

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	高強度化学繊維によるワイヤ駆動のための基礎的検討 -第九報:高強度化学繊維ロープ用小型延伸装置の開発-
Title(English)	Basic study for drive mechanism with synthetic fiber rope -Ninth report: Development of a compact stretching equipment for synthetic fiber ropes-
著者(和文)	細川兼奨, 萩原哲夫, 遠藤玄
Authors(English)	Kensho Hosokawa, Tetsuo Hagiwara, Gen Endo
出典(和文)	ロボティクス・メカトロニクス講演会2020 予稿集, Vol. , No. , pp.
Citation(English)	Proceedings of the 2020 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Vol. , No. , pp.
発行日 / Pub. date	2020, 5

# 高強度化学繊維によるワイヤ駆動のための基礎的検討

## —第九報:高強度化学繊維ロープ用小型延伸装置の開発—

Basic study for drive mechanism with synthetic fiber rope

-Ninth report: Development of a compact stretching equipment for synthetic fiber ropes-

○学 細川兼奨 (東工大) 正 萩原哲夫 (横浜ケイエイチ技研)  
正 遠藤玄 (東工大)

Kensho HOSOKAWA, Tokyo Institute of Technology, hosokawa.k.ad@m.titech.ac.jp

Tetsuo HAGIWARA, Yokohama KH Tech Corporation

Gen ENDO, Tokyo Institute of Technology

In recent years, synthetic fiber ropes attracted much attention because it can increase the load capacity and reduce the size and the weight of the tendon drive mechanism. However, synthetic fiber ropes have a problem of large plastic elongation. That the amount of plastic deformation of the synthetic fiber ropes is very small in the range of loads smaller than the load applied in the past. “Pre-stretching” is performed to remove plastic elongation by applying a load in advance. However, the drawing equipment required for pre-stretching the ropes is very large and unsuitable for research purposes. Therefore, we have developed a stretching device that can pre-stretch even in narrow spaces. It was confirmed that the pre-stretching was done by actually pre-stretching with the developed drawing device and testing the prepared material.

**Key Words:** synthetic fiber rope, pre-stretching, Mechanical design

### 1 緒言

近年、高機能、高性能な化学繊維の開発が盛んである。これらの化学繊維を用いたロープにはステンレススチールワイヤと同等かそれ以上の引張強度を持つものもあり、本研究ではそれらを高強度化学繊維ロープと呼ぶ。これら高強度化学繊維ロープはステンレススチールワイヤと比較して軽量、柔軟、低摩擦などの特徴がある。この特性を生かして、筋骨格ロボット [1] や四足歩行ロボット [2] などの駆動系として高強度化学繊維ロープが用いられている。一方で、高強度化学繊維ロープはステンレススチールワイヤと比較して初期伸びが大きく [3]、短期間でロープの張り直しが必要になるなどの問題がある。この初期伸びを小さくするため、出荷前に一度張力をかけて引き延ばす処理を行うことがある。このような処理をプリストレッチまたはプリテンションと呼び、プリストレッチを行うための装置を延伸装置と呼ぶ。プリストレッチは組紐の構造的な初期伸びを取るだけでなく、ファイバの高分子の配向を揃える効果があり、強度も高くすることができる。通常、プリストレッチはロープをすべて引き出した状態で張力をかけて保持する方法と、連続的に張力をかけながら巻き取る方法がある。しかし、前者は用いる装置が広いスペースを必要とするため、空間の制限のある場所での運用は難しい。また後者は大出力のアクチュエータを必要とするため、装置が大型化する。本研究ではこの問題を解決するために、直径 2 mm、長さ 300 m の高強度化学繊維ロープを 3.5 kN 以上の張力でプリストレッチ可能な小型の延伸装置を開発し、その基本的な性能評価を行うことを目的とする。

### 2 延伸装置の開発

Fig.1(a) が開発した延伸装置である。張力印加と巻き取りを交互に行うことで、狭い空間でも高い張力で長い高強度化学繊維ロープがプリストレッチが可能である。

#### 2.1 機構

この装置はロープを巻き取るモータ 1(ニッセイ:F3SB-30-120-200)、ロープを繰り出すモータ 2(ニッセイ:F3SB-30-120-200)、張力を印加するエアシリンダ(太陽鉄工:10A-2FB200B300)及びロープの巻き取りを補助するロープガイドを動かすモータ 3(山洋電気:SH5285-7211)で構成される。ロープは Fig.1(b) の 1 から 8 の順に巻かれている。すなわち、モータ 2 のボビンから出

