

圧電アクチュエータの応用

間宮 洋一

要 旨

圧電アクチュエータは、高変位精度、高速応答性、高発生力を特徴とするデバイスです。これまで精密位置制御を必要とする産業機械分野で応用が進められてきましたが、近年デジタルカメラや携帯電話などの小型電子機器への応用が急加速で進められています。

キーワード

●圧電アクチュエータ ●精密位置制御 ●小型電子機器

1. はじめに

アクチュエータとは、入力したエネルギーを機械的なエネルギーに変換するデバイスの総称であり、入力するエネルギーにより様々なものが開発され実用化されています(図1)。電磁アクチュエータや油圧・空圧アクチュエータは、電磁力や圧力によりピストンを動かし、間接的に変位を得るものです。これに対して、圧電アクチュエータは、固体の変形を直接利用するもので、他のアクチュエータに比較して、変位精度が高い、発生力大きい、応答速度が速いなどの特徴を有しています。このような特徴を活かして、圧電アクチュエータは、半導体露光装置の極微動用ステージ、精密位置決めプローブ、走査トンネル顕微鏡(STM)や原子間力顕微鏡(AFM)などのプローブ駆動用など、主に精密位置制御を必要とする産業機器を中心に応用が進められてきました。

また、駆動用コイルを必要とせず、デバイスの小型化が容易であること、エネルギー変換効率が高く、低消費電力化に優位であることから、近年、デジタルカメラや携帯電話端末などの民生機器への応用が急速に進められています。

以下、圧電アクチュエータの特徴と、応用領域の推移と今後について紹介します。

2. 圧電アクチュエータの特徴

圧電アクチュエータに使用される圧電セラミックスは、セラミックスに機械的エネルギーを加えると、電気的エネルギーを発生し(圧電効果)、逆に電気的エネルギーを加えると、機械的エネルギーを発生する(逆圧電効果)機能を有する材料です(図2)。

圧電アクチュエータは、この逆圧電効果を利用したデバイスで、たとえば、厚さ1mmの圧電セラミックス板に、1,000V程度の電圧(1,000V/mmの電界)を加えると、逆圧電効果により約1 μ mの変位が得られます。このままでは高い駆動電圧で微小な変位しか得られず、実用上問題があるため、低駆動電圧で大きな変位が得られるよう、構造的に工夫をした圧電アクチュエータが実用化されています。

圧電アクチュエータの駆動電圧を低下させるには、セラミックスの厚さを薄くする必要があります。たとえば、厚さを0.5mmにすると、駆動電圧500Vで1,000V/mmの電界を印加できることになり、低電圧駆動化が可能になります。図3に代表的な圧電アクチュエータの模式図を示します。

図3(a)は、圧電バイモルフと呼ばれるアクチュエータで、数100 μ mの厚みに加工した圧電セラミックス板2枚で金属板を

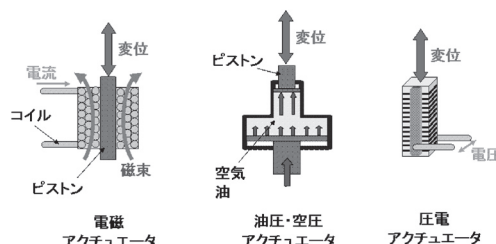


図1 種々のアクチュエータの模式図

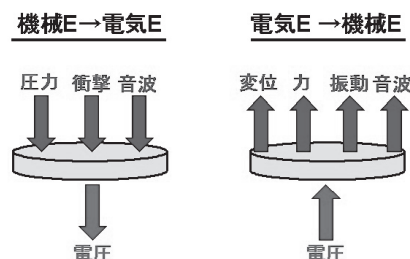


図2 圧電セラミックスの機能

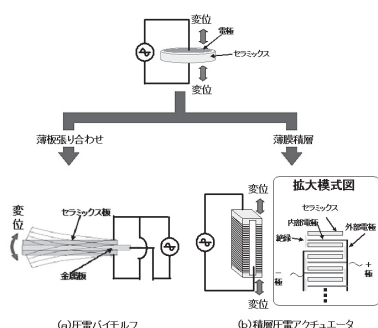


図3 圧電アクチュエータの代表例

挟んで接着した構造を有しています。

2枚の圧電板に逆方向の電圧を加えると、反り変形を生じ、比較的大きな変位を得ることができますが、大きな力を取り出せません。カンチレバー構造で、位置決め機構やなどに利用されています。駆動電圧は一般に数100V程度です。

