

## デジタルピエゾアクチュエータの研究

## ——基本構想と基礎実験——

A Digital Piezo Actuator

川勝英樹\*

Hideki KAWAKATSU

## 1. ま え が き

ピエゾ素子はピコメータからマイクロオーダーの変位を得るうえで非常に有用な素子である。その応用範囲は広く、たとえば、走査型トンネル顕微鏡(STM)<sup>1)</sup>、原子間力顕微鏡(AFM)<sup>2)</sup>、各種位置決めなどの加工制御、などが挙げられる。ピエゾ素子は素子に電界を印加されることによって変形を生じる。高い電界を素子に印加すればより大きな変位が得られる。そのため、マイクロオーダーの変位が求められる用途では、ピエゾ素子を電極でサンドイッチしたものを多数積層したアクチュエータ(積層型ピエゾアクチュエータ)が用いられる。一方、STMやAFMなどのピコメータからサブミクロンの変位が求められる用途では一般に単素子が用いられる。

ピエゾ素子は印加される電界が大きいほど顕著な履歴特性を示す。そのため、電極の間隔を小さく設定して電界を高めている積層型ピエゾアクチュエータにおいては、印加電圧に対する履歴特性が観察される。この特性は、積層型ピエゾアクチュエータを用いて正確な位置決めを行う場合に位置帰還などの制御を必要とする。本研究は積層型ピエゾアクチュエータの電極の配置と配線方法を工夫することによってアクチュエータをデジタル信号で直接駆動し、それによってさまざまな利点、たとえば、(1)優れた変位の直線性、(2)優れた履歴特性、(3)電圧のスイッチングのみによるアクチュエータの駆動、(4)DAコンバータを必要としないため、コンピュータやTTLでアクチュエータを直接駆動すること、などを得ようとするものである。なお、従来の方法で、ピエゾアクチュエータの変位特性を改善する研究としては、(1)変位センサによる位置帰還、(2)ピエゾアクチュエータへの流入電荷を制御する方法<sup>3)</sup>、(3)ピエゾ素子に直列にコンデンサを挿入する方法<sup>4)</sup>、などが挙げられる。

本報では、デジタルピエゾアクチュエータの基本構想、基礎実験結果、期待される用途、などについて報告する。

\*東京大学生産技術研究所 第2部

## 2. 基本構想

図1.(a)に従来の積層型ピエゾアクチュエータの構造の概念図を示す。アース電極と電界印加用電極が交互に配置され、各層ピエゾ素子に電界が印加されるようになっている。図1.(b)にデジタルピエゾアクチュエータの構造の一例を示す。一見積層型ピエゾアクチュエータの構造をしているが、電界を印加される各層は1層、2層、4層、…… $2^{n-1}$ 層と、2のべき乗ごとにグループングされて配線されている。一定の電圧を印加したときの1層分の伸びを一定値 $a$ とすると、どのグループに電圧を印加するかを選択することによってアクチュエータの総変位を、 $a, 2a, 3a, \dots, (2^n - 1)a$ 、とすることが可能である。なお、デジタルピエゾアクチュエータは図1(b)の構造に限定されるものではなく、たとえばバイモルフ型などにも応用が可能である。

## 3. 実 験

## 3.1 実験装置

3ビットのデジタルアクチュエータに関してデジタル制御と従来のアナログ制御を行って変位特性を比較した。なお、実験に用いたアクチュエータは、市販の積層型ピエゾアクチュエータを7個縦に接着し、1個、2個、4個ごとに並列に結線したものをを用いた。積層型ピエゾアクチュエータが1個のグループがデジタル制御におけるLSB (least significant bit)、4個からなるグループが

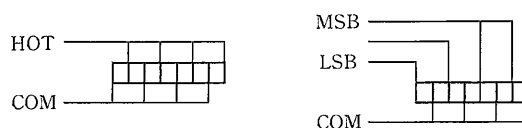


図1 ピエゾアクチュエータの構造の概念図

(a) 従来の積層型アクチュエータ

(b) デジタルピエゾアクチュエータ

MSB (most significant bit) に相当する。図 2 にアナログ制御とデジタル制御の実験の装置構成を示す。アナログ制御の実験には本来、1 台の電圧制御アンプで 7 個の積層型ピエゾアクチュエータすべてを並列に駆動すれば十分である。が、実際は 3 台のアンプを同一の入力信号で駆動したものを用いた。その理由は、今回の実験では、アナログ制御の実験では電圧制御アンプをリニアアンプとして、デジタル制御の実験では電圧のオン・オフを制御するスイッチとして用い、アナログとデジタルの両実験で同一の駆動アンプを使用したためである。

