

# 振動駆動式無拘束ポペット弁による定量微小液滴の吐出の実験的評価

立命館大学 ○小川洋一郎\*, ジェン・スマディ\*, 平井慎一\*  
東レエンジニアリング (株) 本田顕真\*\*

## Experimental evaluation of the constant volume micro-droplet ejection by vibration-driven unconstrained poppet valve

Keywords : valve, droplet, ejection, vibration, PZT

### 1. 緒言

近年、液体を微小にして吐出する技術に対する需要が高まっている。身近な技術の中では、印刷機に使用されるインクジェット技術がある。インクを微小な液滴にして紙に吐出することで印刷を行なうものである。

インクジェットの中で主に用いられているのが圧電方式、バブルジェット方式である<sup>1)</sup>。しかしながら、圧電方式、バブルジェット方式ともに流体の物性に制限を受けやすく、特に粘性の高い流体に対し、用いることは難しい。それらに対し、使用する流体の物性に制限が少ないインクジェットの方式として、バルブ方式がある。バルブ方式は、流体を加圧し、バルブの開閉によって流体の吐出を行なう方式である<sup>2)</sup>。しかしながら、バルブ方式は機構が複雑になりやすく、メンテナンス性が悪くなりやすい。時間が経つと硬化してしまうような流体を扱う場合、弁の停止毎にその都度メンテナンスを行なう必要があり、これは大きな問題となる。

我々はこれまで振動駆動式無拘束ポペット弁の研究を行ってきた<sup>3)</sup>。これは、弁体に球体を使用し、それを積層型圧電アクチュエータによって振動させることで弁の開閉を行なう、簡単な構造となっている。そこで、この振動駆動式無拘束ポペット弁であれば簡単な構造で、使用する流体の物性に制限が少ない、微小液滴吐出機構が実現できるのではないかと考えた。

本報告においては、これまでの振動駆動式無拘束ポペット弁を基礎として開発した簡単な構造で、さまざまな物性の流体を吐出できる弁を提案する。そして、弁の構造、製作した試作弁の駆動特性を実験的に評価した結果を報告する。なお、本報告では基本的な特性を評価するために流体には水を使用した。

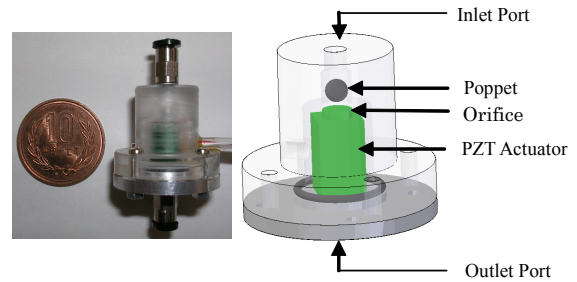


Fig.1 Unconstrained poppet valve

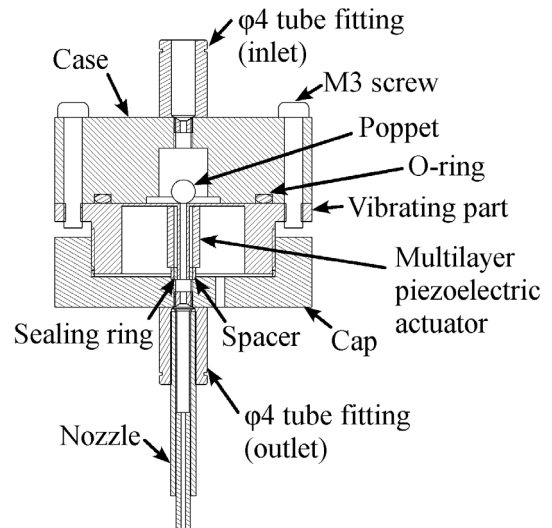


Fig.2 Cross-section drawing of the prototype

### 2. 振動駆動式無拘束ポペット弁

#### 2.1 構造

Fig.1 にこれまでの振動駆動式無拘束ポペット弁の構造を示す<sup>3)</sup>。図に示すように、流体が積層型圧電アクチュエータと接する構造となっている。したがって、通電性の高い流体を用いると積層型圧電アクチュエータ流体がショートしてしまう恐れがある。そのため通電性の高い流体に対しては用いることができない。

