

マイクロ移動ロボットの製作と制御

Production and control of a micro moving robot

矢田真也^{*}, 斉藤克久^{*}, 森田巧^{*}, 伊藤嘉亮^{**}

Shinya Yada^{*}, Katsuhisa Saito^{*}, Takumi Morita^{*}, Yoshiaki Itou^{**}

^{*} 日本大学大学院工学研究科, ^{**} 福島県ハイテクプラザ

^{*} Graduate school, Nihon University

^{**} FUKUSHIMA TECHNOLOGY CENTRE

キーワード: 圧電素子(piezoelectric element), アクチュエータ(actuator),
カンチレバー(cantilever)

連絡先: 〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原 1 番地 日本大学大学院工学研究科 機械工学専攻
メカトロニクス研究室 矢田真也, Tel.:(024)956-8774, E-mail:g15313@cc.ce.nihon-u.ac.jp

1. 緒言

バイオテクノロジー、ナノテクノロジーなど新しい技術に係わる研究が活発に行われている。これらの研究において、アクチュエータのマイクロ化は課題の一つで研究開発の重要性が増している¹⁾。アクチュエータのマイクロ化の研究として、新しい駆動機構や新しい機能性材料の組み合わせによる種々の方式のアクチュエータが取り上げられ、研究・開発が行われている。マイクロ磁気アクチュエータ²⁾、マイクロステップングモータ³⁾、マイクロ超音波モータ⁴⁾、マイクロ圧電アクチュエータ^{5,6)}、マイクロ静電アクチュエータ⁷⁾、マイクロ流体モータ

⁸⁾などいろいろの方式のアクチュエータの研究が報告されている。本研究では材料の非線形性を利用したアクチュエータの研究を行い、微細化を行うことを目的とした。微細加工技術としてフォトリソグラフィ技術を利用し、カンチレバーを製作する。製作したカンチレバーの表面に圧電体をスパッタし、微細な移動ロボットを製作する。

2. アクチュエータの構成と動作原理

図1にアクチュエータの構成を示す。長方形の移動部にバイモルフ形の圧電素子を取り付けたものである。図2に動作原理を示す。圧電素子にある周波数の電圧を印

加すると圧電素子は振動する．振動変位はヒステリシス特性を示す．圧電素子の共振周波数に応じて移動体は左右に移動する．一次共振の場合には図面上で左方向に，二次共振の場合には右方向に移動する．

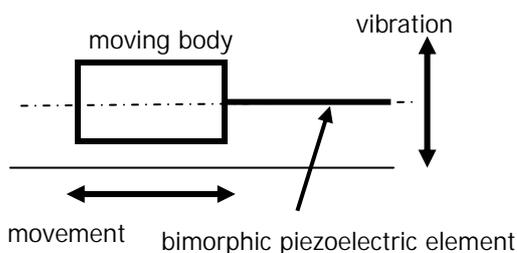
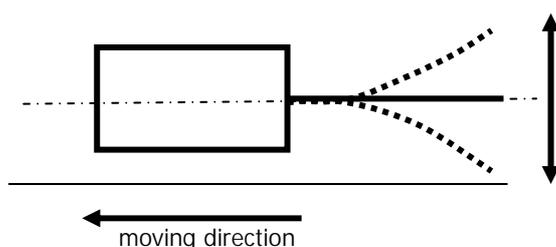
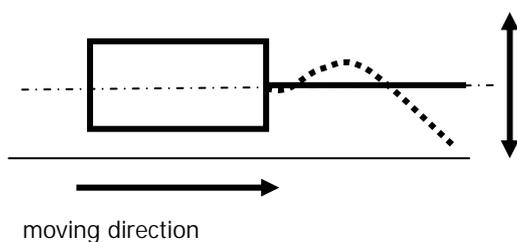


