

# 公立はこだて未来大学 2006 年度 システム情報科学実習 II グループ報告書

Future University-Hakodate 2006 System Information Science Practice II  
Group Report

## プロジェクト名

超小型人工衛星の設計・製作と打ち上げ・運用

## Project Name

Designing, Making, Launching and Operate Very Small Satellites

## グループ名

グループ B

## Group Name

Group B

## プロジェクト番号/Project No.

5-B

## プロジェクトリーダー/Project Leader

1104078 森田健 Takeshi Morita

## グループリーダ/Group Leader

1204143 珍田計幸 Kazuyuki Chinda

## グループメンバ/Group Member

1204141 菅原康太 Kouta Sugawara

1204143 珍田計幸 Kazuyuki Chinda

1204147 樋口亮太 Ryouta Higuchi

1204155 大高全 Akira Otaka

## 指導教員

大澤英一 加藤浩仁 和田雅昭

## Advisor

Ei-ichi Osawa Koji Kato Masaaki Wada

## 提出日

2007 年 1 月 17 日

## Date of Submission

July 17, 2007

## 概要

本プロジェクトの目的は、CanSat とよばれる小型人工衛星を設計し、その製作、打ち上げ、運用といった一連のプロセスを体験することによって宇宙工学や電気・電子工学、材料工学、通信技術等の基礎知識はもとより、プロジェクト管理能力やグループ作業について学習するものである。この一連のプロセスは、ARLISS(A Rocket Launch for International Student Satellites) プロジェクトに準じて行う。

ARLISS プロジェクトとは、CanSat とよばれる 350ml 缶サイズに定められたミッションを遂行するのに必要な全ての機能を収めた小型衛星を用いて行われるコンテストである。CanSat をアマチュアロケットで約 4,000m 上空に打ち上げ、GPS やカメラ等の各種センサを用いて目的地点まで自律制御で誘導し着陸することを目指す。最終的な判定は目的地と着陸地点との距離と、飛行ログの取得が出来ているかによって判断される。我々は、この ARLISS プロジェクトに準じたミッションを目的とする。

また、このプロジェクトは一昨年度からの継続したプロジェクトである。そこで、これまでの成果や問題点をもとに、さらに発展した成果を求めて活動を行う。

キーワード CanSat, ARLISS, 宇宙工学, 電子工学, 通信制御技術

(文責: 珍田)

# Abstract

The first purpose of this project is designing, making, launching and operating the very small artificial satellite called CanSat. And it is learning basic knowledge, such as space engineering, electrical engineering, electronics, material engineering, and communication technology. Furthermore, we learn about project management ability or group work. This process refers to an ARLISS (A Rocket Launch for International Student Satellites) project, and undertakes it.

An ARLISS project is a contest performed using the small satellite called CanSat. CanSat is the small satellite which packed the function into 350ml can size. The CanSat is launched by the amateur rocket in the sky of about 4,000m. Afterwards, it sails aiming at the goal with sensors such as GPS and camera. At this time, it is operated by an autonomous control system. The final judgement is judged by the range of distance and the flight log. We execute the mission based on the ARLISS project.

This project is a continuing project from the year before last. Then, we aim for the progressive result.

**Keyword** CanSat, ARLISS, space engineering, electronics, transmission control

( 文責: 珍田 )

# 目次

第 1 章	はじめに	1
1.1	背景	1
1.2	目的	1
1.3	従来例	2
1.4	従来の問題点	2
1.5	課題	2
第 2 章	プロジェクト学習の概要	3
2.1	問題の設定	3
2.2	課題の設定	3
2.3	到達レベル	3
2.3.1	ロケットへの搭載	3
2.3.2	パラフォイルの展開	3
2.3.3	サーボモータの制御	4
2.3.4	GPS 衛星の捕捉	4
2.3.5	飛行ログの EEPROM への保存	4
2.3.6	着地時の衝撃吸収	4
2.3.7	飛行アルゴリズム	4
2.3.8	課題の割り当て	4
第 3 章	問題解決のプロセス	7
3.1	課題解決の方法	7
3.1.1	電源・回路系	7
3.1.2	筐体系	9
3.1.3	飛行系	9
第 4 章	プロジェクト内のインターワーキング	11
4.1	グループ間での協力	11
4.2	グループ内での協力	11
第 5 章	結果	12
5.1	成果	12
5.1.1	回路系	12
5.1.2	制御系	14
5.1.3	筐体系	20
5.1.4	飛行系	20
5.2	解決手順と評価	21
5.2.1	回路系	21
5.2.2	制御系	21

5.2.3	筐体系 . . . . .	21
5.2.4	飛行系 . . . . .	21
5.3	実験の結果 . . . . .	22
<b>第 6 章</b>	<b>まとめ</b>	<b>23</b>
6.1	プロジェクトにおける各自の役割 . . . . .	23
6.2	今後の課題 . . . . .	23
6.2.1	今後の課題 . . . . .	23
<b>付録 A</b>	<b>新規習得技術</b>	<b>25</b>
<b>付録 B</b>	<b>活用した講義</b>	<b>26</b>
<b>付録 C</b>	<b>相互評価</b>	<b>27</b>
C.1	珍田計幸に対する評価 . . . . .	27
C.2	菅原康太に対する評価 . . . . .	27
C.3	樋口亮太に対する評価 . . . . .	27
C.4	大高全に対する評価 . . . . .	28
<b>付録 D</b>	<b>中間発表の評価</b>	<b>29</b>
D.1	発表技術の評価 . . . . .	29
D.2	発表内容の評価 . . . . .	29
<b>付録 E</b>	<b>成果発表の評価</b>	<b>30</b>
E.1	平均評価 . . . . .	30
E.2	発表技術 . . . . .	30
E.3	発表内容 . . . . .	30
E.4	考察 . . . . .	31
<b>付録 F</b>	<b>その他製作物</b>	<b>32</b>
<b>参考文献</b>		<b>33</b>

# 第 1 章 はじめに

## 1.1 背景

現在、世界各国の大学では小型人工衛星の打ち上げプロジェクトが盛んに実施されている。

発端は 1998 年にスタンフォード大学のボブ・ティッグス教授が工学教育の目的のために提唱した CanSat プロジェクトである。これは、宇宙工学を学ぶ学生たちのために、人工衛星の設計、製作、打ち上げ、データ解析、そして運用するといった大掛かりな一連のプロジェクトを実際に体験してもらう目的で始められた。空き缶 (can) サイズの衛星 (satellite) ということから、CanSat プロジェクトと名付けられた。当初は、宇宙まで到達させ周回軌道に乗せて運用まで行う予定であったが、ロケットの調達が難しかった。そこで、アマチュアロケットを用いて地上 4000m 上空から落下させ、そのログを取得、解析するというプロジェクトとなった。

その後、落下時に飛行制御を行い目的地へ到達するミッションを加えた「ARLISS プロジェクト」へと発展した。ARLISS プロジェクトとは、350ml 缶サイズにミッションを遂行するために必要な部品をすべて詰め込んだ超小型衛星 (CanSat) を、アマチュアロケットを用いて上空約 4,000m まで打ち上げ、飛行ログを記録しながら目的地まで自律航行することを目指した学生コンテストである。

なお、実際に周回軌道に乗せて、衛星を運用するプロジェクトもその後ティッグスは提案した。それが CubeSat プロジェクトであり、10cm 立方サイズに全ての装置を収めて打ち上げるというものである。実際に東大や東工大の打ち上げた CubeSat が現在も地球の周りを周回しており、宇宙から写真を送り続けている。

(文責: 珍田)

## 1.2 目的

本プロジェクトの目的は、超小型衛星 (CanSat) の設計・製作と打ち上げ・運用の過程において航空宇宙工学に関連した電子工学・回路工学・情報工学・通信技術といった知識や技術の獲得を目指すことである。

