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)	バンドルドワイヤドライブによる歩行ロボットの脚機構 -トルク伝達効率および耐荷重性能の評価-
Title(English)	A Leg Mechanism Using Bundled Wire Drive -Evaluation of Torque Transmission Efficiency and Load Capacity-
著者(和文)	角田 柊平, 難波江 裕之, 鈴森 康一, 遠藤 玄
Authors(English)	Shuhei TSUNODA, 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

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

バンドルドワイヤドライブによる歩行ロボットの脚機構
ートルク伝達効率および耐荷重性能の評価ー

A Leg Mechanism Using Bundled Wire Drive
-Evaluation of Torque Transmission Efficiency and Load Capacity-

○学　角田　柊平（東工大）　　正　難波江裕之（東工大）
正　鈴森　康一（東工大）　　正　遠藤　玄（東工大）

Shuhei TSUNODA, Tokyo Tech, tsunoda.s.ad@m.titech.ac.jp
Hiroyuki NABAE, Tokyo Tech
Koichi SUZUMORI, Tokyo Tech
Gen ENDO, Tokyo Tech

Taking advantage of low friction of synthetic fiber rope, a new wire-driven mechanism called Bundled Wire Drive, in which multiple wires are bundled and share the same transmitting pathway, was proposed. Conventional wire-driven mechanism requires complicated structure consisting of many pulleys to relay joints, but it can be replaced with simple structure by using Bundled Wire Drive. We developed a leg mechanism which is light and has a wide range of motion using Bundled Wire Drive. We confirmed that torque transmission efficiency of Bundled Wire Drive used in the leg mechanism was sufficient for driving joints. Furthermore, we confirmed that load capacity of the leg mechanism was enough to be applied to a walking robot.

Key Words: Leg Mechanism, Wire Drive, Synthetic Fiber Rope

1　緒言

歩行ロボットは，不整地環境での作業に適していると考えられ，盛んに研究が進められている．歩行ロボットに用いる脚機構は，軽量かつコンパクトな構造でロボット全体を支えなければならない．四足歩行ロボットの TITAN-XIII [1] では，軽く，しなやかといった特長をもつ高強度化学繊維ロープによるワイヤ駆動を行う脚機構を開発し，高い移動効率を実現している．

しかし，従来のワイヤ駆動では，ワイヤ同士の干渉を避けなければならないため，ワイヤが関節を中継する際に，複数のプーリ等を用いた複雑な構造が必要になるという問題がある．そこで，高強度化学繊維ロープの摩擦の小ささを生かして，ワイヤ同士の摺動を許容し，複数本のワイヤに経路を共有させるバンドルドワイヤドライブ（Bundled Wire Drive, 以下 BWD）という駆動方法を筆者らの研究グループでは提案している [2]．

BWD を用いれば，ワイヤ駆動式ロボットの関節の構造をシンプルにすることが可能になる．そして，この駆動方法を歩行ロボットの脚機構に用いることができれば，従来よりも軽量で広い可動範囲を持つ脚機構を実現できると考えられる．よって，本研究では，BWD を用いた脚機構を開発し，その歩行ロボットへの適用可能性の検証を進めていく．

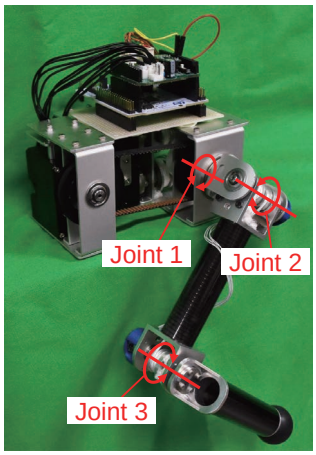


Fig.1 Overall view of developed leg mechanism.