Fig.2 に今回設計した試作弁の構造を示す。試作弁は積層型圧電アクチュエータ内部に管構造の部分の設け、流体と積層型圧電アクチュエータが接しない構造にした。また、積層型圧電アクチュエータの振

\* 立命館大学大学院理工学研究科

(〒525 - 8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

\*\* 東レエンジニアリング株式会社開発部門開発部

(〒520 - 0842 滋賀県大津市園山 1-1-1)

動は上面の膜構造部を介してポペットに伝達される。

なおポペットには直径 5/32 インチの SUS304 球を使用した。またオリフィス径は 1mm である。積層型圧電アクチュエータは縦 5mm×横 5mm×積層方向 10mm の大きさで、積層方向に向かって直径 3mm の穴が空けられている。ノズル先端の大きさは外径 3/32 インチ、内径 1/32 インチである。

## 2. 2 駆動原理

弁の閉時はポペットが流体の供給圧によって、オリフィスに押しえつけられる。したがってオリフィスがふさがって閉となり、流体は流れない。

積層型圧電アクチュエータに矩形波電圧を印加すると積層型圧電アクチュエータは振動する。その振動がポペットに伝わると、ポペットとオリフィスの間に隙間が発生する。したがってその隙間を通して流体が流れる。

## 3. 実験的評価

### 3. 1 吐出量評価

積層型圧電アクチュエータに与える電圧、供給される水圧が吐出される液滴の質量に与える影響を調べる。積層型圧電アクチュエータに与える電圧を 40V, 60V, 80V, 弁に供給する水圧を 0.3MPa, 0.4MPa, 0.5MPa にそれぞれ設定した場合に吐出された液滴の質量を測定する。ただし積層型圧電アクチュエータに与える矩形波電圧の周波数は 2Hz に設定した。

実験により積層型圧電アクチュエータに印加する電圧の大きさによって、液滴が吐出される現象に 2 つの状態があることがわかった。印加電圧 40V, 供給水圧 0.4MPa の条件でノズルから液滴が吐出される様子を Fig.3 に、印加電圧 60V, 供給水圧 0.4MPa の条件でノズルから液滴が吐出される様子を Fig.4 に示す。印加電圧 40V においては、複数周期の矩形波電圧の印加によって、液滴がノズルの先端に徐々にたまり、液滴の質量による重力がノズルの先端の表面張力より大きくなると液滴が吐出される現象が見られた。しかしながら印加電圧 60V, 80V においては、矩形波電圧 1 周期の印加に対して 1 滴の液滴が吐出された。そこで吐出される液滴の質量の計測方法については 40V の時と 60V, 80V の時で異なる方法で測定を行なった。40V の条件では、液滴の質量と落ちるまでにかかった時間を測定した。そして得られた測定結果から 1 周期あたりの質量流量を換算した。60V, 80V では 1 周期あたり 1 滴の液滴が吐出されたので、その液滴の質量を測定し、1 周期あたりの質量流量とした。

各供給水圧における印加電圧と 1 周期あたりの質量流量の関係を供給水圧 0.3MPa 時の結果を Fig.5 に、供給水圧 0.4MPa 時の結果を Fig.6 に、供給水圧

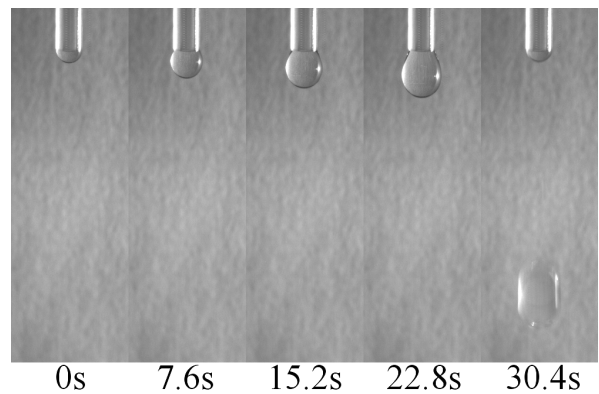


Fig.3 Droplets ejection (Water pressure 0.4MPa, Applied voltage 40V 2Hz)

