

単純脚・クローラハイブリット型移動ロボットTrackWalkerによる 浅間山での不整地走行実験

木下 宏晃 (東北大学), 多田隈 建二郎 (大阪大学), 永谷圭司 (東北大学), 吉田 和哉 (東北大学)

Traversal Experiments on rough terrain for a Leg-track Hybrid Robot in Mt.Asama

Hiroaki KINOSHITA (Tohoku Univ.), kenjiro TADAKUMA (Osaka Univ.),
Keiji NAGATANI (Tohoku Univ.), Kazuya YOSHIDA (Tohoku Univ.)

Abstract : Fixed-point observation of an active volcano is very important to work out a strategy for estimation of eruptive activity and evacuation call to residents. However, it is a very dangerous task for human to install cameras close to a crater during eruptive activity. Therefore, it is effective to use teleoperated small mobile robot with camera for observation of an active volcano. However, volcano area is covered with sand and rocks, so it is very difficult for conventional mobile robots to traverse on that area. To solve the problem, the authors developed Leg-Track Hybrid Robot "TrackWalker" to traverse on weak soils and irregular terrain. It has Leg-track hybrid mechanism which has both simple leg mechanism and crawler mechanism. In this paper, we report the initial experiment results in volcano areas in Mt.Asama.

1 緒言

火山の噴火活動を観測することは、火山の状況を把握し、近隣住民の避難計画を策定する上で非常に重要である。しかしながら、火山活動が開始すると、人は立ち入ることができなくなる。例えば、浅間山のレベル3の活動時には、火口から半径4km以内の立ち入りは禁止される。そこで、視覚センサを搭載した移動ロボットの遠隔操作による監視が期待されるが、従来の移動ロボットでは、火山地帯のような岩と砂が混在する地形を探索するのは非常に困難である[1]。

一方、筆者らは、現在、軟弱地盤及び不整地の両環境に対応可能な、単純脚・クローラハイブリット型移動ロボットTrackWalkerの研究開発を進めている。このロボットは、軟弱地盤上での安定した走行が可能な単純脚機構と、凹凸の激しい不整地において高い走破性能を有するクローラ機構(クローラアーム搭載)の両方の移動機構を備えている[2]。単純脚機構とは、筆者らが開発した、面接触型移動ロボットBladeWalker[3]に採用されている移動機構であり、軟弱地盤上で高い走破性能を有することが実証されている。また、クローラ機構は、これまでに開発されている数多くの不整地移動ロボットが採用している移動機構であり、特に、クローラアームを有するクローラ機構は、段差や岩場における高い走破性能が確認されている[4]。したがって、この二つの移動機構を複合した単純脚・クローラハイブリット機構を搭載したTrackWalkerは、火山地帯のような岩石、小石、砂などが混在する地形であっても、安定した走行が可能となることが期待される。

そこで、本研究では、2010年10月5日から7日にかけて、長野県と群馬県の県境に位置する浅間山に単純脚・クローラハイブリット型移動ロボットTrackWalkerを持ち込み、不整地走行実験を行った(Fig.1)。浅間山は、現在活動中の活火山であり、首都圏にも近いため、その噴火が及ぼす被害は大きいと考えられる。したがって、小型不整地移動ロボットによる探索及び監視の有用性を確認することは、非常に有意義であると考えられる。

本稿では、まず、TrackWalkerの単純脚・クローラハイブリット機構について詳しく説明する。次に、このロボットを用いた浅間山の探索シナリオについて説明する。最後



