

PLZT素子を用いた静電型光モータの研究

産業技術総合研究所
森川 泰・一木正聡

1. はじめに

光アクチュエータとは、光のエネルギーと情報を積極的に利用するアクチュエータのことで、高い耐電磁ノイズ性や非接触エネルギー供給、小型軽量など優れた特徴を合わせ持つ可能性を秘めている。光歪素子であるPLZT素子は、光エネルギーの照射を受けると機械的変位を発生する光歪効果という優れた特性を有しており、光アクチュエータへの応用が期待されている。これまでも、PLZT素子の光歪効果を利用する光アクチュエータに関する研究^{1),2),3)}が行われている。しかし、これらはPLZT素子の物理特性から光照射で機械的変位を直接発生できるが、発生変位が非常に微小であった。

そこで、産業技術総合研究所では、PLZT素子の持つ特性のうち光起電力効果によって発生する高電圧を利用して大きな変位の機械運動を取り出すアクチュエータである静電型光モータの研究開発⁴⁾を行っている。これは新機構の光アクチュエータで、回転運動を発生するためにPLZT素子の光起電力効果でできる高電圧と静電力を利用しているのが特徴である。この静電型光モータの駆動原理と、原理を確認するための基礎実験の結果を紹介する。

2. 静電型光モータに用いるPLZT素子

素子の材料であるPLZTセラミックスは、1969年に米国のDr. Haertlingの研究によって透明性強誘電体セラミックスとして発見され、後に光照射により定常的な起電力を生じる現象が確認された材料で、チタン酸鉛(PbTiO₃)とジルコン酸鉛(PbZrO₃)の固溶体に酸化ランタン(La₂O₃)を添加して焼結させたチタン酸ジルコン酸ランタン鉛のことで、ペロブスカイト型結晶構造を持ったセラミックス多結晶体であり、圧電材料の一種である。このPLZTセラミックスの組成式は一般に、



で表される。y=0.03, z=0.52の時に最も光歪効果が高いと言われており、この組成では褐色のセラミックスである。このPLZTセラミックスの両端に電極を作製し、分極処理を

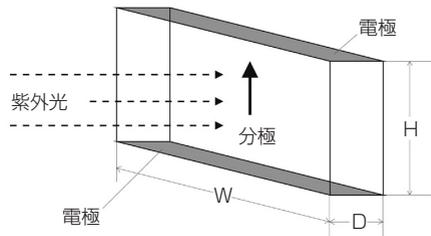


図1 PLZT素子

施したものがPLZT素子である。図1に示すように、波長が365nm程度の紫外光をこの素子の側面に照射すると、素子は光起電力効果で分極方向に内部起電流を発生し、その結果電荷が電極に蓄えられることで発生する高電圧の圧電効果で機械的歪みを生じる。この二つの効果を総称して、光歪効果と呼んでいる。この光起電力効果で発生する電流は微弱であるが、発生電圧は非常に高い。光起電力効果によって発生する電圧は、電極間の距離である素子の高さ H で決まる。電極間距離当たりの発生電圧は3.3kV/cmであり、小さな素子単体で高電圧を発生できることがわかる。光起電流は照射光の強度に比例する。

3. 静電型光モータの駆動原理

まず、静電型光モータの基本原理を説明する。図2に示すように2枚の平行な固定子極を配置し、それぞれをPLZT素子の両端の電極に電氣的に接続する。この2枚の平行な固定子極の間に移動子極が固定子極と平行で一部重なる状態に置かれた時にPLZT素子に紫外光を照射すると、2枚の固定子極間に高電圧が発生し、この高電圧による静電力で固定子極と移動子極が重なる方向に力が発生する。固定子極と移動子極の幅 w が大きいほど、固定子極と移動子極の間隔 d が狭いほど、また固定子極と移動子極の間の電圧が高いほど、発生する静電力による駆動力 F は大きくなる。マイクロマシンのような微小構造では駆動力として静電力が有効なので、高電圧を

