T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題	タフロボット用軽量・低摺動・大出力油圧アクチュエータによるロボット脚の駆動
Title	Driving Robotic Leg by Lightweight, Low Friction, High Power Hydraulic Actuator for Tough Robots
著者	辺見森象, 廣田善晴, 難波江裕之, 遠藤玄, 鈴森康一
Author	Morizo Hemmi, Yoshiharu Hirota, Hiroyuki Nabae, Gen Endo, Koichi Suzumori
掲載誌/書名	ロボティクス・メカトロニクス講演会2017講演論文集, Vol. , No. , pp.
Journal/Book name	Proceedings of the 2017 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Vol. , No. , pp.
発行日 / Issue date	2017, 5
URL	http://www.jsme.or.jp/publish/transact/index.html
権利情報 / Copyright	本著作物の著作権は日本機械学会に帰属します。
Note	このファイルは著者（最終）版です。 This file is author (final) version.

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

タフロボット用軽量・低摺動・大出力油圧アクチュエータによるロボット脚の駆動

Driving Robotic Leg by Lightweight, Low Friction, High Power Hydraulic Actuator for Tough Robots

○学　辺見森象（東工大）　　廣田善晴(東工大)
正　難波江裕之（東工大）　正　遠藤玄(東工大)
正　鈴森康一(東工大)

Morizo HEMMI, Tokyo Institute of Technology, hemmi.m.aa@m.titech.ac.jp
Yoshiharu HIROTA, Tokyo Institute of Technology
Hiroyuki NABAE, Tokyo Institute of Technology
Gen ENDO, Tokyo Institute of Technology
Kouichi SUZUMORI, Tokyo Institute of Technology

Disaster responding robots mainly uses electromagnetic motors and reducers, but they are weak to shock and spoil robots' toughness. Hydraulic actuators, on the other hand, have not only shock-resistance, but also high F/M ratio and backdrivability. They are useful characters to disaster responding robots. But hydraulic actuators were often used to constructing machines or plant facilities, they were too big, heavy, and high friction to apply them to robots. In this paper, we use a lightweight, low friction, high power hydraulic cylinder for tough robots to actuate a robotic leg. The cylinders realize lightweight by utilizing Multi-Directional Forging magnesium alloy, high controllability by applying low frictional pistons, and hi power by setting its driving pressure 35 MPa. Using the cylinder, the robotic leg can lift up 65 kg weight and jump about 300 mm.

***Key Words*:** Tough robotics, Hydraulic actuators, Robotic leg

1. 緒言

現在多くの災害対応ロボットはアクチュエータに電磁モータと減速器を用いているが，減速器は衝撃に弱く，ロボットのタフさを損なう原因となっている．これに対し，油圧アクチュエータはその仕組から衝撃に強いだけでなく，高い F/M 比やバックドライバビリティといった，災害環境下で使われるロボットに適した特徴を持っている．ただし，油圧アクチュエータの主な用途は工場機械や建築機械であり，大きく重い，摺動抵抗の高いものが一般的であるため，直接ロボットに応用することは難しい．この研究では，油圧メーカーとの協力の下，ロボット特有の要求に応えて開発された油圧シリンダ[1]を用いた脚システムを開発し，シリンダの評価のための動作実験を行った．

同じようにロボット用油圧アクチュエータを開発した例としては iit の HyQ[2], HyQ2max[3]とアクチュエータ ISA[4]や，SJTU の BabyElephant[5]とアクチュエータ Hy-Mo[6]が知られているが，このアクチュエータでは特に低摺動，大出力化に重点が置かれている．

2. 概要

油圧ロボットとタフロボット用軽量・低摺動・大出力油圧アクチュエータの有用性を示すため，このシリンダを用いたタフロボット脚の 1 関節モデルを開発した(図 1)．このタフロボット脚 1 関節モデルは広い可動範囲をとるために 4 節リンクを採用した．この脚は 1 関節 1 自由度であり単体では自立できないため，この脚の上下端を垂直に立てたスライドレール上にそれぞれ固定してスクワットやジャンプといった動作を行う．脚とシリンダの状態を検出するため，ひざの角度を検出する磁気式エンコーダ(KP1013A，サスティナブルロボティクス製)と，シリンダの各ポート圧力を検出する圧力計(NAT400.0A，Trafag 製)を搭載した．脚の仕様を表 1 に示す．