Fig. 1: Experiments in Mt.Asama

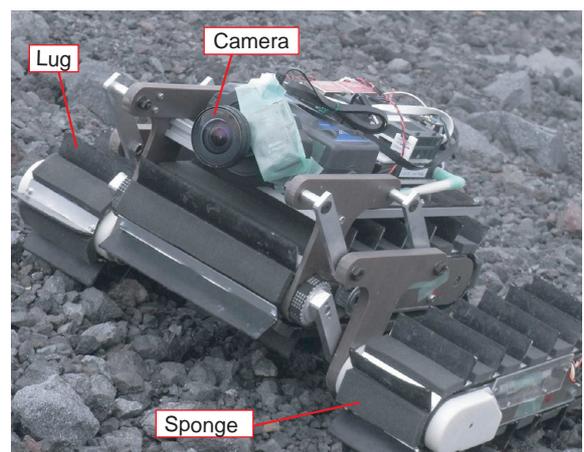


Fig. 2: Overview of TrackWalker

に、TrackWalkerを用いて浅間山にて行った不整地走行実験について報告する。

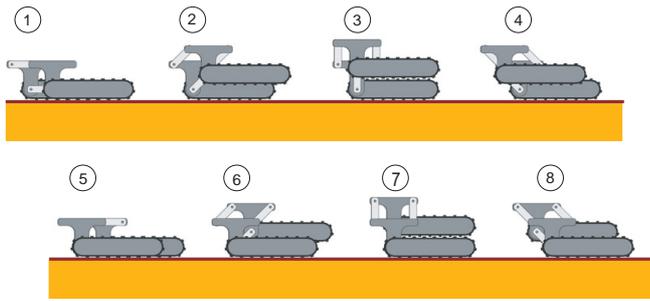


Fig. 3: translation sequence based on simple-leg mechanism

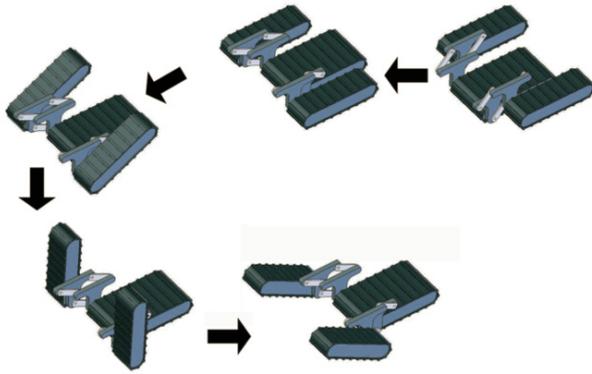


Fig. 4: Sequence of arm motion

2 単純脚・クローラハイブリット型移動ロボット TrackWalker

これまでに、自然地形や災害現場などの凹凸の激しい不整地上での探査を目的として、クローラ機構を採用する移動ロボットが数多く開発されている。しかし、車輪機構と同様、クローラ機構は、砂の斜面のような軟弱地盤を走行する場合、クローラと地面との間でスリップが生じ、走行が困難になる恐れがある。

この問題に対処するため、筆者らは、軟弱地盤上での安定した走行を目的とした面接触型移動ロボットBladeWalkerを開発した[3]。この移動ロボットは、クランク機構を用いた単純脚機構を採用しており、この機構により歩行動作が可能となる。加えて、接地面積が大きいため、土壌を崩さずに移動することが可能であるという特徴がある。しかしながら、この機構は、段差や不整地の踏破性能があまり高くないという問題点があった。

そこで、筆者らは、BladeWalkerで採用した単純脚機構と不整地走破性能が高いクローラ機構を複合した、単純脚・クローラハイブリット機構を提案し、これを搭載する移動ロボットの開発を進めてきた[2] (Fig.2)。この機構により、不整地と軟弱地盤の両環境において安定した走行が可能になる。

以下に、この単純脚・クローラハイブリット機構について説明する。

2.1 単純脚機構

単純脚機構は、BladeWalkerと同様の機構であり、3-クランクによる平行クランク機構によって実現されている



Fig. 5: Mt.Asama and Mt.Koasama

[5]. 本体に取り付けられた一つのアクチュエータで一組の能動クランクを駆動させることで、残り二組のクランクが受動的に回転し、結果として脚部全体が地面との平行状態を保ったまま回転運動を行う。

単純脚機構を用いた並進移動の動作シーケンスを(Fig.3)に示す。この図に示すように、単純脚機構を用いることで、本体と脚部を交互に地面に接地させ、重心移動により前進する。これにより、土壌を崩さずに踏み固めるようにして並進移動することが可能となる。

2.2 クローラ機構

クローラ機構は、本体と左右の脚部の合わせて三つのモジュールによって構成されており、それぞれのクローラベルトを独立で駆動させることができる。したがって、全てのクローラを同一方向に動作させることで並進運動が、また、先に述べた単純脚機構を利用して、本体を持ち上げた状態で左右の脚部を互いに逆回転させることにより、旋回動作が可能となる。

クローラベルト表面には、Fig.2に示すように、長さ40mmのラグ(アルミ製)を本体及び左右の脚部にそれぞれ15本ずつ取り付けられた。これにより、砂や小石で覆われた軟弱斜面であっても、高い牽引力を発揮することが期待できる。また、ラグの表面に厚さ1mmのゴムシートを貼り付けることにより、地面との間の摩擦力を増加させている。さらに、ラグとラグの間に厚さ10mmのスポンジを貼り付けた。これにより、ベルトと地面との距離が遠くなり、ベルトの内側に砂が入り込みにくくなる。

