

平成 22 年度卒業論文

鳥に倣った高迎角失速着陸法の研究

福岡工業大学工学部知能機械工学科

07E1063 溝口 由華

07E2057 福田 浩文

指導教員 河村 良行 教授

指導院生 牧寄 敦

目次

第1章	緒言	-----	2
第2章	実験概要	-----	4
2.1	実験器具	-----	4
2.2	実験手順	-----	4
第3章	実験装置の製作	-----	7
3.1	無尾翼機体	-----	8
3.2	発射台	-----	8
3.2.1	発射台の制作	-----	8
3.2.2	バネ定数の計算	-----	8
3.3	重心移動機構	-----	9
第4章	発射実験	-----	20
4.1	滑空測定実験	-----	21
4.2	理論値計算	-----	21
4.3	考察	-----	22
第5章	結言	-----	26
第6章	今後の課題	-----	28
	参考文献	-----	30
	付録	-----	32

第 1 章

緒言

1. 緒言

ジェットマン⁽¹⁾やムササビスーツ⁽²⁾など、補助翼もなしに重心移動による操縦で滑空していくものが考え出されている。しかし、そのどちらともパラシュートを用いないと着陸することはできない。鳥やハングライダーのように補助翼を使うことなく、自分の重心移動のみでより短い距離で着陸できるようになれば、パラシュートを使つての着陸をしなくても済むようになる。また、実際に飛んでいる飛行機の機体でそのような着陸が出来れば、滑走路はより短くて済む。このような背景のもと、この研究ではその着陸法を小型無人機に応用し、翼の迎角を瞬間的に大きくして失速を起こし、より短い距離で着陸させることを目標としている。



図 1.1 ジェットマン⁽¹⁾



図 1.2 ムササビスーツ⁽²⁾

第 2 章 実験概要

2.1 実験器具

卓球台の上に発射台を置き、その先に飛行距離計測目盛を側面の壁に設置した。発射口の高さは 1.55 [m] で、これは発射されてから機体が安定した飛行になるまでの高さを得るためのものである。飛行距離計測用目盛は 0 [m] から 2 [m] まで記されている。飛行距離計測用目盛の中心である 1 [m] のところから 22 [m] 離れた所にカメラと真横に照明用のハロゲンランプを並べて設置した。

2.2 実験手順

風の影響が無いところで実験をするために、FIT アリーナの小体育館を借りて実験を行った。機体の着地時に体育館の床に傷をつけないためにシートを敷いた。発射台のレール上に台車を置き、その上に機体を乗せた。機体を乗せた台車を手で発射台レールの後ろまで引っ張り、撮影の準備が整ったら、台車を離して機体を飛ばす。機体の速度が速いと画像が見にくくなり、正確な測定がしづらいので、カメラのシャッター速度を 5000 分の 1 秒に上げた。しかしこのままだと画像全体が暗くなって機体の位置が検出できないので再帰性反射シールを機体の側面に張り付けてハロゲンランプで照らし撮影した。

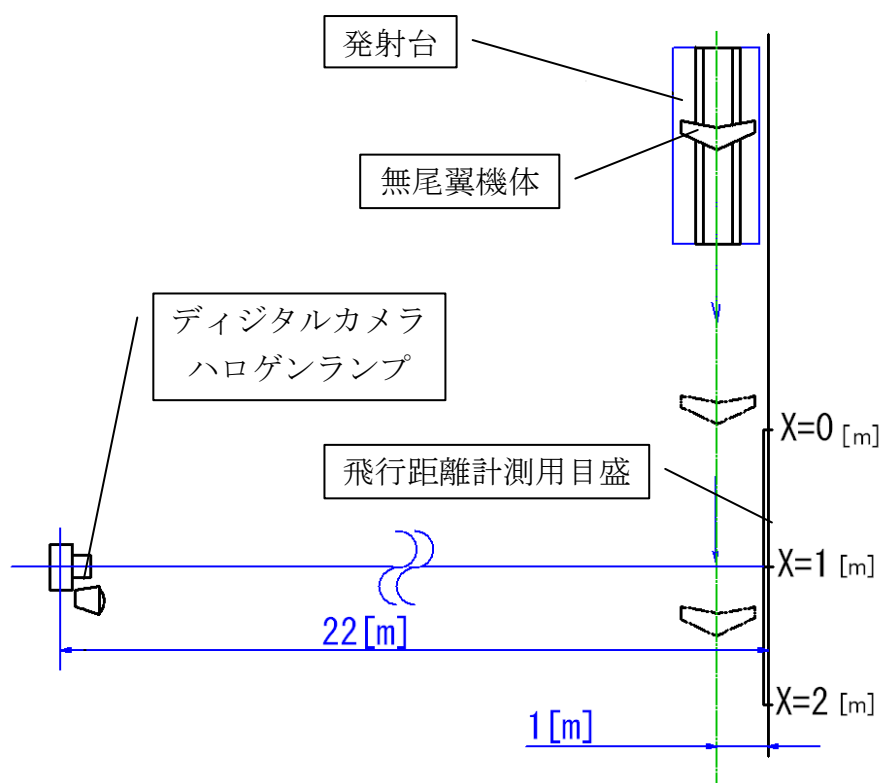


図 2.1 実験器具の配置



図 2.1 デジタルカメラ (右) とハロゲンランプ (左)

