

ARLISS2011 報告書

[所属] 東北大学 吉田・永谷研究室

[チーム名] 圭司とゆかいな仲間たち

[メンバー] 野寄敬博, 高橋悠輔, 山内元貴

[指導教官] 吉田教授, 永谷准教授



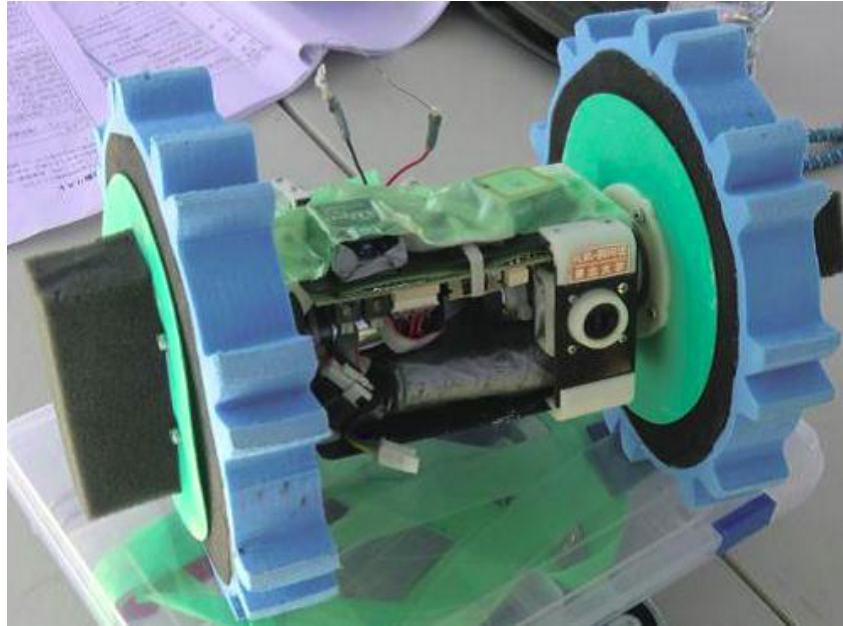


図 1 開発したローバー

1 機体紹介

図 1 に開発した機体の全体像を示す。以下、このローバーの説明を行う。

1.1 開発コンセプト

本年は、ARLISS においてただゴールするだけではなく、複数のセンサを用いた効率的なナビゲーションや、光学式マウスセンサの搭載と性能試験、ローバーに搭載したカメラでの画像の取得を目指した。

1.2 機械要素

図 1 に、本年製作した、対向 2 輪型のローバーの外観を示す。ローバーの重量は 870g、サイズは長さ 30cm、幅 28cm、高さ 16cm である。ローバーのボディは、CRRP 板を構造材として製作された。CFRP 板は、3 次元プリンタで製作した ABS 樹脂のアンクルで組み合わされている。ローバーのモータは、maxon 製 DC モータ RE-max24 にギアヘッド (14:1)・エンコーダが付いたものを使用した。

1.2.1 スポンジ車輪と折りたたみ式スタビライザ

ARLISS のロケットに搭載するペイロードには、サイズの制限が存在する。一方で、砂漠には深いもので深さ 10cm になる轍が存在するため、轍を乗り越えることができるように、車輪径は大きく、スタビライザは十分に長くしたい。そこで、以下の拡大車輪と折りたたみ式のスタビライザを製作した。

ローバーの車輪は、比較的硬いスポンジ（青）の間に比較的柔らかいスポンジ（黒）を挟んだ形で作られている。ロケット収納時に、主に柔らかいスポンジが圧縮されることで、収納時の直径 12cm から走行時には直径が 16cm に拡大する。また、車輪の両側には、軸方向の剛性を高めるためのポリプロピレンのシートを、外側には、ローバーが横転した際に復帰できるように、スポンジの突起を取り付けた。

