

研究班番号【107】  
缶から作る簡易衛星CANSAT

情報班: 飯間 悠海    物理班: 田原 馨介、多田 優、林 稔也

## Abstract

At first, we were interested in the genre called “Cansat”. It is a one of the genres of space engineering. The common way to launch the “Cansat” is using rockets with hydrogen fuels. With these rockets, “Cansat” is able to reach higher. However, using these fuels requires an explosives handling license. Because of this, it is hard to study this genre easily. Therefore, we try to do the experiments with water fuel rockets.

## 要約

現在、宇宙工学の入口として知られている簡易衛星実験の一分野、CANSAT実験をより簡易に行うために燃料ロケットではなく、ペットボトルロケットを用いてCANSATを飛ばし、CANSATのセンサで取ったデータからロケットの軌道を求めることでCANSAT実験がペットボトルロケットで可能なのかを研究した。

## 1 はじめに

CANSAT(以下缶サット)という宇宙工学における人工衛星の分野を、より簡易な形で研究することに興味を抱き、調べることにした。その中で、より環境に配慮し実験を行いやすいペットボトルロケットで実験を行うことを試みた。仮説として、缶サットをペットボトルロケットを用いて打ち上げ、火薬ロケットを用いた実験同様にデータが得られる。また、得られたデータから缶サットの運動の様子が計測できると考えた。

## 2 研究方法

使用機材(ペットボトル2本、RaspberryPi3 model a+、bmx055、bme280、電源、発射台、市販の空気入れ)を用いて、ペットボトルに水500mlを入れ、発射台に固定し、空気入れで加圧した。また、加圧したペットボトルの上に缶サットを挿入するための筒としてペットボトルを接続し、缶サットとパラシュートをまとめて格納し、ロケットとした。

### 《実験1》

- ①ロケットを鉛直上向きに発射し、最高到達点でパラシュートを展開させた。
- ②パラシュートを用いて降下してくる缶サットを回収した。
- ③回収した缶サットを分解し、内部のセンサ(bmx055、bme280)でデータを取得した。

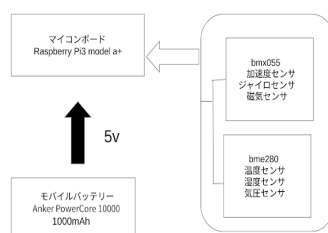
### 《実験2》

- ①次にbmx055の加速度センサとジャイロセンサのデータと、bme280の気圧センサのデータを用いて機体の軌道を計算した。
- ②気圧センサの計測した実験開始時の気圧を $P_0$ [hPa]として、測高公式によって計算し、最高点高度と降下終了までの高度をもとめた。

(a)



(b)



(c)



(d)



### 3 本研究におけるロケットの工夫と意図

上記の実験を執り行うために、

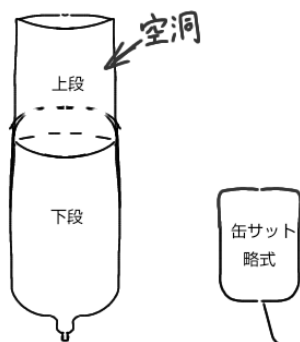
- ①飛距離を安定して確保することが可能なロケット
  - ②空中のデータを確実に採取することが可能な缶サット
  - ③缶サットを地上まで安全に運ぶためのパラシュート
- の三部門に分けて開発に乗りかかった。

#### 《①ロケット》

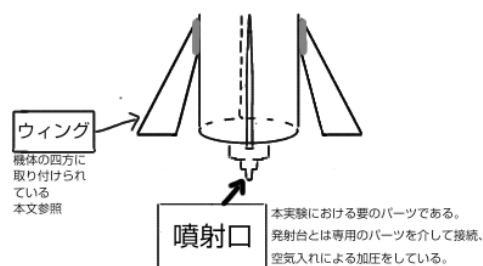
実際のロケットの構造に限りなく近くなり、かつ高圧の空気による内部圧に耐えうるという条件を満たすロケットのタンク部分に炭酸飲料の2Lペットボトルを採用した。2Lのペットボトルを採用した理由は、推力を発生させる高圧の水の量が多ければ多いほどロケットに加わる力は大きくなるので、飛距離を伸ばすことが可能であると考えられたからである。

