山口学生宇宙開発研究プロジェクト（スペ研）

―新たな挑戦―

		代表者		合志	義亜（工学B3年）		
構成員	山本	赳之（工学B3年）	吉田	泰斗（工学B3年）	柳下	里音（工学B3年）
	河本	剛士（工学B3年）	野津	崇司（工学B3年）	赤田	隆浩（工学B3年）
	佐藤	子瑚（工学B3年）	川崎	千聖（工学B3年）	水上	須弥子（工学B3年）
	三瀬	佑朔（工学B1年）	本田	隆真（工学B1年）	酒井	佑輔（工学B1年）
	柏木	貴成（工学B1年）	高下	貴裕（工学B1年）	山本	光慶（人文B3年）
	田口	裕大（工学M2年）				

1. プロジェクトの目的

私たちのプロジェクトは，山口を宇宙につなげることを目標に活動をしています。具体的には，山口大学の学生をロケットや小型衛星の製作を行い大会に出場することで技術的に学生の宇宙への関心を実現することと，地域に向けたイベントなどに参加して，地域の人々に宇宙の興味を引き立て山口県に宇宙への関心が広がっていくことを目標に活動しています。

2. 活動状況

2.1　新メンバーのロケット講習

今年度から1年生のプロジェクト参加が多くあったため，通常常盤地区での活動を吉田地区でも行うことになり1年生や文系向けのロケット講習を7月と8月の2回行いました。第1回目はロケットの基礎を教えるとともにもの作りの基本を指導しました。ここでは2つのグループに分かれてもらい実際に種子島ロケットコンテストにある競技で「有翼滞空」という種目に挑戦してもらうことになりました。実際の競技のルールに従った製作を行うことは制限のあるなかで工夫していくことやグループ内での役割など，もの作りにおける重要な要素を含んでいるため効率的に，設計，スケジュール管理，協調性，など様々な要素を学ぶことができます。第2回目では，競技用に作ったそれぞれのロケットをプレゼンテーションしてもらいました。製作したものの工夫点やアピールポイントなどを如何に印象付けて伝えることができるかという技術はもの作りにおいても重要な要素です。できるだけ早いうちからプレゼンテーションの方法を知って様々なプレゼンテーションの機会につなげられたら良いと思い企画しました。1 年生は皆あまりなれていない様子でしたが，それぞれ工夫した点などを自分たちなりの方法で行っていたので今後の練習次第でより上達すると感じました。プレゼンテーションしてもらった機体等は，上回生が批評し改善点を伝えたので8月5日の工学部オープンキャンパスで実際に競技を行ってもらいました。

図1　吉田地区講習会

2.2　工学部オープンキャンパス

8 月 5 日にオープンキャンパスが工学部で開催され私たちスペ研も参加さていただきました。ここでは見学に来た高校生や保護者に「山口大学おもしろプロジェクト」のことや自分たちの活動について説明し 7 月から製作してきた自立型移動ロボットの試作機や，1 年生によるロケット競技の披露を行いました。オープンキャンパスは 3 部で行われそれぞれ 30 人ほど見学に来ていただきました。今後山口大学に入学する可能性のある高校生などに自分たちの活動を伝えることができ興味も持っていただいたので非常に貴重な経験となりました。また競技では 1 年生に実際に作ってもらったロケットを飛ばしました。1 年生は初めてのロケット製作および打ち上げを行ったので安全に飛行するか不安もありました。しかしモデルロケット協会の安全基準に準拠して打ち上げを執り行い無事に飛ばすことができました。今回のロケット打ち上げにはもの作りを行う上でチームとしてもの作りを行うことを学んでもらうことができたと思います。より高度な開発を行う上でも基本的なものづくりの基礎的なことは共通しているので重要なイベントであったと感じています。

図 2　オープンキャンパス

2.3　ライセンス取得

8 月末に 1 年生のモデルロケットライセンスの取得のため埼玉県のモデルロケット講習会に参加してきました。モデルロケットライセンスとはロケットの打ち上げに必要な資格で 4 級から 1 級までありそれぞれで扱える燃料の量が変わってきます。以前は 3 年生しか持っていなかったので継続的な活動にするためにも 1 年生にモデルロケットの資格を取ってもらうことにしました。この講習会では，ロケットの基礎技術の指導や安全管理の方法が教えられました。さらにロケットを製作し実際に飛ばす実技試験を通ることでライセンスの取得に至ります。今回は 6 名参加し全員ライセンスを取得することができました。

