

「CanSat Player の製作」

和歌山県立桐蔭高等学校 科学部 缶サット班



缶サット甲子園 2017 和歌山地方大会 ミッション概要資料

メンバー構成

内芝 旭祥	佐山 幸翼	柴田 玲	鈴木 智大	瀧本 英智
田中 久温	谷口 翔麻	田村 祐貴	中家 壮司	西岡 右喬
森川 琳太郎	山下 匠	吉村 風汰		

(下線があるのはメインメンバー)

1. ミッションの設定

①ミッション名・・・「CanSat Player の製作」

②ミッションの意義

「CanSat Player」とは、缶サットの運動の様子をセンサで記録し、そのデータ(高度・姿勢情報)に基づきパソコンの画面上でそれを忠実に3Dで再現するソフトウェアのことである。

このミッションでは、「CanSat Player」の製作を中心に、それに適した缶サットの製作、データの取得方法、ロケットの製作を通じて、桐蔭高校版のVR技術の構築をめざす。

③ミッション設定の動機

本校では昨年度、加速度センサやジャイロセンサといった、缶サットの運動の様子を調べるためのセンサを検証してきた。しかし、検証を経て取得したセンサのデータを具体的にどのように活用するかという点についてまでは当時言及していなかった。そこで、そのセンサから得たデータを視覚的に表現する「目的・目標」のための手段として、近年社会で注目を浴びているVR(ヴァーチャル・リアリティ)に注目した。

そこで、VRの桐蔭版として「CanSat Player」の製作を目指すことにしたのである。

2. ミッションへの取り組み

地方大会へ向けた目標: 「高度・姿勢情報を再生する」 以下は具体的な目標である

センサ面

高度算出に必要なデータの取得 → 気圧センサ、温度センサからのデータ取得

姿勢算出に必要なデータの取得 → 9軸センサモジュールからのデータ取得

打上実験時の缶サットの様子を知る → 加速度センサ、UVセンサ、照度センサからのデータ取得

プログラム面

データから缶サットの高度を算出し、姿勢をそのまま表現する

↳ 画面に描画するための計算式を導出する

算出した数値をもとに、缶サットのモデルを画面上に描画する

ハード面

缶サットの設計・製作
衝撃吸収機構の設計・製作
ロケットの設計・製作

3. ソフトウェア「CanSat Player」について

<CanSat Player>

CanSat Player (以下、CSP)は缶サットが取得したデータを、変位、角度からなる CanSat Player Data(.cspd) ファイルに変換し、コンピュータ上で**忠実に**再生するソフトウェアである。

つまり、缶サットのデータを再生する、動画プレーヤーの缶サット版である。

<手順>

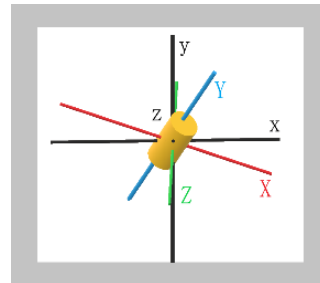
(記録) 缶サットでデータ取得



(変換) 缶サットのデータを cspd ファイルに変換



(再生) CSP で再生



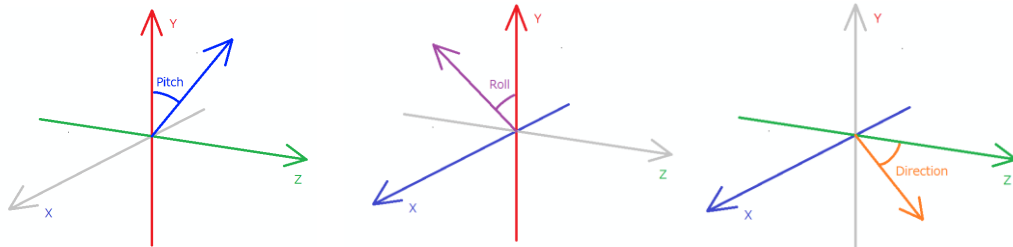
<描画方法について>

センサの値を忠実に再生するために、描画方法を工夫した。

センサは角度を3つの軸について同時に出力するため、複数軸について同時に回転する必要がある。しかし、既存の回転方法(回転行列やクォータニオン)では複数の軸について同時に回転することができない。そこで**二軸を同時に回転させる回転行列**を導出した (Direction については、既存の回転行列で回転した)。

