

斜対称圧電セラミック平板振動子の縦 1 次一屈曲 2 次結合振動を利用する超音波モータ

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

Study on ultrasonic motor using a piezoelectric plate vibrating in longitudinal 1st and flexural 2nd coupling modes

Tohoku Institute of Tech. Takehiro TAKANO, Hideki TAMURA

Muroran Institute of Tech. Manabu AOYAGI, Yamagata Univ. Yoshiro TOMIKAWA

Ultrasonic motors using a piezoelectric ceramic vibrator with diagonally symmetric form were proposed in this paper. The 1st longitudinal and the 2nd flexural modes in a diagonally symmetric form plate are coupled in the vibrator its size ratio about $W/L=0.26$ and 0.65 (W :vibrator width, L :vibrator length).

In this paper, we performed a few experiments using the vibrator with the ratio in 0.65 . That is, FEM simulation results of two vibration modes and resonant frequencies of the vibrator and a construction and revolution characteristics of a trial motor are shown.

1. はじめに

平板振動子の縦 1 次モード (L1 モード) と屈曲 2 次モード (F2 モード) の共振周波数は、その辺比 (W/L , W :振動子の幅, L :振動子の長さ) が 0.25 と 0.65 近傍で縮退 (一致) することが知られており、これらの辺比を持つ振動子を利用した超音波モータが種々実用に供されている。一方平板振動子を斜対称とすることにより、これらの辺比では L1 モードと F2 モードは結合し、両モードの共振周波数は縮退することなく、これらの辺比近傍で近づき、そして離れることになる。これらの結合領域では、2 つのモードはそれぞれ縦振動成分と屈曲振動成分を含むので、駆動力の取り出し方を工夫することにより単相駆動型の超音波モータを構成できる。

筆者らは、辺比 $W/L=0.25$ の斜対称振動子を用いた超音波モータについて構造や特性を報告してきた。すなわち斜対称の度合いによる振動子の特性、結合モードの振動変位、モータ構造・特性などを検討し、この種モータが単相駆動でモードの切り替え (駆動周波数の切り替え) によって両方向回転の超音波モータが実現できることを示した。

本報告では、 $W/L=0.6$ の斜対称振動子を用いる超音波モータについて検討を加えている。最初に斜対称角が 5° の振動子について、各モードの振動子としての特性を調べ、次に各辺の変位の測定から $W/L=0.25$ の振動子の場合と同様にモードの切り替えによって正逆回転の特性が得られることを示した。最後にモータを試作し、その特性の一例を示している。

2. 振動モードと動作原理

Fig.1 に、平板振動子の長さ L を 20 mm 一定として、幅を変えたときの縦振動 1 次モードと屈曲 2 次モードの共振周波数を示している。すなわち $W/L=0.25$, $W/L=0.65$ 近傍で両モードは縮退し、この辺比で種々の形式の超音波モータが実用化されている。一方 Fig.2 に示すように平板振動子を斜対称にすると、これら 2 つのモードは結合する

ために縮退することなく、Fig.3 に示すように接近し離れる。Fig.3 は Fig.1 の S 点近傍の変化を示したもので、図中に示すように $W/L < 0.65$ では共振周波数の低いモード (Lower-mode) は縦成分が強く、高いモード (Upper-mode) では屈曲成分が強いモードになる。 $W/L > 0.65$ ではこの関係が逆になっていることが分かる。

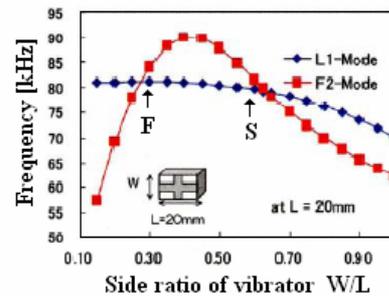


Fig.1 Resonance frequency vs side ratio of vibrator.[1]

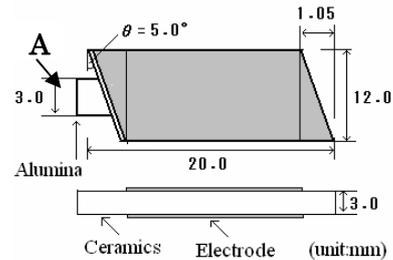


Fig.2 Diagonally symmetric vibrator with the side ratio $W/L=0.6$.

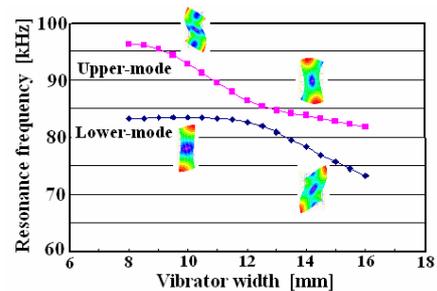


Fig.3 Resonance frequencies of diagonally symmetric vibrator near the side ratio $W/L=0.6$

Fig.2に示す振動子が実験で使用した振動子である。長さ $L=20\text{mm}$ 、幅 $W=12\text{mm}$ 、厚さ $t=3\text{mm}$ のセラミック単板で、実際には同図に示すようにロータとの接触部になる斜辺部に、幅方向の変位拡大を兼ねて、突起のあるアルミナを接着している。Fig.4に両モードの振動モードを示している。これら2つのモードがそれぞれ縦振動、屈曲振動成分を含んでいる様子が分かる。またこの位相で Lower-mode と Upper-mode では、幅方向の振動速度が逆になっており、この点にロータを押し付ければ、各モードに対応して正逆回転のモータが構成できることが分かる。Fig.5には、振動子の長辺部の幅方向の振動速度の測定値を示している。Fig.4のシミュレーション結果と良く対応している。

