

卒業論文要旨

微小空洞の導入により傾斜機能化させた圧電セラミックスの特性評価

Characterization of functionally graded piezoelectric ceramics with microcavity

システム工学群

材料強度学研究室 122007 安藤 基

1. 緒言⁽¹⁾⁽²⁾

圧電セラミックスは、電気的エネルギーと機械的エネルギーを相互変換できる材料である。この特性を利用したアクチュエータは圧電アクチュエータと呼ばれ、その代表的なものがバイモルフ型である。このタイプのアクチュエータは2枚の圧電セラミックスの間に弾性板を接着剤で貼り合わせた構造をしており、この圧電体に電界を加えることで比較的大きな屈曲変位が得られる。しかし異種材料を接合した構造に起因して、長期使用する場合に損傷が生じやすいという問題が指摘されている。

これを解決する目的で、圧電特性を材料内で傾斜化させ、異種材料の界面を無くした構造を有する傾斜機能化モノモルフ型アクチュエータの研究が行われている。傾斜機能化を行う方法はいくつかあり、本研究では材料内に微小空洞を形成させる方法に注目した。微小空洞形成のための材料としてアクリル樹脂粉末(以下 PMMA と記述)を圧電セラミックスに混合し、PMMA の重量割合が圧電特性ならびに強度特性に及ぼす影響についての調査を行った。また、PMMA の重量割合が異なる圧電セラミックスを二層に積層したアクチュエータを作製し、その強度特性ならびに出力変位特性の調査を行った。

2. 材料および実験方法

2.1. 材料

本研究では圧電セラミックスとしてリラクサー強誘電体である $0.55\text{Pb}(\text{Ni}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3-0.45\text{Pb}(\text{Zr}_{0.3}\text{Ti}_{0.7})\text{O}_3$ (以下 PNN-PZT と記述) を用いた。化学量論的に原料を計量し、遊星ボールミルを用いて湿式混合・粉碎した後、 900°C 、4時間の条件で仮焼を行った。仮焼後、バインダーを 8wt% 添加し、一軸加圧成形(約 65kN, 60s)を行い、 $25 \times 40\text{mm}$ の矩形型あるいは一軸加圧成形(約 13kN, 60s)を行い、直径 12mm の円板型の試験片を作製した。なお、PMMA の重量割合は 0wt%, 0.5wt%, 1.0wt%, 1.5wt%, 2.0wt% (以下 P0, P0.5, P1.0, P1.5, P2.0 と記述) とし、仮焼粉に添加した後乳鉢と乳棒を用いて混合した。その後前述と同様の手順で成形して、 1200°C 、2時間の条件で焼成後、曲げ試験は矩形型として $22 \times 5 \times 1\text{mm}$ に切断し、片面に鏡面研磨、面取りを施した。また、圧電特性測定用に作製した円板型の試験片の両面に鏡面研磨を施した後、銀電極を焼き付けた。

モノモルフ型アクチュエータ用としてそれぞれの割合が 1:1 となるように P0 と P1.0, P0 と P1.5, P0 と P2.0 (以下 BL0-1.0, BL0-1.5, BL0-2.0 と記述) を組み合わせた 3 種類の二層材を作製した。材料の分極処理として、 90°C のシリコンオイル中で $2\text{kV}/\text{mm}$ の電界を、高圧電源を用いて 30 分間印加した。

2.2. 実験方法

圧電特性として、 d_{33} メーターにより圧電定数 d_{33} を、LCR メーターにより静電容量を測定し、その結果から比誘電率 ϵ_r を求めた。

PMMA を各割合で混合、焼成した材料の三点曲げ試験には電磁力サーボ試験機(容量 100N)を用いて、支点間距離を 16mm, クロスヘッド送り速度 $0.1\text{mm}/\text{min}$ の条件下で試験を行った。また二層材については、PMMA が混合されている層が引張側となるように曲げ試験片を準備した。

二層材を用いて駆動部幅 5mm, 長さ 22mm の片持ちはり型アクチュエータを作製した。これに $360\text{V}/\text{mm}$ までの電界を負荷した時のはり先端および中央部でのたわみ δ_T および δ_C を高精度同軸レーザー変位計を用いて測定した。測定システムの模式図を図 1 に示す。

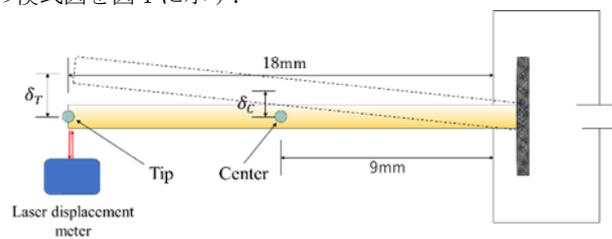


Fig.1 Schematic illustration of cantilever actuating test.

3. 実験結果

3.1. 圧電・誘電特性

圧電定数 d_{33} ならびに比誘電率 ϵ_r の測定結果を図 2 に示す。 d_{33} , ϵ_r ともに PMMA の重量割合が増加するにつれ値が低下していくことがわかった。これは、PMMA を添加したことにより微小空洞が増加し、電荷を蓄える圧電効果や分極を担う結晶の体積が減少したためと考えられる。

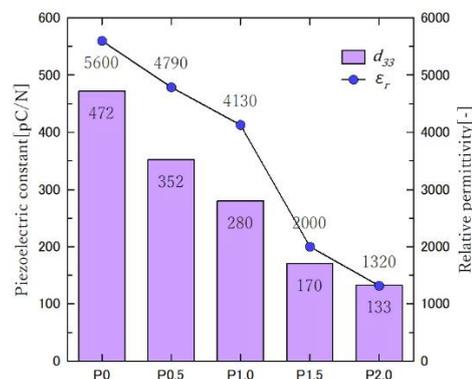


Fig.2 Piezoelectric constant and relative permittivity.

