

「小型探査機による天体の環境調査」



和歌山県立桐蔭高校 科学部 缶サット班

2年 柴田玲 瀧本英智 西岡右喬 山下匠 佐山幸翼 鈴木智大 森川琳太郎

1年 藤永直樹 松野壮汰 垣内春美 坂口雄梧 西口拓実 仲岡郁哉

<目次>

- | | |
|----------------|------------------|
| 1. ミッションの設定 | 2. ミッション内容 |
| 3. 缶サット本体 | 4. 缶サットのプログラム |
| 5. ロケット・パラシュート | 6. 全体のサクセスクライテリア |
| 7. 期待される成果 | 8. 参考文献・引用先 |

1. ミッションの設定

- ・ ミッション 「小型探査機による天体の環境調査」
- ・ ミッション設定の動機と意義

2018年6月、小惑星探査機「はやぶさ2」が探査目的地である小惑星「リュウグウ」に到着した。この「はやぶさ2」では、小惑星「リュウグウ」に着陸しサンプル採取を行い生命誕生の謎を解明することをミッションに掲げている。宇宙探査といえば他にも、火星探査機「キュリオシティ」などが知られる一方、未だ探査機が送り込まれていない「タイタン」や「エンケラドゥス」などの太陽系内の天体や太陽系外惑星において地球外生命体の発見への期待が高まっている。そこで私達は、CanSatのミッションを定める上で、**地球外の環境を調査する『宇宙探査機』としてのCanSatの利用**を目指した。地球から離れた天体へCanSatサイズの今までより小型の探査機を送り、天体の環境及びそこに生命が存在するか探査することができないかと考え、そのプレテストとして本ミッションを掲げた。今大会ではこのミッションに適した缶サットの製作及びデータの取得・分析、これらを支える安定性・飛距離に優れたロケット・パラシュートの製作を行う。将来的に探査機の小型化が達成されれば、探査機の軽量化・省コスト化ができるうえ、今までよりも簡単に、よりそれぞれの目的に応じた様々な種類の探査機が製作できることも期待できる。

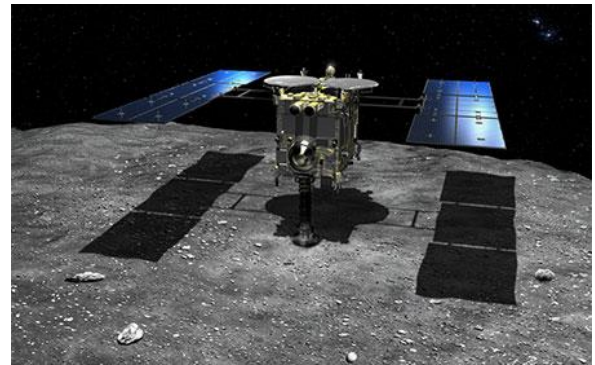


図1：小惑星探査機「はやぶさ2」

図1：小惑星探査機「はやぶさ2」

2. ミッション内容

・メインミッション

探査機の活動は数多くあるが、今回は特に以下の2つをメインミッションに設定する。

① 土壌採取

缶サットの着地をセンサを用いて検出し、着地後に着地点の土壌を採取して缶サット内部に収納する。



図2：今回製作した土壌採取の機構

<採取機構>

3D プリンターを使用し、図 2,3,4 の機構を作成した。

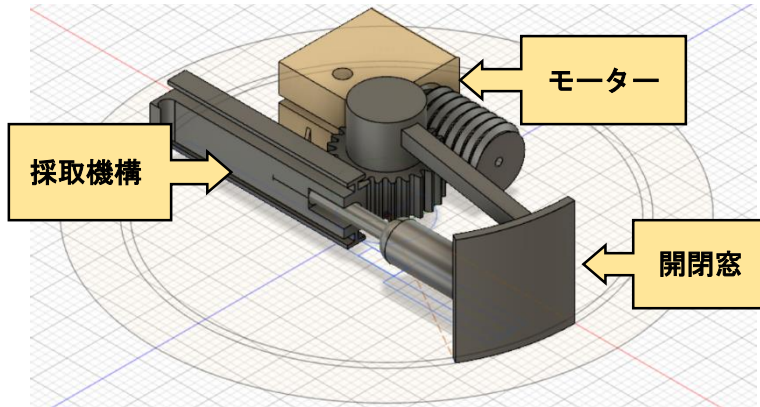


図 3 : 土壌採取の機構(斜めから)

