

## 要旨

梁と積層圧電アクチュエータ(MPA)を用いたリニア超音波モータを考案した。二つの MPA に挟まれた梁の曲げ変形により梁上に楕円変位を形成させ、複数点で接触するスライダを摩擦移送する。また、MPA の変位を制御することによってスライダの微動も同時に可能である。駆動電圧  $20V_{p-p}$ 、位相差  $90$  度において推力  $3.4N$  が得られ、最大  $8\mu m$  の範囲で微動が可能であることを確認した。

## 1. 緒言

超音波モータは電磁モータと比較して、低速時に高トルク、形状の自由度が高い、超音波領域での駆動のため静音性が優れている、摩擦による駆動のために無給電時でも自己保持力を有するなどの特徴を持つ。このことから、様々な方式の超音波モータについて研究が行われており、今後も様々な用途への応用が期待される[1]-[3]。

超音波モータの駆動には圧電素子が多く利用されている。その中で、駆動源として積層圧電アクチュエータ(Multilayer Piezoelectric Actuator; MPA)を用いたものがある[4]。MPA は、高変位分解能、高速応答性、高発生力を特徴とし、低電圧においても比較的大きな変位を得ることが可能である。

本研究では、梁と MPA を用いたリニア超音波モータ(Linear Ultrasonic Motor; LUSM)を考案した[5]。これにより、細長い構造、低い駆動電圧、高推力、非共振による駆動の単純化を実現できる。また、MPA を直流電圧で制御することによって微動させることができ、精密位置決めに応用できる可能性がある。本報告では、試作した LUSM の構成および特性例について述べる。

## 2. 構成及び動作原理

Fig. 1 に試作したリニア超音波モータの基本構成を示す。2つの MPA の伸縮方向が梁に対して一致するように配置されている。梁は変形方向を定めるために外側へ膨らんだ構造になっている。梁の変形により、MPA の発生変位と発生力の一部は直交方向へ変換される。

Fig. 2 に示す動作原理は以下のとおりである。

- (1) MPA(A)が縮み MPA(B)が伸びることで、梁は横方向へ移動する。
- (2) MPA(A)の変位が増加することで梁が圧縮され変形する。これにより、スライダへの圧接が増加する。
- (3) スライダと梁上の突起の圧接が増した状態で、梁が横へ移動すると、突起とスライダ間の摩擦によって、スライダが移送される。
- (4) 両方の MPA の変位が減少することで、梁の形状が元に戻り、突起とスライダ間の圧接が低減され、梁のみが移動する。

MPA に位相差を持った高周波駆動電圧を印加することで、この過程が繰り返されることにより、突起が楕円状に変位する。2つの MPA の駆動電圧位相差の符号を逆にすることで、スライダの移動方向を反転させることが可能である。

Fig. 3 に LUSM 全体の構造を示す。MPA、梁、フレーム

は互いに接着されている。梁の側面は、スライダによって両側から挟み込まれている。摩擦対策として、梁上の突起とスライダはアルミナを用いている。スライダは板ばねによって両側から予圧されており、締め付けボルトにより予圧を調節する。スライダと予圧板ばねの間には、摩擦低減のためにクロスローラガイドを用いている。

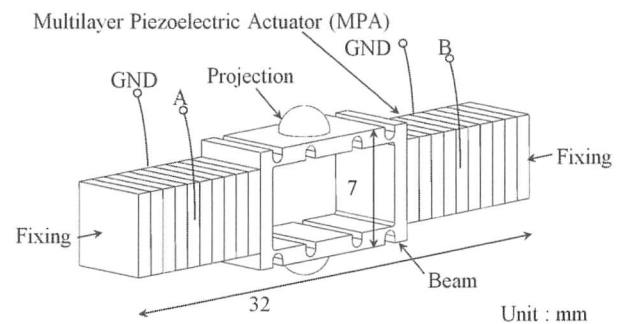


Fig. 1 Basic configuration.

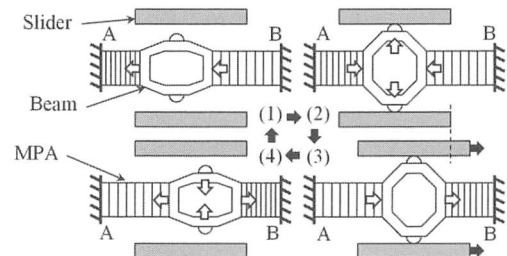


Fig. 2 Operating process.

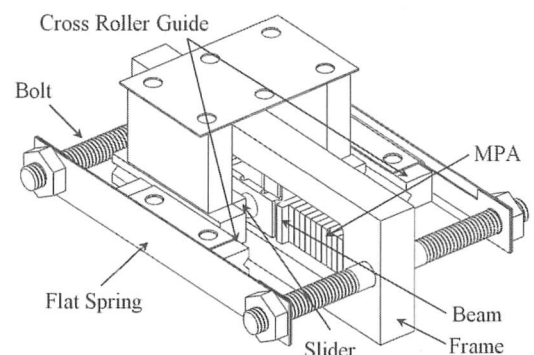


Fig. 3 Structure of LUSM.

