ゴム飛行機は自力で離陸および離水できるのか

中 3-D-13　金澤　蒼祐

目次

はじめに
第 1 章　飛行機の知識
　第 1 節　ゴム飛行機の歴史
　第 2 節　飛行機が飛ぶ原理
　第 3 節　いろいろな飛行機の翼(翼平面形)
第 2 章　ゴム飛行機の離陸
　第 1 節　ゴム飛行機製作
　第 2 節　先行研究との比較
　第 3 節　実験の結果
　第 4 節　実験の考察
第 3 章　ゴム飛行機の離水
　第 1 節　離陸と離水の違い
　第 2 節　1 回目の実験
　　第 1 項　1 回目の実験の説明
　　第 2 項　1 回目の実験の結果
　　第 3 項　1 回目の実験からわかったこと
　第 3 節　2 回目の実験
　　第 1 項　2 回目の実験の説明
　　第 2 項　2 回目の実験の結果
　　第 3 項　2 回目の実験からわかったこと
　第 4 節　3 回目の実験
　　第 1 項　3 回目の実験の説明
　　第 2 項　3 回目の実験の結果
　　第 3 項　3 回目の実験からわかったこと
おわりに

参考文献

はじめに

私は幼少期のころ、ゴム動力飛行機を飛ばしていたが、最近ネット上でゴム飛行機を滑走離陸している動画を見て、今の私なら飛ばせるのか疑問を感じ、またゴムの本数と巻き数のどちらの方が深く関係しているのか、というのが気になり、研究および実験をすることにした。

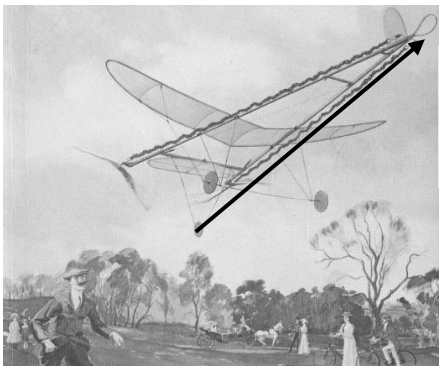
また、思いの外、離陸が簡単にできたので、離陸より表面張力などの影響から難しいと言われる離水にも挑戦した。

第1章　ゴム飛行機の知識

第1節　ゴム飛行機の歴史

まずはじめに、ゴム飛行機の歴史について紹介しよう。

1908～1914年　　イギリスで最初のゴム飛行機ブームが起こり、ゴム飛行機が庶民にも一般的になった。この時の飛行機はA字型ゴム動力飛行機と言われる。A字型ゴム動力飛行機とはその字の通り、上から見ると「A」の形をしており「A」の斜めの部分に2つ(一つずつ)ゴムがその後ろにある。プロペラをそれぞれにとって逆方向に回転させて飛ばす飛行機のことだ。



進行方向

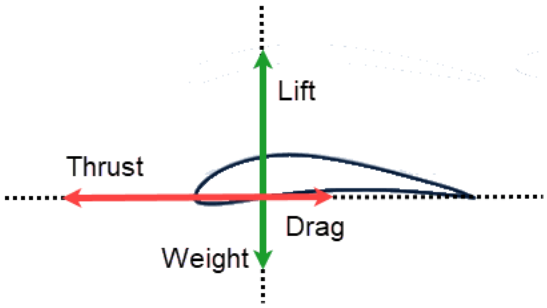
https://www.aero.or.jp/culture/aviationand-culture/20100415-7497/

1912年　　ゴム飛行機コンテストが開催され、A字型ゴム動力飛行機で最も長い滞空時間はC.R.フェアリーが作ったもので60.4秒、飛行距離はR.F.マンが作ったもので約290mを記録した。

第２節　飛行機が飛ぶ原理

次に、飛んでいる飛行機にはどのような力が働いているのかを説明しよう。飛行機が飛んでいるときには次に示すような４つの力がはたらいている。

［1］　自重(Weight)…自らにはたらいている重力
［2］　抗力(Drag)…空気抵抗による後ろ向きの力
［3］　推力(Trust)…エンジンなどによって生み出される前向きの力
［4］　揚力(Lift)翼によって生み出される上向きの力



https://simscale.kke.co.jp/caepedia/computational-fluid-dynamics/lift-drag-pitch/

