

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	バンドルドワイヤドライブを用いた長尺軽量ロボットアームの開発
Title(English)	A Development of Long-Reach and Lightweight Robot Arm Using Bundled Wire Drive
著者(和文)	若林陽輝, 遠藤玄, 鈴森康一, 難波江裕之
Authors(English)	Youki Wakabayashi, Gen Endo, Koichi Suzumori, Hiroyuki Nabae
出典(和文)	ロボティクス・メカトロニクス講演会2019 予稿集, Vol. , No. , pp.
Citation(English)	Proceedings of the 2019 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Vol. , No. , pp.
発行日 / Pub. date	2019, 6

# バンドルドワイヤドライブを用いた長尺軽量ロボットアームの開発

## A Development of Long-Reach and Lightweight Robot Arm Using Bundled Wire Drive

○学 若林 陽輝 (東工大) 正 遠藤 玄 (東工大)  
正 鈴森 康一 (東工大) 正 難波江 裕之 (東工大)

Youki WAKABAYASHI, Tokyo Tech, wakabayashi.y.ad@m.titech.ac.jp

Gen ENDO, Tokyo Tech

Hiroyuki NABAE, Tokyo Tech

Koichi SUZUMORI, Tokyo Tech

Wire drive mechanisms have flexibility of actuator location and are widely used for multi degree-of-freedom(Dof) robots. Conventional wire-driven mechanisms using metal wire ropes usually avoid sliding contact and collision of wires as much as possible by introducing multiple passive pulleys to ensure clear wire routes. We have proposed a novel wire-driven mechanism called “Bundled Wire Drive”. We have utilized multiple synthetic fiber ropes with low friction coefficients to drive multi DoF, and bundle them together, allowing sliding against each other. In our previous works, we have investigated the feasibility of the mechanism by evaluating the effect of sliding on tension transmission efficiency using one joint models. We developed a 3-DoF horizontal articulated robot arm using this mechanism. In this paper, we evaluated the performance of the robot arm. It was confirmed that pose repeatability was 0.40 mm, position stabilization time was 0.993 s, position overshoot was 4.45 mm, and minimum resolution was 0.059 deg in joint angle.

**Key Words:** Robot arm, Tendon-driven, Synthetic fiber rope

### 1 緒言

ワイヤ駆動機構は、1) 軽量、2) 低コスト、3) 機械設計における高い柔軟性といった多くの利点を有する。機械設計に注目すると、アクチュエータから離れた関節に動力を伝達することが可能であるため、ロボットハンド [1] や内視鏡手術ロボット [2] といった多自由度を有する場合でもコンパクトな設計が可能となる。しかし、従来のロボットではロープの干渉を避けるために多数のプーリを用いてワイヤ経路を独立させなければならず、機構が複雑となっていた。そこで、我々は Fig. 1 に示すようなロープの摺動を許容し、ロープが束ねられ互いに経路を共有するバンドルドワイヤドライブと呼ばれる駆動機構を提案してきた [3][4]。従来の金属ロープでは摩擦が大きいため摺動が発生する機構は実現不可能であったが、金属ロープの 1/5 の摩擦係数を有する高強度化学繊維ロープを用いることで従来では成し得なかった機構が可能としている。

これまでの研究で、1 関節モデルの実験装置を用いてロープと

関節間の摺動が張力伝達効率に与える影響を評価し、機構の実現可能性について調査してきた。また、本機構をロボットアームに適用し Fig. 2 に示すような 3 自由度水平多関節ロボットアームを開発した。本稿では開発したロボットアームの性能評価として繰り返し位置精度、ポーズ安定化時間、オーバーシュート、最小分解能を測定し、本機構の有効性を示すことを目的とする。

### 2 ロボットアームの構成

開発したロボットアームの関節構造を Fig. 3 に示す。従来の機構では独立したワイヤ経路を確保するために複数のプーリを必要としていたが、本機構では中心に向かうような曲面構造を用いることでシンプルな機構で中継を達成している。ロープは灰色の点線円の部分で構造との摺動が発生している。

ロボットアームのロープ配置を Fig. 4 に示す。基部の関節 (Joint 1) はタイミングベルトを用いて駆動されており、2 関節目以降 (Joint 2,3) には 2 個のモータによるワイヤ拮抗駆動を用いている。

