

K6-5

## 与圧ばね内蔵の小型超音波モータの開発

## Development of Miniature Ultrasonic Motor Incorporating Pressurizing Spring

○鈴木駿弥<sup>1</sup>, 高藤美泉<sup>2</sup>, 齊藤健<sup>2</sup>, 内木場文男<sup>2</sup>\*Shunya Suzuki<sup>1</sup>, Minami Takato<sup>2</sup>, Ken Saito<sup>2</sup>, Fumio Uchikoba<sup>2</sup>

Abstract: The miniature ultrasonic motor for driving micro-robot is studied. Miniature ultrasonic motor consists of four piezoelectric elements and metal parts of cylindrical or square pillar. It requires a pressurizing mechanism, like a common ultrasonic motor. In conventional miniature ultrasonic motors, pressurization is given using screw and spring. This paper reports the fabrication of a more miniature ultrasonic motor using spring and parts obtained by Micro Electro Mechanical Systems (MEMS) technology. In experiment for confirming the principle of rotation by using weight, applied voltage was 20 V<sub>pp</sub>, input frequency was 570 kHz, and rotation speed was 1600 rpm.

## 1. はじめに

アクチュエータは様々な産業機器やロボットに必要な構成要素である。とりわけミリメートルサイズの小型アクチュエータは、低侵襲医療デバイスや、マイクロロボットへの応用を目的とし、研究が行われている<sup>[1]</sup>。小型アクチュエータの部品は通常の機械加工のほか、IC 製造プロセスに基づいた微小電気機械システム (Micro Electro Mechanical Systems : MEMS) 技術によって作成された例が報告されている<sup>[2]</sup>。

小型アクチュエータの駆動方式には、代表的なもので静電方式や、電場方式、形状記憶合金方式等があるが、圧電素子を用いた小型アクチュエータは、他の方式と比較し、高出力で応答速度が速く、また素子自身の寸法が変位するためアクチュエータの構造を単純にしやすいといった利点がある。一方、欠点としては変位量が素子自身の寸法の 0.1% 程度と小さく、駆動機構に工夫が必要な事が挙げられる。

圧電素子を用いたアクチュエータとしては、積層型やバイモルフ型などが挙げられるが、本研究ではマイクロロボットの駆動に向け、小型超音波モータについて研究を行っている。従来の超音波モータは、圧電素子を円環状に複数並べる構造であるが、これを単純に小型化することは困難である。そこで4つの圧電素子で構成する、超音波モータが研究されている<sup>[3]</sup>。多くは円筒状の金属ステータの円周に圧電素子を4つ配置し、周方向順に電圧を印加することによって1次モードの回転振動を発生させて回転運動を得る。従来の超音波モータ同様、与圧が必要となるが、研究されているモータの多くは圧縮ばねとネジを用い与圧量を調整可能としている。しかしこれには、モータの全長がステータの長さとはばねの長さを足し合わせた大きさになって

しまう問題点がある。そこで本論文では、与圧量は調整可能なまま、ばねをステータ内部に配置することで小型化した超音波モータの作成と、重りによる与圧で回転実験を行ったので報告する。

## 2. 与圧ばね内蔵の小型超音波モータの作成

作成した超音波モータ及び組み立て図を Figure1 に示す。長さ 2mm, 0.7mm 角の真鍮四角柱に軸穴と面取りを設け、対面で分極方向を揃えた圧電素子を 4 枚接着しステータとした。圧電素子の寸法は 2.0×0.5×0.2mm, 圧電定数  $d_{31}$  は  $-328 \times 10^{-12} \text{m/V}$  のアクチュエータ用のものを使用した。ロータは円錐形状で、面取り部分と接触し、ばねにより与圧を与えた。このとき、MEMS 技術により 10 $\mu\text{m}$  単位で厚みを変えて作成したシリコン部品を用い、超音波モータ作製後に、シリコン部品を入れ替えることで与圧量を調整可能な設計とした。また、使用したばねのばね定数は 0.167N/mm である。

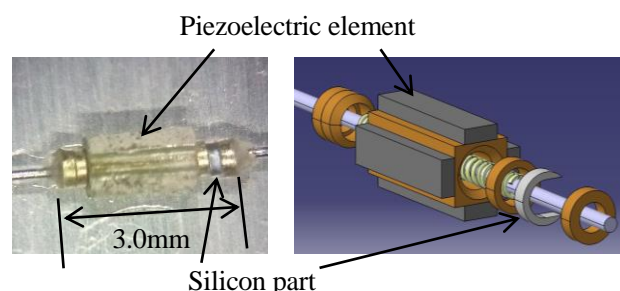


Figure 1. Miniature ultrasonic motor and assembly drawing

Figure2 に各圧電素子に印加する電圧を示す。対面の圧電素子をそれぞれ結線し CH1, CH2 とした。超音波モータを駆動させる際には、ステータの中央部を固定し、CH1 と CH2 にそれぞれ 90°位相のずれた方形波電圧を印加する。印加電圧がある周波数のとき、Figure3

の有限要素法による固有値解析結果のような、1 次モードの回転振動を得る。この振動モードの際、ステータは端面において、与圧を与えられたロータと接触し、従来の超音波モータと同様な原理で回転動作を得る。また、解析の結果、印加電圧の周波数が 595kHz のとき、1 次モードの回転振動の共振周波数であることが分かった。

