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)	不整地移動のための着脱可能な２自由度テール機構の提案
Title(English)	Proposal of detachable 2-DoF tail mechanism for rough terrain mobile robots
著者(和文)	細川兼奨, 遠藤玄, 鈴森康一, 難波江裕之
Authors(English)	Kensho Hosokawa, Gen Endo, Koichi Suzumori, Hiroyuki Nabae
出典(和文)	ロボティクス・メカトロニクス講演会2019 予稿集, Vol. , No. , pp.
Citation(English)	Proceedings of the 2019 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Vol. , No. , pp.
発行日 / Pub. date	2019, 6

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

不整地移動のための着脱可能な２自由度テール機構の提案

Proposal of detachable 2-DoF tail mechanism for rough terrain mobile robots

○学　細川 兼奨　（東工大）　正　遠藤 玄　（東工大）
正　鈴森 康一　（東工大）　正　難波江 裕之　（東工大）

Kensho HOSOKAWA, Tokyo Institute of Technology, hosokawa.k.ad@m.titech.ac.jp
Gen ENDO, Tokyo Institute of Technology
Koichi SUZUMORI, Tokyo Institute of Technology
Hiroyuki NABAE, Tokyo Institute of Technology

The disaster response robots usually require task-specific complicated mechanism, and thus it takes long development time. In order to solve this problem, we believe that a mechanism that enables to cross over various uneven grounds by attaching to existing mobile robots is effective. Also, step climbing problem has been postulated to 2-dimensional problem so far. However, since it actually has 3-dimensional shape when a mobile robot negotiates a step in the diagonal direction, examination on 2-dimensional alone is insufficient. Therefore, we propose a 2DoF tail mechanism that enables to climb over to a 3D high step by attaching to an existing mobile robot. We develop a prototype with lightweight and high generating force by using wire differential mechanism and wire reduction mechanism. In addition, we demonstrate the effectiveness of the mechanism by the experiment using the prototype.

Key Words: Crawler, Rough terrain movement, Wire differential drive

1　緒言

災害対応ロボットは高い不整地踏破性を必要としており，そのための機構を車体内部に搭載していた．Quince[1] はサブクローラを前後に計 4 個取り付けることで段差に対する乗り上げ及び階段の踏破も可能とした．HELIOS IX[2] は左右のクローラ部の付け根に自由度を持たせて段差への乗り上げなどを可能とした．しかし，これらの機構は車体の内部に搭載されており，他の移動ロボットに取り付けることはできない．このため，新しい災害対応ロボットを開発する際には高い不整地踏破性を付与する機構を同時に設計する必要があり，開発に長い時間を要する．また災害発生後迅速な対応を要するにもかかわらず，多様な災害現場に対応したロボットを事前に用意しておくことは困難である．これらの課題を解決する方法として，既存の移動ロボットに取り付けることで不整地踏破性を向上させるための付加機構がある．過去に，不整地踏破性を向上させる付加機構として 1 自由度テール機構 [3] が開発されている．この機構を取り付けることで，移動ロボット単体では乗り越えることができなかった階段の踏破に成功している．この機構は従来の高い不整地踏破性を持つ機構と同様に段差踏破を平面問題として考えて開発されている．しかし，実際の不整地には 3 次元的な段差があり，平面問題のみで考えたものでは横転などの危険性があるため不十分である．そこで本研究では，3 次元空間での踏破性を向上させる 2 自由度テール機構を提案する．また，試作機を開発し，段差に対して斜めに進入したときの階段踏破実験を行って有効性を検証する．

2　2 自由度テール機構の提案

3 次元空間での踏破性を向上させるために，既存の移動ロボットに着脱可能な 2 自由度テール機構を提案する．提案する機構は図 1 のように Yaw 軸回転と Pitch 軸回転の自由度を持つ．また，動作に必要なモータや制御装置も機構内部に組み込み，移動ロボットと独立した機構とする．2 自由度テール機構を用いることで，段差の垂直な踏破や段差を緩やかに降りる動作のほかに，段差に斜めに進入しての踏破や横転からの回復も可能となる．また着脱可能であることで，不整地踏破性の低い移動ロボットであっても本機構を取り付けることで階段などの高い段差をも超えることができるようになると考えられる．