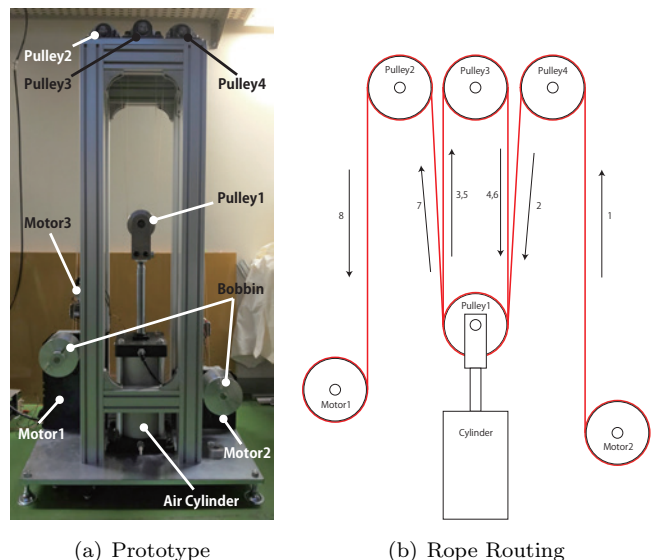


Fig.1 Developed equipment for Pre-stretching

たロープ (1) はプーリ 4 で数周巻きつけられた後プーリ 1 に行き (2)、プーリ 1 とプーリ 3 を 2 往復して (3,4,5,6) プーリ 2 で再び数周巻きつけられた後 (7)、モータ 1 のボビンに巻きかけられている (8)。

プーリ 1、プーリ 3 は受動回転するプーリであり、それぞれ 3 列と 2 列の溝が切られている。プーリ 2、プーリ 4 はピンによって回転固定されているプーリであり、2.5 mm のピッチで螺旋状に 22 周の溝が切られている。高強度化学繊維ロープは摩擦係数が小さいためこのプーリ上を滑らせることができる。このプーリを用いることでオイラのベルトの定理によって張力が減衰し、エアシリンダでロープを引っ張る際にモータに伝わる張力を小さくすることができる。また、各プーリの溝は半径 1.1 mm の円形の溝となっており、張力をかけるときにロープが痛みにくい構造となっている。モータ 1、モータ 2 にはロープを巻くためにそれぞ

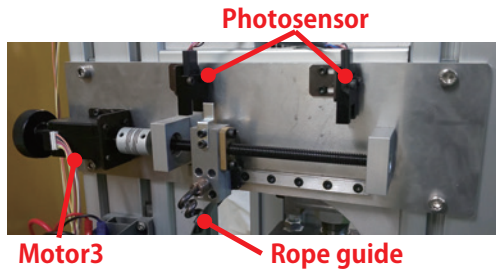


Fig.2 Rope Guide

Table 1 Terms of Pre-stretching

Number of turns of pulley2,4 (UHPE rope / PAR rope)	2.5 turns / 1.5 turns
Pressurization time per time	350 mm
Winding length per time	15 s
Applied pressure	0.34 MPa
Stretch tension (calculated value)	2.36 kN

れ直径 100 mm の着脱可能なボビンがついており、最大 328 m のロープを巻くことが可能となっている。

中央下に設置されているエアシリンダの上部に空圧を印加することでプーリー 1 が下がり、ロープを引っ張ることができる。なお、印加圧力は電空レギュレータで制御する。モータ 1 の上部には Fig.2 のロープガイドが設置されており、モータ 3 を駆動することで 2 つのフォトセンサの間を往復する。モータ 1 での巻き取りと同期してモータ 3 を動かすことで巻き取り側ボビンにロープが必要以上に重なることなく巻き取ることができる。

## 2.2 動作方法

開発した延伸装置は、以下の手順を繰り返すことで動作する。

1. エアシリンダに圧力を印加し、ロープを引っ張る
2. エアシリンダから圧力を除荷し、弾性変形が戻るまで待つ
3. モータ 1 を回転させ、伸び分を巻き取る
4. モータ 1 及びモータ 2 を同時に回転させ、一定長を送る
5. モータ 1、モータ 2 を止め、張力が均等になるまで一定時間保持する

手順 1 でロープを引っ張り、手順 3 でその塑性伸び分のロープを巻き取ることによってシリンダの位置を常に一定に保つことができる。

## 3 延伸実験

開発した延伸装置を用いて高強度化学繊維ロープの延伸実験を行った。対象のロープは UHPE(超高分子量ポリエチレン)ロープ(ハヤミ工業:DB-96HSL, 原糸は IZANAS®)と PAR(高強度ポリアリレート)ロープ(ハヤミ工業:VB-308, 原糸は Vectran®)の 2 種類を用いた。条件は Table.1 に示すとおりである。なお、プーリー 2 とプーリー 4 における巻き数は同数とした。

