

# モデルロケット打上げ時最大加速度測定のための搭載手作り加速度計の設計 02S

久保 公貴 (高2)、洞口 翼 (高3) 【東京工業大学附属科学技術高等学校】

モデルロケットの打上げ時に加わる加速度は、最大の加速度であり、機体の設計に必要な、強度の指標となる。2017年科学部主催の「マール・チャレンジ」ではチョコ筒を用いたモデルロケットに、JAXA「宇宙ステーションキッズ・実験工作室」[1]の内容を参考に製作した「手作り加速度計」(図1)を搭載して打上げ、打上げ時最大加速度の測定を行った。そのデータを見直し、加速度計を再設計した。そして、新たに製作した改良型加速度計を用いた再実験を行い、加速度計を評価した。



図1 手作り加速度計

**目的** 2017年の打上げ実験で得たデータには、記録された最大加速度にばらつきがあった。そのデータのばらつきの原因を特定して改良型加速度計を設計し、これを用いて打上げ実験を行い、得られたデータが加速度計の設計要求を満たすかどうかを比較し改良型加速度計を評価する。

## 1. 「マール・チャレンジ」の結果に基づく設計要求の提案

### 最大加速度の測定方法

2017年3月29日のマール・チャレンジではチョコ筒を用いた科学部自作モデルロケット「マールロケット」を使用した。搭載した手作り加速度計の構造は図2の通り、ゴムひもで固定された記録部(両端は鉛筆かクレヨン)が、ロケット内壁に両面テープで接着固定された筒状の記録用紙(斜線部、ケント紙を使用)に接触している。重力1[G]が加わっている状態の記録部の位置(A)は、 $L_0$  [mm]で記録される。加速度が加わるとゴムひもが伸び縮みし、それにより記録部が上下して記録用紙に左右2本(L1、L2)の線を引き、打上げ時最大加速度は最下点位置(B)で  $L_{max}$  [mm]として記録される。

実験後、実際に使用したゴムひもをゴムひもの伸び  $L$  [mm]の長さ分だけばねばかりで引っ張って、その指示  $M$  [g]を読み取る。静止状態の位置(A)でのゴムひもに加わる荷重  $m$  [g]より最大加速度は以下で算出する。  
 打上げ時最大加速度  $a_{max} = M/m - 1$  [G]

### 打上げ実験結果の分析

マール・チャレンジのレッドチーム(R-1)とピンクチーム(P-1、P-2)の打上げで得た結果は図3の通り。これらを分析し改良型加速度計の設計要求を抽出した。

図2においてP-1とP-2の位置に着目すると、記録部に1[G]が加わった時の位置  $L_0$  はP-1の方が長い。一方、ゴムひもの伸び  $L$  は、P-2の方が長く、通常とは反対の現象が現れた。これは、記録部の移動が妨げられたことを示し、記録部がロケットのボディ内でひっかかったと推測した。

図2においてR-1の最大加速度が加わった時の記録部の位置  $L_{max}$  は、ロケットのボディチューブの長さ155 [mm]に極めて近い値を示している。そのため、打上げ時最大加速度が加わった時、記録部がその可動域の限界に達していたと推測した。その結果、記録した最大加速度がマールロケットの設計値を下回ったことが示すように、可動域が不足し、ゴムひもが本来の位置まで伸びることができなかつたと考えた。以上の分析から右に示す2つの改良型加速度計の設計要求を得た。

