

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	油圧パワーパックとGNSSを用いた油圧4脚ロボットの自律歩行
Title(English)	Autonomous Walking of the Hydraulic Quadruped Robot by the Hydraulic Power Pack and GNSS
著者(和文)	木口皓介, 谷晃輔, 難波江裕之, 山本明菜, 廣田善晴, 井手徹, 遠藤玄, 鈴木康一
Authors(English)	Kosuke Kiguchi, Kosuke Tani, 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

# 油圧パワーパックと GNSS を用いた油圧 4 脚ロボットの自律歩行

## Autonomous Walking of the Hydraulic Quadruped Robot by the Hydraulic Power Pack and GNSS

○ 木口皓介 (東工大)      学 谷晃輔 (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 KIGUCHI, Tokyo Institute of Technology, kiguchi.k.aa@m.titech.ac.jp  
Kosuke TANI, Tokyo Institute of Technology  
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

We developed the hydraulic quadruped robot, “Tough Runner”, for the purpose of opening up the possibilities of hydraulic quadruped robots. In this paper, we demonstrated that this robot is able to accomplish simple missions, specifically reaching a target from an arbitrary position by being combined with the Global Navigation Satellite System (GNSS) and INS. The hydraulic drive system has some advantages such as high F/M ratio, and high back drivability. This robot is composed of hydraulic cylinders and a hydraulic power pack. Both of them are developed by our laboratory, and also installed with a GNSS receiver and an antenna in order for self-localization. That makes it possible to carry out missions autonomously.

**Key Words:** Quadruped robot, Navigation, Hydraulic

### 1. 緒言

現在に至るまで、災害現場での運用を目的として様々な種類のロボットが研究、開発されてきた。中でも、脚移動ロボットは段差や泥濘の地面があっても移動することができるという高い不整地踏破性を特長としており、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。4 脚ロボットはアクチュエータの種類で分類することができ WAREC-1 [1]や TITAN XIII [2]といった電磁モータを採用したロボットと、BigDog [3]のように油圧シリンダによって駆動されるロボットが存在する。油圧シリンダには、高 F/M 比であることや高いバックドライバリティを持つといった特徴がある。また、脚移動ロボットのナビゲーションシステムに着目すると、MIT Cheetah 3 [4]や ANYmal [5]のように屋内での運用や既定の敷地内での利用、道が存在する環境を想定し、LiDAR やカメラの画像処理による SLAM 等の、周囲環境および IMU センサから自己位置を推定するナビゲーションシステムのみを採用しているロボットが多い。しかし、特徴となるオブジェクトを喪失した大規模な被災地や広原、山中などの環境では GPS や QZSS 等の GNSS を利用した絶対位置のナビゲーションシステムが有用な手段となる。

本稿では、油圧駆動アクチュエータの特長を活かしながら自律的に長時間の動作を可能とする油圧 4 脚ロボット「Tough Runner」の開発、および GNSS 機器と組み合わせることでナビゲーション課題が自律的に達成可能であると実証することを目的とする。なお、設定したナビゲーション課題は任意の座標と本体方向から目標地点へ自律的に移動することである。

### 2. Tough Runner と油圧パワーパックの仕様

#### 2.1 Tough Runner の仕様

Tough Runner は油圧シリンダをアクチュエータとして構成した 4 脚ロボットであり、各脚 3 自由度ずつの計 12 自由度を

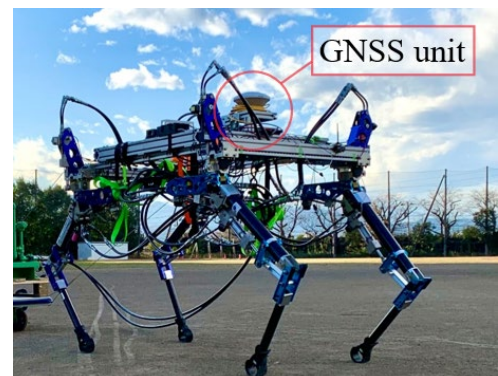


Fig.1 the developed hydraulic robot

持つ。立位姿勢時の全容は図 1 に示すとおりであり、寸法はおおよそ、全長 1500 mm、全幅 900 mm、全高 1100 mm である。

また、一般に油圧シリンダはロボットに応用するには直径が大きく、摺動摩擦による損失も大きいものが多い。そこで、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[6]を使用している。また、当油圧シリンダを脚の構成に用いることで、飛び降りや踏み抜きといった衝撃の加わる動作に優位な吸収性能を持つことを実証している[7]。

