

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	流路自動切り替え型自励振動空圧アクチュエータのロボット応用
Title(English)	Robot Application of Self-excited Pneumatic Actuator Using Automatic-Flow-Path-Switching-Mechanism
著者(和文)	谷晃輔, 難波江裕之, 遠藤玄, 鈴森康一
Authors(English)	Kosuke Tani, Hiroyuki Nabae, Gen Endo, Koichi Suzumori
出典(和文)	ロボティクス・メカトロニクス講演会2020 予稿集, Vol. , No. , pp.
Citation(English)	Proceedings of the 2020 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Vol. , No. , pp.
発行日 / Pub. date	2020, 5

# 流路自動切り替え型自励振動空圧アクチュエータのロボット応用

## Robot Application of Self-excited Pneumatic Actuator Using Automatic-Flow-Path-Switching-Mechanism

○学 谷晃輔（東工大） 正 難波江裕之（東工大）  
正 遠藤玄（東工大） 正 鈴森康一（東工大）

Kosuke TANI, Tokyo Institute of Technology, tani.k.af@m.titech.ac.jp  
Hiroyuki NABAE, Tokyo Institute of Technology  
Gen ENDO, Tokyo Institute of Technology  
Koichi SUZUMORI, Tokyo Institute of Technology

Air pressure is often used to power sources for robots. Especially in recent years, with the improvement of forming technology of flexible materials, it is also actively used in the field of soft robots. However, many robots that are driven by air use solenoid valves. Using solenoid valves make problems like increasing the size of the robot and lowering explosion-proof performance. There are researches of pneumatically driven actuators that don't use a solenoid valve. However, the manufacturing process is complicated. Therefore, in this research, we propose a robot that can be integrally molded by 3D printing and can be driven without using a solenoid valve. This robot is driven by the self-excited pneumatic actuator we developed. This actuator can generate a reciprocating motion using self-excited vibration that is easy to apply as robot motion. In this paper, first, we explain the motion of the actuator. After that, we propose the robot application of the actuator.

**Key Words:** Pneumatic Actuators, Additive Manufacturing, Mechanism Design

### 1 緒言

近年様々な現場においてロボットの活躍が期待されている。しかし一般的なロボットは設計や製作に時間がかかるだけでなく、電子回路やソフトウェアも含めた駆動系は非常に複雑となっている。このような開発コストの高さがロボットの普及を妨げる原因の一つとなっており、簡単な製作方法や駆動、制御方法が求められている。

ロボットの製作方法を簡略化する手法として、プリンティング技術を利用することが研究されている。プリンティング技術は複雑な形状でも短時間で簡単に成形することができ、ロボットの製作コストが格段に低くなる。プリンティングによりロボットやアクチュエータの構造を成形する研究は盛んに行われており、製造プロセスを簡略化できることが示されている。フィルム状材料へ

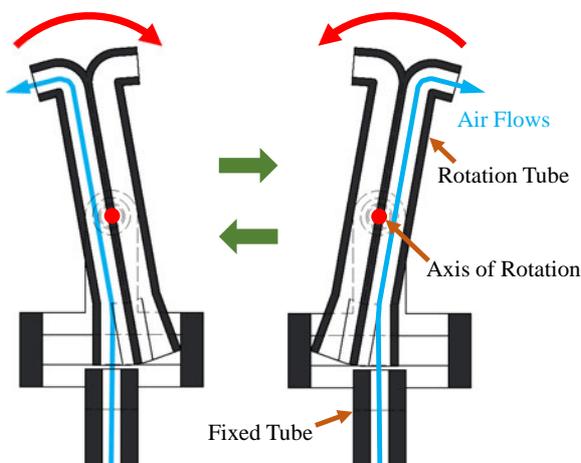
のプリントによりアクチュエータを構築するもの [1][2] や、IPMC を用いて製作するもの [3]、樹脂をプリントすることによって製作するもの [4][5] などが存在する。しかしいずれも成型後に組み立てを行っており、1 プロセスでの成型は出来ていない。

