

振動駆動式無拘束空気圧弁を利用した 空気圧マニピュレータの位置制御

Position control system using unconstrained vibrational pneumatic poppet valves for pneumatics manipulator.

樋口 涼樹 (立命館大)
平井 慎一 (立命館大)

加藤 和夫 (立命館大)

Suzuki HIGUCHI, Ritsumeikan University
Kazuhiro KATO, Ritsumeikan University
Shinichi HIRAI, Ritsumeikan University

In recent years, pneumatics actuators were required for industrial robots. It is important to make small valves with using high pressure and high flow-rate for driving pneumatics actuator. We have developed the small valve for unconstrained vibrational pneumatic poppet valves, and to do experiments on the McKibben actuator, but the valve haven't experiment on robots yet.

In this paper, the position control system using unconstrained vibrational pneumatic poppet valves for pneumatics manipulator. We need a pair of pneumatic valves to drive a single actuator. We thus challenge to apply simple ON/OFF control to the pair of valves. A position control system was proposed based on the ON/OFF control strategy. Experimental results showed that it is possible to control the link position with our proposed valve.

Key Words: Valve, Manipulation, Control

1. 緒言

近年、産業用ロボットの活動の幅は増加する一方である。しかし、ロボットによる作業が向いているとされる単純作業の繰り返しのような作業でも、周囲の環境や対象の形状・形質のために人間がその作業を行っているという現場は決して少なくない。例として、お弁当の中身を詰める作業などがあげられる。お弁当は同じ具材を同じ容器の同じ場所に詰める単純な作業の繰り返しであるにもかかわらず、多くの場合人間がこの作業を行っている。今後、こういった分野にも少しずつロボットが浸透されていくと考える[1]。なぜなら、お弁当の製造は、鮮度を保つため消費地の近くで行われる。人件費の安い海外で製造を行うことができない。また、少子高齢化のため日本における人件費が高くなりつつある[2]。さらにこのような仕事に人が集まりにくくなっている[3]。つまり、こういった人と同じワークスペースで働くロボットや限られた場所で働くロボットに需要があると考える。

ロボットの駆動方式には主に油圧、電動、空気圧の3つがある[4]。油圧は油圧ポンプを使い流体エネルギーを機械的運動に変換して利用する。低速な動作から高速な動作まで動作速度の点において広く利用できる。また、高出力であるという利点を有する。一方で、油を使用するため、油漏れによる汚染の可能性がある。また、火災の危険があるため使用温度の制限があるという欠点がある[4]。電動は電気エネルギーを電気モータ等で運動エネルギーに変換して利用する。電気を使用するため、電源があれば付帯設備があまり必要ない。また、制御性に優れている。汚染の心配がないという利点を有する。一方で、力の伝達にギアやプーリなどを使用しているため、出力を大きくするとアクチュエータのサイズも大きくなる。回路やギアの破損が起こるため過負荷に弱いという欠点がある[5]。空気圧は圧縮機で空気を圧縮することで、機械的運動を発生する。空気を使用するため、汚染の心配はない。構造がシンプルであり、安価である。また、空気の圧縮性が高いため、過負荷に強い[6]。限られた場所で働くうえで、汚染の心配が

なく、安価な空気圧は油圧や電動に対して優位だといえる。タンクやフィルタといった大型となる動力源だけを工場の隅に置き、タンクと繋がったチューブとそれを制御する空気圧弁を備えたスリムなロボットだけを作業場に配置すれば、作業スペースを取らず人や製品を傷つけにくい軽作業用産業ロボットが可能である。これを実現するために制御弁の高性能化・小型化は欠かせない。

現在、さまざまな会社から電磁ソレノイド弁タイプの小型空気圧弁が販売されており、今後の発展が予測される。しかしながら、現在の小型空気圧弁ではいまだにサイズは大きい。大きいこともあり、駆動部の近くには配置せず多数の弁をひとまとまりにして新たに設けたスペースに設置するのが一般的である。しかし、駆動部付近に直接制御弁を設置するほうがロボットの即応性やエネルギー損失の点で優位であると考える。

そのため、現在販売されている小型と呼ばれる空気圧弁よりもっとコンパクトな空気圧弁の開発と、小型空気圧弁を利用した簡略な空気圧回路で実現できるロボットの制御が求められる。このため、小型化が容易で、また流量も十分に確保することのできる全く新しい構成の弁として、振動駆動式無拘束ポペット空気圧弁を提案した。この無拘束弁を利用した簡略な空気圧回路で実現できるロボットマニピュレータの制御を検証する。

