

めざせ宇宙開発 - 自律移動ロボット飛行プロジェクト

SpaceDevelopment – Autonomous movement robot Flight Project

比留川満洋 Mitsuhiro Hirukawa

1 背景

近年、宇宙開発は科学的知識の向上だけでなく社会インフラへと貢献を重ねている。しかし、高コスト、複雑化、高信頼化への要求に伴い、安全性を保障し実験しなければならず、学生による宇宙開発は困難とされてきた。そこで、学生の宇宙工学における教育を目的として始められたのが、CanSat プロジェクトである [1]。

CanSat とは、空き缶 (Can) サイズの衛星 (Satellite) をモデルとし名付けられた超小型模擬人工衛星のことである。1998 年 11 月ハワイで開かれた日米大学宇宙システム会議 (USSS' 98 :University Space Systems Symposium' 98) でスタンフォード大学の Bob Twigg 教授の提唱のもと始められた [1]。これを機に、アメリカや日本の大学を中心として、CanSat プロジェクトが盛んに行われている。

CanSat プロジェクトにはいくつかの競技大会があり、代表的な大会に ARLISS (A RocketLaunch for International Student Satellites) と呼ばれるものがある [2]。アメリカ合衆国ネバタ州のブラックロック砂漠でアマチュアロケット団体 (AeroPAC) の協力のもと、CanSat の打ち上げ実験を毎年開催している。ARLISS の競技の 1 つであるカムバックコンペティション (Comeback Competition) では、まず CanSat を搭載したロケットを高度約 4,000m まで打ち上げ、CanSat を放出する。放出された CanSat は地上に着陸後、あらかじめ設定された目標地点を目指して自律制御移動を始め、最終的にどれだけ目標地点に近い距離で到着できるかを競う [2]。

本プロジェクトでは、このカムバックコンペティションの競技をもとに、CanSat の製作をする。

2 課題の設定と到達目標

本プロジェクトでは、CanSat の設計・構築・運用を通して、設計のための理論、構築に必要な技術、運用の経験や、プロジェクトそのものの進め方などを学習する事で、宇宙開発の基礎を学ぶことを目的とする。

本プロジェクト全体の目標は「目標地点へ到達できる、姿勢制御と自律移動アルゴリズムを取り入れた機体の製作」である。人工衛星を運用するうえで、目標地点へ到達することは最も重要なミッションの 1 つである。そのため、本プロジェクトでは CanSat を無事に目標地点へ到達させることを掲げ、さらにグループごとにミッションの追加を行っていくものとする。グループは A グループ、B グループの 2 グループに分かれて活動をし、それぞれ異なるミッションを想定した CanSat を製作する。

2.1 A グループ

A グループでは、ローバーの走行中にあらかじめ定めておいた簡単な図形と一致する軌跡を残し、目標地点に到達することを目標とした。軌跡を残すことは宇宙分野においても重要な役割を担い、軌道決定や軌道解析に大いに役立つミッションであると考えられる。

A グループにおける課題の到達目標は以下の表の通りである。

表 1 A グループの成功基準とミッション内容

| 成功基準 (%) | ミッション内容 |
|-------------------|---------------------------|
| ミニマムサクセス (60%) | 安全に着地 |
| ミドルサクセス (80%) | ゴールに到着 (GPS 目標地点から半径 10m) |
| フルサクセス (100%) | 描いた軌跡を画像認識で線として出力 |
| アドバンスドサクセス (120%) | 描いた軌跡と元絵の一致率が 70% |

2.2 B グループ

B グループでは、壊れやすいものを壊れないように運ぶことを目標とした。これは、安全にものを運ぶというプロセスから人工衛星の運搬や宇宙への機体輸送、物資

輸送を正確に遂行することを背景としたミッションである。

B グループにおける課題の到達目標は以下の表の通りである。

表 2 B グループの成功基準とミッション内容

| 成功基準 (%) | ミッション内容 |
|-------------------|----------------------------|
| ミニマムサクセス (60%) | 軟着陸ができて、CanSat 本体が走行を開始できる |
| ミドルサクセス (80%) | 目標地点に到達できる |
| フルサクセス (100%) | 運搬物を壊すことなく目標地点に到達する |
| アドバンスドサクセス (120%) | ゴール地点を1周する |