<導出方法>

角度の定義:



既存の回転行列の導出方法を参考に、回転後の X,Y,Z 軸のベクトルを求め、それらを合成することによって新しい回転行列を導出した。

- ①Pitch 角と Roll 角から、回転後の Y 軸ベクトルの各成分の比が求まる…式 i, ii。ここで、Y 軸ベクトルの大きさを $|\vec{Y}| = 1$ …式 iii にして、Y 軸ベクトルを求める。
- ②求まった Y 軸ベクトルに、垂直な円を考える。よって、空間上での円の方程式…式 ii と、円と Y 軸ベクトルとの垂直条件…式 i を連立させる。そして Y 軸ベクトルの大きさを 1 にする。これを解くと、任意の円上の点の x 座標…式 v が求まる。ここで、中心と任意の点を線分で結ぶと半径となる。そこで、点の z 座標が最大値をとるときを Z 軸ベクトル、0 となるときを X 軸ベクトルとなる。これらのベクトルは、互いに直交する。

$$\textcircled{1} \quad \begin{cases} X:Y = \sin R : \cos R \cdots i \\ Y:Z = \cos P : \sin P \cdots ii \\ X^2 + Y^2 + Z^2 = 1 \cdots iii \end{cases}$$

I, II より,

$$X_2:Y_2:Z_2 = \sin R : \cos P : \cos R \frac{\sin P}{\cos P} \cdots IV$$

$$III \text{ より, } X_2^2 + Y_2^2 + Z_2^2 = 1 \cdots V$$

$$IV \text{ より, } \vec{V} = \begin{pmatrix} \sin R \\ \cos R \\ \cos R \frac{\sin P}{\cos P} \end{pmatrix} \text{ とおくと,}$$

$$|\vec{V}| = \sqrt{\sin^2 R + \cos^2 R + \cos^2 R \frac{\sin^2 P}{\cos^2 P}} \\ = \frac{\sqrt{1 + \cos^2 R \sin^2 P}}{\cos P},$$

$$\vec{V}_Y = \frac{\vec{V}}{|\vec{V}|} \text{ なので,}$$

Y軸ベクトル

$$\begin{pmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\cos P \sin R}{\sqrt{\cos^2 P + \cos^2 R \sin^2 P}} \\ \frac{\cos P \cos R}{\sqrt{\cos^2 P + \cos^2 R \sin^2 P}} \\ \frac{\sin P \cos R}{\sqrt{\cos^2 P + \cos^2 R \sin^2 P}} \end{pmatrix}$$

$$\textcircled{2} \quad \begin{cases} aX_2 + bY_2 + cZ_2 = 0 \cdots i \\ a^2 + b^2 + c^2 = 1 \cdots ii \\ |\vec{V}| = 1 \cdots iii \end{cases}$$

$$i \text{ より, } -bY_2 = aX_2 + cZ_2$$

両辺を2乗して,

$$b^2 = \frac{(aX_2 + cZ_2)^2}{Y_2^2} \cdots iv$$

iv を ii に代入して,

$$a^2 + \frac{(aX_2 + cZ_2)^2}{Y_2^2} + c^2 = 1$$

$$a^2 Y_2^2 + a^2 X_2^2 + ac X_2 Z_2 + c^2 Z_2^2 + c^2 Y_2^2 = Y_2^2$$

$$(X_2^2 + Y_2^2) a^2 + (c X_2 Z_2) a + \{(Z_2^2 + Y_2^2) c^2 - Y_2^2\} = 0$$

a について2次方程式を解く,

$$a = \frac{-2c X_2 Z_2 \pm \sqrt{c^2 X_2^2 Z_2^2 - 4(X_2^2 + Y_2^2)\{(Z_2^2 + Y_2^2)c^2 - Y_2^2\}}}{2(X_2^2 + Y_2^2)}$$

