

微粒子励振型比例制御弁の開発

-効率的な駆動条件が実現可能な振動子の設計-

Flow control Particle Excitation Flow Control Valve development

- Vibrator design that can realize efficient driving conditions -

○学 川上 征(関西大) 学 五十嵐 充樹(関西大)
正 廣岡大祐(関西大) 正 山口智実(関西大)
正 古城直道(関西大)

Masaki KAWAKAMI, Kansai University, k790401@kansai-u.ac.jp
Mitsuki IGARASHI, Kansai University, k132585@kansai-u.ac.jp
Daisuke HIROOKA, Kansai University
Tomomi YAMAGUCHI, Kansai University
Naomichi FURUSHIRO, Kansai University

The authors are developing a Particle Excitation Flow Control Valve development, at aiming at application to a small servo valve. For efficiency, mechanism conditions using vibration in the perpendicular to the air pressure was proposed. In this report, the driving was proposed that can generate vibration acceleration at an arbitrary angle with respect to air pressure and evaluated its effectiveness by conducting experiments.

Key Words: Vibration, Piezoelectric, Pneumatic actuators

P [Pa]を用いて式(1)のように表すことができる。

$$F_{air} = P\pi R^2 \quad (1)$$

オリフィス板で発生する振動加速度を a [m/s²]とすると振動により微粒子にかかる力 F [N]は式(2)で表せる。

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

空気圧に直交する振動を用いることで、空気圧による発生力より小さな力でもオリフィスを開口することが可能となり、力の低減が可能となる。空気圧に対する振動方向の角度を α [°]とする。

本研究では微粒子励振型流量制御弁の効率化を目指し、広範囲において空気圧に対して任意の角度の振動加速度が発生可能な構造を目指し、オリフィス板の構造により、振動に対して微粒子にかかる空気圧の向きを変更することが可能な流量制御弁の有効性を確認した。

1. 緒言

空気圧技術は、空気を媒体としその状態変化と流体の流れを利用してエネルギーを変換・伝達する技術である。本研究では圧電素子を用いて小型で連続的流量制御が可能な弁の開発が行われている[1-2]。

制御弁は従来の ON/OFF 制御弁と違い、オリフィスの開口によって流量を制御する。図 1 に流量制御弁の構造を示す。通常時、微粒子がオリフィスを塞いでおり、圧電素子に電圧を印加すると、オリフィス板が励振され微粒子を動かし、オリフィスを開口させることで空気が流れる。効率的な流量制御を行うために空気圧に対して振動加速度に傾きを持たせ、微粒子に振動を加えた場合、開口に必要な振動加速度は低減された[3]。

本報では微粒子励振型流量制御弁の効率化を目指し、空気圧に直交する方向の振動を用いた条件で、排出流量の拡大を目指し提案された駆動方法について、その有効性を評価するために広範囲で空気圧に対して任意の角度で振動加速度が発生可能であり、開口時の振動加速度が低減されていることを確認する。

2. 基本原理

本報では広範囲において空気圧に対して任意の角度で振動加速度が発生可能な駆動方法の有効性を確認する。図 2 は制御弁のオリフィス部の模式図である。微粒子に加わる外力を図 2 に示す。空気圧により微粒子にかかる力 F_{air} [N]は、オリフィス半径 R [m]、空気圧