次に、機体の構造に関して、下図のようにロケットは上段と下段に分かれており、上段はペットボトルを切り取って作成した円筒で、ここに缶サットを円筒の上部から挿入する。また下段は水を入れ、加圧するいわゆるタンクの役割を担っている。

(e)



(f)

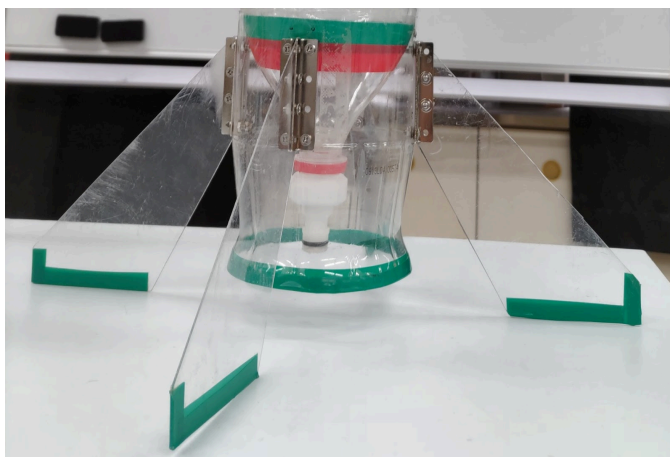


このとき、上段・下段ともに寸胴型となると、発射後に空気抵抗や風による影響を受け、機体制御が困難になるという実験結果がロケットのみの飛翔実験で得られたため、寸胴型の下段下部に翼を取り付けることにした。

(g)



(h)



この翼は機体の四方に装着した。その素材として、成形したポリプロピレン、切り取ったアクリル板の二種類を比較することで機体に採用する翼を決定することにし、予備実験を行った。なお、この際の翼の形は図(f)の構造で統一した。

(i)

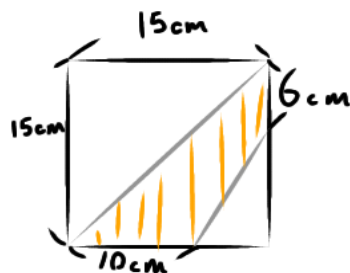
材料	ポリプロピレン	アクリル板
空中における機体制御	無風、微風時は翼本体が機能するが、風が強くなるにつれて機体制御の乱れが目立った。	多少の風であれば安定して機体を制御し、飛距離が向上した。また、雨天時も機能した。
飛行中・着陸時の耐久性	飛行中の強風などで空中分解や、着陸時の衝撃で翼が大破することが確認された。	強風による影響がほぼなく、着陸の衝撃による翼への損傷は、軽微なものが見られた。

表(i)は予備実験で得られた結果である。結果より、機体制御面、耐久面ともにポリプロピレンよりもアクリル板が優れていることが確かめられた。この結果から、機体の翼はアクリル板で統一することとした。

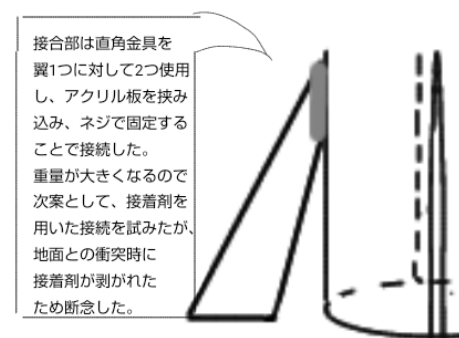
本実験においては、図(j)の通りに、アクリル板を15cm四方に切り取り、正方形の対角線に沿って切断し、直角二等辺三角形のアクリル板を切り出し、斜辺の両端からそれぞれ6cm、10cmに長さを取り、両辺の斜辺の両端でない端を結ぶ直線に沿って板を切断し、斜線部のような翼をアクリル板から切り出して作成することで翼の規格を統一した。

