T2R2 東京工業大学リサーチリポジトリ
Tokyo Tech Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	フナ虫を規範としてはね付クローラの開発 ―横方向移動の不整地踏破性検証―
Title(English)	Blade-Type Crawler Vehicle Bio-inspired by a Ligia exotica ―Analysis of lateral Rough Terrain―
著者(和文)	山田 泰之, 遠藤 玄, 中村 太郎
Authors(English)	Yasuyuki Yamada, Gen Endo, Taro Nakamura
出典(和文)	ロボティクス・メカトロニクス2016講演論文集, , , 2A1-17b7
Citation(English)	Proceedings of the 2016 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, , , 2A1-17b7
発行日 / Pub. date	2016, 6

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

フナ虫を規範としてはね付クローラの開発
—横方向移動の不整地踏破性検証—

Blade-Type Crawler Vehicle Bio-inspired by a Ligia exotica
—Analysis of lateral Rough Terrain—

○正　山田　泰之（中央大），正　遠藤 玄（東工大）　正　中村　太郎（中央大）

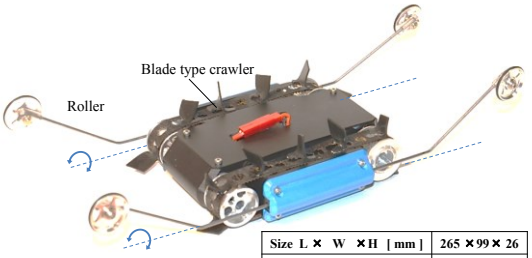
Yasuyuki YAMADA, Chuo University, yamada156@2009.jukuin.keio.ac.jp
Gen ENDO, Tokyo Institute of Technology
Taro NAKAMURA, Chuo University

Unmanned rescue, observation and/or research vehicles with high terrain adaptability, fast velocity and high reliability to reach difficult rough terrain locations are still demanded, but most vehicles increase rough terrain adaptability at the expense of low velocity and/or complex mechanisms. We proposed the KEIOS consisting of a very simple blade-type crawler belt and active antennas with rollers, resembling a wharf roach. This configuration assures stable travelling over uneven terrain at high-speeds, with a very simple and reliable mechanism. We made and tested the first small mechanical prototype, and got successful results from experiments on uneven rough terrain at a high-speed traveling, and also lateral travelling and jumping motions. In this paper, we examined the trade-off of forward traveling and lateral travelling.

Key Words: *UGV, Crawler vehicle, Bio-inspired*

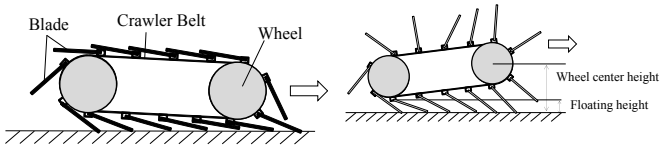
1.　緒言

災害観測・救助等のため情報収集や作業を行う不整地移動ロボットが多数開発されている(1). 不整地走破性を高める方法としては，リジットなラグをクローラや車輪に取り付ける方法が盛んに行われている．特に宇宙ローバではラグ付の駆動輪による牽引力とスリップについての特性が研究されている(2)．これらの目的とする環境は地面が柔らかく，移動速度がとても遅い．一方で，例えば火山噴火時の観測などの自然観測などへの応用を考えた場合，状況が時々刻々と変化するため，情報収集の速さ，目的地への到達速さが重要である．そこで，著者らは不整地走破性と移動速度を両立するはね付きクローラを開発した (3)．さらに，フナ虫の前後に伸びた長い触覚形状と多足歩行を模擬して，小型かつ低自由度ながら高い不整地踏破性確保を目指した小型の不整地走行車両 KEIOS-I(図 1)を開発した(4)．はね付クローラによる前後方向の移動と，マルチパーパスアンテナによる真横方向への移動が可能である．本報告でこの KEIOS の前後移動と真横移動性能のトレードオフ関係について検討した．



