

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	油圧駆動4脚ロボットの開発と歩行実験
Title(English)	Development of Hydraulic Quadruped Robot and Walking Experiment
著者(和文)	谷晃輔, 木口皓介, 難波江裕之, 山本明菜, 廣田善晴, 井手徹, 遠藤玄, 鈴木森康一
Authors(English)	Kosuke Tani, 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2021講演論文集, , ,
Citation(English)	Proceedings of the 2021 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, , ,
発行日 / Pub. date	2021, 6

# 油圧駆動4脚ロボットの開発と歩行実験

## Development of Hydraulic Quadruped Robot and Walking Experiment

学 谷晃輔（東工大）      ○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）      井手徹（東工大）  
正 遠藤玄（東工大）      正 鈴森康一（東工大）

Kosuke TANI, Tokyo Institute of Technology  
Kosuke KIGUCHI, Tokyo Institute of Technology  
Hiroyuki NABAE, Tokyo Institute of Technology, nabae.h.aa@m.titech.ac.jp  
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

Legged robots have an advantage for moving on rough terrain. Especially, quadruped robots have high posture stability. However, actuators of many legged robots are actuated by an electromagnetic motor and a speed reducer, and are vulnerable to impact. On the other hand, hydraulic actuators have a simple structure and a small number of parts, thus they are strong against impact and can generate large force. For this reason, hydraulic actuators are used in robot leg mechanisms in recent years. However, there are few development examples of leg mechanisms that achieve both high output and lightweight at the same time. In this study, we developed a hydraulic quadruped robot that has a lightweight leg mechanism and is a self-contained system. A walking experiment of the robot showed that it can walk independently.

**Key Words:** Hydraulic actuators, Leg mechanism, Quadruped robot

### 1 緒言

ロボットの移動機構には様々な種類が挙げられるが、その中でも脚式移動機構を持つ歩行ロボットは着地点を離散的に選ぶことができるため、車輪やクローラでは移動できないような不整地を移動することができる。中でも4脚ロボットは姿勢安定性が高く不整地移動に有利な機構として注目されている。しかし多くの脚ロボットに用いられている関節の駆動機構は電磁モータと減速機で構成され、減速機の部品点数の多さと構造の複雑さから転倒時の衝撃や振動に耐えられないという懸念が存在した。このようなことから飛び降りや踏み抜きなどの衝撃により、ロボットの故障や運用ができない状態になることが課題として挙げられる。

一方で油圧アクチュエータには構造が単純であり部品点数が少ないため、高出力でありながら衝撃に強いという特徴がある。また油圧アクチュエータには力密度が高い等の利点があり、近年ロボットへの応用が盛んに行われている。油圧ロボットの例としてはロボットアーム [1] や大規模作業用ロボット [2]、脚ロボットなどが挙げられる。中でも4脚ロボットは高い不整地踏破性を持つことから、小型ながら大きな力を発揮することができる4脚ロボットとしてHyQ[3]やBaby Elephant[4]、BigDog[5]などが開発されてきた。このように油圧アクチュエータは減速機構なしで高い発生力を出すことができるため、衝撃に強いアクチュエータとして脚機構の利用にも注目されている。しかし高出力と軽量であると同時に実現した脚機構の開発例は少ない。例えばBaby Elephantではロボットの可搬重量を大きくするために脚機構が複雑化、高重量化している。またポンプ等の駆動系を含めた自立動作の例も少ない。

ここまで述べたように油圧脚ロボットは高い不整地踏破能力を持ち衝撃に強いとされている。特に4脚ロボットはその安定性の高さからも不整地踏破能力に優れている。そこで本研究では軽量の脚機構を持ち自立動作可能な油圧駆動4脚駆動ロボットの開発を目的としている。本稿では開発した4脚ロボットの構成と油圧パワーパックを用いた自立歩行実験について述べる。

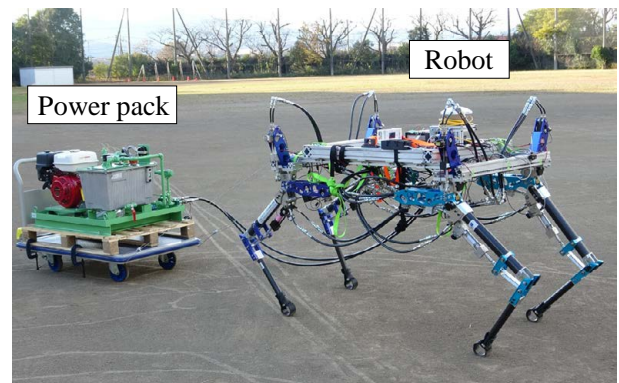


Fig.1 Developed hydraulic quadruped robot "Tough Runner."

