

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題	高強度化学繊維によるワイヤ駆動のための基礎的検討 第三報：クリープ特性試験機の製作と初期実験
Title	Basic study for drive mechanism with synthetic fiber rope -Third report: Creep Testing Machine and Preliminary Experiments-
著者	高田敦, 遠藤玄, 鈴森康一, 難波江裕之
Author	Atsushi Takata, Gen Endo, Koichi Suzumori, Hiroyuki Nabae
掲載誌/書名	ロボティクス・メカトロニクス講演会2017講演論文集, Vol. , No. , pp.
Journal/Book name	Proceedings of the 2017 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Vol. , No. , pp.
発行日 / Issue date	2017, 5
URL	<a href="http://www.jsme.or.jp/publish/transact/index.html">http://www.jsme.or.jp/publish/transact/index.html</a>
権利情報 / Copyright	本著作物の著作権は日本機械学会に帰属します。
Note	このファイルは著者（最終）版です。 This file is author (final) version.

# 高強度化学繊維によるワイヤ駆動のための基礎的検討 — 第三報：クリープ特性試験機の製作と初期実験 —

## Basic Study for Drive Mechanism with Synthetic Fiber Rope -Third report: Creep Testing Machine and Preliminary Experiments-

○ 高田敦 (東工大) 正 遠藤玄 (東工大)  
正 鈴木康一 (東工大) 正 難波江裕之 (東工大)

Atsushi TAKATA, Tokyo Tech, takata.a.ac@m.titech.ac.jp  
Gen ENDO, Tokyo Tech  
Koichi SUZUMORI, Tokyo Tech  
Hiroyuki NABAE, Tokyo Tech

Synthetic fiber ropes, which are lightweight and have high tensile strength and flexibility, have attracted attention as an alternative to stainless steel wire rope. This study clarifies various physical characteristics of synthetic fiber ropes to design a tendon-driven mechanism and this paper focuses on creep of ropes. We first designed and constructed a creep testing machine for ropes. Second, we performed experiments with three types of synthetic fiber ropes and one stainless steel wire rope. As a result, in stainless steel wire rope, creep was not observed. In addition, Polyarylate(PAR) fiber rope and Poly-phenylene-Benzobisoxazole(PBO) fiber rope have much higher creep resistance than Ultra High molecular weight Polyethylene(UHPE) fiber rope.

**Key Words:** Tendon-driven, Synthetic fiber rope, Creep characteristic

### 1 緒言

日本の化学繊維の研究開発は世界トップレベルにあり、高性能、高性能な化学繊維の開発が盛んである [1]。これらの化学繊維を用いたワイヤにはステンレス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ワイヤと呼ぶ。化学繊維ワイヤは合成樹脂であるため非常に軽く、曲げやすいという利点もあることから、従来ワイヤ駆動に用いられてきたステンレスワイヤに代替することが期待されている。近年では、筋骨格ロボット [2] や四足歩行ロボット [3] などの駆動系として高強度化学繊維ワイヤが用いられている。

駆動系にワイヤを用いる場合、その強度や耐久性といった機械的特性は設計上重要である。従来から利用されている金属ワイヤについては日本工業規格にワイヤの構成、破断荷重、検査方法などが定められている。しかし、高強度化学繊維ワイヤについては繊維メーカーが原系の資料を公開しているものの (例えば [4])、ワイヤとしての特性は引張強度のみがメーカーから提供される。また、化学繊維ワイヤの機械的特性の研究は船の繫留用ワイヤの力学特性に関するもの [5]、ワイヤ駆動ロボットハンドのガイドにおける摩擦をモデル化したもの [6] などがあるが、駆動系設計には他にも耐久性など多くの特性評価が求められる。化学繊維ワイヤが金属ワイヤに代わって広く利用されるには、実用に足る信頼性を持った体系的な設計論を構築する必要がある。従って、ワイヤ特性の試験法の確立と種類豊富な化学繊維ワイヤの特性比較が求められている。

本研究は高強度化学繊維を用いたワイヤ駆動系のための諸特性を明らかにしていくことを目的としている [7, 8, 9]。本報では高強度化学繊維ワイヤのクリープ特性を検証する。化学繊維は合成樹脂であるため常温でも荷重を受け続けると流動が生じる。そのため、高強度化学繊維ワイヤを用いたワイヤ駆動の設計、運用のためにクリープ特性の検証が必要となる。よって、本報ではクリープ特性試験機を製作し、高強度化学繊維ワイヤのクリープ特性の測定実験を行う。

### 2 クリープ特性試験機の製作

製作したクリープ特性試験機の構成を図 1 に示す。試験片は直径 2 mm、長さ 4 m 程度のワイヤとし、一端を固定プーリに巻きつけ固定する。他端は回転自在なプーリを経由し、荷重 981 N のおもりに固定される。両プーリの軸は地面から同じ高さであり、二つのプーリ間のワイヤは水平である。ワイヤの伸びの計測

