

Raspberry Pi2を用いたローバー型缶サットの開発：実証試験の初期結果

三木悠生*¹・益岡 葵*²・丁野 哲*¹・中越 彬*¹・上田真也*³・高田 拓*⁴

Development of Rover-type CanSat controlled by Raspberry Pi2 microcomputer: Initial results of test experiments

Yusei MIKI, Aoi MASUOKA, Satoru CHONO, Akira NAKAGOSHI, Shinya UETA, and Taku TAKADA

Summary

In this study, we developed a Rover - type CanSat, which is a very small model satellite, using the Raspberry Pi2 microcomputer board. Three control systems for parachute opening, parachute disconnecting and running system automation, are designed for precise arrival and safe landing. In preliminary experiments, we confirmed sensor data are reasonably obtained and control commands are appropriately executed.

1.序 論

缶サットとは、空き缶サイズの超小型の衛星のことであり、通常、火薬ロケットを用いて打ち上げられたり係留気球から投下させたりして、取り付けたパラシュートで減速しながら降下し、搭載されているセンサ等で測定や制御および通信などを行う。

現在のCanSatの国際的な現状は、各国がロケットを打ち上げる際に、共同で打ちあげ運用できる状況にある。一般的には、カメラ・加速度センサ・地磁気センサ・姿勢を制御するための各センサなどを搭載している。^[1,2]

1.1 ローバー型缶サット

ローバーとは惑星探査車という意味であり、本来は、惑星探査機に搭載されて、惑



図1 係留気球からの缶サット投下の写真

*1 高知工業高等専門学校 電気情報工学科 5年生
*2 高知工業高等専門学校 専攻科機械・電気工学専攻 1年生
*3 高知工業高等専門学校 教育研究支援センター 技術専門職員
*4 高知工業高等専門学校 電気情報工学科 准教授

星表面へ投下された後、惑星表面を走行し調査を行う。ローバー型缶サットは、缶サットに走行可能な機能を取り付けたもので、パラシュート降下で地上に降りた後、モータ制御により目的地までの走行を行う。大学生などを対象としたローバー型缶サットのコンテストなどもあり、上空で投下された後(図1)、飛行や走行の制御を行い、無事に目的地にたどり着けるかを競う。

1.2 ローバー型缶サットの課題

高所から缶サットを降下させるため、パラシュートによる減速が一般的である。缶サットを安全に降下させるためには、大きなパラシュートを用いて、低速で降下する必要がある。一方、パラシュートが大きいと水平方向の風により、場合によっては、目的地から遠く離れた場所への着地となる。投下された後、できるだけ早く着地するとともに、着地直前にはかなり低速であるという矛盾した課題に取り組まなければならない。

また、着地による衝撃により、車体を破損したり、データを喪失したり、コンピューター異常を起こしたりしやすい。着地後の走行時にも、パラシュートや紐に車輪が絡まるなどの問題が発生しやすい。これらの予想される問題を克服できる機体設計が期待される。

現在、宇宙工学の技術者教育として自律制御のローバー型缶サットの開発が、学生によって行われている。上空から地上の所定のポイントへ戻ってくるのがミッションとなる。機体の総重量は1kg未満のもので、高さ約140mm、直径約250mmが標準的なものである。^[3]

1.3 本研究の目的

本研究では、ローバー型缶サットを開発し、安全な着地に必要なパラシュート制御および、目的地までの自動走向制御の実証試験を行う。これらの制御技術が機能すれば、例えば、より高所の成層圏などから地上までを降下しながら、自動観測を行う小型観測装置の開発に活かすことができる^[4]。

2.ローバー型缶サットの開発

ローバー型缶サットの開発には、マイコンボードRaspberry Pi2を用いた。開発した缶サットの概要を説明し、高所からの降下中に行う3つの制御システム(パラシュートの2段階開放と切り離し制御システム、および、目的地への自動走向制御システム)について説明する。