また、翼の寸法及び接続方法は、翼の短辺を図(k)のように接続することで翼を取りつけた。

(j)



(k)

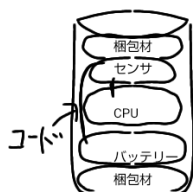


今回、私たちはこの機体を「上町ロケット」と名付けた。

## 《②缶サット》

次に、缶サットの構造に関してだが、ソフト面の構造に関しては図(b)の通りなので、この項目においてはハード面に関して記述する。

(l)



缶サットの内部構造は、先行研究の結果に衝撃によるデータロストが散見されたため図(l)の通りに、最下部に緩衝材として梱包材を敷いた。また、コードの長さ・データを採取するためにセンサを上部に配置しなければならないことを考慮し、図(l)の配置を本研究における内部構造とした。また、実験時に砂塵が缶サット内に入り込むことを防ぐために、最上部にも最下部同様、梱包材を配置した。また最上段の梱包材の有無で得られるデータに大きな違いがなかったため、本研究においてはその差異は考慮しないものとした。加えて、前述の缶の大きさの意図として、先程の内部構造の都合と、今回使用したバッテリーの大きさの影響で、500ml缶でなければセンサを配置しきれないため、本実験においては500ml缶を採用した。

また、この缶サットを上空で気象情報を読み取ることから、ツバメのギリシャ名から、「カタピー」( $K\alpha\tau\alpha\pi\iota\epsilon\iota$ )と名付けた。

## 《③パラシュート》

(m)

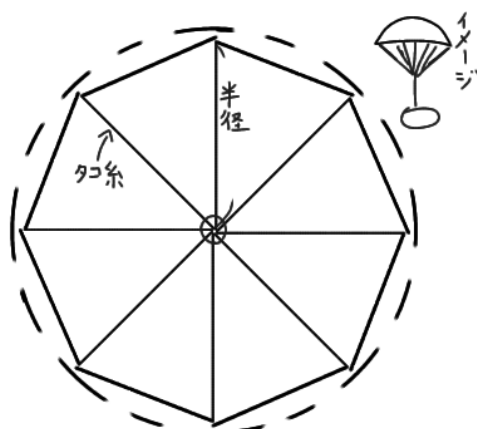
半径[cm]	素材	減速	分離
30	ビニール	△	○
35	ビニール	○	×
35	傘	○	○
45	ビニール	○	×
45	傘	○	×

予備実験を行い、パラシュートの素材、半径を決定した。

パラシュートの素材には、一般的なゴミ袋などのビニール袋、傘に使用されている傘の布を用いて作成した半径の異なるパラシュートを缶サットと同じ重さに調整した缶にくくりつけて、高所から投下し、安全な速度で降下させることができるか、さらにロケットに搭載して缶サットとロケットが分離する妨げにならないかなどを確認した。

その結果が表(m)である。また、今回パラシュートの糸に採用したものは、タコ糸である。

(n)



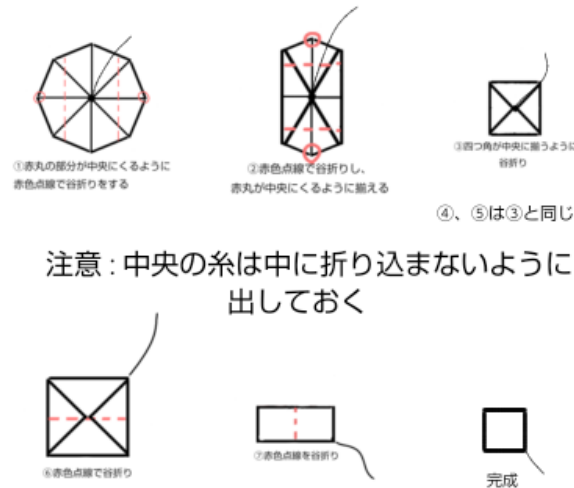
図(n)のような八角形の形がパラシュートに適していることがわかったため、本研究においてはこの形を基準とし、各頂点から中心までの距離となる円形の元の素材の半径を変えることで後述のロケットと缶サットの分離機構に適し、かつ十分に減速することができるかを予備実験で比較した。