2. 振動駆動式無拘束弁の概要

本弁は、ピエゾアクチュエータが振動することで、無拘束のポペットを振動させる。このため振動駆動式無拘束ポペット空気圧弁を名づけた。ここでは本弁の構造と駆動原理について述べる。

2.1 構造

Fig. 1に振動駆動式無拘束ポペット空気圧弁の構造を示す。無拘束ポペット弁は、主にポペット、オリフィス、中心に貫

通穴を有する PZT アクチュエータ、全体を覆うケース、底を支えるベースというパーツから成り立つ。このように無拘束弁は非常に簡単な作りである。現在、この無拘束弁は供給圧力 0.5MPa で 10l/min 以上の流量を発揮できる。また、重量 1.8g、直径 7mm 高さ 9mm の円筒形である。

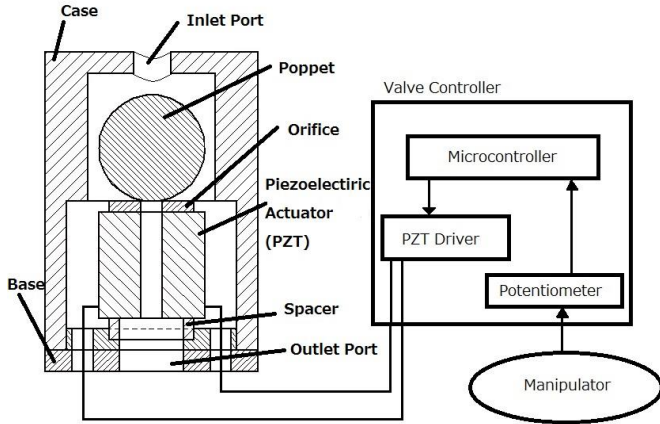


Fig. 1 Structure of miniaturized valve

2.2 駆動環境

Fig. 2 に空気圧供給と流量計のためのシステムを示す。まず、大気中の空気をコンプレッサにより圧縮し、タンク 1 内に取り込む。フィルタ 1, 2 で、大気中の空気には水分、塵、埃、油分などを取り除く。不純物が取り除かれた空気は電空レギュレータによって圧力が制御され、その空気はタンク 2 へと蓄積される。再び別のタンクに空気が蓄積されることによって、ある程度の時間は安定した空気圧を供給できる。タンク内の空気は再びフィルタによって不純物が取り除かれて弁へ流れ込む。弁とフィルタの間には流量計が取り付けられており、弁内に供給された空気の量を計測することが可能である。Pneumatic Actuator は空気圧駆動マニピュレータにあたる部分である。また、Pneumatic Actuator と Pump 2 と Solenoid Valve 1, Solenoid Valve 2 を除くシステム全体をポンプ 1 と称す。

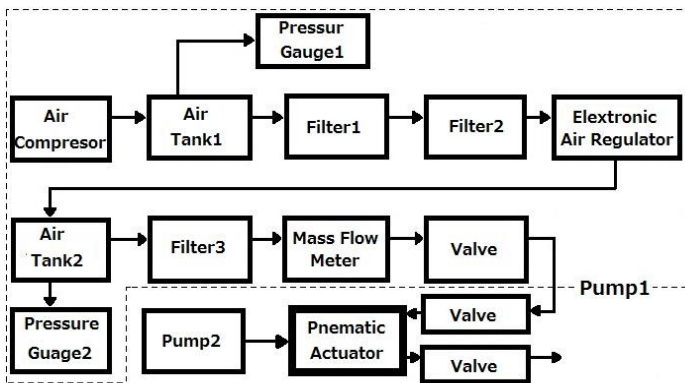


Fig. 2 Experimental setup

3. 実験

これまで無拘束弁を用いて、McKibben 型アクチュエータでの駆動実験や駆動回路の小型化[7]が行われた。また、PZT に印加する周波数、電圧または電流によって流量が変化することが分かっている[8]。しかし、複数の無拘束弁の流量を同時に制御する回路の設計には至っていない。仮に ON/OFF のみでマニピュレータを制御できるのであれば、現在の無拘束弁で

