

Stick-slip 運動を用いたステージの開発

森永研究室 廣瀬和眞

1. はじめに

現代の技術社会において必要不可欠なマイクロマシンテクノロジー、精密技術等は今後さらに発展する技術として注目されています。その中でも高精度位置決め技術は超精密加工、光学システムなど多くの産業および科学分野で重要な役割を果たしています。数多くの方式のアクチュエータの中でも電圧印加することで、それ自体を変形させることができ、圧電素子を材料に用いたアクチュエータに期待がかけられている。圧電素子は超音波モーターなど小型で高出力なマイクロアクチュエータとして多くの研究・開発が行われ実用化に至っている。その中の一つに stick-slip アクチュエータがある。これは圧電素子の急速変形と慣性と摩擦を利用したアクチュエータである。Stick-slip 現象が基本原理になっており、この名前はその動作原理からきている。

一般的な電動ステージは運動自由度が増すと大がかりな装置が多くある。しかし、今回作成した Stick-slip 運動を利用したステージでは、小型

に物体の移動や位置制御に用いることができる。このステージを 3D プリンターを利用して作成したアクチュエータと安価な圧電素子を用いて簡易的なステージを作成し、その 2 次元中の移動とその効率化を目指している。

2. 原理

Stick-slip 運動は、摩擦と慣性力を利用して滑りを生じさせる動作である。図 1 のように土台 B の上に移動体 m が摩擦保持されている状態を考える。ここで右方向を正の方向としている。

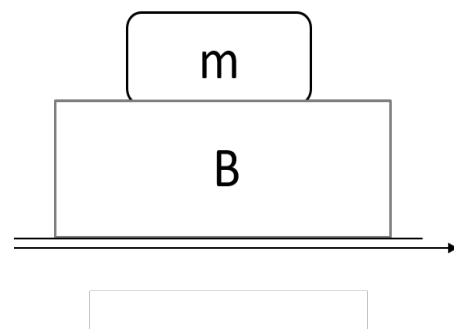


図 1 Stick-slip 運動原理モデル

Stick-slip 運動には 2 種類の動作がある。一つは、正方向へのゆっくりとした動き、もう一つは負の方向への急速な動きである。図 1 のよ

うな状態の土台 B と移動体 m が摩擦保持された状態において、土台 B を正方向にゆっくり動かす。この時摩擦力の影響で移動体 m は土台 B と共に動く。次に、土台 B を急速に負の方向に動かし元の位置に戻す。このとき移動体 m にかかる慣性力が土台 B との静止摩擦力を越えると滑りが生じる。この運動の時間変化について図 2 に示す。

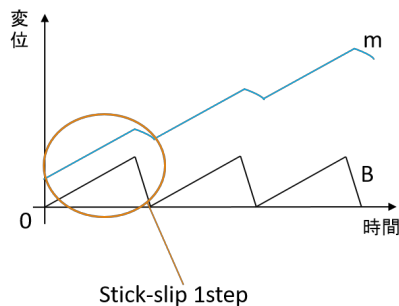


図 2 Stick-slip 運動の時間変位
 図 2 のように土台 B に変位を与えることで急速に変化している部分でわずかな距離戻るものの移動体 m の変位が得られる。この一つの変位が Stick-slip の 1 ステップである。また、土台に与えたノコギリ変位を逆にすることで逆方向への運動が可能となる。この運動を用いて次元を駆動するインパクトタイプのアクチュエータを図 3 に示す。

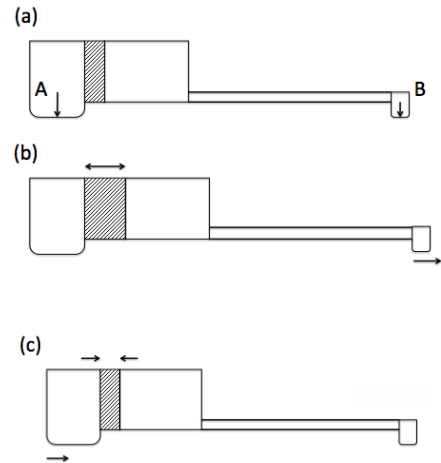


図 3 インパクトタイプの原理モデル

図 3 は A、B 点で摩擦保持されているアクチュエータを考える。間の斜線部が圧電素子である。この圧電素子に図 4 のような非対称な電圧を印加することで Stick-slip 運動を発生させる。

