

## 翼にはたらく揚力の体験学習のための教材開発

## Development of Educational Material for Experimental Learning of Lift on Aerofoil

山本 剛宏\*

Takehiro Yamamoto\*

**Abstract**

An educational material for experimental learning of the lift on an aerofoil was developed. The material consists of a model plane, a fixed base, and an air blower. Two types of toy planes were employed as the model plane. The detail of a way of making the educational material is indicated in the present article. Using this material, students can realize the dependence of the lift on both the air speed and the attack angle of wings. Phenomenon that a model plane is lifted up by the force generated by utilizing the flow will be impressive for students.

**1. 緒言**

飛行機を飛行可能とする揚力 (lift) は, 流体によって引き起こされる力の工学利用の代表例であり, 流体力学の講義の中でも取り扱われる. 大阪電気通信大学工学部機械工学科におけるカリキュラムでは, 揚力は3年次前期の流体力学2の講義の中で説明される.

ここでは, 小学生から高校生を対象とした体験学習やオープンキャンパスにおいて翼にはたらく揚力によって飛行機が上昇する挙動の体験実験を行うために開発した学習教材を紹介する. 本教材は, 比較的入手しやすい材料を用いて製作しているため, 本稿を参考に容易に製作が可能であると思われる. 揚力の体験実験に関しては, 例えば, 日本機械学会流体工学部門のホームページで, 翼にはたらく揚力の実験動画<sup>[1]</sup>が公開されている. また, 一般向けの成書<sup>[2]</sup>に, 翼にはたらく揚力の簡単な実験装置が紹介されている. これらは翼の模型を使った実験であるが, 本教材では, 飛行機が飛んでいる様子をイメージしやすくするために, 機体も含めた形で実験できるように工夫した.

**2. 揚力の説明**

体験実験に先立って, 揚力 (必要に応じて, 抗力も) とはどのような力かを説明し, 高校生や中学生を対象とする場合, 揚力の発生メカニズムを説明する. 揚力の発生メカニズムの説明には, 流線曲率定理に基づくものや, コアンダ効果による翼付近の流線の曲がりとその駆動力である向心力に基づく説明など何通りかの方法がある<sup>[2]</sup>.

翼にはたらく揚力  $F_L$  は次式のように表される.

$$F_L = C_L \frac{\rho v^2}{2} A_p \quad (1)$$

\*大阪電気通信大学工学部機械工学科

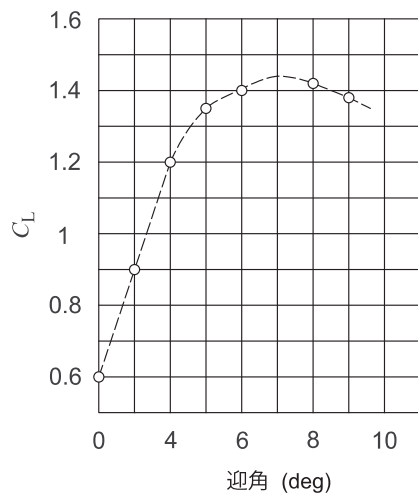


図1 揚力係数  $C_L$  の迎角依存性の模式図



図2 教材外観

ここで、 $C_L$ は揚力係数 (lift coefficient),  $\rho$ は流体密度,  $v$ は流速,  $A_p$ は翼投影面積である。

したがって、揚力は流速と揚力係数に関係し、流速が速いほど、揚力係数が大きいほど大きな揚力が発生する。体験実験と関連して、このことを説明しておく。さらに、揚力係数は翼の迎角 (attack angle) に依存し、ある程度の迎角を付けておくと揚力係数を大きくできる (図1) ことも述べておく。小学生や中学生を対象とする場合には、流速が速くなると揚力が大きくなることのみを説明すれば良いと思われる。

体験実験では、流速を徐々に上げながら機体の挙動を観察することで、参加者に揚力の特徴を実感させる。また、機体の傾きを変えることで、迎角の影響も調べることができる。

### 3. 教材の構成

#### 3.1 外観

本装置は、機体部分、手持ち型の機体固定部、送風装置から構成される。図2に機体部分と機体固定部の外観を示す。以下では、各部分の詳細について説明する。

#### 3.2 機体部分

機体には2種類の市販の玩具飛行機を使用した。ひとつは、LYONAECC<sup>®</sup>製 (輸入・販売元: 株式会社 あおぞら) のゴム動力飛行機 (ヒストリープレーン・シリーズ) である (図3)。図3に示した機体 (L. Vega, item No.12602) で、翼長が約290 mm, 全長が約260 mm, 重量15 g (ストロー込み) である。実験時には、動力発生用のゴムは取り外して使用する。プロペラは不要であるが、実験の際に風速の変化がわかりやすいので、付けておくと良い。購入価格は1000円 (税抜き) であった。もう一方は、ツバメ玩具製作所のソフトグライダー (図4) で、翼長が約220 mm, 全長が約200 mm, 重量5.6 g (ストロー込み) である。販売価格が100円程度と安価であり、小学生でも簡単に組み立てることができるため、機体の製作も含めた体験学習にも適していると思われる。

