

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	高強度化学繊維を用いたワイヤ駆動系のための基礎的検討 - 溝付きプーリと二重 8 の字結びによる端部固定 -
Title(English)	Basic study for drive mechanism with synthetic fiber rope Terminal fixation method using a grooved pulley and a figure-eight knot
著者(和文)	遠藤玄, 堀米篤史, 若林陽輝, 高田敦
Authors(English)	Gen Endo, Atsushi Horigome, Youki Wakabayashi, Atsushi Takata
出典(和文)	第23回ロボティクスシンポジア, , ,
Citation(English)	, , ,
発行日 / Pub. date	2018, 3

# 高強度化学繊維を用いたワイヤ駆動系のための基礎的検討

溝付きプーリと二重8の字結びによる端部固定

遠藤 玄<sup>\*1</sup>, 堀米 篤史<sup>\*1</sup>, 若林 陽輝<sup>\*1</sup>, 高田 敦<sup>\*1</sup>

## Basic study for drive mechanism with synthetic fiber rope

### Terminal fixation method using a grooved pulley and a figure-eight knot

Gen ENDO<sup>\*1</sup>, Atsushi HORIGOME<sup>\*1</sup>,  
Youki WAKABAYASHI<sup>\*1</sup>, and Atsushi TAKATA<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup> School of Engineering, Tokyo Institute of Technology  
2-12-1 Ookayama, Meguro-ku, Tokyo 152-8552, Japan

This paper proposes a new terminal fixation method for synthetic fiber ropes, which have high tensile strength and low frictional coefficient, to achieve high strength fixation. The proposed method consists of a grooved pulley where the synthetic fiber rope is wound around, and a loop formed by a figure-eight knot hanging on a pin. The grooved pulley is used to increase frictional force using wedge effect. The radius of the pulley and shape of the groove were experimentally optimized. The strength of the loop made by a figure-eight knot was also experimentally verified by our previous work. We show that the proposed method achieves 90% fixation force against the rope breaking force. An implementation example for a tendon-driven robot is also shown.

**Key Words** : Synthetic fiber rope, Terminal fixation, Tendon-driven robot

## 1. 緒 言

高強度化学繊維ロープの引張強度は、ロボット駆動系でしばしば用いられるステンレス製ワイヤロープの1.5~2倍以上でありながら、その密度は1/5~1/8と極めて軽量である。加えて、化学繊維ロープはしなやかで柔軟に曲げることが可能であることから、ロープの取り回しや端部に結び目を作るなど、ロボット組み立て時に扱いやすい特長を持つ。しかしながら化学繊維ロープの特性については明らかではなく、ロボットに代表されるような駆動系の機構要素として化学繊維ロープが金属製ワイヤロープの代替となり得るかどうかは、様々な特性試験を行い詳細に比較検証する必要がある。

本論文では特に化学繊維ワイヤロープの端部固定法について焦点を当てる。なぜなら、例えどんなにロープ単体での強度が高かったとしても、端部を機構部材に強固に固定することが出来なければ、結局のところ固定端で耐え得る引張強度しか利用できないからである。さらに化学繊維ロープは金属ロープに比して、摩擦係数が1/3~1/5程度と非常に低く、金属ワイヤで通常用いられている方法では十分な固定力が得られず新

しい固定方法の開発が必要である。

本論文では、さらに高い90%以上の固定力を実現する、溝付きプーリにロープを巻きかけさらに二重8の字結びによりループを作り、ピンにかけることによる端部固定法を新たに提案し、最適な溝形状を実験的に検討する。長さ調節可能で小型かつ簡便な端部固定法の固定力が定量的に明らかになれば、従来開発者個々のノウハウのレベルに留まっていた化学繊維ロープの端部固定法に対し、汎用的な設計指針を新たに提示することが可能となり、これこそが本論文の目的である。

## 2. 従 来 法

金属ワイヤの端部固定法に用いられる単純なクランプ方法、円柱部品に巻きかけてクランプする方法、結びによりループを作りピンにかける方法（結び方はもやい結び、変形もやい結び、二重継ぎ、二重8の字結びの4種）、メーカーに依頼して行う特殊加工法（カシメ、縫製の2種）の端部固定力を計測した<sup>(1)</sup>。固定力は、最大固定力をロープ破断力で除した強度効率により評価する。その結果、長さ調節が可能な固定法では、金属ワイヤでは単純なクランプでも90%の強度効率が得られた。一方化学繊維ワイヤでは円柱クランプが最も高い強度効率を示したが、その値は59-84%であり

