

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題	横方向たわみ振動を用いた油圧励振型制御弁の試作
Title	Development of Hydraulic Particle Excitation Control Valve Driven by Lateral-Deflection Vibration
著者	浮田貴宏, 鈴森康一, 難波江裕之, 神田岳文
Author	Takahiro Ukida, Koichi Suzumori, Hiroyuki Nabae, Takefumi Kanda
掲載誌/書名	ロボティクス・メカトロニクス講演会2017講演論文集, Vol. , No. , pp.
Journal/Book name	Proceedings of the 2017 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Vol. , No. , pp.
発行日 / Issue date	2017, 5
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。
Note	このファイルは著者（最終）版です。 This file is author (final) version.

# 横方向たわみ振動を用いた油圧励振型制御弁の試作

## Development of Hydraulic Particle Excitation Control Valve Driven by Lateral-Deflection Vibration

○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)

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

Conventional small hydraulic servo valves which can apply to hydraulic robots are expensive. Therefore, we study a compact and simple control valve using particle excitation by a PZT vibrator. The present study reports the characteristics of a new control valve driven by a lateral-deflection vibration. The particle which seals an orifice is excited in a direction perpendicular to the flow into the orifice by the vibration. The direction of this vibration aims to reduce the influence of the pressing force due to pressure on the driving voltage. When silicon oil was used as the working fluid and the kinematic viscosity value was  $1 \text{ mm}^2/\text{s}$ , the minimum voltage to open the orifice was  $94.1 V_{p-p}$  at  $0.8 \text{ MPa}$ . This value was lower than the voltage to open the orifice at  $0.1 \text{ MPa}$ . This result indicates that the new structure of the valve reduced the influence of the pressing force acting on the particle.

**Key Words:** Hydraulics, Control valve, Piezoelectric element

### 1. 緒言

油圧アクチュエータで構成されたロボットは、外部からの衝撃に強く、大きな力を発生できるため、災害地で活躍できるロボットとして期待される[1]。これらのロボットには、アクチュエータの制御に油圧サーボ弁が用いられる。一般的に小型の油圧サーボ弁は高価であるため、油圧のロボットに多くの自由度を持たせることは困難である。

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、圧電素子の振動で動作する制御弁の開発を行っている[2][3]。空気圧用に開発された本制御弁は小型かつ単純な構造を持つ。これまでの試作機では、弁体の微粒子に作用する圧力による押付力に対して、反対方向の力が発生する振動を用いた。これに対して、新しく試作した制御弁では、微粒子に作用する圧力による押付力に対して、直交する方向の力が発生する振動を用いた。本稿では、試作機の実験結果について、印加圧力に対する動作開始電圧および最大流量の測定結果を述べる。

### 2. 微粒子励振制御弁の概要

#### 2.1 構造

試作した微粒子励振制御弁と断面図を図1に示す。制御弁には、直径  $2.0 \text{ mm}$  の微粒子が1個封入される。アクチュエータとして使用する圧電素子と電極は8枚ずつを積層して、管路外部に配置してある。組み立てられた制御弁の大きさは、外径  $10.0 \text{ mm}$ 、長さ  $49.5 \text{ mm}$ 、質量  $25.1 \text{ g}$  である。

#### 2.2 動作原理

本制御弁は圧電素子の振動によって、弁座の開閉を制御する。制御弁内に圧力が印加されると、制御弁内に封入された微粒子は弁座まで移動し、オリフィスを塞ぐ。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を弁座から移動させるため、弁座は圧電素子により振動させられる。弁座から振動が伝わった微粒子は慣性により弁座から離れる。弁座の振動には、共振モードを用いる。共振により弁座が特定の方向に大きく振動するよう、圧電素子に印加する駆動周波数を制御する。本制御弁では、圧力による押付力から直交する方向に大きくたわむ振動モードの共振周波数を圧電素子に印加する。このように押付力に対して直交する力を弁体を与える

