# T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ Science Tokyo Research Repository

## 論文 / 著書情報 Article / Book Information

論題	
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	http://www.jsme.or.jp/publish/transact/index.html
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

> OE 浮田 貴宏 (東工大) 康一 (東工大) Æ 鈴森 難波江 裕之 (東工大) 岳文(岡山大) Æ Æ 神田 翔輝 (岡山大) 大藤 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 mm<sup>2</sup>/s and 3 mm<sup>2</sup>/s, maximum flow rates were 890 ml/min and 840 ml/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ビ 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す る必要が有るため,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ーンオイルを用い、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 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 mm,高さ9.0 mm,質量2.50gである.

#### 2.2 動作原理

オリフィス板には直径0.4 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.



Mass: 2.50 g

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,オリフィスがなく常に閉じた状態の測定用の 制御弁を用いた.また表1に示す#1,#2,#3のシリコーンオイ ルを作動流体として使用し,0.5 MPaの圧力を印加した.

測定に用いたシリコー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1kHzの共振周波数の上昇と 20 mm/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.

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
300		
300		$10 \text{ mm}^{2/a}$



Fig. 3 Relationship between the frequency and the vibrational velocity for three types of kinematic viscosities (1, 10, and  $30 \text{ mm}^2/\text{s}$ ), 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のシリコー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29V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>pp</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)  $1 \text{ mm}^2/\text{s}$  and (b)  $3 \text{ mm}^2/\text{s}$ .



Fig. 6 Relationship between the applied voltage and the flow rate, when the values of kinematic viscosities are  $1 \text{ mm}^2/\text{s}$  and  $3 \text{ mm}^2/\text{s}$ .

140 V<sub>PP</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、シリコー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 Mechatronics 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
- [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.