

# 非対称振動を用いたアクチュエータとその IoT 化

森永研究室 B4 廣瀬和眞

## 1. 序論

近年、ナノテクノロジーの発展に伴い、携帯電話などの機器の小型化、高精度化が望まれ着実に進歩を遂げてきた。従来の代表的なアクチュエータである電磁モータでは、小型化に対応していくことが難しいと考えられてきた。そこで、圧電素子の急速変形と慣性と摩擦を利用する stick-slip アクチュエータが提案されてきた。

本研究の目的は、今回考案した新しい stick-slip アクチュエータについて、非対称波形であるノコギリ波を圧電素子に印加したときのアクチュエータの動きを解析することである。

## 2. 原理

考案した stick-slip アクチュエータは圧電素子に電圧を印加した時の長さ変化によって移動をする。このアクチュエータの模式図を図 1 に示す。

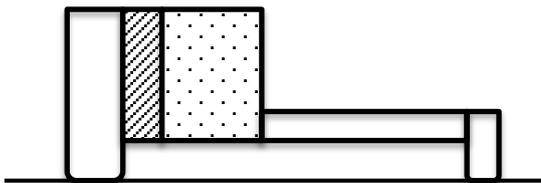


図 1 アクチュエータの模式図

ここで、斜線で囲まれているところが圧電素子で、ドット状のところ

重りである。次に、電圧を印加した際の動きを図 2,3 に示す。

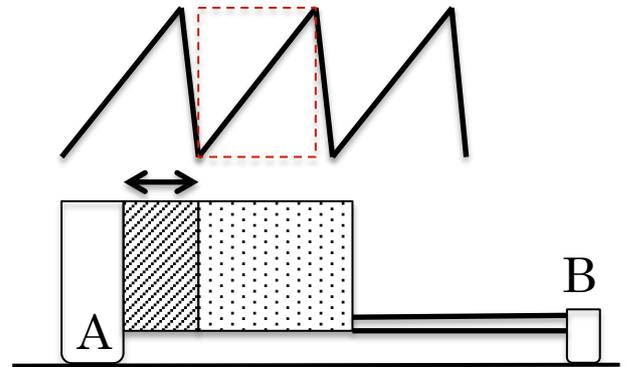


図 2 緩やかな電圧上昇時

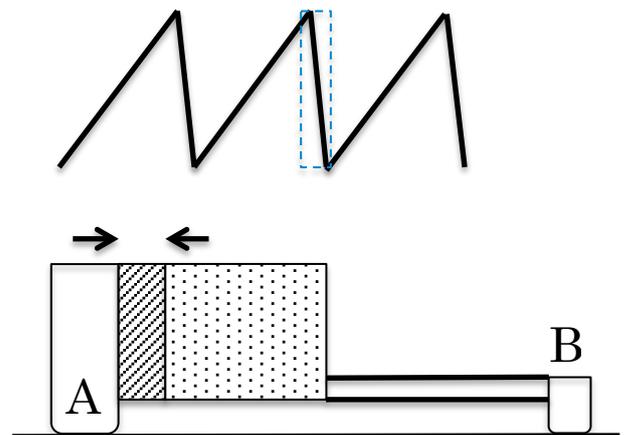


図 3 急峻な電圧下降時

まず、図 2 図 3 共に右側に進む方向を正の向きとする。図 2 の方では圧電素子に印加する電圧が緩やかに上昇することで、圧電素子がゆっくりと伸びる。このとき、A 点の接地しているところは動かずに B 点の方が右側に動く。A 点が動かずに B 点が進むのは、A と B では、A の方が重

く作られており、摩擦の影響を大きく受けるためである。次に、図 3 の方では圧電素子に印加する電圧が急峻に低下することで、圧電素子が急速に縮み元の大きさに戻るときに、A 点が滑ることになる。

