

# 無拘束ポペット空気圧弁の流量制御

○加藤 和大 (立命館大), 平井 慎一 (立命館大)

## Flow Control of Unconstrained Pneumatic Poppet Valves

○Kazuhiro KATO (Ritsumeikan Univ.) and Shinichi HIRAI (Ritsumeikan Univ.)

Abstract: In this paper, we describe the flow control of unconstrained pneumatic poppet valves. Robots need many control valves to drive pneumatic actuators. It is important to miniaturize these valves. We develop unconstrained pneumatic poppet valves with PZT drivers. We control the flow by changing input voltage. Additionally, we drive pneumatic actuators by using the flow control

### 1. 緒言

空気圧システムは幅広い用途があり様々な産業分野などで利用されている。近年では、空気圧を利用してウェアラブルロボットやロボットアームを駆動させようとする動きが高まっている[1]。空気圧がこのようなロボットに対して利用される理由は、質量に対して大きな力を出力できること、柔軟な駆動が可能であること、環境に優しいことなど数多くのメリットをもつからである[2]。空気圧アクチュエータによって駆動するロボットには、多数のアクチュエータと空気圧弁が必要である。しかし、一般的に空気圧アクチュエータの駆動に使用される電磁弁は、サイズが大きくロボット内部に組み込むことが困難である。そこで、我々は小型・軽量な全く新しい構造の弁として弁として無拘束ポペット空気圧弁を提案した[3]。本報告では、無拘束ポペット空気圧弁に印加する電圧を変化させ流量制御を行った。また、無拘束ポペット空気圧弁を空気圧駆動ロボットアームに実装し検証した。

### 2. 無拘束ポペット空気圧弁の概要

#### 2.1 構造

Fig.1は無拘束ポペット空気圧弁( $\phi 7 \times 9 \text{ mm}$ )であり、その構造を Fig.2 に示す。無拘束ポペット弁は主に無拘束のポペット、中心に貫通穴を有したピエゾアクチュエータ、流量を調節するオリフィス、全体を覆うケースから成り立っている。このように本弁は比較的簡単な構造をしており、小型化に適している。Table 1 にピエゾアクチュエータとポペット、オリフィスのサイズを示す。

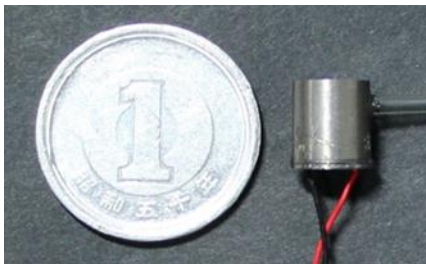


Fig. 1 Miniaturized unconstrained valve

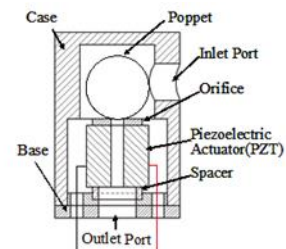


Fig. 2 Structure of unconstrained valve

Table 1 Size of components

Piezoelectric actuator	3×3×2mm
Poppet diameter	$\phi 2.0 \text{ mm}$
Orifice diameter	$\phi 0.5 \text{ mm}$

#### 2.2 駆動原理

給気口から圧縮した空気を供給すると、ケース内と排気口との間に差圧が生じ、ポペットがオリフィスの穴を塞ぐように密着し、閉状態となる。この状態でピエゾアクチュエータに矩形波を印加すると、ピエゾアクチュエータとともにオリフィスが振動する。オリフィスからの撃力によってポペットが跳躍運動を行い、それによって隙間が生じ、開状態となり空気を放出する。

#### 2.3 駆動回路 (PZT ドライバ)

ピエゾアクチュエータの変位量は、印加電圧の大きさで決まり、変形速度は電流によって決まる。さらに、変位量と変位速度が大きくなれば流量も高くなる[4]。ピエゾアクチュエータを十分に変位させ、必要な流量を出力するためには、マイクロコントローラからの入力信号を任意の周波数で増幅することのできる、小型かつ高出力な PZT ドライバが必要となる。本実験では、コイルを使用した 2 入力 2 出力の PZT ドライバを用いた。Fig.3 に PZT ドライバの基本的な構成を、Fig.4 に実験に使用した PZT ドライバ[5]を示す。