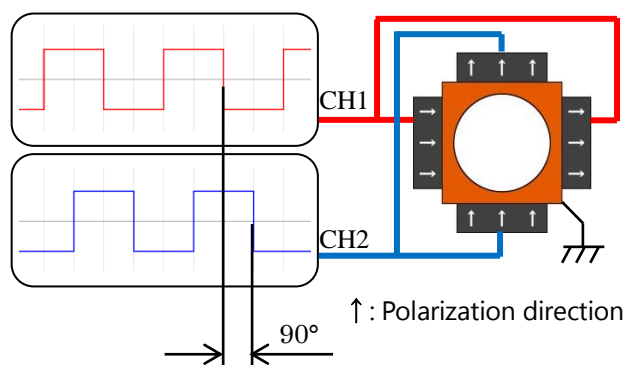


Figure 2. Applied voltage and top view of stator

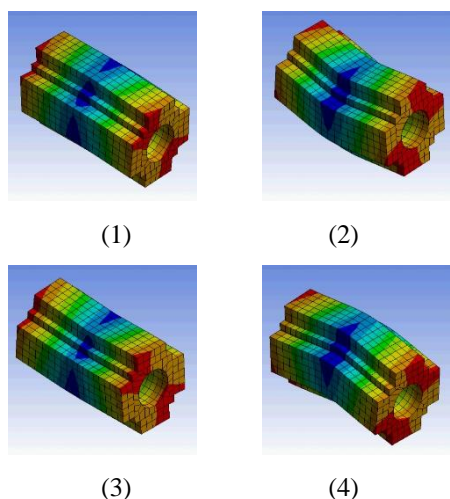


Figure 3. First order rotational vibration mode

### 3. 重りによる与圧での回転実験

回転原理と与圧量の確認のため、重りによって与圧量を変化させながら回転実験を行った。ロータと接触するステータ端面において、より大きな変位を得るため Figure4 に示すようなステータの固定位置で実験を行った。このとき、固有値解析により印加電圧の周波数が 576kHz で 1 次のたわみ回転モードの共振周波数となることがわかっている。印加電圧を  $20V_{pp}$  とし、周波数 576kHz 付近で変化させながら回転実験を行った。印加電圧の周波数と回転数の実験結果を Figure5 に示す。回転実験の結果、与圧量が 0.88mN と 1.37mN のとき回転を確認した。また、印加電圧の周波数が 570kHz

のとき、最大の回転数である 1600rpm および、874rpm を確認した。

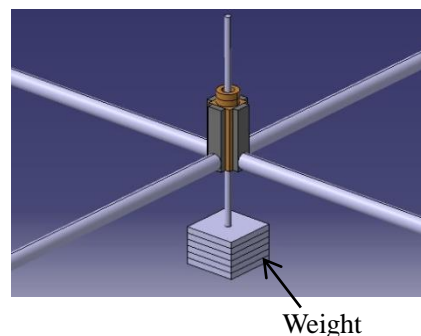


Figure 4. 3D model of experiment

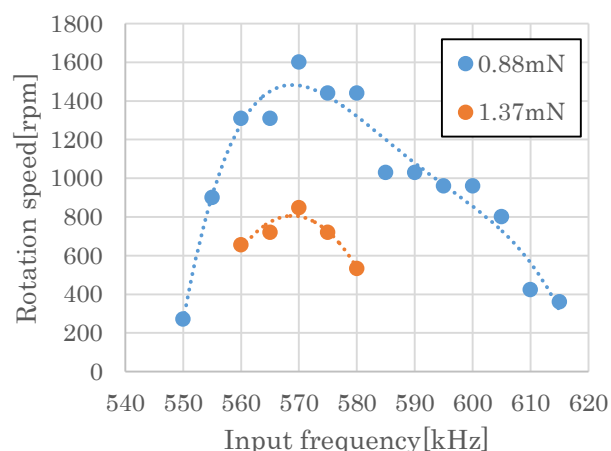


Figure 5. Input frequency vs. Rotation speed graph

### 4. まとめ

与圧ばね内蔵の小型超音波モータの作成と、重りによる与圧で回転実験を行った。作成したモータのサイズは  $3.0 \times 1.1 \times 1.1 \text{mm}$  であった。回転実験では、固有値解析で得られた共振周波数と、実験により得られた共振周波数がほぼ一致していることから、ステータの 1 次モードの回転振動により、ロータを回転させていると考えられる。

今後は実験で得られた与圧量を元に、与圧ばね内蔵型の設計での超音波モータを駆動させる予定である。

### 5. 参考文献

- [1] 藤田 博之:「マイクロアクチュエータと駆動原理」, 日本ロボット学会誌, Vol.12, No.4, pp.525-530, 1994
- [2] M. Esashi : “MEMS Using Micro Actuator” Journal of the Japan Society of Mechanical Engineers, Vol.111, No.1072, pp.184-185, March,2008
- [3]D. A. Henderson : “Simple Ceramic Motor ...Inspiring Smaller Products”, Actuator 2006, 10<sup>th</sup> International Conference on New Actuators, pp,1-4, 2006