2.1 缶サットの概観

図2は、開発した機体の概観図である。2つの大きな車輪の間に、木材の車体が三段構造となっている。上部にはモータとサーボモータを配置し、モータは2つ目のパラシュートの紐と繋がっている。2つ目のパラシュートは、糸で固定され、サーボモータの動きによって紐が解ける仕組みとなっている。1つ目のパラシュートは、折りたたんで上部に置いた状態で投下する。中央には車輪用のモータとマイコンボード(Raspberry Pi2)、センサを搭載した基板を配置している。缶サット本体の姿勢を安定させるために、車輪用モータを中央に取り付けてある。下部には重量のあるバッテリー(電源)を2つ配置し、地面検知のための赤外線センサも下向きで缶サットの底に取り付けている。

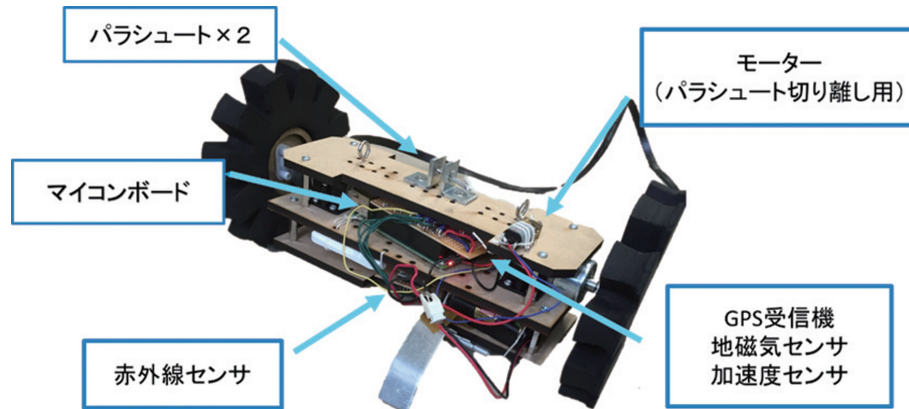


図2 開発したローバー型缶サットの概観

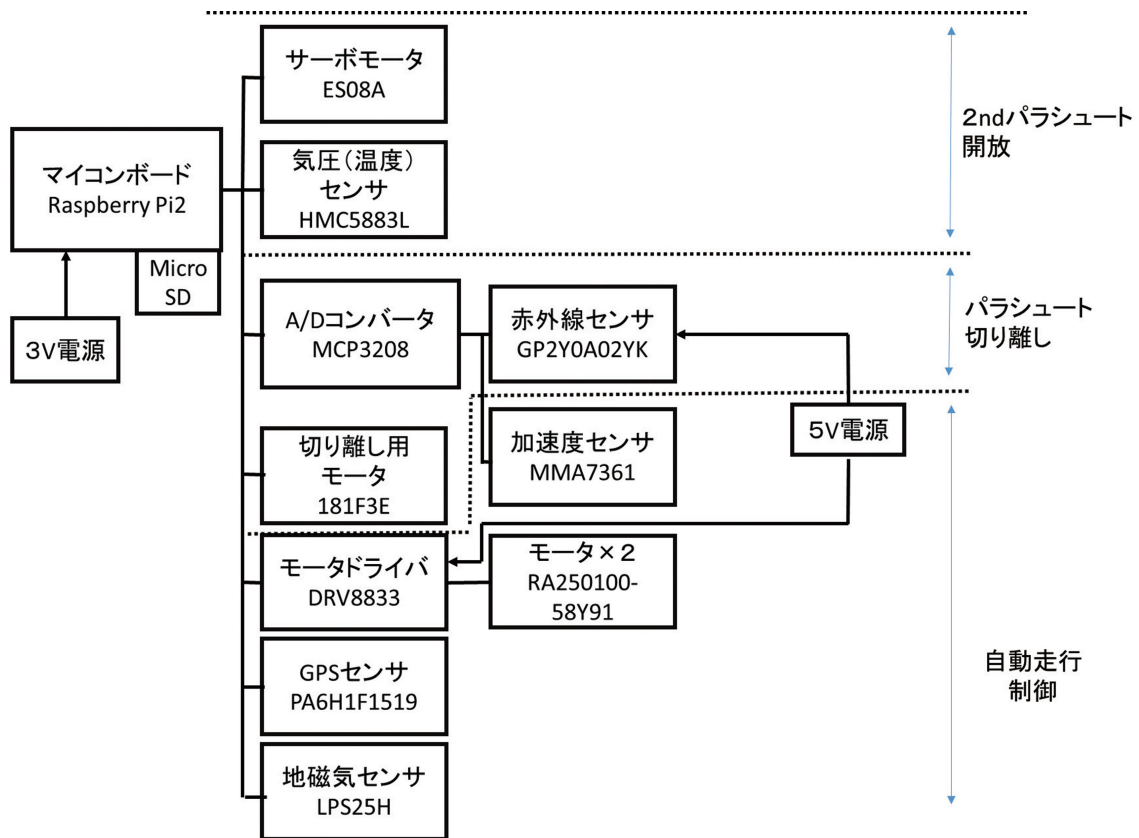


図3 ローバー型缶サットの構成

缶サットに搭載している各センサ類や付属品について図3に示す。まず、パラシュート制御の過程として高度推定のために気圧センサを用いる。一定の気圧を測定すると2つ目のパラシュートが開放される。そして地上付近に近づき、缶サット本体の底に設置している赤外線センサが地上との距離を測定し条件を満たすと、パラシュートの切り離しを行う。地上着地後、GPSセンサで事前に設定した目標地の位置情報とその時の缶サットの位置情報を解析して、事前に設定した目標地の方角を算出する。地磁気センサにより、車体の進行方向を検出する。加速度センサは、車体の反転確認のために搭載している。

2.2 パラシュート開放と切り離し機構

