

三方向振動駆動式無拘束ポペット空気圧弁の製作

Three-way Unconstrained Vibrational Pneumatic Poppet Valves

○香西 健太 (立命館大) 泉沢 和宏 (立命館大) 平井 慎一 (立命館大)

Kenta KOUZAI, Ritsumeikan Univ.
Kazuhiro IZUSAWA, Ritsumeikan Univ.
Shinichi HIRAI, Ritsumeikan Univ.

In this paper, we describe 3-way unconstrained vibrational pneumatic poppet valves. Wearable robots need many pneumatic valves to drive McKibben actuators. Thus, it is important to miniaturize these valves. We develop unconstrained vibrational pneumatic poppet valves with PZT drivers. We need supply and exhaust valves to drive one McKibben actuators. In this paper, two valves were integrated for one actuator. Experiment showed that our 3-way valves could supply enough flow rates. We check the flow rate for various cases of the exhaust valve. Additionally, we check the influence between the supply base and exhaust case by sandwiching the tube between two valves.

Key Words: McKibben actuator, Unconstrained Poppet valve, Pneumatic valves

1. 緒言

近年、ロボットハンドや歩行機構を空気圧アクチュエータを用いて駆動させる研究が盛んに行われている。空気圧アクチュエータの中でも特に、McKibben型アクチュエータに注目が集まっている。このアクチュエータの構造は、ゴムでできたチューブの片側が密閉されており、もう片側から圧縮した空気を供給することで、軸方向に収縮力が働くという特性を持っている。そのため、人間の手脚のような柔軟な動きが可能となる。また、構造が簡単であり、軽量化・小型化が容易である。例えば、このアクチュエータの弾性特性を使って、柔軟でコンパクトな人間に近いサイズのロボットを製作し研究が行われている[1]。また、高い変位を発生できるMcKibben型アクチュエータが提案されており、それを使った研究・開発も行われている[2]。これらのことから、このアクチュエータは人間と同サイズのロボットハンドや歩行機構を製作することに適していると考えられる。

McKibben型アクチュエータを用いてロボットハンドを駆動させる場合、制御弁が必要となる。多数のアクチュエータを使用するロボットハンドを製作する場合、制御弁のサイズが問題となる。このことから、我々は小型で、なおかつ流量を十分に確保することのできる弁として、振動駆動式無拘束ポペット空気圧弁を提案してきた[3]。しかしながら、これまでの弁は二方向弁であり、三方向弁は実現されていない。

本報告ではMcKibben型アクチュエータを駆動するために必要な、供給・排気用の2つの無拘束弁を一体化することで、制御弁の小型化を図る。そのために、まず、ケースの形状の異なる排気用無拘束弁を製作し、駆動実験、流量の計測を行う。その後、供給・排気用の2つの弁を一体化する、三方向無拘束ポペット弁を製作し、単体の弁と比較する。

2. 振動駆動式無拘束ポペット空気圧弁の概要

本弁は、PZTアクチュエータを振動させることで、弁内部の拘束されていないポペットを振動させる。そのため、本弁を振動駆動式無拘束ポペット空気圧弁と名付けた。本節では本弁の構造、駆動原理、本実験に用いた駆動回路について述べる。

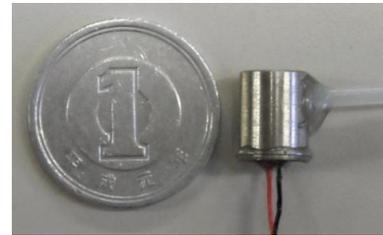


Fig. 1 Miniaturized valve (Valve A)