図 3　モデルロケット講習

2.4　ハイブリットロケットの研究

今年度から本格的にハイブリットロケットの研究を開始しました。ハイブリットロケットとは，従来のロケットエンジンである液体燃料ロケットおよび個体燃料ロケットの特徴を持っており現在開発がすすめられている次世代ロケットエンジンです。このロケットエンジンの利点は大きくコスト，安全性，開発の容易性の 3 つが挙げられます。まずコスト面に関して燃料は液体酸化剤である亜酸化窒素と個体燃料であるプラスチックを利用します。液体燃料は一般で取り扱うことのできるガスを用いています。個体燃料に関してはプラスチックやアクリルを利用するため火薬に比べ非常に安価です。次に安全性に関してハイブリッドは液体燃料の供給を停止すれば燃焼を停止することができるので個体燃料エンジンのように燃焼が止められないエンジンに比べて安全であると言えます。最後に開発の容易性について，最初に述べたように燃料が一般的に購入できるものであるので火薬などのように法的規制がなく容易に燃焼試験や打ち上げをできるため開発が容易にできます。また，液体燃料エンジンのように複雑な配管などは必要がなく基本的に燃料タンクと個体燃料の 2 つのパーツで構成されているので学部生レベルでの開発が可能です。

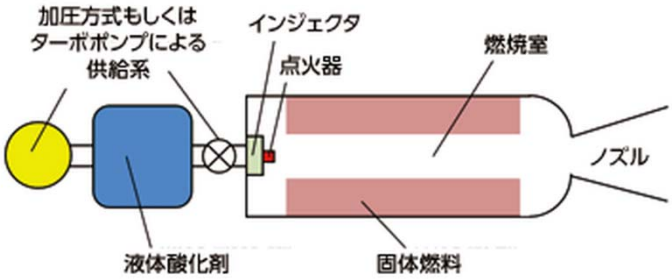

図 4　ハイブリットロケット推進システム

今年度は他大学の資料を基にハイブリットロケットの勉強を行い，エンジン単体での燃焼実験を行うための機材を海外の業者から輸入しました。しかし一部の機材が輸入できず今年度中の燃焼試験ができませんでした。在は輸入できなかった一部の機材を独自に製作するために外部に設計の依頼を考えています。

図 5　ハイブリットロケットエンジン

2.5　種子島ロケットコンテストに向けた開発

10 月から本格的に 3 月 2〜4 日にかけて行われる種子島ロケットコンテストに出場するための機体の開発を開始しました。ロケット部門，有翼滞空競技 2 チーム，定点回収滞空競技 1 チーム，ペイロード部門，CanSat 競技 1 チームのグループに分かれそれぞれのチームで開発を進めていきました。以下にチームごとの製作過程を示します。

① 定点回収滞空部門（チーム SHIZUKU）

定点回収滞空部門とは，ロケットの打ち上げの精度や回収地点の精度およびロケットの滞空時間を競う部門です。つまり，ロケットを高く飛ばすことや，パラシュートが十分な減速性能を持ちかつ，風に流されないような設計が求められます。

●コンセプト

コンセプトは以下のように設定しました。

・ 「しずくをイメージした流線型のボディ」

このコンセプトを設定した理由として，ロケットのボディを，しずくをイメージした流線型にすること空気抵抗を減少させることができると考えたからです（図 6)。また，パラシュートを展開させたとき傘と雨のしずくをイメージさせる「かわいい」ロケットであることも理由の 1 つです。

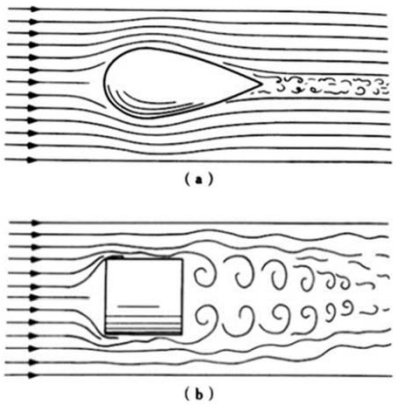

図 6　物体の形状による流れの違い
「流体抵抗と流線形－流体力学的に見た乗り物の形状デザイン－」
牧野光男著，産業図書株式会社，1991 年，P4 より引用

図 7　ロケットの外観図

●製作の工夫

尾翼について，ロケットの安定性は「重心」と「空力中心」の関係に左右されます。重心は機体前方に，空力中心は機体後方にあることが，ロケットが飛行するうえで必要になります。尾翼が大きく，機体後方にあればあるほど，空力中心は機体後方に位置するようになります。そこで，長い脚でボディと尾翼をつなげることで空力中心を機体後方に下げることにしました。これにより，小さく軽い尾翼でも安定した飛行が可能になりました。

