

平成 21 年 6 月 5 日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19760164
 研究課題名（和文） 誘電率検波による圧電アクチュエータのセルフセンシングに関する研究
 研究課題名（英文） Self-sensing piezoelectric actuator control using permittivity detection method
 研究代表者
 森田 剛（MORITA TAKESHI）
 東京大学・新領域創成科学研究科・准教授
 研究者番号：60344735

研究成果の概要：

圧電材料は電界により形状が変化するため、精密位置決めアクチュエータ等に広く用いられている。しかし、圧電変位と駆動電圧の関係には非線形性、ヒステリシス、クリープなどの問題が生じ、レーザー干渉計などのセンサによって、その変位量を計測しなければ精密位置決めできなかった。本研究では、圧電素子の誘電率をリアルタイムで検出し、その検出量から圧電アクチュエータの変位を制御する手法を提案し、その実証に成功した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,500,000	0	1,500,000
2008 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,800,000	390,000	3,190,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：メカトロニクス

1. 研究開始当初の背景

圧電アクチュエータは精密位置決め装置や、マイクロメカトロニクスの駆動源、アクティブ振動制御用アクチュエータなどとして、広く用いられている。一方で、圧電変位と駆動電圧の関係には非線形性、ヒステリシス、クリープなどの問題が生じてしまい、致命的な問題点であると広く認識されている。例えば、原子間力顕微鏡への応用では、現状のシステムではサブオンゲストロームの定量形状計測は不可能で、レーザー干渉計などの装置が必要となってしまう。このような大掛かりなセンサを使わずに圧電変位計測を高精度で求める技術の開発が求められてい

る。また、航空機の翼や、建築構造物の耐振動対策として、アクティブ振動制御が今後重要になってくる研究である。これは、変位センサ等を構造物に貼り付けてその位置、もしくは速度を検出し、フィードバックして圧電素子で振動を減衰させる技術である。この場合、圧電素子がアクチュエータとして機能すると共に、同時に変位センサとして用いる技術の確立は省スペース化、コストの面からも工学的価値は高い。その他にも、マイクロメカニズムにおいて、センサとアクチュエータが一体化したスマートメカトロニクスの実現への要望は強い。

以上のような背景から、いままでにも圧電

アクチュエータを変位センサとして用いようとする試みは多くあったが、それらは、別途コンデンサなどを貼り付けたり、複雑で物理的に意味のない非線形パラメータをコンピュータで計算したりするものであり、本質的ではなく、また計測は困難であった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、圧電アクチュエータの変位情報を、その誘電率を計測することで変位センサとする新たな計測手法を提案し、制御への応用や温度補償性への展開を目指すことにある。この手法により、圧電素子の致命的な問題点である圧電歪みの非線形性、ヒステリシス性やクリープ変位などを別途にセンサを設けることなく抜本的に解決できる。

計測原理は、誘電率と圧電変位の関係が1次関数で示されることを応用したもので、従来の常誘電体コンデンサを貼り付けて電荷制御する手法やフィードフォワード的なものとは異なり、非常に簡便で汎用性があり、安定なセンシングを可能にするものである。測定方法は、圧電アクチュエータへの駆動電圧に高周波低電圧を重ね合わせて入力し、その高周波電圧によって誘発される電流値を計測する誘電率検波法(応募者による命名)である。

この手法を用いれば、新たにセンサを付与することなく安定した位置決め制御へと応用できる。例えば、従来アクティブ振動制御で用いられていた“歪みゲージセンサ+圧電アクチュエータ”という組み合わせを、圧電アクチュエータのみで構成できるようになるなど、その波及効果は大きい。

3. 研究の方法

圧電歪み及び誘電率は、分極反転するような電圧を印加すると電界に対して共にバタフライ曲線を描く。この電界に対する圧電歪みと誘電率の特性の類似性に着目し、変位を縦軸、誘電率を横軸に計測した結果、これらには比例関係が得られることを確認した(図1)。この関係を利用して圧電アクチュエータのセルフセンシングを行うことができる。

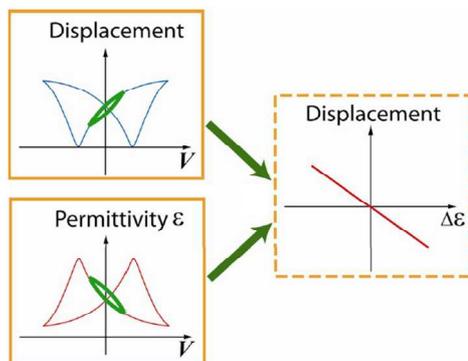


図1. 変位電圧特性と誘電率電圧特性の関係

提案するセルフセンシング制御には誘電率検波をリアルタイムに行う必要があるため、2種類の異なる電圧を組み合わせる。1つは圧電アクチュエータを駆動させる電圧、もう1つは誘電率を検波するための電圧である。誘電率検波用の電圧によって生じる電流値から誘電率の変化を検出する。誘電率を検出するために誘電率検波用電圧の振幅と周波数は一定にしておき、駆動用電圧による圧電変位に影響を与えないよう小振幅高周波の電圧とする。検出した誘電率の変化から圧電変位量が推定でき、目標値との差分をフィードバックすることでセルフセンシング位置制御を行う。

