T2R2 東京工業大学リサーチリポジトリ
Tokyo Tech Research Repository

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の提案―ワイヤの捻り摺動を許容する中継機構―
Title(English)	A Proposal of Bundled Wire Drive -Wire Relay Mechanism That Allows the Twist and Sliding Contact of the Wires-
著者(和文)	中村吉秀, 遠藤玄, 鈴森康一, 堀米篤史
Authors(English)	Yoshihide Nakamura, Gen Endo, Koichi Suzumori, Atsushi Horigome
出典(和文)	ロボティクス・メカトロニクス講演会2016講演概要集, Vol. , No. , 2P1-14b4
Citation(English)	Proceedings of the 2016 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Vol. , No. , 2P1-14b4
発行日 / Pub. date	2016, 6

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

バンドルドワイヤドライブの提案
ーワイヤの捻り摺動を許容する中継機構ー

A Proposal of Bundled Wire Drive
-Wire Relay Mechanism That Allows the Twist and Sliding Contact of the Wires-

○学　中村吉秀 (東工大)　正　遠藤玄（東工大）
正　鈴森康一（東工大）　　堀米篤史（東工大）

Yoshihide NAKAMURA, Tokyo Tech, nakamura.y.bd@m.titech.ac.jp
Gen ENDO, Tokyo Tech, gendo@mes.titech.ac.jp
Koichi SUZUMORI, Tokyo Tech
Atsushi HORIGOME, Tokyo Tech

Recently, high-strength synthetic fibers which have strength equal to stainless wires and weight 1/8 of stainless wires have been developed. The high-strength synthetic fibers are flexible and easy to use, therefore it is utilized in most of the wire-driven robot. In this paper, we focus on the low friction characteristics of high-strength synthetic fibers and propose a design method that allows twist of the wire and sliding contact between wires. By the design method proposed, it can achieve a wire relay mechanism and possible to save space and reduce number of parts in the wire-driven system. We developed wire-driven arm which has elbow joint having a movable range of 360 degree and wrist joint with two degrees of freedom, and confirmed its operation.

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

1　はじめに

近年，スーパー繊維と呼ばれる高強度，高弾性率を有する化学繊維の開発が盛んに行われており，その中にはステンレスワイヤと同等かそれ以上の強度を有しつつも密度は約 1/5〜1/8 程度と著しく軽量なものも存在する．

高強度化学繊維を編んでつくられるワイヤは，軽く，しなやかであるため扱いやすく，ワイヤ・プーリ駆動型の脚移動ロボット [1] や，ロボットアーム [2][3] に利用されている．また，その摩擦係数の低さから，ワイヤ同士が接触，摺動した際の抵抗が小さく，さらに，素線を編んで織り上げた組み紐であるため，ねじりを加えてもワイヤが解けてしまうことがない．このため，高強度化学繊維ワイヤは捻りや摺動に強いワイヤであると考えられる．

このような高強度化学繊維ワイヤの特性を活かした機構として，ワイヤ駆動機構において駆動ワイヤの捻りや摺動を許容するバンドルドワイヤドライブを提案する．本稿では，提案機構を適用したワイヤ・プーリ駆動型アームにおける，捻り摺動により生じるワイヤ経路長変化の影響について検討する．その後，±180° の可動範囲を有する肘関節を中継し，手首を駆動するワイヤ駆動系の原理試作を行う．

2　ワイヤの捻り摺動を許容する中継機構の提案

2.1　提案するワイヤ中継機構の概要

ワイヤ同士の捻り摺動を許容する機構として図 1 を提案する．図 1 に示す機構は，ワイヤ・プーリ駆動型のアームにおいて肘関節で駆動ワイヤを中継し，手首関節へと取り回すものである．

