

サンドウィッチ型多自由度球面超音波モータ(第1報) —3種類の振動モードの組み合わせ構成の検討—

○盧波 青柳学(室蘭工大) 高野剛浩(東北工大) 田村英樹(山形大)

Sandwich-type Multi-degree-of-freedom Spherical Ultrasonic Motor (1st Report) —Examination of Combination Composition of Three Kinds of Vibrational Mode—

Bo Lu, Manabu Aoyagi(Muroran Inst. of Tech.),
Takehiro Takano(Tohoku. Inst of Tech.), Hideki Tamura(Yamagata Univ.)

A sandwich-type multi-degree-of-freedom(MDOF) spherical ultrasonic motor is newly proposed. The motor consists of a spherical rotor which is held between two stator vibrators. The stator vibrator excites three kinds of vibration modes, and the spherical rotor can rotate on three axes. The contact surface between the spherical rotor and the stator vibrators forms the spherical surface. An experiment of making a large torque by a torque composition of two stators was carried out. Moreover, the displacement magnification mechanism, which was used in the former model, to rotate the spherical rotor on the Z axis is no longer necessary, so that the freedom degree of the configuration design has been improved.

This paper describes the construction and the operating principle of the MDOF ultrasonic motor, analysis results about the stator vibrator using a finite element method and some measurement results from the trial manufacture. This motor has torques larger than those of former MDOF motor. The miniaturization of the MDOF motor and increase of torque were successfully realized.

1. はじめに

近年、ロボットの研究分野が広がっている。ヒューマノイドやバイオニクスロボットの開発によって、多自由度と複雑な動作が可能なアクチュエータが必要とされている。単一のアクチュエータで多自由度動作が実現できればシステムの小型化、設計の簡単化に非常に有効である。これまでも多自由度超音波モータは幾つか研究報告がなされている^[1,2,3]。

筆者らは多重モード円環振動子を用いて、球状ロータを任意軸に回転する超音波モータを開発している^[4]。本研究の目的は、円環状多自由度球面超音波モータの更なる小型化及び高トルク化である。球状ロータを3種類の異形振動モードが励振可能な2つの円環振動子で挟み込み、3軸に回転できる球面超音波モータを新たに考案した。

本文はモータの構成と動作原理、有限要素法を用いた解析結果、および試作結果について述べる。

2. モータの動作原理及び基本構造

2.1 ステータ振動子と電極配置

Fig.1 に本研究で提案するサンドウィッチ型円環状多自由度球面超音波モータのステータ振動子を示す。トルク向上のためロータとの摩擦面に球面加工を施している^[5]。Fig.2 にステータ振動子に貼り付けた圧電板(富士セラミックス, C213)の電極パターン図を示す。振動子外側面に各振動モード駆動用に電極を五つに分割した厚さ 0.5mm の圧電板が接着されている。

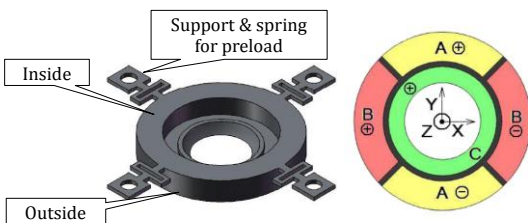


Fig.1 Construction of the stator. Fig.2 Arrangement of electrodes of piezoelectric ceramics ring.

円環振動子はこの電極により屈曲振動モード(B_{21} -mode)、径方向伸縮振動モード(R_1 -mode)、非軸対称振動モード($((1,1))$ -mode)の3種類の振動モードが励振可能である。汎用有限要素法解析ソフト(ANSYS)で共振周波数を解析した結果、

B_{21} -mode が 57.77kHz, R_1 -mode が 57.89kHz, $((1,1))$ -mode が 66.03kHz であった。

2.2 動作原理

Fig.3 にモータの動作原理を示す。3種類の振動モードおよび直交する同形の振動モードは独立に励起させることができ、これらの振動の組み合わせによって任意の回転方向を選択可能である。以下に駆動方法を述べる。

