

報告日 2012年(平成24年) 4月13日
報告者 岡山大学大学院 自然科学研究科 博士後期課程
廣岡 大祐

1. 研究概要

(和文)

(1)課題名 (日本語)

圧電振動による微粒子励振型小型大流量制御弁

(2)研究者氏名

廣岡 大祐 岡山大学大学院 自然科学研究科 博士後期課程

(3)研究概要 (日本文)

本研究では、空気圧シリンダ用の小型の流量制御弁の開発を行っている。開発している流量制御弁は、弁内の微粒子を圧電素子により励振させることで流量の調整が可能となっている。駆動源に圧電素子を用いているため小型・軽量で応答性も高い。また、複数のオリフィスを用い、オリフィス上の微粒子をそれぞれ制御することにより、オリフィスの開口面積を調整することで連続的な流量の変化を実現させることができる。本研究では流量調整のための最適な条件を決定した。

(4)キーワード

空圧アクチュエータ、流量制御弁、圧電素子

(英文)

(1) Research title

Flow control valve for pneumatic actuators using particle excitation by PZT

(2) Name of researcher with title of position

Daisuke Hirooka, Doctor's course student, Okayama University

(3)Summary

In this project, we developed new flow control valve for pneumatic cylinders. This valve can control flow rate using particle excitation in valve by PZT oscillator. And this valve's features are small size, low-weight, and high response. In addition, this valve can control flow rate continuously by control the orifice area on control particles on the orifices. In this report, we decide the optimum condition to control flow rate smoothly.

(4)Key Words

Pneumatic actuator, Flow control valve, PZT

2. 本研究の意義・特色

本研究で開発している流量制御弁は圧電素子による共振動作を利用した新しいもので、小型で大流量制御が可能であり、小型のシリンダに直接取り付けることも可能となる。このため、空気圧配管等に取り付ける制御弁と違い空気の圧縮性を受けずにシリンダを制御できるという特徴を持っている。

本研究で開発している流量制御弁は圧電素子による振動のモードとオリフィスの配置条件の組み合わせにより単純な ON/OFF ではなく、印加電圧により段階的な流量調整が実現できる。また、圧電素子を用いることで高い応答性を持つ。

以上のような特性から、本研究で開発している流量制御弁は空気圧システムの制御性を大きく高め、自動機械の省エネルギー化、高効率化に大きく貢献できると思われる。

3. 実施した研究の具体的内容、結果 (本文)

本研究で開発している流量制御弁の動作原理を図 1 に示す。流量制御弁は、オリフィス板、圧電振動子、微粒子から構成されている。オリフィス板はフランジを持った構造で、圧電振動子はオリフィス板のフランジ部分の底面に取り付けられている。圧電素子に電圧を印加し振動させることで、オリフィス板内部で大きな変形が与えられる構造となっている。電圧無印加時には、図 1(a)のように、外部から空気が流量制御弁内に供給されると、微粒子がオリフィス開口部に押し付けられ空気の流れを防ぐ。このため、流量制御弁は通常時には閉じた状態となる。このとき、圧電振動子に電圧を印加すると、図 1(b)に示すように、オリフィス上の微粒子が励振され、オリフィスから離れる。その結果、微粒子とオリフィス開口部の間に隙間ができ、空気がオリフィスを通して流れる。このように圧電振動子への電圧を変化させることで、空気の流れを調整することが可能となる。本研究では、振動のモード、振動振幅、オリフィス配置条件を最適化することで、連続的な流量制御を目指す。

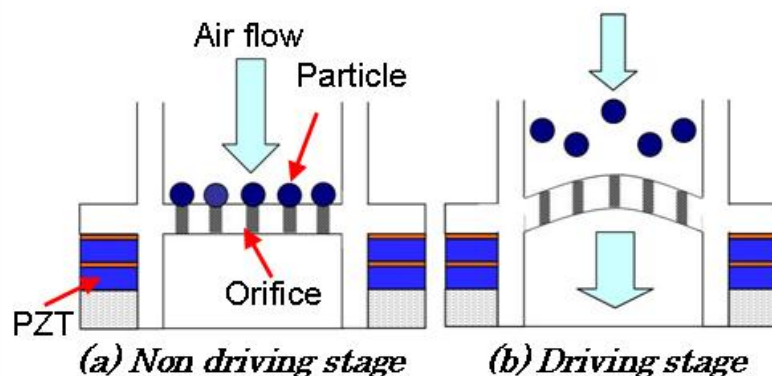


図 1 微粒子励振駆動弁の構造

次にオリフィス板に振動を与えた際に、微粒子がオリフィス開口部を離れる条件を示す。微粒子の質量を $m[\text{kg}]$ 、空気圧を $P[\text{MPa}]$ 、オリフィスの半径を $r[\text{mm}]$ 、としたとき微粒子がオリフィス開口部より離れる際に必要なオリフィス板の振動条件は以下の式で求められる。微粒子型微粒子がオリフィス開口部に押し付けられる力 $F_1[\text{N}]$ は、