ここで、B 点が滑らずに A 点が滑るのは、圧電素子の右側と左側を比較すると、左側は A 点のみだが、右側は B 点と重りがあり右側の方が重くなっている、慣性力が A 点の摩擦の力よりも慣性の力が大きくなるためである。このように、一回のノコギリ波形で A 点と B 点は同じ向きに動き、一方向に動くことがわかる。

### 3. 実験結果

まず、圧電素子に印加させるノコギリ波形の電圧を実現させるために、図 4 の回路を作成した。

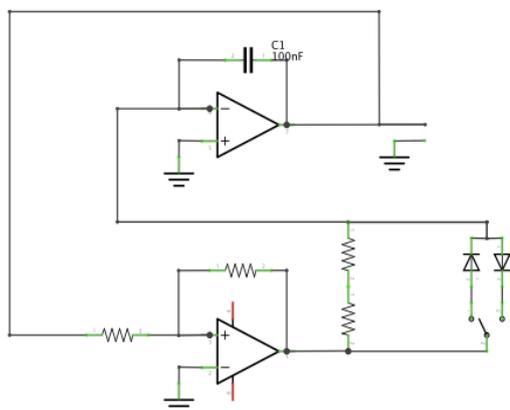


図 4 ノコギリ波発生回路

この回路は、オペアンプを 2 つ使いそれぞれの出力を他方の入力と接続させる。上のオペアンプは積分回路の振る舞いを行い、下のオペアンプはヒステリシスを持つシュミット

リガ回路の振る舞いを行う。

積分回路の出力電圧は、

$$V_o = -\frac{1}{CR} \int V_{in} dt$$

入力電圧の時間積分に比例する。

一方、シュミットトリガ回路の出力電圧は、入力電圧によってヒステリシスをもつ波形を出力する。それぞれの出力を他方の入力に繋いでいるので、このままだと三角波が出力されるだけでノコギリ波が出力することがない。

そこで、積分回路の入力側に接続してある抵抗と並列にダイオードを接続する。

図 4 では、左側のダイオードと接続している。この時、シュミットトリガ回路の出力が正だと電流が抵抗を通らずにダイオードを通して積分回路まで流れることにより、急速にコンデンサに充電が行われる。逆に出力が負の場合ダイオードに電流が流れずに抵抗に流れてから積分回路まで流れることにより、徐々に充電が行われる。このようにすることで、電圧が上昇する時間と下降する時間に違いが生じ、ノコギリ波を発生することができる。今回の場合は徐々に電圧が上昇していき、急峻に電圧が下降するよう波形になる。また、逆向きのダイオードに接続することで、電圧が急峻に上昇していき、徐々に電圧が下降していくような逆のノ

コギリ波が発生する。

次に、このノコギリ波を圧電素子に印加したときのアクチュエータの動きを観測する。図5のような実験系を作成し、観測を行った。

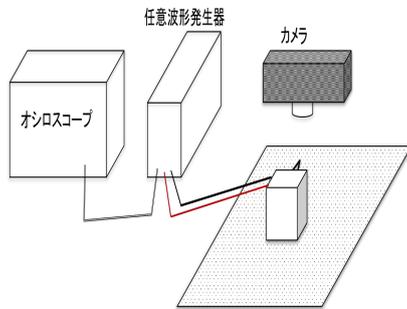


図5 実験系

アクチュエータに印加した電圧の波形をオシロスコープで確認しながら、周波数を変化させて実験を行った。ここで、カメラは2秒間シャッターを開けLEDの点滅を1秒間隔ですることにより、画像には2つの影が残ることになり、その間の距離を測ることによって速度を求めた。

