

# 電腦飛行

## —大会に向けて—

代表者 菅野祐介（理工M1年）  
構成員 柴田認（理工M2年） 前田哲志（理工M2年） 田口裕大（理工M1年）  
橋本竜一（理工M1年） 門川榛菜（工学B4年）  
田島佑一（工学B4年） 野本正晃（工学B4年）

### 1. 本プロジェクトの目的

平成27年9月に開催予定の、第11回全日本学生室内飛行ロボットコンテスト・自動制御部門への出場、および上位入賞を目標とする。また、コンテストに出場するための小型無人飛行機的设计・制作および飛行練習を通して、機械工学（特に航空工学およびメカトロニクス工学）への理解を深めるとともに、普段の講義等では体験できないものづくりの難しさや楽しさを学び発信していく。コンテストは、インターネット中継がされるなど全国に情報発信される。それを好機として、山口大学の知名度向上のためアピールを行う。

### 2. 活動状況

平成27年9月25日～27日に開催される第11回全日本学生室内飛行ロボットコンテスト（以下、飛行ロボコンと呼称する）へ出場するため、5月26日から活動を開始した。9月までのプロジェクト活動は、飛行ロボコンに向けての機体制作、試験飛行を主に行った。また、プロジェクトの活動内容を発信するため、工学部のオープンキャンパスに参加した。

まずは飛行ロボコンに向けての活動を報告する。飛行ロボコンには4つの部門がある。“一般部門”、“自動操縦部門”、“ユニークデザイン部門”、“マルチコプター部門”である。一般部門は、一般的な航空機について、その飛行特性、性能を競う部門である（すべて手動で操縦）。自動操縦部門は、自動操縦装置を搭載した模型航空機について、自動操縦装置の性能、それを踏まえた機体特性を競う部門である。私たち電腦飛行は、もともと自動操縦部門のみに参加する予定であった。しかし、プロジェクトメンバー間の話し合いのもと、山口大学創基200周年の宣伝と制作技術の向上のため、一般部門と自動操縦部門の2部門に参加することに決定した。以下、可読性を考慮し、一般部門と自動操縦部門の活動を分けて報告する。

#### (a) 一般部門

##### ・試作機的设计

一般部門では、数あるミッションの中で比較的点数の高い、宙返りと無動力滑空に注目した。宙返りは、機体にかかる負担が大きいため、それに耐えるだけの機体の強度と、墜落することなく飛行するための運動性能が必要となり、無動力滑空は滑空時間が長いほど高得点が得られる。このことから強度、運動性能、滑空性能を重視した機体づくりを目指した。

また、山口大学の創基200周年を記念したデザインも機体に取り入れることとした。

##### ・試作機の製作

設計図をもとに構成員全員で機体の製作に取り組んだ。前年度に製作し大会出場をした「しらさぎ」の経験を活かして、試作機の段階から軽量化や翼の補強を積極的に施した。

機体の大きな特徴としては、

- ・大きな主翼
- ・全遊動式（水平尾翼全体が昇降舵となっている）の水平尾翼

である。主翼を大きくすることで低速飛行を実現し、操縦のしやすさと、物資投下ミッションの精度向上を追求した。さらに、水平尾翼にはこれまで製作したことのない全遊動式を導入した。(写真1) これにより滑空性能と宙返りに必要な運動性能を高める狙いがある。また山口大学創基200周年記念として、機体の垂直尾翼の肉抜きは「山大」の文字とロゴをデザインすることで、大学外へのアピールを狙った。(写真2、3)



写真1 全遊動式水平尾翼



写真2 垂直尾翼



写真3 ニンバス200 試作機

・改良点

飛行テストを行ったところ、低速飛行に関しては期待通りの性能を発揮でき、なり操縦しやすい機体であった。滑空性能も高い機体に仕上がった。しかし、水平尾翼が大きすぎたために、飛行中に変形が見られた。さらに、少しの操作で大きく動作してしまい、制御が難しかった。宙返りにも挑戦した結果、翼が変形しながら飛行する形となってしまう、今日度に不安点が残った。また機体重量も大会の規定値に達していなかったため、軽量化も必要となった。以上を踏まえて改良点を以下にまとめる。

