

オリフィス側面排出型無拘束ポペット空気圧弁

○藤木 涼介（立命館大学），平井 慎一（立命館大学）

Unconstrained poppet pneumatic valve from orifice side

○Ryosuke FUJIKI (Ritsumeikan University), and Shinichi HIRAI (Ritsumeikan University)

Abstract : In this paper, we describe cheap unconstrained poppet pneumatic valve. Unconstrained poppet pneumatic valve is small and high power valve. However, this valve is too high cost to use for industrial robots. The expensive cause is PZT actuator in unconstrained poppet pneumatic valve has a hole. Therefore, we developed unconstrained poppet pneumatic valve has PZT actuator without hole.

1. 緒言

やわらかい素材を用いたソフトロボットの研究がすすめられている。ソフトロボットの駆動方法の一つには、プリンタブルソフトハンドのように空気圧がある [1]。このようなロボットに空気圧駆動が利用される理由としては、柔軟駆動により形状が変形できることがあげられる [2]。しかし、そのようなロボットに空気圧弁を搭載する場合、小型な弁でありながら、適した出力の空気圧弁がないという問題点がある。現在の空気圧弁の大きさと出力の関係を Fig.1 に示す。なお、出力は MR valve[3] の流量と SMC, KOGANEI, Gems, The Lee Company, EMERSIN のカタログ等に記載されている流量をプロットした。なお、流量の記載がない弁に関しては、 C_v 値をもとに算出した。サイズが大きく、出力の大きい電磁弁は数多く存在する。また、50 mm 以上の弁では、200 L/min 以上の大きな出力の弁もあった。さらに、MEMS 技術を利用したマイクロサイズの小型で出力の小さい弁も存在する。しかし、流量は小さい。また、Fig.1 に示すように、10 mm 程度の弁も存在するが、0.001 L/min と出力が小さい。

そこで、我々は 10 mm の小型な弁でありながら、9 L/min の出力が出せる小型の弁として、無拘束ポペット空気圧弁を提案してきた。無拘束弁を Fig.2 に示す。なお、比較のために電磁弁と 1 円玉を横に置いた。本弁は、PZT アクチュエータを利用し、ポペットを振動させることで流量を調節する ON/OFF 弁である。しかし、無拘束ポペット空気圧弁に利用されている PZT アクチュエータには貫通穴がけられており、弁を高価にしていまう原因となる。そこで、本論文では貫通穴のない PZT アクチュエータを利用した無拘束ポペット空気圧弁を作成することで、安価な弁を開発する。

