

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	長距離移動を目的とした油圧4脚ロボットの設計と試作
Title(English)	Design and Prototype of a Hydraulic Quadruped Robot for Long-Distance Walking
著者(和文)	木口皓介, 難波江裕之, 山本明菜, 廣田善晴, 井手徹, 遠藤玄, 鈴森康一
Authors(English)	Kosuke Kiguchi, Hiroyuki Nabae, Akina Yamamoto, Yoshiharu Hirota, Tohru Ide, Gen Endo, Koichi Suzumori
出典(和文)	ロボティクス・メカトロニクス講演会2022講演論文集, , ,
Citation(English)	, , ,
発行日 / Pub. date	2022, 6

長距離移動を目的とした油圧 4 脚ロボットの設計と試作

Design and Prototype of a Hydraulic Quadruped Robot for Long-Distance Walking

○学 木口皓介 (東工大) 正 難波江裕之 (東工大) 山本明菜 (東工大)
廣田善晴 (東工大) 正 井手徹 (東工大) 正 遠藤玄 (東工大)
正 鈴森康一 (東工大)

Kosuke KIGUCHI, Tokyo Institute of Technology, kiguchi.k.aa@m.titech.ac.jp
Hiroyuki NABAE, Tokyo Institute of Technology
Akina YAMAMOTO, Tokyo Institute of Technology
Yoshiharu HIROTA, Tokyo Institute of Technology
Tohru IDE, Tokyo Institute of Technology
Gen ENDO, Tokyo Institute of Technology
Koichi SUZUMORI, Tokyo Institute of Technology

To date, many robots have been researched and developed for the purpose of investigation and support at disaster sites, and quadruped robots are expected to play an important role because of their superiority in traversing rough terrain and stability. At present, there are many quadruped robots driven by electromagnetic actuators for investigation and inspection, but there are few quadruped robots suitable for heavy work and carrying heavy objects. The purpose of this study is to develop a hydraulic quadruped robot that can perform heavy work even in a severe environment by utilizing the features of hydraulic actuators. As a result, the potential of the field of hydraulic quadruped robots will be opened up.

Key Words: Quadruped Robot, Hydraulic, Long-Distance, Tough Robotics

1. 緒言

今日まで、災害救助を想定した多種多様なロボットが研究・開発されてきた。中でも、脚移動ロボットは高い不整地踏破性を特長としており、段差や勾配のある環境下においても行動範囲を広くとることができる。特に 4 脚ロボットはその機動力と安定性から活躍が期待されている。近年、災害現場における調査や工場をはじめとする施設内における点検といった作業を目的とする 4 脚ロボットが数多く研究・開発されているが、それらの多くが電磁アクチュエータによって駆動されており、哺乳類型では、MIT Cheetah 3 [1]や ANYmal [2]、昆虫型では、WAREC-1 [3]や TITAN XIII [4]といったロボットが存在する。電磁アクチュエータは制御性に優れ、取り扱いも簡便だが、衝撃や高負荷の掛かる作業にはあまり適していない。

一方、BigDog [5]や HyQ2Max[6]のように油圧アクチュエータによって駆動される 4 脚ロボットも存在する。油圧アクチュエータは、油圧回路を構成する必要があるが、高い出力重量比やバックドライバビリティ、負荷状態の保持が容易であるといった特長を有している。一般に、油圧駆動ロボットにおいて、高出力のパワーバックをロボット本体に搭載することが難しく、それゆえに高い運動性能を実現できないという課題がある。しかしそれは、油圧システムと動作設計の統合的研究によって改善しうるものであると考える。

そこで本研究は、自立的に長距離の歩行を可能とする油圧 4 脚ロボット Tough Runner の開発を目的とする。4 脚ロボットの不整地踏破性能や姿勢の安定性といった能力に加え、油圧駆動システムの特長を活かすことで、重作業や重量物の運搬といった人間が危険にさらされる機会を減らすロボットとして油圧 4 脚ロボット分野の開拓を目指す。

2. Tough Runner の仕様

Tough Runner は油圧シリンダをアクチュエータとする 4 脚ロボットであり、各脚 3 自由度ずつの計 12 自由度を持つ。立位姿勢時の全容は図 1 に示すとおりである。なお、ロボット