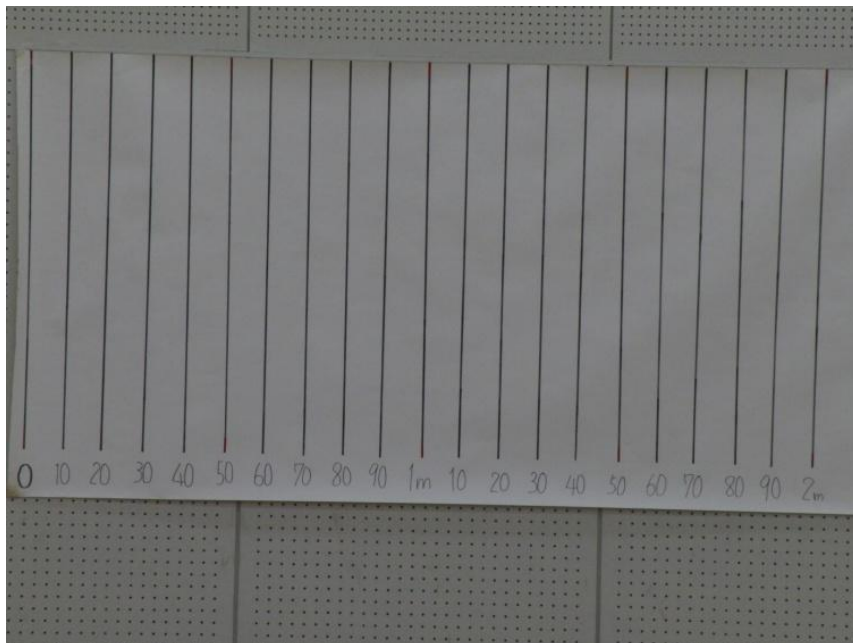


図 2.2 飛行距離計測目盛 (目盛の幅 1 柵 10cm 刻み)

第 3 章

実験装置の製作

3.1 無尾翼機体

本実験で使用した工房 JOY-CRAFT の WINDY 号という無尾翼機体を図 3.1 に示す。翼幅 770 [mm]，全長 300[mm]，後退角 25 [deg]の翼を持つ後退翼機である。カーボンパイプとリブ・スパーを使用した構造となっており，揚力係数 C_L のカタログ値は 0.3 [-]である。（ $Re=10 \times 10^5$ の時）

まず両翼の骨の組み方を紙に描いて，骨組みを先に組み，接着剤で固定し，表と裏の翼を張り付け，継ぎ目部分を接着剤でふさいだ。両翼を一体化して作ることで，片翼ずつ作った時と後に組み上げた時と比べ強度が増した。

3.2 発射台

無尾翼機体を飛ばす際，飛行の再現性を得るために発射台を製作した。滑走路の役割を果たす発射レールの傾斜角を変えられるようにしている。機体を打ち出す際の動力は錘（動滑車），ゴム，バネを使用した。錘では，機体の総重量に対する打ち出し速度が足りずに機体が滑空出来なかった。また，ゴムではすぐに自由長が伸びてしまって再現性を得ることができなかった。その結果，一番速度を大きく出すことができ，自由長が伸びにくく再現性を得られるバネを採用した。バネは市販のエキスパンダーを使った。（バネ定数 $k=96$ [N/m]）

3.2.1 発射台の制作

発射台は，発射角が機体の滑空角になるよう調整が可能になっている。機体の滑空角と発射レールの傾斜角が同じに出来るように，自由に角度が変えられるように回転軸として M12 のネジを使用している。発射レールは，背に一本ものの棒を使用しており，反りがないようにした（図 3.11）。また，台車が滑っている途中で浮いてしまうことのないように台車カバーを取り付けた。固定部は木工用ボンド及び木ネジを使用し，強度を強くした。

3.2.2 バネ定数の計算

市販のエキスパンダーからバネを取ったので，バネ定数が分からなかった。このことよりバネ定数 k を求めた。重量を m ，重力加速度を g ，バネの伸びを x とすると，

$$mg = kx \quad (3.1)$$

となる。重量 m を 5 [kg] と 6 [kg] で実験した。この結果を平均すると，バネ定数 k は 96 [N/m] となった。

3.3 重心移動機構

この重心移動機構の無尾翼機への取り付け位置を図 3.12 に、重心移動機構を図 3.8 から図 3.10 に示す。この機構は重心を移動させるために、サーボモータ 2 個を用いられ、それらのサーボモータはラジコン操作で制御できるようにした。このサーボモータはトルクが 0.15 [Nm] であり、 ± 40 [deg] の傾きで駆動することが出来る。駆動軸には幅 1 [mm] の板状ポリカーボネートを縦 10 [mm] \times 横 70 [mm] に切ってサーボホーンに接着し、カーボンパイプからつるして、衝撃に強くかつねじれにくくした。側面のバルサ材をより軽量化するため、応力がかからないように丸くくり抜き、バルサ材の強度を強くするためにカーボンクロスを張り付けた。

発射台の発射レールを滑る段階から翼が発射角に対し迎角をつけられるように、5 [deg] の迎角をつけた。また、重心移動機構が直方体のため、風の抵抗を受けやすく、抗力が大きくなってしまうので、発泡スチロールで流線型に近い形を作り（これより風防と呼ぶ）、前に取り付けた。シャッター速度を上げても十分な露光量を得るために再帰性反射シールを側面に張り付けた。この機構の重量は 107 [g] となった。

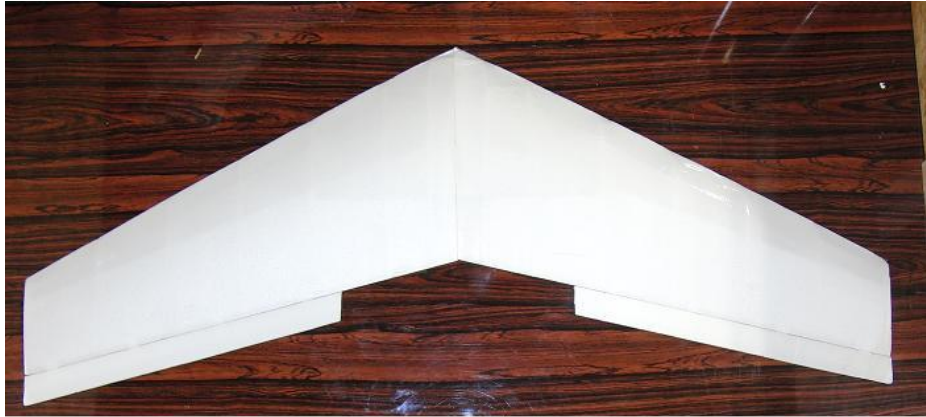


図 3.1 製作した WINDY 号 (上面)



図 3.2 製作した WINDY 号 (底面)