手首関節は 2 自由度を想定し，これをワイヤの拮抗により駆動する．そのため，基部からアーム先端の手首機構まで 4 本のワイヤを張っている．

肘関節は片持ち形状となっており Link1 と Link2 にオフセットをつけることで，アームリンク同士の干渉が起きず 360° の可動範囲が実現できる．

本機構では肘関節軸が中空になっており，手首機構を駆動する 4 本のワイヤはこの中空軸の中を通る．基部から張られるワイヤは受動プーリによって向きを変えられ，中空軸の中を通り，もう一度受動プーリを介して手首機構へ張られる．

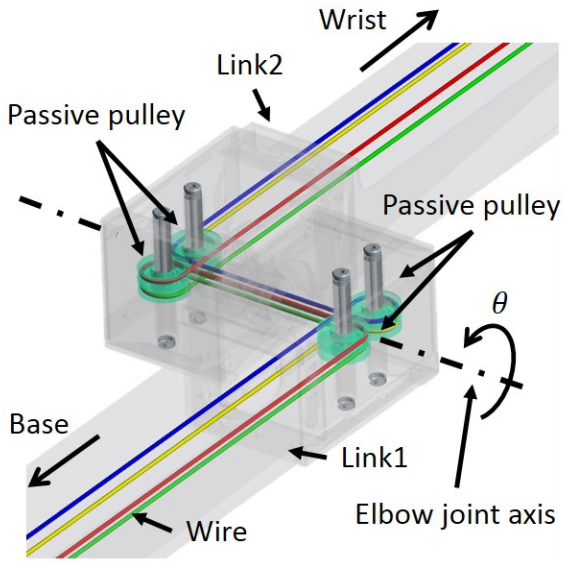

Fig.1 Wire relay mechanism in elbow joint

軸内部を通るワイヤは，肘関節と手首関節の運動によって捻り摺動を受けるが，これを許容した設計とすることによって，省スペースかつ小部品点数のワイヤ中継機構を実現している．

2.2　関節回転によるワイヤ経路長変化の検討

提案するワイヤ中継機構では肘関節を回転させた時，受動プーリ同士の方向が変化するため，受動プーリ間に張られる 4 本のワイヤの経路長が変化する．

受動プーリ間に張られる 4 本のワイヤの模式図を図 2 に示す．ワイヤ同士の距離を $2a, 2b$ $(a < b)$ とし，Link1 の受動プーリ

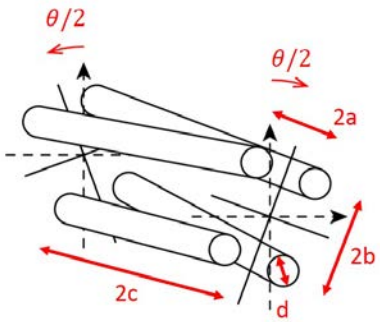

Fig.2 Schematic of wires spanned between passive pulleys

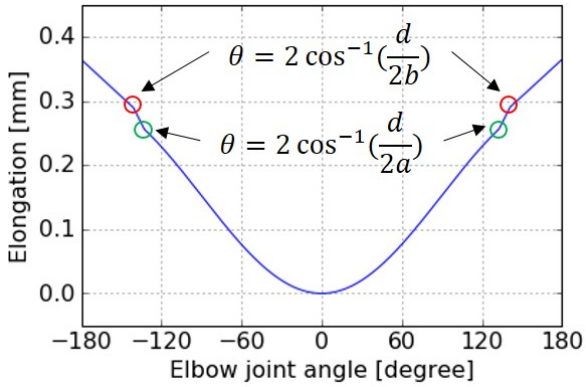

Fig.3 Changes in the wire path length

軸と Link2 の受動プーリ軸の距離を $2c$，ワイヤ直径を d とする．肘関節角度 θ は肘関節を水平に伸ばした状態を初期姿勢 $\theta = 0$ とする．