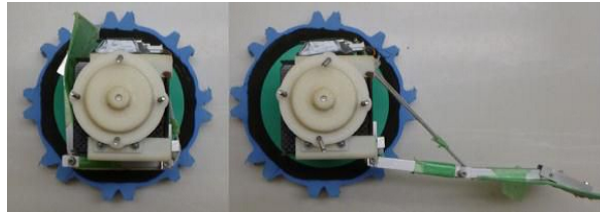


図2 折りたたみ式スタビライザ

ローバーのスタビライザは、図2に示すように、ローバーのボディに巻きつくような状態で収納される。走行時には、ゴムの張力により長さ20cmに展開する。こうした折りたたみ式のスタビライザは、ローバーが後退するときに再度ボディに巻き付く格好となり、ボディが空転して後退が不可能である。しかし、このスタビライザは、展開のためのゴムを利用したロック機構を備えており、後退が可能である。

1.2.2 パラシュートと、パラシュート分離機構

パラシュートと、その分離機構は、ローバーを包むためのポリプロピレン製シート、着地衝撃緩和用スポンジ、パラシュート、およびパラシュートとシートを繋ぐブームからなる。

収納時は、スポンジタイヤを圧縮し、スタビライザを折りたたんだ状態で、分離機構をローバーに巻きつけテグス(釣り糸)で固定する。軟着陸後、このテグスを電熱線(ニクロム線)により焼ききることによって、分離機構を開く。これにより、スポンジタイヤの拡大およびパラシュートの分離を同時に行うことが可能となる。図3に分離機構に包んだ状態のローバーを示す。

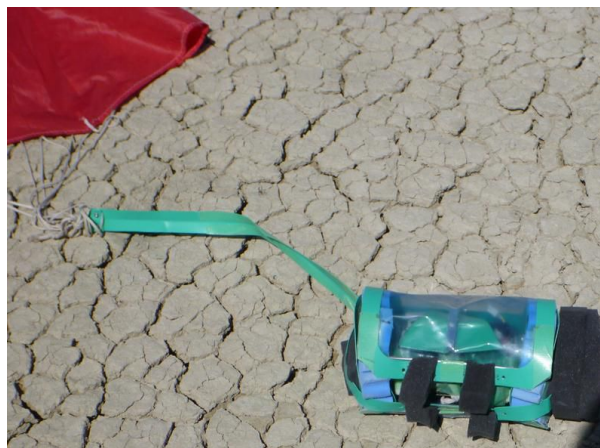


図3 分離機構に包んだ状態のローバー

1.3 電気要素

図4にローバーの電気系のシステム図を、表1に搭載機器の主な仕様を示す。ローバーには、SH7144マイコンがひとつ搭載されており、このマイコンで、センサからの値の読取や、モータの制御、SDカードへのログの保存など、すべての処理を行なっている。また、センサとして、ナビゲーションに用いるGPS、モータの回転数制御に用いるエンコーダ、ローバーの姿勢安定化に用いるジャイロ、画像を取得するカメラ、ケットからの放出を検知する光センサ、無線機としてXbee-PRO、ログを保存するためのmicroSDカード、モータ

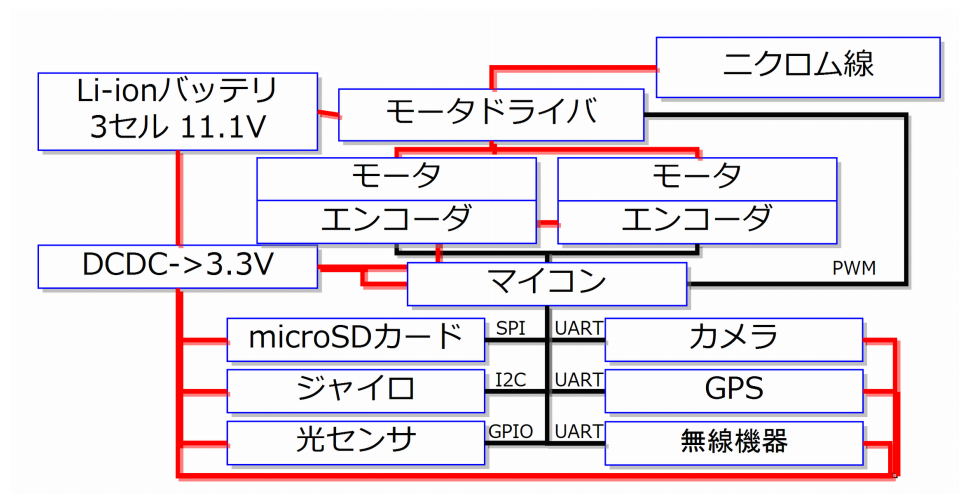


図 4 システム図

制御のためのモータドライバが搭載されている。

1.4 制御・プログラム

1.4.1 放出検知および着地判定

ロケットからの放出検知と着地の判定には、我々の研究室で例年使用している手法を採用している。

放出検知には、光センサ (フォトトランジスタ) を用いている。ペイロードがロケットから放出されると、搭載した光センサに光が当たり電位が変化する。このセンサを、マイコンの汎用入力ポートに接続し、ポートの状態を見ることで放出を検知する。

