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	遠隔センシングによるタフ油圧サーボ系の開発 第1報：流量による位置制御システムの提案
Title	Tough hydraulic Servo System Using Remote Sensing -I. Proposal of Position Control System Based on Flow Volume-
著者	難波江裕之, 日下部雄樹, 井手徹, 廣田善晴, 井上淳, 鈴森康一
Author	Hiroyuki Nabae, Yuki Kusakabe, Toru Ide, Yoshiharu Hirota, Kiyoshi Inoue, Koichi 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. ,　1P1-09b5
Journal/Book name	Proceedings of the 2016 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Vol. , No. ,　1P1-09b5
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 (Science Tokyo Research Repository)

遠隔センシングによるタフ油圧サーボ系の開発
ー第 1 報：流量による位置制御システムの提案ー

Tough hydraulic Servo System Using Remote Sensing
-I. Proposal of Position Control System Based on Flow Volume-

○正　難波江 裕之 (東工大)　　日下部 雄樹（東工大）
正　井手　徹（東工大）　　廣田　善晴（東工大）
正　井上　淳（東工大）　　正　鈴森　康一（東工大）

Hiroyuki NABAE, Tokyo Institute of Technology, nabae@mes.titech.ac.jp
Yuki KUSAKABE, Tokyo Institute of Technology
Toru IDE, Tokyo Institute of Technology
Yoshiharu HIROTA, Tokyo Institute of Technology
Kiyoshi INOUE, Tokyo Institute of Technology
Koichi SUZUMORI, Tokyo Institute of Technology

General robotic systems require sensors on end effectors to collect information for feedback control; displacement, force, temperature, etc. This configuration can cause troubles with hard tasks in extreme environments instead of precise sensing. Hydraulic actuators also face this challenge for use in extreme environments. This paper proposes a novel position control system for hydraulic actuators using flow volume to aspire "tough" hydraulic robots. A prototype is developed to confirm the feasibility of the proposed servo system by fundamental experiments; comparing the position estimated by the proposed method with the position obtained by a potentiometer. These experiments show the applicability of the proposed method to the tough robotic systems.

Key Words: Extreme Environment, Tough Technologies, Hydraulic servo, Remote sensing

1　緒言

生産工程や建設現場などでのロボットの活躍は目覚ましく，最近では，介護現場や店頭での受付といった業務での利用も進められている．その中でも，災害現場での救助など人間による作業が困難な環境での利用に期待が高まっている．このような状況では，劣悪な環境が想定され，使用されるロボットに対しては，高い耐環境性や作業能力，すなわち"タフ"さが求められる．タフなロボットシステムの実現に向けては，高出力かつ頑強性の高いアクチュエータの使用やセンシングした情報に対する高度な処理技術など様々なアプローチ手法が考えられるが，本稿ではアクチュエーションにおけるセンシング技術に着目する．ロボットの駆動制御に必要となるセンサは，一般的にエンドエフェクタ，すなわち，作業対象との接触部またはそれに近い位置に配置されることとなる．これは，高精度・高応答での測定を可能とするものの，強い衝撃発生環境や超高負荷な作業においては，故障の原因となる可能性が高い．このことは，近年，タフなアクチュエータとして再び注目を集めている油圧アクチュエータ [1,2] においても，システム全体での頑強性のボトルネックとなり得るものである．そこで，本研究では，本質的な耐環境性を向上させるため，エンドエフェクタから離れた位置に設置し，その状態を推定することにより，エンドエフェクタにセンサを搭載しない油圧サーボシステムの開発を目指す．本論文では，油圧アクチュエータの特徴を活かした遠隔状態推定として，流入出する油量から油圧シリンダの変位を推定する位置制御系を提案する．そして，試作したシステムにより，推定変位とポテンショメータの比較検証を通して，提案手法による位置サーボの実現可能性を検討する．

2　流量による油圧シリンダの位置制御システム

提案する油圧位置制御システムでは，作業中に強い負荷や外乱の予想されるエンドエフェクタ部にセンサやコントローラを配置しないことにより，作業に起因したセンサの故障を本質的に防ぐことを目的としている．油圧シリンダにおいて理想的には，シリンダの受圧面積を A，シリンダへの流入油量を ΔQ，シリンダ変位を Δx とすると，

