

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

1019015 成田 凜 Nagi Narita

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 Twiggs 教授の提唱のもと始められた。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。アメリカ合衆国ネバダ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 ではカムバックコンペティション (Comeback Competition) とミッションコンペティション (Mission Competition) の 2 種類のコンペティションが設けられている。カムバックコンペティションでは、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]。ミッションコンペティションでは、各団体が目標地点到達以外の独自のミッションを自由に設定し、ミッション達成度などによって評価する [2]。また、CanSat には翼型やパラfoil型の CanSat を飛ばし、空中を制御することで目標地点を

目指すフライバック (Fly-Back) と、ローバ型やクローラ型の探査機を飛ばし、地上に到着してから目標地点を目指すランバック (Run-Back) の 2 種類の方式がある [2]。

本プロジェクトでは、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行い、A グループはフライバックでのカムバックコンペティション、B グループはランバックでのミッションコンペティションの競技に準ずる CanSat 製作を行う。

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。この目標を達成するために、A グループはスペースプローブコンテストという競技会への参加、B グループは疑似ミッションの実施というそれぞれ異なる活動を行う。

2.1 A グループ

A グループは競技会に参加以外にも目標を設けた。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
ミニムサクセス (60%)	最低限 CanSat の制御がなされていることを確認
ミドルサクセス (80%)	目標地点の半径 10 m 以内に着地
フルサクセス (100%)	目標地点の半径 5 m 以内に着地
アドバンスドサクセス (120%)	スペースプローブにおいて着地精度以外でも高評価を獲得

2.2 B グループ

B グループでは、2 種類のサンプルを採取し、サンプルが混合しないように回収地点まで運行することを目標とした。これは、複数種のサンプルを混同せずにサンプルリターンを正確に遂行することを背景としたミッションであった。

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%)	採取地点 A まで走行, サンプルを 1 種類採取
ミドルサクセス (80%)	採取地点 B まで走行, サンプルを 2 種類採取
フルサクセス (100%)	回収地点まで走行, 全てのサンプル採取量が 100mg 以上

3 課題解決のプロセスとその結果

3.1 A グループ

3.1.1 課題解決のプロセス

制作過程

機体の制御を兼ねた減速機構としてパラフォイルを製作。製作の過程で飛行の安定性と機体制御の正確性を比較する実験を行い、翼の構造の最適化を図った。その結果、安定性の向上を目的とした空気セルを片側 7 個ずつ設けた。制御機構としては翼後部の紐を引くことで旋回を行うものを製作した。

機体本体は、レーザーカッターで MDF を切り出して製作した。内部はマイコン等を配置する階層と、パラフォイルを格納する階層とで二層に分けて製作した。また、衝撃を吸収出来るような機構を機体下部に製作することで落下の衝撃に備えた。製作における工夫としてナットを MDF に埋め込む形で切り出したこと、衝撃をなるべく受け流すために角を少なくしたことが挙げられる。

電装に関しては、スペースプローブコンテストに参加するにあたって、本グループでは空中での姿勢方向制御により目標地点へ向かうことにした。制御をパラフォイルの紐の長さをサーボモーターで変更するために制御用マイコンとして Raspberry Pi Zero、電源を搭載。機体の位置特定のために GPS、9 軸センサを搭載した。さらに、制御時の情報取得のためにログを取得、SD カードへの書き込みを行った。

プログラムは、開発当初はマイコンに PIC18F26K22 を用いて、MPLAB X IDE 環境上で C 言語によりコーディングした。SD カードへのアクセスやセンサ値の取得が難しくコンテストに間に合わない判断したため、マイコンを RaspberryPi Zero W/H に切り替え、Python によりコーディングした。プログラムは機能ごとにクラスや関数を分けることで、可読性が高くメンテナンスしやすいコードを目指した。また開発に際してツールとして Git, GitHub を利用し、スムーズにチーム開発ができるよう工夫した。

