T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

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 第六報：熱延伸されたUHMWPEロープの繰り返し曲げ耐久性
Title(English)	Basic study for drive mechanism with synthetic fiber rope -Sixth report: Repetitive bending durability of heat-set UHMWPE ropes-
著者(和文)	高田 敦, 遠藤 玄, 兼清 真人, 鈴森 康一, 難波江 裕之
Authors(English)	Atsushi Takata, Gen Endo, Masahito Kanekiyo, Koichi Suzumori, Hiroyuki Nabae
出典(和文)	ロボティクス・メカトロニクス講演会2018 予稿集, Vol. , No. , pp.
Citation(English)	Proceedings of the 2018 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Vol. , No. , pp.
発行日 / Pub. date	2018, 6

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

高強度化学繊維によるワイヤ駆動のための基礎的検討
ー第六報：熱延伸された UHMWPE ロープの繰り返し曲げ耐久性ー

Basic study for drive mechanism with synthetic fiber rope
-Sixth report: Repetitive bending durability of heat-set UHMWPE ropes-

○ 学 髙田敦（東工大） 正 遠藤玄（東工大） 兼清 真人（東工大）
正 鈴森康一（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
Masahito KANEKIYO, Tokyo Tech
Koichi SUZUMORI, Tokyo Tech
Hiroyuki NABAE, Tokyo Tech

Currently, synthetic fiber ropes which have high strength while being lightweight, are applied to tendon-driven robots. In our previous works, it is clarified that a rope using UHMWPE has higher strength and repetitive bending durability than not only stainless steel wire rope but also other synthetic fiber ropes. However, there are also some types of UHMWPE fiber, and some rope are heat-set and others are not. In this paper, we focus on repetitive bending durability of heat-set ropes. As a result, a heat-set or densely rope of UHMWPE has high strength. Moreover, the higher strength a rope has, the lower bending durability the rope has.

Key Words: Tendon-driven, Synthetic fiber rope, Mechanical design

1 序論

化学繊維の中には高い強度を持つものがある [1]．それらを用いたロープはステンレスワイヤと同等以上の強度を持ちながら軽量，曲げやすいという優れた特徴を持ち，本研究ではこのような化学繊維を高強度化学繊維と呼ぶ．

近年，腱駆動機構をより高耐荷重，小型にする目的で高強度化学繊維ロープが用いられている [2, 3]．しかし，腱駆動機構を設計するには腱の強度だけでなく，耐久性などさまざまな特性を考慮する必要がある．従来より広く用いられてきたステンレスワイヤの場合，日本工業規格にワイヤ構成，試験方法などが定められているのに加え，文献 [4] などに設計の基準となる情報が蓄積されているのに対し，高強度化学繊維ロープの場合ではそのような規格や情報は不足している．

そこで，著者らは高強度化学繊維ロープを用いた腱駆動機構の設計基準の確立を最終的な研究目的とし，これまで，ロープの端部固定法，曲げによる強度低下 [5]，クリープ特性 [6]，伸び特性が機構の動特性に与える影響 [7, 8] などについて報告した．中でも，繰返し曲げ耐久性については，様々な化学繊維ロープとステンレスワイヤを対象とし，ISO ないし JIS に定められた航空機用ワイヤロープの耐久性試験に準拠した試験を行うとともに，ロープ張力，繰返し曲げ回数，曲げ比率の影響を調査した [9, 10]．その結果，UHMWPE(Ultra High Molecular Weight Polyethylene) 繊維を用いたロープはステンレスワイヤに比べ，大きな荷重，もしくは急峻な曲げの条件下で繰返し曲げ耐久性に優れていることを明らかにした．UHMWPE ロープは高強度化学繊維の中でも高い強度を持つことから，腱駆動機構に適していると言える．