Fig.1 Overview of Tough Runner

上部から左右を覆うように取り付けられているアルミフレームは、ロボットの運搬補助および野外で実験を行う際、転倒時の破損防止を目的としたサポートフレームであり、ロボットの構成には関与していない。サイズはおよそ、全長 1500 mm、全幅 900 mm、全高 1100 mm である。脚の配置は哺乳類型で、1 脚に対してヨー軸 1 つとピッチ軸 2 つを持つ。

また、一般に油圧シリンダはロボットに応用するにはサイズが大きく、摺動摩擦による損失も大きいものが多いが、Tough Runner には本研究室で開発された小型、軽量かつ低摺動性を特徴とするタフロボティクス用油圧シリンダ[7]を使用している。それにより、主な可動部である脚上部と下部の総重量は約 2.1 kg と軽量でありながら、21 MPa の油圧駆動時には 1 脚あたり約 60 kg のペイロードという高い出力重量比を実現している。これら油圧シリンダと脚機構を用いることで、災害現場をはじめとする不整地で想定される、踏み抜き等による衝撃に対して優れた吸収性能を発揮することを実証している[8]。

3. 歩容と安定性

Tough Runner の歩容には図 2 に示す間歇トロットを採用している。トロット歩容は、4 脚のうち対角に位置する脚同士の立脚期、遊脚期を同一とし、常に 2 脚以上で本体を支えている状態が保たれる歩容である。中でも間歇トロットは、デューティ比を 0.5 よりも大きくすることで、4 脚での立脚期を確保する歩容である。トロット歩容は、1 脚ずつを持ち上げて移動するクローラ歩容に比べて移動速度が大きく、長距離の移動を想定した場合に優位性がある。また、ギャロップやバウンスといった歩容に比較して、脚に対する衝撃力が少なく本体の姿勢角も変化しづらいため、長時間駆動及び長距離の移動に対するロバスト性を確保しやすいと考えられる。以上の理由から、間歇トロットを前提としてその周期や歩幅、脚上げ量、ゲインを調整し、それぞれの安定性に対して実験と評価を行った。

歩容の安定性に対しては、歩幅をゼロとしてその場で足踏みをさせた際の胴体部の揺動の大きさや立ち位置の停留、外乱に対する耐性などを主な評価基準とした。外乱としては、胴体部に対する側方からの外力や、障害物の踏みつけを想定して実験を行った。得られた様子を結果から、現在は周期 540 ms、デューティ比 0.8 としている。

採用した歩容に対して、側方から外力を加えて安定性を試験している様子を図 3 に示す。図 3-1 の通り機体の左側に手をかけ、引っ張る方向に外力を与えた。図 3-2 では右側の 2 脚が

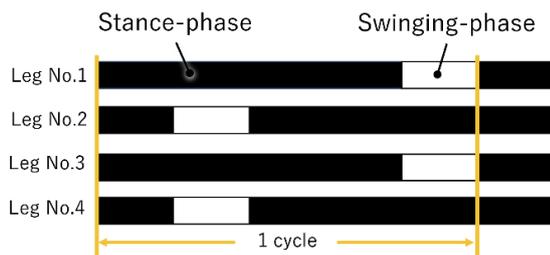


Fig.2 Intermittent trot (Duty ratio: 0.8)