3.2 実験結果と考察

図 3 に三角波状の往復運動をさせた場合の変位を示す。図 3.(a) はアナログ制御の場合である三角波状の電圧指令値に対する変位が示されている。ヒステリシス特性が観察される。図 3.(b) はデジタル制御の場合で、3 ビットの分解能で位置決めが行われているのがわかる。また、変位指令値が変化したときの変位を  $\mu\text{s}$  オーダーで観察したところ、なめらかな変位が確認された。このことは、LSB から MSB の各グループがスイッチングされる時に過渡的に変位の乱れを生じないことと、ステップ応答が早いことを意味する。デジタルピエゾ素子の周波数応答は各層のステップ応答の早さに影響される。本実験では

10kHz オーダの往復運動指令値に変位が追従することを確認した。なお、アナログ制御の場合 70V (P-P) の三角波を 7 個の積層型アクチュエータに同時に印加し、デジタル制御の場合は 0V か 70V を MSB から LSB の素子グループに印加した。図 4 はヒステリシス特性を調べる目的で記録したデータである。横軸に電圧もしくは変位指令値、縦軸に変位が記されている。図 4.(a) のアナログ制御の場合ヒステリシス特性が観察されるのに対して、図 4.(b) のデジタル制御の場合は直線性と低ヒステリシスが観察される。デジタル制御の実験では、1s ごとに位置決めを行った。デジタル制御の場合のリサーチの位置決め点を結ぶ線は、履歴を反映しているものではなく、1s おきに位置決め指令値が変化したときにオシロスコプの輝点がたどった軌跡に相当する。なお、駆動条件は図 3 の実験の場合と同じである。

