

軟弱地盤及び不整地走行を目的とした小型の脚・クローラハイブリット機構の開発

Development of a Small-sized Leg-track Robot to traverse on loose slopes and irregular terrains

学 木下 宏晃, 正 永谷 圭司, 正 吉田 和哉 (東北大)

Hiroaki KINOSHITA (Tohoku Univ.), kinoshita@astro.mech.tohoku.ac.jp
Keiji NAGATANI, Kazuya YOSHIDA (Tohoku Univ.)

Track mechanism has high movability on irregular terrains. Therefore, it is typically used for locomotion mechanism of all-terrain robots. However, the track mechanism sometimes slips while it traverses on loose slopes. Therefore, we developed a new locomotion mechanism, called “Surface-contact-type locomotion”, which has high movability on weak soils. It uses simple leg mechanism that has wide contact area with the ground in order not to corrupt the contact surface. However, it has a disadvantage of low movability on irregular terrains. To solve the above trade-off, we developed “Leg-Track Hybrid Robot” by fusing the both locomotion mechanisms. In this paper, we explain details of the developed locomotion mechanism and report some initial experiments.

Key Words : Crawler, Mobile Robot, Loose-soil

1 緒言

近年、自然地形や災害現場など凹凸の激しい不整地上で探査を行う移動ロボットの開発が盛んに行われている [1][2][3][4]。その中でも、クローラ機構は、車輪機構などと比較して高い不整地踏破性能を有するため、不整地移動ロボットの多くがクローラ機構を採用している。ところが、砂の斜面などの軟弱地盤上を走行する場合、クローラは、地面との間にスリップが生じ、土壌の崩壊を引き起こすことがある。この現象は軟弱斜面上を走行する際、特に顕著に発生する。

このような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 “Blade Walker” を提案した [5](図 2)。この移動ロボットは、クランク機構を用いた、単純な脚機構で構成されている。このロボットの特徴は、接地面積が大きいため、土壌を崩壊させないように移動することが可能であるという点である。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欠点があった。

そこで、本研究では、“Blade Walker” で採用した単純脚機構とクローラ機構（サブクローラ付き）の両方の移動方式を備えた、脚・クローラハイブリット機構を提案し、現在、これを搭載する移動ロボットの設計、製作を進めている (図 1)。この機構により、段差や不整地と軟弱斜面の両環境において、安定した走行が可能になることが期待される。本稿では、まず、“Blade Walker” の脚機構について説明し、これを応用した脚・クローラハイブリット機構の特徴及び具体的な構成について述べる。また、試作した実機を用いた基本動作実験について報告する。

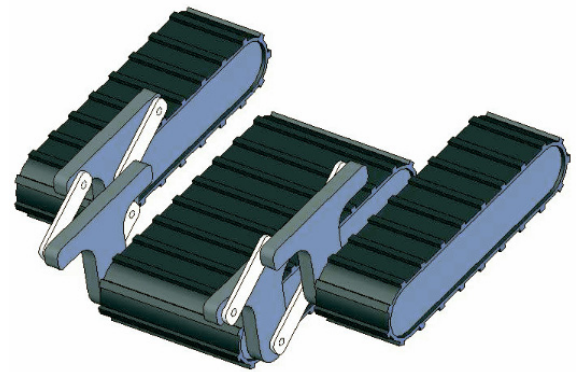


Fig. 1 Leg-track Hybrid Robot “TrackWalker”

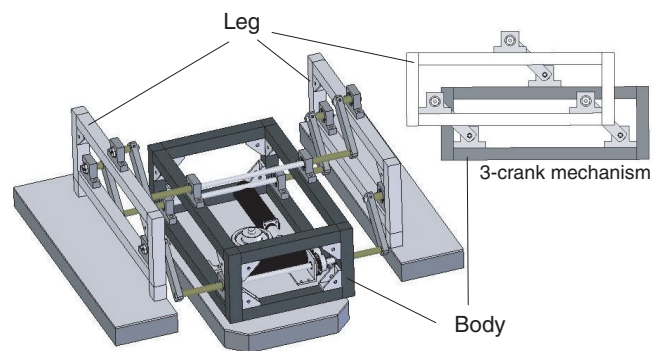


Fig. 2 Surface-contact-type Mobile Robot “BladeWalker”