表(m)より、半径は35cmよりも大きいものでなければ充分な減速といえないという結果が見られたため、ビニール袋で35cm,45cmの各モデルを作成し、ロケットからの分離実験を行ったところ、表(m)のような、分離が妨げられるという結果となった。

これは、ビニール袋の素材であるポリエチレンの、静電気を帯びやすい性質による、ビニール袋同士の吸着が原因ではないかと推測し、静電気を帯びにくい性質の傘布を用いて同様のモデルを作成した結果、表(m)のようになった。また、パラシュートの大きさが45cmのときに表(m)に示した結果になった要因として、下図のような手順でパラシュートを畳むため、半径45cmの傘布は大きくなってしまい、ロケットからの分離が妨げられたのだと考えられる。

また、四対の糸を中央にまとめる部分から伸びて缶サットにつなぐ糸の長さは1mで統一した。

(o)



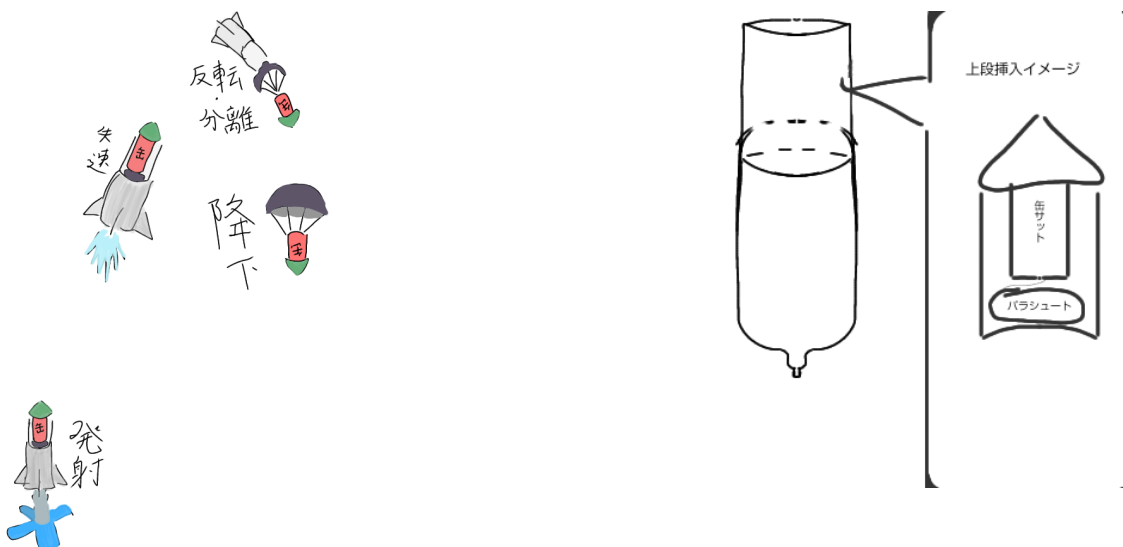
### 《分離機構》

ロケットと缶サットの分離は図(q)のようにロケットの重心が上部に偏っていることによって空中で反転する現象を利用した。

これが実現できているのは、図(p),(q)に示したような構造だからである。

また、これにより、採取する鉛直方向の加速度のデータが分離前後で鉛直方向正の向きが逆転している。

(p)