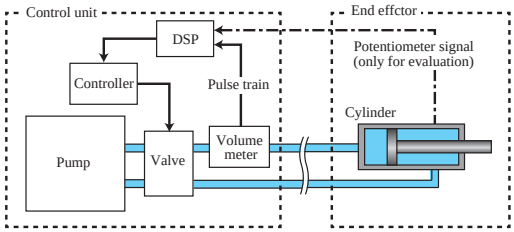


Fig.1 Schematic figure of the proposed feedback system.

$$\Delta x = \frac{\Delta Q}{A} \tag{1}$$

という関係が成り立つため，流入出した油量とシリンダの変位の間に 1 対 1 の関係を持つ．この性質を利用し，ポンプモータの回転量から変位を推定する手法（[3] など）が提案されてきているが，一般的な油圧システムへの適用の容易さから，流量計にて油圧シリンダに流入出する油量を測定することにより，シリンダの変位を推定する手法を検討する．しかしながら，実際にはシリンダや流量計内部における漏れ，油の圧縮性等いくつかの誤差要因が考えられる．次節以降では，これらの原因による誤差を試作システムを用いて検証し，実現可能性についての検討を行う．

3　実験的検証による実現可能性の検討

本節では，試作システム（Fig. 1）により，流量による推定変位とポテンショメータによる取得変位を比較し，提案システムの実験的検証を行う．

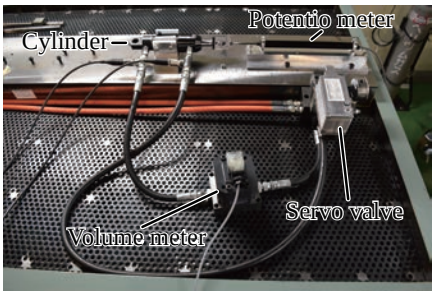
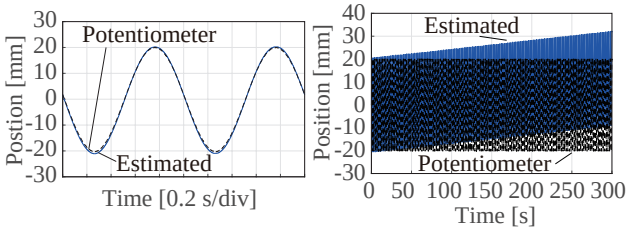


Fig.2 Photo of the experimental configuration for the proposed flow-volume position feedback system.



(a) Short term. (b) Long term.

Fig.3 Result of sinusoidal response.

3.1 試作システム

Fig. 1 に実験に用いる試作システムの概要を，Fig. 2 に試作した流量による位置制御システムの外観を示す．

試作システムは，主にポンプ（標準油圧ユニット，油研工業製），流量計（VC04F1PS，KRACHT 製），シリンダ（HC-1CA30-22×75-T，JPN 製）及びサーボバルブ（LSVG-01EH-20，油研工業製）からなり，Digital Signal Processor（DSP：DS1104，DSPACE 社製）によって指令電圧を作成し，サーボバルブと一体となったコントローラに送る．コントローラからは，指令電圧に応じた電流がサーボバルブに印加されることで，ポンプからシリンダへの油圧及び流量を調整する．シリンダに取り付けられたポテンショメータ及び油圧回路中の流量計の値は DSP にて取得することにより，それぞれの値の測定を行うとともに，いずれかの信号をもとにフィードバック制御を行うことが可能である．

3.2 位置センサとの比較実験

本実験では，ポテンショメータにより取得したシリンダ変位を基準とし，流量計による位置推定の評価を行う．シリンダの動作の安定化のため，ポテンショメータからの取得位置情報によるフィードバック制御（P ゲイン：1.0 V/m，I ゲイン：0.5 V/m·s）を行っている．DSP からの指令値は，周波数 0.5, 1.0, 2.0, 4.0 Hz，振幅 20 mm の正弦波及びステップ幅 20 mm のステップ入力とした．また，ポンプによる元圧は 5 MPa とした．1.0 Hz の際のポテンショメータと流量計による推定値を Fig. 3(a) に，1.0 Hz にて 300 秒間駆動した際の両者の比較を Fig. 3(b) に示す．また，ステップ応答の結果を Fig. 4 に示す．

