

結合振動モードを利用した単相駆動型超音波アクチュエータ

室蘭工業大学 ○青柳学, 東北工業大学 高野剛浩, 山形大学 田村英樹, 富川義朗

An ultrasonic actuator with built-in clutch mechanism
 Muroran Institute of Tech. Manabu AOYAGI, Tohoku Institute of Tech. Takehiro TAKANO
 Yamagata Univ. Hideki TAMURA, Yoshiro TOMIKAWA

Ultrasonic actuators using a mode-coupled vibrator are able to be driven by a single phase power source, and some of them are able to move in both direction with switching driving frequency or driving electrodes. This type of an ultrasonic actuator has flexibility in choosing its shape, so that it is suitable to miniaturize and set up at an intricate space in comparison with mode-rotation type motor and that using degenerate modes of different form. In this paper, some types of an ultrasonic actuator using a mode-coupled vibrator are reported, and their constructions, operating principles and some examples of their performances are described.

1.はじめに

圧電効果を利用したアクチュエータには様々な呼び方があるが、大分類として「圧電アクチュエータ」であるが、超音波振動を積極的に利用するものは「超音波アクチュエータ」と呼ばれている。超音波アクチュエータにはこれまでに様々な構成が考案されている^[1]。進行波型超音波モータに代表されるモード回転型、腕時計使用された円板の曲げ振動を利用した定在波型、矩形板の縦振動と曲げ振動を組み合わせたモード縮退型など、多方面で数多く実用されている。

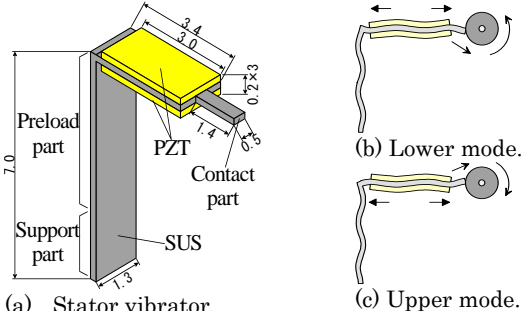
本報告では幾つかの単相駆動可能な結合振動モードを用いた小型超音波アクチュエータに着目して報告する。進行波型やモード縮退型などに比べて形状自由度が大きいこと、小型化や局所配置が可能であり、様々な用途に合わせて構成できる。また単相駆動でも双方向の動作が可能なものもあり、駆動電源が単純で小型電気機器への搭載に有利と考えられる。

2. L字形超音波アクチュエータ

2.1 振動子形状による結合モードを利用した場合

L字形超音波アクチュエータを Fig.1 に示す。L字状に折り曲げられた SUS 製の薄い振動板の両面に、厚み方向分極の PZT 板を貼り付けた簡単な構造である。この振動子の一端を挟みこんで固定し、もう一方の端をロータに接触させる。PZT 板の表裏面には全面電極が施してあり、電極と振動板の間に共振周波数の交流電圧を印加して駆動する。

コーナー部で縦振動の一部が曲げ振動に変換され、同図 (b),(c) に示すような2つの結合モードが励振される。屈曲を伴った縦振動を励振することにより、振動子の先端がロータを斜めに突くことで回転する。駆動周波数によって2つの結合モードを切り換えることで、単相駆動で双方向の回転が可能である。また、予圧用のバネと振動子が一体になり部品点数が少なく、高速回転が得られる特徴を持つ。Fig.2 に示すように約 500rps の高速回転が得られている。



(a) Stator vibrator. Fig.1 L-shaped small ultrasonic actuator and its coupled vibration mode.

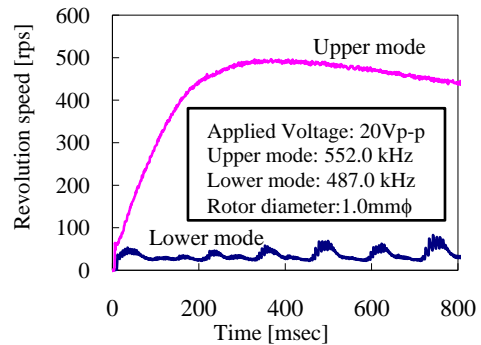


Fig.2 Transient response of rotor revolution.