この誘電率検波による圧電アクチュエータ制御の精度を向上するには、誘電率をより高感度に検出する必要がある。誘電率は周波数に比例するため、誘電率検波用電圧を高周波に設定して誘電率検波を行った。2007年度までの研究では、ロックインアンプの帯域制限から検波用電圧の周波数は100kHzとしたが、周波数変換器(NF;周波数エクステンダ)を使用することで500kHzでのロックイン検波を可能とした。また、電流値を検出する電流プローブを、より分解能の優れたものを使用し実験を行った。圧電アクチュエータとしてPZTユニモルフ(日本セラテック:LPD3713X)を使用した。誘電率検波用電圧の周波数を100kHzと500kHzとしたときの誘電率変化と電圧の関係を図2に、誘電率変化と圧電変位の関係を図3にそれぞれ示す。圧電変位はレーザ干渉計(Canon:DS-80)で測定した。

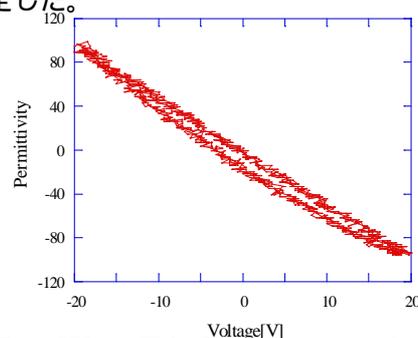


図2. 駆動電圧と誘電率変化の関係

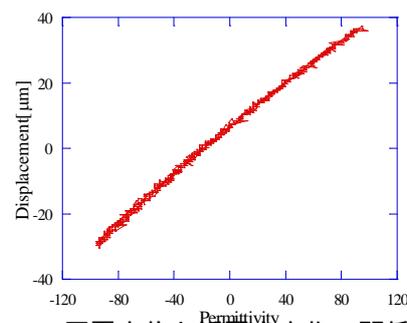


図3. 圧電変位と誘電率変化の関係

入力電圧に対する誘電率の関係はヒステリシス特性が見られるが、誘電率と圧電変位間にはヒステリシスのない関係であることが確認できた。さらに、誘電率検波用電圧の周波数を高くすることで検波感度を向上させ、誘電率と圧電変位の線形関係における SN 比を改善することができた。

次に、誘電率変化と圧電変位の線形関係を利用して、セルフセンシング制御を行った。図 4 にシステムのブロックダイアグラムを示す。DSP を用いて検出された誘電率から推定される位置情報と制御目標値との差分を積分制御する。

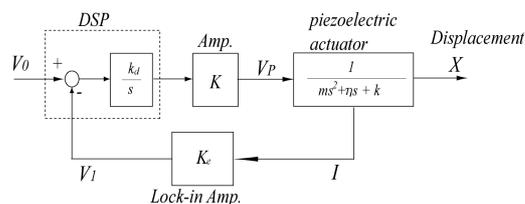


図 4 . 誘電率検波セルフセンシングシステム制御のブロックダイアグラム

圧電アクチュエータをオープンループで駆動させた場合の圧電変位特性を図 5 に、誘電率検波によるセルフセンシング制御（検波用電圧の周波数 500kHz）を行った場合の結果を図 6 に示す。目標値は周波数 0.1Hz、0.5Vpp の三角波とした。誘電率検波によるセルフセンシングシステムによって、オープンループの場合に見られるヒステリシス特性を補償できたことが確認できる。

圧電アクチュエータに方形波の電圧を印加した場合、圧電セラミックが伸びる方向に電圧を印加したときと逆方向に印加したときとで圧電アクチュエータの変位量が異なることがある。図 7 に 0.02Hz、40V の方形波をオープンループで印加したときと、誘電率検波によるセルフセンシング制御を行ったときの方形波に対する圧電アクチュエータの変位を示す。提案するセルフセンシング制御ではオープンループで見られる圧電変位量の違いを補償することができた。また、一定電界の下で歪みが時間的に変わってしまうクリープ現象は圧電アクチュエータによる位置制御を困難にする一つの欠点として挙げられるが、本手法を適用することでクリープの補償にも有効であると考えられる。