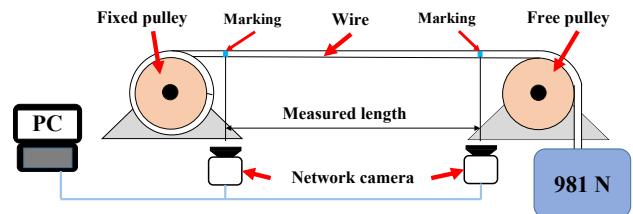


Fig.1: Creep testing system

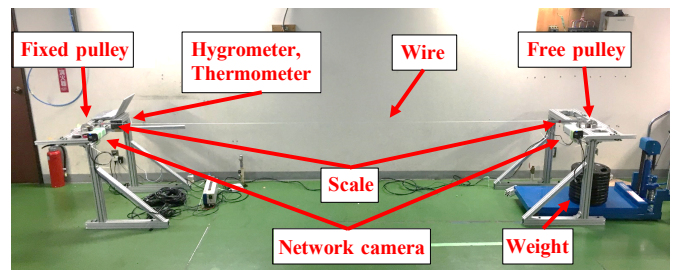


Fig.2: Creep testing machine

はワイヤ水平部に間隔を開けてマーキングを 2 つ施し、マーキングの相対変位により計測する。マーキングはネットワークカメラ (Canon 製 VB-M720F) により一定時間間隔で撮影される。マーキングの後方に固定されたスケールによってマーキングの変位を計測することができる。なお、湿温計も同時に撮影する。

### 3 実験

実験に用いる試験片ワイヤの諸元を表 1 に示す。UHPE は超高分子量ポリエチレン、PBO はポリパラフェニレンベンゾビスオキサゾール、PAR はポリアリレート の略称である。実験は約 10000 min 間ワイヤに 981 N の荷重を負荷し、ワイヤの伸びを計測した。伸びの計測は荷重の負荷直前から始まり、除荷直後まで行う。計測の撮影間隔は 60 min である。ただし、荷重を負荷してから初めの 6 時間の間は 10 min 間隔で撮影する。

実験結果を図 3 に示す。荷重を負荷してから時間の経過に伴って荷重を除荷するまでに進展するひずみがクリープひずみ  $\epsilon_c$  で

Table 1: Properties of ropes

Rope name	Stainless steel	UHPE	PBO	PAR
Rope maker	SHINYO	Hayami Industry	Hayami Industry	Hayami Industry
Rope model	SC-200	DB-96HSL	ZB-308	VB-308
Structure	7 × 19	2640 dtex×8	3340 dtex×8	3340 dtex×8
Fiber	SUS034	Dyneema®	Zylon®	Vectran®
Tensible strength	3.56	4.29	6.59	4.18

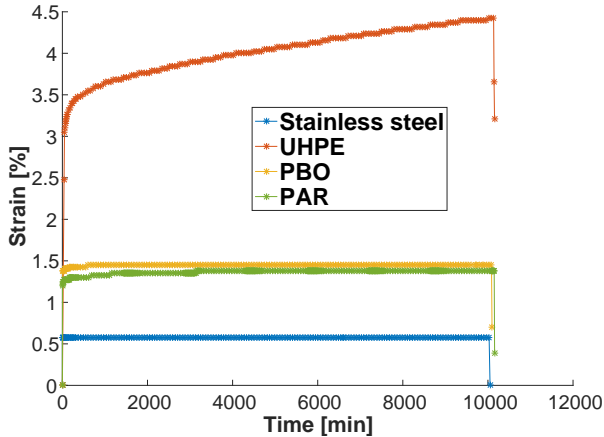


Fig.3: Creep of ropes

ある。Stainless steel ワイヤではクリープひずみが全く生じていないが、高強度化学繊維ワイヤでは時間の経過に伴ってひずみが進展し、クリープ特性を有していることが分かる。

Stainless steel ワイヤを含む全てのワイヤで荷重を荷重した瞬間にひずみが生じ、除荷した瞬間にひずみが回復していることから、ワイヤが弾性を有していることが分かる。

Stainless steel ワイヤでは、荷重を除荷すると完全にひずみが回復し、ワイヤが荷重前の長さに戻る。つまり、Stainless steel ワイヤには弾性ひずみ  $\varepsilon_e$  のみが生じる。しかし、化学繊維ワイヤでは、荷重を除荷した後にクリープひずみ  $\varepsilon_c$  よりも大きなひずみが残る。これは化学繊維ワイヤでは荷重を荷重するとき、弾性ひずみ  $\varepsilon_e$  とは別に塑性ひずみ  $\varepsilon_p$  が進展することを示している。荷重を除荷する直前の最大ひずみを  $\varepsilon_{max}$ 、除荷時に回復するひずみを弾性ひずみ  $\varepsilon_e$  とすると、塑性ひずみ  $\varepsilon_p$ 、クリープひずみ  $\varepsilon_c$  を含めて式 (1) が成り立つ。  $\varepsilon_{max}$ 、  $\varepsilon_e$ 、  $\varepsilon_c$  の値から  $\varepsilon_p$  が求まり、各試験片ワイヤの  $\varepsilon_e$ 、  $\varepsilon_c$ 、  $\varepsilon_p$  の関係を図 4 に示す。

