

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月に開催される、第11回全日本学生室内飛行ロボットコンテストへの出場、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. 1年間の活動の概要

この1年間の活動の概要を述べる。今年度のプロジェクトが始動してからの上半期は、飛行ロボコンに向けての活動に集中した。飛行ロボコンが終えてからは様々なイベントに参加し、他プロジェクトとの勉強会も行った。1年間の活動内容を表1に示す。

表1 今年度の活動

時期	活動内容
2015年 6月	平成27年度電腦飛行プロジェクト始動
7月	出場機的设计製作
8月	出場機的设计製作, オープンキャンパス
9月	全日本学生室内飛行ロボットコンテスト出場
10月	ホームカミングデー, スペ研との交流
11月	常盤祭, スペ研との交流
12月	来年度大会に向けた飛行練習, スペ研との勉強会
2016年 1月	スペ研との勉強会
2月	ロボットセッション, スペ研との勉強会
3月	種子島ロケットコンテストでの技術協力

3. 全日本学生室内飛行ロボットコンテストへの参加

3-1 第11回全日本学生室内飛行ロボットコンテストへ向けて

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、6月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、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周年の宣伝と製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）

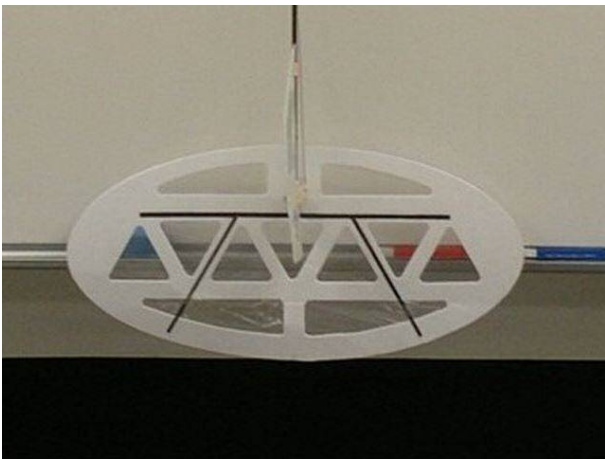


写真 1 全遊動式水平尾翼

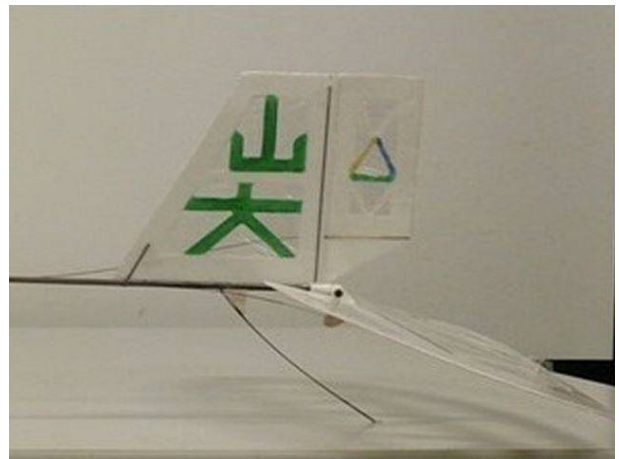


写真 2 垂直尾翼



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、か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い、強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2に数値的な改良点を示す。

表2 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 ²]	430000	329220
水平尾翼面積 [mm ²]	98018	39380

本番機は主翼面積を 33 [dm²] 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 [dm²] 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、胴体を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施した。結果、完成機体の空虚重量は大会規定の 200 [g] を下回る 182 [g] となり、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)