パラシュートの制御に関して、パラシュートの「開放」と「切り離し」を行う。できるだけ早く地上に降下し、かつ、着地前の速度を低速にするため、2つのパラシュートを時間差で開放するようにした。1つ目のパラシュートは自由開放で、投下中にパラシュートに風が入ることで自然に開放される。2つ目のパラシュートは投下高度よりかなり低い位置（今回は、気圧センサにより、最高高度の1/3程度の高さ）で、サーボモータを制御することで、糸で押さえ込んでいた2つ目のパラシュートが開放される。2つ目のパラシュートが開放すると、缶サットは、地上付近で速度を落として比較的安全に降下できる。

次に、着地後にパラシュートやパラシュートの紐が車体に絡まないように、着地直前にパラシュートを切り離すこととした。車体の下側に赤外線センサを取り付けており、地面が近づくと、赤外線センサが地面を検知し、着地直前にパラシュートの「切り離し」を行う。切り離しのタイミングは、地面からの50cmの距離の赤外線反射が得られるタイミングとする。今回使用した赤外線センサは仕様書より測定対象からの距離が20cm～150cmの距離間での測定を対象としており、その距離間であれば誤差が小さい。2つのパラシュートを細長い車体の両端に取り付けたことにより、車体は安定した状態で降下でき、赤外線センサが地面方向をほぼ向くようになっている。

2.3 自動走向制御機構

着地後の制御は、GPSセンサ、地磁気センサ、加速度センサを用いて行う。GPSセンサで缶サットの現在の位置情報を取得し、事前設定した目標地点の位置情報と比較を行う。これにより、現在地から目標地点への方角を算出できる。また、地磁気センサで缶サットの現在の向いている方角を測定できるので、それにより目標地点の向きを計算する。

具体的な導出方法を以下に示す（図4参照）。地磁気3成分を、ローバー進行方向 B_x 、ローバー進行方向と垂直かつ水平な方向を B_y とする。また、ローバーの緯度・経度($lat1, lng1$)、目的地の緯度・経度を($lat2, lng2$)とする。経緯度は、地球を球体として考えて、水平面での座標に変換する。

