

熱で動くミミズ型ロボットを作ろう！

東京電機大学 未来科学研究科 ロボット・メカトロニクス学専攻

チーム名：プロジェクトバイオ釜 2nd

代表者氏名 森田和希，野口裕司，村木一平，木村佳史郎，鈴木元哉

1. 背景

災害現場や発電所，化学プラントで移動可能なロボットが望まれている．これらの現場は，人間が作業を行うにはあまりにも困難で危険な環境である場合が多い．自立型の二足歩行ロボットや走行ロボットが実用化されているが，これらの移動機構は管内での移動や瓦礫・倒木などにより移動スペースが限られている環境で十分な性能を発揮できない．そのため，人間が活動できないような災害地，環境において，限られたスペースを自由に移動できる小型ロボットの活躍が期待されている．

その一例として，ミミズの動作を模倣した小型ロボットが提案されている．ミミズ型ロボットはミミズの移動メカニズムを模倣して前進するロボットである．ミミズ型ロボットは，図 1 に示すように，移動に必要な空間が小さいため，災害現場での活動に適している．先行研究では，電動モータや形状記憶合金を用いたミミズ型ロボットが提案されている．現在，様々な災害現場に対応するために，さらなる軽量化や小型化の研究が行われている．

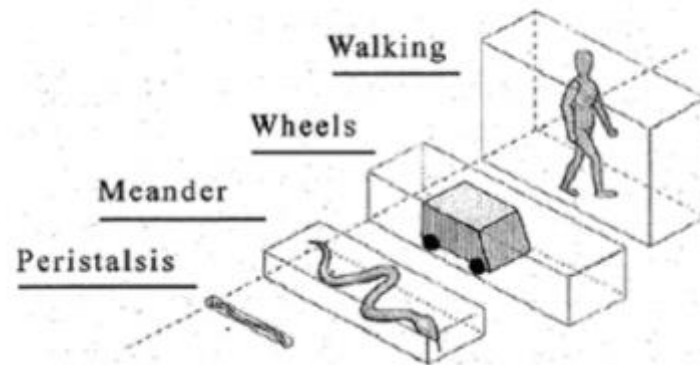
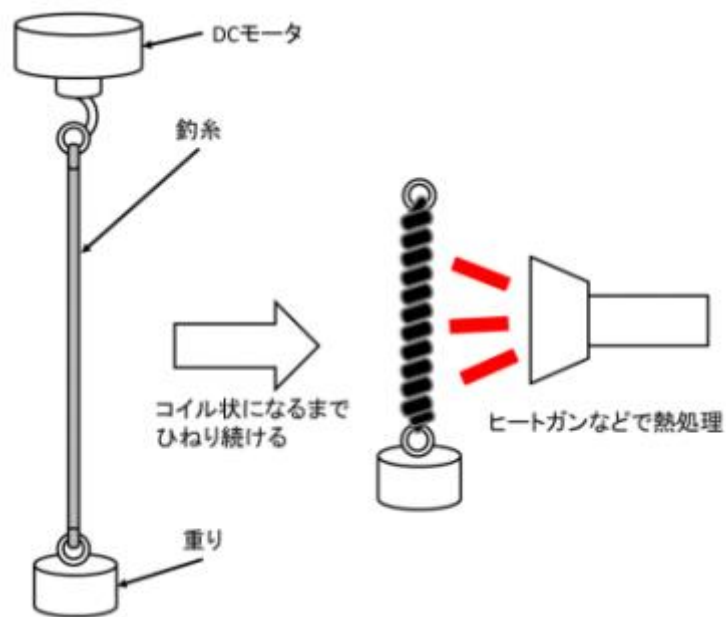


図 1 各生物に移動空間[1]

