超小型圧電アクチュエータ(SIDM)の開発

The Development of a Smooth Impact Drive Mechanism (SIDM) Using a Piezoelectric Element

岡 本 泰 弘* 吉田龍 Okamoto, Yasuhiro Yoshida, Ryuichi

末 吉 浩 久**

Sueyoshi, Hirohisa

要旨

スムーズインパクト駆動機構(SIDM)は圧電素子の急 峻な体積変化と移動体の慣性と摩擦力を利用した新しい タイプの直進型アクチュエータである。小型で高精度駆 動が可能であり、位置決め装置や精密製品への利用が有 効であると考えられる。本稿では駆動原理と駆動方法お よび試作ユニットの特性について紹介する。

Abstract

Smooth impact drive mechanisms (SIDMs) are linear actuators that utilize the rapid expansion or contraction of a piezoelectric element and the friction between a rod attached to the piezoelectric element and a mobile body. The proposed actuator, small and capable of being driven with high precision, may find applications in micro-positioning devices and other precision products. This paper presents the theory of operation, the results of tests performed on the experimental unit built on this principle.

はじめに

日常的に使用する製品の中には、多くのアクチュエー タが使われている。携帯電話に代表されるモバイル機器 の急速な普及にともない、このアクチュエータにはより 小型化、高精度化が望まれている。汎用的なアクチュ エータである電磁モータを小型化した場合、トルク低 下、高回転数化により大きな減速系の必要性といった問 題が生じる。そこで、我々は圧電素子を駆動源とし、超 小型高精度のアクチュエータであるスムーズインパクト 駆動機構 (Smooth Impact Drive Mechanism: SIDM) を開発した。

駆動原理

SIDMの駆動原理をFig. 1 に示す。 圧電素子の一端に固 定部材を、もう一端に駆動摩擦部材を取付け、駆動摩擦 部材に移動体を摩擦保持する。

(1) 圧電素子をゆっくり伸ばすと、移動体は摩擦のた め一緒に動く。

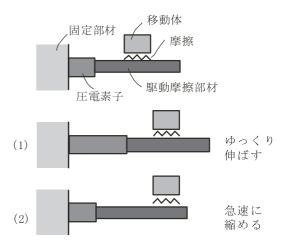


Fig.1 Principle of SIDM

(2) 圧電素子を急速に縮めると、移動体は慣性のため 摩擦部が滑り、ほぼその位置にとどまる。

この(1)、(2)を繰り返すことで、長ストローク動作をす る。また圧電素子を急速に伸ばし、ゆっくり縮める動作 の繰り返しで、逆方向へ動作する。

このアクチュエータの特徴をいくつか挙げる。

- ・構成が簡単であり小型化が可能
- ・上記(1)、(2)による粗動と、圧電素子そのものの変位 で動かす微動の両立が可能
- ・摩擦による自己保持性

このアクチュエータの基本的な動きをFig. 2に示す。

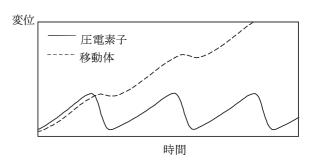


Fig.2 Displacement of piezo and moving body

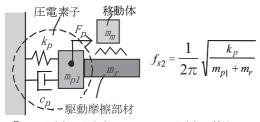
^{*}コニカミノルタコンポーネンツ(株) 技術部 ML 生産技術課

^{**}コニカミノルタテクノロジーセンター(株) デバイス技術研究所 駆動デバイス開発室

3 SIDMの駆動方法

3. 1 SIDM の駆動電圧波形

Fig. 2 に示すようにSIDMの駆動には圧電素子の変位が ノコギリ波状であることが望まれる。圧電素子がノコギ リ波状に変位するためには、ノコギリ波状の電圧波形を 入力すればよい。しかし、ノコギリ波状の電圧波形を形 成する電気回路は構成が大規模なものとなる。そこで、 駆動波形には回路の構成が簡素な矩形波を用い、圧電素 子をノコギリ波状に変位させる試みを行った。以下に、 ノコギリ変位を得るための矩形波の最適化について説明 する。



 F_p : 圧電素子発生力 m_{p1} : 圧電素子質量 k_p : 圧電素子スティフネス m_r : 駆動軸摩擦部材質量 c_n : 圧電素子材料粘性 m_m : 移動体質量

Fig.3 Mechanical model of SIDM

3. 2 駆動電圧波形の最適化

Fig. 3 にSIDMの機械モデルを示す。このモデルから、 圧電素子の電圧 – 変位伝達関数は、Fig. 4 のように考える ことができる。この伝達関数の逆関数を考えることで、 ノコギリ変位を得るための電圧波形を求めることができ る。逆関数から求めた電圧波形 – ノコギリ変位波形の解 析結果をFig. 5 に示す。

