

電極の開放・短絡の効果を利用する可逆動作可能な単相駆動超音波モータの試作

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

Single-phase drive-type ultrasonic motor using an annular plate vibrating in nonaxisymmetric vibration

Tohoku Institute of Tech. Takehiro TAKANO, Yamagata Univ. Hideki TAMURA

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

This paper presents a single-phase drive-type ultrasonic motor using an annular plate vibrating in nonaxisymmetric vibration mode. The electrode of vibrator is divided into two parts. One electrode is used a driving electrode, the other is the floating electrode. By exchanging the terminals from the two electrodes, a slider moves into two directions. By measurements of vibration velocity on circumferential surface of the vibrator, it was confirmed that the operations were caused by the change of vibration mode. A construction and load characteristics of the trial motor are shown.

1. はじめに

単相駆動で可逆動作可能な超音波モータは、駆動や制御まで考慮するときにはシステム構成が単純になるなどの特徴を有し、様々な構成が提案されている。可逆動作を実現するためには、1) 駆動端子を切り換える 2) 駆動周波数を切り換える (利用する振動モードを換える) 方法に大別される。筆者等も 1)として、円板、円環振動子の同形縮退モードを利用した構成[1]、矩形振動子の縦一屈曲振動を利用した構成[2]、2)として、斜対称振動子の縦一屈曲振動を利用する構成[3]、 LiNbO_3 単結晶の異方性を利用した構成[4]、L字形振動子を利用した構成などを提案してきた。

最近 O. Vyshnevskyy 等は矩形振動子の2分割した電極の一方を駆動端子、他方を開放端子として使用することによって生ずる振動モードの変化を巧みに利用し、駆動端子を切り換えることにより可逆動作が可能な超音波モータを提案している[5,6]。その一部はステージ駆動用アクチュエータとして組み込まれ実用に供されている。

本報告は、圧電円環振動子の非軸対称振動を用いて、電極の短絡・開放に振動モードの変化を確認し、超音波モータへの応用を実験的に検討したものである。円板振動子周辺の振動変位の測定から、電極の短絡・開放によって振動モードが変化すること、これを利用した試作超音波モータの構造と特性を示している。

2. 振動モードと動作原理

円板(円環)振動子の非軸対称振動は、一般に (m,n) (m : 振動次数, n : 高調波次数)と表される振動子面内の屈曲振動である。代表的な $((1,1))$ モードを Fig.1 に示す。これらのモードは、同図に示すように同形の縮退モードが存在し、超音波モータへの応用を目的として、内・外周部の振動変位を主に詳しい解析が行われている[7]。特に $((1,1))$ モードは Fig.1 に示すように外周上のA,B点での円周方向の振動変位が大きく、今回の利用目的として好都合

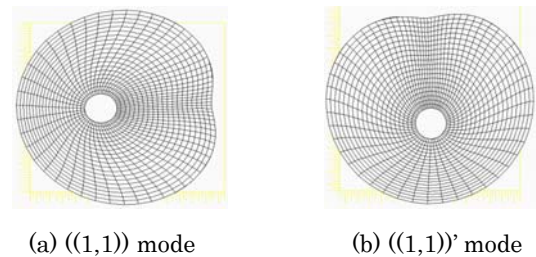


Fig.1 Nonaxisymmetric vibration mode.

であると考えた。

Fig.2 に振動速度測定に使用した圧電セラミック振動子を示す。直径 40 mm、内径 6 mm、厚さ 2 mm の円環振動子を用い、電極は図のように表面 2 分割、裏面は全面電極で、分極はそれぞれ反転分極している。Fig.3 にこの振動子の週数特性をしましている。端子 B の開放、短絡によって $((1,1))$ モードの共振周波数が変化する。

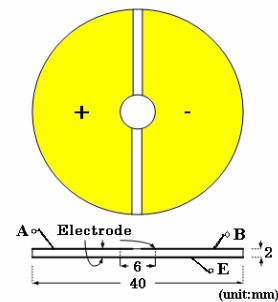


Fig.2 Annular plate vibrator.

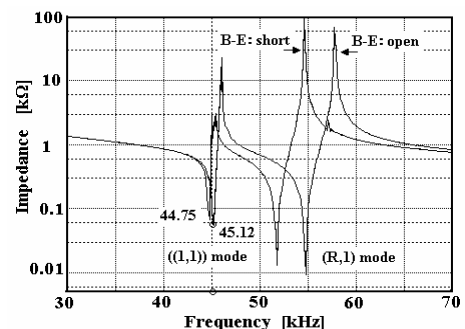


Fig.3 Frequency characteristics of the vibrator.