2.3 クローラアーム機構

脚部はFig.4に示すように、クローラベルトの駆動軸を中心に回転するクローラアームとしても機能する。左右の脚部にはクローラアームを駆動させるためのアクチュエータが一つずつ搭載されており、左右独立で駆動させることが可能である。このクローラアーム機構により、単純脚機構やクローラ機構では乗り越えが困難な段差であっても踏破することが可能となる。

3 浅間山探査の想定シナリオ

本研究の最終目的は、浅間山の斜面に降り積もった火山灰の移動探査ならびに、形成される天然ダムの状況の定点観測である。想定するシナリオは、小型移動ロボットを立ち入り禁止区域内の斜面まで、無人ヘリコプタを用いて輸送し、そこから遠隔操作での移動探査を行うものである



Fig. 6: Traversing a loose slope at Mt.Koasama

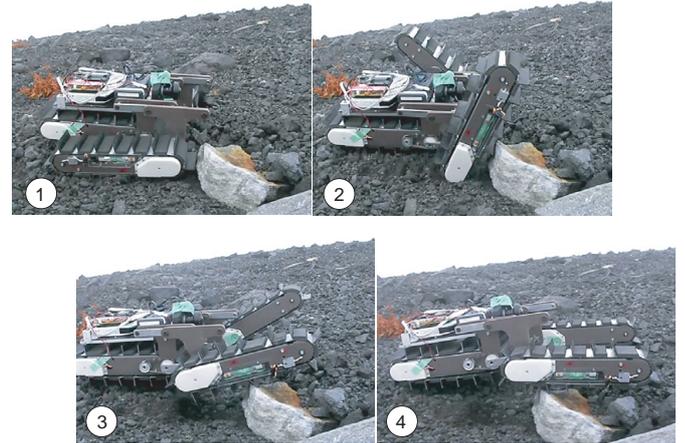


Fig. 8: Arm motion of TrackWalker



Fig. 7: Traversing a slope at Mt.Asama

(Fig.5)．移動距離としては、100m～300m程度を想定している．ロボットの重量は、無人ヘリコプタのペイロードを考慮すると、20kg以下に抑える必要がある．

本実験では、浅間山内輪山のふもと標高2300m付近まで、無人ヘリコプタを用いて小型軽量の不整地移動ロボットTrackWalker（サイズ：550×550×200mm、重量：約12kg）を輸送したものと仮定した．

4 浅間山における不整地走行実験

上記のシナリオを実現するための必要な技術としては、遠隔通信技術や不整地走行技術が考えられるが、今回は、後者の不整地走行技術に的を絞って実験を行うこととした．

4.1 実験概要

実験環境である浅間山内輪山のふもと標高2300m付近の地形は、火口付近の地質とほぼ同等であり、比較的急な斜面が長距離に渡って続いている．また、この高度では植生がなく、地盤もゆるい．

探査の際は、基本的にはクローラ機構で走行し、途中スリップや障害物の影響で走行が困難になった場合、単純脚

機構を用い、それでも脱出が困難な場合、クローラアームを駆使し脱出を試みる、という三段階で走行を行うこととした．

本ロボットの遠隔操作は、ロボットに搭載された無線LANルータと操作用PCをEthernetで接続することで実現する．なお、ロボットには、ネットワークカメラを搭載し、ロボットからどのような映像を取得できるかについても確認する．

4.2 小浅間山での予備実験

まず、浅間山での実験の前段階として、浅間山から約3.6m離れたところに位置する小浅間山にて予備実験を行った5．実験を行った場所は、標高1600m付近であり、砂、小石、岩石が混在する地形である．

急斜面走行実験の様子をFig.6に示す．斜度は25度程度で、砂と直径5mm～20mm程度の小石が入り混じった、人が歩くのも大変な軟弱斜面であった．しかし、本ロボットは、多少スリップしながらも、確実に斜面を走破できることが確認された．これは、クローラベルト表面に取り付けたラグがしっかりと地面に刺さったことにより、走行するのに十分なトラクションを得ることができたためであると考えられる．また、クローラベルト表面に貼り付けたスポンジの効果により、ベルトの内側に砂が入りにくくなったことで、クローラベルトとプーリーの間に砂が詰まり走行不能になるという状況は見られなかった．