- ・水平尾翼の縮小
- ・主翼の縮小および補強
- ・全体的な軽量化

・大会出場機（写真4）

改良点を踏まえてメンバー全員で本番機の製作を行った。表1に数値的な改良点を示す。

表1 試作機と本番機の比較

	試作機	本番機
全長[mm]	1175	1145
全幅[mm]	1690	1240
空虚重量[g]	210	182
主翼面積[mm <sup>2</sup> ]	430000	329220
水平尾翼面積[mm <sup>2</sup> ]	98018	39380

本番機は主翼面積を 33 [dm<sup>2</sup>] へと小型化し、主翼の補強に用いていたカーボンロッドの本数も1本から3本に増やすことで強度を上げた。全遊動式の水平尾翼も、強度を持たせるために肉抜きを行わず、面積を 39 [dm<sup>2</sup>] に変更し、小型化した。また全体的な軽量化としては、主翼下に外付けされていた投下機構を、胴体に使用したカーボンパイプの分割で生まれた機体内部のスペースに埋め込む設計にすることで必要なパーツ数を減らし、軽量化を図った。加えて、昨年と同じように翼型の形状を維持するための構造部材である「リブ」と呼ばれる部分の肉抜きを行い、こちらも軽量化を図った。このように飛行性能が維持できる可能な限りの軽量化をリブと翼面に施した。結果、完成機体の空虚重量は 182[g]となり、大会が定める重量制限を大きく下回る軽量化を果たした。飛行テストでも、翼の強度、水平尾翼の制御性ともに改善できていた。



写真4 ニンバス 200 大会出場機

(b) 自動操縦部門

・設計

昨年度の機体「しらさぎ」のノウハウは一般部門の機体「ニンバス 200」に投入するため、自動操縦部門の機体「あまつばめ」では初の試みとなる野心的な設計を行うこととした。柴田のコンセプトスケッチを元に設計を進めた。(写真5)

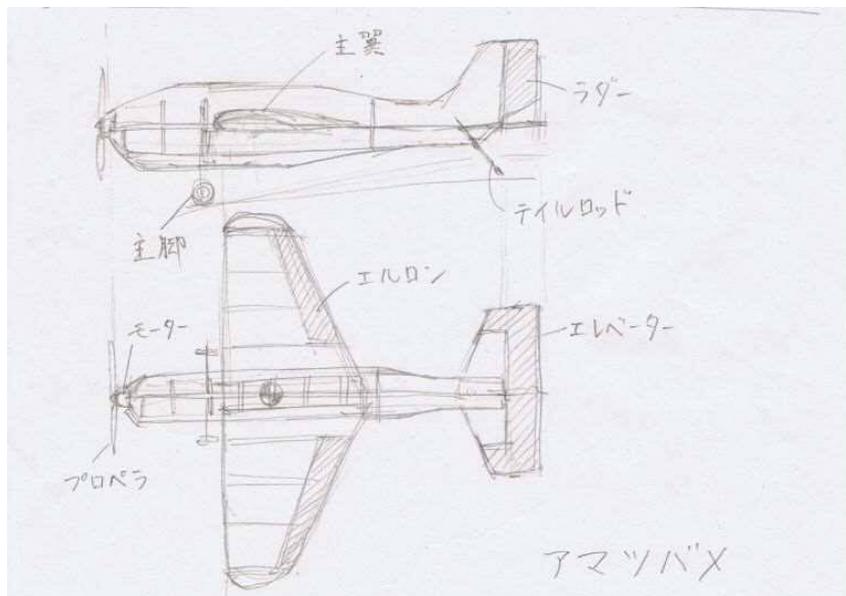


写真5 コンセプトスケッチ

通常の飛行機は左右に傾いて旋回を行う。その原理は以下のように説明できる。旋回は円運動なので、円の中心に向かう力が必要である。この力を向心力と呼ぶ。例えばハンマー投げでは、まっすぐ飛んでいこうとする砲丸をワイヤーの張力で回転の中心方向に引っ張っている。カーブを曲がる自動車では、タイヤと路面の摩擦力が向心力となる。飛行機の場合は、機体を左右に傾けることで、普段は垂直上向きである揚力の向きを斜めにして、向心力を作り出している。この機体の左右の傾きをバンクと呼ぶ。