(a)上面



(b)側面

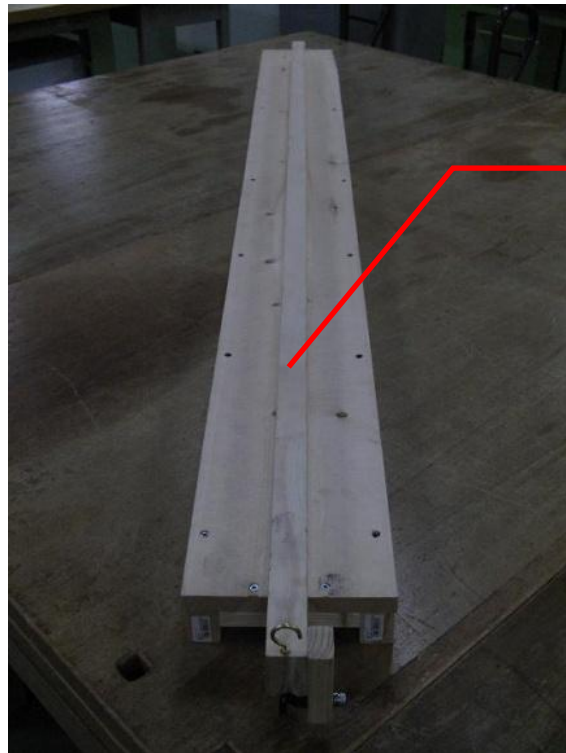


(c)正面

図 3.3 発射台土台



(a)上面



(b)底面

図 3.4 発射レール

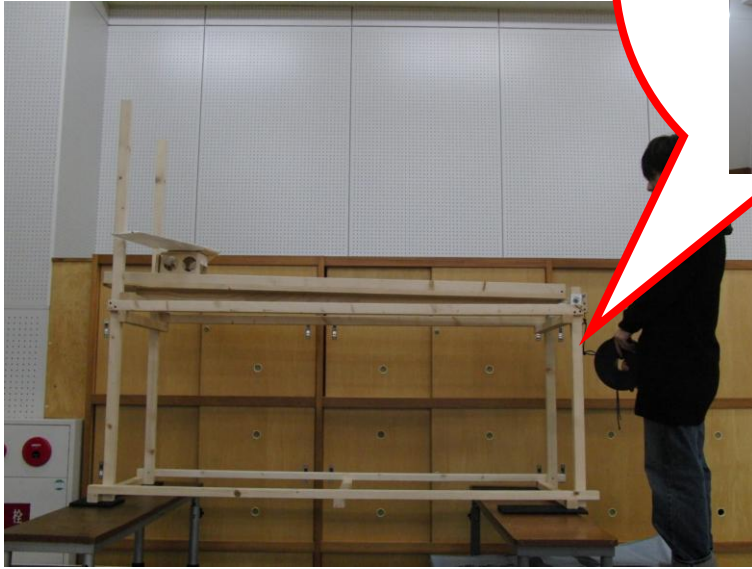


図 3.5 錘を使った発射台

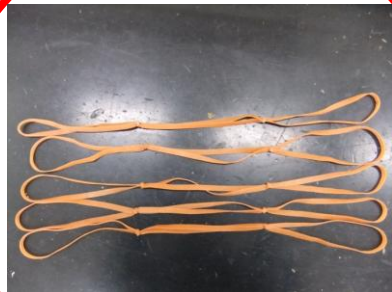
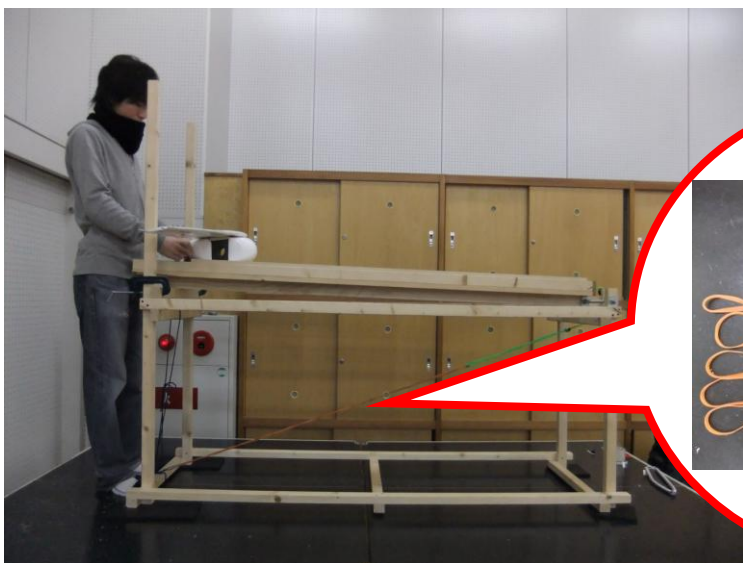
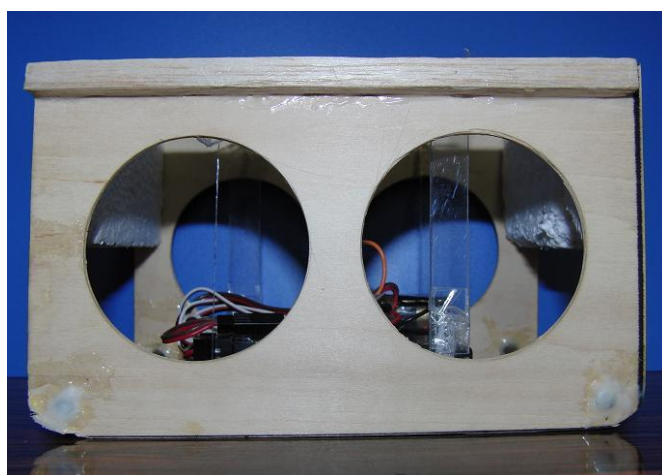