しかし，表 1 に示すように，UHMWPE ロープにも様々な種類がある．繊維を生産する企業が異なるものや，ロープにした後，熱と張力を加える熱延伸という処理を施したものとそうでないものがある．我々が先行研究で繰返し曲げ耐久性が高いことを明らかにしたロープは表 1 中の熱延伸を施していない SK60, SK71 Density であり，熱延伸が施されたロープについては繰返し曲げ耐久性は明らかにされていない．よって，本報では熱延伸処理を施した UHMWPE ロープに注目する．ロープメーカによると熱延伸により線密度が大きくなり，破断強度が高くなるとされる [11, 12]．実際，熱延伸されたロープや線密度が大きいロープほど強度が大きいが，繰返し曲げ耐久性も高いかは不明である．ISO 規格に準拠した試験条件に加え，曲げやすい化学繊維ロープが有利とされる急峻な曲げ条件での繰返し曲げ耐久性を調査する．

Table 1 Properties of UHMWPE ropes

Name	SK60	SK71 Density	SK71	SK78 Heat-set	SK99 Density Heat-set
Strength [kN]	2.14	4.21	2.50	4.17	7.17
Density [g/m]	1.7	2.4	1.7	1.8	2.7
Fiber	SK60	SK71	SK71	SK78	SK99
Fiber supplier	Toyobo	Toyobo	Toyobo	DMS	DMS
Strand number	8	8	8	12	12
Rope supplier	Hayami	Hayami	Hayami	Liros	Armare
Heat set	×	×	×	○	○

2 繰り返し曲げ耐久試験

本報で試験を行ったロープを表 1 に示す．全てのロープの公称直径は 2 mm である．繰返し曲げ耐久試験に用いる装置は先行研究と同じものである [9]．この装置は ISO2020-2:1997, ないし JIS G 3535:2012 に準拠しており，構成を図 1 に示す．試験は図 1 中の試験プーリでロープを繰り返し曲げた後，繰返し曲げられた部分の引張強度を測定するものである．試験条件を表 2 に示す．ロープに加える張力，試験用プーリ直径は JIS に準拠して求められたもので 31.3 N, 24.0 mm である．この条件に加え，試験用プーリ直径のみを 6.0 mm に変更した条件でも試験を行っ

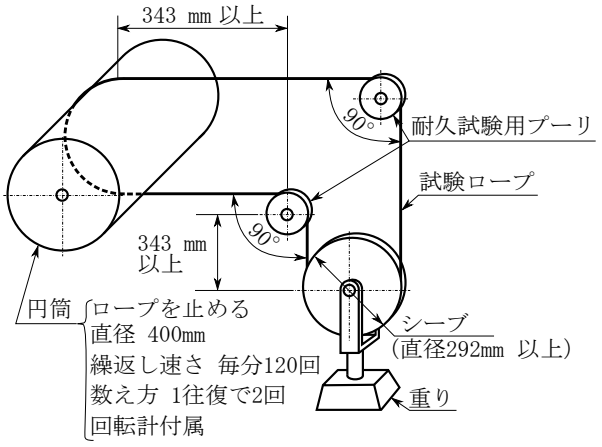


Fig.1 Model of durability experiment device provided by JIS[1]

Table 2 Experiment condition

張力	繰り返し回数	耐久試験用プーリ径
31.3 N	70000 回	24.0 or 6.0 mm

た．ロープの繰返し曲げ耐久性は，式 (1) で算出される曲げられる前の破断強度に対する繰返し曲げ後の強度の効率によって評価された．それぞれの試験条件で 3 本の試験ロープを用いて測定を行った．

$$\text{強度効率} = \frac{\text{耐久試験後の引張強度}}{\text{通常時の引張強度}}\,[\%] \tag{1}$$

3 試験結果

繰返し曲げ後の破断強度と曲げ比率の関係を図 2 に示す．横軸に曲率 (試験用プーリ直径の逆数) を縦軸に繰り返し曲げ後の破断強度をとる．エラーバーは 3 つの試験片の標準誤差を表し，曲率 0.000 の強度は通常時の破断強度を表す．全てのロープで曲げ比率が急峻になるほど強度が低下した．繰返し曲げにより SK99 Density Heat-set の破断強度が最も大きく落ちた．また，SK78 Heat-set の破断強度も大きく低下した．したがって，これらの熱延伸されたロープは繰返し曲げ耐久性が低いと考えられる．試験用プーリの直径が 6.0 mm の急峻な曲げ条件下では全てのロープの残存強度が 2 kN ほどと同じ程度になった．

