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(和文)	タフロボット用油圧アクチュエータの開発と7 軸アームへの応用
Title(English)	
著者(和文)	辺見森象, 森田隆介, 廣田善晴, 井上淳, 難波江裕之, 遠藤玄, 鈴森康一
Authors(English)	Morizo Hemmi, Ryusuke Morita, Hiroyuki Nabae, Gen Endo, Koichi Suzumori
出典(和文)	第36回日本ロボット学会学術講演会 予稿集, Vol. , No. , pp.
Citation(English)	Proceedings of the 36th Annual Conference of the Robotics Society of Japan, Vol. , No. , pp.
発行日 / Pub. date	2018, 9
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)

タフロボット用油圧アクチュエータの開発と 7 軸アームへの応用

○辺見森象(東工大)　森田隆介(東工大)　廣田善晴(東工大)　井上淳(東工大)
難波江裕之(東工大)　遠藤玄(東工大)　鈴森康一(東工大)

1.　緒言

現在，多くの災害対応ロボットは主に電動モータと減速器の組み合わせにより駆動されている．この駆動方式は，繰り返し位置決め精度のような制御性の良さや，取り扱いの容易さといった利点があるものの，主に減速器に起因する耐衝撃性の悪さやバックドライバビリティの低さなどの欠点もあり，災害対応ロボットの現場投入への障壁となっている．これに対し，建設機械などに用いられている油圧アクチュエータは耐衝撃性に優れるだけでなく，力密度やパワー密度の高さからロボットの運動性能を高めることもできる．しかし，油圧アクチュエータは大型で重く，摺動抵抗の高いものが主で，多自由度の中・小型ロボットを構成することは難しかった．本研究では，小型・軽量化，摺動抵抗の低減に着目した油圧アクチュエータを開発し，ロボットへの応用を行なう．

また，本研究は，ImPACT タフ・ロボティクス・チャレンジに参加して行なうものであり，このプロジェクト内で脚ロボットのプラットフォームとして開発されている電動ロボット，WAREC-1(早稲田大学)[1][2][3]を適用対象とする．WAREC-1 は，大規模災害後の人が立ち入れない状況下での状況調査や復旧作業を目的とした電動ロボットであり，これまでにはしごの昇降や広い可動範囲を活かした様々な形態による移動などを達成している．また，同じ構成の 7 自由度の脚・腕を 4 肢持ち，移動や作業に用いる．しかし，想定している作業の内コンクリートのはつりやバルブの開閉などをではアクチュエータの耐衝撃性や力制御の適用が必要であり，現行の WAREC での課題となっている．このような問題に対して油圧アクチュエータを用いることで解決するだけでなく，運動性能の向上ができると考え, WAREC-1 単腕の油圧化と比較を行う．

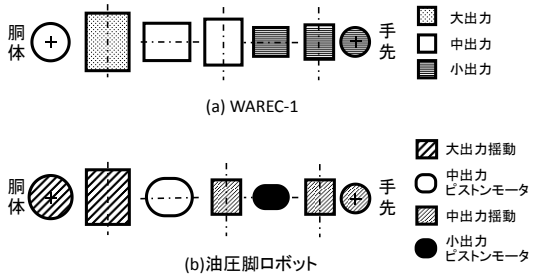

図 1　WAREC-1 と油圧脚ロボットのアクチュエータ

油圧アクチュエータを用いたロボットアームとしては，IIT の HyArm[4]や立命館大学の RL-H1L の腕部[5], KNR System の HYDRA-MP[6]などが知られているが，WAREC-1 のように多自由かつ広い動作角で一定のトルクを発揮できるものはない．本稿では，ロボット用途に適した油圧アクチュエータを開発するとともに，油圧 WAREC-1 と互換性の高い油圧脚ロボットの試作としてその一肢モデルへと応用する．

2.　アクチュエータの油圧化

本章では，WAREC-1 と油圧脚ロボットのアクチュエータの対応と，開発した油圧アクチュエータについて述べる．WAREC-1 と油圧脚ロボットの一肢の構成を図 1 に示す． WAREC-1 各関節の動作角は最大 214°または無限回転であり，想定動作も幅広いことから置き換えには油圧アクチュエータの中でも回転型が適している．今回は，動作角 214°までの関節については構造が単純で軽量にしやすい揺動モータ，一回転以上が必要な関節には小型で無限回転が得られる斜板アキシアルピストンモータを用いる．さらに，WAREC-1 のアクチュエータは必要な出力によって大中小の三種類が用いられている．油圧アクチュエータでも各種トルクの異なる二種類ずつを開発し，21 MPa 印加時に各関節 WAREC-1