本プロジェクトは低軌道上で運用を行う CubeSat プロジェクトへ移行する前段階のプロジェクトである。これらの獲得を目指す技術は CubeSat にて活かすことができないといけない。CubeSat プロジェクトとは 10cm 立方の小型人工衛星を地球周軌道上に打ち上げ、運用することを目的とするものである。また、ロケット打ち上げ実験では確実に目標に向かうような制御を行い、完全な飛行記録を取得することをミッションとする。更に、打ち上げられた小型衛星は目標から半径 15m 以内への到達を目指す。

(文責: 大高)

### 1.3 従来例

1999 年よりアメリカのネバダ州の砂漠で人工衛星のプロジェクト、ARLISS が毎年開催されている。

この大会は、各チームが 350ml 缶サイズの CanSat をアマチュアロケットに搭載して上空約 4000m まで打ち上げ、着陸するまでの間に様々なミッションをこなすというものである。このミッションには、指定された目的地へどれだけ近づけるかを競うカムバックコンペティションというものがあ、日本の大学からも多数参加している。

GPS により現在位置・目標位置を捉えて、人工衛星を自律制御させて目的地まで近づけるかを競い合い、飛行を制御できたかというログの提出が義務付けられている。

(文責: 樋口)

### 1.4 従来の問題点

上空での制御にパラフォイルを利用するために、このパラフォイルが CanSat に絡まってしまうということがあ。この状態に陥ると CanSat が高度 4000m から自由落下になってしまうため特に気をつけなければならない。また、制御のログが取ることに関する問題がある。ARLISS だとこのログが取れていないと失格になる厳しいルールがあるために、事前の実験できちんと確認しておく必要がある。

続いて打ち上げ着陸時の衝撃の問題がある。事前に衝撃実験などを行い、衝撃によりシステムの異常を起こさないような工夫が必要である。また CanSat は 350ml 缶サイズに納まる設計にしなければならないなど、問題点は多々あ。

(文責: 樋口)

### 1.5 課題

本プロジェクトは一昨年からの引継ぎである。昨年は一昨年からの筐体の小型化を実現した。

昨年度までの 3 グループの各筐体は目標である 350ml 缶への収納が達成されていない。そのため、本年度は筐体のさらなる小型化が課題となっている。また、電力の不足による回路、システムの誤作動や停止が見られた。そのため、電力の増加、もしくは使用部品の減少を考えなくてはならない。

本年度は小型ロケットに搭載し、上空 1000m まで打ち上げ、降下させるため、パラフォイルの小型な収納、パラフォイルが開かなかった場合の筐体の衝撃対策、実験が 12 月であるため、筐体の寒冷対策が必要である。

(文責: 菅原)

## 第 2 章 プロジェクト学習の概要

### 2.1 問題の設定

本プロジェクト学習では、1.4 節で述べた問題のうち、失敗の少ない安全な飛行を実現し、より目的地の近接に到達すること、CanSat の小型化、確実なデータ通信をすることを目指す。現在の状況で可能な範囲でのプロジェクトの運営を進めていくことに設定した。確実な飛行を実現する上での課題を解決するために、以下の問題を設定した。

- 小型飛行機による落下実験・同定実験。
- 1 つのサーボモータでパラフォイルの展開制御に関する新しい方法の検討。
- 無線による通信に関する、従来例を改善する方法の検討。
- グループとのプロジェクト管理を円滑に進めるための方法の検討。

( 文責: 樋口 )

### 2.2 課題の設定

本プロジェクトでは、2.1 節で述べた問題について、以下を達成するための方針として設定した。

- 飛行理論について学習・実験を行い、新たな飛行アルゴリズムを考案する
- 実験を繰り返し適切なパラフォイルの展開方法を模索する
- 通信理論の学習、および昨年までの成果を考慮し、より確実な無線通信を行う
- 長期間にわたるプロジェクトのスケジュール管理を行い、成果物を確実に残す

( 文責: 珍田 )

### 2.3 到達レベル

#### 2.3.1 ロケットへの搭載

小型ロケットに搭載できるサイズにしなければならない。現在製作できている筐体が 350ml 缶よりも一回り大きいため、収納できるサイズにしなければならない。

#### 2.3.2 パラフォイルの展開

小型ロケットからの放出後、早期のパラフォイルの展開を行わなければならない。また、理想の展開の成功率の向上が必要となる。そのため、早期の展開と展開成功率のバランスが良い折りたたみ方を発見することが必要になる。また、ロケット搭載時のことも考慮したものとしなければならない。



### 2.3.3 サーボモータの制御

目的地へ向かうために作成された飛行アルゴリズムを再現するため、確実な動作を行える信頼性の確立が必要になる。

### 2.3.4 GPS 衛星の捕捉

飛行制御のために確実に GPS データを取得できるようにしなければならない。そのためには影響が少ない筐体の設計も必要になっている。

### 2.3.5 飛行ログの EEPROM への保存

本年度は小型無線機 MU-1 を使用しないため、筐体に搭載した EEPROM にのみ飛行ログが保存されるため、取得した飛行ログを EEPROM へ確実に保存できることが必要となる。

### 2.3.6 着地時の衝撃吸収

小規模でも実験などでの筐体の再利用性なども考慮し、軟着陸時において GPS、EEPROM や回路基盤に損傷を与えないような筐体設計を完成させることが必要である。本年度のプロジェクトの最終実験では上空 1000m まで打ち上げるため、EEPROM は衝撃が加わりデータの損傷が起これば目標とする ARLISS のルールに反するため、特に注意が必要である。

### 2.3.7 飛行アルゴリズム

最低条件として確実にパラフォイルが展開しなくてはならない。そして昨年度までより目的地へ近づくための飛行アルゴリズムを作成しなくてはならない。

(文責: 菅原)

### 2.3.8 課題の割り当て

我々が設計・製作する CanSat の基本構造を図 2.1 に示す。システム等の構成は図 2.1 にブロック図<sup>\*1</sup>として示したとおりであり、これらの機能を実現するために以下の 5 つに分類した。

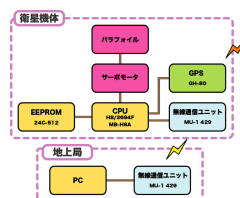


図 2.1 製作する小型衛星の基本構造図

<sup>\*1</sup> 複雑な概念や相互関係を分かりやすく図示したもの

回路系 超小型人工衛星の筐体内部に、GPS 受信機・サーボモータ・保存媒体である EEPROM などの電子部品を動作させるための回路基板を設計・製作する。

これらの電子部品はそれぞれ必要電圧が異なり、それらを整流必要がある。また、GPS 受信機からのデータは SCI(Serial Communication Port) を通じて受信し、デフォルトデータ以上の詳細な情報を望む場合は SCI を通じて GPS にコマンドを送信しなければならない。また、H8/3694 には SCI が 1 組 (送信・受信) しか存在しないため、EEPROM への読み出し・書き出しは代替ポートを使用する必要がある。また、サーボモータの制御にもマイコンからの信号を送らなければならない。以上の電子部品を慎重に取り付ける必要があるとともに、それらの基板にはノイズや部品の大きさによる干渉等も考慮しなければならない。

また、今回は 350ml 缶に入れることが出来るサイズに小型化を図るため、50cm 角の基板 2 つで納める必要もあった。

制御系 ソフトウェア全般に渡る作業を担当する。

最低限必要とされるのは、GPS から得られたデータを基に飛行アルゴリズムに則ってサーボモータを制御し、それらの制御データ・GPS データを EEPROM に保存することであった。

サーボモータの制御は、昨年までの成果として完成されていたため、今年度は主に GPS データの処理方法と飛行アルゴリズムの最適化が目標となっていた。また、EEPROM への保存も昨年までに成功させていたが、本年度は更に読み出し後のデータプロットのための処理を含めることにした。これにより、実験後毎のデータプロットが容易になるとともに、作業効率を上げることを目的とした。これら必要データの保存以外にも、実験データとして、誤差修正に役立つ HDOP 及び VDOP もしくは各種データを取得した日時等も GPS から取得し、EEPROM に保存する予定であった。このデータにより、実験の信頼性を著しく向上させることができるとともに、飛行アルゴリズムの精度向上にも大きく貢献できると考えた。