Fig. 1 Construction view of actuator



(a) First mode of vibration



(b) Second mode of vibration

Fig. 2 Driving principle of actuator

2.1 移動現象の解析

移動現象の解明のために次のような仮定をした．

バイモルフ形圧電素子の電圧 - 変位における非線形性を図 3 に示すように直線で

近似する．

これらの直線は次式で表される．

$$Y_1(V) = \frac{1}{\delta^*} (aV - b) \quad (1)$$

$$Y_2(V) = \frac{1}{\delta^*} (aV + b) \quad (2)$$

ここに、 δ^* は圧電素子に印加する最大電圧に対応する変位である．

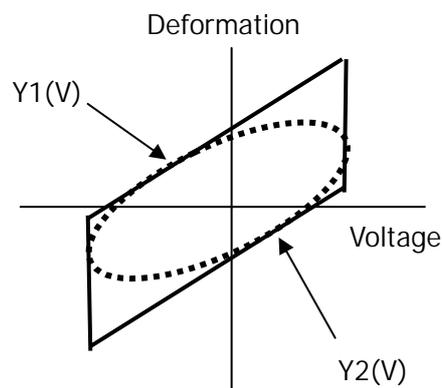


Fig. 3 Nonlinear characteristics of piezoelectric element

駆動電圧に対する圧電素子の変形を一樣な荷重を受ける片持ち梁の変形とする．

の仮定は，非線形のヒステリシス形状のままでは解析的な取り扱いが困難であり，上記のように直線近似することにより解析的取り扱いが可能となる． については，バイモルフ形圧電素子の圧電方程式を用いて解析することも考えられるが，本研究では，取り扱いを容易にするために駆動電圧が印加された圧電素子の変形を一樣荷重を受ける片持ち梁の変形とした．一樣荷重 w で圧電素子の変形との調整を行う．一樣荷重を受ける片持ち梁の単位長さ辺りの荷重を w とする．梁の固定端から x の位置の微

小部分 $d \times$ に働く w 一つの荷重を受ける片持ち梁の荷重と変位の関係を図 4 に示す。

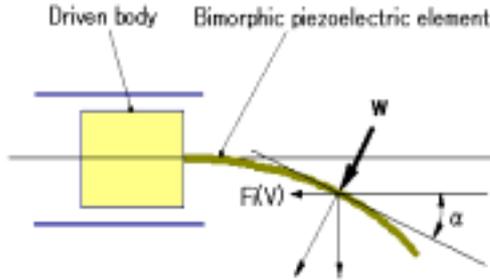


Fig. 4 Deformation and force by load w

移動体に働く力 $F_i(x, V)$ は片持ち梁の変位と角度から次式のように表される。

$$F_i(x, V) = w Y_i(V) dx \sin \alpha \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{w Y_i(V) x^2 dx}{2EI} \quad (4)$$

ここに、 E ：ヤング率

I ：梁の断面二次モーメント

である。

式(3)を梁の固定端から先端まで積分することにより移動体に働く総力が求められる。は小さいとして、 $\sin \alpha = \alpha$ とすることにより式(3)は式(5)と表される。

$$F_i(V) = \frac{\{w Y_i(V)\}^2 x^2 dx^2}{2EI} \quad (5)$$

この式を $Y_1(V)$ と $Y_2(V)$ に分けて積分すると以下の式が得られる。

$$F_1(V) = \frac{\{w Y_1(V)\}^2 l^4}{8EI} \quad (6)$$

$$F_2(V) = \frac{\{w Y_2(V)\}^2 l^4}{8EI} \quad (7)$$

$F_1(V) - F_2(V)$ は圧電素子におけるヒステリシスにより一周期の振動の間に圧電素子が移動体を押す力となっている。

$$F_1(V) - F_2(V) = \frac{w^2 l^4}{2EI \delta^{*2}} ab \nu^* \quad (8)$$

ここに、 ν^* は圧電素子に印加される最大電圧である。圧電素子の駆動電圧と変位および一様な荷重 w を受ける片持ち梁の先端の変位との関係から w を求める。

$$w = \frac{8EI}{l^4} \delta^* \quad (9)$$

最終的に、圧電素子のヒステリシスによる力のアンバランスに起因する移動体への駆動力は次式と求まる。この力は圧電素子の振動の一周期間に生ずる力である。

振動を繰り返すことにより連続的な力の発生となる。

$$F_1(V) - F_2(V) = \frac{32EI}{l^4} ab \nu^* \quad (10)$$

後述の実験に用いた表 1 に示すようなパラメータの圧電素子と駆動条件を使用した場合に、一周期で発生する力は 1.88×10^{-2} N となる。この力を受け移動体は左右に移動する。圧電素子の振動モードにより移動する方向を変えることが可能である。

