

# 電脳飛行

	代表者	竹下知宏（創成M1年）	
構成員	田島佑一（創成M2年）	野本正晃（創成M2年）	一田剛（創成M1年）
	岡屋達也（創成M1年）	小栗稜滋（工学B4年）	
	末広将嵩（工学B4年）	長岡賢（工学B4年）	
	柳下里音（工学B4年）	山本赴之（工学B4年）	

## 1. 本プロジェクトの目的

平成29年9月に開催される第13回全日本学生室内飛行ロボットコンテストの一般部門と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・製作や飛行練習を通して機械工学への理解を深め、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ことを目的としている。室内飛行ロボット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。これを貴重な機会として、山口大学の知名度向上のためにアピールする。

## 2. 活動状況

平成29年9月1日～3日に開催された第13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）に出場するため、6月15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製作や試験飛行を主に行い、飛行ロボコンに出場した。飛行ロボコンでは、参加チームは「facebook」でのブログの更新や、「Youtube」での飛行動画の提出等があり、これらを行うことでプロジェクトの活動を発信した。また、他にもプロジェクトの活動内容を発信するために工学部のオープンキャンパスに参加した。

最初に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“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”の4つの部門がある。電脳飛行ではプロジェクトメンバー間の話し合いから、一般部門と自動操縦部門の2部門に参加することにした。一般部門では遠隔操縦の飛行機・飛行船が参加でき、競技により機体の飛行特性や性能、パイロットの操縦技術を競う部門である。自動操縦部門は、自動操縦装置を搭載した遠隔操縦の飛行機・飛行船について、自動操縦装置の性能やそれを踏まえた機体特性を競う部門である。以下、一般部門と自動操縦部門の機体製作における活動について分け、最後に大会の結果と反省について報告する。

### (1) 一般部門（メカトリス）

#### ・試作機

一般部門では、機体の安定性と操縦性（機体を意思通りにコントロールできる性質）を両立することを目指した機体設計を行った。手動操縦を行う部分はエルロン、エレベータ、ラダーと呼ばれる3つの舵と、推力を発生させる動力源である推進用モーターである。一般部門では完全に手動操縦であるため、良好な安定性を持つ機体が望ましい。試作機は前年度の大会後に製作した「よこりよくん mk2」をベースとして設計を行った。（写真1）この機体をベースとしたのは、主翼に大きめの上反角があり、試験を行ったところ安定性が以前の機体に比べ格段に良好であることが判明したからである。設計する際には、数あるミッションの中でも点数の高いメインミッションで求められる性能に注目した。これは投下物資を1つ搭載した状態で滑走路から離陸し、物資投下エリアに物資を投下して離着陸エリアに帰還する競技である。投下エリアに3つ投下できるまでこれを繰り返す必要があり、物資を搭載した状態で滑走路から離陸できること、投下を正確に行えることなどが目標となる。また、各ミッションの得点を高めるためにペイロードも多く搭載できる機体を目標とした。これらの目標を達成するため、投下物資およびペイロードを搭載した状態での離陸性能と操縦性を高めることにした。「よこりよくん mk2」の主翼・水平尾翼を1割小型化し、全長も短くすることで、機体を小型軽量化して離陸性能とペイロードの搭載能力を高めた。表1に前年度に製作した「はやぶさ」との比較を示す。



写真1 よこりょくん mk2

表1 試作機の比較

	はやぶさ	メカトリス
全長[mm]	1075	980
全幅[mm]	1174	990
主翼面積[mm <sup>2</sup> ]	300610	240000
空虚重量[g]	224	207

確実に物資を得点エリアに投下するためには、低速で飛行しながらの高い方向操縦性が求められる。そこでオールフライングテールと呼ばれる尾翼全体が可動する方式の垂直尾翼を採用することで、低速時でも優れた舵効きが得られるようにした。(写真2)



写真2 オールフライング式の垂直尾翼

設計図をもとに構成員全員で機体を製作して完成させた。(写真3) 前年度の経験を活かして、試作機の段階から軽量化や強度の向上のために材料の選別を行った。試作機では機体が破損しにくい耐久性を重視し、翼の素材にはEPPを用いた。以前の試作機では厚さ3mmのEPPを用いていたが、大会機の重量に極力近づけるためにメカトリスの試作機では厚さ2mmのEPPを使用した。また、救援物資回収というミッションを実施するかどうかを判断するため、救援物資を回収するための物資回収装置を製作した。(写真4) 救援物資回収とは、投下エリアに投下した救援物資のうち1つを回収して飛行し、離着陸エリアに着陸するミッションである。投下物資にはネオジム磁石を取り付け、金属製の物資回収装置によって物資を回収する。しかし物資回収装置の製作の過程で、物資を投下した瞬間に