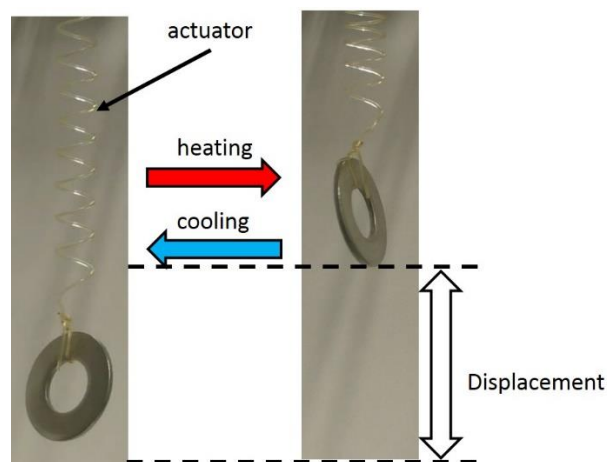
2. 目的

本プロジェクトでは，柔らかく高出力な釣糸人工筋を用いた，世界最軽量・最安価な熱で動くミミズ型ロボットを開発する．釣糸人工筋は，図 2 で示すように，「ひねったコイル状のナイロン糸を加熱すると収縮する」物理現象を利用した人工筋である[2]．この人工筋は，図 2(b)のように，過熱すると収縮し，冷却すると伸長するという特徴を持っている．また，人工筋自身の質量に対して，1000 倍以上の物体を持ち上げることが可能である．市販の材料から簡単な手順で製作できるため，高い量産性を有している．この人工筋をロボットに適用することで，軽量かつ小型でより安価なミミズ型ロボットを実現できると考える．

本プロジェクトでは，釣糸人工筋を用いたミミズ型ロボットを試作し，性能を評価する．また，市販の材料にてロボットを製作できるような製作方法を確立する．



(a) 人工筋の製作手順



(b) 人工筋の駆動の様子

図 2 釣糸人工筋の製作手順と駆動

3. 熱で動くミミズロボット

本章では、熱で動くミミズロボットの構造・動作アルゴリズムについて説明する。

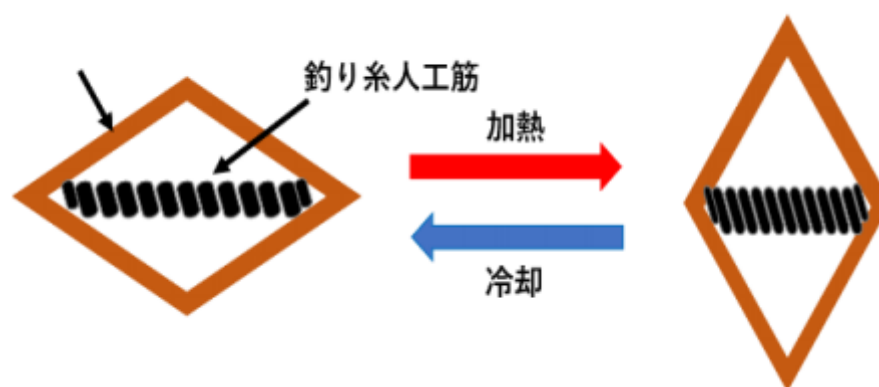
3.1. 動作アルゴリズム

ミミズ型ロボットの動作アルゴリズムについて説明する。図 3 にミミズの簡易構成図を示す。図 3 のようにミミズは、体節と呼ばれる伸縮するユニットにて構成されている。いくつかの研究にて、ミミズは以下のような順序により、前進動作を実現していることが報告されている[3]。