$$a = \frac{-X_2 Z_2 c \pm \sqrt{(1 - Z_2^2) - c^2}}{1 - Z_2^2} \cdots v$$

c が最大値($\sqrt{1 - Z_2^2}$)をとるとき

Z軸ベクトル

$$\begin{pmatrix} X_3 \\ Y_3 \\ Z_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{X_2 Z_2 \sqrt{(1 - Z_2^2)}}{1 - Z_2^2} \\ \frac{Y_2 Z_2 \sqrt{(1 - Z_2^2)}}{1 - Z_2^2} \\ \sqrt{(1 - Z_2^2)} \end{pmatrix}$$

c=0 のとき

X軸ベクトル

$$\begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{Y_2 \sqrt{(1 - Z_2^2)}}{1 - Z_2^2} \\ -\frac{X_2 \sqrt{(1 - Z_2^2)}}{1 - Z_2^2} \\ 0 \end{pmatrix}$$

求まった X, Y, Z 軸ベクトルをまとめて

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos R, & \frac{\cos P \sin R}{\sqrt{1 - \sin^2 P \sin^2 R}}, & -\frac{\sin P \sin R \cos R}{\sqrt{1 - \sin^2 P \sin^2 R}} \\ -\sin R, & \frac{\cos P \cos R}{\sqrt{1 - \sin^2 P \sin^2 R}}, & -\frac{\sin P \cos^2 R}{\sqrt{1 - \sin^2 P \sin^2 R}} \\ 0, & \frac{\sin P \cos R}{\sqrt{1 - \sin^2 P \sin^2 R}}, & \frac{\cos P}{\sqrt{1 - \sin^2 P \sin^2 R}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}$$

4. 缶サットの仕組み

<説明>

- ・缶サットの配線は、パソコンで設計し、感光基板を用いて行った。
- ・波線部のセンサを缶サットに取り付け、mbed でそれらのデータ取得・内部保存する。
- ・TWE-L-U で、取得したデータを地上に送信する。
- ・缶サットの内部処理状況を LCD で視覚化し、ユーザーインターフェース性を向上させた（後述）。
- ・衝撃吸収機構には、紙製のハニカム機構（六角柱を敷き詰めた）を底に取り付ける。

<使用したセンサ、マイコン>

部品名	型番
メインマイコン(mbed)	LPC1768
無線通信用マイコン	TWE-L-U
紫外線センサ	G5842
照度センサ	S9648
加速度センサ	MMA8451Q
ジャイロセンサ	L3GD20
9 軸センサモジュール	BN0055
気圧・温度・湿度センサ	BME280
温度センサ	ADT7410
LCD キャラクタ表示器	AQM0802A-RN-GBW

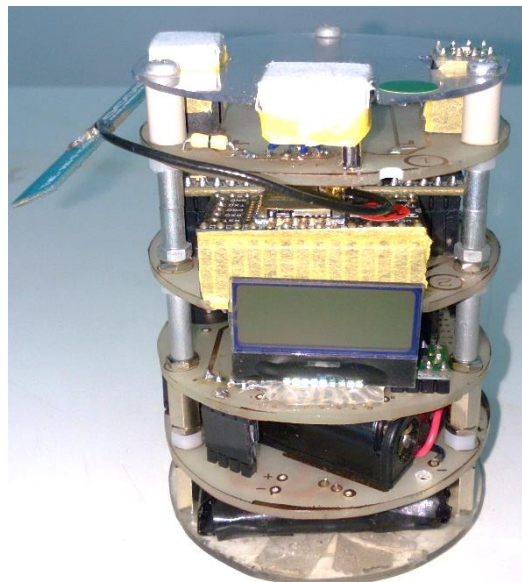


図 4-1 缶サットの写真

重量パラシュート併せて 200 g

<工夫した点>

- ・今回は、不測の事態に備えて本機 1 台、予備機 1 台の計 2 台製作
- ・通信強度を保つため、昨年に引き続き外側の部分を PET で製作した。
- ・気圧センサ、温度センサの配置（後述）

