

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

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

Constant Volume Micro-droplet Ejection by Vibration-driven Unconstrained Poppet Valve

Yoichiro OGAWA, Smadi JIEN, and Shinichi HIRAI, Ritsumeikan Univ.
Kenshin HONDA, Toray Engineering Co.,Ltd.

Abstract—This report describes a new valve for micro-droplet ejection. Existing device for micro-droplet ejection has a high level of complexity that makes the maintenance of device difficult. We developed a simply structured valve for micro-droplet ejection. This valve ejected mg order droplet of water. The downsizing of diameter of poppet, orifice, and nozzle can make the droplet of water submilligram order.

Key Words: Ejection, Droplet, Valve

1. 緒言

近年,印刷を初めとしてさまざまな分野で流体を微小な液滴にして吐出することへの需要がある¹⁾²⁾.

印刷においてはインクジェット技術が主に用いられている.しかしながら,インクジェット技術で用いる流体は粘性,表面張力,比重などの物性に制限がある³⁾⁴⁾.特にバブルジェット方式では流体に熱を加えるため,熱分解しづらい流体を用いる必要がある⁵⁾.また構造が複雑になりやすく,メンテナンスが行えないづらい.例えば,時間が経つと硬化するものを流体とする場合には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を用いた微小液滴の吐出の研究を行ってきた⁶⁾.振動駆動式無拘束ポペット弁とは,弁体に球体のポペットを用い,振動を加えることで,オリフィスの開閉を行なう簡単な構造の弁である.したがってメンテナンスを行ないやすい.本弁はこれまでに,水を mg オーダの液滴にして吐出することを実現している.

本報告では,ポペットと振動部材の間に絞りとなるオリフィスプレートを設置することで,オリフィス径を小さくした.また液滴が吐出されるノズル先端もこれまでより内径の小さいものを用いる.ポペットもこれまでより小さいものを用いる.このようにオリフィス径,ノズル先端径,ポペット径の3つを小さくした場合に吐出される液滴の質量の変化を測定する.

2. 振動駆動式無拘束ポペット弁

2.1 構造

本報告で用いる振動駆動式無拘束ポペット弁の構造を Fig. 1 に示す.また実物の外観を Fig. 2 に示す.

既報の振動駆動式無拘束ポペット弁では,オリフィスプレートはなく,ポペットが振動部材と接する構造になっていた⁶⁾.そのため振動部材に空けられている直径 1.0 mm の穴がオリフィスとなっていた.本報告ではオリフィスプレートを設置することにより,オリフィスプレートに空けられた穴がオリフィスとなるようにした.オリフィスプレートに空けられた穴は直径 0.5 mm

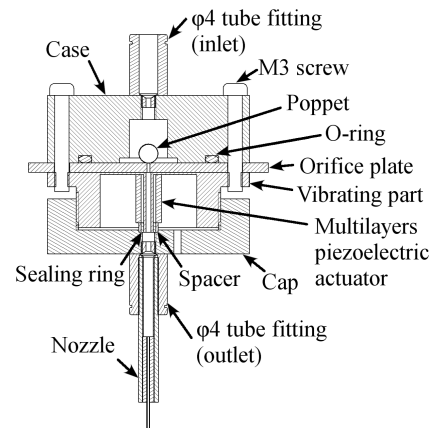


Fig.1 Cross-section drawing of the vibration-driven unconstrained poppet valve

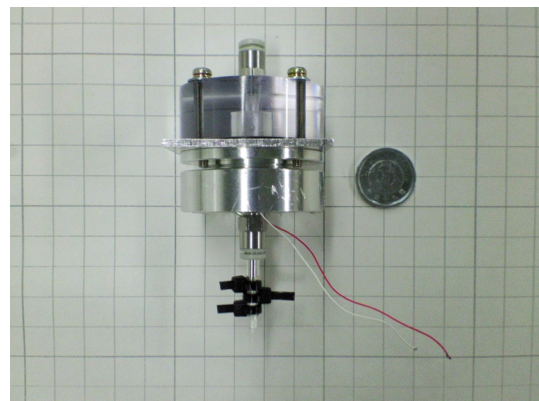


Fig.2 Appearance of the vibration-driven unconstrained poppet valve

である.

また,既報の振動駆動式無拘束ポペット弁ではノズル先端に内径 0.79 mm (1/32 インチ)の管を用いていた⁶⁾.本報告ではより細い内径 0.4 mm の管を用いる.