筐体系 350ml 缶サイズに GPS 受信機等の電子部品を搭載するため、15m 程度の高度から自由落下を行っても回路基板若しくは電子部品への損壊を最小限に抑えることで、保存媒体である EEPROM の無傷での回収が必要不可欠となる。そのため、昨年度に引き続いて衝撃緩衝材である -ゲルの使用や、衝撃分散材である強化スプリングの使用によって、落下時の衝撃を吸収する機構を製作する必要があった。これらは、理論上の数値だけでなく、相当程度の高度からの自由落下実験を実際に行うことで、その耐久性を確かめる必要もあった。

また、パラフォイルを接続する部分は翼長 (パラフォイルを接続する間隔) が長いほど飛行が安定する性質があることが分かっていたため、昨年以上に翼長を拡張する機構を製作する必要性があった。

飛行系 パラフォイルは安定的に飛行するために、必要不可欠な物であるため、それらの素材選定を行う必要があった。また、サーボモータを制御することでパラフォイルを操作できるが、効果的に目的地に到着するための飛行アルゴリズムを設計しなければならなかった。ただし、この飛行アルゴリズムは実装段階では制御系にその作業を引き渡す。

また、ロケットに搭載された状態から展開・落下した後、パラフォイルが開き安全に落下するための機構を設計する必要があった。これは、パラフォイルの畳み方が大きく関与するため、ダミー筐体を用いて折り畳み・落下・展開実験を行うことで、最も効率よく展開を行う畳み方を発見する必要があった。また、畳み方だけでなく、筐体もしくは何らかの機構を設計・製作することによって、ロケットから展開されたときのパラフォイルの展開速度を向上させるような機構の開発も求め

られていた。もしも、パラファイルが何らかのエラーを含んだ場合、筐体・回路・制御の作業は全てが無駄になるため、非常に慎重に取り組む必要性があった。

また、グループ内に超小型人工衛星の設計・製作と打ち上げ・運用を行ったことのあるメンバーはおらず、専門分野等は存在しなかった。そのため、メンバーの希望に沿って担当の割り当てを行った。担当の割り当ては表 2.1 の通りである。

珍田	回路系
大高	制御系
菅原	飛行系
樋口	筐体系

表 2.1 メンバーの担当割り当て

(文責: 大高)

## 第 3 章 問題解決のプロセス

### 3.1 課題解決の方法

#### 3.1.1 電源・回路系

- 4 月 過去に発表された CanSat に関係する論文の輪講を行った。
- 5 月 電気回路、電子回路の読み方や電子部品、マイコンについての基礎知識、及び回路設計、基板設計の方法についての事前学習を行った。また、基板製作方法についての実習を受けた。
- 6 月 他部門の使用部品についての選定状況から、使用する CPU の選定と電源の選定を行った。CPU については、筐体のスペースが狭いという点と昨年度の成果物で使用されているという利点から H8/3694F を搭載した Sunhayato 製の MB-H8A を採用した。また、電源についてはなるべく小さく、かつ電圧値の高いものという観点から、Panasonic 製のリチウム電池 CR2 を選定した。なお、充電電池を使用することで経済面を考慮できるが、今回はテスト時に充電電池を用い、実験本番時に CR2 を使用することとした。
- CPU ボードの選定により、実現する機能や搭載する機器を考慮して、大まかな回路図の製作に取り掛かった。
- 7 月 テスト回路の作成と搭載基板の作成に取り組み、実際にテスト回路を作成した。
- 8 月 テスト回路を踏まえて、実際に搭載する基板パターンの作成を開始した。
- 9 月 小型飛行機により上空 200m 程度からの飛行実験を行った。この実験において、EEPROM への飛行ログは保存できなかった。電源系としての原因としては、回路基板の動作実験が不十分のまま実験を迎えたため、回路配線時の誤りを見落としていたことが一因である。
- 9 月 ソフトウェアの制御テストのため、サーボモータ動作ユニット、EEPROM 読み書きユニット、GPS 受信機 GH-80 ユニット、無線通信機 MU-1 ユニットを作成し、PC や H8 による制御をシリアル通信で確認するための回路基板を新たに作成した。
- 筐体の小型化の必要性から無線通信機 MU-1 を搭載しない場合を考慮することとなった。そこで、これまでの 3 枚搭載していた基板の構成を変更し、2 枚の基板使用した小型化筐体向けの回路設計、基板設計を開始した。
- 10 月 ロケット搭載筐体の仕様決定により、MU-1 を搭載しないこととなった。そこで、ロケット搭載用基板パターンを再考し、基板を作成した。
- 動作実験により、EEPROM の書き込み、GPS データの取得が正常に行われていることが確認された。しかし、サーボモータが正常に動作しないケースがあること判明した。
- また、筐体へ基板を搭載したところ、筐体の設計変更を行ったことで基板上での電子部品配置に問題があることが分かったため、基板パターンの改良を行った。
- 11 月 筐体の改良に伴い、基板パターンの変更を随時行った。また、動作の不安定さを解消するために、検証実験を繰り返し行った。その結果、CPU のパワーオンリセットが正常に働いていないことが原因であると結論付けた。
- 12 月 パワーオンリセットの問題が解決し、極めて安定した動作が得られるようになった。最終的な基板パターンを作成し、ロケット実証実験のための基板を 2 種類製作した。
- CAMUI ロケットによる実証実験を行った。非常に寒い環境下での実証実験であったが、回

路は正常に動作し、飛行ログを保存することに成功した。

(文責: 珍田)

### 3.1.2 制御系

- 4 月 過去に発表された CanSat に関係する論文の輪講を行った。
- 5 月 システムを制御するために必要な分野の学習と同時に、システムを構築するために必要となる部品の調査及び選定を行った。その結果、実際に使用する GPS 受信機は古野製 GH-80、通信機はサーキットデザイン製 MU-1-429、マイコンは昨年度と全く同じ H8/3694 を使用することに決定した。また、GPS については、2005 年度に誤差に関する実験を行っており、そのデータも参考にすることを決定した。また、H8/3069 を使用して、マイコンについての学習を行った。これにより、GPS データのフォーマットとその処理の方法及びシリアル通信の方法について学ぶことが出来た。
- 6 月 GPS 受信機である GH-80 は通常のデータフォーマットとは異なり、フルノバイナリという独自データフォーマットを使用しているため、その仕様を仕様書及び昨年度の報告書等からの理解に努めた。これにより、GPS 受信機と通信機を用いた実験を未来大学のグラウンドで行い、無事にデータを取得・通信できていることを確認した。また、フルノバイナリの処理方法と平行して、H8/3694 についての学習も始めた。
- 7 月 H8/3694 を使用して GPS と通信機についてのみ H8 マイコンへの実装を開始した。H8/3069 は SCI(シリアルコミュニケーションインタフェース) が 3 つついていたが、H8/3694 には 1 つしかなく、先に作成したプログラムを移植するだけでは、動作しないことが確認されたため、最初から開発を行った。そのため、H8/3069 で正常に動作した GPS と通信機が H8/3694 では正常に動作しないというエラーが度々起こった。
- また、飛行アルゴリズムの作成とともに、サーボモータの動作方法の学習を行った。
- 8 月 H8/3694 を使用して GPS からのデータを取得できるようになったため、その処理の実装に入った。H8/3096 でのプログラムが残っていたため、使用を試みたが、データ型等が整合せず、使用できなかった。
- 更に小型無線通信機を使用しないことに決定したため、プログラムの整合を行った。使用しなくなったコミュニケーションポートは GPS に接続することになったため、仕様について再調査を行った。
- 9 月 石狩川河川敷にて小型飛行機を用いて実験を行った。回路基板が間に合わなかったため、プログラムが正常に動作するかどうかという実験は行うことができなかった。しかしながら、この実験により、パラフォイルの展開速度が大きく向上した他、畳み方についても知識を得ることができた。
- 10 月 実筐体を用いて、笹流れダムにて実験を繰り返し行った。サーボモータの動作確認を行うため、プロポを搭載した衛星を笹流れダム上から落下させてその動作の確認を行った。この実験により旋回の高さやその影響に関する各種データを取得することができた。これらのデータは、飛行アルゴリズムを作成するのに使用した。
- また、筐体に搭載した実筐体から GPS を捕捉し、取得することに成功した。
- 11 月 実筐体を用いて、笹流れダムにて実験を繰り返し行った。これにより、強風の時にはパラフォイルが潰れてしまう可能性があることを突き止めることができた。これを踏まえ、強風の時には旋回を緩やかにするなど、飛行アルゴリズムの最適化を行った。