- ① 駆動周波数 f_{t} が、圧電素子の共振周波数 f_{t} 2 より十分低い場合、ノコギリ波形の電圧でノコギリ変位が得られる。
- ② 駆動周波数 f_{a} が、圧電素子の共振周波数 f_{a} 2の0.4倍 ぐらいでは、変位の振幅は変わらないが、ノコギリ波形が崩れてくる。
- ③ 駆動周波数 faが、圧電素子の共振周波数 fs2の0.7倍 前後では、左右対称な波形の電圧でノコギリ変位が得られる。
- ④ 駆動周波数 faが、圧電素子の共振周波数 fa2 と等しい場合でも、高次項の振幅を大きくした波形の電圧でノコギリ変位が得られる。

このようにノコギリ変位を得るための電圧波形は、伝達関数の影響のため、駆動周波数によって変化する。

図からわかるように $f_d = 0.70 f_{52}$ の場合、小さな電圧振幅で他と同振幅のノコギリ変位を得られ、効率的である。

また、**Fig. 6** に示すように $f_d = 0.70 f_{s2}$ の周波数条件では、デュティ比0.15(矩形波において電圧がLowの時間と

Highの時間の割合がそれぞれ0.85、0.15ということ)に比べ、デュティ比0.30の場合にノコギリ変位が得られ、変位の振幅が大きい。さらに、デュティ比を0.70とすることで、逆方向へ動かすためのノコギリ変位が得られることもわかった。

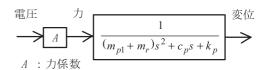


Fig.4 Transfer function of voltage for displacement

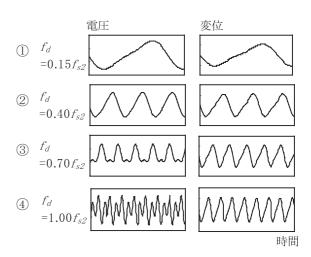


Fig.5 Waveform of driving voltage for sawtooth displacement

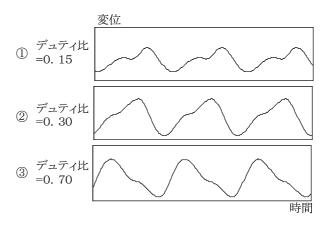


Fig.6 Influence of duty of rectangular pulse voltage for sawtooth displacement

これらの解析の結果、矩形波の電圧からノコギリ変位 が得られることがわかる。

Fig. 7 に矩形波とノコギリ波の電圧で駆動したときの周波数-速度特性の解析結果を示す。同じ電圧振幅での比

較である。

電圧波形は、62の0.5倍くらいまでは、ノコギリ波では 周波数に比例して速度が増す。矩形波駆動では62の0.7倍 前後で最高速度が得られ、ノコギリ波駆動と比較しても 大きな速度が得られることがわかる。

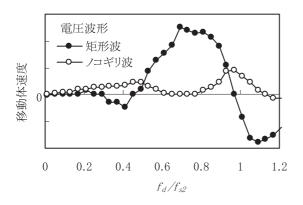


Fig.7 Influence of driving frequency by analysis

4 SIDM の応用

4. 1 SIDM のレンズ駆動機構への応用

SIDMを携帯機器用の小型ズームカメラのレンズ駆動機構へ応用したユニットをFig. 8 に示す。このユニットの写真をFig. 9 に示す。

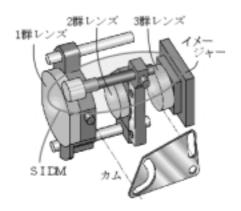


Fig.8 Mechanical image of driving lenses



Fig.9 Photography of units with mechanism of driving lenses

ユニットの構成は、2群レンズをSIDMで動かし、板カムを介して1群を連動させて動かすことで、ズームを行う構成となっている。

このユニットに用いたSIDMをFig.10に示す。圧電素子の両端に駆動摩擦部材と固定部材を接着し、駆動摩擦部材に移動体(図示せず)を摩擦保持する構成である。

ここで使用する圧電素子は $-3\sim +3$ Vの電圧印加で70nmppの変位を示した。またユニットの共振周波数 f20は210kHzであった。



Fig.10 Image of SIDM

4. 2 駆動回路

4. 2. 1 矩形波駆動

印加する波形が矩形波であれば、スイッチ素子だけで 回路を構成できる。Fig.11に示すHブリッジ回路を用いる と、さらに負の電界印加も使うことができ、電源電圧の 2 倍の伸縮を取り出すことができる。