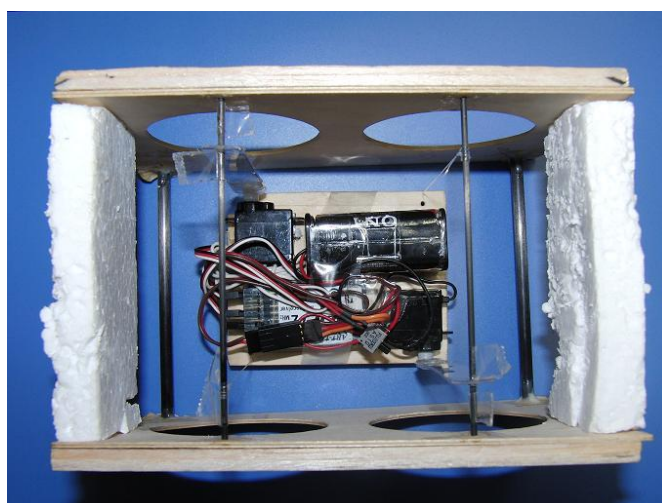
図 3.6 ゴムを使った発射台



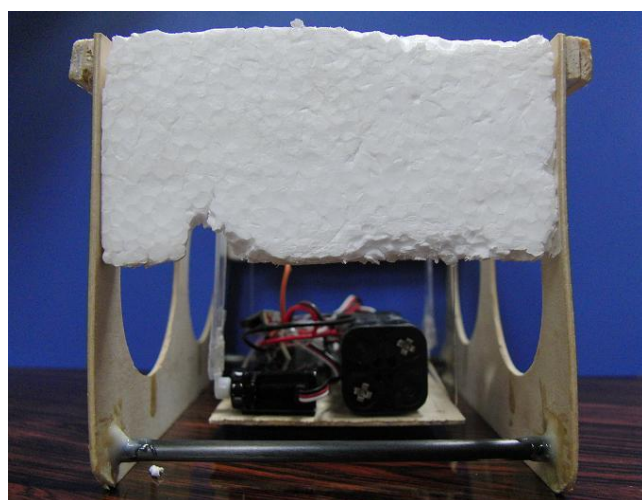
図 3.7 バネを使った発射台



(a)側面



(b)上面

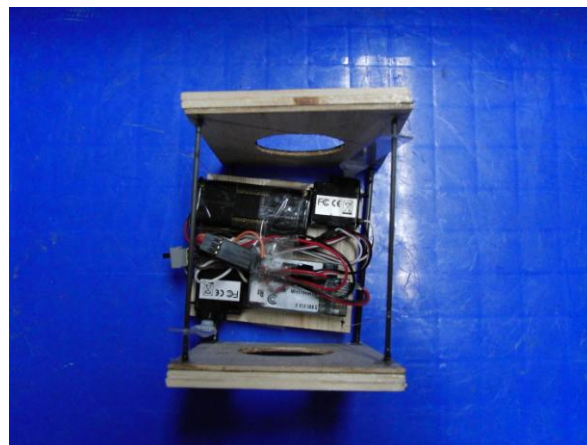


(c)正面

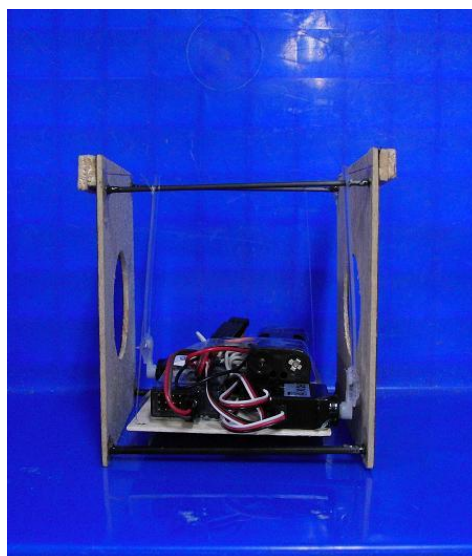
図 3.8 重心移動機構一号



(a)側面

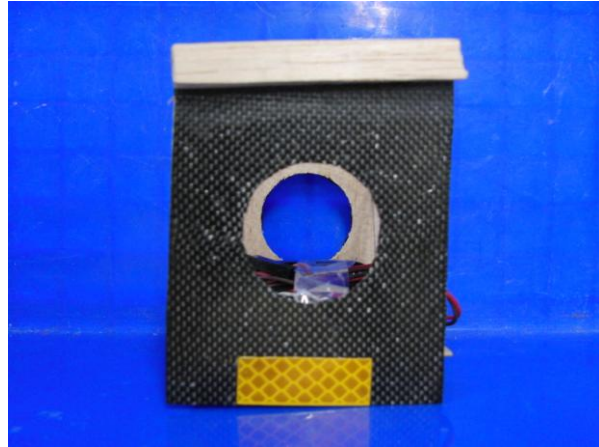


(b)上面



(c)正面

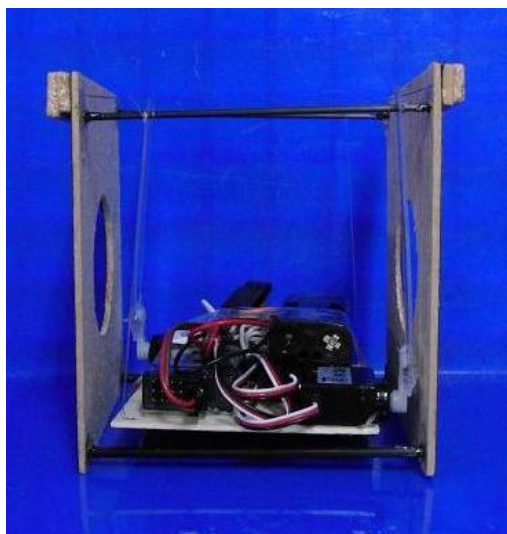
图 3.9 重心移動機構二号



(a)側面

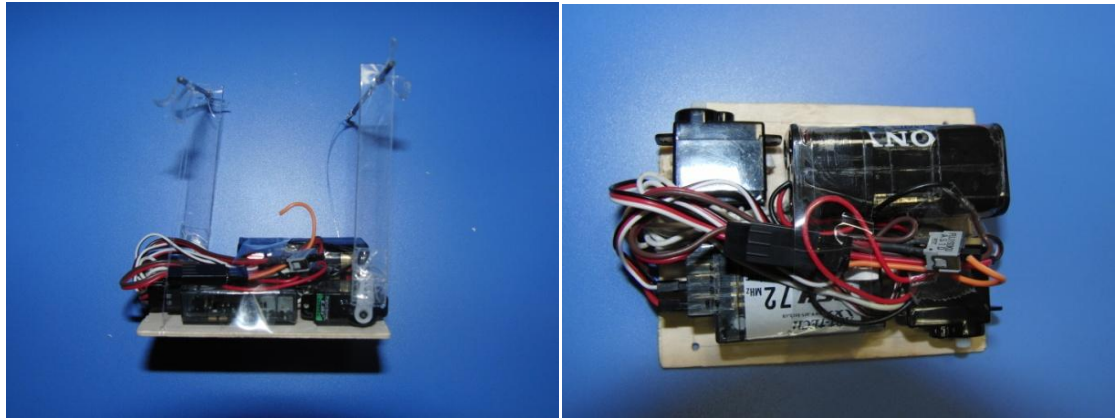


(b)上面



(c)正面

図 3.10 重心移動機構三号



(a)側面

(b)上面

図 3.11 重心移動機構の内部



図 3.12 重心移動機構と機体への取り付け位置

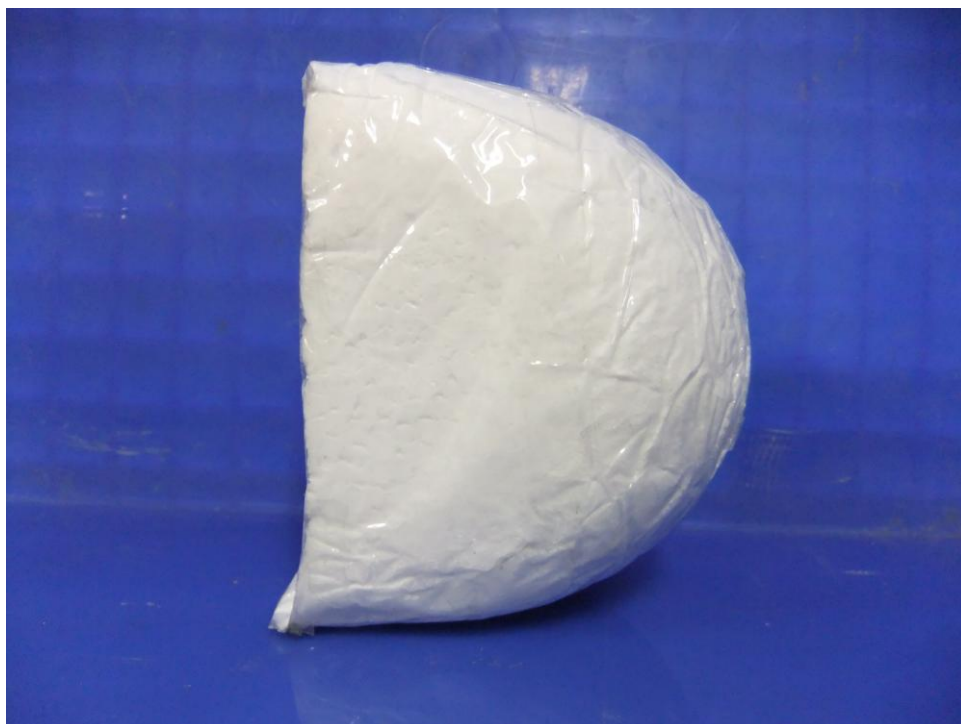


図 3.13 流線型に近い形にした発泡スチロール（風防）

