

ARLISS2010報告書

[所属] 東北大学 吉田・永谷研究室

[チーム名] Team I₂

[メンバー] 猪爪 宏彰 (プロジェクトマネージャー, M1), 生田哲也 (M1)

[指導教官] 吉田教授, 永谷准教授



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。



図1 開発したローバー

1.1 開発コンセプト

本年度は、昨年度我々の研究室で提案された車輪展開機構を採用し、それを改良した新しい展開車輪を搭載している。この展開車輪により車輪径を拡大することで、ブラックロック砂漠に存在する轍に対する踏破性能の向上を図っている。また、我々の研究室では、例年、ナビゲーションシステムとしてGPSによるナビゲーションを採用していたのだが、本年度は、GPSと電子コンパスを組み合わせたナビゲーションシステムを実装している。

1.2 システム概要説明

図2に、搭載機器を示す。本ローバーは、走行システムとして、展開車輪、スタビライザ、DCモータ、モータドライバを搭載している。また、制御用にコントローラ、ナビゲーションシステムとしてGPSモジュールおよび電子コンパスを搭載している。この他に、ロケットからの放出検知用に光センサ、データ通信用に無線モジュール、制御履歴を保存するメモリとしてEEP-ROMを備えている。電力は、リチウムイオンバッテリーから供給している。

また、重量は、ローバーが856g、パラシュートと分離機構が194g、合計1050gである。

以下に、展開車輪および各サブシステムを簡単に説明する。

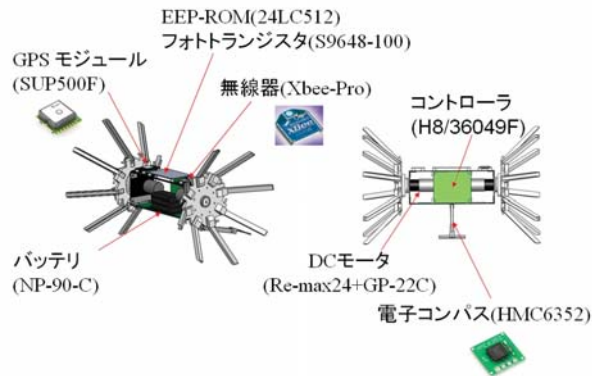


図 2 搭載機器

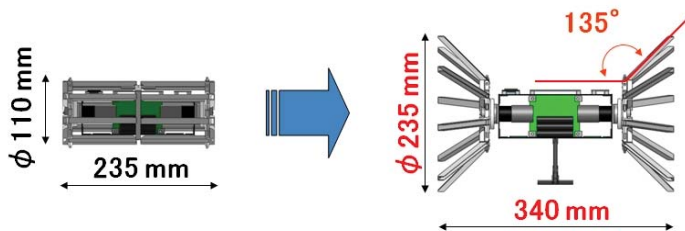


図 3 車輪展開の様子

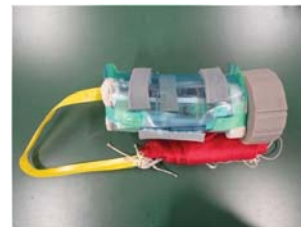


図 4 パラシュート分離機構収納状態

1.2.1 展開車輪

展開車輪は、図 3 に示すように、モータ軸受けとスポークと呼ばれる脚のようなもので構成されている。軸受けは、ABS 樹脂を材料として 3 次元プリンタを用いて製作した。また、スポークの材料はアルミ合金である。このスポークは、収納時はボディ側に折りたたまれ、折りたたんだ状態から 135° 展開することで、車輪径、車輪間距離を同時に増大させ、不整地において安定した走行を可能とする。

1.2.2 パラシュート分離および車輪収納・展開システム

パラシュートの分離およびスポークの収納・展開を担う機構 (以下、分離展開機構) は、ロボット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、スポークおよびスタビライザを折りたたんだ状態で、分離展開機構をロボットに巻きつけテグス (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で、分離展開機構を開く。これにより、スポークの展開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 4 に分離機構に包んだ状態のローバーを示す。

1.2.3 放出検知および着地判定システム

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

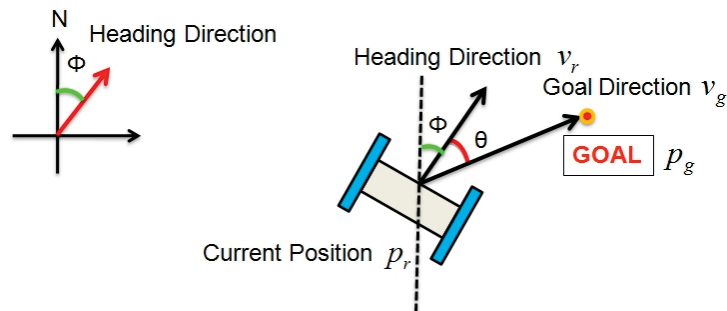


図5 ナビゲーションアルゴリズム

載した光センサに光が当たり電位が変化する。AD 変換値がしきい値以上ならロケットから放出されたと判定して、無線動作を開始する。

また、着地検知には、GPS の高度情報を用いている。今回 GPS モジュールの更新周期は 1 秒と設定したため、1 秒毎に高度変化を計算し、この高度変化が一定時間しきい値以下であればロボットが着地したと判定して分離展開動作を行う。

