

竹とんぼの形状と飛行に関する研究

井上 創太 森前 凌介

【概要】

動力を用いることなく飛行する竹とんぼは、飛行機のプロペラなどとは違い、最初に与えられた回転だけで飛行するため、空気抵抗の影響を受けやすい揚力の大きい形の羽は飛行しにくくなる。本研究は竹とんぼの飛行に羽の形状がどのように影響するのかを調べるために、迎え角（羽のひねり）の違いが飛行にどのように影響するかを調べた。

竹を加工し、迎え角が 15 度、20 度、25 度、30 度の羽を作成し、実験を行った。回転数を固定して飛行させた実験では、迎え角が大きくなるにつれて飛行高度が高くなり空気抵抗の影響は見られなかった。また、発射装置に与える電圧を固定すると、羽の迎え角によらず飛行高度が近い値をとることが分かった。

実験 1 の結果から、30 度の迎え角では空気抵抗の影響による飛行高度の低下は起こらないということがわかった。また、迎え角により最高速度の違いがみられたが、最高速度に達した後の飛行の様子は同じようになることから、飛行高度に影響を与えているのは飛行の最高速度であると考えられる。

Taketonbo is a traditional Japanese toy. And we can learn general principles of flight by studying it. We studied the flights of different shaped wings. We found that the wing with greater angle of inclination flew higher, however the wings with too great an angle of inclination didn't fly as high. We learned that the greater the angle becomes the higher the object flies. In the future, we will study different ratios of length and width.

【研究動機・目的】

飛行するものと、流体の運動に興味があり、身近な飛行物体として竹とんぼに注目した。単純に見える竹とんぼだが、様々な要因がその飛行に関係している。その関係を実験により解明し、よりよく飛ぶ竹とんぼを作りたいと思い、研究を行った。

様々な形状の竹とんぼを飛行させ、その飛行を分析することからより性能の高い竹とんぼを作成することを目的とする。本研究では、竹とんぼの性能を飛行高度の最高点で評価することにした。

【仮説】

竹とんぼが回転方向に回転すると、羽の前方にある空気が下に押し下げられ、その反作用が揚力として竹とんぼを上昇させる。

このときの揚力は次の式で求められる。

$$L = \frac{1}{2} \rho s v^2 C_L$$

L : 発生する揚力
 ρ : 流体の密度
s : 羽の面積
v : 流体の速度
 C_L : 揚力係数

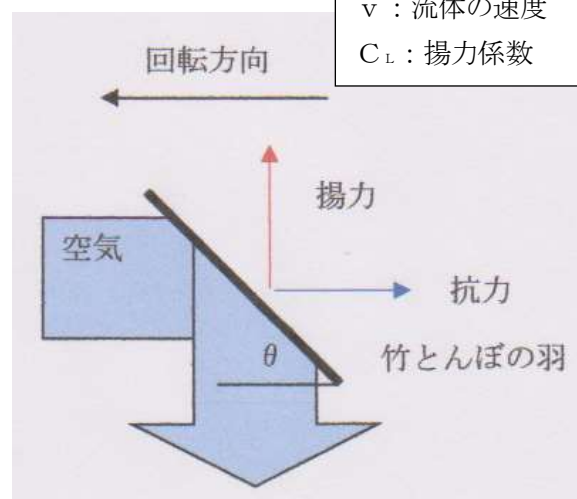


図1 揚力・迎え角

竹とんぼにおいて、流体の密度と羽の面積は一定であるから、揚力は回転速度と揚力係数で

決まることになる。ここで、羽の断面は正方形であるから、揚力係数は図中に θ であらわした迎え角によって決まる。迎え角が十分に小さいとき揚力係数は迎え角が大きくなるほど大きくなる。しかし、迎え角がある程度を超えると、羽の周辺の空気が剥離を起こし揚力が低下する。このときの迎え角を失速迎え角といい、失速迎え角を越えると揚力は低下する。

竹とんぼの場合、ヘリコプターのように回転数が一定に制御されている羽と異なり、はじめに与えられた回転の運動量のみで上昇するため、空気の抗力により回転速度が低下してしまう。そのため、竹とんぼの飛行高度は迎え角が失速迎え角よりも小さい値のときに低下を始めると考えられる。