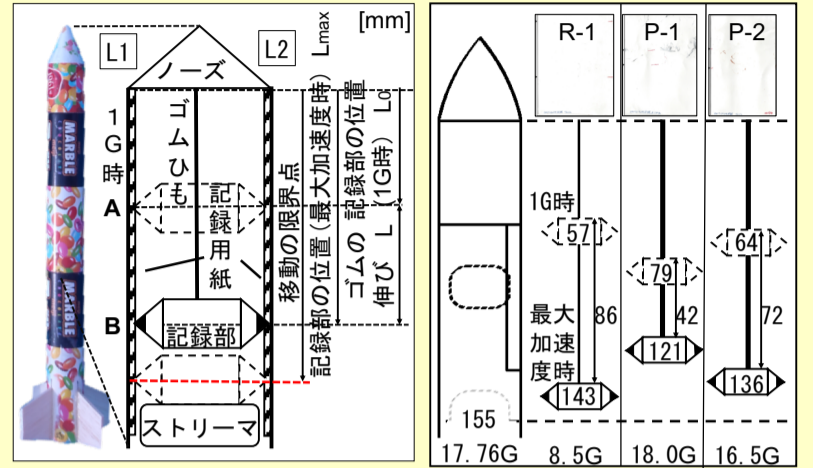


図2 手作り加速度計の構造と移動範囲 図3 記録部の移動量の模式図

**要求1** ロケットボディ内で機軸にそった姿勢を維持して上下可能な記録部形状の設計

**要求2** 打上げ時最大加速度時の記録部の移動を移動の限界点より手前に収められるゴムひもの選定

## 2. 改良型加速度計の設計・製作

### 要求1：記録部の設計

#### 1) 記録部の質量

改良型加速度計は、マール・チャレンジに使用したロケットと同型機への搭載を想定した。そのため記録部の質量は、先の加速度の仕様と同じ10.0 [g]を目指した。

#### 2) 記録部の形状

記録部の傾きを抑えるために、図4の通り、直径と高さが等しく、内壁と接する面積を少なくした形状を採用した。(Fusion360で設計)

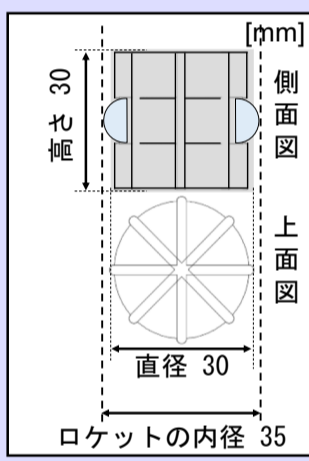


図4 記録部の設計図面

### 要求2：ゴムひもの選定

#### 1) 記録部の移動範囲の設定

最大加速度時の記録部の位置を、記録部がロケットボディ内を移動できる可動域の長さ140 [mm]から記録部1個分の長さ(110 [mm])以内を制限し、それより先の制限域(図8で赤色が示す範囲)に入らないようにする。これにより記録部が移動の限界点に達することを防止する。

#### 2) 記録部位置の見積もり

打上げ時最大加速度は、シミュレーション値17.76 [G]に12.5%の余裕を持たせた20 [G]とし設計した。ばねばかりを用いて、ゴムひもに20 [G]に相当する荷重を加え、その時の記録部の位置が110 [mm]以内のものを選定した。選定の結果、採用したゴムひもは、ユニオンモデル模型飛行機用ゴム(3mm幅)長さ60 [mm]である。

### 改良型加速度計の製作

再設計の結果、製作した改良型加速度計の外観は図5の通り。改良型加速度計の仕様とそれぞれの搭載位置は表3の通り。

項目	値
記録部の高さ [mm]	30
記録部の直径 [mm]	30
記録部の質量 $m$ [g]	9.51
記録部の位置(1G時) $L_0$ [mm]	80
記録部の位置(20G時) $L_{max}$ [mm]	105

\* ノーズでの加速度計の取り付け部分(バルサ材)の下端を基準とする



図5 改良型加速度計

## 3. 改良型加速度計を搭載した打上げ実験と結果

### 改良型加速度計を用いた実験と結果

2020年2月23日長野県佐久市の打上げ実験で使用したマールロケットは、図6の通り。実験により図7の通りの記録用紙を回収した。これより定規で読み取った  $L_0$ 、 $L_1$ 、 $L_{max}$  それぞれの値は表4の通り。実験後、ゴムひもで実測した最大加速度に相当する指示は、160 [g]であり、記録部の質量  $m$  [g] とばねばかりの指示  $M$  [g] の値を用いて、  
 補正最大加速度  $a_{max} = M/m - 1 = 15.8$  [G]



