

種子島ロケットコンテスト参加報告

宇宙科学総合研究会 LYNCS 佐々木良輔

2020 年 4 月 19 日

概要

2020 年度の種子島ロケットコンテストは 1 年生のみ 6 人のチームで参加予定だった。本イベントに向けて第 15 回能代宇宙イベントに参加した機体の改良版を製作したが、COVID-19 の感染拡大を受け大会が中止となつたため、ここでは前回の機体からの改良点などを主に書きたいと思う。

機体

という点を考慮して車輪を設計し、結果以下の 2 種類の車輪を製作した。

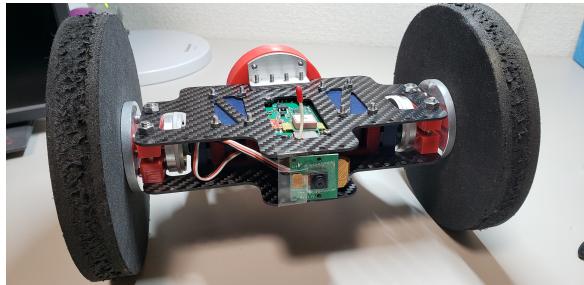


図 1 機体全体図

1 車輪

前回の機体では車輪全体を 3D プリンターで造形していたため、落下衝撃に弱く、車輪の製造に 10 時間以上の時間がかかり、また車輪径が小さく走破力の低いものだった。以上の問題を踏まえ

- 落下衝撃に強く
- 製造時間が短く
- 走破力が高い

1.1 板バネ&ゴム車輪

この車輪は以下の部品で構成される。

- ホイール
- ハブ
- スポーク
- 板ばね

ホイール、ハブは 3D プリンタで製作している。スポークは一般的な輪ゴム、板バネは 0.8mm 厚のステンレス板から成る。radial 方向の荷重をスポーク、axial 方向の荷重を板バネで吸収する。

3D プリンタ製の部分を大幅に減らしたこと で、製作に必要な時間は 5 時間程度となった。

しかし大会が中止となつたことで実際の走破力を見ることはできなかった。また、板バネの降伏荷重が低く axial 方向の荷重に弱いため、板バネの強化などの要改善点が見つかった。

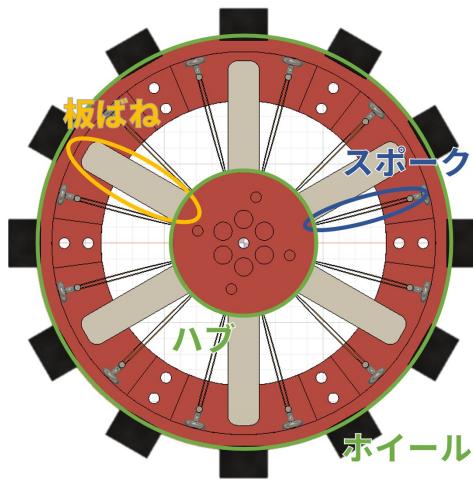


図 2 板バネ&ゴム車輪概観

1.2 スポンジ車輪

この車輪はホイールからハブまでの全体がEVA(Ethylene-Vinyl Acetate)スポンジから成る。30分程度で製作可能であり、radial, axial両方向の荷重に対して十分な柔軟性を持つ。

板バネ&ゴム車輪と同様に走破力の評価は行っていないが、車輪面の凹凸が無いため走破力はいくらか低いことが予想される。そのため、今後はウォータージェット加工機などを用いて凹凸がある走破力の高いスポンジ車輪の開発を行いたい。



図 3 スポンジ車輪概観

2 パラシュート分離機構

従来の電熱線式のパラシュート分離機構は

- 火災の危険性
- 電熱線巻きの不良による動作不良
- 再使用時に巻き直しが必要
- 消費電力が大きい

などの問題があった。これを改善するために、前回の機体ではサーボによる分離機構を考案したが

- 待機電力の多さ
- ヨー方向荷重によるサーボの破損

などの問題が明らかになった。

以上の問題を踏まえ今回の機体では

- 動作の信頼性が高い
- 再使用が容易
- 待機電力が低い
- 全方向からの荷重に対する耐性

をコンセプトに新たなパラシュート分離機構を開発した。

パラシュート分離機構はデカプラーとデカプラーレセプタクルの2つのコンポーネントから成る。

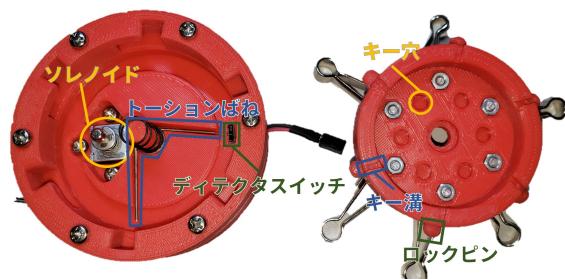


図 4 パラシュート分離機構 (左:デカプラー レセプタクル; 右:デカプラー)

