

# 未来ののりものの研究 part 2

## ーカーブチューブの中を表面効果で飛ぶ飛行機ー

つくば市立並木小学校 5年 山本 泰理

### 1. 背景と目的

昔の未来予想図には透明なチューブの中を飛ぶ飛行機や列車が描かれている。チューブの中なら、安全で効率的な高速移動体を飛ばせると考えたからだと思う。しかし現在になっても実現されていない。そこで本研究では、昨年度からチューブの中を飛行する飛行機の研究を開始した。図1のように翼を円筒面に沿わせることで、翼と円筒面との間の空気が圧縮されて揚力が大きくなる「表面効果」を利用した飛行機を開発した。昨年度の実験は半円形の雨どいを用いたが、本年度から透明な円筒状のチューブを用いて、直線およびカーブしたチューブで飛行できるか検証した。



図1 半円のガイドの中を飛ぶ飛行機

### 2. 表面効果について

翼が地面に近づくと翼と地面の間で空気が圧縮され揚力が大きくなる。これを表面効果(地面効果)という(図2)。これまでに海面すれすれに飛ぶ表面効果翼機や、高架のガイドウェイを飛ぶ航空機が提案されている。表面効果は地面との距離が近くなるほど大きくなる。チューブの中の飛行機は、翼をチューブに接近できるので表面効果がとても大きくなる。だから翼を小型化でき、エネルギー効率がいい飛行機を作れるはずである。

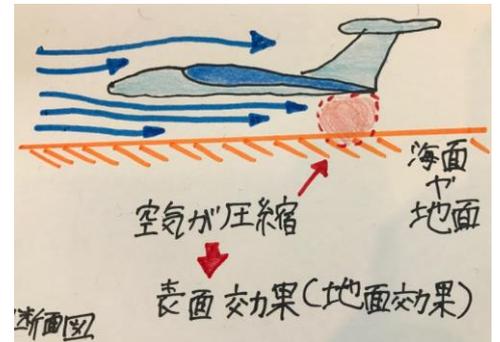


図2 地面近くを飛ぶ翼の表面効果

### 3. チューブの中を飛ぶ飛行機の研究

#### 3.1. 熱成形による曲面翼の作製

翼に用いているスチレン製の薄板(1mm厚)は90~100°Cで柔らかくなることから、図3のようにチューブの内面にスチレンペーパーに沿わせ、シートヒータを重ねて加熱することで、チューブの内面に合った翼を製作した。50秒加熱すると、内面にピッタリ合う形状に成形できた。冷却後も形を保っていた。

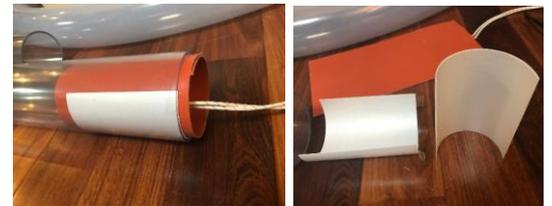


図3 熱成形でスチレンペーパーを曲げ曲面翼を作った。

#### 3.2. カーブチューブの作製

チューブの中を飛ぶ飛行機を実用化するには、直線ルートだけでなく、カーブしたルートも飛行できる必要がある。そこでカーブルートの実験をするため、塩化ビニルパイプを円弧状に曲げてカーブチューブを製作する。塩化ビニルは、70~90°Cに加熱すると軟化する。そこで、図4のように中に水とヒータを入れ加熱し、軟化させてから、円弧上に曲げてカーブチューブを作製した。用いた塩化ビニルパイプは内径89mm、長さ2mである。曲げる際につぶれてしまわないように内径と同じ径のアルミダクトを



図4 塩化ビニルパイプにアルミダクトと水を入れ、90°Cに加熱して円弧状に曲げた。

内部に入れた。トランポリンの外枠にベニア板を貼って円弧の型を作り、それに沿わせてカーブさせた(図 5)。水温が 90°Cに達すると、チューブが柔らかくなり曲げることができた。曲げた後、半日以上自然冷却した。冷却した後も円弧上の形状を保った。全体的にやや白濁した。



