

医用マイクロマシンのための新素材開発

化学食品部 北川賀津一 松田 章 豊田丈紫
機械電子部 坂谷勝明 多加充彦
繊維部 中島明哉

1. 目的

近年，電気機能電子部品の小型化が進んでいる。また機械工作における加工技術はミクロンからサブミクロンのオーダーに入り，制御技術の必要性が高まっている。圧電アクチュエータは高速応答，変位の高分解能，小型，高剛性を持つので，動力分野デバイスとして注目されている。

本事業では，細胞操作などのバイオ分野への応用を目的に，圧電アクチュエータを組み込んだマニピュレータ装置の試作を行っている。このように動力分野デバイスの圧電セラミックスは優れた特徴を持つが，長時間の使用による疲労破壊が問題となっている。本研究では，試作した PZT(ジルコン酸チタン酸鉛， $Pb(Zr,Ti)O_3$)圧電セラミックス(以下 PZT と略す)にパルス電圧を印加し，共振振動させて，試料の温度上昇，圧電特性と試料破壊について検討した。

2. 内容

2.1 疲労試験装置

PZT の疲労試験は以下の部品で構成される装置を用いて行った。パルス電圧発生器で正弦波の交流電圧を発生させる。1 正弦波は周波数 50kHz(1 波長 260 μ s)で，13 波長を 1 パルスとした。パルス発生器は電圧の大きさとパルス発生回数を変化できる。PZT は試料長手方向で 50kHz で共振振動するように機械加工した矩形状試料を使用している。パルス電圧を印加し，電圧印加部分を節として波長の半分である $l/2$ モードで共振振動させる。試料中央部の上昇温度(発熱)を熱電対で，圧電特性はインピーダンスアナライザ(HP-4192A)で共振反共振周波数から調べた。疲労試験で破壊した試料は，その破断面を走査型電子顕微鏡(H-8010)で観察した。

2.2 試料上昇温度

電子機器の高周波化に伴い圧電アクチュエータが小型・薄型になり，上昇温度が大きい。上昇温度が大きくなると電子部品の動作や疲労に問題を起こすことが知られている。今回，2 種類の市販品から試作した PZT(high- Q_m 材(機械的品質係数(Q_m)値が 1000 以上と大きい材料)と low- Q_m 材(Q_m 値 100 以下で小さい材料))に印加する電圧を変えた場合の試料の上昇温度について調べた。high- Q_m 材は機械的振動による弾性損失が少ないので，超音波モータや圧電トランスに用いられる。一方，low- Q_m 材は機械的損失よりも圧電定数が重要になるアクチュエータやセンサに用いられる。実験結果からは一般に弾性損失の大きい low- Q_m 材の方が上昇温度は大きい(図 1)。60V 印加では他の電圧と比較して上昇温度は低い。しかし，他の電圧間では上昇温度に差異はほとんど無い。これは振動による伸びが飽和に達したためである。

次に印加電圧を固定しパルス回数を変え上昇温度を調べた。low- Q_m 材は最大 27 (図 2)

の上昇温度を示す。high- Q_m 材は最大 12 であった。前述の印加電圧とは異なり、パルス回数にほぼ比例して上昇温度は大きくなる。

2.3 圧電特性

パルス電圧印加後の圧電特性(電気機械結合係数(k_{31})と Q_m)を調べた。high- Q_m 材と low- Q_m 材の k_{31} 値はパルス電圧を印加しても低下がみられない。 Q_m 値は low- Q_m 材で 17% , high- Q_m 材で 37%の低下がみられる(図 3)。弾性損失の少ない high- Q_m 材で弾性損失に関して大きい疲労がみられる。

2.4 試料破壊

パルス電圧印加中に破壊した試料について調べた。試料破壊は high- Q_m 材発生し ,low- Q_m 材で生じない。電子顕微鏡からは粒界破壊が主に確認された。パルス電圧を繰り返し印加している間に、粒界を通じてクラックが進行し破壊する。low- Q_m 材の静的強度である 4 点曲げ強度は high- Q_m 材よりも約 20%小さい。しかし、疲労試験で破壊するのは high- Q_m 材である。この点に関しては以下のように理由付けされる。low- Q_m 材はソフト材、high- Q_m 材はハード材というふうにも分類される。材質の柔らかい low- Q_m 材は繰り返し応力が印加された際に、応力を緩和する機構が働きクラックが粒界を進行しづらくなる可能性がある。

3. 結果

マニピュレータ装置では精密な位置決め low- Q_m 材の PZT が使用されている。今回、PZT が共振振動する時の疲労特性について調べ、以下の結果が得られた。

- (1) 試料の上昇温度の最大値は、low- Q_m 材は 27 , high- Q_m 材は 12 で、パルス数に比例して大きくなった。
- (2) 120V 以上の電圧では上昇温度が飽和に達して一定になった。これは共振振動による伸びが一定に達したためである。
- (3) Q_m は low- Q_m 材で 17% , high- Q_m 材で 37%の低下した。
- (4) low- Q_m 材は本疲労試験で破壊せず、耐久性があることがわかった。

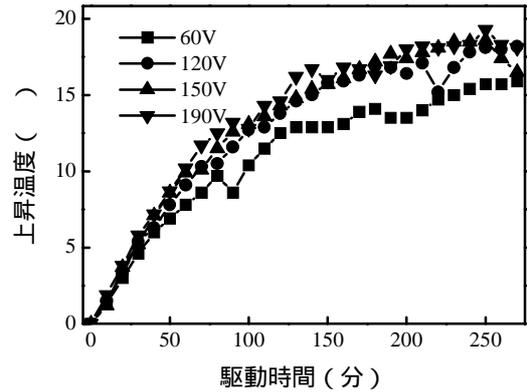


図 1 印加電圧と上昇温度

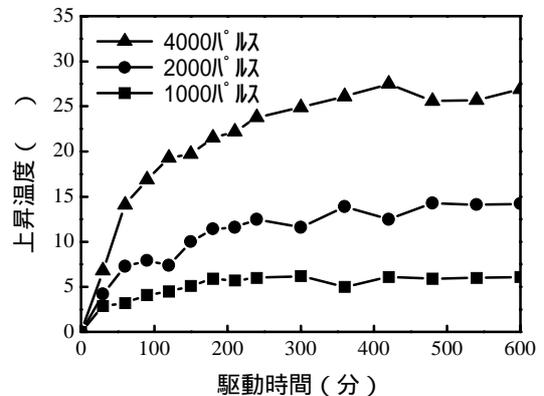


図 2 パルス数と上昇温度

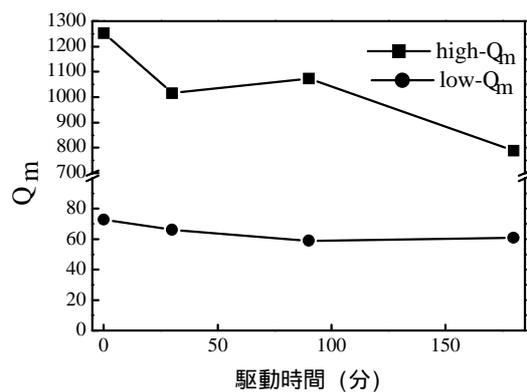


図 3 機械的品質係数 Q_m の経時変化