#### 2.2 油圧パワーパックの仕様

本研究室において、Tough Runner の走行に必要な P-Q 特性を持つような自立型の油圧パワーパックを開発した。この油圧パワーパックは主に、エンジン、ピストンポンプ、オイルタンク、フィルターから構成されており、油圧回路系は図 2 に示すとおりである。エンジン (Honda Motor Co., GX240) でピストンポンプ (Yuken Kogyo Co., A-16) を駆動することで作動油の供給を行い、最大で 21 MPa の圧力を供給することがで

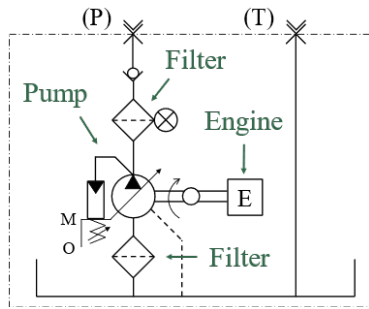
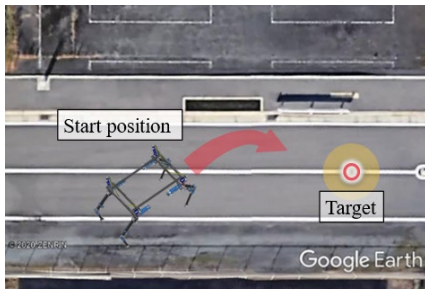
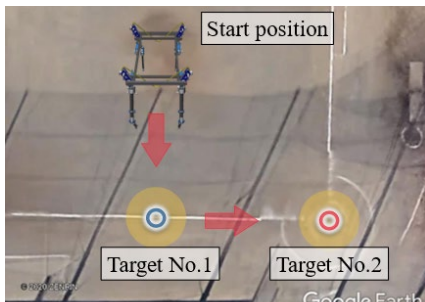


Fig.2 The hydraulic circuit of the hydraulic power pack



(a) Paved road



(b) Ground

Fig.3 The schematics of the navigation task

きる。20 MPa 駆動時の吐出量は 13.8 L/min, 14 MPa での駆動時には 20 L/min の P-Q 特性を持つ。この油圧パワーパックを動力源として用いることで独立した動作の実現に寄与している。

### 3. 野外実験と考察

#### 3.1 実験方法

Tough Runner の歩行動作およびナビゲーションシステムの実用的動作を確認するため、さがみロボット産業特区のプレ実証フィールドにて実験を行った。走行環境はアスファルト舗装された平坦な模擬道路と、若干の起伏が存在する砂地のグラウンドで、それぞれの環境において歩行動作の確認とナビゲーションシステムによる自律動作の確認を行った。ナビゲーション課題の概略図を図??に示す。目標達成の判定方法は、ロボット本体の前方に取り付けられた GNSS のアンテナが目標地点を中心とする半径 1.5 m の円内 (図 3 : 黄色の円) に侵入することである。本体方向については、舗装道路での実験では目標地点に対して 45° 程度傾けた状態 (図 3a) から、グラウンドでの実験では、通過地点へ向けた状態 (図 3b) から開始するものとしている。

歩行開始後は外部からの方向指示と停止指示を行わず、自律的に目標達成の判定と停止をするまでの動作確認を行った。ナビゲーションによる動作指示は、直進、右旋回、左旋回、

