム

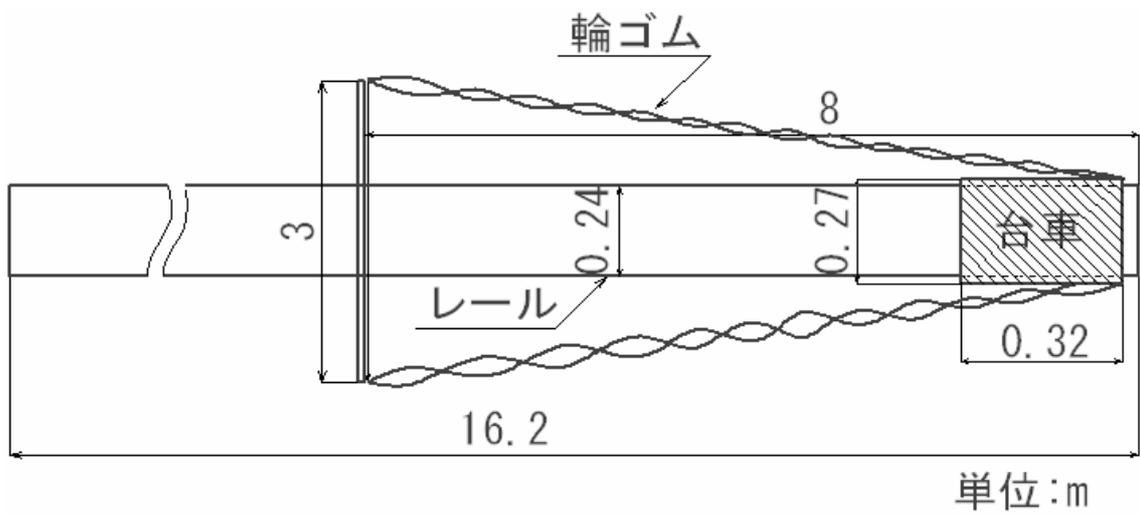


図 4-5 実験配置



図 4-6 揚力用秤、抗力用秤

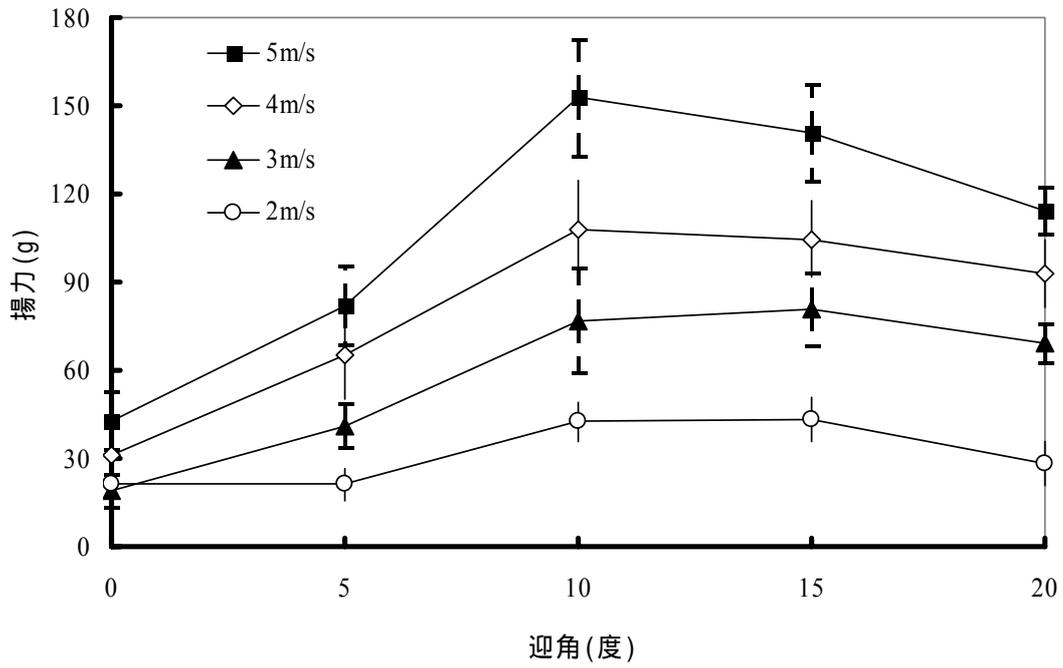


図 4-7 迎角に対する揚力の変化

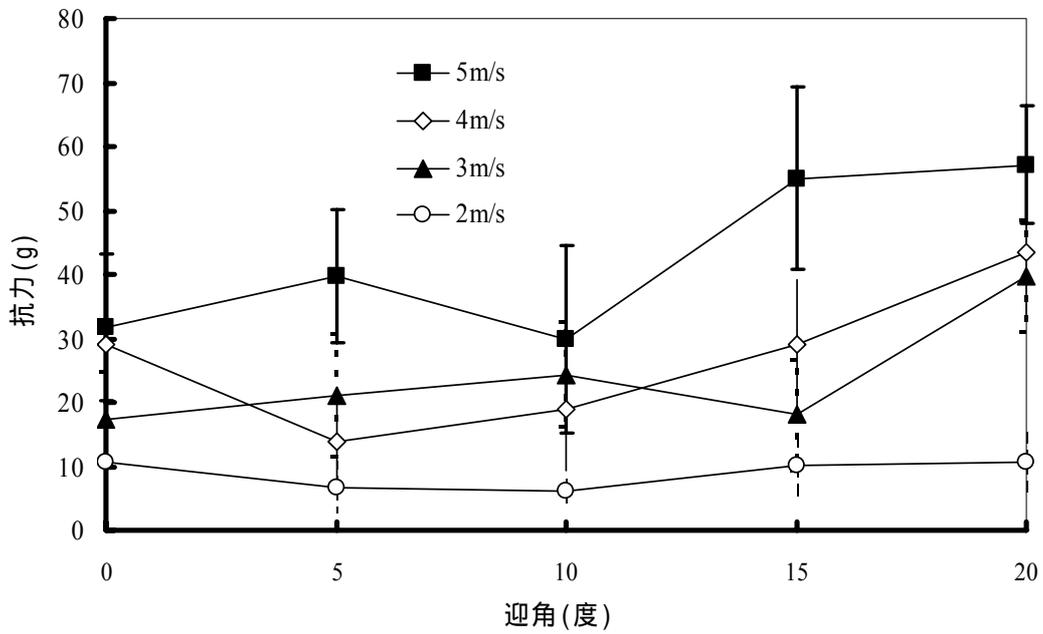


図 4-8 迎角に対する抗力の変化

# 第5章

## 2号機の設計・製作

## 5.1 2号機の設計

2号機は、曳航風洞実験により設計を行った。今回、揚力を増やすため主翼面積を拡げることにした。ここでの主翼面積は、揚力及び抗力と比例関係となる。曳航風洞実験で示したように、飛行機の飛行状態には図 5-1 のような力が働いている。このとき、揚力  $F_L$  と垂直推力  $T_V$  の合力が、機体の重力  $W$  を超えることにより水平飛行ができると考えた結果、

$$\chi F_L + \chi T_H \tan \theta = 150 \quad (5.1)$$

が成り立つ。なお迎角は主翼の地面に対する角度である。これを変換すると、

$$\chi = \frac{150}{F_L + T_H \tan \theta} \quad (5.2)$$

となる。このとき、 $\chi$ を我々はスパン倍率としている。また、今回は機体が等速運動をしている時に限り、水平推力  $T_H =$  抗力  $F_D$  になると考えた。その結果、最大推力  $T_{max}$  の水平成分を最大水平推力  $T_H$  とした場合、余裕推力  $T_R$  は最大水平推力  $T_H$  と実験により得た抗力  $F_D$  の差となり、

$$T_R = T_{max} \cos \theta - F_D \quad (5.3)$$

で求めることができる。ここでの抗力は、曳航風洞実験より求めた実験結果をそのまま推力と考えている。そしてモーターにまだ残っている推力を余裕推力と呼んでいる。以上のことよりこの計算式に実験結果をそれぞれ代入し計算し、速度と迎角別に表 5-1 に示した。そして、以下の選定条件、

- (1) スパン倍率  $\chi$  が 1.5 以下
