

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	ワイヤ干渉駆動型超長尺多関節アームSuper Dragonの消費電力測定
Title(English)	Power Consumption Measurement of a Super Long-reach Coupled Tendon-driven Articulated Arm "Super Dragon"
著者(和文)	鎮目結稀, 高田敦, 難波江裕之, 遠藤玄
Authors(English)	Yuki Shizume, Atsushi Takata, Hiroyuki Nabae, Gen Endo
出典(和文)	ロボティクス・メカトロニクス講演会2023講演論文集, , , 2A1-A21
Citation(English)	, , , 2A1-A21
発行日 / Pub. date	2023, 6

ワイヤ干渉駆動型超長尺多関節アーム Super Dragon の消費電力測定

Power Consumption Measurement of a Super Long-reach Coupled Tendon-driven Articulated Arm "Super Dragon"

○学 鎮目結稀 (東工大) 正 高田敦 (東農工大)
正 難波江裕之 (東工大) 正 遠藤玄 (東工大)

Yuki SHIZUME, Tokyo Tech, shizume.y.aa@m.titech.ac.jp

Atsushi TAKATA, TUAT, Hiroyuki NABAE, Tokyo Tech, Gen ENDO, Tokyo Tech

A long and slender robot arm is useful for surveying and working in restricted and hazardous areas, such as the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. In our laboratory, we are developing a coupled tendon-driven super-long articulated arm called "Super Dragon". The coupled tendon-driven arm can achieve a lightweight and slender design by placing actuators, such as motors, at the base of the arm. The lightweight arm and large reduction ratio of the motor's torque enable the coupled tendon-driven arm to operate with lower power consumption than a other robots or equipment. In this paper, we measured the power consumption of the Super Dragon to demonstrate the highly energetic performance of coupled tendon-driven arm. As a result, the arm can hold a 10 kg payload at 425 W. Consequently, we conducted an experiment to confirm that the arm can operate solely on power supplied by a portable power source.

Key Words: Long-reach manipulator, Wire-driven, Coupled tendon-mechanism, Power consumption

1 緒言

災害時等の人が立ち入ることができない限られた空間や危険が伴う場所の調査や作業を行うためにロボットアームは有用である。例えば、福島第一原子力発電所の廃炉では、燃料デブリの取り出し等の作業が必要であるが、燃料デブリの格納容器内は高放射能環境下にあるため、人は立ち入ることが出来ない。格納容器内部を調査するためには、比較的放射線量の少ない格納容器外から、ペネトレーションを通過し、障害物を回避しつつ内部に侵入できる、細径かつ長尺の多関節ロボットアームが有用である。本研究では、10 m ワイヤ干渉駆動型超長尺多関節アーム Super Dragon(図 1)を開発している [1]。一般にロボットアームは長尺化に伴い質量が増すため、細径かつ長尺なアームの実現は困難であるが、ワイヤ干渉駆動 [2] ではアクチュエータなどの重い部品を基部に配置するとともに、最も大きな自重トルクが作用する根元関節を干渉駆動により支えることができることから、長尺・軽量・大ペイロードを実現し得る。



Fig.1 10-meter coupled tendon-driven super-long articulated arm for decommissioning of Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant "Super Dragon".



Fig.2 Power consumption testing of Super Dragon in horizontal posture with 10 kg payload.

さらには、一般的なロボットアームの設計やその他の手段では及ばないほどの低い消費電力で調査用の機器などエンドエフェクタを支持可能と考えられる。

そこで本稿では、ワイヤ干渉駆動型アームの低い消費電力を実証するために Super Dragon の消費電力を測定するとともに、ポータブル電源の供給電力のみでの動作確認実験を行ったので報告する。

2 消費電力測定実験

ペイロード 10 kg 負荷時の水平姿勢における消費電力を測定した (図 2)。本試作機に供給されるエネルギーは 24 V を供給する直流安定化電源 (PAS40-27, 菊水電子工業) と空気コンプレッサ (FX9731, アネスト岩田) である。