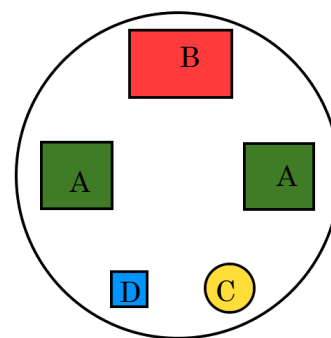
気圧センサ、温度センサの配置（図 4-2）

事前実験と同じように、センサにカバーなどを取り付けられるよう、缶サットの一番上に配置した。また、センサ以外の障害物をできるだけなくすために、板に穴を開けて、そこからセンサのみが突き出るようにした。

図 4-2 →

缶サットを上から見た図

緑 (A) : 気圧センサ
赤 (B) : 温度センサ
黄 (C) : 照度センサ
青 (D) : UV センサ



LCD の搭載

缶サットの現在のモードや状況を見て分かるようにした。モードには、以下のモードがある。

- ・ **CANSAT STANDBY モード**（図 4-3）
データ取得を行わず、待機している
- ・ **CANSAT モード**
データを取得し、メモリに保存・基地に送信
- ・ **CALIBRATION モード**（図 4-4）
加速度センサ・ジャイロセンサ・9 軸センサモジュール・気圧センサ 0 高度 のオフセット、キャリブレーションをする



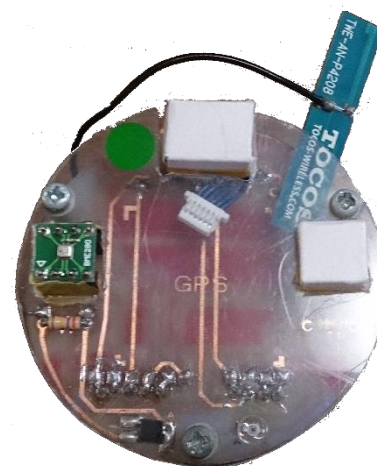
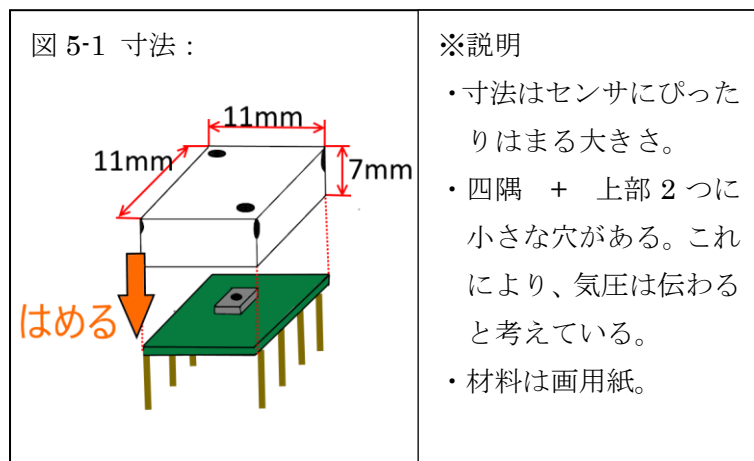
図 4-3



図 4-4

5. 気圧センサ・温度センサのカバー

高度を算出するのに、今回は**気圧センサ**と補正用の**温度センサ**を使用している。このとき、高度算出に次の関係式（図 5-2）を使用するため、気圧の値は高度、温度によって決まる。しかし、缶サットは**独特の形状**をもち、かつ**揺れながら**降下するので、気圧センサから出る値は気流の影響を受けていることが想定される。そこで、そのような場合でも、値のブレを抑えられるように、気圧センサをカバー（図 5-1,3）で覆った。補正用の温度センサにも同様のことが考えられるので、これにもカバーを取り付けた。