パラシュートについて，しずく型ロケットのパラシュートなので，中心が盛り上がった傘のような形（天蓋型）を採用した。また風に流されにくくするため，自衛隊の落下傘を参考にしてパラシュートに風を逃がす穴をあけた。パラシュートに開ける穴の個数は，投下試験（図 8）の結果より 3 個とした。

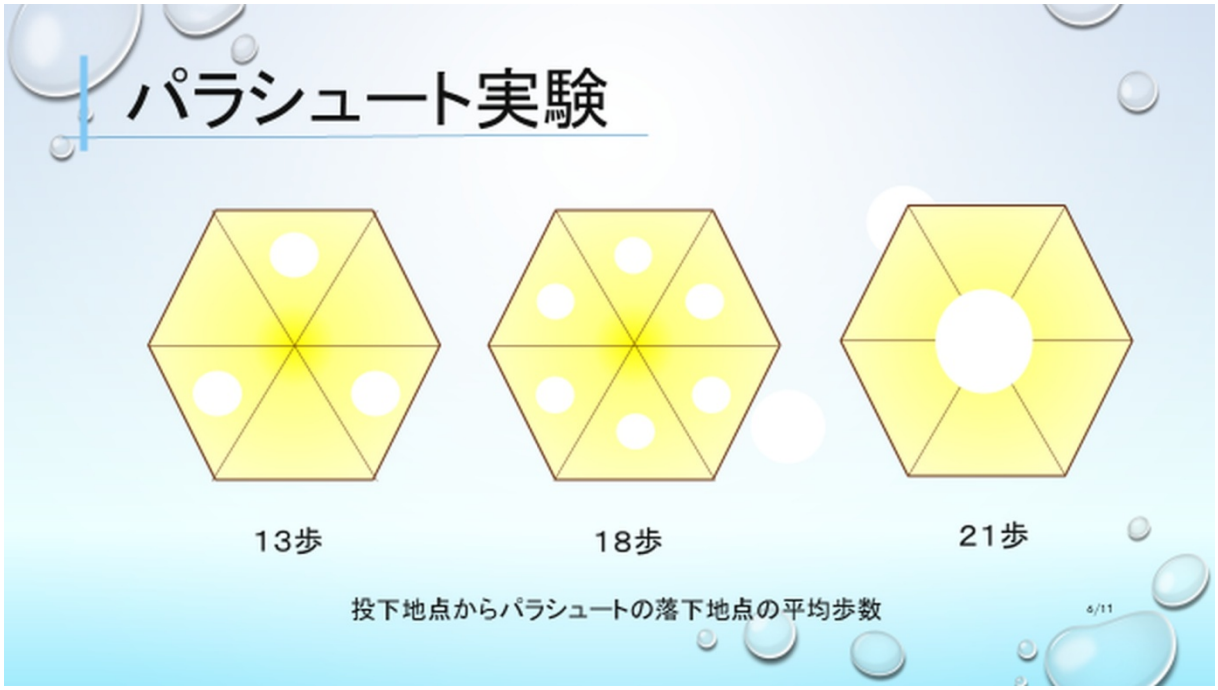

図 8　パラシュートの投下試験

発射台について，発射台は大会側が用意しているのですが，今回より正確な打ち上げを可能にするために角度を自由に設定できる発射台を製作しました。風速計で風速を測り，Open Rocket のフライトシミュレーションにより求めた最適な発射角度でロケットを発射することができます。また，3 点で機体を支持するため，発射時のブレを抑えることも可能です（図 9）。

図 9　発射台

機体材料について，繊維強化プラスチック（FRP）を機体の主材料としました。ガラス繊維をポリエステル樹脂で固めた，丈夫な材料であり実際の航空機や宇宙機にも使われている素材です。成型および加工が難しいことが難点です。今回は SHIZUKU のボディ，ノーズコーン，尾翼に使用しました。図 10 は加工の様子です。

図 10　FRP の成型

型にガラスクロスを被せて樹脂を塗り，固まると上図のようになります。樹脂を塗る際，気泡が入りやすいので注意が必要でした。また，型から外す際に破損し，接着してはがれないケースも見受けられました。これらの問題はゲルコートを用いることで避けられますが, 高価な樹脂であるため使用を避け養生テープで代用しました。

●打ち上げ試験の結果

打ち上げ試験は全部で 5 回行いました。パラシュートを放出させるための蓋（図 11）には，重いものと軽いものの 2 種類があったため両方を試しました。結果を表 1 に示します。足の折損が見られた際は，接着剤とテープを用いて修理するか足を新しく作り直しました。ボディと尾翼は丈夫な素材である FRP からなるため，損傷はみられませんでした。