図 5 曲げられた塩化ビニルパイプ

### 3.3. 直線ルートでの主翼位置と飛行距離の関係の実験

表面効果を使って飛ぶ飛行機は、空中を飛ぶ飛行機とは揚力と重力のバランスが異なるため、改めて機体のバランスのとり方を研究する必要がある。また、昨年度とは違い、今年はチューブ状であるため、尾翼の横幅や機体の高さに制限がある。そこでまず、チューブの中でも表面効果を用いた飛行機が飛行できるか検証した。図 6 のように、長さが 1cm ずつ異なる 4 種類の主翼を作った。機体に定規をコピーした紙を張り付け、主翼を 1cm ずつずらして取り付けて実験した。直線状のチューブを、2 本つないで約 2m として、チューブ内部に輪ゴムを挟んだクリップをテープで固定し、ゴムの端に 0cm が来るように定規をコピーした紙を張り付けた。飛行機本体の機首下のフックにゴムをひっかけ、定規の目盛りをみながら引く量を一定にして実験した。翼とその位置の組み合わせごとに、ゴムを引く量 10~25cm まで変化させて実験した。測定結果を図 7 に示す。

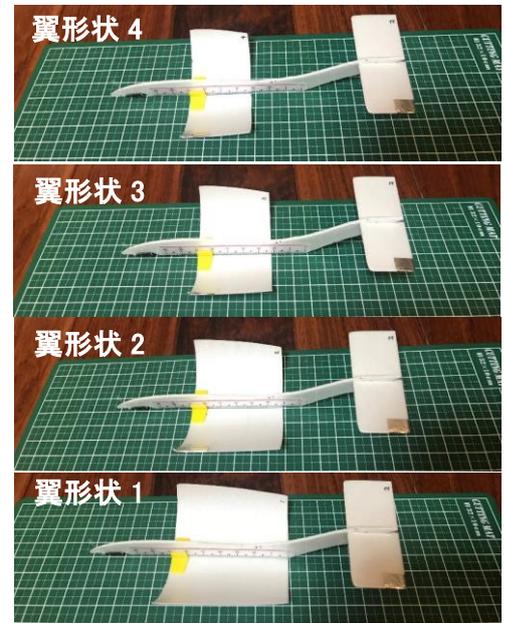


図 6 長さの違う 4 種類の曲面翼の機体

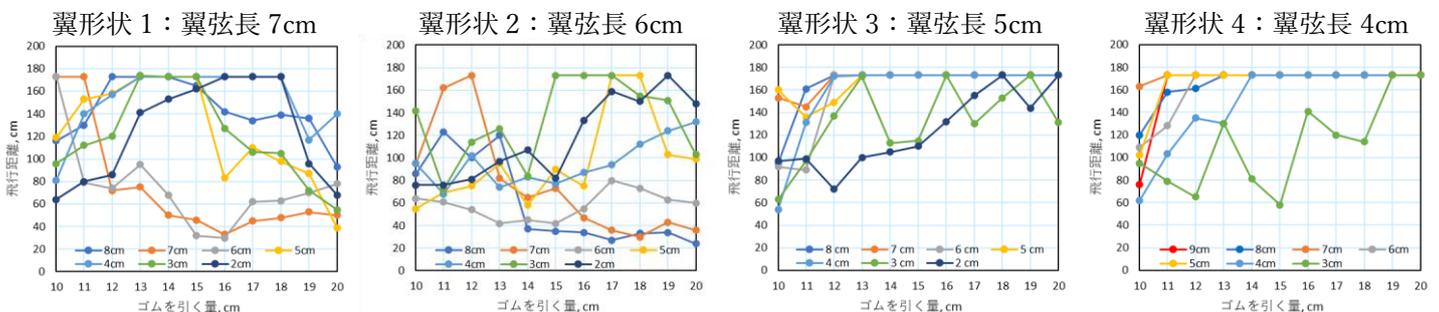


図 7 4つの翼形ごとに主翼の位置を 2~8cm の範囲で変えつつゴムを引く量と飛行距離の関係を測定した結果

ゴムを引く量を増やしていくと、速度が速くなるため、空中を飛ぶ普通の飛行機なら飛行距離は長くなる。しかしチューブの中の飛行機では飛行姿勢が崩れるとすぐに上下の壁に当たって飛行距離が短くなってしまった。飛行姿勢に注目すると、図 8 のように前側が浮き上がる場合と、水平に飛ぶ場合と、後ろが浮き上がりやがて転覆する場合の 3 つの状態があった。