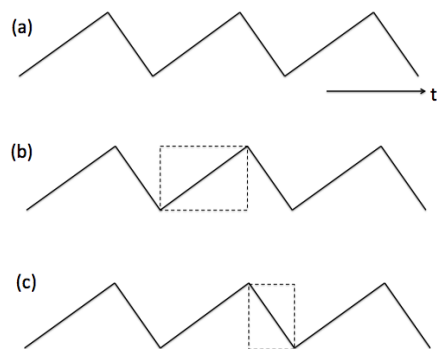


図 4 印加電圧

図 3 の (a) は、電圧をかける前のアクチュエータである。A、B 点が地面と接地している。図 3 の (b) は、図 4 の点線部で囲まれている右肩上がりの部分の電圧がかかっている時のアクチュエータの動きを示している。電圧がかかっていることで圧電素

子が伸びて、B 点の接地しているところが右側に進んでいる。A 点の部分は、動いていない。A 点と比べて B 点があるかに軽く作られているために A は動かず B 点のみ動く。(c) は、図 4 の点線部で囲まれている右肩下がりの部分の電圧がかかっていることで、圧電素子が縮み、A 点が右側に動く。(b) の時の圧電素子の伸びる時間に比べて、急速に縮むことで慣性のために B 点が動かずに、A 点が動くことになる。(b) (c) の電圧変化が短い時間に何度も繰り返すので、結果として、このアクチュエータは右側に少しずつ動くことになる。一方、急峻な電圧上昇と緩やかな電圧下降のノコギリ波を印加すると全体の動きとして左側に少しずつ動くことになる。このアクチュエータの動きを参考にこれを組み合わせることで 2 次元上の動きを実現する。

3. 結果

3 つの圧電素子を用いて作成した二次元に動くアクチュエータを作成した。作成したアクチュエータの模式図を図 5 に示す。図に示しているノコギリ波はそれぞれに印加したノコギリ波である。

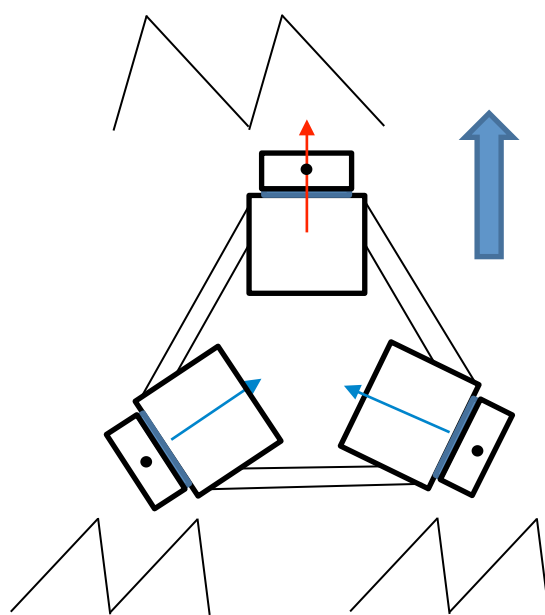


図 6 作成したアクチュエータ
3 つの圧電素子を真ん中から 120° ずつに置いてアクチュエータとして駆動させた。各圧電素子に対して垂直に移動させることができたため、3 軸上を動くのみで回転をさせることができなかった。これは、回転をさせるときに印加した電圧は、1 つを電圧印加せず、他の 2 つを逆位相の電圧印加することで回転をさせようとしたが、これでは、三角形の重心に 1 方向の力が働くのみで回転させることができなかった。