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。

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。

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。

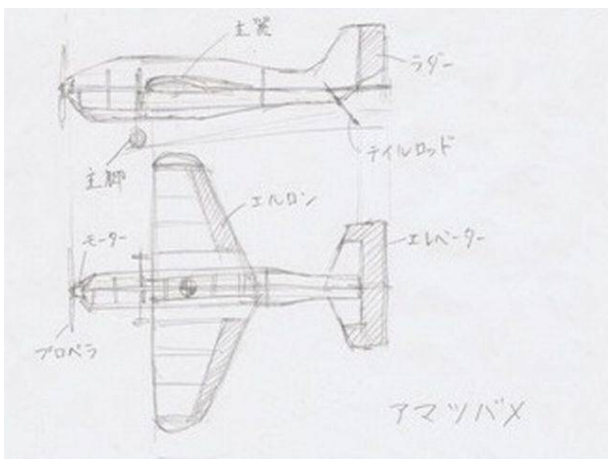


写真5 コンセプトスケッチ



図1 横滑り旋回する機体のイメージ

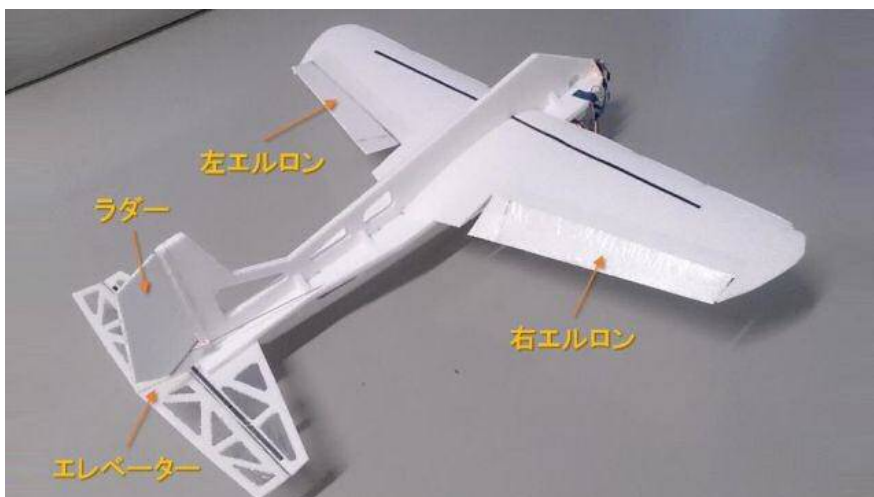


写真6 機体の3舵

<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を図2に示す。

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。

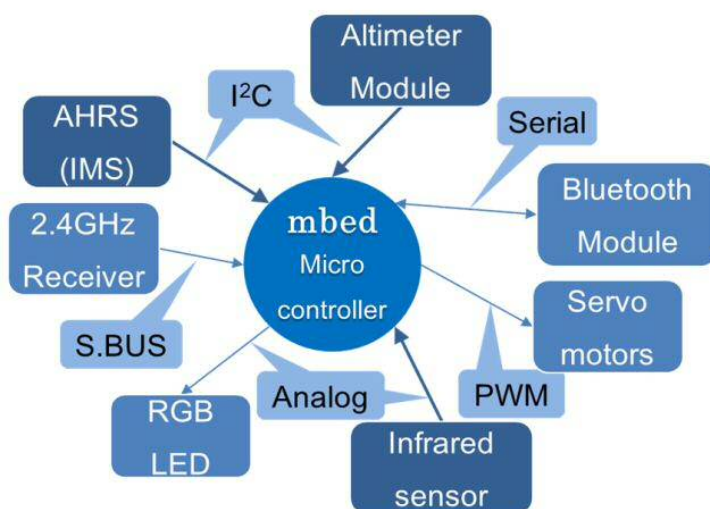


図2 制御装置のシステム

<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 5mm 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 2 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 より軽いデブロンという比較的 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）

