

# インドア飛行機の自動制御及び、それに搭載する画像処理システムの開発 ～自動離着陸の実現～

著者:井口 昇之 共同研究者:上杉 廉 指導教員:高久 有一

## 1. 研究背景・研究目的

飛行ロボットは 3 次元空間を自由に移動できるという大きな特徴を持つ。この特徴から、人が自由に移動できない場所でも活動でき、同時に人間の生活空間へ干渉しないという利点を持つ。そのため、被災地支援、空撮、郵便配達等で飛行ロボットの活躍が期待されている。しかし、飛行ロボットを人の手で操作することは大変困難である。そこで、本研究は飛行ロボットを自動制御による簡単な操縦を目指す。

先行研究では、H27 年度に自動制御により水平旋回飛行、八の字飛行、上昇旋回飛行などが行われた。また、H28 年度にシリアル通信を用いて受信機から操作情報を受け取ることでシステムの軽量化、汎用性の向上が行われた。しかし、さらなるシステムの汎用性の向上、制御手法の改良が望める。加えて、模型飛行機の視覚情報を用いた制御を行うために、前段階として画像処理による光源の追従を行った。しかし、実用までは至っていない。本研究は、これらの先行研究のシステム等を改良し自動離陸、自動着陸を行う。また、先行研究の画像処理システムを改良する。

## 2. システム概要

図 1 にシステムの全体図を示す。システムは自動飛行制御部分と画像処理部分に分けられる。送信機の情報や、センサの情報、またカメラから得られる視覚情報をもとに制御が行われる。送信機から受信機へ送られた操作情報はシリアル通信で Arduino Mega Mini へ送信される。SBUS 規格のシリアル通信を用いてレシーバから全 16 チャンネルのデジタルな操作情報を得る。センサの情報は I2C 通信でマイコンに送信される。最終的に制御信号としてマイコンがサーボへ PWM 信号を出力する。I2C 通信でカメラモジュールのレジスタの内容を書き換える。マイコンが出すクロック信号に応じて次の画素のデータが出力される。

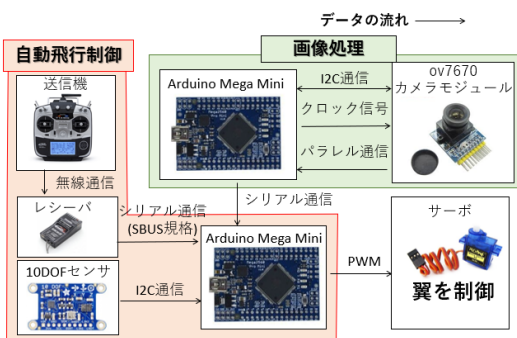


図 1 システム構成図

## 3. 自動離陸・自動着陸

自動離陸時は時間に比例してパワーを上げ、約 2 秒後に最大値の約 70%程度のパワー出力とする。迎え角約  $14[^\circ]$  を維持するようにジャイロセンサを用いてピッチングを制御する。ピッチ方向の角速度  $0[\text{rad/s}]$  のとき機体の姿勢が維持される。したがって目標値を  $0[\text{rad/s}]$  とし、センサの値と目標値の差に比例した制御量を出力する。迎え角は図 2 の  $\theta$  のように求められる。 $G$  は重力加速度である。加速度センサを用いて迎え角を求めることが可能である。また、目標の迎え角を目標値とし、目標値とセンサの値の差に比例した制御量を出力する。離陸時、速度上昇のため  $x$  軸負の方向の加速度が働く。したがって、センサが計測する迎え角は、実際より大きくなるため、目標値を  $1[^\circ]$  から  $2[^\circ]$  大きくする。また、ヨー方向ジャイロの積分値からラダーの制御量を求め直線的に離陸させる。

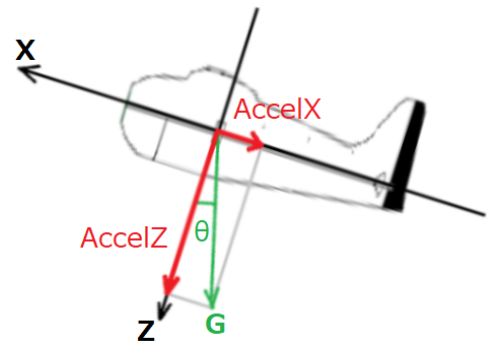


図 2 機体の迎え角

自動着陸は、時間に比例してパワーを下げ、約 5 秒後にプロペラを停止させる。同時に、姿勢維持による直線飛行を行う。また、ラダーの制御はロール方向ジャイロの値を用いて求める。しかし、減速により舵が効きにくくなるため、着陸前は機体にある程度の迎え角がついている必要がある。そこで、時間に比例して迎え角の目標値を約  $3[^\circ]$  大きくする。

自動離陸と自動着陸を連続的に行い図 2 のような飛行データを取得した。パワー出力  $[\mu\text{s}]$  と加速度センサから求めた迎え角  $[^\circ]$ 、エレベータの制御量  $[\mu\text{s}]$  のデータである。制御開始時の迎え角は約  $14[^\circ]$ 、エレベータのニュートラル値が約  $1580[\mu\text{s}]$  であった。出力がニュートラル値より小さければ迎え角を負の方向へ、大きければ正の方向へ変化するように制御している。機体の振動によるノイズからデータ取得開始後約 2.5 秒後に足が地面から離れたと考えられる。離陸後、徐々に