ロボットの駆動や制御を簡略化する手法として自励振動を用いることが挙げられる。振動をロボットの駆動方式や制御に利用することは、簡単な構造や制御手法で大きな動作を生み出すことができ、ロボットの小型化や制御手法の効率化に大きく貢献している。中でも自励振動は非振動的な入力であっても振動を誘発させることができ、ロボット構造や駆動系の簡略化に繋がっている。静電気力により振動を誘発しているもの [6] やリンク機構と電磁モータでの加振 [7][8] を用いるものが存在する。しかしいずれも振動を誘発する機構は複雑かつ複数部材であり、単一部材を用いた1プロセスでの成型は困難である。一方、空気による自励振動を用いたバルブ [9][10] やロボット [11] は振動誘発機構が比較的単純である。しかしこれらは複数部材を用いた製作方法となっており、3D プリンタによる一体成型には適していない。

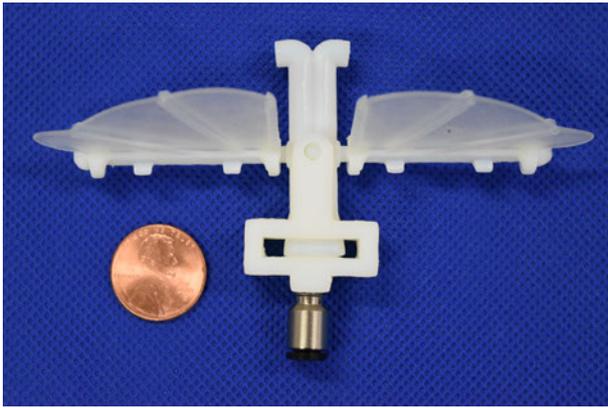
以上の背景より、本稿では3D プリンティングによる一体成型手法と空気による自励振動を用いた駆動方式を組み合わせたアクチュエータに注目する。アクチュエータの応用例の1つとして羽ばたきロボットを試作し、その動作を実験によって確認した。

### 2 アクチュエータの動作原理

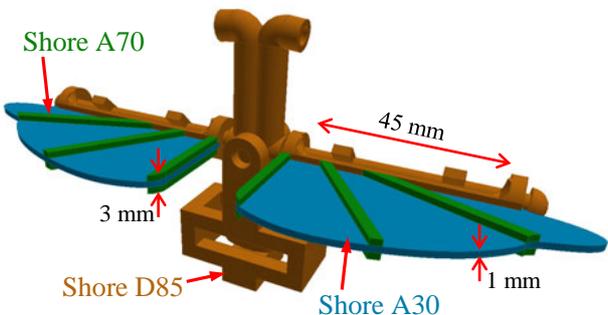
今回使用した空圧駆動自励振動アクチュエータの動作原理を図1に示す。本アクチュエータは固定管と回転管の2つの部品により構成されており、固定管に空圧を印加すると中心に付いた回転管が回転し、自動的に流路が切り替わる。これによって自励振動が誘発され、アクチュエータの動作が生み出される。回転管は先端が約90度に曲げられており、流入した空気が曲げられることで回転管にトルクが発生する。発生したトルクにより回転管は回転し、回転管が中心になると両管での発生トルクが打ち消し合っ0となってしまうが、慣性により回転を続ける。反対側まで到達するともう一方の管に空気が流入し、逆向きのトルクが発生する。これを繰り返すことで回転管は往復運動を行う。



**Fig.1** Self-excited pneumatic actuator using automatic flow path switching mechanism



**Fig.2** Flapping robot. It was integrally molded with a 3D printer.



**Fig.3** Robot dimensions and material hardness.

### 3 ロボット応用例としての羽ばたきロボット

この節では空圧自励振動アクチュエータのアプリケーションの一例として、羽ばたき動作をするロボットを製作する。その動作実験を通して本アクチュエータのロボットへの応用可能性を示す。