4.3 浅間山での長距離走行実験

実験を行った標高2300m付近の斜面は、小浅間山と違い、砂（火山灰）は少なく、直径20mm～100mm程度の角の多い小石や岩石が混在する斜面であった．この地形において、長距離不整地走行実験を行った．

本ロボットの不整地走行の様子をFig.7に示す．斜度は平均25度程度であった．先にも述べた通り、実験環境は、比較的粒径の大きい小石で覆われた地形であったため、小浅間山での実験と比較し、ラグが深くは刺さらなかった．しかし、ラグ表面に貼り付けたゴムの効果により、スリップすることなく走行可能であることが確認できた．また、5cm～15cm程度の岩石が点在する地帯や、局所的に急斜面（30度～35度）になっている地点においても、単純脚機



Fig. 9: A trajectory of long distance traversal Experiment

構やクローラアームを駆使することにより、走破可能であることが確認できた。クローラアームを用いた段差踏破の様子をFig.8に示す。

最終的には、走行開始地点から直線距離で約100m、時間にして約2時間程度走行したところで、アーム駆動部のベルトが破断したため、実験終了とした。ただし、一度60m地点でバッテリーを交換している。走行開始から終了までの走行軌跡をFig.9に示す。ロボットに搭載したGPSロガーの精度があまりよくなかったため、正確な走行軌跡を取得することができなかったが、Fig.9より、おおよその走行経路は確認できる。

以上の結果より、本ロボットの単純脚・クローラハイブリッド機構は、浅間山のような火山地帯においても、十分な走破性能を発揮することが実証された。また、ロボットに搭載されたカメラによる画像取得も成功し、火山の活動状況を監視するには十分な映像を取得可能であることが確認できた。

アーム駆動部のベルト破断に関しては、設計上の問題であり、この駆動部が強化されれば、さらに長距離の走行が可能であると考えられる。また、本ロボットが急斜面に差し掛かった際、何度か後方に転倒しそうな場面が見られた。これは、ロボット本体の上部にカメラ、バッテリー、無線機等を集約したことにより、重心が高くなってしまったためである。したがって、できるだけ本体内部に機器類を収納し、重心を低くする改良が必要であると考えられる。

5 結言

本稿では、軟弱地盤と不整地の両環境に対応可能な単純脚・クローラハイブリッド型移動ロボットTrackWalkerについて説明し、このロボットを用いた火山探査シナリオを紹介した。また、本ロボットの火山探査における有用性を検証するため、2010年10月5日から7日にかけて、活動中の浅間山に本ロボットを持ち込み、不整地走行実験を行った。その結果、本ロボットは浅間山のような火山地帯においても比較的安定した走行が可能であることが確認できた。

今後は、不整地走行性能のさらなる向上を目指し、2号機として現在の機体の1.5倍のサイズのロボットの製作を検討している。移動機構はそのまま、できる限りの軽量設計を目指す。また、急斜面での後方への転倒を避けるため、低重心の設計を行う。

謝辞

実験の準備等にご協力いただいた、国交省砂防部保全課、東京大学地震研研究所浅間火山観測所の各位に感謝します。

参考文献

- [1] 永谷圭司, 岡田佳都, 徳永直木, 桐林星河, 小柳栄次, 吉田智章, 油田信一, 久武経夫. 火山探査を目的としたクローラ型移動ロボットKenafによる桜島での遠隔操作実験. 第10回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会予稿集, pp.1943-1946, 2009.
- [2] Keiji Nagatani, Hiroaki Kinoshita, Kazuya Yoshida, Kenjiro Tadakuma, and Eiji Koyanagi. Development of leg-track hybrid locomotion to traverse loose slopes and irregular terrain. In *Proceedings of the 2010 IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics*, 2010.
- [3] 吉田和哉, 永谷圭司, 多田隈建二郎, 木下宏晃. 軟弱地盤や急斜面の走行を可能とする面接触型移動ロボットの設計と開発. 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2009講演論文集 (ROBOMECH2009), 2P1-D17(1)-(4), 2009.
- [4] Yoshito Okada, Keiji Nagatani, and Kazuya Yoshida. Semi-autonomous operation of tracked vehicles on rough terrain using autonomous control of active flippers. In *Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2009.
- [5] 芦葉清三郎. 機械運動機構. 技報堂出版株式会社, 1987.