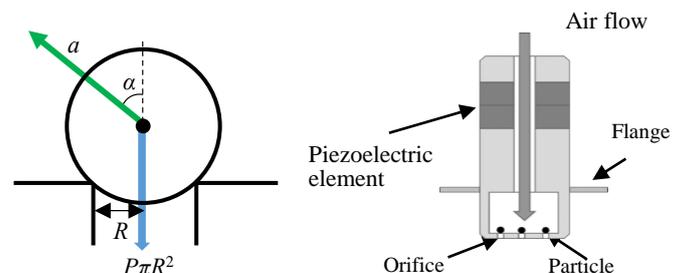


Fig.1 Example of the flow control Fig.2 External force applied to the particle

3. 振動モード

本研究では、広範囲で空気圧に対して振動加速度に角度をつけるためにオリフィス板の形状が変更された。新しく考案されたオリフィス板に角度をつけたモデルを振動解析により、その振動方法を確認した。図3のように、振動子全体を簡略化し、振動の腹にあたるオリフィス板から振動の節にあたるフランジまでの部分を使用し確認した。モデルは鉛直方向に振動し、オリフィス板に傾きを持たせることによって、空気圧のかかる向きを変え、空気圧に対して振動する方向が30°傾く構造となっている。この構造をもとに図4のような八角錐形のオリフィス板が作製された[4]。

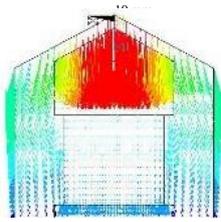


Fig.3 Analysis result

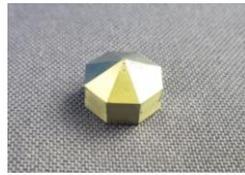


Fig.4 Developed orifice plate

本研究で使用する微粒子励振型流量制御弁では、図5のように振動子の圧電素子を振動の節とし電圧を印加しオリフィス板を振動の腹とすることで振動する。図5に振動子全体の振動モードを示す。オリフィス板部分の振幅は大きい、たわみは少ない構造となっている。

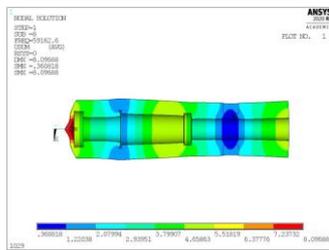


Fig.5 Analysis result of the vibrator

4. 評価実験

伸縮方向の振動加速度をレーザー振動計で測定することは難しい。そこで空気圧に対向する方向の振動加速度を測定した。固定状態と測定位置を図6に、オリフィス板上のある一点における印加周波数と振動加速度の関係を図7に示す。

次に、オリフィス板上の各面、各測定位置における伸縮方向の振動加速度を算出し、解析による振動モードの比較と測定位置における振動加速度の変化を確認した。レーザー振動計で伸縮方向の振動加速度を測定することは難しいため、空気圧に対抗する方向の振動加速度を測定し、補正して算出する。伸縮方向の振動加速度 a_1 、アドミッタンスのピーク値 Y_1 、 Q 値を Q_1 、

対抗方向の振動加速度 a_2 、アドミッタンスのピーク値 Y_2 、 Q 値を Q_2 として式(3)のように表せる。

$$a_1 = a_2 \times \frac{Q_1}{Q_2} \times \frac{Y_1}{Y_2} \times \cos 30^\circ \quad (3)$$

図8にオリフィス板中心付近の変形を1とした中心からの距離における変形割合を示す。a,b,c,dは4つの面を示す。

図8より実験結果と解析結果が一致していることが確認できる。実験結果は解析結果と同様の振動モードが発生した。次に図9に解析から求めた振動の角度と中心からの距離の関係を示す。

中心からの距離によらず各オリフィスにおいて30°の傾きを示している。したがって、オリフィス板で発生する振動は一様であり、空気圧に対して任意の角度を実現することが可能である。

