ゴム動力飛行機は自力で滑走離陸が可能か

中３－D－３１　日 吉

目　次

はじめに

第一章　序論

第一節 本論文においてのゴム動力飛行機の定義において

第二節 揚力とは

第三節 目的

第二章　離陸の実験

第一節　実験方法

第二節　飛行機の製作

第四節 実験

第三章　離水の実験

第一節 実験方法

第二節 飛行機の製作

第三節 実験

第四節 機体の改良

第五節 実験②

第六節 機体の改良②

第七節 実験③

第八節 機体の改良③

第九節 実験④

まとめ

参考文章

はじめに

皆さんは幼いころゴム動力飛行機で遊んだことがあるだろうか。私は幼いころゴム動力飛行機を買い与えてもらったことがあり、その時に一度ゴム動力飛行機を自力で滑走、離陸をさせようと市販のものを改造したことがある。しかし、当時の知識では飛ばすことができず、失敗に終わってしまった。今回の研究では、当時の悔しい気持ちを糧に、航空力学を用いた機体設計をして、こんどこそ自力で離陸させたい。
また、離陸のみではなく離水にも挑戦したい。

第一章　序論

第一節　本論文においてのゴム動力飛行機の定義について

今回の研究をするにあたってゴム動力飛行機の定義を決めておきたい。まず、ゴムを利用した飛行機には大きく分けて２種類あり、ゴムの弾性エネルギーを利用して飛行機の運動エネルギーとして飛ばすものと、ゴムの弾性エネルギーをプロペラの回転エネルギーとし、そのプロペラの回転によって飛行機を運動させて飛ばすものに分けられる。
今回は後者のものをゴム動力飛行機の定義とする。

第二節　揚力とは

どの飛行機も飛ぶためには「揚力」が必要になってくる。では揚力とはどんな力なで、どの様な原理で起きている力なのだろうか。
まず、飛行機の主翼にかかる力を大きく分けて「抗力」と「揚力」の二つに分けることができ、翼に対して横向きにかかる力を抗力、垂直にかかる力を揚力という 。
つまり揚力とは飛行機を浮かせる力であるといえる。
また、揚力というのは非常に複雑な原理によって発生しており、その原理も書籍や文献

によって書かれていることが違い、正確なことは分からなかった。
　しかし、揚力の大きさは式にして計算することが可能であり、 揚力Ｌ（kg） 空気密度ρ（kg S^2/m^4） 飛行速度Ｖ（m/s） 主翼面積Ｓ（m^2）とした際 $L=1/2\rho\times V^2\times S\times C_L$ という関係が成立する。（ここでのC_Lとは揚力係数のことをいい翼型ごとに異なる値を示す）

第三節　目的

　ゴム動力飛行機を自力で滑走、離陸させることを第一目標とし、ゴム動力飛行機の改良を行う。
　また、第一目標達成後は、水面からの離水を第二目標とする。

第四節　仮説

　ゴム動力飛行機を自力で滑走、離陸させるための方法としては、
① 機体を軽くする。
② プロペラの回転数や回転時間をあげることで、動力を高め、滑走スピードをあげる。
③ 翼を大きくする。
④ 揚力が大きくなるように翼の形態を変える。
　などが考えられる。第 53 回静岡県学生科学賞　県教育長賞を受賞した先行研究では、このうち、プロペラの先端におもりをつけることによるプロペラの回転数の上昇や、翼の形態を変えることよる揚力の増加についての検討がなされている。
　本研究では、先行研究とは異なるアプローチからの離陸を目指し、①、②、③について検討する。

第二章　離陸の実験

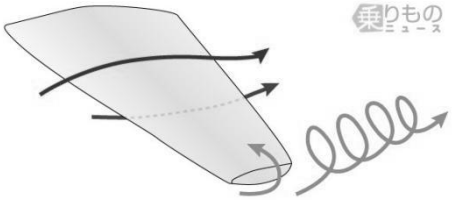
第一節　実験方法

　今回の実験では自力での滑走、離陸を目標に飛行機を製作する。
失敗した場合は前回の反省点を踏まえ、上記の手順を繰り返し行う。
　また、今回の実験では事前に購入したゴム動力飛行機を改造して行う。
　実験は外部からの影響をなるべく小さくするために室内でする。これにより外部からの影響を小さくすることには成功したが、滑走距離が制限されることとなった。