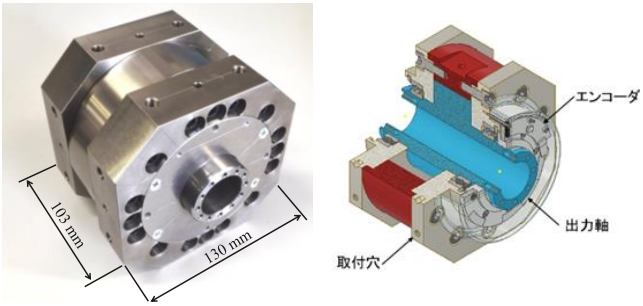

図 2　開発した揺動モータ(中出力)と CAD 断面図

表 1　開発した揺動モータの仕様

	大出力	中出力
定格圧力	21 MPa	21 MPa
最高使用圧力	35 MPa	35 MPa
定格トルク	552 Nm	249 Nm
揺動角度	270°	270°
押しのけ容積	33.8 ml/rad	12.7 ml/rad
質量	10.4 kg	6.5 kg

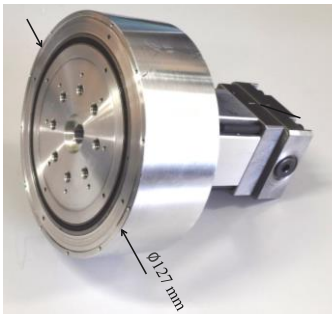

図 3　開発したピストンモータ（中出力）

表 2　開発したピストンモータの仕様

	中出力	小出力
定格圧力	21 MPa	21 MPa
最高使用圧力	35 MPa	35 MPa
定格トルク	221 Nm	120 Nm
押しのけ容積	13.8 ml/rad	7.0 ml/rad
減速比	約1/54	約1/28
質量	3.2 kg	2.5 kg

に近いかそれより大きい発生トルクとなるように設定する．油圧脚ロボットでは使用するサーボバルブの定格圧力から 21 MPa での利用とするが，各アクチュエータは 35 MPa での使用も可能である．

2.1 油圧揺動モータ

有限回転軸にはシングルベーン油圧揺動モータの大，中二種類を JPN と共同開発して用いる．このモータは一般的に使われている揺動モータに対して小型軽量，高耐圧，低摺動化を目指して開発を行い，材料に純チタンを用いる．一般的な揺動モータを小型化して用いる場合，本体の固定方式や出力形式，配管方法など，ロボット用途としては不便な部分がある．そこで，図 2 のような方式で設計を行なった．この方式は，出力軸を大径，中空化し，軸端面を直接フランジとして利用するものである．これにより，固定が容易になるだけでなく，フランジ部品の省略や小型，軽量化も行なうことができ，中空径を配管に利用することもできる．アクチュエータの定格トルクと自重の比である T/M 比を市販シングルベーン揺動モータ[7]と比較すると，大出力モータが同規模のものに対して 3.3 倍，中出力モータは 2.7 倍となる高い T/M 比を達成している．

2.2 ピストンモータ

無限回転軸には斜板アキシアルピストンモータに減速器を組み合わせたもの中，小二種類を KYB，タカコと共同開発して用いる．このモータを図 3 に示す．ピストンモータは，タカコの既製品に対し，小型軽量化，高耐圧化，高回転化を施したものである．減速器は横浜国立大学で開発された歯形をもとに KYB が製作した遊星歯車減速器であり，従来のものより低摩擦である．衝撃に弱い減速器を用いるが，油圧モータで駆動する場合元のトルクが大きいため減速比を低くすることができる点や，バックドライバビリティの比較的高い遊星歯車減速器である点，衝撃を受けることの少ない腕の捻り方向としての使用である点から，問題にはならないと考える．