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。

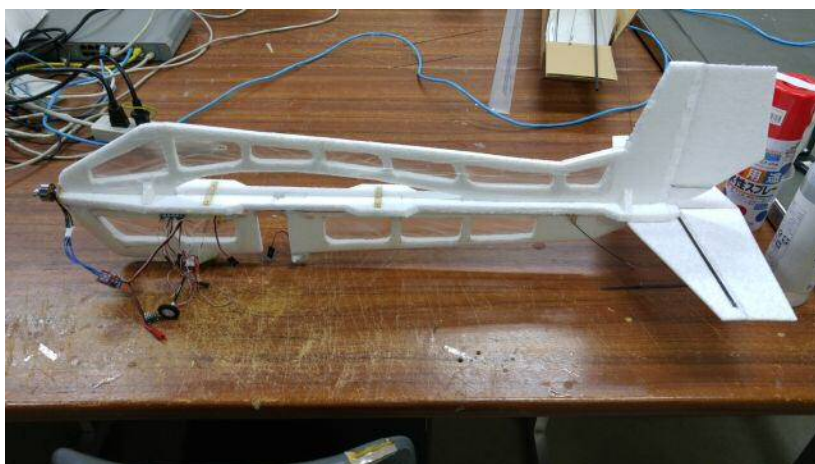


写真 8 あまつばめ胴体の軽量化

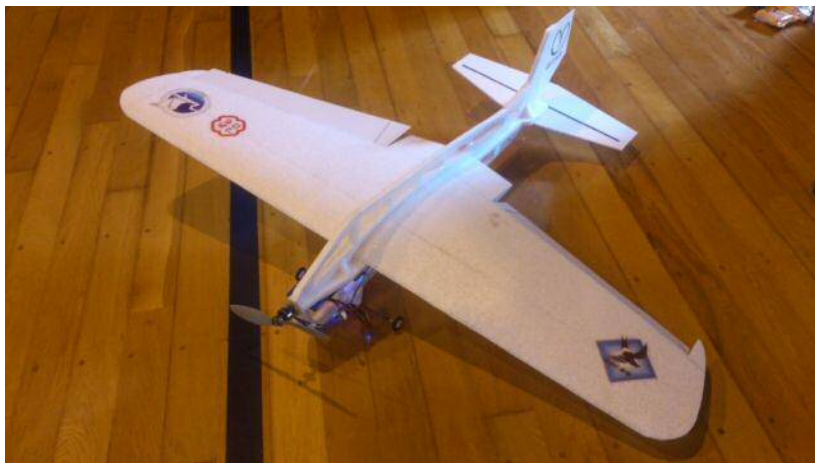


写真 9 あまつばめ大会出場機

3-2 第 11 回全日本学生室内飛行ロボットコンテストの結果と反省

大会までの残された期間を主に飛行練習に当て、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に挑んだ。大会は初日が主に飛行練習、2日目が各部門の予選とポスターセッション、3日目が各部門の決勝という流れで行われた。結果は一般部門が全21チーム中11位、自動制御部門が全12チーム中7位であった。両機体とも、かなり操縦しやすい機体に仕上がってはいたのだが、機体製作に時間をかけ過ぎたために、大会ミッションを想定した練習があまりできなかった。そのため、本来の実力を発揮できず悔いが残る結果となった。しかし、チーム毎の特徴が表れた様々な機体や、フライトの様子を見ることができたのは、今後新たに機体を製作する上で良い刺激となった。また、ポスターセッションは、機体設計のノウハウや自動制御システムなど、他大学と詳細な機体の技術交換をすることができ大変有意義な時間であった。写真10、写真11に大会の様子と他大学との交流の様子を示す。