検証方法

スペースプローブコンテストでは、パラシュートが展開しなかったため、パラフォイルも展開できなかった。パラシュートはドローンとパラシュートを繋いでいる紐が解けて展開する予定であったが紐の調節が甘く開かなかった。機体本体は機体下部に製作した衝撃吸収機構が上手く働くことにより落下による衝撃から内部の基盤等を守ることが出来た。またこの際基盤、機体本体共に一切損傷が無かった。プログラムは回転しながら落下したため落下検知ができず、その後のシステムが動作しなかった。

笹流ダムで実施した実験では、パラフォイルが機体の安定性を保った飛行をしていること、紐を引くことによる旋回挙動、ログデータの生成やサーボモーターによる機体の制御を確認できた。パラシュートはパラフォイルの展開を補助でき、飛行時にも干渉することはなかった。機体本体は 2 日間で計 9 回の投下実験を行ったが内部の基盤と機体本体には損傷が見られなかった。

3.1.2 成果物

製作したパラフォイルと機体は以下に示す図の通りである。



図 1 A グループの成果物

3.1.3 スペースプローブコンテスト結果

機体はパラシュートの固定器具が不具合が生じ展開パラシュート・パラフォイルともに展開せず落下した。結果としては、銀賞を獲得した。

3.2 B グループ

3.2.1 課題解決のプロセス

投下

飛行制御のためにパラシュートを製作した。以下に各機構について示す。

キャノピーにはリップストップポリエステル生地を使用した。本格的なパラシュートなどに見られる八角形を採用し、1辺350mmで製作した。キャノピー内に溜まった空気を外に逃がすための円形の頂部通気口を直径100mmでキャノピーの中心部分に設置した。

ラインにはナイロン素材の紐を使用した。昨年度はタコ糸を使用していたため投下時にラインが絡まるという課題があったが、今年度はナイロン素材だったため絡まることはなかった。

パラシュート展開時にラインを徐々に滑り下りることによりパラシュートの膨張を調整するスライダーのような機構をMDFで製作した。ラインに固定していたため滑り下りる機能はないが、ラインをまとめることでスライダーと同様の機能を持たせつつ、ラインが絡まる可能性を低くした。

パラシュートと機体の切り離し

パラシュートと機体を切り離す際に、ラインと機体が絡まるという課題を解決するために、機体を包み込む外殻にパラシュートを装着し、着地後に外殻を展開することで外殻ごとパラシュートを切り離すことで解決した。外殻には厚さ0.5mmのプラスチック板を使用し、外殻の内側には着地の際の衝撃を吸収するために気泡緩衝材を貼り付けた。外殻の固定は、バネを付けたネジの先端部分にストッパーの役割を持つピンを挿入し、そのネジを外殻の固定部分に設置した。展開に関しては、着地後にサーボモーターを駆動によりストッパーを引き抜き、バネの勢いでパラシュートを分離させた。

走行

走行における課題は、軽量化とタイヤの駆動力、機体の姿勢を平行に保つことが求められた。タイヤの素材はポ

リエチレンを使用し、100mmの真円を切り出し、25mmの凹凸を設けた。凹凸があることにより砂利や草などが走破可能になり、タイヤが滑ることで駆動力が落ちるといった課題も軽減された。更に、トルクの高いモーターを搭載し、軽量化を図ることで駆動力が向上した。スタビライザーを設置することにより、平行な姿勢で安定した走行が可能になった

制御における課題は、各センサーから値を取得して、機体を目的地にできるだけ正確に向かわせることが求められた。主なセンサーはGPSモジュールと地磁気センサーであった。これらのモジュールから値を取得して、機体の向くべき角度と距離を計算し、モーターを動作させて目的地に向かわせた。このときのモーターの動かし方などは、アルゴリズムを考案して実装した。結果としては、アルゴリズムがうまく動くことが確認できた。

