

小型空気圧弁を内蔵した二指ロボットハンド

○香西健太(立命館大) 平井慎一(立命館大)

1. 緒言

近年、人間の手を模したロボットハンドの研究が盛んに行われており、特に義手などのような、ウェアラブルロボットにおいては、小型であることが重要とされる。そこで、小型で軽量なアクチュエータとして、McKibben 型アクチュエータが注目されている [1], [2]. しかし、McKibben 型アクチュエータを駆動する制御弁のサイズと流量が問題とされている (図 1). 電磁ソレノイド弁を用いれば McKibben 型アクチュエータの駆動に十分な流量を出力できる。しかし、そのサイズは数十 mm 以上であり、人と同サイズのロボットハンドに組込むことは難しい。ロボットハンドに制御弁を内蔵できない場合、ロボットから無数のチューブが外部に伸びた状態となる。このような状態の駆動システムは複雑であり、ウェアラブルロボットとして利用することは難しい。一方、小型弁として MEMS 弁がある。MEMS 弁のサイズは数 mm 程度であり、人間と同サイズのロボットハンドへの実装も容易に行うことが可能である。しかしながら、MEMS 弁の流量は数十 ml/min 程度であり、McKibben 型アクチュエータを駆動することができない。これより、図 1 に示すような流量が数 l/min 以上であり、なおかつサイズが十数 mm 程度の制御弁が必要となる。

そこで我々は図 2-a に示すような構造の空気圧弁を提案した [3]. 本弁は無拘束のポペットの跳躍運動によって流量を制御する。そのため、無拘束ポペット弁と名付けた。本弁はポペットを固定する機構を必要としないため、小型化に適している。図 2-b に製作したプロトタイプを示す。プロトタイプのサイズは $\phi 7.0 \times 9.0$ mm, 重量は 2.2 g である。使用している各パーツは、 $3.0 \times 3.0 \times 2.0$ mm の圧電素子、 $\phi 3.0$ mm のポペット、内径 $\phi 0.5$ mm のオリフィスである。また、このプロトタイプをもとに、より小型化した空気圧弁を開発した。本稿では、開発した新型空気圧弁およびその制御回路について述べる。さらに、開発した空気圧弁によって McKibben 型アクチュエータの駆動が可能かを検証する。

2. 三方向無拘束ポペット弁

2.1 三方向無拘束ポペット弁の構成

無拘束ポペット弁は、単体では一方向にしか空気を流すことができない。McKibben 型アクチュエータを駆動するためには、給気、排気、アクチュエータの 3 方向に入出力口を有した弁が必要となる。そのため、本弁は 2 つの無拘束ポペット圧弁を組み合わせることにより、3 方弁の構造を実現する。図 3 に三方向無拘束ポペット圧弁の構成を示す。本弁は 2 つの無拘束ポペット弁によって構成されている。供給弁は供給口を有し、タンクから圧力を供給する。排気弁は圧力制御部を持

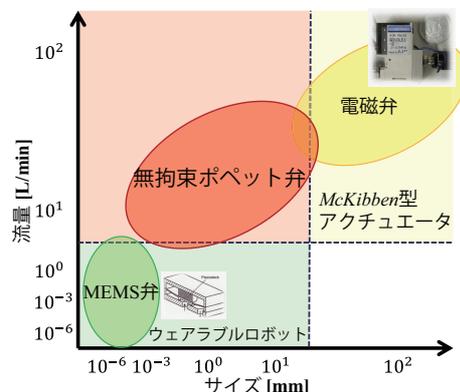
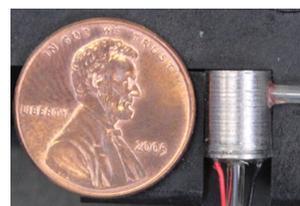
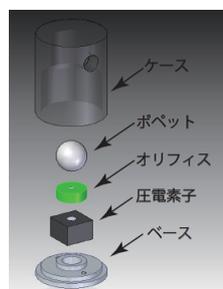


図 1: 空気圧弁のサイズと流量



a. 無拘束ポペット弁の構成 b. 無拘束ポペット弁のプロトタイプ

図 2: 無拘束ポペット弁

ち、そこにアクチュエータ出力口を有している。最後に排気口から内部の圧力を排出する。

2.2 三方向無拘束ポペット弁の駆動原理

次に本弁の駆動原理について述べる。供給弁の内部では、タンクからの供給圧力と圧力制御部の圧力との差圧により、ポペットがオリフィス穴を塞ぎ、閉状態を保持する。その状態から供給弁を駆動することで、圧力制御部に空気を供給する。同様に、排気弁の内部では、圧力制御部に供給された圧力と外部の大気圧との差圧によって閉状態を保持する。最後に、排気弁を駆動することで、圧力制御部の圧力を外部に排出する。このように、無拘束ポペット弁の駆動において、差圧は必要不可欠な要素である。そのため、圧力制御部と供給および排気側との間には常に差圧を生じさせる必要がある。