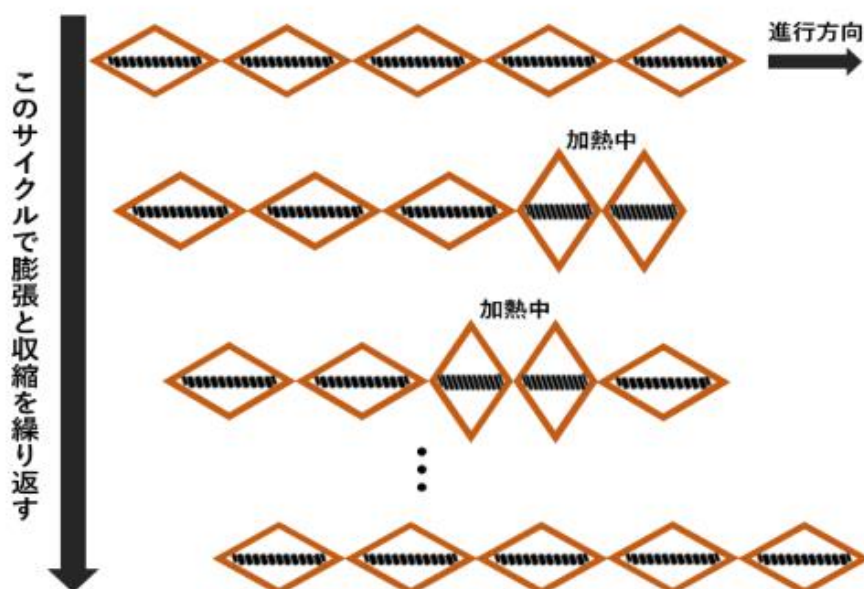
(1) 頭部の体節を収縮させる

- (2) 収縮した体節により地面との摩擦を発生する
- (3) 後方の体節へ収縮を伝播させつつ、収縮していた体節を伸長させる
- (4) 伸長した体節は収縮した体節の摩擦力により後ろに下がることなく前進する

図 3 に本プロジェクトで考案するミミズ型ロボットを示す。本ロボットは、柔軟なユニットが 4 つ連結した構成となっている。各ユニットは、釣り糸人工筋が搭載されており、温度変化によって図 3 のように伸長・収縮する。このユニットを 4 個接続することでミミズの動作を模倣し、前進動作するロボットを実現できると考える。



(a) ロボットの 1 ユニット



(b) ロボットの移動アルゴリズム

図 3 ミミズ型ロボットの構成案

4. ロボットの製作実験

本章では，ロボットの製作実験にて説明する．ロボットの製作実験は，以下の実験から構成されている．

- 1 アクチュエータの試作・性能評価
- 2 駆動回路の製作
- 3 ロボットのボディ開発

4.1. 人工筋の試作・性能評価

まず，基礎的な検証として釣糸人工筋の試作を行う．釣糸人工筋に用いる材料として，熱が伝わりやすい線径が小さなナイロン糸が必要となる．ただし，線形が小さいナイロン糸は，過負荷によって破断しやすい．また，駆動システムを簡単にするため，電圧印加による通電加熱が可能な導電性ナイロン糸が望ましい．ここでは，強度と細い線径を両立したミツフジ製の導電性銀メッキナイロン糸(AGpss100/3)を用いる．

選定した糸を用いて釣糸人工筋の試作を行う．ここでは，前報の製作手順にならい，人工筋を製作した．製作に用いた実験装置を Table 1 に示す．ここでは，Table 1 の装置を用いて以下の手順で製作実験を行った．

Table 1 人工筋の材料

名前	メーカー	型番	用途
銀メッキナイロン糸	ミツフジ株式会社	AGpss 100/3	人工筋の材料
ゼノクリップ		-	

Table 2 実験装置

名前	メーカー	型番	用途
DC モータ	タミヤ	-	釣糸をひねるため
直流安定化電源	TEXIO	PW2.5-2AQP	DC モータ用の電源
熱処理用オープン	アズワン	OF-450	熱処理用

(1)図 4 のように 150 mm 程度の釣り糸の両端にクリップを固定する．



図 4 クリップを括り付けた釣り糸

(2)図 5 のように釣り糸に 50 g 程度の重りを吊り下げ、DC モータを用いてコイル状になるまで釣り糸にひねりを加える。コイル状になった釣り糸を図 6 に示す。ただし、安定化電源から DC モータに印加される電圧は、10V 程度とする。