図 11　パラシュートの蓋

表 1　　打ち上げ試験の結果

実験回数	搭載パラシュート	蓋	高度	パラシュート状態	損傷
1	2 個	重	低	開かず	なし
2	2 個	軽	高	片方開く	足のボディとの接合部が破損
3	1 個	重	低	地上付近で開く	足のボディとの接合部が破損
4	1 個	軽	高	開く	なし
5	1 個	軽	高	開く	足のボディとの接合部が破損, パラシュートの一部が燃焼

重い蓋は開きにくく，高度が低くなることが判明したため軽い蓋を使用した。パラシュートは当初小分けにする予定であったが，放出されにくくなることが判明したため 1 つに変更した。

●種子島ロケットコンテスト

今回の大会では，結果として軽さを追及するあまりパラシュートが燃えやすく上空で燃焼したため自由落下してしまいました。しかし空気力学を考慮した独創的なデザインが評価され審査員特別賞としてユーモア賞（種子島観光協会賞）をおよそ 60 チームの中から受賞しました。

図 12　授賞式

●今後の課題

今回使用した機体の問題は強度の高い素材を高い強度が必要のないところにも使用していたため設計段階よりも重くなったことです。また，修理可能とはいえ，ボディと尾翼をつなぐ足が折損しやすかったことも挙げられます。さらに，パラシュートが熱に弱く燃焼を防ぐために入れる難燃紙の量も不十分であったことが今回失敗した主な原因です。これらの改善として，今回機体の材料である FRP にガラス繊維を用いたが強度過剰で重くなりましたが，種子島ロケットコンテストにはガラス繊維の代わりに紙を用いてロケットを製作したチームが出していました。紙はガラスクロスに対して丈夫さでは劣るものの，軽く安価で強度面では必要条件を満たしています。足が折れやすかったのは，最も衝撃に弱い部分にヒノキを用いたためです。この部分にはストローなど折れにくい素材を使用すると修理に時間を取られなかったと考えられます。また充填剤に紙粘土を用いたが，出場チームの多くはスタイロフォームを加工していた。スタイロフォームの加工には技術を要するが，紙粘土に比べてはるかに軽量です。以上の改善方法は，種目 2 ロケット部門（高度）優勝チーム「なちゅポテ AlT」が属する，愛知工業大学ロケット研究会の顧問である今野彰教授からアドバイスをいただきました。本チームには材料に関する知識が不足していたが，種子島ロケットコンテストで多くの団体や企業との交流を経て，より良い機体を製作する知識を得られたように感じます。

② CanSat 部門

CanSat とは，小型ローバーをロケットや気球を用いて上空から放出し，飛行もしくは，パラシュートで落下させた後に走行させることで指定された目的地に自動で近づける競技です。この競技は疑似的な惑星探査の一連の流れを地上で行うことで宇宙開発を学ぶという教育的な意義もあります。