$$F_1 = \pi r^2 P \quad (1)$$

となり、このときオリフィス板上の質量 m の微粒子が振動により受ける力 $F_2[\text{N}]$ は

$$F_2 = ma \quad (2)$$

となる。式(1), (2)よりオリフィス板の必要振動加速度は

$$a > \frac{\pi r^2 P \pm mg}{m} \quad (3)$$

となり、微粒子がオリフィス開口部を離れる条件はオリフィス板の振動加速度によることが確認される。ただし、式(3)の±はバルブの設置向きによって変化する。圧電振動子の振動加速度は印加電圧に比例するので、電圧を制御することでオリフィスの開閉を調節することが出来る。

連続的な流量制御の実現を目指し、本研究では図 2 に示すようなオリフィスパターンを提案した。このオリフィスパターンは 9 個のオリフィスから構成されている。オリフィスはオリフィス板中心から 0.4 mm の位置より、0.2 mm 間隔で 2.0 mm の位置まで並んでいる。なお、オリフィス設置部分の直径は 6mm である。この条件化で、オリフィス板の中心が振動の腹になる振動モードでオリフィス板を加振し、圧電振動子に与える電圧を増加させていく。すると、オリフィス板内部での振動の振幅が増加していき、中心に近いオリフィスから順に開いていくこととなる。その結果、オリフィスの開口面積は連続的に増加していき、連続的な流量の変化が起これと考えられる。ここではオリフィスの直径は 0.4mm とした。

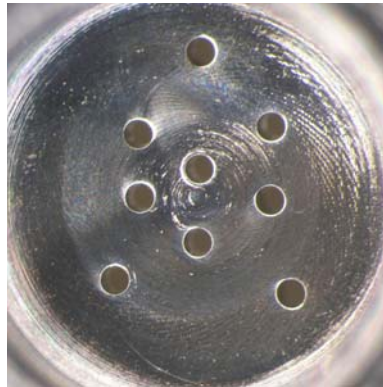


図2 オリフィス配置条件

製作したオリフィス板に圧電振動子を取り付け、流量制御弁とした。作製した流量制御弁を図3に示す。流量制御弁は圧電素子をボルト締めで取り付けることにより高い発生力が得られる。流量制御弁の寸法は図3に示されるように、直径10mm、高さ9mmである。振動部分は2枚の圧電素子と電極により構成されている。図4(a)には振動モードの形状、図4(b)には解解析により求められた管壁からの距離と振幅の関係を示す。図4(b)は比較のため中心部分の振幅を1としている。解析の結果より、図4(a)に示されるように管壁付近は振動せず、オリフィス板の中心付近が大きく変形していることがわかる。同様に、図4(b)より中心付近で最も変位が大きく管壁に近づくほど、変位が小さくなることが確認された。

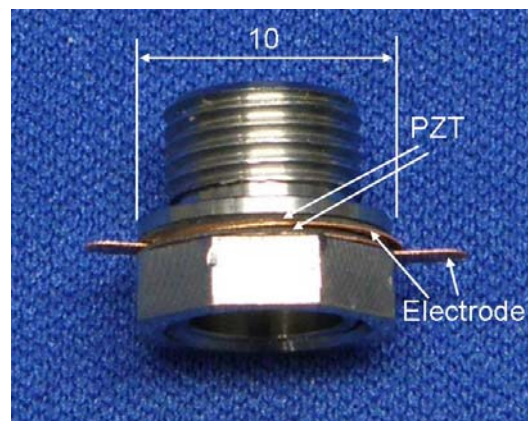
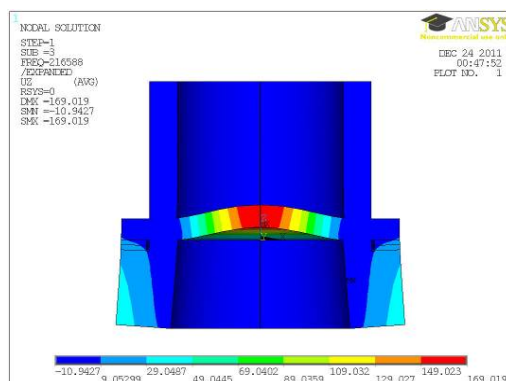
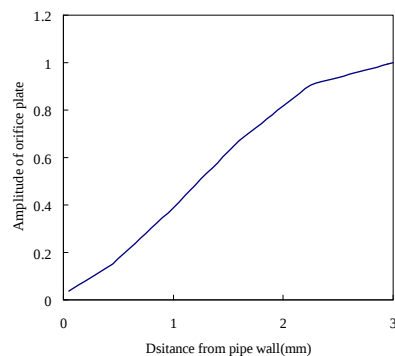


