

細孔構造を有する PNN-PZT セラミックスを用いた

圧電アクチュエータに関する研究

Study on piezoelectric actuators using PNN-PZT relaxor ferroelectrics with fine pore structure

知能機械工学コース

材料強度学研究室 1255008 岸本 直也

1. 緒言

圧電セラミックスは機械的エネルギーと電氣的エネルギーを相互に変換することができる圧電特性を持った材料であり、センサーやアクチュエータに利用されている。圧電セラミックスを用いたアクチュエータの代表的なものとして2枚の圧電セラミックスで弾性板を挟み込む構造のバイモルフ型と呼ばれるアクチュエータがある。これは各圧電体が逆方向に変形することで大きな屈曲変位を出力できるが、異種材料接合部で長期使用による損傷が生じる問題点が指摘されている。

この問題点を解決するために異種材料の接合部が存在しない傾斜機能材料を用いたモノモルフ型圧電アクチュエータに関する研究が行われている。圧電アクチュエータを傾斜機能化する方法としていくつかの方法があり、その一つに材料に気孔を厚さ方向に傾斜的に分布させる方法がある。

本研究では圧電セラミックスにアクリル樹脂粉末 PMMA を添加することで材料特性を制御することを考えた。PMMA の添加割合を変化させた圧電セラミックスを作製し、機械的特性と圧電特性を調査した。また PMMA の添加割合が異なる圧電セラミックスを積層したアクチュエータの機械的特性並びに出力特性を調査した。

2. 材料および実験方法

2.1. 材料

本研究では圧電特性が優れることが知られているリラクサー型強誘電体の一種である PNN-PZT 圧電セラミックス $[0.55\text{Pb}(\text{Ni}1/3\text{Nb}2/3)\text{O}_3 - 0.45\text{Pb}(\text{Zr}0.3\text{Ti}0.7)\text{O}_3]$ (以下 PNN-PZT) を使用した。組成式に基づき調合し、遊星ボールミルを用いてエタノール中で湿式混合、粉碎を行った。その後エタノールを蒸発させ、電気炉で 900°C 、4 時間の条件で仮焼きを行った。バインダーを加えた仮焼き粉に PMMA を所定の重量割合混合、攪拌し、 $40 \times 25\text{mm}$ の型を用いて 90kN 、60 秒の条件で一軸加压成形をし、 1200°C で 2 時間焼結した。PMMA は重量割合で 0wt%、0.5wt%、1.0wt%、1.5wt% および 2.0wt% とした。積層材は $40 \times 25\text{mm}$ の型に各仮焼き粉を一層ずつ敷き詰め単層材と同条件で一軸加压成形、焼結を行った。(以下 0wt%、1.0wt%、2.0wt% の三層積層材を PNN-PZT0-1-2 とする)

焼結した材料はダイヤモンドカッターを用いてヤング率測定用に $40 \times 5.4\text{mm}$ 、三点曲げや圧電特性測定用に $25 \times 5.4\text{mm}$ に切断した。その後、切り出した試験片をバフ研磨した。三点曲げ試験用、ヤング率測定用試験片については引張り側となる面に鏡面仕上げを施した。圧電特性測定用試験片は両

面鏡面仕上げを行い、両面に 700°C 、3 時間の条件で銀電極を焼き付けた。

2.2. 実験方法

圧電特性を評価するため、分極処理を行った。 90°C に保ったシリコンオイル中で銀電極間に 2kV/mm 、30 分の条件で電界を印加し、その後エージング処理を行った。圧電特性および電氣的特性はそれぞれ d_{33} メーター及び LCR メーターを用いて測定した。

ヤング率を測定するために四点曲げ負荷を行った。試験片にひずみゲージを貼付し 2N から 10N の荷重制御、支点間距離 10mm の条件で測定した。

積層材の曲げ強度を求めるために三点曲げ試験を行った。クロスヘッド速度 0.5mm/min 、支点間距離 16mm の条件で行った。ヤング率測定および三点曲げ試験は電磁気力サーボ試験機を用いた。

積層材のアクチュエータ特性を求めるためにレーザー同軸変位計を用いて、電界負荷時の変位出力を測定することで電界強さの影響を調査した。

3. 実験結果及び考察

3.1. 圧電定数

各材料の圧電定数 d_{33} を測定した結果を図1に示す。PMMA を添加しなかった 0wt% が最も高い値を取り、PMMA の添加量が増加するにつれて圧電定数 d_{33} の値は減少することが確認された。これは PMMA を添加することによって材料の均質性の低下したこと、材料内の気孔密度が増加し、材料の密度が低下したことが原因であると考えられる。

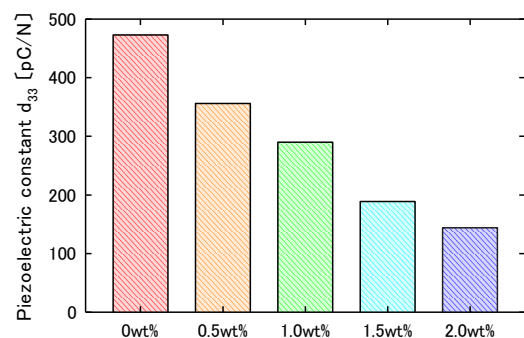


Fig.1 Effect of PMMA content on piezoelectric constant

3.2. ヤング率

四点曲げによって測定された各材料のヤング率を図 2 に示す. PMMA を添加しなかった 0wt% が最も高いヤング率を示し, PMMA の添加量が増加するにつれて値が添加量に比例して減少することが確認された.