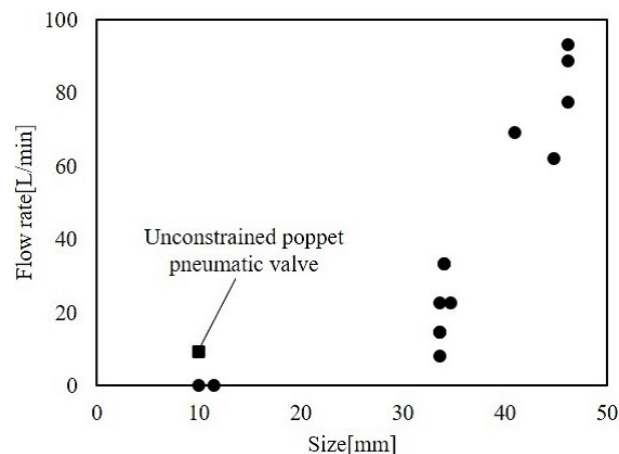


Fig. 1: Valve size and flow rate

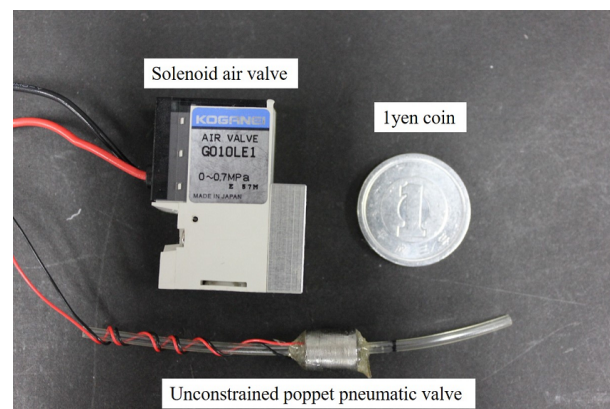


Fig. 2: Solenoid, unconstrained poppet pneumatic valve, 1yen coin

2. 無拘束ポペット空気圧弁

2.1 構造と動作原理

無拘束ポペット空気圧弁を Fig.3 に示す。本弁は、ケース、ベース、ポペット、オリフィス、PZT アクチュエータ

で構成される。PZT アクチュエータは、中心に貫通穴があげられている。無拘束ポペット空気圧弁は $\phi 7\text{mm} \times 8\text{mm}$ で、 9L/min の出力を得ることができる。無拘束ポペット空気圧弁の吸気口に圧力を与える。すると、PZT アクチュエータが動作していない状態では、吸気口と排気口の圧力差のため、ポペットはオリフィスの穴をふさぐ。その結果、空気が流れない。一方で、PZT アクチュエータに正弦波を印加すると、PZT アクチュエータが振動する。その振動がポペットに伝達されると、オリフィスとポペットの間に隙間が生じ、空気が流れる。その後、吸気口と排気口の圧力差により、瞬時にポペットはオリフィスをふさいでしまう。しかし、再び PZT アクチュエータの振動により、ポペットとオリフィスに隙間が生じ空気が流れる。これらの動作を繰り返すことで、空気を流す状態を作り出す。

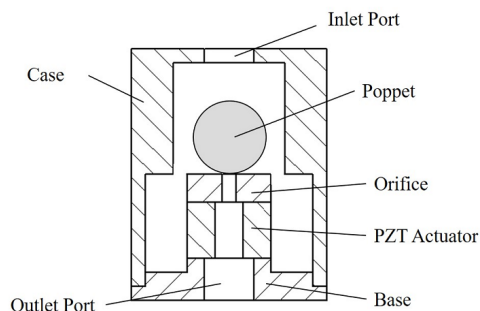


Fig. 3: Unconstrained poppet pneumatic valve

2.2 PZT アクチュエータ

無拘束ポペット空気圧弁に利用されている PZT アクチュエータには貫通穴があげられている。PZT アクチュエータに穴をあけることによって、価格が約 20 倍になってしまう。無拘束ポペット空気圧弁と同程度のサイズ、または同出力の弁と比較すると、本弁は 5 倍以上のコストになる。

3. オリフィス側面排出型無拘束ポペット空気圧

無拘束ポペット空気圧弁のコストを下げるためには、PZT アクチュエータの貫通穴を失くす必要がある。そこで、PZT アクチュエータの貫通穴を失くした新たな構造の弁として、オリフィス側面排出型無拘束ポペット空気圧を提案する。新たに提案する弁の動作原理は、無拘束ポペット空気圧弁と同じである。オリフィス側面排出型無拘束弁を Fig.4 に示す。新たに提案する弁には、オリフィス側面に空気を排出するための穴を設けた。さらに、吸気口から

侵入する空気が、排気口に流入するのを防ぐために壁を設けた。

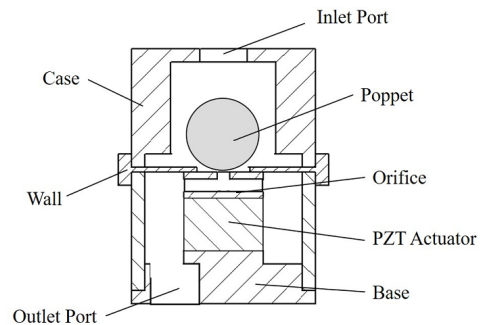


Fig. 4: Unconstrained poppet pneumatic valve from orifice side

4. 側面排出型のオリフィスの試作

4.1 オリフィスの素材

従来の弁では、オリフィスにばね鋼を利用してきた。しかし、オリフィスの高さは 1mm であるので、ばね鋼を用いたオリフィスの側面を加工することは困難である。小型化の観点から、オリフィスの高さを大きくすることは望ましくない。したがって、オリフィス側面の加工が可能でありながら、高出力が出せる素材を利用する必要がある。そこで、焼入れ・焼き戻しによって硬度を高めることができる鉄素材 (S45C) を用いてオリフィスを作成し、十分な流量を得ることができるかを検証する。

4.2 実験目的

本実験では、側面排出型のオリフィスに適した素材を探すことを目的とする。ばね鋼、鉄 (S45C)、焼入れ・焼戻し処理をした鉄 (S45C) の 3 つの材料を利用し、従来の無拘束ポペット空気圧弁のオリフィスを作成する。それぞれの素材を利用して作成したオリフィスを用いて弁を作成し、流量の変化を確認する。

4.3 実験方法

弁の吸気口に 0.5MPa の圧力を加える。その状態で、PZT アクチュエータに 0 から 100kHz の正弦波を 1kHz ごとに印加し、流量を計測する。流量は弁に流れる流量を計測する。弁に流れる空気と排出される空気の体積は等しい。したがって、弁に流れる空気を計測することで、弁が排出する空気の流量を計測する。