3　２自由度テール機構の静力学解析

２自由度テール機構を取り付けたクローラロボットによる，段差に対して斜めに進入しての階段踏破の静力学解析を行った．解析モデルを図 2 に示す．クローラの下面及びテールが階段の角と触れているとして，静的に車体が図の右後方に転倒しない最大の高さを数値的に求めた．テールの Yaw 角 α をパラメータとして，15 度，30 度，45 度の 3 通りの段差への進入角度 ϕ で解析を行った．なお，テールの Pitch 角は，テールの先端がクローラの底面の平面上にあるように設定した．

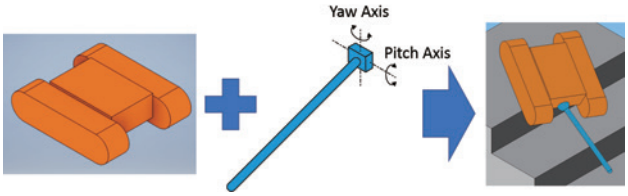

Fig.1: Detachable tail 2-DOF mechanism

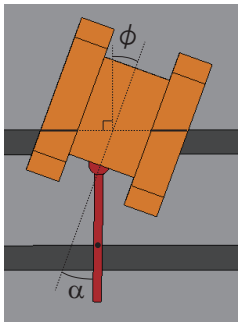

Fig.2: Analysis model

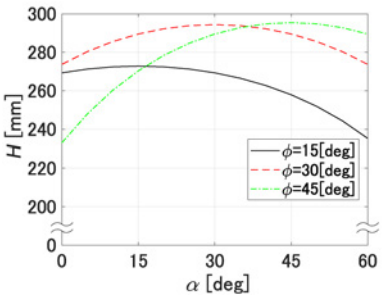

Fig.3: Result of static analysis

静力学解析の結果，テールの Yaw 角 α と階段の最大高さ H の関係は図 3 のようになった．ϕ が大きくなるほど 2 自由度テール機構の有効性が高くなり，$\phi = 45°$ では 1 自由度テール機構 (すなわち $\alpha = 0°$) に比して 27% の最大踏破高さの向上が見られる．この結果から，2 自由度テール機構は段差に対し斜めに進入したときに有効であることが示された．

4　試作機の開発

図 4 が開発した試作機である．仕様を表 1 に示す．本機構は既存の移動ロボットに後から取り付けるため，軽量かつ高出力な

Fig.4: Overview of prototype

Table 1: Specifications of prototype

重量	4.50 kg	基部横幅	164 mm
出力トルク	54.6 Nm	基部高さ	108 mm
定格最大回転数	5.06 rpm	格納時の長さ	192 mm

機構である必要がある．しかし，動力伝達をギアのみの機構とすると強度が必要になるため必要な歯車が大型化し，重量が非常に大きくなることが避けられない．そこで今回，軽量で高強度な化学繊維ワイヤとプーリを用いたワイヤ差動機構 [4] とワイヤ減速機構 [5] を組み合わせることとした．

試作機におけるワイヤの配置は図 5 のようになっている．すべてのワイヤを 2 つの回転軸の両方の受動プーリに巻きつけることでワイヤ差動機構とした．また，モータの出力軸からギアを介して伝達された軸は各軸のプーリより細くすることでワイヤ減速機構とし，4.0 倍及び 5.3 倍の減速を行っている．これらの機構を用いた結果，試作機全体で 4.50 kg という軽量かつ 54.6 Nm の高発生力を実現した．溝付きプーリを用いたワイヤの端部固定法 [6] によって，4 本のワイヤをそれぞれ固定している．2 本のワイヤ巻き取り軸において，ワンウェイクラッチを用いたワイヤのテンショナ [5] を採用した．この機構によって，繰り返して使用してワイヤが伸びたときにもテンションをかけなおすことができるようになっている．化学繊維ワイヤには Armare 社製ダイニーマ SK99[HPS+PU] 被覆なし (NA20020SOC00n001.000) を採用した．このワイヤは破断強度が 7 kN 以上と非常に強く，本機構に用いたときの破断トルクは 430 Nm 程度となり十分である．

5　段差踏破実験

開発した試作機を用いて，進入角度 ϕ とテールの Yaw 角 α を変えた時の踏破可能な階段の蹴上の最大高さ H の測定を行った．階段の蹴上の高さは 145 mm から約 12 mm 刻みで変更した．進入角度は 0°, 30°, 45° の 3 通り，テールの Yaw 角は 15° 刻みで 0° から 60° までの 5 通りの条件でそれぞれ実験を行った．1 つの条件において最大で 3 回実験を行い，2 回以上成功したものを踏破成功とした．また，実験の対象とする移動ロボットは Helios Carrier[7] とした．