揚力>自重,推力>抗力　このとき飛行機は前進しながら上昇する。

１つ目は自重といい、機体そのものにはたらいている鉛直下向きの力(重力)のことである。

２つ目は抗力といい、進行方向(推力のはたらく方向)と逆方向にはたらく力で物体の進
行を妨げる。抗力から物体に受ける圧力と物体の代表面積(翼の断面図を使われる)を除いた値を「抗力係数」という。この値は空気との摩擦や圧力から発生する空気抵抗にも影響を与える。また、物体の形状と表面の滑らかさによって決まる。抗力は次の公式で求められる。D=1/2Cd*P*S (D［N］抗力,Cd［次元なし］ 抗力係数,P[kg/mˆ3]密度,S［mˆ2］代表面積)

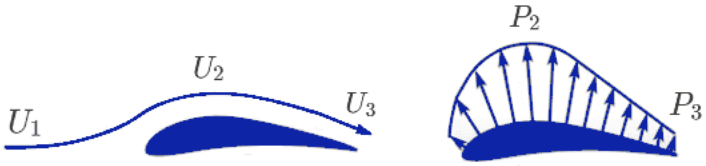
３つ目は進行方向にはたらく力のことである。今回は、輪ゴムの弾性力により発生させる。

４つ目は揚力についてだ。物体が空気中を移動することによって生じる機械的な力であり、大きさと方向を持つ。後に説明するように翼の上面と下面の圧力の大きさの差により生じる力である。また、 発生するには固体の物体が流体(空気や水)中で運動している必要がある。当たり前だが、運動している、つまり流体と固体物体に速度の差があることが必要だ。揚力は次の公式で求められる。

F=1/2pVˆ2 AC

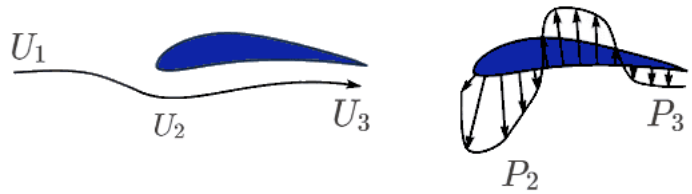
F［N］:指定された揚力方向の力の合成
p［Kg/mˆ3］:流体の密度
V［m/s］:流体速度(物体に対する相対速度)
A［mˆ2］:基準面積
C［次元なし］:揚力係数

翼の上面および下面にはそれぞれ圧力がはたらいている。まずはじめに、翼の上面にはたらく力を考える。今、次のような翼(翼型)の場合を考えることにする。



https://simscale.kke.co.jp/caepedia/computational-fluid-dynamics/lift-drag-pitch/

翼の最も分厚い部分は最も空気(流体)の流れが加速する。
例えるなら川の最も曲がっている部分のさらにその外側は水の流れが速いことと同じことだ。つまり、流速 U2 は流速 U1 を上回る。これにより静圧 P2 は P1 よりも大きくなり、この圧力差によって吸引力が発生して、翼面が上向きに引き上げられる。静圧とは流体の流れに対して垂直に働く力のことである。次に、下面にはたらく力を考える。先程と同様に次のような翼を考える。



https://simscale.kke.co.jp/caepedia/computational-fluid-dynamics/lift-drag-pitch/

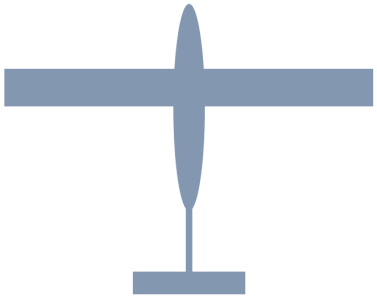
上面と同様に考えると、前縁付近の空気の流れ U2 が加速する。それにより翼が鉛直下向きにはたらく吸引力が発生する。このすこし後方(進行方向において、流体が減速し、圧力が上昇する。このときの圧力は大気圧より大きいため翼形下面を上に押し上げる力が作用する。この圧力分布の結果、上向きの力が作用するのである。

