

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題	作動流体の粘性による微粒子励振制御弁の駆動特性への影響
Title	Influence of working fluid viscosity on driving characteristics of flow control valve using particle excitation
著者	浮田 貴宏, 鈴森康一, 難波江裕之, 神田岳文, 大藤翔輝
Author	Takahiro Ukida, Koichi Suzumori, Hiroyuki Nabae, Takefumi Kanda, Shoki Ofuji
掲載誌/書名	ロボティクス・メカトロニクス講演会2016 予稿集, Vol. , No. , pp.
Journal/Book name	Proceedings of the 2016 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Vol. , No. , pp.
発行日 / Issue date	2016, 6
URL	<a href="http://www.jsme.or.jp/publish/transact/index.html">http://www.jsme.or.jp/publish/transact/index.html</a>
権利情報 / Copyright	本著作物の著作権は日本機械学会に帰属します。

# 作動流体の粘性による微粒子励振制御弁の駆動特性への影響

## Influence of working fluid viscosity on driving characteristics of flow control valve using particle excitation

○正 浮田 貴宏 (東工大)      正 鈴木 康一 (東工大)  
 正 難波江 裕之 (東工大)    正 神田 岳文 (岡山大)  
 大藤 翔輝 (岡山大)

Takahiro UKIDA, Tokyo Institute of Technology, ukida.t.ab@m.titech.ac.jp  
 Koichi SUZUMORI, Tokyo Institute of Technology  
 Hiroyuki NABAE, Tokyo Institute of Technology  
 Takefumi KANDA, Okayama University  
 Shoki OFUJI, Okayama University

Hydraulic actuators have been applied to legged robots due to its high power-weight ratio and backdrivability. However, the hydraulic servo valves which control the actuators are large and expensive. The compact and simple structure of the flow control valve has the potential of improving their disadvantage. This valve is driven by the excitation of particles in working fluid. Therefore there are some influences on the operation owing to increasing viscosity. In this paper, we describe the characteristics of the proposed valve with various viscosity. When silicone oil was used as working fluid and the kinematic viscosity values were  $1 \text{ mm}^2/\text{s}$  and  $3 \text{ mm}^2/\text{s}$ , maximum flow rates were  $890 \text{ ml}/\text{min}$  and  $840 \text{ ml}/\text{min}$ , respectively. This result indicates that the drop of flow rate is less than 10% by increasing kinematic viscosity. On the other hand, the minimum voltage to open any orifices rises approximately 80% by increasing kinematic viscosity.

**Key Words:** Hydraulics, Flow control valve, Piezoelectric element

### 1. 緒言

油圧アクチュエータの高い出力重量比やバックドライバリティ、耐衝撃性能といった特徴は、脚型ロボットにおいて有効である[1]。脚型ロボットは関節を高速かつ高精度に動作させる必要があるため、これらのロボットに用いられる油圧アクチュエータには、油圧サーボ弁が用いられる。一般的に油圧サーボ弁は大きく、高価であるため、油圧のロボットに多くの自由度を持たせることは困難となる。

そこで、従来の油圧サーボ弁の欠点を改善させる方法として、我々は新しい原理で動作する制御弁の開発を行っている[2][3][4]。空気圧用に開発された本制御弁は小型かつ単純な構造ながら空気圧において高い質量流量比を持ち、水圧での動作について確認されている。本稿では、作動流体に異なる動粘度を持つ複数のシリコンオイルを用い、各動粘度における動作原理及び流量への影響を測定した結果を述べる。

### 2. 微粒子励振制御弁の概要

#### 2.1 構造

製作した微粒子励振制御弁を図1に示す。制御弁は図2に示したオリフィス板、圧電振動子、銅電極、固定用ナットおよび直径  $0.8 \text{ mm}$  の複数の微粒子で構成される。組み立てられた制御弁の大きさは直径  $10.0 \text{ mm}$ 、高さ  $9.0 \text{ mm}$ 、質量  $2.50 \text{ g}$  である。