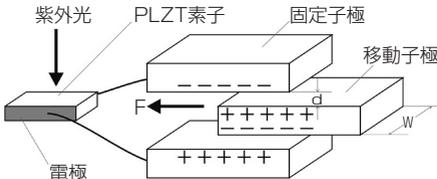


図2 光起電力効果と駆動力

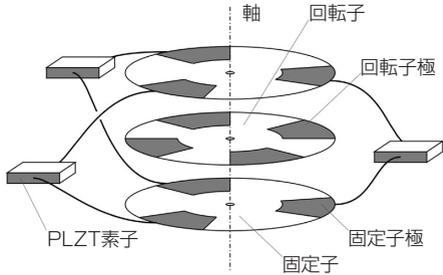


図3 静電型光モータの機構

発生できるPLZT素子はマイクロマシンと相性が良いことがわかる。従って、将来マイクロマシンなどの動力源としての応用が期待される。

静電型光モータは、このような駆動力を連続的に発生させて回転運動を取り出すために図3に示すような機構をしている。この図で

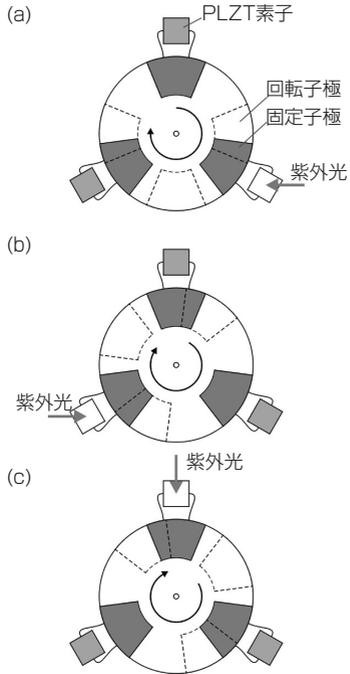


図4 駆動原理

は最も単純な場合として、固定子極が3個で回転子極が4個の場合を示す。固定子極と回転子極の数を増やすことで、発生力を大きくできる。この例では、円盤の円周上に3個の極を配置した2枚の平行な固定子の間に、4個の極を配置した回転子を平行に配置している。対となる上下の固定子極はそれぞれPLZT素子に電気的に接続されている。回転子は軸に固定されており、その軸は軸受けによって保持されている。

連続的に回転させるための行程を、図4に示す。この図は、固定子と回転子を回転子の軸方向から見た図で、回転子極は点線で描かれている。図4 (a) では、図中の上にある固定子極のところで回転子極が固定子極と重なっている。このような位置関係にある時に右下のPLZT素子に光照射を行うと、右下の固定子極間に高電圧が発生して回転子極が静電力によって引き寄せられ時計回りに回転し、図4 (b) の位置関係まで回転する。次に、左下のPLZT素子に光照射を行うと、左下の固定子極間に高電圧が発生し左下の回転子極が引き寄せられて時計回りに回転し、図4 (c) の位置関係まで回転する。同様に、今度は上のPLZT素子に光照射すると、図4 (a) の位置関係まで回転する。この三つの行程を繰り返すことにより、連続的に回転させることができる。

この静電型光モータの特徴は、光によって非接触でエネルギー供給とコントロールが行え、回転運動で、しかも大変位の機械運動を取り出せることである。また、固定子極や移動子極を直線上に配置すれば、リニアモータとすることも可能である。