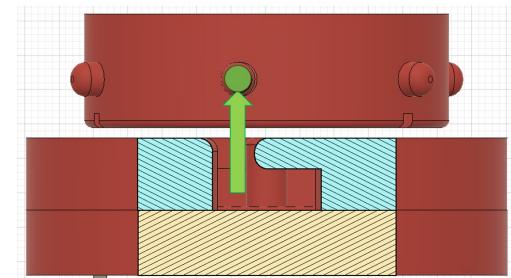
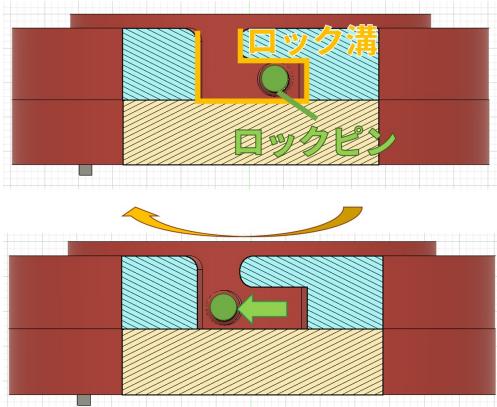


図 5 パラシュート分離機構の開放動作 (断面)

図 5 のようにデカプラーのロックピンがレセプタクルのロック溝に掛かることで荷重を受け、回転動作によりロック・開放を切り替える。図 6 にロック時のパラシュート分離機構の断面図を示す。図 4 に示すようにデカプラー・レセプタクルにはトーションばねとソレノイドが内蔵されている。トーションばねがデカプラーのキー溝に引っかかることでデカプラーは常にロック解除方向の回転力を受ける。デカプラーを一度ロック位置まで回転させると、キー穴にソレノイドのピストンが掛かり、デカプラーは完全にロックされる。ソレノイドはブル型ソレノイドであり、通電されるまでネガティブに機構をロックし続ける。また、ディテクタスイッチを搭載することでパラシュート分離の成否を検出できる。

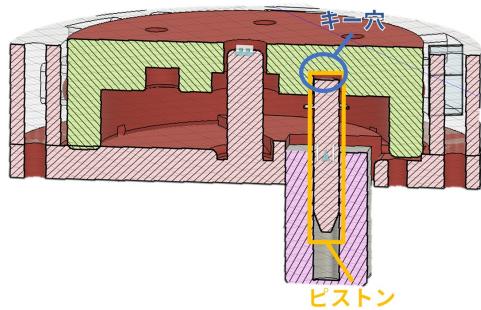


図 6 パラシュート分離機構 (ロック時; 断面)

この機構はロック動作がネガティブであり、更にアクチュエーターをサーボからソレノイドに変更することで動作の信頼性を向上し、待機電力は 0、動作時電力も 3W 未満を実現した。また、デカプラーを手で押し込むだけでロック状態になるため再使用も非常に容易である。また、各方向の荷重を機械的に受けているため、前回の機体のようなアクチュエーター破損の可能性は大幅に削減できた。しかし、3D プリンター製の部品の強度算出方法が不明であり、今後その評価方法を検討したい。

さらに意図せず発生したこの機構の特徴として、応答速度の早さが挙げられる。スローモーション動画^{*1} (960fps) を用いて通電時のスパークから、デカプラー開放状態になるまでの時間を測定したところ 0.031sec 以下という結果が得られた。

^{*1} https://drive.google.com/file/d/1Y7MW0B4V_zlWzZBSjIcJfnIA4Vlu7jlU/view?usp=sharing

3 筐体

前回の機体では筐体の CFRP プレートに鋭利な内側角があり、パラシュートの開傘衝撃で図 7 の赤線のように亀裂が入った。そのため今回の機体では図 8 のように角を取り、またパラシュート分離機構をアルミ製 L 字アングルで取り付けることでこれを解消した。

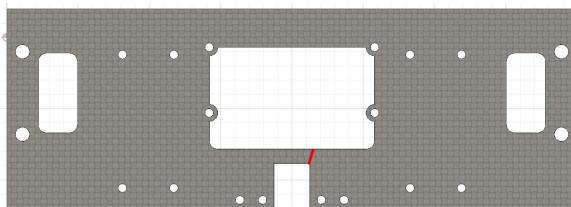


図 7 前機体の CFRP プレート



図 8 新機体の CFRP プレート

電装

4 設計

図 9 に電装のブロック図を示す。新しい電装の特徴は以下の通りである。

- TWE-LITE を用いたアップ、ダウンリンク
- 高精度気圧センサー DPS310 の採用
- 電源監視 IC の搭載

• 大電流駆動用の MOSFET

TWE-LITE を搭載したことでの地上へのテlemetry送信や、遠隔操作が可能になった。また、前回の課題であった気圧センサーの精度を解決するため、新しく DPS310 センサーを搭載した。このセンサーでは標準偏差 5cm での高度測定が可能である。電源監視 IC を搭載したことで、電池残量や消費電力をリアルタイム監視が可能になり、バッテリーの交換タイミングを把握できる。また、バッテリーからの電流を直接ドライブする MOSFET を搭載し、これはパラシュート分離機構に用いられている。