第 3 節　いろいろな飛行機の翼(翼平面形)

世の中にはいろいろな翼があるが、ゴム飛行機にはどのような翼がより効果を発揮するかを検証するため、次に示す 3 つの翼について考えることにする。

［1］矩形翼
［2］楕円翼
［3］複葉機

［1］　矩形翼について



https://syero-bird.hatenablog.com/entry/2018/11/10/%E7%BF%BC%E3%81%AE%E5%B9%B3%E9%9D%A2%E5%BD%A2%E3%83%BB%E7%9F%A9%E5%BD%A2%E7%BF%BC%E3%83%BB%E6%A5%95%E5%86%86%E7%BF%BC%E3%83%BB%E3%83%86%E3%83%BC%E3%83%91%E3%83%BC%E7%BF%BC%E3%83%BB%E3%83%87%E3%83%AB

メリットとデメリット
メリットとしては、単純なので翼を作りやすくかつ、収納が容易にできるため輸送も簡単である。さらに製造コストを削減できる。
デメリットとしては、抵抗が大きいため高速での飛行に向いていないほか、今回の実験テーマである離水には大きな課題となる。

［2］楕円翼について



https://syero-bird.hatenablog.com/entry/2018/11/10/%E7%BF%BC%E3%81%AE%E5%B9%B3%E9%9D%A2%E5%BD%A2%E3%83%BB%E7%9F%A9%E5%BD%A2%E7%BF%BC%E3%83%BB%E6%A5%95%E5%86%86%E7%BF%BC%E3%83%BB%E3%83%86%E3%83%BC%E3%83%91%E3%83%BC%E7%BF%BC%E3%83%BB%E3%83%87%E3%83%AB

メリットとデメリット
メリットは、飛行する時に翼端に発生する翼端渦により生まれてしまう誘導抗力を他の翼平面形に比べて最小に抑えることができる。よって、誘導抗力を最小に抑えることができることから、揚力と抗力の比が最も優れている。つまり、とても飛行が簡単になる。よって、離水の時に発生するとても大きな抗力を少しでも小さくできる。

デメリットは、失速時に図のように翼端から失速するので低速飛行をしている時にスピンを起こしやすい。また、補助翼の有効性が低いため、横方向の制御が難しい。先端が丸いという特徴から生産コストが高くなり、生産性も低い。

［3］複葉機について



https://www.rekishijin.com/17544

メリットとデメリット

メリットは、主翼が 2 枚あるため低速飛行でも大きな揚力を得ることができることである。これによりエンジン性能が低くても飛行することが可能になる。また少ない翼幅で大きな面積を得ることができるため、狭い滑走路でも離陸できる。

デメリットは、上下の翼が互いに干渉することで気流の流れが乱れ、大きな抗力が発生するので高速飛行に向いていないことである。

第２章　ゴム飛行機の離陸

第１節　ゴム飛行機製作

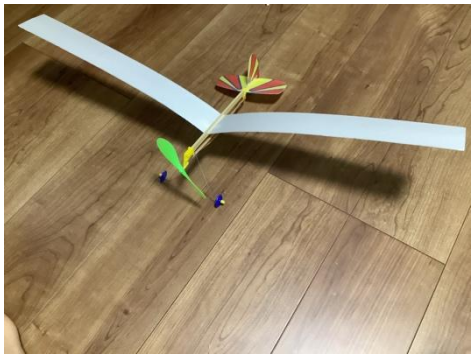
今回は、ゴム飛行機での離陸の実験を行った。この実験の目的は、ゴム飛行機の飛行にはゴムの本数がより強く関係しているのか、または、ゴムの巻き数がより強く関係しているのかを明らかにすることである。

主翼を製作するにあたって、作りやすさの点を鑑みて、私は平面形を矩形翼にすることにした。

次に、翼面積を計算する。翼面積=翼の質量/翼面荷重で翼面積を求めることができる。翼面荷重は飛行速度と関係性があり、水平飛行の最小速度は翼面荷重の平方根に比例している。翼面積の値が小さいほど飛行速度が遅くなる。模型飛行機では 100cm^2 あたり 9～10g が多く、5g 以下になるととてもゆったりとした飛行になる。これは離陸着陸点を測定しやすいという利点があるため、翼面荷重を 5g になるように翼面積を計算する。このゴム飛行機の質量は約 20g であるので、翼面積を 400cm^2 とする。