図 5 重りを吊り下げた釣り糸

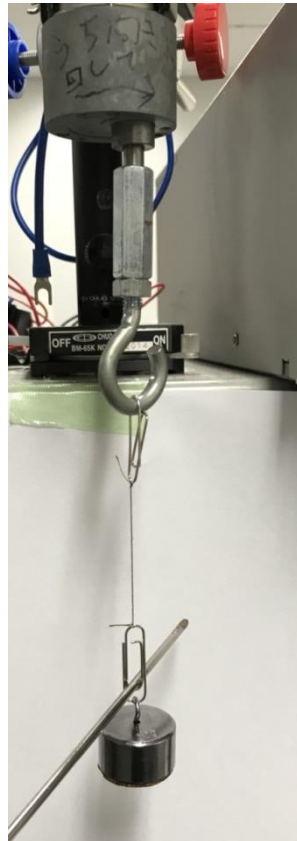


図 6 コイル状になった釣り糸

(3) 図 7 のように巻き戻らないように釣り糸を拘束し，熱処理用オーブンの中で 180 °C の温度で一時間程度の乾熱の熱固定を行う．



図 7 オープンで熱処理している様子

(4)熱処理後，人工筋を何回か駆動させてならしを行う．

試作した人工筋を図 8 に示す．人工筋の全長は，50 mm 程度となった．この人工筋は 6 V 程度の電圧を印加して通電加熱することで 10 %程度収縮することを確認した．

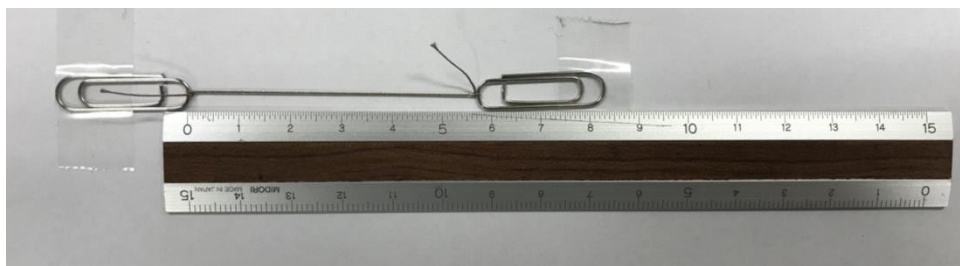


図 8 試作した釣糸人工筋

4.2. ロボットのユニット開発

ロボットのユニット開発実験について説明する．製作したユニットを図 9 に示す．このユニットは，薄型の直方体プラスチック板を楕円状の輪となっている．ロボットのユニットの直径は 60 mm となっている．図のようにユニットの内部に人工筋を取り付けている．このユニットは，プラスチック板の弾性により，外力を加えることで変形する．このユニットの内側に釣糸人工筋を張り付けることにより，人工筋の伸縮に合わせてユニットが伸縮する．このユニットを 4 つ組み合わせたものを 1 つのロボットとする．ロボットの全長は，240 mm 程度となった．なお，各ユニットの軸がずれないようにストローを軸にユニットを固定している．

ここで，ミミズ型ロボットを効率的に動かすため，各ユニットの質量バランスを考える必要がある．ここでは，先行研究のミミズ型ロボットの運動解析結果[4]にならい，ミミズロボットの先頭と末尾のユニットに 50 g の重りを搭載している．