### 2 油圧駆動4脚ロボットの開発

#### 2.1 ロボットの機構設計

開発した油圧駆動4脚ロボット「Tough Runner」を図1に示す。このロボットは各脚3自由度、合計12自由度の構成となっており、その全てをタフロボット用油圧シリンダ [6] で駆動している。ロボット本体の質量は約66 kgである。またパワーパックを搭載し自立動作をすることが可能な構成となっている。しかし現段階ではロボット本体の動作確認や脚動作の評価を主な目的としているため、実験の安全性と安定した圧力・流量を供給することを目的としパワーパックはロボットが牽引する方式を取っている。

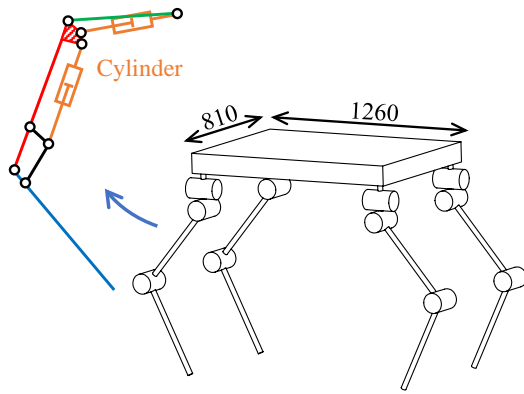


Fig.2 Joint arrangement and leg mechanism of Tough Runner.

ロボット本体の関節配置と脚機構のリンク構成を図2に示す。このロボットは12の自由度を持ち、その全てがタフロボット用油圧シリンダ [6] で駆動される。このシリンダは軽量・低摺動であることを特徴としており、脚慣性を小さくするとともに高い制御性を実現した。脚機構設計の大部分は過去に開発された機構の設計 [7] を使用している。各脚は前後対象となるように配置されている。

全ての関節にはエンコーダを搭載しており、関節角のフィードバックが可能である。また各シリンダには圧力センサも搭載可能であり、将来的にはシリンダ圧力のフィードバックによる力制御も可能な構成となっている。

## 2.2 油圧システムの構成

本ロボットに搭載している油圧システムは開回路方式を採用しており、一つのポンプの出力を各シリンダに搭載したサーボバルブにより制御することで、各関節の制御を行う。今回ポンプには開発したエンジン式パワーバックを想定しており、据置き式のポンプだけでなく自立動作も可能である。

本ロボットの動力源としてエンジン駆動の高出力油圧パワーバックが開発された。これはポンプとガソリンエンジン、フィルター、タンクなどの油圧コンポーネントを一つのユニットにまとめた構成となっている。このパワーバックはガソリンエンジンでピストンポンプを駆動しており、最高圧力 21 MPa において流量 13.8 L/min の吐出性能を持っている。サーボバルブは 21 MPa において1つあたり約 0.49 L/min の内部漏れが発生するが、それを考慮しても十分な吐出能力だと考えられる。ピストンポンプの斜板角は手で調整が可能であり、最大流量を変更することができる。またレギュレータの出力圧力も手で調整可能であり、最大圧力の変更も可能である。

## 2.3 制御システムの設計

本ロボットの制御システムは1枚のメインボードと12枚のサーボバルブ制御基板、サーボバルブ、エンコーダにより構成される。メインボードは歩容の生成や各関節の目標角度の計算、歩行中のデータ記録などを担当する。目標角度はCAN通信によりバルブ制御基板に送信する。バルブ制御基板は本研究室で開発された Titech Hydraulic Valve Controller (THVC) を用いており、1台につき1関節の位置制御を担当する。THVCではメインボードから受信した目標関節位置と、関節エンコーダによる現在角度から、位置のフィードバック制御を行う。また外部からは無線通信により緊急停止などが行える構成とした。