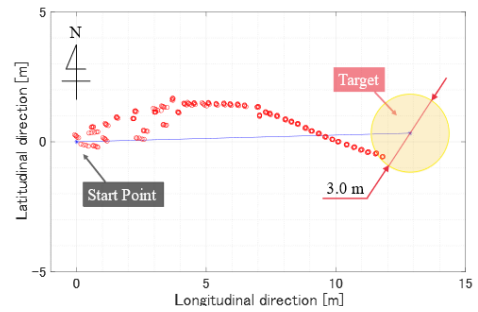


Fig.4 The result from the field test in the paved road

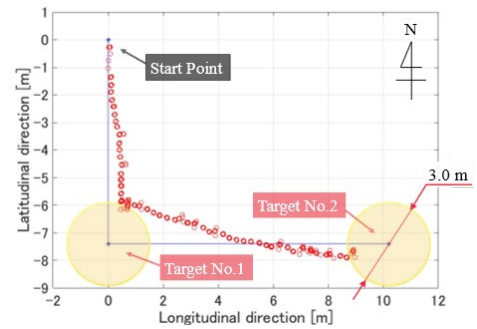


Fig.5 The result from the field test in the ground

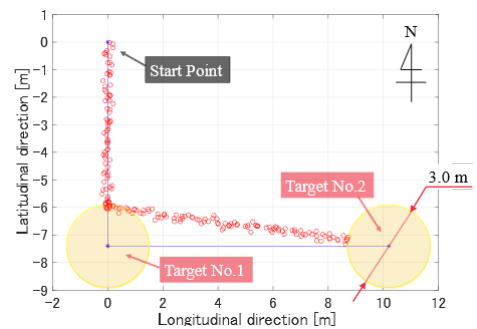


Fig.6 The result from the simulation by MATLAB

動作停止の 4 種類とし、ロボットは動作周期ごとに次の動作指示を読む。ロボットへは目標地点の緯度・経度の情報をあらかじめ入力しており、目標地点との距離や目標地点までの角度はこの座標を用いて算出している。

#### 3.2 結果

舗装道路での目標地点を 1 点とする結果を図 4, グラウンドにて行った通過点を含む 2 点を目標地点とする結果を図 5 に示す。なお、結果のグラフでは実験によって得られた GNSS の緯度経度のデータを、スタート地点を原点、単位長さを 1 [m] とした座標系に変換を行っている。それぞれ、評価の基準となる円内に入ったタイミングで方向転換および停止動作がとられていることが確認できる。

また、数値シミュレーションを用いて作成した軌道予測プログラムを実験と同条件で実行した結果を図 6 に示す。図 5 と比較すると、実際の野外実験の方がスタート後の直進の安定性が低いものの、軌道は概ね一致しており、事前にナビゲーションの精度を推定できることを確認した。

### 4. 結言

本稿では、油圧駆動アクチュエータの特徴を活かした自律動作可能な油圧 4 脚ロボット「Tough Runner」を開発し、所属する研究室で開発した自立型油圧パワーパックによって外部

からのエネルギー供給なしで動作することに初めて成功した。また、GNSS 機器と組み合わせてナビゲーションを行うことで自律的に目標地点へ到達できることをフィールド試験にて実証した。今後、ロボットに姿勢制御を導入することで起伏のある地面においても安定した歩行ができることを保証し、パワーパックやバルブ等の油圧駆動周りの機器を改良、開発することで長距離の自律移動を目指す。

## 5. 謝辞

本研究は東京工業大学超スマート社会卓越大学院の教育研究活動の一環として行われたものです。関係各位に深く感謝いたします。

## 参考文献

- [1] 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, 2017, pp. 172-178.
- [2] 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, 2013, pp. 6025-6030.
- [3] Raibert, M., Kevin Blankespoor, G. Nelson and R. Playter. "BigDog, the Rough-Terrain Quadruped Robot." IFAC Proceedings Volumes 41, 2008: 10822-10825.
- [4] 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, 2018, pp. 2245-2252.
- [5] Hutter, M et al., ANYmal - a highly mobile and dynamic quadrupedal robot, 2016 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Daejeon, 2016, pp. 38-44.
- [6] 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.
- [7] 谷見輔, 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.