

# 自励振動を誘発する柔軟小型バルブ

宮木悠二\*, 塚越秀行\*

## Soft compact valve inducing self-excited vibration

Yuji MIYAKI\*, Hideyuki TSUKAGOSHI\*,

This paper describes the development of a new valve that switches the pressurized modes by self-excited vibration instead of using electricity. Recently pneumatic soft robots are developed actively which can move narrow environments by taking advantage of its flexibility. Generally, solenoid valves are used to drive pneumatic soft robots, but they are hard to be used in environments where explosion-proof performance is required such as a chemical plant. Therefore, we developed a new valve and checked its function by experiments. Then we show the effectiveness of our method by realizing the propulsion of a pneumatic mobile robot in which installed the valve.

**Key Words** : Soft actuator, Pneumatics, Valve

### 1. はじめに

柔軟性を活かして狭隘地形などを安全に推進、情報収集を行うことができるソフトロボットの研究が近年盛んに行われている。なかでも空気圧を駆動源としたソフトロボットは柔軟、軽量かつ出力密度が高いため数多く研究されている<sup>1)</sup>。

一般に、他自由度の運動を生成する空気圧ロボット制御するためには、自由度と同数の圧力供給チューブと制御弁が必要となる。しかし、長距離移動の際には複数の供給チューブがもたらす捻じれや摩擦などが運動を阻害する。

一方で、電磁弁をロボット本体に搭載することで供給チューブを減らすという手法をとると、ソフトロボット本来の柔軟性が損なわれるだけでなく、化学プラントのような防爆性能が要求される環境での使用が困難になる。

そこで本研究では、防爆性能が必要とされる環境下での使用を目指した、電力を使用せずに自励的に圧力切替を行うことのできる柔軟小型バルブ<sup>2)</sup>を開発した (Fig.1)。従来にも自励振動を生成する剛体構造の弁は存在した<sup>3)</sup>。本研究で提案する弁はこれとは異なり、弁自体が柔軟なチューブ構造のためアクチュエータ内部に収納しやすく、システム全体として柔軟性を損ねる懸念がない。

本稿では、まず偏平チューブを用いた自励振動の生成原理を紹介し、検証実験を行う。次にバルブとしての利用法を述べ、実験によってその特性を示す。最後に、当該バルブにより流体圧を供給するだけでアクチュエータを高周波で駆動可能なことを示す。

### 2. 偏平チューブを用いた自励振動現象

自励的に加圧モードの切り替えを行う手法として、偏平チューブを用いた自励振動現象を提案する。2本の偏平チューブを用いて流路を切り替える手法が、塚越らによって開発されている<sup>3)</sup>。これを利用して、一定圧力で流体を供給することで自励振動を生成する原理を提案する。

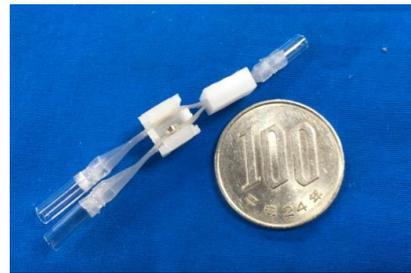


Fig. 1 Soft compact valve

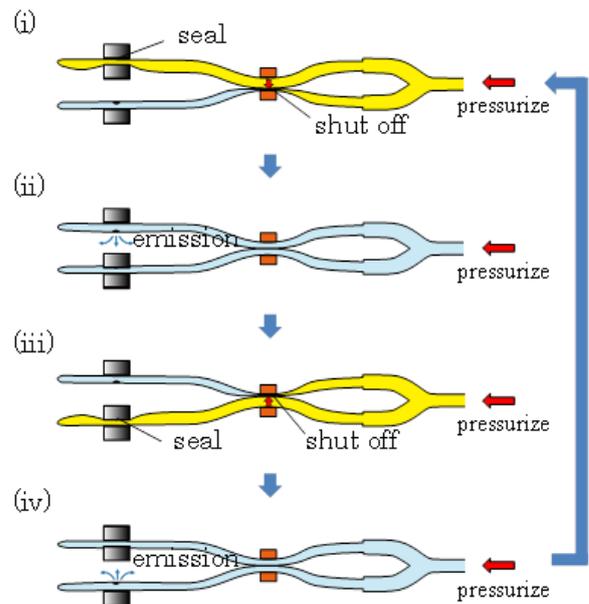


Fig. 2 Basic structure of the mechanism

\* 東京工業大学  
(〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-1-2-1)  
(E-mail: htsuka@cm.ctrl.titech.ac.jp)

本機構は図2に示すように、小さな排気穴を開けた2本の扁平チューブを拘束具によって束ねたものと3つのネオジウム磁石によって構成されている。自励振動を生成する基本原理を Fig.2 に示す。右側から一定圧力で空気を供給し、扁平チューブ A、B の内圧をそれぞれ  $p_A, p_B$  と表すこととする。最初に、中央の磁石が扁平チューブ A 側の排気穴を磁力によって塞ぐことで、 $p_A$  が上昇する。  $p_A > p_B$  となることで、拘束部分で扁平チューブ B 側の流路が遮断される (Fig.2(i))。 それによって、 $p_A$  はさらに上昇し、切替圧力に達すると排気とともに磁石が扁平チューブ B 側へ移動する (Fig.2(ii))。 同様に  $p_B$  は上昇し (Fig.2(iii))、磁石は A 側へ移動する (Fig.2(iv))。 この一連の動作を繰り返すことで一定圧力供給のみで中央の磁石が自励的に振動する。