図3(b)は、積層圧電アクチュエータ(以下、積層アクチュエータ)と呼ばれるアクチュエータです。これは、グリーンシート法で成膜した100 μ m程度のセラミックス膜と数 μ mの電極膜を、多数層積層成形後一体焼結したもので、セラミックコンデンサと同等の構造を有しています。

積層アクチュエータは、1層あたりのセラミックス厚みが薄く低電圧駆動が可能なことと、金属シムなどを介さず、セラミックス本来の歪と剛性を利用できるため、圧電バイモルフ型よりも、変位精度が高い、発生力が大きい、応答速度が速い、などの特徴を有しています。

3. 圧電アクチュエータの応用

圧電アクチュエータの応用分野で、比較対象となるのが電磁式アクチュエータです。表に、電磁式アクチュエータと圧電式アクチュエータの原理的な比較を示します。圧電式は、変位量において電磁式に及びませんが、変位精度、発生力、応答速度、エネルギー効率などでは優位を示しています。その他に、比例制御が容易、電磁ノイズが発生しない、などの優位性を持っています。

NECトーキンは、1985年に世界で初めて、積層アクチュエータの実用化に成功いたしました。当社の積層アクチュエータの外観を写真1に示します。

高特性圧電材料NEPECを使用して、電界、応力が集中しにくい、独特の全面電極構造による積層アクチュエータを樹

表 アクチュエータの特性比較

	電磁式	圧電式
駆動方式	電磁力による間接駆動	逆圧電効果による固体変形
変位量	○	×
発生力	×	○
変位精度	×	○
応答速度	×	○
エネルギー効率	×	○
騒音	×	○
比例制御	×	○
駆動電圧	○	×

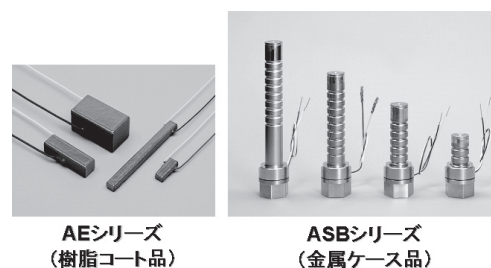
AEシリーズ
(樹脂コート品)ASBシリーズ
(金属ケース品)

写真1 NECトーキン製積層アクチュエータ

脂コーティングしたAEシリーズと、それをベローズ構造の金属ケース内に不活性ガスで封止したASBシリーズがラインナップされています。金属ケース品ASBシリーズは、湿度などの周囲の環境変動に対して優れた耐久性を持ち、産業機器分野で高い評価をいただいています。

この積層アクチュエータは、超精密な流量制御を必要とする半導体製造装置用のマスフローコントローラ(図4)に搭載されました。これは、積層アクチュエータが工業的に実用化された初めての例となりました。

流量を調節するダイヤフラムの駆動に圧電アクチュエータを使用することで、従来の電磁式弁よりも、流量を精密に高速度で制御することが可能となりました。

その後、半導体製造装置への応用が広がりを見せ、1990年代には、露光装置の精密位置制御ステージへ適用されました。(図5)。この精密ステージでは、DCサーボモータで粗動させた後、圧電アクチュエータで微動制御を行う方式が取られてお