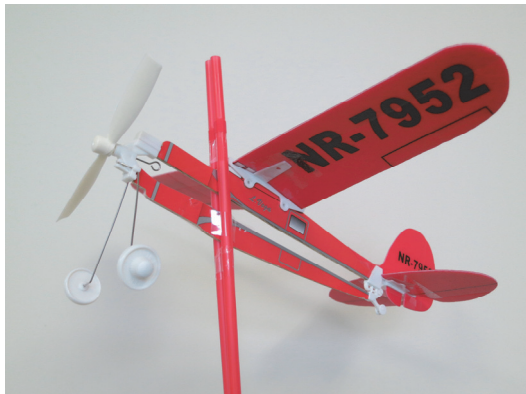


図3 機体1



図4 機体2

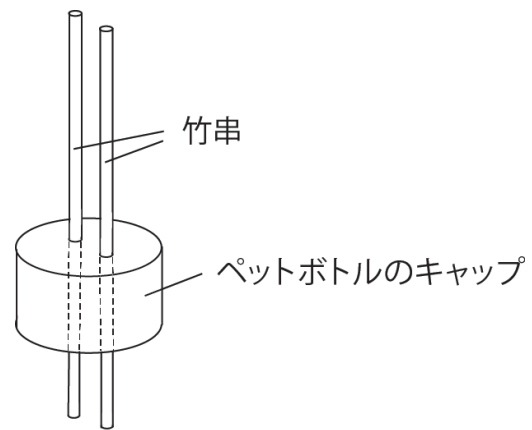
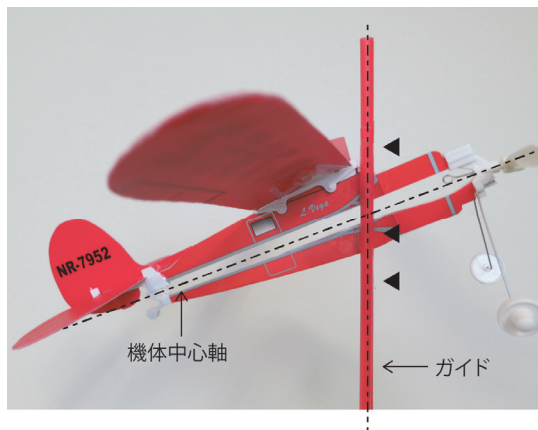


図5 機体とガイドの配置（左）および機体固定部のキャップ部分概略図（右）  
 黒三角（▲）で示した箇所とガイド（ストロー）の下方先端付近をセロハンテープで止めている。輪ゴムを使用する場合は、一番上と一番下の▲の位置で固定する。

以下では、前者を機体1、後者を機体2と呼ぶ。機体1では、翼が曲面になっているが、機体2の翼は平板翼である。しかし、平板翼であっても揚力が発生するので、実験上の問題はない。

各機体を作成した後、図5に示すように、機体を両側から2本のプラスチック製ストロー（内径約5mm、長さ約220mm）ではさみ、セロハンテープまたは輪ゴムで固定する。その際に、機体はストローに対して垂直に取り付けるのではなく、迎角を付けるように取り付ける（図5左）。ストローは機体が上昇する際のガイドの役割をする。直径の小さなストローの使用は、竹串（後述）との抵抗が大きくなるため避けた方が良い。

### 3.3 機体固定部

機体はペットボトルを利用して製作した機体固定部に取り付ける（図2）。実験者は機体固定部を手で持って、送風機の前に機体を持っていく。実験時の持ちやすさを考慮し、機体固定部には500～600mLサイズのペットボトルを使用した。

ペットボトルのキャップ部分に2個の穴を開けて、それぞれの穴に竹串を差し込む(図5右)。機体に取り付けたガイド(ストロー)に竹串を差し込み、機体を固定する。2本の竹串はできるだけ平行になるように設置し、キャップ部分から14~15cm程度外側に飛び出させる。この長さが短いと、風量を細かく調整できない送風機を使用した場合に、機体が急上昇し、固定部から飛び出してしまう可能性がある。竹串を差し込む穴の間隔は、使用する機体の大きさとストローの径によるが、概ね5~7mm程度である。

