

## 熱によるゴムの収縮を利用したアクチュエータの製作

返町 洋祐

(筑波大学大学院 生命環境科学研究科 負荷適応分子生物学研究室)

### 1. 背景・目的

ゴムは、ポリイソプレンやポリクロロプレン等から成る直鎖状ポリマーであり、大きな弾性を有することから様々な分野で利用されている。この弾性は、直鎖状の分子同士が緩やかに絡み合っていることに起因しており、分子間の位置の変化と復元が容易に生じる。そして、このような分子同士の緩やかな絡み合いは、加熱されると収縮するというゴム特有の物性の原因にもなっている。一般的な物質では、原子・分子の熱による振動が激しくなると体積が増加するのに対し、ゴムの場合には、振動によって分子鎖が一層乱雑に絡み合うために体積が低下する。温度が元に戻れば体積も元に戻るため、収縮と弛緩を繰り返すことができる。こういった特徴から、ゴムは機械的機構によらない動力部品であるといえる。

本実験では、ゴム紐の熱による収縮を動力としたアクチュエータの製作を試みる。腕が筋繊維の収縮と弛緩によって動くように、ゴム紐を熱で操り、ロボットアームを動作させる。最終的には、ピンポン玉を摘み上げたり、鍋の蓋を開けたりといった動きができるような装置を目指す。今回製作する装置は、あくまで子供向けの玩具のようなものだが、熱によって機械を動作・制御するという試みは、熱の利用に関して、普段とは異なる視点をもたらすものであると期待した。

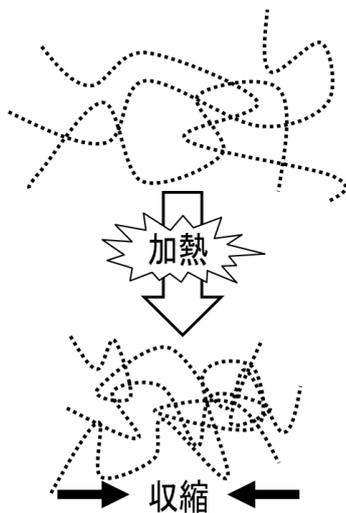


Fig. 1. ゴム分子の加熱による収縮

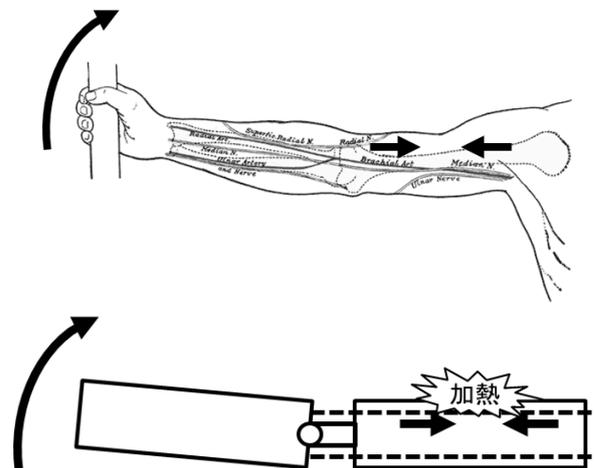


Fig. 2. 腕の構造とアクチュエータの概念図

## 2. 装置の製作

### 2-1. ゴム

動力源となるゴムとして、輪ゴム（オーバンド®）を用いた。様々な太さの輪ゴムを検討し、装置への取り付けやヒーターとの接触が容易であることから、細いものを使用することとした。ホットプレートで90℃に設定して加熱したところ、1割程度の収縮が見られた。ただし、収縮時のねじれや、輪ゴムの個体差もあり、ばらつきが大きかった。



Fig. 3. 実験に用いた輪ゴム

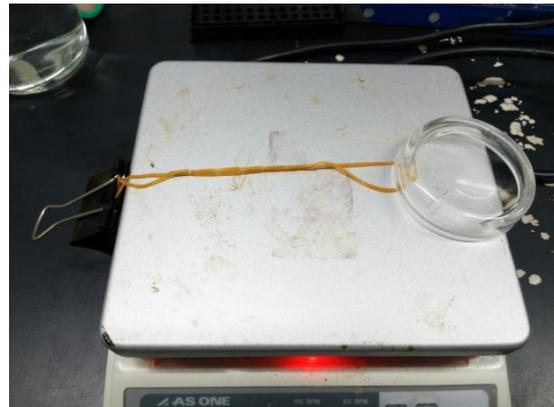


Fig. 4. ホットプレートを用いた実験の一場面

### 2-2. アームと関節の構造

下の写真のような、なるべく軽量の穴あき金属板を骨格材として用意した。関節部分は金属板同士を、穴を介してボルトでゆるく固定することで回転できるようにした。関節の左右に、一端が固定されたゴムを取り付け、このゴムの伸縮と関節の回転が連動するようにした。



Fig. 5. アームの材料



Fig. 6. 関節部分の構造

### 2-3. ヒーター

ゴムを加熱するためのヒーターとしては、ペルチェ素子・シリコンラバーヒーター・自作の電熱線部品の3種類を用意した。はじめにペルチェ素子について検討した。ペルチェ素子は極性を入れ替えることで、加熱も冷却も可能であることから、ゴムの制御に最適であると考えていた。しかしながら、実際にアームに組み込んで使用する場合、サイズが小さいためにゴム全体を加熱するには複数の素子が必要であり、重量が大きくなりすぎた結果、アームが動かなくなった。次いで、シリコンラバーヒーターについて検討した。ラバーヒーターはペルチェ素子と比較すればサイズの割に軽量であり、出力も大きい。しかし、ゴムの収縮力が想定よりも弱く、ラバーヒーターでも重すぎであった。そこで、より軽量なヒーターとして、電熱線とシリコンチューブを組み合わせたものを自作した。非常に軽量であると共に、包み込むように加熱できるため、これまでのヒーターよりも構造的にゴムの加熱に適したものであった。