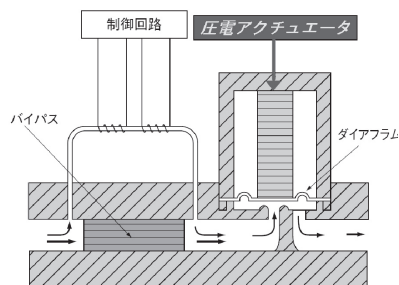


図4 マスフローコントローラ概略図

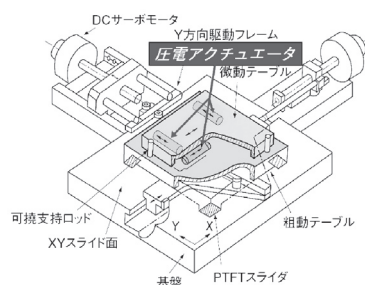


図5 精密ステージ概略図

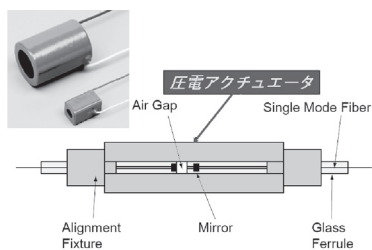


図6 光ファイバー光軸合わせ機構

り、様々な分野で同様の方式が試みられています。

1990年代後半には、光ファイバーの光軸合わせに圧電アクチュエータが適用されています(図6)。中心部に貫通孔を有する圧電アクチュエータを使用し、両端から挿入した光ファイバーの光軸を合わせる装置で、圧電アクチュエータのナノメートルレベルでの変位精度を利用したもので、もっとも特徴を活かした利用法の1つであるといえます。

以上紹介しましたように、圧電アクチュエータは、主に産業機械分野で応用されてきましたが、2000年以降、デジタル機器、とりわけ映像機器関連での応用が急加速で進められています。その1つの適用例が、圧電アクチュエータによる

CCD(Charge Coupled Device)の駆動です。

カラー撮像カメラなどで、CCDの解像度を上げる手法として、“画素ずらし”と呼ばれる手法があります。これは、CCDを水平方向に1画素の1/2ずらして、見かけ上画素を増やして解像度を上げる手法です。CCDの画素の大きさは通常約 $5\sim 7\mu\text{m}$ 程度なので、ずらしの範囲はこの1/2の $2.5\sim 3.5\mu\text{m}$ 程度となります。このずらしを機械的に処理するために、圧電アクチュエータが適用された例があります。ミクロンオーダーの位置制御精度と、カメラの撮影速度に追従できる高速応答性が注目された1例です。この画素ずらし技術は、撮像カメラだけでなく、大型の液晶プロジェクタなどにも応用されています。

このCCD駆動手法は、デジタルカメラなどの小型電子機器にも適用が進められています。

デジタルカメラの高画素化に伴い、手ぶれ補正を導入する例が増えています。手ぶれ補正は、安価な方式では、電子的に画像を補正する方法がありますが、高精細な画像が要求される高級カメラでは、光学的な補正が必要となります。一瞬のシャッターチャンスに対応して、瞬時に光学系の補正処理を実現するには、圧電アクチュエータの高速応答性が不可欠のものです。図7にデジタルカメラにおける手ぶれ補正の概念図を示します。ジャイロセンサーなどが検知した手ぶれの信号に対応して、CCDをXY軸方向に移動させた手ぶれをキャンセルします。このCCDの駆動に圧電アクチュエータが適用されています。