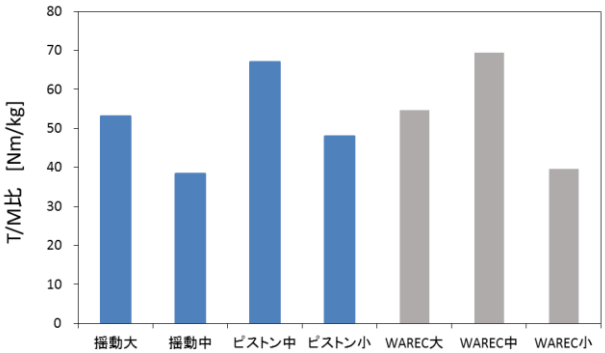

図 5　開発した油圧アクチュエータの T/M 比

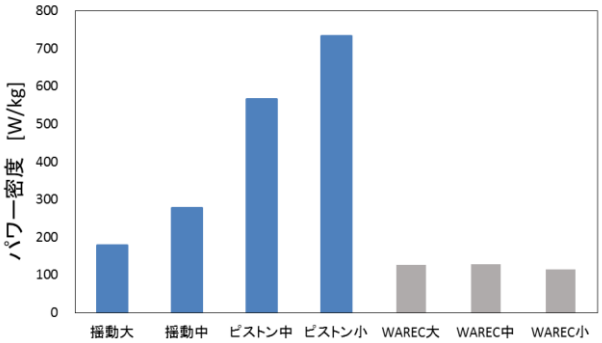

図 6　開発した油圧アクチュエータのパワー密度

開発した油圧アクチュエータと WAREC-1 に用いられているアクチュエータの T/M 比を図 4 に，パワー密度を図 5 に示す．パワー密度について，油圧アクチュエータの質量は本体質量にポートブロックとサーボバルブ(HS210，　PSC 製)を足したものであり，出力はサーボバルブの特性から求めた供給圧力 21 MPa での最大出力である．図 4 の T/M 比では，開発したアクチュエータは WAREC-1 のアクチュエータとほぼ同じかそれより悪い結果となっているが，図 5 のパワー密度では全てのアクチュエータで性能を改善できている．

3.　油圧脚ロボット一肢モデルの開発

上記の油圧アクチュエータを用いて油圧脚ロボット一肢モデルの開発を行なった．本体の CAD 画像を図 8 に示す．

4.1 本体設計

WAREC-1 と開発した一肢モデルの動作範囲を表 3 に示す．手首軸の一部では WAREC-1 より小さい動作角度となるものの，他の部分では同じかそれよりも大きい範囲を取るように設定した．ただし．() 内の数値は設計中の値である．フレーム強度，剛性の要求は WAREC-1 と統一しているが，一肢モデル

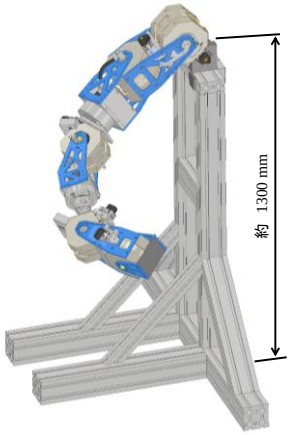

図8　開発した油圧脚ロボット一肢モデルのCAD図

表 3　WAREC-1 と油圧脚ロボットの動作角

	根元 → 手先						
	肩			肘	手首		
	ロール	ピッチ	ヨー	ピッチ	ヨー	ピッチ	ロール
WAREC-1	-57 ～ 150	±107	±360	-38 ～ 163	±360	±93	±106
油圧脚ロボット	-80 ～ 160	±109	±360	-41～(163)	±360	-72 ～ (93)	-95 ～ 105

本体重量は約 56 kg, 全長は約 1.2 m となり WAREC-1 の約 33 kg，約 1.1m よりも大型となった．これは開発するアクチュエータの種類を減らして元よりも大出力のものに置き換えたことや，揺動モータの重量があまり削減できなかったことが影響している．直動シリンダを用いればより軽量にできると考えられるが，今回は可動範囲と WAREC-1 との互換性を優先した．

4.2 油圧と関節配管の設計

油圧脚ロボット一肢モデルには外部から油圧を供給し，各関節のアクチュエータに直接取り付けられているサーボバルブにより制御を行なう．油圧脚ロボット全体を構成する場合にはポンプやその動力源も必要となるが，今回は開発対象とせず十分な容量のある油圧元を用いる．

アーム先端のアクチュエータまで油圧を供給する必要があるが，関節の可動範囲が広いため単純に油圧配管を行なうことはできない．そこで，手首と肩の捻り方向の二回転が必要な部分は駆動軸周りに油圧ホースをまきつけることで回転を吸収する方法を取った．また，それ以外の関節には多指タフロボットハンド[8]用に開発された 1/8 インチ規格小型スイベルジョイントを用いている(図 9).