第二節 飛行機の製作

　今回ゴム動力飛行機を改造するにあたって購入した機体は、ツバメ玩具製作所製の「プロペラひこうき」という製品である。
　まず、少ない力で飛行機を飛ばす為の飛行機の設計を行った。少ない力で飛行機を飛ば

すためには、それだけ大きな翼と軽さが必要になっていく、また、出来るだけ効率をよくするためアスペクト比（翼の縦横比）の大きい細長い翼を選択することにした。これは、流体には高い圧力の所から低い圧力のところへもっとも流れやすい経路を通って移動するという性質があり、翼端では空気が（図１）の様に流れ、翼としての機能を十分に発揮できなくなるためである。



（図１）

最初に、ゴム動力飛行機の翼面積を決定した。一般的にゴム動力飛行機や紙飛行機の翼面荷重（ここでは 100 ㎠あたりのグラム数とする）は 9~10ｇほどといわれており、5ｇにもなるとかなりゆったりとした飛行が可能になるといわれている。そのため今回は機体重量を 20ｇ、翼面荷重を 5ｇと仮定して翼面積を 400 ㎠とした。

次にアスペクト比や翼の平面形、翼型（翼の断面形）を決めなければならないが、今回は製作の容易さから、アスペクト比 12 の矩形翼（長方形の翼）で翼型は翼厚 3%の最大翼厚位置（翼の断面の長さを 100%とした時、前から何%の位置がもっとも翼の厚いところかをしめしたもの）は 30～40%ぐらいを目安に製作した。

最も苦労した点は材料の選定である。最初は工作用紙を用いて実験を行ったが、翼だけで重量が 14ｇとなってしまい、目標である重量 20ｇ以下には出来ないと考えたため、材料には 1 ㎜厚のスチレンボードを使用した。これはスチレンボードが軽くて丈夫であり、ゴム動力飛行機の製作に適した素材であるためである。

これによって、機体重量を 17ｇに抑えることが出来た。

第三節　実験

ゴムの巻き数およびゴムの本数を変えて飛行実験を行った結果を表 1 に示す。

（表 1）

ゴムの巻き数（回）	100	150	200	100	150
ゴムの本数（本）	1	1	1	2	2
滑走距離（m）	2.6	不明	1~1.5	0	0
離陸したか	×	×	○	○	○

以上のことからゴムをたくさん巻く、ゴムの本数を増やすことにより離陸が可能であることがわかった。これは、速度の二乗倍だけ揚力の力が大きくなるという性質のためであると考えた。また、ゴムの巻き数を増やすよりゴムの本数を増やすほうがより効果が大きい

ことも分かった。
　反省点としては、翼の強度が足りず曲がってしまったこと。端と翼元で翼断面の形状が大きく変わっており、さらに左右非対称であったことがあげられる。

以上の反省点をもとに、ゴム１本 200 回巻きでの離水を目標に次の実験を行う。

第三章　離水の実験

第一節 実験方法

　今回の実験では自力での滑走、離水を目標に飛行機を製作する。
　失敗した場合は前回の反省点を踏まえ、上記の手順を繰り返し行う。
　また、今回も実験では事前に購入したゴム動力飛行機を改造して行う。
　実験は外部からの影響、水質の違いによる影響をなるべく小さくするために実験は実験室の洗面台に水を張ったところで行う。これにより外部からの影響を小さくすることには成功したが、より滑走距離が制限されることとなった。

第二節 飛行機の製作

　今回もツバメ玩具製作所製の「プロペラひこうき」を用いて主翼、そしてフロート（水上機が水に浮くため浮き）を製作することとした。
まず、主翼の製作をする。前回と同様に翼面荷重５g/100 ㎠以下機体重量 20g 以下を目標にする。そのため翼面積は 400 ㎠となる。また前回の反省点を踏まえ、主翼のアスペクト比を 1/2 とする代わり 2 枚の主翼を上下に合わせる複葉機とし、さらに翼の効率を高めるため楕円翼を採用することとした。翼断面はより揚力係数を高めるため前回より大きい最大翼厚 5%、最大翼厚位置 33%の平底翼とした。上下二枚の主翼は前後にずれるように配置されておりこれは互いの翼が干渉しあうことを防ぐためである。
　次に、フロートの製作をする。まず、フロートの面積は浮力の公式 F=pVg（F=浮力、p=液体密度（1.0ｇ /㎤）、V=液体中の体積、g=重力加速度（10 とする））より 20 ㎤となる。
また機体が上に向きやすいようフロートの前部が迎え角 45 度程度となるよう前後を斜め