$$\varepsilon_{max} = \varepsilon_e + \varepsilon_p + \varepsilon_c \quad (1)$$

10000 min の間に進展するクリープひずみ  $\varepsilon_c$  の大きさは UHPE ワイヤでは 1.95%、PBO ワイヤでは 0.08%、PAR ワイヤでは 0.18% である。クリープ特性は UHPE ワイヤが最も大きく、PAR ワイヤと PBO ワイヤでは同程度である。また、塑性ひずみ  $\varepsilon_p$  の大きさは UHPE ワイヤでは 1.26%、PBO ワイヤでは 0.62%、PAR ワイヤでは 0.21%、弾性ひずみ  $\varepsilon_e$  の大きさは UHPE ワイヤでは 1.21%、PBO ワイヤでは 0.75%、PAR ワイヤでは 0.99% である。PAR ワイヤと PBO ワイヤの全ひずみは同程度だが、PBO ワイヤは弾性ひずみが小さく、最も塑性ひずみが生じないのは PAR ワイヤである。このように、同じ荷重条件でも化学繊維ワイヤの種類によって生じるひずみの大きさが異なっている。従って、高強度化学繊維ワイヤをロボットに用いる場合、機構が許容できるワイヤの伸び量が使用するワイヤの選定条件となり得ることが分かる。

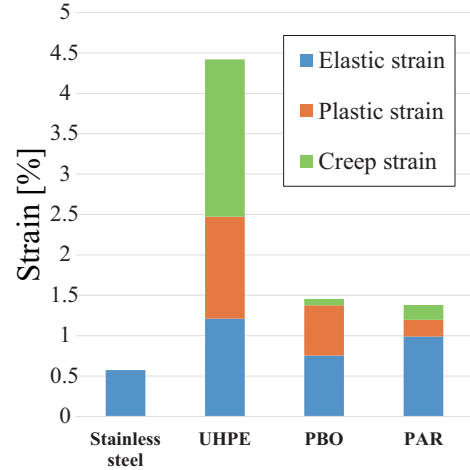


Fig.4: Relationships between elastic, plastic, and creep strain of ropes

## 4 結論

本報では高強度化学繊維ワイヤを駆動系として用いる場合の基礎的検討としてクリープ特性に注目し、クリープ特性試験機を製作し、ワイヤのクリープ測定実験を行った。Stainless steel ワイヤではクリープが測定されなかった。UHPE ワイヤではクリープが顕著に生じた一方、PAR ワイヤ、PBO ワイヤでは極めて小さいことを確認し、高強度化学繊維ワイヤの中でも原糸の種類によってクリープ特性が大きく異なることを明らかにした。また、化学繊維ワイヤに荷重を荷重するとき生じる塑性ひずみを確認した。今後は他の種類の高強度化学繊維ワイヤのクリープ測定を行いクリープ特性の比較を行う。

## 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。

## 参考文献

- [1] 日本化学繊維協会 よくわかる化学せんい, <http://www.jcfa.gr.jp/fiber/super/index.html> 2017 年 3 月 1 日閲覧。
- [2] T. Kozuki, T. Shirai, Y. Asano, Y. Motegi, Y. Kakiuchi, K. Okada and M. Inaba, "Muscle-tendon complex control by "Tension controlled Muscle" and "Non-linear Spring Ligament" for real world musculoskeletal body simulator Kenshiro", 5th IEEE RAS/EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechanics, pp. 875-880, Aug 2014.
- [3] S. Kitano, S. Hirose, A. Horigome, and G.Endo, "TITAN-XIII: sprawling-type quadruped robot with ability of fast and energy-efficient walking", ROBOMECH Journal, Vol. 3,NO. 1,p. 8, 2016.
- [4] 東洋紡, ザイロン 技術資料, <http://www.toyobo.co.jp/seihin/kc/pbo/technical.pdf> 2017 年 3 月 1 日閲覧。
- [5] Peter Davies, "Mechanical behaviour of HMPE and aramid fibre ropes for deep sea handling operations", Ocean Engineering, 2011.
- [6] J.Reinecke, M.Chalon, W.Friedl and M.Grebenstein, "Guiding Effects and Friction Modeling for Tendon Driven Systems", 2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2014), pp. 6726-6732, Jun, 2014.
- [7] 遠藤 玄, 洗津, 広瀬 茂男, "高強度化学繊維によるワイヤ駆動のための基礎的検討 第一報: 端部クランプ固定・曲げ比率が引張強度に与える影響", 第 30 回日本ロボット学会学術講演会, 4B3-2, Sep 2012.
- [8] 堀米 篤史, 遠藤 玄, 鈴森 康一, "高強度化学繊維によるワイヤ駆動のための基礎的検討 第二報: 繰り返し曲げが引張強度に与える影響", ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 2A1-Q08(1)-2A1-Q08(2), May 2015.
- [9] Atsushi Horigome, Gen Endo, "Basic study for drive mechanism with synthetic fiber rope -investigation of strength reduction by bending and terminal fixation method", Advanced Robotics, Vol. 30, No. 3, pp. 206-217, Feb 2016