

制御可能なテンセグリティロボットアームの検討

○川原 暉弘、大海 悠太（東京工芸大学）

Investigation of a controllable tensegrity robot arm

* Kihiro Kawahara, Yuta Ogai (Tokyo Polytechnic University)

Abstract— Tensegrity is a structure proposed by Buckminster Fuller. It consists of a rigid body and internal tensile members, and the rigid bodies are not in contact with each other. The robot arm in general use today has manipulators directly connected to the joints. It is difficult to apply direct force to the joint when subjected to external force, or to move the arm in a single movement after accumulating force, or to move the arm flexibly. We believe that using a tensegrity structure for the robot arm can solve these problems.

Key Words: soft robot, robot arm

1. 背景

テンセグリティとは、バックミンスター・フラーが提唱した構造 [1] である。剛体と内部引張部材によって構成されていて、剛体同士が接触していない構造になっている。現在一般に使用されているロボットアームは、関節部分にマニピュレータが直接接続されている。これは制御しやすいが、外部からの力を受けると関節に直接力がかかってしまったり、力をためて一気に動かしたり、柔軟な腕の動きをすることが難しい。ロボットアームにテンセグリティ構造を用いることで、これらの問題点を解決することができるのではないかと考えている。テンセグリティ構造は当初は建築分野で研究されてきたが、近年では広く研究が行なわれている（例えば [2]）。Tensegrity Research Group は腕のテンセグリティモデルを研究している [3] が、この制御についてはまだ行われていない。本研究では、制御可能なテンセグリティアームを開発し、アームとしてどの程度機能するかを実際に計測し結果を考察する。

2. 実験

2.1. 制作したアーム

Tensegrity Research Group の Web サイト [3] に掲載されていた腕のテンセグリティモデルを元に、制御可能にするためにバネを引張部材に用いることができるように改良を行なった。制作したアームを Fig. 1 に示す。材料は Table. 1 に示した。

これらの材料を組み合わせる。すべての丸棒の断面の中心に直径 4mm の穴を 2cm あける。40cm の丸棒には、上下を決め、下側から 15cm の側面に同じように穴をあける。ねじにはワッシャー、端を輪にしたコードの片側、ワッシャー、ナットの順であらかじめ通しておく。これを丸棒の端につけていく。2 つのばねを直列につなげたものをコードの間にひっかけるように付け、以下の画像の様に組み合わせられた。出来上がったアームの 40cm の丸棒側を上腕、30cm の丸棒 2 本の側を前腕とした。

Table. 1 Material list of the arm we made.

Materials	size	quantity
Natural wood(round bar)	Φ12x40cm	1
	Φ12x30cm	2
	Φ12x10cm	2
Polyester cord	1.5(m/m)x40m	1
pan-head screw	M4 ,pitch 0.7xmm ,Length 4cm	10
Hexagon nut	M4 ,pitch 0.7xmm ,Thickness 5cm	10
Flat washer	M4 ,Thickness 1mm	20
Compression coil spring	free volume 5cm ,Spring constant 0.985	16

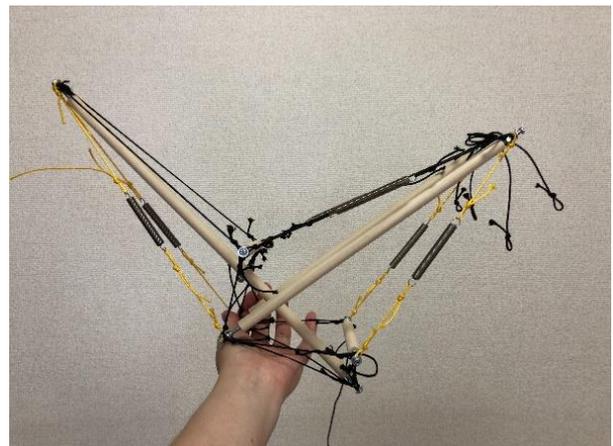


Fig. 1 Tensegrity arm based on the Tensegrity Research Group[3] model.