に成形した。

第三節　実験

ゴムの巻き数およびゴムの本数を変えて飛行実験を行った結果を表 2 に示す。

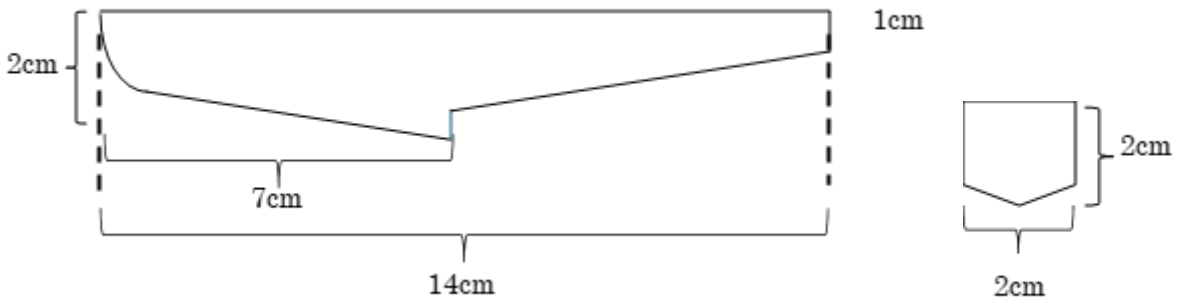
（表 2）

ゴムの巻き数（回）	100	150	200	100	150
ゴムの本数（本）	1	1	1	2	2
滑走距離（m）	0	0	0	0	0
離陸したか	×	×	×	×	×

以上の実験ではゴム動力飛行機のバランスが悪くななめになってしまった。また主翼の生み出す力により主翼をつなげている中間支柱が破損してしまった。よって以下の点を課題
としてあげる。
①フロートの浮力の不足
②フロートの水力的不徹底
③フロートの空力的不徹底
④主翼の中間支柱の強度不足

第四節　機体の改良

上記の点について検討する。
① 機体重量 20 g としたうえで 80%以上の浮力の余裕を見込み、36 ㎤とした。
② 離水時に水の抵抗を少なくするためハル（船底）を V 型になるように形成した、またフロート中央にステップを設けることによって滑水時に機首が上向きになるようにした。
③ フロート前面を V 字型に形成することによって前面面積が小さくかつ気流が剥離しにくくなるようにした。
以下に作成したフロートの図 2 を示す。



（図 2）

④ 中間支柱をより分厚いものに取り換えることとし、また主翼に穴を設けることによって増加した重量に対応するものとした。

第五節　実験②

ゴムの巻き数およびゴムの本数を変えて飛行実験を行った結果を表 3 に示す。

（表 3）

ゴムの巻き数（回）	100	150	200	100	150
ゴムの本数（本）	1	1	1	2	2
滑走距離（m）		0	0	0	0
離陸したか	×	×	×	×	×

以上の実験では静止時において安定させることに成功した。しかし滑水を実際に行ったのはゴム１本 100 回巻きの時のみであった。また、いずれの実験においても機体が左向きに旋回し、前のめりに倒れていた。以上より以下の課題を示す。

①滑水時における前後のバランスの改善
②滑水時における左右のバランスの改善

第六節　機体の改良②

① 主翼を複葉から単葉に作り変えることにより重心位置を機体のより下方にし、さらに揚力の中心位置も下方へ移動した。同じ翼面積を得るため、翼幅 40cm 翼弦長 12.9cm 最大翼厚 5%、最大翼厚位置 33%の平底翼とした。材料には 2mm 厚のスチレンボード、サラ

ンラップ、を使用した。
② いずれの実験においても機体が左へ向いていたことから、尾翼に 1 ㎝程の切れ込みを入れ、右に折り曲げることとした。これにより滑水すると同時に右向きの力が機体に加わるため、機体が左向きに進む力と相殺出来ると考えたためである。