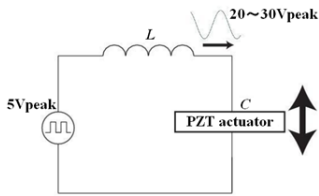
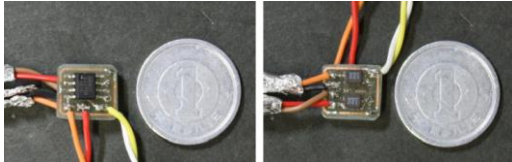


Fig. 3 Schematic of LC circuit for PZT driver



(a) Top (b) Bottom

Fig. 4 Miniaturized PZT driver

### 3. 流量制御

無拘束ポペット空気圧弁の流量に影響を与える要素として周波数と電圧がある。共振周波数において流量が最大となり、電圧が大きいくほど流量が大きくなる。Fig.5 にバイポーラ電源から PZT ドライバへの印加電圧 15V での周波数に対する流量特性を示す、Fig.6 に共振周波数において、印加電圧を 0V から 20V まで変化させた時の流量特性を示す。空気圧は 0.5MPa である。

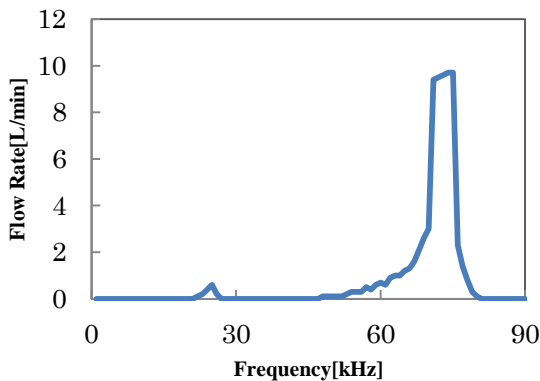


Fig. 5 Flow rate – frequency relationship

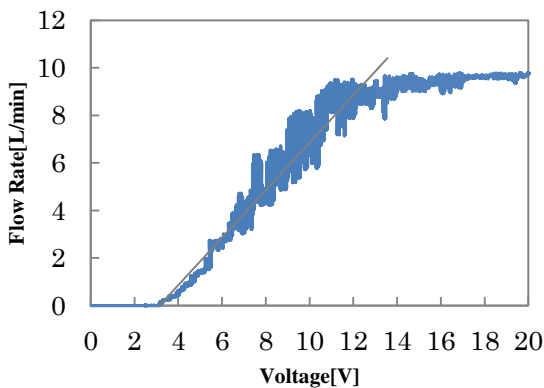


Fig. 6 Flow rate – voltage relationship

周波数を制御した場合、はじめの増加は小さく共振周波数付近で流量が急激に増加するため流量の制御が困難である。電圧を制御した場合、3V から 13V 付近において電圧の増加に比例して流量が増加することが確認できた。結果として、電圧に比例した流量制御が可能だと考えられる。

## 4. 空気圧ロボットアームの駆動

### 4.1 空気圧ロボットアーム

Fig.7 に空気圧ロボットアームを示す。このロボットアームはエアシリンダ自体の高い強度を生かし、上腕節、前腕節の軸にエアシリンダを組込んで、各腕節の構造部材の大部分をそのエアシリンダに兼ねさせる内骨格構造をしている。この内骨格構造により、人間とほぼ同じ大きさで 7 自由度をもち、関節の大きな運動可動域をもつ軽量なロボットアームを実現している[6]。Fig.8 に各関節の可動範囲を示す。

### 4.2 三方向無拘束ポペット空気圧弁

無拘束ポペット空気圧弁は、単体では空気を流す方向は一方だけである。そのため、二つの無拘束ポペット空気圧弁を組み合わせることにより給気、排気、アクチュエータの三方向に入出力口を有した構造を実現する[7]。Fig.9 は三方向無拘束ポペット空気圧弁( $\phi 7 \times 20$  mm)を取り付けた肩関節のシリンダである。