2 面接触型移動ロボットの開発

移動ロボットが軟弱斜面上でスリップすることなく安定した走行を行うための重要な要素は、(1) 接地面積を大きくとる、(2) 走行中に土壌を崩壊させない、の2点である。また、信頼性・耐久性の点から、機構はできるだけ単純であることが望ましい。そこで、筆者らは、接地面積を大きくとりつつ、土壌を削らずに走行可能な単純脚機構を有する移動ロボット “Blade Walker” (図 2) を開発し、その走破性能を実験的に検証してきた。以下に、この機構の特徴及び問題点について述べる。

2.1 面接触型移動ロボットの脚機構

“Blade Walker” の並進移動機構には、図 2 の右に示すように、3-クランクによる平行クランク機構 [6] を採用した。この機構では、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、脚部全体が本体に対して常に平行な状態を保ちながら回転運動を行う。

この脚機構を採用した “Blade Walker” の並進移動の動作シーケンスを図 3 に示す。この図に示すように、このロボットは、本体と脚部を交互に地面に接地させ、重心移動

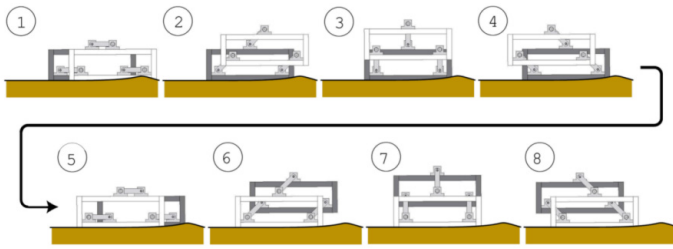


Fig. 3 Sequence of translation

により前進する．これにより，土壌を崩さず踏み固めるようにして前進することが可能となる．

2.2 軟弱斜面上での走行性能評価実験

屋内走行実験

“Blade Walker”の軟弱斜面上における走行性能を検証するため，まず，屋内のテストフィールドで走行実験を行った．この実験は，研究室にある豊浦砂（粒径の揃った粘性の低い砂）フィールドを6[deg]傾けたものを使用した．このフィールドにおいて，本ロボットは，全くスリップすることなく，安定した走行が可能であることが確認された．

屋外走行実験

次に，実環境における“Blade Walker”の有用性を確認するため，雪斜面と砂山での走行実験を行った．ただし，このときの脚及び本体裏側の接地面には，パドル形状を採用した．まず，雪斜面での実験の様子を図4左に示す．斜面の傾斜は35~40[deg]程度であったが，転倒することなくこの斜面を踏破することができた．また，図4右に示すように，走行後の斜面にパドルの跡がはっきりと残っていることから，雪の斜面においては，ほとんどスリップせずに走行したことがわかる．

次に，砂山における走行実験の様子を図5左に示す．ここで用いた砂山の傾斜は約40[deg]であったが，雪斜面での実験と同様，転倒することなく踏破することができた．しかしながら，図5右に示すように，斜面上の砂が大きく崩壊してしまっていることから分かる通り，走行時，比較的大きなスリップを伴っていた．これより，軟弱地盤上で安定した走行を行うには，より牽引力を発揮する接地面形状の検討が必要であることがわかった．

以上の屋内及び屋外での走行実験により，面接触型移動ロボット“Blade Walker”は，軟弱斜面上において高い走破性能を発揮するということが実証された．

2.3 段差踏破における問題点

単純脚機構を有する“Blade Walker”は，軟弱斜面上では高い走破性能を発揮するが，段差や岩場における踏破性能は，クランクの軸間距離によって制限される．前節で紹介した実機では，クランクの軸間距離は80[mm]に設計しているため，最大80[mm]の段差を乗り越えることが可能である．現実には，40~60[mm]程度の段差であれば，問題なく踏破できることが確認されたが，これ以上の高さの段差踏破は，非常に困難である．

