

122 微小変位特性のナノ位置決めへの応用

Application of Micro-Displacement Characteristics to Nanoscale positioning

○ 非 皆川伸廣 (宇都宮大院) 正 鏡重次郎 (宇都宮大工)
 正 川口尊久 (宇都宮大工) 正 畑沢鉄三 (宇都宮大工)

Nobuhiro MINAKAWA, Jujiro KAGAMI, Takahisa KAWAGUCHI, Tetsuzo HATAZAWA
 Faculty of Engineering, Utsunomiya University, 7-1-2 Yoto, Utsunomiya, 321-8585

Keyword: Micro-displacement, Nano-positioning, Friction drive

Recently, the nanoscale positioning of table is frequently required for industrial applications. There have been developed many methods of positioning together with that utilizing the friction property. In this study, using the friction property and the micro-displacement which arises when two surfaces pressed together are subjected to a tangential force, a basic idea is proposed for developing the positioning system.

1.はじめに

近年、マイクロエレクトロニクスやオプトエレクトロニクスの分野においてナノメートルオーダの位置決めがしばしば要求されるようになってきている。しかしながら、設計や使用上の問題点として、ダイナミックレンジ、精度、安定性、経時変化、熱変形、振動など、問題となる点もまだ多く残されているのが現状である。

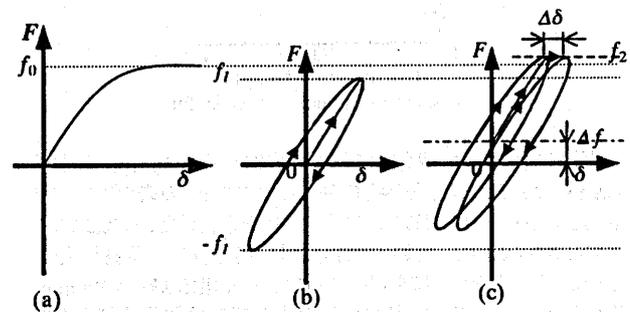
その中で、摩擦を利用した精密送り駆動機構はその原理が単純なことから高精度化が容易であると考えられている。(1,2)また、摩擦を利用した精密送り駆動機構は、長ストロークを比較的高速で使用でき、音が静かであり、位置決めにおける摩擦力が空気軸受けにおけるニューマチックハンマを防ぐという利点もあるため、位置決め機構として注目されている。

本研究では、接触する二面間に接線力を作用させたときに生じる微小変位特性(3)を利用してナノメートルオーダで位置決めできる機構の開発の実験的検討を試みた経緯について報告する。

2.変位特性の精密位置決めへの応用

接触している粗い面と平面との間に接線力 F を加えると、微小な変位 δ が生じる。このとき、接線力 F と変位 δ との関係は Fig.1(a)のようになる。 F が増加するにしたがい δ も増加し、 F がある摩擦力 f_0 より大きくなると巨視的すべりが生じる。いま、 F を巨視的すべりを起こさない範囲(Fig.1(b): $|f_1| < |f_0|$)で $F=0$ を中心に繰返すサイクル荷重を与えると、何度サイクルを繰返しても物体はどちらにもすべり出すことはない。すなわち、変位 δ もゼロを中心として正負の方向に同じ大きさで振幅するだけである。しかしながら、Fig.1(c)のように Fig.1(b)と同じ大きさの接線力の振幅にもかかわらず、プラス方向に Δf のオフセット力を与え、これによって負荷の最大値 $f_2 (=f_0 + \Delta f)$ が f_0 を越えることから、1サイクル毎に例えば $\Delta \delta$ の微小変位を生じる。