マイクロモーターを使用し、ラックアンドピニオン機構を使用した。粘着棒を先端に固定し、落下を検知して(後述)缶サットから出して地面に接触させて土壌を採取し、モーターを逆回転して粘着棒を収納する。この際、落下の衝撃緩衝材として使用しているハニカム機構に傾斜を加え、缶サットが決まった一方向に倒れるようにした(図 5)。なお、会場の草地などに落下しても採取成功確率を上げるため簡易的な補助採取機構(図 6)を追加することで、どの面が下になってもサンプルが回収可能である。

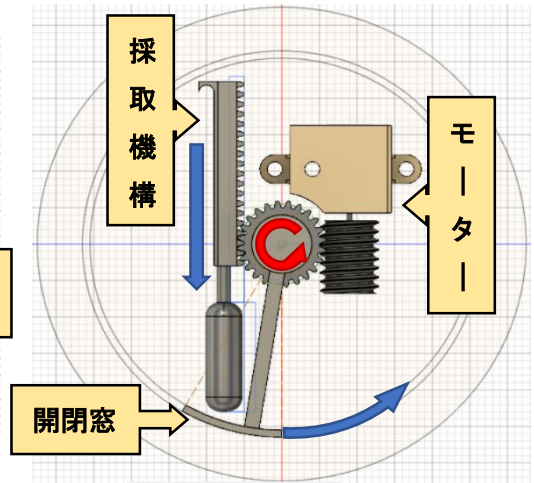


図 4 : 土壌採取の機構(上から)

モーターが回転すると矢印の向きに機構が動き、開閉窓を開けつつ採取のための粘着棒を出す。

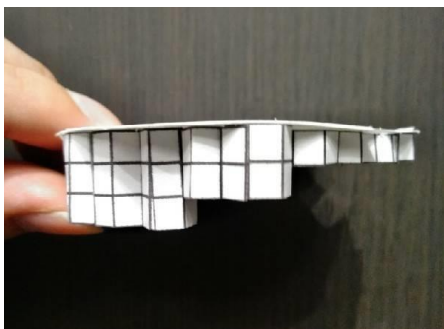


図 5 : ハニカム機構

ハニカムに傾斜をつけ矢印の方向に倒す。



図 6 : 側面の補助採取機構

モーターを回し、取り付けられた粘着棒を外部へと出す。

<カバーと開閉窓>

粘着棒を缶サットの内部に収納するため、採取機構と連動する開閉窓を設置した(上図)。これにより採取したサンプルに異物が混入することを防止する。

<落下検知及び採取機構の起動>

缶サットの着陸を加速度・照度センサで感知しモーターを起動させる。一方で、感知できなかった時のフェイルセーフとして無線通信を用いたモーターの手動での動作を可能にした。

② 大気・紫外線の検知・分析

今回、缶サットに気体検知センサ(右図 7)を搭載した。このセンサは、以下の 8 種類の気体(NH₃,CO,NO₂,C₃H₈,C₄H₁₀,CH₄,H₂,C₂H₅OH)を検知できるものである。これによって、缶サットの周囲の大気に含まれている成分を調べることができる。また、天体の環境を調査するため、紫外線センサ(以下 UV センサ)で紫外線の強さを計測することができるようにした。