クランクの軸間距離を長くすることにより，この問題は改善されるが，現実問題として，クランクを長くすると，



Fig. 4 Traverse on snow-covered slope



Fig. 5 Traverse on sand dune

本体を持ち上げるための，より大きなトルクが必要となるため，エネルギー効率が低下するといった問題や，走行時の重心移動が激しくなり斜面走行時における後方への転倒の危険性が高くなるなどの問題が生じるため，クランクの軸間距離を長くすることは，困難である．

3 脚・クローラハイブリット機構“Track walker”

先に述べた，段差踏破の問題を解決するため，本研究では，“Blade Walker”に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の特徴を併せ持つ，脚・クローラハイブリット機構の提案および試作を行った．

この機構の特徴は，基本構造は“Blade Walker”と同じであるが，本体及び脚部が全面クローラとなっているため，脚移動だけでなく，クローラ移動が可能であるという点である．さらに，脚部は，図6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ため，脚移動だけでは乗り越え不可能な段差であっても踏破することが可能となる．実際に，我々の研究室でも，クローラアームを4つ有するレスキューロボット“Kenaf”を所有しており，図7に示すようなブロックで造られた不整地を，クローラアームをコントロールすることで踏破可能であることを実証した[7]．

試作した脚・クローラハイブリット機構“Track Walker”の外観を図11に，仕様を表1に示し，試作した提案機構の詳細を，以下で説明する．

3.1 脚機構

歩行動作のための脚機構には，“Blade Walker”と同様に，3-クランクによる平行クランク機構を採用した．これは，1組の能動クランクと2組の受動クランクで構成されている．駆動力伝達は，本体に取り付けられたモータから平歯車，タイミングプーリー及びベルトを介して，左右の能動クランクを回転させる．本体内部の駆動系の詳細を図8に示す．

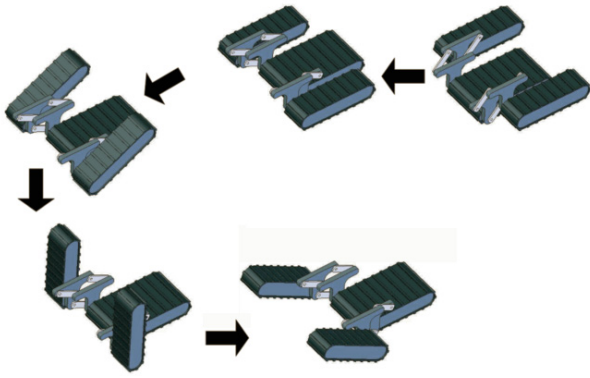


Fig. 6 Sequence of arm motion

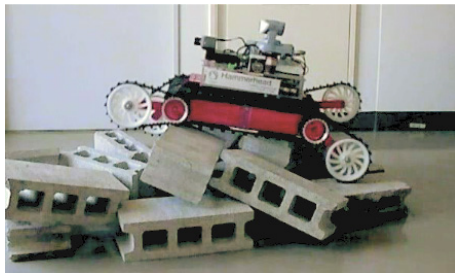


Fig. 7 Traverse on Obstacle : Kenaf

3.2 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3つのモジュールによって構成されている。それぞれのクローラベルトを駆動させるため、計3つのモータを使用しており、それぞれ独立で駆動させることができる。また、脚部には、クローラアームを駆動させるためのモータが左右1つずつ取り付けられており、左右独立で駆動させることができる。

クローラアームの駆動軸とクローラベルトの駆動軸は同軸構造とし、2つのモータをアームの駆動軸付近に設置した。こうすることで、アームの駆動軸周りの慣性モーメントをできるだけ小さくすることが可能となる。脚内部の駆動系の詳細を図9に示す。

3.3 コントロールシステム構成

本機体は、脚による歩行動作を行う部分に、3-クランクという無限回転機構を採用しているため、2つの脚と本体との間を、ケーブルで接続することが困難である。そこで、本研究では、各モジュール毎に、モータを駆動・制御するためのバッテリー（ニッケル・水素蓄電池 eneloop）、マイコン（H8/3048F-ONE, H8/3664：イエローソフト社製）及びモータドライバ（1Axis DC power Module：HiBot社製）を搭載し、独立のモジュールとすることとした。現状の実装としては、各モジュールと地上局間通信を ZigBee を用いた無線シリアル通信（ZIG-100B：ベストテクノロジー社製）により実現し、各モジュールに搭載されたモータは、地上局から独立に制御することとした。本機体のシステムブロックを図10に示す。

