

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 第2報：関節軸構成を変更可能なワイヤ駆動機構
Title(English)	A Development of Long-Reach and Lightweight Robot Arm Using Bundled Wire Drive Second report: A Reconfigurable Wire Drive Mechanism
著者(和文)	若林 陽輝, 難波江 裕之, 鈴森 康一, 遠藤 玄
Authors(English)	Youki Wakabayashi, Hiroyuki Nabae, Koichi Suzumori, 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

# 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

## 第2報：関節軸構成を変更可能なワイヤ駆動機構

A Development of Long-Reach and Lightweight Robot Arm Using Bundled Wire Drive  
Second report: A Reconfigurable Wire Drive Mechanism

学 若林 陽輝 (東工大) 正 難波江 裕之 (東工大)  
正 鈴森 康一 (東工大) 〇正 遠藤 玄 (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

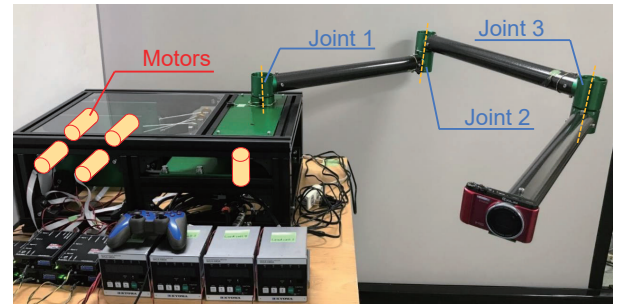
Wire drive mechanisms have flexibility of actuator location and are widely used for multi degree-of-freedom robots. Conventional wire-driven mechanisms using metal wire ropes usually avoid sliding contact and collision of wires as much as possible by introducing multiple passive pulleys to ensure clear 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 studies, we have investigated the feasibility of the mechanism and developed a three-degree-of-freedom horizontal articulated robot arm with the proposed mechanism. In this paper, we developed a six-degree-of-freedom robot arm with a mechanism that can manually change the rotation axis direction of the joint. The reconfigurability of the robot arm with the proposed mechanism was demonstrated by the motion in two different joint states.

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

### 1 緒言

ワイヤ駆動機構は軽量、低コスト、設計自由度の高さといった多くの利点を有し、様々な研究の焦点となっている。設計自由度の高さに関して言えば、ワイヤ駆動機構では複数の中継プーリを介してアクチュエータから遠く離れた駆動部に動力を伝達することが可能なため、アクチュエータを駆動部のすぐ近くに置く必要がない。それゆえ、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、従来のワイヤ駆動機構ではロープの伝達効率を高い状態に保つために多くの受動プーリを用いてロープが接触しないように経路を独立させなければならなかった。その結果、駆動する関節の自由度が増えるほど関節は肥大化する傾向にあり、シンプルかつコンパクトな機構を実現することは困難であった。そこで、我々は人間の手の構造に着想を得たバンドルドワイヤドライブという新たなワイヤ駆動機構を提案した [3][4]。提案機構では複数のロープが束ねられ、同じ伝達経路を共有し、互いに摺動しながら駆動されるため、多自由度な場合でも非常にシンプルかつコンパクトな機構を実現できる。従来用いられてきた金属ワイヤロープを使用した場合では、その摩擦係数の大きさからこの機構は機能しないと予想されるが、摩擦係数の小さい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を可能としている。

これまでの研究では、ロープの摩擦が張力伝達効率に与える影響、摺動に対するロープの耐久性 [5]、経路長の変化しないガイド機構 [6] について明らかにした。また、提案機構を用いて Fig. 1 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、動作の確認および性能評価を行った [7]。本稿では新たに6自由度ロボットアームを開発する。開発するロボットアームは関節軸の方向を手動で変更できる機構を搭載している。この機構を用いることで提案機構の設計自由度の高さを示す。



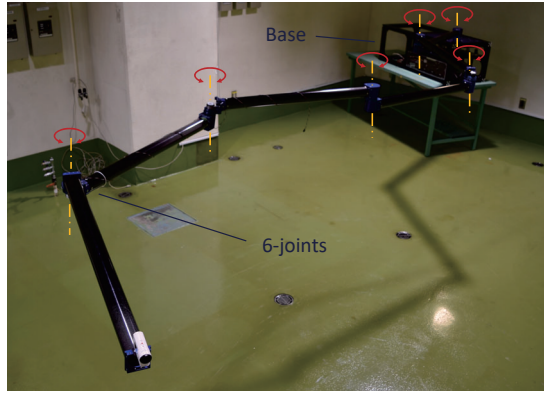
**Fig.1.** Horizontal robot arm composed of three joints with the proposed mechanism.[4]

**Table 1.** Specification of the articulated robot arm.

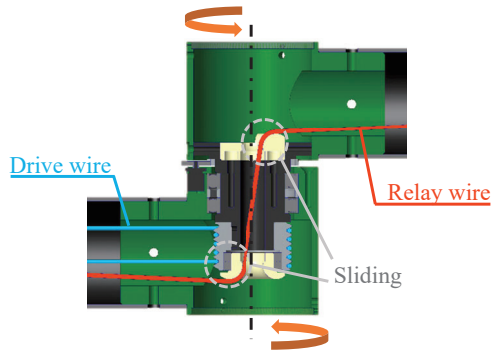
Length [m]	6.0
Weight [kg]	52.5 (Arm : 5.25)
DoF	6
Joint movable range [deg]	±175
Actuator	maxon RE40 (150 W) ×12
Motor reduction ratio	113:1