Table. 1 Parameters in estimating driving force

Parameter	Value
V*	60 V
a	6.67×10^{-3} mm/V
b	0.1 mm
E	5.5×10^4 N/mm ²
I	0.216 mm ⁴
l	30 mm

3. 実験

3.1 実験装置

図5に実験装置に示すように、バイモルフ形の圧電素子の一端を移動体に固定し、片持ち梁とした。移動体はアクリル板上に設置され、移動体とともにアクリル板が移動する。アクリル板の下面には集電用の銅線が設けられており、アクリル板が2本の金属板上を走行する。2本の金属板から集電用の銅線を介して圧電素子に駆動電流が伝えられる。本体寸法は、長さ57mm、幅30mm、高さ30mmである。重量は6.6gである。

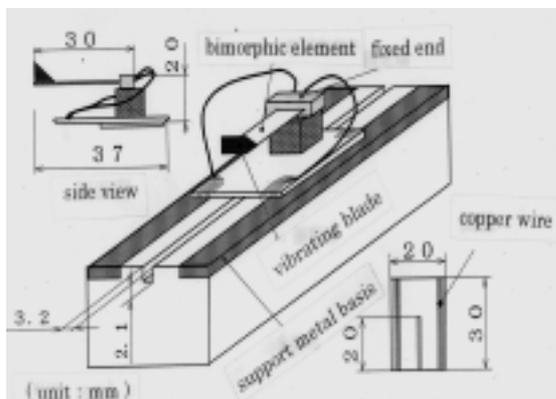


Fig. 5 Experimental equipment

3.2 実験結果

(a) 速度特性

駆動電圧 60 V_{p-p} 、駆動周波数を $10 \sim 2,000 \text{ Hz}$ として周波数 - 速度特性を測定した。駆動入力波形は正弦波である。速度は一定の標点間距離の通過時間より算出した平均速度である。測定結果を図6に示す。

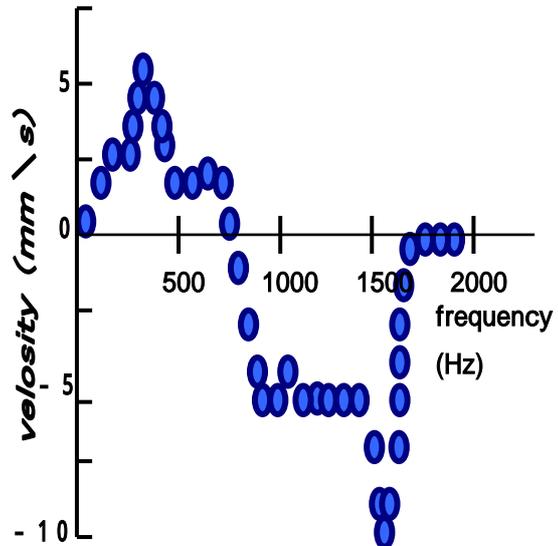


Fig. 6 Frequency characteristics of the actuator

片持ち梁の圧電素子の一次共振である 340 Hz 近傍で前進(左方向移動)の最大速度が見られ、二次共振である 1650 Hz 近傍で後進(右方向移動)の最大速度が得られている。この様に圧電素子に加える駆動電圧の周波数により移動体は前進および後進する。次に、一次共振および二次共振における速度と駆動電圧の関係を図7に示す。用いた圧電素子では駆動電圧が 60 V 以上では速度はほぼ一定となっている。

