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	小型高出力油圧アクチュエータの開発と多指タフロボットハンドへの応用
Title	Developmet of Highperfomance Hydraulic Acutuators and their Application to Tough Robot Hand
著者	日下部雄樹, 井手徹, 廣田善晴, 難波江裕之, 鈴森康一
Author	Yuki Kusakabe, Toru Ide, Yoshiharu Hirota, Hiroyuki Nabae, Kouichi Suzumori
掲載誌/書名	ロボティクス・メカトロニクス講演会2016 予稿集, Vol. , No. , pp.
Journal/Book name	Proceedings of the 2016 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Vol. , No. , pp.
発行日 / Issue date	2016, 6
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。

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

小型高出力油圧アクチュエータの開発と多指タフロボットハンドへの応用

Developmet of Highperfomance Hydraulic Acutuators and their Application to Tough Robot Hand

○学　日下部雄樹 (東工大)　正　井手 徹 (東工大)　廣田善晴 (東工大)
正　難波江裕之（東工大）　正　鈴森康一 (東工大)

Yuki KUSAKABE, Tokyo Institute of Technology, kusakabe.y.aa@m.titech.ac.jp
Toru IDE, Tokyo Institute of Technology
Yoshiharu HIROTA, Tokyo Institute of Technology
Hiroyuki NABAE, Tokyo Institute of Technology
Kouichi SUZUMORI, Tokyo Institute of Technology

Hydraulic actuators attract attention as actuators for robots in extreme environment. Conventional hydraulic actuators are difficult to use as an actuator of the robot in terms like size and performance. Most of them are used in construction machines. We have developed hydraulic actuators for multi-fingered tough hand which can be applied to various tasks. They are driven with 35MPa hydraulics , smaller than conventional hydraulic actuators, and work with low friction. Developed hydraulic cylinder has twice force/mass ratio of conventional hydraulic cylinder. Developed hydraulic motor has about three times torque/mass ratio of conventional hydraulic motor. Applying them results in high power tough robot hand with 12 DoF.

***Key Words*:** Tough robotics, Hydraulic actuators, Power hand

1　緒言

ロボットのアクチュエータは，電動モータに高減速比の波動歯車減速機や遊星歯車減速機を組み合わせているものが多い．しかしながら屋外や不整地での作業を想定されたロボットは室内の環境に比べ外乱，衝撃が加わる場面が非常に多く，この際に電動モータと歯車減速機の組み合わせではアクチュエータが破損することが考えられる．このため災害対応ロボットやレスキューロボットのアクチュエータとして油圧アクチュエータに再び注目が集まっている．近年では米 BonstonDynamics の BigDog[1], 伊 IIT の HyQ[2]，立命館大学の RL-A1[3] といった油圧駆動の脚型移動ロボットが発表されている．

これまで油圧アクチュエータは建設機械に用いられることが大半であり，性能や形状といった点でロボットのアクチュエータとして用いることが難しいものが大半であった．本研究では極限環境下においてタフに駆動し，様々な作業が実現可能なロボットのアクチュエータを開発する．また, ロボットへの適用性の検証のため, 開発した油圧アクチュエータを用いた多自由度をもつタフロボットハンドの試作を行う．

2　高出力重量比油圧アクチュエータ

ロボットに適した油圧アクチュエータを目標とし, 現行品に比べより小型化, 高出力化を目標に油圧メーカと共同開発した. 直動型は油圧シリンダ, 回転型はベーンモータとし, 以下にそれらの特徴を示す.

2.1　油圧シリンダ

製作した油圧シリンダを図 1, 仕様を表 1 に示す．現行の JIS 規格にて定められている油圧シリンダは内径が最小 ϕ32 mm である．ロボット用のアクチュエータとして, 今回は内径を ϕ30 mm に小径化, 最大定格圧力を 35 MPa と高圧化した．アクチュエータの質量に対する発生力を F/M 比 [kN/kg] とした．F/M 比は FDM (Force density mass) と, 盛らによって定義されたアクチュエータの評価パラメータである [4]. 油圧シリンダの受圧面積に対する F/M 比を図 2 に示す. なお，F/M 比の質量 M[kg] はストロークあたりの質量に換算した．現行の JIS 規格品は F/M 比が大きくても 5 近くであるのに対し, 今回製作した油圧シリンダは 9.5 と約 2 倍になり，高 F/M 比化に成功した．