図3 微粒子励振型小型大流量制御弁



(a) 振動モードの形状



(b) 管壁からの距離と振幅の関係

図 4 有限要素法解析の結果

実際に製作したオリフィス板を用いた流量制御弁の流量特性を測定した。測定は空圧印加時に共振周波数の電圧を与え、振動振幅を一定で増加させて行った。印加空気圧は 0.5、0.6、0.7MPa とした。測定の結果を図 5 に示す。測定の結果より、電圧の増加に伴い段階的に流量が変化していることが確認された。空気圧が高いほど、微粒子をオリフィス開口部に押し付ける力が強いため、流量の変化が起こるには高い電圧が必要なが確認できる。一方で空気圧が高いほど、開口面積が大きくなった際には多くの空気流量が流れることが確認できた。この流量制御弁の最大の流量は 0.7MPa 印加時に 55l/min であった。

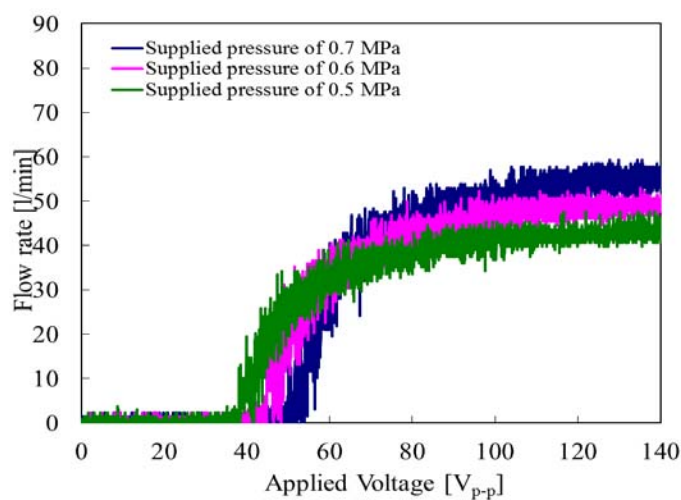


図 5 微粒子励振型流量制御弁の流量特性

ここで、流量変化時の微粒子の動きをアクリル内部に空気圧印加用の経路を持った専用の治具を用いて観察した。観測時はすべてのオリフィスが観察できるように、斜め方向より動画撮影を行った。実際に空気圧を印加し、圧電素子に加える電圧を増加させ、振動加速度を大きくしていった際の微粒子の挙動を図 6 に示す。