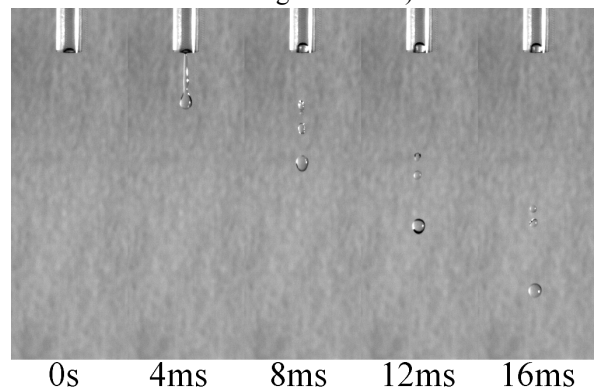


Fig.4 Droplets ejection (Water pressure 0.4MPa, Applied voltage 60V 2Hz)

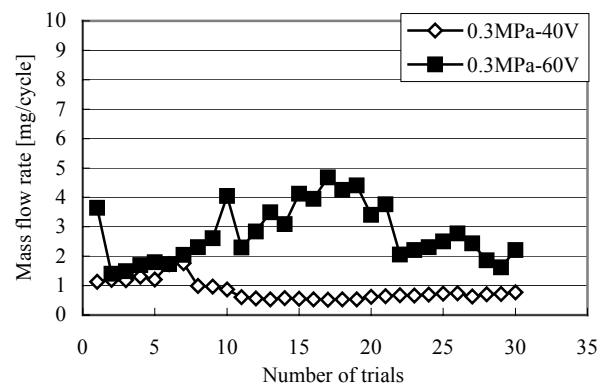


Fig.5 Voltage-mass flow rate relationship (0.3MPa)

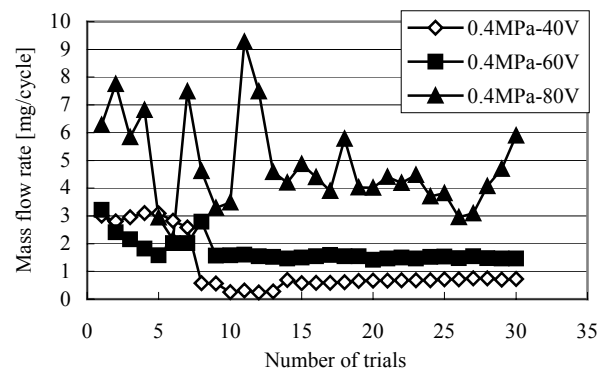


Fig.6 Voltage-mass flow rate relationship (0.4MPa)

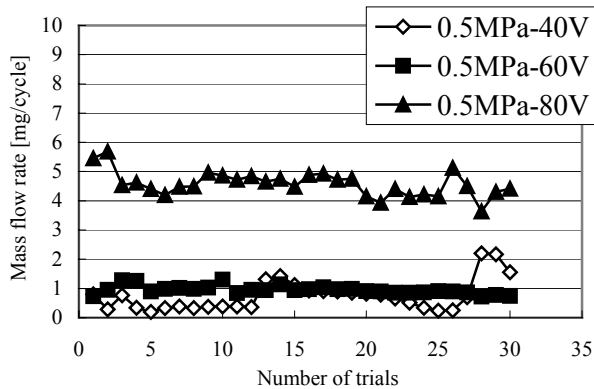


Fig.7 Voltage-mass flow rate relationship (0.5MPa)

Table 1 Average of mass flow rate [mg/cycle]

		Water pressure [MPa]		
		0.3	0.4	0.5
Voltage [V]	40	0.830	1.134	0.755
	60	2.796	1.712	0.952
	80		4.814	4.579