第七章 実験③

ゴムの巻き数およびゴムの本数を変えて飛行実験を行った結果を表 4 に示す。

（表 4）

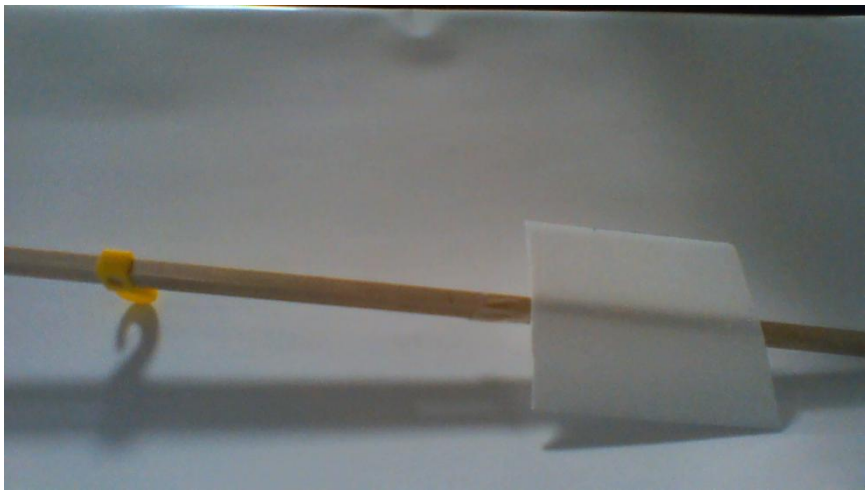
ゴムの巻き数（回）	100	150	200	100	150
ゴムの本数（本）	1	1	1	2	2
滑走距離（m）		0	0	0	0
離陸したか	×	×	×	×	×

以上の実験ではいまだ滑水時の安定性、特に前後のバランスがわるいことが分かった。また、翼やフロートが実験を行うごとに機体との接合が弱くなっていた。
新たに作り直した翼は設計道理に作られているとは言えず、翼の表面、特に翼下面に歪みやシワが見受けられた。
以上より、以下の課題を示す。

①フロートの更なる改良
②滑水時における安定性の向上
③翼の歪み、シワを極力小さくする

第八節　機体の改良③

① フロートを胴体前部の二点と胴体後部の一点で支える形とした。フロートのサイズも縮小し、より水の抵抗を減らすこととした。また素材は発泡スチロールをしようしており、外側はビニールテープが張られている、これは凸凹した発泡スチロールの切断面を覆うことで水による摩擦抵抗を減らす目的がある。
② 翼およびフロートとの胴体への固定をより強固とすることとした。そのため図 3



（図 3）

のように細い棒状の胴体の上に 1 mm 厚、5cm×6cm のスチレンボードを接着剤で縦向きに接着し、それを基礎として翼やフロートを接着することとした。またゴム動力飛行機が着水時、迎え角を持つようにし、プロペラが水平より上を向くようにした。
主翼にはフラップを搭載し、揚力係数および抗力係数を任意に操作出来ることとし、
そのため主翼中心から左右 2.5cm に 2cm の切れ込みを入れ、針金をセロハンテープで接着した。（図を参照）
③ 翼の設計を単純化することで対応するものとした。そのため翼をこれまでの楕円翼から矩形翼へ変更した。翼幅は 44.5cm、翼弦長は 9cm、最大翼厚 4mm（約 4.5%）、最大翼厚位置 33%の平底翼とした。

第九節 実験④

ゴムの巻き数およびゴムの本数を変えて飛行実験を行った結果を表 4 に示す。

（表 4）

ゴムの巻き数（回）	100	150	200	100	150
ゴムの本数（本）	1	1	1	2	2
滑走距離（m）		0	0	0	0
離陸したか	×	×	×	×	×

以上の実験ではいまだ滑水時の安定性が悪いことがわかった前後左右ともに安定性が悪く、（機体が前のめりになり、右旋回を行っていた。）特にゴム二本での実験の際に顕著であった。またこれまでの実験では機体が斜めに傾き翼端から着水して機体が転倒を起こしていたのに対し、今回の実験ではより水平に近い姿勢でプロペラから着水を起こし、そのまま水中に潜るように転倒を起こしていた。
主翼と胴体の接合は強固になったものの、フロートと胴体の接合はいまだ軟弱であり、特