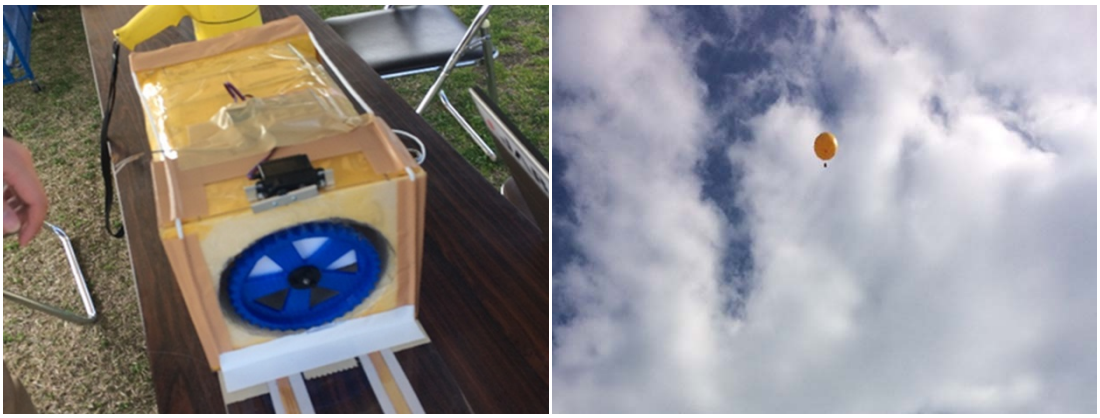

図 13　CanSat 競技

●コンセプト

CanSat は以下のようなコンセプトのもと製作を行いました。

- 「拡張性のある機体の作製」
- 「確実性の高い走行アルゴリズムの確立」
- 「変更に柔軟な構体」

以上のコンセプトを設定した理由として, 今回の種子島ロケットコンテストが CanSat 初参戦となり手探りでの開発となるため変更に柔軟であることが重要でした。

●製作の工夫

構体に関して，今回の CanSat は，3DCAD により設計し 3D プリンターで機体の大部分を作成しました。3D プリンターで部品を作成した理由として，設計の変更に柔軟で，迅速な出力が可能であることがあります。また図 15 のようにサーボモーターにより超音波センサーを展開させることで草などの誤検出を防ぐことができます。