0.5MPa 時の結果を Fig.7 に示す。また各条件における 1 周期あたりに吐出される平均質量流量を Table 1 に示す。ただし、供給水圧 0.3MPa、印加電圧 80V の条件では、ポペットが左右に振動し、オリフィスが開の状態のまま流れつづける現象が見られたため、測定できなかった。したがってこの条件の実験結果については Fig.5, Table 1 に示されていない。

供給水圧の大きさに問わず、印加電圧が高くなるにつれて、吐出される質量流量が大きくなった。

印加電圧 60V、80V においては供給水圧が高くなるにつれて、吐出される液滴の質量が小さくなる傾向が見られた。また印加電圧が同じであれば、供給水圧が高くなるにつれて、吐出される質量流量のばらつきが小さくなる傾向が見られた。

### 3. 2 リーク量評価

積層型圧電アクチュエータに矩形波電圧を印加しない閉の状態では、どれほどのリークが発生するか測定を行なう。

積層型圧電アクチュエータに矩形波電圧を印加せず、試作弁に供給水圧を掛ける。設定する供給水圧は 0.3MPa、0.4MPa、0.5MPa である。ノズルから落ちる液滴の質量と、前に液滴が落ちた時からその液滴が落ちるまでにかかった時間を測定する。得られた実験結果から 1 周期あたりのリーク量を求め、それを Fig.8 に示す。ここでの 1 周期とは前節で設定した積層型圧電アクチュエータに印加した矩形波電圧の周期、2Hz の 0.5s 間である。また各供給水圧における 1 周期あたりのリーク量の平均値を Table 2 に示す。供給水圧とリーク量の間には関係性が見ら

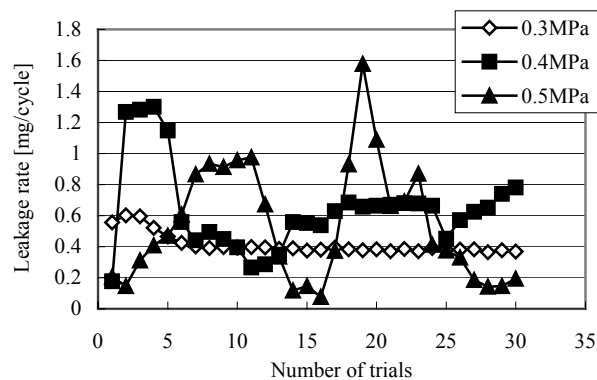


Fig.8 Leakage rate

Table 2 Average of leakage rate [mg/cycle]

		Water pressure [MPa]		
		0.3	0.4	0.5
Average of leakage rate [mg/cycle]		0.413	0.641	0.537

れなかった。またリーク量は吐出される質量流量のばらつきの幅よりも小さかった。したがって吐出される質量流量のばらつきは、リーク量のばらつきだけによるものでないことがわかった。

### 4. 結言

本報告では、微小液滴の吐出を行なう振動駆動式ポペット弁の試作弁を製作し、実験的評価を行なった。そして、以下のことが明らかになった。

- ・ 積層型圧電アクチュエータに与える印加電圧が高くなれば、吐出される質量流量は増加した。
- ・ 印加電圧 60V、80V の時には供給水圧が高くなれば吐出される液滴の質量が小さくなった。
- ・ リークが 1 周期 (0.5s) あたり、数 mg/cycle のオーダーで発生している。

今後はリーク量の減少、吐出される液滴の微小化、粘性流体への対応、力学モデルの構築を行ないたい。

### 参考文献

- 1) 中島一浩, 第 2 章インクジェットヘッド技術, 高橋恭介監修: インクジェットプリンターの応用と材料, pp.16/30, シーエムシー出版 (2002)
- 2) 釜中眞次, 第 6 章産業用マーキング, 高橋恭介監修: インクジェットプリンターの応用と材料, pp.56/60, シーエムシー出版 (2002)
- 3) ジェンスマディほか: 衝撃を用いた小型空気圧弁の開発, 平成 19 年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, pp.155/157 (2007)