- (2) 最大水平推力 (71g) に対して余裕推力  $T_R$  が 3 割以上 (21.3g 以上)
- (3) (1),(2) の条件を満たす最も低速なもの

の条件を満たすものを選定した。

その結果、最も適したものは、秒速 4m、迎角が 15 度の灰色に塗りつぶした場所となった。

## 5.2 2号機の製作

2号機の製作は、1号機と同様の手順で行った。今回 2号機では、軽量化するために、主翼のリブを 1号機の時より肉抜きし、バッテリー容量が大きくて重量が軽いものにした。また、主翼を 1号機に比べて 270mm 拡げて 1070mm にし

た。全長と翼弦長は、1号機と変えず 720mm と 210mm で製作した(図 5-2,6-3,5-4 参照)。その他の詳細については表 5-2 に示し、使用した材料は表 5-3 に示す。なお、図 5-5 は、2号機の完成の外観である。

#### 5.4 飛行実験

曳航風洞実験を基に製作した2号機が実験どおりにできたかを確認するため、実際に飛行させ確かめることにした。この実験では飛行姿勢、飛行速度、そのときに必要な推力を画像解析により測定する。実験方法は1号機の時に行った速度実験と同じように10mの間を飛行させそのときにかかる時間をストップウォッチで測定し計算で求めた。また飛行を真横から撮影することにより飛行姿勢を、そのときの送信機のスロットルの角度状態から推力を求めるという方法を用いた。

角度は曳航風洞実験で求めた15度を基準に10度、15度、20度を測定した。それぞれの飛行姿勢を図5-6~5-8に示し、それぞれの値を図5-9にまとめる。

結果は10度的时候は安定した飛行が可能であったが、15度的时候に比べ飛行速度が速く今回の目的に合わないことがわかった。次に20度的时候速度は遅いが、高度を上昇していき揚力が足りなくなると、失速を起こし急下降する。その際スピードが上がり揚力が発生し高度が上昇するという不安定な動きを繰り返していったため競技に向かないことになる。

曳航風洞実験より求めた結果と照らし合わせると、全体的に飛行速度が遅くなっているが推力はより多く使っていることがわかった。迎角は水平飛行させると、飛行前に設定した迎角と一致するが速度を上げると迎角は小さくなり、速度を下げると迎角は大きくなることがわかった。

