

釣糸人工筋を用いた発電システムの構築

～釣糸で発電を！？～

所属：東京電機大学 未来科学研究科 ロボット・メカトロニクス専攻
チーム名：プロジェクト釜
実験メンバー：鈴木 元哉，木村 佳史郎、野口 裕司

1. はじめに

2016 年現在，エナジーハーベスト(環境エネルギー)についての様々な研究が行われている．エナジーハーベストのひとつとして，排熱を利用した温度変化による発電デバイスが挙げられる．形状記憶合金アクチュエータや形状記憶ポリマーのような温度変化によって伸縮動作を行う材料を発電デバイスとして用いることで，太陽熱や排熱などから電力を得る手法が提案されている．これまでの熱実験コンテストでも形状記憶合金を用いた発電デバイスがいくつも提案されている．しかし，これらの形状記憶合金はいずれも高コストであり，量産性が低いという点からあまり普及していない．この問題に起因し，形状記憶合金を用いた熱の実験は，再現しにくいという欠点がある．

そこで温度変化から電力取り出す材料として，釣糸人工筋を用いた発電デバイスを考える．釣糸人工筋とは，Haines らの研究グループが 2014 年に発見した新型の人工筋である．この人工筋は，形状記憶合金のように温度変化によって伸長収縮動作を取り出すことができる．この人工筋は，市販の釣り糸をひねってコイル状に成形するだけで作ることができるため，低コスト，軽量，高い量産性を有している．

本実験では，釣糸人工筋を用いた安価で簡単に再現できる発電実験の構築を目指す．釣糸人工筋の製作を行い，人工筋の特性を解析する．解析した特性から人工筋を用いた発電デバイスを構築する．身近にある釣糸を用いて，熱の発電実験ができるかを検証する．

2. 釣糸人工筋とは？

釣糸人工筋とは，Haines らの研究グループが 2014 年に発見した新型の人工筋である[1]．市販のナイロン繊維を Fig. 1 のように荷重を加えながらひねって，コイル状に成形することで製作できる人工筋である．この人工筋は，加熱によって収縮し，冷却によって伸長する．人工筋を温度変化させることで Fig. 2 のように伸長収縮動作を取り出すことができる．この人工筋は，市販のナイロン糸から製作でき，製作手順が簡単であるため，軽量性，低コスト，高い量産性を有した人工筋として注目されている．また，収縮動作時に駆動音が発生しないという利点も有している．

この人工筋を用いて様々な取り組みがなされており，ロボットハンドやパワーアシストデバイスのようなアプリケーションへの適用や人工筋の位置と力を調整できるような手法の構築などが行われている[2]．また，学術研究機関だけでなく Panasonic USA のような企業も釣糸人工筋の研究開発に携わっており[3]，様々な研究機関で注目されている．

