

# ナイロンテグスで作る人工筋肉

## —モーションキャプチャを用いた性能の測定—

2014SC002 綾部健太郎

指導教員：大石泰章

### 1 はじめに

人工筋肉は筋肉を模倣して作られた伸縮性のアクチュエータであり、ソフトアクチュエータとも呼ばれる。昨今では災害復旧現場での利用を目的とした遠隔操縦ロボットなどの開発が進んでいる [1].

一方で、2014 年、Haines らは釣り糸のナイロンテグスなど、つまり安価な高強度ポリマー繊維を捻じることによって長寿命かつ高出力の人工筋肉を作る方法を提案した [2].

加熱により収縮するこの人工筋肉は、開発されて間もないため、制御や特性評価などの研究が進められている [3].

本研究ではこの身近な材料を用いた人工筋肉の製作を試み、その長さの時間変化をモーションキャプチャを用いて精密に測定することによって、その性能の検証を行う。

### 2 製法

以下の製法は、Haines らの研究チームが発表した製作工程の動画 [4] を参考にし、身近な材料と道具を用いて、低コストで製作できるように工夫したものである。おもに用意するものは、ナイロンテグス、クリップ 2 個、回転部に穴が開いている電動ドリル、おもり、エナメル線、ヒートガン、三脚スタンドである (図 1)。



図 1 製作に用いる道具

作成の手順は次の通りである。まずナイロンテグスを適当な長さで切る。両端にクリップを結び付け、一方のクリップを変形させて電動ドリルの穴に通す。もう一方のクリップにおもりを取り付ける。電動ドリルを三脚スタンドに固定し、おもりがぶらさがる形にする。おもりの回転を防ぐため、エナメル線をおもり側のクリップに通し、三脚スタンドの支柱に巻き付けて固定する。以上の準備のもとで電動ドリルの電源を入れて捻じめる。捻じりを加え続けると、両端のうち一方からコイル状に変形する。全体がコイル状になったら電動ドリルを止める。ヒートガンの電源を入れて温度を設定した後に、コイル全体に熱風を当てて捻じれを固定 (アニール処理) する。製作したコイルを図 2

に示す。このコイルに荷重を加えて加熱すると伸縮し、人工筋肉として機能するはずである。

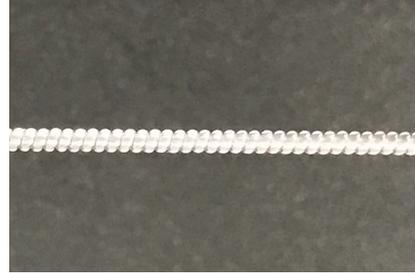


図 2 直径約 0.5mm のナイロンテグスで製作したコイル

### 3 製作で得られた知見

製作当初は家庭用ドライヤーを用いて加熱していた。これでもコイルの成形までは可能であり、図 2 と同じ形状のコイルが得られたが、荷重をかけて再び加熱すると、加熱した箇所から捻じれが解けてしまった。名古屋大学の高木賢太郎准教授に相談したところ、捻じれの固定には 100 °C 以上の加熱が必要だご教示いただいた。家庭用ドライヤーは 100 °C 以上の加熱ができないよう設計されているため、より高出力のヒートガンを使用した結果、人工筋肉として機能するコイルの製作に成功した。

本研究ではさまざまな直径 (0.25mm–0.5mm) のナイロンテグスを使ったが、捻じる前のナイロンテグスの長さを 1m に統一した際、完成品はナイロン直径にかかわらず、約 16–22cm であった。すなわち、コイル状になると 20 % 前後に縮小する。また直径が小さいナイロンテグスほど耐荷重量も小さく、コイル状にする過程で断裂しやすいことがわかった。

### 4 性能実験

人工筋肉としての性能を調べるため、次の実験を行う。容易に加熱ができるよう、コイルの長さを 10cm 前後にするため、捻じる前のナイロンテグスの長さを 50cm に統一する。コイルの上端を固定し、下端に荷重をかける。そのコイル全体をヒートガンで加熱してコイル長の時間変化を調べる。コイル長の変化は小さいため、OptiTrack 社製のモーションキャプチャ「V120 : Trio」を使用した。このモーションキャプチャは、3 つのカメラで対象をリアルタイムで 3 次元的に捉え、対象の位置を精度 1mm 以下で測定可能である。本実験ではコイルを固定する三脚スタンド上部とコイル下端に吊るす荷重の部分に位置を特定するためのマーカを取り付け、コイルの長さが測定できるようにした。これによりコイルの伸縮を正確に数値化する。

#### 4.1 加熱温度の影響

「ナイロンテグス 10 号」(直径約 0.5mm) に 150g の荷重をかけてコイル状に捻じった後、100 °C に設定したヒートガンで成形する。十分時間が経過した後に、荷重は 150g のままで様々な温度に設定したヒートガンで加熱し、コイル長の変化を調べた。モーションキャプチャによって測定した伸縮の様子を図 3 に示す。