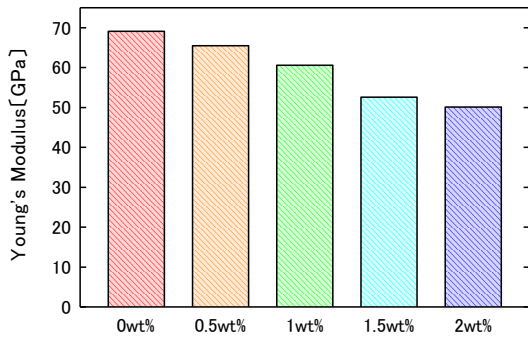


Fig.2 Effect of PMMA on Young's modulus

3.3. 曲げ強度

三点曲げ試験によって得られた各材料の曲げ強度を図 3 に示す. 三点曲げ試験での破断応力の分布をワイブルプロットとして図 4 に示す. PMMA を添加しなかった 0wt% が最も高い強度となり, PMMA の添加量が増加するにつれての強度が低下することが分かった.

また図 4 のワイブルプロットから得られた形状母数の値は 0wt% から順に 9.48, 12.5, 8.18, 8.91, 9.78 という値が得られた. 0.5wt% では 12.5 という他と比べて高い値を取ったが, ほぼ値は 9 であり, 気孔率による強度のばらつきに対する影響は見られなかった.

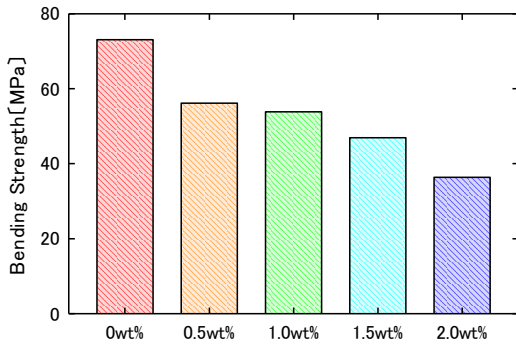


Fig.3 Effect of PMMA on Bending strength

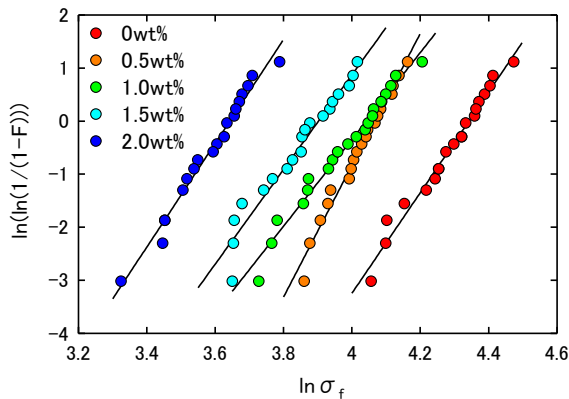


Fig.4 Weibull plots of fracture stress

3.4. アクチュエータ出力特性

PNN-PZT0-1-2 の焼結材料より 25×5.4mm に切断し, 分極処理を行うことで片持ちはり型アクチュエータを作製した. このアクチュエータに電界 400V/mm まで負荷した時のアクチュエータ先端部 P1 と中央部 P2 (先端から 13mm の位置) での変化を測定した結果を図 5 に示す. 負荷した最大電界までは出力変位が印加電界に比例して増加することが分かった. またアクチュエータの長手方向の変位が先端に向かって放物線上に増加することも確認できたことからアクチュエータとして十分機能できると思われる.

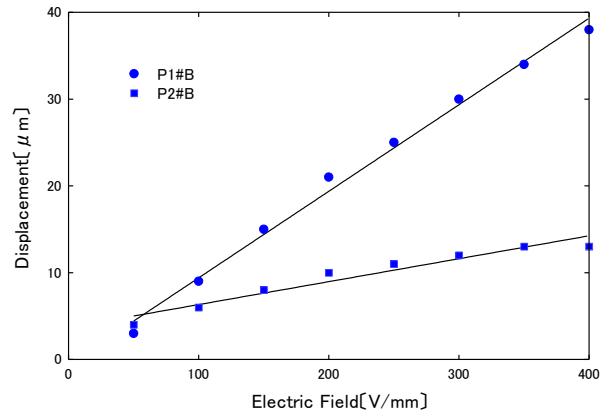


Fig.5 Actuator characteristics for each voltage

4. 結言

PMMA を用いて PNN-PZT 圧電セラミックス内の気孔量を制御した圧電セラミックスを作製し, 強度特性並びに圧電特性について調査を行った. また, 異なる PMMA 混合割合を持つ三層積層圧電アクチュエータを作製し, その強度及び直流電界を付与した際のアクチュエータ特性について調査した. 得られた結果は以下の通りである.

- (1) PMMA の添加割合が増加するにつれて圧電定数 d_{33} が低下することがわかった.
- (2) PMMA の添加割合が増加するにつれてヤング率が低下することがわかった.
- (3) PMMA の添加割合が増加するにつれて, 曲げ強度が低下することを確認した. また気孔率による強度のばらつきに対する影響は見られなかった.
- (4) PNN-PZT0-1-2 のアクチュエータ出力特性を測定し, 出力変位が印加電界に比例して増加することが分かった. またアクチュエータの長手方向の変位が先端に向かって放物線上に増加することも確認できた. これらより本材料がアクチュエータとして機能しうることがわかった.