自動操縦部門の機体である“あまつばめ”は、「バンクせずに旋回する」ことを重要視した。機体をバンクさせずに横滑りさせ、胴体側面が受ける風圧による力を向心力として旋回する。(図1)バンクする旋回に比べると小回りがきかず、ゆっくりとした旋回になってしまうが、コンピューター制御との相性はいい。

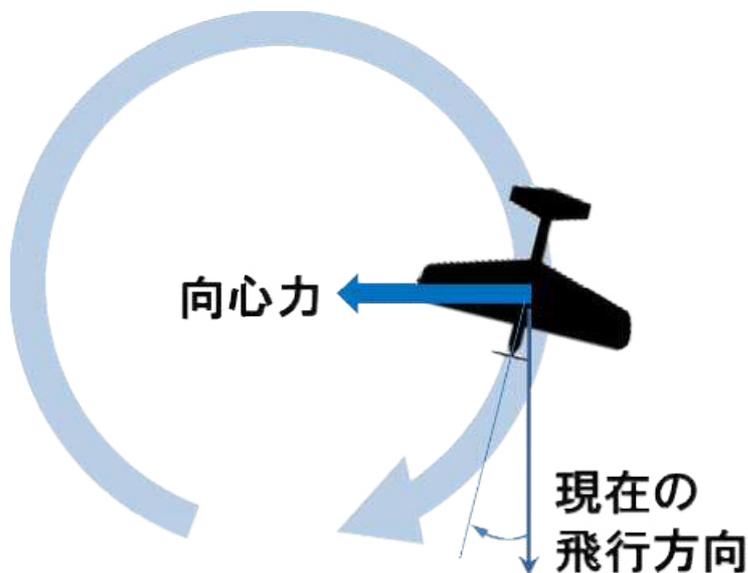


図1 横滑り旋回する機体のイメージ

通常の旋回では、主翼についているエルロン（写真 6）を操舵して、特定のバンク角まで機体をバンクさせ、その状態を維持する。この操作を自動制御で行おうとすると、若干複雑である。自動操縦部門では水平旋回や 8 の字飛行、上昇旋回などを自動で行うミッションがある。今年度のミッションは、前年度に比べ高難度となったが、大会までの開発期間は 3 ヶ月と短いため、飛行制御ソフトウェア開発において、制御則は極力単純なものが望ましい。そこで、あまつばめの場合では、旋回を制御するのは垂直尾翼についているラダー（方向舵）のみに限定することにした。これにより、制御や操縦が単純化できる。自動操縦チームの 3 名は模型飛行機の操縦経験が浅いため、バンクを補正する制御装置による支援を前提とした。



写真 6 機体の 3 舵

胴体や垂直尾翼の設計では、旋回性能を向上させる工夫を盛り込んだ。主翼は旋回時に機体がバンクしにくい形状となっている。効率的に向心力を発生させるため側面積を大きく取り、薄い胴体形状になった。総合的には、舵がききやすく運動性が高く、ある程度の低速飛行にも対応できる機体を目指した。これらの設計において、模型航空競技用のアクロバット機が非常に参考になった。構造の面では、重量 250g 以下という厳しい制限が大きな課題であった。そこで、厚めの発泡材料の板を十字型に組み合わせることで、軽量化と強度の確保の両立を図った。この製法によって、結果的に作業工程の短縮というメリットも生まれた。