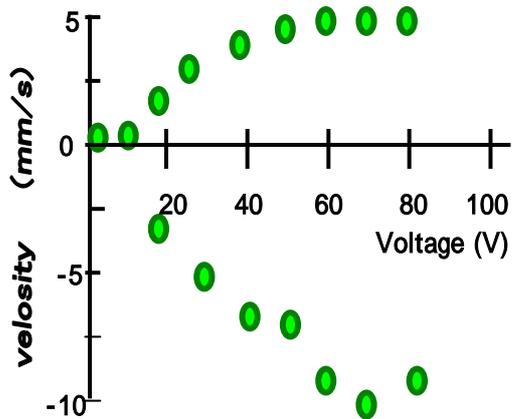


Fig. 7 Change of moving speed by driven voltage

4. 微細化

上記のアクチュエータを，カンチレバーを利用し微細化を行なう．図 8 に製作する圧電アクチュエータの基本構造を示す．

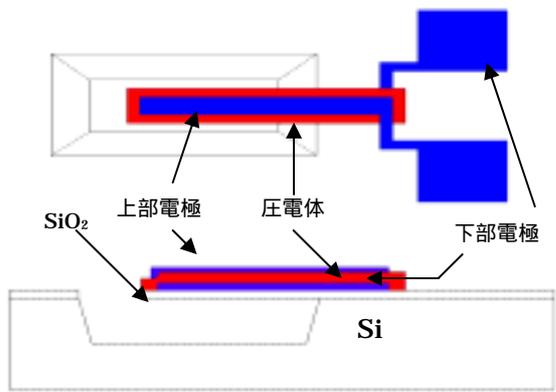


Fig.8 Construction view of piezoelectric actuator

現在は圧電アクチュエータの製作を行っている途中である．図 9 に製作中のアクチュエータの写真を示す．

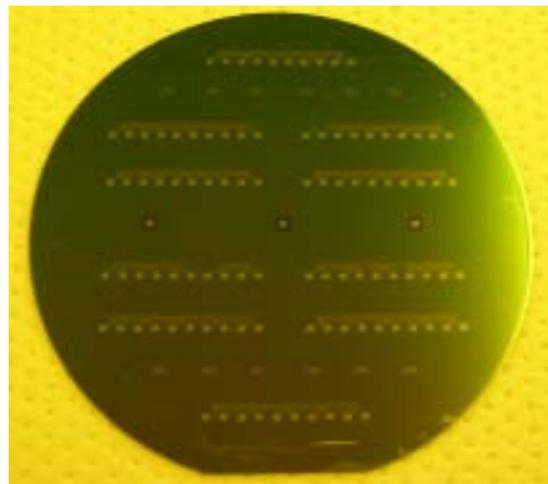
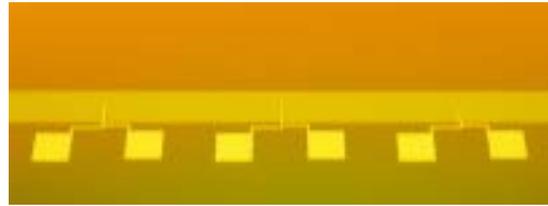


Fig.9 Photo of actuator

5. 結言

現在は圧電アクチュエータの製作の段階である．今後は圧電アクチュエータが完成後に作動実験をおこない，マイクロ移動ロボットの製作を行なう．

参考文献

- 1) 樋口俊郎, マイクロアクチュエータの将来展望, 精密工学会誌, Vol. 68, No. 5, (2002), pp. 629 - 632.
- 2) 丸野聡明, 本田崇, 山崎二郎, 摩擦駆動型電磁マイクロモータの特性改善, 日本応用磁気学会誌, Vol. 24, No. 4 - 2, (2000), pp. 979 -
- 3) 青島力, マイクロステッピングモータ, 精密工学会誌, Vol. 68, No. 5, (2002), pp. 637 - 640.
- 4) 春日政雄, 飯野朗弘, 鈴木賢二, 鈴木誠, 自励振駆動を用いた超小型超音波モータの開発, 精密工学会誌, Vol. 64, No. 8, (1998), pp. 1117 - 11
- 5) 樋口俊郎, 渡辺正浩, 工藤謙一, 圧電素子の急速変形を利用した精密位置決め機構, 精密工学会誌, Vol. 54, No. 11 (1988), pp. 75 - 80.
- 6) 大越正弘, 坂野進, 三極円筒型圧電素子を用いた X - Y - 微動テーブル, 日本機械学会論文集(C編), Vol. 62, No. 596, (1996), pp. 1392 - 1396.
- 7) 鈴森康一, 静電アクチュエータ, 日本ロボット学会誌, Vol. 15, No. 3, (1997), pp. 342 -
- 8) 近藤豊, 丁向, 横田真一, パイモルフ形 PZT 素子アレイを用いた薄型ぜん動マイクロポンプ(片面駆動形の試作), 日本機械学会論文集(C編), Vol. 68, No. 666, (2002), pp. 643 -