3 課題解決のプロセスとその結果

3.1 A グループ

表 1 より、A グループの各ミッションにおける課題解決のプロセスについて述べる。

ミニマムサクセス

安全に着地を遂行するために、飛行物にパラシュートを採用した。パラシュートは人間や物資を安全に落下させる手段として広く使われている。また、小型で軽量なため、CanSat 競技大会のサイズ規定を満たしやすく、安定した飛行を可能とすると考え、パラシュートが適切だと判断した。素材は強度と軽量を重視したナイロン生地を使用した。

ミドルサクセス

GPS センサと 9 軸 IMU を用いてゴール判定を目指した。9 軸 IMU の加速度と磁気センサ、時間による動作移行を用いて目標地点から半径 10m 以内でのゴールを目指すこととした。走行は目標地点までの方角を計算し、25 度間隔の角度のずれでタイヤを旋回させた。また、当初は、カメラを用いた画像処理も念頭に開発を進めたが正確なゴールを目指す技量に時間がかかるため断念した。

フルサクセス

軌跡について、まずどのように軌跡を残すのかを吟味した。当初は、機体に LED 光源をつけて機体の軌跡をカメラで撮影し、その後タイムラプスの技術を用いて出力する方法を考案した。しかし、実験時間は日中であるため、光源の点灯が識別出来ないと判断したため断念した。そこで、走行動画をカメラで録画し、機体をトラッキングすることで、軌跡

の作成と画像認識による分析を試みた。

アドバンスドサクセス

描いた軌跡との一致率の照合については、元絵と描いた軌跡の画像を重ね合わせて透過させ、2 つの画像の特徴点を抽出し、それらの距離を比較して一致率を確かめる方針を考案していた。特徴点のマッチングは OpenCV を用いた解析を検討していた。

3.2 B グループ

表 2 より、B グループの各ミッションにおける課題解決のプロセスについて述べる。

ミニマムサクセス

軟着陸のために、飛行物にグライダーを採用した。グライダーはパラフォイルよりも降下衝撃の小さく、滑空して着陸することで、衝撃の緩和と飛行の安定性を得られると考えた。

また、軟着陸に備え、グライダーにローバーを入れるコンテナを装着した。これはグライダーに直接ローバーを取り付けて落下させた場合、着陸時の衝撃でローバーが破損してしまう恐れがあると考えたためである。そのため、ローバーがこのコンテナから脱出し、走行を開始できるようにすることは大きな課題となる。また、コンテナからの脱出方法はサーボモーターとテグスを使用し、コンテナの側面を開閉出来るような仕組みを実装した。着地判定は、9 軸 IMU の加速度センサの値が一定時間 0 になった際にコンテナの開閉を行わせるようプログラムした。

ミドルサクセス

目標地点に到達するために、GPS センサと 9 軸 IMU を用いてゴールを目指した。走行は GPS データと 9 軸 IMU の磁気センサを用いて現在地の座標把握とローバーの向いている方角を取得し、目標地点から 45 度角度がずれるたびにタイヤの旋回を行わせた。また、GPS センサの値は数十メートルの誤差が生じるため、目標地点の到達は目標地点から 10m 圏内に入ることでゴールとみなすこととした。

フルサクセス

運搬物には壊れやすいものとして、チョークを採用した。チョークはとても軽量で高さ約 60cm のところから落とすと簡単に割れてしまうほど脆い

モノである。そのため、高さ 30m 前後から落とす CanSat には十分壊れる可能性があり、安全に運搬する課題として適切なモノであると判断した。また、チョークを守るため、衝撃吸収材にメラニンスポンジを用い、MDF(Medium density fiberboard)で収納箱を作製した。どちらの素材も軽量であり、また頑丈であるため採用を決定した。

