

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	化学繊維ロープを用いた協働リールユニット"ReelBot"の開発 -フロートディファレンシャル型トルクセンサを搭載した試作機-
Title(English)	Development of "ReelBot": A Cooperative Reel Unit Using Synthetic Fiber Rope -A Prototype Model Equipped with a Float Differential Torque Sensor -
著者(和文)	島津裕貴, 難波江裕之, 鈴森康一, 遠藤玄
Authors(English)	Yuki Shimazu, Hiroyuki Nabae, Koichi Suzumori, Gen Endo
出典(和文)	第24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 予稿集, , , pp. 548-549
Citation(English)	Proceedings of the 24th SICE System Integration Division Annual Conference, , , pp. 548-549
発行日 / Pub. date	2023, 12
権利情報 / Copyright	本著作物の著作権は公益社団法人計測自動制御学会に帰属します。 (c) 2023 The Society of Instrument and Control Engineers

化学繊維ロープを用いた協働リールユニット"ReelBot"の開発 -フロートディファレンシャル型トルクセンサを搭載した試作機-

○島津 裕貴（東工大），難波江 裕之（東工大），鈴森 康一（東工大），遠藤 玄（東工大）

Development of "ReelBot": A Cooperative Reel Unit Using Synthetic Fiber Rope -A Prototype Model Equipped with a Float Differential Torque Sensor-

○ Yuki SHIMAZU (Tokyo Tech), Hiroyuki NABAE (Tokyo Tech),
Koichi SUZUMORI (Tokyo Tech), and Gen ENDO (Tokyo Tech)

Abstract: This research aims to develop a robot system that can transport heavy objects over a wide area in areas where it is difficult to enter by land, such as landslide disaster sites. This paper reports on the development of a prototype reel unit "ReelBot" that functions as a Cable-Driven Parallel Robot (CDPR) when multiple units are coordinated. A float differential torque sensor was installed in the prototype, and basic operation tests were conducted to verify the feasibility of tension control.

1. 緒言

土砂災害現場の不安定な崩土上での災害対応や山の急斜面で行われる林業などでは、重機の陸路進入が困難な領域において重量物を広範囲にわたって搬送する必要がある。そのため、我々は可搬性を持つ小型なロボットを複数台協調させる手法の開発を目指している。我々は平行ワイヤ機構に注目し、複数台協調させた際に平行ワイヤロボットとして機能するリールユニットである"ReelBot"^[1]を開発している。

可搬性を持つリールユニットとして、田所らがレスキュー用の主に屋内で用いるリールユニット^[2]を提案している。我々はそれを拡張し、災害対応や林業など自然環境においてエンドエフェクタが環境に接触することも許容しながら作業を行うことができるリールユニットの開発を目指している。

本稿では、広瀬らが開発したフロートディファレンシャル (Float Differential, 以下 FD) 型トルクセンサ^[3]による張力測定機構を搭載した"ReelBot"の試作機を開発したため報告する。まず、FD 型トルクセンサを適用した試作機の張力測定機構について述べた上で、張力測定機構の性能を示す。そして、その試作機を用いて張力制御に関する実験を行い、機能を検証した。

2. 試作機の概要

我々は環境との接触を許容しつつエンドエフェクタを移動させるためには、張力制御が必要であると考えている。そこで、張力を測定する手法として FD 型トルクセンサを適用したものを考え、試作機に導入した。試作機の全体像を図 1 に示す。

この試作機はロープの繰り出し方向及びロープの張力が測定可能なものとなっており、市販のウィンチ (Keeper: KT3000) を中心に、アルミ製の部品やロードセルなどを組み合わせて製作した。この試作機は図 1 左のようなウィンチを木に取り付けるため架台と組み合わせて、図 2 のように使うことを考えている。

