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	微粒子励振型流量制御弁による油流量制御
Title	A hydraulic valve using particle excitation
著者	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
Author	Shoki Ofuji, Takefumi Kanda, Norihisa Seno, Koichi Suzumori, Takahiro Ukida, Hiroyuki Nabae
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. ,　1P1-09a1
Journal/Book name	Proceedings of the 2016 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Vol. , No. ,　1P1-09a1
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。

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

微粒子励振型流量制御弁による油流量制御

A hydraulic valve using particle excitation

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

Shoki OFUJI, Okayama University, ofuji14@s.okayama-u.ac.jp
Takefumi KANDA, Okayama University
Norihisa SENO, Okayama University
Koichi SUZUMORI, Tokyo Institute of Technology
Takahiro UKIDA, Tokyo Institute of Technology
Hiroyuki NABAE, Tokyo Institute of Technology

In general, hydraulic proportional valves have a large body because of their complicated structures using solenoids or motors. Therefore it is difficult to realize lightweight hydraulic systems. The purpose of this research is to develop a small hydraulic flow control valve. In this paper, we have applied a small flow control valve using particle excitation by PZT vibrator to a hydraulic system. This valve has a lightweight and simple structure, and can control the flow rate of oil by controlling the applied voltage. The vibration of the valve under the oil pressure was simulated using a finite element method. In addition, the fabricated valve has been evaluated and the flow rate of silicone oil has been controlled when the impressed pressure was 0.5 MPa.

***Key Words*:** Hydraulic valve, Piezoelectric transducer, Flow control

1.　緒言

近年，多発する大規模災害に対し，人間では不可能な作業を行うロボットが必要とされている．油圧を駆動源とするアクチュエータは小型で高出力，衝撃に強いといった特徴を持っていることから，災害現場で活動可能な油圧タフロボットの開発が期待されている．しかし，一般的に油圧システムの制御に用いられる比例制御弁は，モータやソレノイドを使用する複雑な構造のため大型化する傾向にある．コンパクトな油圧システムを実現するために，簡易な構造の小型油圧制御弁が求められている．

本研究では，空気流量比例制御弁として試作されている小型，軽量な微粒子励振型制御弁に着目した．この制御弁は，圧電振動子に印加する電圧値によって連続的な流量制御が可能である[1-3]．また，空気流量制御だけでなく，水流量制御を実現している[4]．本稿では，シリコーンオイルを作動流体として流量制御を行い，微粒子励振型制御弁による油流量の制御に成功した結果を示す．

2.　制御弁の構造と駆動原理

本研究で使用する微粒子励振型制御弁はオリフィス板，圧電振動子，微粒子から構成される[1-3]．流体が制御弁内に供給されると，微粒子がオリフィス孔に押し付けられることで流体の流れを塞ぎ，制御弁は閉じた状態となる．また，圧電振動子に電圧を印加することで微粒子が励振され，オリフィス孔から離れ流体が流れる．この時，印加する電圧値によって振動を制御することで，連続的な流量制御が可能となる[2]．

3.　制御弁の設計・製作

3.1 制御弁の振動解析

微粒子励振型制御弁はオリフィス板の振動を制御することで，連続的な流量制御を行う．作動流体として油を用いた場合のオリフィス板の振動状態を，有限要素法解析により確認した．振動モードの軸対象性を考慮し，1/4のモデルを使用した．図 1 にモーダル解析結果を示す．図 1 に示すように，周波数 164 kHz において，オリフィス板中央を振動の腹としたたわみ振動モードが得られた．

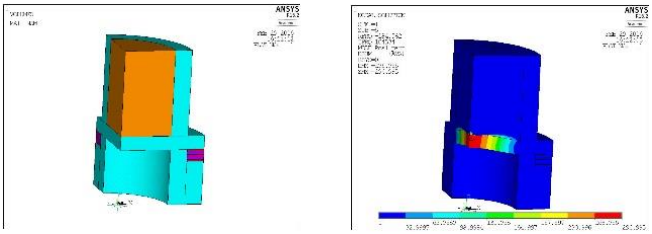

Fig. 1　FEM analytic result of the valve

3.2 制御弁の製作

実際に製作した制御弁を図 2 に示す．制御弁は直径 10.0 mm，高さ 9.0 mm，全体質量 2.50 g である．オリフィス板には直径 0.4 mm のオリフィス孔が 12 個配置されている．また，油は空気と比較して密度や粘度が大きいため，振動子により大きな出力が必要であると考えられる．そこで，圧電素子の積層数を従来の 2 枚から 4 枚とし，振動子の出力増加を図った．

製作した制御弁のオリフィス板中央における振動速度の測定結果を図 3 に示す．測定の際，印加電圧は 10 $V_{p\text{-}p}$ とした．図 3 から，圧電素子の積層数を増加したことにより振動速度が大きく増加している．また，共振周波数 177 kHz におけるオリフィス板の振動速度分布を測定した結果を図 4 に示す．図 4 から，オリフィス板中央を振動の腹としたたわみ振動が発生しており，流量制御に適した振動状態であると考えられる．

また，油を作動流体とした際の振動速度への影響を調べるために，動粘度 1 mm^2/s のシリコーンオイルを用いて振動速度の測定を行った．作動流体がシリコーンオイルと空気の場合

について，振動速度を比較した結果を図 5 に示す．測定の際，印加圧力は 0.5 MPa とした．図 5 から，シリコーンオイルを用いることで振動速度が大きく減衰した．印加電圧 100 $V_{p\text{-}p}$ において作動流体を空気とした時の振動速度 2195 mm/s に対し，シリコーンオイルの場合では振動速度が 706mm/s であった．

