

月面孔をめざす小型ローバシステムの提案

吉光徹雄, 春山純一, 澤井秀次郎 (ISAS/JAXA), 角田 博明 (東海大学),
倉富 剛, 渡辺 和樹 (株式会社ウェルリサーチ)

Proposal on micro rover system exploring for Lunar hole

Tetsuo YOSHIMITSU, Jun'ichi HARUYAMA, Shujiro SAWAI (ISAS/JAXA),
Hiroaki TSUNODA (Tokai Univ.),
Tsuyoshi KURATOMI, and Kazuki WATANABE (WEL Research Co. Ltd.)

Abstract— The authors have been studying a tiny rover as an extra payload of the technical demonstration mission of smart landing to the Lunar surface named SLIM (Smart Lander for Investigating Moon). The rover will be deployed onto the surface immediately before the touch-down of the lander, followed by the surface exploration around the landing site for a short duration. This paper addresses the proposed rover system for SLIM mission. All the technical discussions of the rover system is based on the promising landing site of the Lunar holes in the near side of the Moon, which were recently discovered from the observation by SELENE orbiter.

1. はじめに

月探査機 SELENE に搭載されたカメラによる観測で、最近、100m クラスの直径と深さを持つ縦穴が合計 3 個月面に発見されている [1].

縦穴は、地下にある溶岩チューブなどの空隙層の上にある土砂が滑落したものであるという説が有力であるが、その生成過程はまだわかっていない。また、月面地下の空隙層は、温度的に安定であり、有人探査の基地として注目されている。このため、これらの縦穴は、月の起源を探る上でも、月面利用の上でも重要な地形である。

JAXA 宇宙科学研究所で検討が進められている“SLIM (Smart Lander for Investigating Moon)” 計画 [2] は、いわゆる小型科学衛星の枠組みを利用して、月面上のあらかじめ指定した地点に高精度な軟着陸を行なう工学ミッションである。

SLIM のめざす着陸点はまだ決まっていないが、月の表側に 2 箇所見つかっている縦穴のどちらか近傍に着陸することが有力視されている。

SLIM では、着陸後に表面探査を行なう超小型ローバの搭載を考えている。現在、上の縦穴を具体的な探査ターゲットとして、ローバ探査システムの検討を進めている。小型ローバでやろうとしていることは、以下の 2 点である。

- 着陸点近くに着陸した母船から出発して、縦穴をめざして走行すること。
- 縦穴に関する何らかの知見を近傍から得ること。

これにより、ランダ+ローバの構成により、月・惑星表面上の指定した目標地点の探査を行なうシステムの実証を行なうことができる。

その他、以下の工学実験等も行なう予定である。

- 将来の大型探査ローバの pathfinder として、車輪と月面土壌に関する相互作用の計測を行なう。
- 小型軽量システムの実現と月面での車輪による走破性能の向上をめざして、インフレーター車輪を用いる。
- 母船の月面着陸の様子を横から撮影する。

本論文では、SLIM 搭載小型ローバにおいて、縦穴を探査するローバシステムについて現状の提案内容を述べる。

2. 月面の縦孔

SELENE による観測で、Table 1 に示す合計 3 個の縦孔が月面に見つかっている [1]。2 つは月の表側にあり、1 つが裏側にある。

SLIM は月の表側に着陸する予定であり、表側にある 2 つの縦孔がその着陸点として有力視されている。

3. ローバシステムに対する要件

縦穴を何らかの形で探査する小型ローバシステムの検討にあたって考慮すべき前提条件をここで述べる。

ローバシステムの質量 SLIM は推薬を含めて 400[kg] 程度の探査機であり、着陸するための種々のセンサを搭載することを考えると、ローバに対して多くのリソースを割り当てることができない。

現在は、ローバシステム全体で 1.5[kg] を想定している。このため、ローバと地球の直接通信は現実的でなく、母船を経由して、コマンド/テレメトリのやりとりをすることになる。

SLIM のミッション目的 SLIM は着陸実証を主目的とし、温度環境の厳しい月面において長時間機能することは想定していない。ローバは母船が月面着陸後に動作するため、地球とローバの間で直接通信をしない限り、短期間でミッションを達成する必要がある。

着陸精度 SLIM の着陸精度は目標地点に対して 100[m] 程度である。月面孔の中に着陸することを回避するためには、着陸目標地点を少なくとも孔から 100[m] 離す必要がある。さらに、安全性を考えると、着陸地点は孔から数 100[m] 離れる。ローバは数 100[m] の距離を移動する必要がある。