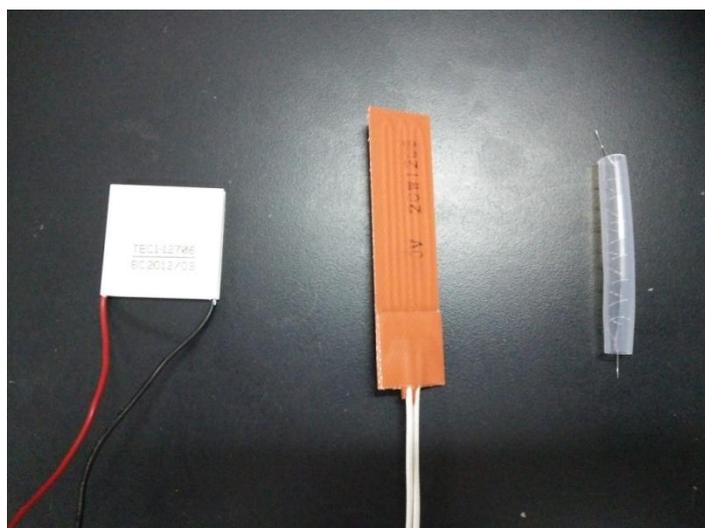


Fig. 7. 実験用のヒーター  
左：ペルチェ素子  
中央：シリコンラバーヒーター  
右：自作の電熱線ヒーター

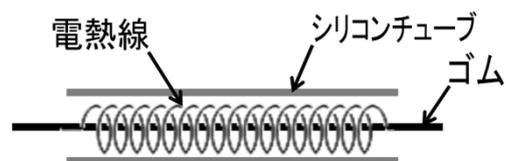


Fig. 8. 自作ヒーターの模式図

### 3. アクチュエータの稼働実験

稼働実験を行ったものの、当初予定していた物を掴み上げる等の動作を行えるほど、まともに制御することはできなかった。アームが動くことで重量とゴムの張力とのバランスが崩れて角度が急激に変化したり、全く動かなくなったりといった問題が生じた。アームの長さやゴムの本数・取り付け位置などを工夫するだけでは解決できなかった。また、加熱によってゴムが劣化し、破断や収縮力の減少という問題もあった。常にゴムの状態が変化し続けるため、制御はあまりに困難であった。いずれもホットプレートや関節部分のみの模型を用いた実験ではカバーしきれなかった課題であり、個々の部品が動作しても全体では不具合が生じ得ることの具体例のようになってしまった。

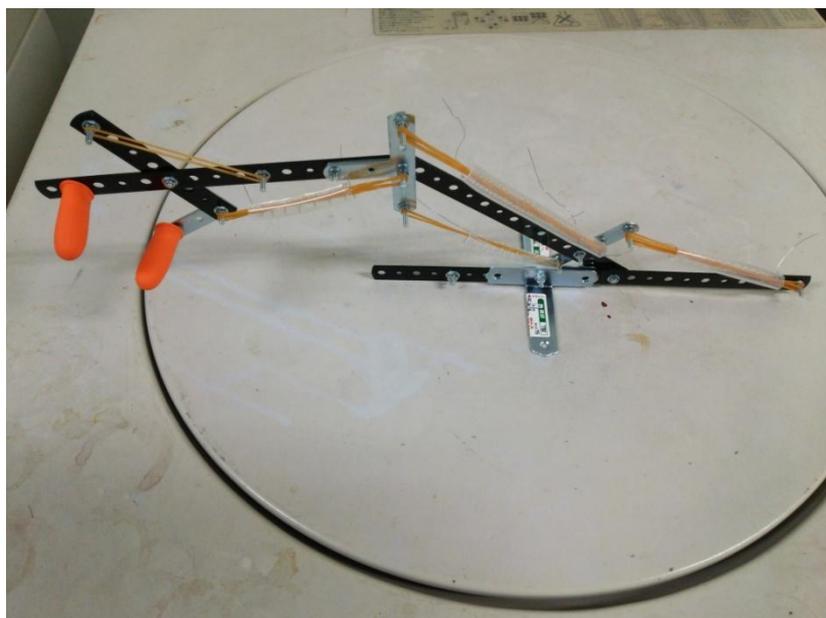


Fig. 9. 製作したロボットアーム

### 4. まとめ

今回の実験では残念ながら、目標としていた「ピンポン玉を掴み上げられるロボットアーム」を完成させることができなかった。パーツごとに製作したのち、全体を組み上げてから検討する時間を十分に設けていなかったことが反省点として挙げられると感じている。ただし、ゴムの劣化の問題等を考慮すると、アクチュエータのような精確な制御が必要な機械の製作は本質的に難しいようにも思える。「熱によって機械的な動きを作り出す玩具」というコンセプトのものを作るとしたら、例えばヒーターの ON/OFF の繰り返しで進む尺取虫のようなものが良いのではないかと考えている。

### 5. 謝辞

本研究は、株式会社 八光電機からの助成金によって実施されたものです。熱の実験コンテストでの実験実施テーマとして、本研究をお選びくださいました社員の皆様方、殊にコンテスト事務局の上原明 様に、この場を借りて厚く御礼申し上げます。