2.3 三方向無拘束ポペット弁のプロトタイプ

図 4 に製作した三方向無拘束ポペット弁のプロトタイプを示す。プロトタイプのサイズは $16.0 \times 7.0 \times 17.5$ mm, 重量は 6.5 g である。使用しているポペットおよびオリフィス、PZT アクチュエータのサイズは図 2-b のプロトタイプに使用したものと同様である。図 5 に

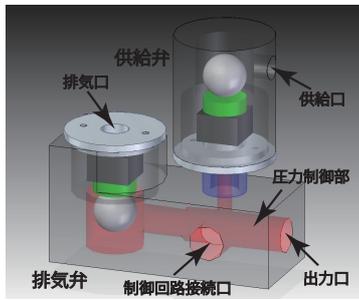


図 3：三方向無拘束ポペット弁の構成

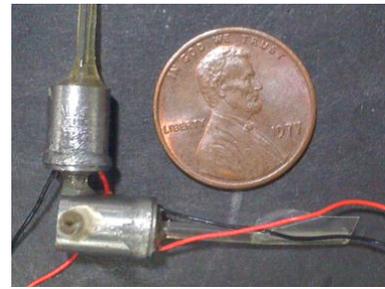


図 6：新型三方向無拘束ポペット弁

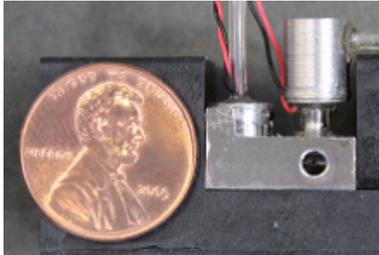


図 4：三方向無拘束ポペット弁のプロトタイプ

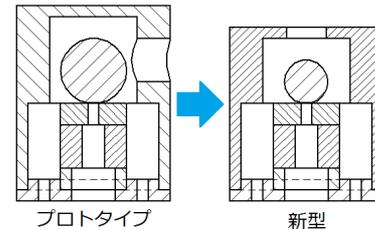


図 7：無拘束ポペット弁の比較

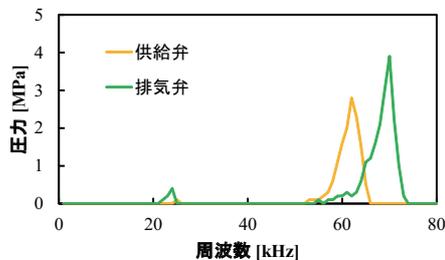


図 5：プロトタイプの周波数—流量特性

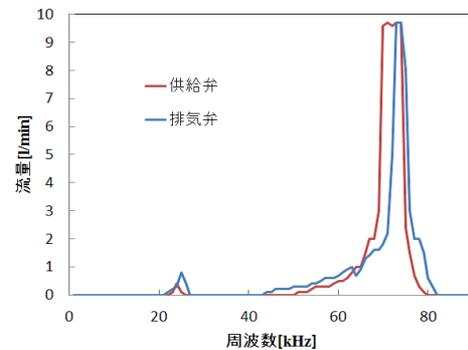


図 8：新型の周波数—流量特性

供給弁および排気弁の周波数と流量の特性を示す。

2.4 新型三方向無拘束ポペット弁

図 6 に新たに開発した、新型の三方向無拘束ポペット弁を示す。新型弁のサイズは $13.0 \times 7.0 \times 17.5$ mm、重量は 4.0 g である。改良点として、供給弁、排気弁ともに、空気の供給部を側面から上部に変更している。図 7 に無拘束ポペット弁のプロトタイプと新型の比較を示す。無拘束ポペット弁のプロトタイプは、横から空気が供給されていたため、ポペットがケース内部で側面に押し付けられ、閉状態を保持できないことが幾度かあった。そのため、供給部、ポペット、オリフィス穴を一行に並べることで、その問題を解消した。また形状の変更に伴い、ポペットを $\phi 3.0$ mm から $\phi 2.0$ mm に変更した。このことにより、ケース内部のポペットが振動するための空間を縮小した。また、排気弁に関しては、図 3 にある制御回路接続口を省いた。三方向無拘束ポペット弁のプロトタイプでは、制御回路に内蔵した圧力センサを用いて制御していたが、新型のものでは圧力センサを用いないためである。図 5 に新型の三方向無拘束ポペット弁の供給弁および排気弁の周波数と流量の特性を示す。