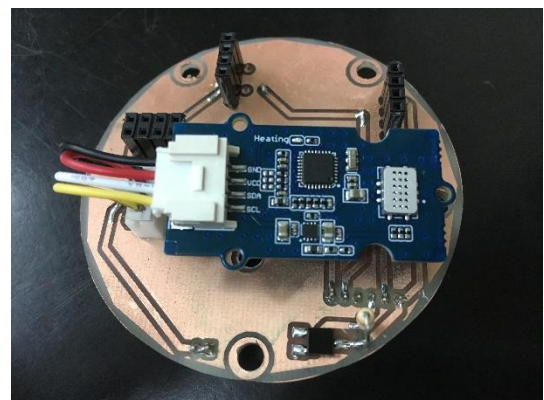


図 7 : 気体センサ

・事前実験

本ミッションの達成に向けて、3種類の事前実験を行った。

① 高所からの落下実験

本校の校舎3階(約10m)から缶サットを落下させ、缶サットの耐久性、パラシュートの安定性、ハニカム機構により缶サットが想定した倒れ方をしているか実験した(図8)。右図より、缶サットがハニカムにより決まった一方向に倒れていることがわかる。



図8：落下実験での缶サット

② 採取機構の試験

本校のグラウンドなど数か所において缶サット落下時の状態から採取機構が正常に動作しサンプルを採取できているか実験した(図9)。右図の通り、粘着棒によりサンプルを採取できていることが確認できる。



図9：サンプル採取

③ 事前の打ち上げ実験

事前に数回本番と同じコンディションにて打ち上げ実験を行い、①や②の事柄に加えてロケットの安定性・今回新たに搭載した気体検知センサのデータが取得できているかなどを確かめ、安定したミッションの実行ができるよう実験を行った。

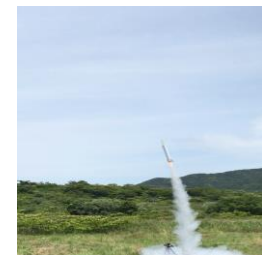


図10：事前打ち上げの写真

・サブミッション

サブミッションとして以下の3つのミッションを設定した。

① ASCIIコードを使った無線通信

無線通信で受信したデータの破損を検知するため、ASCIIコード・チェックサムを使用し無線通信を行う。無線通信用マイコンはTWE-Lite REDを使用。送信側でデータをASCIIコードに変換、チェックサムを付与し、送信している。受信側ではデコードとチェックサム計算を同時に行い、チェックサムが適合しないデータに関しては、通信不良と判定し、破棄する(下図)。これにより、通信がクリーンに行われたデータのみを残すこととなりデータの利用しやすさが向上する。また、パラボラアンテナを使用し、高い位置に保ちつつ缶サット方向に向け続けることで電波強度を高める工夫をしている。本ミッションではこれらに加え、送信されてきたデータをリアルタイムグラフに表示することにも挑戦する。

(例)・送信側

“LPC,1”という文字列
 ↓ASCIIコード(16進数)化
 “4C50432C31”(2桁で1文字に対応)
 ↓16進2桁を加算
 $76+80+67+44+49 = 316$
 ↓256-(加算した値を256で割った余り)
 $316 \div 256 = 1$ 余り 60
 $256 - 60 = C4$, 196は16進数で
 ↓チェックサム付加
 “4C50432C31C4”
 ↓送信

・受信側

“4C50432C31C4”
 ↓2文字ずつに区切り
 ↓16進数から10進数に変換
 $76+80+67+44+49+196=512$
 ↓合計を256で割った余りを確認
 余りが0→ASCIIから文字復元、保存
 余りが0→受信データ破棄

② MicroSD カードへのデータ保存

MicroSD カードにデータを保存することにより、マイコン本体のメモリに保存するときよりも大容量・高速なデータ処理が見込める。また、衝撃によりデータが消失するのを防ぐため、スロットは耐衝撃性が高いヒンジ型(右図 11)のものを使用した。