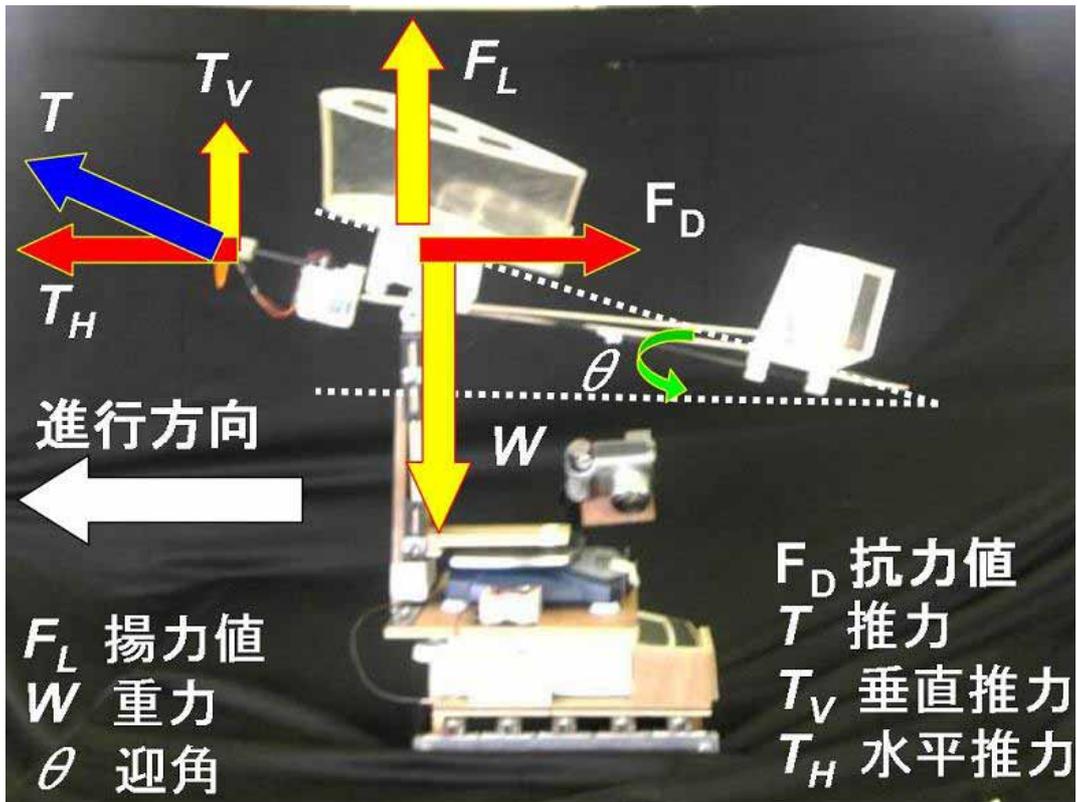


図 5-1 飛行状態の力の関係

表 5-1 スパン倍率と余裕推力

			速度 V ( m/s )				
			3	3.5	4	4.5	5
迎角 $\theta$ ( 度 )	5	スパン倍率 $\chi$	3.51	3.42	2.23	2.07	1.75
		余裕推力 $T_R$ ( g )	50.1	53.8	57.5	42.7	30.7
	10	スパン倍率 $\chi$	1.85	1.86	1.34	1.12	0.94
		余裕推力 $T_R$ ( g )	46.7	55.2	52.3	45.1	39.4
	15	スパン倍率 $\chi$	1.76	1.85	1.34	1.12	0.97
		余裕推力 $T_R$ ( g )	53.0	46.0	42.8	30.0	14.4
	20	スパン倍率 $\chi$	1.80	2.12	1.38	1.28	1.12
		余裕推力 $T_R$ ( g )	31.3	40.8	27.4	21.1	14.3