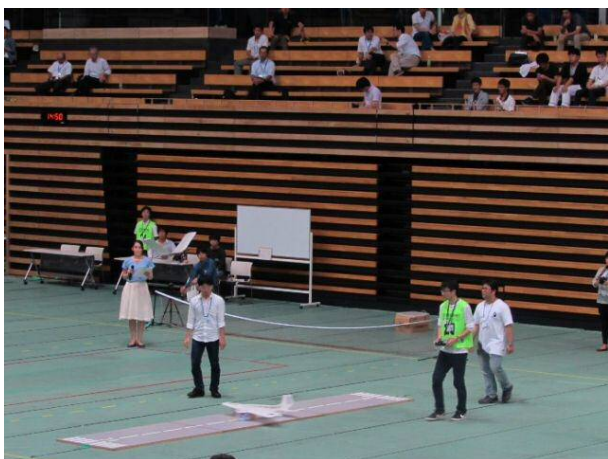


写真10 大会の様子



写真11 他大学との交流の様子

<練習機の製作>

大会を終えて、浮上した反省点である飛行練習不足を補うため、新たに練習機を作製することにした。メンバーは皆、操縦に関しては素人なので、飛ばしやすい機体をコンセプトに製作を開始した。機体製作にあたり、これまでに作った機体を参考にすることにした。表3に製作機体の一覧を示す。その表3に翼面荷重という欄がある。これは単位面積当たりどれだけの重量を支えているかを示し、航空機においては機体の性能を表す重要な指標である。基本的にこの値が小さいほど低速飛行が可能となる。低速で飛べれば、その分パイロットが考えながら操縦を行えるため、練習効率が良くなると考えた。なので、製作機体の内、最も翼面荷重の値が小さいニンバス200初号機を基盤とした。ただ、初号機は翼面積が大きい割に補強があまく、飛行中に翼がたわむことが多かった。また水平尾翼も大きすぎたために、操作量に対して機体が大きく傾きその点においては操作しにくかった。ゆえに、初号機の主翼をさらに補強し、水平尾翼は2号機のように主翼に対してかなり小さめにするようにした。以上を考慮して機体を作製し、メンバーの予定が合う日には体育館で簡単な飛行や着陸等の練習を行っている。飛行練習の様子を写真12に示す。

表3 製作機体一覧

	ニンバス 200 初号機	ニンバス 200 2号機 (大会機)	あまつばめ 初号機	あまつばめ 2号機 (大会機)
空虚重量 [g]	210	182	210	246
主翼面積 [dm ²]	43	33	20	29
翼面荷重 [g/dm ²]	4.9	5.5	10.5	8.5
水平尾翼面積 [dm ²]	9.8	3.9	4.2	4.9



写真 12 練習機

4. イベントへの参加

4-1 オープンキャンパスへの参加

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 13 にオープンキャンパスの様子を示す。

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。



写真 13 オープンキャンパスの様子

4-2 ホームカミングデーへの参加

10 月 3 日に吉田キャンパスで行われた創基 200 周年記念山口大学ホームカミングデーにおもしろプロジェクトの採択プロジェクトとして参加し、ポスターの出展に構成員のうち 3 名が説明にあたった。当日は山口大学創基 200 周年ということもあり幅広い世代と多くのお客さんがブースに足を運んでくださった。工学部出身の OB のお客さんからは、飛行機ロボットについて技術的で詳細な質問もして頂き、作製を行った構成員は苦労話を混ぜながら活発に対応していた。また電腦飛行に関する質問だけでなく『おもしろプロジェクト』の制度に興味をもって下さる高校生もおられ、今後さらに自主活動のプロジェクトが広く地域に認知されることを期待している。

4-3 常盤祭への参加

11月14日に常盤キャンパスで行われた常盤祭に電腦飛行として参加し、飛行機ロボコンの実演およびポスターの展示を行った。飛行機ロボットは全日本学生室内飛行ロボットコンテストで使用した機体と大会後に修正を加えて作製した新作機体の両方を持参した。昨年にも同様のイベントに参加しており、来てくださったお客さんの中にはリピーターの方もおられた。昨年と今年で機体がどのように変わったのかなど鋭い質問もして頂き、今年度の大会から追加されたルールや初めて手動部門と自動部門の両方で出場した経験談を説明し、それぞれの機体の飛行性能について構成員が真摯に受け答えしていた。また来ていただいたお客さんに対して、実際に機体を触れてもらうことで重さや動きについて直感的に感じてもらうことができた。屋内のために飛行させることは出来なかったが、子供から大人まで興味深く見て、温かい応援の言葉をかけて頂いた。構成員としては来年度以降に向けての刺激となり有意義な時間となった。(写真14)



写真14 常盤祭の様子

4-4 交流会への参加

11月17日、吉田キャンパスで開催された交流会に参加した。この交流会では、工学部のおもプロチームとは違った視点からおもしろプロジェクトをとらえることができた。

普段関わるのが難しい、本学のチームや医学部のチームと交流をして感じたことは、大学外の方たちとの関わりを持っているということである。例えば、県内の中高生に向けた講習会の実施を行っている団体があった。また市民イベントにボランティアとして参加している団体もあった。このように、大学外の地域住民に対する行動を起こすことは見習うべき点だと感じた。