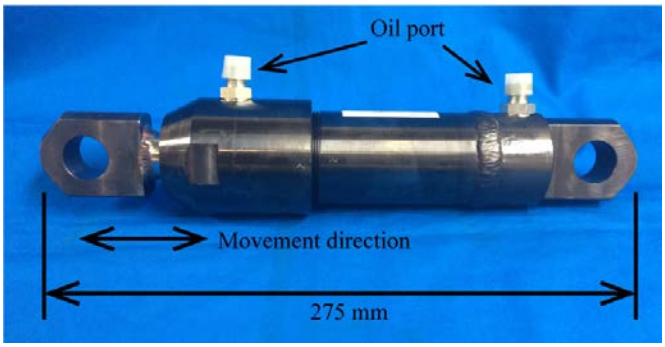


Fig.1: Develped hydraulic cylinder

Table 1: Specification of the developed hydraulic cylinder

シリンダ内径	φ 30 mm
ロッド外径	φ 22 mm
ストローク	75 mm
定格印加圧力	35 MPa
耐圧力	52.5 MPa
最低動作圧力	0.15 MPa
最大推力	24.74 kN
質量	2.6 kg

2.2　ベーンモータ

製作したベーンモータを図 3, 仕様を表 2 に示す．ロボットのアクチュエータは電動モータと歯車減速機を組み合わせている事が多い．モータの回転数を低下，トルクを増幅させるためである．油圧アクチュエータは減速機を介さずに出力を広範囲にて制御でき

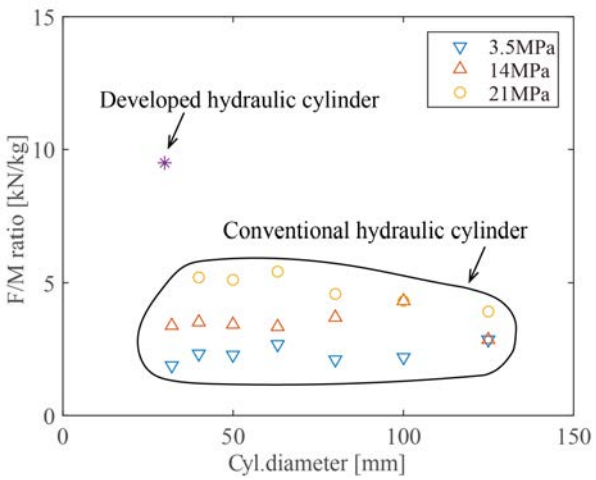


Fig.2: F/M ratio-Cyl.diameter diagram[5]

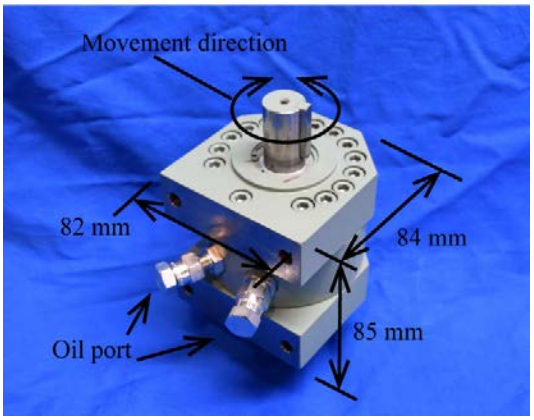


Fig.3: Develped hydraulic motor

るため，減速機を介さずに直接出力を取り出せる．このため，電動モータと歯車減速機は回転型の油圧アクチュエータ単体によって置き換えることが可能であると考えられる．ロボットへの適用に際して油圧回転型アクチュエータにおいても小型化，高出力といった高性能化の必要がある．今回はシングルベーンモータを採用した．ベーンモータは回転角度が有限であるアクチュエータであり，無限回転が可能なアクチュエータには油圧モータがある．油圧シリンダと同様に定格圧力を 35 MPa と高圧化した．アクチュエータの質量に対する発生トルクを T/M 比 [Nm/kg] とし，図 4 に示した. 現行の押しのけ容積が 5 付近のベーンモータは T/M 比が 10 付近に集中しているのに対し, 今回製作したベーンモータは 27.9 と約 3 倍の高トルク化に成功した.