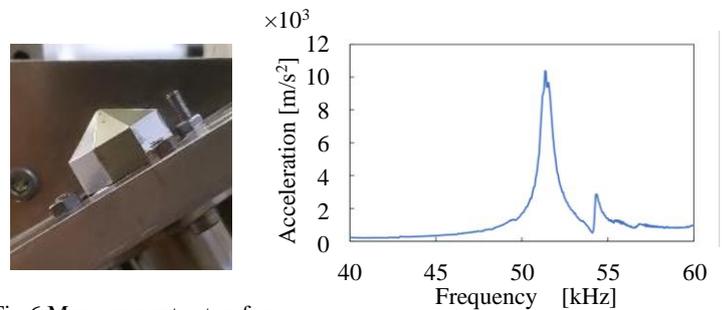


Fig.6 Measurement setup for placement surface

Fig.7 Relationship between frequency and acceleration

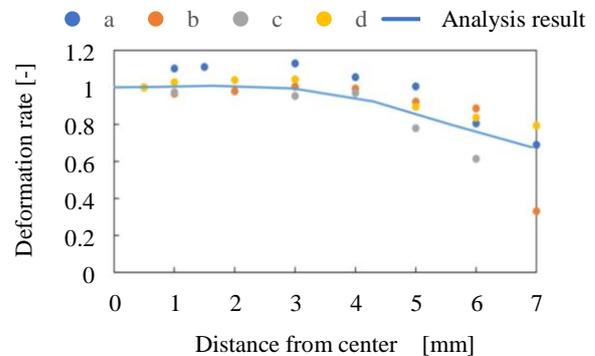


Fig.8 Relationship between deformation rate from distance from center

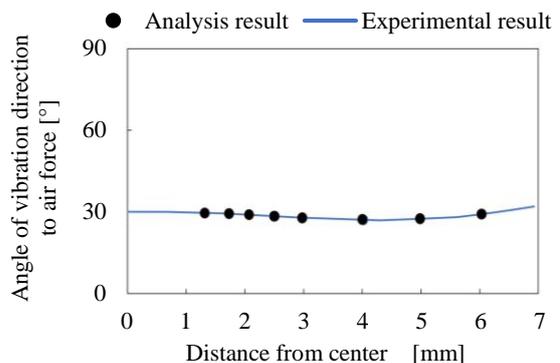


Fig.9 Relationship between distance from center and angle of vibration direction to air force

5. 開口実験

八角錐オリフィス板を用いて、微粒子を設置し空気圧を印加した状態で開口時の振動加速度を測定した。まず、一つのオリフィスに微粒子を配置し、他のオリフィスはふさがった状態にする。実際に電圧、空気圧を印加し、印加電圧における流量の変化を確認する。実験機構を図 10 に、実験条件を表 1 に示す。次に、開口時の印加電圧における振動加速度を測定する。実験では空気圧をかけるためにオリフィス板外側にカバーを設けている。そこで電圧を印加し、カバーを外した状態の振動加速度からアドミッタンスと Q 値を考慮してカバーをつけた状態の振動加速度を算出する。

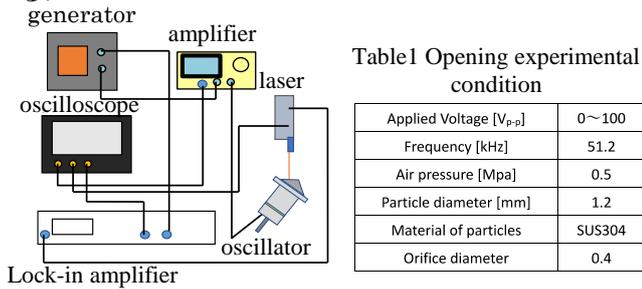


Fig.10 Experimental setup

中心から 6mm のオリフィスで開口実験を行った結果、図 10 の印加電圧と体積流量の関係となった。62.7V_{p-p} で開口し、振動加速度を算出した結果、 $22.9 \times 10^3 \text{ m/s}^2$ となった。同様にして、a,b,c,d の各面のオリフィスで完全開口した印加電圧から開口時の振動加速度を算出した結果を図 11 に示す。

各オリフィスはほとんど同じ振動加速度で完全開口した。過去の研究において、従来の駆動方法で同じ実験条件で開口時の振動加速度を測定した結果、 $48.4 \times 10^3 \text{ m/s}^2$ であった[5]。オリフィスによって多少のばらつきがあるが、最大の振動加速度 $25.8 \times 10^3 \text{ m/s}^2$ と比較しても 46.6%と大いに低減された。