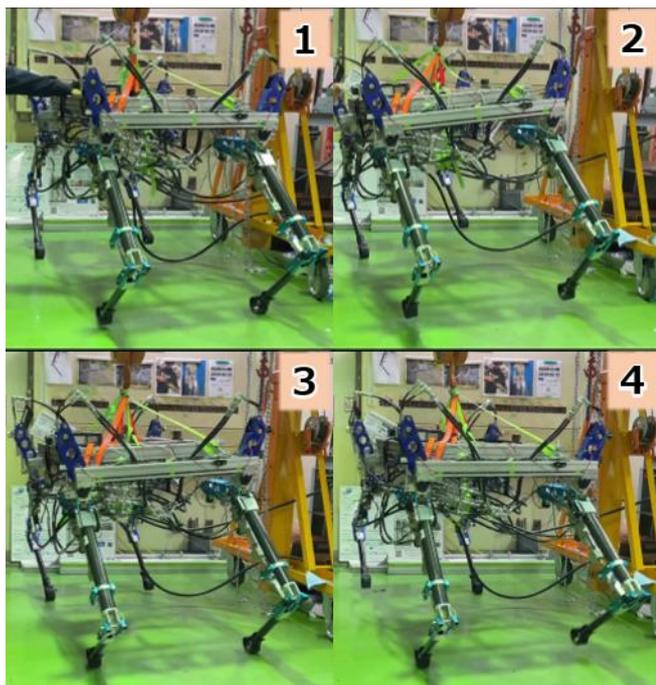


Fig.3 Reaction to external force from the side

地面から離れていることが確認できる。図 3-3 では 4 脚とも接地しているものの、左右の脚の接地点同士の間隔が狭まっていることから、ロール軸の剛性が原因で一時的にひずんでいると考えられる。しかし、その後の図 3-4 では元の図 3-1 と同様の姿勢に戻っているため、この程度の機体の傾きを与える外乱に対しては十分に耐性を持っていることが確認された。

障害物の踏みつけを想定した実験では、1 脚だけに対して 30 mm 角と 45 mm 角のアルミフレームを着地点に差し込み、その後の挙動を観察した。結果としては、図 3 で行った側方からの外力と同様、踏みつけた物体の分だけ一時的に機体は傾くものの、すぐに元の姿勢に戻り、足踏みを続けられることが確認された。

4. 結言

本稿では、長距離歩行を可能とする油圧 4 脚ロボット Tough Runner の開発と試作において得られた成果の中で、歩容を中心とした研究結果および現状を示した。

冒頭で提示した研究の目的を達成するには、依然として解決すべき課題が多く存在し、例えば、動力源である油圧パワーパックをロボット本体に積載するために、現在使用しているものよりも小型・軽量化を実現したパワーパックの開発や、歩行実験を行う中で明らかとなった、脚機構の脆弱性をはらむ箇所の改良などが挙げられる。

これらをはじめとする課題に対しては、どれか一つの項目だけに着目しても目的を達成することはできず、局所的な視点と包括的な視点を使い分ける必要がある。以上のことを踏まえ、今後も統合的な研究を継続し、油圧 4 脚ロボットを含むタフロボットが救助者、被救助者双方の安全を保障する存在となりうることを示す。

参考文献

- [1] Bledt, G., Powell, M. J., Katz, B., Di Carlo, J., Wensing, P. M. and Kim, S., "MIT Cheetah 3: Design and Control of a Robust, Dynamic Quadruped Robot", 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Madrid, pp. 2245-2252, 2018.
- [2] Hutter, M et al., "ANYmal - a highly mobile and dynamic quadrupedal robot", 2016 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Daejeon, pp. 38-44, 2016.
- [3] Hashimoto, K et al., "WAREC-1 — A four-limbed robot having high locomotion ability with versatility in locomotion styles", 2017 IEEE International Symposium on Safety, Security and Rescue Robotics (SSRR), Shanghai, pp. 172-178, 2017.
- [4] Kitano, S., Hirose, S., Endo, G. and Fukushima, E. F., "Development of lightweight sprawling-type quadruped robot TITAN-XIII and its dynamic walking", 2013 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Tokyo, pp. 6025-6030, 2013.
- [5] Raibert, M., Blankespoor, K., Nelson, G. and Playter, R., "BigDog, the Rough-Terrain Quadruped Robot", IFAC Proceedings Volumes 41, 10822-10825, 2008.
- [6] Semini, C. et al., "Design of the Hydraulically Actuated, Torque-Controlled Quadruped Robot HyQ2Max", IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol. 22, no. 2, pp. 635-646, 2017.
- [7] Nabae, H., Hemmi, M., Hirota, Y., Ide, T., Suzumori, K., and Endo, G., "Super-low friction and lightweight hydraulic cylinder using multidirectional forging magnesium alloy and its application to robotic leg", Advanced Robotics, vol. 32, no. 9, pp. 524-534, 2018.
- [8] 谷晃輔, 辺見森象, 廣田 善晴, 難波江裕之, 遠藤玄, 鈴森康一, "タフロボット用油圧シリンダを用いた耐衝撃脚機構", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2019, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2019 予稿集, 一般社団法人 日本機械学会, Jun. 2019.