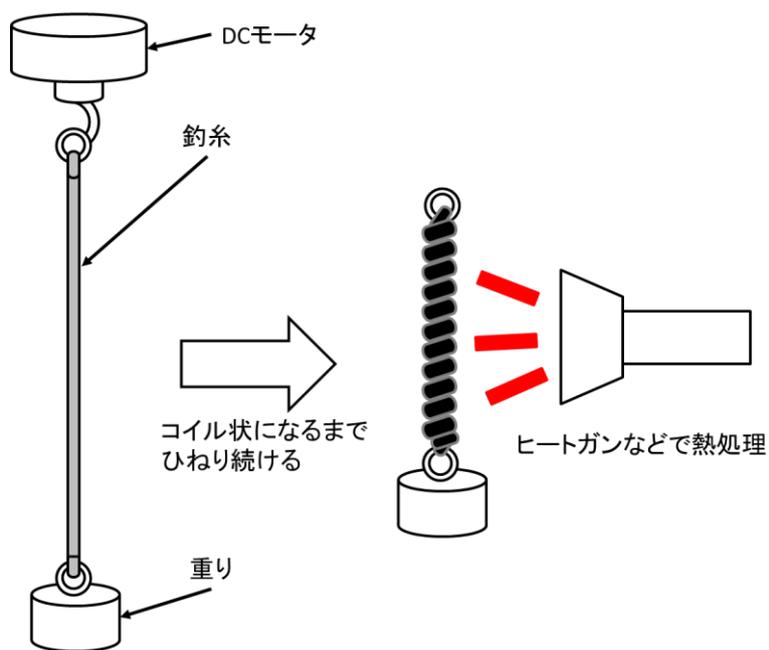


Fig. 1 製作手順

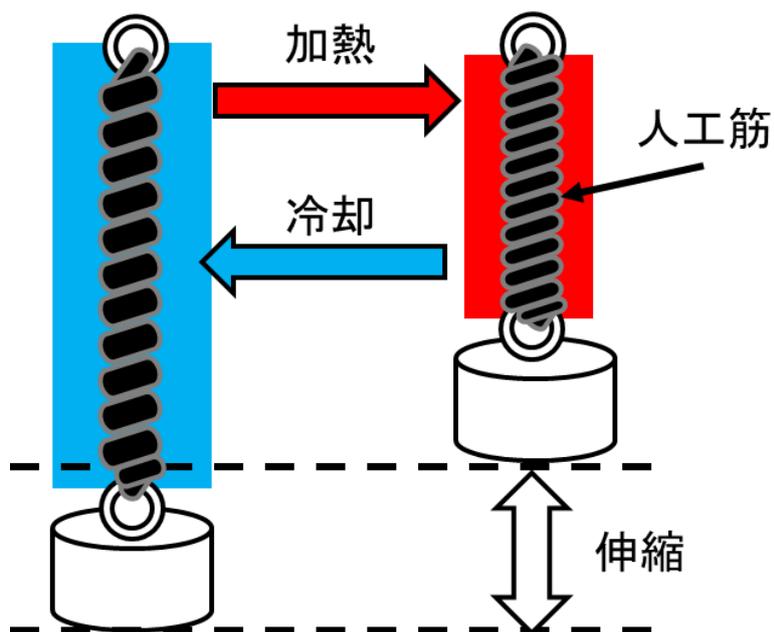


Fig. 2 温度変化による伸長収縮

3. 釣糸人工筋の試作・特性評価

3.1. 製作手順

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いナイロン糸が望ましい。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。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(AGposs100×3)を用いる。

選定した糸を用いて釣糸人工筋の試作を行う。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	AGposs 100×3	人工筋の材料
ステンレスワッシャー	YAHATA	-	M8×18(内径×外径)

Table 2 実験装置

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

(1)Fig. 3 のように 300 mm 程度の釣糸の両端にワッシャーを固定する。



Fig. 3 ワッシャーを括り付けた釣糸

(2)Fig. 4 のように釣糸に 200 g 程度の重りを吊り下げ、DC モーターを用いてコイル状になるまで釣糸にひねりを加える。コイル状になった釣糸を Fig. 5 に示す。ただし、安定化電源から DC モーターに印加される電圧は、9 V 程度とする。

