

往復振動モードの選択的励振に基づく振動子複数配置型多自由度超音波モータ

Development of an Arrayed-type Multi-Degree-of-Freedom Ultrasonic Motor based on Selection of Reciprocating Vibration Modes

非 音川佳代 (慶應大)

正 前野隆司 (慶應大)

正 竹村研冶郎 (東工大)

*Kayo OTOKAWA, Keio University, Hiyoshi, Kohoku-ku, Kanagawa

Takashi MAENO, Keio University

Kenjiro TAKAMURA, Tokyo Institute of Technology

Abstract : This paper presents a novel type of multi-degree-of-freedom (MDOF) ultrasonic motor. Many types of ultrasonic motor have been developed before now. But, most of these have complex structure and is hard to miniaturize, because its vibrator is driven by dual phases and these frequencies must correspond to each other completely. However, a single vibrator driven by a single phase cannot generate MDOF movement. Hence, we propose a MDOF ultrasonic motor with plural vibrators driven by a single phase. Each vibrator has three patterns of vibration modes that can be changed by adjusting the frequencies. The spherical rotor is driven by the total force generated by plural vibrators, and its rotational direction is decided by combination of vibration modes. We decided the form of the vibrators through FEM analysis and confirmed that the spherical rotor was driven on three axes by experiment. Then, we measured the driving characteristics of this motor.

Key Words : multi-degree-of-freedom, Piezoelectric actuator, Ultrasonic motor.

1. はじめに

近年、多自由度運動を実現する小型で軽量なアクチュエータとして、多自由度超音波モータの研究が行われている。超音波モータとは、金属弾性体である振動子に圧電素子を用いて超音波領域の固有振動を励振し、摩擦力を介して移動子を駆動するアクチュエータである。特長としては、低速高トルク・高応答性・高保持トルク・静粛性などが挙げられる。現在、超音波モータは、カメラのオートフォーカスや腕時計の振動アラームなどに実用化されている。

従来の電磁モータを用いて多自由度機構を構成する場合、自由度に応じた数の電磁モータが必要となる上、電磁モータ自体が大型で重量が大きいことから、小型化・軽量化が困難になる。一方、超音波モータは構造が簡素で軽量であるため、小型化に適する。このため、超音波モータは、多自由度機構を構成するのに適しているといえ、これまでに様々な多自由度超音波モータが開発されてきた^[1]。

しかし、従来の多自由度超音波モータは、構造が複雑で小型化が困難であるという欠点を有する。このため、本研究では、構造が簡素で小型化が容易な多自由度超音波モータの駆動原理を提案し、開発することを目的とする。

2. 駆動原理の提案

超音波モータは、その駆動方式から単相駆動型と2相駆動型に大別される。これまで開発されてきた多自由度超音波モータの大半が2相駆動型である。2相駆動型は、振動子に位相をずらした2相の交流電圧を印加し、励振された2つの固有振動モードを重ね合わせることで振動子上に楕円運動を生成して駆動される。2相駆動型の場合、摺動効率がが高く、接触部の磨耗が少ない。しかし、駆動に用いる複数の固有振動数を完全に一致させる必要があるため、高い加工精度が要求され、製作が困難である。また、固有振動数を一致させるための追加工を要する場合もある。一方、単相駆動型は、振動子に1相の交流電圧を印加する駆動原理に基づく。振動子上に設置した突起の先端は、常に直線的に往復振動する。このため、摺動効率は低くなるものの、固有振動数を一致させる必要がないため、追加工が

不要な上構造を簡素化でき、小型化が容易である。

したがって、単相駆動型超音波モータの駆動原理を用いれば、構造が簡素で小型化が容易な多自由度超音波モータを実現できると考えられる。しかし、単相駆動型超音波モータ単体では、移動子を多自由度運動させることができない。このため、本研究では、単一の固有振動モードが励振される単相駆動型超音波モータを複数個組み合わせ、それらの合力によって移動子に多自由度運動を生成する方式を提案する。なお、移動子を直交する3軸まわりに回転させるため、各振動子に複数の励振パターンを持たせ、その切り換えによって移動子を所望の方向に回転させられるようにする。

3. 振動子の設計

図1は、筆者らが開発した多自由度超音波モータの模式図である。本モータは4つの振動子と1つの球状回転子から構成される。本モータの振動子は、構造が簡素で小型化できる必要があるため、振動子形状は長方形平板に突起を1つ設けたものとした。そして、長方形平板の固有振動モードの中から、各突起の振動方向を組み合わせることで回転子を3軸まわりに回転させられるような固有振動モードを検討した。その結果、図2に示す3つの固有振動モードを使用し、突起を図の位置に設ければ、回転子との接触部が図中に示す矢印の方向に振動し、図3のような励振パターンにより回転子を3軸まわりに回転させられることがわかった。なお、図2の濃度は紙面に垂直な方向の変位の大きさを表し、各固有振動数は22.048 kHz, 31.106 kHz, 86.252 kHzである。

