

クローラ接地角変化による不整地移動ロボットの斜面横断走行性能の向上

Improvement of Cross-traversability for a Tracked Vehicle on Weak Slope by Changing its Contact Angle on the Ground

野寄 敬博 (東北大), 永谷 圭司 (東北大), 吉田 和哉 (東北大), 小柳 栄次 (千葉工大)

Takahiro NOYORI, Keiji NAGATANI, Kazuya YOSHIDA, Tohoku University,
{noyori, keiji, yoshida}@astro.mech.tohoku.ac.jp
Eiji KOYANAGI, Chiba Institute of Technology, koyanagi@furo.org

A robotic observation in an active volcanic area is required for plotting strategies of people's evacuation. In volcanic environment, high traversability is required for mobile robots in weak and uneven terrain. Therefore, in this research, we developed a small-sized robot to handle rough terrains, particularly, for volcanic environment. The robot has 11 D.O.F. actuators. The robot can change its contact angle on the ground, which improves cross-slope traverse. In this paper, we introduce the mechanism and the system of the robot and report the result of experiments of cross-slope traverse in a test field.

Key Words : Tracked vehicle , Volcano exploration

1 はじめに

活火山が多い日本では、火山の火口付近の状況を観察することは、火山による災害を防ぐ上で非常に重要である。しかしながら、火山の活動レベルが高い状況下で、人間が火口付近まで立ち寄り、観察することは非常に危険であるため、噴火警戒レベルが高い火山では、人間の立ち入りは禁止される。そこで、本研究グループでは、小型移動ロボットによる火山観察が有用と考え、地下街・不整地走行用ロボットQuince(図1)や、不整地・軟弱地盤走行用ロボットTrackWalker・TrackWalkerII(図2)を、活火山である浅間山や鹿児島島の桜島山、伊豆大島の三原山に投入し、走行実験を行ってきた[1]。Quinceはメインクローラの他に、4つのサブクローラを持つ。このサブクローラを地形に合わせて適切に操作することで、高い不整地走行性能を発揮できることが検証された[2]。一方、TrackWalkerやTrackWalkerIIは、センタークローラの両側に、幅が広く、揺動機構を有する2つのサブクローラを備える。この揺動機構を有するサブクローラは、軟弱地盤でスリップした状態からの脱出や、礫の乗り越えなどに高い効果があった[3][4]。これら2つのロボットは、これまで研究開発されてきた小型の不整地走行用ロボットと比較し、高い走行性能を発揮したが、火山環境は、地盤が軟弱であり、また、凹凸も大きいため、走破不可能、あるいは走行が困難となる地形も存在した。

そこで、本研究では、QuinceやTrackWalkerよりも火山環境において高い走行性能を持つことを目的に、多自由度不整地移動ロボットElfを開発した。このロボットは、Quinceのような、対向形のメインクローラ2つとサブクローラを4本有する6自由度のクローラ型ロボットのサブクローラを、TrackWalkerのような揺動機構を有す



Fig. 1: Quince

Fig. 2: TrackWalkerII



Fig. 3: An overview of the robot, "Elf"

るサブクローラとし、さらに、2つのメインクローラの相対位置を上下させる機構を加えた合計11自由度を有する。

本稿では、本ロボットの機構と構成を紹介し、本ロボットの持つ自由度を利用したクローラ接地角の変化と、クローラ接地角を変化させた走行実験の結果について述べる。

2 開発したロボットの紹介

2.1 機構

本研究で開発したロボットは、6本のクローラからなるクローラ型移動ロボットである。外観を図3に、諸元を表1に示す。内側の2本のクローラをメインクローラ、外側の4本のクローラをサブクローラと呼ぶ。各クローラの

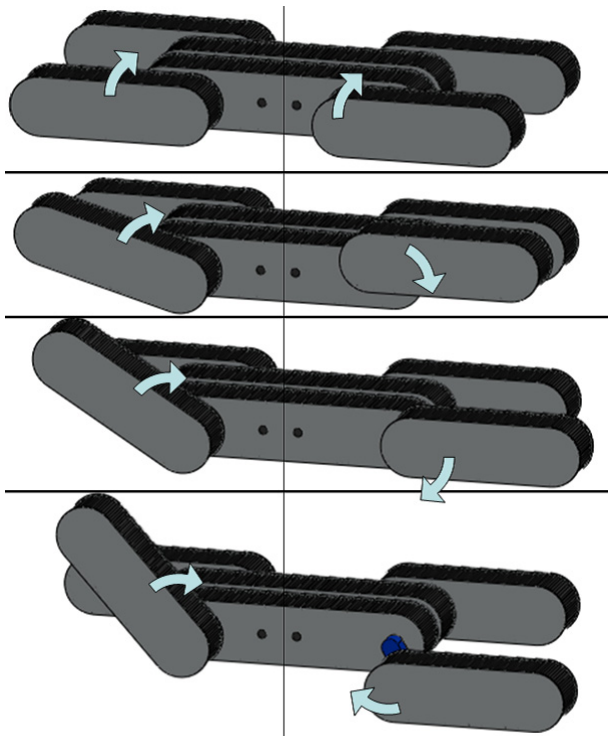


Fig. 4: Swing locomotion and oscillating locomotion

軸間距離は、メインクローラが533 mm、サブクローラが323 mmで、両者ともに幅は120 mm、高さは136 mmである。クローラベルトには、軟弱地盤上での走行能力の向上のため、高さ50 mmのラグが付けられている。