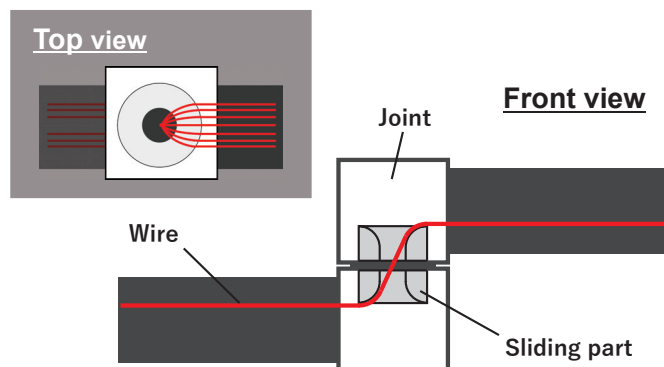


Fig.1. Basic concept of bundled wire drive.[4]

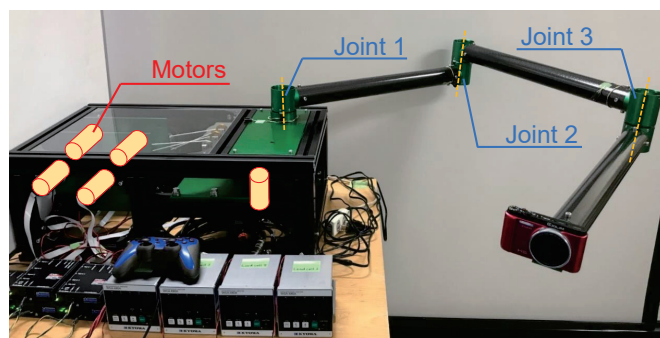


Fig.2. Horizontal robot arm composed of three joints with the proposed mechanism.[4]

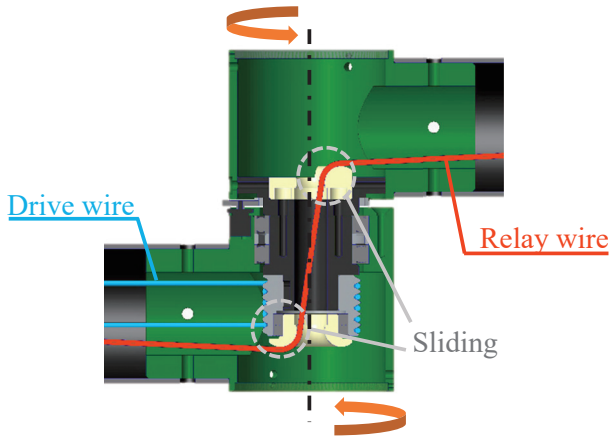


Fig.3. Sectional view of the joint of the robot arm.

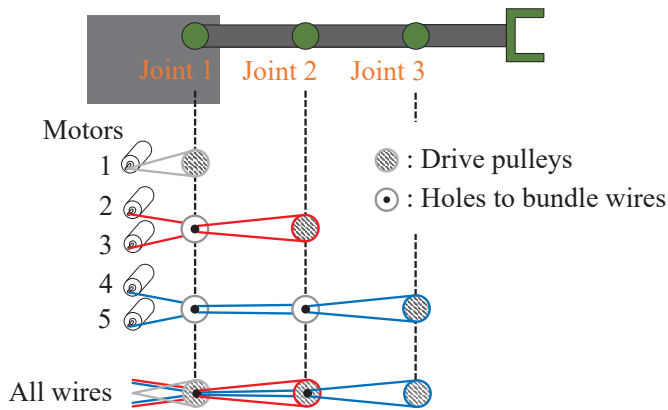


Fig.4. Arrangement of tendons, holes, and pulleys of the arm.

一方のモータがロープを巻き取り、もう一方のモータがロープを送り出すようになっておりロープの巻き取り・繰り出し長さおよび張力を制御できるようになっている。アームは基部のモータが巻き取るロープの量と関節に取り付けられているエンコーダの値によって制御されている。関節角度  $\theta_{\text{joint}}$  はモータのエンコーダで読み取ったロープの巻き取り量  $\theta_{\text{motor}}$  から以下のように計算される。

$$\theta_{\text{joint}} = \frac{D_{\text{motor}}}{D_{\text{joint}}} \theta_{\text{motor}} \quad (1)$$

ただし、 $D_{\text{motor}}$  と  $D_{\text{joint}}$  はモータと関節に取り付けられているプーリの直径である。また、モータドライバには EPOS2 (MAXON) を使用した。