Fig. 7 Pneumatic robot arm

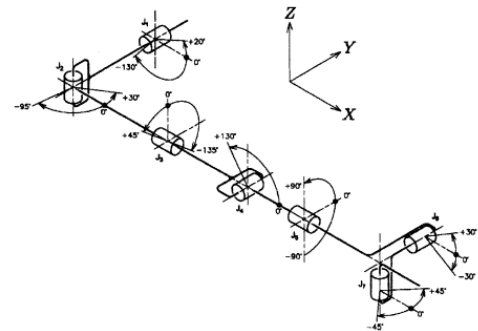


Fig. 8 Movable range of each joint

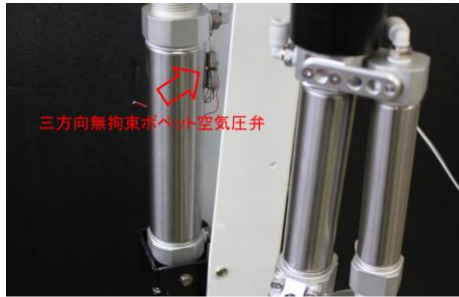


Fig. 9 Cylinder with three-way valve

### 4.3 駆動実験

三方向無拘束ポペット空気圧弁を用いて空気圧ロボットアームの肩関節 J1 の駆動を行った。空気圧は 0.5MPa, 肩関節 J1 のシリンダの内径は  $\phi 30\text{mm}$ , ストロークは 100mm であり, 関節にはアルプス社製ポテンショメータ RDC506002A が搭載されている。印加電圧を変え, 肩関節 J1 を  $-130$  度から  $30$  度まで駆動した結果を Fig.10 に示す。無拘束ポペット空気圧弁によりロボットアームを駆動することができた。また, 印加電圧を変えることによりロボットアームの駆動速度を制御できると考えられる。

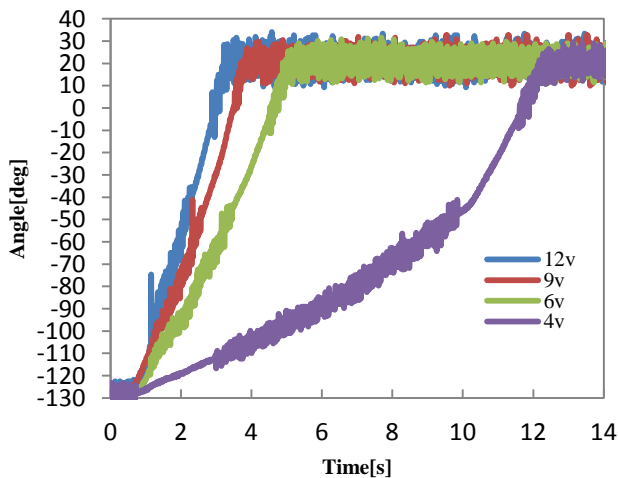


Fig. 10 Shoulder joint motion

## 5. 結言

無拘束ポペット空気圧弁に印加する電圧に対する流量特性を検証した。電圧の増加に比例して流量の増加が確認でき, 流量制御が可能だと考えられる。また, 無拘束ポペット空気圧弁によるロボットアームの駆動実験を行い, 速度制御を確認した。今後は 3 自由度の制御を行い, さらに, 無拘束ポペット空気圧弁でのロボットアーム全体の駆動, 制御を目指す。

## 参考文献

- [1] 古藪陽太, 川淵一郎, 星野聖: エアシリンダを内骨格とするヒト型ロボットアームの制御, 電子情報通信学会論文誌. A, 基礎・境界 J88-A(11), 1318-1325, 2005-11-01.
- [2] 川村貞夫, 野方誠, 田所諭, 早川恭弘, 松浦貞裕: 制御用アクチュエータの基礎, コロナ社, 2006.
- [3] 上原正太, 平井慎一: 空気圧アクチュエータ用小型比例制御弁の開発, 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, ROBOMECH20051A1-S-083, 2005.
- [4] S. Jien, S. Hirai, and K. Honda: Miniaturized Unconstrained On-Off Pneumatic Poppet Valve-Experiment and Simulation, IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol.14, Issue5, pp.626-635, 2009.
- [5] 泉沢和宏, 巽正之, 平井慎一: 振動駆動式無拘束ポペット空気圧弁の小型化, 第 29 回日本ロボット学会学術講演会論文集, RSJ2011AC3K2-6, 2011.
- [6] 淵上幸太, 古藪陽太, 阿波野朋樹, 川淵一郎, 小川博教, 星野聖: 剛性調整可能な空圧式ロボットアーム, SICE システムインテグレーション部門講演会 (SI2004)論文集, 747-748, 2004.
- [7] 香西健太, 平井慎一: 小型空気圧弁を内蔵した二指ロボットハンド, 第 31 回日本ロボット学会学術講演会論文集, RSJ2013L2-03, 2013.