

# サンドウィッチ型多自由度球面超音波モータ (第2報)

## —接触面形状の検討—

○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 (2nd Report) —Examination of Some Shapes of Contact Surface—

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

The purpose of this research is to increase the torque performance of sandwich-type multi-degree-of-freedom (MDOF) spherical ultrasonic motor(SUSM) by a torque composition. In this report, three kinds of SUSM with different contact surface are manufactured as a trial, the performances among three motors are drawn a comparison, and the actual contact area of spherical contact surface between the stator vibrator and the spherical rotor is studied in experiments. As a result, it was confirmed that the spherical contact surface is an important factor which results in the achievement of high torque, and that by whittling away the non-effective contact surfaces, motor obtained the stablest working performance.

## 1. はじめに

筆者らは多重モード円環振動子を用いて、単一のアクチュエータによる多自由度動作の実現のために、球状ロータを任意軸に回転する円環状多自由度球面超音波モータ(MDOF SUSM)を考案し、動作特性を明らかにしている<sup>[1]</sup>。

本研究の第1報では、更なる小型化及び高トルク化のために、球状ロータを3種類の異形振動モードが励振可能な2つの円環形振動子で挟み込み、3軸方向に回転できるサンドウィッチ型円環状 SUSM を考案した。従来型に用いられていた Z 軸回転用の変位拡大機構が不要になり、モータ形状設計の自由度が向上した。球状ロータは Z 軸回転のトルクが従来型より向上したことを確認した<sup>[2,3]</sup>。

本報では超音波モータ接触面形状とトルクの関係について述べる。球状ロータと円環振動子の球面接触が高トルク化に有効であることを確認するために、異なる接触面をもつ同じサイズのステータ振動子を試作して、実験的に検討した。

## 2. 球面接触面超音波モータの性能

Fig.1 に本研究で提案したサンドウィッチ型円環状 SUSM の基本構造を示す。また、球面接触面をもつステータ振動子の断面図を Fig.2 に示す。また従来型と今回試作した超音波モータの最大トルクの比較結果を Table I に示す。Table I によって、本提案の SUSM は小型、高トルク化が実現できていることが分かる<sup>[3]</sup>。

## 3. 接触面形状の検討

今回考案した SUSM は Z 軸回転の最大トルクが従来型より向上しているが、トルク性能が向上した要因として以下の要素があげられる。

- 球状ロータと円環振動子の球面接触。
- 2 つステータ振動子の間にバネを配置する予圧方法によって振動子支持部の不要振動の影響が減少し、回転状態が安定。

球面接触が高トルク化の主な要因であることの確認のために、異なる接触面をもつ同じサイズの超音波モータを試作して、実験的に検討した。

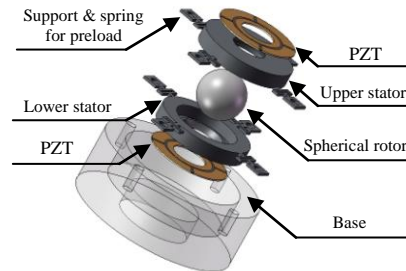


Fig.1 Assembly and component parts of SUSM in sandwich structure.

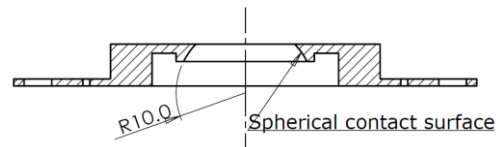


Fig.2 Cross section drawing of spherical contact surface stator.

Table I. Comparison of the maximum torques and the voltage.