メインクローラとサブクローラは、1本のアームを介して接続されている。このアームにメインクローラに固定したプーリと、サブクローラの回転軸に接続したプーリがベルトでつながっている。このアームをメインクローラ内のモータを用いて回転させることで、メインクローラとサブクローラの相対角度を保ったままアームを回転させる揺動機構(図4右)を実現した。また、本ロボットは、これとは別に、サブクローラ内のモータを回転させてサブクローラの角度を変化させる旋回機構(図4左)も有する。一方、2つのメインクローラ間は、水平方向と鉛直方向のリニアガイドによって接続されている。水平方向のリニアガイドのスライダに接続されているアームを回転させることでメインクローラの上下の相対位置が変化する昇降機構を実現した。メインクローラ内には、クローラを回転させるモータが搭載されており、この回転は、ベルトを通じてサブクローラにも伝達される。

以上、本ロボットは、4つのサブクローラにおいて、揺動機構が4自由度、旋回機構が4自由度、2つのメインクローラ間の昇降機構が1自由度、左右のクローラベルトの回転に2自由度の合計11自由度を有する。

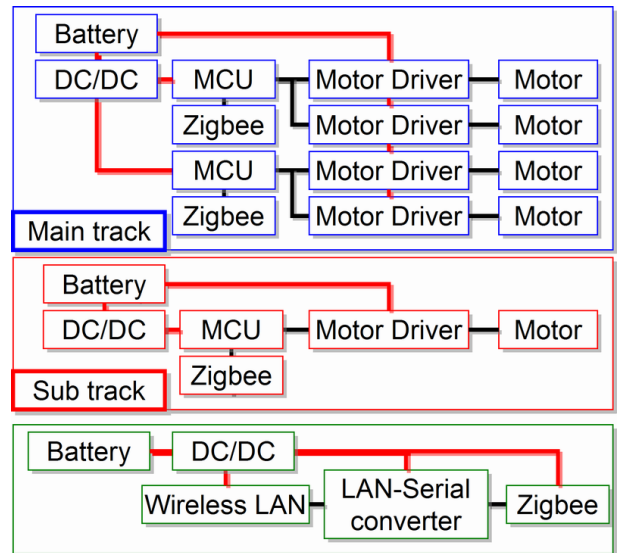


Fig. 5: Control architecture

2.2 コントローラ

本ロボットは、ジョイントが回転構造をしているため、各クローラ間をケーブルで電氣的に接続するのは困難である。そこで、各クローラにバッテリー、コントローラ、モータをそれぞれ搭載し、クローラ間またはクローラと操縦者側との通信は、Zigbeeを用いた無線シリアル通信によって実現した。ただし、Zigbeeは通信距離が短いため、メインクローラ上部に無線LAN機器とLANシリアル変換器、Zigbeeを搭載し、Zigbeeを無線LAN通信で中継することにより遠距離からのロボットとの通信を可能とした。バッテリーは、IDX社製のリチウムイオン電池、コントローラには、SH2/7144、モータドライバには、Hibot社製の1XH Power Module (メインクローラ)と1-Axis DC Power Module (サブクローラ)、Zigbeeには、ベストテクノロジー社製のZIG-100Bを用いた。

2.3 通信プロトコル

本ロボットは、先述の通り、Zigbeeによる無線シリアル通信で通信を行う。この通信は、帯域が狭く、通信漏れも発生するため、筆者の所属する研究室で開発された低コスト通信プロトコルで通信を行なうこととした。このプロトコルは、ヘッダ1バイトとデータ1バイトの計

Table 1: Specification

Length	max 1325 mm
Width	616 mm
Height	236 mm
Weight	42 kg
Main track module (L×W×H)	669 mm×120 mm×136 mm
Sub track module (L×W×H)	452 mm×120 mm×136 mm