Fig.4~5 に端子 A を駆動し、端子 B をそれぞれ端子 E と短絡、開放端子としたときの外周面の径方向の振動速度の測定値を示している。Fig4 の場合、円周上の点 A、B の振動速度はほとんど同じ値 ($A-A' \approx B-B'$) である。また C、D では、径方向の変位はほとんどない。これらは、Fig.1 の FEM の結果と同じ傾向を示している。

一方、端子 B を開放にした場合、Fig.5 に示すように A、B 点の速度は $A-A' \neq B-B'$ になっている。また C、D 点には径方向の変位 (U_r) が観測される。このように B 端子の開放・短絡によって振動モードが変化することが分かる。特に、円周上の C、D 点で径方向に変位を持つことが超音波モータの構成に重要となる。すなわち、これらの点は Fig. 1 に示すように円周方向には大きな変位 (U_θ) を持っているので、Fig. 5 に示す径方向の変位があれば、($U_r - U_\theta$) によって、C、D 点に変位の楕円運動が形成される。したがって、これらの点にスライダやロータを圧接すれば駆動力を取り出すことができる。

Fig.6(a),(b)にそれぞれ B 端子開放、A 端子開放にした状態での、点 C での径方向と円周方向の振動速度の測定を示している。駆動端子を切り換えることにより、C 点で形成される楕円運動の方向が変わる。すなわち、駆動端子を切り換えることによりモータとしての可逆動作が可能になることが分かる。

3. 試作モータの特性

Fig.7 に試作モータの構造を示している。C 点に半球状のアルミナを接着し、スライドテーブルに圧接している。振動子は直径 60 mm、内径 20 mm の円環振動子を用い、支持は振動子内周部の一部を加圧固定しただけである。Fig.8 に負荷特性の一例を示す。特性は良くないが、振動子の支持等を改善することにより、特性の向上が図れるものと考えている。なお、特性は一方向だけを示しているが、端子の切り換えにより可逆動作が可能なのは確かめている。

4. あとがき

振動子の電極を 2 分割し、一方を駆動端子、他方を開放端子とすることによって生ずる、変位の楕円運動を利用して単相で正逆動作可能な超音波モータが実現できることを実験的に確かめた。この構成は振動モードと振動子形状によって、多くの応用展開が考えられるので、今後さらに検討を加えたい。

参考文献

[1] T.Takano et al., IEEE Trans. UFFC, Vol.39, pp.180-, 1992.
 [2] 高野他, 電磁気関連技術の発展と応用, pp.411-, 2005.
 [3] M.Aoyagi et al., Jpn. J. Appl. Phys., Vol.32, pp.4190-, 1993.
 [4] H.Tamura et al., Jpn. J. Appl. Phys., Vol.47, pp.4015-, 2008.
 [5] O. Vyshnevskyy et al., IEEE Trans. UFFC, Vol.52, pp.2047-, 2005.
 [6] A. Wischniewski et al., Proc. of ACTUATOR08, pp.618, 2008.
 [7] T.Takano et al., IEEE Trans. UFFC, Vol.37, pp.558-, 1990.

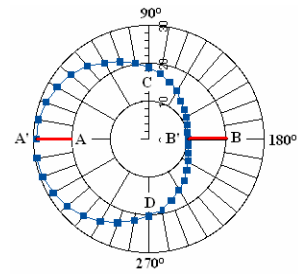


Fig.4 Vibration velocity of the vibrator. (Terminal B-E : short)

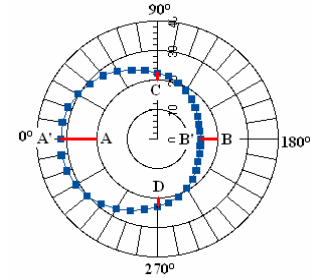
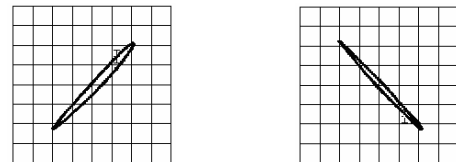
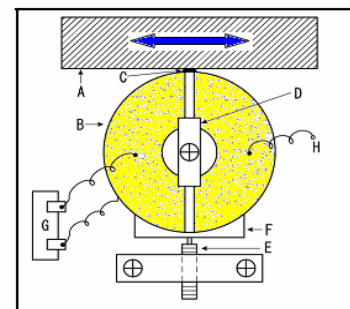


Fig.5 Vibration velocity of the vibrator. (Terminal B-E : open)



(a) Terminal A drive, B open. (b) Terminal B drive, A open.

Fig.6 Elliptic motions formed at point C in Fig.5.



A:Slider, B:Vibrator, C:Alumina, D:Supporting jig, E:Pre-load, F:Linear stage, G:Driving ter., H:Open ter.

Fig.7 Trial motor construction.

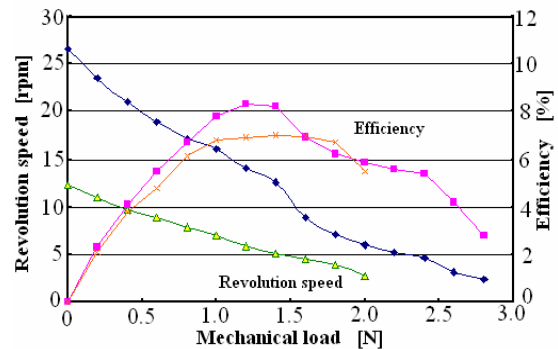


Fig.8 Load characteristics of the trial motor.