Fig. 3(a) から見て取れるように，短時間においては，ポテンショメータの値に対して推定値は良く一致している．いずれの周波数においても，振幅の誤差は 10%以内，位相差は最大で 15 度であった．しかしながら，駆動時間が長くなると Fig. 3(b) に示されるようにドリフトの影響が強く，誤差が非常に大きくなる．このドリフトは，時間に対して一定のシフト量を示しており，シリンダや計測システム内での漏れに起因するものだと考えられ，更なる検証が必要である．Fig. 4 のステップ応答の結果からもポテンショメータからの取得値と推定値の誤差は殆ど無く，十分な帯域を確保可能であることが分かる．以上より，駆動時間が長くなる際のドリフトに対する対策は必要となるものの，今回の実験におけるホース長では十分な応答性を示しており，流量による位置推定が油圧サーボに対して適用が十分可能であることが示唆された．

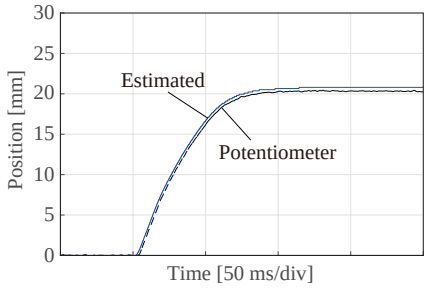


Fig.4 Result of step response.

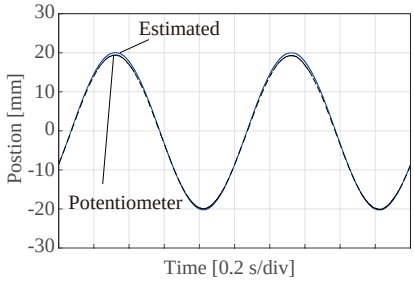


Fig.5 Result of proposed position feed back sysytem.

3.3 流量測定による位置サーボ実験

前節の結果より，十分な位置推定が可能であることから，位置サーボへの適用を行った．その結果を Fig. 5 に示す．位置指令は，周波数 1.0 Hz，振幅 20 mm とした．指令値に対し位置サーボが実際に行われていることが確認でき，推定値による位置サーボが可能であることを示した．

4 まとめ

本論文では，作業中の外環境への頑強性向上を目的として，流量による位置推定により，エンドエフェクタにセンサを設置しない油圧位置サーボシステムを提案した．試作システムを用いたポテンショメータとの比較検証では，短時間においては良い一致を示し，油圧ロボットに対して十分適用可能であることを確認した．しかしながら，長時間の駆動においては定常的なドリフトが発生することが判明し，制御面における補正やハードウェアにおける改善の必要性が示唆された．また，実際の流量による位置推定値を用いた位置制御の検証も行い，指令値に追従した制御が可能であることを確認した．今後は，ドリフトの原因究明や，モデル化による制御系の最適化を進めていく．

謝辞

本研究の一部は, 総合科学技術・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] Raibert, Marc and Blankespoor, Kevin and Nelson, Gabriel and Playter, Rob and Team, TB, “Bigdog, the rough-terrain quadruped robot,” Proceedings of the 17th World Congress, vol.17-1, pp.10822–10825, 2008.

[2] Semini, Claudio and Barasuol, Victor and Boaventura, Thiago and Frigerio, Marco and Focchi, Michele and Caldwell, Darwin G and Buchli, Jonas, “Towards versatile legged robots through active impedance control,” The International Journal of Robotics Research, vol.34-7, pp.1003–1020, 2015.

[3] Minav, T and Laurila, L and Pyrhönen, J “Relative position control in an electrohydraulic forklift,” International Review of Automatic Control, vol.6-1, pp.54–61, 2010.