Table 2: Specification of the hydraulic motor

揺動角度	270 °
定格印加圧力	35 MPa
出力トルク	100 Nm
押しのけ容積	4.23 ml/rad
質量	3.58 kg

3　多指ロボットハンド

開発した油圧シリンダ, ベーンモータを使用し, 建設機械への搭載を想定した多自由度のロボットハンドを試作した.

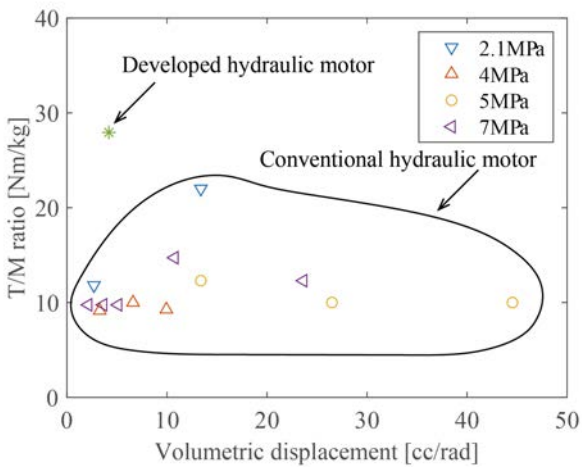


Fig.4: T/M ratio-Volumetric displacement diagram [5][6][7][8]

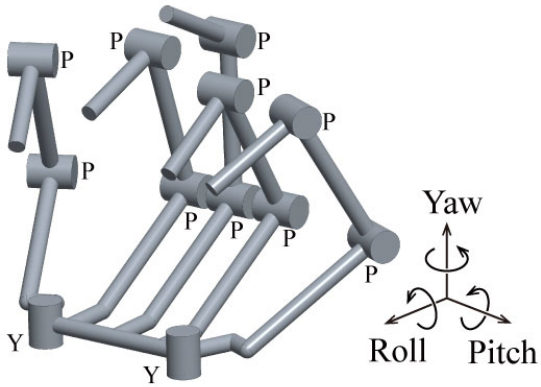


Fig.5: DoF configuration

3.1　機構

バケットのようにものをすくう，グリッパーのようにものを挟むといった建設機械の場合は先端のアタッチメントを交換しなければ不可能であった．これを実現するために形状を変更して複数のタスクを使い分けることができるようなロボットハンドの設計を行う．複数の指となるユニットを備え，場合に応じて形態を変化できることが望ましい．この要求を元にハンドの自由度の配置を検討した.

試作したロボットハンドの自由度配置を図 5 に示す．ピッチ軸方向に自由度を 2 つ備えた指部分となるユニットが 5 つ存在する．これを指ユニットとする．5 つのうち外側の 2 つの指ユニットはピッチ軸方向の 2 つの自由度に加えてヨー軸方向に自由度を備えている. このためロボットハンドは計 12 自由度を有する．ヨー軸に自由度を備えた指ユニットを図 6 に示す. ピッチ軸の回転は図 1 に示した油圧シリンダの直線運動をリンクを用いて回転運動に変換している．ヨー軸の回転は図 3 に示したベーンモータを用いている.

3.2　動作確認

設計した多指タフロボットハンドを実際に製作し，動作確認を行った．今回はサーボ弁や比例弁に比べ安価である，電磁式切替弁を用いた．内部のソレノイドに 24 V 程度の電圧を印加すれば動作する（ON 状態）ため，電気信号でアクチュエータを制御するこ

