

## 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

ピエゾ素子を利用した昨年度の試作1号機により、基本原理、正逆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、試作2号機・3号機を試作し動作確認と性能試験を行った。1号機において懸案であった推進速度は、試作3号機において最大推進速度1.13mm/sで動作させることができた。推進速度の周波数特性はほぼ比例関係となり、90Hzの時、最大推進速度となった。また、1号機においては、進行ステップに対して、6 $\mu$ m後退する現象が伴っていたが、2号機においては1.3 $\mu$ mまで低減することができた。

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・解析機器には欠かせない存在となっている<sup>1)</sup>。

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、点火器やスピーカー・ヘッドホン・マイクロホンなどに使われている<sup>2)</sup>。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 $\mu$ mと小さく、そのままでは使用用途は限られてしまっている。

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<sup>3),4)</sup>。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<sup>5)</sup>。

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、800N<sup>6)</sup>にも及ぶが、インパクトドライブモータに使

\* 技術支援室 電気・電子技術担当

\*\* (株)メステック

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、ピエゾ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。そして、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 後退現象の測定

本リニアモータは、機構上、後退現象<sup>7)</sup>(進行方向に対して戻る)が出現する。試作1号機は 6 $\mu\text{m}$  の後退現象があったので、対策を行った試作2号機の後退現象を測定した。

試作2号機に 20Hz の矩形波電圧 (0V→150V) を入力し、その時の変位量を静電容量計により計測した。

### 2.2 推進速度の計測

試作3号機に 10Hz～100Hz の矩形波電圧 (0→150V) を入力した。各周波数における推進速度を、スケールとストップウォッチにより計測を行ない、「推進速度一周波数特性」グラフにプロットした。

### 2.3 推力・保持力の測定

試作2号機および3号機に 20Hz 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。

## 3 結果および考察

### 3.1 後退現象の測定

結果を図1に示す。理想的には階段状にならないが、1.3 $\mu\text{m}$  程のわずかなへこみが

見受けられる。これが後退現象であるが、試作1号機の後退現象は 6 $\mu\text{m}$  であったため、試作2号機は対策による改善がみられる。なお、試作3号機は、静電容量センサが設置できない構造なので、試作2号機のみ計測を行った。試作2号機と試作3号機は同じセッティングとなっているので、試作3号機も同程度と考えられる。

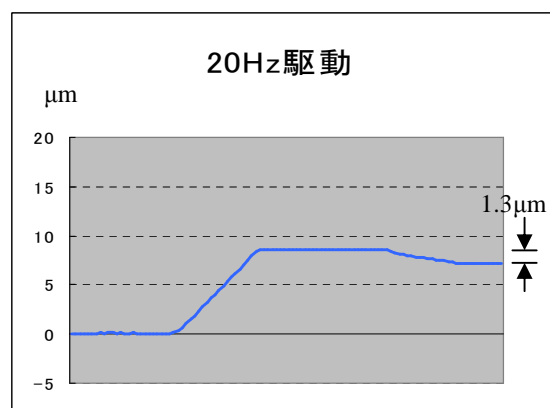


図1 後退現象

### 3.2 推進速度の計測

最高推進速度は、90Hz のとき 1.13mm/s となった。各周波数における推進速度を図2に示す。周波数に比例して推進速度も上昇しているが、100Hz 付近で頭打ちとなっている。これは、レールの剛性不足により、予圧を上げることができなかったため、保持力の低下をきたしスリップを起こしていたためだと考えられる。

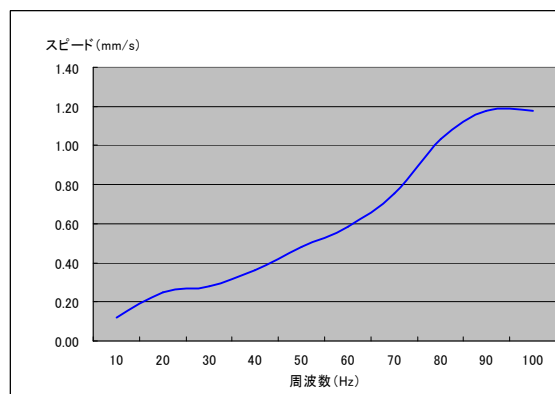


図2 推進速度一周波数曲線

### 3.3 推力・保持力の測定

試作2号機の推進力は 20N、保持力は 100N となった。試作3号機の推進力は 10N、保持力は

40N となった。試作3号機は、レール剛性の問題で予圧を上げることができなかつたので、このような結果になった。

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、図1の後退現象により、ホールド状態ではなく作動状態となってしまうため、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。

## 4 まとめ

### (1) 試作したリニアモータの性能結果

#### 試作2号機

- ・ 推進速度 0.26mm/s
- ・ 推進力 20N
- ・ 保持力 100N

#### 試作3号機

- ・ 推進速度 1.13mm/s
- ・ 推進力 10N
- ・ 保持力 40N

### (2) 今後の展開

試作3号リニアモータは、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、「分解能=位置決め精度」ではなく、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<sup>8)</sup>。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。

また、試作3号機においては、コンパクト化を図るため、レールの新設計を行った。しかし、剛性面で試作2号機より劣るものとなってしまったため、推進力・保持力は性能ダウンとなってしまった。今後は、コンパクトかつ高剛性なレールを再設計し、試作2号機並の推進力・保持力として行きたい。推進速度においても、レールの剛性不足によるロスが発生していると思われるので、剛性UPにより、さらなるスピードアップを目指す。

### 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) 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，(2011)63
- 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