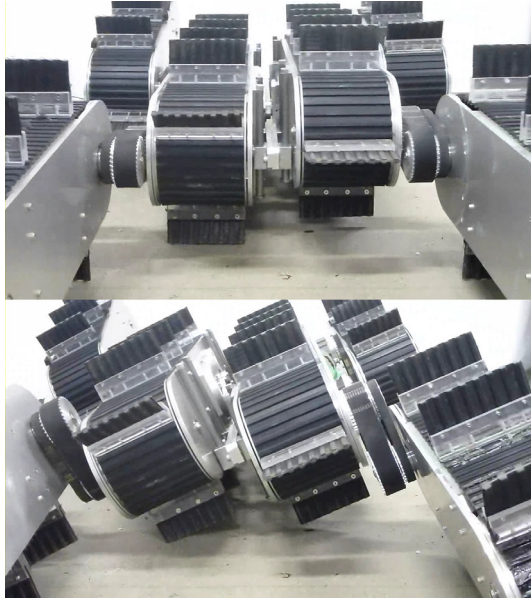


Fig. 6: Change of the contact angle on the ground

2バイトで構成される．ヘッダの最上位ビットは，0で固定され，以下モータドライバの選択に3ビット，モータの選択に2ビット，命令選択に2ビットで構成されている．データ部は最上位ビットが1で固定され，下位7ビットがデータとなり，回転数や角度の指定に用いられる．

3 斜面横断時のクローラ接地角の変化

本ロボットは，本ロボットの揺動機構，昇降機構を用いることで，図6に示すように，クローラ接地角を変化させることができる．斜面横断時に接地角を変化させると，横滑りの軽減につながることは，車輪型移動ロボットにおいて，Wettergreenらによって報告された[5]．本研究のようなクローラ型移動ロボットにおいても，接地角を変化させることで横滑りの軽減が期待される．

図7のように，昇降機構のアームの角度を θ ，アームの長さを L ，メインクローラ中心間の幅方向の距離を W とし，斜度 α の斜面に対して，クローラが水平に接地することを考える．昇降機構によるメインクローラの高さ方向の位置変化は， $L \sin \theta$ で表され，クローラが水平に接地したとき，斜面によって2つのクローラに生じる高さの差は $W \tan \alpha$ である．クローラを水平に接地させるには，それらを一致させればよいので，求めるアームの角度 θ は，次式で得られる．

$$L \sin \theta = W \tan \alpha \quad (1)$$

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{W}{L} \tan \alpha \right) \quad (2)$$

本ロボットは， $L = 80\text{mm}$ $W = 170\text{mm}$ であり，最大で25度までクローラ接地角を変化させることが可能である．

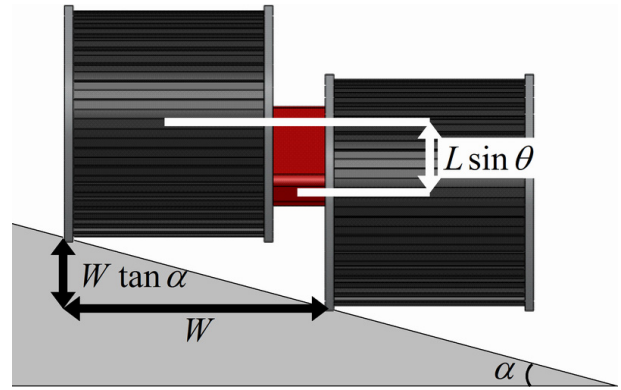


Fig. 7: Calculation of θ



Fig. 8: Test field filled with pumice

4 屋内フィールド実験

クローラ接地角変動による走行性能を確認するために，園芸用の軽石を敷き詰めた，長さ240 cm×幅90 cmの屋内フィールド(図8)で走行実験を行った．なお，フィールドの幅がロボットの幅に対して十分ではなかったため，ロボットのサブクローラは取り外し，メインクローラのみで実験を行った．フィールドの斜度は，10度と20度に設定し，クローラを斜面平行に接地させた場合と，式(2)を用いて昇降機構の角度を決定してクローラを水平に接地させた場合での比較を行った．

実験の様子を図9に示す．この図において，左側がクローラを斜面平行に接地させた場合，右側がクローラを水平に接地させた場合である．実験では，クローラを斜面平行に接地させた場合とクローラを水平に接地させた場合の両方において，クローラの前部がすべり進行方向が下向きに変化した．その程度は，クローラを水平に接地させた場合の方が明らかに小さいことが見て取れた．また，クローラを水平に接地させた場合では，クローラ全体が横滑りすることは無かった一方で，クローラを斜面に対して平行に設置させた場合，ときおり，クローラ全体が滑るときがあることも見て取れた．

