

ピエゾ素子を用いた高推力リニアモータの開発

荻野重人* 浅海暁**

Development of a hi-driving-force Linear Motor by Piezoelectric device

OGINO Shigeto*, ASAUMI Akira**

抄録

超精密位置決め用途に用いるリニアモータを試作した。昨年度までの試作機¹⁾により、基本原理・前進後進動作は確認している。そこで、さらなる性能向上をはかるため、新たな試作機を製作し動作確認と性能試験を行った。昨年度までの試作機と大きく動作機構を変えたので、前進・後進共に安定動作をすることができた。推進力20N・保持力50Nとなり、本研究最大の懸案であった推進速度は、2.00mm/sを達成した。

キーワード：リニアモータ，アクチュエータ，高推力，ピエゾ

1 はじめに

精密位置決め技術は、工作機械・測定機・半導体製造装置等になくはないものであり、我が国のものづくりを根底から支えている技術である。その中でも、我が国の超精密位置決め技術は世界をリードしており、「技術立国日本」の牽引役となっている。

その中で、近年のハイテク機器用部品の生産技術やナノテクノロジー研究開発の進展にともない、ナノメータ位置制御の必要性はますます高まっている。また、これまでは高精度を得るために剛性を高めた大型装置を用いていたが、装置を小型にして装置変形の絶対量を減少させる手法が認識されつつある。これらのことから、高分解能かつ小型化に有利なピエゾ素子がますます重要となっており、高付加価値製品を生み出す製造・検査・分析機器には欠かせない存在となっている²⁾。

ピエゾ素子に利用されているチタン酸バリウムやチタン酸ジルコン酸鉛は、圧力を加えると電圧

を発生する圧電機能をもっており、点火器やマイクロホンなどに使われている³⁾。反対にピエゾ素子は、電界を印加して圧電体を変形させる逆圧電効果を利用しており、高分解能を生かした微小駆動用アクチュエータとして利用されている。しかし、ストロークが数十 μm と小さく、そのままでは使用用途は限られていた。

ピエゾ素子を使った、ストロークを大きくする技術として、インパクトドライブモータがある^{4),5)}。これは、微小ステップずつの自走機構であり、ピエゾ素子の急速変形に伴う慣性力の反作用と摩擦との差異を利用することによって、微小距離の移動を得るものである。これは、簡単な機構で微小ステップ駆動することが可能なため、近年、多くの企業で研究開発が行われ、実用化したものも出てきている⁶⁾。

しかし、このタイプのモータは、一般的に推力が不足している。ピエゾ素子は発生応力が大きく、800N⁷⁾にも及ぶが、インパクトドライブモータに使われているピエゾ素子は、多くは1mm以下の厚さで、なおかつ、摩擦ホールドしている軸をスライドしながら動作するもので、仕組み上、大きな推力を

* 技術支援室 電気・電子技術担当

** (株)メステック

得ることができない。このことが、利用用途を限定する要因となっていて、普及の足かせとなっている。

そこで、 piezo素子の大きな発生力をダイレクトに推力とする、新しい機構のリニアモータを開発する。昨年度までの試作機をさらに高性能化し、高分解能かつ高推力により実用的な超精密位置決め用リニアモータとする。

2 実験方法

2.1 動作確認

本リニアモータの前進・後進動作の確認を行った。6 サイクル前進させ、その後、6 サイクル後退させ推進状態を確認した。

試作機に 5Hz の矩形波電圧 (0V→150V) を入力し、その時の変位量を静電容量型変位計により計測した。

2.2 推進速度の計測

試作機に 200Hz の矩形波電圧 (0V→150V) を入力し、静電容量型変位計により読み取った変位量を「変位量-時間」グラフにプロットした。このグラフを用い、速度算出を行った。

2.3 推力・保持力の測定

試作機に 200Hz の矩形波電圧 (0V→150V) を入力した。その時の推力を、スプリングゲージにより計測した。また、保持力は無通電状態時にスプリングゲージで引張り、モータが保持できなくなった時にスプリングゲージが示している値を読み取った。

2.4 分解能の測定

試作機を微小駆動動作させ、分解能計測を行った。piezo素子に 0.01V、周波数 2Hz の階段状の電圧を入力し、その時の試作機の変位量を静電容量型変位計により計測した。

3 結果および考察

3.1 動作確認

結果を図 1 に示す。前進・後進共に 10 μ m の階段状となった。前進・後進共に、1 サイクルあたりの推進量が全く同じ結果となった。これは、動作機構部の見直しを行ったために、剛性面の向上をはかることができたためと考えられる。このことにより、長期間にわたる動作安定性も向上すると考えられる。

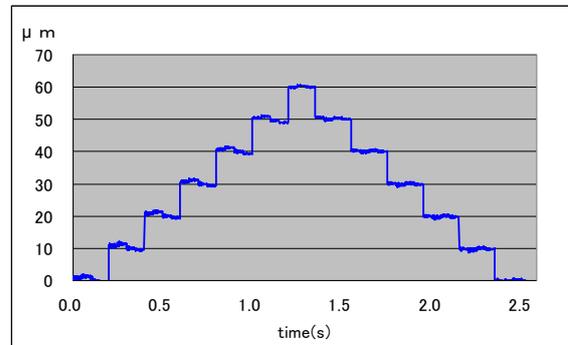


図 1 動作確認

3.2 推進速度の計測

「変位量-時間」グラフを図 2 に示す。0.02 秒の間に 40.12 μ m 進んでおり、1 秒あたりに換算すると、 $40.12/0.02 = 2006\mu\text{m}$ (2.00 mm/s) となる。