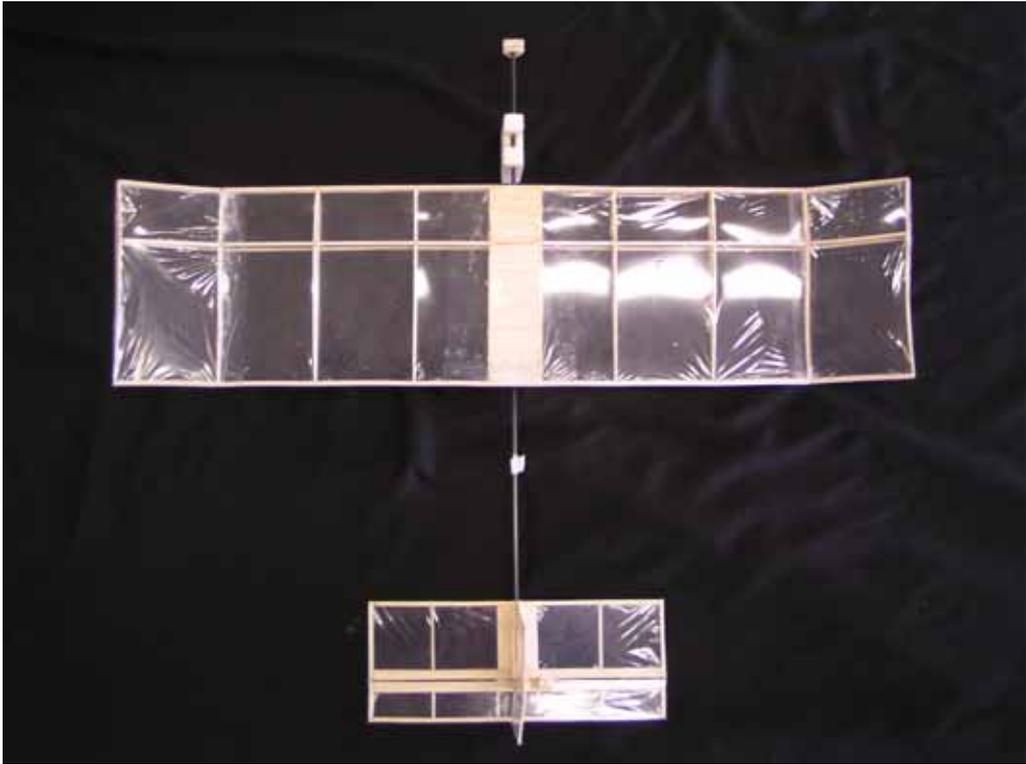


图 5-2 1号機

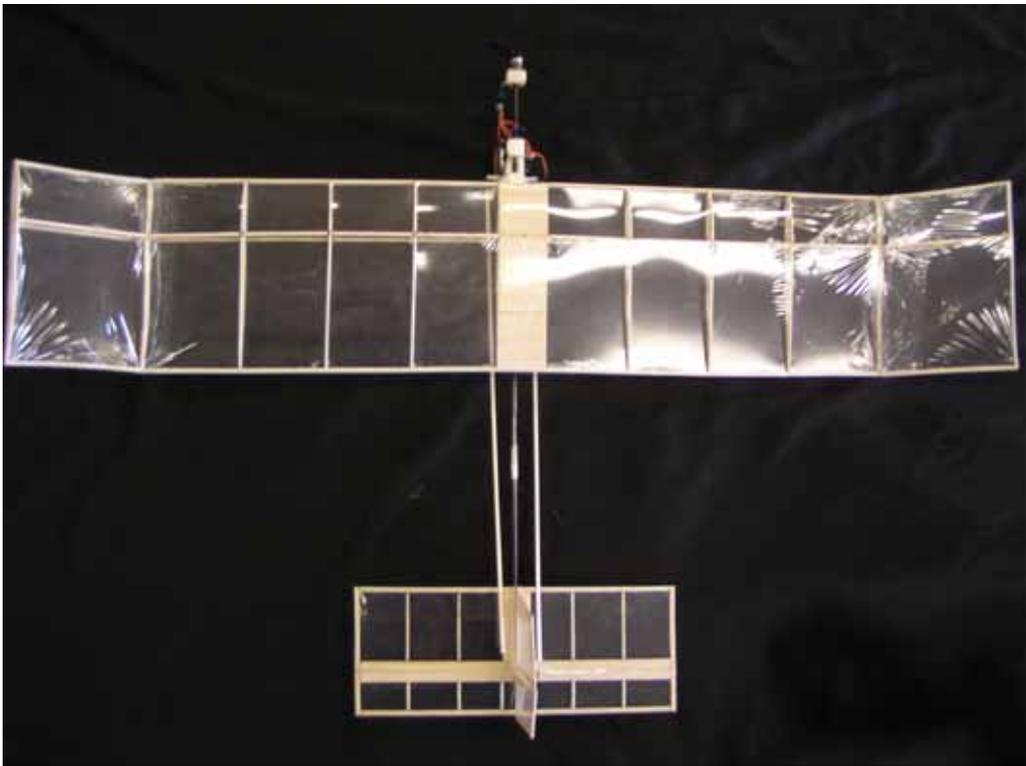


图 5-3 2号機

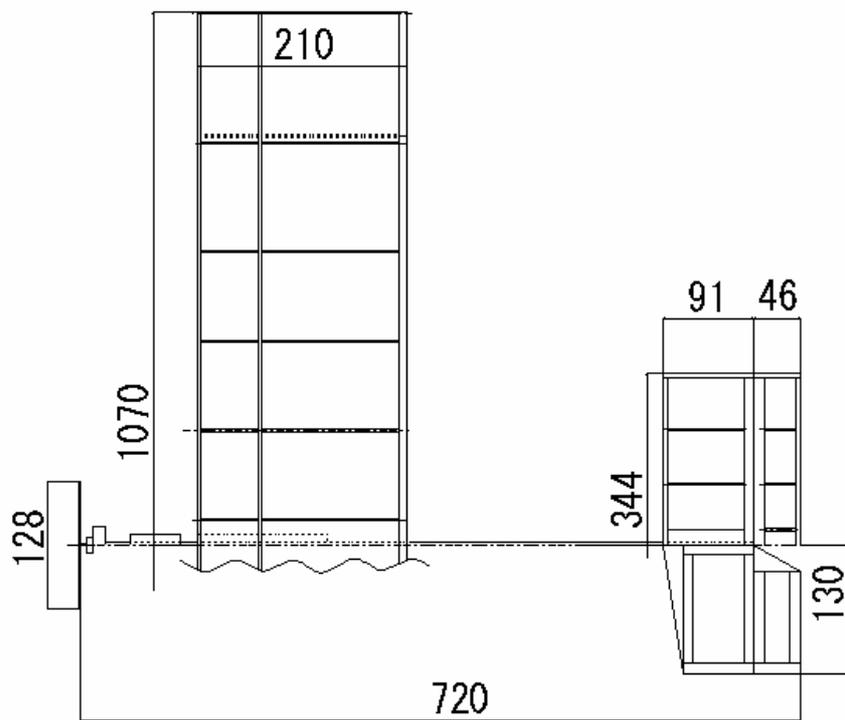


図 5-4 2号機上面図

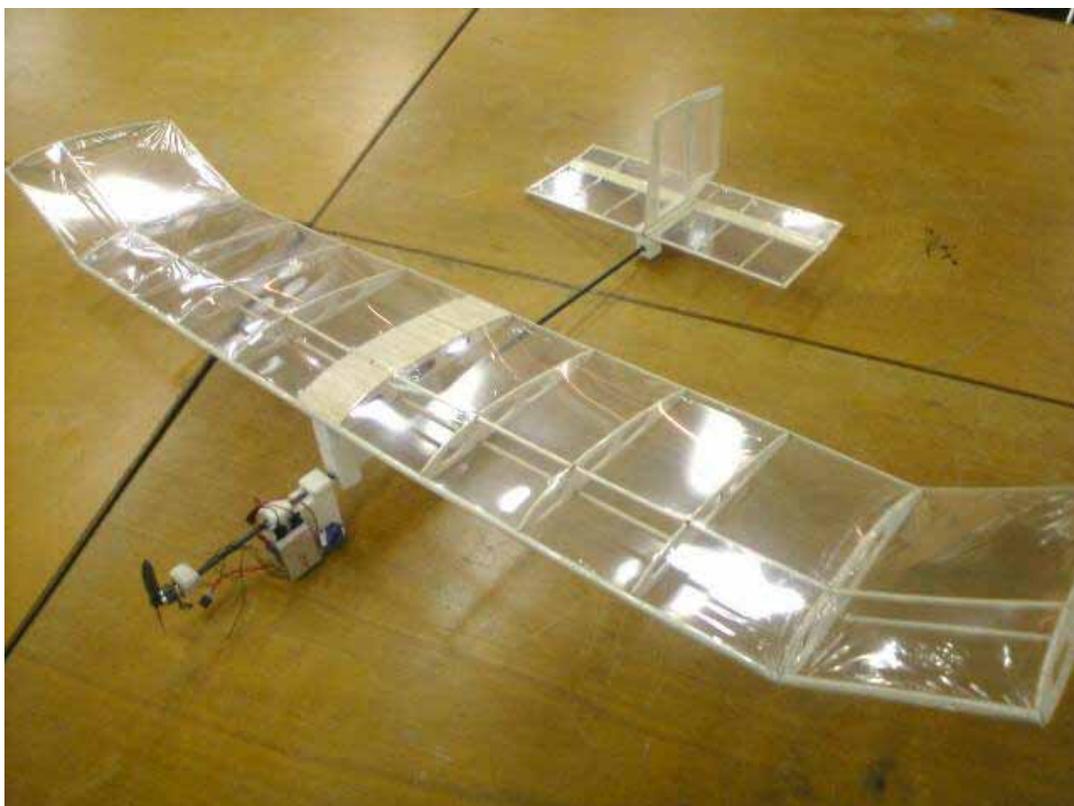


図 5-5 2号機の外観

表 5-2 2号機の諸元

主翼	面積	224700 [ mm <sup>2</sup> ]
	翼長	1070 [ mm ]
	翼弦長	210 [ mm ]
	上反角	7 [ 度 ](中央から)
水平尾翼	面積	47128 [ mm <sup>2</sup> ]
	翼長	344 [ mm ]
	翼弦長	137 [ mm ]
	舵面(エレベータ)	46 [ mm ]*344 [ mm ]
垂直尾翼	面積	17810 [ mm <sup>2</sup> ]
	翼長	130 [ mm ]
	翼弦長	137 [ mm ]
	舵面(ラダー)	46 [ mm ]*130 [ mm ]
その他	全長	720 [ mm ]
	総重量 (カメラ含む)	122 [ g ]( 137 [ g ])

表 5-3 2号機の使用材料

材料名	寸法	主な使用部位
バルサ材	厚さ 2mm	主翼、尾翼
	厚さ 4mm	主翼
	径 3mm	コネクティングロッド
ポリスチレンフォーム	厚さ 20mm	主翼取り付け部、電装部品取り付け部
カーボンロッド	径 5mm 厚さ 0.5mm	胴体
被覆フィルム	厚さ 20μm	主翼、尾翼
航空ベニヤ	厚さ 1mm	ラダー及びエレベーターホーン