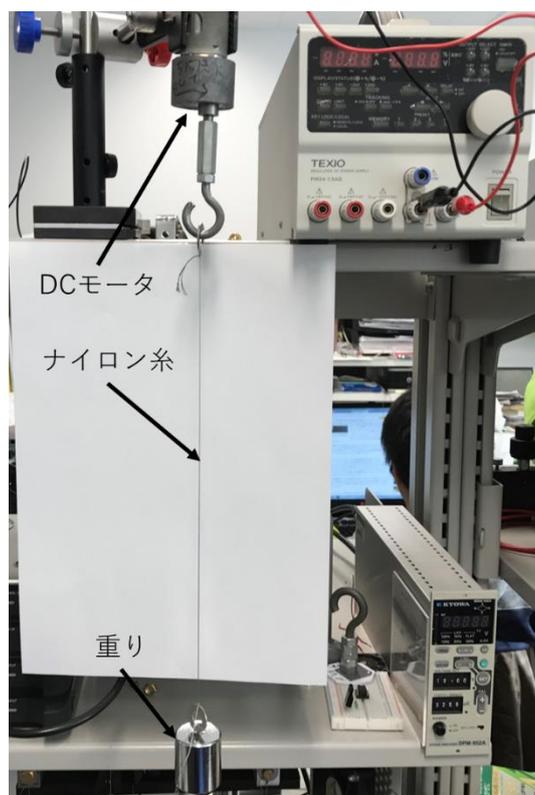


Fig. 4 重りを吊り下げた釣り糸

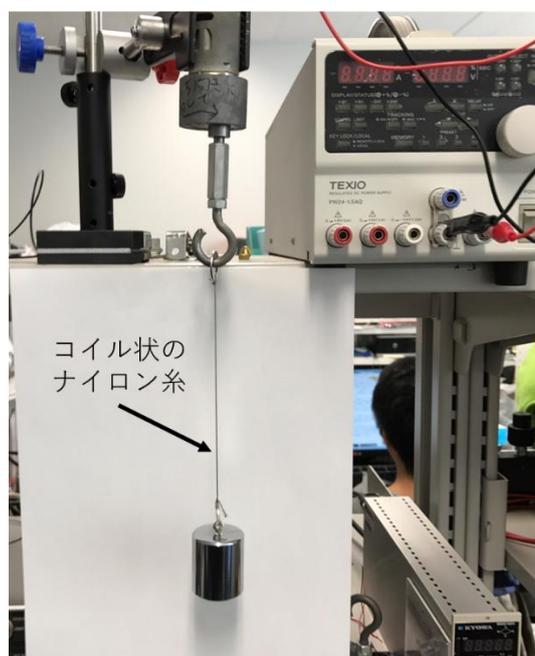


Fig. 5 コイル状になった釣り糸

(3) Fig. 6 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 $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ の温度で一時間程度の乾熱の熱固定を行う。



Fig. 6 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 Fig. 7 に示す．人工筋の全長は，110 mm 程度であり，拡大図から熱処理によって形状がコイルに固定されていることが分かる．



(a)人工筋の全長



(b) 熱固定後の釣糸

Fig. 7 試作した釣糸人工筋

3.2. 特性評価実験

発電デバイスの寸法や部品の仕様を決定するため、試作した釣糸人工筋の特性評価を行う。釣糸人工筋ここでは、温度変化による最大収縮量とバネ特性を解析する。

3.2.1. 温度変化による収縮量の解析

まず、温度変化による収縮率を測定する。Table 2 に特性評価実験で用いる実験機器を示す。Fig. 8 に収縮率測定用の実験装置を示す。Table 2 の実験機器から Fig. 8 に収縮率を測定する実験装置を構築する。ここでは、計測開始から 5 秒後にヒートガンを用いて人工筋を 550 °C の温度で 5 秒間加熱する。計測開始から 10 秒にヒートガンの電源を切り、自然空冷で 10 秒間冷却する。加熱・冷却時の人工筋の収縮量をレーザセンサで測定する。レーザセンサで測定した値は、データ収集デバイス DSP(Digital Signal Processor) から PC に保存する。ただし、熱風による横ゆれを防ぐため、Fig. 9 のように人工筋をリニアスライダに固定して加熱を行う。

Table 3 実験装置

名前	メーカー	型番	用途
レーザセンサ	Keyence	IA-100	収縮量測定用
ヒートガン	ミットモ製作所	RHG-1500	人工筋の熱源
熱処理用オープン	アズワン	OF-450	熱処理用
DSP(Digital signal Processor)	Texas Instrument	sBOX2	データ収集デバイス