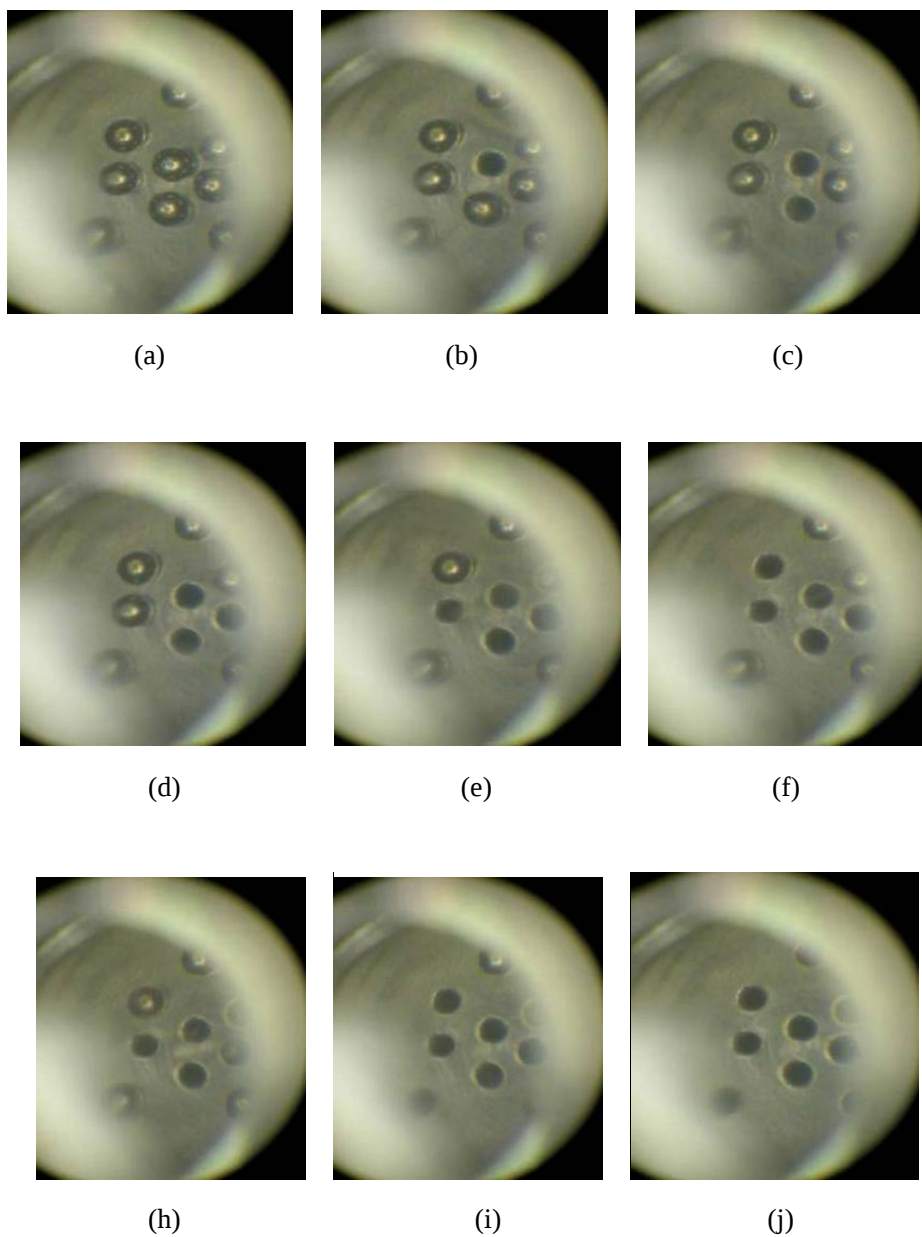


図 6 流量変化時の微粒子の挙動

図 6(a)では、空気圧が印加されたことにより、微粒子がオリフィスを塞いでいる事が確認できる。図 6(b)から(i)に示すように、印加電圧を上げていくことで、中心付近のオリフィス上の微粒子から順番に離れていくことが確認された。

以上に示した研究の結果より、本研究で提案する微粒子励振型流量制御弁は小型軽量であり、体積、質量に対し大きな制御流量を持つことが確認された。さらに、オリフィスの配置条件と振動モード形状の最適な組み合わせにより、段階的な流量調整が可能であることが示された。この制御弁を用いることで、空気圧システムの制御性を高めることが可能となり、省エネルギー化にもつながると考えられる。

4. 本研究を実施したグループに属するおもな研究者の氏名・役職名

廣岡 大祐 岡山大学 博士後期

5. 研究実施時期

2010年（平成22年）3月1日から 2011年（平成23年）3月31日

6. 本研究に関連して発表した主な論文等

○Daisuke Hirooka, Koichi Suzumori, Takefumi Kanda, “Design and Evaluation of Orifice Arrangement for Particle-Excitation Flow Control Valve”, Sensors and Actuators A171, p.p. 283-291, 2011

○Daisuke Hirooka, Koichi Suzumori, Takefumi Kanda, “Continuous Air Control Using Particle Excitation Valve”, 2011 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronic, p.p. 291-296, 2011

○D.Hirooka, K. Suzumori, T. Kanda “Experimental Analysis on Pneumatic Flow Control Valve driven by PZT Vibrator” 2010 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, FA1.5, Montréal, Canada, (July 2010)

○Daisuke Hirooka, Koichi Suzumori, Takefumi Kanda, “Dynamic characteristics of Pneumatic Flow Control Valve driven by PZT Vibrator”, World Automation Congress 2010, 13th International Symposium on Robotics and Applications, 2010

○廣岡大祐, 鈴森康一, 神田岳文, “圧電振動による微粒子励振型空気流量制御弁(第7報 連続的流量変更を目的としたオリフィス径の変更)”, 日本機会学会, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2A2-J09, 2011

○廣岡大祐, 鈴森康一, 神田岳文, “圧電振動による微粒子励振型空気流量制御弁(第6報 高圧印加時の振動子の挙動) “平成22年春季フルードパワーシステム講演会, 東京, 2010年5月

7. 内外における関連研究の状況

現在、流体制御弁の小型化、省エネルギー化を目指した研究において、流体の圧力によりバルブの開閉を補助することにより、構造の単純化、小型化が見込まれるため、制御流体の持つエネルギーを利用しようという研究が行われている。しかし、それらの研究はON/OFFの制御のものしかなく、流体の連続的な制御を目指した研究は他にない。

8. 今後の発展に対する希望

現在までの研究で、小型で連続的な流量調整が可能な制御弁が完成した。しかし、その特性を生かした、制御システムの構築には至っていない。今後は制御弁を用いたシリンダの制御を行うとともに、最適な制御システムの開発を目指す。