また、着地検知には、GPS の高度情報を用いている。GPS から得た高度情報が、高度 2000m 以下で変化が 1 分間小さいときに、パラシュート分離動作を開始する。また、ロケット収納時に分離動作が行われないように、高度 2000 m 以上が 10 秒以上観測されてから分離の判断を行うようにした。

表 1 搭載機器の主な仕様

マイコン	AKI-7144	動作クロック 48Mhz RAM 8kB FLASH 64kB SCI*4ch
GPS	LS20031	最大 10Hz. UART 出力
エンコーダ	Maxon MR	512 p/rot
ジャイロ	Nintendo Wii Motion Plus	3 軸. 最大角速度 1500deg/s. I2C 出力
カメラ	LinkSprite JPEG Color Camera	最大解像度 640*480 JPEG/UART 出力
光センサ	JRC NJL7502L	フォトトランジスタ. エミッタに 1M Ω の抵抗を接続して使用
無線機器	Digi Xbee-PRO	出力 63mW の海外仕様. 見通し通信距離 1500m
モータドライバ	Hibot 3-Axes DC Power Module	最大 28V/5A. 3ch 出力可能.

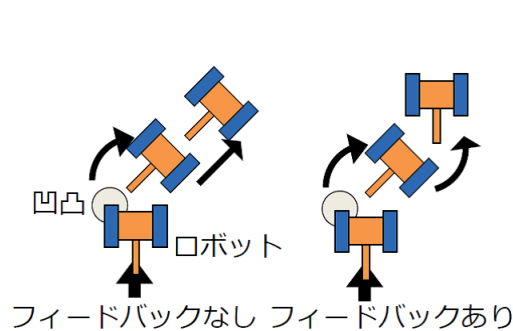


図5 ジャイロフィードバック

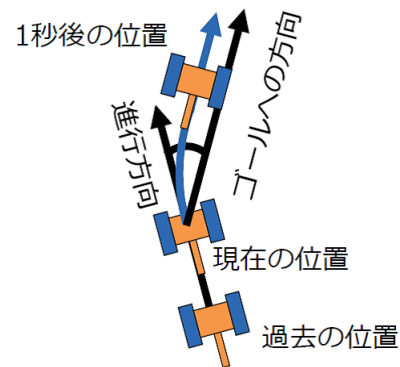


図6 GPS ナビゲーション

1.4.2 ジャイロフィードバック

本ローバーは、ジャイロから読み取ったローバーのヨー軸周りの角速度を用いたフィードバックを行なっている。このフィードバックは、ジャイロから得た角速度の積分値と、対向2輪型ローバーのモデル式

$$\omega = (v_r - v_l)/T \quad (1)$$

(ω :角速度 (rad/s), v_r, v_l :左右車輪の速度 (モータの回転数と減速比, 車輪径から計算), T :トレッド) で求められる角速度の積分値との偏差を入力, 回転数指令値の変化値を出力とする PD 制御を行なっている。直進命令時には、進行方向が維持されるようにフィードバックが働くので、図5のように、地面の凹凸やタイヤのスリップにより、ローバーの進行方向が変化したときに、俊敏に元の進行方向へ戻ることが出来る。

1.4.3 GPS によるナビゲーション

ローバーのナビゲーションは、搭載された GPS から得た位置座標を用いて以下の手順で行う。

まず、1秒以上前の過去の位置座標と、現在の位置座標の差分から逆正接をとり、進行角度を求める。加えて、現在の位置座標とゴールの位置座標から、ゴールへの角度を求める。以上の角度の差分から、先述のモデル式において、1秒後にゴールの方向へ向く角速度となるよう左右モータの回転数指令値調整して、ゴールへのナビゲーションを行う (図6)。詳しいアルゴリズムは、図7に示す。