業務用カメラや大型プロジェクタなどと異なり、デジタルカメラなどの小型機器に圧電アクチュエータを適用するには、解決しなければならない課題がありました。

そのひとつは、圧電アクチュエータの変位量が全長の約0.1%と非常に小さいということです。

これを補うために、基本的にはこの原理を応用した変位

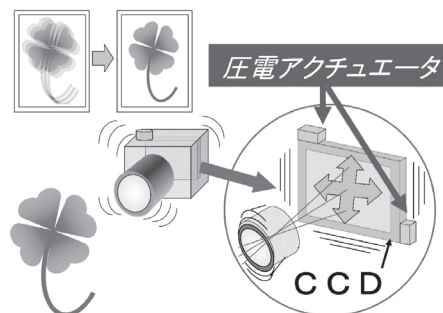


図7 デジタルカメラ手ぶれ補正概念図

拡大機構が使用されます。一般には、圧電アクチュエータの発生力を最大限引き出すために、剛性の高い大きな変位拡大機構が使用されています。大型の産業機械や業務用カメラ、大型プロジェクタなど、スペースに余裕のある装置では大きな問題となりませんが、実装スペースに制約のある小型電子機器類では、このような大型の変位拡大機構は採用することができず、この点が圧電アクチュエータの応用上の問題となっていました。しかし、2000年代に入ってから、高速度応答と変位拡大率を主眼に置いた、小型で簡単な構造の変位拡大機構が発表されたことを契機に、小型機器への圧電アクチュエータの応用が急速に進められてきています。

もうひとつの課題は、圧電アクチュエータの駆動電圧が高いという点です。前述したようにこれを解決するために、バイモルフ構造や積層構造のアクチュエータがありますが、これまでの積層アクチュエータでは数10V~100V程度の駆動電圧を必要としていました。デジタルカメラなどの小型機器では電池での駆動が原則であり、5V以下程度での駆動を可能にする必要があります。

この課題を解決するために、当社では、積層構造の薄層化に取り組み、5V以下程度でも駆動可能なアクチュエータを開発しました。さらにアクチュエータの低背化にも取り組みを進め、2004年には、世界最小0.3×0.3×1.2mmの積層圧電アクチュエータを開発しました(写真2)。

このNECトーキンの圧電アクチュエータ小型化技術が、小型電子機器の高性能化に大きく貢献しています。

デジタルカメラと同様に、カメラ付携帯電話の高画素化にも圧電アクチュエータがキーデバイスとなりつつあります。小型アクチュエータと小型変位拡大機構の組み合わせで、カメラのレンズを駆動し、オートフォーカスやズーム機構に応用する方式が実用化の段階をむかえています。

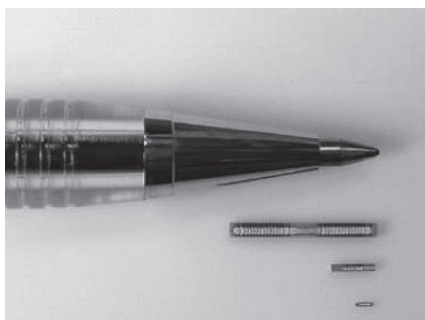


写真2 世界最小積層圧電アクチュエータ

デジタルカメラよりもさらに実装スペースに制約があり、低消費電力の要求が高い携帯電話に対しては、駆動用コイルを必要とする電磁モーターでは限界があると言われています。

駆動用コイルを必要とせず、省スペース、省電力化が容易な圧電アクチュエータの適用はますます拡大するものと思われます。

4. おわりに

以上述べてきたように、圧電アクチュエータは、産業分野の機械装置から、デジタルカメラ、携帯電話などの小型電子機器まで応用範囲を広げつつあります。そのほかにも、大学などの研究機関において、インチワームのようなマイクロロボットの駆動源、MEMS技術における精密位置制御機構、バイオテクノロジーにおけるプローブ装置など、ナノテクノロジーへの貢献が大いに期待されています。

NECトーキンは、世界で初めて積層アクチュエータを実用化させた経験をベースに、これからも大型から小型までのアクチュエータを供給し、産業機器分野、デジタル家電製品からナノテクノロジーにいたるまでの各種工業分野の技術革新に貢献してまいります。

参考文献

- 1) NECトーキン株式会社:積層圧電アクチュエータカタログ(Vol.2)
- 2) 日本工業技術振興協会 固体アクチュエータ研究部会編:精密制御用ニューアクチュエータ便覧
- 3) 2003 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集:古谷克司,岩附信行『圧電アクチュエータ技術の動向と将来展望』、2004年

執筆者プロフィール

間宮 洋一
NECトーキン
メカトロニックデバイス事業部
開発部長

●本論文に関する詳細は下記をご覧ください。

関連URL: <http://www.nec-tokin.com/product/piezodevice1/index.html>
http://www.nec-tokin.com/product/pdf_dl/sekisou_actu.pdf