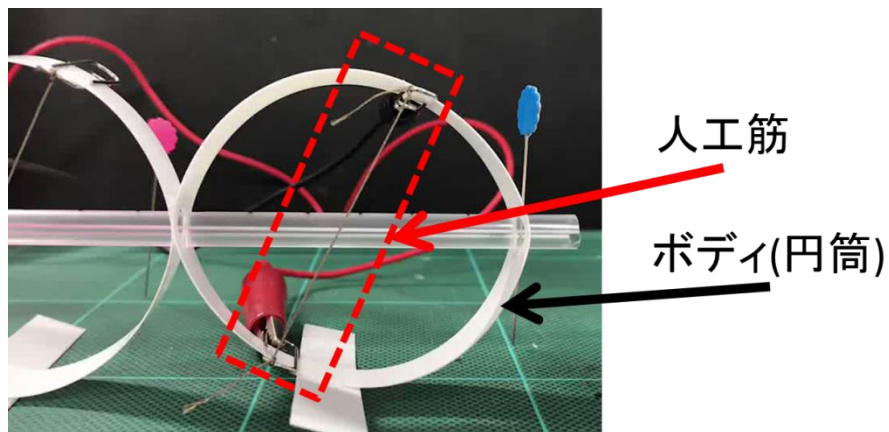
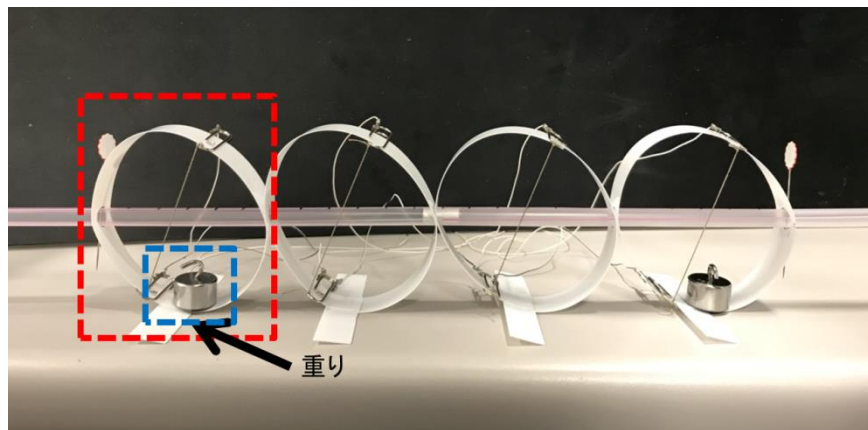
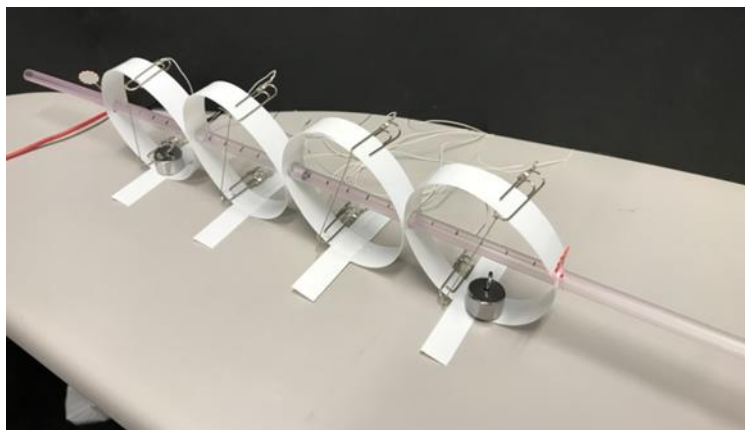


図 9 製作したロボットのユニット



(a) ミミズ型ロボット



(b) ミミズ型ロボット

図 10 製作したミミズ型ロボット

4.3. 駆動回路の製作

次に駆動回路の製作実験にて説明する．図 11 に製作した駆動回路の回路図を示す．ミミズの

運動を再現するには、ロボットの各ユニットを前方から順番に収縮させる必要がある。したがって、前方のユニットから順番に人工筋に通電加熱する回路が必要となる。本駆動回路は、**arduino** マイコンとモータドライバ IC(TOSHIBA, TA72191P)にて構成されている。**Arduino** マイコンには、各ユニットへの指令信号を出力するプログラムが実装されている。モータドライバ IC は、**Arduino** マイコンからの指令信号に応じ、各ユニットに通電加熱するか自然空冷するかを決定する。

図 12 に駆動回路の出力電圧を示す。本実験では、図 12 のように **Arduino** マイコンから位相差をずらした 4 種類の信号を出力し、各体節を前方から後方まで順番に伸縮させるようにしている。ここで、各信号の周期は 6 s、それぞれの位相差を 1.5 s としている。本実験において、人工筋の電気抵抗が比較的小さいため、大電流用モータドライバ IC を用いた。また、モータドライバ IC からの振幅、位相、周期は人工筋の条件に合わせて試行錯誤的に決定した。

実際に本回路を使用して、1 個のユニットを駆動させた様子を図に示す。この図 13 のように 5.5 V の電圧を印加することにより、人工筋が通電加熱されてユニットが変形して収縮していることがわかる。