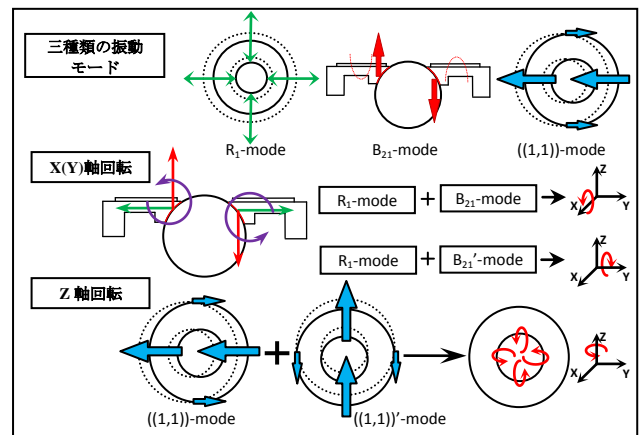


Fig.3 Operating principle of MDOF ultrasonic motor.

(a) X,Y 軸回転, 駆動周波数 f_1 :

電極 C により R_1 -mode が励振される。

電極 A または B により、 B_{21} -mode と B_{21}' -mode が励振される。 B_{21}' -mode は B_{21} -mode と同形の直交縮退モードである。

R_1 -mode と B_{21} -mode の組み合わせにより X 軸方向回転が実現できる。 R_1 -mode と B_{21}' -mode の組み合わせにより Y 軸方向回転が実現できる。

(b) Z 軸回転, 駆動周波数 f_2 :

電極 A または B により、 $((1,1))$ -mode と $((1,1))'$ -mode が励振される。二つ振動モードを組み合わせることによって Z 軸方向回転が実現できる。

2.3 基本構成

モータの基本構成と装置固定構造の断面イラストを Fig.4 に示す。球状ロータを二つ円環振動子で挟み込んだ単純な構成である。支持部を単純化したことにより小型化が図られている。また、Z 軸回転に面内振動を用いたため、従来型に用いられて

いた変位拡大機構が不要になり、小型化されている。

2つのステータ振動子はボルトで組み合わせられ、固定されている。また、このボルトにより、ロータの予圧力が調整される。2つの円環振動子の間に4つのバネが設けてあり、ロータへの均一な予圧を補助すると共にボルトと振動子固定部分の接触で生じた不要振動を抑圧する役をもつ。

3. 測定結果

3.1 最大トルクの測定結果

試作した Upper ステータ振動子の B₂₁-mode の共振周波数は 58.6 kHz、R₁-mode は 57.90kHz、((1,1))モードは 67.8kHz であった。Lower ステータ振動子の B₂₁-mode の共振周波数は 58.5kHz、R₁-mode は 57.92kHz、((1,1))モードは 68.0kHz であった。有限要素法解析結果と大体同様の結果が得られた。

Fig.5 に R₁-mode の印加電圧に対する、最大トルクの測定結果を示す。駆動周波数 57.3kHz、B₂₁-mode 印加電圧 40[Vp-p] および 60[Vp-p]とした。R₁-mode の印加電圧が 70[Vp-p]を超えてもトルクが大きくなることから、最適印加電圧は 70[Vp-p]であることが分かった。Fig.6 に B₂₁-mode の印加電圧に対する最大トルクの測定結果を示す。X,Y 軸回転では入力電圧が B₂₁, (B₂₁')-mode=80[Vp-p]以上、R₁-mode=70[Vp-p]においてトルクが収束し、最大トルクは約 60[mNm]であった。

Z 軸回転、最大トルクは印加電圧の増加に伴って増加する。印加電圧 130[Vp-p]の時、最大トルクは約 90[mNm]であった。

3.2 予圧方法の検討結果

3つの予圧方法を実験的に検討した。

- (1) 4本のボルトだけによる予圧方法。
(支持部のもつ弾性だけを利用)
- (2) Upper ステータ振動を押すようにバネを配置する方法。
- (3) 2つのステータ振動子の間にバネを配置し、予圧する方法。

この3つの予圧方法を用いて、印加電圧に対する X(Y)軸および Z 軸回転の最大トルクを測定した。Fig.7 には B₂₁,(B₂₁')-mode と R₁-mode の両方に同じ電圧を印加した時の X(Y)軸のトルク変化を示す。Fig.8 に((1,1))-mode と ((1,1))'-mode の印加電圧に対する Z 軸のトルク変化の測定結果を示す。(3)の予圧方法がもっとも安定であり、不要振動の影響が少なく良好な回転が得られた。

3.3 従来型との比較

Table.1 に以前と今回の最大トルクの比較結果を示す。本提案の多自由度球面超音波モータは小型化と高トルク化が実現できたことが分かる。

Table.1 comparison of the maximum torques and the voltage.