4.4 実験結果

ばね鋼、鉄、焼入れ・焼戻し処理をした鉄を用いて作成したオリフィスを使用した弁の流量と周波数の関係を調べた。実験の結果を Fig.5 に示す。実験の結果は、ばね鋼を利用した場合がもっとも出力が大きく、処理を施さなかった鉄でも 8 L/min の出力を得た。一方で、焼入焼戻し処理をした鉄が最も出力が小さいという結果になった。なお、焼入焼戻し処理をおこなった鉄においては、250 kHz までの流量変化を確認したが、出力はほとんどなかった。最大流量を比較すると、ばね鋼と鉄では異なる周波数で最大流量となる。しかし、鉄と熱処理を施した鉄では、ともに最大流量となる周波数は 55 kHz 前後であった。

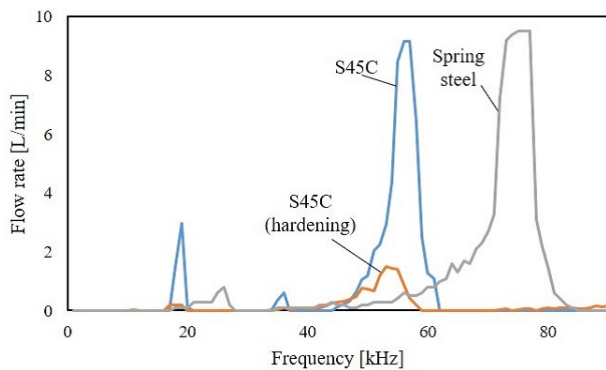


Fig. 5: Orifice material and flow rate - frequency

4.5 考察

ばね鋼を用いて作成したオリフィスでは、60 kHz から 80 kHz の間で最大流量を観測する [4]。しかし、鉄素材は 60 kHz 以下で最大流量を観測しており、ばね鋼素材のオリフィスとは周波数が異なる。オリフィスの素材が最大流量を観測する周波数に影響していることがわかる。また、鉄と熱処理を施した鉄を比較すると最大流量を観測する周波数は同じであるが、流量は異なる。これは熱加工により、表面硬さや内部硬さの変化が生じたことや、残留応力により、材料の特性が変化したためであると考えられる [5][6]。ばね鋼を利用したオリフィスに比べると鉄素材のオリフィスのほうが流量は劣る。しかし、一般的な弁の中に、無拘束ポペット弁と同じ大きさで、今回の実験から得られた出力以上の弁は存在しない。そのため、側面排出型オリフィスの素材には鉄素材を利用するのが適していると考えられる。

5. オリフィス側面排出型無拘束ポペット空気圧弁

5.1 試作

作成したオリフィス側面排出型無拘束ポペット弁を Fig.6 に示す。作成した弁は $\phi 8 \text{ mm} \times 8.5 \text{ mm}$ である。側面排出型オリフィスは鉄素材を用いて作成した。オリフィスは、従来の弁で使用していたオリフィスと同様の $\phi 3 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$ の円筒型をたもちつつ、側面に $\phi 0.5 \text{ mm}$ の穴をあけた。本実験のオリフィス側面排出型無拘束弁はこのオリフィスを用いて作成した。

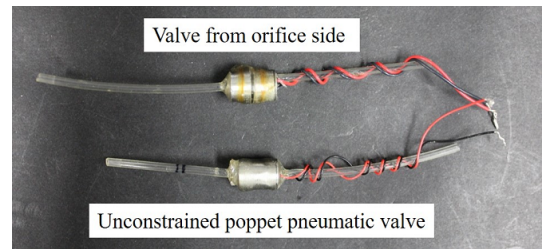


Fig. 6: Rial thing: unconstrained poppet pneumatic valve from orifice side

5.2 実験目的

本実験では、オリフィス側面排出型無拘束ポペット空気圧弁の動作を確認することである。壁素材を変化させることで、流量にどのような変化を及ぼすのか検証する。

5.3 実験方法

オリフィス排出型無拘束弁の壁には、シリコン、アクリル、アルミを用いて作成した。それぞれの弁に 0 kHz から 100 kHz まで 1 kHz の周波数を与え、それぞれの流量を確認する。供給圧力は 0.15 MPa, 0.30 MPa, 0.50 MPa で実験をした。

5.4 実験結果

鉄のオリフィスを用いた従来型の無拘束弁の結果を Fig.7 に示し、オリフィス側面排出型無拘束弁で壁がアクリルの結果を Fig.8 に、壁がアルミの弁を Fig.9 に示す。なお、シリコン壁の無拘束弁は 0.1 MPa で破損した。そのため、データはない。従来型の弁のグラフの縦軸の最大値は 10 L/min, アクリル壁弁のグラフの最大値は 0.3 L/min, アルミ壁弁の最大値は 1 L/min であることに注意されたい。従来型の無拘束弁では、圧力が大きくなると流量も大

きくなる．一方で、オリフィス排出型無拘束弁では、圧力が変化しても流量も大きく変化しない．また、同じ供給圧力を与えた時の弁の動作を比較すると、オリフィス排出型無拘束弁の流量は従来型に比べて小さいという結果を得た．アクリル壁とアルミ壁を用いた弁を比較すると、アルミ壁の弁の流量が大きいという結果だった．