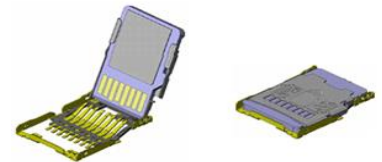


図 11: ヒンジ型スロット

以前の缶サットでは、mbed 内部の保存領域に取得したデータを保存していたのだが、容量が少なくオーバーフローしてしまう可能性があった上、保存に時間がかかってしまっていた。そこで、MicroSD カードを使用しそこに保存することにより、容量を増やし保存周期を速めることに成功した。

mbed 内部に保存したときは、1 周期あたり約 0.1 秒かかっていたが、MicroSD カードに保存することにより約 0.03 秒まで高速化することが出来た。その結果、以前よりも多量・多量のデータを取得可能になった。さらに、万が一 MicroSD カードが読み込めない場合に備えて mbed 内部に直接データを保存できるようにした。

③ 各種データの安定した取得・分析

各センサ(UV、気圧、温度、9D センサモジュール、照度、気体検知)から送られてきたデータを収集・グラフ化したうえで、高度を算出する式(下図 12)にて高度を算出、放出時刻及び着地時刻などを推測して各データと照らし合わせて缶サットの状況分析を行う。

$$h = \frac{\left(\left(\frac{P_0}{P} \right)^{\frac{1}{5.257}} - 1 \right) \times (T + 273.15)}{0.0065}$$

図 12: 高度の計算式

P: 現在地の気圧 (hPa) P₀: 海面気圧 (hPa)

T: 現在地の気温 (°C) h: 現在地の標高 (m)

この式の P と T をセンサで取得することにより、高度 h を導くことができる。

また、この際高度算出に必要なデータの 1 つである気圧センサの値は、そのまま露出した状態で打ち上げると上空の風などの影響で値がブレてしまう。これを防止するため、気圧センサをメラミンスポンジで覆い(右図 13)、これらの影響を低減した。



図 13: メラミンスポンジ

3. 缶サット本体

・使用機器及び構造

メインマイコン	mbed(LPC1768)
UV センサ	G5842
気圧センサ	TSL2561
温度センサ	ADT7410
9D センサモジュール(加速度+地磁気+ジャイロ)	MPU9250
Micro SD スロット	DM3CS-SF
無線通信用マイコン	MW-R-U
昇圧 DCDC コンバータ	HT7750A
圧電ブザー	PB04-SE12HPR