また、ローバー後方に 3 輪目のタイヤを装着し、姿勢の安定性と運搬物への振動の影響を抑えようと試みた。

アドバンスドサクセス

ゴール判定において、機体の停止のみではプログラムの終了が正確に行えているのか判断出来ない可能性があると考え、正確なゴールの認識を証明するためにゴール地点を 1 周することを目指した。当初は、カメラを用いた画像処理も念頭に開発を進めたが正確なゴールを目指す技量に時間がかかるため断念した。

3.3 成果物

3.3.1 A グループ

作製したパラシュートとローバーは以下である。

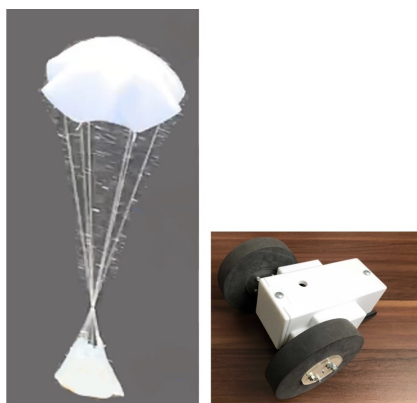


図 1 A グループの成果物

3.3.2 B グループ

作製したグライダーとローバーは以下である。

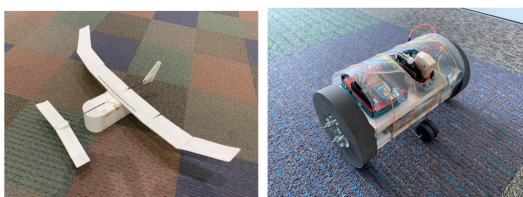


図 2 B グループの成果物

3.4 実験詳細

実験場所は、北海道函館市赤川町にある笹流ダムで行った。日付は 11/6, 13, 20, 25 の計 4 日間、13:30 ~ 15:30 の時間帯で行った。実験内容は、以下である。

ローバーにパラシュートあるいはグライダーを装着し、ダムの頂上（高度 25.3mm）から人力で機体を投射し、地面に落下させる。空中では、地面への軟着陸に備え、パラシュートの展開とグライダーによる空中移動をし、着陸後、ローバーはセンサ類の情報から自律走行をはじめ、あらかじめ決めておいた目標地点を目指し走行する。CanSat の打ち上げから目標地点到着まで、CanSat の位置情報などを PC へ通信し、実験記録はセンサを使って記録し、分析を行う。この一連の流れを本番実験とする。

3.5 実験結果

3.5.1 A グループ

パラシュートは計算通りに落下した。しかし、着地点は、予測したところではなかった。原因は風向きと風速による影響、落下中に荷の重心が動いていたことが考えられる。また、落下速度を計算した結果、パラシュートが開いてからの落下速度の平均は約 4.5m/s となり、このパラシュートの予測速度である 4m/s に近い値になっていることがわかった。

ローバーの走行実験では、タイヤが安定せず、走行に支障が出た。原因はモーターを取り付けるパーツが一体化していたことから微調整が困難であったこと、走行中に機体を引きずっていたこと、内部の基板などの固定不足が考えられる。

以下はパラシュートの落下運動における解析グラフを示したものである。

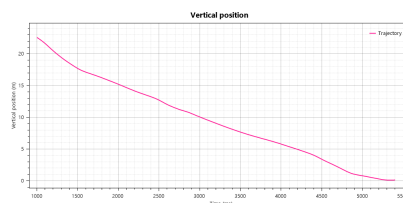


図 3 パラシュートの落下運動における解析グラフ

また、走行の不具合の改善と分析のため、後日、本学の中庭で走行実験を行った結果、目標地点から 5m 圏内でローバーは停止した。

3.5.2 Bグループ

グライダーは滑らかに落下し、安定した姿勢で落下した。また、落下速度は最大9m/sとなり、想定よりも早く落下したことがわかった。これはグライダーが滑空せずに真下に落下したのが原因だと考えられる。