12月 笹流れダムでの実験は12月以降は許可が下りなかったため、落下実験は行っていない。そのため、未来大学のグラウンドで飛行アルゴリズムの最適化を継続して行った。グラウンドでは高度に関する実験ができないため、緯度・経度に関する実験と移動方位・速度に関する実験を行った。

また、KAMUI ロケットを使用するための事前準備として北海道赤平町にて、ペイロードがみ合わせ実験を実施。その結果を基に筐体の再構成を行った。それら衛星の最終的な調整を行った後、KAMUI ロケットを使用して打ち上げ実験を行った。

1月 打ち上げた衛星のデータを読み出し、その解析を行った。2機打ち上げたが、その両方のデータの回収に成功した。

(文責: 大高)

### 3.1.3 筐体系

筐体系は樋口が担当し、CanSat の筐体設計・製作、筐体の部品の選択・加工などを担当する。

4月 過去に発表された CanSat に関する論文の輪講を行った。

5月 システムを構築するために必要となる、担当する分野の学習を始めた。工房において担当する筐体部分の製作のための、工作に関する講習を受けた。CanSat の本体を製作を開始した。

6月 CanSat 本体の製作を進めた。

7月 衝撃に関する実験を行い、更に頑丈な筐体にするために改良を進めた。この段階ではまだ350ml 缶に納まるサイズで設計できていないために、小型化を進めた。

8月 夏季休業を利用して9月2、3日に予定され降下実験での使用を目的とした、仮筐体を完成させた。

9月 石狩川河川敷にて小型飛行機を使用した上空200mからの降下着陸実験を行った。実験後本筐体に向けての反省・議論を行い、本筐体の製作に取り掛かった。

10月 パラフォイルの展開実験のために笹流れダムでも降下実験を繰り返した。更なる改良のため議論を行った。

11月 本筐体を完成させた。データ取りのために笹流れダムでも降下実験を繰り返した。

12月 23日に大樹町にて予定される CAMUI ロケットを使用した上空1000mからの降下実験のための準備を行った。11日には赤平に赴きロケット打ち上げについての打ち合わせ・ロケットと筐体との噛み合わせを行った。その時に指摘された筐体の強度の問題のため、筐体の見直し・再製作を行った。21日には先発隊として大樹町に行き、最終的な確認・噛み合わせを行った。そして23日 CAMUI ロケットでの降下実験を行った。

(文責: 樋口)

### 3.1.4 飛行系

4月 グループ内での筐体設計コンセプトを話し合った。

5月 パラフォイルの特性の知るため、書籍や Web サイトなどで調査を行った。調査よりパラフォイルの特性をパラグライダーのものと同等とした。特性の理解後、4月に決めたコンセプトに適した飛行制御の考案を行った。

- 6 月 筐体のスペック次第に必要なパラfoilが変わるため、筐体系の補佐にまわり、筐体の完成を急いだ。そのため、飛行系は一時中断した。
- 7 月 完成した筐体からスペックを割り出し、パラfoilの発注を行った。その後、風などによる方向誤差を考慮したアルゴリズムを作成する方針とした。現時点で2地点間による誤差の修正アルゴリズムは考案済みである。
- 8 月 7月に発注したパラfoilよりも高性能で安価な物を複数見つけ、そちらに使用パラfoilを切り替える。7月までのパラfoilのたたみ方ではロケットに搭載できないため、新しいたたみ方の再考を行った。
- 9 月 9月2日、3日に石狩川河川敷において小型飛行機による降下実験を行った。
- 10 月 ロケットに積むことができるサイズにたたんだ場合のパラfoilの展開が不安定なため、展開率を上げるギミックのばねを作り展開率の向上に成功した。
- 11 月 筐体が350ml缶に比べ多少大きくなったため、再設計を行った。それと並行し、新しい設計に合うようにパラfoilのたたみ方を再考した。
- 12 月 完成した筐体を用いてGPSデータの取得と実際搭載するたたみ方での展開実験を並行して行った。

(文責: 菅原)

## 第 4 章 プロジェクト内のインターワーキング

### 4.1 グループ間での協力

前半期においては飛行実験での協力程度であったが、後半期においては徐々に知識の共有が行われることがあった。特に、電子回路設計や飛行制御部分において意見交換が見られた。さらに、ロケット搭載に際して機体スペックの統一の必要性からも、グループ間での筐体仕様に関する意見交換がなされた。また、中間、成果発表会においてはポスターやパンフレットを作成し、展示・配布した。

(文責: 珍田)

### 4.2 グループ内での協力

このプロジェクトではそれぞれのグループが個別に衛星の製作を行うが、それぞれの作業内容が他のメンバーの作業内容に影響を与えることが多い。そのためにグループ内で密接に協力を行った。学内 Wiki で情報を共有し、リアルコミュニケーションも常に行い、メンバーの進行状況など逐一報告するように心がけた。

具体的には、筐体が完成しないと飛行の実験ができないために、飛行系の担当が筐体の設計などに深く関わっていた。

(文責: 樋口)



## 第 5 章 結果

### 5.1 成果

#### 5.1.1 回路系

小型衛星を動作させるためのハード面で主な条件や制約は以下の点であった。

- マイコンによる制御を行う
- データの読み書きを行う
- GPS 衛星データを取得する
- サーボモータを動作させる
- 地上局と無線通信を行う
- 電力不足を解消する

これらについて以下に述べる。

#### CPU

動作を制御するマイコンには H8-3694F を搭載した Sunhayato の MB-H8A を選定した。

選定方針は、GPS データの受信、ログの無線通信機への送信、EEPROM への保存の 3 つを最低限行えることと、小型化が目的の一つであるため、その面積の小さいもの、そして、開発のための資料が豊富に存在することを基準とした。その結果、最低限の動作が実現でき、外寸 42mm × 37.6mm と小型である。また、資料も相当数存在し、昨年度も B グループで使用されているため参考できる点が多いということから、H8-3694F を搭載した Sunhayato の MB-H8A を選定した。

#### 飛行ログの取得

飛行ログの取得は、機体に配置した ROM に直接記録する方法と、無線通信機を用いて地上局にデータを送信する方法を併用し、確実なデータ取得を目指した。

ROM は電氣的に書き込み、消去が可能な EEPROM を用いた。用いた EEPROM は 512Bit(=64Byte) のものであり、これはログを保存するのに十分な容量を持っていると考えられる。

無線通信機には CIRCUIT DESIGN 社の MU-1 を用いた。これは、昨年度までも使用しており実機が手元にあること、これより小型のものであると大変高価になることなどから選定した。

しかし、MU-1 は外寸が 50mm × 30mm × 9mm と使用する電子機器の中で最も大きく、筐体の小型化を妨げていたためロケット搭載筐体への採用は見合わせる事となった。

#### GPS 衛星データの捕捉

GPS 衛星からの測位情報の取得には、古野電気 の GH-80 を用いた。これは、21mm × 21mm と小型の GPS 受信機であるため選定した。これも前年度からの継続使用である。