MDOF-USM type		Present	Former
Max torque [mNm] ( $V_{p-p}$ )	X(Y)	58.04(80)	93.3(120)
	Z	84.5(140)	67.8(220)
Torque/Mass [Nm/kg] (Available stator)	X(Y)	0.703 (0.741)	0.057(0.338)
	Z	1.023 (1.078)	0.041 (0.245)

### 3.1 円錐面接触面モータ

高トルク化の有効性の確認のために、円錐面接触面をもつ同じサイズの超音波モータを試作して、実験的に検討する。円錐面接触面超音波モータの振動子の断面図を Fig.3 に示す。

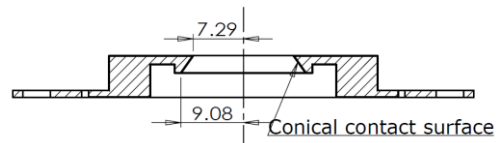


Fig.3 Cross section drawing of conical contact surface stator.

試作した円錐面接触面超音波モータのトルクの測定結果を Fig.4 に示す。球面接触面モータの性能との比較から、球面接触が高トルク化に有効であることが分かった。

3.2 部分球面接触面モータ

Table I より、考案した球面接触面超音波モータの最大トルク  
の特性は、Z 軸回転は従来型より向上したが、X(Y)軸回転は従  
来型より少し減少した。以下の2つ要素によって球状ロータの  
X(Y)軸回転が不安定になったと考えられる。

- 球状ロータと円環振動子の間に接触面にはトルク発生に  
有効接触部分(有効接触面)と回転を妨げる接触部分(無  
効接触面)から構成されている。圧電材料に電圧が印加し  
た場合、振動子の有効接触面に生じた駆動摩擦力により、  
球状ロータが回転される。同時に、振動子の無効接触面  
に生じた不要摩擦力(ブレーキ力)によって、X(Y)軸回  
転のトルクが減少する。
- 球状ロータを2つ球面ステータ振動子で挟み込むサンド  
ウィッチ構造であるが、製作誤差存在するため、2つの球  
面ステータ振動子は完全に同じではない。すなわち、X(Y)  
軸回転する場合、2つステータ振動子の回転軸も完全に  
同じではないと考えられる。この回転軸の誤差によって  
X(Y)軸回転のトルク損失が生じる。

ステータとロータの接触面の不要摩擦低減とX(Y)軸回転性  
能向上のために、Fig.5に示すように、ステータ振動子の屈曲振  
動(B<sub>21</sub>-mode, B<sub>21</sub>'-mode)励振時に最大変位を有する部分の  
30°の範囲だけを利用する構造である、円環球面振動子の不要  
摩擦面を一部切除したモータを試作して、実験的に検討した。

部分球面接触と全球面接触2種類のモータの最大トルクの測  
定結果を Fig.6 に示す。部分球面接触面は球面接触面より最大  
トルクが低下したが、安定性が向上した。

3.3 安定性の比較

球面接触、円錐面接触、部分球面接触の3種類のモータのト  
ルク特性を比較した。それぞれ複数回測定を行い、それらの最  
大、最小及び偏差値を Fig.7 に示す。部分球面接触は他の2つ  
により、もっとも安定であることが分かった。

3.4 球面接触部の検討

3種類の接触面をもつモータの測定結果より、球面接触面は  
高トルク化の主な要因であると考えられる。つまりモータが実  
際に回転する時、球状ロータとステータ振動子の球面接触面が  
すべて駆動に用いられていると仮定できる。

まず、ステータ振動子の球面接触面の接触の様子を摩擦痕よ  
り確認した。接触面の高摩擦部分は球状ロータが実際に回転す  
る時、振動子と良く接触している部分と考えられる。Fig. 8に  
摩擦痕の写真を示す。同図(a)は球面接触面の摩擦状況、同図(b)  
は部分球面接触面の摩擦状況を示している。この結果より、理  
論接触面の約7/8に高摩擦部分が観測された。したがって、モ  
ータが実際に回転する時、球状ロータと球面ステータ振動子の実  
際接触面はほぼ球面接触していることが分かった。