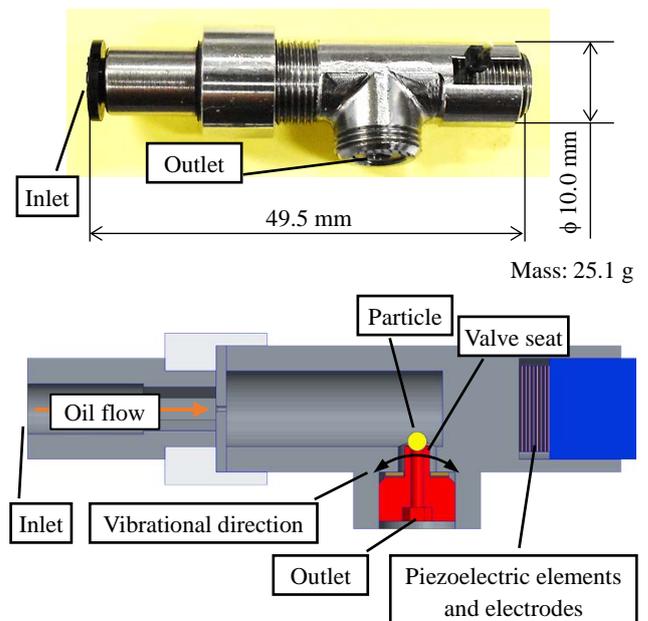


Fig. 1 Proposed valve using lateral-deflection vibration. The upper side is a photo of the prototype, and the bottom side shows the schematic of a cross-sectional view of the prototype.

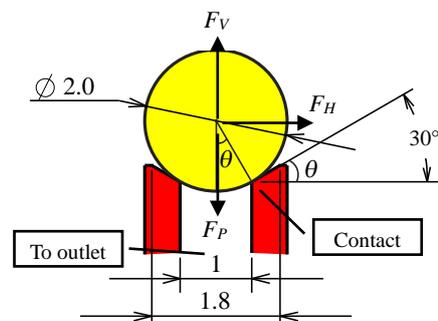


Fig. 2 Enlarged drawing of the valve seat.

方法は、開口に必要な力を低下させるとされている[3][5].

図 2 に弁座の拡大図を示す. 非駆動時の微粒子には, 差圧によって弁座へ押し付けられる力  $F_P$  が働く. 微粒子を弁座の上方に移動させる場合, 開口に必要な力  $F_V$  は,  $F_P$  および進行方向に対する作動流体から微粒子に働く抗力  $F_{DV}$  より大きい必要がある.

$$F_V > F_P + F_{DV} \quad (1)$$

これに対して, 微粒子を弁座の左右方向に移動させる場合, 開口に必要な力  $F_H$  は, 微粒子と弁座の接点を回転中心とした  $F_P$  とのモーメントの釣り合いにより決定される. 弁座の面取り上に接点がある場合,  $F_H$  と  $F_P$  の関係は面取り角度  $\theta$  によって, 式 (2) で表される.

$$F_H > F_P \tan \theta \pm F_{DH} \quad (2)$$

ここで,  $F_{DH}$  は進行方向に対する作動流体から微粒子に働く抗力を示し, 弁座の加速度と速度の向きにより変化する. 抗力による影響を除外すると, 式 (1) および式 (2) より,  $\theta$  が  $45^\circ$  以下では,  $F_H$  は  $F_V$  以下になる.

### 3. 最低動作電圧および流量の測定

動粘度  $1 \text{ mm}^2/\text{s}$  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最大流量を測定した. 測定は, 印加電圧の振幅を  $0 \text{ V}_{\text{p-p}}$  から  $150 \text{ V}_{\text{p-p}}$  まで掃引し, 流量が  $5 \text{ ml/min}$  を超えた印加電圧を最低動作電圧として記録する方法を用いた. 流量の測定には, コリオリ式流量計 (KEYENCE 製 FD-SS2A) を用いた. また, 圧電素子の駆動には  $123.5 \text{ kHz}$  の正弦波を印加した. 印加圧力とオリフィスが開く最低動作電圧の関係を図 3 に示す. 図は, 各印加圧力に対して, それぞれ 5 回以上試行した平均および標準偏差を示す. 測定結果より, 圧力の上昇に伴う最低動作電圧の上昇は一定ではなく, 印加圧力  $0.1 \text{ MPa}$  での最低動作電圧と印加圧力  $0.8 \text{ MPa}$  での最低動作電圧を比較すると,  $4.4\%$  の低下となった.