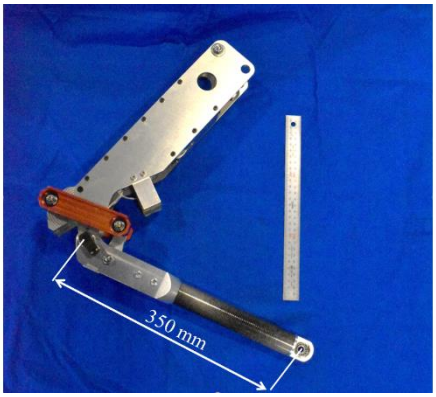


Fig.1: Developed robotic leg

3. アクチュエータ

この脚モデルの駆動には，タフロボット用に開発された軽量・低摺動・大出力な油圧シリンダの組み合わせパッキン版を用いる．このシリンダは多軸鍛造マグネシウム合金の採用などにより小型，軽量でありながら 35 MPa での使用が可能であり，運動性能の改善が期待できる．ただし，用いるサーボバルブ(HS210-006，PSC 製)の定格圧力が 21 MPa であるため，脚は 21 MPa での動作とする．電磁モータを用いたロボットの場合，力制御をするためには力センサを搭載しなければならな

Dry weight		3.6 kg
Dimensions (Upright state)	Height	732 mm
	Length	131 mm
	Width	98 mm (Without pressure sensor)
	Thigh	350 mm
	Lower leg	350 mm
DoF		1 (Knee)
Actuator		Lightweight, Low Friction, High Power Hydraulic cylinder (Combination packing type)
Power		21 Mpa Hydraulic (External)
Sensors		Encoder(Knee), Presure sensors
Maximum torque		320 Nm (-23°)

Table.1: Specifications of the robotic leg

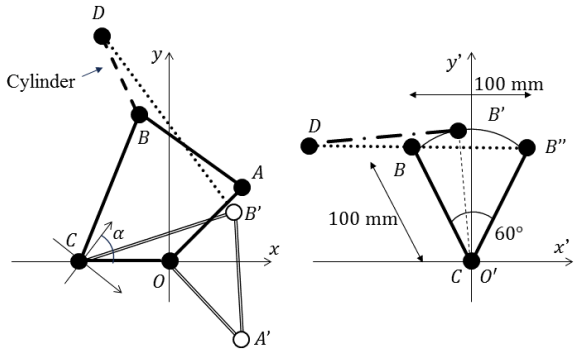
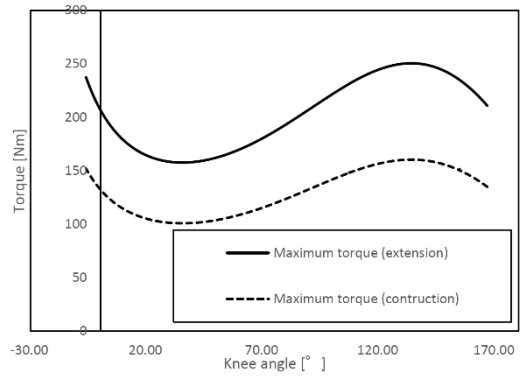
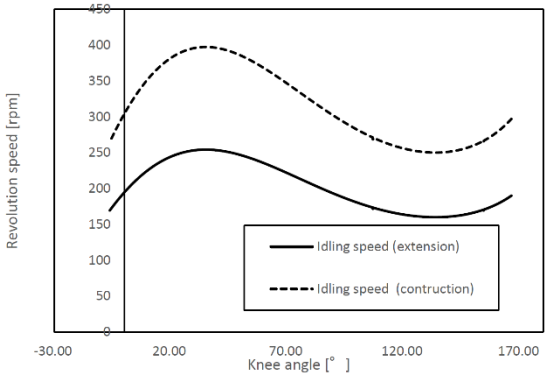