1.2.4 ナビゲーションシステム

ローバーのナビゲーションは、搭載された GPS モジュールと電子コンパスにより以下の手順で行う。

電子コンパスから方位情報を取得し、現在の進行方向ベクトル v_r を計算する。一方、現在位置 p_r は、GPS により取得し、図 5 に示すように、現在位置 p_r とゴール位置 p_g から目標進行方向ベクトル v_g を計算する。これらのベクトル v_r と v_g の偏差角 θ をゼロにするように左右のモータの速度を制御することで、ロボットは目標位置へ向かう。ゴール判定は、GPS で得た現在位置とゴール位置の距離が、しきい値以下になることで行う。

昨年度までの GPS のみによるナビゲーションでは、ローバーが動いていないと現在の進行方向がわからない、轍などの凹凸のある地形を走行する際に左右にぶれながら走ると、正しい進行方向ベクトルが得られないなどの問題があった。しかし、電子コンパスによって進行方向ベクトルを得ることで、上記問題を解決することができ、比較的スムーズなナビゲーションが可能になった。

1.3 苦労したこと、工夫したこと

[車輪スポーク]

昨年度の展開車輪では、軽量化のためにスポークも ABS 樹脂で製作したため、強度不足でスポークが折れ、ゴールへ辿り着くことができなかった。また、スポーク先端を円弧状にすることで、連続的な接地による滑らかな走行を実現したが、スリップにより十分な推進力が得られないという問題もあった。

そこで、今年度は、スポーク材料としてコの字型のアルミ合金を用い、軽量化と高強度化を図った。スポーク先端形状としては、重量の制限から、単純な直線形状を採用した。これにより、接地の連続性が低下し、走行時の振動が増大したが、スポーク先端が地面に刺さることで、推進力を得やすい形状となっている。

[分離機構]

パラシュートを分離し、車輪を展開するための分離機構は、昨年度のものをベースに製作した。しかし、スポーク形状など昨年度と異なる部分があったためか、試作モデルや初期 EM では、スポークが分離機構に絡

まるなど、分離の成功率が非常に低かった。そのため、分離試験を繰り返し、分離機構の改良やローバーを分離機構に包む際の注意点などの洗い出しを行った。その結果、FM では、パラシュート分離の成功率を高めることができた。

[電子コンパスの設置位置]

電子コンパスを搭載する際に問題となったのが、モータが発する磁力の影響である。この磁力の影響により、ローバーのボディ付近では、電子コンパスが正常に動作しないという問題に直面した。様々な位置に実際にコンパスを設置し、動作試験を行った結果、スタビライザの先端であれば、モータの磁力の影響を最小限に抑えることができることがわかった。しかし、スタビライザ先端は走行時の振動が激しく、ナビゲーションを行えるか不安であった。また、スタビライザも、展開機構を有している関係で、可動部があり、その部分で特に揺れが発生していた。そこで、できるだけスタビライザの可動部の緩みを抑える等の工夫を凝らした。その結果、走行時の揺れでコンパスのセンサ値に誤差が生じるものの、ナビゲーションによりゴールへ向かうことが可能となった。

2 結果報告

今年度は、2 回の打ち上げを行った。以下にその結果を述べる。

2.1 打ち上げ 1 回目

打ち上げ 1 回目では、ロケットから放出後、パラシュート開傘に成功し、放出検知システムも動作し、無線送信を開始した。しかし、着地判定プログラムにバグがあったため、空中でパラシュート分離動作を行ってしまい、上空 2000 m からフリーフォールして、ローバーの車輪が大破し、ミッションの続行が不可能となった。

2.2 打ち上げ 2 回目

壊れた部品の交換とプログラムのデバッグを行い、2 回目の打ち上げを行った。

打ち上げ 2 回目は、パラシュート降下、着地、パラシュート分離、車輪展開、ナビゲーション、ゴールの一連の動作に成功した。図 6 に、このときの走行軌跡を示す。ローバーは、ゴールから約 1.63 km 離れた位置に着地し、そこからナビゲーションを開始して、図のように弧を描きながらゴールへ向かい、ゴールから約 4 m の位置でゴール判定を行い停止した。



図 6 打ち上げ 2 回目の走行軌跡



図 7 ゴールから 4 m の位置で停止

2.3 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。

Minimum Success	<p><着地後にパラシュートの分離と車輪展開を行う></p> <p>1回目：失敗 空中でパラシュート分離をしてしまった。</p> <p>2回目：成功 着地後、パラシュート分離と車輪展開を行い、走行を開始することができた。</p>
Full Success	<p><着地地点とゴール地点を結ぶ直線に沿った軌跡で走行する></p> <p>1回目：失敗 落下の衝撃で走行系が壊れたため、走行することができなかった。</p> <p>2回目：失敗 着地地点から弧を描くようにゴール地点へ向かった。その結果、直線距離よりも100 m程長い距離を走行することになってしまった。</p>
Advanced Success	<p><GPSの誤差範囲(20 m)内でゴールする></p> <p>1回目：失敗 走行することができなかったため、ゴールへたどり着けなかった。</p> <p>2回目：成功 ゴールから約4 mの位置で停止した。</p>

3 今後の課題

今年度は、昨年度達成できなかった、「展開車輪を搭載したローバーでゴールする」という目標のもと、開発を行ってきた。昨年度参加した先輩の失敗談を参考に開発を行い、途中予期せぬ問題も生じたが、結果的に当初の目標を達成し、カムバックコンペティションで優勝することができた。

しかし、今年度のローバーは、惑星探査ローバーに応用可能な展開車輪という部分に主眼を置いて開発を行ったため、その他の部分については妥協しており、GPSや地磁気を利用したナビゲーション、着地判定など、実際の惑星探査には利用できないシステムを採用している。

そのため、来年度以降の課題としては、GPSを用いないナビゲーションや着地判定方法など、より実際の惑星探査を想定したシステムを実装することが挙げられる。