ここでは、この微小変位 $\Delta \delta$ を利用することにより、微小送りを実現することを考える。



(a) Under increasing tangential force.
 (b), (c) Under cyclic tangential force

Fig.1 Displacement curve

3.実験方法

Fig.2に実験装置を示す。この装置はまず一定の振幅をもつ電圧を、アンプ、ドライバを介してコイルに印加する。次に、それにより発生する磁場に、黄銅駆動試料に取付けた永久磁石を置き、そのとき発生する電磁力を黄銅駆動試料に接線力として作用させた。さらに、これにより生じる変位を静電容量形変位計で測定した。その際変位は、黄銅駆動試料の側面とセンサー端面の静電容量の変化から計測し、レコーダに記録した。なお、電圧は発振器を用いて加え、さらに実験中は接線力のオフセット量 Δf を与えるために一定の DC 電圧を印加した。

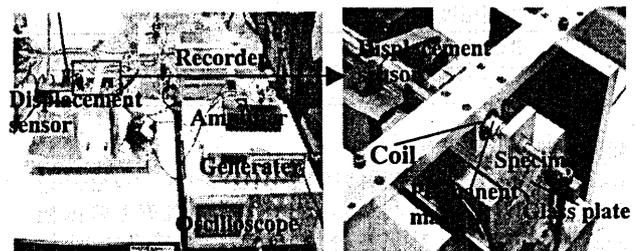


Fig.2 Experimental apparatus

なお、コイルと黄銅駆動試料に取付けてある永久磁石との距離によって接線力が変化するため、実験前にひずみゲージで接線力の測定を行った。その結果、コイル端面と黄銅駆動試料に取付けてある永久磁石の距離が 1.5mm のとき最も安定し、接線力とコイルの印加電圧に比例関係があることを確かめた。また接線力サイクルの振幅の大きさを決めるために、あらかじめ巨視的すべりを起こさない範囲の最大接線力 f_0 を測定した。この測定により得られた接線力-変位曲線を Fig.3 に示す。なお、このとき駆動試料表面とこれを支える V 字形のガラス板の面間には後述するように 0.32N を負荷した。同一条件で 4 回繰返し実験の結果である。

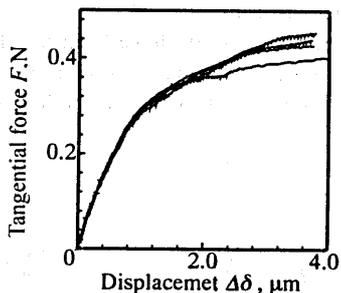


Fig.3 Displacement under tangential force

実験に使用した黄銅試料の寸法は、長さ 50mm、高さが 33.9mm である。また、試料と接触する V ブロックの表面には、安定した接触すべりを得るためにガラス板を取付けた。また試料は実験に用いる前に、黄銅の駆動試料の接触面は、最終仕上げを #400 のアルミナ砥粒を用いて行い、表面粗さは約 $4.60\mu\text{mRy}$ である。V ブロックに取付けたガラス板試料の接触面は購入のままの平滑面を用いた。また、実験前に 2 つの接触面に汚れが付くのを防ぐために 2 つの接触面をアセトン、エタノールで洗浄した。なお、試料の機械的性質を Table1 に示す。

Table1 Mechanical properties and roughness of specimens

	材料	表面粗さ μmRy	硬さ HV	ヤング率 GPa
駆動試料	黄銅	4.60	90	100
試料	ソーダガラス	(鏡面)	600	68.9

Table2 に実験条件を示す。実験は様々な接線力と接線力のシフト量の組み合わせで行った。測定時間、周波数は、それぞれ 19 秒、1.0Hz とした。また、実験は無潤滑で行った。

Table2 Experimental conditions

接線力, N	0.130~0.308
接線力のオフセット量, N	0.04~0.33
周波数, Hz	0.5~3.0
環境温度, °C	20~25
環境湿度, %	25~35
測定時間, s	19

4. 実験結果および考察

Table2 で示したように、実験は様々な接線力とそのオフセット量の組み合わせで行ったが、ここでは、(a) 接線力の振幅 0.129N、接線力のシフト量を 0N の場合と、(b) 接線力の振幅 0.148N、接線力のシフト量を 0.23N とした場合のみについて述べる。