次に、図 7 のような配置のアクチュエータを考える。

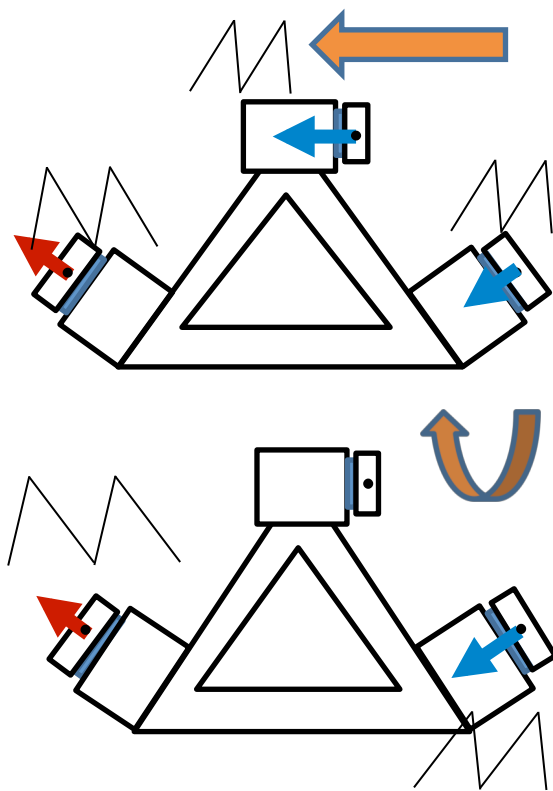


図7 二次元中を動くアクチュエータ

それぞれの圧電素子に印加しているノコギリ波を逆位相にすると逆向きに動かすことができる。左右への並進運動は左右の圧電素子の印加電圧を逆位相にし、真ん中のアクチュエータが動く向きに移動をさせることができる。左右の回転運動は、真ん中の圧電素子に電圧を印加させずに左右を逆位相の電圧を印加させることで、回転をすることができる。そのため、このアクチュエータは二方向への並進と左右の回転を持つ。それぞれの圧電素子に印加する電圧を変化させることで、2次元中を自由に移動することができる。アクチュエータの性能を評価するために時間

と移動距離の変化を示す。今回使用した圧電素子(LF-31E17B)は圧電スピーカーと呼ばれるもので、低電圧でもよく動く。耐電圧は40Vであり、圧電素子は高電圧の方が大きく変化するため、実験では40Vを印加させた。初めに、周波数を変化させた時の時間と移動距離の関係を図8に示す。移動距離を測定するために並進運動をもつ電圧波形を印加して実験を行った。

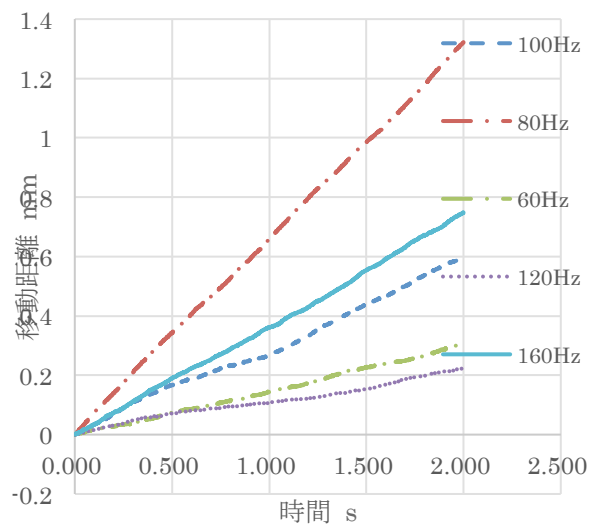


図8 周波数変化

60Hz以下の周波数ではこのアクチュエータは駆動しなかった。最高移動距離は80Hzの時であった。これ以降も周波数を上昇させたが80Hzの移動距離を超えることはなかった。周波数を上げることで一秒間あたりのノコギリ波の数は増えているが、距離は増加しなかった。今回使用した圧電素子の変形が電圧変化に対応できなかったため、圧電素

子の緩やかな変化と急峻な変化に対応しなかったため Stick-slip 運動が発生せず動きが見えなかったと考えられる。次に実際にステージを実装して駆動させ、周波数変化を測定した。ステージ付きのアクチュエータの模式図を図 9 に示す。

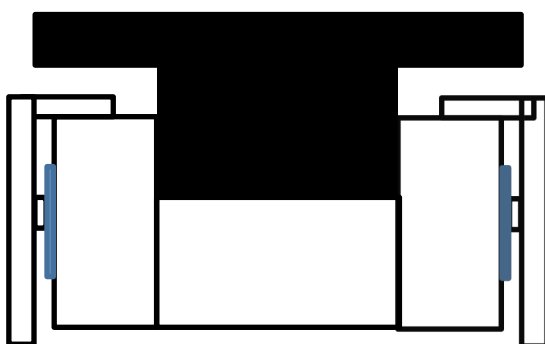


図 9 ステージ付きのアクチュエータ

ステージ付きの周波数変化は、80Hz で最大とならず 200Hz で移動距離が最大となった。これは、ステージを実装したことで全体としての重さが増え、Stick-slip 運動が起きなかったと考えられる。200Hz で最大の移動距離を持つためにステージを含む移動の際は 200Hz の周波数で駆動させる。次に、ステージ上に物体を乗せ、荷重を変化させた時の時間に対する移動距離を図 10 に示す。