#### 2.2 動作原理

オリフィス板には直径  $0.4 \text{ mm}$  のオリフィスが複数配置されている。作動流体に圧力が印加されると、制御弁内に封入された微粒子は、これらのオリフィスを全て塞ぐ。これにより制御弁は閉じた状態になる。オリフィスを塞いだ微粒子はオリフィス板の共振による振動を受けてオリフィスから離れ、制御弁は開いた状態になる。この振動は電圧を印加された圧電素子によって発生する。また、各オリフィス上の微粒子が離れる振動強度を変化させることで、連続的な流量制御を行う。

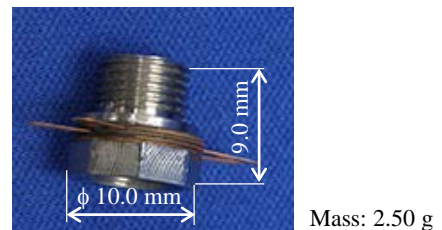


Fig. 1 Photograph of the assembled valve.

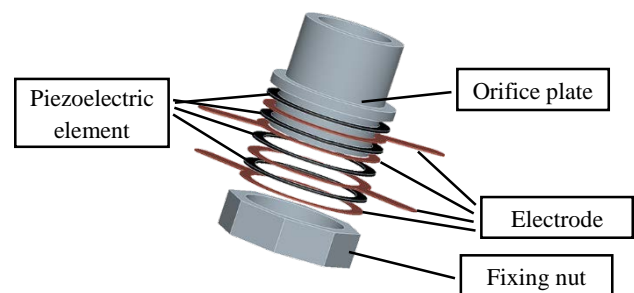


Fig. 2 Structure of the valve.

### 3. 動粘度の差異による特性の変化

#### 3.1 動粘度の異なる作動流体を用いた振動特性の測定

本制御弁の振動速度に関する周波数特性を測定した結果を図3に示す。測定にはオリフィス板に常に設定した印加圧力が加わるよう、オリフィスが常閉状態の測定用の制御弁を用いた。また表1に示す#1, #2, #3のシリコンオイルを作動流体として使用し、 $0.5 \text{ MPa}$ の圧力を印加した。

測定に用いたシリコンオイルの動粘度に注目すると、動粘度の上昇により、最大で  $1 \text{ kHz}$  の共振周波数の上昇と  $20 \text{ mm}/\text{s}$  の振動速度の低下が確認された。この共振周波数と振動速度の変化はそれぞれ全体の10%以下である。

Table 1 Silicone oil as working fluid.

No.	Kinematic viscosity [mm <sup>2</sup> /s]	Density [kg/m <sup>3</sup> ]
#1	1	818
#2	10	935
#3	30	955
#4	3	869

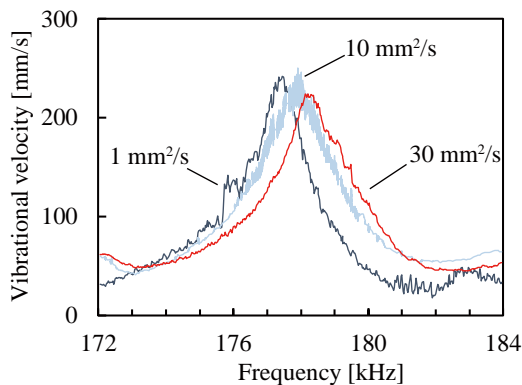


Fig. 3 Relationship between the frequency and the vibrational velocity for three types of kinematic viscosities (1, 10, and 30 mm<sup>2</sup>/s), when the impressed pressure and the applied voltage are 500 kPa and 100 V<sub>p-p</sub>.