4. おわりに

本研究はサンドウィッチ型円環状多自由度球面超音波モータ  
のトルク合成による高トルク化を目的とし、本報では3種類  
の接触面形状で試作したモータの性能を比較した。ステータと  
ロータの間の接触について実験的に検討した結果、球面接触面  
は高トルク化に有効であり、不要接触面を削減することによ  
ってモータの安定性が向上することを確認した。今後、振動子支  
持部構造の改良及びモータ耐久性向上の方法について検討す  
る。

参考文献

[1] 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.  
[2] Lu Bo, 青柳, 高野, 田村: 2009 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, (2009)855.  
[3] Lu Bo, M.Aoyagi, T.Takano and H.Tamura: Proceedings of The 30th Symposium on UltraSonic Electronics (USE2009) pp.9-10.

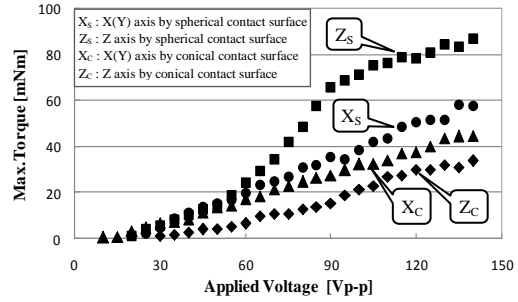


Fig.4 Max.torque and applied voltage between motors with spherical contact surface and conical one.

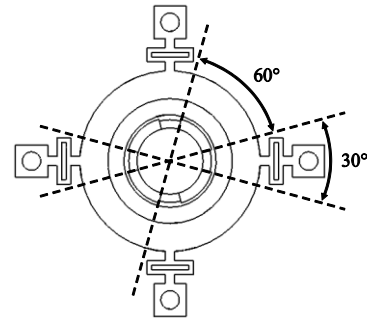


Fig.5 The construction of the stator with only partial contact surface.

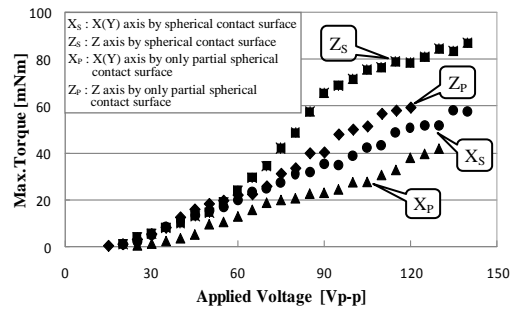


Fig.6 Max.torque and applied voltage between motors with all and partial spherical contact surface.

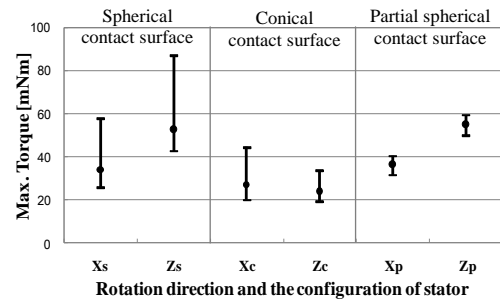


Fig.7 Comparison of max.torque among the three kinds of motor with different contact surface.

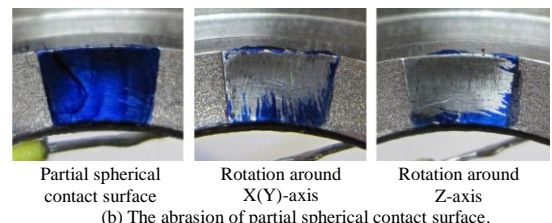
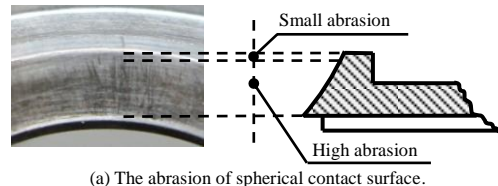


Fig. 8 The actual contact area of spherical contact surface.