物資回収装置が物資を「回収」してしまう恐れがあることが判明した。そこで物資回収装置と投下物資が干渉せずに物資投下できる投下装置も製作した。(写真5)



写真3 メカトロリスの試作機

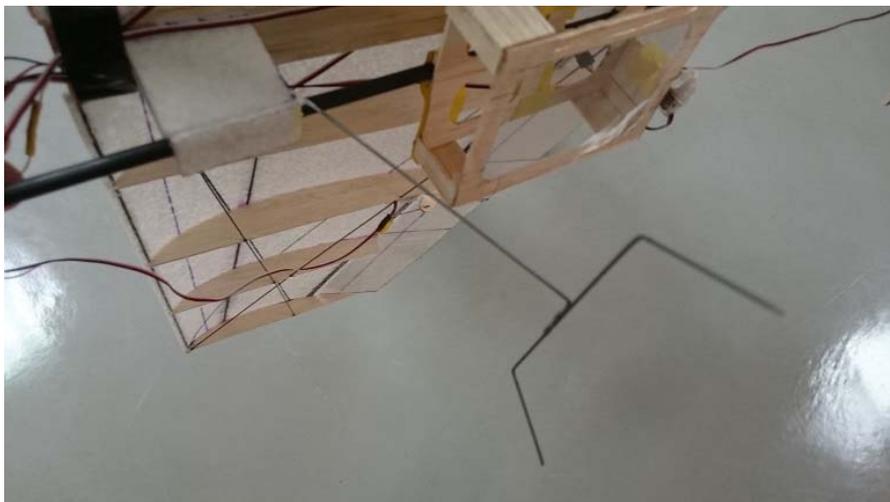


写真4 物資回収機構



写真5 物資投下機構

## ・改良点

飛行テストを行ったところ、離陸性能に優れ、操縦しやすく安定性も申し分のない機体であることが分かった。しかし、宙返り直後の引き起こしがうまく行えず墜落する事例が多発した。翼の素材として用いた EPP の剛性不足により、宙返り時に主翼が歪み、水平尾翼も変形して舵効きが不足したことが原因と考えられた。一方で、救援物資回収を模擬した実験を行ったところ、物資回収エリアに着陸してからの機体の取り回しに大きな問題があり、物資回収が大変難しいことが判明した。また物資回収装置に干渉することなく投下できる新方式の物資投下装置の動作不良がたびたび発生した。メンバーと相談した結果、大会までの準備期間が長くないことも考慮すれば、救援物資回収に競技時間を割くより、それ以外の競技で点数を稼いだ方が良いのではないかと、という結論になった。また、昨年の試作機に比べれば軽量化は実現できていたものの、機体重量が大会規定値に達していないため全体的な軽量化も必要だった。

以上のことを踏まえ、主翼と水平尾翼の剛性強化と全体的な軽量化、そして物資投下装置の信頼性向上が重要な改善点となった。

## ・大会出場機

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。本番機では翼の素材としてデプロンを用いた。デプロンは耐久性で EPP より劣るが、翼の剛性を上げることができ、機体を軽量化するのにも有効である。また、昨年度の経験を活かし、翼型の形状を維持するための構造部材である「リブ」と呼ばれる部分に対する肉抜きをすることで軽量化を図った。肉抜きの際は、レーザー加工を用いることで正確に肉抜きされたリブの製作を行うことで作業効率を上げた。(写真 6) 物資回収装置を省略したことで、投下機構の設計の自由度が増した。昨年度の物資投下装置の基本設計を引き継いだ物資投下装置に変更することで、投下装置の信頼性を高めつつ軽量化した。(写真 7) このようにして大会出場機が完成した。軽量化するための改良によって、大会出場機の機体重量は 190g と大幅に軽量化することができた。そして翼の剛性強化によって、宙返り時に墜落することがなくなった。機体には山口大学のロゴのシールを翼面に貼ることで、大学外へのアピールを狙った。(写真 8)