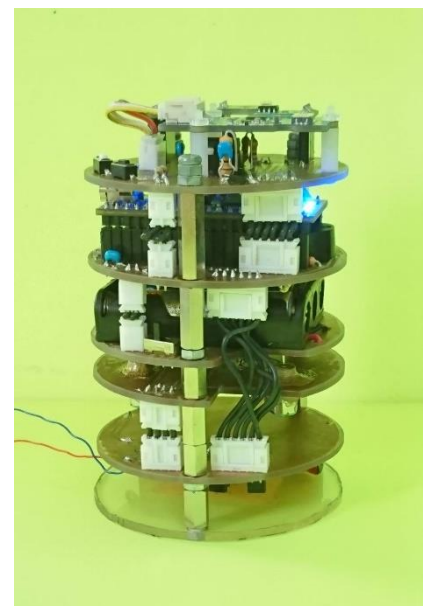


図 14: 今回の缶サット

電源	eneloop 単4型 ×4
照度センサ	TSL2561
気体検知センサ	MiCS6814
マイクロモーター	A73-3394

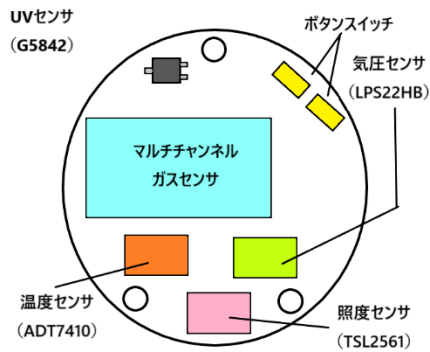


図 15：缶サット 1 段目

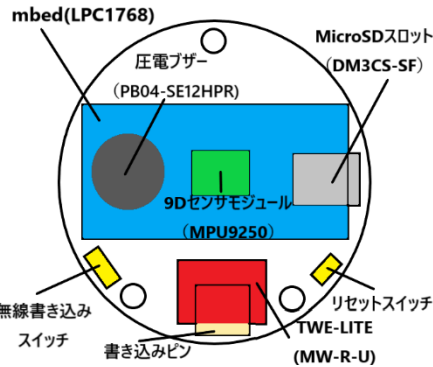


図 16：缶サット 2 段目

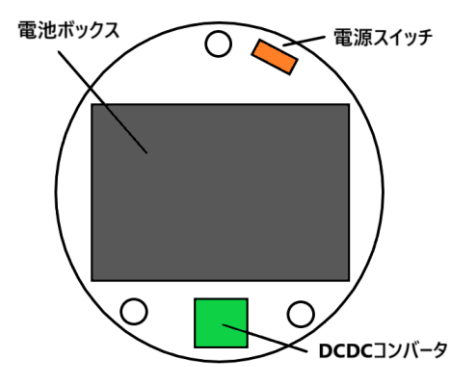


図 17：缶サット 3 段目

・サイズと重量

高さ：mm(ハニカム・パラシュート含まず) 直径：mm(突起部含まず)

重量：g(ハニカム・パラシュート含まず)

4. 缶サット本体のプログラム

- ・使用したソフト mbed OS 2.0
- ・工夫点

○缶サットのモード確認、選択

mbed の内蔵 LED を使用し缶サットの現在のモードを分かりやすくするとともに、対応表(下図 18)を製作、配布し班員全員に配布することで、操作ミス(ヒューマンエラー)を減らし、より円滑なミッションの実行が期待できる。また、缶サットのモード選択は無線通信で行うが、ボタンを用いて同様の操作を行うこともできるようにした。



図 18：今回の缶サットにおける mbed 内蔵 LED のモード対応表

5. ロケット・パラシュート

ロケット及びパラシュートは、缶サットの飛行中の揺れを削減することで得られるデータの誤差やブレを小さくし、ミッションを確実に実行することを目標として製作した。

・ロケット

- ・ノーズコーン
 - オジーブ型ノーズコーン (2017 年全国大会と同様の型を使用)
- ・フィン
 - 安定比(後述)を上げるために、フィンを地方大会よりも少し大きくした。



図 19：今回製作したロケット

○機体の設計 モデルロケット製作ソフト「OpenRocket」を用いて設計した（下図 21）。

○機体の安定

安定比(図 20)を 1.5 に設定→地方大会にて、安定比を小さくしたこと、製作時の誤差があったことなどが原因で重心と圧力中心の位置関係が逆転してしまった。そこで、安定比を大きくすることで重心と圧力中心の位置関係が逆転しにくい設計にした。また、製作後実際に重心と圧力中心を計測し(図 22)、誤差が問題ない範囲に収まっていることを確認した。

$$\text{安定比} = \frac{\text{G.P.と C.P.の間の距離}}{\text{機体の直径}}$$

重心=G.P. 圧力中心=C.P.