<自動制御装置の開発>

自動制御装置の開発は主に“制御装置の開発”，“制御則の決定”，“プログラミング”に分別できる。制御装置は、開発期間を短縮するため出来合いのモジュールを組み合わせることによって製作した。装置の要となるマイコンに、9 軸センサー（加速度，ジャイロ，地磁気）と気圧高度計，3 色 LED そして受信機を接続した。制御装置のシステム（アビオニクス）を図 2 に示す。

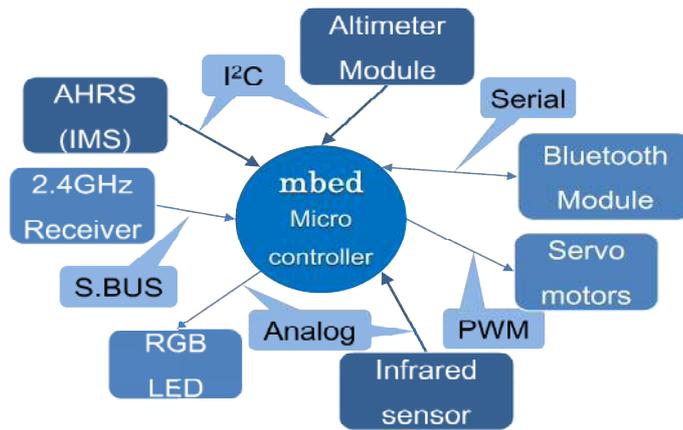


図2 アビオニクス

次に、どのような方法を用いて制御するか（制御則）を決定した。機体は低バンク旋回可能となるように設計しているため、複雑な制御は必要としない。そこで、制御則として単純な比例制御を用いた。比例制御とは、センサーから得たデータを定数倍し、その値を入力とする制御則である。この方法を用いて、エルロン、エレベータ、ラダー、スラストの制御を行う。最後にセンサーからデータを得るためのプログラムや制御の計算、モーターに出力するプログラミングを行った。

・試作機，飛行テスト

完成したあまつばめ試作機（写真 7）の飛行テストを行うと、まず、離陸に時間がかかることが分かった。主な原因は質量が大きいためであると考えられる。また、飛行中に翼のねじれが確認されたが、実際に翼が壊れることはなかった。しかし、翼にねじれの癖がついてしまったので、このままでは飛行自体に影響が生じてしまう。そこで、本番機的设计では主翼の強度改善に着目した。



写真 7 あまつばめ試作機

・本番機，飛行テスト

まず初めにあまつばめ試作機の問題点として挙げた質量問題について考えた。機体胴体は 5 mm の EPP(発砲スチロール)を 2 枚合わせてできている。これは、ある程度の強度と質量を持っているため、肉抜きを行うことで軽量化を図った。次にあまつばめの試作機の問題点として、機体の強度を挙げた。主翼面積の拡大を行い、翼にかかる力を分散させることや、骨組みの張り方の見直し、強度があるベニヤ板用いるといった工夫を行った。

ベニヤ板は主に機体の中心部にあたるリブ(翼の骨格)に用いられ、他にも本体に埋め込むことで強度の向上を行った。これらの工夫を行った結果、大会レギュレーションによって定められた質量を超えていたため、軽量化を行うことにした。軽量化の主な作業としては、肉抜きと操舵翼の素材の変更である。まず、肉抜きについてだが、主翼の中心部にはベニヤ板でできたリブがある。ベニヤ板はバルサに比べ質量が大きく、また十分な強度がある。そこで、ベニヤ板でできたリブの肉抜きを行うことで軽量化を図った。また、機体本体は5mmのEPP(発砲スチロール)を二枚合わせてできている。よってこれもベニヤ板ほどではないが、ある程度の強度と質量を持っており、肉抜きとしては適切であるといえるだろう。しかし、肉抜きによって本体には穴ができてしまい、もともとの機体のコンセプトである、低旋回においては不向きになってしまった。よってこの穴を埋めるべく、薄いフィルムを張ることで穴を塞ぎ、本来よりも軽量化した状態で機体の原型を留めることができた。次に可動部における素材の変更だが、操舵翼の部分はもともと3mmのEPPを用いて製作を行っていたところを、本番機ではEPPより軽いデプロンという比較的EPPに似た素材を用いることで機体の軽量化を行った。(写真8)他にも軽量化を行うために、投下機構に用いられるサーボモータを減らすなど、少しずつ軽量における工夫を行った。そして本番機、あまつばめは完成した。(写真9)