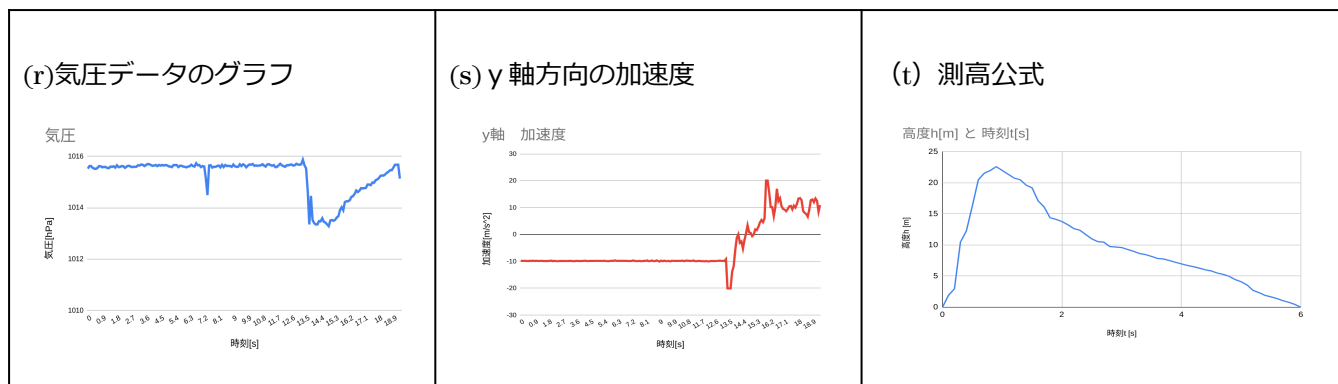




## 4 結果

グラフ(r)とグラフ(s)は缶サットの運動の様子を調べるために必要な時間と鉛直方向の加速度、気圧の関係を表したグラフであり、グラフ(t)は気圧センサの計測した実験開始時の気圧を $P_0$ [hPa]として、測高公式によって計算した高度の時間変化をグラフ化したものである。

$$\text{* 測高公式 } h = \frac{\left\{ \left( \frac{P_0}{P} \right)^{\frac{1}{5.257}} - 1 \right\} (T + 273.15)}{0.0065} \quad (h: \text{高度、 } P_0: \text{地上気圧、 } P: \text{上空気圧、 } T: \text{気温})$$



## 5 考察

### 《実験1》

缶サットの外気圧と加速度の時間変化をグラフにしたものが(r),(s)である。グラフにおける外れ値とグラフ(r)上に現れる0.1hPaほどのブレに関しては、センサの誤作動、及び微小な変化として考慮しないものとした。グラフ(r)から、13.5sでおおよそ1hPaもの気圧変化を観測できていることが分かり、その後の緩やかな気圧の上昇も観測できた。次にグラフ(s)から、グラフ(r)と同時刻に加速度が重力加速度から大きく変化したことから、この時刻でロケットが発射されたことが分かり、その後緩やかに変化していくことも同様に確認できた。このとき、機体が上昇し始めたと推定される時刻から加速度の正負の向きが逆になっている要因は、今回用いたロケットと缶サットの分離の機構が機体の重心の偏りによって空中で発生する遠心力を利用するものであり、分離の際に缶サットが空中で上下反転するからである。

また、以上より、缶サットによる空中のデータ採取は問題なく実行でき、落下の衝撃によるデータのロスや誤作動等は免れたと考えられる。

したがって、燃料ロケットと同様に、ペットボトルロケットでも缶サットの運用はできることが確認できた。

### 《実験2》

次にbmx055の加速度センサとジャイロセンサのデータと、bme280の気圧センサのデータを用いて機体の軌道を計算した。その結果として、ジャイロセンサの計測したロール・ヨー・ピッチの回転の角速度と、加速度センサのxyz軸それぞれの加速度から求められる速度を組み合わせ、時刻 $t$ における機体の体勢と、軌道が求められた。また、気圧センサの計測した実験開始時の気圧を $P_0$ [hPa]として、測高公式によって計算し、最高点の高度と降下終了までの高度を得た。グラフ(t)は、その高度の時間変化のグラフである。このグラフでは、グラフ(r),(t)における加速度・気圧の変化が確認できた時刻を $t=0$ [s]として表している。また、サンプリング周波数を10Hzとしている。このグラフから、機体が急速に上昇して緩やかに降下していることが分かる。これは、前述のペットボトルロケットによる缶サット運用が現実味を帯びていることのさらなる裏付けとなった。

