

新機構を用いた超高分解能リニアモータの実用化に関する研究

荻野重人* 徐世傑**

Development of a Hi-driving-force Linear Motor using a Progressive Mechanism

OGINO Shigeto*, Chee Sze Keat**

抄録

様々な技術の進歩により、精密位置決め技術も身近な技術となっており、簡素でコンパクトな高分解能リニアモータが望まれている。このような背景から、昨年度までリニアモータの試作開発を行ってきた結果、基本原理・前進後進動作および一定の性能は確認している。そこで、実用化を目指すため簡素化・コンパクト化を主眼に置いた、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に動作機構の変更を加えたので、前進・後進共に安定動作をすることができた。推進力15N・保持力20Nとなり、推進速度は1.5mm/sを得ることができた。

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らないものであり、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増え重要性となり、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¹⁾。

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²⁾。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^{3),4)}。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⁵⁾。

* 事業化支援室 製品開発支援担当

** 有限会社メカノトランスフォーマー

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。 piezo素子は発生応力が大きく、800N^①にも及ぶが、インパクトドライブモータに使われている piezo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。

また、高推力のリニアアクチュエータとして、インチワーム機構が広く知られている。インチワーム機構は、尺取り虫 (inch worm) が移動するように、微小距離ずつ移動する機構である。 piezo素子などの微小変位が得られる固体素子の両端にクランプ機構を取り付ける。クランプ機構のクランプと解除と固体変形素子の伸縮を順に繰り返すことによって、固体変形素子の伸縮量に相当する微小距離ずつのステップ移動を連続して得ることができる⁷⁾。

このインチワーム機構は、高推力が利点ではあるが、3つのアンプを用い3つの piezo素子を複雑なシーケンスで制御する必要がある。このため数百万円もする非常に高価なものとなっている。

そこで、 piezo素子を2本しか用いることなく、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。そして、実用化をにらみ簡素・コンパクトな実用的超精密位置決め用リニアモータとする。

2 実験方法

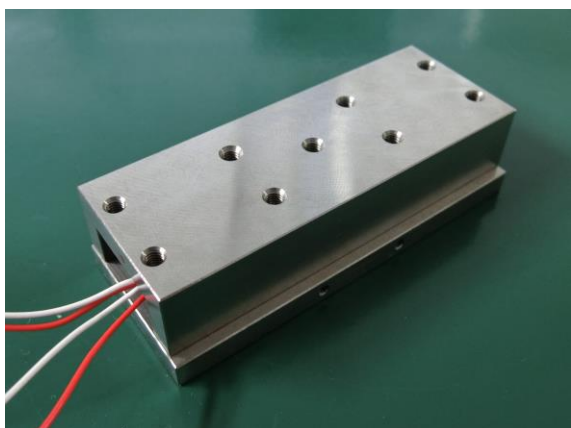


図1 試作リニアモータ

図1に試作したリニアモータを示す。また、本モータの動作原理を図2に示す。上下にレール (壁) があり、これに突っ張ることにより支える構造である。① (赤) の piezo素子をはじめに伸ばすと、素子は両端に伸びようとする。しかし、両端にあるくさびブロックは、左端はくさびが利く方向であるので動作できず、右端はくさびが解除される方向であるので、伸びることができる。②続いて、 (白) の piezo素子は隙間を埋めるように伸びる。③ (赤) の piezo素子の両端が縮もうとするとするが、右端はくさびが利く方向であるので動作できず、左端はくさびが解除される方向であるので縮むことができる。④続いて、 (白) が隙間を埋めるように縮む。⑤これにより、1ステップ右に動作したことになる。これを繰り返すことにより、連続して右に進むことができる。

左方向に進みたい時は、 (白) の piezo素子を先に伸ばすことにより、左側に進むことができる。

それぞれの piezo素子への入力電圧は、0V→150V の正弦波であり、それぞれの位相差は 90°で行う。

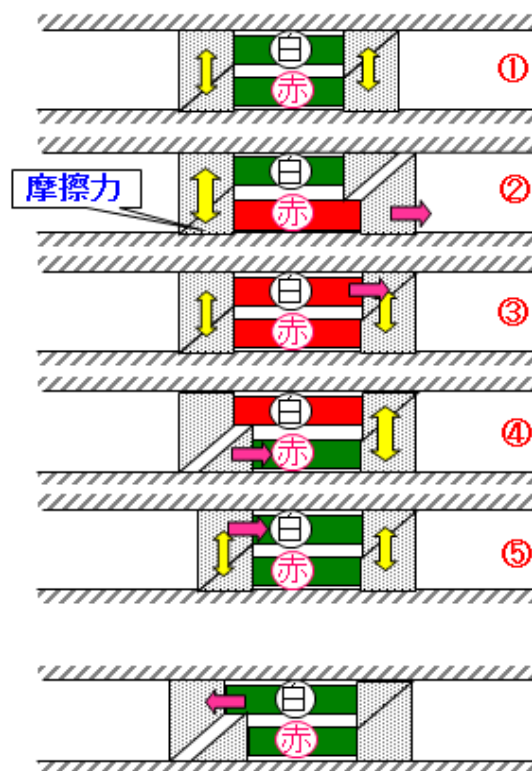


図2 動作原理

2.1 ステップ動作の確認

本モータはより確実な「くさび効果」を得ようと、前年度までの試作機のくさび角度 76°を 82°に変更した。この試作機を用い、1Hz の正弦波電圧 (0V→150V) を位相差 90°で入力し、その時の変位量をレーザー変位計により行った。本リニアモータの1ステップにおける前進・後進動作の確認を行った。

