

2層一体焼結した片持ち圧電アクチュエータの変形特性

Deformation Characteristics of Two-Layer Sintered Cantilever Piezoelectric Actuators

システム工学群

材料強度学研究室 迫中 志歩

1 緒言

圧電セラミックスは、圧電効果とその逆効果の特性を併せ持つため、電気エネルギーと機械エネルギーを相互変換できる材料である。圧電材料をアクチュエータとして使用する場合は、この圧電逆効果を利用する。圧電アクチュエータの形式として主に積層型とバイモルフ型に大別できる。後者は、弾性版の両面に接着剤で圧電セラミックスを貼り付けた構造となっており、電圧をかけることで変形の横効果を利用し屈曲変位を得る。しかし、一般に異種材料を接着剤で接合しているため、繰り返し使用によって接着部での損傷が生じやすいことが問題としてあげられる。

この問題を解決するために、圧電材料自体の圧電特性を段階的に変化させることで屈曲変位を得る傾斜機能型圧電アクチュエータの研究が行われている。傾斜機能化の方法の一つとして、微細な空孔を材料内に傾斜分布させる方法がある。本研究では、微細な空孔導入のため、圧電セラミックス内にポリメチルメタクリレート粉(以下 PMMA)を混合させた圧電セラミックスとそうでない圧電セラミックスを積層成形、一体焼結した材料で2層片持ちはり型アクチュエータを作製し、その変位特性に及ぼす各層の圧電特性の差異がもたらす影響を調査した。

2 材料および実験方法

2.1 材料

本研究ではリラクサー型圧電セラミックスである $0.55\text{Pb}(\text{Ni}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3 - 0.45\text{Pb}(\text{Zr}_{0.3}\text{Ti}_{0.7})\text{O}_3$ (以下 PNN-PZT) を使用した。原料を組成式に基づき調合し、遊星ボールミルを用いて混合、粉碎し、 900°C で仮焼きを行った。

この PNN-PZT 仮焼粉に PMMA を 1.0 wt%、1.5 wt%、2.0 wt% の割合で混合した材料を準備した。仮焼粉の加圧成形には上下加圧が可能な油圧プレス機を用いた。アクチュエータとして使用する試料は1層目として PMMA を混合していない PNN-PZT 仮焼粉をダイに入れ、90 MPa、120 s で加圧成形した後、2層目として、PMMA を 1、1.5、および 2.0 wt% 混合した各仮焼粉を1層目の上に投入し、再度同じ条件で加圧成形した。(以下それぞれの2層材料を P10、P15 および P20 と記述する)その後、 1200°C 、2 h の条件で焼結させた。この工程によって PMMA を焼失させ、気孔を導入した。焼結後、 $22 \times 5 \times 1 \text{ mm}$ に加工し、両面研磨後、銀電極の焼き付けを行った。その後、高圧電源を用いて 2 kV/mm の電界を 100°C のシリコンオイルの中で30分間印加し分極処理を行った。

2.2 実験方法

各材料の分極後の圧電定数 d_{33} および静電容量 C をそれぞれ d_{33} メータおよび LCR メータにより測定した。2層材を固定部長 2 mm の片持ちはり型アクチュエータとして、図 1 に示す測定系を用いて電界を与えた時の変位を測定した。変位測定には高精度レーザー変位計(キーエンス, CL-P015)を用いた。変位を測定した位置を図 2 に示す。

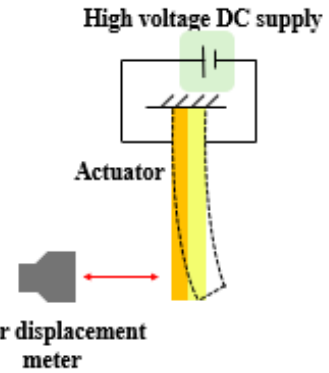


Fig.1 Schematic illustration of cantilever actuating test

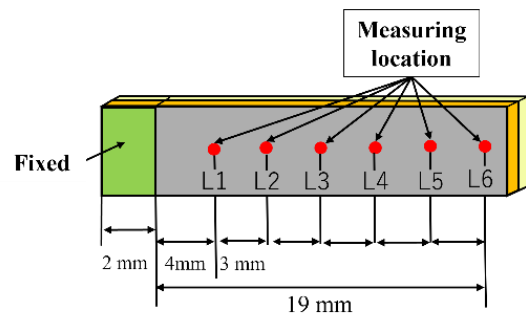


Fig.2 Measuring location

3 実験結果および考察

3.1 圧電特性

PMMA を各重量割合で混合し、焼結した材料の圧電定数 d_{33} と、静電容量 C から計算した比誘電率 ϵ の値を図 3 に示す。 d_{33} および ϵ は PMMA の添加量を増すに従い低下する。

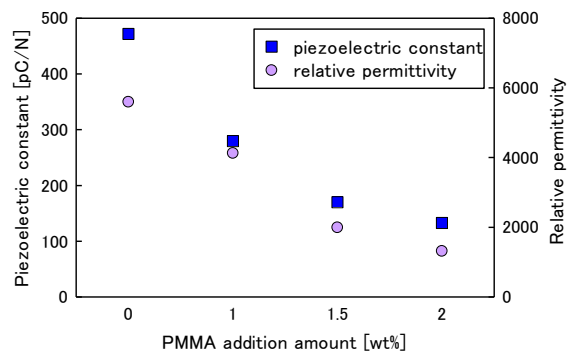


Fig.3 Piezoelectric constant and dielectric constant

Table 1 Material properties used in FEM analysis

		Elastic const [$\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{N}$]			Piezoelectric const [pC/N]		Dielectric const	
		s_{11}	s_{33}	s_{13}	d_{33}	d_{13}	ϵ_1	ϵ_3
PNN-PZT		14.5	16.1	3.59	472	236	5660	5600
PNN-PZT + PMMA	1.0wt%	16.5	18.3	4.09	280	140	4170	4130
	1.5wt%	18.3	20.2	4.53	170	85	2020	2000
	2.0wt%	20	22	4.96	133	66.5	1330	1320

