

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	軸方向摺動許容型バンドルワイヤドライブの提案
Title(English)	A Proposal of Bundled Wire Drive Allowing Axial Sliding
著者(和文)	若林陽輝, 遠藤玄, 難波江裕之, 鈴森康一
Authors(English)	Youki Wakabayashi, Gen Endo, Hiroyuki Nabae, Koichi Suzumori
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

軸方向摺動許容型バンドロワイヤドライブの提案

A Proposal of Bundled Wire Drive Allowing Axial Sliding

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

Recently long-reach high-storability robot arm for narrow space inspection is widely required. High-storability robot arm can be realized using joints with wide movable angle. In this research, we focus on the low friction characteristics of high strength synthetic fiber and propose bundled wire drive allowing axial sliding of ropes in order to develop long-reach robot arm whose joints have wide movable angle. Reduction of tension transmission efficiency due to sliding of ropes at joint was measured by single-joint arm model and 1.2% Reduction per rope was confirmed. The results of the experiment showed that robot arm with more than 10 joints can be realized. 3-joints horizontal robot arm was developed and basic motion of the arm was confirmed.

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

1 緒言

災害時に人が立ち入ることの困難とされる場所で調査・作業を行うロボットは狭い穴から進入し障害物を避けながら広範囲の調査が必要となるため、長尺でありながら軽量でかつ、高い収納性が求められる。モータを基部に集中できるワイヤ駆動 [1] は長尺でかつ軽量のアームを構成しうる手法のひとつである。ワイヤ干渉駆動やワイヤによる自重補償機構 [2] といった軽量、細径という利点を損なわないまま長尺化を可能とする手法も提案されている。しかし、これらの機構を用いてアームを構成する場合、制御や構造における複雑化が課題として挙げられる。

高強度化学繊維は金属ワイヤに比べ摩擦が小さいことから、ロープ摺動時における張力伝達効率の低下といった課題を解決できる可能性がある。ロープの捻じり摺動を許容することでオフセットされた関節を束ねて中継を可能とする機構 [3] が提案されている。この中継機構によりワイヤ駆動における広可動域を有する関節を実現でき、高い収納性をもつ長尺ロボットアームを構成する要素として有効である。しかし、長尺化に伴い関節部のロープを中継するプーリの増加が予想され、関節部の大型化・重量化が課題として挙げられる。

そこで、本研究ではロープの軸方向摺動を許容することにより簡素な構造でオフセットされた関節をワイヤ中継する高収納性を持つ長尺多関節ロボットアームに適した機構の提案を行う。そして、単関節モデルにおいて機構の性能を評価し、さらに3関節から構成されるモデルにより多関節におけるアームの動作を実現する。

2 ロープの軸方向摺動を許容する中継機構の提案

高強度化学繊維は前節で述べたように摩擦が小さいことからロープの摺動を許容した設計が可能となる。本研究ではこの特長に着目し、オフセットされた関節内を単純な構成によってワイヤ中継する機構として図1に示すようなロープの軸方向摺動を許容した中継機構を提案する。本機構ではロープと構造間で摩擦が発生することから張力伝達率の低下が予想されるため実験により評価する必要がある。

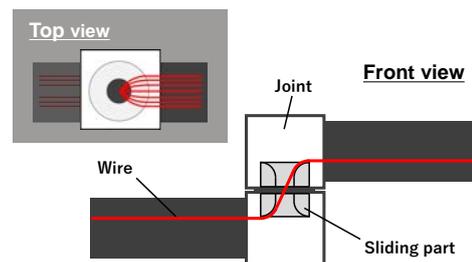


Fig.1 Relay mechanism allowing axial sliding of ropes

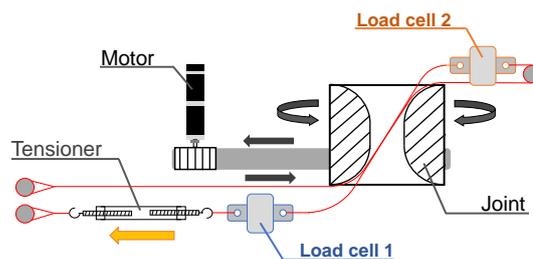


Fig.2 System of experiment to investigate influence of allowing axial sliding of ropes on tension