<レーザー変位計>

コントローラ：パナソニック社製 HL-C2C

測定ヘッド：パナソニック社製 HL-C203B-MK

2.2 往復動作の確認

10Hz の正弦波電圧 (0 V→150V) を位相差 90°で入力し、3 秒ごとに前進・後進の切り替えを行った。変位量をレーザー変位計により計測した。

2.3 推進速度の計測

本リニアモータはよりコンパクト化を目指し、昨年度までのピエゾ素子長 40mm を 20mm に変更した。この試作機に 200Hz の矩形波電圧 (0V→150V) を入力し、レーザー変位計とデータレコーダーを用いて計測した。データレコーダーの横軸は時間、縦軸はレーザー変位計出力なので、「レーザー変位計出力/時間」により速度を算出した。

<データレコーダー>

日置電機社製 MEMORY HiCORDER 8826

2.4 推力・保持力の測定

試作機に 50Hz の矩形波電圧 (0V→150V) を入力した。その時の推力を、フォースゲージにより計測した。また、保持力は無通電状態時にフォースゲージで引張り、モータが保持できなくなった時にフォースゲージが示している値を読み取っ

た。

<フォースゲージ>

アイコーエンジニアリング社製

Digital Force Gage SX-5

3 結果および考察

3.1 ステップ動作の確認

結果を「変位量-時間」グラフ 図3に示す。前進・後進共に約 7 μ m の階段状となった。前進・後進のステップに1ステップ分のずれが見られるが、反転タイミングにより反転1サイクル目のステップ量が多くなることがあることによる。1ステップ目以降はステップの安定が見られる。

図3の様に、1Hz の低速動作でも前進・後進ともに1ステップごとに確実に動作していることが分かる。前年度までの試作機のくさび角度 76°を本モータでは 82°へ変更したことにより、ステップの安定性が向上した。

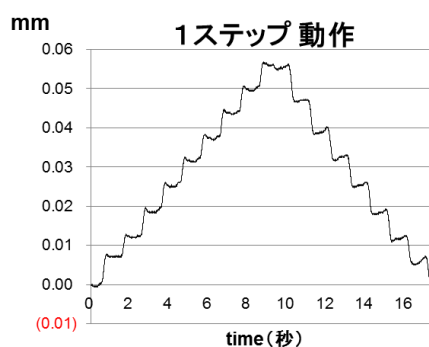


図3 1ステップ動作確認

3.2 往復動作の確認

結果を図4に示す。3秒間の間に、前進・後進共に0.21mm程進んでいる。前進・後進の推進量がほぼ同じ結果となった。210 μ m/(3秒×10Hz)=7となるので、10Hzにおいても1ステップの推進量は約7 μ mであることが分かった。

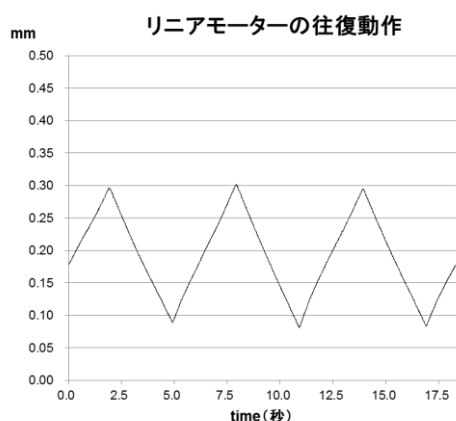


図4 10Hzにおける往復動作

3.3 推進速度の計測

試作機の推進速度は、1.5mm/s であった。昨年度までの試作機に使用していたピエゾ素子の長さは、40mm であった。本リニアモータのピエゾ素子は 20mm のものを用いており、同性能であれば速度は半減する。よって、昨年度の試作機の換算スピードは 1.8mm/s となる。実質的な速度でも昨年度に達していないが、昨年度までの8割以上に達しているため、実用上問題はないと考えられる。

3.4 推力・保持力の測定

推力は 15N、保持力は 20N となった。推力・保持力は本リニアモータと進行レールとの摩擦に依存する。推力<保持力となっているのは、これらの摩擦力の違いによるものだと考えられる。

保持力は、静止状態なので、摩擦力は静止摩擦係数により計算される。一方、本リニアモータの推力は、保持状態ではなく作動状態なので、動摩擦係数により計算される。一般に、動摩擦係数は静止摩擦係数と比較して 50%以下になってしまうので、このような結果になったと考えられる⁸⁾。

4 まとめ

(1) 試作したリニアモータの性能結果

性能試験結果を表1にまとめる。保持力は目標

を達成し、推進速度・推進力も8割の達成度である。

表1 性能実測値

	目標値	実測値
推進速度	1.8mm/s	1.5mm/s
推進力	20N	15N
保持力	20N	20N

(2) 今後の展開

試作したリニアモータは、目標位置まで推進して行き、最後はピエゾ素子の伸縮により微調整ができるようになっている。ピエゾ素子の分解能は電源の分解能となるので、電源さえ高分解能であればピエゾ素子の分解能もサブナノメートルオーダー以下とすることができる。

しかし、「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⁹⁾。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する。

構造の簡素化・コンパクト化をはかり一定の性能を得ることができたので、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。

5 謝辞

本研究は、平成 28 年度に公益財団法人 JKA の「公設工業試験研究所等における共同研究補助事業」(オートレースの補助、28-98)を受けて実施したものです。

参考文献

- 1) 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
- 2) 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

- 3) 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
- 4) (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
- 5) テクノハンズ株式会社，
<http://www.technohands.co.jp/>，2011.3.22
- 6) 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
- 7) (社) 精密工学会 超精密位置決め専門委員会：次世代精密位置決め技術，株式会社フジテクノシステム，(2000)389
- 8) 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，**11**，(2013)
- 9) 荻野重人：高分解能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，**9**，(2010)63