3. 動作原理と試作モータの特性

モータとしての駆動力はアルミナ先端 (Fig.2のA点) にロータを押し付けて取り出している。この点では Fig.6に示すように2つのモードとも縦成分と幅方向の変位を含み、且つ Lower-mode と Upper-mode ではその組み合わせが逆になっているので、モードの切り替え(周波数の切り替え)によって正逆回転のモータが構成できる。

Fig.6に試作モータの写真を示している。振動子は屈曲振動のノード付近を支持し、この治具全体をロータに加圧する構造となっている。ロータは直径 6mm ϕ の鋼製のシャフトを用いた。Fig.7は周波数を変えたときの回転特性を示したもので、それぞれのモードに対応して正逆回転の特性が得られている。無負荷の場合の回転数には、Lower-mode と Upper-mode にはそれほどの差は見られない。また Fig.8は Lower-mode の負荷特性の一例である。これらの特性は、突起形状等が大きな影響を受けるので、Upper-mode の特性と併せて今後検討したい

4. あとがき

振動子を斜対称とすることによって生ずる、縦振動と屈曲振動の結合モードを利用した超音波モータの試作例を示した。ここで示した辺比 W/L が 0.6 を持つ振動子は、 $W/L=0.25$ の振動子に対して、電気的な入力や機械的な強度などで有利である。今後モータ構造を含めて検討を加え、この構成の特徴を生かしたモータを実現したい。なお上記のシミュレーションには COMSOL Multiphysics V4.0a を使用している。

参考文献

- [1] 福永他；2008年度精密工学会学術講演集, No.L34 (2008-10).
- [2] 青柳他；信学会論文誌, Vol.J78-C-I, pp.560-566 (1995-11).
- [3] T.Takano et al.; Proc. 19th ICA, No.ult-07-09 (2007-09).
- [4] 高野他；第21回「電磁力関連のダイナミクス」講演集, (2009-5).
- [5] 高野他；電子情報通信学会, 信学技報, US2009-41 (2009-9).
- [6] 大淵他；H22年東北若手発表会講演資料, YS-8-B6 (2010-2).

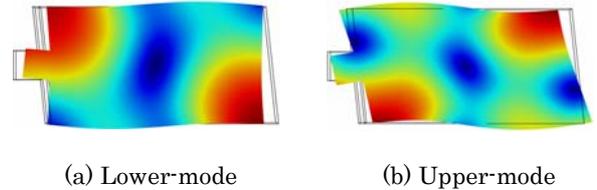


Fig.4 Simulation results of the two vibration modes.

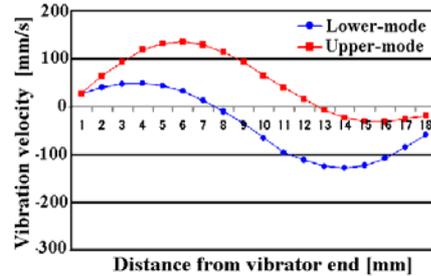


Fig.5 Vibration velocity of the vibrator side.

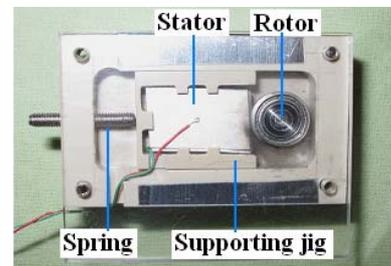


Fig.6 Photograph of trial motor.

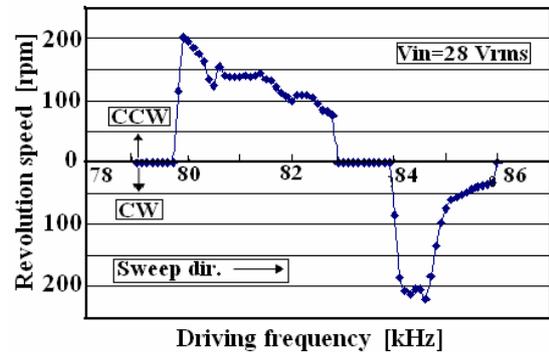


Fig.7 Revolution speed characteristic vs driving frequency.

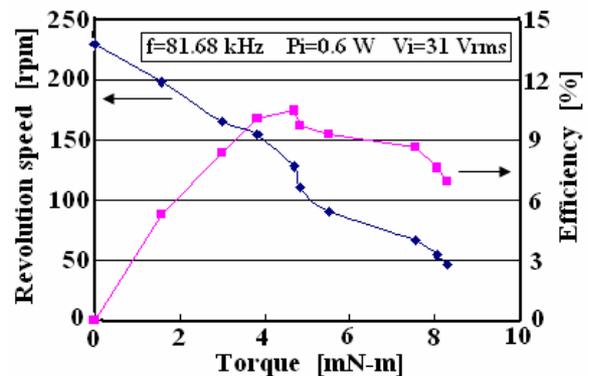


Fig.8 Load characteristics of a trial motor.