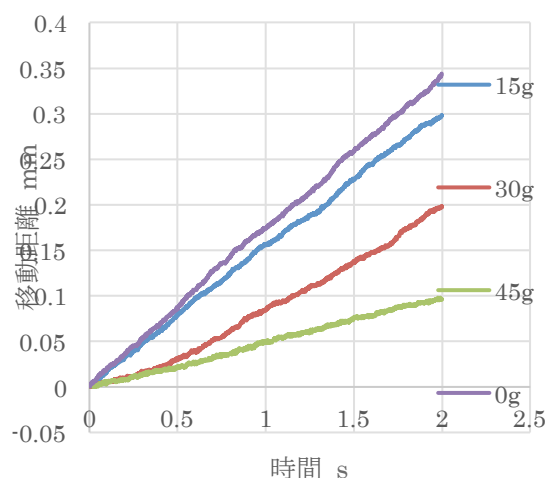
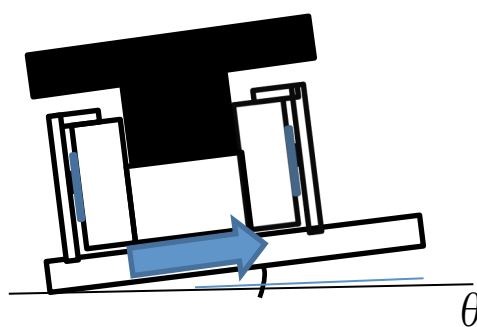


図 10 荷重変化させた時の駆動
図 8 は 0g から 15g ずつ変化させた時の移動距離を示している。60g 以上の荷重でステージが駆動しなかった。荷重が重くなるほど移動距離は小さくなるが、軽いものをステージに乗せ移動させることができるのでステージとして十分に機能する。最後に、水平なところ以外でもステージとして駆動する確認のために図 11 のような状況で駆動を行った。



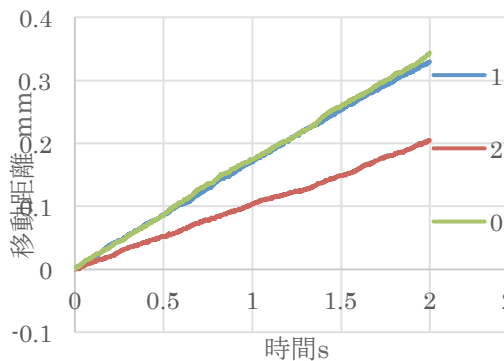


図 11 水平以外の駆動

$\Theta=0^\circ$ から 1° ずつ上昇させて駆動するか確認した。 3° で移動が見えなくなった。ステージを乗せての駆動は水平でなくても駆動することができるが、 1° 程度までの最大移動距離は変化しなかったがステージを駆動させる面はできるだけ水平に近づけるべきである。

4. まとめ

今回の実験では、3つ圧電素子を用いて二次元中を移動するアクチュエータを作成することができた。このアクチュエータは圧電素子への印加電圧の変化や周波数に応じて駆動する距離が変化する。このアクチュエータは、一般的に用いられている熱熔解積層方式の3Dプリンターで作成した。安価な圧電素子を用いているため、誰にでも容易に数mm程度の分解能で駆動させることができる。作成したステージは2方向への並進と左右の回転を持つために、二次元

中を自由に動かすことができる。

Stick-slip アクチュエータは摩擦を用いるために再現性はほぼない。しかし、軽いものをステージ上に乗せ、ガタのない駆動をして位置合わせなどにはかなり役に立つと考えられる。

5. 参考文献

- (1). S. Verma, W. J. Kim and H. Shakir, 'Multi-axis maglev nanopositioner for precision manufacturing manipulation applications', IEEE Transactions on industry applications, Vol41, NO. 5, September/October 2005
- (2). J. K. Fisher, J. Cribb, K. V. Desai, L. Vicci, B. Wilde, K. Keiser, R. M. Taylor, J. Haase, K. Bloom, E. T. O'Brien and R. Superfine, 'Thin-foil magnetic force system for high-numerical-aperture microscopy', Rev Science Instrum, Vol77, no. 2, pp1-9, Feb. 2006
- (3). 吉田龍一、岡本素弘、岡田浩幸 "スムーズインパクト駆動機構の開発(第2報)" 精密工学会誌 (2002) p536-541