2 結果報告

本年は、2回の打ち上げを行った。打ち上げ1回目では、全てのシーケンスが成功し、ゴールに辿り着いた。ローバーは、ゴールまで約1.5kmの地点に着地し、11分13秒かけてゴールまで5.3mの地点で停止した。平均速度は8km/hであった。2回目の打ち上げでは、パラシュートの分離できず、失敗に終わった。

図8に1回目の打ち上げでの走行軌跡と、2回目の打ち上げて手動でパラシュートを分離した後の走行軌跡を示す。1回目は、ローバーはゴールへ一直線に向かっておらず、右に膨らんでゴールする軌跡となった。右に膨らむ原因は、打ち上げ後に走行試験をした結果、ローバーが右に曲がる傾向があることだと分かった。ハードウェア、特にタイヤの車輪径の違いに起因すると考えられたのだが、現地でハードウェアを作り直すことは困難だったため、左右のモータの回転数指令値にオフセットを設ける修正を施した。その結果、2回目の走行軌跡は1回目のものよりも右に膨らむ傾向が抑えられた。

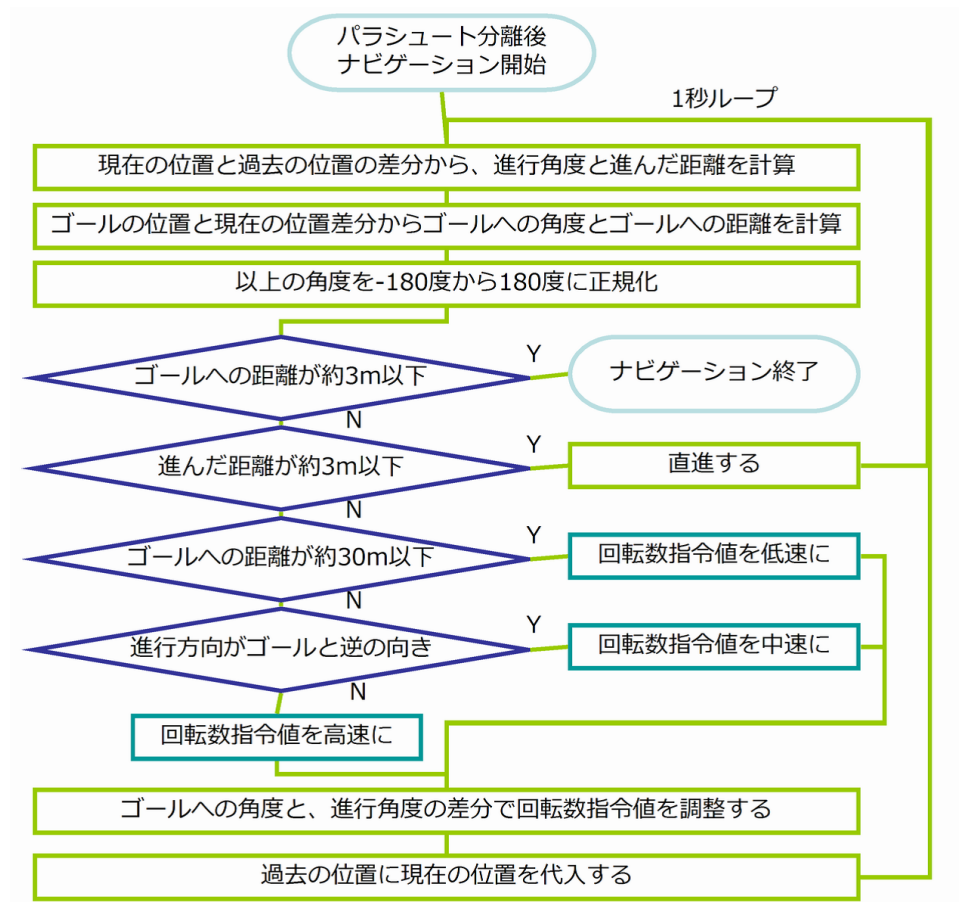


図7 ナビゲーションアルゴリズム

1回目の打ち上げでローバーのカメラが取得し、SDカードに保存されていた画像を図10に示す。ローバーは、ロケットからの放出を検知した後、画像の取得を開始した。図9は、左上が落下中、右上が走行中、左下は、ローバーが轍に引っかかり、轍にそって走行しているとき、右下がゴール時の画像である。この画像は、SDカードに保存されていた画像だが、無線送信においても、地上高約1000mの時点から、同様の画像が取得できていることを確認した。