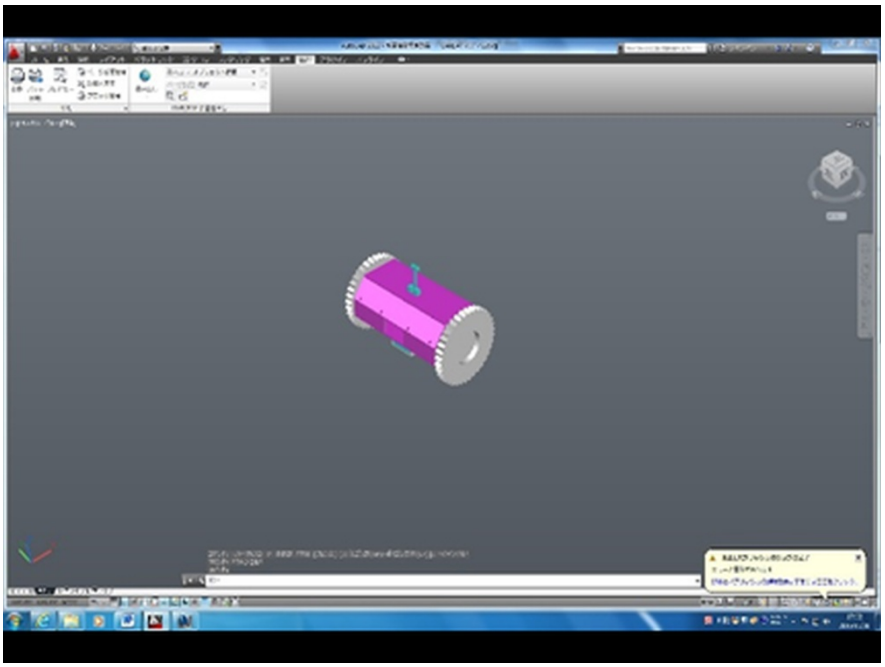

図 14　CAD での設計

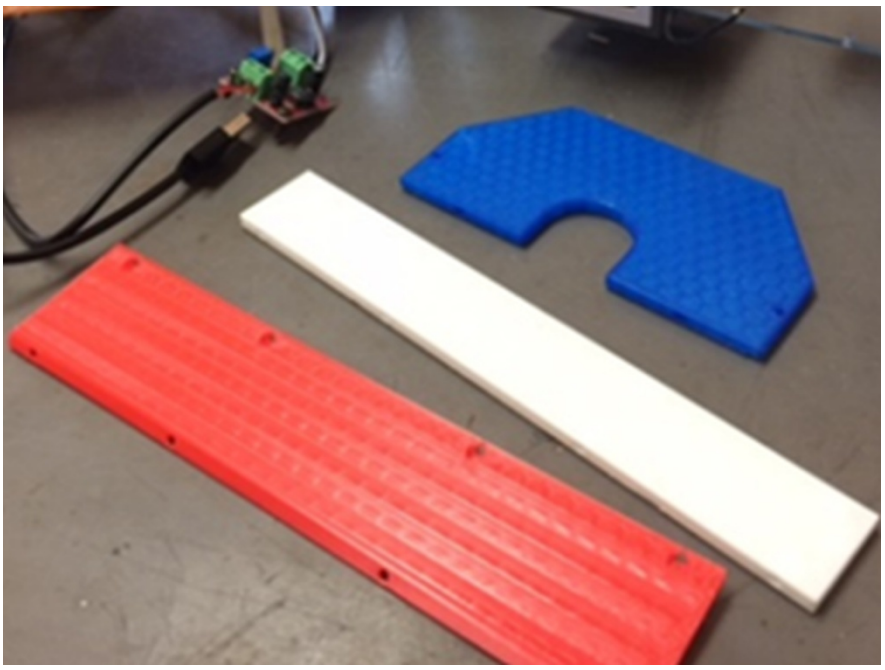

図 15　3D プリンターで出力した部品

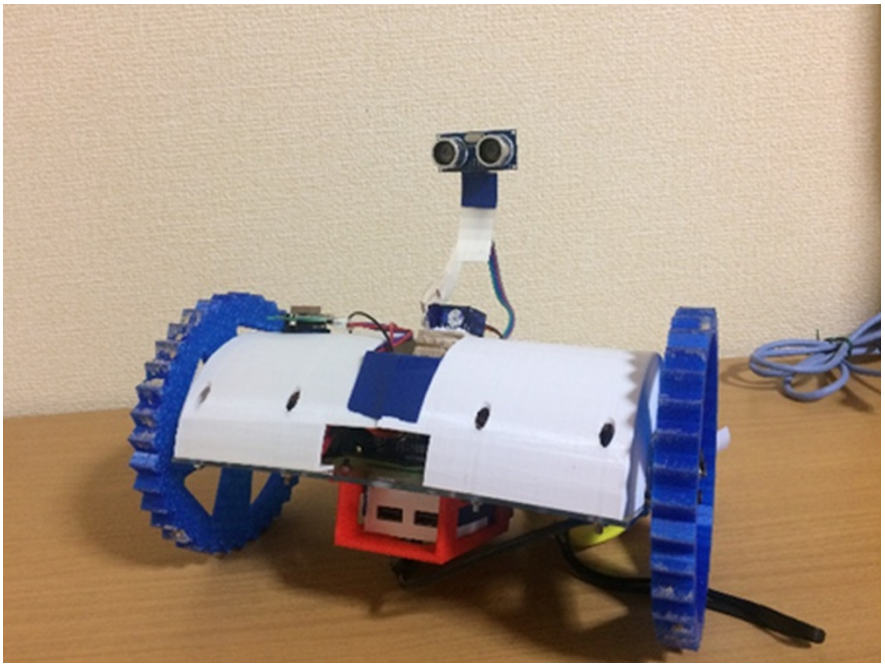

図 16　機体の外観図

電装に関して，機体に多くのセンサーを搭載しました。今回は，GPS，ジャイロセンサー，地磁気センサー，加速度センサー，Bluetooth，気圧センサーを搭載しましたが，ジャイロセンサーと加速度センサーは今回使用していません。これは，コンセプトのように今後のアルゴリズムの変更によってさらに拡張できるようにするためです。また基盤は，ユニバーサル基盤で作りました。ユニバーサル基盤の特徴は等間隔に穴の開いた基板上に自分で配線を行うので，製作が容易だということです。

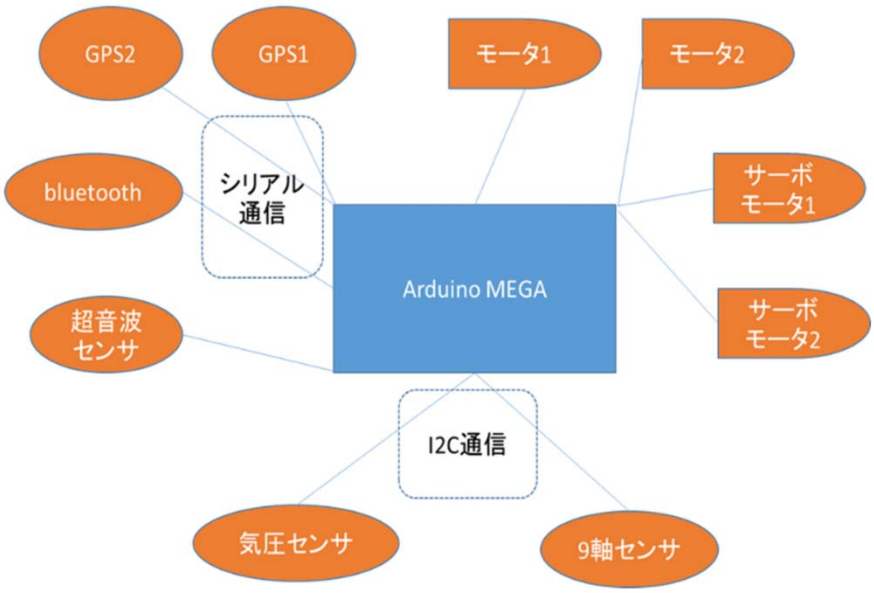

図 17　アビオニクス

●走行試験および投下試験

走行試験は，工学部のグランドにて行い目標地点はラグビーゴールのポールとしました。走行試験の結果として，目標地点から 1m となり昨年度の 2 位の記録が 5m 以上であったので非常にいい結果が出ました。しかし，距離センサーがサーボアームの先端についており，走行が開始すると展開するようになっていますが，サーボがほかの機器と干渉してしまいうまく展開できませんでした。したがって大会では距離センサーを外し GPS と地磁気センサーのみで走行をすることにしました。