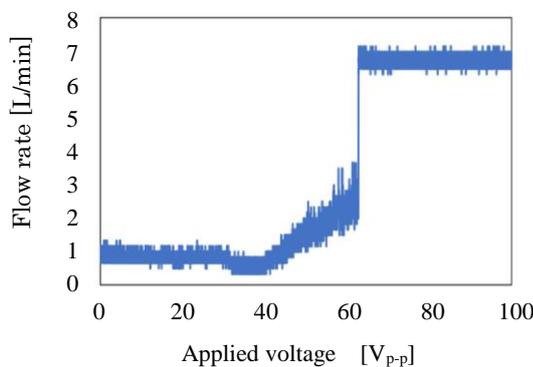


Fig.10 Relationship between flow rate and applied voltage

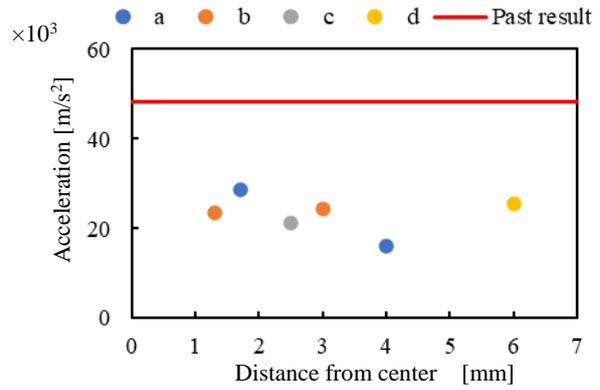


Fig.11 Relationship between distance from center and acceleration

微粒子励振型流量制御弁の省力化を目指し、空気圧に対して振動加速度を任意の角度で発生させることで従来の駆動方法に比べ非常に小さな振動で開口することが可能であり、傾きをつけることは有効的であると言える。

6. 結言

本研究では、広範囲において空気圧に対して任意の角度の振動加速度が発生可能なオリフィス板の評価実験、開口実験を行った。まず、解析により、オリフィス板上の各面の振動モードを確認した。評価実験により各面の実際の振動モードと解析結果が一致していることから想定された振動モードを示した。よって解析の結果より広範囲で振動加速度が任意の角度を発生することを確認した。次に、開口実験により過去の駆動方法と比較し、錐形オリフィス板の各面において振動加速度が大いに低減されていることを示した。よって駆動条件の省力化が確認された。以上の結果より、空気圧に直交する方向の振動を利用することで振動加速度に傾きをつけ微粒子励振型流量制御弁の効率が向上すると考えられる。

謝辞

本研究の一部は、2019 年度関西大学若手研究者育成経費において、研究課題「小型流量制御弁を用いた空気圧シリンダ制御システムの開発」として研究費を受け、その成果を公表するものである。

文献

[1] D. Hirooka, N. Furushiro, K. Suzumori, T. Kanda, "Optimization of orifice position in particle-excitation valve for proportional flow control, ROBOMECH journal, Vol. 4, 25, p. 1-11(2017)

[2] D. Hirooka, N. Furushiro, K. Suzumori, T. Kanda, "Particle-Excitation Flow-Control Valve using Piezo Vibration-Improvement for a High Flow Rate and Research on Controllability, 電気学会論文誌 E(センサ・マイクロマシン部門誌), Vol.137, No.1, p.32-37(2017)

- [3] 廣岡大祐, 東一毅, 古城直道, 山口智実: 微粒子振
型流量制御 弁におけるねじり振動を利用した駆
動原理の有効性評価, 日本フルードパワーシステ
ム学会論文集, Vol. 50, No.1, p.1-8(2019)
- [4] 川上征, 廣岡大祐, 古城直道, 山口智実: 微粒子励
振型流量制御弁の開発, ロボティクス・メカトロ
ニクス講演会2020予稿集, 2P2-G05 (1)-(3)
- [5] 三宅優哉, 廣岡大祐, 古城直道, 山口智実: 微粒子
励振型空気流量比例制御弁の流量特性の改善方法
の考案 第3報 応答性の改善を目指した新たな駆
動方法の提案, 2017年度精密工学会春季大会学術
講演会講演論文集(2017) 155-156