GH-80 は、3.1V 直流電圧で動作するが、今回使用する他の電子部品は 5.0V で動作するため、電源を 3.0V 程度に電圧を整流する必要があった。三端子レギュレータを用いて整流を行った。

また、GH-80 は外側が金属で覆われているため、基板への設置の際には配線パターンや抵抗などに触れないよう充分注意して配置する必要があった。

#### サーボモータの動作

サーボモータは筐体系や飛行系と協議し決定した。

当初、昨年度までの報告からサーボモータによるノイズの発生が懸念されており、供給電源を別経路にする必要性も考慮したが、最終的にノイズの発生が原因と思われる誤作動は発生しなかったため、全ての電源は同じ電源から供給している。

#### 電力不足の解消

前述の通り、昨年度の報告から電源が不足することが考えられた。そのため、筐体の大部分を電源で占めることになる恐れがあった。

しかし、3.0V、外寸が径 15.6mm × 高さ 27mm のリチウム電池 CR-2 を 2 本用いることで、省スペースで 6V を供給でき、問題は解決した。

また、今回の電子回路において、CR-2 を使用した連続動作時間が約 1 時間強であることから、実際の実証実験での使用にも充分耐えうることを確認した。

#### 回路の設計

以上の事柄を踏まえて、回路を設計した。回路図を【回路図挿入】に示す。

H8-3694 は RS-232C 通信の TXD(信号送信)、RXD(信号受信) を一つずつ持っている。当初は TXD を MU-1、RXD を GPS に接続していた。しかし、設計変更により MU-1 を必要としなくなったため、TXD も GPS へ接続することとした。これは、GPS からの時刻情報を取得するためである。

EEPROM と CPU は、SCL(Serial CLock)、SDA(Serial DAta) を接続する。SCL、SDA は I2C(Inter Integrated Circuit) 通信の規格によるものである。I2C 通信は 1 対多での通信が 2 本の信号線のみによって可能となる。

サーボモータは、信号線と電源、グランドを接続するのみである。今回は、CPU のポート 82 番を信号線と接続して用いた。

電源は初めにレギュレータによって 5.0V 程度に整流される。その後並列に、CPU、サーボモータ、EEPROM、GPS へ供給される。なお、前述の通り、GPS への電源は 3.0V 程度にレギュレータを用いて整流して供給している。

回路図を踏まえて、ユニバーサル基板にて動作テストを行った。その後、実機搭載用の配線パターンを作成し基板を製作した。配線パターンを図【配線パターン挿入】に示す。今回使用できた基板は 2 枚であり、それぞれ 50mm × 70 と 50mm × 65mm のサイズである。これらに全ての電子部品を納め、配線を行った。この際、基板同士の重なりや上下の空間も考慮して電子部品の配置を行っている。ネジの位置やアームの動作部などの関係から配置には制約が多く筐体系との密接な連絡が必要であった。

以上が、回路系の成果である。

(文責: 珍田)

### 5.1.2 制御系

#### GPS

以下は GPS からのデータを取得するためのプログラムソースである。ここでは、無限ループ（このループが終了するとマイコンが待機状態に入ってしまう）内で、常に SCI から送られるデータを監視し、in\_data で受信したデータが 0xe0、つまり緯度・経度を表すデータのヘッダである場合には固定長である 23 バイト分のデータを全て取得することにしている。

```
/* 1 レコード取得 */
if(in_data == (char)0xe0){
    i=0;
    while(1){
        gpgga_data[i++]=in_data;
        if(gpgga_data[i-1] == (char)0xea) break;
        in_data = SCI3_IN_DATA();
    }
} //1 レコード取得完了
```

また、ここで取得されたデータは一時的に gpgga\_data に保存され、ヘッダとターミネータが以下の分によってその正否が判断されることになる。

```
/* レコード主処理 */
if(gpgga_data[0]==(char)0xe0 && gpgga_data[22]==(char)0xea){
    :
    :
}
```

ここで、レコードが正しいと判断された場合は GPS データが適切に処理され、サーボモータを制御するための飛行アルゴリズムを実装した部分に引き渡される。

#### サーボモータ

以下に、飛行アルゴリズムの実装部分を示す。基本的には、前回に取得された位置座標から、移動方位を計算し、それが目的地からどのくらいの角度で離れているかを計算している。その上で、大幅にずれている場合は急激な旋回によって目的地を目指すような制御を行い、それほどずれていない場合には緩やかな旋回によって目的地を目指すような制御を行っている。

```
// 飛行方向決定のアルゴリズム
char falconine (long gps_data[6]){
    // 宣言
    line_func pn;
    line_func pn2;
    line_func gn;
    double tan_theta;
    // 今回のデータ・前回のデータ・目標地点のデータを double 型に変換して格納
```

```

double      p_x = (double)prev_gps[1] * 0.0001;
double      p_y = (double)prev_gps[0] * 0.0001;
double      n_x = (double)gps_data[1] * 0.0001;
double      n_y = (double)gps_data[0] * 0.0001;
double      g_x = (double)GOAL_LNG    * 0.0001;
double      g_y = (double)GOAL_LAT    * 0.0001;

/*
 * 前回出力時のデータが "0" または、今回のデータと一致した場合、直進の処理を行う
 */
if( prev_gps[0] == 0 || (prev_gps[0] == gps_data[0] && prev_gps[1] == gps_data[1]) )
    return 'n';

/* PN を求める */
pn.num = n_y - p_y;
pn.den = n_x - p_x;
if(pn.num == 0 || pn.den == 0){
    pn.slp = 0;
    pn.ipt = -1;
} else {
    pn.slp = pn.num / pn.den;
    pn.ipt = -1.0 * n_x * (pn.num / pn.den) + n_y;
}

/* PN' を求める */
pn2.num = pn.den * (-1.0);
pn2.den = pn.num;
if(pn2.num == 0 || pn2.den == 0){
    pn2.slp = 0;
    pn2.ipt = -1;
} else {
    pn2.slp = pn2.num / pn2.den;
    pn2.ipt = -1.0 * n_x * (pn2.num / pn2.den) + n_y;
}

/* GN を求める */
gn.num = n_y - g_y;
gn.den = n_x - g_x;
if(gn.num == 0 || gn.den == 0){
    gn.slp = 0;
    gn.ipt = -1;
}

```

```

} else {
    gn.slp = gn.num / gn.den;
    gn.ipt = -1.0 * n_x * (gn.num / gn.den) + n_y;
}

/* PN' と GN の 2 直線のなす角度を求める */
tan_theta = (gn.slp - pn2.slp) / (1.0 + (gn.slp * pn2.slp));

/*
 * 飛行アルゴリズム
 * ・ゴールが POS1～POS5 のどこにあるかを見極める
 * ・前回取得時のデータと今回取得したデータから方位を見極める
 */
// X 軸に平行
if( pn.num == 0 ){
    if(p_x > n_x){
        if(n_y > g_y && n_x > g_x)
            return 'R';
        else if(n_y <= g_y && n_x > g_x)
            return 'L';
        else if(n_y > g_y && n_x <= g_x && tan_theta <= TAN_60)
            return 'r';
        else if(n_y <= g_y && n_x <= g_x && tan_theta <= TAN_60)
            return 'l';
        else
            return 'n';
    }
    // p_x <= n_x
    else {
        if(n_y > g_y && n_x <= g_x)
            return 'L';
        else if(n_y <= g_y && n_x <= g_x)
            return 'R';
        else if(n_y > g_y && n_x > g_x && tan_theta <= TAN_60)
            return 'l';
        else if(n_y <= g_y && n_x > g_x && tan_theta <= TAN_60)
            return 'r';
        else
            return 'n';
    }
}
// Y 軸に平行