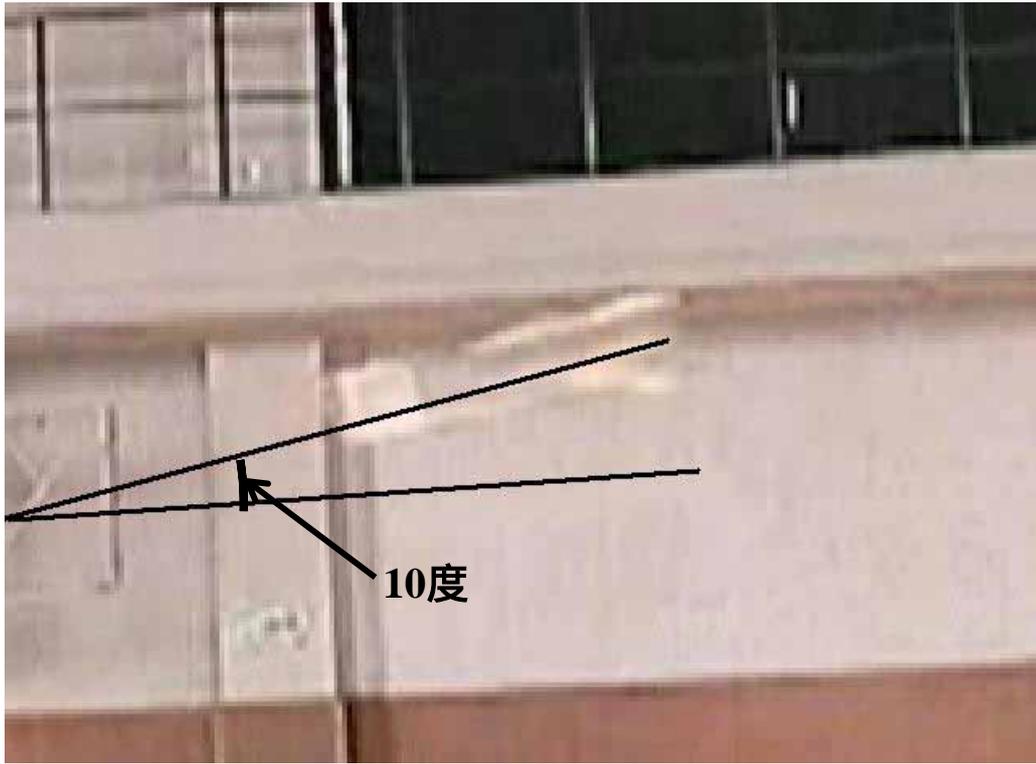


图 5-6 迎角 10 度

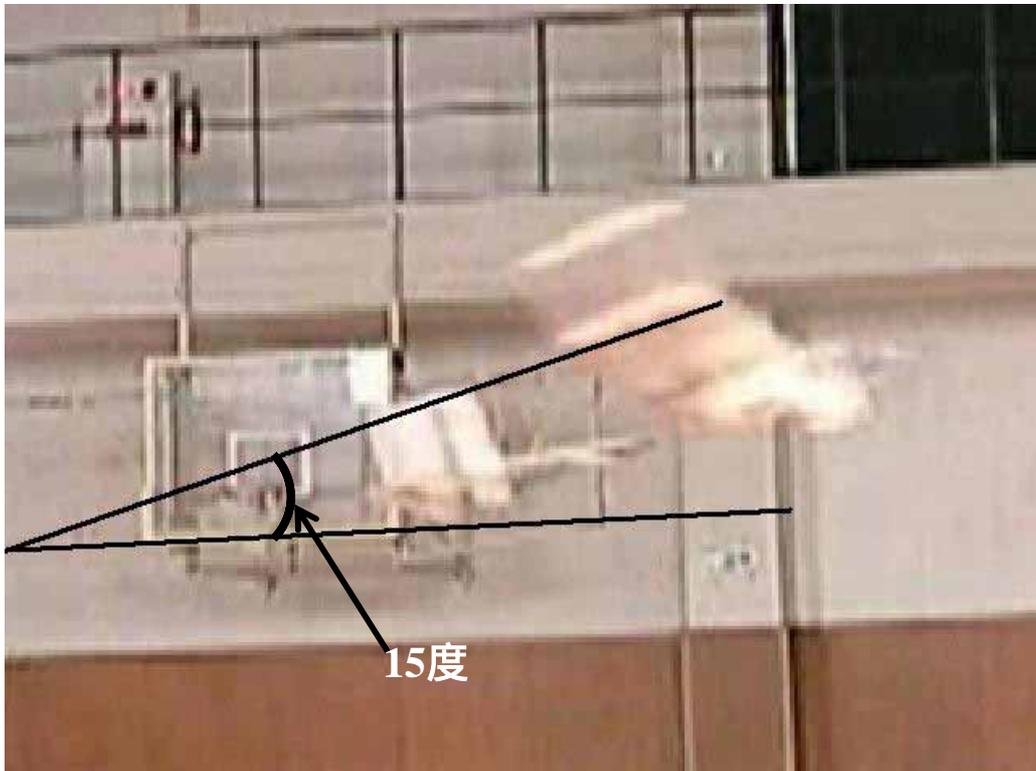
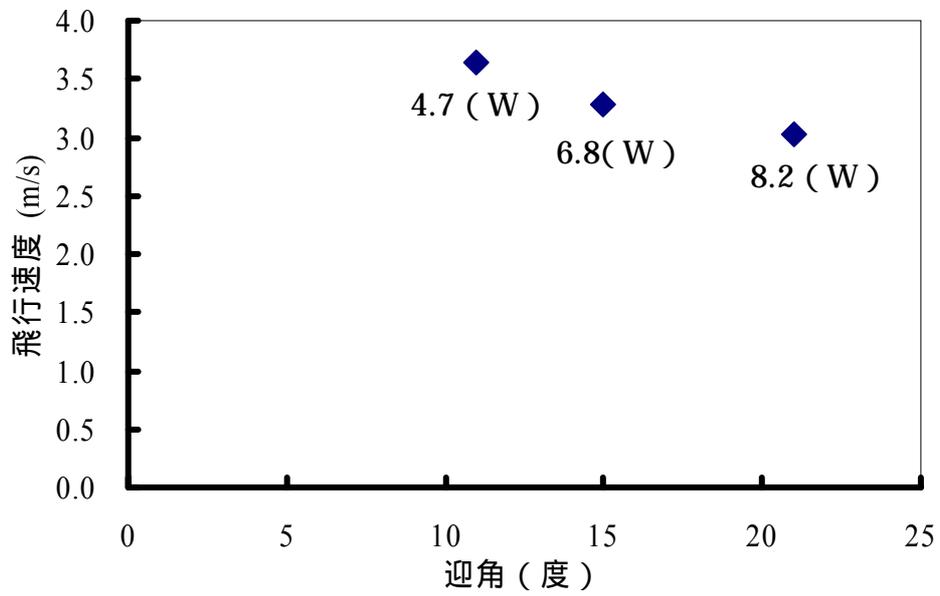


图 5-7 迎角 15 度



図 5-8 迎角 20 度

図 6-9 速度と迎角の関係



# 第 6 章

## 大会概要

### 6.1 大会の主催者と趣旨

「全日本学生室内飛行ロボットコンテスト」は(社)日本航空学会が主催する大会で大学等での航空工学教育の推進のために、室内で遠隔操縦可能な航空機を設計、製作し、飛行を競う学生のための大会である。

我々は、2007年3月24、25日の第2回大会に出場予定で上位入賞を目指している。

### 6.2 機体レギレーション

機体総重量は150g以下とし、動力源は電動モーター、バッテリー、プロペラを使用する。また、競技に使用するカメラ(15g)を機体に取り付ける。図6-1は競技で使用する送信機内蔵小型カメラとその受信機である。

### 6.3 大会内容とルール

スタートラインから飛行を開始し、通過ゲートを通して観測フィールドに入り、観測フィールド上の床に置いてある文字板の文字を機体に取り付けたカメラで撮影し、制限時間内にフィニッシュラインに帰還する。その際の読み取った文字板の数、飛行時間、着地回数により勝敗を競う。図6-2は大会のレイアウトである。