図 18　走行試験の様子

パラシュート試験はパラシュートを 4 階から投下してその原則性能を調べました。試験の結果から 3 m/s であったため十分な減速ができていると考えました。

図 19　パラシュート投下試験

●種子島ロケットコンテスト

今回の種子島ロケットコンテストの結果は，CanSat が気球から落下した後パラシュートを切り離すことができずにリタイヤとなりました。パラシュートが切り離せなかった原因として基盤の耐久性に問題があったと考えられます。今回は基盤をユニバーサル基盤（図 20）で作りましたがハンダで作った配線が度重なる走行試験での振動などで弱っていました。落下の衝撃を考慮するあまり必要以上に大きくパラシュートを作りすぎたため現地では風が強く大きく流されてしまいました。そのほかにも，SD カード保存されているデータが文字化けを起こしていたのでモーターのノイズが原因であると考えています。

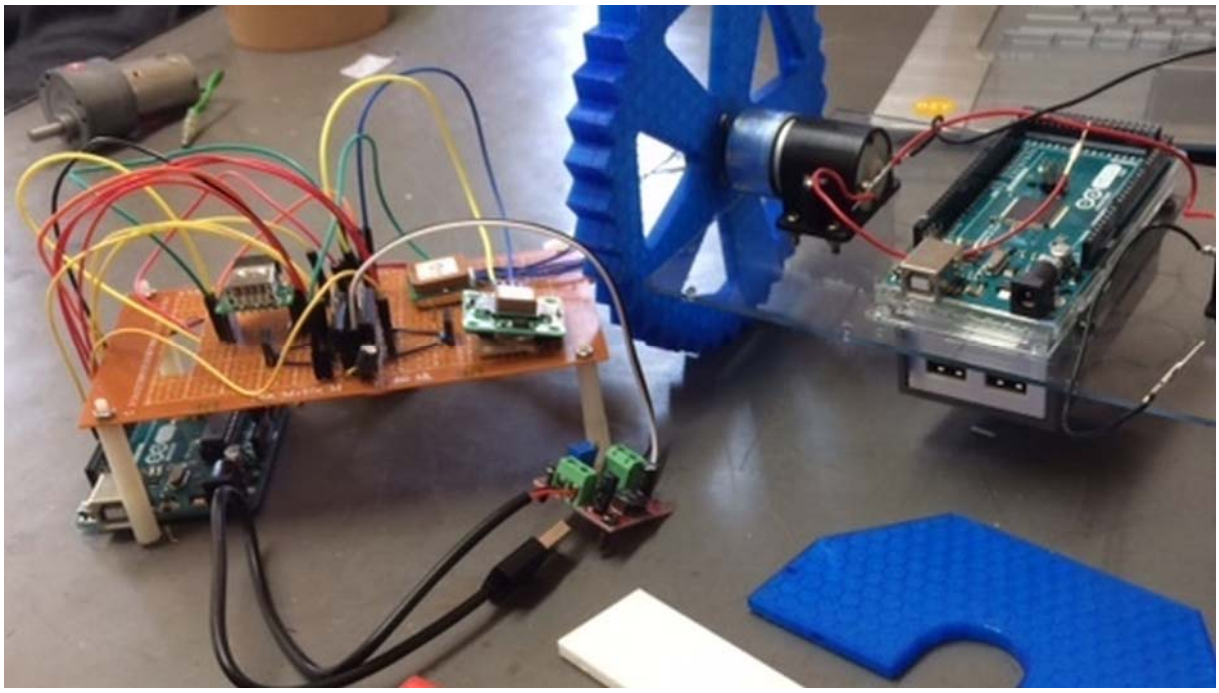

図 20　ユニバーサル基盤

●今後の課題

今大会は多くのチームがリタイヤとなり，あまりいい結果が出ていなかったので，改めてこの競技の難しさを痛感しました。プログラム的にはあまり問題がなかったので，ハード面を大きく修正する必要があると感じています。具体的にはユニバーサル基盤をプリント基板に変更することで，衝撃に強くすることが最優先事項だと考えています。モーターのノイズの対策も重要です。今回は初出場であったのでソフトウェア開発に多くの時間を取られたてしまいました。しかし今回は，ソフトウェアはある程度完成したのでハード面を重点的に開発することが可能です。来年度はソフト面とハード面ともに充実した機体を作っていこうと思います。