また、矩形翼は前述した通り、抵抗が大きいので、少しでも揚力を発生させるためアスペクト比の大きい細長い形状の翼をつくる。加えて、翼は 1㎜ 厚のスチレンボードを使用した。断面翼(翼型)は前から 30～40%のところが最も厚くなるようにした。

また、今回の研究は翼をテーマとしており、ゴム飛行機の胴体は研究対象でないため、市販のゴム飛行機を用い、胴体はそのまま使用し、翼のみ製作した。



第２節　先行研究との比較

先行研究の調査では〈第 53 回静岡県学生科学賞 県教育長賞〉を受賞された論文を参考にさせていただいた。この論文では、飛行機のような形をしたものだけでなく、プロペラのみや翼の断面のみを再現した模型を使って、次のようなことを研究しておられた。

先行研究ではある仮定をし、それをもとにした新しい発見をする。そして、それをもとにした飛行機を製作して、飛行実験をして成功したならばよりよく発展できる技術を考え、失敗したならばその原因を追求されているそうだ。

私の実験も先行研究も大きく動力と翼の２つに注目している。動力に関することとして先行研究では遠心力とプロペラの回転数に注目にしている。それに対して、私はゴムの巻き数と本数のどちらがより強く関係しているのかに注目している。先行研究ではプロペラとゴム動力部分のみを再現し、プロペラの先端におもりをつけていた。そして、おもりの質量およびおもりとプロペラの距離(直接つけたり、1㎜ 程度離す)を変えて実験をし、その結果次のようなことがわかったとのことである。Y=1.25X+5(X:おもりとプロペラの距離 Y:プロペラの回転時間)ということがわかり、プロペラを１分間回転させるためのおもりとプロペラの距離は 40㎝ 離せばよいということがわかったとのことである。

また、プロペラが止まったときに逆回転やゴムがねじれなかったことから、ゴムの巻き数とプロペラの回転数が同じということに気づかれたとのことである。つまり、遠心力とプロペラの力は関係がないことがわかったとのことである。

次に、翼に関することとしては、先行研究では断面翼(翼型)に注目しているのに対して、私は翼面積と平面形に注目することにした。

第３節　実験の結果

今回は、1 節のように製作した翼およびゴム動力飛行機を用いて実験を行った。実験を行った場所は室内の床の上で、風はほとんどない状態であった。結果を以下の表にまとめた。

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	計測できず	1.3	0	0
離陸の成否	失敗	失敗	成功	成功	成功

※滑走距離とは加速し始めた場所から離陸した場所までの距離をあらわす。
　滑走距離が 0 は手を離してすぐに離陸したものである。

買ったゴム飛行機の取扱説明書に「200～250 回巻いてください」と書いていたので、成功と言える。ただし、ゴムの巻き数を 1 本だと 200 回以上、2 本だと 150 回以上にするとちぎれてしまった。

第４節　実験の考察

この実験から、ゴム 1 本 200 巻、2 本 100 巻以上だと次のようなことが成り立つとわかった。Y=260/X（X:ゴムの巻き数　Y:滑走距離）このことから、滑走距離はゴムの巻き数に反比例することがわかった。

第３章　ゴム飛行機の離水

第１節　離陸と離水の違い

翼面積は離陸の実験のときよりも大きくしなければならない。なぜならば、離陸のときは、下に車輪がついているため、摩擦がとても小さかったが、離水では水の抵抗、具体的には造波抵抗や粘性抵抗などの機体を不安定にさせる力

や、飛行機の進む向きとは逆向きの力がはたらき、離陸よりも難易度が高くなる。

造波抵抗とは、物体が水の上を進むときに波を作ることによって生じる。そのとき、物体は波を発生させるという仕事をしたのでエネルギーを消費する。力(N)=仕事(J)/距離(m)であることから、物体が水上を動くとエネルギーがそこで消費される。結果的には、物体の進行方向と逆向きの力がはたらくと考えることができる。