もマニピュレータの制御が可能である。そこで市販の小型電磁弁でのマニピュレータの制御を検証した。

3.1 電磁弁を使用した ON/OFF 制御

流量特性の近い市販の小型電磁弁で 2 リンクアームの制御を行う。Fig. 3 に示すようにシリンダと弁を接続する。シリンダの駆動方向側に電磁弁 1 と電磁弁 2 を接続する。ポンプ 1 と電磁弁 2 を接続する。ポンプ 2 とシリンダの非駆動側を接続し、0.25MPa の空気を供給し、アームを初期角度(-115 度)まで動かす。

関節角度が目標角度より低ければ、シリンダに給気する。関節角度が目標角度より高ければ、シリンダの空気を排気する。これを繰り返して目標角度に収束させる ON/OFF 制御を行う。また、シリンダと弁との接続を Fig. 3 に示す。

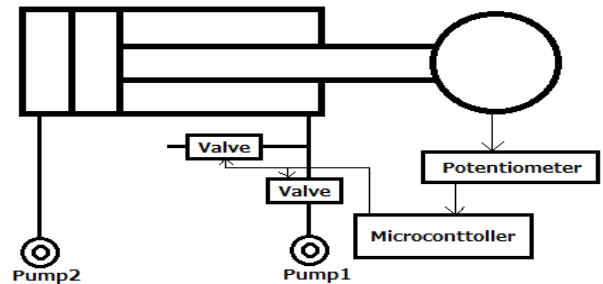


Fig. 3 Circuit to drive pneumatic cylinder

3.2 ON/OFF 制御の実験結果と考察

初期角度-115 度、目標角度-65 度で ON/OFF 制御を行った。Fig. 4 に実験結果を示す。関節角は目標角度の周りで振動し、収束には至らなかった。このようになった原因として、偏差に対して入力が大きいためと考えられる。本節で用いた手法では、流量と流速が同じであり、給気と排気で同じ量の空気が移動する。そのため、同じ動作を繰り返すだけで収束には至らない。観測時間 5 秒付近の外乱のような信号は回路かポテンシオメータの理由で信号が一度途切れたことが原因と思われる。このときに、マニピュレータが異常動作を行っていないことを確認した。

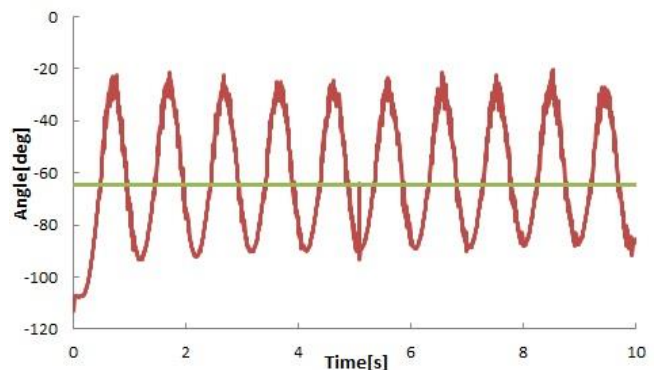


Fig. 4 Result of ON/OFF control

3.3 電磁弁としぼり弁を使用した ON/OFF 制御

3.2 節の結果を踏まえると、絞り弁を加えて事前に流量を絞ることで振動の振幅は減少すると考えられる。流量を絞ることで目標角への収束がみられるかどうかを検証する。本実験では、排気側の流量を絞る。給気側の流量を絞ると、

アームの角度変化が最も大きい初期角度から目標角までの区間において、アームの動作が遅くなる。すると、立ち上がり時間が長くなるため即応性が損なわれる。即応性を維持するために排気側のみを絞ることとした。

3.4 しぼり弁追加後の実験結果と考察

初期角度 -115 度、目標角度 -65 度でON/OFF制御を行った。Fig. 5に実験結果を示す。関節角はオーバーシュート直後に小刻みに振動した。その後、目標角度に近づいたが目標角度と角度 -55 度の範囲で振動し、収束には至らなかった。

このようになった原因として、まだ偏差に対して入力が大きいためと考えられる。しぼりを加えたおかげで目標角度より小さい角度での振動は見られなくなった。しかし、Fig. 5からもわかるとおり、目標角度に近づき、目標角度より小さい角度になってから、 -55 度あたりまであがるという振動を繰り返している。流量をもっと絞れば、収束可能かもしれないが事前に流量を絞ればその分だけ整定時間は長くなり、実用性が損なわれることが予想される。つまり、実験で用いた回路と制御法ではON/OFFのみで目標角度への収束を行うことは困難である。