【実験器具・材料】

竹 のこぎり ナイフ やすり 万力
ガスバーナ アルミホイール 直流電流装置
スタンド ハイスピードカメラ

【実験装置の製作】

(1) 竹とんぼの作成

実験の6か月前に竹を採集し、十分に乾燥させる。横120mm、縦20mm、厚さ2mmに削りだし加工する。

対角線の交点とその左右6mmの地点3か所に、直径3.0mmの穴をあけ、発射装置に装着できるようにする。また、重心が中心に来るようにしながら、重量を2.50~2.80gに調整する。

均等に加熱されるようアルミホイールで加工した竹を包み、ガスバーナで加熱して曲げ加工を行う。迎え角15度、20度、25度、30度の羽を作成する。



図2 竹とんぼに穴を開けた様子



図3 完成した竹とんぼ。

右から、迎え角30度、25度、20度、15度

(2) 発射装置の作成

シャフトに固定することのできるギアの中心から6mmの地点に1.5mmの穴を開け、竹を直径1.5mmの円柱状に加工したものを差し込み、接着する。

回転数が上がりきる前に竹とんぼが上昇するのを防ぐため、羽を固定するには金属製の重りを軸に通す。



図4 発射装置

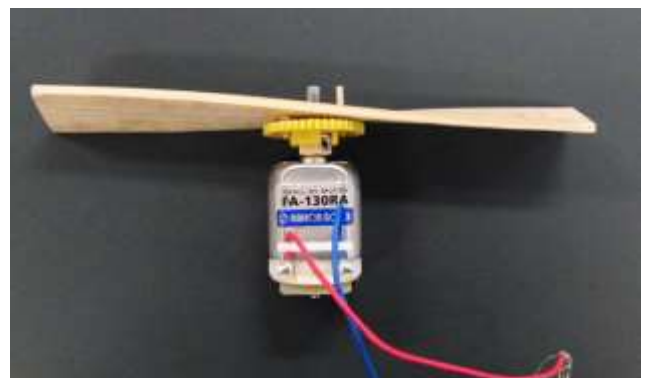


図5 竹とんぼを装着した状態

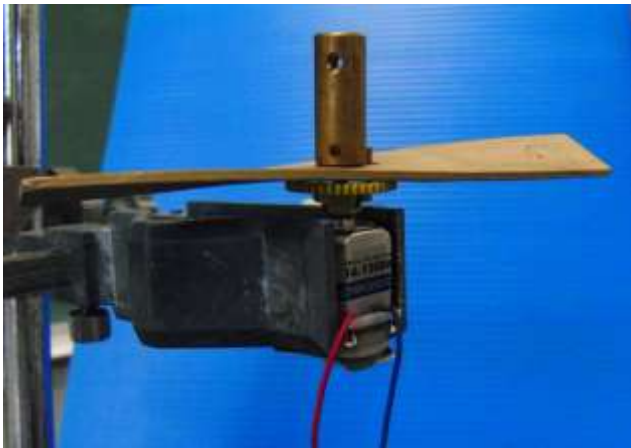


図6 重りを載せて固定した状態

(3) 装置の配置

発射装置を直流電源装置に接続し、目盛りのついた段ボールの前で竹とんぼを飛行させ、その様子を動画で撮影し飛行高度を測定する。



図7 装置の配置

【実験方法】

実験①

迎え角と飛行高度の関係

実験で使用した直流モーターにかけられる最大電圧で、もっとも回転しにくい迎え角 30 度の羽を回転させたときの回転数である 52Hz に回転数を合わせ、ほかの羽を回転させその飛行高度と垂直方向の速度の変化を測定する。