2.2 ロータを介した結合振動を利用した場合

前述のステータ振動子のコーナー部に Fig.3 に示すようにスリットを入れ、縦振動子が振動節部で板バネに支持された構造である。

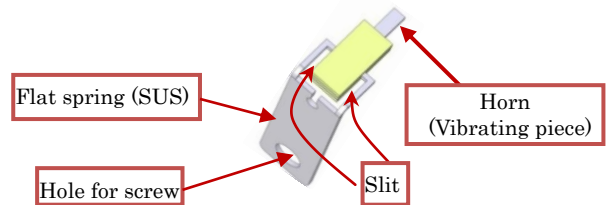


Fig.3 Longitudinal vibrator with flat spring.

ここで、Fig.4 に示す第1次縦振動モードと厚さ方向変位の第4次曲げ振動モード(B-mode)の共振周波数を、ホーン長の調整で近接させることによって振動片がロータを突いた際に B-mode が励振され先端に楕円変位が形成され、効率よくロータを回転させることができる。

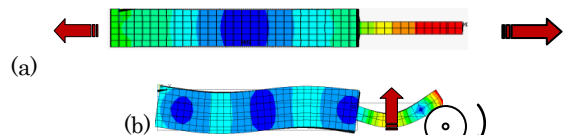


Fig.4 (a) Longitudinal vibration mode and (b) bending one simulated by FEM.

振動子先端の中心がロータに触れる位置を X=0 として、X を 0.5~0.1 mm ずつ変化させながら各々の接触位置にて予圧特性を測定した。駆動周波数は 585.5 kHz、駆動電圧は 20 Vpp で駆動した。Fig.5 に最も良い特性が得られた X=-0.4 mm のと

きの最高速度・トルクを示す。動作原理上一方向回転であるが、最高速度 395.8rps, 最大トルク 26.9 μ Nm が得られ、前述のタイプより約 4 倍の最大トルクが得られていた。

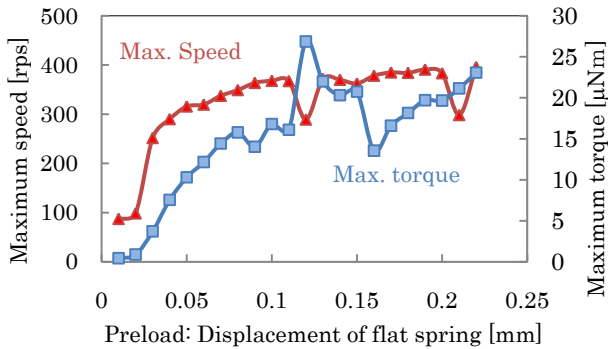


Fig.5 Revolution speed vs preload addition interval.

3. 斜対称積層圧電振動子を用いた超音波アクチュエータ

Fig.6 および Fig.7 に斜対称積層圧電振動子と動作原理を示す。斜対称圧電板の縦振動モードと曲げ振動モードが結合する現象を利用している^[2]。単相駆動により両モードが同時に励振され、ロータを回転させる。また、電極分割がなく単純な構造である。12枚の圧電板を積層している(厚み2mm)。直径1mmのロータを用いて3V, 400mWの低電圧、小電力で10,000rpmの回転特性が得られている。

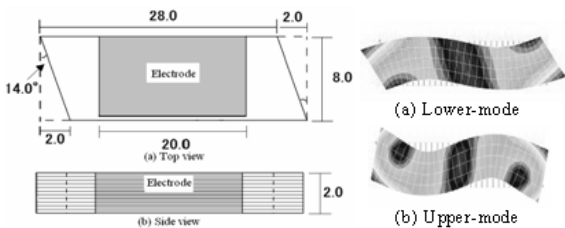


Fig.6 Diagonally symmetrical multilayer ceramic vibrator and its vibration modes by FEM.

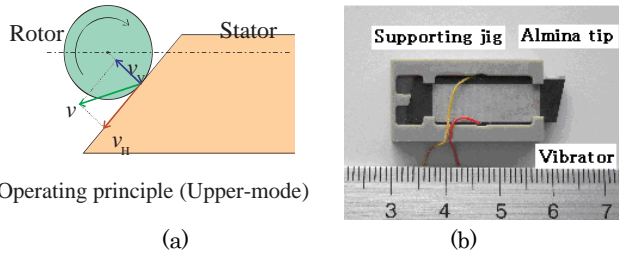


Fig.7 (a)Operating principle and (b) motor construction.