ペットボトルをほぼ鉛直に持つと、自然に迎角が付いた状態に機体の姿勢を設定することができる。また、ペットボトルに水を入れることで、機体を机等の上に置いた状態で実験を行うことも可能である。

### 3.4 送風機

送風機として、DCモータースタンド扇(YUASA, YSD-455Y, 5枚羽根, ファン径45cm)を使用した。本装置は工場などで使用する比較的大型の送風機で、機体1の場合、本装置程度の風速を発生することができる送風機が望ましい。機体2の場合は、機体重量が軽いため、家庭用の扇風機でも実験可能である。迎角の付け方にも依存するが、機体上昇時の機体先端付近の位置で風速を風速計(KANOMAX, ANEMOMASTER LITE Model 6006)で測定したところ、機体1で約6m/s、機体2で3m/sであった。また、本装置では風量を無段階で調整することができる。風量を細かく調整できることは、実験実施上有用である。

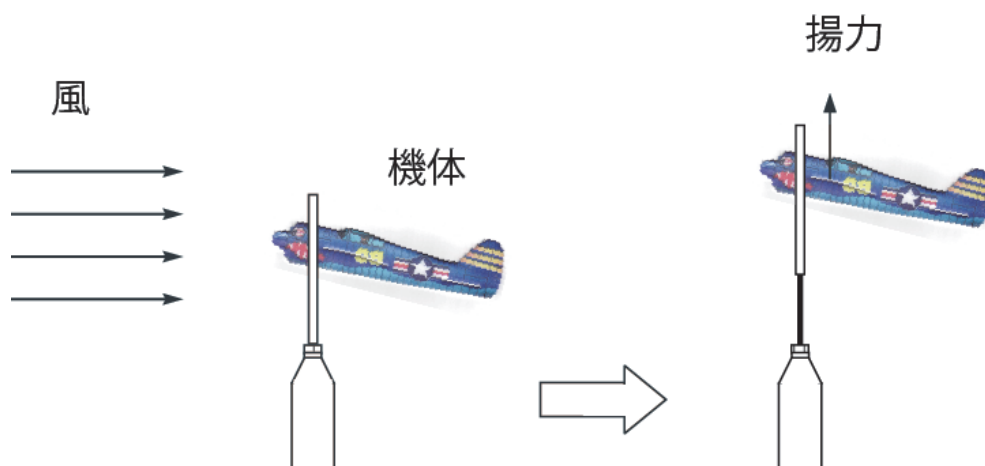


図7 機体上昇時の挙動の概略図

## 4. 体験実験の実施方法

ここで、体験実験の実施手順を示す。

- (1) 送風機を停止した状態で、装置を送風機の前で持つ。実験者は送風機の正面ではなく、側面に立つ方が良い。
- (2) 風速を徐々に上げていく。
- (3) ある風速で、翼にはたらく揚力が重力より大きくなり、機体上昇する(図7)。

(4) ペットボトルを持つ角度を変えることで迎角が変わり、揚力が変化の様子が見られる。

一般に、扇風機の風は場所によって風速にムラがあるため、機体が上昇せずに実験がうまくいかない場合は、機体の位置を変えてみると良い。

さらに、発展実験として、翼の揚力係数の見積もりを行うことができる。ハンディ風速計を用いて、機体が上昇したときの風速を測定すれば、式 (1) より揚力係数を計算できる。また、異なる機体（例えば、機体 1 のシリーズの別タイプの機体）について実験を行い、異なる翼の揚力係数の比較を行い、機体の挙動の違いを比較してみても面白い。

## 5. 結言

本稿では、翼にはたらく揚力の効果を実感するための体験学習用に開発した教材を紹介した。本教材では、市販の玩具飛行機を利用することによって、揚力により機体が上昇する現象を視覚的に捉えやすくし、実際の飛行機に揚力がはたらく様子をイメージしやすいように工夫した。また、流速の上昇によって揚力が大きくなる現象や迎角によって揚力が変化の様子を観察できるなどの特徴がある。さらに、本教材を利用した発展実験も考えられ、本教材は発展性の高い教材であると考えられる。

## 参考文献

- [1] [http://www.jsme-fed.org/experiment/2010\\_2/002.html](http://www.jsme-fed.org/experiment/2010_2/002.html) (accessed on 1 November, 2018)
- [2] 石綿良三, 根本光正, 日本機械学会 編, 流れのふしぎ, 講談社 (2004)