③ 有翼滞空部門（ダックス s）

有翼滞空部門とは，ロケット内部にグライダーやプロペラ機を搭載し，上空で解放した後の滞空時間を争う競技です。今回この競技は，上空でのペイロードの解放が難しく多くのチームが失敗する難易度の高い競技です。その中でもグライダーが特に難しく今までに成功したチームは数えるほどしかありません。今大会には本団体から 2 チームが出場しました。その 1 つ目のチームである「ダックス s」の製作過程を示します。

●コンセプト

今回製作した機体のコンセプトは以下のように設定しました。

- 「軽で衝撃に強い機体」

軽量で衝撃に強いことで安定した状態でペイロードを解放することができ滞空時間の増加につながると考えたからです。

●製作の工夫

狭いロケットのスペースに翼の大きなグライダーを搭載するために翼をばねによって展開させる機構を採用しました。また，グライダーの素材についても水による耐性を強化するため翼部に傘の生地を採用し，衝撃への耐性を強化するために軸を固い木の素材にし，衝撃緩衝材を機体前方につけました。

●打ち上げ試験

吉田キャンパスのグラウンドで打ち上げ試験を行いました。結果として，グライダーの影響による重心の非対称性の影響で不安定に飛行したものの上空でグライダーの展開に成功し記録は 10 秒でした。記録としてはグライダーとしてはよい結果が出ましたが，プロペラ機の記録には及ばないのでグライダーの滞空性能を上げる必要がありました。機体の改善策は，グライダーの翼をより強固に固定することにしました。

●種子島ロケットコンテスト

種子島ロケットコンテストの結果は，ロケット自体は安定して飛行したもののペイロードを放出するためのピストンが内部でつまってしまいペイロードの射出に失敗しそのまま落下してしまいました。

●今後の課題

大会の結果において，今までに起きなかった問題が起こって失敗してしまいました。このことから試射の回数が少なく問題が試射の時点で発見できなかったことにあると考えたので，今後の開発では試射の回数を増やしサンプルを多くとり，打ち上げの精度を高めていく必要があると感じました。

④ 有翼滞空部門（IBIANA）

出場 2 チーム中の 2 つ目のチームである「IBIANA」の製作過程を示します。

●コンセプト

今回作成した機体のコンセプトは以下のものです。

- 「身のまわりで手に入る互換性の高い材料，及び端材などを用いた安価な機体」

●製作の工夫

今回の種子島ロケットコンテストの制約としてペイロードの重さが 50g 以上なのに対して，ロケットとペイロード総重量は 170g 以内というものでした。そのためロケットに用いるボディチューブを軽量化しその制約を打破しようと試みました。また，ペイロードのグライダーは重心を前方に移すことで安定性を高めました。

●打ち上げ試験

打ち上げ試験は 2 回行い，2 回ともペイロードの分離とパラシュートの展開に成功することができました。また，ペイロードの滑空試験を 15～20 回程度行い，グライダーの安定性と強度は十分なものと判断できました。

●種子島ロケットコンテスト

ロケットの打ち上げ軌道が想定したよりも逸れたのですが，ペイロードは展開することができたため飛行時間は 8 秒程度でした。また，コンセプトに対してのロケットとペイロードの性能などが評価され，審査員特別賞としてベストデザイン賞（川崎重工業（株）賞）をいただきました。

●今後の課題

大会では競技の進行において繰り上げなどが生じてしまい，予想していたよりも順番がすごく早かったため，準備が完全でないまま打ち上げなければならない状況が生まれてしまいました。そのため，あらかじめ直ぐに完形にできる機体を製作する必要がありました。またこの活動を通して，チームでの活動を推し進めることができず，一部分において個人での活動が目立ってしまうことがあったため，2 年次からはグループでの活動を推し量りたいと思います。

3. まとめ

今年度は，1 年生の新メンバーも増えて吉田キャンパスと宇部キャンパスと 2 つの地区で活動を行う必要がありました。従って，なかなか頻繁に指導が行えず不安もありましたが，2 部門で審査員特別賞を受賞することができ，3 年間やってきたことが報われたように思います。しかし多くの部門でまだまだ発展の余地があり，競技の順位としてはまだまだ納得のいく結果が得られていないので，更なる改良を通して優勝できるように活動を進めていきたいと感じています。また今年度から始動したハイブリットロケットの開発も問題があり燃焼試験まで行えませんでしたが，来年度にはより開発を促進するめどが立ったので種子島ロケットコンテストと同時に進めていきたいと思います。