着陸位置 誤差円の中で母船が実際に着陸した位置は、その場ではわからない。このため、母船に対する正確な孔の方向は即座にはわからない。

Table 1 Vertical holes discovered by SELENE observation

hole	location	diameter [m]	depth [m]
Marius Hills Hole	303.3[deg] E, 14.2[deg] N, Near side	59 × 54	46
Mare Tranquillitatis Hole	33.2[deg] E, 8.3[deg] N, Near side	98 × 84	105
Mare Ingenii Hole	166.0[deg] E, 35.6[deg] S, Far side	118 × 68	41

実際には、着陸時に取得した画像やその他データを地上で処理して、着陸した正確な位置を算出することになる。

ローバ搭載センサ カメラを搭載する。しかし、ローバが小型のため、視野高が低く、カメラにより孔を見つけることは、孔がかなり近い場合を除いて難しい。

4. 提案する探査手法

提案する探査手法では、複数のローバを用いる。各ローバが母船から分離後、あらかじめ指定した絶対方向に直進するのみである。絶対方向は、太陽の方向を基準として与え、ローバは太陽センサあるいはフォトダイオードなどのデバイスを用いて太陽の方向を推定する。

ローバの台数と各ローバが向かう方向のオフセットは、母船が半径 100[m] の誤差円のどこに着陸した場合においても、少なくとも 1 台のローバが孔にたどり着くように選定する。孔にたどり着いたローバはそのまま孔の中に落下し、孔の中から孔の外壁の撮像を行なう。

Fig. 1 に提案手法を示す。図では、3 ローバの場合を示している。

本提案手法の特徴は以下の通りである。

- 完全自律探査である。ローバ分離後に地球からの支援を必要としないため、ミッションを早く遂行できる。
- 探査に用いるセンシング情報は、太陽方向推定値だけであり、画像は用いない。このため、あまり能力が高くないコンピュータで動作可能である。

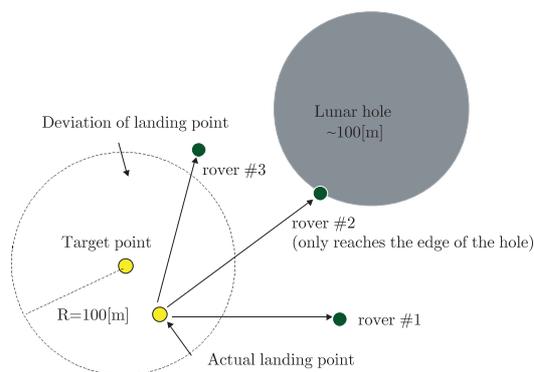


Fig.1 Rover movement

5. ローバの台数と孔への到達性

着陸候補となっている 2 つの縦孔に関して、ローバの台数と孔への到達性の検討を行なった。この際、

- ローバは指定方向に対して完全に直進する、
- ランダは指定した地点から半径 100[m] の誤差円のどこかに着陸する

という前提を用いている。以下、その結果を示す。

Marius Hills Hole への着陸 ローバ 2 台, 3 台でも、着陸点によってはすべてのローバが孔へ到達しない場合がある。

Mare Tranquillitatis Hole への着陸

- ローバ 2 台の場合: 孔から 400[m] 以遠に着陸した場合、ローバ走行方向の角度差を適当に与えれば、このうち 1 台が孔に落ちる。
- ローバ 3 台の場合: どこに着陸してもローバ走行方向の角度差を適当に与えれば、このうち 1 台が孔に落ちる。

台数が少ない場合において、ローバの可到達性が低いのは、着陸の誤差円の大きさが、孔よりも大きいためである。このため、ローバの台数を 1 とすると、どのような場合においても可到達性は保証されない。

以上の結果から、この提案手法において、孔へ必ず到達するためには、以下の対策が必要である。

- 着陸精度を高める。ただし、SLIM は、降下時に取得した画像から安全な地点を判断して着陸するため、指定した地点からの実際の着陸点への誤差を小さくすることはコンセプトと合致しない。
- 孔に落ちなかった場合には、直進をやめるなど、このシステムに特化した自律性をローバに持たせる。

6. おわりに

SELENE の観測により月面に最近発見された縦穴は、月面表面探査の上で非常に興味深い地形であり、月小型実験機 (SLIM) における着陸候補点になっている。

本稿では、小型ローバにより、この縦穴を探索するシステムを提案した。このミッション実現のためには、今後、システムに特化した自律性を検討する必要がある。また、ローバをなるべく軽量・小型に作り、孔探索時の落下衝撃に耐えられる構成とするなどハードウェア上の検討も必要である。

References

- [1] 春山 純一 他, “SLIM 探査候補地、月の縦孔 (地下の溶岩チューブの天窓?)”, 第 11 回 宇宙科学シンポジウム No.P3-195, 2011.
- [2] 澤井秀次郎 他, “小型月実験機 (SLIM) の検討概要”, 第 11 回 宇宙科学シンポジウム No.S3-12, 2011.