翼形状 1 や 2 は、比較的面積が広く揚力が大きい。そのためバランスが崩れるとすぐに飛行状態がタイプ A やタイプ C になり、飛行距離が伸びなかった。一方、翼面積が小さい翼形状 3 や 4 は、水平飛行してチューブを通過できた場合が多かった。

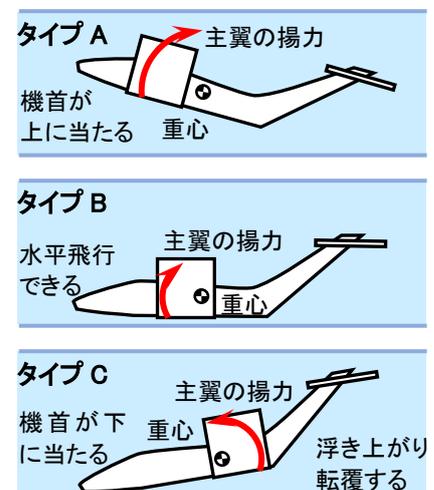


図 8 チューブの中の 3 つの飛行状態

主翼位置が7~8cmでは、特に翼形状1や2の場合にはタイプAの飛行状態となった。一方、主翼位置が2cmや3cmの場合は、すべての翼形状でタイプCの飛行状態となった。翼形状1の4cm、翼形状3の7cm、翼形状4の8cmでは水平飛行になりよく飛んだ。よく飛ぶ条件は、面積が大きく揚力が高い翼形状ほど主翼が尾翼に近く、面積が小さいと尾翼から離れることから、「主翼の揚力×重心の距離」と、「尾翼の揚力×重心の距離」が等しいと考えられる。この実験から、チューブの中の飛行機を、飛行姿勢を崩さずに飛ばす条件が見つかった。

### 3.4. カーブチューブでの飛行の検証

次にカーブしたルートでも、表面効果を使って飛ぶ飛行機が飛行できるか検証した。直線ルートでは、翼形状4のような、揚力が小さい翼でも、水平が保たれれば通過できたが、カーブしていると翼形状3のようにしっかり揚力がある翼の方がよく飛ぶのではないかと予想した。

3.2で製作した曲線チューブ(2m)に、直線チューブ(1m)を取り付けて合計3mのルートにして実験した(図9)。3.3の実験でよく飛んだ翼形状3と4の飛行機を用い、主翼の位置を4~9cmまで変化させて飛行距離を測定した。測定結果を図10に示す。

カーブに入っても、ほとんどの場合で水平飛行状態が保たれていて、滑らかに飛行した。ただし主翼先端の位置が4cmの場合は、翼形状3、4のどちらも機体の後ろが浮かび上がり、カーブの途中でよく転覆した。翼形状4は、直線ルートの時にはよく飛んだが、カーブでは翼が壁に当たってしまい飛行距離が短くなった。結果的に翼形状3で翼先端6cmの時が最もよく飛んだ。

### 3.5. 傾斜したカーブチューブでの飛行の検証

3.4の実験でカーブの途中で止まった飛行機を取り出すとき、チューブを傾けると、スルッと滑らかに飛行機が飛ぶことを発見した。そこで、ルート全体を図11のように少し傾けた状態で、これまでと同様の飛行実験を行った。傾いたルートでは飛行機が緩やかに下降することから、重力が推進力になって、よく飛ぶのではないかと予想した。また、傾いたチューブと主翼の間に空間が生まれ、大きな表面効果が発生し、滑らかに飛行できるのではないかと予想した。