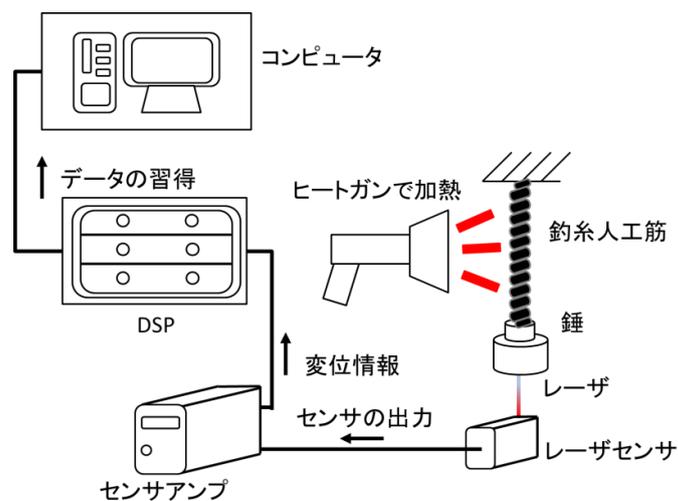


Fig. 8 実験構成図

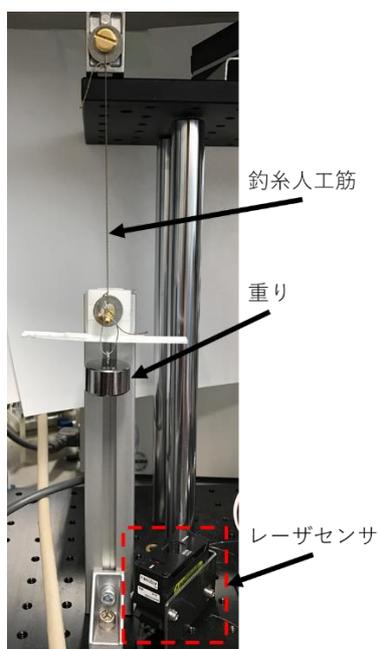


Fig. 9 実験装置

レーザーセンサで測定した数値データは、Digital signal Processor 測定した結果を Fig. 10 に示す。550℃の温度で加熱することで 10 %程度の収縮していることが分かる。また、冷却時に人工筋が自然長まで伸長していることが分かる。加熱と冷却を行うことで人工筋の伸長収縮動作を取り出せることが分かった。

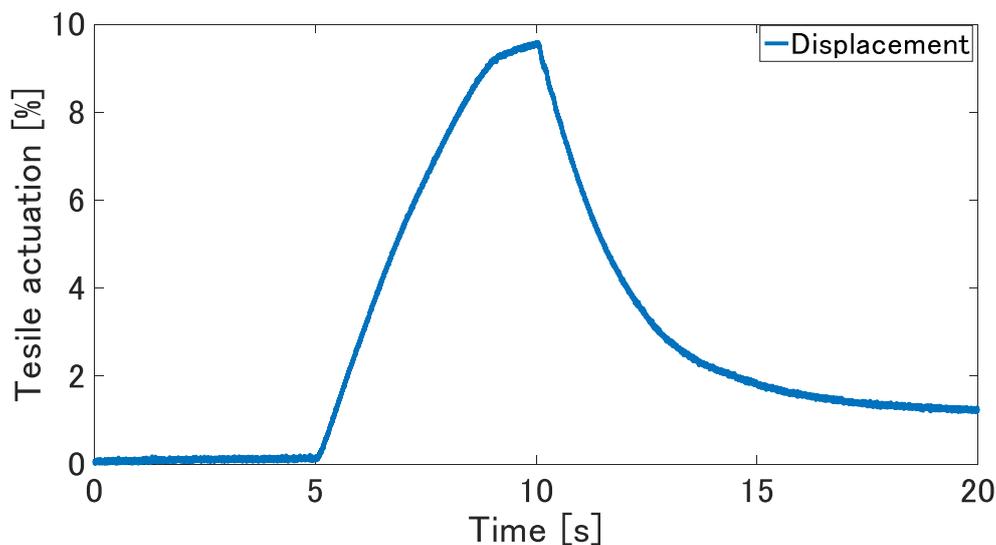


Fig. 10 実験結果

3.2.2. 機械定数の測定

次に人工筋の機械定数を測定する。人工筋に重りを吊り下げた際の変位をレーザセンサで測定し、バネ定数を算出する。ここでは、10 g～50 g まで 10 g ずつ重りを吊り下げ、人工筋の伸長量を測定する。重りの質量から加えた力を算出し、最小二乗法によってバネ定数を計算する。