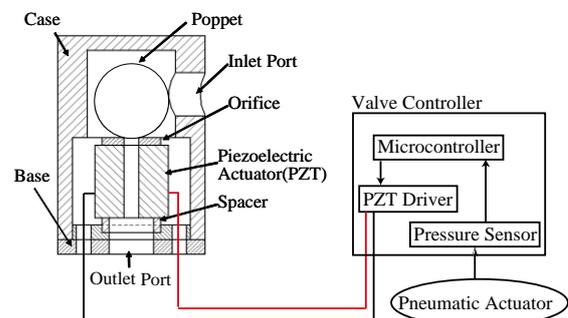


Fig. 2 Structure of miniaturized valve and system

Table 1 Size of components

Piezoelectric actuator	3×3×2mm
Poppet diameter	φ3.0mm
Orifice diameter	φ0.5mm

2.1 構造

図1に最小(φ7×9mm)の振動駆動式無拘束ポペット空気圧弁を、図2にその構造とシステムを示す。無拘束ポペット弁は、主に無拘束のポペット、中心に貫通穴を有するPZT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、底を支えるベースから成り立っている。本弁は比較的単純な構造であり、小型化に適している。表1にPZTアクチュエータ、ポペット、オリフィスのサイズを示す。以降、図1の弁をValve Aと呼称する。

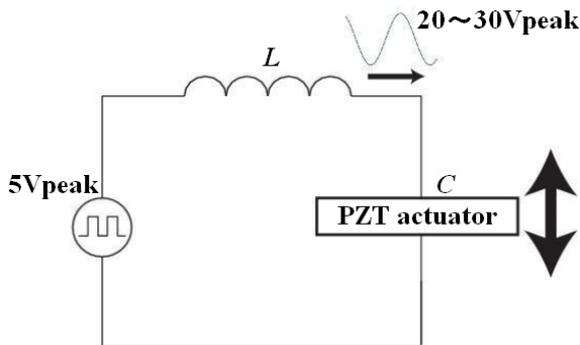
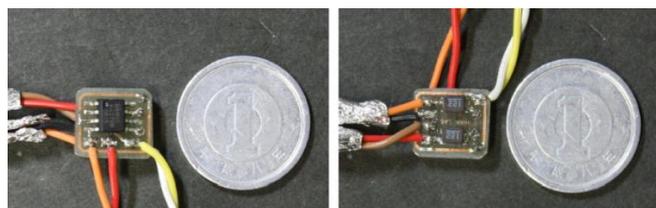


Fig. 3 Schematic of a LC circuit for PZT driver



(a)Top (b)Bottom

Fig. 4 Miniaturized PZT driver

2.2 駆動原理

本弁の駆動原理について図2の断面図から説明する。ポペットがあるケース内に0.5MPaの空気を供給すると、差圧によりポペットがオリフィスを塞ぎ、弁は閉状態となる。ここで、正弦波を印加すると、PZTアクチュエータは振動し、ポペットが跳躍運動することによってオリフィスとポペットの間に隙間が生じる。正弦波の周期によって、流量が変化する仕組みである。

2.3 駆動回路(PZTドライバ)

本弁では、印加周波数、電圧および電流が流量に影響する。PZT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]。マイクロコントローラから出力する命令信号はTTLかCMOSレベルである。しかしながら、PZT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、25V程度の駆動電圧が必要となる。これより、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出来る、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。図3にPZTドライバの基本的な構成を、図4に実験に使用したPZTドライバ[5]を示す。

3. 排気用無拘束弁

排気・供給用の弁を一体化した三方向無拘束弁を製作するにあたって、排気側の無拘束弁のケースの形状は変化する。そのため、ケースの形状を変更した、排気用無拘束弁を製作した。

本節の実験において、製作した排気用無拘束弁の流量とValve Aの流量を比較し、排気用無拘束弁が三方向弁の排気弁として用いることができるのか検証を行った。

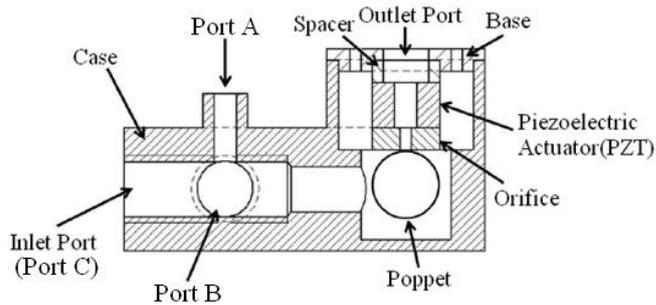


Fig. 5 Structure of valve of exhaust

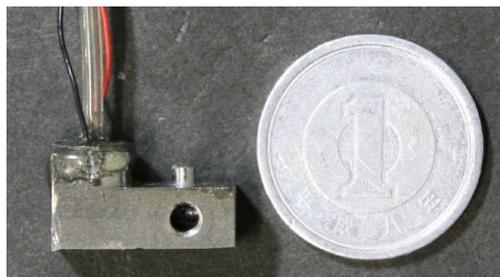


Fig. 6 Valve of exhaust (Valve B)