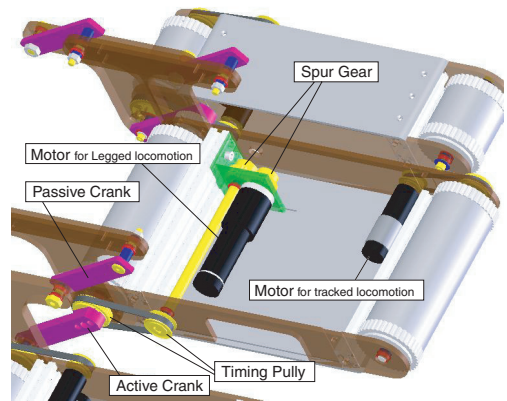


Fig. 8 Driving Unit in the Body

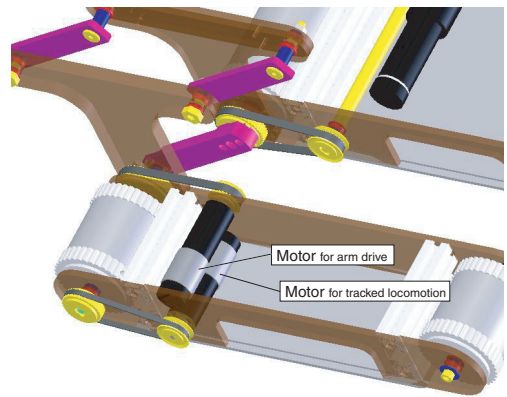


Fig. 9 Driving Unit in the Leg

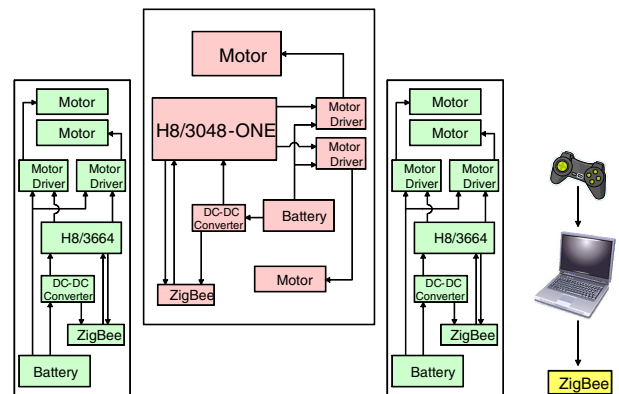


Fig. 10 System diagram

4 基本動作実験

試作した脚・クローラハイブリット機構 “Track Walker” を用いて、平地における基本動作実験を行った。

まず、試作した脚機構を用いて、平地における並進移動実験を行った結果、本ロボットは、“Blade Walker”と同様、本体と両サイドの脚部を交互に地面に接地させつつ、脚移動が可能であることが確認できた。よって、砂山のような

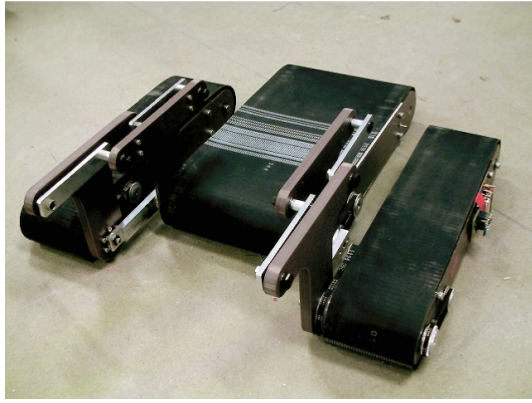


Fig. 11 An overview of Leg-track Hybrid Robot “Track-Walker”

軟弱斜面であっても，土壌を崩さず，安定した走行が可能となることが期待できる．

次に，試作したクローラ機構を用いた並進移動実験により，3つのクローラモジュールが同期して動作を行うことを確認した．また，旋回動作については，脚機構により本体を持ち上げた状態で，左右の脚部のクローラをそれぞれ逆回転させることにより，平地における旋回動作を行うことが可能であることを確認した．

