

# 振動駆動式空気圧弁の開発

上原 正太 平井 慎一 (立命館大学)

## Development of Unconstrained Vibrational Pneumatic Valves

Shota UEHARA and Shinichi HIRAI (Ritsumeikan Univ.)

**Abstract**—This report describes a new concept of pneumatic valves: unconstrained vibrational valves. First, we explain the principle of the proposed valve. It has no structural constraint between the poppet and orifice. We propose a design for a vibrational valve using a piezo-electric actuator. Second, we build a prototype of the unconstrained vibrational valve to assess its performance. Finally, we experimentally evaluate the flow rate and unconstrained vibrational valves.

**Key Words:** Pneumatic valve, Vibration, Miniaturization

### 1. はじめに

近年、ウェアラブルロボットの研究開発が行われている<sup>1)2)3)</sup>。それに用いられるアクチュエータはパワー重量比が高いことを要求され、McKibben アクチュエータ<sup>4)5)</sup>やHRA<sup>6)</sup>等の空気圧アクチュエータがその候補としてあげられる。空気圧アクチュエータ自体は小型軽量であるのに対して、比例弁が大きく重いというのが現状であり、アクチュエータを数多く使う場合、多くの比例弁が必要となり、全体の重量が増加する。また、各アクチュエータと比例弁とを繋ぐ配管が複雑になり、いわゆるスパゲッティ状態を生じ、ロボットの動作に良くない影響を与える可能性が懸念される。そこで、比例弁をアクチュエータ本体に内蔵できるほど小型軽量化することでその問題を解決を図る。

比例弁は主に空気の供給・排気を行う弁と制御対象の圧力を測定する圧力センサ、そして制御回路から構成されている。圧力センサや制御回路はMEMSやLSI技術により小型化が可能である。ボトルネックとなっているのは弁である。Fig.1に示すように、従来の比例弁はウェアラブルロボットを駆動するための流量は確保できるが本体重量が大きいという短所があった。現在、MEMS技術を駆使したON/OFF弁<sup>7)8)</sup>が開発されているが、流量が少ないためウェアラブルロボット駆動には向いていない。また、形状記憶合金を用いた比例弁<sup>9)</sup>なども開発されているが、本研究では従来の小型弁の流量・使用圧力を上回る弁の開発を目指す。

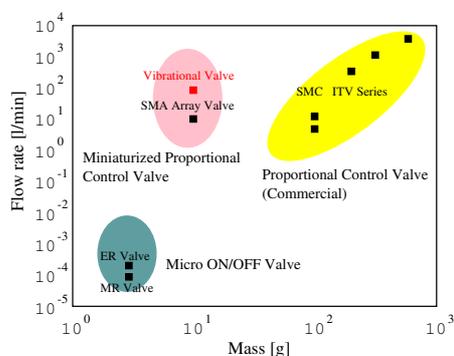


Fig.1 State of the arts

比例弁への適用を考慮すると、流量が一定のON/OFF

弁より、振動駆動式弁のように流量が可変である弁の方が圧力制御を行うのに都合がよいと考えられる。本報告では、新しい原理に基づく可変流量弁を提案し、構造の解説、試作および動作確認を行った結果を紹介する。

### 2. 振動駆動を利用した ON/OFF 弁

#### 2-1 原理

Fig.2(a)は従来の弁の構造である。オリフィスを塞ぐポペットが梁などによって取り付けられており、それが開閉することで弁のON/OFFを行っている。しかし小型化を考えた場合、この構造ではポペットとオリフィスとの位置決めがシビアになり、製造において組み付け精度が要求される。また、熱などによる歪みによって生じるリークなども小型になるほど問題である。そこで、同図(b)のようにポペットの部分が梁などで固定されていない弁を考える。この構造では、ポペットが圧力によってオリフィスに押し付けられることで閉塞されるため、組み付け精度が要求されず、熱による歪みに対しても影響を受けにくい。すなわち、構造が小型になってもリークが生じにくいというメリットがある。また、単純な構造であるためコスト低減も図ることができる。

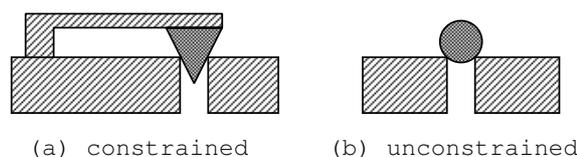


Fig.2 Orifice and poppet

次に、梁で固定されていないポペットをどのようにしてオリフィスから引き離すかということを考える。ポペット部分を直接持ち上げることは構造上不可能であるため、ポペットに外部から瞬間的に力を加えた衝撃でポペットをオリフィスから引き離す方法を考案した。一度の衝撃では一瞬浮くだけで、圧力によって直ちにオリフィスに押し付けられる。そこで、連続的な振動によってポペットをオリフィスから浮かせる機構を考案した。振動を与えている間はポペットとオリフィスとの間に隙間ができ、それにより流路を確保する。この仕組みを実現するための主な部品は、ポペット・オ