これまでの微粒子励振制御弁との比較を表 1 に示す. 比較は従来の微粒子励振制御弁の最大動作圧の  $0.5 \text{ MPa}$  と最低動作圧  $0.1 \text{ MPa}$  での動作電圧で行った. 最低動作電圧は従来のモデルより増加したが, 印加圧力の増加による最低動作電圧の増加の比は  $33.9\%$  低下する結果となった.

次に印加圧力と最大流量の関係を図 4 に示す. 測定の結果から, 印加圧力が  $0.80 \text{ MPa}$  のとき, 最大流量は  $196.4 \text{ ml/min}$  であった. また, 印加圧力が高くなるほど, 動作中一時的にオリフィスが微粒子により塞がれる状態が発生しやすくなり, 結果として誤差が大きくなる傾向があった.

### 4. 結言

本研究では, 動作開始電圧に対する印加圧力の影響を抑制することを目的とした制御弁の設計とその評価を行った. 試作機の動作開始電圧を測定した結果, 従来の微粒子励振制御弁に対して動作開始電圧は増加したが, 印加圧力の増加による動作開始電圧の増加の比率は抑えられる傾向にあることがわかった. 最低動作電圧が全体的に増加した理由には, 共振の  $Q$  値が低下したことが原因と考えられる. 今後は  $Q$  値の改善と動作圧の向上を目指す.

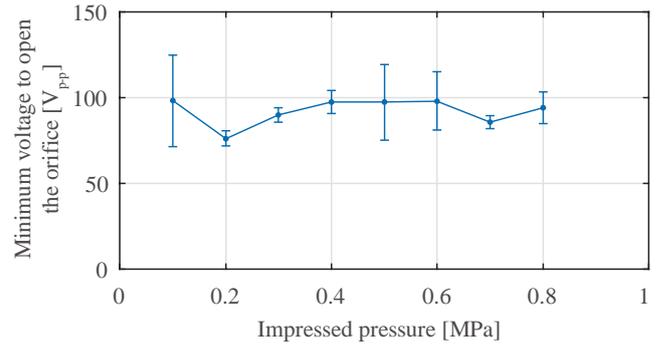


Fig. 3 Relationship between the impressed pressure and the minimum voltage to open the orifice.

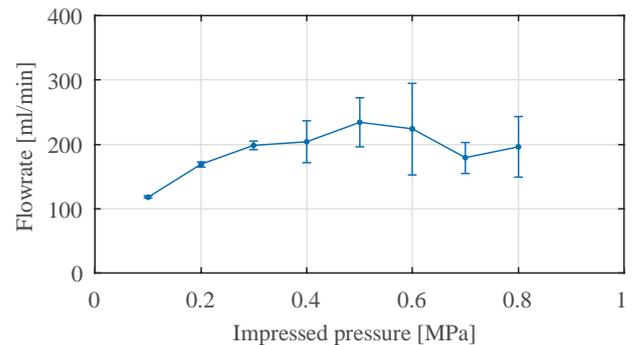


Fig. 4 Relationship between the impressed pressure and the maximum flowrate.

Table 1 Comparison of the minimum voltage to open the orifice between  $0.1 \text{ MPa}$  and  $0.5 \text{ MPa}$ .

	Impressed pressure		Ratio
	$0.1 \text{ MPa}$	$0.5 \text{ MPa}$	
Previous model	$24.0 \text{ V}_{\text{p-p}}$	$32.0 \text{ V}_{\text{p-p}}$	133%
New model	$98.4 \text{ V}_{\text{p-p}}$	$97.5 \text{ V}_{\text{p-p}}$	99.1%

### 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] 浮田貴宏, 鈴木康一, 難波江裕之, 神田岳文, 大藤翔輝, "微粒子励振型流量制御弁による油圧制御", 日本フルードパワーシステム学会論文集, 第47巻, 第6号, pp.39-46, 2016.
- [4] Dohta, S., Akagi, T., Masago, Y., Matsushita, H., Zhang, Y., "Development of small-sized digital servo valve for wearable pneumatic actuator", *International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors 2012 (IRIS 2012)*, pp.97-104, 2012.
- [5] 廣岡大祐, 山口智実, 古城直道, 鈴木康一, 神田岳文, "ねじり振動を用いた微粒子励振型空気流量制御弁", *Proceedings of the 2014 JSME Conference on Robotics and Mechatronics*, 2A1-Q04, 2014.