まず、100Hz以下の低い周波数で測定を行った結果を図6に示す。

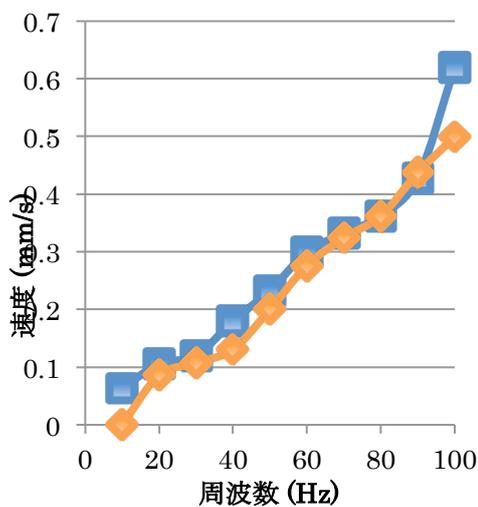


図6 低周波数での速度

青プロットは正の向きに進み、オレンジプロットは負の向きに進む速度である。

ここでは、どちらも速度が周波数に比例していることがわかる。比例関係になる理由としては、このアクチュエータは一つのノコギリ波で動く距離が決まっているので、周波数が高くなることで1秒間あたりに発生するノコギリ波の数が多くなると進む速度が速くなると考えられる。

次に、100Hz以降の周波数で測定を行った結果を図7に示す。

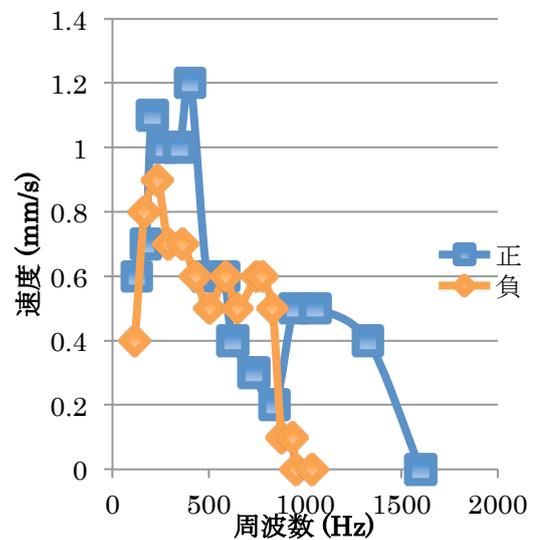


図6のような速度と周波数の比例は見られなかった。200~400Hz程度の周波数で速度が最高となっていた。比例関係が見られなかった理由としては、周波数が高くなると圧電素子の伝達関数の影響や、作成した構造との共鳴が起こり、振動がうまく伝わらなかったからだと考えられる。

#### 4. まとめ

今回の研究では、非対称の振動を作成しそれを圧電素子に印加させることで、アクチュエータの動きの解析をすることができた。低い周波数では、周波数に速度が比例していた。しかし、周波数を高くしていても思うような比例関係を得ることができなかつた。さらに、アクチュエータの動きは摩擦に大きく影響される。今回の実験では、アルミニウム板の上で動きの観測を行ったが素材を変えることによつての変化等も観測していきたい。電圧の上昇と下降の時間の比率によつて速度に違いが生じることがわかつた。

#### 5. 展望

今回の実験では、圧電素子を一つ使用したアクチュエータの動きを観測したが、圧電素子を3つ使用するアクチュエータを作成することで2次元の動きを実現する。圧電素子1つときには動きは1次元の動きしか実現することができないが、3つ使うことで動きを2次元方向の並進運動+回転に動きを拡張することができると考えられる。さらに、これを esp8266 という wifi モジュールをすることで、このアクチュエータの動きを制御したりすることや、センサーをつけて、速度を観測させたりすることで IoT を実現させていきたい。

#### 6. 参考文献

1. 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
2. 岡本素弘、吉田龍一：圧電リニアアクチュエータの開発 電気通信大学論文誌
3. K.Nakano：Two dimensionless parameters controlling the occurrence of stick-slip motion un a 1-DOF system with Coulomb friction Tribology Letters,Vol.24,No2,November 2006 DOI:10.1007 P91-98
4. 袴田 恵世：stick-slip アクチュエータに関する文献調査 5. Massimo Banzi：Arduino を始めよう第2版 オーム社 2012