リフィス・振動を発生させるアクチュエータで非常に単純な構造であるため、小型化を実現しやすい。

## 2.2 基本構造

考案した振動駆動式弁の構成を Fig.3 に示す。

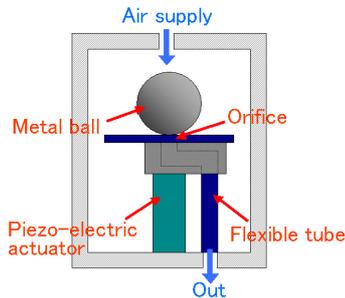


Fig.3 Structure of vibrational valve

オリフィスはアクチュエータと接着剤で強固に固定されており、アクチュエータからの振動を鉄球に伝える役割をなす。オリフィス内部には流路が設けられており、そこからナイロンチューブなどを介してケース外部へ接続されている。空気圧を供給すると鉄球はオリフィスに押し付けられるため空気は流れない、すなわち弁はOFFの状態である。アクチュエータを振動させると、鉄球とオリフィスの間に隙間が生じ、そこから空気が流れ、弁はONの状態になる。このようにアクチュエータを振動させるとON、停止するとOFFとなる。

## 3. 試作と動作検証

前節で述べた原理をもとに試作した弁を Fig.4 に示す。



Fig.4 Appearance of vibrational valve

オリフィスの大きさは直径 1.2mm、鉄球の大きさは直径 6.0mm である。また、振動発生アクチュエータには積層圧電アクチュエータを用いる。アクチュエータを駆動回路に接続し、任意の周波数で振動させる。

駆動周波数と流量の関係を測定した結果を Fig.5 に示す。供給圧力は 0.3, 0.4, 0.5MPa でそれぞれ実験した。図からわかるように、駆動周波数を変更することで流量が変化しており、供給圧力 0.5MPa、駆動周波数 7.8kHz にて最大流量 18 l/min を達成した。今後は周波数変更による流量制御や周波数固定間欠動作による流量制御など、弁の駆動方法を検討していく予定である。

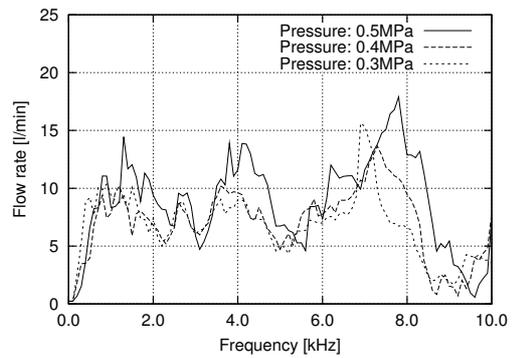


Fig.5 Flow rate - frequency relationship

## 4. おわりに

比例制御弁を構成する主要要素は、流体を制御する弁と制御回路、圧力センサである。制御回路と圧力センサはMEMSやLSI技術で小型化が可能であるので本研究では弁の小型化に狙いを定めた。目標圧力に追従する際の応答性を良くするため、弁は流量が可変であるほうが望ましい。そこで、小型の流量可変弁として、新しい発想である振動駆動式弁を考案した。試作品を検証した結果、周波数を変更することで流量を制御できる可能性が示され、小型化に向けた弁の構造であることが確認された。今後はこの振動駆動式弁の改良を進め、最適な駆動方法を考案していく予定である。

### 参考文献

- 1) J. E. Pratt, B. T. Krupp, C. J. Morse, and S. H. Collins, "The RoboKnee: An Exoskeleton for Enhancing Strength and Endurance During Walking", Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.2430-2435, 2004.
- 2) S. K. Banala, S. K. Agrawal, A. Fattah, K. Rudolph, J. P. Scholz, "A Gravity Balancing Leg Orthosis for Robotic Rehabilitation", Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.2474-2479, 2004.
- 3) H. Kobayashi and K. Hiramatsu, "Development of Muscle Suit for Upper Limb", Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.2480-2485, 2004.
- 4) S. Davis, J. Canderle, P. Artrit, N. Tsagarakis and D. G. Caldwell, "Enhanced Dynamic Performance in pneumatic Muscle Actuators" Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.2836-2841, 2002.
- 5) M. B. Pritts and C. D. Rahn, "Design of an Artificial Muscle Continuum Robot", Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.4742-4746, 2004.
- 6) S. Kawamura, T. Shimizu, M. Tamai and Y. Hayakawa, "Development of a Hexahedron Rubber Actuator", Journal of the Robotics Society of Japan, Vol.16, No.3, pp.369-375, 1998.
- 7) K. Yoshida, M. Kikuchi, J. Park and S. Yokota, "A Micro ER Valve Fabricated by Micromachining", Proc. IEEE Int. Conf. on MEMS, pp.467-470, 2001.
- 8) K. Yoshida, Y. Jung and S. Yokota, "A Micro Valve Using MR Fluid Valve-Body", Proc. ICMT, pp.423-428, 2002.
- 9) K. Yoshida and S. Yokota, "Response of Proportional Valve Using Shape-Memory-Alloy Array Actuators", Proc. IFAC, Vol.A, pp.505-510, 1996.