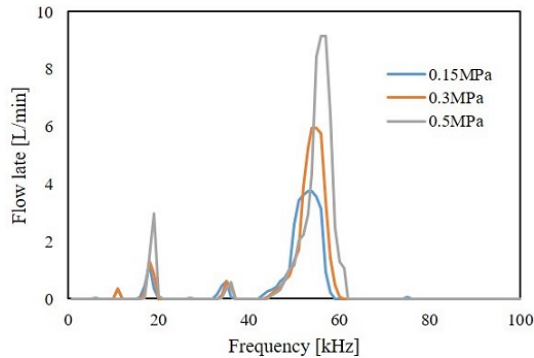


Fig. 7: Steel orifice: pressure and flow rate - frequency

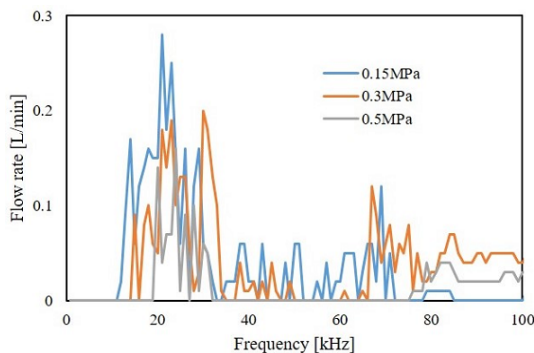


Fig. 8: Acrylic wall: pressure and flow rate - frequency

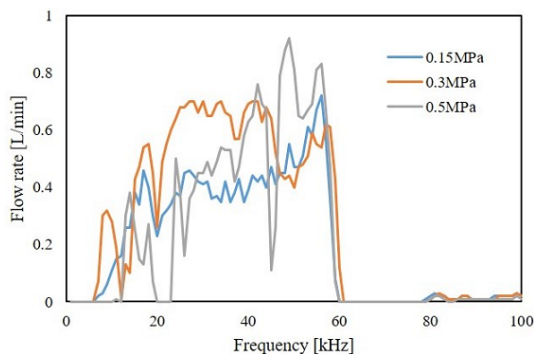


Fig. 9: Aluminum wall: pressure and flow rate - frequency

5.5 考察

はじめに、供給圧力が 0.50 MPa のときの最大流量に注目する．すると、従来型の弁に比べてオリフィス側面排出型の無拘束弁の流量は小さい．この原因は PZT アクチュエータの振動が壁により阻害されたためだと考えらる．そのため、流量を増やすためには、壁素材の厚さや素材を変更する必要がある．次に、各供給圧力ごとの最大流量に注目する．従来型の無拘束弁では、供給圧力が大きくなると流量も大きくなる．しかし、オリフィス排出型無拘束弁は供給圧力による流量の変化が少ない．これは、オリフィスを流れることができる空気が、従来型のオリフィスに比べて小さいからであると考えられる．したがって、流量を増やすためには、空気が流れやすいオリフィスに変える必要がある．オリフィス側面排出型無拘束弁流量は少ない．本報告では、流量が流れる状態と流れない状態を確認できている、弁として機能することがわかる．

6. 結言

本実験では、現在の無拘束弁が高価であるという問題点があった．そこで、PZT アクチュエータの穴を不要とする無拘束弁を作成するために、オリフィス側面に穴をあけた新たな構造の弁を提案した．はじめに、オリフィスの素材を変えて実験をした．その結果、鉄素材であれば、オリフィス側面に穴をあけることができ、かつ流量が大きいことがわかった．次に、鉄素材のオリフィスを用いて、オリフィス側面排出型無拘束ボペット弁を作成し、流量を計測した．その結果、従来型の弁に比べて流量が小さいが、動作することがわかった．今後、流量を出すために、壁の素材や、オリフィスの形状を検討する必要がある．

参考文献

- [1] 平井慎一：“食品ハンドリング用ロボットハンド”計測と制御,2017,56,10
- [2] 中嶋浩平, 竹井邦晴：“ソフトロボットにおける Physical Reservoir Computing”日本機械学会誌,2019,122,1205
- [3] 吉田和弘, 鄭淵午, 横田真一：“MR 流体を弁体としたマイクロバルブ”日本機械学会論文集,2003
- [4] 宮治和弥, 平井慎一：“振動駆動式無拘束ボペット空気圧弁の駆動用発振回路の開発”,第 35 回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2017)
- [5] 仁平宣弘：“最新 熱処理のしくみと技術”,ナツメ社,2017
- [6] 磯村良蔵：“鋼の熱処理と残留応力-三次元的測定とその解析-”,アグネ技術センター,2000