両方のロープにおいてプーリー 2 とプーリー 4 の巻き数を一定以上にすると、モータ 1 の巻き取りの張力がモータ 2 までほとんど伝達されず、ロープガイドなどの部分で破断した。モータ 1 のトルクで理論的に発生可能な張力がロープの破断強度よりも小さいにもかかわらず破断した原因としては、今回の装置でのプリストレッチによりロープの強度が低下してしまったことやロープガイドで応力集中したことなどが考えられる。

プーリー 2 及びプーリー 4 の巻き数は UHPE ロープで 2.5 周、PAR ロープで 1.5 周が最適であることを実験的に明らかにした。

## 4 破断試験

以下の点を確認するため、延伸実験でプリストレッチをした UHPE ロープと PAR ロープの 2 種類のロープの破断強度を測定した。

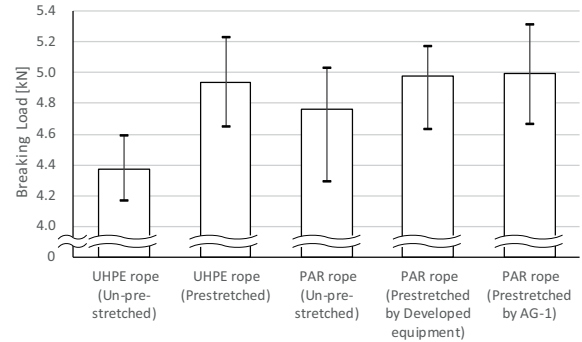


Fig.3 Result of Break test

1. プリストレッチによるロープの強度変化
2. プリストレッチ及び巻き取りの際にプーリーとの摩擦でロープが摩耗したことによる本延伸装置に由来する強度低下

本試験においては引張試験機 (AG-1, (株) 島津製作所, 最大荷重 100 kN) を用いた。また、開発した延伸装置に由来する強度低下の有無を確認するため、PAR ロープにおいてのみ引張試験機で連続的に張力を印加したのちに引張試験も行った。このときの張力印加の条件は、延伸実験と同様にするため印加圧力を 0.34 MPa、印加時間を 300 s とし、張力印加終了後 5 分間初期位置で保持したのちに破断試験を行った。Fig.3 が得られた各ロープの破断強度である。サンプル数はそれぞれ 5 回である。なお、プリテンションしていないロープのデータは過去研究で得られた値を用いている。

プリストレッチしたいずれのロープにおいても破断強度の増加がみられた。また、開発した延伸装置でプリストレッチしたサンプルと引張試験機でプリストレッチしたサンプルの破断強度を比較すると破断強度の差はほとんどなく、開発した延伸装置でのプリストレッチによる強度の低下は見られないといえる。

## 5 結言

高強度化学繊維ロープ用小型延伸装置の開発を行った。開発した延伸装置を用いて 2 種類の高強度化学繊維ロープの延伸実験を行い、本装置の動作を確認した。開発した延伸装置でプリストレッチを行ったロープの破断試験を行い、プリストレッチによってロープの強度が向上すること及び開発した延伸装置に由来する強度低下がないことを確認した。

今後は開発した延伸装置でプリストレッチしたロープの弾性率や繰り返し曲げ耐久性など、破断強度以外の特性についての調査を行う。

## 謝辞

この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託業務の結果得られたものです。また、引張試験には東京工業大学 轟・水谷研究室の引張試験機を使用しました。ここに感謝致します。

## 参考文献

- [1] Yuki Asano, Hironori Mizoguchi, Toyotaka Kozuki, Yotaro Motegi, Masahiko Osada, Junichi Urata, Yuto Nakanishi, Kei Okada, and Masayuki Inaba. Lower thigh design of detailed musculoskeletal humanoid "kenshiro". In *2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 4367–4372. IEEE, 2012.
- [2] 北野智士, 広瀬茂男, 遠藤玄. "4 足歩行ロボット titan-xiii の設計と開発". *設計工学*, 第 51 巻, pp. 875–884, 2016.
- [3] Atsushi Takata, Gen Endo, Koichi Suzumori, Hiroyuki Nabae, Yoshihiro Mizutani, and Yoshiro Suzuki. Modeling of synthetic fiber ropes and frequency response of long-distance cable-pulley system. *IEEE Robotics and Automation Letters*, Vol. 3, No. 3, pp. 1743–1750, 2018.