3 1 関節モデルによる機構の性能評価

ロープの摩擦による張力伝達率の低下を評価する実験として図2のような1関節モデルを製作し、関節両端のロープの張力を測定した。関節はタイミングベルトによって駆動ができ、ロープを10本まで通すことが可能となっている。また、中央を通るロープについては基部側、駆動部側それぞれに取り付けられている二つのロードセル1、2によって張力を測定している。以下、これらで測定される張力の値を張力1および張力2と呼称する。

実際に製作した実験装置のCADモデルを図3に示す。ロープは関節下部から上部へ通るように中継しており、図に示す破線赤

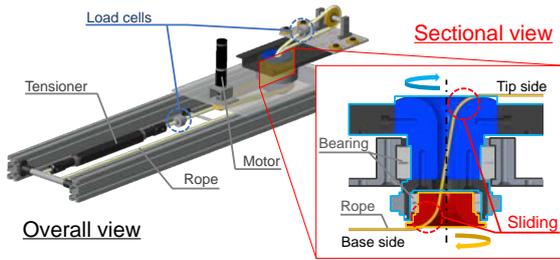


Fig.3 Experimental device to measure tension transmission rate and tension change

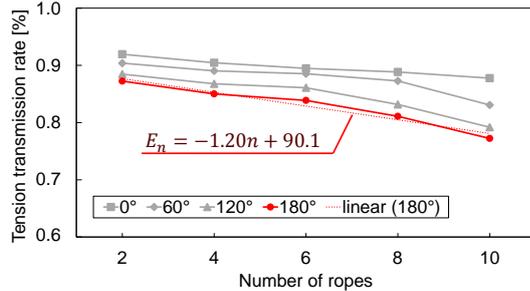


Fig.4 Relationship between number of ropes and tension transmission rate

色色の部分でロープの軸方向撓動が発生している。上部の撓動面を含む部品群 (水色枠線) および下部の撓動面を含む部品群 (黄色枠線) は共にベアリングを介して基部 (黒色枠線) に接続しており、それぞれが自由回転を行える機構となっている。そのため、上下に出ているロープとそれぞれの撓動面の相対位置が変化することはなく、中間の部分で捻じれるだけでロープの径方向の撓動は発生することはない。関節内におけるロープが撓動面と接していない部分での捻れの影響については実験により検証していく。以降で関節角度を用いる場合、図3の状態を関節角度 0° とする。関節撓動面の曲率はロープの曲げ比率による強度低下 [4] が発生しないように $R = 20 \text{ mm}$ とした。ロープとの撓動面の材料は全て POM で構成されており、ロープには UHMWPE 繊維ロープ (ハヤミ工業:DB-96HSL, 直径 2 mm) を用いた。張力の測定には KYOWA 製のロードセル LUR-A-SA1[5] および同社製のコンディショナ WGA-680A[6] を用いた。

関節を通るロープの本数および関節角度を変化させたときの張力伝達率を測定した。ただし、張力伝達率は以下の式より計算される。

$$\text{張力伝達率} = \frac{\text{ロードセル 1 で測定された張力 [N]}}{\text{ロードセル 2 で測定された張力 [N]}} \quad (1)$$

得られた実験結果を図4に示す。関節を通すロープの本数が増えるごとに、また関節角度が大きくなるごとに張力伝達率の低下が大きくなっていることが分かる。これは、ロープが捻じれたときのロープ同士の干渉による影響であると考えられる。関節角度 180° の場合の張力伝達率 E_n とロープ本数 n の関係は以下の式で近似される。

$$E_n = -0.0120n + 0.901 \quad (2)$$

ここで、関節数 k のロボットアームを考えたとき、基部から数えて j 番目の関節には $2k - 2j - 2$ 本のロープを通してあるため張力伝達率 $E_{\text{Joint},j}$ は

$$E_{\text{each},j} = -0.0240(k - j - 1) + 0.901 \quad (3)$$

となる。先端の関節を駆動するためのロープの張力伝達率 $E_{\text{Tip},k}$ は経由した関節の張力伝達率の積で表せることから

$$E_{\text{all},k} = \prod_{i=0}^{k-1} \{-0.0240(k - i - 1) + 0.901\} \quad (4)$$

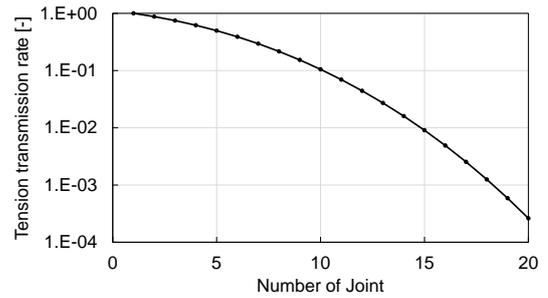


Fig.5 Relationship between number of joints and tension transmission rate of the rope to drive the joint at the tip.