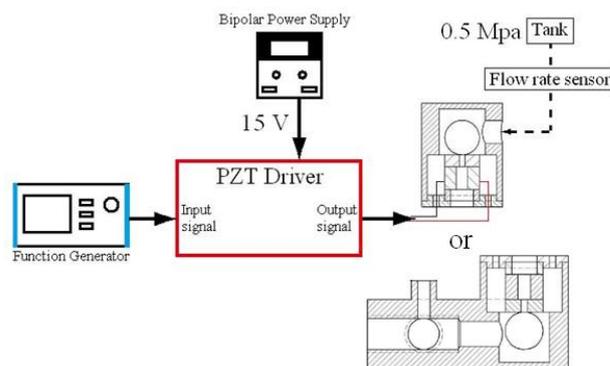


Fig. 7 Diagram of the experimental system

3.1 排気用無拘束弁の構造

図5に排気用無拘束弁の構造を、図6に実際に製作したものを示す。排気用無拘束弁は単体無拘束弁と比べ、給気口部分が横に増設されている。ベース、PZTアクチュエータ、オリフィス、ポペットはValve Aと同じものを使用している。また、ケース内の空間の寸法もValve Aと同じである。さらに、材質も同じものを使用している。図5のPort A, B, Cはそれぞれ、供給弁、MaKibben型アクチュエータ、圧力センサとつなげるためのものである。以降、この排気用無拘束弁をValve Bと呼称する。

3.2 駆動環境

PZTドライバの配線をファンクションジェネレータ、バイポーラ電源、無拘束弁に接続し、タンク内の圧力を0.50 MPaに設定する。その後、ファンクションジェネレータの出力波形を5.0 Vpeakの矩形波に、バイポーラ電源の電圧を15.0Vに設定する。ファンクションジェネレータを操作し、周波数を変化させる。周波数は1.0 kHzから80.0 kHzまで1.0 kHz刻みで計測し、実験を3回行い、その平均値を実験結果として記録する。図7に実験構成を示す。弁の目標流量は3 l/minとする。

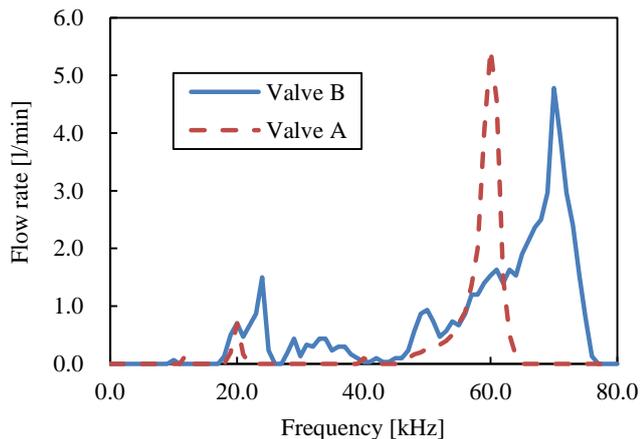


Fig. 8 Frequency – flow rate relationship for Valve A and Valve B

3.3 駆動実験

図 8 に周波数に対して Valve A, B の流量の変化を示す。流量が最大になる共振周波数と最大流量は、Valve A が、60.0 kHz で最大流量 5.5 l/min, Valve B が 70.0 kHz で最大流量 4.8 l/min であった。

結果として、Valve B は Valve A に比べ、共振周波数が上がり、最大流量が下がった。これは、ケースの形状の変更により、Valve B の体積が Valve A のものより増加したことが原因と考えられる。また、無拘束ポペット弁は、製作時の接着剤のつけ方、量などで共振周波数が前後する。本実験では、製作済みの Valve A と、新たに製作した Valve B を比較したため、内部の接着に個体差が出ており、さらに、内部だけでなく、ベース・ケース間の接着も、ケースの形状の違いにより個体差ができた。これらも共振周波数の上昇の一因であると考えられる。しかしながら、Valve B の最大流量は、目標値の 3.0 l/min を満たしている。