図 6-1 送信機内蔵小型カメラとその受信機

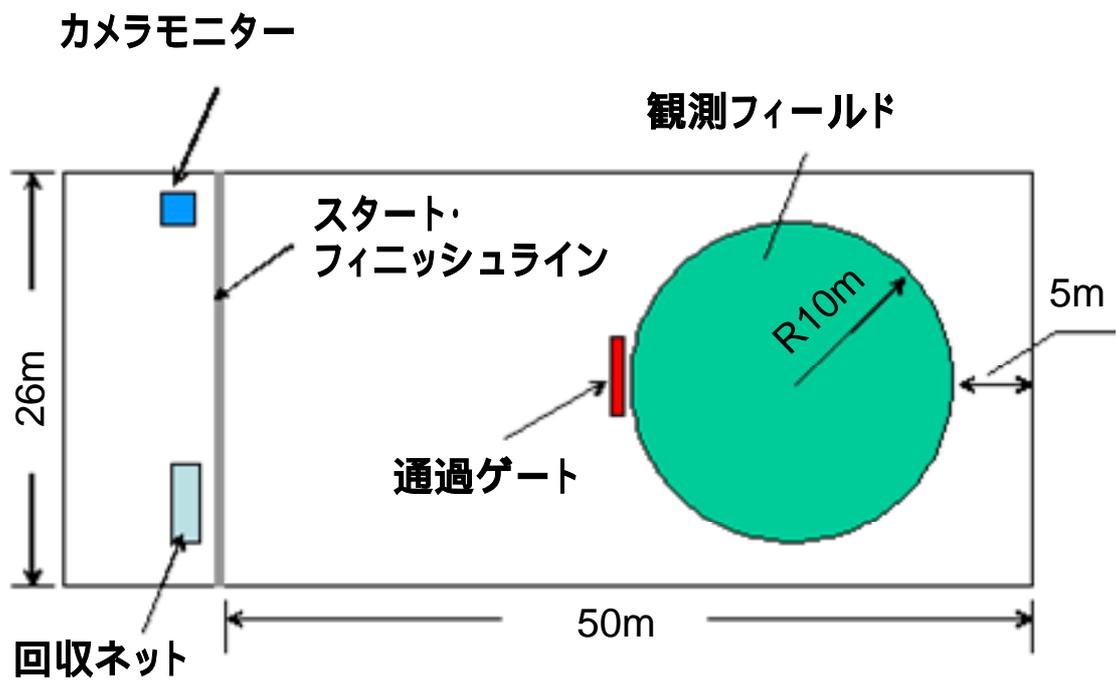


図 6-2 大会レイアウト

# 第 7 章

## 結言

## 7.1 まとめ

本研究では、初めに模型飛行機の製作法の習得及び航空力学の基礎知識の習得のため、練習機として1号機を設計・製作した。1号機は去年の大会優勝機を参考に主翼の翼長800mm、翼弦長210mm、全長720mm、機体重量119gで製作した。次にモーター選定のため、2種類のDCブラシレスモーターの推力測定を行い、推力が高いことからBronnco(12W)を使用することに決定した。しかし、使用したどちらのモーターも規格表通りの推力を得ることができなかった。次に我々は、より低速飛行にする方法として迎角を大きくすることにした。2号機設計に役立つため、練習機を用いて、飛行状態での迎角別の揚力・抗力の測定を行った。この方法として、台車上の装置に機体を固定し、レール上を走らせることにより、仮想飛行状態とする曳航風洞実験を行った。この結果、2号機は飛行速度4m/s、迎角15度になるように設計を行った。また、さらに揚力を得るため主翼を拡げることを考えた。その結果、2号機は主翼の翼長を270mm伸ばした1070mm、翼弦長210mm、全長720mm、機体重量121gで開発した。最後に、飛行実験を行い飛行速度と迎角を調べた。その結果、迎角は設計通りだったが、飛行速度はさらに遅くなった。

## 7.2 今後の課題

今後の課題は2つある。1つ目は、より低速な飛行機の開発である。その方法として、今回測定を行っていない迎角についても曳航風洞実験を行い揚力・抗力を測定してみることや複翼機や複胴機など形状を変えてみるなどが考えられる。2つ目は自立型飛行機の開発である。その第1段階として、加速度センサーにより高度を制御する半自立型を開発したい。

## 参考文献

- (1) 和栗 雄太郎 「模型飛行機の科学」 養賢堂
- (2) 白鳥 敬 「図解でわかる 航空力学」 日本実業出版社
- (3) 小林 昭夫 「紙ヒコーキで知る飛行の原理 身近に学ぶ航空力学」  
講談社
- (4) (社)日本航空宇宙学会 「全日本学生飛行ロボットコンテスト」大会  
URL: <http://www.indoorflight.t.u-tokyo.ac.jp/>
- (5) Gasparin CO2 Motors URL: <http://www.gasparin.cz/>
- (6) MGM com pro URL: <http://www.mgm-compro.com/>

## 謝辞

本研究において、指導教員である河村良行教授をはじめ、同研究室の院生及び、モノづくりセンターの方々、特に根本さんには、研究を進めるにあたって様々な助言、指導、激励を頂き本研究生一同より深く感謝しています。また、飛行実験の際に、アリーナを貸して下さった管理事務の方にも深く感謝しています。

# 付録

## 大会の発表パワーポイント

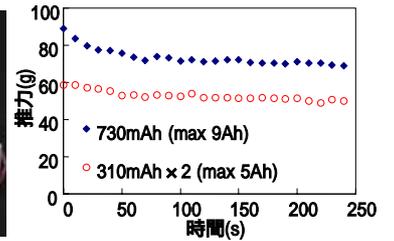
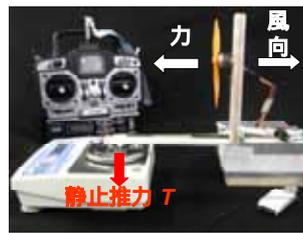
# Slow Flier



知能機械工学科 4年  
新海 正剛  
江口 敬太  
井上 満一郎  
河野 太  
電子情報工学科 1年  
椋木 英貴

### ブラシレスモーター推力測定

- ・モーターはプロトタイプ、Slow Flier共にGasparin CO2 Motors社のBronco(12W)を使用
- ・プロトタイプでは310mAhのバッテリーを2個並列で接続して使用
- ・Slow Flierでは730mAhのバッテリーを1個で接続し使用