## 6 結論

ここまでの結果とデータの分析から、ペットボトルロケットを用いて缶サット実験を行うことは可能であると言える。しかし、最高点の高度が22.6mとなっており、本来燃料ロケットで実験を行う際に求められる80mという高度より低くなっている。今後の展望として、今回の実験では電動の空気入れを用いた実験を行うことができなかったため、実験の再現性を高めていくことで電動の空気入れを用いた高

高度の飛行実験を行えるようにしていきたい。また、今回は行えなかったジャイロセンサなどのデータを用いた分析も、ソフト面での改良を進めて分析をしていきたい。

## 7 参考文献ならびに参考Webページ

出典『100KinSAT』 <https://100kinsat.github.io/about/>

『缶サット用モデルロケットの設計』（秋山 演亮、林 美由貴 和歌山大学宇宙教育研究所

『モデルロケット制作』

<http://modelrocketseisaku.cocolog-nifty.com/blog/2009/06/post-c666.html>

『CanSat(模擬人工衛星)開発におけるパラシュート研究と本体開発』

<https://school.gifu-net.ed.jp/ena-hs/ssh/H22ssh/sc3/31003.pdf>

『標高から気圧を計算』

<https://keisan.casio.jp/exec/system/1203469826>

『加速度・角速度データから速度・角度を推定するマイクロストーン株式会社』

<https://www.microstone.co.jp/2021/05/23/%E5%8A%A0%E9%80%9F%E5%BA%A6%E3%83%BB%E8%A7%92%E9%80%9F%E5%BA%A6%E3%83%87%E3%83%BC%E3%82%BF%E3%81%8B%E3%82%89%E9%80%9F%E5%BA%A6%E3%83%BB%E8%A7%92%E5%BA%A6%E3%83%BB%E8%A7%92%E5%BA%A6%E3%82%92%E6%8E%A8%E5%AE%9A%E3%81%99%E3%82%8B/>

『加速度センサから得られた値を移動距離に変換 #Python - Qiita』

<https://qiita.com/c0a20109/items/ae603fab1a238899f883>

『3軸角速度センサによる姿勢推定 – Watako-Lab.』

[http://watako-lab.com/2019/02/28/3axis\\_gyro/](http://watako-lab.com/2019/02/28/3axis_gyro/)

『加速度センサにおける移動体の自己位置検出に関する研究』

<http://mama.agr.okayama-u.ac.jp/kenkyu/96/hide/kasokudo.htm>

『慣性センサを用いた積分による距離測定』

<https://www.kochi-tech.ac.jp/library/ron/pdf/2014/03/11/a1150114.pdf>

『Oscillatory motion tracking with x-IMU』

<https://x-io.co.uk/oscillatory-motion-tracking-with-x-imu/>

『缶サットの航路を表示する』

<http://www.space-koshien.com/cansat/2018/data/w-toin.pdf>

『「CanSat Player」の制作』

<http://www.space-koshien.com/cansat/2017/data/w-toin.pdf>

『かのーがやってた缶サットとか』

<http://kano-tech.blog.jp/archives/20427416.html>

『特集③: 人間工学のための計測手法』

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jje/50/4/50\\_182/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jje/50/4/50_182/_pdf)

『第9回 加速度の計測』

[https://www.kri.sfc.keio.ac.jp/report/gakujutsu/2007/3-5/HMA\\_09.pdf](https://www.kri.sfc.keio.ac.jp/report/gakujutsu/2007/3-5/HMA_09.pdf)

『ジャイロ＋加速度センサー 基板製作キット C』

[https://www2.himdx.net/mcr/product/download/2gyro\\_3acc\\_module\\_c\\_language\\_headstand\\_control\\_program\\_explanation\\_manual.pdf](https://www2.himdx.net/mcr/product/download/2gyro_3acc_module_c_language_headstand_control_program_explanation_manual.pdf)

『言語倒立制御プログラム解説マニュアル』

[https://www2.himdx.net/mcr/product/download/2gyro\\_3acc\\_module\\_c\\_language\\_headstand\\_control\\_program\\_explanation\\_manual.pdf](https://www2.himdx.net/mcr/product/download/2gyro_3acc_module_c_language_headstand_control_program_explanation_manual.pdf)