↑カバー後の様子（図 5-3）

気圧センサは 2 つ搭載して、1 つ（左）はカバー無し、もう 1 つ（右）はカバー有りにして、比較する。

図 5-2

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

P : 現在地の気圧 P_0 : 海面気圧 T : 現在地の気温

h : 現在地の標高 (CASIO keisan サービス※1 より引用)

＜うまく機能するかどうか実験＞（図 5-4）

打上実験では実際の缶サット周辺の気流を観測できないので、事前に屋内で人工的に風を起こし、センサ及びカバーに直接当たるようにして、カバーがあるときの気圧データ、温度データの値のブレが抑えられるか実験した。風の発生源にはプロペラ、遠心ファンを用意した。プロペラでは風が一様に直進しないことが知られている。よって、遠心ファンでそれを少なくした状況でも行った。

結果:カバー有りとカバー無しでは、グラフ化の際のブレがカバー有りのほうが少なくなり、なめらかな線となった。これはプロペラで発生した風の渦がカバーを付けることでシャットアウトされ、気圧センサが風の影響を受けにくくなったと考えられる。遠心ファンでも、同様の結果となった。

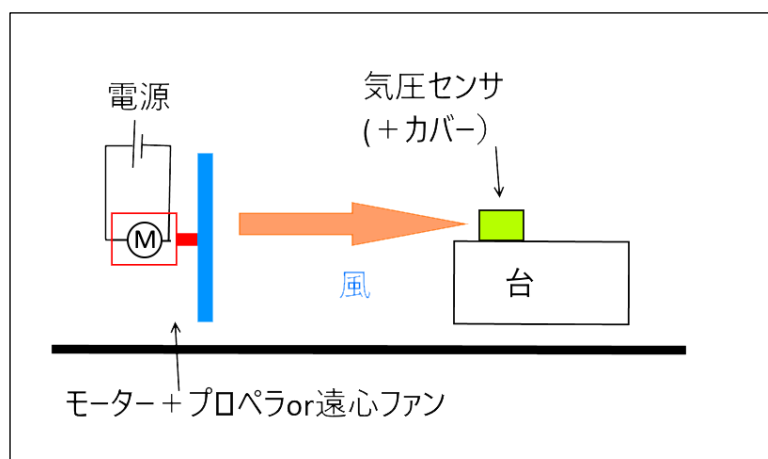


図 5-4 実験方法

※1 : サイト URL

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

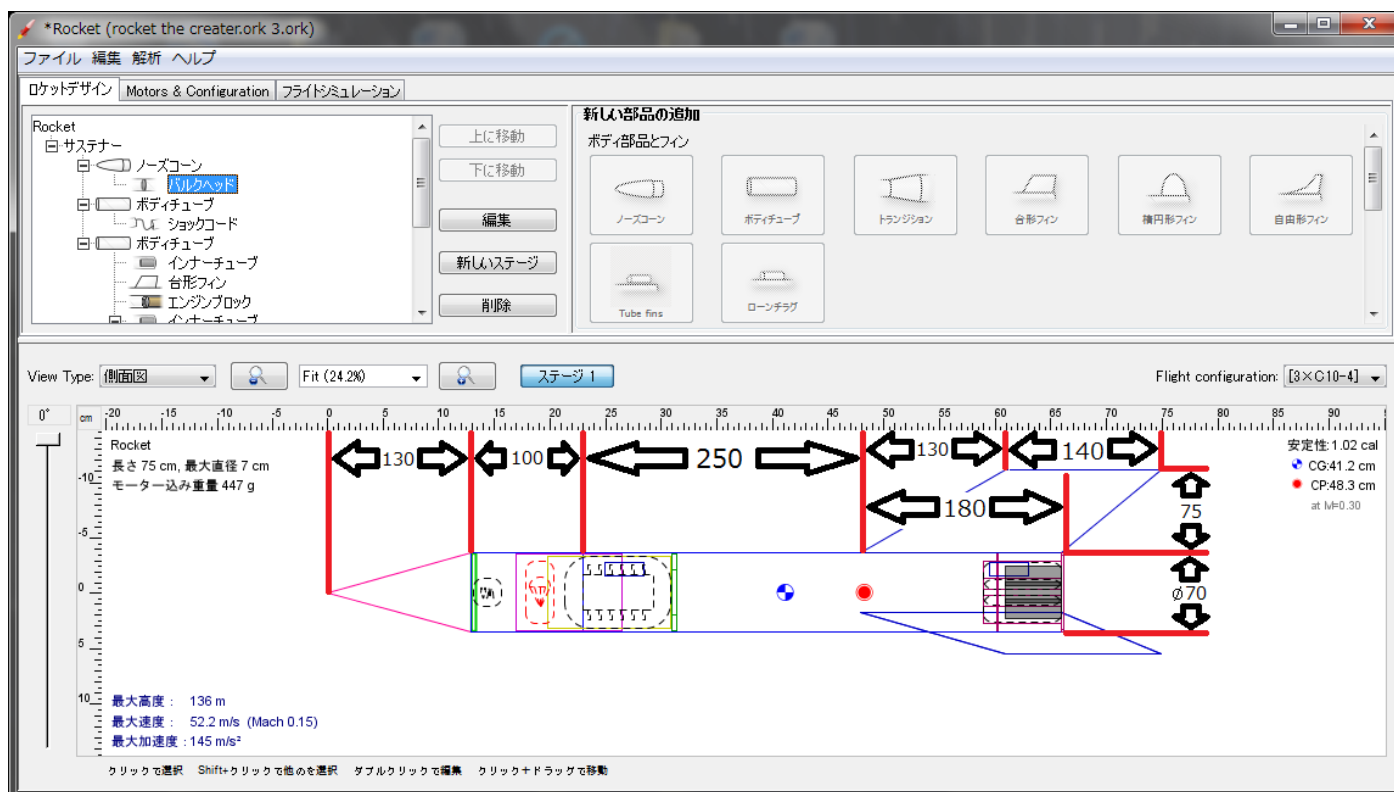