本実験において，スリップ角という指標を用いて，走行性能を評価する．ロボットが斜面横断方向へ進んだ

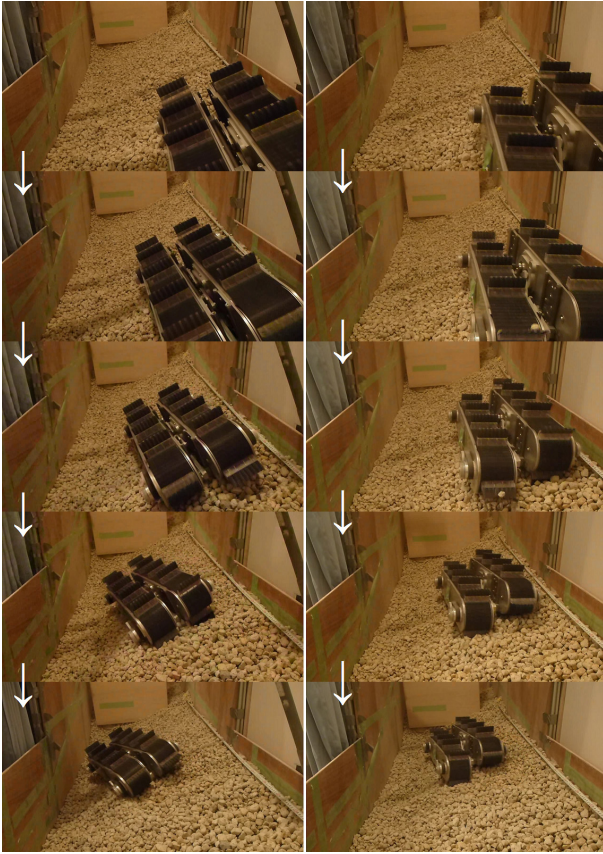


Fig. 9: Experiments of cross-slope traverse (Left: Parallel to the slope Right: Horizontal to the ground)

長さ(l_x)と、斜面方向へスリップした長さ(l_y)より、スリップ角 β は、次式で定義される。

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{l_y}{l_x} \right) \quad (3)$$

本実験では、実験中にロボットの進行方向が変化するため、厳密にはスリップ角の定義より外れるが、この値が小さいほど、横滑りの量や進行方向の変化が小さく走行性能が高いと言える。クローラ接地角と、斜面の角度によるスリップ角の変化は、図10に示す結果となった。斜面の角度が10度と20度の両方の場合で、クローラを水平に接地させると、約3度のスリップ角の減少が確認できた。

5 おわりに

本稿では、11自由度を有する多自由度不整地移動ロボットを開発し、その機構と構成について紹介した。また、本ロボットの持つ自由度を用いた、クローラ接地角の変化について説明し、クローラ接地角の変化による、斜面横断時における走行性能の向上について報告した。

今後は、クローラ接地角の変化による斜面横断性能の向上を、火山などの実際の環境でフィールド試験を行い確かめる。また、ロボットにセンサを搭載し、斜度に応じて自動的にクローラ接地角を変化させるといった、ロボットの遠隔操作の際の補助となるシステムを構築する。

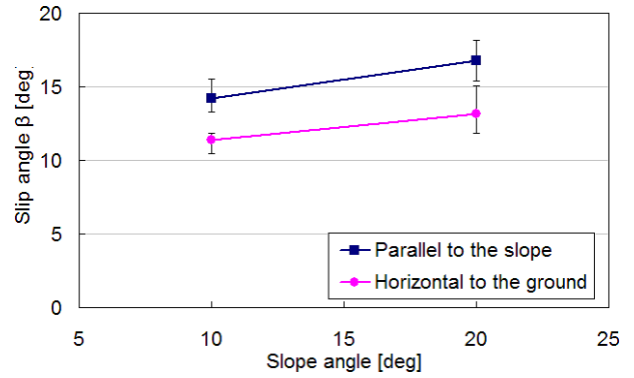


Fig. 10: Slip angle vs. slip ratio under various track contact angle

参考文献

- [1] 永谷圭司, 桐林星河, 西村健志, 吉田智章, 小柳栄次, 羽田靖史, 油田信一, 中里邦子, 久武経夫, 森山裕二, 小型移動ロボットの遠隔操作による火山活動区域の観察, 第12回(社)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論文集(SI2011), 1A3-3, 2011
- [2] 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, pages 2815-2820, 2009.
- [3] K.Nagatani, H.Kinoshita, K.Yoshida, K.Tadakuma, E.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, (SSRR2010), July 26-30, 2010.
- [4] 秋山健, 木下宏晃, 永谷圭司, 吉田和哉, 多田隈建二郎, 西田信一郎, 軟弱かつ急斜面の不整地走行を目的とした単脚・クローラハイブリッド型移動ロボットの開発, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会(ROBOMECS2011), 2A2-L14
- [5] D. Wettergreen, S. Moreland, K. Skonieczny, D. Jonak, D. Kohanbash, and J. Teza, "Design and Field Experimentation of a Prototype Lunar Prospector," The International Journal of Robotics Research, vol.29, no.12, pp.1550-1564, 2010.