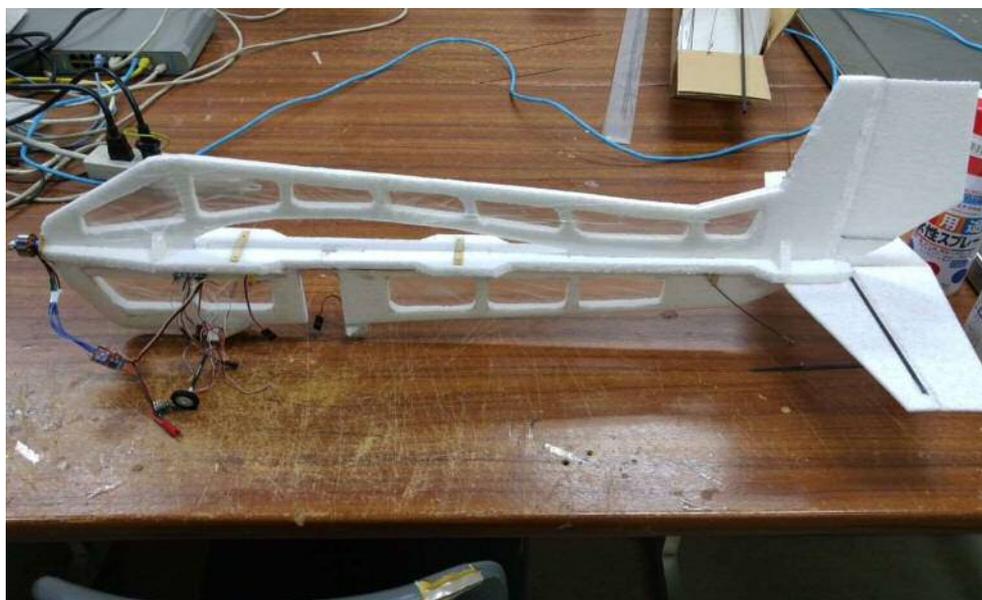


写真8 あまつばめ胴体の軽量化



写真9 あまつばめ大会出場機

実際に完成したあまつばめのテスト飛行を行った。結果的に、肉抜き等を行い、軽量化されたことによって試作機よりも短い距離で離陸することが可能になった。また、試作機では見られていた主翼のねじれが本番機では生じることなく、あまつばめの優雅に飛ぶ姿が印象的だった。

以上が飛行ロボコンに向けた活動報告である。続いて、オープンキャンパスでの活動を報告する。オープンキャンパスは平成 27 年 8 月 10 日に行われた。私たち電腦飛行は、活動内容をまとめたポスターと、製作した飛行機の展示を行った。製作機体に興味を持った高校生や親御さんが多く、飛行機やプロジェクト活動に関する質問もあった。写真 1 にオープンキャンパスの様子を示す。



写真 10 オープンキャンパスの様子

オープンキャンパスに参加することで、おもしろプロジェクトや創基 200 周年、電腦飛行のアピールにつながった。

### 3. 活動予定

大会までの残された期間を飛行練習に当て、9 月 25 日～27 日に第 11 回全日本学生室内飛行ロボットコンテストへ出場する。大会終了後は、コンテストでの反省を行い、来年以降の活動に役立てるよう、ノウハウをまとめた資料作りを行う。また、10 月 3 日に山口大学吉田キャンパスで行われるホームカミングデーに参加し、おもプロ活動のアピールをする予定である。さらに、工学部で行われる常盤祭での飛行機展示や、地域住民参加型のイベントも開催しようと考えている。