迎え角が大きくなっている。着陸の制御は、データ取得開始後約 4 秒後から開始されている。着陸制御開始後、迎え角が設定した目標値である  $14^{\circ}$  ~  $20^{\circ}$  ] に収束しようとしている様子がうかがえる。迎え角の測定値が大きく振動しているため、データ取得開始後約 9.5 秒後に足が地面についたと考えられる。以上のように、取得したデータから機体の迎え角を制御している様子が確認できる。

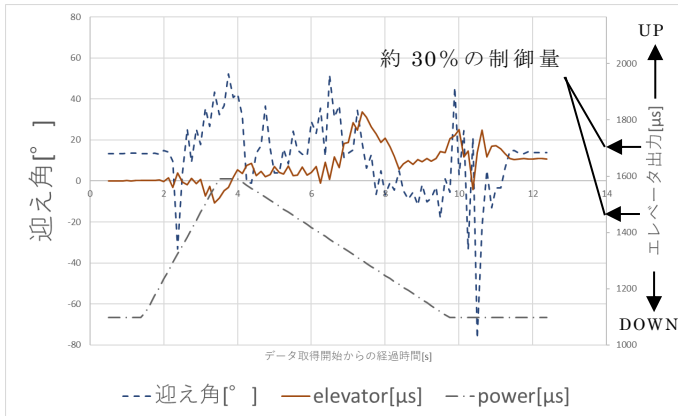


図 2 自動離着陸時の飛行データ

### 3. 画像処理による目標物追従

目標の位置への移動や、着陸のために、カメラモジュールを用いて目標の位置を視覚的に認識させる。その方法として、画用紙等(目標物)を目的の位置へ置き、その画用紙(目標物)の中心位置を求める。その際、あらかじめ画用紙の色を決定しておく。色の判別を行い、その画素の重心を求めることで中心位置を求められる。求めた中心位置へ飛行機が向かうように制御することで目的の位置への移動、着陸を行うことを想定している。図 3 に画像処理のシミュレーション結果を示す(目標物の色は黄色、点が求めた中心位置)



図 3 画像処理シミュレーション

色判別の行いやすさから目標物の色を黄色とした。カメラモジュールで画用紙を撮影し黄色の RGB 値の特徴を調べた。その結果、R と G の値が近い。B の値が R, G の値より低い。R と B, G と B の値の差が大きいという 3 つの特徴が得られた。この

条件にあてはまるものを黄色であると判別する。

目標物をカメラで撮影した際、カメラは目標物を、黄色と判別される画素の集合として認識できる。したがって、自身が黄色と判別されたが、周辺の画素が黄色でないと判別された画素はノイズとして除去する必要がある。

画像処理システムにサーボを接続し、目標物追従実験を行った。その結果、図 5 のようなおおよその認識範囲が求められた。目標物には 83cm × 45cm の黄色い発泡スチロール板を用いた。カメラとサーボの位置を固定し、目標物を動かして追従実験を行った。範囲内では正常に追従が行われた。9m 以上離れると目標物がノイズと見分けがつかず、追従不能となったと考えられる。実験結果をもとに求めたおおよその実測値の下に、使用したレンズの画角(垂直画角  $25^{\circ}$ )と取得する画像の画素数(120 × 160 画素)から計算した認識可能である幅を示している。

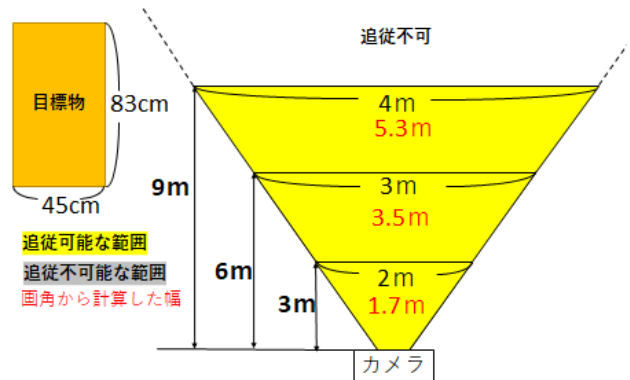


図 5 追従実験から求めた認識範囲

認識範囲の計算値と実測値の誤差は大きくても 32.5%であった。計算値から 10m 先の目標物は水平方向に約 10 画素の大きさで認識される。しかし、目標物の面の向きや、光量の影響で水平方向に 6 画素以下の大きさで認識された場合はノイズとして除去される。したがって、目標物を見失うことが多くなり追従が不可能となる。

### 5. おわりに

加速度センサを用いた迎え角の制御により、自動離着陸が可能となった。取得したデータから制御の様子を確認することができた。加えて、新たな画像処理システムを制作し、サーボでの目標物追従が行えた。画像処理システムを搭載することが今後の課題である。

### 参考文献

[1] 平成 28 年度 卒業論文 室内模型飛行機用制御システムの改良 小川 久介  
 [2] 平成 27 年度 卒業論文 室内飛行ロボットの自動制御 廣島 健亮