```

```

else if ( pn.den ){
    if(p_y > n_y){
        if(n_x > g_x && n_y > g_y)
            return 'L';
        else if(n_x <= g_x && n_y > g_y)
            return 'R';
        else if(n_x > g_x && n_y <= g_y && tan_theta <= TAN_60)
            return 'l';
        else if(n_x <= g_x && n_y <= g_y && tan_theta <= TAN_60)
            return 'r';
        else
            return 'n';
    }
    // p_y <= n_y
    else{
        if(n_x > g_x && n_y <= g_y)
            return 'R';
        else if(n_x <= g_x && n_y <= g_y)
            return 'L';
        else if(n_x > g_x && n_y > g_y && tan_theta <= TAN_60)
            return 'r';
        else if(n_x <= g_x && n_y > g_y && tan_theta <= TAN_60)
            return 'l';
        else
            return 'n';
    }
}

// PNの傾きが右肩下がり
else if (pn.slp > 0){
    if(p_x > n_x){
        if(g_y > (pn.slp * g_x + pn.ipt) && g_y > (pn2.slp * g_x + pn2.ipt))
            return 'R';
        else if(g_y <= (pn.slp * g_x + pn.ipt) && g_y > (pn2.slp * g_x + pn2.ipt))
            return 'L';
        else if(g_y > (pn.slp * g_x + pn.ipt)
            && g_y <= (pn2.slp * g_x + pn2.ipt) && tan_theta <= TAN_60)
            return 'r';
        else if(g_y <= (pn.slp * g_x + pn.ipt)
            && g_y <= (pn2.slp * g_x + pn2.ipt) && tan_theta <= TAN_60)
            return 'l';
        else

```

```

        return 'n';
    }
    // p_x <= n_x
    else {
        if(g_y > (pn.slp * g_x + pn.ipt) && g_y <= (pn2.slp * g_x + pn2.ipt))
            return 'L';
        else if(g_y <= (pn.slp * g_x + pn.ipt) && g_y <= (pn2.slp * g_x + pn2.ipt))
            return 'R';
        else if(g_y > (pn.slp * g_x + pn.ipt)
                && g_y > (pn2.slp * g_x + pn2.ipt) && tan_theta <= TAN_60)
            return 'l';
        else if(g_y <= (pn.slp * g_x + pn.ipt)
                && g_y > (pn2.slp * g_x + pn2.ipt) && tan_theta <= TAN_60)
            return 'r';
        else
            return 'n';
    }
}
// PN の傾きが右肩上がり
else if (pn.slp < 0){
    if(p_x > n_x){
        if(g_y > (pn.slp * g_x + pn.ipt) && g_y <= (pn2.slp * g_x + pn2.ipt))
            return 'R';
        else if(g_y <= (pn.slp * g_x + pn.ipt) && g_y <= (pn2.slp * g_x + pn2.ipt))
            return 'L';
        else if(g_y > (pn.slp * g_x + pn.ipt)
                && g_y > (pn2.slp * g_x + pn2.ipt) && tan_theta <= TAN_60)
            return 'r';
        else if(g_y <= (pn.slp * g_x + pn.ipt)
                && g_y > (pn2.slp * g_x + pn2.ipt) && tan_theta <= TAN_60)
            return 'l';
        else
            return 'n';
    }
    // p_x <= n_x
    else {
        if(g_y > (pn.slp * g_x + pn.ipt) && g_y > (pn2.slp * g_x + pn2.ipt))
            return 'L';
        else if(g_y <= (pn.slp * g_x + pn.ipt) && g_y > (pn2.slp * g_x + pn2.ipt))
            return 'R';
        else if(g_y > (pn.slp * g_x + pn.ipt)
                && g_y <= (pn2.slp * g_x + pn2.ipt) && tan_theta <= TAN_60)

```

```

        return 'l';
    else if(g_y <= (pn.slp * g_x + pn.ipt)
            && g_y <= (pn2.slp * g_x + pn2.ipt) && tan_theta <= TAN_60)
        return 'r';
    else
        return 'n';
}
}

// 以上の処理が適用されなければニュートラルに戻す
return 'n';
}

```

ここで、サーボモータを制御するための関数を以下に示す。アルファベットの小文字はサーボモータの中心軸に対して  $\pm 30^\circ$  を、大文字はサーボモータの中心軸に対して  $\pm 60^\circ$  を表している。つまり、SRV\_r であれば、右方向に  $30^\circ$  回転すると言った具合である。

```

// サーボ制御
void Motor_Ctrl(char drn){
    // 弱右旋回
    if( drn == 'r'){
        TW.GRB = SRV_r;
    }
    // 強右旋回
    else if( drn == 'R' ){
        TW.GRB = SRV_R;
    }
    // 弱左旋回
    else if( drn == 'l' ){
        TW.GRB = SRV_l;
    }
    // 強左旋回
    else if( drn == 'L' ){
        TW.GRB = SRV_L;
    }
    // 以上に該当しない場合はニュートラルにする
    else {
        TW.GRB = SRV_N;
    }
    wait(100000);
    return ;
}

```



## EEPROM

以下は EEPROM への保存に使用したプログラムソースである。ここでは、GPS の緯度・経度などの情報の単位を 1 レコードとして扱い、そのレコード単位で【M:(データ)—】という保存形式をとった。これにより、データ読み出し時の処理を容易にし、実験の効率化を図っている。

```
EEPROM_ByteWrite(&eep, 'M'); eep.MAddr++;
EEPROM_ByteWrite(&eep, ':'); eep.MAddr++;
// eeprom に char 型に再格納したデータを保存する
for(i=0; i<6; i++){
    for(j=0; eep.MAddr < (eep.MemSize * 128L)
        && gps_data_str[i][j] != '\0'; eep.MAddr++, j++){
        if(EEPROM_ByteWrite(&eep, gps_data_str[i][j]) <= 0){
            break;
        }
    }
    EEPROM_ByteWrite(&eep, ',');
    eep.MAddr++;
}
//サーボへの命令を記述
EEPROM_ByteWrite(&eep, ','); eep.MAddr++;
EEPROM_ByteWrite(&eep, SRV_drn); eep.MAddr++;
EEPROM_ByteWrite(&eep, '|'); eep.MAddr++;
```

また、ここで保存されるデータには、前述のサーボモータに与えた命令も含まれる。

(文責: 大高)

### 5.1.3 筐体系

上空 1000m からの降下でも損傷しない筐体の強度の向上と左右のライン位置幅の拡張を実現した。

(文責: 樋口)

### 5.1.4 飛行系

新しいパラフォイルの選定により、昨年までのパラフォイルに比べて展開率が向上した。また、実験においては上空 1000m からのたたんだ状態のパラフォイルの展開の成功と展開速度、展開率の向上を実現した。

(文責: 菅原)

## 5.2 解決手順と評価

### 5.2.1 回路系

まず、電子回路に関する基礎知識の習得を行った。同時に、H8 マイコンを使用した既存の電子回路を解析し、具体的な使用方法を学んだ。

学習と平行して回路の設計・製作も行ったが、当初は動作しないことが多かった。データシートの見直しや、テスターを用いた動作の確認を行うことによって、徐々に原因部分を探っていった。

それらの解決手順によって、最終的に確実に動作する回路を設計することが出来た。

(文責: 珍田)

### 5.2.2 制御系

本年度は、GPS データの捕捉・飛行アルゴリズムに則ったサーボモータの制御等を成功させることができた。また、ロケット打ち上げ実験により、高高度からの落下ログを取得することにも成功した。しかしながら、緯度・経度などの情報は必要最低限しか取得できておらず、時間やその他の詳細情報の処理を十分に行うことが出来なかった。また、飛行アルゴリズムの最適化が十分でなかったことや、アルゴリズムを十分に精査しないまま実装したために、ソースの解読を難解なものにしてしまった。そのため、実験直前でのコードハックに必要以上に時間を割くことになってしまった。これらは、スケジューリングによるミスであり、防ぐことが可能であったことを考えると、残念でならない。

(文責: 大高)