重りを吊り下げた際の変位と加えた力を Table 4 に示す。Fig. 11 に実験値と最小二乗法によって導出した近似線を示す。Fig. 11 で示したように人工筋に加えた力と発生変位は、比例関係であることが分かる。最小二乗法によって導出した人工筋のバネ定数は、11.827 N/mm 程度であることが分かった。

Table 4 人工筋の変位と加えた力

変位量 [mm]	吊り下げた重りの質量 [g]	加えた力 [N]
1.262	10	0.0981
2.344	20	0.1962
3.286	30	0.2943
4.768	40	0.3924
5.850	50	0.4905

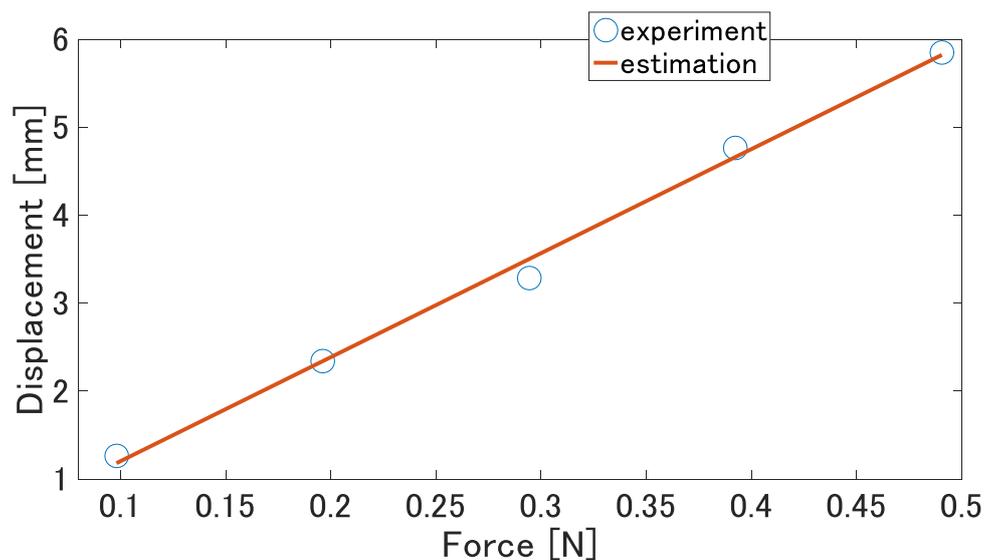


Fig. 11 実験結果

4. 発電デバイスの試作

4.1. 発電デバイスの機構

試作した釣糸人工筋を用いて、発電デバイスの試作する。試作した発電デバイスの機構を Fig. 12 に示す。この機構は、ベルトプーリーを介して釣糸人工筋とバネが拮抗配置してある。釣糸人工筋を加熱することでプーリーが回転する。プーリーと発電機は、タイミングベルトによって接続されており、プーリーに連動して発電機が駆動する。釣糸人工筋に周期的な加熱と冷却を加えることでモータの正回転と逆回転を交互に行い、温度変化から電力を取り出す。取り出した電力は、オシロスコープによって測定する。

Table 5 に発電デバイスの部品一覧を示す。製作した発電デバイスを Fig. 13 に示す。ここでは、拮抗配置したバネは、人工筋のバネ定数の 1/2 程度のバネを使用した。発電デバイスのフレームの詳細は、付録で説明する。