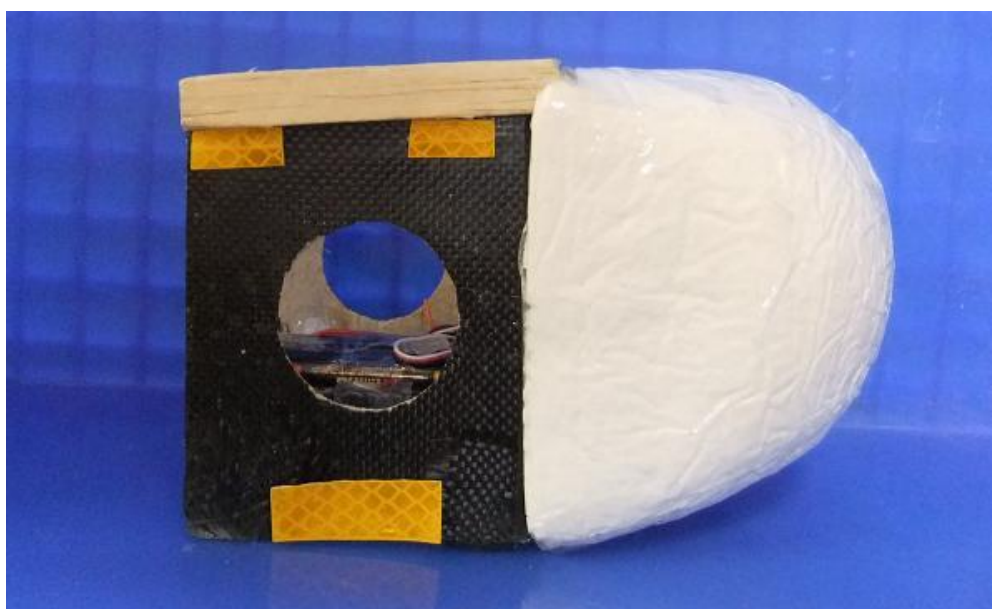


図 3.14 風防付き重心移動機構

第 4 章 発射実験

4.1 滑空測定実験

重心移動をして失速着陸させる際に、発射レールの傾斜角 β を機体の滑空角 β' と、発射レール上での迎角 α を滑空中の迎角 α' と等しくするために、重心移動機構を固定して滑空だけをさせて滑空角と滑空中の迎角を調べた (図 4.1). 実験は、まず初めに手投げで行い、それから前述した発射台を使用して行った. 発射台から打ち出す際の打ち出し動力は、錘からゴム、バネへと変えた. 打ち出し動力別の実験条件は、手投げ・錘・ゴムの場合が重心移動機構一号 (機構重量: 190[g], 総重量が 264[g], 風防なし) を使用し、バネの場合が、重心移動機構三号 (機構重量: 107[g], 総重量が 190[g], 風防あり) を使用した. 飛行距離計測用目盛上での打ち出し動力別の軌道を図 4.2 に示し、その近似式を水平距離で微分して傾きを求めた (図 4.3). また、その時写真から求めたそれぞれの迎角を図 4.4 に示し、速度を図 4.5 に記す. バネで滑空測定実験をした結果、迎角 α' が 5 [deg] で滑空角 β' が 3 [deg] となった.