### 3. 動作特性

実験装置による自励振動生成の様子を Fig.3 に示す。一定圧力 150 [kPa] を供給することで原理通り中央の磁石が自励的に振動した。また、Fig.4 に示すように供給流量  $q$  に比例して振動の周波数  $f$  が上昇していくことが確認できた。 Fig.5 に高周波で磁石が振動している様子を示す。これによって圧力切替の周期は供給流量によって制御可能であると考えられる。しかしながら、供給流量が 1.6 [L/min] 以下では自励振動は生じなかった。これは拘束部分による流路の遮断が完全ではなく、磁石によって閉じられていない側の排気穴から空気漏れが生じているためである。今回は拘束具として 0.5 [mm] のスリットを設けたポリアセタール樹脂を用いたが、今後空気漏れを低減する改善が必要である。

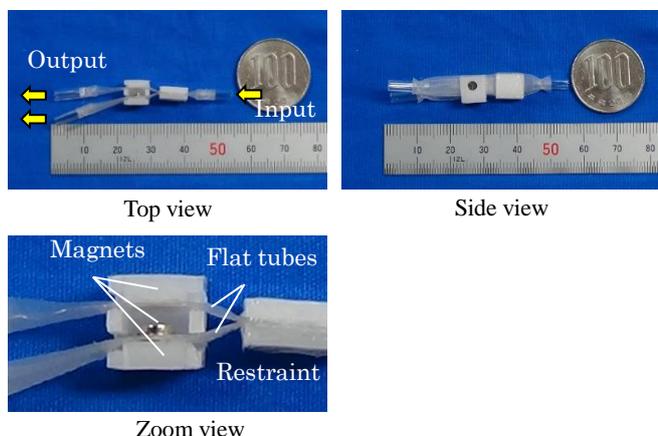


Fig. 3 Self-excited vibration

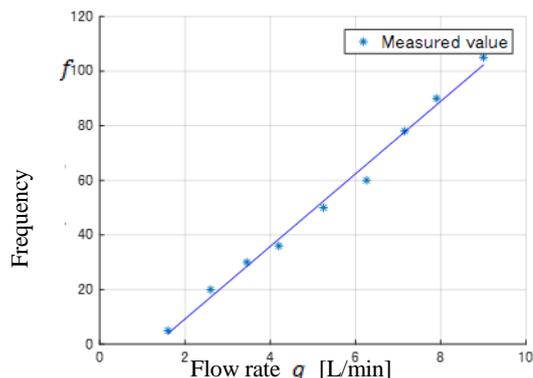


Fig. 4 Relationship between frequency and flow rate

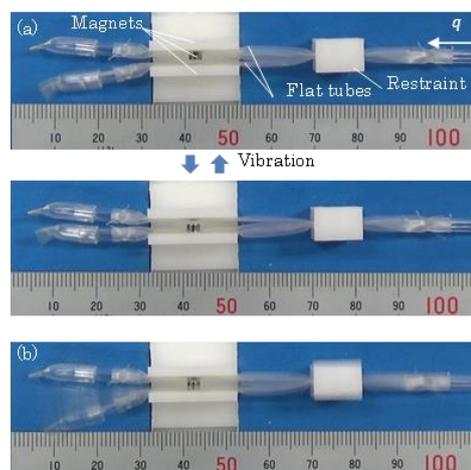


Fig. 5 Performance of the proposed valve

### 4. まとめ

電力を使用せずに目標の切替圧力で加減圧を行う柔軟小型バルブを開発した。当該バルブを用いて、1本の供給ラインで流体圧アクチュエータへの加減圧を自動的に行えることをし、その有効性を示した。今後はバルブを組み合わせることで3つ以上のチャンバの加減圧を行うことができる手法の検討や、より柔軟性を活かした移動ロボットの開発を行う予定である。

### 参考文献

- 1) Daniela Rus, Michael T. Tolley, "Design, fabrication and control of soft robots", Nature, vol 521, pp. 467-474, 2015.
- 2) 高山俊男, 角悠介, "多重チューブ推進機構のための自励式空圧流路切り替え装置", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会(2016), 2A2-08b2, Jun, 2016
- 3) 塚越秀行, 田圃圭祐, 北川能, "水道圧ステッピングモータとその高速駆動を促すフルイディックチューブの動作原理", 平成 16 年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集, pp.161-163,
- 4) 宮木 悠二, 塚越 秀行, 自励振動を誘発する柔軟小型バルブとその移動ロボットへの応用, ROBOMECH2017 in Fukushima (ロボティクス・メカトロニクス講演会), 2P1-E03(2017)