Fig.2: Link design of robotic leg



(a) Torque



(b) Rotational speed

Fig.3: Calculation of torque and rotational speed values with designed parameter

いが，力センサは一般的に衝撃に弱く，ロボットのタフさを損なう原因となる．油圧シリンダを用いる場合はシリンダの各ポート圧力を計測できれば，各ポート側のピストン面積から発生力が推定でき，衝撃に強い圧力センサによる力制御が可能となる．ただし，測定圧力にはシリンダの摺動抵抗が含まれるため，力制御の精度は力センサを用いる場合に比べ低くなってしまう．この脚では，摺動抵抗の低いシリンダと圧力センサを組み合わせることで，比較的良好な精度を保ったまま耐衝撃性を改善することができた．

4. 四節リンクの設計

油圧シリンダで四節リンクを駆動する場合，関節の駆動トルクは一定とはならず，シリンダとリンクの位置関係やリンクパラメータなどによって異なった特性や可動範囲となる．この脚では様々な動作を行うため，180 度程度の広い可動範囲と，できるだけ一定に近いトルク，速度特性を目標とした．このような特性を得るため，リンクパラメータとシリンダの位置について最適化を行った．この最適化では，四節リンクとシリンダ端点を図 2 左のように置き，トルク最小値の最大化

$$\max[\min T(\overline{OA}, \overline{OC}, \overline{AB}, \alpha, \theta] \quad (1)$$

を，

$$\phi_{max} - \phi_{min} \geq \pi \quad (2)$$

$$40 \leq \overline{OA}, \overline{OC}, \overline{AB} \leq 200 \text{ [mm]} \quad (3)$$

$$0 \leq \alpha \leq 180 \text{ [deg]} \quad (4)$$

の条件の下行った．簡単のためシリンダと，シリンダにより直接駆動されるリンクの位置関係と長さは図 2 右のように置いた．最適化の結果，$\overline{OA} = 39.6$ [mm], $\overline{OC} = 73.1$ [mm], $\overline{AB} = 48.0$ [mm], $\alpha = 48.0$ [deg]となった．得られたトルクと無負荷回転数のグラフを図 3 に示す．

5. 動作実験

前章のように開発されたシリンダを，実際に動作させ評価実験を行う．実験装置は図 5 のようになっており，油圧ポンプ(標準油圧ユニット，油研工業製)，サーボバルブ(HS210-006, PSC 製)，サーボバルブ用アンプ(CA250-003-001，PSC 製)，デジタルシグナルプロセッサ(DSP : DS1104，dSPACE 製)，ロータリーエンコーダ(KP1013A，サスティナブルロボティクス製)と，シリンダ各ポート圧力を検出する圧力計(NAT400.0A, Trafag 製)より構成される

5.1 スクワット動作

この動作は位置制御によって行った．得られたリンク特性から 150 度程度の可動範囲において負荷荷重約 65kg でのスクワット動作ができると考えられる．負荷荷重約 55kg(おもり 50 kg+装置約 5 kg)での動作を行った様子が図 6 である．また，負荷荷重 65kg でも正常な動作が確認できた．

