

1. 緒言

圧電セラミックスを用いたアクチュエータのうちバイモルフ型と呼ばれるものは、二枚の圧電セラミックスの間に弾性体を挟み込んで接合した構造を有し、電圧の印加により両面の圧電セラミックスを伸縮変形させることで、大きな屈曲変位を出力する。しかし、圧電セラミックスと弾性体は異種材料なので接着部が異種材界面となり、繰り返し変形させると、その界面での応力集中により、剥離や圧電体の破壊、損傷などが生じる。これに対し、材料を傾斜機能化することにより圧電セラミックス単体で屈曲変位を得ることができ、界面が存在しないモノモルフ型アクチュエータに関する研究が行われている。

電気泳動堆積法(EPD)は、液体中に粒子を混合した懸濁液に電極を介して外部電界を印加することで、帯電した粒子をクーロン力より電極表面に引き付け堆積させる方法である。本研究ではEPDを用いて特性の異なる2種類のPZT圧電セラミックスを積層させ、片持ちはりアクチュエータを作製して、その駆動特性を調査した。

2. 実験材料および方法

使用した材料は研究室で作製したリラクサ強誘電セラミックス $0.55 \text{ Pb}(\text{Ni}_{1/3} \text{ Nb}_{2/3})\text{O}_3-0.45 \text{ Pb}(\text{Zr}_{0.3} \text{ Ti}_{0.7})\text{O}_3$ [A材]と市販のPZT 仮焼粉(林化学工業製)[B材]を用いた。懸濁液としては材料粉A材またはB材 2.5gとエタノール 50mlを混合したものを用いた。電極基板は板厚 0.3mmの銅板を用い、電極面積を $10 \times 15 \text{ mm}$ とした。pH値の調整には0.1%の硝酸を用いて調整した。成膜前に超音波洗浄器により懸濁液を攪拌し、堆積させる陰極板を陽極板の真下になるよう配置させた。EPD条件はpH値 4.9、堆積電圧 200Vとした。堆積順序はA材、B材とし、それぞれ4分ずつ印加した。EPD後、3~4分乾燥させて、基板に付着しているPZTを削いで、高温電気炉を用い、 1200°C で2時間焼結させた。この二層圧電セラミックスをダイヤモンドカッターでき裂を切出し、その表裏面に銀電極を焼き付けた。

3. 実験結果

3.1 屈曲変位

前節によって作製した二層圧電セラミックス($14 \times 7 \times 1 \text{ mm}$)を片持ちはりアクチュエータとし、 $\pm 50 \text{ V}$ の交流電圧を負荷した。周波数を50Hzから1.5kHzまで変化させ、はりの先端部と中央部の変位をドップラー振動計により測定した。図1に周波数200Hzにおける変化と電圧の関係を示した。先端部の最大変位は約 $0.3 \mu\text{m}$ であり、中央部の最大変位は約 $0.1 \mu\text{m}$ であった。図2に印加電圧の周波数とアクチュエータの先端部、中央部の屈曲変位の振幅の関係を示した。周波数50Hzから1.5kHzまで変化させた場合、いずれの測定位置においても同じ挙動が確認された。1kHz付近で共振と考えられるピークが生じた。

3.2 破壊靱性値

EPDによって作製した分極処理前の二層圧電セラミックスを用いて、各部の破壊靱性値(K_{IC})を測定した。微小硬度計により押し込み荷重 1.96N、30秒保持の条件で圧痕を導入した。測定箇所は図中に示したA材およびB材表面(XZ面)と端面(XY面)とした。圧痕のき裂寸法を決定し、式(1)から K_{IC} を求めた。

$$K_{IC} = 0.026E^{1/2}P^{1/2}aC^{-3/2} \quad (1)$$

ここで、 E はヤング率で58GPa、 P は押し込み荷重で1.96N、 a は圧痕対角線長さの半長、 C はき裂長さの半長である。破壊靱性値の平均と標準偏差をまとめたものを図3に示す。A材およびB材の K_{IC} には差異は見られず、約 $1 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ であった。一方、端面においては長手方向(X方向)の K_{IC} はXZ面の値と大きな違いは見られないものの、これに垂直な厚さ方向(Y方向)での K_{IC} は約 $0.4 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ となり、約50%低くなった。この異方性の原因としてEPDに起因することが考えられるが、さらに検討が必要である。

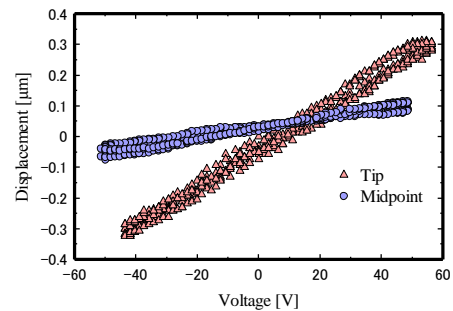


図1 圧電セラミックスの屈曲変位

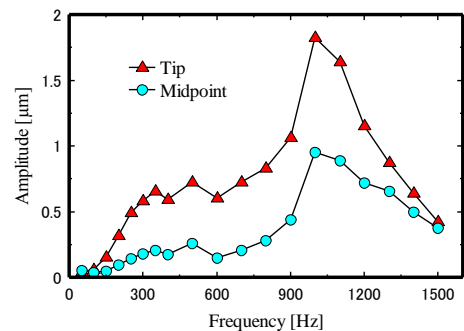


図2 変位に対する周波数の影響

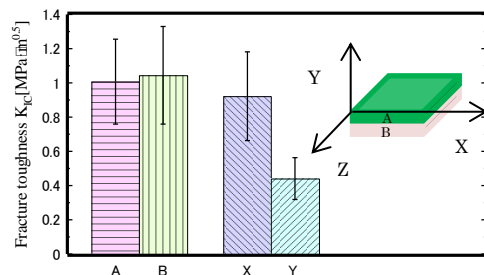


図3 各箇所での破壊靱性値

4. 結論

- (1) EPDによって作製した二層圧電セラミックスを用い、周波数200Hz、交流電圧 $\pm 50 \text{ V}$ を印加すると、先端は $0.3 \mu\text{m}$ 変形し、中央は $0.1 \mu\text{m}$ 変形した。
- (2) 周波数を50Hzから1.5kHzまで変化させた場合、先端部と中央部では同じ挙動が表れ、1kHz付近で共振が見られる。
- (3) 二層圧電セラミックスでは、板厚方向とこれに直交する方向での K_{IC} に異方性が見られた。