## 3 ロボットの歩行実験

ロボットの駆動システムまで含めた自立動作の確認として、歩行実験を行った。ここでは間歇クロール歩容 [8] とトロット歩容にて実験を行った。歩行動作については予め脚動作を生成しており、姿勢等のフィードバックによる制御は行っていない。ロボットには 20 kg のおもりを積載した状態で歩行動作を行った。油圧源としてエンジン式パワーバックを牽引している。

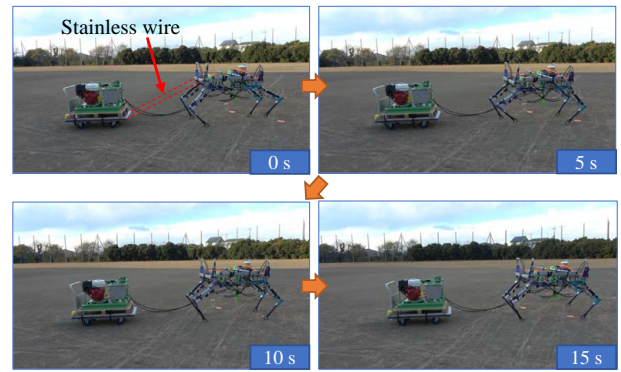


Fig.3 Intermittent crawl walking experiment.

間歇クロール歩容での実験の様子を図3に示す。実験の結果、ロボットがパワーバックを動力源として安定した自立歩行ができることを確認した。

## 4 結論

タフロボット用油圧シリンダを用いた軽量の脚機構を搭載した油圧駆動4脚ロボット「Tough Runner」を開発し、その構成について述べた。またロボットの歩行実験を行い、駆動系を含むロボットシステム全体が自立動作可能であることを確認した。

今後は油圧システムの高効率化とポンプユニットの小型化により、パワーバックを積載しての自立歩行を行う。また姿勢制御等を実装することにより安定した歩行や不整地での歩行を可能にする。

## 謝辞

本研究は東京工業大学 超スマート社会卓越教育院の教育研究活動の中で進めたものです。関係各位に深く感謝いたします。

## 参考文献

- [1] B. UR REHMAN, M. Focchi, M. Frigerio, J. Goldsmith, D. G. Caldwell, and C. Semini, "Design of a hydraulically actuated arm for a quadruped robot," in *ASSISTIVE ROBOTICS: Proceedings of the 18th International Conference on CLAWAR 2015*. World Scientific, 2016, pp. 283–290.
- [2] T. Doi, R. Hodoshima, S. Hirose, Y. Fukuda, T. Okamoto, and J. Mori, "Development of a quadruped walking robot to work on steep slopes, titan xi (walking motion with compensation for compliance)," in *Intelligent Robots and Systems, 2005.(IROS 2005)*. 2005 IEEE/RSJ International Conference on. IEEE, 2005, pp. 2067–2072.
- [3] C. Semini, N. G. Tsagarakis, E. Guglielmino, M. Focchi, F. Cannella, and D. G. Caldwell, "Design of hyq - a hydraulically and electrically actuated quadruped robot."
- [4] X. Chen, F. Gao, C. Qi, and X. Zhao, "Spring parameters design to increase the loading capability of a hydraulic quadruped robot," in *Advanced Mechatronic Systems (ICAMechS), 2013 International Conference on*. IEEE, 2013, pp. 535–540.
- [5] M. Raibert, "Bigdog, the rough-terrain quadruped robot," vol. 17, 07 2008, pp. 10 822–10 825.
- [6] H. Nabae, M. Hemmi, Y. Hirota, T. Ide, K. Suzumori, and G. Endo, "Super-low friction and lightweight hydraulic cylinder using multi-directional forging magnesium alloy and its application to robotic leg," *Advanced Robotics*, vol. 32, no. 9, pp. 524–534, 2018.
- [7] 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," *ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集*, vol. 2019, pp. 2A1–C02, 2019.
- [8] 塚越秀行, 広瀬茂男, "間歇クロール歩容の提案とその生成原理," *日本ロボット学会誌*, vol. 17, no. 2, pp. 301–309, 1999.