以上より、ローバー進行方向の方角 θ_r および、現在地からの目標地の方角 θ_t は、次式で与えられる。

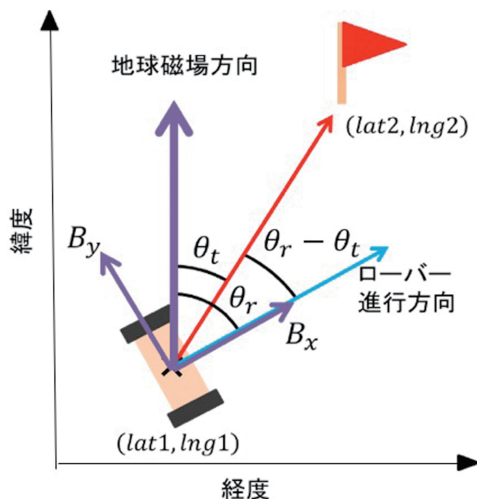


図4 自動走行計算の模式図

$$\theta_t = \tan^{-1} \left(\frac{B_y}{B_x} \right)$$

$$\theta_r = \tan^{-1} \left\{ \frac{\cos(lat2) \sin(lng2 - lng1)}{\cos(lat1) \sin(lat2) - \sin(lat1) \cos(lat2) \cos(lng2 - lng1)} \right\}$$

以上で求めた θ_r 、 θ_t からローバーの進行方向と目的地方向のずれ $\theta_r - \theta_t$ を得られる。今回はこの $\theta_r - \theta_t$ が 30° 以上なら、右へ -30° 以下なら左へ曲がり、 -30° 以上 30° 以下なら直進するようにした。これにより、モータドライバで制御するモータを使った走行を始める。車輪が大きい構造のため、車体の上下反転が起こっても、走行は可能である。ただし、走行する方向と、走行しなければならない方向が反対向きとなるため、加速度センサを用いて、上下反転の有無を検出している。

GPSセンサは目的地と現在地の経緯度で、位置情報を取得して目的地の方角を算出している。GPSセンサで取得した経緯度の位置情報は実際の経緯度とは異なるが、目的地への方角検知は小さい誤差で算出できている。そのため目的地と現在地の相対的な経緯度は精度が高く、誤差は小さいと考えている。

3. 缶サットミッションの内容

図5に、係留気球実験で予想される缶サット高度の時間変化と、各々のタイミングにおけるモードと制御命令の関係を示した。最終的には、係留気球などにより、地上からの高さ50m程度からの投下実験を考えている。係留気球に取り付けたゴンドラに缶サットを入れ、紐を引いてゴンドラを気球高度に上げる。このとき、起動直後のモード0から、上昇を検知してモード1へ移行する。気球高度で、ゴンドラの底を開放することで缶サットは投下されるが、ゴンドラ開放を検知してモード2へ移行する。2段階のパラシュート開放を行うが、1つ目のパラシュートは自然開放とし、2つ目のパラシュートをより低い高度で自動的に開放するようにした。二つ目のパラシュート開放は気圧データから決定する。このとき、モード3へ移行する。着地直前で、赤外線センサデータより、パラシュート切り離しのタイミングを検知し、このとき、モード4へ移行する。着地後は、GPSによる位置データを元に、目的地までのモータ制御走行を行う。

ローバー型缶サットで最大の難関は、着地後にパラシュートや紐が車輪などに絡まることである。そのため、パラシュートの切り離しを着地直前に行い、切り離しと共に車輪を動かして、パラシュート落下地点から遠ざかるようにした。着地後は、GPSに加えて、磁場データを利用することで、ローバーの進行方向を検知し、より迅速に目的地へ到達するようにした。