Size L × W ×H [mm]	265 ×99× 26
Mass [g]	255
Degree of Freedom	3

Fig. 1 Overview of the KEIOS-I and its specification



(a) Static condition　　(b) Running condition

Fig.2　Blade-Type Crawler Mechanism

2.　はね付クローラ

はね付クローラは図3のようにクローラベルトに受動的に屈曲するラグを取付けることで，低速時には図2(a)のように広い接地面を確保して走行し，高速移動時にはラグが図2(b)のように開いてホイール径を疑似的に拡大させて，ロボットと地表間に空間をつくりサスペンション機能として，地面の凹凸の影響を受けにくくし，不整地走破性能を向上させる．次に，はね付クローラの段差乗り越え時の動作について説明する．後端のはねがロボットを持ち上げることで段差の乗り越えを行う．この効果について検証するため，はねがクローラホイールに対して接線方向まで屈曲すると仮定した図3のモデルを用いる．ここでhは段差高，L_Gは重心から後クローラホイール中心までの距離，rはクローラホイール半径，H_Gは重心高，αはロボット傾斜角，lははね長である．この時のはねによる最大持ち上げ高さh_bは式(1)となる．

$$h_b = \sqrt{r^2 + \ell^2} - r \tag{1}$$

また重心の x 座標 x_G は式(2)のように表される．

$$x_G = \frac{h - \sqrt{r^2 + \ell^2} + r}{\tan\alpha} - L_G \cos\alpha - r \tan\frac{\alpha}{2} \cos\alpha + H_G \sin\alpha \tag{2}$$

段差乗越条件は重心の x 座標が負になることであるから x_G＝0 として式(3)のように変形できる．

$$h = L_G \sin\alpha + r \tan\frac{\alpha}{2} \sin\alpha - H_G \sin\alpha \tan\alpha + \sqrt{r^2 + \ell^2} - r \tag{3}$$

これより乗越可能な段差高を求められる．式(1)からはねを長くするに従ってはねによる持ち上げ高さが線形的に高くなることが確認できる．しかし，はねが長くなりすぎると，はねどうしが干渉せずに動くための取付けスパンも広くなり，走行時に上下動する振動的になる．次に式(3)を用いて，クローラとはね付クローラの踏破可能段差高とロボット傾斜角の関係を図 4 に示す．パラメータは表 1 に示す．クローラの場合 l＝0 としている．図からはね付クローラによって踏破可能段差高が高くなり，また同段差を踏破する際もロボット傾斜角度を小さくできること分かる．それぞれの場合の段差乗り越えの限界高は 50 mm のはね長 l で約 135 mm，クローラ（l=0）で 105 mm であり，踏破高は約 29 %増加である．

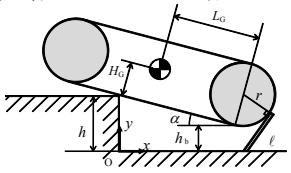


Fig.3　Parameter of Blade-type crawler vehicle

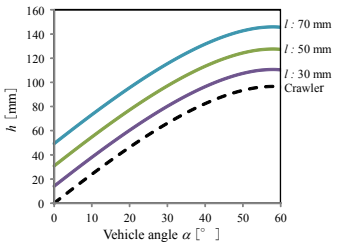
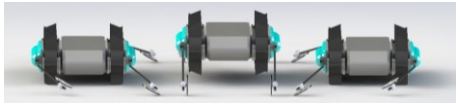


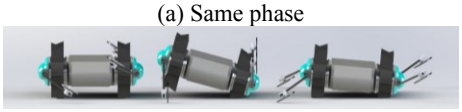
Fig. 4 Relation between step height and angle of vehicle

Table 1
Parameters

L_G	140 mm
r	25 mm
H_G	25 mm
l	50 mm



(a) Same phase



(b) Opposite phase

Fig. 5　Lateral traveling

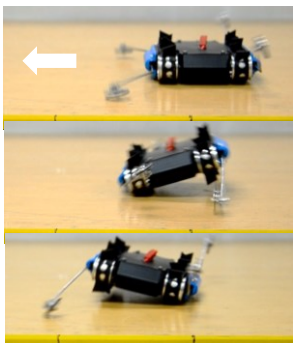


Fig. 6　Overview of lateral traveling

3.　KEIOS-I

フナ虫は前後にのびた 4 本の触覚形状で周辺の地形を読み取るだけでなく,段差を乗り越える際にサブクローラのように,あるいは姿勢を保つためのアウトリガのように利用するなど,複数の目的で利用している．著者らはこの複数の役割を果たす触角にインスパイアされ，フナ虫のように多目的な機能を持ったアンテナ機構を備えた KEIOS-I を開発した(図 1). 全長は 265 mm であり，アンテナ長は 75 mm で地面に回転軸に対して屈曲している．外観からも分かるように，表裏，前後のない対象な形状をしている．アンテナ機構は図 2 に示した軸まわりに無限回転可能である．また，左右のアンテナの回転角度によって，様々な走行形態，段差乗り越え，旋回，横方向移動，ジャンプと着地，狭地走行，滑走，衝突回避等を選択可能である．以下に障害物乗越補助と，横方向移動について詳細説明する．障害物乗越補助は，アンテナ機構をサブクローラのように利用して障害物乗越時の補助を行う．実際の車両による試験では，90 mm の段差まで踏破することが可能であった．これは KEIOS-I の全高の 3.5 倍にあたる．横方向移動は，アンテナ機構を連続回転させることで，横方向（ベルト回転歩行と直角）に移動する．図 5(a)のように，左右同位相で移動する方法と，図 5(b)のように逆位相で移動する方法がある．図 6 に逆位相で横移動した場合の様子を示す．このようにアンテナ機構を用いれば，クローラを用いて超信地旋回せずとも真横に移動可能である．