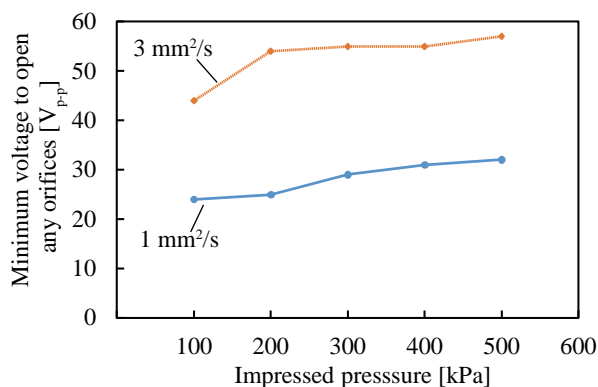


Fig. 4 Relationship between the impressed pressure and the minimum voltage to open any orifices, when the values of kinematic viscosities are 1 mm<sup>2</sup>/s and 3 mm<sup>2</sup>/s.

#### 4. 低動粘度の作動流体を用いた流量の測定

表 1 に示す#1, #4 のシリコンオイルを作動流体としたオリフィスが開くために必要な最低動作電圧と印加電圧を増加させることによる流量の変化を測定した。各動粘度による印加圧力とオリフィスが開く最低動作電圧の関係を図 4 に示す。この結果から、動粘度の増加によるオリフィスが開く最低動作電圧は最大 29 V であり、80% の増加となった。動粘度による振動速度への影響が 10% 以下であったことから、微粒子の励振に作用する動粘度の影響が大きいと考えられる。このことは、高粘度の作動流体での動作は、最低動作電圧が高電圧であるために動作が不可能となることを示唆している。

次に動粘度が 1 mm<sup>2</sup>/s および 3 mm<sup>2</sup>/s における印加圧力別の印加電圧と流量の関係を図 5 に示す。印加圧力および印加電圧の増加に伴い流量は増加し、印加圧力が 500 kPa の条件において、動粘度が 1 mm<sup>2</sup>/s では、印加電圧が 120 V<sub>p-p</sub> のとき、最大流量 890 ml/min となり、動粘度が 3 mm<sup>2</sup>/s では、印加電圧が

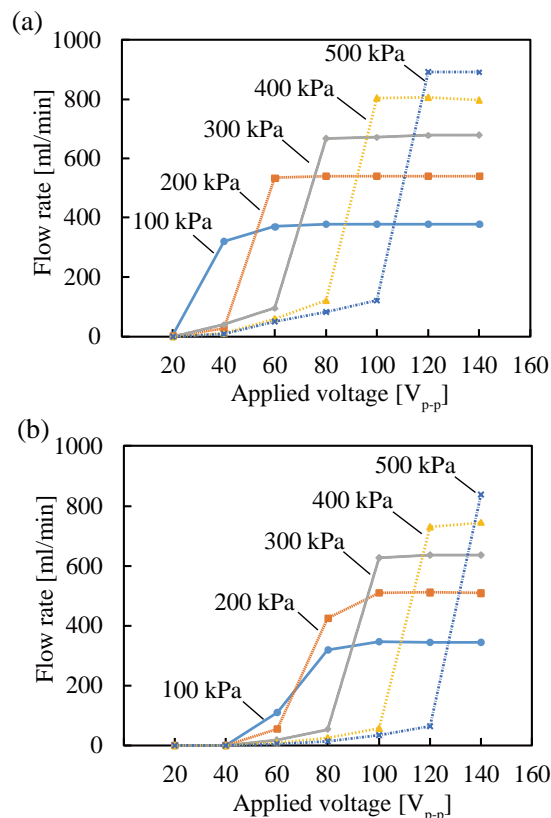


Fig. 5 Relationship between the applied voltage and the flow rate: the kinematic viscosity values are (a) 1 mm<sup>2</sup>/s and (b) 3 mm<sup>2</sup>/s.

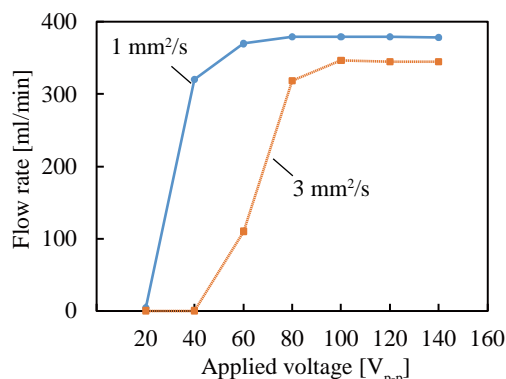


Fig. 6 Relationship between the applied voltage and the flow rate, when the values of kinematic viscosities are 1 mm<sup>2</sup>/s and 3 mm<sup>2</sup>/s.