おもしろプロジェクトやその他の団体と交流を行い、活動内容や活動動機などのお話を詳しく聞くことができた。この交流会のおかげで新たな視点でおもしろプロジェクトをとらえることができた。他のプロジェクトの様々なお話を聞くことができ、刺激のある時間となった。

4-5 ロボットセッションへの参加

2016年2月21日、山口大学工学部で開催されたロボットセッションに参加させていただいた。ロボットセッションでは、今後電腦飛行が活動していく際に非常に参考になるお話を聴くことができた。

このセッションではロボット技術の社会実装について話し合うことを目的としていた。技術的な話ではなく社会実装に重きを置いた話し合いであったため、レスキューロボット研究の第一人者はもちろん、社会学者の方や認知心理学者の方、企業に勤めていらっしゃる方など多彩な分野の方々が集まる場だった。

セッション内容は、単なる技術的な話のみでなく、社会実装するために必要になってくるスキルについての話が目立った。例えば、顧客価値を生み出す“マーケティング”についての話や、社会や集団の生活を理解するための調査方法である“エスノグラフィー”についての話である。特に、エスノグラフィーに関する話が印象的であり、“あるコミュニティに自分が加わるためにはどうすればよいか？”といった議論が行われた。

この議論は最終的に、ある心理学者 Kurt Lewin の言葉に帰結された。「それが何であるかは変えてみないと分からない」である。つまり、あるコミュニティについて知るためには、まず自分が動いてコミュニティにぶつか

っていく必要があるということである。この議論の場で完全な解が得られたわけではないが、非常に参考になる話が聴けたと感じている。

今後、電腦飛行が、チーム内で閉じた集団ではなく、他のおもプロチームと関わり合いを持って活動していき、さらにおもプロ内のみでなく企業の方や地域住民の方々とも接点をつくっていくためには、今回参加したセッションで学んだことは非常に参考になるものだと感じた。

5. 山口学生宇宙開発研究プロジェクトとの交流

秋頃から電腦飛行はスペ研と共にロケットに搭載するセンサ類やサーボモータなどに関する勉強会を行ってきた。スペ研のメンバーの多くが2年生であるため、実際にセンサを使ったり、複雑なプログラムを作成したりすることに慣れていないことから、週1で勉強会を開いて、3月3～5日に開催される種子島ロケットコンテスト(有翼滞空部門)に向けた技術協力を行った。勉強会の内容をまとめて以下に示す。

- ・ 9軸センサ内部に含まれるジャイロセンサと加速度センサを用いた角度の取得およびデータの精度を良くするためのフィルタの導入
- ・ 気圧センサと温度センサを用いた高度の取得
- ・ サーボモータと9軸センサを連動させたエレボン(エルロン+エレベータ)の制御
- ・ GPSモジュールの機能の確認
- ・ SDを用いたデータの保存
- ・ 制御における電子回路の製作
- ・ 高度の取得による変形機構に関する実験およびプログラムの条件式の検討

この勉強会は電腦飛行がスペ研に一方的に教えて終わるものではなく、飛行機しか製作してこなかった自分たちにとって理解の少ないロケットに関する知識をスペ研から学ぶことが多かった。また、スペ研の製作したロケットから自分たちでは思いつかなかった飛行機製作で使えるような構造やアイデアがあり、製作面からも得られることが数多く存在した。

種子島の出発前には、機体紹介用のプレゼンに向けたPower Pointのスライドや発表に関するアドバイスをを行った。そのときにスペ研の高度部門に出場するグループの人たちとも交流することができ、製作した機体に関する話をすることができた。(写真15)

種子島ロケットコンテストには、電腦飛行から2人が同行し、ロケット打ち上げ前日にプログラムの最終調整を行った。種子島の気候は風が強いことが特徴である。その影響で気圧センサが誤作動してしまうことがあったため、ロケット打ち上げ当日のギリギリまでお互いにアイデアを出し合い、ロケットの構造やプログラムの手直しを行っていた。(写真16, 17)