写真 6 レーザー加工で肉抜きしたリブ



写真7 改良後の投下機構



写真8 メカトロシスの大会出場機

## (2) 自動操縦部門（ヴァーハナ SFP）

### ・試作機

通常の飛行機は、旋回する際には曲がる時の自転車のように機体を傾ける必要がある。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、回転の中心方向に向心力を作り出して旋回している。旋回時の機体の左右の傾きをバンクと呼ぶ。このような旋回の場合、高度を維持するためには水平飛行時よりも主翼の揚力を大きくする必要がある。主翼の揚力の鉛直成分と重力を釣り合わせる必要があるからである。しかし速度を変えずに揚力を大きくするには限度があり、その限度を超えると失速してしまう。そして低速飛行している飛行機は失速ぎりぎりの状態で飛行しているため、これ以上揚力を増すことができず、高度を維持しながらの旋回は困難である。一方、旋回時に必要な向心力を生み出す横力板と呼ばれる垂直操舵翼を機体に装着すれば、旋回時にバンクする必要がなくなる。（写真9）通常の機体と横力板機が旋回する際の違いのイメージ図を図1に示す。この場合、旋回時に主翼の揚力を大きくする必要がないため、低速飛行時の旋回性能を高めることができる利点がある。横力板を装着すれば、救援物資投下やタイムトライアルといった競技種目で要求される、低速での旋回性能を高めることができると考えた。自動操縦部門の機体は前年度の機体「よこりょくん」の設計を引き継ぎつつ、機体を軽量化するために全長を以前より1割短くした。しかし胴体長を短縮すると安定性が悪化する恐れがある。安定性を維持するため主翼・横力板・垂直尾翼の前後位置や重心位置を設計の段階で慎重に検討した。また以前の機体では胴体上部に横力板を備えていたが、旋回性能向上のメリットよりも機体重量増加のデメリットの方が大きいのではないかという結論になり、本試作機では胴体上部の横力板を持たない機体として完成した。

飛行ロボコンでは、ラダーを用いて機体をバンクさせる、ラダー旋回と呼ばれる旋回方法が主流である。この操作を自動制御で行おうとすると、若干制御則が複雑になる。バンクせずに旋回する横力板機では、バンクを補正する制御と旋回制御の2つに分けることができ、制御則を簡略化できる。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。大会までの開発期間は2ヶ月と短いため、横力板機としたことで、制御を簡略化でき、前年度のノウハウも生かすことができた。以上をもってヴァーハナ SFP の試作機が完成した。(写真 10)



写真 9 横力板

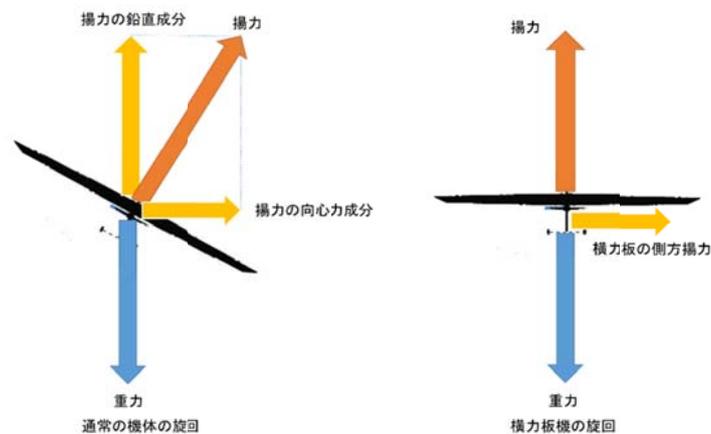


図 1 通常の機体と横力板機の旋回の違い



写真 10 ヴァーハナ SFP の試作機

## ・自動制御装置

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，およびプログラミングに大別できる。装置の要となるマイコンに，9軸センサー（加速度，角速度，地磁気を測定できる）と気圧高度計，3色LED，および受信機を接続した。制御装置のシステム（アビオニクス）を図2に示す。また，どのような方法を用いて制御するか（制御則）を決定した。旋回時には機体がバンクしようとするため，バンク角を零に補正する制御装置を用いる。制御則としては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。そしてセンサーの値を用いてデータを得るためのプログラムや，制御則での計算結果から各モーターに出力するためのプログラミングを行った。



図2 アビオニクス

昨年度までは，着陸を自動で行う自動着陸という種目があったが，今年度は離陸から物資投下，着陸までを自動で行う自動離着陸という種目に変更となった。離陸では，あらかじめセットしておいた推力と姿勢を維持するようにする。着陸地点には地上カメラが配置してあり，このカメラが機体を任してからはカメラによる画像認識によって機体の誘導制御と物資の自動投下を行うシステムとした。自動離着陸のイメージ図を図3に示す。