### 3 動作・性能試験

繰り返し位置精度、ポーズ安定化時間、オーバーシュートは ISO 9283:1998 にその試験方法と算出方法が示されている。Fig. 5 に示すような収納・展開動作を繰り返し 30 回行い、ロボットアームの先端位置をレーザ変位計 (LKG32, KEYENCE) によって測定した。ポーズ安定化時間は最初のピークが現れてから振動が  $\pm 0.3$  mm 以内に収まるまでの時間と定義した。また、上記 3 項に加えてロボットアームの制御性の調査として最小分解能の測定を行った。本機構ではロープと構造間で摩擦が生じているため、ロープを巻き上げていったとしても直ちに関節が動作する訳ではない。ロープの張力が静止摩擦力より大きくなったときにはじめて駆動される。そのときの移動量を最小分解能と定義し、関節のエンコーダ分解能 ( $0.0135$  deg) と比較する。Table 1 に測定した繰り返し位置精度、ポーズ安定化時間、オーバーシュート、最小分解能を示す。複数の中継プーリを有するワイヤ駆動ロボットアームである WAM アーム [5] の位置精度は  $0.1$  mm と報告され

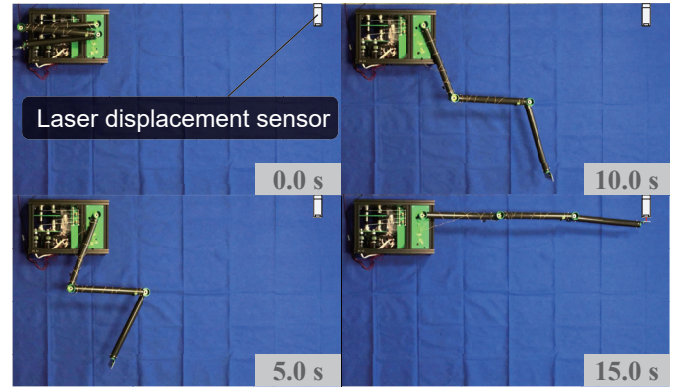


Fig.5. Top views of arm motion when expanding and storing the arm (at approximately 5.0 s intervals).

Table 1. Performance of the arm.

	Average
Pose repeatability [mm]	0.40
Position stabilization time [s]	$0.993 \pm 0.001$
Position overshoot [mm]	$4.45 \pm 0.04$
Minimum resolution [deg]	$0.059 \pm 0.002$

ている。本ロボットアームが WAM アームの 2 倍近い長さであることを考慮すれば同等の精度を有していると言える。最小分解能が  $0.06$  deg 程度であることは本機構を用いた場合においても高い角度分解能を実現できる可能性を示唆している。しかし、安定化時間が約  $1$  s であること、オーバーシュートが約  $4.5$  mm であることからアームの剛性が低いことが推測される。これはロープの伸張が大きく影響していると考えられる。

### 4 結言

本稿では多自由度を駆動するための手法として提案されたバンドロッドワイヤドライブを用いて 3 自由度水平多関節ロボットアームを開発し、その動作試験および性能評価を行った。性能評価については繰り返し位置精度、ポーズ安定化時間、オーバーシュート、最小分解能を測定し、それぞれ  $0.40$  mm,  $0.993$  s,  $4.45$  mm,  $0.059$  deg であることを確認した。今後は長尺化・多関節化に向けた検討を行っていく。

### 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] Tanut Treratanakulwong, Hiroshi Kaminaga, and Yoshihiko Nakamura. Low-friction tendon-driven robot hand with carpal tunnel mechanism in the palm by optimal 3d allocation of pulleys. In *Robotics and Automation (ICRA), 2014 IEEE International Conference on*, pp. 6739–6744. IEEE, 2014.
- [2] Eric J Hanly and Mark A Talamini. Robotic abdominal surgery. *The American journal of surgery*, Vol. 188, No. 4, pp. 19–26, 2004.
- [3] Yoshihide Nakamura, Gen Endo, Koichi Suzumori, and Atsushi Horigome. A proposal of bundled wire drive -wire relay mechanism that allows the twist and sliding contact of the wires-. In *Proc. JSME Conf. Robot. Mecha.*, pp. 2P1–14b4, 2016.
- [4] 若林陽輝, 遠藤玄, 難波江裕之, 鈴森康一. 軸方向摺動許容型バンドロッドワイヤドライブの提案. ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2018, pp. 2A1–J08. 一般社団法人 日本機械学会, 2018.
- [5] Barrett Technology Inc. WAM Arm. <http://www.barrett.com/robot/products-arm.htm> Accessed:2018-09-10.