外観

項目	値
全長	620 mm
直径	36 mm
全質量	79 g
打上げ時最大加速度	14.11 G
使用エンジン	A8-3

図6 マールロケット

表4 打上げ実験の結果(2020年2月23日)

	L1	L2
記録部の質量 $m$ [g]	9.51	9.51
記録部の位置(1G時) $L_0$ [mm]	97	97
記録部の位置(最大加速度時) $L_{max}$ [mm]	143	143
ゴムひもの伸び $L$ [mm]	46	46
ばねばかりの指示 $M$ [g]	160	160
記録最大加速度 $a_{max}$ [G]	16.8	16.8
補正最大加速度 $a$ [G]	15.8	15.8

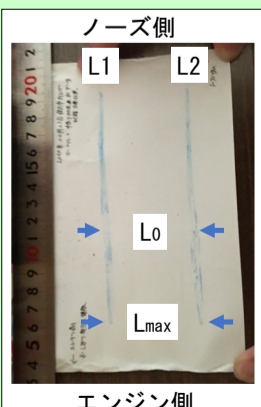


図7 記録部の動作範囲

### 要求1の達成

データの  $L_{max}$  に着目すると、図8の通り、 $L_1$  と  $L_2$  で等しい。このことは、記録部の左右に取り付けられたクレヨンと内壁との接点が、ロケットの機軸に対して直交した状態を保ったまま最下点まで降下したことを示している。以上の点から、ボディ内をひっかからずに移動させる設計要求1を達成した。

### 要求2の達成

図8の通り、記録部が制限域内に侵入したものの、記録部の位置143 [mm]は、記録部の移動の限界点153 [mm]より短い。よって記録部を移動の限界点より手前に制限する設計要求2を達成した。  $L_{max}$  が増加した原因として、1G時の記録部の位置  $L_0$  が、記録部を製作した初期段階での値80 [mm]から実験当日の値97 [mm]まで増加したことから、ゴムひもが動作確認の過程で設計段階と比べて伸びやすくなったことが原因と考えた。

### 今後の課題-計測された加速度の妥当性-

設計値14.11 [G]に対し、測定値は15.8 [G]であった。これは設計値より12%上回っている。本実験では、ロケットの総質量の実測値が設計値を上回っており、本来打ち上げ時最大加速度は設計値より低い値が計測されるはずである。測定値が設計値をオーバーした理由を明らかにするのが今後の課題である。また、次回の実験では、測定された加速度が妥当かどうか、加速度センサーといったシミュレーション以外の別系統でも同時に計測する必要がある。

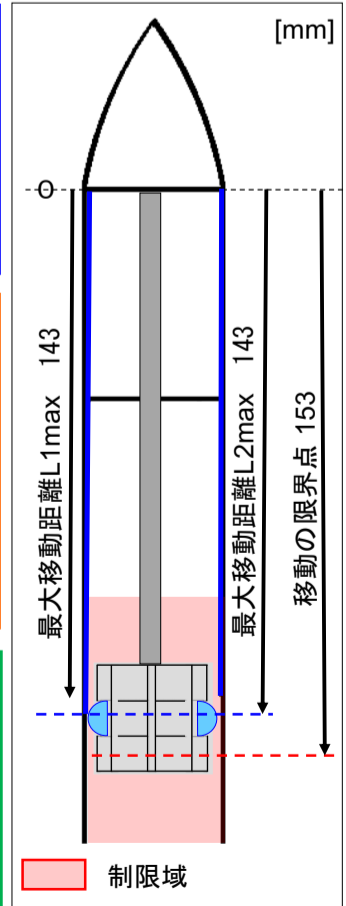


図8 打ち上げ時最大加速度時の模式図