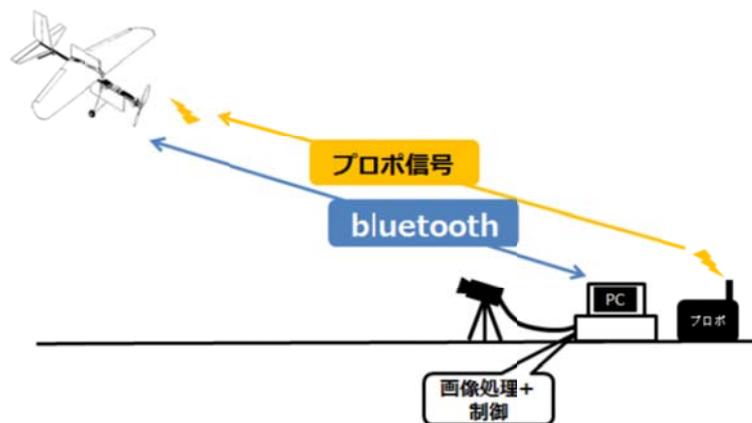


図3 自動離着陸

## ・改良点

飛行テストを行った結果，舵効き，運動性ともに良好だった。しかし飛行速度がかなり速く，低速飛行すること自体が難しいという印象だった。この理由の一つとして挙げられるのが機体重量の過大で，制限重量を20g以上超過し，270gを超えてしまっていた。規定の重量を満たし，低速での旋回性能を高めるためにも，機体の軽量化が最重要課題となった。

## ・大会出場機

改良点を踏まえてメンバー全員で大会機を製作した。自動操縦部門の試作機は、一般部門の機体よりも翼面積を大きくしていたため、翼の剛性を保つために厚さ 3mm の EPP を使用していた。これを一般部門の機体と同様、厚さ 2mm のデブロンに変更して軽量化を図った。自動操縦部門の機体の場合、大きな負荷が加わる宙返りミッションがないため、厚さ 2mm のデブロンでも十分な剛性を得ることができた。また「メカトリス」と同様にリブをレーザー加工により肉抜きして軽量化した。投下機構はハヤブサと同様のシンプルで信頼性の高い方式とした。改良により、機体重量を規定重量以下に抑えることができた。(写真 11) 飛行テストの結果、尾翼の調整も行ったことにより、試作機よりも低速での飛行が可能となった。



写真 11 ヴァーハナ SFP の大会機

## (3) 飛行ロボコンの結果と反省

大会出場機は8月中旬に完成し、その後は飛行練習に励んだ。大会直前には、滑走路や投下エリアなどを実際の大会の競技エリアの配置に極力近づけて、練習の効果が高まるようにした。このようにして、9月1日~3日に開催された飛行ロボコンに挑んだ。(写真 12) 大会の日程について表 2 に示す。今年度の飛行ロボコンは開催時期が昨年度よりも僅かに遅いこともあり、一般部門は 20 チーム、自動操縦部門は 12 チームと、前回の大会よりも出場チームが増えていた。大会結果は一般部門では予選を突破し 7 位、自動操縦部門は予選敗退という結果となった。一般部門では、前年度は機体重量が重すぎたためチャレンジできなかった「ペイロード搭載」ミッションも行うことができた。「ペイロード搭載」ミッションでは重量 19g の消しゴムを最大 3 つまで搭載でき、消しゴムの搭載個数の多さに比例して各ミッションの獲得点数を増やすことができる。今回は予選、決勝ともにペイロード 2 個搭載でのチャレンジとなった。予選では救援物資投下や宙返りをミスなく行うことができ、まずまずの滑り出しだった。しかし決勝では、「無動力滑空」ミッションにおける滑空時間が規定の 10 秒に達せず、得点を逃した。無動力滑空は練習が不十分だったこと、機体の滑空性能が決して高くはなかったことが反省点である。その後の「宙返り」ミッションの際、モーターの回転数を制御する信号線が突然切れてしまい、競技を継続することができなくなってしまった。それまでの飛行では 1 度も起きたことがなかっただけに非常に残念だった。しかし、前年度よりも多くのミッションにチャレンジすることができ、ミッションでの経験が得られたのが収穫だった。また一般部門の上位チームは、「救援物資回収」ミッションを行っていた。各チームとも、ユニークな回収機構や着陸装置を製作しており、回収エリアに着陸した際の機体の操作性、物資の確実な回収が可能となっていた。来年度以降、大会に出場する機会があれば、今度こそ救援物資回収にチャレンジしたいと考えている。自動操縦部門では、「救援物資投下」ミッションで物資を投下した後の着陸がハードランディングとなってしまう、その時の衝撃でプロペラの小さな部品が外れた。これが原因でその後の離陸の際にプロペラが振動して離陸できなくなってしまった。結果として自動制御に一切挑戦できずに終わってしまうという残念な結果となった。自動操縦部門の場合、自動制御によるミッション「水平旋回」、「自動離着陸」の練習に時間がかかり、手動で行う「救援物資投下」、「タイムトライアル」といったミッションの練習を大会までにほとんど行うことができなかった。手動で行うミッションの練習量が不足していたことが大きな反省点である。大会では各チームの独創的な特徴にあふれた機体を見ることができ、とても良い刺激になっ