### 5.2.3 筐体系

最初に昨年度の B 班の筐体を参考に設計を行った。飛行系の調査によるパラフォイルの特性から左右のラインがある程度離れているほうが好ましいことから筐体を横型に設定した。のちに筐体に輪ゴムによるウイングの展開ギミックを搭載し、左右のライン位置幅を 350ml 缶サイズの 12cm よりも長くすることが出来た。異なる展開ギミックは昨年度も採用されていたが、大きな成果として 350ml 缶に納まるサイズでの展開ギミックの搭載した点である。

(文責: 菅原)

### 5.2.4 飛行系

昨年度まで使用していたパラフォイルを追加発注することが出来なくなり、新規にパラフォイルを探すことになった。Web 上での調査した結果、フォイル型スポーツカイトを新たに採用したこととし、石狩川河川敷での実験で 3 タイプのパラフォイルを試した。実験の結果、STYRUS P2 というスポーツカイトを用いることで 4 分の一程度の安価でありながら昨年度までもパラフォイルと同等以上の展開性能を得ることが出来た。

パラフォイルの間に直径約 7cm に巻かれた自作した針金のバネをはさみ、ロケットに収納した。

これによりロケットからのリリース時にバネの復元力がパラfoilを外側に押し広げ、展開速度の向上につながった。また、パラfoilの各セルを半分で折るジャバラ折にすることで展開率を向上した。

これらにより、飛行系における問題点であったパラfoilの展開の安定性を実現し、費用の削減にもつながった。

(文責: 菅原)

### 5.3 実験の結果

2006 年 12 月 23 日の午前 7 時に北海道大樹町において、CAMUI(カムイ) ロケットを用いた実証実験を行った。1 機目の発射後、約 20 分後に 2 機目を発射し、計 2 回実証実験を行った。CAMUI ロケットは、全長 2.8m、外径 120mm、重量 19kg、推力 80kgf 未満であり、ハイブリッドエンジンを搭載している。ハイブリッドエンジンを利用しているため、従来のロケットに比べて安価で済むという利点がある。今回、本プロジェクトにおいて初めて商用で使用された。

一回目の発射では、ロケット側のトラブルにより衛星の射出高度が極めて低く、十分な実証実験を行うことが出来なかった。このときの実験では、筐体とパラfoilとを接続していたリングが外れ、ばらばらに落下した。恐らく、上空から自然落下した上で射出されたため、過度の衝撃により接続リングが破壊されたと考えられる。

二回目の発射では、上空約 1,000m 付近での放出に成功したため実証実験を行うことが出来た。

図??は二回目の発射時における飛行ログデータのプロット図である。このデータでは、高さに関する部分が未受信(ステータス上で未取得とされている)が多かったため、緯度・経度のみのデータをプロットしている。この図において、A が目標地点、B が発射地点、C が展開地点、D が最終的な落下地点である。ただし、C 地点は厳密な展開地点であるかどうかは上空であるため確認できない。

B から発射された衛星は C 地点付近で展開したと考えられる。その後、C から D 地点の間で落下中にパラfoilを展開し、目標地点である A 地点へと制御を行った。D 地点付近で衛星は旋回を続けている。これは、図【動画のキャプチャ挿入】に見られるように片側のパラfoilがつぶれていることが原因であると考えられる。本来であれば、衛星は D 地点から A 地点に向かって右旋回とパラfoilを操作しない直進を行いながら目的地を目指すはずである。しかし、図??で A 地点に向かって直進した形跡がないことと図【動画のキャプチャ挿入】から片側のパラfoilがつぶれていることから正常な動作が出来なかったと考えられる。

パラfoilが正常に開かなかったのは、筐体のアームとパラfoilとの間でラインが絡んだ可能性がある。この点の修正には、実際の装置を用い、実際の状況を再現した展開実験を充分に行う必要があると考えられる。

(文責: 珍田)

## 第 6 章 まとめ

### 6.1 プロジェクトにおける各自の役割

珍田

回路設計や基盤製作用の作業機械について学習し、衛星に用いる電気回路の設計と製作、部品の取り付けと配線を行った。

大高

衛星を制御する方法について学習を行い、GPS 信号の解析やサーボモータの実装、実験で得たデータの解析を行った。

菅原

飛行制御の方法について学習を行い、衛星に用いるパラフォイルの選定、素早い展開方法・飛行アルゴリズムを考案した。

樋口

衛星に必要可能な構造体や作業機械について学習し、衛星本体の設計と製作、各部品の加工と組み立てを行った。

(文責: 樋口)

### 6.2 今後の課題

#### 6.2.1 今後の課題

筐体のサイズは昨年・一昨年と比較して非常に小さく製作することができた。しかしながら、その小型化のために小型無線通信機 MU-1 を取り外している。このため、データの保存を EEPROM に頼らざるを得なくなり、信頼性は著しく低下したと考えざるを得ない。本問題を解決するためには、小型無線通信機の選定を再度行い、サーキット製 MU-1 を使用するのではなく、更に小型無線通信機を搭載する必要がある。また、小型無線通信機を搭載することで筐体の大きさは若干大きくなるというデメリットがあるが、ロケットへの搭載には大きく影響することはない。

昨年度は 9 月の石狩川河川敷での落下実験を最終目標としていたため、非常に早い段階で筐体を完成させることができていた。しかしながら、本年度は当初目的でも 11 月に落下予定としていたため、最終的には落下直前まで調整を行わざるを得ない状況に追い込まれてしまった。従って、9 月頃に予定される石狩川河川敷での落下実験までに、筐体・回路基板及びそのプログラムの実装を完了していることが最も望ましいと考えられる。また、9 月頃までに全てを完成させるメリットとして、飛行アルゴリズムの最適化を行う時間を確保できることが挙げられる。飛行アルゴリズムは作成された筐体とパラフォイル形状・翼面積などに大きく影響されるため、笹流れダムなどで繰り返し実験を行う必要性がある。

今年度は4人ずつ2グループで作業を開始したが、作業の割り当てが均一でなく、作業量に偏りが起きてしまった。このため、作業量を均一にするための割り当てもきちんと考慮しなければならない。筐体・飛行系は作業項目がそれほど多くなく、前期セメスターでその作業のほとんどを終えることができる。また、作業が遅れがちであっても、他の担当者がその作業（素材の加工等）を手伝うことは比較的容易であるため、1人程度で十分であった。更に、回路系は制御系と密接な関係にあり、回路基板が完成しない限り、実基板での試験を行うことができない。また、制御系の問題よりも回路系の問題により動作が不安定になる場合が多々ある。このため、回路系・制御系は常に連携をとれる体制が望まれ、3人以上での開発を行う必要があると考えられる。

（文責: 大高）

## 付録 A 新規習得技術

電子回路設計理論

基板製作技術

マイコン制御技術

無線通信技術

GPS 受信技術

材料加工技術

飛行制御理論

## 付録 B 活用した講義

プログラミング演習  
ディジタル論理回路  
電子センサ工学  
情報アーキテクチャ II  
情報アーキテクチャ演習 II

## 付録 C 相互評価

### C.1 珍田計幸に対する評価

回路系として実機に搭載できる小さなサイズの基板の作成を行ってくれた。また、問題であった電流不足を解決してくれた。最終報告会ではわかりやすいポスターを2枚作製してくれた。(菅原)

回路の設計から製作までの全てを担当していました。日々回路を作る姿はまさに職人そのものでした。そして頼れるリーダーとして活躍してくれました。また忙しい中最終発表のポスターやパワーポイント作りなども担当していました。(樋口)

回路系担当として、電電系統及びマイコン周りに至るまでの回路設計・製作を担当してくれました。電源系統の異常などのエラーに見舞われ、何度も基板を試作してくれました。また、成果報告会では発表用の原稿・パワーポイント・ポスターなどの製作の指揮を担当してくれ、非常に素晴らしいものにしてくれました。(大高)

### C.2 菅原康太に対する評価

飛行系の担当として、前期での懸案事項であったパラフォイルの展開に関する問題を解決した。さらに、展開速度の向上も実現させた。また、筐体の設計製作にも関与し、筐体の小型化に深く貢献した。(珍田)