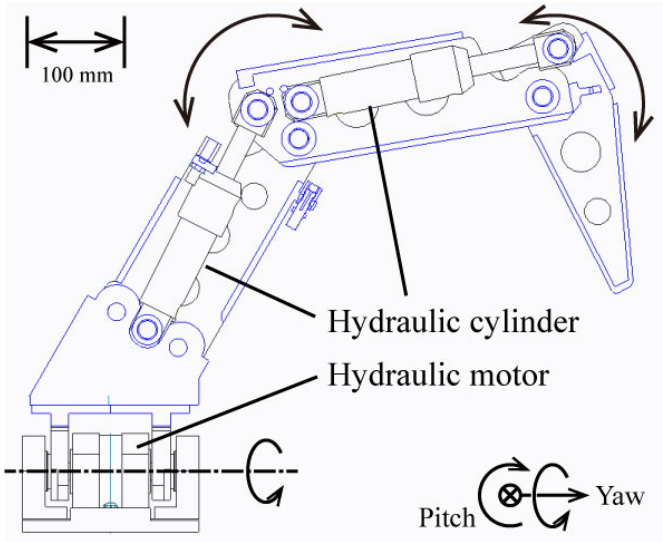
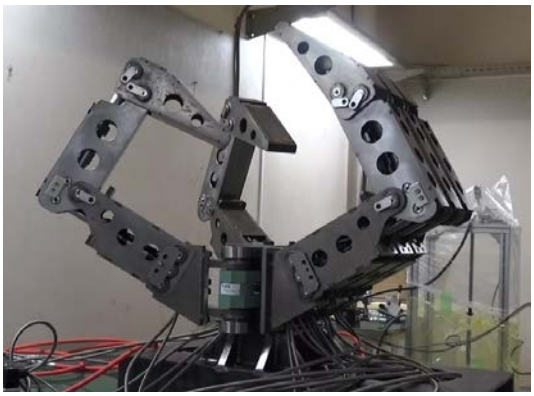


Fig.6: Definition of Forces and Angle



(a) Hand mode

(b) Bucket mode

Fig.7: Hydraulic Hand

とが可能である．PC に接続されたマイクロコントローラから信号を出力し，MOSFET を駆動させることで各アクチュエータの電磁切換弁を制御した．これにより図 7(a) に示すようにものをつかむための形状や，図 7(b) に示すように建設機械のバケットのようなものをすくう形状に変形することが可能であることを確認した．

4 結言

本論文ではタフなロボットのための小型で高出力な小型で高出力の油圧アクチュエータの開発を目指し，F/M 比 9.5, T/M 比 27.9 のアクチュエータを開発した．このアクチュエータを用いた多指タフロボットハンドを製作し，所望の動作を実現した．これにより開発したアクチュエータの有用性を確認した．

5 謝辞

本アクチュエータおよびハンドの詳細設計，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] M. Raibert, K. Blankespoor, G. Nelson, R. Playter, and the Big- Dog Team, “ Bigdog, the rough-terrain quadruped robot ” in Proceedings of the 17th World Congress The International Federation of Automatic Control (IFAC), pp.10822/10825, 2008.

[2] Thiago Boaventura, Claudio Semini, Jonas Buchli, Marco Frigerio, Michele Focchi, Darwin G. Caldwell, ”Dynamic Torque Control of a Hydraulic Quadruped Robot ”, IEEE ICRA, pp.1889-1894, 2012.

[3] 川端健太郎, 西拓紀, 鳥居裕貴, 北浦誠人, 兼松宏多, 玄相昊, ”油圧式 4 脚歩行ロボット RL-A1 の開発 ”, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演論文集, pp.1A1-I02, 2014.

[4] 盛真唯子, 鈴森康一, 脇元修一, 神田岳文, 高橋正幸, 細谷高司, 竹松愛実, ”水圧マッキベン型人工筋を用いた不定形重量物用ハンドの開発”, TRANSACTIONS OF THE JAPAN FLUID POWER SYSTEM SOCIETY, Vol.41, No.3, pp.59-66, 2010.

[5] 油研工業株式会社, `http://www.yuken.co.jp`, Mar. 2016.

[6] 川口エンジニアリング, `http://www.kawaguchi-eng.co.jp`, Mar. 2016.

[7] クロダニューマティクス株式会社, `http://www.parkerkuroda.com`, Mar. 2016.

[8] 株式会社トルカー, `http://www.torquer.net/`, Mar. 2016.