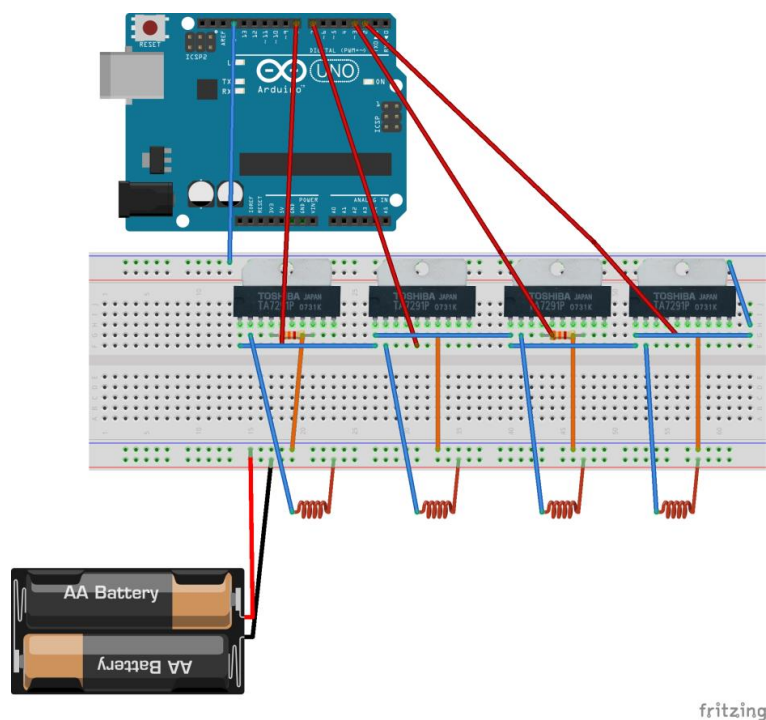
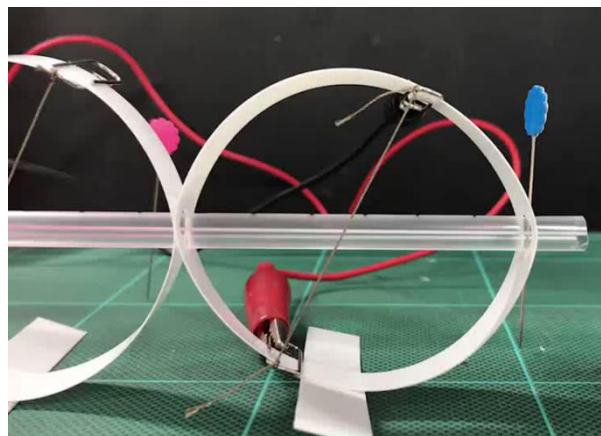


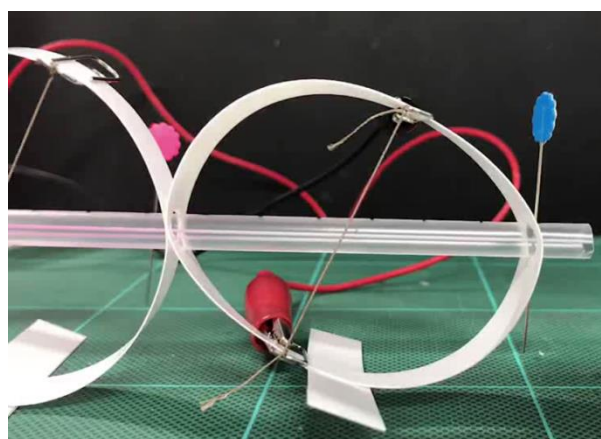
図 11 駆動回路のイラスト



図 12 駆動回路からの出力信号



(a) ユニットの初期状態



(b) ユニットの変形の様子(通電加熱時)

図 13 実験結果

5. ロボットの性能評価

本節では、製作したロボットの移動性能を評価する．ここで、ロボットへの駆動電圧は、駆動回路のテスト実験と同様に振幅 5.5 V 、位相 のパルス電圧を前方から順番に入力した．