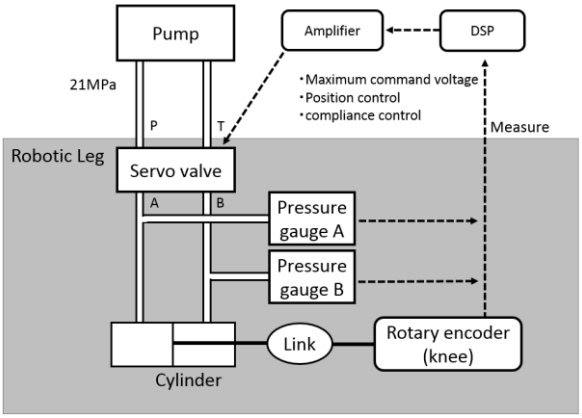


Fig.5: Experimental system of squatting and jumping

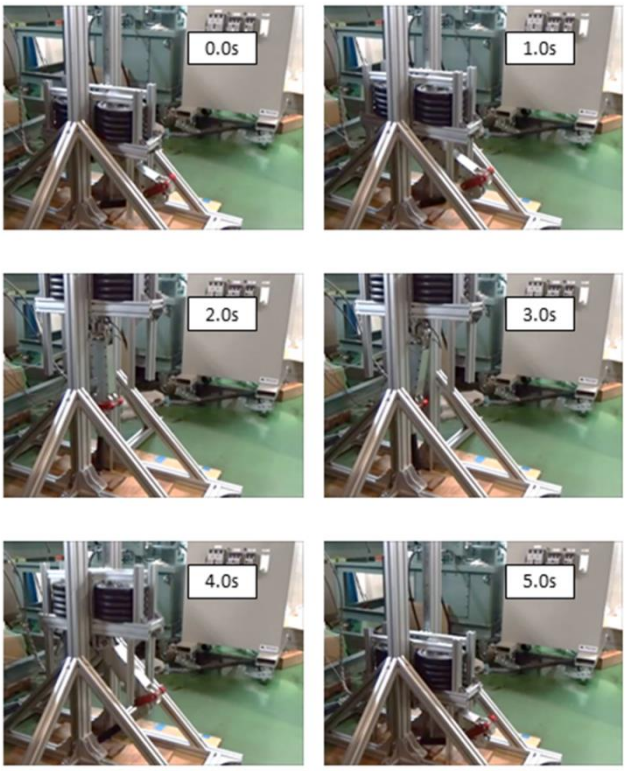


Fig.6: Photos of squatting with 55 kg weight

5.2 ジャンプ動作

ャンプ動作は，加速時に要求される速度と力の範囲が広いことや，着地時に衝撃的な荷重を受けること，ジャンプ高さが脚の F/M 比に影響されることから，今回製作したタフロボット脚 1 関節モデルおよび軽量・低摺動油圧シリンダの評価に適している．

今回のジャンプ動作に用いる制御のブロック線図を図 7 に示す．今回のジャンプの制御には，3 種類の制御法を用いる．まず，ジャンプ初期の加速時に用いる，バルブ全開(図 7①)がある．これは待機状態から即座にバルブの全開状態を作るため，位置制御などではなく制御電圧の最大値を直接入力するものである．次に，空中での姿勢変更や待機時に用いる図 7②の位置制御がある．最後に，図 7③コンプライアンス制御がある．この制御は，力制御の一種であり，着地の衝撃吸収のために用いられる．この制御では，脚角度とその指令値θ，θ_{ref}に対して，K をばね定数とし，着地の際に力を受ける A ポートの指令圧力$P_{A\,ref}$を

$$P_{A\,ref} = K(\theta_{ref} - \theta) \qquad (5)$$

のように与えて圧力の制御を行う．B ポート圧力については制御を行わない．この脚は関節の可動域から，脚の股関節側高さを 2 通りとることができる．このため脚高さを用いたつ