3. 制御回路

3.1 PZT ドライバ

無拘束ポペット弁では、印加周波数、駆動電圧および出力電流量が流量に影響する。圧電素子の変位量は、駆動電圧の大きさで決まり、電流量によって変形速度が決まる。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入力する命令信号は TTL か CMOS レベルである。しかしながら、圧電素子を十分に変位させ、必要な流量を出力するためには、25 V 程度の駆動電圧が必要となる [5]。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できる、小型かつ高出力な PZT ドライバが必要となる。本稿の実験では、コイルを使用した 2 入力 2 出力の PZT ドライバを用いた [6]。図 ?? に PZT ドライバの基本的な構成を、図 10 に実験に使用したものを示す。この回路のサイズは $11.0 \times 9.0 \times 6.0$ mm である。表 1 に回路の特性を示す。

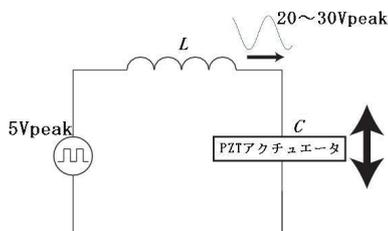
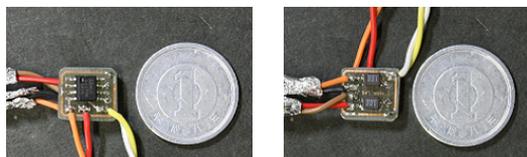


図 9 PZT ドライバの基本構成



a. 表 b. 裏

図 10 : PZT ドライバ

表 1 PZT ドライバの特性

項目	詳細
最大駆動電圧	22.0 V
最大出力電流	1.5 A
コイル直流抵抗	11.0 Ω
サイズ	11 × 9 × 6 mm
入出力数	2 入力 2 出力 (独立)
供給電圧	15.0 V

4. 駆動検証実験

4.1 実験概要

図 11 に実験システムを示す。三方向無拘束ポペット弁によって McKibben 型アクチュエータの駆動実験をする。二指のロボットハンドを駆動するため、McKibben 型アクチュエータが二列に並んでおり、2つの McKibben 型アクチュエータの駆動用のタンクが共通になっている。図 11 の実験システムを使用し、出力口を McKibben 型アクチュエータへ接続した。McKibben 型アクチュエータには FESTO Ltd. のラバーマッスルシリーズ、MXAM-10-AA を使用した。図 12 に実験に使用した三方向無拘束ポペット弁および McKibben 型アクチュエータを示す。図 12 の実機を用いて、片側の制御回路を駆動する。

4.2 考察

二列に並べた McKibben 型アクチュエータのうち 1 本だけを駆動することができた。本弁では振動を利用しているため、逆側の無拘束ポペット弁に振動が伝わり、予期せぬ動作をすることが考えられた。しかし、そのようなことはなく、片側の駆動中、逆側の McKibben 型アクチュエータの収縮は見られなかった。これは 2つの三方向無拘束ポペット弁が、柔らかいチューブでしかつながっていないので、振動が伝わらなかったのだと考えられる。

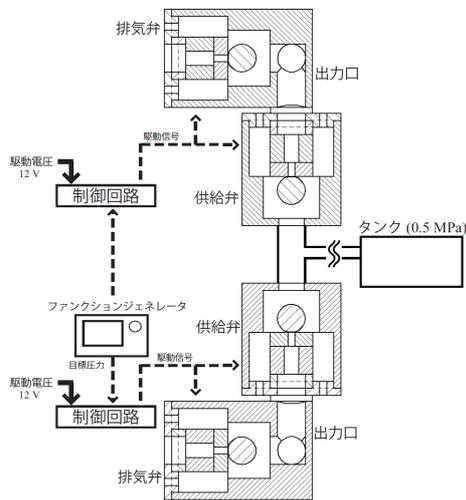


図 11 : 実験システム

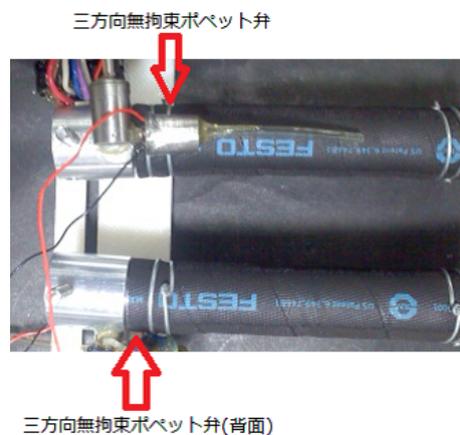


図 12 : 実験に使用した三方向無拘束ポペット弁および McKibben 型アクチュエータ

5. 結言

供給口が上部についている無拘束ポペット弁を製作した。これより、製作した無拘束ポペット弁から、新型の三方向無拘束ポペット弁を製作した。また、McKibben 型アクチュエータと三方向無拘束ポペット弁を並べて駆動し、片方の駆動がもう片方に影響を与えないことを確認した。このことから、新型の三方向無拘束ポペット弁によって、二指のロボットハンドを駆動することができると言える。

参考文献

- [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: “振動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, pp. 125-127, 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] 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.
- [6] 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.