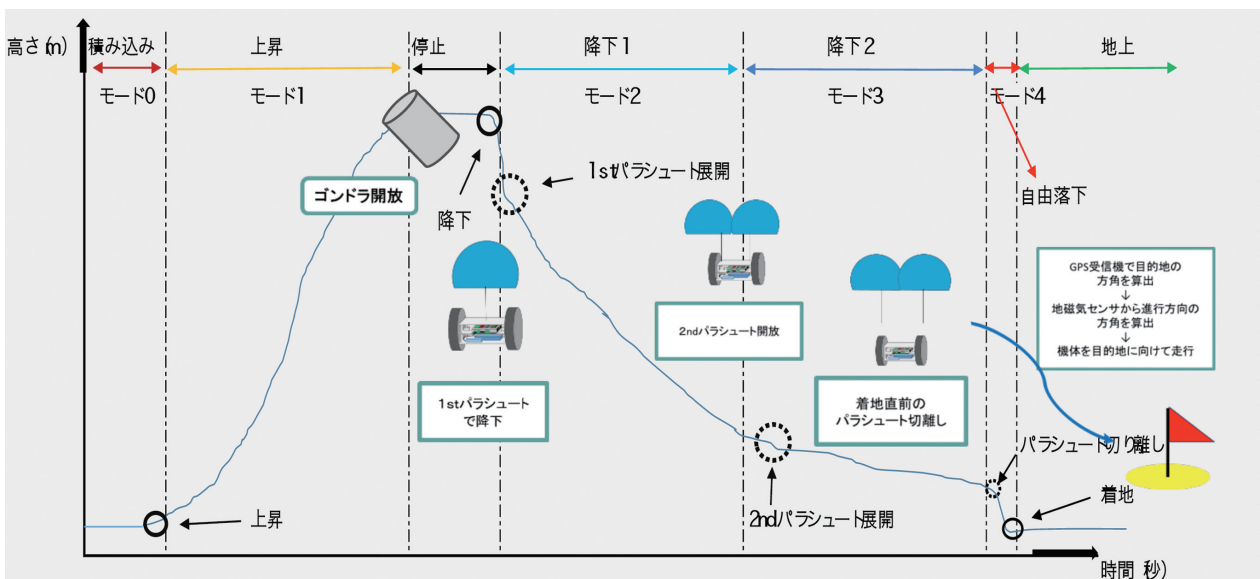


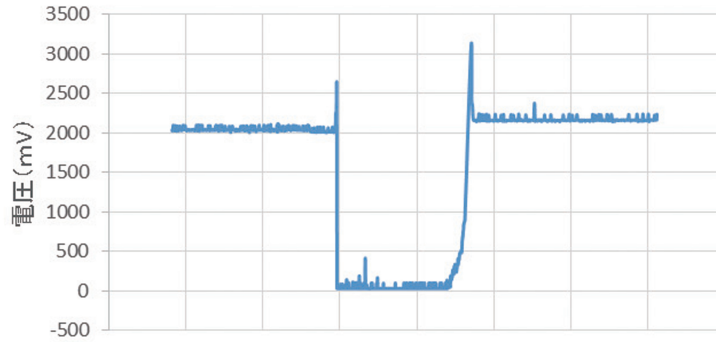
図5 係留気球実験で予想される高度とモードの時間変化

4. 缶サットの上げ下ろし実験データの解析と考察

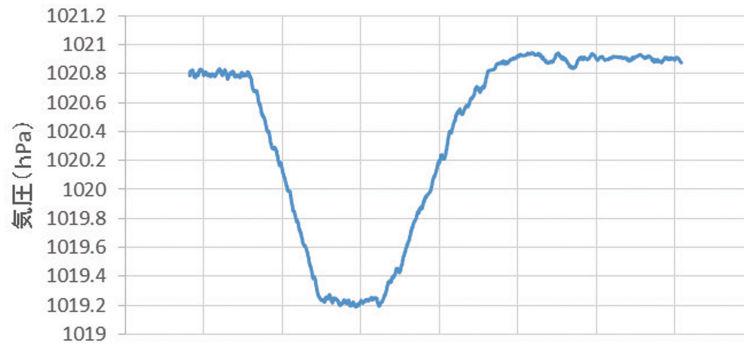
係留気球による投下実験はコストがかかるため、建物を利用した制御システムの最終確認実験を行った。建物の最上階(4階)まで、キャリア(容器)に入れた缶サットを紐等で引き上げて、その後缶サットを入れたキャリアの下面を開けた状態で下ろした。

得られたデータを図6に示す。上図の時間軸は4つとも同じである。気圧と高度のデータを見ると、2分52.08秒の時に上昇を始めたのが分かる。この時に、地上から1.5m上昇したときにモードが0から1に切り替わった。その後、3分30秒ごろまで上昇を続けて13mのところまで停止させ