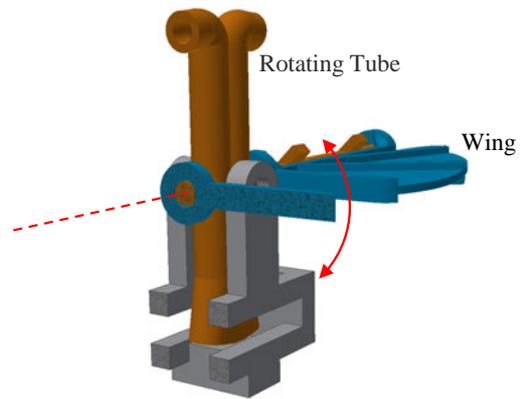
#### 3.1 ロボットの設計・製作

提案したアクチュエータの応用可能性を示すため、本アクチュエータを利用して羽ばたき動作をするロボットを試作した。試作したロボットを図2に示す。このロボットはアクチュエータ部と一体で成型されており、回転管から伸びるアームに2枚の羽を持つ。今回は羽ばたき周波数が30 Hz程度となるように設計した。胴体、羽、羽の骨の3つの部位は違う硬度を持つ樹脂で成形されており、それぞれショア硬度が85、30、70である。ロボットの寸法と材料硬度を図3に示した。羽の付け根は図4に示すように±13 degの可動域を持ち、受動的に回転することができる。このロボットは3Dプリンタを用いて一体でプリントしたため、製作にあたり組立工程を一切必要とせずプリント後にすぐにロボットとして動作させることができる。

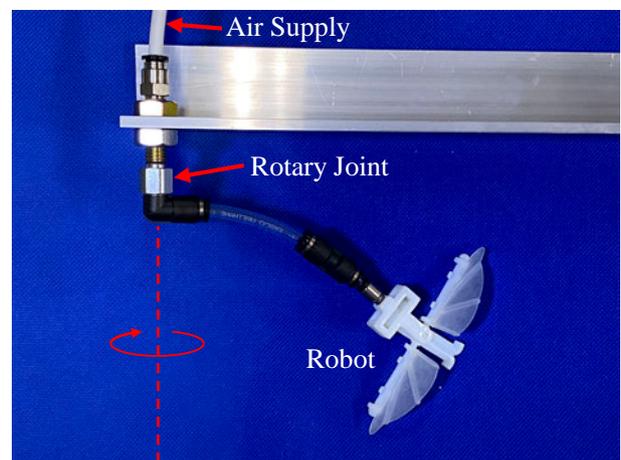
ロボットの下部から空気を流入させることでアクチュエータが駆動し、搭載された羽を逆位相で振る。この羽の振動により推進力が生まれ、ロボットは前進する。

#### 3.2 ロボットの動作実験

ロボットの動作実験を行うにあたり、図5に示す実験装置を構築した。空圧チューブは根本のロータリジョイントを介してロボットに接続されており、ロボットの自重はチューブにより支えられている。ロボットが羽ばたき動作をすることで推進力が生まれ、ロータリジョイントを中心として周回するように飛翔する。



**Fig.4** Movable part of wing: A rotary joint is attached to the base of the wing, so that the wing can passively swing.



**Fig.5** Experimental setup. The pneumatic tube can rotate freely by a rotary joint.

ロボットに空気を印加すると設計値通りである約25 Hzで羽ばたき動作を行い、前進する様子が確認できた。実験の様子が図6である。同じ形状のロボットで羽が存在しないモデルも製作し比較実験を行ったが、羽の無いモデルでは前進動作を確認することはできなかった。このことからこのロボットはアクチュエータによる羽ばたき動作で推力を得ることができたと示された。