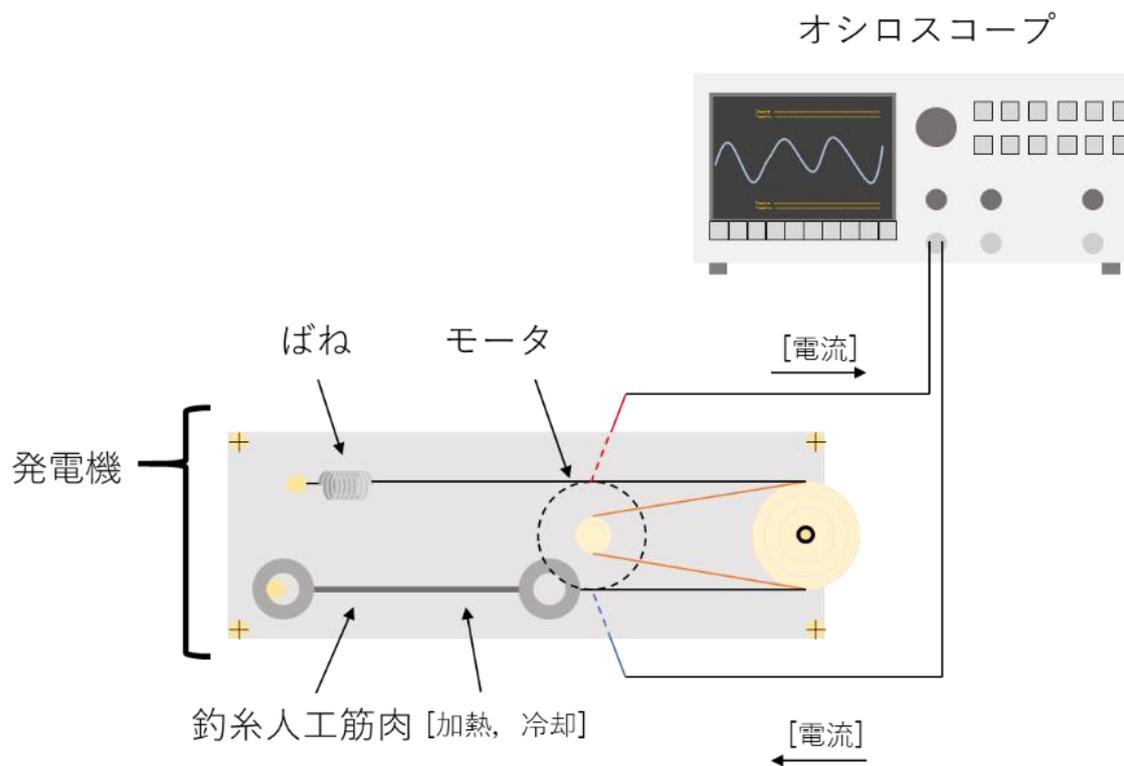
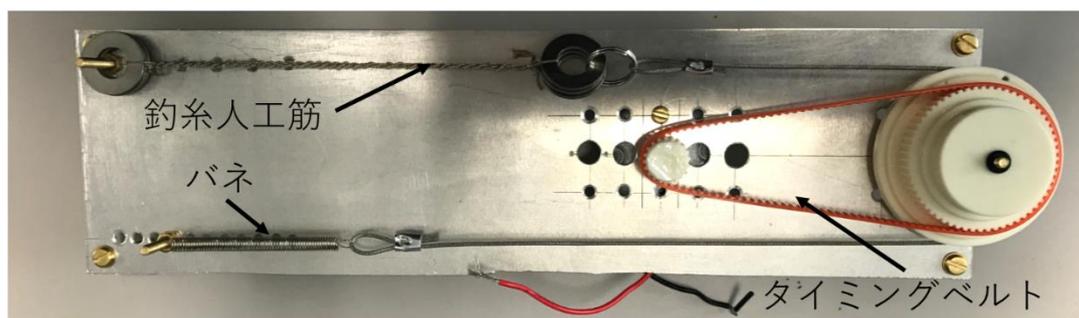


