

# 多自由度超音波アクチュエータの小型化とアレイ化

合田泰之、小山大介、中村健太郎、上羽貞行  
東京工業大学 精密工学研究所

## 1 はじめに

1台で1自由度アクチュエータ複数台分の動作を行える多自由度アクチュエータはロボット工学などの分野で期待されている。超音波型多自由度アクチュエータは、小型、簡素な構造、静粛性などの利点を有している。これまでに棒の縦振動と2つの直交するたわみ振動を用いる方式が提案されているが、複数の種類の圧電素子が必要であるなど構造が複雑であった。本研究では他のデバイスとの融合や多素子化などを視野に入れて、ミリメートルオーダーの大きさの多自由度超音波アクチュエータの実現を目指す。このために、筆者らは基板上に製作可能な片端固定の棒と1枚の圧電素子を用いた簡素な構造を提案している。今回、アクチュエータのアレイ配置を行いステージ動作について検討した。

## 2 素子アクチュエータの構造

本アクチュエータは、Fig. 1に示すように、基盤に垂直に立った金属円筒とその下部の基盤面に固定された穴あき円板 PZT 素子から成る。金属円筒及び PZT 素子は基盤上に固定されている。PZT 素子の上部電極は4つに分割されており、電圧を印加する電極を選択することで1枚の PZT 素子で直交する2つのたわみ振動と1つの縦振動を金属円筒に励振する。これらを組み合わせると円筒先端に所望の楕円振動軌跡を形成することで、球ロータの多自由度運動を実現する。

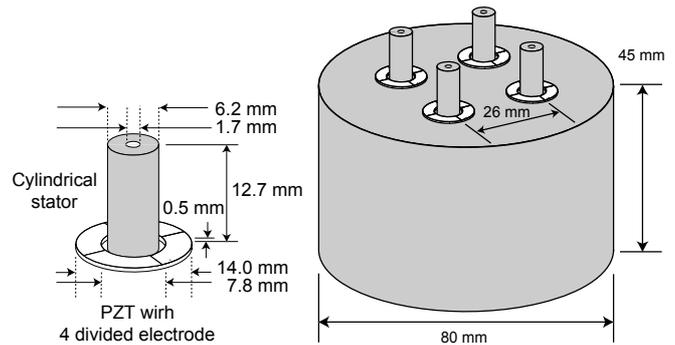


Fig. 1 Proposed structure of the actuator and an arrayed actuator.

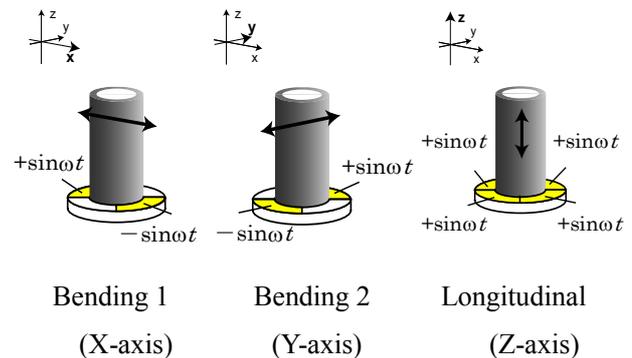


Fig.2 Method to excite vibrations.

## 3 動作原理

円筒が固定された基盤面に平行に X-Y 平面をとり、垂直に Z 軸をとる。X 方向たわみ振動、Y 方向たわみ振動と Z 方向縦振動を組み合わせることで金属円筒先端部に楕円振動軌跡を生じさせ、内径部に接触している球ロータを摩擦力駆動によって所望の軸周りに回転させる。Fig. 2に各振動を励振するための電圧印加方法を示す。X 方向たわみ振動と Y 方向たわみ振動は PZT 素子の4つに分割した電極の

うち向かい合う 2 つの電極に位相差  $180^\circ$  の電圧を印加することで励振できる。Z 方向縦振動は 4 つの電極全てに同位相の電圧を印加することで励振する。