4. LiNbO₃単結晶板を用いた超音波アクチュエータ

LiNbO₃単結晶板を用いたL₁-F₂矩形振動子, 正方形振動子, 斜対称結合振動子, 結晶異方性による結合を用いた矩形板L₁-F₂結合振動子などを利用して超音波アクチュエータを数種類考案・検討している。X軸140°回転Y板で面内にさらにΦ=15°回転させるとL₁-F₂結合モードが得られる^[3]。印加電圧5.5Vrmsで約8,500rpmの高速回転が得られている。

5. 屈曲振動子を用いた超音波リニアアクチュエータ

Fig.8に示すような断面が正方形の角柱振動子の隣り合う2つの側面にPZT板を接着し、曲げ応力を発生させると屈曲振動モードが励振される。振動子側面中央部はそれぞれ同図に示すように変位する。この2方向の変位を同時に発生させると位相により、同図右側に示すような2つの斜め方向の振動変位が得られる。Fig.9に示すようにスライダに予圧し、接

触部を突くことでスライダはZ軸方向の推力を受ける。印加電圧の位相を反転させると、スライダの移送方向が変わる。

試作したリニアアクチュエータ(振動子部:2×2×6[mm³])とスライダをFig.10(a),(b)に示す。振動モードをより安定にするため、振動子の角を一部切削し、支持の影響の低減のため、細棒で振動子の両端を支持している。スライダはZ軸方向のみ移動可能な平行リンク機構を採用した。試作アクチュエータは214.5[kHz]でZ方向, 217.8[kHz]で-Z方向に動作した。負荷特性の測定結果をFig.11に示す。予圧555mNの時、最大推力81.5[mN](上方向), 156[mN](下方向)が得られた。

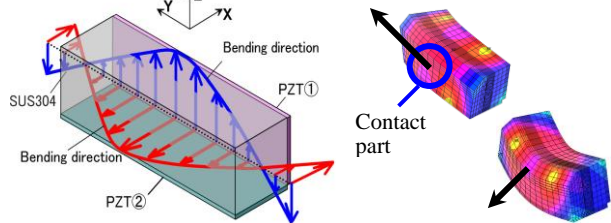


Fig.8 Two perpendicular bending vibration modes.

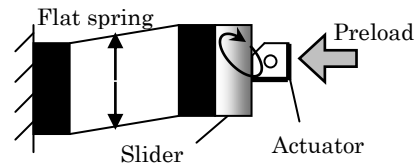


Fig.9 Construction of z-axis ultrasonic linear actuator.

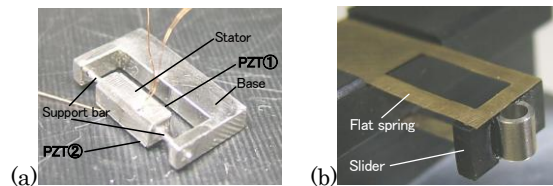


Fig.10 (a)Photo of ultrasonic linear actuator and (b) slider supported by flat springs.

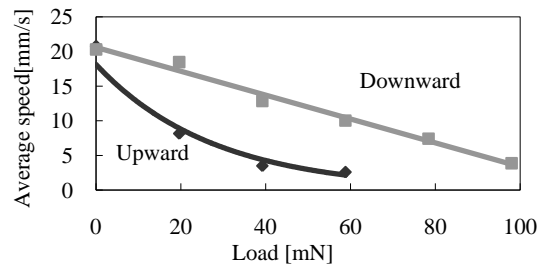


Fig.11 Measured performance of ultrasonic linear actuator.

謝辞

本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金特定領域研究(438)(No.19016001)による補助のもとで行われた。

文献

[1] S. Ueha and Y. Tomikawa, "Ultrasonic motor, -Theory and applications-, Clarendon Press Oxford, 1993.
 [2] T.Takano, H.Tamura, Y.Tomikawa and M.Aoyagi : "Ultrasonic motor using a piezoelectric ceramic multilayer vibrator with diagonally symmetric form", Special Issue of the journal Revista de Acustica, vol.38, 3-4 (2007-09).
 [3] H.Tamura, K.Shibata, M.Aoyagi, T.Takano, Y.Tomikawa and S.Hirose, "Single Phase Drive Ultrasonic Motor Using LiNbO₃ Rectangular Vibrator," Jpn. J. of Appl. Phys., 47, pp.4015-4020 (2008-5).