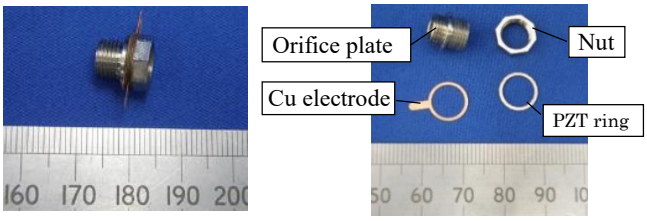

Fig. 2　Photographs of the fabricated control valve

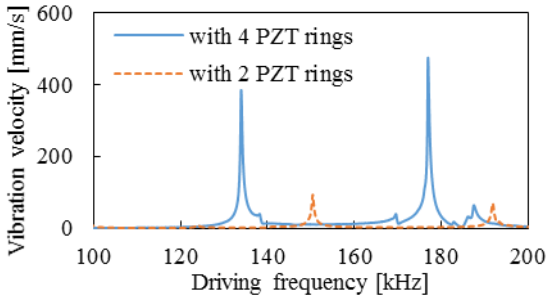

Fig. 3　Vibration velocity of the orifice plate when the applied voltage was 10 $V_{p\text{-}p}$

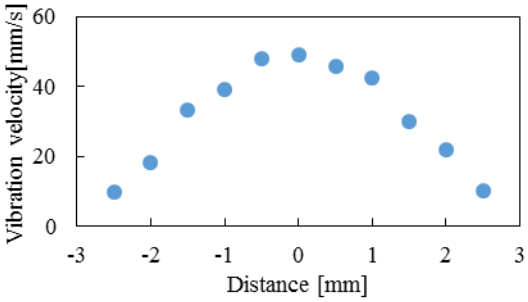

Fig. 4　Relationship between the vibration velocity and the distance from the center of the orifice to the measurement point

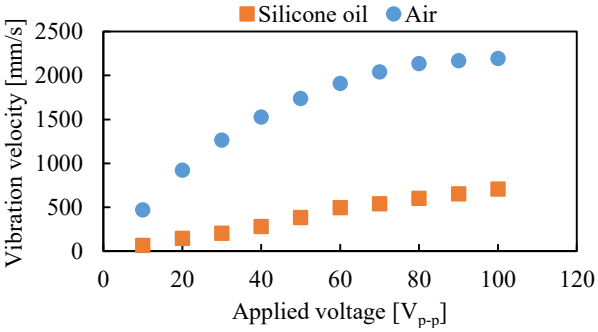

Fig. 5　Relationship between the vibration velocity and the applied voltage

4.　シリコーンオイルを用いた流量制御実験

製作した制御弁による油流量制御が可能であるか評価するために，シリコーンオイルを用いた流量制御実験を行った．シリコーンオイルの動粘度は 1 mm^2/s，5 mm^2/s とし，印加圧力 0.1 MPa から 0.5 MPa までの条件下において，制御弁の開閉動作と流量制御実験を行った．

図 6 に制御弁の開閉動作の様子を示す．制御弁への電圧印加の ON/OFF によって，制御弁の開閉動作を実現できている．印加圧力が大きいほど制御弁の開動作を行うために大きな印加電圧を必要とし，印加圧力 0.5 MPa，シリコーンオイルの動粘度 5 mm^2/s の条件下では，印加電圧 67 $V_{p\text{-}p}$ において制御弁の開動作が可能であった．また，各条件において印加電圧を操作することで，シリコーンオイルの流量変化を観察した．これらの実験結果から，微粒子励振型制御弁を用いたシリコーンオイルの流量制御に成功した．一方で，動粘度 5 mm^2/s のシリコーンオイルを用いた場合では，空気や水を用いた場合と比較して動作条件が厳しく，より高い印加電圧が必要であった．これは，シリコーンオイルの粘性の影響により，微粒子に抗力が働いたためであると考えられる．したがって，より高粘度の油を作動流体とする場合には，さらに動作条件が厳しくなることが推測される．

(a)　Close　　(b)　Open

Fig. 6　Driving state of the control valve

5.　結言

本研究では，小型・軽量な微粒子励振型制御弁を用いて油流量制御を行った．まず，有限要素法解析により油圧下においてオリフィス板中央を振動の腹としたたわみ振動が得られることを確認した．次に，実際に製作した制御弁を使用し，動粘度 1 mm^2/s，5 mm^2/s のシリコーンオイルを用いた流量制御実験を行った．その結果，印加圧力 0.1 MPa から 0.5 MPa の条件下において，印加電圧の ON/OFF による制御弁の開閉動作，印加電圧の操作による流量変化が可能であった．一方，空気や水の流量制御を行った場合と比較して，より高い印加電圧を制御弁の動作に必要とした．以上の結果から，微粒子励振型制御弁が油流量制御に適用可能であることを実験的に示した．

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]　D. Hirooka, et al., “Flow control valve for pneumatic actuators using particle excitation by PZT vibrator”, Sensors and Actuators A: Physical, 155, pp. 285-289, 2009.

[2]　D. Hirooka, et al., “Design and evaluation of orifice arrangement for particle-excitation flow control valve”, Sensors and Actuators A: Physical, 171, pp. 283-291, 2011.

[3]　廣岡大祐 他, “微粒子励振型空気流量比例制御弁の動特性の評価”, 2015 年度精密工学会春季大会, pp. 547-548, 2015.

[4]　T Ukida, et al., “A small water flow control valve using particle excitation by PZT vibrator”, Proceedings of the 6th International Conference on Advanced Mechatronics, pp. 221-222, 2015.