# 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)		
Title(English)	A Proposal of Bundled Wire Drive Allowing Axial Sliding	
 著者(和文)		
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ルド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)
WAKABAYA	SHI, Tokyo Tech, wakabay	yashi.y	.ad@m.titech.ac.jp
NDO, Tokyo	Tech		
uki NABAE, T	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

Youki Gen E Hirov

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 でかつ軽量な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

色円の部分でロープの軸方向摺動が発生している.上部の摺動面 を含む部品群 (水色枠線) および下部の摺動面を含む部品群 (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摺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摺動 は発生することはない.関節内におけるロープが摺動面と接して 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. 関節摺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 nm とした.ロープとの摺動面の材料は全 て POM で構成されており,ロープには UHMWPE 繊維ロープ (ハヤミ工産: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.

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<sub>n</sub>* とロープ本数 *n* の関係は以下の式で近似される.

$$E_n = -0.0120n + 0.901\tag{2}$$

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いるため張 力伝達率  $E_{\text{Joint},j}$  は

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

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*<sub>Tip,k</sub> は経由した関節の張力伝達率の積で表せることから

$$E_{\text{all},k} = \prod_{i=0}^{k-1} \left\{ -0.0240(k-i-1) + 0.901 \right\}$$
(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  $E_{all,k}$  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で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 隘地回り込み探査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 S	Specification	of	the a	arm.	
-----------	---------------	----	-------	------	--

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

#### 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

- 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 tendondriven 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.