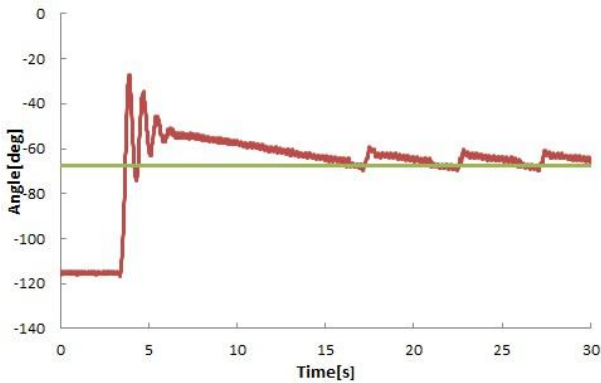


Fig. 5 Result of ON/OFF control using throttle valve

3.5 無拘束弁による制御

3.4節の結果から目標角との角度差に対して、流量を変化が求められる。そこで、無拘束弁を用いてマニピュレータの制御を行った。目標角との角度差に対して、流量を変化させる。実験環境は3.4節と同様である。ただし、使用する弁は無拘束弁である。

3.6 無拘束弁使用時の実験結果と考察

実験結果をFig. 7に示す。初期角度 -90 度から目標角度 -45 度で制御を行った。オーバーシュートはほとんど発生せず、振動は発生しなかった。目標角度と 10 度ほどずれた位置で収束した。初期角度 -90 度から目標角度に達するまでに約 0.5 秒かかっている。また、整定時間は大きく向上した。

こうなった原因は、この節でおこなった制御はP制御である。そのため、入力の大きさのみを制御するので定常偏差が残ってしまう。そのため、目標角度からずれた位置で収束した。3.4節の実験と比較すると立ち上がりには倍ほどの時間がかかることが予想される。これは立ち上がりの差が制御の違いによるものだと考えられる。

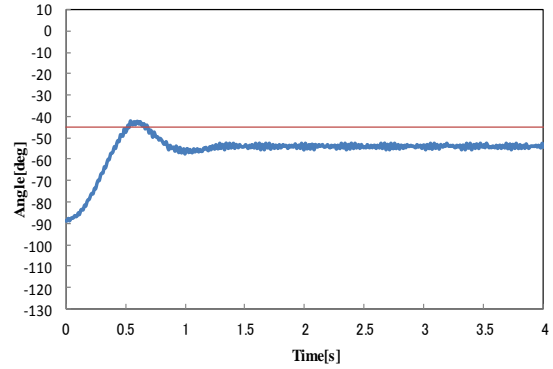


Fig. 6 Result of P control

4. 結言

本報告において、ON/OFFのみでのマニピュレータの制御と開発した無拘束弁を用いたP制御を検証した。これにより、流量変化による効果と無拘束弁が扱える圧力・流量でもマニピュレータを制御可能であることが分かった。

これらを踏まえ、複数の無拘束弁の流量を制御する回路及び制御法の開発が今後必要な課題である。

文 献

- [1] 一般財団法人機械振興協会: R T (ロボットテクノロジー) による産業波及効果と市場分析(2008).
- [2] 三菱UFJリサーチ&コンサルティング: 調査レポート『大企業における「2020年問題」』(2014). <http://www.murc.jp/thinktank/economy/analysis/research/report/140317.pdf>
- [3] 厚生労働省: 『労働経済動向調査(平成26年11月)』(2014). <http://www.mhlw.go.jp/toukei/itiran/roudou/koyou/keizai/1411/dl/roudoukeizaidouko.pdf>
- [4] 高森年: ニューアクチュエータの原理と特性, 日本ロボット学会誌 Vol. 4 No.5 pp.560-567, 1986.
- [5] 川村貞夫, 野方誠, 田所諭, 早川恭弘, 松浦貞裕: 制御アクチュエータの基礎(コロナ社, 2011) 63-64頁.
- [6] 川村貞夫, 野方誠, 田所諭, 早川恭弘, 松浦貞裕: 制御アクチュエータの基礎(コロナ社, 2011) 41頁.
- [7] 巽正之, ジェン・スマディ, 小川洋一郎, 本田顕真, 平井慎一: 振動駆動式無拘束ポペット空気圧弁のための駆動回路の小型化, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会論文集, ROBOMECH20102A2-C12, 2010.
- [8] S. Jien, S. Hirai, and K. Honda: Miniaturized Unconstrained On-Off Pneumatic Poppet Valve -Experiment and Simulation-, IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol14, Issue 5, pp.626-635, 2009.