

アクリル樹脂粉末を混合した PNN-PZT セラミックスの諸特性評価

Various characteristics of PNN-PZT relaxor ferroelectrics mixed PMMA powder

知能機械工学コース

材料強度学研究室 1245019 夏井 心平

1. 緒言

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素子であり⁽¹⁾、アクチュエータの材料としても広く使われている。この圧電アクチュエータの代表的な種類であるパイモルフ型は弾性板の両面に圧電セラミックスを貼りつけた構造を有し、圧電体に電圧をかけることで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、長期の使用において損傷が生じやすいという問題が指摘されている。

これに対し、圧電特性を材料内で変化させる傾斜機能特性を持たせた、圧電体単体で屈曲変位を得るモノモルフ圧電アクチュエータの研究が行われている。この傾斜機能化の方法の一つに微細な空孔を材料内に傾斜分布させる手法がある⁽²⁾。本研究では、微細空孔導入のためアクリル樹脂粉末(以下 PMMA)を混合し、成形した圧電セラミックスのアクチュエータ材料への適用性を検討するため、その強度特性ならびに圧電特性を調査した。また、PMMA を混合した圧電セラミックスを二層に積層することで片持ちはり型アクチュエータを作製し、その強度特性ならびに変位特性を調査することで、実際に作製した二層傾斜機能型圧電アクチュエータの特性調査を行った。

2. 材料および実験方法

2.1 材料

本実験ではリラクサー型強誘電体セラミックスである $0.55\text{Pb}(\text{Ni}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-}0.45\text{Pb}(\text{Zr}_{0.3}\text{Ti}_{0.7})\text{O}_3$ (以下 PNN-PZT) を使用した。組成式に基づき原料を調査し、遊星ボールミルを用いて湿式粉碎・混合し、 900°C 、4 時間の条件で仮焼きを行った。仮焼き後、バインダーを 8wt% 添加し、一軸加圧成形 (90MPa 、 60s) を行い、 $25\times 40\text{mm}$ の矩形型あるいは直径 12mm の円形型とした。その後、 1240°C 、2 時間で焼成を行った。なお、PMMA の混合量は重量割合で 0%、0.5%、1.0%、1.5%、2.0% とし、仮焼粉に添加した後乳鉢と乳棒を用いて混合した(以下 P0, P0.5, P1.0, P1.5, P2.0)。

焼成後、矩形型の試験片を $20\times 5\times 1\text{mm}$ に加工し、片面を鏡面研磨、面取りを行い、曲げ試験片とした。円形型の試験片は圧電特性測定のため、両面の鏡面研磨の後、銀電極を焼き付けた。

一方、単純傾斜機能化材料として重量割合が 1:1 になるように P0 と P1.0, P0 と P1.5, P0 と P2.0 の三種類の二層材を作製した(以下 BL0-1.0, BL0-1.5 および BL0-2.0)。曲げ試験では PMMA 混合層表面を鏡面研磨し、この層が引張りとなるようにした。一方、変位特性を調査する試験片は両面研磨後、銀電極の焼き付けを行なった。その後分極処理を行うため、高圧電源を用いて 2kV/mm の電界を 90°C のシリコンオイル中で 30 分間印加する条件下で分極処理を行った。

2.2 実験方法

圧電特性として、 d_{33} メータにより圧電定数 d_{33} を測定した。また LCR メータ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。

三点曲げ試験には容量(100N)の電磁気力サーボ試験機を用いて、支点間距離 L を 16mm 、クロスヘッド送り速度 0.1mm/min の条件下で試験した。

2.3 アクチュエータ特性

BL0-1.0, BL0-1.5 および BL0-2.0 を用いて $20\times 5\times 1\text{mm}$ の片持ちはり型のアクチュエータを作製し、図 1 に示すような装置を用いてその駆動特性を調査した。電界を 0V/mm から 360V/mm まで 40V/mm ずつ変化させながら印加し、アクチュエータの先端のたわみ δ_t および中央部のたわみ δ_M についてレーザー変位計を用いて測定した。

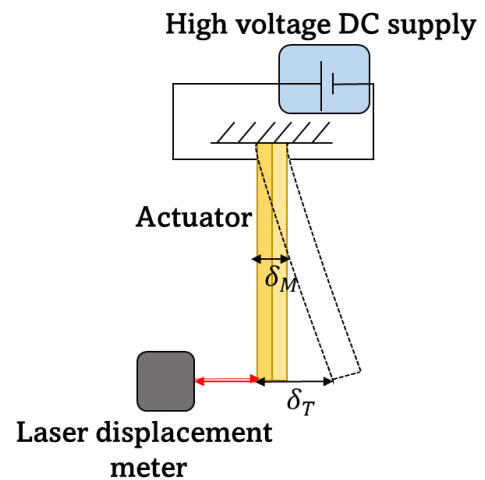


Fig.1 Schematic illustration of cantilever actuating test.

