

振動駆動式空気圧無拘束ポペット弁の小型化

立命館大学 伊藤正彦, ジエン・スマディ, 小川洋一郎, 平井 慎一
東レエンジニアリング(株) 本田顕真

Miniaturization of Unconstrained Vibrational Pneumatic Poppet Valves

Masahiko ITO, Sumadi JIEN, Yoichiro OGAWA, Shinichi HIRAI (Ritsumeikan Univ.),
Kenshin HONDA (Toray Engineering Co. Ltd)

Abstract—In this paper, we describe the miniaturization of unconstrained vibrational pneumatic poppet valves. Experimental results are given to show the comparison with miniaturized and micro valves of about the same size. This valve is possible to be made even smaller, which has adequate flow rate to drive a mini McKibben actuator in the future.

1. 緒言

近年, 小型のマッキベン型アクチュエータを利用してロボットハンドなどを駆動させようとする動きが高まっている. 空気圧アクチュエータの一つであるマッキベン型アクチュエータが利用される理由は, 非常に軽量であることや, 柔軟な動きが可能であること等が挙げられる.

しかし, ここで重要になってくるのがこの空気圧アクチュエータを制御するための制御弁である. このような小型アクチュエータを駆動させるためには空気圧 0.2~0.5 MPa で 3 L/min 以上の流量を制御する小型弁が必要である. 従来の弁は, これ以上の流量を制御可能であるが大型で重量も大きい. また, MEMS 技術を利用した弁は小型で軽量であるが小さな流量しか制御できない.

そこで, 我々の振動駆動式空気圧無拘束ポペット弁を提案する. この弁は, 小型化が実現可能であり適切な流量が制御出来るために小型のマッキベン型アクチュエータを駆動させるのに適すると考えた. 本報告では, 我々がこれまでに研究してきた弁をより小型化し, 様々な項目に関して計測を行ってきた結果を報告する. また, 市販の弁や他に研究されている弁と比較する.

2. 振動駆動式空気圧無拘束ポペット弁

2.1 構造

Fig.1 は振動駆動式空気圧無拘束ポペット弁であり, その構造を Fig.2 に示す. この弁の内部は主に球形のポペット, 中心に貫通した穴を有する PZT アクチュエータ, 流量を調節するオリフィスが使用されており, 比較的単純な構造である.

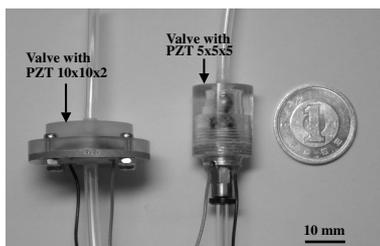


Fig.1 Miniaturized valve

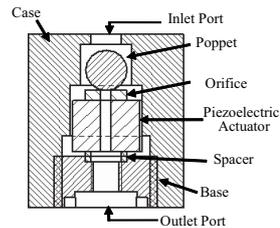


Fig.2 Structure of miniaturized valve

2.2 動作原理

まず, 弁に空気を供給する. そうすると供給圧により, ポペットがオリフィスを防ぎ, 閉状態となる. その状態のとき PZT アクチュエータに電圧を印加し, 矩形波の振動を与えるとスクイズ効果によってオリフィスとポペットの間には隙間が生じ, 開状態となり空気を放出することができる.

3. 実験

3.1 周波数と流量と弁の姿勢の関係

Fig.3 は, 5x5x5 mm の PZT アクチュエータを使用した小型弁を 4 方向の姿勢にして周波数と流量の関係を計測した結果である. なお, 実験は, 空気圧 0.5 MPa, 印加電圧 25 V, ポペットの直径 5 mm, オリフィスの直径 1.0 mm という条件下で行った.

最大流量を計測する周波数は右方向に向けたときは 26 kHz, 他の 3 方向の場合には 27 kHz となり, どの方向に向けてもほぼ同じ周波数で流量が最大となることが分かった.

それに対して最大流量は方向によって大きく違う値を示し, 不安定である. これはスクイズ効果によってポペットが不規則な動きをしていることによるものと考えられる.

3.2 PZT アクチュエータの高さと流量の関係

PZT アクチュエータの高さと流量の関係を計測した. オリフィスの直径 1.2mm での計測では印加電圧 20 V とし, オリフィスの直径 0.8 mm での計測では印加電圧 25 V とした. ポペットの直径 4 mm, 空気圧 0.5 MPa は全てに共通であり, それぞれ共振周波数で振動させた.