### 3. 構成及び動作原理

突起の変位軌跡を測定した結果を Fig. 4 に示す。駆動電圧  $20V_{p-p}$ 、周波数 10kHz、オフセット電圧 10V で測定を行った。楕円軌跡は、位相差を  $0\sim 180$  度まで変化させることにより、縦長から横長の形状に変化した。90 度位相差のとき、x 軸と y 軸の倍率は 2.29 倍となっていた。90 度位相差のときの楕円軌跡は式(1)で表すことができる。

$$\left(\frac{\sqrt{2}x}{A}\right)^2 + \left(\frac{y}{\sqrt{2}A\alpha}\right)^2 = 1 \quad (1)$$

ここで、 $A$  は MPA の振幅、 $\alpha$  は梁の x 方向と y 方向の変位変換率である。式(1)より、x 軸と y 軸の倍率は  $2\alpha$  倍となる。梁の変位変換率は梁の構造によって定まり、設計では  $2\alpha \div 2.2$  倍に設定されており、測定された倍率に近い値であった。

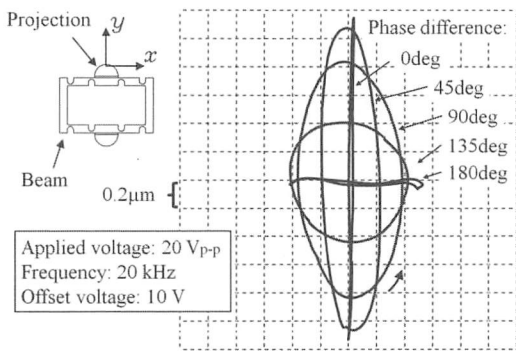


Fig. 4 Displacement locus measured at projection.

### 4. 推力の測定

LUSM の最大推力を測定した。予圧を調整し、LUSM を停止させた状態での保持力（最大静止摩擦力）を変えて最大推力を測定した結果を Fig. 5 に示す。このとき、駆動電圧  $10V_{p-p}$ 、 $15V_{p-p}$ 、 $20V_{p-p}$ 、オフセット電圧 30V、位相差 90 度であった。

推力は保持力に対して最大値を持っていた。また、駆動電圧によって推力が最大となる保持力は異なっていた。このとき、推力の最大値は保持力に近い値であった。

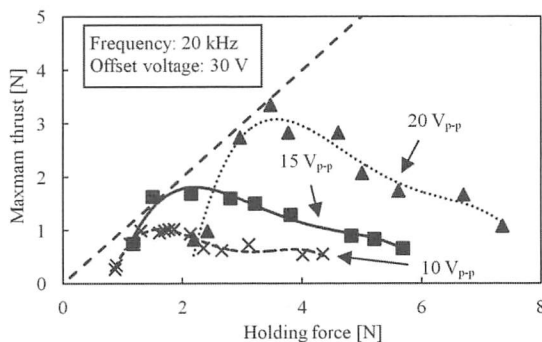


Fig. 5 Measured maximum thrust with holding force and applied voltage.

### 5. 微動範囲の測定

2つの MPA に 180 度位相差の駆動電圧  $150V_{p-p}$ 、オフセット電圧 75V、周波数 1Hz の三角波を印加して、スライダの

微動可能な範囲を測定した。このとき梁は平行移動する。測定結果を Fig. 6 に示す。その結果、およそ  $8\mu\text{m}$  の範囲で微動が可能であることを確認した。同じ変位ループを繰り返すため突起とスライダの間にはすべりが生じていないと考えられるが、MPA の特性によりヒステリシス特性が見られる[6]。したがって、正確な位置制御を行うためには、変位フィードバック制御が必要となる。

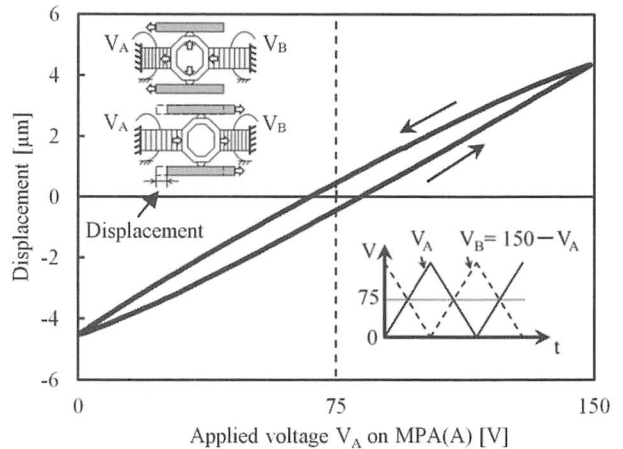


Fig. 6 Displacement of slider with parallel translation of beams by double MPA drive.

### 6. まとめ

梁と MPA を用いたリニア超音波モータを試作し、粗微動特性を確認した。結果、駆動電圧  $20V_{p-p}$  において最大推力 3.4N、また  $8\mu\text{m}$  の範囲で微動が可能であることを確認した。

今後の課題として、推力および位置の制御、推力および耐久性の向上があげられる。

### 参考文献

- [1] T. Takano, and Y. Tomikawa, "Characteristics of the Ul-trasonic Linear Motor Using Radial and Nonaxisymmetric Vibration Modes of an Annular Plate," Jpn. J. Appl. Phys., vol. 34, pp. 5288-5291, 1995.
- [2] F. Claeysen, R. LeLetty, L. Chouteau, N. Lhermet, L. Petit, R. Briot, and P. Gonnard, "A new multi-mode piezoelectric motor", Proc SPIE Int Soc Opt Eng, vol. 2779, pp. 634-637, 1996.
- [3] U. Ueha, and Y. Tomikawa, *Ultrasonic motors: Theory and Applications*, Clarendon Press Oxford, pp. 197-230, 1993.
- [4] T. Funakubo, T. Tsubata, Y. Taniguchi, K. Kumei, T. Fu-jimura, and C. Abe, "Ultrasonic Linear Motor Using Multi-layer Piezoelectric Actuator," Jpn. J. Appl. Phys., vol. 34, pp. 2756-2759, 1995.
- [5] 中易竜一, 青柳学, "座屈梁を用いたリニア超音波モータの開発", ROBOMECH2012 講演論文集, 2P1-D10, 2012.
- [6] 内野研二, "精密制御用ニューアクチュエータ便覧", フジ・テクノシステム, pp. 249-260, 1994.