

令和 5 年 6 月 8 日現在

機関番号：34416

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04248

研究課題名（和文）微細流量制御が可能な小型流量制御弁の開発

研究課題名（英文）Development of a small flow control valve capable of micro-flow control

研究代表者

廣岡 大祐（Hirooka, Daisuke）

関西大学・システム理工学部・准教授

研究者番号：10634016

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、空気圧アクチュエータ制御用に連続的な微小流量の調整が可能な小型流量制御弁の開発を行っている。開発している制御弁では、空気管路内部に弁体として微粒子を封入した制御弁であり、圧電素子によりオリフィス上の微粒子の微小な運動を制御することで、高応答で微細流量の制御が可能となる。研究期間において、制御弁内部が観察可能なシステムを作成し、制御弁の流量特性の評価を行った。さらに、制御弁の実用化を目指し、小型化に最適な振動モードを明らかにし、そのモードでの流量制御に必要な条件を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

空気圧機器の特徴として小型軽量であるが、制御性が低いという問題点がある。この問題の解決のために新たな制御弁の開発が行われている。申請者は以前より、制御性の高い機器として微粒子励振型流量制御弁を開発している。本研究では、開発している制御弁の応答性の改善と制御流量の微細化が可能な駆動原理を提案し、その有効性を評価した。この結果より、今までの駆動原理では実現できなかった微小流量の連続制御が可能となり、空気圧機器の応用分野の拡大の可能性を示した。

研究成果の概要（英文）：In this study, we are developing a compact flow control valve capable of continuously adjusting micro flow rates for pneumatic actuator control. The control valve we are developing is a control valve in which particles are sealed inside an air duct as a valve plug, and a piezoelectric element controls the microscopic motion of the particles on the orifice, enabling control of fine flow rates with high response. During the research period, a system that enables observation of the inside of the control valve was created to clarify the effects of particle motion and fluid behavior on the vibration of the orifice plate, and to confirm the optimum vibration conditions of the orifice plate for driving.

研究分野：アクチュエータ

キーワード：流体制御機器 圧電素子 アクチュエータ

1. 研究開始当初の背景

空気圧シリンダなどの空気圧アクチュエータは軽量で、柔軟性の高さから安全性もあり工場などの生産現場で広く利用されてきている。近年、空気アクチュエータの柔軟な特性を利用した、医療用ロボット、リハビリテーション機器、人間が装着可能なパワーアシストスーツなどの研究が行われている。これらの機器ではその用途により、連続的な位置・力制御が必要になる。また、応答性や制御性の観点から、空気圧配管による伝達遅れを低減するために、駆動部ごとに専用の空気圧制御機器を取り付けることが求められる。これらの機器では複数の駆動部が存在しており、小型で連続的な流量制御が可能な空気圧機器の需要が高まっている。図1に、一般的な制御機器の質量と制御流量の関係を示す。連続的な制御が可能な比例制御弁は大型のものがほとんどである。ON-OFF弁では小型のものもあり、アクチュエータに搭載することも可能であるが、連続的な制御は不可能である。そこで申請者は小型軽量で連続的な流量制御弁の原理を提案し、開発を行っていた。本研究では、この制御弁をさらに発展させ、微小流量の制御が可能な駆動原理を提案した。

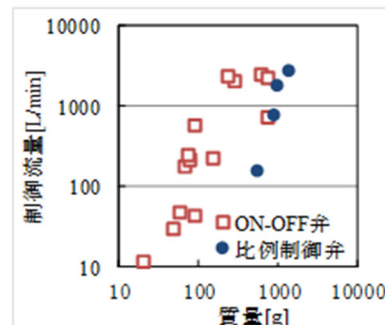
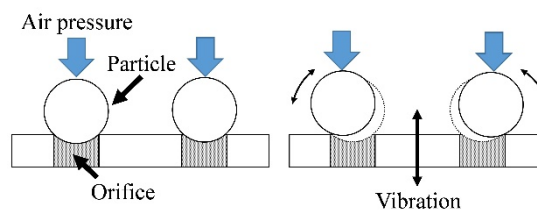


図1 制御機器の現状

2. 研究の目的

本研究では微小流量が制御可能な新たな駆動原理として、オリフィスにかかる空気圧の影響下で弁体である微粒子の運動量を細かく調整する方法を提案した。この駆動方法では、過去の研究で実現した制御弁の特徴を残した状態で、制御流量の提案する制御弁の図に提案する制御手法の模式図を示す。この駆動原理では、オリフィス板に圧電素子による振動を与え、各オリフィスの開口度合いを調整する。オリフィス板に振動を与えていない状態では、図2(a)のように微粒子は空気圧によりオリフィスに押し付けられる。弁開口時にはオリフィス板に振動を与え図2(b)のように複数のオリフィス上の微粒子を運動させる。その結果、オリフィスと微粒子との間に隙間ができ、空気が流れる。振動により、オリフィス付近の微粒子の運動を変化させオリフィス開口度合いを調節する。本研究では、この駆動原理の有効性を明らかにする。また、制御弁の小型化を想定し、駆動に適した振動モードについて明らかにする。