3.2 アクチュエータ特性

片持ちはり型アクチュエータに電界を負荷したときのはり先端部（測定位置 L6）における屈曲変位と電界の関係を図 4 に示す。データは複数本の試験片の平均値である。すべての 2 層材において電界と変位にほぼ比例関係があることが分かった。また電界 300V/mm のときの変位を比べると P10, P15, P20 についてそれぞれ 6.26 μm , 10.5 μm , 11.1 μm となり、PMMA の添加量が多くなるほど変位も大きくなることが分かった。これは図 3 に示したように、PMMA の添加量が多くなると圧電定数も低下し、2 層間での圧電逆効果の差が大きくなり屈曲が大きくなったためである。

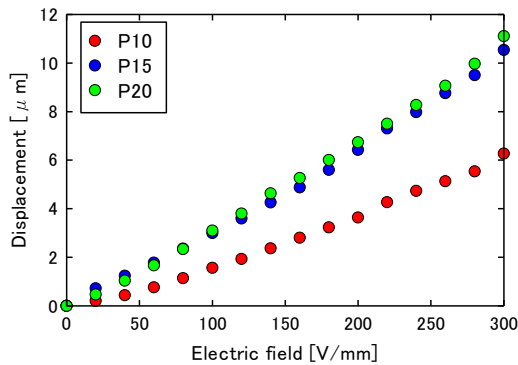


Fig.4 Effect of electric field on displacement

片持ちはり型アクチュエータに 300V/mm 一定の電界を負荷したときの測定位置 L1~L6 での変位を図 5 に示す。データは複数本の試験片の平均値である。P20, P15, P10 の順にすべての 2 層材において、固定部から先端に向かうにつれて二次関数的に変位が大きくなり、アクチュエータに屈曲変位が生じることが分かった。2 層のうち一方で PMMA の添加量を大きくすることによって、圧電特性の差が大きくなり、屈曲変位も大きくなると考えられる。

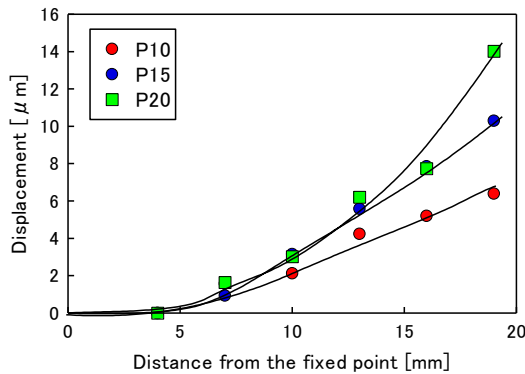


Fig.5 Deformed shape of actuators

4 有限要素シミュレーション

4.1 解析条件

汎用有限要素 (FEM) 解析パッケージ ANSYS_R1 を使用して、片持ちはり圧電アクチュエータの変形シミュレーションを行った。20 節点の連成解析要素を使用し、3 次元モデルを作成した。要素数は 4400 である。解析に使用した各材料の材料特性の一部を表 1 に示す。ただし、弾性コンプライアンスは一般的な PZT の値を d_{33} , ϵ_3 については実測値を使用している。

4.2 変形シミュレーション

P20, P10 について図 5 に示した実験結果と FEM 解析結果の比較を図 6 に示す。P10 の FEM の結果は実験値に比べ著しく小さい値となった。また、P20 では変位の符号が逆転しており実験とは反対方向に屈曲するという結果になった。今回の解析で使用した材料特性のうち、実際に計測した数値が d_{33} と ϵ_3 のみであり、 d_{31} および d_{15} については文献に基づき、それぞれ d_{33} の 0.5 倍、1.5 倍した値を使用した。そのため、実験結果とシミュレーションに大きな差が生まれたと考えられる。精度の高いシミュレーションには、 d_{31} などの変形に大きく寄与する定数の正確な評価が必要である。また、各層の厚さの精度と均一性も実験結果に影響していると考えられる。

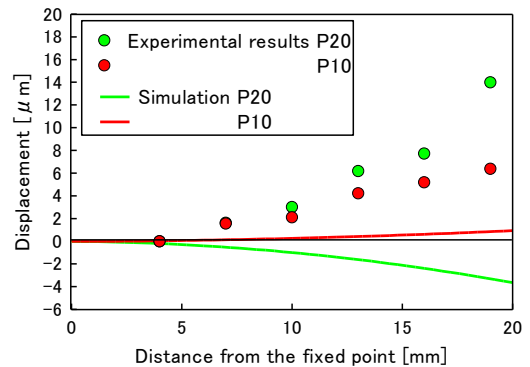


Fig.6 Comparison between experimental measurements and FEM

5 結言

圧電セラミックス内にアクリル樹脂 (PMMA) を混合させた材料と圧電セラミックス単体を積層焼結した片持ちはり型アクチュエータを作製し、その変位特性を調査した。

- 1) PMMA の混合割合を変えたすべての 2 層材で電界と変位に比例関係があることが分かった。
- 2) PMMA の添加量が増加するほど 2 層材の屈曲変位が大きくなった。これにより圧電特性の差が大きくなるほど屈曲変位も大きくなることが分かった。
- 3) FEM シミュレーション結果と実験結果を比較したところ P10 は大きな差があり、P20 に関しては実験結果と逆方向の屈曲が生じてしまった。

(参考文献省略)