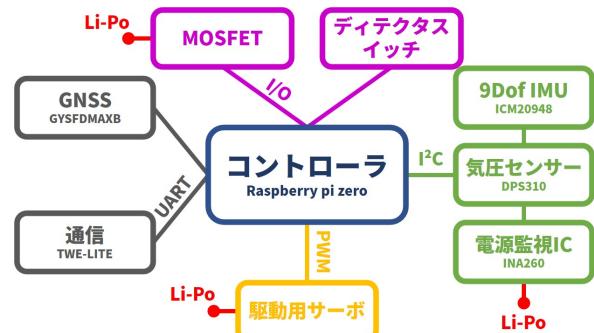


図 9 ブロック図

5 実装

図 10 は実際に製作した回路である。すべての部品は SMD で実装されており、高密度かつ耐衝撃性の高い電装を目指した。



図 10 実際の電装

ソフトウェア

6 問題点

実際に製作すると GNSS を受信しないという問題が発生した。他の部品と切り分けて受信実験などをした結果、原因として raspberry pi zero のクロック (1GHz) と GNSS 受信波 (1.1-1.5GHz) が干渉している可能性が疑われた。対策として図 11、図 12 のような銅テープによる高周波シールド、スペーサーによる raspberry pi zero と基板の遠隔化の両方を行ったところ正常に受信した。



図 11 高周波シールド

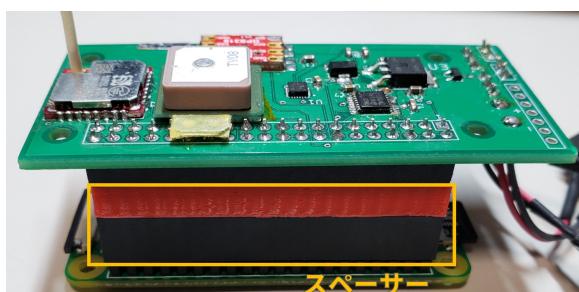


図 12 スペーサー

しかし、スペーサーを入れると基板の全高が高くなるため、スペーサーなしで正常に受信ができるように改良する必要がある。また、受信不良の原因が本当にクロックとの干渉のみであるのかを検証することが現状では困難であり、様々な実験を行う必要がある。

ソフトウェアは以下のような改善を行った。

- 例外設計
- config ファイルによる設定の分離
- コメントアウトの充実
- 地磁気を併用した誘導

前回の機体では GNSS を 2 点測位することで自己の方位を推定していたが、地磁気を用いることで高速かつ高精度に方位を推定することができた。また、例外設計を行いエラーに対する耐性を高めた。

一方で以下のような要改善点、展望も残っている。

- python から c++ への変更による高速化
- 画像処理への GPGPU の利用
- TWE-LITE 送受信用データ形式の決定
- 地上局ソフトウェアの開発

また、実践的な実験が行える環境が少なく、実際の環境を想定して更に課題を抽出する必要がある。

全体を通して

能代宇宙イベントからの改善点として以下を挙げる。

- メンバー参加率の向上
- 能代宇宙イベントでは多くの作業が一部のメンバーに集中していた。今回は仕事の分担を更に行って一人あたりの作業量を軽減した。
- 分業の進行
- 今回の大会を経て設計、加工、コーディング

グなど各々のメンバーが担当する分野が明確になり、専門性が高まった。

一方で全体を通して以下のような課題が残った

- スケジュールの遅延

スケジュール管理はガントチャート及び定例の会議で行っていたが、スケジュール通りに進捗が進行せず、会議ではその場その場でメンバーに仕事を振るような形になった。

- 実験の不足

上のスケジュール遅延も重なり、スケジュール通りに行えた実験は投下実験のみだった。大会は中止となつたが、大会時点では走行試験、落下試験しかできておらず E2E 試験などを実施する必要がある。

今後について

今回製作した機体は次回の能代宇宙イベントに持ち込むため、今後は実験などを行いながら更に完成度を高めていく。可能であれば次回の能代宇宙イベントには新入生から成るチームを加えて編成し、2台の機体を製作したいが、現在新歓活動やサークル活動が大幅に制限されており現状では困難である。

謝辞

この機体の製作では白坂成功先生の全面的な支援を賜り、厚く感謝を申し上げます。