※2 また、この実験を踏まえて、実際にロケットで打上実験を行った。詳しくは、事前プレゼンを御覧頂きたい。

6. ロケットの設計・製作について

<ロケットがより安定して飛ぶために>

缶サットを安全に空中に運び、放出することは、実験の安全性を高めるほか、缶サットのデータの確実な回収にもつながる。そこで、ロケットに関して、以下の点を変更した。

- ・胴体部分を少し長く、フィン（翼）の面積を少し小さくした。
→ 細長い機体は、小面積のフィン（＝少しの空気の力）で安定するから。
- ・ロケットを置いたときに傾かないように、フィンの骨組みである竹ひごの下端をそろえた。
- ・モデルロケット設計ソフト「OpenRocket」を用いて、安定性の高い寸法に調節した(下図)。



<照度センサについての工夫>

- ・照度センサの値の変化をロケット内外でわかりやすくするために、ロケット内部を黒画用紙に変更した。

7. 期待される成果

●センサに施した工夫のもと、正常に動作すること

- ・缶サットの取得したデータが回収される。
- ・上空で大きな気流の変化が発生しても、気圧センサ、温度センサの値がぶれが少ない。
- ・缶サットの様子（発射、放出、降下、着地）が加速度センサ、照度センサ、UVセンサ、気圧センサ、温度センサから分かる、それが基地からみた様子と合致する。

●ロケットが安定して飛び、缶サットが放出されること

●CSP が正常に動作すること

- ・データを入力して缶サットの姿勢、高度が表示される。
- ・ビデオ映像と比較できる。

★また、本番では、実験の準備にミスがないよう、チェックシートを発行し、メインメンバー全員が、準備が行われたか確認する。