また、ARLISSの競技とは別に、ローバーの耐久性を検証するため、長距離走行実験を行った。実験は、5km離れた2地点間を、交互にナビゲーションの目標地点として設定し、往復するという方法で行った。実験の結果、機体の一部が破損したため実験を終了した25km地点まで、約3時間走行し続けた。なお、実験でローバーの走行を停止した後でも、ローバーの電気回路の電源は付けたままにしておいたところ、すぐに電源が切れたため、電力面の耐久性についても平地走行時で25kmほどということが分かった。

2.1 ミッションのサクセス・クライテリアとその達成度

以下に、ミッションのサクセス・クライテリアと、その達成度を示す。

- ミニマムサクセス



図 8 走行軌跡 (上が 1 回目, 右下が 2 回目)

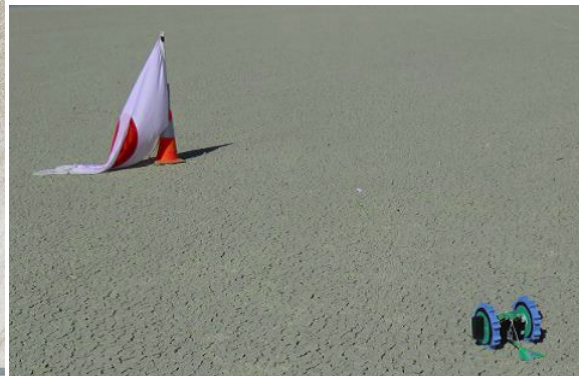


図 9 ゴールから 5.3m の位置で停止



図 10 ローバーのカメラで取得した画像

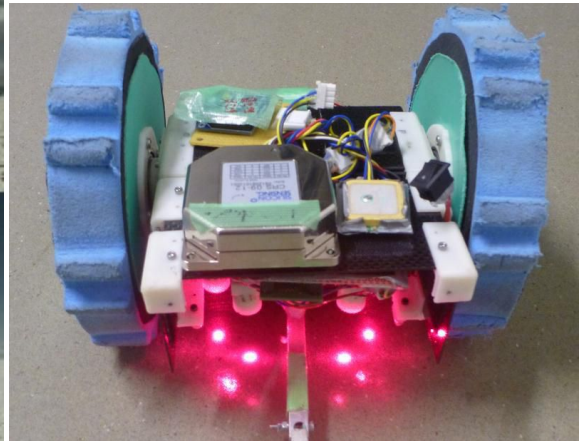


図 11 機体の後部に光学式マウスセンサを搭載

- GPS 誤差圏内でゴールする
1 回目の打ち上げで達成した.
- フルサクセス
 - 効率的に, ゴールへ一直線に向かうナビゲーションをする
1 回目の打ち上げでは, 右に膨らむ傾向となったものの, 2 回目で修正をし, 達成した.
 - ローバーに搭載するカメラで, 取得した画像のへの保存と, 無線送信を行う
達成した.
 - 光学式マウスセンサを搭載し, センサ性能の評価とセンサを用いた位置推定を行う
光学式マウスセンサの搭載は, 重量とサイズが大きくなったことから見送った. しかし, 本ローバーの後部にセンサを取り付けて (図 11), 位置推定を行う研究は進められている.

3 今後の課題

本年は、最低限の目標であったゴールへの到達，加えて，効率的なナビゲーションや，カメラミッションも達成することができた．さらに，長距離走行試験の結果，25km という長距離を走行できる，耐久性の高いシステムを開発することができた．しかし，光学式マウスセンサを用いた位置推定は達成できず、今後の研究課題として残る．

来年，本研究室で ARLISS に参加するときには，光学式マウスセンサを用いた走行や，クローラタイプのローバー，変速機構の搭載など，新しいことに挑戦してもらいたい．