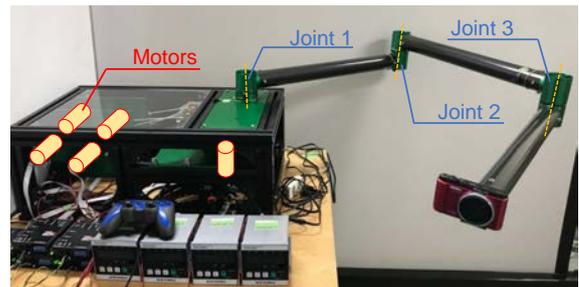


Fig.6 Horizontal robot arm composed of three joints with the proposed mechanism.

と求められる。以上より導出された関節数 k と先端部での張力伝達率 $E_{\text{all},k}$ の関係を図5に示す。張力が数十 N を大きく下回るとロープが外れるなどの問題が発生するため、使用する高強度化学繊維の破断強度が数 kN であることを考慮すると張力伝達率が 1.0% を大きく下回る状態は避けなければならない。ゆえに、本機構では最大で 10 ~ 15 個までの関節数であれば実現可能であるが、それ以上の自由度が要求される場合は別の手段との併用を考える必要がある。

4 3 自由度水平多関節ロボットアームによる動作実験

本機構を用いたロボットアームの動作確認および性能評価のための試作機として図6に示す3自由度水平多関節ロボットアームを製作した。アームの諸元を表1に示す。収納・展開および狭隘地回り込み探索を行う実験によりアームの基本的動作を確認した。また、先端関節については1軸のみの位置決め精度を計測し、位置繰り返し精度は 0.318 mm であった。

Table 1 Specification of the arm.

Length [m]	1.8
Diameter [mm]	50
Weight [kg]	1.8
DoF	3 (only yaw)
Joint Movable range [deg]	± 174
Actuator	maxon RE40(150 W) $\times 5$
Joint angle meter	Rotary encoder $\times 3$
Tension sensor	Load cell $\times 4$
Rope	UHMWPE fiber rope ($\phi = 2.0 \text{ mm}$)

5 結言

本稿では長尺、軽量でかつ収納性の高い多関節ロボットアームを実現しうる機構としてロープの軸方向摺動を許容した中継機構を提案し、性能を評価した。さらに、本機構を用いた3自由度水平多関節ロボットアームを製作することによりアームの基本的動作、位置決め精度を確認した。今後は長尺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] Atsushi Horigome, Hiroya Yamada, Gen Endo, Shin Sen, Shigeo Hirose, and Edwardo F Fukushima. Development of a coupled tendon-driven 3d multi-joint manipulator. In *Robotics and Automation (ICRA), 2014 IEEE International Conference on*, pp. 5915–5920. IEEE, 2014.
- [2] Atsushi Horigome, Gen Endo, Koichi Suzumori, and Hiroyuki Nabae. Design of a weight-compensated and coupled tendon-driven articulated long-reach manipulator. In *System Integration (SII), 2016 IEEE/SICE International Symposium on*, pp. 598–603. IEEE, 2016.
- [3] 中村吉秀, 遠藤玄, 鈴森康一, 堀米篤史. 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 2016, pp. 2P1–14b4. 一般社団法人 日本機械学会, 2016.
- [4] Atsushi Horigome 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, No. 3, pp. 206–217, 2016.
- [5] Kyowa lur-a-sa1 引張圧縮両用型小型ロードセル. <http://www.kyowa-ei.com/jpn/product/category/sensors/lur-a-sa1/index.html> 2018年1月27日閲覧.
- [6] Kyowa wga-680a 計装用コンディショナ. <http://www.kyowa-ei.com/jpn/product/category/acquisition/wga-680a/index.html> 2018年1月27日閲覧.