4.2 発射速度の理論値計算

バネで実験した速度とバネ定数から算出した速度を比較した. バネが縮む際
の速度勾配を図 4.6 に示す. バネの質量を m , 伸びを x , その時の全長を L , 台
車に乗せた機体の移動速度を v とする. 単位当たりの重量 ρ は

$$\rho = \frac{m}{L} \quad (4.1)$$

と表すことができ、微小重量 Δm は

$$\Delta m = \frac{m}{L} \cdot \Delta x \quad (4.2)$$

と表すことができ、微小速度 Δv は

$$\Delta v = \frac{x}{L} \cdot v \quad (4.3)$$

と表すことが出来る. そして、この時の運動エネルギー ΔE は

$$\Delta E = \frac{1}{2} \cdot \frac{m}{L} \cdot \Delta x \cdot \left(\frac{x}{L} \cdot v\right)^2 \quad (4.4)$$

となる. このことから、バネ全体の運動エネルギー E は

$$\begin{aligned} E &= \sum_{x=0}^L \Delta E = \int_0^L \frac{m \cdot v^2}{2L^3} \cdot x^2 dx \\ &= \frac{1}{2} \cdot \frac{m}{3} \cdot v^2 \end{aligned} \quad (4.5)$$

となり、台車を含めた機体の移動重量を M , 3.3.2 節で求めたバネ定数を k , 発

射レールの摩擦係数を μ ，台車の移動距離を x' とした時，発射台内でのエネルギーは

$$\frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}Mv^2 + \frac{1}{2}mv^2 + \mu Mgx' \quad (4.5)$$

となる．この式より台車を含めた機体の移動速度 v を求めると 12.3 [m/s] となった．実験値との比較を図 4.7 に示す．

4.3 考察

図 4.3 で示した傾きは，滑空角と言え．この傾きは，打ち出し動力を変えていくにつれて小さくなっている．よって，打ち出し動力を変えた結果傾きの小さなゴム及びバネで機体が滑空していると言え．この時，手投げと錘に比べるとゴムとバネの迎角は小さく安定しており，速度は大きくなっている．このことから，機体が滑空するためには重量に対して失速速度以上の十分な速度が出ていなければ機体が滑空することができないと考えられる．

バネで実験した結果の速度とバネ定数から算出した速度で大きな違いがあった理由は，発射レール上で機体を乗せた台車自体が角度を変えてしまい，発射レール上での機体の迎角を変えてしまった可能性があり，それが原因で抗力が大きくかかってしまった可能性があると考えられる．その際，発射レール上部の台車の浮き上がりを防止するガイドレールに台車が擦れてしまい大きな摩擦が発生したことも考えられる．また，実験で得られた値は滑空途中のものであり，算出して得られた値は打ち出し速度であり滑空中の空気抗力は考慮されていない．