MDOF-USM type	Present	Former
Diameter of stator vibrator [mm]	39.0	67.2
Diameter of spherical rotor [mm]	20.0	25.4
Max torque: X(Y)-axis [mNm] (applied voltage[Vp-p])	58.04 (80)	93.30 (120)
Max torque: Z-axis[mNm] (applied voltage[Vp-p])	84.5 (140)	67.8 (220)

4. おわりに

サンドウィッチ型円環状多自由度球面超音波モータによるトルク合成によって高トルク化を試みた。また、Z 軸回転において従来型に用いられていた変位拡大機構が不要になり、形状設計の自由度が向上した。X(Y)軸方向のトルクの向上、球面接触で高トルクが実現することを確認した。今後、さらなる性能向上と位置決めへの応用を検討する。

参考文献

[1] K.Takemura, N.Kojima and T.Maeno: Proc.4th Int. Conf. Motion and Vib. Control(MoVi C'98)(1998)p. 195.
 [2] C.-H.Yun, S.Niwano, J.R.Friend, K.Nakamura and S. Ueha: Jpn.J. Appl. Phys. 42(2003)3000.
 [3] 高橋, 西村, 秋葉, 田村: 2007 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, (2007)751.
 [4] M.Aoyagi, T.Nakajima, Y.Tomikawa and T.Takano: Jpn. Jour. of Applied Physics, Vol.43, Part.1, No.513(2004-2005) PP.2884-2890.
 [5] 遠山, 深谷, 和田: 精密工学会誌, 66, 5(2000)769.

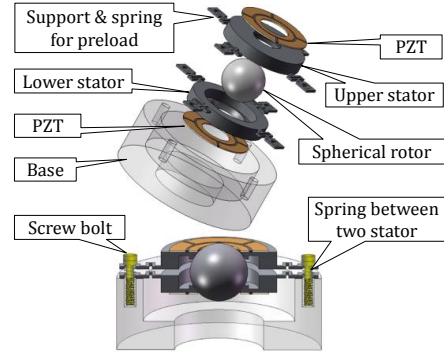


Fig.4 Component parts of sandwich structure.

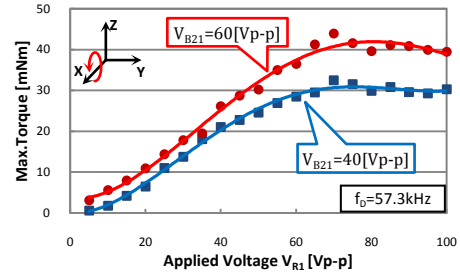


Fig. 5 Max torques around X(Y)-axis to applied voltage V_{R1}.

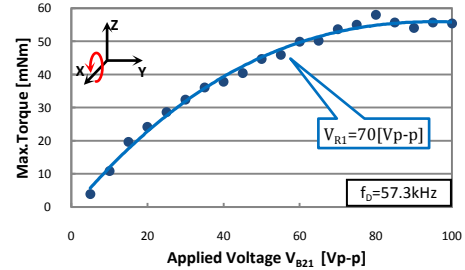


Fig. 6 Max torques around X(Y)-axis to applied voltage V_{B21}.

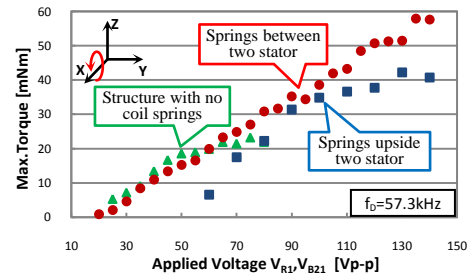


Fig. 7 Max torques around X(Y)-axis to applied voltage.

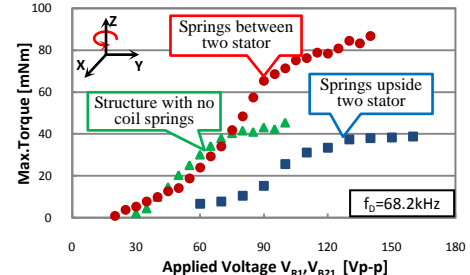


Fig. 8 Max torques around Z-axis to applied voltage.