チューブ内の輪ゴムと目盛り

図9 カーブした実験ルート

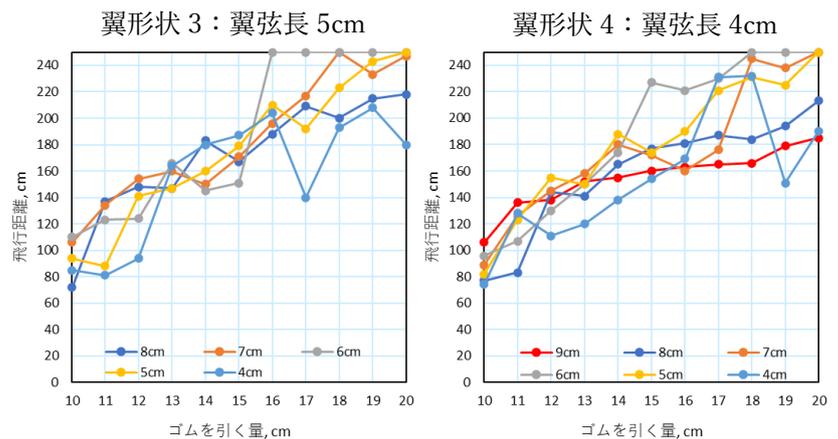


図10 カーブした実験ルートでの実験結果



レベル調整バンド

図11 レベル調整バンドで傾斜させた実験ルート

配管用のレベル調整バンドを用いて、1m進むと約3cm下がるように傾けた。飛行機は、これまでの実験で最もよく飛んだ翼形状3を用いた。さらに図12のようにカーブチューブ2本をつなぎ、一回転できる実験ルートも作り実験した。



図12 カーブしたチューブを増設し、ほぼ一回転できるようにした実験ルート

傾けたチューブを使って飛行距離を調べた結果を図13に示す。カーブチューブに傾斜をつけることにより、速度が落ちてきてもそこからフワッと浮くようになって飛行距離がさらに伸びるようになった。水平状態よりもチューブ内を通過できるケースが増え、ゴムを引く量が小さい場合でも通過できていた。この結果を受けて、カーブルートをさらに延長して実験したところ、図14のように翼形状3で主翼先端が6cmの時には3m40cmまで飛ばすことができた。このことから、チューブの中を飛ぶ飛行機は、チューブを傾けると効果的であることがわかった。

#### 4. 研究のまとめと今後の展望

チューブの中を、表面効果を使って飛ぶ飛行機を研究した。今年は、透明な塩化ビニルパイプを用い、カーブしたチューブを作って実験した。チューブの中でも安定して飛行できるように、主翼の面積や位置、尾翼等の最適な組み合わせを研究した。主翼の揚力を作る回転力と尾翼の揚力を作る回転力が釣り合う条件にすると安定して飛行することがわかった。カーブしたチューブでも実験し、カーブルートでも飛行できることを実証した。さらにチューブを進行方向に向けて傾けることでいっそう飛距離が伸びることがわかった。

今後はさらに長い飛行距離を目指して、翼形状の改良を研究したい。また、チューブの中を飛ぶ飛行機の動力をどのようにしたらいいかも研究テーマとしていきたい。

#### 参考文献

- [1] キッズベディアアドバンス、航空機のひみつ
- [2] 鈴木真二、飛行機が飛ぶわけー紙飛行機を上手く飛ばす科学(1)～(4)
- [3] 東北大学 未来科学技術共同研究センター 小濱研究室ホームページ「エアロトレイン」

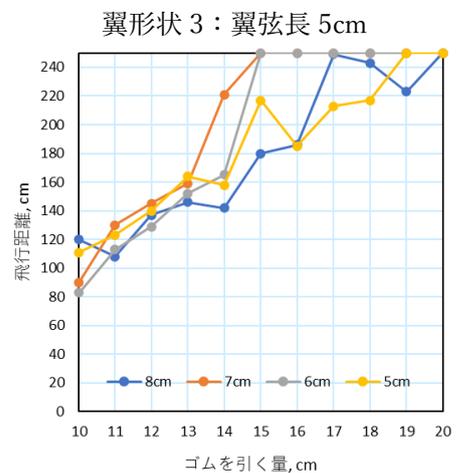


図13 傾けたルートでの実験結果

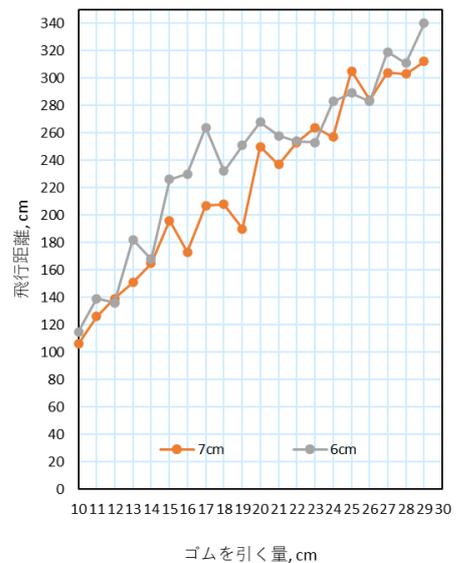


図14 ループした実験ルートでの飛行実験の結果