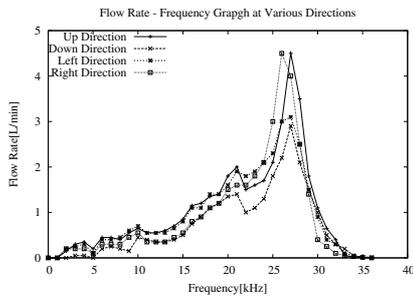


Fig.3 Flow rate - frequency relationship at various directions

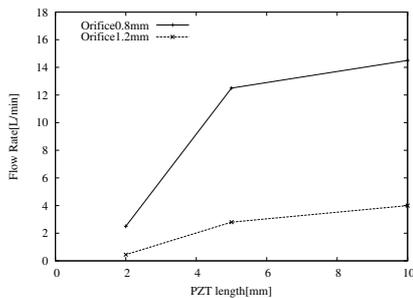


Fig.4 Comparison of flow rate for different PZT actuator length

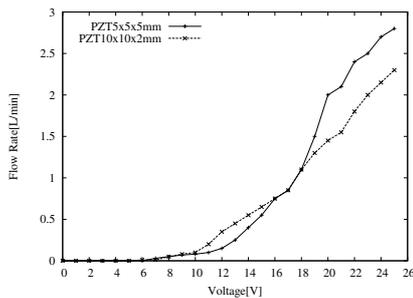


Fig.5 Flow rate of voltage-regulated valve

Fig.4 から分かるように、PZT アクチュエータの高さ方向が長くなるほど流量は大きくなるのが分かる。また、オリフィスの直径が大きくなると流量は小さくなっていることも分かる。これは、オリフィスの穴が大きくなるにつれて、ポペットにかかる空気抵抗が増加するためである。

3.3 電圧と流量の関係

PZT アクチュエータへの印加電圧を変化させたときの流量の変化を計測した。5x5x5 mm の PZT アクチュエータを使用時は周波数 27 kHz、空気圧 0.5 MPa、ポペットの直径 5 mm、オリフィス径 1.0 mm の条件で行い、10x10x2 mm の PZT アクチュエータを使用時は周波数 20 kHz、空気圧 0.5 MPa、ポペットの直径 4 mm、オリフィス径 1.0 mm の条件で行った。その結果を Fig.5 に示す。

電圧が上がるに連れて流量も増える単純増加が見られる。しかし、各周波数においては時間が経過しても流量の計測値は一定の値に収束せず、不安定であるため現在のところ電圧を変化させることによる流量制御は困難である。

Table 1 Comparison of miniaturized valves

	Unconstrained Valve		Miniat. Solenoid Valve	Micro Valve
	PZT Actuator	Vibration Motor		
Area[mm ²]	15x15	20x5	32x12	40x20
Height[mm]	20	10	7	14.3
Weight[g]	7	2	5	
Flow Rate[L/min]	15	9	12.6	2
Pressure[MPa]	0.5	0.5	0.5	0.2
MRI-compatible	Yes	No	No	No
Power[W]	5	1	0.5	6.3

4. 様々な弁との比較

Table 1 に 4 つの小型弁をいくつかの項目に関して比較したものを示す。我々の弁は外形のサイズが 15x15x20 mm のものであり、5x5x5 mm の PZT アクチュエータを使用している。他の 3 つは振動モータを用いたマイクロ流体制御弁¹⁾、3ポートソレノイドバルブ S070((株)SMC)²⁾、マイクロ弁³⁾である。

軽量化はサイズを小さくすることで可能であると考えられるので、まずサイズについて述べる。本弁のサイズは、ほかの小型弁と比較して決して小さいわけではなく、より一層の小型化が必要である。現在の PZT アクチュエータを使用する場合、最小で 10x10x15 mm 程度の大きさに出来ると考えられるが、これ以上の小型化は PZT アクチュエータの大きさを変えなければならない。しかし PZT アクチュエータを小さくすることで問題となるのが流量の減少である。

PZT アクチュエータを小さくしつつ、適切な流量を出すためには様々な工夫が必要である。我々の弁は最大 15 L/min 程度の流量が達成できたが、これは弁を固定したときの結果であり、弁を固定しないときには 4.5 L/min 程度の流量にまで落ち込む。この結果は、微小なポペットの動きによって弁の駆動が成り立っているからと考えられる。これを改善するためには、機構的工夫や周囲を覆うケース等の材質を変えれば良いと考えられる。

また、我々の弁は磁気を帯びていないため、MRI への利用も可能であると考えられる。消費電力は今のところ大きい省エネルギー対策としても小さな電力で駆動させることが望まれる。

5. 結言

小型化した振動駆動式空気圧無拘束ポペット弁を評価し、主な弁と比較した。我々が製作した初期の弁と比較すると大幅に小型化されてはいるが、十分な流量を保ちつつ更なる小型化を目指すことが必要である。

今後は、5x5x2 mm の PZT アクチュエータを利用した弁、複数の穴が開いた PZT アクチュエータを利用した弁の製作、評価を行っていく。

参考文献

- 1) 片山真一、赤木徹也、堂田周治郎: 振動モータを用いたマイクロ流体制御弁, 平成 19 年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集, pp.121-123, 2007.
- 2) <http://www.smcworld.com/2008/webcatalog/index.htm>
- 3) C. Fu, Z. Rummler and W. Schomburg: Magnetically driven micro ball valves fabricated by multilayer adhesive film bonding, J. Micromech. Microeng., 13, pp.96-102, 2003.