次に、粘性抵抗とは、流体内で動く物体に及ぼす摩擦による抵抗力のことで、つまりは摩擦力と同じようなものである。粘性抵抗は粘度に比例しており、粘度つまり粘り気が大きいほど大きくなる。

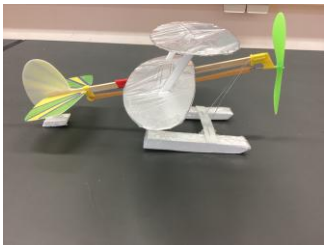
次に、フロートに関して述べることにする。前述したように、離陸のときは地面があったため車輪を使ったが、離水になると車輪を使うと機体が沈んでしまうのでフロートと言われる水に浮かべる部品が必要になる。現在使用されている水上機では、主翼の下に縦(胴体に平行な方向)に長い浮きが２つあるもの(二本足型)と、右の主翼および左の主翼の下に浮きがあり、さらに尾翼の下に尾翼があるもの(三本足型)がある。さらには水上機とは言わずに飛行艇という胴体の下部を平らにして胴体から離着水するものもある。今回の実験では、前述したように市販の動体を使用しているため、飛行艇型には向かないので、フロート型を使用した。

第２節　１回目の実験

第１項　１回目の実験の説明

私は、今回、離水をさせるために何度も実験を行った。そして、それぞれの実験からわかったことを次の実験に活かすという手段をとった。

第１回目の実験では、とにかく実験してみようと作ったものであり、次の写真はこの実験で使用した機体である。



はじめに翼について説明する。この機体では複葉機と言われる翼を使用しており、なぜ複葉機にしたのかというと、ただ単にかっこいいからである。さらに、矩形翼だと後述するように翼面積が大きくなる。つまり、アスペクト比も

大きくなるので重心が分かりづらいということも理由に挙げられる。次に、フロートについて説明する。フロートは三本足型を使った。三本足にすることでより安定すると思ったからだ。フロートの断面および底面積は機体の重量を10g、また、材料は発泡スチロールとして計算した。フロートと胴体を接続する部品は離陸時と同じ付属品を使用した。そして、ゴムの巻き数は離陸の実験との対照実験にするために1本100、150、200巻き、2本100、150巻きで実験を行った。

第２項　１回目の実験の結果

実験は奈良学園中学校高等学校の地学教室で行った。ここでは風がほぼなく、気温は常温である。地学教室の長めのシンクに水をギリギリまで満たし、その上で実験を行った。次の表はその結果をまとめたものである。

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)	なし	なし	なし	なし	なし
離陸の成否	失敗	失敗	失敗	失敗	失敗

このように、離水ができなかった、という結果になった。

第３項　１回目の実験からわったこと

この実験からわかったこと、およびそこから考察できたことは3つである。一つ目は、翼は今回複葉機にしたが、その上の翼と下の翼の固定が緩かったため翼が揺れて揚力が安定して発生できなかったことである。この改善策として接続部分を太くしたり、接続部分にストローを使うなどが考えられる。

二つ目は、フロートが小さいため機体が沈む瀬戸際で浮いていてプロペラを動かすと下向きについているプロペラにより沈んでしまったということである。改善策としてフロートを大きくすることが考えられる。

三つ目は、機体が真っ直ぐに進まないという問題があることである。この原因として、反トルクというプロペラ機特有の力がはたらくことが考えられる。反トルクとは、プロペラが回る力の反作用により発生する力であり、飛行機の尾翼のどちらか片方を厚くすることや主翼のどちらか片方を厚くすることで、この力を打ち消すことができると思われる。

第３節　２回目の実験

第１項　２回目の実験の説明



胴体は１回目と同じものを使い、翼の材料は１回目と同じものを使った。そして、できる限り軽くするため、丸い穴を開けてその上からラップを巻いて翼を防水処理した。2 枚の翼の接続部分は発泡スチレンの板を 2 枚合わせて使った。また、尾翼は正面から見て左側に折り反トルクを打ち消すことにした。次に、フロートについてだが、材料はバルサ木材を使用し、縦 150㎜ 横 50㎜ 重量約 10g のものを左右に使った。