続いて，試験用プーリの直径が 6.0 mm の急峻な曲げ条件での結果を用いて，元の破断強度と繰り返し耐久性の関係を図 3 に示す．横軸に通常の破断強度，縦軸に強度効率をとると，相反関係がある．つまり，破断強度が大きなロープほど，繰り返し曲げ耐久性が低いことが分かった．また，破断強度が大きく，繰返し曲げ耐久性が低いロープほど，高密度，熱延伸されたロープである．

4 結論

繊維の種類，熱延伸処理の有無が異なる 5 種の UHMWPE ロープを対象に繰返し曲げ耐久性を調査した．結果，元の破断強度が大きいロープほど繰返し曲げ耐久性が低いことが分かった．また，高密度，熱延伸されたロープであるほどこの傾向であることも分かった．今後は熱延伸が線密度，破断強度や繰返し曲げ耐久性に与える影響の調査を行う．

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．耐久試験の実施には石川美和氏にご協力いただきました．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．また，ここに感謝致します．

[1] [13] より作成

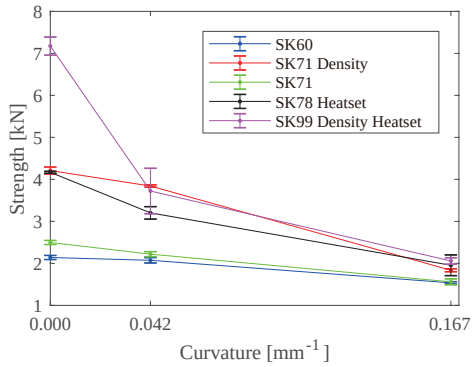


Fig.2 Strength reduction depending on bending curvature

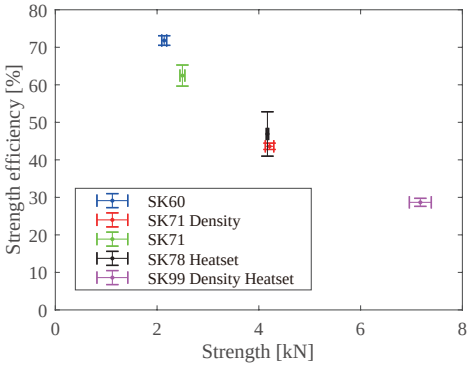


Fig.3 Relationships between strength and bending durability

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` 2018 年 2 月 27 日閲覧．

[2] Satoshi Kitano, Shigeo Hirose, Atsushi Horigome, and Gen Endo. Titan-xiii: sprawling-type quadruped robot with ability of fast and energy-efficient walking. ROBOMECH Journal, Vol. 3, No. 1, pp. 1–8, 2016.

[3] 八木, 聡明, 植村, 充典, 平井, 宏明, 宮崎, 文夫. 足首周りの角運動量に基づく脚ロボットバランス制御の実験的検討. ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2017, pp. 1A1–P09. 一般社団法人 日本機械学会, 2017.

[4] 機械設計便覧編集委員会. 機械設計便覧. 機械設計便覧. 丸善, 第 3 版, Mar 1992.

[5] 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, pp. 4B3–2, Sep 2012.

[6] 高田敦, 遠藤玄, 鈴森康一, 難波江裕之. 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. ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2017, pp. 1P2–G07. 一般社団法人 日本機械学会, 2017.

[7] 高田敦, 遠藤玄, 鈴森康一, 難波江裕之, 水谷義弘, 鈴木良郎. 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四報：長軸間距離試験機の製作と周波数応答. ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2017, pp. 1P2–G08. 一般社団法人 日本機械学会, 2017.

[8] 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, 2018.

[9] 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), 2015.

[10] Atsushi Horigome and Gen Endo. Investigation of repetitive bending durability of synthetic fiber ropes. IEEE Robotics and Automation Letters, 2018.

[11] Armare, the hps treatment. http://www.liros.com/en/products/productfinder/details/detail/liros-d-pro.html 2018 年 3 月 1 日閲覧.

[12] Liros, liros d-pro. https://www.armare.it/en/approfondimenti/hps/identificatoreLineaProdotti/76 2018 年 3 月 1 日閲覧.

[13] JIS G 3535 : 2012. pp. 7,10-12.