

## 高分解能高推力リニアモータの開発

荻野重人\*

### Development of a hi-resolution and hi-driving force Linear Motor

OGINO Shigeto\*

#### 抄録

従来に比べ高推力を目指し、新方式のリニアモータを試作した。動作確認を行った結果、直線的に0.24mm/sの推進速度で動作した。さらに、逆方向への駆動も行うことができた。性能試験は、推力20N・保持力100N・分解能5nmとなり、目標に対して一定の性能データを得ることができた。しかし、静電容量センサを用い、本リニアモータ1ステップ動作の分析を行ったところ、進行ステップに対して16%程、後退する現象を伴っていることが分かった。この現象が、性能を低下させている要因となっていると考えられるので、今後は、この現象を低減させていくことが大きな課題となる。

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伴い、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<sup>1)</sup>。

ピエゾ素子を使った近年の技術として、インパクトドライブモータがある<sup>2),3)</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>4)</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>5)</sup>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、軸を摩擦ホールドしている状態のまま、スライドしながら動作するもので、仕組み上、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

\* 試験研究室 電子技術・電磁波測定担当

精密位置決め用リニアモータとする。

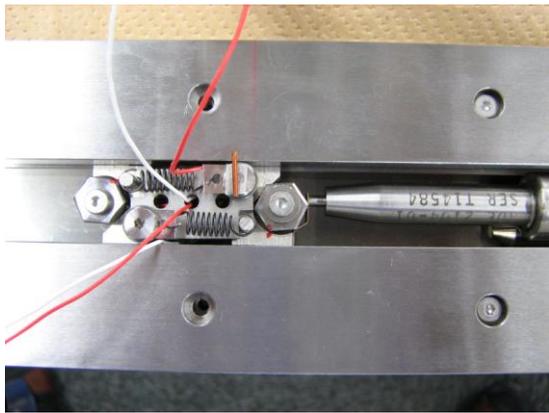


図1 試作リニアモータと静電容量変位センサ

## 2 実験方法

開発するリニアモータの性能目標値を、表1に示す。

### 2.1 推進速度の計測

試作したリニアモータ（図1）に 20Hz の正弦波（ボトム 0V～ピーク 150V）を入力した。そのときの推進速度を、スケールとストップウォッチにより計測した。10mm 進行時の平均値を mm/s 表示で示した。

### 2.2 推力・保持力の測定

試作したリニアモータに 20Hz の正弦波（ボトム 0V～ピーク 150V）を入力した。そのときの推力を、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、モータが動いたときにゲージが示している値を読み取った。

### 2.3 分解能の測定

試作したリニアモータに 1Hz の正弦波（ボトム 0V～ピーク 500mV）を入力した。そのときの変位量を、静電容量計により計測した。

表1 性能目標値

推進速度	0.5mm/s
推力	50N
保持力	100N
分解能	10nm

## 3 結果および考察

### 3.1 推進速度の計測

推進速度の結果は、0.24mm/s となった。ピエ

ゾ素子の変位量が 30 $\mu$ m であるとする、理論的には

$$30\mu\text{m} \times 20\text{Hz} = 0.6\text{mm/s}$$

となる。

試作したリニアモータに 1Hz の矩形波を入力し、本リニアモータの1ステップの動作を、図1のように静電容量変位センサを用いて計測し分析すると、図2のような結果が得られた。理想的には、階段状にならなければならないが、本試作機は、階段を上がってから、5 $\mu$ m 程の後退現象が起きてしまっている。このことが、理論値より低下している原因であると考えられる。

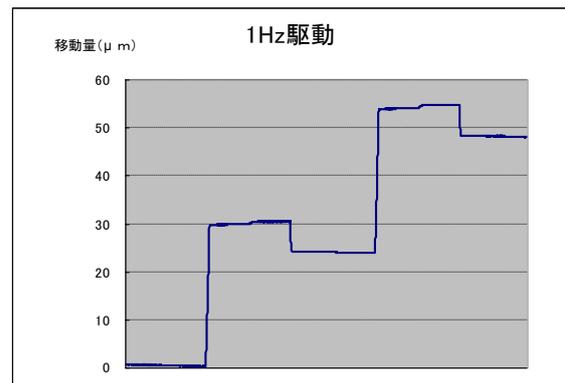


図2 後退現象

### 3.2 推力・保持力の測定

推力は 20N、保持力は 100N 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力に依存する。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2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。

### 3.3 分解能の測定

分解能の結果を図3に示す。1ステップごとに 5nm ずつ移動しているのが分かる。しかし、1ステップごとに約 60nm もの振幅を伴った動作となってしまう。本リニアモータは、入力電圧

が少なくなるほど、後退現象の割合が多くなっていくという現象が現われた。これは、ピエゾ素子の伸縮が小さくなると、部品の精度誤差の割合が相対的に大きくなってしまうためだと考えられる。

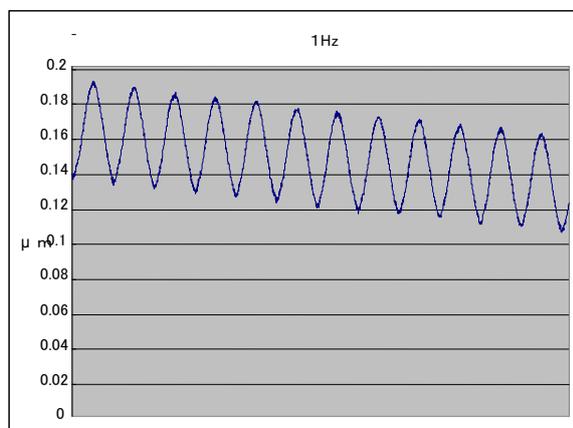


図3 分解能試験

#### 4 まとめ

##### (1) 試作したリニアモータの性能結果

- ・推進速度 0.24mm/s
- ・推進力 20N
- ・保持力 100N
- ・分解能 5nm

1 ステップ動作の分析により、ピエゾ素子の伸縮 30 $\mu$ m に対して 5 $\mu$ m の後退現象 (16%) が見受けられた。

##### (2) 今後の展開

後退現象を分析し、それを踏まえた対策を行い、動作原理の確立を目指す。そして、より信頼性の高いモータとし、普及型の高分解能高推力リニアモータの製品化を目指す。

#### 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) マイクロアクチュエータ研究会：マイ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

3) (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

4) テクノハンズ株式会社，  
<http://www.technohands.co.jp/products/um-tula.html>，  
2011.3.22

5) 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