3. 実験結果および考察

3.1 圧電特性・比誘電率

圧電特性ならびに比誘電率の測定結果を表 1 に示す。 d_{33} 、 ϵ_r ともに PMMA の混合量が増加するにつれ、値が低下することが分かった。これは、PMMA 混合により材料の均質性が低下したこと、空孔の増加により電荷を蓄える結晶が占める体積が減少したことが影響していると考えられる。

Table 1 Piezoelectric and electric properties

	P0	P0.5	P1.0	P1.5	P2.0
d_{33} (pC/N)	472	352	280	170	133
ϵ_r (-)	5600	4790	4130	2000	1320

3.2 曲げ強度

PMMA を各割合で混合した材料の曲げ強さ σ_f を図 2 に示す。PMMA 量が増加するにつれ σ_f が低下することが分かった。また、破壊応力の結果をワイブルプロット⁽³⁾として図 3 に示す。ワイブル分布に当てはめたときの形状母数は P0, P0.5, P1.0, P1.5 および P2.0 についてそれぞれ 9.48, 12.5, 8.18, 8.91, および 9.78 を示しており、P0.5 では若干大きいものの、9 前後の値を示した。

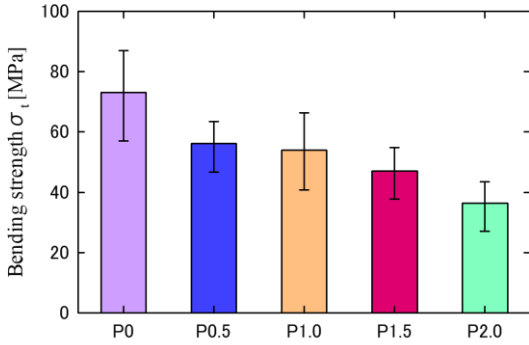


Fig.2. Bending strength of materials.

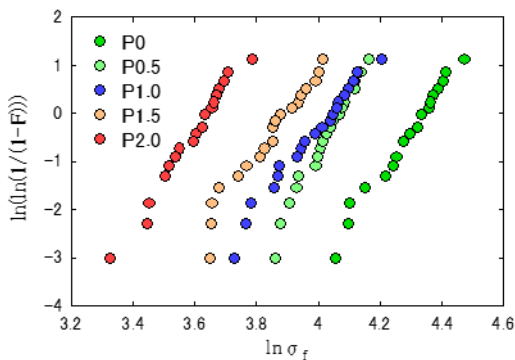


Fig.3 Weibull plots of fracture stress.

次に、二層材の曲げ試験の結果を図 4 に示す。また、ワイブル分布に当てはめたときの形状母数は BL0-1.0 BL0-1.5 BL0-2.0 についてそれぞれ 12.8, 9.42 および 9.84 を示した。この結果から単一材の σ_f と比較して若干強度が低下する傾向が見られた。加えて、単一材と比較して強度のばらつきが小さくなった。これは焼成時の収縮により、PMMA 添加層に残留応力が生じたことが影響していると考えられる。

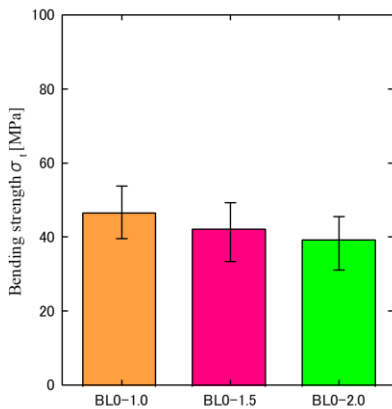


Fig.4 Bending strength of bi-layer materials.

3.3 変位特性

片持ちはり型アクチュエータに電界を負荷した時の先端部と中間部の変位と電界との関係を図 4 に示す。なお、データは複数本の試験片についての平均値である。いずれの二層材においても中央部に対して先端部の変位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、電界が 360V/mm のときに得られた各試験片の先端部の変位は FGM0-1.0, FGM0-1.5 および FGM0-2.0 についてそれぞれ 13.8 μ m, 26.8 μ m および 43.4 μ m となっており、空孔割合の差が大きくなることで変位が大きくなることが分かった。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す。

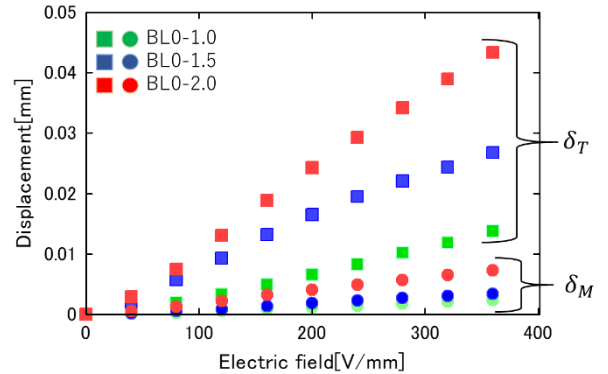


Fig.4 Relationship between actuator displacement and applied electric field.

4. 結論

PMMA 混合により微細空孔量を変化させて圧電セラミックスを作製し、圧電、電気特性ならびに強度特性を調査した。また、異なる PMMA 混合割合の圧電セラミックスを積層することで二層材のアクチュエータを作製し、その二層材の強度、変位特性を比較した。得られた結果は以下のとおりである。

- 1) PMMA 混合割合が増加するにつれ、比誘電率、圧電特性は低下することが分かった。
- 2) PMMA 混合割合が増加するにつれ強度が低下する傾向が見られた。また、混合割合による強度のばらつきに大きな変化は見られなかった。
- 3) 単傾斜機能化圧電セラミックスでは、単一試験片と比較し、混合割合による強度の差が小さくなることが分かった。また、強度のばらつきに関しても単一材と比較し、ばらつきが小さくなった。
- 4) 二層に積層した材料によるアクチュエータでは屈曲変位が得られた。また、二層間の混合割合の差を大きくすることで試験片の屈曲変位も大きくなっており、圧電特性の差が出力変位の大きさに影響することが示された。

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) 真弓 悠, 新島 聖治 “傾斜気孔構造を有する多孔質セラミックスの作製”(三井工業研究所 研究報告書 No. 39 2015)
- (3) 淡路 英夫. “セラミックス材料強度学” (株式会社コロナ社, 2001) 89-95