

1. 諸言

分極方向を互いに逆にした圧電フィルムを貼り合わせることで、曲げ変形を生じるバイモルフアクチュエータが開発されている。一般に、このアクチュエータは位置制御や振動制御に用いられているが、本研究では分布電極を配置し、電極間で位相をずらして駆動することで擬似的に波のように動く変形を生じさせることを考える。この場合、アクチュエータは、大きな曲げ変形を生じずに推進力を生むことが可能ではないかと考えた。本研究では、分布電極の配置方法とそれによって生じる変形について理論的に考察する。

2. バイモルフアクチュエータの変形

厚さ h のバイモルフアクチュエータが ΔV の電位差を負荷され、曲率半径 ρ の変形が生じている場合を考える。このとき、サン・ブナンの仮定の下でモーメントのつり合い式を解くと、以下の式が得られる。

$$\frac{1}{\rho} = C = -\frac{3d\Delta V}{h^2} \quad (1)$$

ここで、 d は長手方向の圧電ひずみ定数、 C は曲率である。

図 1 に、本研究で考えるバイモルフアクチュエータのユニットセルを示す。ユニットセルには n 枚の電極があり、電極長さを w_E 、電極間隔を w_S とする。また、セルの左右の端で負荷電圧の位相差が 2π となるように、電圧を加える。すなわち、 i 番目の電極に加えられる電位差は

$$\Delta V_i = V_{amp} \cos(\omega t + \phi_i), \quad \phi_i = \frac{2\pi i}{n} \quad (2)$$

である。ここで、 V_{amp} は振幅、 ω は角周波数である。よって、 i 番目の電極による曲率は

$$C_i = \frac{3d\Delta V_i}{h^2} = \frac{3dV_{amp}}{h^2} \cos(\omega t + \phi_i) \quad (3)$$

となる。

はり理論より、 i 番目の電極によるたわみを $Y_i(x)$ とすると、以下の式から得られる。

$$Y_0(x) = \frac{1}{2} C_0 x^2 + \theta_0 x + y_0 \quad \left(0 \leq x \leq \frac{w_E}{2}\right) \quad (4)$$

$$\theta_1 = \frac{1}{2} C_0 w_E + \theta_0, \quad x_1 = \frac{1}{2} w_E + w_S, \quad y_1 = Y_0\left(\frac{1}{2} w_E\right) + w_S \theta_1 \quad (5)$$

$$Y_i(x) = \frac{1}{2} C_i (x - x_i)^2 + \theta_i (x - x_i) + y_i \quad (x_i \leq x \leq x_i + w_E) \quad (6)$$

$$\theta_{i+1} = C_i w_E + \theta_i, \quad x_{i+1} = x_i + w_E + w_S \quad (7)$$

$$y_{i+1} = Y_i(x_i + w_E) + w_S \theta_{i+1}$$

$$Y_n(x) = \frac{1}{2} C_n (x - x_n)^2 + \theta_n (x - x_n) + y_n \quad \left(x_n \leq x \leq x_n + \frac{w_E}{2}\right) \quad (8)$$

3. 電極配置と変形

電極枚数が変形に与える影響を調べるために、厚み 0.2mm、ユニットセル長さ 30mm に n 枚の電極 ($w_E:w_S=10:1$) を配置し、 $V_{amp}=10V$ 、 $\omega=1$ 、 $t=0, \pi/2, \pi$ の電位を与えた時の変形を計算した。その結果を、 $n=2, 3$ のそれぞれの場合について図 2, 3 に示す。図 2 より、 $n=2$ の場合は、疑似的な波となっておらず、振動しているだけであることが分かる。一方、

図 3、より、 n が 3 の場合は、左に移動する疑似的な波形を再現できていることが分かる。 n が増えれば増えるほど波形は正弦波に近づき、時間経過による波形の崩れは小さくなる。

図 4 に、 $n=2, 3, 4, 5, 10$ のそれぞれの場合について、時間経過に対する振幅の大きさを示す。図より、 $n=2$ の場合はある時間で振幅が 0 になることが分かるが、これは振動変形しているためである。 $n=3$ では時間経過とともに振幅が変化するが、それほど大きくない。また、 $n=4$ の方が、 $n=3$ よりも振幅の変化は大きい。 n が 5 以上では n の増加とともに振幅の変化は小さくなり、正弦波に近づいていることが分かる。よって、 n を 5 以上とすることで、正弦波と同様の駆動力を期待する事が出来る。

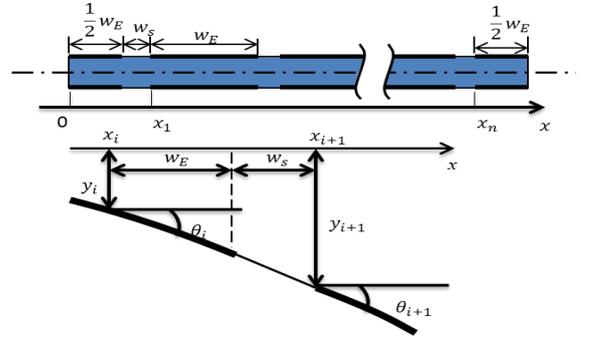


Fig.1 Unit cell of bimorph actuator with multiple electrodes

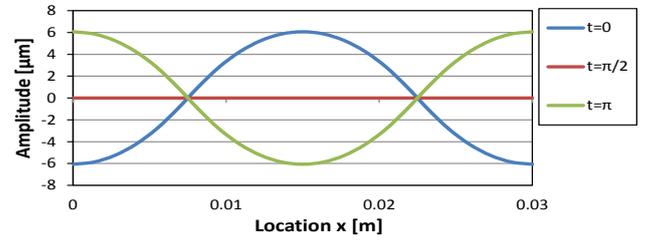


Fig.2 Deformation of bimorph actuator (n=2)

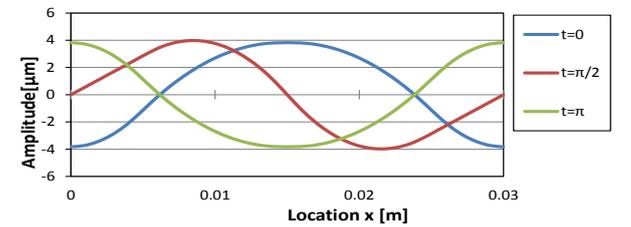


Fig.3 Deformation of bimorph actuator (n=3)

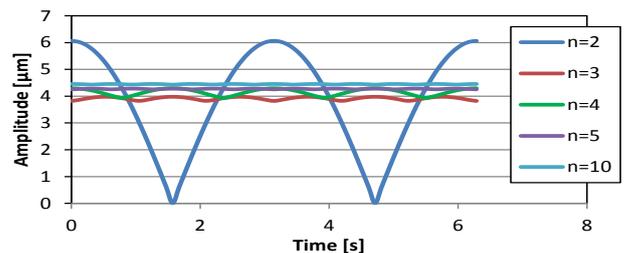


Fig.4 Amplitude of deformation of actuator as function of time