4.3 制御系

油圧脚ロボット一肢モデル制御系の模式図を図 10 に示す．サーボバルブ(HS210,PSC 製)とサーボバルブ制御基板(THVC：Titech Hydraulic Valve Controller, 図 11), 磁気式エンコーダ(AksIM MHA8, RLS 社製)，圧力計(NAT400.0A,Trafag 社製)は各アクチュエータとその付近に分散して配置する．THVC は当

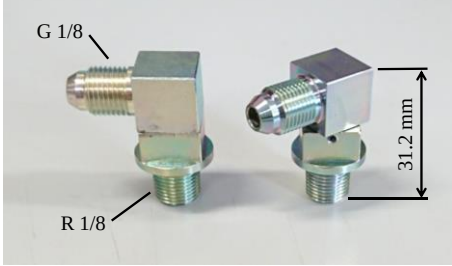

図 9　1/8 インチ規格小型スイベルジョイント

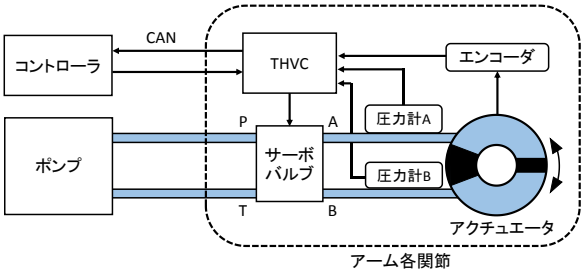

図 10　油圧脚ロボットの制御系

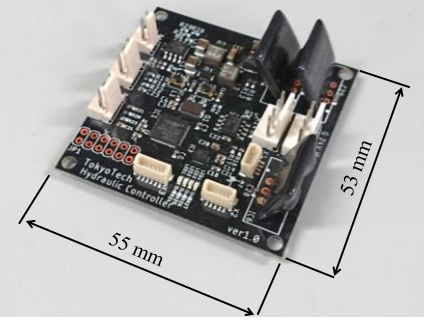

図 11 Titech Hydraulic Valve Controller

研究室で開発されたサーボバルブ制御・駆動回路基板であり，従来のサーボバルブ駆動回路よりもコンパクトかつ多機能化されている．個々の関節の制御をこの THVC により行い, 全体の制御はこれと CAN により接続したコントローラにより行う．制御基板以外のセンサ類には防水仕様のものを用いており，簡単な対策でアーム全体を防水とすることができる．

4.　結論

回転型油圧アクチュエータをはじめとする各種ロボット用油圧コンポーネントを開発した．また，これらを応用して WAREC-1 との互換性の高い油圧脚ロボット一肢モデルの設計を行った．今後はアクチュエータの評価や，動作実験などを行なう．

謝辞

JPN 株式会社，KYB 株式会社，共栄産業株式会社，早稲田大学と協力して進めたものである．関係各位に深謝する．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，科学技術振興機構を通して委託されたものです.

参　考　文　献

[1] 木村駿介，酒井伸明，橋本健二，孫瀟，小泉文紀，濱元伸也，寺町知峰，松澤貴司，高西淳夫：”極限環境下で作業可能な災害対応ロボットの開発（第１０報：中空構造を持つ高出力アクチュエータユニット）”，日本ロボット学会第 34 回学術講演予稿集，2C2-01，2016

[2] 橋本健二，木村駿介，酒井伸明，小泉文紀，濱元伸也，孫瀟，松澤貴司，寺町知峰，高西淳夫：” 極限環境下で作業可能な災害対応ロボットの開発（第１１報：４肢ロボット WAREC-1 の設計と製作）”，日本ロボット学会第 34 回学術講演予稿集，2C2-02，2016

[3] Kenji Hashimoto, Shunsuke Kimura, Nobuaki Sakai, Shinya Hamamoto, Ayanori Koizumi, Xiao Sun,Takashi Matsuzawa, Tomotaka Teramachi, Yuki Yoshida, Asaki Imai, Kengo Kumagai,Takanobu Matsubara, Koki Yamaguchi, Gan Ma, Atsuo Takanishi：“WAREC-1 - A Four-Limbed Robot Having High Locomotion Ability with Versatility in Locomotion Styles”, IEEE International Symposium on Safety, Security and Rescue Robotics, 2017

[4] Bilal Ur rehman，Michele Focchi，Claudio Semini：“ Design of a Hydraulically Actuated Arm for a Quadruped Robot”， Proceedings of the International Conference on Climbing and Walking Robots，2015

[5] 井澤健祐，玄相昊：“油圧駆動ヒューマノイドロボットの腕部の設計”，ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集，1A1-I01，2014

[6] “KNR Systems ウェブサイト”，http://www.knrsys.com/portfolio/hydraulic-based-robot-2/

[7] “Paker KURODA ウェブサイト 油圧ハイロータ HRN シリーズ，シングルベーン形式” http://www.parkerkuroda.com/japan/product/products_kudou01.html

[8] 井手徹，難波江裕之，廣田善晴，山本明菜，鈴森康一：“小型低摺動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” 日本ロボット学会第 35 回学術講演予稿集，2017