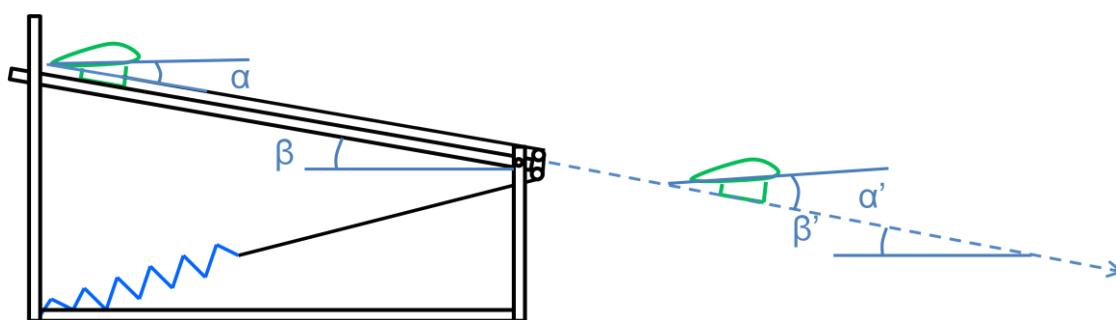


図 4.1 実験に必要な角度

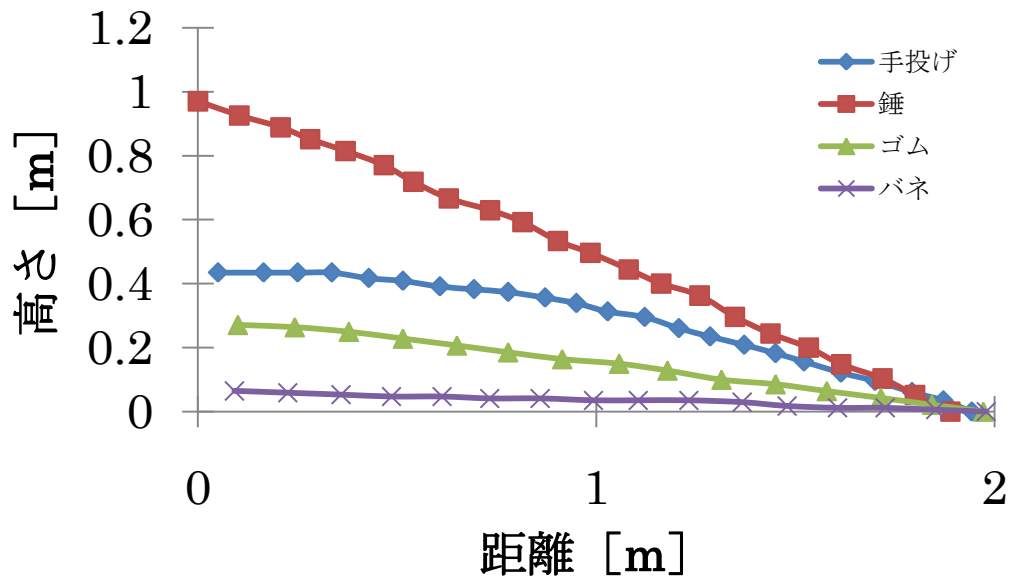


図 4.2 飛行距離計測用目盛上での打ち出し動力別の機体の軌道

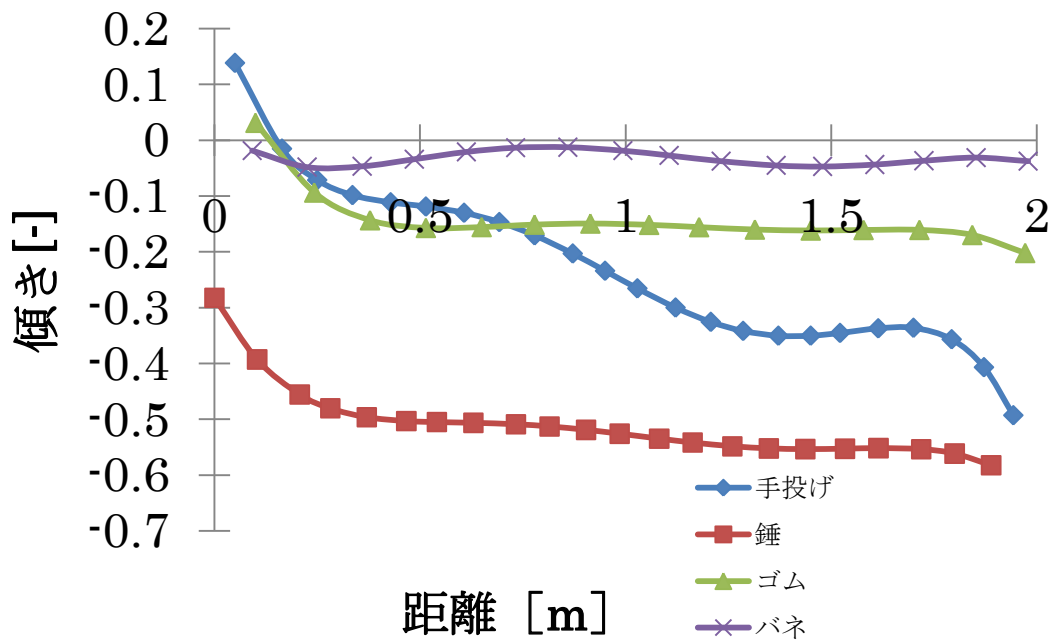


図 4.3 飛行距離計測用目盛上での打ち出し動力別の軌道の傾き

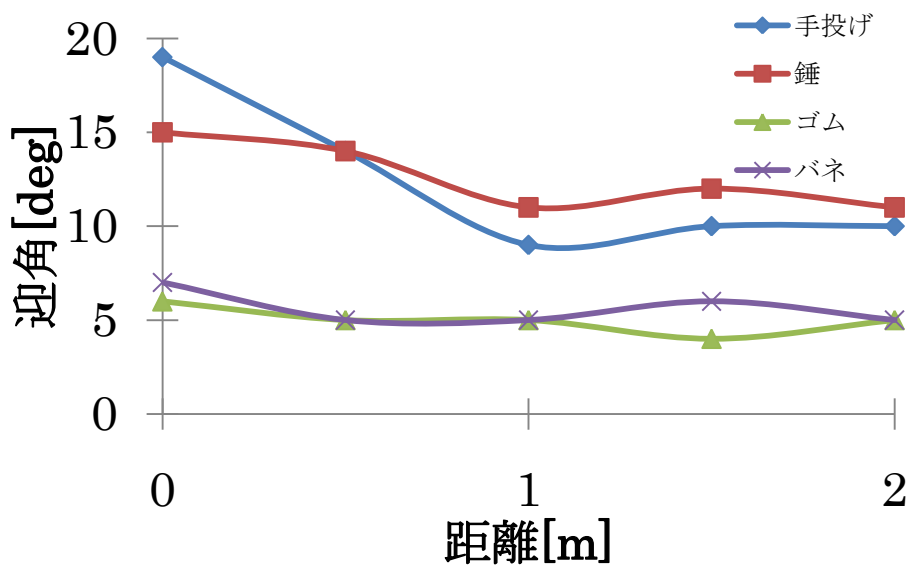


図 4.4 飛行計測用目盛上での打ち出し動力別の迎角

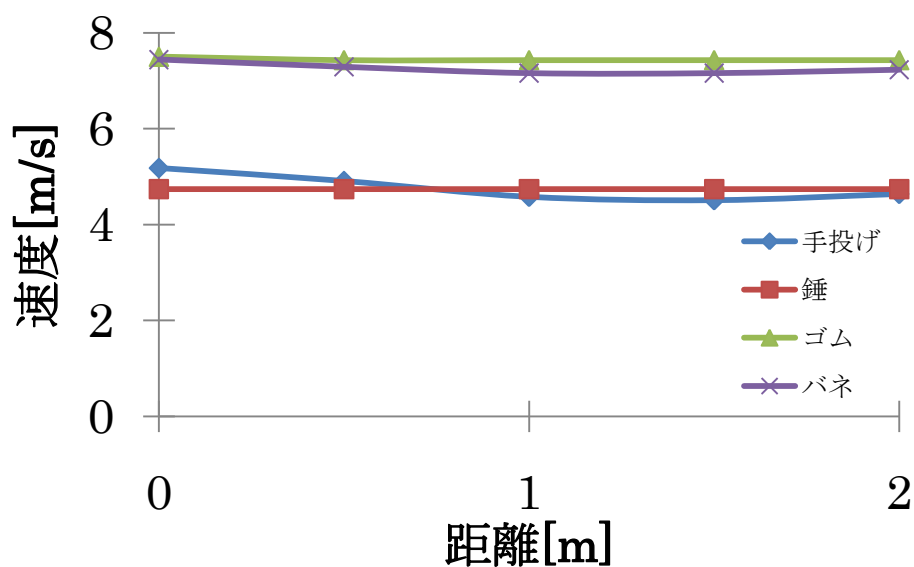


図 4.5 飛行計測用目盛上での打ち出し動力別の速度

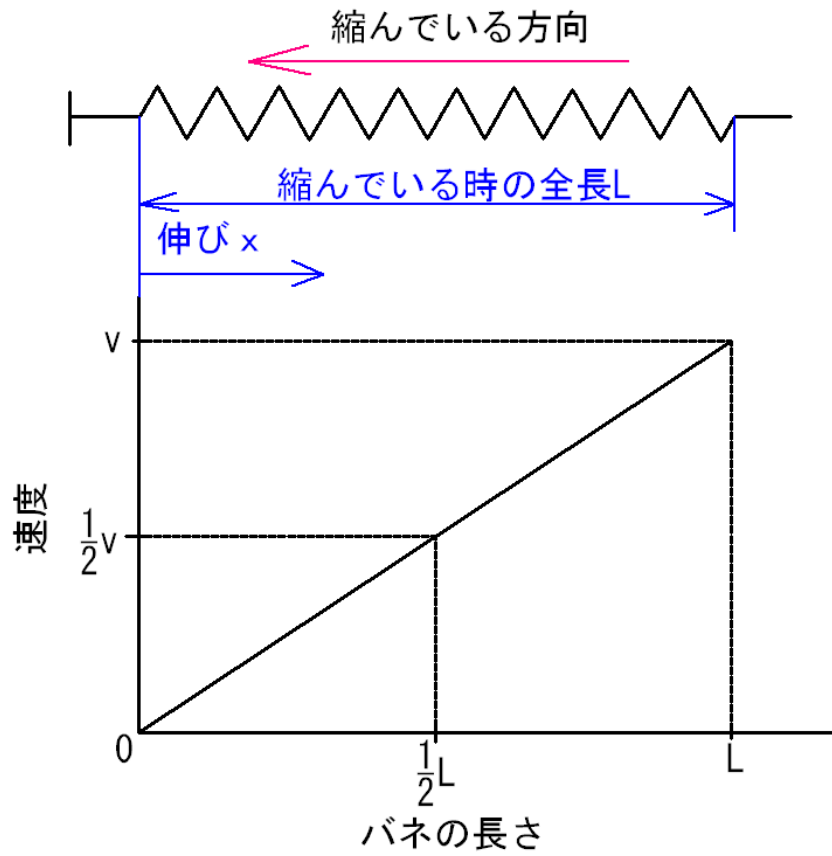


図 4.6 バネの各部位での長さとの速度の関係

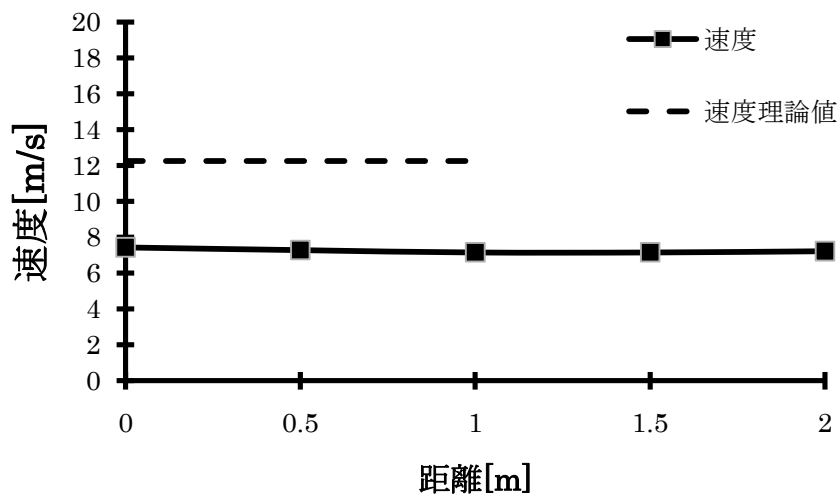


図 4.7 バネで実験した時の速度と理論値の比較

第 5 章

結言

重心を移動させることで迎角を大きくし、急激に失速して着陸をさせる前段階として滑空測定実験を行うことによって以下のことが得られた。

- ・動滑車を使用した際、錘の重さを変えても移動させるもの（台車と機体）に対して錘が 10 倍以上の重さだった場合、速度にほぼ変化は見られない。
- ・滑空している状態とは、機体が風に乗っていて滑空角がより小さな状態のことを指し、迎角がより小さく安定している。
- ・迎角を安定させるためには、機体の総重量に対して十分な速度が出ていなければならないと考えられる。