ロケットは打ち上げに成功し、鬼門であった空中でのグライダーの変形にも成功し、グライダーは見事に滑空した。滞空時間は短かったため入賞は出来なかったものの、他大学の学生や教授およびJAXA職員との交流会の場では、電子制御を用いたロケットの技術力の高さに関して褒められることが多く、高い評価を得ていたことから、技術協力をしてきた電腦飛行としても誇らしく思うとともに喜ばしく思う。



写真15 機体紹介用プレゼンの準備



写真16 プログラム手直し

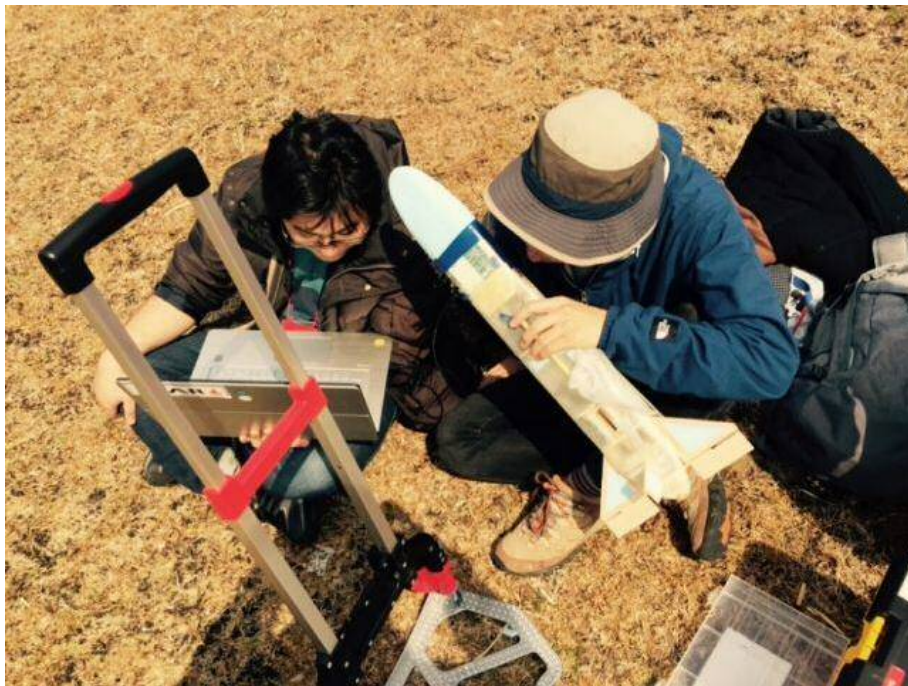


写真17 ロケット打ち上げ前の最終調整の様子

電腦飛行は飛行機ロボットコンテストが終わった後にスペ研との交流を行い、一部ではあるが種子島ロケットコンテストに協力者として参加するに至るところまでいったことから、飛行機ロボットコンテスト後も大変有意義なものであった。ロボットコンテストを通して山大をアピールするといった同じ志を持つ電腦飛行とスペ研との交流は結果としてエンジニアとしてのお互いに知識を深め合い、双方に新しい風を吹き込むより良い機会であったと言える。



写真 18 電腦飛行とスペ研



写真 19 電腦飛行とスペ研の集合写真

6. まとめ

今年度、電腦飛行は大きく分けて3つの活動を行った。1つ目は全日本学生室内飛行ロボットコンテストに向けた活動、2つ目は様々なイベントに参加したこと、そして3つ目はスペ研と勉強会を行ったことである。これらの活動に共通して言えることは、他のチームとの交流を行ったことである。この1年間を通して、電腦飛行は多くの人と関わりを持った。このような“チーム外との繋がり”が、今年度で電腦飛行が得たものである。

今後、電腦飛行としては、今ある繋がりを深めていき、更に広い繋がりを作っていきたいと考えている。また、ただ繋がりをつくるのみでなく、互いに刺激を与えるような切磋琢磨しあう関係を築いていきたい。