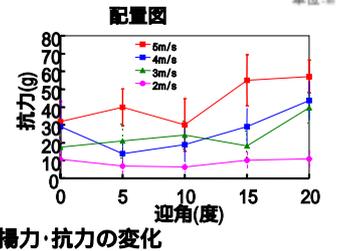
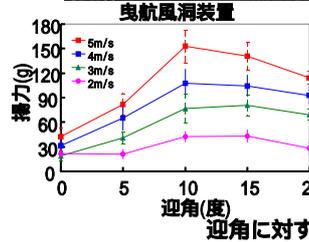
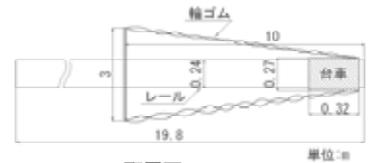


モーター推力実験装置

### 機体コンセプト

- ・文字板を正確に読み取る為に、低速飛行を目指す。

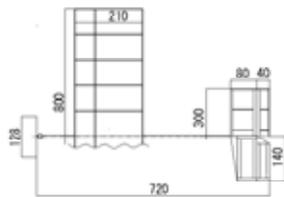
### 曳航風洞実験



迎角に対する揚力・抗力の変化

### プロトタイプの詳細

1号機詳細		
主翼	面積	16800[mm <sup>2</sup> ]
	スパン長	800[mm]
	翼弦長	210[mm]
	上反角	7[deg](中央から)
主要材料 バルサ、フィルム		
水平尾翼	面積	36000[mm <sup>2</sup> ]
	スパン長	300[mm]
	翼弦長	120[mm]
	舵面(エレベータ)	40[mm]×300[mm]
主要材料 バルサ、フィルム		
垂直尾翼	面積	16800[mm <sup>2</sup> ]
	スパン長	140[mm]
	翼弦長	120[mm]
	舵面(ラダー)	40[mm]×140[mm]
主要材料 バルサ、フィルム		
その他	全長	720[mm]
	主要材料	カーボンロッド 4
	総重量	119[g](カマゴ含まない)



- ・主翼リブは一般的なクラークY
- ・主翼寸法は去年の優勝機を参考に決定
- ・水平尾翼は主翼面積の40%
- ・垂直尾翼は水平尾翼面積の20%

### Slow Flier設計

		速度v(m/s)					
		3	3.5	4	4.5	5	
迎角(度)	5	スパン倍率	3.51	3.42	2.23	2.07	1.75
		余裕推力Tr(g)	50.05	53.80	57.48	42.70	30.66
	10	スパン倍率	1.85	1.86	1.34	1.12	0.94
		余裕推力Tr(g)	46.66	55.20	52.26	45.10	39.43
	15	スパン倍率	1.76	1.85	1.34	1.12	0.97
		余裕推力Tr(g)	52.95	46.00	42.82	30.00	14.40
20	スパン倍率	1.80	2.12	1.38	1.28	1.12	
	余裕推力Tr(g)	31.32	40.80	27.41	21.10	14.28	

選定条件

- (1) スパン倍率が1.5倍以下
- (2) 余裕推力が3割以上
- (3) (1),(2)の条件を満たす最も低速なもの

$$(1) F_L + (T_H \times \tan \alpha) = 150$$

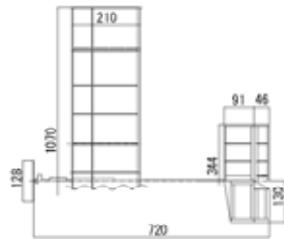
$$(2) \frac{150}{F_L + T_H \tan \alpha}$$

$$(3) T_R = T_C \cos \alpha - F_D$$

## Slow Flierの概要

2号機詳細

主翼	面積	224700[mm <sup>2</sup> ]
	スパン長	1070[mm]
	翼弦長	210[mm]
	上反角	7[deg](中央から)
水平尾翼	主要材料	バルサ、フィルム
	面積	47128[mm <sup>2</sup> ]
	スパン長	344[mm]
	翼弦長	137[mm]
	鉛面(エレベータ)	46[mm]*344[mm]
垂直尾翼	主要材料	バルサ、フィルム
	面積	17810[mm <sup>2</sup> ]
	スパン長	130[mm]
	翼弦長	137[mm]
その他	鉛面(ラダー)	46[mm]*130[mm]
	主要材料	バルサ、フィルム
	全長	720[mm]
	主要材料	カーボンロッド 5
	総重量	122[g](カメラ含まない)



- ・主翼は翼長を1.34倍した
- ・尾翼はプロトタイプと同様の方法により寸法を決定した
- ・速度4[m/s]、迎角15[deg]で設計

## 物品の購入先

電装部品名	商品名	購入先
モーター	Bronnco ( 12W )	<a href="http://6803.teacup.com/slowfly/shop">http://6803.teacup.com/slowfly/shop</a>
スピードコントローラー	TMM 0703-3	<a href="http://6803.teacup.com/slowfly/shop">http://6803.teacup.com/slowfly/shop</a>
バッテリー	WES 310	<a href="http://6803.teacup.com/toko0131/shop">http://6803.teacup.com/toko0131/shop</a>
	TP730	<a href="http://robot.tsukumo.co.jp/">http://robot.tsukumo.co.jp/</a>
サーボモーター	W-038CL	<a href="http://robin.jp/">http://robin.jp/</a>
受信機	R4P /H 72MHz	<a href="http://robin.jp/">http://robin.jp/</a>
受信機用クリスタル	72MHz 帯マイクロクリスタル	<a href="http://robin.jp/">http://robin.jp/</a>
プロペラ	EP5030	<a href="http://robin.jp/">http://robin.jp/</a>
フィルム	E-ライト	<a href="http://www.rchobby.jp/online/">http://www.rchobby.jp/online/</a>
カーボンロッド	ストレートカーボンパイプ	<a href="http://www.windlove.net/e-shop/index.html">http://www.windlove.net/e-shop/index.html</a>
バルサ類		<a href="http://www.lemon.jp/onlineshop/index.html">http://www.lemon.jp/onlineshop/index.html</a>