さらに，クローラ機構ならびに，クローラアームを用いた段差踏破実験を行った．設定した段差は，コンクリートブロックを用いて製作したもので，高さは220mmである．段差踏破動作の様子を図12に示す．この実験により，脚移動だけでは到底不可能な段差であっても，踏破可能であることが確認できた．

5 結言

本稿では，砂山などの軟弱斜面だけでなく，段差や岩場などの凹凸の激しい不整地に対しても高い走破性能を発揮することを目的とした脚・クローラハブリット機構の提案を行い，試作した機構の基本構成について紹介した．また，実機を用いた基本動作実験により，基本性能の確認を行った．

今後は，軟弱斜面走行実験や不整地走行実験を通して，軟弱斜面及び不整地における実機の有用性を検証する予定である．また，屋外フィールドでの実際の探査活動を想定し，センサやカメラの搭載に加え，より信頼性の高い構造を有する第2次試作機的设计，開発を行う予定である．

Table 1 Specification of “Track Walker”

Length	520mm~750mm
width	480mm
Hight	155mm~245mm
Leg Unit L×W×H	365mm×100mm×70mm
Body Unit L×W×H	365mm×200mm×70mm
Distance between crank axis	90mm
Weight	9.4kg

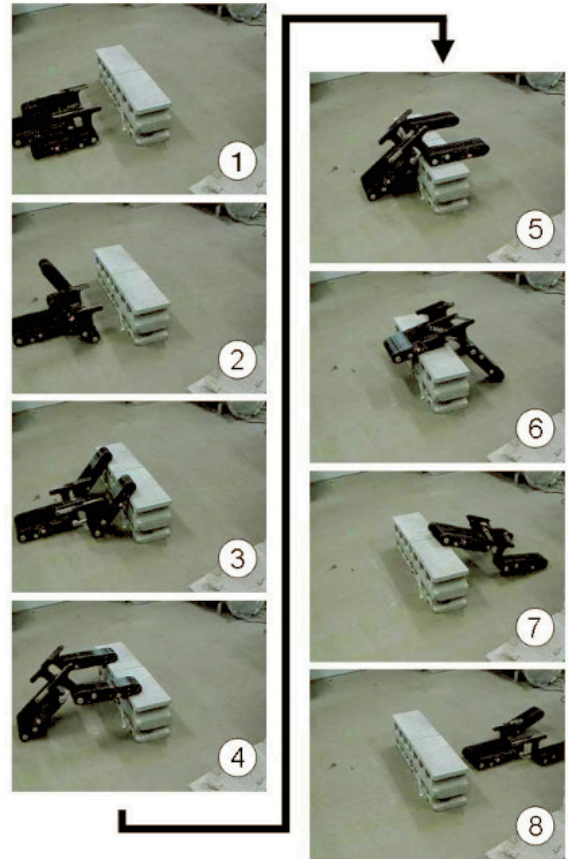


Fig. 12 Traverse on Obstacle : TrackWalker

文献

- [1] Hideyuki Tsukagoshi, Masashi Sasaki, Ato Kitagawa, and Takahiro Tanaka. Design of a higher jumping rescue robot with the optimized pneumatic drive. In *Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2005)*, pp.1288-1295, 2005.
- [2] H. Miyanaka, N. Wada, T. Kamegawa, N. Sato, S. Tsukui, H. Igarashi, and F. Matsuno. Development of a unit type robot” KOHGA2” with stuck avoidance ability. In *2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pages 3877-3882, 2007.
- [3] M. Guarnieri, I. Takao, EF Fukushima, and S. Hirose. HE-LIOS VIII search and rescue robot: Design of an adaptive gripper and system improvements. In *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2007. IROS 2007*, pages 1775-1780, 2007.
- [4] Kenjiro Tadakuma, Riichiro Tadakuma, and Jose Berengueres. Tetrahedral mobile robot with spherical omnidirectional wheel. *Journal of Robotics and Mechatronics*, 20(1):125-134, 2008.
- [5] 吉田和哉, 永谷圭司, 多田隈健二郎, and 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. In *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 2P1-D17(1)-(4)*, 2009.
- [6] 芦葉清三郎. 機械運動機構. 技報堂出版株式会社, 1987.
- [7] 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.