に実験によって接合部が濡れた時に顕著であった。

まとめ

今回の実験では第二章で離陸の実験、第三章で離水の実験を行った。
離陸の実験では高アスペクト比の主翼と大型の翼による低翼面荷重のふたつを主軸に実験を行った。実験は成功し、これにより高アスペクト比、大型の主翼は強度が不足しやすいことを学んだ。
離水の実験は四回に渡って実験が行われた。
一回目の実験では大型の主翼を小型の主翼二枚の複葉機とし、楕円翼にすることで機体強度と低翼面荷重、高い翼の効率の実現を試み、またフロート浮力の計算を用いて最低限のサイズとし、実験を行った。この実験からは複葉機は中間支柱の強度が大事であること、フロートの浮力には機体重量以上の余力が必要であること、フロート形状が結果に大きく作用することが分かった。
二回目の実験では前回の反省からフロートに大規模な改設計を行った。また中間支柱を大幅に強化し、実験を行った。この実験では滑水時の安定性の悪さが、フロートの形状や浮力の大きさだけに起因するものでないことを知った。
三回目の実験では上記の問題の原因は、機体の揚力の中心点および重心が機体の上方にあることに起因するのではないかという考えから、機体を単葉機へ戻すこととした。また尾翼、水平尾翼の一部を稼働可能とした、しかし機体重量がかさみ 21ｇとなった。
この実験では滑空性能の向上が見られたものの､いまだ滑水時の安定性が悪いこと､主翼、フロートと胴体との接合部の強度が不足していること、翼の表面がシワになっており、設計道理の能力を発揮できていない可能性があることが分かった。
四回目の実験ではこれまで大型のフロート二本で機体を支えていたのに対し、小型のフロート三点で機体を支えることとした｡またフロートの形状もより平たいものへと変化した。主翼およびフロートと胴体との接合部は接合部の面積を増やすことで強度を得ようとした。主翼は製作難易度を下げるため矩形翼とし、アスペクト比も強度の問題からこれまでより小さいものとした、これにより翼の効率が下がってしまった。また機体重量も 23ｇと増大した。しかし今回の実験はこれまでで最もよい滑空性能を示した。
今回の実験ではいまだフロートと胴体との接合部が脆弱であること、滑水時の安定性が不十分であることが分かった。
これらのことから、離陸の実験には成功したものの、離水の実験には失敗してしまった。しかし以上のことを踏まえて今後は
・フロートと胴体との接合をより強固にするのではなく、主翼に直接フロートを接合すること。
・斜め下向きに取り付けられたゴム動力飛行機のプロペラを逆向きに使用し、斜め上向きにする。（図より）

この二点を改良点として実験を行っていこうと思う。

最後に、わたしは課題研究 j を通して計画的に動くことの重要性を知ることができました。また、多くの失敗を繰り返しながらも目的のために努力を重ね実験したという経験は将来必ず役に立つものであると考えています。
今回の課題研究 j を製作するにあたって数多くのサポートを受けてまいりました。
担当してくださった先生方や担任の先生方へ厚く感謝の意をここに記します。
ありがとうございました。

参考文献

・小林 昭夫 著「紙ヒコーキで知る飛行の原理―身近に学ぶ航空力学」、ブルーバックス、1988 年

・Oki 著「揚力の発生原理 ― 飛行機はなぜ空を飛べるのか？」鳩ぽっぽ 初心者のための航空力学講座 https://pigeon-poppo.com/lift-theory/

・平元 理峰 研修「飛行機はなぜ飛べる？飛行に関わる 4 つの力と仕組みを解説！」ほくかだい辞典
https://www.hus.ac.jp/hokukadai-jiten/detail/a8b32a411adffed6db2c760d9bb083aa18eb4e7e-17167/

・乗り物ニュース編集部「飛行機の主翼、端が立っているのはなぜ？　重くなるのに燃費改善のカラクリとは」乗り物ニュース https://trafficnews.jp/post/78545

・CQ 出版社「 PIC マイコンでつくるインドア・プレーン 」
https://www.cqpub.co.jp/hanbai/books/34/34471/3447_10syo.pdf

・Oki 著「翼型の形状定義 ― 翼型の形状を決める 2 つのパラメータ（翼厚とキャンバー）」鳩ぽっぽ 初心者のための航空力学講座 https://pigeon-poppo.com/airfoil-definition/

・山田和樹 著「浮力の公式と計算方法まとめ（計算問題・体積の原理からの求め方）」東大塾長の理系ラボ https://rikeilabo.com/buoyancy

・森本清三ほか：水上飛行機に係る設計上の課題およびその解決策 2. 舟艇技報 2015 年

・