### 2 開発したロボットアーム

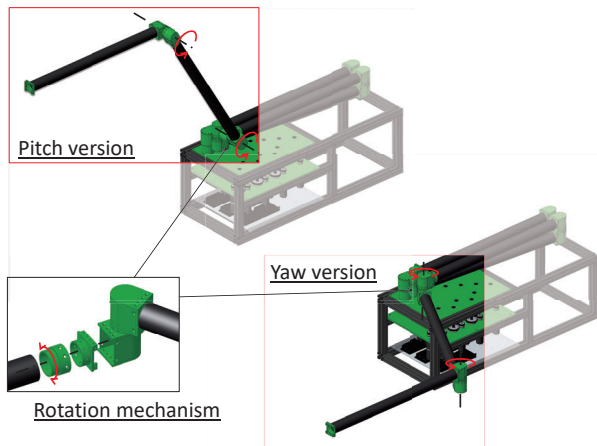
開発した6自由度ロボットアームを Fig. 2 に示す。ロボットアームの諸元を Table 1 に示す。関節の構造 (Fig. 3) や制御方法については以前に開発したロボットアームと同様のシステムを採



**Fig.2.** Horizontal robot arm composed of six joints with the proposed mechanism.



**Fig.3.** Sectional view of the joint of the robot arm.[7]

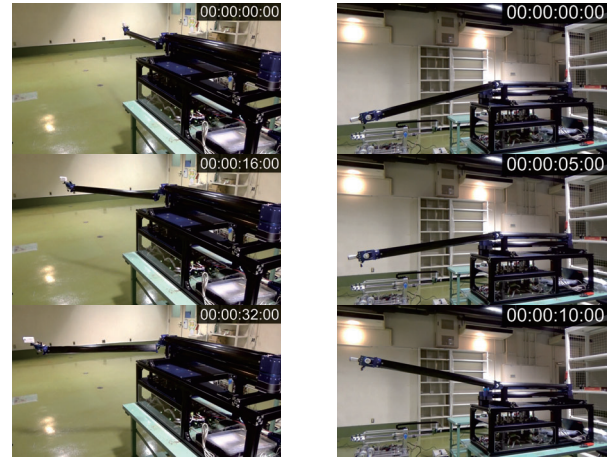


**Fig.4.** Mechanism for changing the rotation axis of a joint.

用している。本ロボットアームが以前に開発したものと異なる点としては、関節の回転軸方向を手動で変更できる機構を搭載していることである。Fig. 4 のように関節にリンク長軸周りに回転できる部品を加えることで回転軸の方向を変更できる。本稿では関節の設計を変更せずに Fig. 4 のように先端 2 関節の回転軸方向を変更し、関節の動作を行う。

### 3 動作実験

動作は最も張力伝達効率の低くなる Fig. 4 のような収納状態で行った。1 関節目から 4 関節目までは折りたたまれて収納された状態となっている。先端 2 関節をヨー軸関節、ピッチ軸関節として動作させた様子を Fig. 5 に示す。従来のワイヤ駆動機構ではプリーによって規定される一意なワイヤ経路を持つため、設計を変更するか先行研究 [8] のように絞り機構を搭載しなければ機能しないと考えられる。しかし、提案した機構では一意なワイヤ



(a) Yaw motion. (b) Pitch motion.  
**Fig.5.** Arm motion with yaw and pitch joint.

経路を持たないため、このように設計を変更せずに動作させた場合でも機能したのだと考えられる。以上からバンドルドワイヤドライブの設計自由度の高さが示された。

### 4 結言

本稿では関節の回転軸方向を変更できる機構を搭載した 6 自由度ロボットアームを開発した。設計を変更せずに回転軸方向を変更して動作させることで提案機構の設計自由度の高さを示した。今後は収納状態だけでなく展開状態での動作についても行っていく。

### 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ル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] Gen Endo, Youki Wakabayashi, Hiroyuki Nabae, and Koichi Suzumori. Bundled wire drive: Proposal and feasibility study of a novel tendon-driven mechanism using synthetic fiber ropes. *IEEE Robotics and Automation Letters*, Vol. 4, No. 2, pp. 966–972, 2019.
- [6] Youki Wakabayashi, Hiroyuki Nabae, Koichi Suzumori, Hideharu Takahashi, Hiroshige Kikura, and Gen Endo. Design of a guide pulley achieving identical wire path length for a double joint mechanism. In *2020 IEEE/SICE International Symposium on System Integration*, pp. 1174–1179, 2020.
- [7] 若林陽輝, 遠藤玄, 鈴森康一, 難波江裕之. 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. *ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2019*, pp. 1A1–R07. 一般社団法人 日本機械学会, 2019.
- [8] H Nakamoto, J Oga, H Ogawa, and N Matsuhira. Development of wire-driven arm for human-symbiotic robot. *Journal of Japan Society for Design Engineering*, Vol. 50, No. 6, pp. 302–309, 2015.