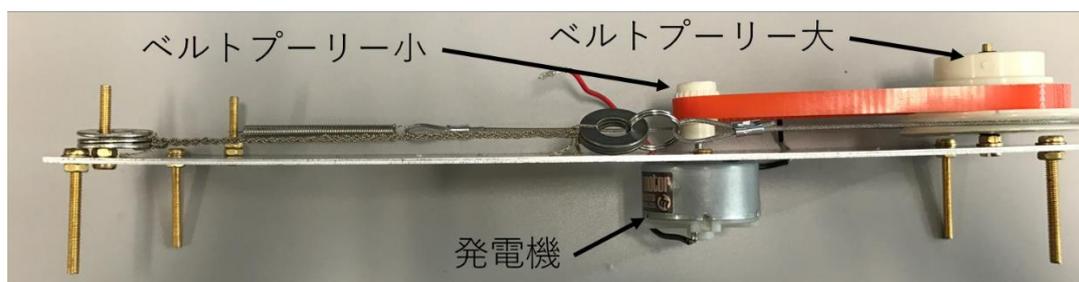
Fig. 12 考案する発電デバイス

Table 5 発電デバイスの部品一覧

名前	メーカー	型番	備考
発電機	タミヤ	ソーラーモータ 2	収縮量測定用
引張ばね	和気産業	SR-722	バイアス用のバネ
ベルトプーリー大	協育歯車工業	P60 MXL6.4 B5 M3	人工筋と接続
ベルトプーリー小	協育歯車工業	P20 MXL6.4 B4 M3	発電機用プーリー
タイミングベルト	協育歯車工業	B120T80/6.4	U タイプ
土台	-	-	アルミプレートから 自作(付録を参照)