4. 三方向弁

第 3 節で Valve B が目標流量である 3 l/min を満たしたので、Valve A と Valve B を接着して三方向無拘束ポペット弁を製作した。この三方向弁は、二つの弁を接着して製作するため、互いに影響する可能性がある。このため、Valve A と Valve B を直接接着したチューブ無し三方向弁と、弁の間にチューブを挟んだチューブ有り三方向弁の二つの三方向弁を製作した。二つの三方向弁と Valve A, Valve B との比較を行った。

4.1 三方向弁の構造

図 9 にチューブ無し三方向弁の構造を、図 10 に実際に製作した弁を、図 11 にチューブ有り三方向弁の構造を、図 12 に実際に製作した弁を示す。チューブ無し三方向弁では、Valve A の排気口と、Valve B のコネクタ A を直接接着している。チューブ有り三方向弁では、Valve B のコネクタ A に、長さ 1.5 mm に切った PISCO のポリウレタンチューブ UB-0320-C を 0.6mm 差し込んで接着し、チューブの反対側に Valve A の排気口を接着し、Valve A, B の金属部が直接接触れないようにした。以降チューブ無し三方向弁を 3W-Valves A, チューブ有り三方向弁を 3W-Valves B と呼ぶ

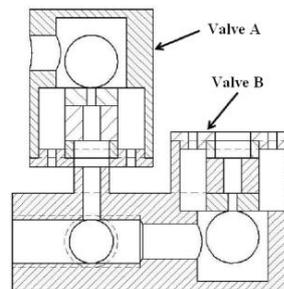


Fig. 9 Structure of 3-way valve without a tube

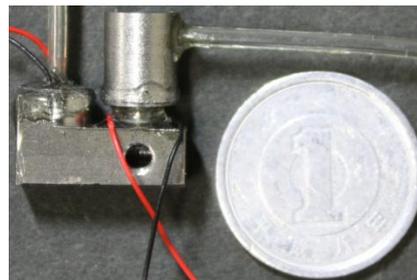


Fig. 10 3-way valve without a tube (3W-Valves A)

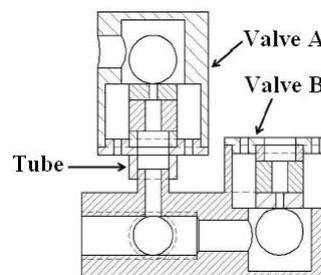


Fig. 11 Structure of 3-way valve with a tube

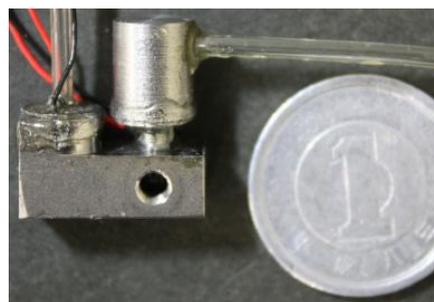


Fig. 12 3-way valve with a tube (3W-Valves B)

4.2 駆動実験

図 13 に周波数に対する Valve A, 3W-Valves A の供給弁, 3W-Valves B の供給弁の流量の変化を、図 14 に周波数に対する Valve B, 3W-Valves A の排気弁, 3W-Valves B の排気弁の流量の変化を示す。流量が最大になる共振周波数と最大流量は、3W-Valves A の供給弁が 48.0 kHz で最大流量 1.5 l/min, 3W-Valves A の排気弁が 72.0 kHz で最大流量 3.6 l/min, 3W-Valves B の供給弁が 61.0 kHz で最大流量 3.9 l/min, 3W-Valves B の排気弁が 71.0 kHz で最大流量 4.2 l/min であった。