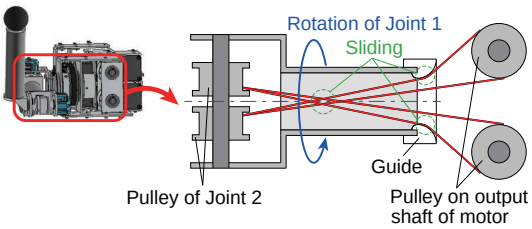


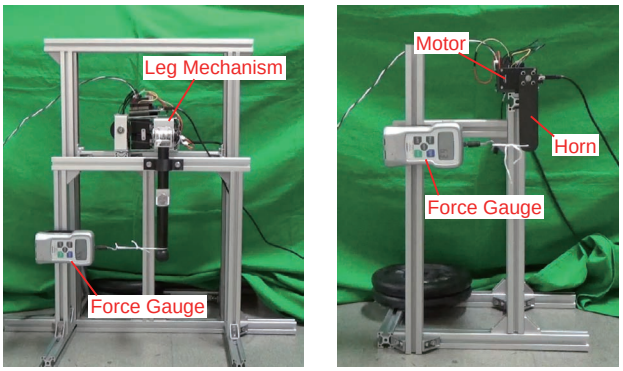
Fig.2 Wire routing in the hollow shaft of Joint 1.

これまでに，我々は図 1 に示す BWD を用いた脚機構を製作している [3]．この脚機構は 3 自由度であり，モータをすべて胴体部に配置して，最も胴体側の関節 1 はタイミングベルトによる駆動，足先側の関節 2，3 は高強度化学繊維ロープによる BWD とすることで，脚部の軽量化とシンプルな構造による広い関節可動範囲を実現している．関節を駆動する計 4 本のワイヤは中空の軸となっている関節 1 を中継する際に経路を共有しており，図 2 のように，ワイヤ同士の捻れによる摺動やワイヤガイドとの間での摺動が生じているが，高強度化学繊維ロープの摩擦の小ささによって，これらの摺動を許容することが可能になると考えられる．また，実験により，足先の軌道追従性能が十分なものであることを確認している．

本稿では，この脚機構の歩行ロボットへの適用可能性をさらに調べるため，脚機構に用いた BWD のトルクの伝達効率および脚機構の耐荷重性能の評価を行うことを目的とする．

2　伝達効率の評価

BWD は，ワイヤに生じる摺動による損失が高強度化学繊維ロープの摩擦の小ささによって，許容できる程度になるという考えに基づいている．そのため，製作した脚機構においても，この摺動による損失について調べる必要がある．そこで，この脚機構に用いた BWD のトルクの伝達効率を調べる実験を行った．



(a) A device for measuring transmitted torque of the leg mechanism.

(b) A device for measuring output torque of a motor directly.

Fig.3 Experimental devices for measuring transmission efficiency.

実験装置は図 3(a) のような構成になっており，脚部の関節 3 よりも根元側の部分をフレームに固定している．関節 3 を駆動するモータに一定電流を流したときに足先に発生する力をフォースゲージで計測することで，関節 3 で発生したトルクを求めた．この結果を，図 3(b) のように同じモータに直接ホーンを取り付け，同じ大きさの電流を流したときに発生するトルクと比較することで，BWD によるトルクの伝達効率を導出した．実験は，脚機構の関節 1 を回転させ，ワイヤの捻れの状態を変化させた場合についても行った．ここで，関節 1 の角度 θ_1 は図 3(a) の場合を 0 deg，反時計回りを正と定義して，実験は $\theta_1 = 90, 0, -90$ deg の場合について行った．

実験の結果より得られた，モータに流した電流と伝達されたトルクの関係を表したグラフを図 4 に，トルクの伝達効率の値を表

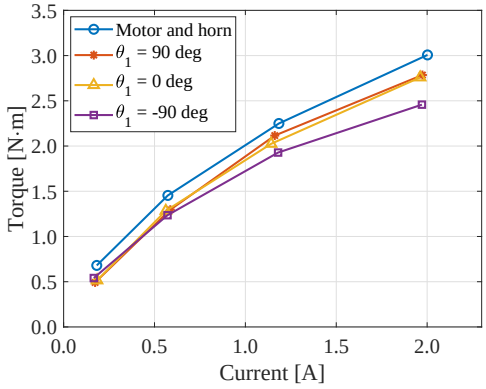
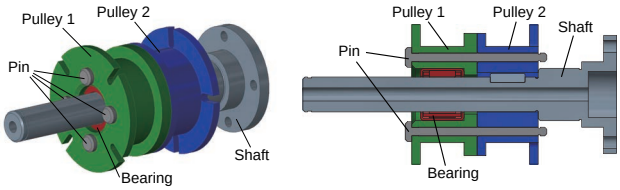


Fig.4 Relationship between current and transmitted torque.