140 V<sub>p-p</sub> のとき、最大流量 890 ml/min となった。また、それぞれの印加圧力において、印加電圧が一定値以上になると、流量が一定になった。これは全ての微粒子がオリフィスから離れるだけの外力を加えられたことを示す。流量の制御にはこの電圧と最低動作電圧の差が大きい必要があるが、この電圧に到達する直前の電圧では流量の変化が大きく、安定した動作が行われなかった。この原因は各オリフィスを開くために必要な印加電圧が近いことに加え、流量の増加が制御弁内の圧力低下を招き、オリフィスへの微粒子の押付力が低下したためと考えられる。また、500 kPa が印加された場合、流量が大きく変化する電圧が印加されるまでの区間で、印加電圧と流量の関係は線形であった。この区間では流量が低く抑えられていることから、微粒子が跳ね上がる速度とおよびその微粒子をオリフィスに押し戻そうとする圧力の関係が平衡状態と

なり、微粒子はオリフィス近辺でオリフィスの開閉を繰り返す PWM の動作を行なっていると考えられる。微粒子がオリフィスの直上に存在するため、流量は制限されるが、制御弁の応答速度向上が期待できる。

次に 100 kPa を印加した際、動粘度について印加電圧と流量を比較した結果を図 6 に示す。動粘度が高くなることで、最低動作電圧の増加と同様の電圧差が流量に対しても発生した。これに対して、流量が一定となった際の差は 9% だった。この結果はその他の印加圧力の場合も同様となる。このことから、微粒子がオリフィスから十分に離れた状態が発生した場合、微粒子が流量に与える影響は小さくなると考える。

## 5. 結言

本研究では、シリコンオイルを作動流体に用いた微粒子励振制御弁への粘性の影響について紹介した。動粘度の増加による本制御弁の振動特性の影響を測定した実験では、1 mm<sup>2</sup>/s から 30 mm<sup>2</sup>/s の動粘度増加に対して、共振周波数と振動速度はそれぞれ 10% 以下の低下と影響が小さかった。また、制御弁のオリフィスが開くために必要な最低動作電圧は、1 mm<sup>2</sup>/s から 3 mm<sup>2</sup>/s の動粘度増加に対して、最大で 80% 増加した。この電圧差は流量が増えた際も同様であった。一方で、最大流量となる一定となった流量の低下は 9% と低かった。このことから、今回測定に用いた動粘度では主に微粒子の動きに大きな影響を与えることがわかった。

## 謝辞

本研究の一部は、総合科学技術・イノベーション会議により制度設計された革新的研究開発推進プログラム(ImPACT)「タフ・ロボティクス・チャレンジ」により、科学技術振興機構を通して委託されたものです。

## 参考文献

- [1] Semini, C., Tsagarakis, N. G., Guglielmino, E., Focchi, M., Cannella, F. and Caldwell, D. G., "Design of HyQ-a hydraulically and electrically actuated quadruped robot", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part I: Journal of Systems and Control Engineering*, vol.225, no.6, pp.831-849, 2011.
- [2] Hirooka, D., Suzumori, K. and Kanda, T., "Flow control valve for pneumatic actuators using particle excitation by PZT vibrator", *Sensors and actuators A: Physical*, vol.155-2, pp.285-289, 2009.
- [3] Ukida, T., Suzumori, K., Nabae, H., Kanda, T., Ofuji, S., "A small water flow control valve using particle excitation by PZT vibrator", *Proceedings of the 6th International Conference on Advanced Mechatronics (ICAM2015)*, pp.221-222, 2015.
- [4] 大藤翔輝, 神田岳文, 妹尾典久, 鈴森康一, 浮田貴宏, 難波江裕之, "微粒子励振型制御弁による水流量の制御", 2016 年度精密工学会春季大会, pp.385-386, 2016.