(a)正面図



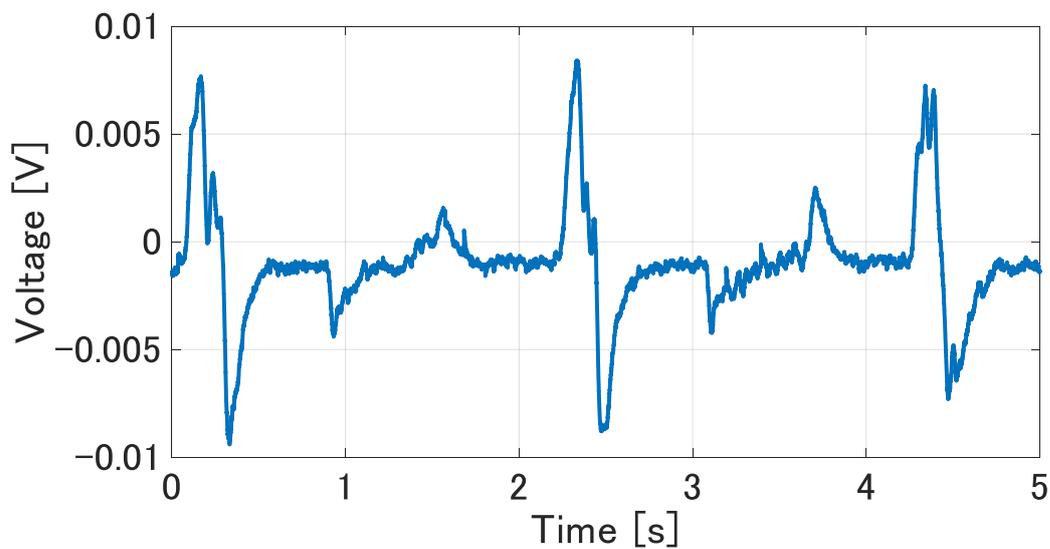
(b)側面図

Fig. 13 製作した発電デバイス

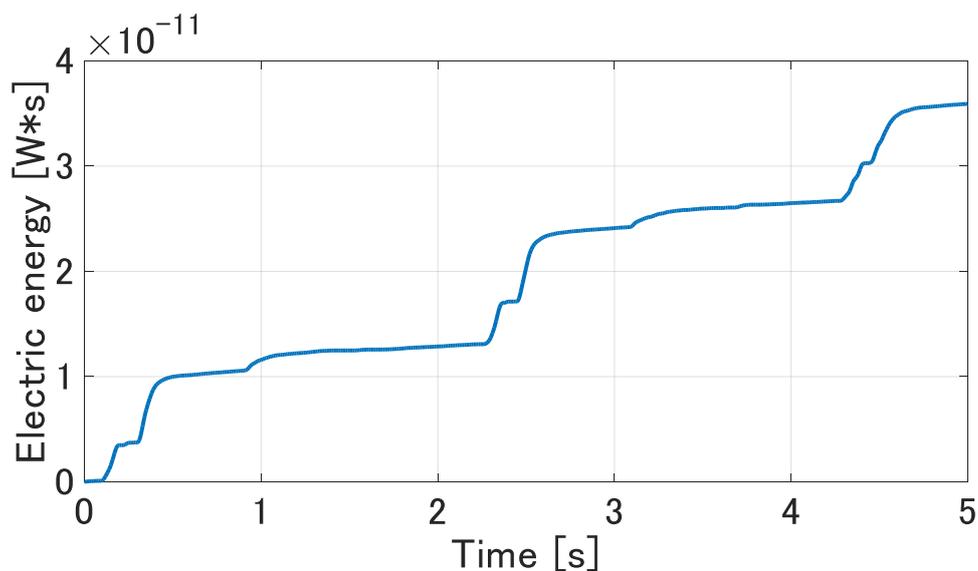
4.2. 実験検証

発電デバイスの性能を検証する．ここでは，発電デバイスの釣糸人工筋にヒートガンで加熱を加え，実際に電力を取り出すことができるか検証する．ヒートガンから送風される温度は，550℃程度である．ヒートガンによって加熱と冷却を交互に行い，発電機を用いて温度変化から電力を取り出す．

発電デバイスで発電を行った結果を Fig. 14 に示す．実験結果から分かるように発電デバイスを用いて，発電機から逆起電力を取り出せていることが分かる．Fig. 14 の結果から釣糸人工筋を用いることで温度変化によって電力を取り出すことができることが分かった．



(a)発生した電圧



(b)得られた電力

Fig. 14 発電実験の結果

5. 結論

釣糸人工筋を用いた発電デバイスを提案し、安価で簡単に再現できる発電実験を構築した。発電実験の結果、温度変化から電力を取り出せることが分かった。発電効率の問題などが挙げられる。しかし、身近にある釣糸を用いて発電ができることを示すことができた。

謝辞

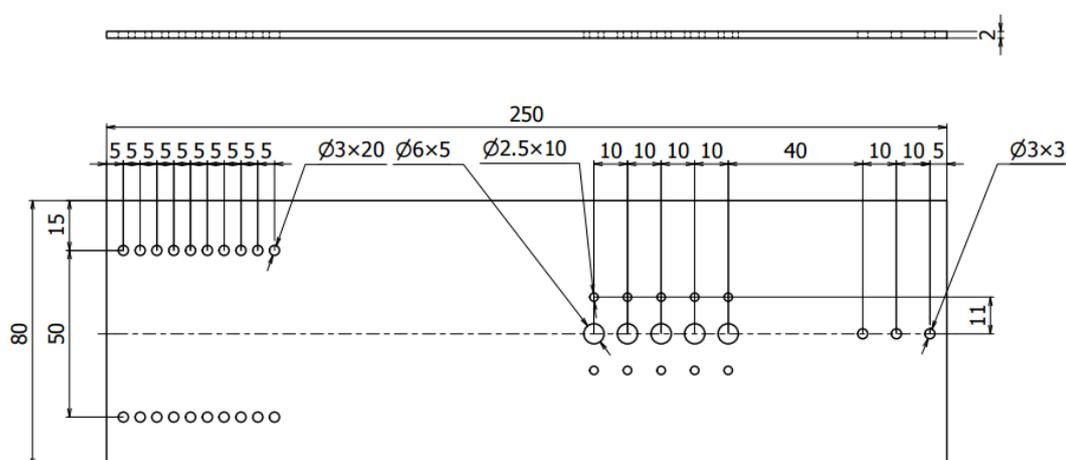
このような貴重な勉強の機会を提供して頂いた株式会社八光電機様に深く感謝いたします。今後の学習意欲も高めることができました。本当に有難うございました。

参考文献

- [1] Carter S. Haines et al.: "Artificial Muscles from Fishing Line and Sewing Thread," Science, vol.343, no.6173, pp.868-872, 2014.
- [2] Michael C. Yip and Gunter Niemeyer: "High-Performance Robotic Muscles from Conductive Nylon Sewing Thread," Proceedings of the 2015 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Seattle, Washington, USA, May 2015, pp.2313-2318.
- [3] Maki Hiraoka et al.: "Power-efficient low-temperature woven coiled fibre actuator for wearable applications," SCIENTIFIC REPORT 2016

付録

発電デバイスのフレームの設計図を以下に示す.



設計したフレームの寸法