肘関節が ±180° 動くときのワイヤの経路長変化の影響を最も小さくするために，$\theta = 0$ のとき図 2 に示す 4 本のワイヤが平行になるように配置する．このときのワイヤ経路長を l_0 とする．ワイヤ同士は受動プーリ間の中点でのみ接触し，ワイヤ断面は円形のまま変形しないという仮定のもと，肘関節角度 θ によるワイヤ経路長の変化量を求める．

以下では $\sin\theta = S_\theta, \cos\theta = C_\theta$ と省略表記する．

$a\cos(\theta/2) > d/2$，すなわち $\theta < 2\cos^{-1}(d/2a)$ のとき，ワイヤ同士は接触しない．ワイヤ配置の対称性から，l_0 からのワイヤ経路長変化量 Δl_1 は

$$\Delta l_1 = 2\left(\sqrt{(a^2+b^2)\,{S_{\theta/2}}^2 + c^2} - c\right) > 0 \qquad (1)$$

となる．

$a\cos(\theta/2) \leq d/2$，すなわち $\theta \geq 2\cos^{-1}(d/2a)$ のとき図 2 上で間隔 2a のワイヤ同士が接触し，このときのワイヤ経路長変化量 Δl_2 は，

$$\Delta l_2 = 2\left(\sqrt{X^2 + a^2{S_{\theta/2}}^2 + c^2} - c\right) > 0 \qquad (2)$$

となる．ここで，

$$X = aC_{\theta/2} - bS_{\theta/2} - d/2$$

である

さらに，$b\cos(\theta/2) \leq d/2$，すなわち $\theta \geq 2\cos^{-1}(d/2b)$ のとき 4 本のワイヤすべてが互いに接触し，このときのワイヤ経路長変化量 Δl_3 は，

$$\Delta l_3 = 2\left(\sqrt{X^2 + Y^2 + c^2} - c\right) > 0 \qquad (3)$$

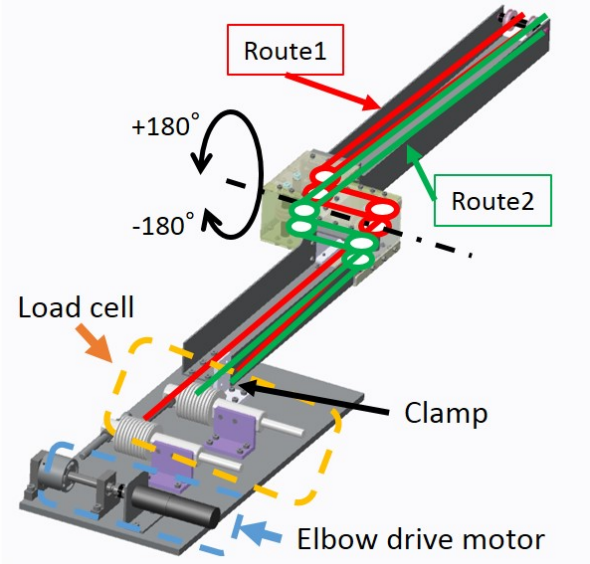

Fig.4 Measuring instrument of wire tension change

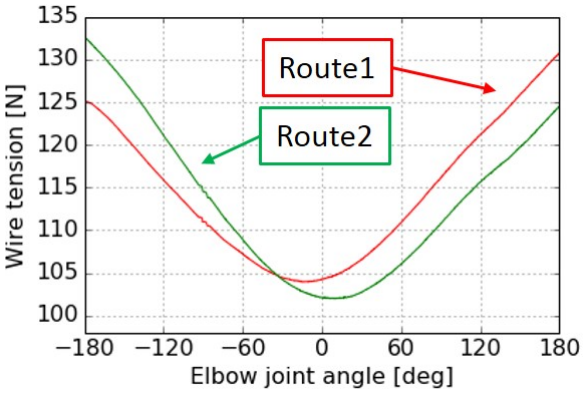

Fig.5 Changes of the wire tension

となる．ここで，

$$Y = aS_{\theta/2} + bC_{\theta/2} - d/2$$

である．

式 (1)〜(3) が示す通り，ワイヤの経路長変化量は全て正の値となり，肘関節が大きく曲がるほどワイヤが大きく引き伸ばされることとなる．また，受動プーリ間のワイヤ配置の対称性から，4 本のワイヤの経路長変化量は全て等しくなり，手首関節の 1 軸を拮抗駆動する 2 本のワイヤは等しく引き伸ばされるため，肘関節の動作は手首関節の動作に干渉しないと言える．