4. 基礎的駆動実験

静電型光モータを連続的に駆動させるためには図4で示した3行程を繰り返し行う必要

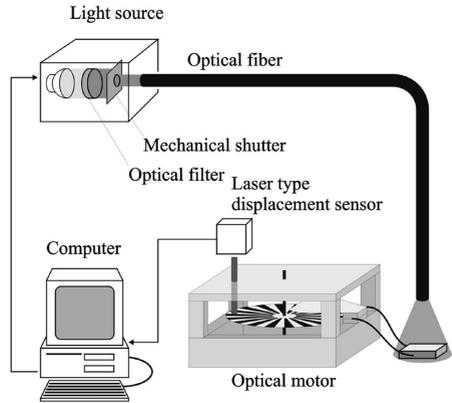


図5 実験装置

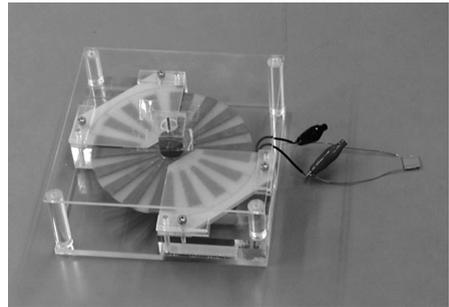


図6 静電型光モータの実験装置

があるが、ここでは、そのうちの1行程のみ駆動させた時の回転子の動きを計測した実験結果を紹介する。この実験装置の構成を図5に示し、試作した静電型光モータを図6に示す。回転子の直径が100mm、固定子と回転子の間隔が0.5mmで、高さが10mm、幅が10mm、厚さが0.5mmのPLZT素子を備えた静電型光モータである。発生力を稼ぐために固定子の極の数を増やしてあり、一つの固定子の極の円周方向の幅は10°である。大きな発生力を得るために固定子極や回転子極の極数は増やしてあり、一組の固定子極は五つの極から構成されていて、一つのPLZT素子に接続されている。照射する光は、光強度が約

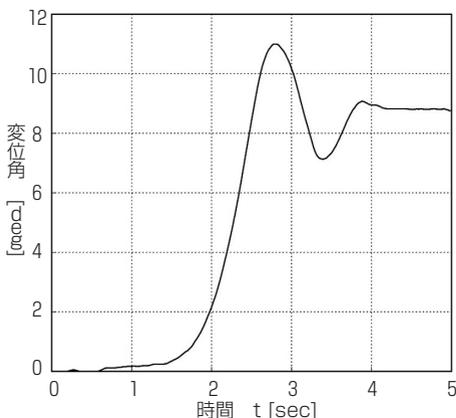


図7 実験結果

0.2W/cm²の紫外光である。

固定子極と回転子極の幅10°のうち約1°だけ重なる状態を変位角0°の初期状態とし、光照射開始時を時間0としてPLZT素子に光照射を行い、回転子の動きを計測した。図7に示すように照射開始から約0.6秒で動き出す兆候があり、1.4秒頃から大きく動き出している。そして2.5秒後に、固定子極と回転子極が完全に重なる位置である約9°まで回転している。回転子に慣性があるために、固定子極と回転子極が完全に重なる位置を通り過ぎても回転し続けようとするが、今度は同じ大きさで逆向きの静電力が掛かるので回転子はこの位置の周りで振動し、最終的には収束して静止している。動き出すまでに時間が掛かっていることと、動きが非常にゆっくりであることから、発生する静電力に対して回転子を保持している軸受けでの摩擦力が相対的に大きいと推測される。そこで、図7のデータから解析した結果、静電力によって発生している駆動トルクは約 2.15×10^{-5} Nmで、動摩擦トルクは約 0.81×10^{-5} Nmであった。この結果から発生する駆動トルクは小さく、かつ相対的に摩擦トルクが大きいことがわかる。

以上の結果から、実用化のためには機構や素子の改良が必要ではあるが、サイズ効果を考えればマイクロマシンなどの分野で利用が期待出来ると考えられる。

5. まとめ

これまでに、我々はPLZT素子を持つ特性のうち光起電力効果を利用して機械運動を発生させる静電型光モータを提案し、試作した実験装置では、ゆっくりとした回転しか実現できていないが、静電型光モータが実現可能なことを明らかにしてきた。現時点では、まだまだ基礎研究の段階であるが、光モータの機構の改良や小型化などの研究を進め、この静電型光モータの特性を發揮できるアプリケーションを見出して行きたい。また、光モータ以外にもPLZT素子の利用方法は考えられ、センサとしての応用なども検討している。

参考文献

- 1) 中田・他3名：光サーボシステムの基礎的研究-PLZT素子における光起電力効果の電氣的モデル-(「機論」, 58-552, C(1992), 2513)
- 2) Ichiki, M. et al.: Photostrictive Actuators and Its Some Characteristics (Ferroelectrics, Vol. 232 (1999), 259)
- 3) 森川・中田：PLZT素子を用いたバイモルフ型光アクチュエータ-第1報, オン・オフ制御による光アクチュエータの変位制御-(「機論」63-612, C(1997), 2714)
- 4) 森川・他2名：PLZT素子を用いた静電型光モータの研究-駆動原理と基礎的実験-(「機論」69-684, C(2003), 2101)