<sup>\*1</sup> 東京工業大学工学院 (〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1) gendo@mes.titech.ac.jp

十分高い値ではなかった。

### 3. 溝付きプーリとピンを用いた端部固定法の提案

より高い強度効率を実現するために、溝付きプーリとピンを用いた新たな端部固定法を提案する(図1)。二重8の字結びによる固定ではおよそ50%の強度効率が得られることが分かっている<sup>(1)</sup>ことから、もしこの固定端に至るまでに、張力を100%から50%以下に減衰させることができればよい。張力を減衰させるためには、船のもやいによる係留と同様に、固定プーリにロープを巻き付け、ベルトの摩擦を利用する方法が考えられる。しかしながら化学繊維ロープは金属製ロープに比して摩擦係数が著しく小さいことから、単なる平プーリでは十分な摩擦力を得られず、適切ではない。そこで、楔効果により摩擦係数を疑似的に増大することのできる、螺旋溝付きプーリを利用することを提案する。

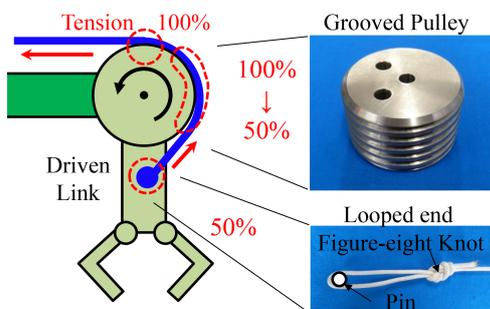


Fig. 1 Proposed fixation method.

### 4. 最適溝形状の実験的導出

最適な溝形状を実験的に導出する。設計パラメータとして溝角度 $\alpha$ と、溝底径 $\phi$ を変化させ、摩擦力を最大化し、なおかつ応力集中による破断張力の低下を生じにくい最適な溝形状を実験により明らかにする。側糸がダイニーマ、芯糸がザイロンで直径2mmのロープを対象とした。溝付きプーリの直径 $D$ は37.5mmとし、材料はSUS304とした。9種類の溝形状( $\alpha = 30, 45, 60$ 度の3種と $\phi = 0.5, 1.0, 1.5$ mmの3種の組み合わせ)に対し各3回ずつ引張試験を行い固定力を計測し、強度効率を算出した。結果を下表に示す。

Table 1 The average strength efficiencies at each groove angle  $\alpha$  and each groove fillet diameter  $\phi$ .

		$\phi$ [mm]		
		0.5	1.0	1.5
$\alpha$ [deg]	30	81.4	86.0	<b>91.3</b>
	45	89.8	84.2	89.7
	60	89.6	89.3	88.3

ほぼすべての溝付きプーリで85%以上の強度効率が得られ、最大値は $\alpha=30$ deg,  $\phi=1.5$ mmのとき、91.3%であった。また、 $\alpha=60$ deg,  $\phi=0.5$ mmのときも90%近い強度効率を達成していることは工業的に利用価値が高い。なぜなら、この溝形状は通常のメートルネジの溝形状とほぼ同じであることから、溝付きプーリを低コストに作成可能であるからである。上記の溝形状は、八打ちで構成したダイニーマ・ザイロン・ベクトランのロープに対しても有効であった。またロープ径に応じて上記溝形状を相似で拡大/縮小することで直径1, 3mmの太さのロープに対してもほぼ90%以上の強度効率を達成できることが分かった。

### 5. ロボットへの適用例

提案する端部固定法をワイヤ干渉駆動型多関節マニピュレータに適用した。原理検証のために試作した2節モデルに重荷重を負荷することで、端部固定法の有用性を確認した。実験の様子を図2に示す。2節モデルは全長2mであり、先端部に1.64kgの重りを負荷し、アーム長中央の1mの位置に142.4kgの重りを負荷し水平に伸長している。各関節は化学繊維ワイヤにより駆動され、ワイヤの最大張力はおよそ30kNである。提案する端部固定法により、この大きな張力を固定することが可能であることを確かめた。



Fig. 2 Tendon-driven manipulator with heavy load

### 6. 結 言

本論文では、ロープ長が調節可能で小型で、強度効率の高い化学繊維ロープの端部固定法を提案した。また最適な溝形状を実験により導出し、固定の強度効率を明らかにした。ワイヤ干渉駆動型アームに適用し、十分高い固定力を実現した。

### 参 考 文 献

- (1) Atsushi HORIZOME, and 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, Issue 3 (2016), pp.206-217.