X 軸周りの回転は Y 方向たわみ振動と Z 方向縦振動を、Y 軸周りの回転は X 方向たわみ振動と Z 方向縦振動を、Z 軸周りの回転は X 方向たわみ振動と Y 方向たわみ振動をそれぞれ  $90^\circ$  の時間的位相差で組み合わせることで実現する。

#### 4 $2 \times 2$ アレイ

Figure 3 に示すように素子アクチュエータを 4 つ配置したアレイの上にアクリル板を載せて X-Y ステージとした。ステージが直行方向に移動するようにアクチュエータに電圧を印加したところ、ステージの移動方向は  $93^\circ$  とほぼ直交していた。しかし、各方向へのバースト駆動実験では Fig. 4 に示すように本実験の範囲においては移動距離に約 3 倍の違いが見られた。次にステージの重量を等しくして材質を変えた場合の実験結果を Fig. 5 に示す。移動距離にあまり差異は見られなかったがゴム板を用いた場合により細かくステップを刻むことができた。ステージの表面粗さの比較実験ではステージ表面を滑らかにしていくことで最小ステップ、繰り返し精度共に改善された。

#### 5 まとめ

素子アクチュエータを 4 つ配置したアレイを作製し X-Y ステージとして測定を行った。 $93^\circ$  とほぼ直交した動作が得られ、ステージの材質、表面粗さを考慮することで最小ステップにも改善が見られた。今後は更なるステージ動作の精度向上を行う他、素子間のカップリングについても検討していく。

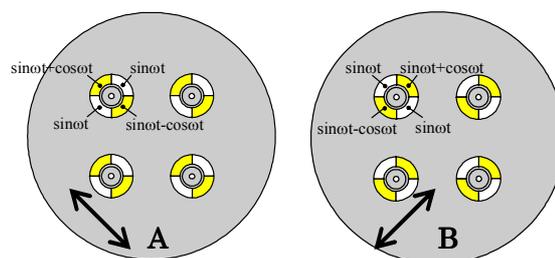
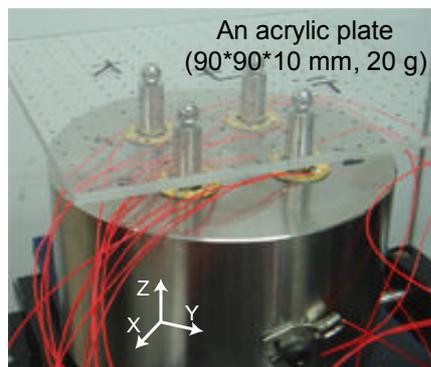


Fig. 3 Experimental setup and applied signals for the movement of the stage for orthogonal directions.

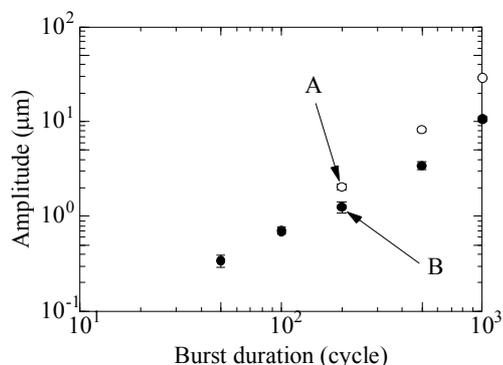


Fig. 4 Burst duration of the stage for each orthogonal direction.

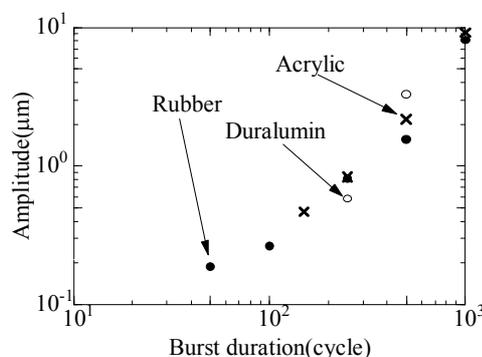


Fig. 5 Comparison of the material of the stage.