サンプル採取

2種類のサンプル採取を行うため、2つのサーボモーターにそれぞれ綿棒を1本ずつ固定器具用いて設置し、綿棒にトリモチを付着させることで、綿棒を傾けて地面に付くように動かし採取物をトリモチに付着させ採取するという採取機構を製作した。

3.2.2 成果物

製作したパラシュートとローバーは以下に示す図の通りである。



図2 B グループの成果物

3.2.3 ミッション

ミッション概要

実験内容は、以下である。機体にパラシュートを装着し、北海道函館市赤川町にある笹流ダムの頂上(高度25.3m)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を行

う。着陸後、機体とパラシュートを切り離し、センサ類の情報から自律走行を開始し、あらかじめ決めておいた目標地点を目指し走行する。目標地点到達後、機体に搭載されている採取機構を動作させてサンプル採取を行うというミッションである。この一連の流れを本番実験とした。

しかし、天候不良などの影響で本番実験の実施には至らず、それぞれのシステムが正確に動作することを確認する4つの検証実験しか実施できなかった。実施した検証実験は、「投下」、「パラシュートと機体の切り離し」、「地上走行」、「サンプル採取」の4つであった。

検証実験結果

各検証実験で各システムは正確に動作していることが確認できた。

投下実験では、笹流ダムからの投下ではパラシュートが正確に展開したため、着陸後に筐体に損傷がないことが確認できた。また、公立はこだて未来大学体育館の2階（高度 13.0m）からも投下を行った。その際には、パラシュートのライン長を 600mm、700mm、800mm で比較した結果、700mm が一番安定性が高かった。

パラシュートと機体の切り離し実験では、体育館の2階から投下し着陸した後、切り離し機構は正確に動作したため、投下により電子回路が破損していなかったことと、切り離し機構に問題がないことが確認できた。

走行実験では、笹流ダムの砂利道で走行を行ったが正確に動作したため、タイヤの駆動力が十分であることと、自律制御ができていたことが確認できた。芝生や落ち葉の上でも問題なく走破できていたが、落ち葉がタイヤに詰まり走行不可能になることもあった。

サンプル採取実験では、サンプル採取地点まで走行した後、サンプルである砂の採取を行った。大学構内で採取を行ったためトリモチを使用できなかったが、濡れた綿棒を使用したため少量だがサンプルを採取できた。採取機構の動作自体には問題はなかったため、屋外でトリモチを使用した状態であれば十分な量のサンプル採取が望める。

ミッション達成率

表2の到達目標は本番実験を想定していたので結果としてはミッションの達成率は0%であったが、本番実験

の各工程である検証実験は問題なく動作していたので、これらを通して行えばミッションは達成できる。また、走行とサンプル採取は正確に動作していたため、「機体とパラシュートの切り離し」以降だけを考えると、フルサクセス（100%）の「全てのサンプル採取量が 100mg 以上」以外は条件を満たすことができるので、ミドルサクセス（80%）までは満たしていると考えて良い。高度 25.3m からの投下後の着陸時に電子回路に損傷がなければ、「パラシュートと機体の切り離し」、「地上走行」、「サンプル採取」は問題なく動作するので、今後は衝撃緩和を考慮し本番実験を行うことが課題となった。

4 今後の課題

A グループの今後の課題は、今後は大会の実験から得られた結果を参考に、パラシュートの問題点を改善し、また、制御部分のアルゴリズム、駆動系のシステムやモーターを変更し次年度以降の缶サットで上位に入賞できるよう試行錯誤していく予定である。

B グループの今後の課題は、本番実験を実施すること、100mg 以上のサンプル採取の2つである。

今年度の実験では高所から人の手で投下を行ったが、次年度以降はより CanSat 競技大会の条件に近いドローンを使用した投下を目指す。

参考文献

- [1] なかすかしんいち まつながさぶろう 中須賀真一、松永三郎 (2000). CanSat 計画 - 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] たかだまけいき すぎもとゆうた 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, 6 号, pp.515-521.