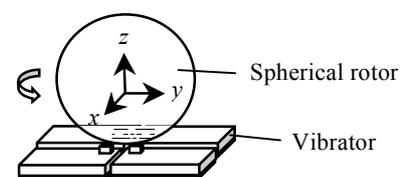


Fig.1 Structure of MDOF ultrasonic motor

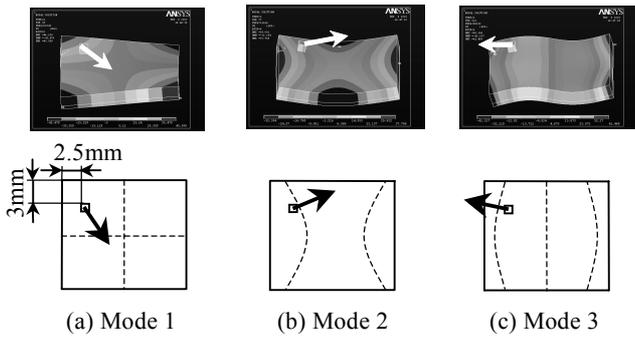


Fig.2 Natural vibration modes

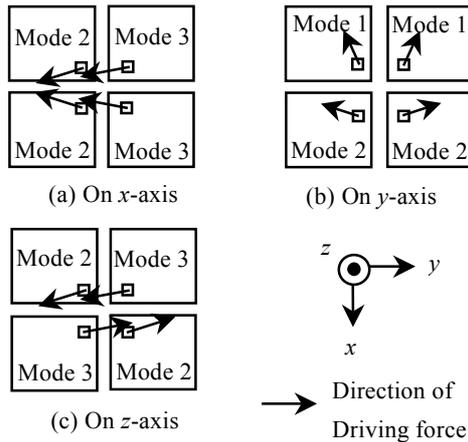


Fig.3 Combination of vibration modes

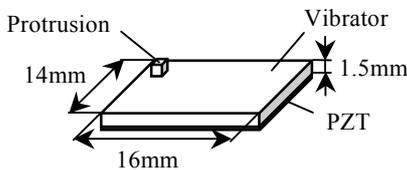


Fig.4 Form of the vibrator

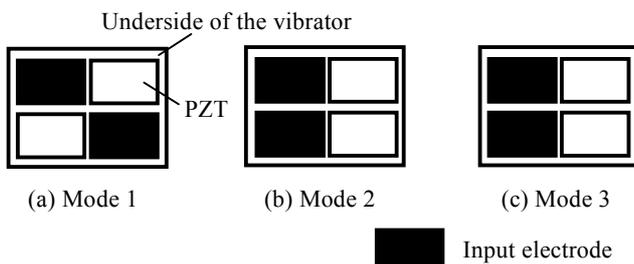


Fig.5 Excitation patterns

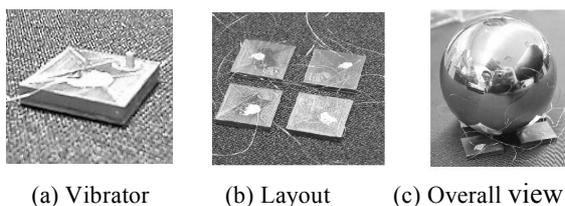


Fig.6 Manufactured motor

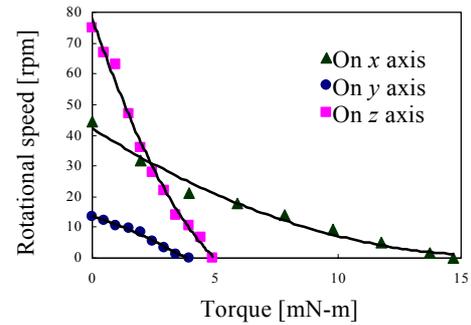


Fig.7 Driving characteristics

図 2 に示す 3 つの固有振動モードを有し、図中の矢印の方向に振動するような振動子形状を、有限要素法を用いて設計した。決定した振動子形状を図 4 に示す。振動子の大きさは $16 \text{ mm} \times 14 \text{ mm} \times 1.5 \text{ mm}$ である。突起は 1 mm 角とした。振動子本体の材料はステンレスである。振動子底面には振動を励振するために厚さは 0.5 mm の圧電素子を接着する。電極の配置は、各固有振動モード励振時のひずみ分布を調べることで決定した。図 5 に示すように、圧電素子の表面全面に電極を蒸着し、4 分割した。なお、図 5 は振動子を底面から見た図である。適切な電極に電圧を入力することによって、それぞれの固有振動モードを励振することができる。

4. 駆動特性

製作した多自由度超音波モータを図 6 に示す。製作した振動子に、提案した励振パターンを適用したところ、回転子を直交する 3 軸まわりに回転させられることを確認した。また、 $\phi 40$ の回転子を用いて、製作したモータの駆動特性を測定した。各軸まわりに回転させた際の回転子の出力トルクと回転数の関係を測定したところ、図 7 に示すような結果が得られた。図 7 から、 x 軸、 z 軸、 y 軸まわりの順に最大トルクが大きいことがわかった。また、無負荷状態における最大回転数は z 軸、 x 軸、 y 軸まわりの順に大きかった。このように、回転軸によって駆動特性にばらつきが生じたものの、 x 軸まわりの回転について最大 14.7 mN-m の出力トルクを得られた。今後、突起高さや接触部構造といった細部の最適化設計を行うことで、従来のものより優れた駆動特性を有する多自由度超音波モータを実現できると考えられる。

5. 結論

単相駆動型超音波モータを複数個組み合わせ、それらの合力により球状回転子を駆動する多自由度超音波モータの駆動方式を提案し、球状回転子を直交する 3 軸まわりに回転させられることを確認した。

6. 謝辞

本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金若手研究 (B)15760093 の研究助成を受けた。記して謝意を表する。

7. 参考文献

[1] 竹村研治郎, 前野隆司: 圧電型多次元ドライブシステム, 日本 AEM 学会誌, Vol. 11, No.1, pp. 12-17, (2003)