直流安定化電源については水平姿勢を 10 分間保っている間の出力電流を測定した。電流は電流プローブ (TCP312A, Tektronix), 電流プローブ増幅器 (TCPA300, Tektronix) を用いて測定した。測定結果が図 3 である。平均 3.3 A であったので、平均 79 W が電装系に供給されたことになる。また、使用した直流安定化電源は出力とは別に 67 W を運転のために要することを事前に測定している。このことから、直流安定化電源に交流 100 V 系から供給された電力は 146 W であり、その 54% がマニピュレータの支持に使われている。146 W を 10 分間持続した場合の電力量は 87.6 kJ である。

一方、空圧コンプレッサが作動したのは実験前に 38 L タンクを 0.8 MPa まで 1 回充填するときのみで、実験中は作動しなかった。このコンプレッサに交流 100 V 系から供給された電力、電

Table 1 Portable power supply output and operation condition of the Super Dragon.

Joint movement	Compressor	Maximum output
Inactive	Inactive	175 W
Inactive	Active	889 W
Active	Inactive	200 W

力量をパワーロガー (PW2260, 日置電機) で測定した。タンクを充填, 大気解放を 4 回繰り返したときの結果が図 4 である。上段が電力であり, 600 W 弱の出力が 300 sec ほど続いている 4 箇所が充填に該当する。下段がコンプレッサが消費した累計電力量である。大気解放後から充填完了までの累計電力量の差を 4 回平均すると 167 kJ となった。

以上から, 本試作機が 10 分間のペイロード 10 kg 水平姿勢支持を行うのに, 交流 100 W 系から供給された電力量は 24 V 電源と空圧コンプレッサを合わせて 255 kJ であったと推定される。つまり, 本試作機のペイロード 10 kg 水平姿勢支持に必要な消費電力は 425 W である。

他の遠隔探査技術で同様に 10 分間程ペイロード 10 kg 相当を支持した場合の消費エネルギーと今回の消費エネルギー測定値を比較する。代表的な遠隔探査技術として, 近年注目を集める回転翼無人航空機が同程度のペイロードを空中支持するときの消費電力と比較する。DJI M600PRO は 9.5 kg の機体にペイロード 6 kg を搭載して 16 分間ホバリング可能である [3]。これは電力量 99.9 Wh のバッテリーを 6 個, すなわち電力量 2158 kJ を搭載した時の性能である。つまり, DJI M600PRO のペイロード 6 kg でのホバリングに必要な消費電力は 2248 W である。

両者のペイロードはことなるものの, 消費電力を比較すると本研究の試作機の方が 18.9% の出力であり, 遠隔技術として低消

費エネルギーで済むと言える。

3 ポータブル電源における動作実験

前章において Super Dragon の動作は低消費エネルギーで済むことを示した。本章ではポータブル電源 1500 W (PTB152, Jackery) を用いてペイロード 0 kg における Super Dragon の動作を行った。この時の動作は, 一度水平姿勢に持ち上げてから下ろす動作とする。実験結果は実際にポータブル電源の供給電力のみで動作させることに成功し, その時の出力は表 1 に示す。この実験内では Super Dragon 動作時にコンプレッサは作動しなかった。しかし, 表よりコンプレッサの作動時に増加した供給電力は 714 W なので, Super Dragon の動作時にコンプレッサが作動しても 1 kW 未満の供給電力で動作が可能であると考えられる。