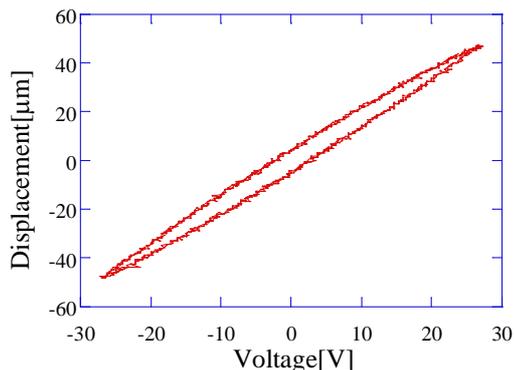


図 5 . オープンループでの変位と駆動電圧の関係に見られるヒステリシス

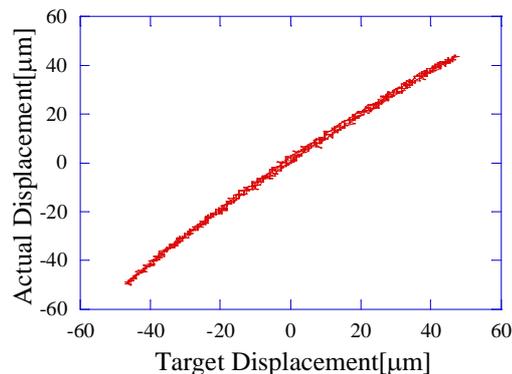


図 6 . 誘電率検波によるセルフセンシング位置制御結果

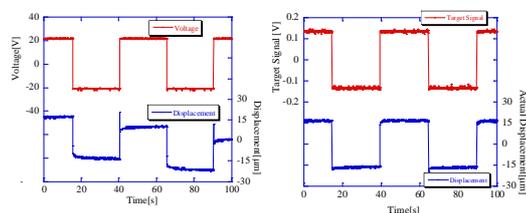


図 7 . 方形波に対する圧電変位制御結果 (左:オープンループ, 右:誘電率検波フィードバック制御)

4 . 研究成果

本研究では、リアルタイムで誘電率を検出手法を開発し、誘電率検波用電圧を高周波化することによって、検波感度が向上させ、誘電率圧電変位の線形関係の SN 比を改善した。

この線形関係により、誘電率から圧電変位を推定するセルフセンシング制御を行い、オープンループで見られる圧電アクチュエータのヒステリシス特性を補償し、精度良い線形性の優れた駆動を行うことが可能となった。今後は更なる制御精度の向上に向け、誘電率検波法の改良を引き続き行うことに加えて PI 制御による制御の高速化、クリープ補償の改善を試みる。

5. 主な発表論文等
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計1件)

Akito Kawamata, Yoichi Kadota, Hiroshi Hosaka and Takeshi Morita, "Self-sensing piezoelectric actuator using permittivity detection", *J. of Ferroelectrics*, vol.368, pp.194-201, 2008

[学会発表](計6件)

Yusuke Ishikiriya and Takeshi Morita, "Improvement of self-sensing piezoelectric actuator control using permittivity change detection", 2009 JSME-IIP/ASME-ISPS Joint Conference on Micromechatronics for Information and Precision Equipment (MIPE2009) 筑波 2009.6.19 発表予定

石切山 祐亮, 森田 剛, "誘電率検波による圧電アクチュエータのセルフセンシング位置制御の精度向上に関する研究", 第21回電磁力関連のダイナミクスシンポジウム, 長野, pp. 427-430, (2009.5.21)

石切山 祐亮, 森田 剛, 保坂 寛, "圧電アクチュエータの誘電率検波セルフセンシング制御の精度向上に関する研究", 2008年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, 東京, pp. 929-930, (2008.9)

Akito Kawamata, Yoichi Kadota, Hiroshi Hosaka and Takeshi Morita, "Self-sensing ferroelectric Actuator Using Permittivity Detection", 11th European Meeting on Ferroelectricity (EMF-2007), (Sep 3-7), スロバニア, 2007

川俣 昭人, 門田 洋一, 保坂 寛, 森田 剛, "誘電率検出による圧電アクチュエータのセルフセンシング位置制御", 2007年度精密工学会秋季大会学術講演会, 北海道, (2007.9)

川俣 昭人, 保坂 寛, 森田 剛, "誘電率検出によるセルフセンシング圧電アクチュエータに関する研究", 第19回電磁力関連のダイナミクスシンポジウム, B212, 神戸, (2007.5)

[その他]

解説記事

川俣 昭人, 森田 剛, "誘電率検出によるセルフセンシング圧電アクチュエー

タ", 超音波テクノ vol. 20-1, pp. 8-11 (2008)

6. 研究組織

(1)研究代表者

森田 剛 (MORITA TAKESHI)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・准教授

研究者番号：60344735

(2)研究分担者

(3)連携研究者