ポペットはこれまで、直径 3.97 mm (5/32 インチ) の SUS304 球を用いていた⁶⁾。本報告では直径 2.0 mm の SUS304 球を用いる。

振動部材、オリフィスプレートを振動させるアクチュエータとして積層型圧電アクチュエータを用いている。この積層型圧電アクチュエータは縦 5 mm × 横 5 mm × 積層方向 10 mm の大きさで、積層方向に直径 3 mm の穴が空けられている。

2.2 駆動原理と駆動特性

閉時には、弁への供給圧と外圧との差によってポペットがオリフィスに押し付けられ、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積層方向に振動する。この振動が振動部材、オリフィスプレートを介してポペットに伝わると、オリフィスとポペットの間に隙間が生じ、隙間を通して流体が流れる。つまり開状態となる。電圧の印加を止めると、またポペットはオリフィスに押し付けられて、閉状態となる。

本弁の駆動において設定する条件として、流体の供給圧と積層型圧電アクチュエータに与える印加電圧がある。本弁は供給圧が高いほど、吐出する液滴の質量は小さくなる傾向にある。そして、印加電圧が高いほど、吐出する液滴の質量は大きくなる傾向にある⁶⁾。

また本弁を駆動させたとき、液滴の吐出は与える条件によって吐出の仕方が異なる⁶⁾。印加電圧がある境界となる電圧より低いときは、複数周期の電圧を印加することによってノズル先端に徐々に液滴がたまり、大きな液滴となって落ちる。印加電圧がある境界となる電圧より高いときには、1 周期の電圧を印加することで 1 滴を吐出する。このとき、ノズル先端にたまって液滴が落ちる現象よりも小さい液滴が吐出される。

3. 測定

本弁に設定する条件はできるだけ小さい液滴を 1 周期で 1 滴を吐出する条件に設定し、測定を行なう。条件の設定方法は、供給圧を 0.5 MPa から 0.05 MPa ずつ下げていき、印加電圧 80 V を印加したときに 1 滴が吐出される最高の圧力を供給圧とする。そして、その供給圧で 1 周期に 1 滴が吐出される最低の電圧を印加電圧とする。この方法で供給圧を 0.2 MPa、印加電圧を 55 V に設定した。なお印加電圧の周波数は 2 Hz である。流体には水を使用した。

測定は吐出される液滴を受け皿にとり、電子天秤でその質量を測定した。これを 30 回行なった。

Fig. 3 にノズル先端の内径 0.4 mm、オリフィス径 0.5 mm、ポペット径 2.0 mm の弁に供給圧 0.2 MPa、印加電圧 55 V を与えたときに吐出される液滴の質量を示す。縦軸は 1 滴の質量、横軸は実験回を示す。また 30 回の測定を通しての液滴の質量の平均値は 0.45 mg であった。

これまで mg オーダが吐出できる最小の液滴であったが、それよりも小さいサブ mg オーダの液滴の吐出が実現されている。水の密度を 10^3 kg/m^3 とすれば、これはサブ μl オーダの液滴を吐出していることになる。

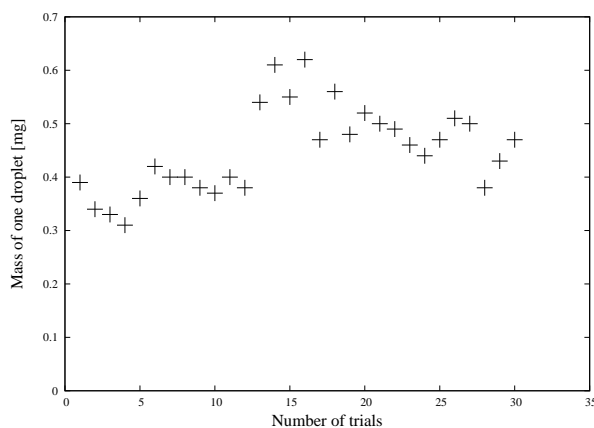


Fig.3 Mass of one droplet

4. 結言

本報告では、オリフィス径を 0.5 mm、ノズル先端の内径を 0.4 mm、ポペット径を 2.0 mm に小さくした場合に吐出される液滴の質量の変化を測定した。その結果、これまでより小さなサブ mg の液滴の吐出が測定された。

その後、吐出される液滴の質量が小さくなった要因がノズル先端の内径、オリフィス径、ポペット径のいずれにあるかを調べた。ノズル先端の内径、オリフィス径、ポペット径のいずれかの要素のみを小さくし、吐出される液滴の質量を測定した。しかしながら、それぞれの要素を単独で小さくしただけでは、サブ mg の液滴は吐出できなかった。よって、サブ mg の液滴を吐出できたのはノズル先端径、オリフィス径、ポペット径のうち、いずれか 2 つ以上が小さくなったことによると考えられる。

引用文献

- 1) 江口裕子, 中村香織, 遠藤史宏, 西山尚秀, 中釜達朗, 清野信子, 篠田正紀, 内山一美: ピコ液滴試料導入用インクジェットマイクロチップとフィンガーサイズ原子発光検出器を備えた小型元素分析システム, 分析化学, Vol.54, pp.869/875(2005)
- 2) 後藤剛紀, 小林俊介, 判多勝宏, 中里裕一: マイクロマニピュレーションにおける組立技術の研究, 日本機械学会関東支部ブロック合同講演会講演論文集, Vol.2004, pp.211/212(2004)
- 3) 田林勲: プリント材料の開発 (普及版), p.192, シーエムシー (1999)
- 4) 特許庁: 平成 16 年度特許出願技術動向調査報告書インクジェット用インク (要約版), p.3, 特許庁 (2005)
- 5) 中島一浩: インクジェットプリンターの応用と材料, p.22, シーエムシー出版 (2002)
- 6) 小川洋一郎, 本田顕真, ジェン・スマディ, 平井慎一: 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, 平成 20 年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, pp.119/121(2008)