(a)閉口状態 (b)流量制御時
図2 提案した制御手法

3. 研究の方法

研究目的の実現のため、微粒子の運動が観察可能な実験システムを考案する。この実験システムにより微粒子の駆動と、流量の関係を明らかにする。また、駆動時の振動特性をレーザードップラ振動計により、測定することで、流量制御に最適な振動モードを明らかにする。開発した観察システムの構造を図3に示す。観察システムは、アクリル製の治具と、振動子からなる。振動子として、内部が空洞のボルト締めランジュバン型振動子を用いる。振動の腹である振動子先端にオリフィス板を、振動の節であるフランジ部分に治具を取り付けることにより、振動特性を変化させずに、空気圧を印加した状態のオリフィス板と微粒子の挙動の観察が可能となる。このシステムを用いることで、提案手法で想定している駆動原理における、流量特性の評価が可能となる。さらにアクリル越しにレーザードップラ振動計を用いて、オリフィス板の振幅を測定することで、振動モードの確認が可能となる。このシステムを用いて、提案手法の有効性、流量制御に適した振動モードの確認を行った。

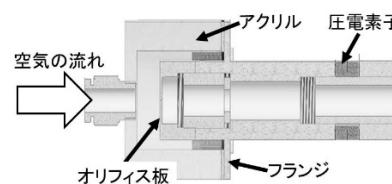


図3 提案した観察システム

4. 研究成果

制御弁の有効性に関して、流量特性評価の結果の一例を図4に示す。この図は圧電素子への印加電圧と流量特性の関係を示したものである。最大制御流量である6[L/min]程度まで連続的に流量を制御できていることが確認できる。過去の提案手法では、微粒子が完全にオリフィスから離れる条件であったため、制御できる流量はオリフィスの径に依存する。その結果、図4の6[L/min]以上で示されるような段階的な流量特性となっていた。一方、今回の提案手法では、6[L/min]以下の領域で示されるように、連続的な特性を得ることが出来た。過去の実験システムでは、制御弁内の微粒子の挙動が不明であり、流量特性と微粒子挙動の関係性が明らかにできなかった。今回の開発した観察システムにより、微粒子の挙動と流量特性の関係が明らかになり、提案している駆動原理で流量調整が可能な事、その有効性が示された。

次に制御弁の小型化に関する成果について示す。過去の研究では、制御弁を駆動するモードとして、振動子全体が振動するモードを用いていた。このモードでは、オリフィス板上の微粒子の運動の影響を受けにくいという特徴があり、安定的な流量制御に適していた。一方、このモードを用いた場合、振動子全体の構造が、制御弁の流量特性に影響するため、設計が複雑化する傾向がある。さらに、振動子が必須の構造となるため、制御弁の小型化にも限界があった。そこで、小型化のためにオリフィス板の振動モードを用いた駆動が想定されていたが微粒子の運動による影響が懸念されていた。その解決手法として、駆動周波数の調節が考えられた。図5に最適な駆動周波数において測定した流量特性を示す。この結果より、オリフィス板の振動モードを用いた場合でも提案している制御により流量調節が可能なが確認された。

本研究では、小型で微小な流量制御が可能な制御弁の駆動原理を提案し、その有効性を明らかにした。さらに実用化を想定し、小型で設計が比較的容易な振動モードを用いた駆動特性について明らかにした。この結果より、微小流量制御が可能な制御弁の実現の可能性が示された。今後は制御弁を用いたアプリケーションや、制御手法の改良を行う。

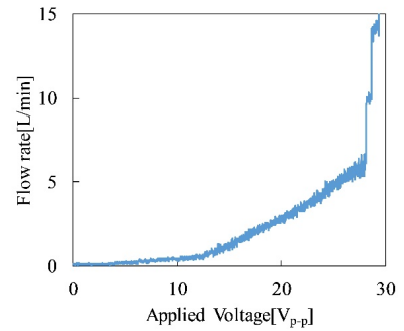


図4 流量特性の一例

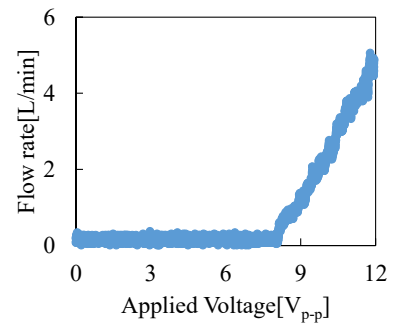


図5 オリフィス板中心のモードでの流量特性

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Daisuke HIROOKA, Naomichi FURUSHIRO, Tomomi YAMAGUCHI	4. 巻 34, 2
2. 論文標題 Micro Flow Control Valve with Stable Condition Using Particle-Excitation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 422-429
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20965/jrm.2022.p0422	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 廣岡大祐
2. 発表標題 振動を利用した粉体の分離・搬送機器の開発 粉体の材料特性の違いによる搬送速度の確認
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kensuke IKI
2. 発表標題 Proposal of Driving Principle using New Vibration Mode Suitable for Miniaturization of Particle Excitation Flow Control Valve
3. 学会等名 Abstracts of the 15th International Symposium in Science and Technology 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊木謙介
2. 発表標題 微粒子励振型比例制御弁の開発-小型化を目指した新たな振動モードの提案-
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 廣岡大祐
2. 発表標題 微小流量制御が可能な微粒子励振型制御弁の開発 -小型化を目指した振動モードでの特性評価-
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2023
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関