$2a = 5$ mm, $2b = 6$ mm, $2c = 100$ mm, $d = 2$ mm とした場合の肘関節角度に対するワイヤ経路長の変化を図 3 に示す．

2.3 肘関節動作によるワイヤ張力変化の測定

肘関節が動作することによってワイヤが引き伸ばされるため，肘関節を曲げるほど大きなワイヤ張力が生じることになる．このワイヤ張力の増大がワイヤに過度な負荷をかけないことを確認する必要がある．

そこで，肘関節角度に対するワイヤの張力変化を測定するために図 4 に示す実験装置を製作した．ワイヤの片端は基部のロードセル（共和電業製：LUB-20K）に固定されている．肘関節のワイヤ中継機構を通ったワイヤはアーム先端のプーリを介し，もう一度中継機構を通って基部に戻り，ワイヤのもう片端はクランプ固定される．アーム先端のプーリは手首関節を模擬しており，回

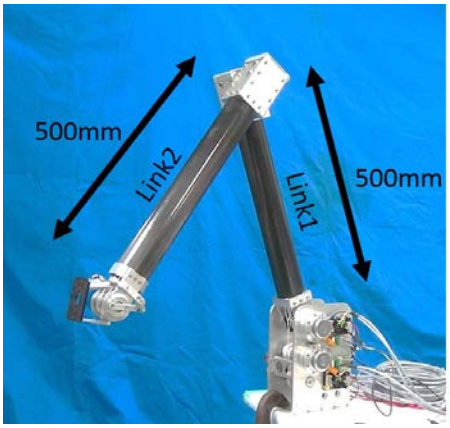

Fig.6 Wire-driven robot arm of applying the proposed wire relay mechanism

転自由となっている．手首機構は 2 自由度であるため，それらを駆動するワイヤ経路 1 とワイヤ経路 2 について肘関節を動作させたとき張力変化を測定する．使用したワイヤはダイニーマ（ハヤミ工産：DB-96HSL，直径 2mm）である．本装置は肘関節駆動用モータを搭載しており，肘関節を指定角度まで回転させることができる．また，ロードセルには計装用コンディショナ（共和電業：WGA-650B）とデータロガー（GRAPHTEC:GL220）が接続されており，肘関節角度に応じたワイヤ張力の変化を記録することができる．

肘関節角度を $-180°$ から $180°$ まで 1deg/sec で変化させたときのワイヤ張力の測定結果を図 5 に示す．測定は，$\theta = 0$ でワイヤの張力が 100N 程度となるように調整した後行った．

測定の結果として，肘関節角度を $-180°$ から $180°$ まで変化させたとき，ワイヤ張力の振れ幅は 30N 程度であった．実験に用いた ϕ 2 ダイニーマワイヤの引張強さが約 4kN であることから，肘関節の動作によってワイヤに生じる張力変化は引張強さの 0.8%程度であり，十分に無視できる大きさであると言える．

3　提案機構を適用したワイヤ駆動型アームの製作と実験

提案機構の有効性を確かめるため，図 6 に示すワイヤ駆動型アームを製作した．アーム先端の手首関節には 2 自由度球面リンク機構 [4] をワイヤ・プーリ系に適用したものを用いた．