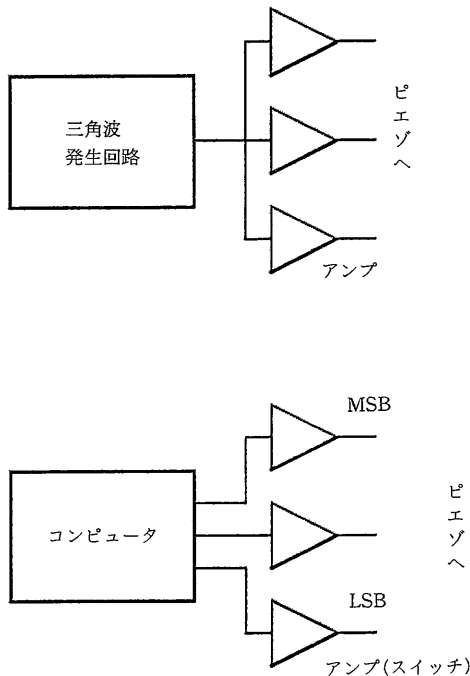


図 2 実験装置構成の概略図  
(a) アナログ制御  
(b) デジタル制御

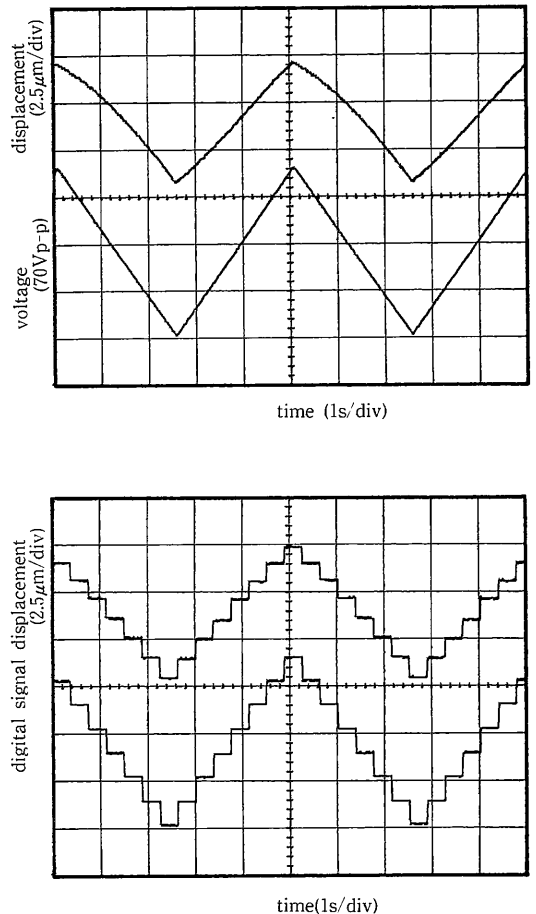


図 3 ピエゾアクチュエータに往復運動をさせたところ  
(a) アナログ制御  
(b) デジタル制御

## 研究速報

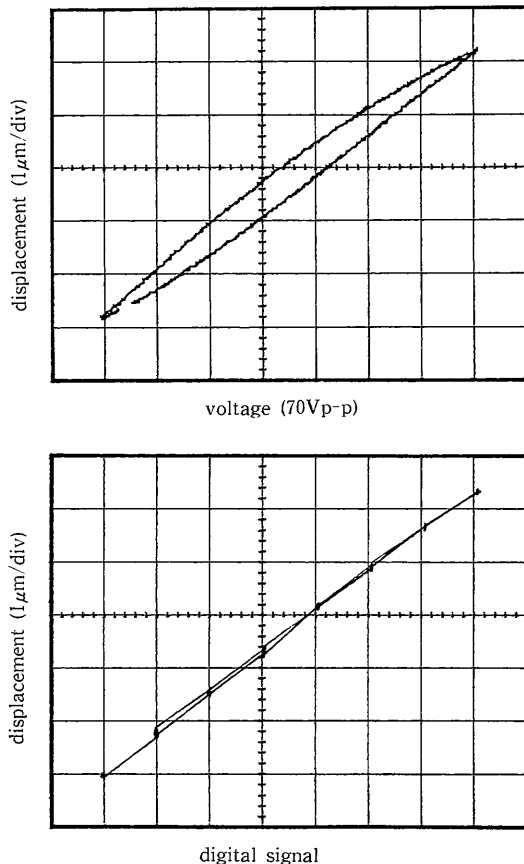


図4 ピエゾアクチュエータのヒステリシス特性  
(a) アナログ制御  
(b) デジタル制御

## 4. 今後の課題

本報で報告したデジタルピエゾアクチュエータは基本構想の有効性を実験を通じて確認するためのものである。今後、積層型ピエゾアクチュエータの製造技術を応用してよりビット数の大きいデジタルピエゾアクチュエータの開発を行う。デジタルピエゾアクチュエータが広く用いられるためには、なお解決すべき課題がある。それら

を列挙すると、(1)多ビットデジタルアクチュエータのアクチュエータ内での配線方法、(2)グルーピングされた素子間に生じる応力の問題、(3)耐久性の研究、などである。また、興味深い研究課題として、履歴特性の顕著な素子を用いて位置決め点の保持を電力の供給なしに行うことが考えられる。

## 5. あとがき

デジタルピエゾアクチュエータの基本構造と基礎実験結果を報告した。実験に用いたアクチュエータのビット数はわずか3であったが、デジタルピエゾアクチュエータの利点を確認することは可能であった。デジタルピエゾアクチュエータの駆動は電圧のスイッチングのみでよいため、変位特性の改善以外の利点として、(1)コンピュータやTTLによるアクチュエータの直接制御、(2)大容量積層型ピエゾアクチュエータのデジタル化による駆動アンプの小型化、(3)バイト位置決め用大型積層型ピエゾアクチュエータへの応用と、加工のデジタル数値制御、などが十分に期待される。

## 6. 謝 辞

本実験は東大生研樋口助教授のご協力を得て可能となりました。深く御礼申し上げます。ピエゾ素子の提供をいただいた矢野健氏(綽トーキン)にお礼申し上げます。実験を手伝っていただいた大学院学生の川合稔君と樋口研究室の西沖暢久君(綽ミツトヨ)にお礼申し上げます。本研究は一部東京大学生産技術研究所の選定研究費を用いて行われました。(1991年8月7日受理)

## 参 考 文 献

- 1) G. Binning and H. Rohrer, *Helev. Phys. Acta* 55, 726 (1982).
- 2) G. Binning, Ch. Gerber, T.R. Albrecht and C.F. Quate, *Phys. Rev. Lett.* 56, 930 (1986).
- 3) C.V. Newcomb and I. Flinn, *Electron. Lett.* 18, 442 (1982).
- 4) H. Kaizuka and B. Siu, *Jpn. J. Appl. Phys.* 27, L773 (1988).