図 14 と図 15 にロボットの移動結果を示す．図 14 と 15 で示すようにミミズロボットは、およそ 3 cm 程度前進動作をしたことが確認できる．本実験では、ロボットの起動開始から 10 分程度時間が経過したあとの移動距離を測定した．このようにミミズの動作を模倣することにより、前進動作を実現することができたが、移動の際に移動方向が左斜めにずれてしまっている様子が確認できる．これは、配線による引っ張りが原因であると考えられる．しかしながら、非常に安価な市販の材料(ナイロン糸、プラスチック板、駆動回路)を用い、熱を利用した移動ロボットを製作することができた．

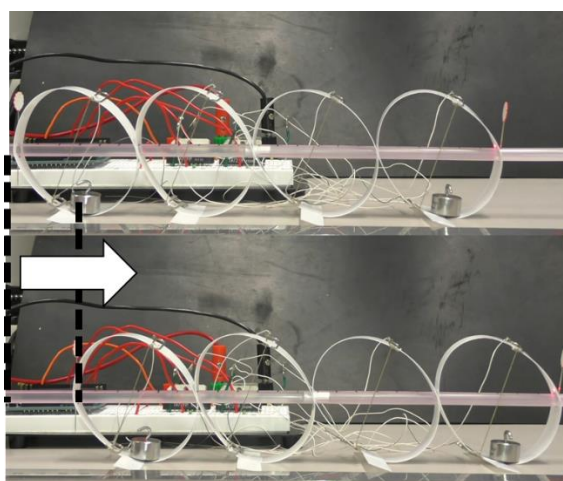


図 14 ロボットの移動結果

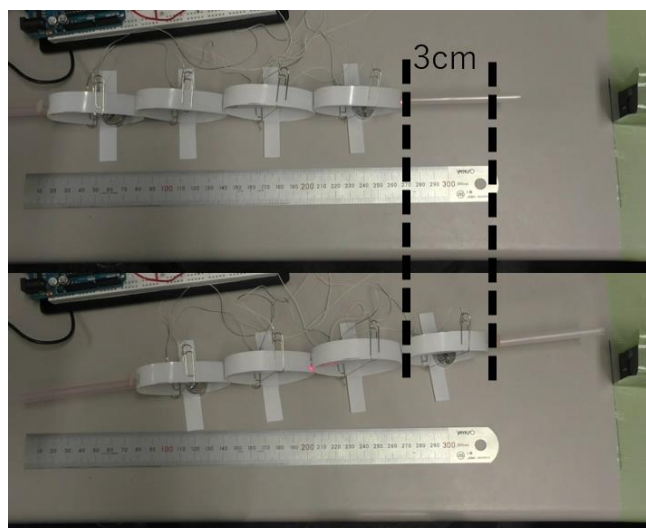


図 15 ロボットの移動結果

6. まとめ

本実験では、熱で動くミミズ型ロボットを実現するため、安価で製作方法が簡単な釣糸人工筋を用いたミミズ型を製作した。本ロボットは、市販のプラスチック板、マイコン、ナイロン糸を材料としており、非常に安価な非常に簡単にロボットの製作手順を構築できた。非常に安価で製作方法が簡単であるため、熱エネルギーを利用する移動ロボットの学生実験や教材としても、非常に有用であると考えます。今後は、ロボットの移動速度の向上と無線化を実現し、より小型なミミズロボットの実現を目指す。

7. 参考文献

- [1] 嵯峨 宣彦ら, 人工筋アクチュエータを用いた蠕動運動型ロボットの開発, 計測自動制御学会論文集, 2005
- [2] Haines C. S. *et al.* 2014 Artificial muscles from fishing line and sewing *Science* **343** 868-872
- [3] 高橋昌樹ら, みみずの運動を応用した細管内移動マイクロロボットの研究, 精密工学会誌, 1995
- [4] 片岡太一, 釜道紀浩, 蠕動運動型ロボットの最適質量配置と動作パターン生成, 第 22 回ロボティクスシンポジウム予稿集, 2017