2.2. 実験方法

実験環境を Fig. 2 に示す。制作したアームの前腕の上下可動域を計測した。前腕を下にした状態で上腕を垂直に固定した。

滑車を用いて前腕の先端部分に糸を付け、滑車によって上下方向それぞれに重りによって力を与えることができるようにした。500g ずつ重りを載せて、その都度アームが動かなくなったらその状態を撮影した。アームの後ろ側に縦に物差しを設置し、正面から撮影して先端部の位置を記録しグラフ化した。

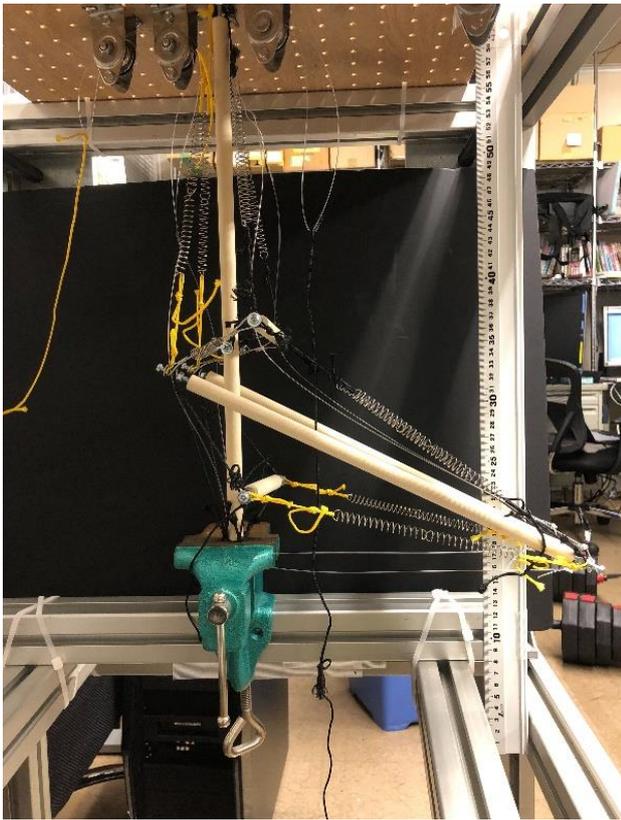


Fig. 2 Scene of the experiment

2.3. 実験結果

実験結果を Fig. 3 に示す。上方には 5kg の重りにより、自由状態より 16cm 上に上がることができた。また、下方には 2.5kg の重りにより、自由状態より 13cm 下に下がることができた。下方への移動ではアーム本体の構造の問題で、途中で剛体同士が接触してそれ以上曲がらなくなったため、2.5kg 以上の計測を中止した。

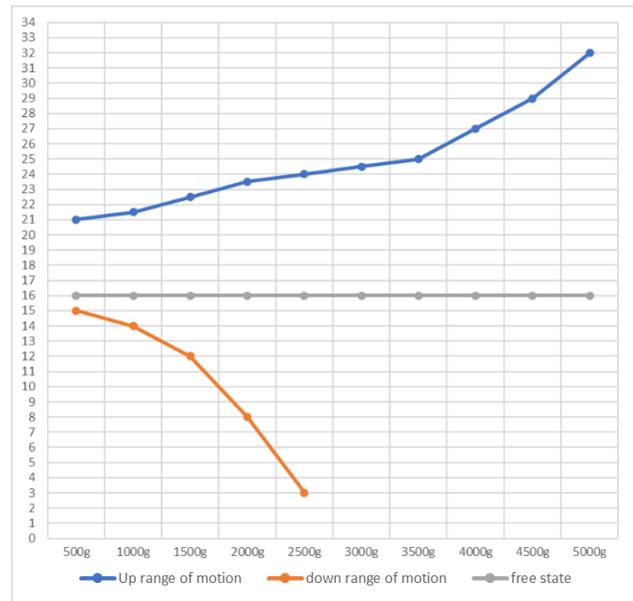


Fig. 3 Measurement results. The upper range of motion is the result when a weight is attached to the forearm tip so that it is pulled upward, and the lower range of motion is the result when it is pulled downward. The free state is the state when no weight is attached to the forearm tip. The scale on the vertical axis is in cm, and the vertical position of the forearm tip is measured with a ruler.