滑り軸受によって図 1 部品 C がピッチ方向に回転できるようになっており、その回転量をエンコーダで測定することでピッチ角が測定できる。また、試作機と組み合わせる架台がヨー方向に回転するようになっているため、その回転量をエンコーダで測定することでヨー角が測定できる。

試作機においてウィンチが接触している部品はロー

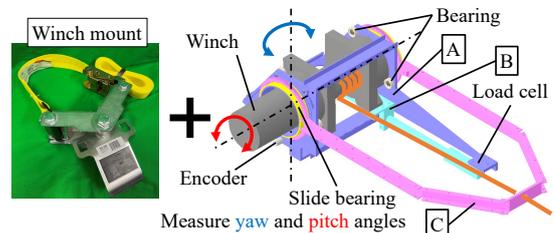


Fig.1 Overall view of the prototype.



Fig.2 Prototype with tension measurement mechanism.

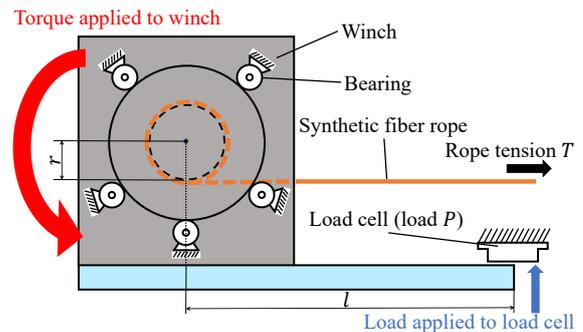


Fig.3 A simple figure showing the mechanism for measuring tension.

プのほかにはベアリングのみであり、図 1 部品 A に対して自由に回転できるようになっている。それによって、張力の反トルクがロードセルに伝わるため、ウィンチに発生するトルクを測定できる。

FD 型トルクセンサについてより具体的に説明する。図 1 を横から見た際の機構を簡易的に表した図が図 3 である。斜線部は共通固定節であり、図 1 部品 A にあたる。ロープに張力 T [N] が発生した際、図 3 のようにウィンチにトルクが発生する。そのトルクによってトルク伝達部品 (図 1 部品 B) が図 3 のようにロードセルを押し上げるため、釣り合ったときにロードセル

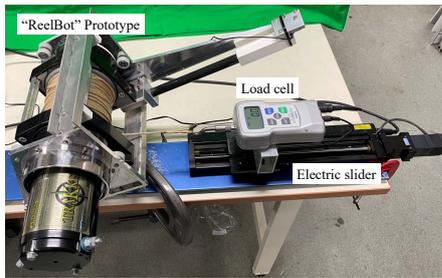


Fig.4 Performance test of tension measurement mechanism.

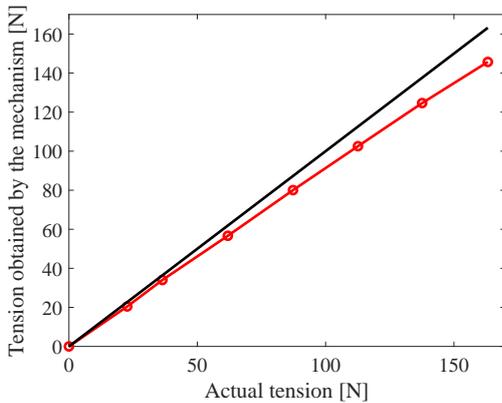


Fig.5 Performance test result.

から得られる値 P [N] を読み取ることで、ロープの張力 T [N] によってウインチに発生したトルクを求める事ができる。そのため、ウインチのロープを巻き付ける部分の半径 r [mm] および図 3 における l [mm] が分かっているとき、ロープの張力 T [N] は以下のように求めることができる。

$$T = \frac{l}{r}P \quad (1)$$

3. 張力測定機構の性能

FD 型トルクセンサによる張力測定機構の計測精度を検証した。図 4 のように"ReelBot"の試作機を固定し、正面から電動スライダに固定したロードセルで引っ張った。この時電動スライダに固定したロードセルの値を実際のロープの張力とし、その値と試作機の張力測定機構で得られた値を比較した。このとき、試作機の設計上図 3 における l は $l = 300$ mm であり、 r は張力 $T = 0$ N の時 $r = 88$ mm であったため、それぞれの値を張力測定機構で張力を求める際に用いた。結果を図 5 に示す。