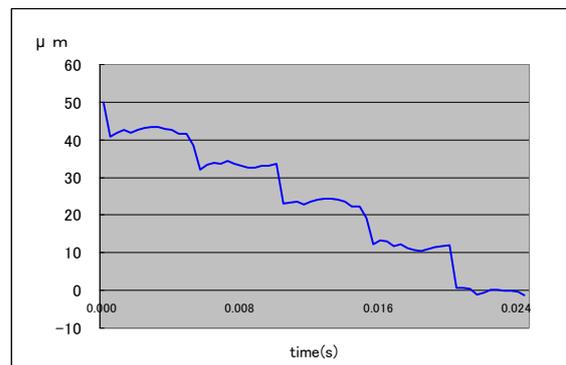


図 2 変位量-時間

3.3 推力・保持力の測定

試作機の推進力は 20N、保持力は 50N となった。

推進力・保持力は本リニアモータとレールとの摩擦力に依存する。本リニアモータの仕組み上、進行中は 2 箇所のホールドを交互にホールドするため 1 箇所のみホールドとなる。一方で、保持

状態では2箇所ではールドしているため

推進力<保持力
 となったと考えられる。

3.4 分解能の測定

ピエゾ素子には2Hzの階段状電圧を入力している。本来であればピエゾ素子の変位も階段状に増えていくはずである。しかし、静電容量型変位計が振動を拾ってしまい、階段状の変位波形を読み取ることはできなかった。

2Hzの階段状電圧の入力なので、5秒間で10ステップとなる。図3を見ると10ステップで0.2μm変位しているの、1ステップあたり0.02μm変位していることになる。

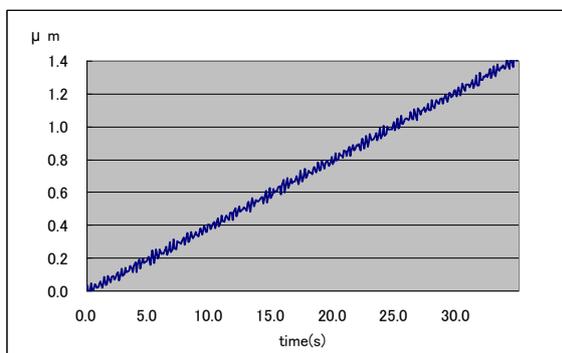


図3 分解能計測

4 まとめ

(1) 試作したリニアモータの性能結果

目標および結果を表1に示す。

表1 性能実測値

	目標値	実測値
推進速度	1.00mm/s	2.00mm/s
推進力	20N	20N
保持力	40N	50N

(2) 今後の展開

試作したリニアモータは、機構上、ピエゾ素子の分解能と同等とすることができる。しかし、今回の静電容量型変位計による計測では、確認をすることができなかった。静電容量型変位計を高剛性に固定するなどを行う必要がある。

また、「分解能=位置決め精度」ではないの

で、用途によっては、「位置決め精度」を追求していく必要がある。位置決め精度を上げるためには、位置センサによるフィードバック制御が必須であり、その代表的なものは、リニアエンコーダである。リニアエンコーダは、分解能0.1mm以上の粗領域から1nm以下の超微細領域までの位置決め・測定に応用されている⁸⁾。今後は、リニアエンコーダを搭載しフィードバック制御を行い、位置決め精度の向上を検討していきたい。

試作機の駆動機構部について、従来型の構造を見直したことにより、大幅に安定性が向上した。従来型では、長時間動作により、不安定動作になることがあったが、今回の試作機は、10時間駆動させても全く変わらず安定動作させることができた。また、この安定動作の影響で、推進速度も目標である1mm/sを大きくクリアした。

性能面においては、目標値を全てクリアできたので、今後は、実用化に向けて商品化試作機を製作していきたい。

参考文献

- 1) 荻野重人, 浅海暁: ピエゾ素子を用いた高推力リニアモータの開発, 埼玉県産業技術総合センター研究報告, **10**, (2012)37
- 2) 実用 精密位置決め技術事典 編集委員会: 実用精密位置決め技術事典, 株式会社産業技術サービスセンター, (2008)211
- 3) 通産資料調査会: 実用新素材技術便覧, 株式会社マイガイア, (1996)21
- 4) マイクロアクチュエータ研究会: ミクロをめざすニューアクチュエータ, 株式会社工業調査会, (1994)49
- 5) (社)精密工学会 超精密位置決め専門委員会: 実用 精密位置決め技術事典, 株式会社フジテクノシステム, (2000)393
- 6) テクノハンズ株式会社, <http://www.technohands.co.jp/>, 2011.3.22
- 7) 荻野重人, 浅海暁: 高分解能アクチュエータ用高剛性変位拡大機構の開発, 埼玉県産業技術総合センター研究報告, **7**, (2009)96

- 8) (社)精密工学会 超精密位置決め専門委員
会：実用 精密位置決め技術事典，株式会社フ
ジテクノシステム，(2000)413