

H-33 搭載デジタルセンサ回路解析作業に関する報告

東海大学チャレンジセンター 学生ロケットプロジェクト所属
東海大学工学部航空宇宙学科航空宇宙学専攻

1. 概要説明

デジタルセンサ回路とは、TSRPの2013年度第12期ハイブリッドロケットプロジェクトにおいて、打ち上げ実験を行ったH-33号機に搭載された計器である。搭載したセンサは加速度計、角速度計、気圧計、温度計、並びにGPSモジュールである。サンプリングレートはGPSモジュールのみ1Hz、その他は50Hzに設定し計測を行った。

2014年3月に行われたH-33号機の打ち上げ実験の成功により、搭載されていたデジタルセンサ回路は、物理的な破損が全く見られない状態での回収に成功した。データ取得に関しても、2つの内1つのGPSモジュールで衛星の補足が出来ず、データの取得ができなかった事を除き、想定していたデータの取得・保存が行われていた。

デジタルセンサの解析に際しては、主に2通りの手法を用い到達高度の算出を行った。1つは気圧計を用いたものであり、もう1つは加速度計と角速度計を用いたものである。それぞれの解析の結果、気圧計による最高到達高度は915m、加速度と角速度による最高到達高度は834.96mとなった。以下でそれぞれの解析手法に関して説明を行う。

2. 気圧計を用いた高度算出

高度算出方法の1つが、デジタルセンサ回路に搭載された気圧計(BMP085)を用いた算出方法である。このセンサで取得した気圧データを国際標準大気(理科年表参照)に当てはめる事で、最高到達高度を算出した。この手法は共通計器の到達高度解析でも用いられている方法である。計算式を下に記す(資料1)。なお今回の算出において、当計器から得られた気温値が実測に比べ相当に低く計測されていたため、気象庁が公表している実験日の大樹町外気温を元に一定値として代入した。

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

(h : 高度, P : 気圧, P₀ : 地上気圧, T : 気温)

資料1. 高度算出式

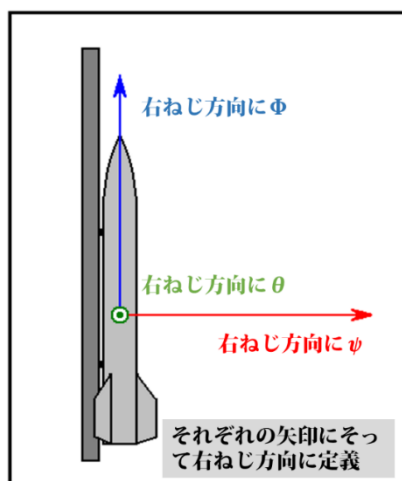
今回のデジタルセンサ回路の気圧値による到達高度の解析において、問題となっている点は気圧データの信頼性に関してある。BMP085 は取得した UP 値に Calibration データを用いた補正を行う事で実際の気圧を算出する方式を採用している。今回作成したプログラムでは Calibration データを初回のみ取得・保存し、取得した全ての UP 値に適応させていた。しかし打ち上げ試験後に、Calibration データは補正する UP 値ごとに、取得し直したものを適用させなければならないのではないかと、この指摘を受けた。データシートを再度確認した所、その旨に関する記述を見落としていた事が発覚した。以上の経緯により、今回算出した気圧計による高度算出は信頼性が無いと結論付けた。

3. 加速度計・角速度計

今回の解析において用いたもう 1 つの解析方法は、計測した角速度により機体座標上の値である加速度を地上座標にそのままに変換、その値を 2 重積分することによりロケットの鉛直方向の変位を求めるという方法である。加速度値の計測には ADXL345 を、角速度値の計測には IMU3000 をそれぞれ用いた。物体にかかる加速度を 2 重積分することで、物体の変位が算出できる事はよく知られているが、ロケット内部に搭載された加速度計は、時間とともに地面に対する角度が変化してゆく。そのためただ単に記録された値を積分することだけでは、地上を基準とした変位を算出することはできない。