第２項　２回目の実験の結果

実験は１回目の実験と同じ条件で行った。次の表はその結果をまとめたものである。

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)	なし	なし	なし	なし	なし
離陸の成否	失敗	失敗	失敗	失敗	失敗

このように、離水ができなかった、という結果になった。また、ゴムの巻き数が 100 回 150 回だと水の抵抗が大きいため、あまり速度が出なかった。さらに、速度が出ても、プロペラからの下向きの力により沈んでしまった。

第３項　２回目の実験からわかったこと

速度が出なかったのは、フロートの水との接触面積が大きいからなので、フロートを細くする必要があることがわかった。また、フロートの形は船の底に

通ずるものがある。この実験から、船底の前方の傾斜の角度が大きいのは、船が前に傾いたときにより浮力が大きくなって沈むのを防ぐためのものであるということもわかった。

第４節　３回目の実験

第１項　３回目の実験の説明



胴体は第１回目の実験と同じものを使い、翼についてはこれまでの複葉機とは異なり、楕円翼を使った。理由としては、複葉機だと揚力の発生の中心がわかりづらく、下の翼の揚力が上の翼の揚力を阻害するから揚力が小さくなるからであり、そのため楕円翼を使用した。また、フロートを細くして前の方が急勾配になるように削った。そしてフロートが左右に揺れるのを防ぐため、フロートの間も細い板で繋げた。それ以外は２回目の実験と同じである。

第２項　３回目の実験の結果

実験は１回目の実験と同じ条件で行った。次の表はその結果をまとめたものである。

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)	なし	なし	なし	なし	なし
離陸の成否	失敗	失敗	失敗	失敗	失敗

結果として、最後まで離水は成功しなかった。

第３項　３回目の実験からわかったこと

今回の３回の実験を通して１番大きい課題となったのは下向きについているプロペラである。これにより下向きの力が発生していたので前向きのものを使うと離水しやすかったかもしれない。

おわりに

今回の実験は、初めは離陸のみにしようかと考えていたが、予想を上回って簡単にできたので、より難易度の高い離水を試みたが、飛ぶ兆しすらなく失敗してしまった。前述したような原因だけでなく、他の原因もあるだろう。それゆえに、離水の難しさを感じた。やはり実験は思い通りにいかないものだと再確認させられた。しかし、私はこの経験により、ゴム飛行機をより一層離水させたいと思うようになった。

参考文献

『日本航空協会』https://www.aero.or.jp/culture/aviationand-culture/20100415-7497/
『SIMSCALE』https://simscale.kke.co.jp/caepedia/computational-fluid-dynamics/lift-drag-pitch/
『MONO 塾』https://d-monoweb.com/blog/drag-coefficient/
『飛行機のパイロット』https://www.hikouki-pilot.com/effect-of-wing-planform/#google_vignette
『とりの修士論文』
『科学のつまみ食い』
http://kagaku.info/faqpage/%E7%89%A9%E7%90%86%E3%81%AB%E9%96%A2%E3%81%99%E3%82%8B%E8%B3%AA%E5%95%8F/%E6%B0%B4%E9%9D%A2%E3%82%88%E3%82%8A%E6%B0%B4%E4%B8%AD%E3%81%AE%E3%81%BB%E3%81%86%E3%81%8C%E9%80%B2%E3%81%BF%E3%82%84%E3%81%99%E3%81%84%E7%90%86%E7%94%B1%E3%81%AF%EF%BC%88%E9%80%A0%E6%B3%A2%E6%8A%B5
『高校生から味わう理論物理入門』https://manabitimes.jp/physics/2324
『JAXA 航空技術部門』https://www.aero.jaxa.jp/topics/column/0202.html
『ボクのヒコーキ』https://hirokazu65.com/2025/08/10/biplane-advantages/
『歴史人』https://www.rekishijin.com/17544

〈第 53 回静岡県学生科学賞 県教育長賞〉 https://gakusyu.shizuoka-c.ed.jp/science/sonota/ronnbunshu/092009.pdf