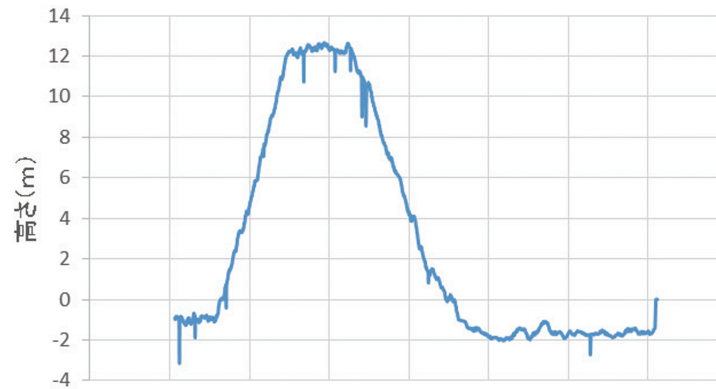
赤外線



気圧



高度



モード



図6 上げ下ろし実験による各センサのデータ

て、キャリアの底を開けた。底を開けることによって、赤外線センサが対象物を検知しなくなり、電圧値が下がる。3分30秒ごろに降下を始めた。降下中に、高度が15m以下になるとモードが1から2に切り替わり2つ目のパラシュートが開放される。今回は、建物での上げ下ろしのため最大高度が14mであった。そのため、降下モードの1から2に変わる時点で高度が15m以下であり、続けて2から3へとモードが切り替わった。4分10秒ごろから赤外線センサの値が徐々に上がり始めており、缶サットが地上に近づいていることが分かる。赤外線センサが一定値に達すると、モードが3から4に切り替わり2つのパラシュートが切り離される。そこから、4分19.2秒ごろに地上に着地して、地上での自動走行が始まる。今回の上げ下ろし実験では、2つ目のパラシュート開放の限界高度を建物の高さより高くしていたため、モード1から瞬間的に2を経てモード3へと移行した。全体としては、プログラム制御のモード切替が正常に動作することを確認できた。

4.まとめと今後の展望

本研究では、マイコンボードRaspberry Pi2を用いて、ローバー型缶サットの開発を行った。安全に着地して、目的地へ走行するための機能として、パラシュート開放と切り離し制御機構および、自動走行制御機構をもたせた。ロープによる屋上への上げ下ろし実験により、3つの制御機構が自動的に実行されることを確認できた。地上へ着地後に行う自動走行の制御に関しても、試験走行を終えている。

また、これまでの開発状況とミッション達成度を踏まえて、今後は以下の検討を行う。

- ・缶サットでは、自由落下や着地の衝撃時に、回路の短絡が起こりやすい。そのため、回路内の短絡を防ぐ目的で配線の簡略化を行う
- ・プログラム制御の正確性を向上させ、冗長性を持たせるために、一つのセンサから取得されるデータだけでなく複数のセンサデータを用いてモードの切り替えや、缶サットの制御を行う。

謝辞

高専スペースキャンプin四国2015内の缶サット大会では、開発したローバー型缶サットの係留気球による投下実験を行わせて頂きましたので、ここに感謝の意を表します。

参考文献

- [1]OS搭載型マイコンボードを用いた缶サットの開発:初期開発と実証試験、前田栄一、秋山美穂、小松聖矢、市川緑、國吉龍太郎、上田真也、高田拓、高知工業高等専門学校学術紀要第60号、49-58、2015
- [2]CanSat - Space Structure Systems Laboratory, College of Science and Technology, Nihon University Department of Aerospace Engineering:宮崎・山崎研究室
<http://forth.aero.cst.nihon-u.ac.jp/CanSat.html>
- [3]Project-based space engineering education: Application to autonomous rover-back CanSat, IEEE Xplore Digital Library
<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6581164>
- [4]OS搭載型マイコンボードによるバルーンサットの開発:初期開発と実証試験、益岡葵、大原万里奈、前田栄一、上田真也、高田拓、高知工業高等専門学校学術紀要第60号、39-48、2015
(2015年11月8日受理)