(a) 接線力の振幅 0.129N、接線力のシフト量 0N の場合

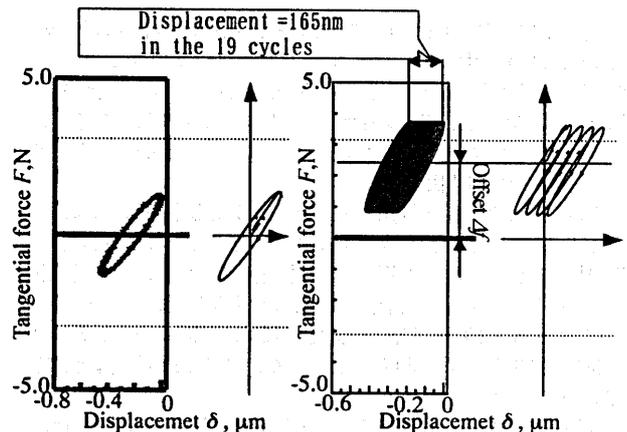
(a) 接線力の振幅 0.129N、接線力のシフト量 0N の場合

Fig.4(a)は、振幅 $\pm 0.129\text{ N}$ の大きさをもつ接線力に対してオフセット量 $\Delta f = 0\text{ N}$ で実験を行った結果である。Fig.4(a)は変位と接線力の関係を、サイクル毎の変化に重ねて表している。なお、 $\Delta f = 0\text{ N}$ でも図のようにわずかな変位がみられるが、これは測定器の DC レベルの変動や環境温度の変化に伴う熱膨張などによる変位と考えられる。

このことから、2.で述べたように接線力サイクルの最大値がすべり出しを起こす摩擦力 f_0 を越えないため、黄銅試料がすべり出すことがなく、正負の方向に同じ大きさの変位を繰返すだけであることを示している。よって、この範囲の接線力の大きさでは接線力を繰返しても微小送りを実現することはできない。

(b)接線力の振幅 0.148N、接線力のオフセット量 0.23 N の場合

Fig.4(b)は、振幅 $\pm 0.148\text{ N}$ の大きさをもつ接線力に対してオフセット量 $\Delta f = 0.23\text{ N}$ で実験を行った結果である。Fig.4(a)の場合とは違い Fig.4(b)では、サイクル毎に変位が生じていることがわかる。これは、オフセット量を含んだ接線力サイクルの最大値が、すべり出しを起こす摩擦力 f_0 を越えていることによるものと判断される。ここで、Fig.4(b)より、黄銅駆動試料は 19 秒間に 19 回の振幅を繰返し、その間に 166nm 移動していることが確かめられた。つまり、1 回の繰返して生じる微小変位 $\Delta\delta$ は、平均 8.75 nm となる。



(a) Without offset force: 0N (b) With offset force: 0.23N
Fig.4 Displacement under cyclic tangential force

5. おわりに

本研究では、粗い面と平面の間に働く接線力による微小変位特性を利用して、ナノオーダー位置決めへの基本的な考えを提案した。これに関する実験結果、以下のことが明らかになった。

1. 接線力サイクル変動の大きさを $\pm 0.148\text{ N}$ とするとき、 0.23 N のシフト量を与えれば、サイクル当たり 8.75 nm の微小変位で試料を送ることができることがわかった。
2. 平面と平面の接触において、物体間にサイクル変動接線力のほかに任意の接線力量を与えることにより、目標とするナノ位置決め機能をもつ微小精密送り機構の実現の可能性を得た。

参考文献

- 1) 大塚次郎：月刊トライボロジ、7(1989)12
- 2) 古谷克司・樋口敏郎・山形豊・毛利尚武：精密工学会誌、61,3(1995)401
- 3) Takashi Fujimoto, Juijiro Kagami, Takahisa Kawaguchi, Tetsuzo Hatazawa: WEAR, 241(2000)136-142