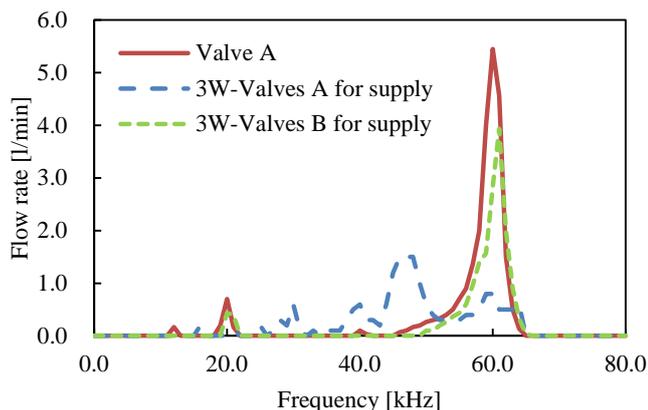


Fig. 13 Frequency – flow rate relationship for supply valves

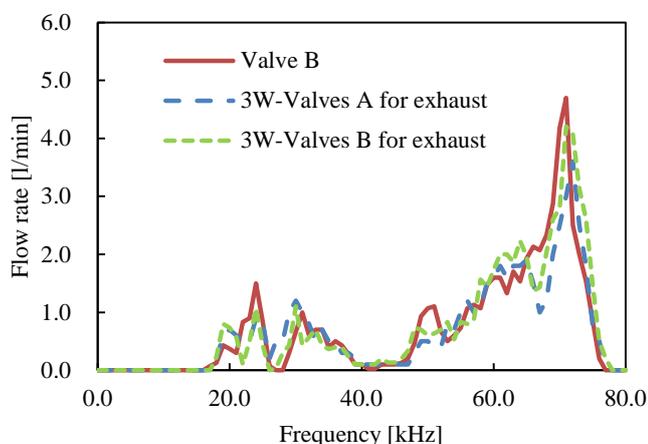


Fig. 14 Frequency – flow rate relationship for exhaust valves

3W-Valves A では、排気弁の場合、Valve A と比べ、共振周波数が上がり、最大流量が下がっている。これは、Valve A を接着剤でケースに固定し、ケースの体積が増えたことが理由だと考えられる。供給弁の場合は、Valve A と比べ、周波数、最大流量ともに減少している。これは、Valve A のベースと、3W-Valves A のケースが、ステンレス鋼同士で接着されているため、Valve A の振動が 3W-Valves A 側に伝わっているからだと考えられる。また、Valve A と 3W-Valves A を接着した際、接着剤が Valve A のベースと Valve B のケースの間に流れ込み、弁が接着剤で結合されたことも原因だと考えられる。

一方、3W-Valves B では、供給弁、排気弁ともに Valve A、B と比べ、共振周波数が上がり、最大流量が下がっている。しかしながら、Valve A、B との差は、3W-Valves A と比べ少ない。これは、二弁の間に弾性の低い材質のチューブを挟んだことにより、それぞれの振動が伝わりにくくなったことが原因だと考えられる。また、3W-Valves B は 3W-Valves A と比べ、Valve A のベースと Valve B のケースの間に接着剤が流れなかった。このことも理由の一つだと考えられる。

結果として、3W-Valves B の供給弁、排気弁の最大流量は、目標値の 3.0 l/min を満たしているため、3W-Valves B は三方向弁として使用可能であるということが分かった。

5. 結言

本研究では、振動駆動式無拘束ポペット空気圧弁を三方向弁にするための製作と検証を行った。まず、これまで製作していたものとはケースの形状が異なる Valve B を製作し、通常の形状の Valve A と流量の比較を行った。次に、Valve A と Valve B を接着し、三方向弁を製作した。三方向弁は、間にチューブを挟んだものと挟んでいないものの 2 パターンを製作した。この結果、チューブ有り三方向弁が制御弁として使用できることが分かった。

これを踏まえ、今後は三方向弁の小型を行いつつ、供給弁と排気弁を同時に動かしたときの影響などを検証する。

文献

- [1] 細田耕, 坂口雄紀: 生物型筋骨格構造をもつ一脚ロボットの跳躍運動, 第 27 回日本ロボット学会学術講演会論文集, RSJ2009AC1K2-04, 2009.
- [2] 田中大資, 前田浩之, 中村太郎: 人工筋肉マニピュレータの突発的な負荷を考慮した関節剛性制御, 第 27 回日本ロボット学会学術講演会論文集, RSJ2009AC2A1-04, 2009.
- [3] 巽正之, 伊藤正彦, ジェンスマディ, 平井慎一, 本田顕真: 駆動式無拘束ポペット空気圧弁の小型化における形状と材質の影響, 平成 21 年春季フルードパワーシステム講演会, 2009
- [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, Issue 5, 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.