実験②

回転数と飛行高度の関係

回転数を変化させ、羽の飛行高度の最高点の変化を測定する。

実験③

発射装置に与える電圧と飛行高度の関係
発射装置に与える電圧を変化させて、羽の飛行高度の最高点の変化を測定する。

【実験結果】

実験①

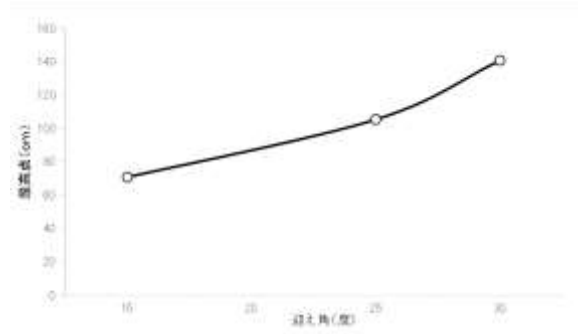


図8 迎え角と飛行高度の最高点の関係

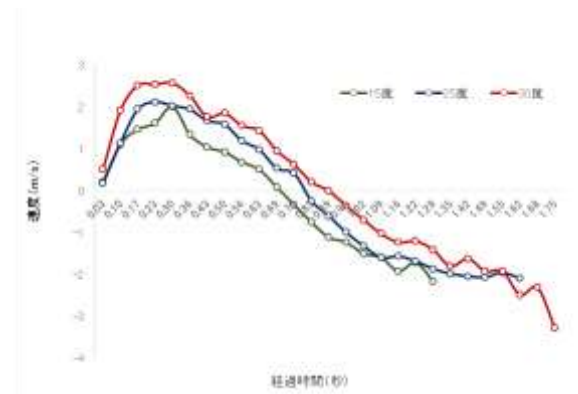


図9 飛行中の速度の変化

迎え角 20 度の羽は垂直に上昇せず、正確なデータを計測できなかった。

実験②

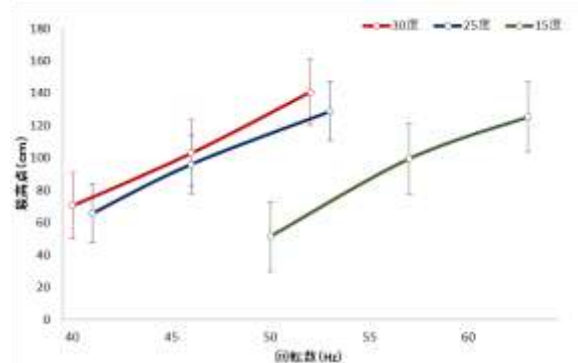


図10 回転数と飛行の最高点の関係

実験③

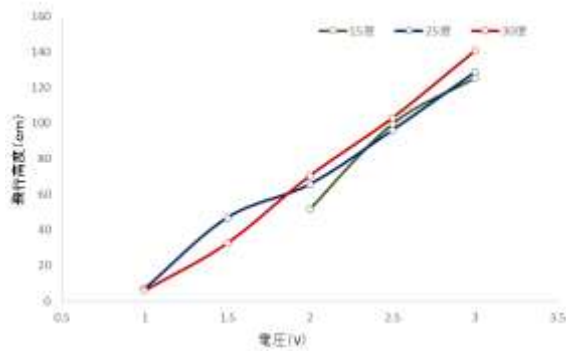


図 11 電圧と飛行高度の最高点の関係

【考察】

実験①の結果から、迎え角が大きくなるにつれて飛行高度が高くなることが確認された。このことから 30 度の迎え角では空気抵抗の影響による飛行高度の低下は起こらないという事がわかった。また、迎え角により最高速度の違いがみられたが、最高速度に達した後の飛行の様子は同じようになることから、飛行高度に影響を与えているのは飛行の最高速度であると考ええる。

実験②、③からは回転数を固定すると迎え角の大きい羽根の方が高く飛ぶことがわかったが、モーターに与える負荷を固定すると飛行高度は迎え角の大きさよらず一定の割合で上昇することがわかった。

【参考文献】

- ・秋岡芳夫 竹とんぼからの発想
復刊ドットコム、2011、257 p.
- ・松本修身 作ろう・飛ばそう 竹とんぼ
パワー社、2006、214 p.
- ・松本修身 竹とんぼ・作り方／飛ばし方のコツ
パワー社、2006、223 p.