図 5 において赤い線が実測値、黒い線が傾き 1 の理論値である。図 5 より実測値に関して、理論値に比べて全体的に低い値が出ていることが読み取れる。これは、図 4 から分かるようにウインチにロープを何層も巻いていたため、ロープに張力を印加した際ロープが食い込んでいってしまい、 r が実際は張力 $T = 0$ N の時の値 $r = 88$ mm よりも小さくなっていることが原因であると考えられる。一方、理論値に対して大ききずれが無く傾きの変化も小さいことから、 r と巻き取り量の関係を予め較正することによって、FD 型トルクセンサによる張力測定機構は十分機能するものであると考えている。

4. 張力制御機能の検証

試作機を用いて張力制御に関する基礎的な動作試験を 2 種類行った。まず、図 6 のようにロープの先端を

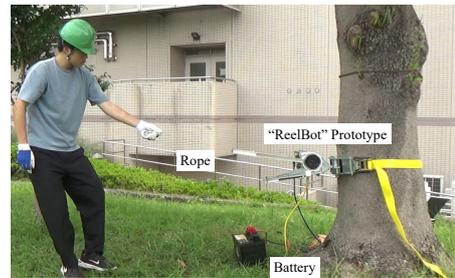


Fig.6 Tension control function verification experiment by changing tension by hand.

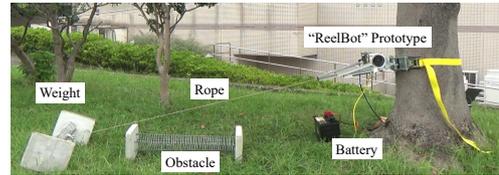


Fig.7 Tension control function verification experiment by changing tension by obstacle.

手で持ち、一定以上の力で引っ張ったときはロープの繰り出し、力を緩めたときはロープを巻き取るという動作を行わせた。次に、図 7 のようにロープの先端に錘を取り付けて引っ張らせたうえで、障害物に引っかかったときに止まり、障害物が除去された後に動き出すような動作を行わせた。

どちらの実験でも目標動作を行わせる事ができ、張力によりリール回転の制御が行えることを確認できた。この結果より、"ReelBot"に FD 型トルクセンサによる張力測定機構を導入することで、"ReelBot"を複数台協調させる際の過拘束の回避やエンドエフェクタと障害物との衝突の検知が行えるようになって考えられる。

5. 結言

本稿では、FD 型トルクセンサを適用し、張力制御機構として導入した"ReelBot"の試作機について述べた。また、その試作機を用いて、手や障害物などでロープの張力を変化させる基礎的な動作試験を行うことで、張力に応じた動作の切り替えが行えることを確認した。

今後は試作機を複数台製作し、複数台を協調動作させる場合における張力制御機能を持つリールユニットの有用性を検証する。

謝辞

本研究は、JST【ムーンショット型研究開発事業】グラント番号【JPMJMS2032】の支援を受けたものです。

参考文献

- [1] 島津裕貴, 難波江裕之, 鈴森康一, 遠藤玄: “化学繊維ロープを用いた協働リールユニット"ReelBot"の開発”. 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予稿集, pp. 2801–2802, (2022).
- [2] S. Tadokoro et al: “A portable parallel manipulator for search and rescue at large-scale urban earthquakes and an identification algorithm for the installation in unstructured environments”. *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 1222–1227, (1999).
- [3] 広瀬茂男, 加藤恵輔: “フロードィファレンシャル型トルクセンサの開発”. ロボティクス・メカトロニクス講演会. IC12-6, (1998).