以下はグライダーの落下運動における解析グラフを示したものである。

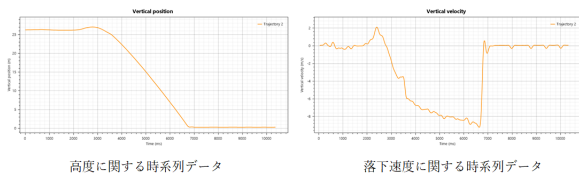


図4 グライダーの落下運動における解析グラフ

ローバーを載せたグライダーを降下させた結果、ローバーはコンテナ内で破損し、走行が不能な状態であった。原因は衝撃がモーターの土台部分に集中し、衝撃緩和が上手く行えなかったためであると考えられる。

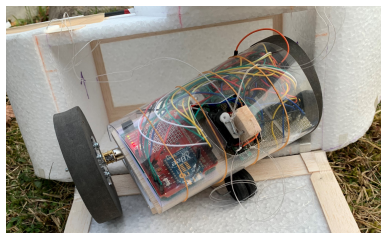


図5 ローバー破損の様子

しかし、運搬物への破損はなく、収納庫の衝撃緩和に問題はなかった。

ローバーの走行実験では、GPS センサの誤差により障害物の多い地点を目指して走行したため、正確に目標地点へゴールすることが出来なかった。そのため、後日、平坦で障害物の少ない本学の中庭で走行実験を行った。結果、ローバーは目標地点(約50m先)を目指して走行を開始し、目標地点から8.1m手前で停止した。

図6はローバーの走行に関する解析グラフを示したものである。

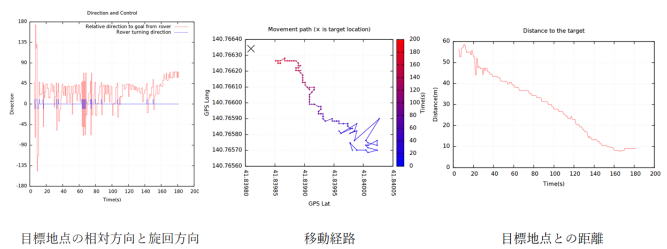


図6 ローバーの走行に関する解析グラフ

4 今後の課題

Aグループは、パラシュートの重心の移動を極力起こらないように対策をし、ローバーのメンテナンス性向上のために天板を開閉できる構造にしてタイヤの精度向上と重心の偏りの減少を目指す。また、軌跡の作成を試みる。

Bグループは、グライダーの空力設計の見直しと作業時間短縮の制限のため断念した展開機構の実装を行い、ローバーのGPS センサの誤差影響を小さくした正確なゴール判定を行うため、小型カメラを用いた映像認識を加え、モーターの土台部分への衝撃緩和を考慮した新たな構造を目指す。

今年度は新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) の拡大防止のため、作業時間の短縮から製作条件の緩和を行い、CanSat 競技大会に類似する機体の製作を行うこととなった。そのため、今後は CanSat 競技大会に順ずる機体の製作を目指し、次年度以降、CanSat 競技大会への出場を目指す。

参考文献

- [1] 中須賀真一, 松永三郎 (2000). CanSat 計画 一日米大学による手作り小型衛星への挑戦. 日本航空宇宙学会誌, 48 巻, 562 号, pp.589-596.
- [2] たかだまけい, すきもとゆうた, きたがわひろと, 高玉圭樹, 杉本悠太, 北川広登 (2013). 新たな宇宙探査機を目指すローバの進化: ARLISS での挑戦. 計測と制御, 52 巻, 第 6 号, pp.515-521.