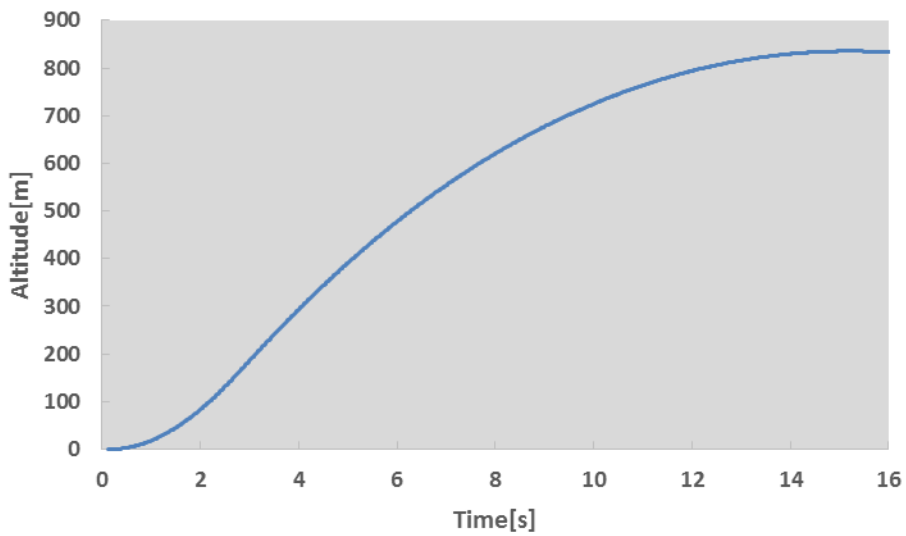
そこで角速度計より取得したデータを元に機体軸のずれを算出。そのずれの変化を代入した座標変換行列(資料 2)を用いることで、機体上の座標系に沿った加速度の値を地表平面とその法線方向に 3 軸を取った、地上を基準とする座標系へと変換した。

$$\begin{pmatrix} \cos \psi \cos \theta & -\sin \psi \cos \theta & \sin \theta \\ \sin \psi \cos \phi + \cos \psi \sin \theta \sin \phi & \cos \psi \cos \phi - \sin \psi \sin \theta \sin \phi & -\cos \theta \sin \phi \\ \sin \psi \sin \phi - \cos \psi \sin \theta \cos \phi & \cos \psi \sin \phi + \sin \psi \sin \theta \cos \phi & \cos \theta \cos \phi \end{pmatrix}$$

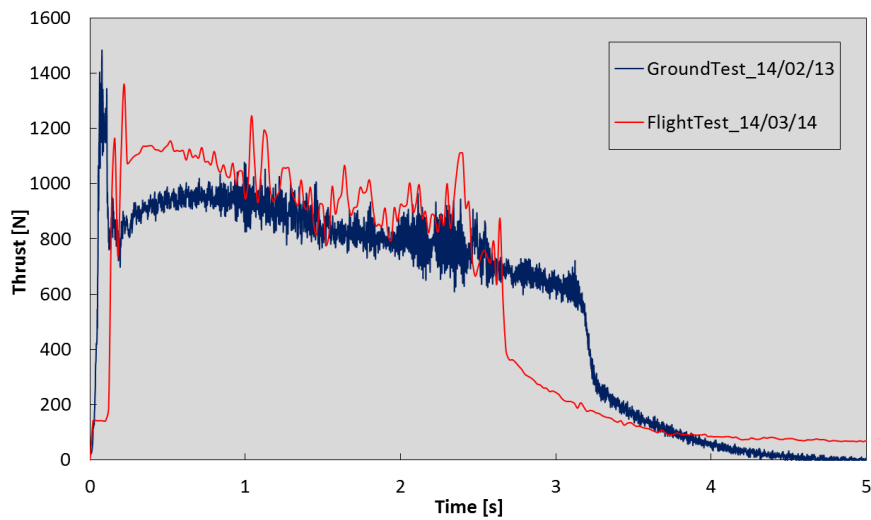


資料 2. 座標変換行列

以上の手順で算出された、地上を基準とする座標系の加速度を 2 重積分することで H-33 号機の高度変化を求めた(資料 3)。ここにおいて問題となってくる事が、同じく H-33 号機に搭載されていた共通計器が計測した加速度値と、デジタルセンサ回路が計測した加速度値にずれがある点である。両者を比較してみると、デジタルセンサの加速度値の方が全体的に低く計測されている。このデジタルセンサ回路の値は燃焼班が地上燃焼試験で得た推力データに近いものが得られた(資料 4)。以上の考察からでは、この方法による高度算出は共通計器の解析による到達高度結果と比較した時、どちらが誤っているとも、また正しいとも結論付けることは出来なかった。



資料 3. 加速度・角速度解析結果



資料 4. 地上燃焼試験結果とデジタルセンサ取得値の比較

4. 参考文献

- 理科年表 <http://www.rikanenpyo.jp/member/?module=Member&action=Login>
- スピンを伴うロケットの運動を計算するプログラム <http://repository.tksc.jaxa.jp/>