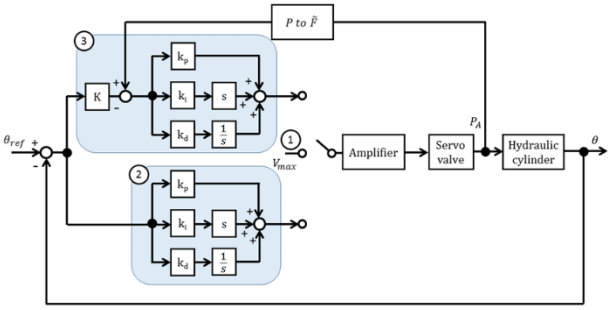


Fig.7: Block diagram of leg control in jumping test

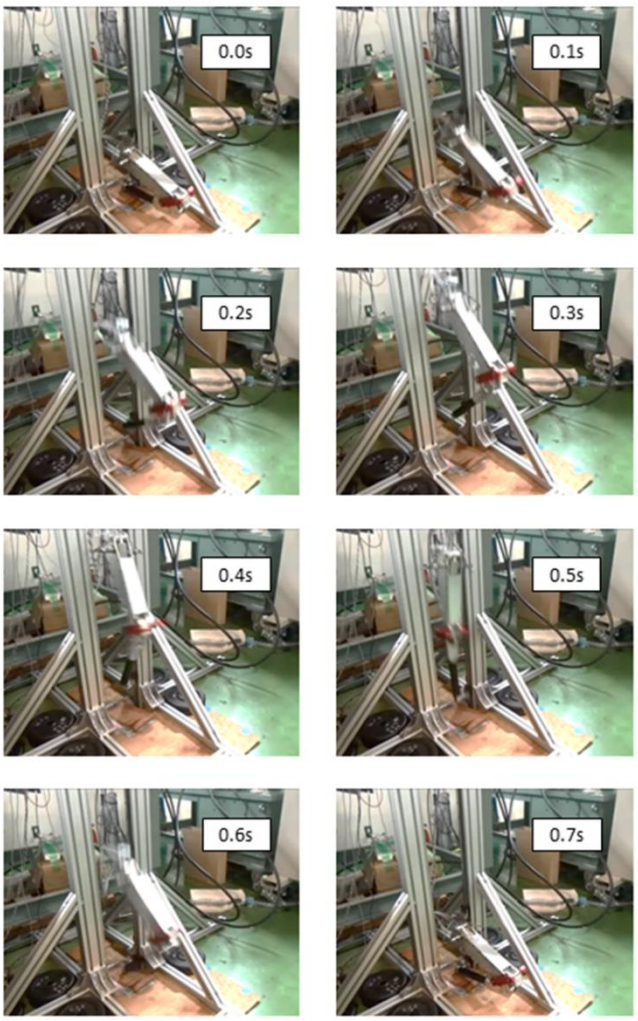


Fig.8: Photos of jumping

るまきバネのような制御でなく，ひざ関節の角度によってねじりコイルばねのような制御を行うこととした．実際の動作の様子が図 8 である．また，動画から読み取ったジャンプ高さは，約 300㎜ である．

6. 結論

ロボット脚の駆動にタフロボット用軽量・低摺動・大出力油圧アクチュエータの評価のため，ロボット脚を開発した．また，このロボット脚を用いて荷重 65 kg でのスクワットや，約 300 ㎜ のジャンプ動作を行った．

7. 謝辞

アクチュエータの詳細設計，試作において，JPN 株式会社の多大な協力を頂いたので深謝する．本研究は，総合科学・イノベーション会議により制度設計された革新的研究開発推進プログラム(ImPACT)「タフ・ロボティクス・チャレンジ」により，科学技術振興を通して委託されたものです．

参考文献

[1] 辺見森象,廣田善晴,難波江裕之,遠藤玄,鈴森康一,”タフロボット用軽量･低摺動･大出力油圧アクチュエータの開発と特性評価” ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2017

[2] Claudio Semini, Nikos G. Tsagarakis, Emanuele Guglielmino, Michele Focchi, Ferdinando Cannella , Darwin G. Caldwell, “Design of HyQ – a Hydraulically and Electrically Actuated Quadruped Robot,” IMechE Part I: J. Systems and Control Engineering, 2011

[3] Claudio Semini, Victor Barasuol, Jake Goldsmith, Marco Frigerio, Michele Focchi, Yifu Gao , Darwin G. Caldwell, “Design of the Hydraulically-Actuated,Torque-Controlled Quadruped Robot HyQ2Max,” TRANSACTIONS ON MECHATRONICS, 2016

[4] Claudio Semini, Mike Baker, Kulkarni Laxman, Venugopal Chandan, T Maruthiram, Robert Morgan, Marco Frigerio, Victor Barasuol, Darwin G. Caldwell , Gonzalo Rey, “A Brief Overview of a Novel, Highly-Integrated Hydraulic Servo Actuator with Additive-M F. Gao, C. Qi, Q. Sun, X. Chen, and X. Tian, “A quadruped robot with

[5] parallel mechanism legs,” in Robotics and Automation (ICRA), 2014 IEEE International Conference on. IEEE, 2014, pp. 2566–2566.anufactured Titanium Body,” IROS, 2016.

[6] J. Wang, F. Gao, and Y. Zhang, “High power density drive system of a novel hydraulic quadruped robot,” in ASME 2014 InternationalDesign Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. American Society of Mechanical Engineers, 2014, pp. V05AT08A093–V05AT08A093.