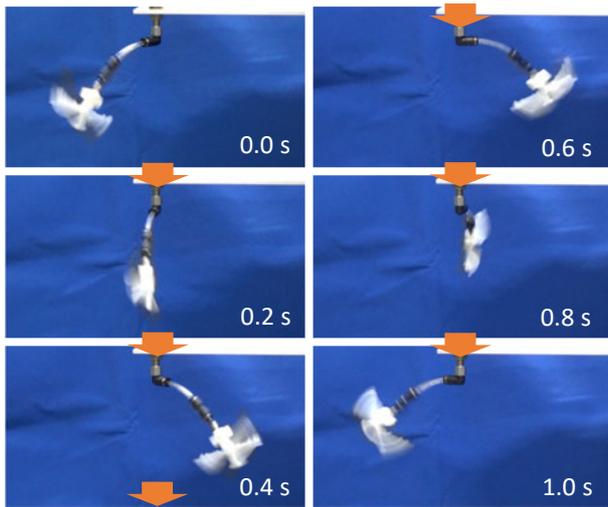
このように本アクチュエータを用いることで3Dプリンティングを用いた製作が簡単な空圧ロボットを開発することができることが示された。

### 4 結論

本研究では自励振動を誘発する流路切り替え機構を用いたアクチュエータに注目し、3Dプリンタにより一体成型可能なロボットアプリケーションを試作した。本アクチュエータを使用することで3Dプリンティングによる製作が簡単な空圧駆動ロボットへ応用ができることを示した。今後はアクチュエータを他のタイプのロボットへの応用も行い、アクチュエータの更なる有用性を示す。

#### 参考文献

- [1] R. Niiyama, X. Sun, C. Sung, B. An, D. Rus, and S. Kim, "Pouch motors: Printable soft actuators integrated with computational design," *Soft Robotics*, vol. 2, no. 2, pp. 59-70, 2015. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1089/soro.2014.0023>



**Fig.6** Flapping motion of the robot.

- [2] S. M. Felton, M. T. Tolley, C. D. Onal, D. Rus, and R. J. Wood, "Robot self-assembly by folding: A printed inchworm robot," in *2013 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, May 2013, pp. 277–282.
- [3] J. D. Carrico, K. J. Kim, and K. K. Leang, "3d-printed ionic polymer-metal composite soft crawling robot," in *2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, May 2017, pp. 4313–4320.
- [4] D. Drotman, S. Jadhav, M. Karimi, P. deZonia, and M. T. Tolley, "3d printed soft actuators for a legged robot capable of navigating unstructured terrain," in *2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, May 2017, pp. 5532–5538.
- [5] T. Umedachi and B. A. Trimmer, "Design of a 3d-printed soft robot with posture and steering control," in *2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, May 2014, pp. 2874–2879.
- [6] H. Nabaie and K. Ikeda, "Effect of elastic element on self-excited electrostatic actuator," *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 279, pp. 725 – 732, 2018. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092442471830709X>
- [7] M. NAKASHIMA, N. OHGISHI, and K. ONO, "A study on the propulsive mechanism of a double jointed fish robot utilizing self-excitation control," *JSME International Journal Series C Mechanical Systems, Machine Elements and Manufacturing*, vol. 46, no. 3, pp. 982–990, 2003.
- [8] J. Ute and K. Ono, "Fast and efficient locomotion of a snake robot based on self-excitation principle," in *7th International Workshop on Advanced Motion Control. Proceedings (Cat. No.02TH8623)*, July 2002, pp. 532–539.
- [9] Y. Miyaki and H. Tsukagoshi, "Soft simple compact valve inducing self-excited vibration aimed for mobile robots unnecessary for electricity," in *2018 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM)*, July 2018, pp. 670–675.
- [10] T. Takayama and Y. Sumi, "Self-oscillated air flow passage changing device for bundled tube locomotive device," *Proceedings of the 2018 JSME Conference on Robotics and Mechatronics*, vol. 2016, pp. 2A2–08b2, 2016, in Japanese.
- [11] D. Kim, J. I. Kim, and Y. Park, "A simple tripod mobile robot using soft membrane vibration actuators," *IEEE Robotics and Automation Letters*, vol. 4, no. 3, pp. 2289–2295, July 2019.