この回路は一般には直流モータの正逆転に用いられ、 回路のスペース面、コスト面などからも非常に実用的な ものである。

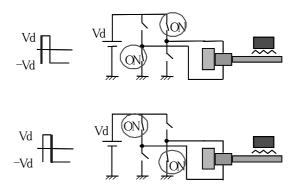


Fig.11 Electrical circuit for driving SIDM

4. 2. 2 階段波駆動

速度を重視する場合、矩形波駆動が有利であるのは前述した。しかしながら、推力を得たい場合にはノコギリ波駆動が有利であることが分かっている。そこで我々は Fig.12に示すようにHブリッジ回路のスイッチの切り替え タイミングを変えることで階段波状の電圧波形を作り、 擬似的にノコギリ波状の変位波形を作り出した。

この階段波形で駆動することで、矩形波形で駆動する 場合に比べて、後の実験結果からもわかるように低速高 推力なアクチュエータ特性を得ることが出来る。この階 段波形の駆動においては**Fig.12**におけるパラメータ a , b に関し、 $a=1/f_{s2}$ 、 $b=1.5/f_{s2}$ とすることでもっとも高い性能が得られることが理論的に明らかになっている。

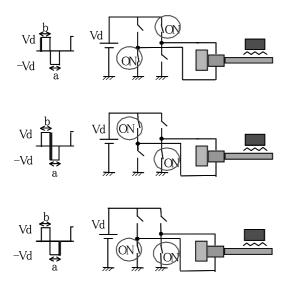


Fig.12 Waveform of step driving voltage

4. 3 SIDM の駆動特性

Fig.13に矩形波と階段波の負荷-速度特性の比較を示す。なお、電源電圧は共に3Vで6Vppの電圧を印加した。移動体の摩擦保持力は約100mNである。

矩形波駆動の場合は、共振周波数 f₂の約0.7倍の駆動周波数150kHzでユニットを駆動した。

階段波駆動の場合は、駆動周波数56kHzで駆動した。またパラメータ a および b は、 a = $1/f_{s2}(4.6 \,\mu\,\text{s})$ 、 b = $1.5/f_{s2}$ (6.3 $\mu\,\text{s}$)である。

矩形波駆動の場合の速度10mm/sに対し、階段波駆動の場合速度3mm/sと遅くなるが、推力は階段波駆動の方が高くなる。

また、このときの移動体および駆動摩擦部材の変位を Fig.14にそれぞれ示す。

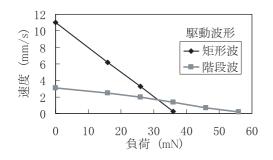


Fig.13 Influence of load

階段波駆動の場合、駆動摩擦部材の変位が擬似的なノコギリ波状の変位波形になっていることがわかる。また、矩形波駆動に比べ立ち上がりが緩やかである。

ズーム用のレンズ駆動の場合、階段波での速度2~3

mm/sが適していることと(速度10mm/sの場合ズームには速すぎる)、推力が矩形波駆動に比べ高いことから、階段波駆動の使用が検討されている。

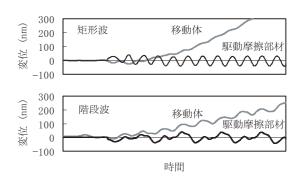


Fig.14 Displacement of piezo and moving body

5 まとめ

圧電素子を用いた駆動機構であるSIDMに関し、機械モデルを用い、矩形波による駆動波形最適化の解析結果を紹介した。

さらに、実用化に際して、スペースやコストの面で有効なHブリッジ回路を提案し、実際、携帯機器用の小型ズームカメラのレンズ駆動機構を試作し、2つの異なる電圧波形でSIDMを駆動させ、その特性を紹介した。

SIDMの特徴としては、小型・高精度・無音駆動(人の可聴域以上の周波数で駆動)・安定した摩擦保持(電源 OFFで保持可能)、等が挙げられる。

SIDMの課題としては、効率が低い・耐久性・フィードバックセンサーが必要、等が挙げられる。これらをより向上させることで、様々な分野での実用化を目指していきたいと考える。

●参考文献

- 1)吉田龍一, 岡本泰弘: 圧電リニアアクチュエータの開発, 電子情報通信学会論文誌 Vol.J80-A No.10 (1997) pp.1751-1755
- 吉田龍一, 岡本泰弘, 岡田浩幸:スムーズインパクト駆動機構 (SIDM) の開発(第2報) - 駆動電圧波形の最適化-, 精密工 学会誌 Vol.68, No.4 (2002) pp.536-541