飛行系を担当していて、サーボモータを利用したパラフォイルの動きのアルゴリズム、パラフォイルが素早く展開するような機構を考案しました。また担当ではない筐体設計も手助けしたりと、非常に積極的に活動していました。(樋口)

飛行系担当として、パラフォイルと筐体の大きさ・重量などのバランスを計算するため、実際に実験も行いました。また、筐体が完成しないと飛行の方針が決定しないため、筐体系の作業に積極的に参加し、筐体の設計・製作に大きく貢献していました。最終実験では、ロケットの失敗があったにも関わらず、たった100mの高度で展開することに成功していました。(大高)

### C.3 樋口亮太に対する評価

ロケットへの搭載を実現するために必要であった筐体の小型化に取り組んだ。その結果、小型化筐体の設計製作に成功した。また、ロケット実証実験の事前打ち合わせ等を積極的に行い、実験の成功を導いた。(珍田)

筐体系として寒冷でも正常に動く筐体を考え、2つの実機の製作を行ってくれた。また、実験ではロケット製作側とのパイプラインとして情報を伝えてくれた。(菅原)

筐体系担当として、筐体に用いる材料の選別・筐体の設計をCADを用いて起こしていました。また、工作機械を用いてジュラルミンを加工し、実験用を含め全部で3つもの筐体を作成していました。その成果として、最終実験において約100mからの自然落下にも耐えられ



る筐体が完成しました。(大高)

## C.4 大高全に対する評価

制御系として実機筐体へのシステム実装を行った。ロケット実証実験では、目標であった GPS データを取得し飛行ログを EEPROM へ保存することに成功した。また、全般的にプロジェクトに関わり問題解決に向けて努力していた。(珍田)

制御・通信系を一手に担い、GPS の位置座標取得に貢献してくれた。また、複雑な条件分岐のアルゴリズムを実装してくれた。そして、全ての系統に対し、進行状況を把握し、随時アドバイスなどのフォローをしてくれた。(菅原)

制御・通信のソフト面全般を担当していました。取得したログの三次元プロットを行っていました。かなり早い段階から準備を進めていたり、実験を繰り返したりと精力的に働いていました。(樋口)

## 付録 D 中間発表の評価

### D.1 発表技術の評価

アンケートで実施した、発表技術の 10 段階評価についての評価平均 5.7 であった。

本プロジェクトの発表に関しては「声が小さい」「スライドの文字が少し小さい」といった意見が多かった。本年度に行われた中間発表会では、他のプロジェクトと声が相殺するような配置であったという側面もあるが、今後はそれらの問題点を改善したいと考えている。

その一方で「図が分かりやすい」等の意見もあり、今後は良いところを更に上手く活用していきたいと考えている。

### D.2 発表内容の評価

アンケートで実施した、発表内容の 10 段階評価についての評価平均は 6.5 であった。

本プロジェクトに対して「興味深い」という反応があった一方、少数ではあるが「どうしたいのかがわからない」といった声もあった。また、「計画性」がしっかりしているとの意見も多く、進捗状況を見極めながらではあるが、中間報告会で発表したスケジュールに沿っての活動を考えている。

(文責: 大高)

## 付録 E 成果発表の評価

### E.1 平均評価

成果報告会における評価の平均は以下の通りである。

発表技術 7.08

発表内容 7.16

### E.2 発表技術

発表評価シートに回答された発表技術に関するアンケートの一部は以下のようなものであった。

下を向いている  
紙をみる回数が多い  
発表が少し長い  
声が小さい  
2 人目以降の人の声が小さい  
3D の筐体モデリングはわかりやすくてかっこいい  
全体的に画像がわかりやすい  
画像・映像が多くてわかりやすい

### E.3 発表内容

発表評価シートに回答された発表内容に関するアンケートの一部は以下のようなものであった。

完成形がよく理解できなかった  
目標設定が明瞭であった  
内容がわかりやすかった  
昨年と比較して、今年に行った内容が少ない  
課題・問題点のクリアが順調にできている印象をうけた  
飛行制御の方法がわかりやすい  
何が課題としているのかがちゃんとわかった  
内容が伝わってきた  
実証実験を最終発表前にすることはできなかったのか？  
本プロジェクトの社会的な利益がわからない  
1 部分、パワーポイントが見辛い部分があった  
改良したことで起こるデメリットとその対処等がわかりにくかった  
目標が明確で、それに向けて計画的に遂行された印象をうけた  
衛星は小さくてわかりづらかったが、3D にしたものがわかりやすかった  
未来大らしい内容で面白かった

衛星を飛ばすという【ロマン】をもっと押し出しても良いと思いました

実験中の映像と連動した実験データをきちんと示してください

実際の実験データをもとにした説明が少なかったので、どの程度信頼できるモノなのか不明瞭に感じました

## E.4 考察

まず、発表技術に関しては、中間発表会から変わらず「声が小さい」という意見があったものの、「声が大きく丁寧でよい」という意見が多くなっており、多少ではあるが改善が見られた。しかしながら「2人目以降の人の声が小さい」「発表者により発表のレベルに差異が見られる」など、練習不足により統一感がだせなかったこともうかがえる。また、筐体を3Dモデリングしたものについては多くの聴衆に好意的に受け入れられており、視覚的には衛星を理解してもらえたものと考えられる。さらに、搭載するロケットの映像や笹流れダムからの映像も、「興味をそそられた」とするひとが多く、支持する人が多かった。次に発表内容についてであるが、中間発表会から「専門用語の説明が少ない」という意見があったものの、その量については大幅に減少し、専門用語の分かりやすい解説を心がけたことが改善につながったと考えられる。また、「目標がわかりづらい・不明瞭」といった意見は「結果が見えやすい」という意見と二分した。更に、「問題・課題が順調にクリアされている」といった意見に対し、「昨年からの差異があまりない」といった厳しい意見も含まれていた。これは、昨年までの内容の完成度を更に高め、ロケット搭載実験に向けて行ってきたためであるとも考えられる。全体的に、中間発表会よりも成果発表会では評価が大幅に上がっていた。また、そのアンケート結果についても、好意的に受け止めてくれる意見が多くあった。これは、中間発表会での失敗を生かし、成果発表会でそれらを大幅に改善できたのであると認識している。

(文責: 大高)

## 付録 F その他製作物

筐体モック 1 号機  
筐体モック 2 号機  
筐体図面  
筐体 3D モデル  
筐体 1 号機  
筐体 2 号機  
ロケット搭載用筐体  
ロケット搭載用筐体（予備）  
強度実験用筐体  
テスト用回路  
EEPROM データ読み込み回路  
動作確認用基板  
ロケット搭載用基板  
マイコン制御プログラム  
中間発表用ポスター  
成果発表用ポスター  
中間発表用配布パンフレット  
成果発表用配布パンフレット

## 参考文献

- [1] 西山一郎. 自立型ロボット製作バイブル. オーム社, 2000.
- [2] 船倉一郎. 入門 ロボット制御のエレクトロニクス. オーム社, 2003.
- [3] 川島レイ. 上がれ! 空き缶衛星. 新潮社, 2004.
- [4] 今野金顕. マイコン技術教科書 H8 編. CQ 出版, 2002.
- [5] 平田実. 風になる本 パラグライダー. 成美堂出版, 1996.
- [6] 矢崎泰夫. ゼロからのパラグライダー. 日本出版, 1995.
- [7] 山尾典子. WEEKEND ENJOY SERIES パラグライダー. 同朋舎出版, 1991.
- [8] 松田保子. パラグライダー & ハンググライダーブック. 山海堂, 1990.
- [9] 増本健. 金属なんでも小事典. 講談社, 1997.
- [10] ツ六の技術資料の金属の特性の PDF. ( [www.mazroc.co.jp/technical/pdf/3-06.pdf](http://www.mazroc.co.jp/technical/pdf/3-06.pdf) )