- ・重心移動機構の形が直方体である場合空気抵抗が大きくなってしまうため、流線型の形にしなければならない。

第 6 章

今後の課題

今後の課題は、発射実験にて重心を移動させて実験する。この時、重心移動機構が強度不足のため、強化及び改良が必要である。また、機体を発射させる時、機体への衝撃が大きいため発射台の改良も必要である。そして、重心移動機構は今ラジコンで動いているが、将来的には自動制御へ移行させる。

参考文献

[1] Ameba 「It rains cats and dogs」

URL : <http://ameblo.jp/sirius55/entry-10401774091.html>

[2] SLASH GEAR URL : <http://www.slashgear.jp/2007/10/post-1811/>

[3]工房 JOY-CRAFT URL : <http://joy-craft.web7.jp/index.html>

[4]牧寄敦：「鳥に倣った高迎角失速着陸法の研究」，平成 21 年度卒業論文
福岡工業大学工学部 知能機械工学科

謝辞

本研究ならびに論文作成に際して数々のご指導ご助言をいただいた河村良行教授に深く感謝の意を表します。また実験等でお世話になったモノづくりセンターの根本孝治さん，新原公樹さん，同研究室の皆さんに感謝の意を表します。

付録

- [1]重心移動機構一号の部品図（図番：1001）
- [2]重心移動機構二号の部品図（図番：1002）
- [3]重心移動機構三号の部品図（図番：1003）
- [4]発射台の部品図（図番：1004）
- [5]発射台の組立図（図番：1005）