Table 1 Results of measuring torque transmission efficiency.

		Current [A]			
		0.182	0.574	1.184	2.002
θ_1 [deg]	90	0.749	0.873	0.949	0.934
	0	0.752	0.893	0.917	0.929
	-90	0.836	0.852	0.858	0.824



(a) External view.

(b) Sectional view.

Fig.5 Structure of the wire tensioner.

1 に示す．伝達効率は流した電流が最も小さい場合に，特に低くなっている．これは伝達するトルクが小さいために，ワイヤにかけた初期張力による摩擦の影響が強く表れたものであると考えられる．また，電流が最も小さい場合を除けば，ワイヤの捻れの状態の変化により $\theta_1 = -90$ deg での伝達効率がやや低下する結果となったが，その値は最低でも 82%を超えており，関節の駆動にはほぼ問題ない範囲であるといえる．

3　耐荷重性能の評価

歩行ロボットの脚機構はロボット全体の重さを支え続けなければならないことから，高い耐荷重性能を要求される．この脚機構を 4 つ組み合わせて四足歩行ロボットを構成し，2 本の脚だけで接地する場合を考えると，それぞれの脚機構は最低でも自重の 2 倍である約 2.8 kg の重さに耐える必要がある．

脚機構に使用している高強度化学繊維ロープの引張強さは 2 kN にも上ることから，大きな負荷を受けるときに強度上問題となるのはワイヤテンショナの部分である．ワイヤテンショナはモータの出力軸上にあり，その構造は図 5 のようになっている．軸上の 2 つのプーリには，2 本のワイヤがそれぞれ互い違いの向きで巻き付けられており，一方のプーリはキーで軸に固定され，もう一方のプーリにはベアリングが圧入されている．一方のプーリが自由に回転できる状態で張力をかけていき，適切な位置でプーリ側面の穴にピンを通すことで，2 つのプーリ同士が固定され，張力が維持されるという仕組みになっている．

脚機構の耐荷重性能を調べる実験として，脚機構をスライドレールが取り付けられたフレームに固定して上下方向に動かせるようにし，錘を載せた状態で，膝を深く曲げた姿勢で足先を床面に接地させた．このとき，足先には脚機構，フレームの可動部，錘の重さを合計した鉛直方向の負荷がかかる．その結果，脚機構は 3.7 kgf の負荷がかかる状態で静止できることを確認した．この負荷は脚機構の自重の 2 倍を超えており，脚機構の静荷重に対する強度は十分なものであることが確認できた．

4　結言

本稿では BWD を用いた脚機構のトルクの伝達効率と耐荷重性能の評価を行った．BWD の伝達効率は関節の駆動に問題ない範囲であり，耐荷重は脚機構の自重の 2 倍以上という十分な値であることが確かめられた．今後は，開発した脚機構の四足歩行ロボットへの応用を進めていく．

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] S.Kitano, S.Hirose, A.Horigome, G.Endo, “TITAN-XIII : Sprawling-type Quadruped Robot with Ability of Fast and Energy-efficient Walking”, ROBOMECH Journal, Vol.3, No.1, pp.1–16, 2016.

[2] G.Endo, Y.Wakabayashi, H.Nabae, and K.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.

[3] 角田柊平，難波江裕之，鈴森康一，遠藤　玄，“バンドルドワイヤドライブによる歩行ロボットの脚機構”，第 20 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会（SI2019），pp.2617–2618, 2019.