肘関節で中継されたワイヤがこの手首関節を駆動する．

肘関節を $-170°$〜$170°$ まで動作させる実験の様子を図 7 に示す．肘関節が動作する際に手首関節が影響を受けないことを実験中目視にて確認した．

手首関節をピッチ方向に $+90°$〜$-90°$，その後ヨー方向に $+90°$〜$-90°$ 動作させる実験の様子を図 8 に示す．肘関節のワイヤ中継機構においてワイヤが摺動を受ける肘関節角度においても手首関節の正常動作を確認した．

4　結論と今後の課題

高強度化学繊維を用いた駆動機構において省スペースかつ少ない部品点数で実現できる機構として，ワイヤ同士の捻り摺動を許容する設計法を提案した．特に，$\pm 180°$ の可動範囲を有する肘関節を中継し，手首を駆動するワイヤ駆動系の原理試作を行い，その動作を確認した．

今後は繰り返し捻りや摺動による高強度化学繊維の強度低下を定量的に評価する予定である．

謝　辞

本研究の成果は，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）ならびに文部科学省「廃止措置工学高度人材育成と基盤研究の深化」の委託業務の結果得られたものです．

参考文献

[1] S. Kitano, S. Hirose, G. Endo and E. F. Fukushima, "Development of lightweight sprawling-type quadruped robot TITAN-XIII and its dynamic walking," Intelligent Robots and Systems (IROS), 2013 IEEE/RSJ International Conference on, Tokyo, 2013, pp. 6025-6030.

[2] 伊藤祐太, 深津時広, 桑原裕之, 遠藤玄, 福島 E. 文彦. ，“高度かつ汎用的な計測を可能とする移動型フィールドサーバの開発―軽作業用ロボットアームの開発―”，SI2013, pp. 2675–2676, 2013.

[3] 洗津, 山田浩也, 遠藤玄, パウロデベネスト, ミケーレグアラニエリ, 風間裕人, 長友一郎, 広瀬茂男,“原発の空中点検を行う干渉ワイヤ駆動型多関節アームの開発―立体関節機構の導入と小型モデル機の試作―”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013 ,2013.

[4] Ueda, K., Yamada, H., Ishida, H., & Hirose, S., “Design of large motion range and heavy duty 2-DOF spherical parallel wrist mechanism”, Journal of Robotics and Mechatronics, 25(2), 294?305, 2013.

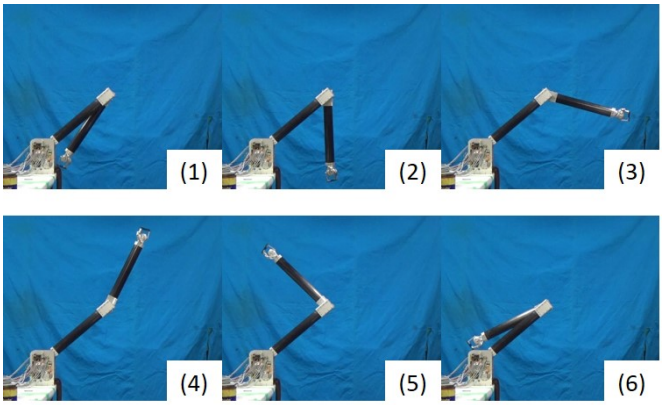

Fig.7 Operation of the elbow joint

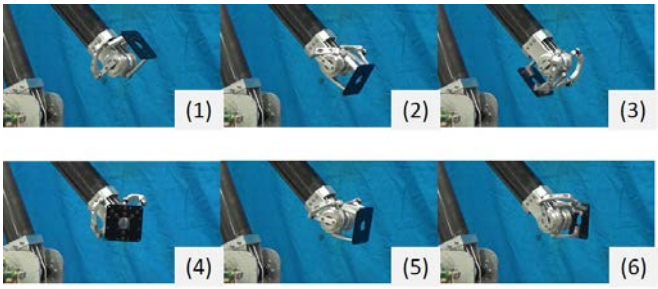

Fig.8 Operation of the wrist joint