4 考察

ワイヤ干渉駆動型長尺アームが低消費エネルギーでの動作が可能な理由を考察する。Super Dragon では, 全ての関節制御ワイヤは 150 W のギアヘッド付き電磁モータ (241322, Maxon Motor) により駆動される。モーターロータはギアヘッドで 113:1 に減速され, 続いて平歯車で 75:16 で減速されている。また, ギアヘッドの最大効率率は 72%, モータのトルク定数は 60.3 mNm/A である [4]。これらの値に加えて平歯車の伝達効率を 90% とすると, 各ワイヤの張力を用いてモータに流れる電流を計算することができる。最も大きな電流が生じていたモータの平均電流は 1.58 A であり, 各モータは平均電流は 0.55 A であった。このように減速比が大きいことにより, モータの電流は小さく済んでいる。実際には摩擦の影響によりモータの電流はさらに小さくなっていると考えられる。また, ワイヤ干渉駆動では, 関節制御ワイヤは駆動する関節に加えてそれよりも根元側の関節でトルクを発生させる。したがって, 各関節にモータを備えたロボットアームに比べてモータが発生すべきトルクが小さく済むと考えられる。さらにワイヤ干渉駆動により一般的なロボットアームに比べて軽量なアームを実現しているので, モータが発生すべきトルクはより小さく済むと考えられる。また, Super Dragon では, エアシリンダを使って自重の大部分を支えている。エアシリンダはバルブを閉じてしまえば, 原理的にエネルギー消費なしに大きな力を出し続けることが可能である。

5 結言

本稿では, ワイヤ干渉駆動型アームの消費電力について調査するために Super Dragon の消費電力を測定し, Super Dragon は遠隔技術として低消費エネルギーであることを示した。また, ポータブル電源の供給電力のみでの動作確認実験を行い, 実際に動作可能であることを示した。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP22H03668 の助成を受けたものです。また, 本研究の一部は JSPS 特別研究員奨励費 (JP21J14027) の補助を受けました。

参考文献

- [1] 遠藤玄, 高田敦, 堀米篤史, “ワイヤ干渉駆動型超長尺多関節アーム Super Dragon の開発”, 日本機械学会論文集, vol.85, pp.19-00075, 2019.
- [2] 広瀬茂男, 馬書根, “ワイヤ干渉駆動型マニピュレータの開発”, 計測自動制御学会文集, vol.826, no.11, pp.1291-1296, 1990.
- [3] DJI JAPAN. Matrice 600 pro スペック. <https://www.dji.com/jp/matrice600-pro> 2023 年 2 月 24 日閲覧.
- [4] Maxon Motor スペック. https://www.maxongroup.co.jp/maxon/view/service_search?query=241322, 2023 年 3 月 27 日閲覧.

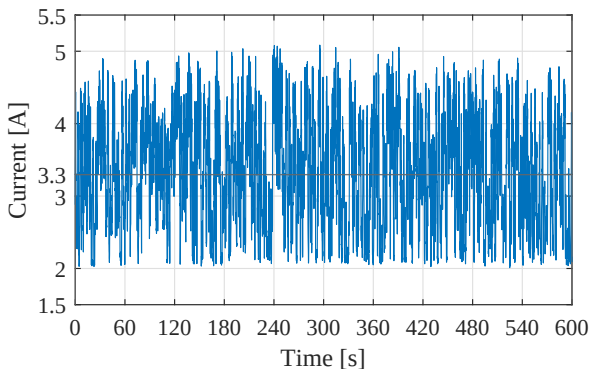


Fig.3 Current time course of 24 V regulated power supply for 10 minutes.

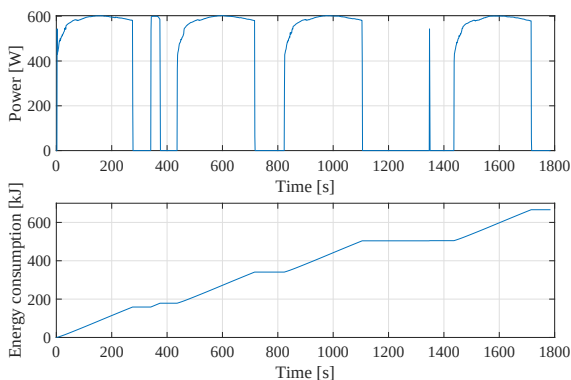


Fig.4 Electrical characteristics of air compressor during charging 4 times.

Top: Power, Bottom: Energy consumption.