4.　横方向移動性能と前後方向踏破性能の両立

KEIOS-I において，移動性能とはね長の関係についての過去の検討から，前後方向の不整地走破性の向上には，はね長をホイール径と同等にすること，登坂時の効率向上にはホイール径と同等よりも短いはね長が有効であることが分かっている．また，ロボット全高よりも高い段差を登るためには，図 1 のように，アンテナ機構の先端部の高さを高くすることが有効であると分かっている．一方で，アンテナを用いた真横方向移動の速度や真横方向不整地走破性，および前後移動とのトレードオフについては検討されていない．そこで，アンテナでの横方向移動性能について検討する．KEIOS は真横方向移動に同位相と逆位相の 2 つの方法が存在するため，双方の場合において検討する．なお，移動性能を比較する際はアンテナの回転速度を一定とした．また，アンテナ長は左右の回転を阻害しない長さで最大とすることが段差踏破と横方向移動においても双方有利であるため，45 mm で固定とした．この条件ではね付クローラのはね長をパラメータとする．はね長は 5 mm，15 mm の 2 種類を比較し，同位相と逆位相の横方向移動において幅 5 mm のバリアの踏破性を確認した．実験の様子を図 7 に示す．このバリアの高さを可変させて，踏破できなくなるまで計測を行った．結果を表 2 に示す．実験の結果から分かるように，はね長に関係なく，アンテナの動作が同位相の場合の横移動時のみ高い踏破性を示した．段差高さが 20 mm となると，はねの付け根が段差に引っかかり，踏破できなくなった．以上の結果から，横方向移動時は，同位相歩行を行えば，はね長は移動性能に関係ないため，前後移動と左右移動の走破性の両立の観点では，前後方向の移動性能を優先してはね長を決定することが可能であると分かった．

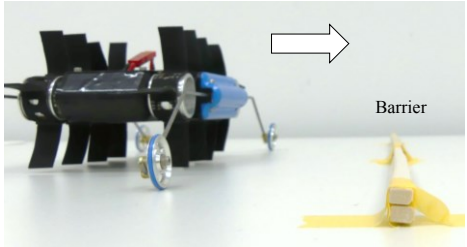


Fig.7　Overview of the experiment

Table 2 Results of experiment

	Belt lengh [mm]	15	15	5	5
	Phase	Same	Opposite	Same	Opposite
Barrier height [mm]	20	×	×	×	×
	16	○	×	○	×
	8	○	×	○	×
	0	○	○	○	○

5.　結言

不整地走破性と移動速度の両立を目指し，はね付きクローラとフナ虫の触覚形状を模擬したアンテナ機構を用いた小型移動ロボットKEIOS-Iの，前後移動と横移動性能のトレードオフについて検証した．アンテナ横移動では，同位相歩行では，はね長に関係なく横方向移動可能であるため，はね長は前後移動の性能を優先して設計することが可能であると分かった．

文　献

[1] S. Odedra, S. D. Prior, and M. Karamanoglu, Investigating the Mobility of Unmanned Ground Vehicles, Proceedings of Inter-national Conference on Manufacturing and Engineering Systems, pp.380-385, (2009).

[2] H. Nakashima, H. Fujii, A. Oida, M. Momozu, H. Kanamori, S. Aoki, T. Yokoyama, H. Shimizu, J. Miyasaka, K. Ohdoi: Discrete element method analysis of single wheel performance for a small lunar rover on sloped terrain, Journal of Terramechanics, Vol. 47, pp.307-321, 2010

[3] Yasuyuki Yamada, Miyagawa Yutaka, Ryota Yokoto and Gen Endo, Development of a Blade-type Crawler Mechanism for a Fast Deployment Task to Observe Eruptions on Mt. Mihara, *Journal of Field Robotics*, (2015).

[4] Yasuyuki Yamada, Gen Endo and Edwardo F. Fukushima, Blade-Type Crawler Vehicle Bio Inspired by a Wharf Roach, ICRA 2014, Hong Kong, China, (2014).