図 20：安定比を求める式

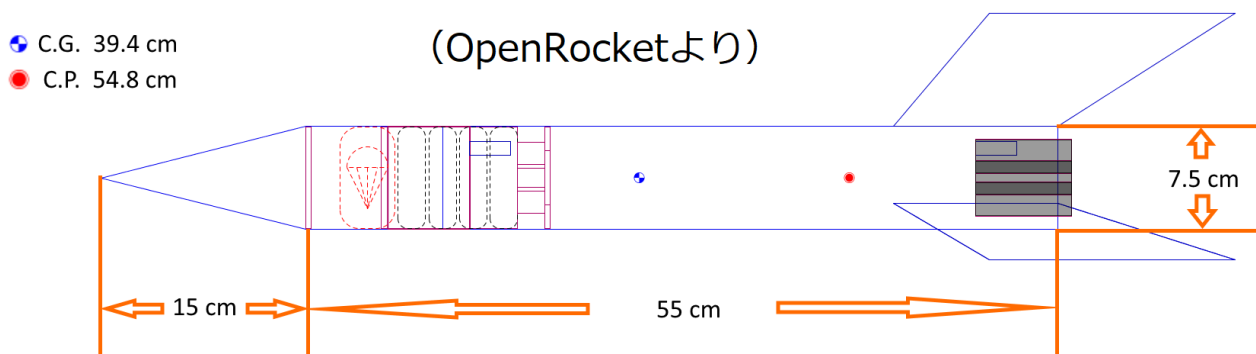


図 21：OpenRocket での設計

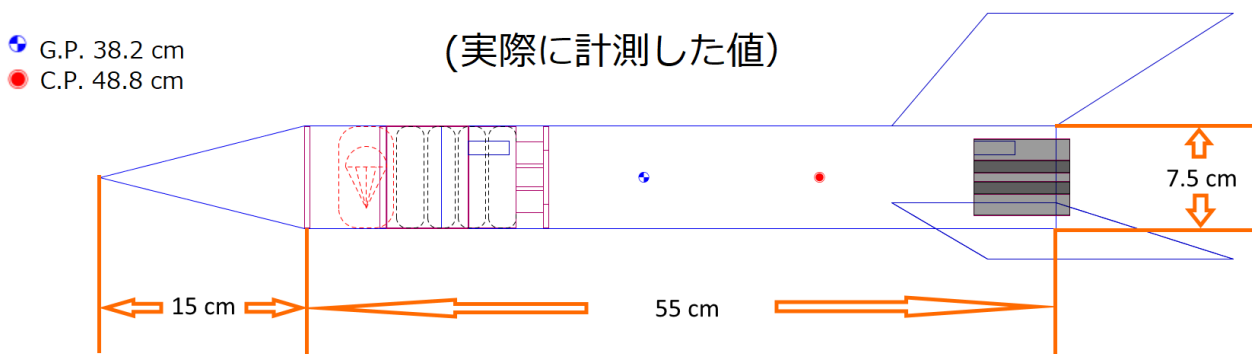


図 22：実際に計測した重心と圧力中心の位置

・パラシュート

○パーツ各部

- ・キャノピー（布の部分）
 - （形） 直径…60 cm、正六角形
 - （穴） 直径…6 cm、数…7つ
 ⇒風の逃げ道を作ることで落下時の軌道の乱れを減らす
- ・シュラウドライン
 - （素材） 1.4 mmのたこ紐
 - （長さ） 120 cm



図 23：今回製作したパラシュート

6. 全体のサクセスクライテリア

ミニマムサクセス	フルサクセス	エクストラサクセス
<ul style="list-style-type: none"> ・ 缶サットの動作確認 ・ ロケット打ち上げ成功 ・ パラシュートの展開 ・ 無線通信の確立 ・ 試料採取機構の動作の確認 	<ul style="list-style-type: none"> ・ データの取得・保存・回収 ・ ASCII コードを用いた通信の成功 ・ 無線通信成功率 50%以上 ・ 試料採取の成功 	<ul style="list-style-type: none"> ・ リアルタイムグラフ化 ・ 採取した試料の分析

7. 期待される成果

- 採取機構の動作、サンプルの回収に成功
 - サンプルの回収機構が CanSat サイズで実現可能であるといえる
- 気体検知センサなど各種センサからのデータ取得・保存・回収に成功
 - CanSat が正常に動作していることの確認
- ASCII コード、チェックサムを用いた無線通信の成功
 - 信頼のおける無線通信の確立に成功したといえる

8. 参考文献・引用先

- 図 1 : JAXA「小惑星探査機『はやぶさ 2』」(http://www.jaxa.jp/projects/sat/hayabusa2/index_j.html)
- 図 12 : 標高の科学 (<http://home.r07.itscom.net/miyazaki/kagaku/>)