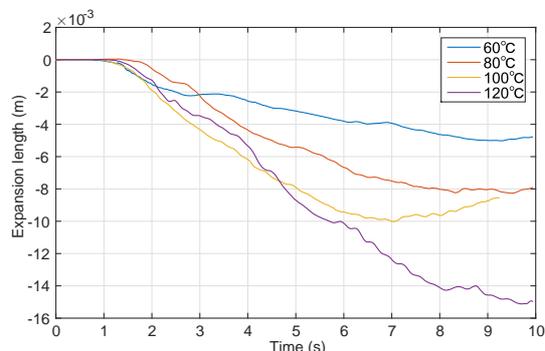


図 3 ナイロンテグス 10 号から製作したコイルの伸縮の様子と加熱温度による違い

加熱中の長さの変化は時間に対して線形であり、また高温で加熱するほど収縮幅が大きくなるのが分かる。

#### 4.2 荷重の大きさの影響

「ナイロンテグス 2 号」(直径約 0.25mm) と釣り糸の「銀鱗 2.0 号」(直径約 0.235mm) にそれぞれ 60g の荷重をかけてコイル状に捻じった後、200 °C に設定したヒートガンで成形する。十分時間が経過した後に、様々な大きさの荷重をかけ、200 °C に設定したヒートガンで加熱して反応を調べた。「ナイロンテグス 2 号」から製作したコイルの伸縮の様子を図 4 に、「銀鱗 2.0 号」から製作したコイルの伸縮の様子を図 5 に示す。

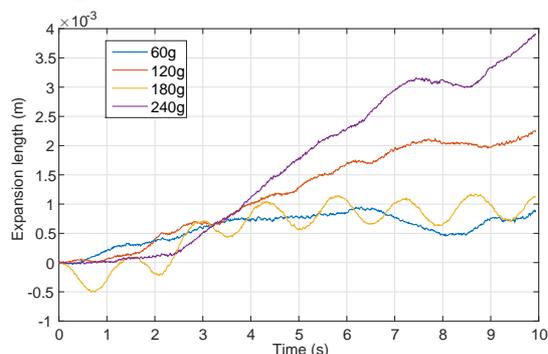


図 4 ナイロンテグス 2 号から製作したコイルの伸縮の様子と荷重の大きさによる違い

「ナイロンテグス 2 号」から製作したコイルは加熱すると伸長した。このコイルも加熱中の長さの変化は線形的である。また、荷重が大きいほど伸長幅が大きくなった。

「銀鱗 2.0 号」は「ナイロンテグス 2 号」と材質が異なり、加熱すると収縮し、荷重を大きくしても収縮の幅は変わらない。ただし、収縮するには成形時の 60g より大きな荷重を必要とすることが分かる。

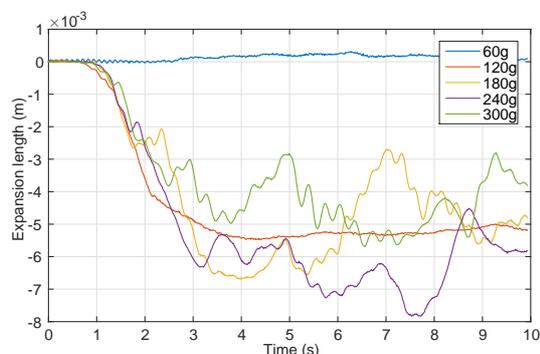


図 5 銀鱗 2.0 号から製作したコイルの伸縮の様子と荷重の大きさによる違い

## 5 考察

ナイロンテグスを構成する分子鎖は、無荷重状態ではあらゆる方向に折れ曲がっており、荷重をかけて捻じると分子鎖はコイル状に押し込められる。分子鎖の捻じれの向きが、ナイロンテグス全体のコイルが巻いている向きと一致するとき、加熱によるエントロピー増大でコイル全体が収縮する方向に分子鎖は折れ曲がる。逆に、分子鎖の捻じれの向きがコイルが巻いている向きと一致しないときは、コイル全体が伸長する方向に分子鎖は折れ曲がる [5] [6]。「ナイロンテグス 10 号」と「銀鱗 2.0 号」の挙動は前者に、「ナイロンテグス 2 号」の挙動は後者に当てはまる。

## 6 おわりに

人工筋肉の作成に成功し、モーションキャプチャを使ってその性能を調べた。コイルが収縮と伸長のどちらの挙動を示すのかは事前には分からず、その解明は今後の課題である。また荷重に耐えられずに解けたコイルを、その同じ荷重を使って再成形した際に、コイルの剛性が高くなるのが判明した。これを利用してコイル成形時の荷重の大きさを調整することで剛性を設定することができるのではないかと考えられ、今後の発展が期待できる。

## 参考文献

- [1] 豊田晃央: 日本ロボット学会誌, Vol. 33, No. 8, pp. 600–606, 2015.
- [2] C. S. Haines et al.: *Science*, No. 343, pp. 868–872, 2014.
- [3] 高木, 荒川, 釜道, 舩屋, 田原, 安積: アクチュエータの新材料, 駆動制御, 最新応用技術, 技術情報協会, pp. 313–322, 2017.
- [4] E. Berger: <https://www.youtube.com/watch?v=1A2LUBJjDQ0>, 2014.
- [5] C. L. Choy, F. C. Chen, and K. Young: *Journal of Polymer Science, Polymer Physics Edition*, Vol. 19, No. 2, pp. 335–352, 1981.
- [6] L. R. G. Treloar: *Rubber Elasticity*. Oxford University Press, 1975.