3. 考察・今後の予定

上方への移動は、下方への移動に比べ、大きな力が必要なのがあった。また、それぞれ 2.5kg、5kg と通常のロボットアームより動作に大きな力が必要であり、力を蓄えて一気に放出する機構を作ることが可能であると考ええる。

制作したアームは参考にしたアームに構造が忠実であった。しかし、ロボットアームにするには不十分な点があることが分かった。最も問題だと感じたのは、紐と剛体の接続方法とアーム関節部分の構造である。

今回の制作したアームの弦と剛体の節合部分は、ねじである程度の固定ができるようにしていた。しかし、実際に実験をしたとき、明らかにそれぞれ節合部分がほかのリンクに引っかかり、意図しないリンクの状態になっていた。もう一つは、関節部分の構造である。参考にしたアームは、ロボットアームとしての設計はしていなかったため、ある程度の改良が必要だと考えた。この関節部分の構造を見直し、ロボットアームとして改良していく。アームの素材についても同様に、弦はステンレスワイヤーへ、剛体は木材からアルミと ABS へ交換する。剛体フレームに関しては、3D プリンタで専用の機構を追加する。実験方法について、筋繊維部分(ばね)を実際に収縮させるために、ワイヤーを巻き取る装置を制作し、実験方法を変更する。そして、計測方法に関して、先端の軌道を正確に計測するために IMU センサを使用することとした。以下に制作

した機構を Fig. 4 Fig. 5 に示した。次回実際に使用するモータ (Fig. 6 , Table. 2) とモータードライバ (Fig. 7 , Table. 3)、そして 3D プリンタにて制作したワイヤー巻き取り機 (Fig. 8) を併せて以下に示した。



Fig. 4 Newly created 3D model of the tensegrity arm.

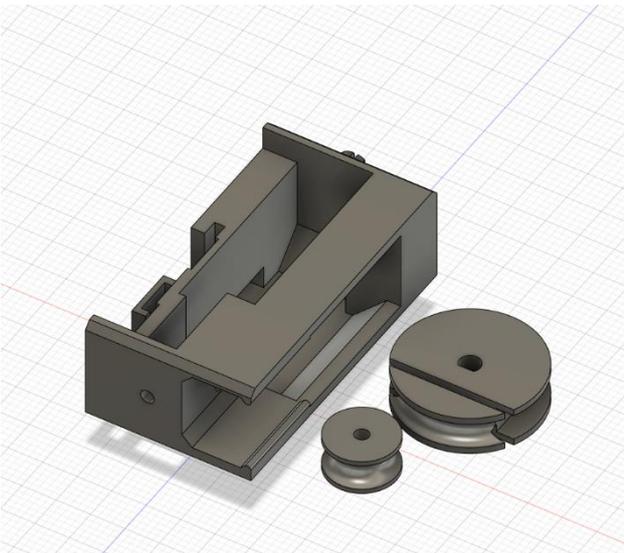


Fig. 5 Wire winding mechanism to reproduce muscle contraction



Fig. 6 Worm Motor - Bracket - Gears

Table. 3 Data sheet for Worm Motor

Fixed voltage	6v 63rpm
Voltage Range	3-12v Universal
Reduction ratio	(1 : 236)
Weight	13g
size	33.10x12x10mm



Fig.7 mini-L298N Driver Board Module

Table. 2 Data sheet for mini-L298N

Drive voltage	5 v-35 v
Drive current	2A (max single-bridge)
Maximum power	25W
size	43x43x27mm



Fig. 8 Actual 3D printed wire winder made of ABS material.

参考文献

[1] バックミンスター・フラー、梶川泰司、「宇宙エコロジー バックミンスター・フラーの直観美」、p. 178-p. 199、美術出版社、2004

[2] Robert E. Skelton, Mauricio C. de Oliveira, "Tensegrity Systems", Springer, p.1-p.36, 2009

[3] Tensegrity Research Group, School of Computing at Queen's University, Arm Images, https://flux.cs.queensu.ca/tensegrity/biotensegrity/images/arm_images/, Accessed: 2020-12-10