実験によって得られた，テールの Yaw 角 α と踏破可能な階段の蹴上の最大高さ H の関係は図 6 のようになった．実験においても，テールの Yaw 角 α が進入角度 ϕ と同じときに踏破可能な階段の高さ H が最大となることがわかった．以上の結果から，階段に対して斜めに進入した際，2 自由度テール機構は有効であることを実験的に示した．

6　結言

移動ロボットに着脱可能な，段差踏破性を向上させるための 2 自由度テール機構を提案した．提案した機構を搭載した移動ロボットの階段の斜方踏破に関する静力学解析を行い，理論的に有効であることを確認した．ワイヤとプーリを用いた機構を用いて試作機を開発し，3 種類の進入角度において階段の最大傾斜線方向にテールが向くときに踏破可能な階段の蹴上の高さが最大となることを実験的に確認した．今後は制御法の開発を進める．

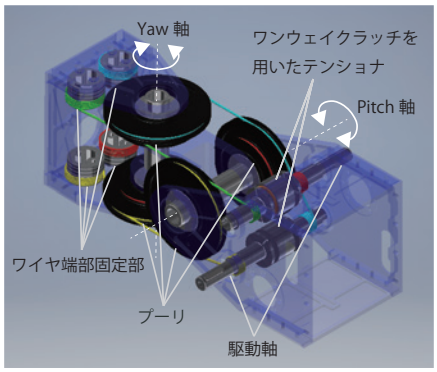

Fig.5: Wire routing of protptype

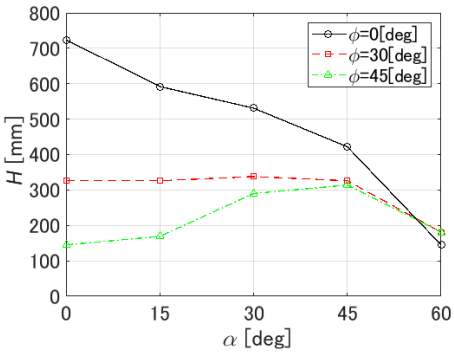

Fig.6: Result of experiment

謝辞

本研究は，文部科学省廃止措置等基盤研究・人材育成プログラム委託費により実施された「廃止措置工学高度人材育成と基盤研究の深化」の成果によるものです．

参考文献

[1] E. Rohmer, K. Ohno, T. Yoshida, K. Nagatani, E. Konayagi, and S. Tadokoro. “integration of a sub-crawlers’ autonomous control in quince highly mobile rescue robot”. In *SII 2010*, pp. 78–83. IEEE, 2010.

[2] M. Guarnieri, T. Inoh, P. Debenest, K. Takita, E. Fukushima, and S. Hirose. “helios ix tracked vehicle for urban search and rescue operations: Mechanical design and first tests”. In *IROS 2008*, pp. 1612–1617. IEEE, 2008.

[3] M. Guarnieri, P. Debenest, T. Inoh, K. Takita, H. Masuda, R. Kurazume, E. Fukushima, and S. Hirose. “helios carrier: Tail-like mechanism and control algorithm for stable motion in unknown environments”. In *ICRA 2009*, pp. 1851–1856. IEEE, 2009.

[4] 堀米篤史, 山田浩也, 洗津, 広瀬茂男, 遠藤玄. “ワイヤ干渉駆動型多関節 3 次元アームの開発 (張力伝達効率, リールの最大密度配置および先端位置精度の検討)”. 日本機械学会論文集, 第 83 巻, pp. 16–27, 2017.

[5] 北野智士, 広瀬茂男, 遠藤玄. “4 足歩行ロボット titan-xiii の設計と開発”. 設計工学, 第 51 巻, pp. 875–884, 2016.

[6] 遠藤玄, 堀米篤史, 若林陽輝, 高田敦. “高強度化学繊維を用いたワイヤ駆動系のための基礎的検討 (溝付きプーリと二重 8 の字結びによる端部固定)”. 日本機械学会論文集, 第 84 巻, pp. 18–67, 2018.

[7] M. Guarnieri, R. Kurazume, H. Masuda, T. Inoh, K. Takita, P. Debenest, R. Hodoshima, E. Fukushima, and S. Hirose. Helios system: A team of tracked robots for special urban search and rescue operations. In *IROS 2009*, pp. 2795–2800. IEEE, 2009.