3.2. 曲げ強度

PMMA を各割合で混合した材料の曲げ強度 σ_f を図 3 に示す. PMMA の重量割合が多い材料ほど σ_f が低下し, P2.0 では非混合材の 50%程度の強度となることがわかった.

破壊応力をワイブルプロット⁽²⁾として図 4 に示す. ワイブル分布に当てはめた時の形状母数は P0, P0.5, P1.0, P1.5, P2.0 についてそれぞれ 9.48, 12.5, 8.18, 8.91, 9.78 となっており, P0.5 の値が若干大きいものの, どの材料も約 10 前後の値を示した.

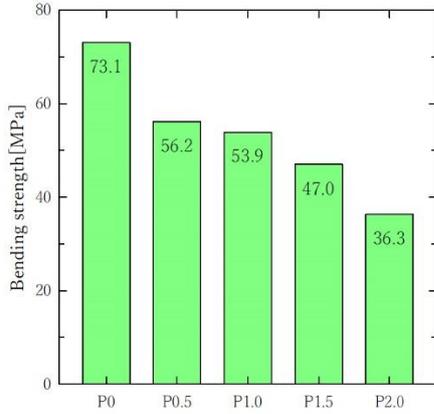


Fig.3 Bending strength of materials.

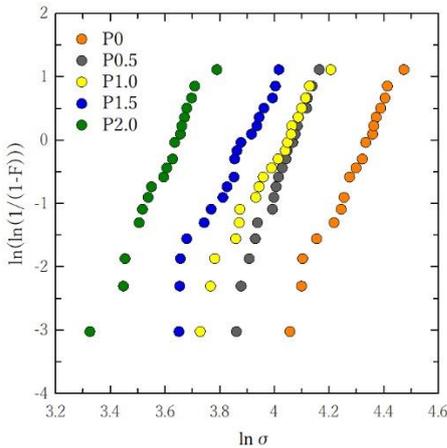


Fig.4 Weibull plots of fracture stress.

次に二層材の曲げ試験の結果を図 5 に示す. この結果から単層材と同様に PMMA の重量割合が多い材料ほど曲げ強度が低下することがわかった. また, 単層材と比べると強度が低下する傾向が見られた.

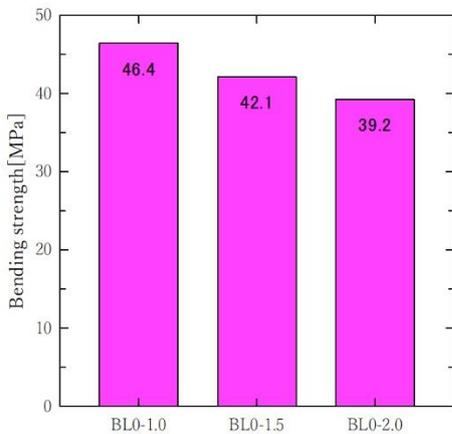


Fig.5 Bending strength of bi-layer materials.

3.3. アクチュエータ特性

二層材に電界を加えた時の先端と中央部のたわみと電界との関係を図 6 に示す. なお, データは複数本の試験片の平均値である. いずれの二層材においても中央部に対して先端のたわみが大きくなっており, 屈曲変位が得られていることがわかった. また, PMMA の重量割合が多い二層材ほど変位が大きくなっており, これは出力変位が二層材の各層間での圧電特性の差に起因することを示している.

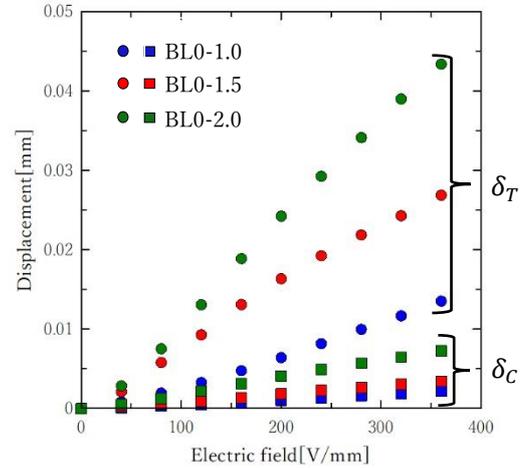


Fig6 Relationship between actuator displacement and applied electric field.

4. 結論

PMMA を添加させることにより微小空洞量を変化させた圧電セラミックスを製作し, 圧電特性ならびに強度特性の調査を行った. また, PMMA の重量割合が異なる二層の積層材を作製し, その強度特性ならびに変位特性を調査した. 得られた結果を以下にまとめる.

- (1) PMMA の重量割合が多くなるほど圧電定数と比誘電率は共に低下することがわかった.
- (2) 単層材, 二層材ともに PMMA の重量割合が多くなるほど強度は低下することがわかった
- (3) 二層材の強度は単層材と比べて強度が低下する傾向にあった.
- (4) 二層材を用いた片持ちはり型アクチュエータが電界負荷により作動することを確認した. また, PMMA の重量割合が多い二層材ほど出力変位が大きくなっていることがわかった.

参考文献

- (1) “圧電セラミックス テクニカル・ハンドブック”. 株式会社富士セラミックス.
- (2) KUSUMOTOKENJI. “圧電セラミックス, 強誘電体, セラミック・アクチュエーター読本”.
- (3) 松尾陽太郎. “セラミックスの寿命と破壊—ワイブル統計の利用—”. 株式会社 内田老鶴圃.