た。またポスターセッションでは、機体設計のノウハウや自動制御、機体製作の工夫などについて他チームと意見交換することができて有意義な時間となった。とくに他チームの方からマイコンの通信に関するアドバイスをもらうことが出来たこと、機体構造を工夫することで大幅な軽量化が可能になることなど、今後の機体製作でも役立てることが出来る情報を得ることができた。競技の順位としては上位入賞することはできなかったが、ポスターセッションで自動操縦部門の「ヴァーハナ SFP」が特別賞を頂くことができた。以上が飛行ロボコンに関する報告である。



写真 12 大会の様子

表 2 大会のスケジュール

9月1日(金)	設営・飛行練習	9月2日(土)	予選	9月3日(日)	決勝
8:30	開場	8:30	開場	8:30	開場
8:45	アリーナ開室	8:45	アリーナ開室	8:45	アリーナ開室
	会場設営		飛行練習		飛行練習
11:00	チーム受付	10:00	開会式	9:30	ユニークデザイン部門
午後	機体審査	午前	一般部門(予選)	午前	一般部門(決勝)
	飛行練習	午後	自動操縦部門(予選)	午後	自動操縦部門(決勝)
19:00	退室		マルチコプター部門(予選)		マルチコプター部門(決勝)
		17:30	ポスターセッション	16:00	閉会式、表彰式
		19:00	懇親会	16:30	閉会式終了
		20:00	退室		撤収作業・退室

続いて、オープンキャンパスにおける活動を報告する。常盤キャンパスのオープンキャンパスは平成 29 年 8 月 4 日に行われた。電脳飛行は、活動内容をアピールするポスターと、今年度の飛行ロボコンのために製作した試作機 2 機を展示した。(写真 13) 今年度は残念ながら会場に来られる方が少なかったが、来てくださった方の中には、かなり熱心に私たちの説明を聞いてくださった方もおられた。オープンキャンパスの時点では自動制御装置の具合が良くなかったため、基本的に一般部門の機体の動作の実演を行った。飛行機の各翼や舵の説明や、機体の設計に関する説明も行った。オープンキャンパスに参加することで山口大学のアピールにも繋がったのではないかと思う。



写真 13 オープンキャンパス

### 3. 活動予定

今後の活動として、まずは飛行ロボコンでの反省点や改善すべき点、他チームの優れていた点について話し行う。来年以降の活動で役立つようにするため、大会によって得られたノウハウをまとめた資料を作成する。そして大会の経験をフィードバックした新型機の試作と飛行練習を行う。また、10月28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や、11月18日に山口大学常盤キャンパスで開催される常盤祭に参加し、おもプロの活動のアピールをする予定である。また新たな活動として、飛行ロボコンのユニークデザイン部門を見据えた機体の設計・製作を行うことも考えている。ユニークデザイン部門の機体はより自由な発想で機体を設計でき、従来にない機体を作ることができる。ユニークデザイン部門の機体の設計・製作に取り組むことで、メンバーの飛行ロボットを設計する力を高め、ものづくりの難しさ、楽しさを経験できるのではないかと考えている。

### 4. 上半期の予算執行報告

上半期の予算執行状況を表3に示す。

表3 上半期の予算執行状況

機体（備品）	29,380 円
機体（消耗品）	55,652 円
旅費	307,200 円
その他（郵送料など）	41,083 円
合計	433,315 円