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)	ワイヤ干渉駆動型長尺多関節アームSuper Dragonの実規模スケールにおける探索動作の位置精度調査
Title(English)	Position Accuracy of a Long-reach Coupled Tendon-driven Robot Arm "Super Dragon" in a Full-scale Exploration Test
著者(和文)	髙田敦, 難波江裕之, 鈴森康一, 木倉宏成, 高橋秀治, 遠藤玄
Authors(English)	Atsushi Takata, Hiroyuki Nabae, Koichi Suzumori, Hiroshige Kikura, Hideharu Takahashi, Gen Endo
出典(和文)	ロボティクス・メカトロニクス講演会2021講演論文集, Vol. , No. , pp.
Citation(English)	Proceedings of the 2021 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Vol. , No. , pp.
発行日 / Pub. date	2021, 6

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

ワイヤ干渉駆動型長尺多関節アーム Super Dragon の実規模スケールにおける探索動作の位置精度調査

Position Accuracy of a Long-reach Coupled Tendon-driven Robot Arm "Super Dragon" in a Full-scale Exploration Test

○　高田　敦　（東工大）　正　難波江　裕之（東工大）
正　鈴森　康一（東工大）　正　木倉　宏成　（東工大）
正　高橋　秀治（東工大）　正　遠藤　玄　（東工大）

Atsushi TAKATA, Tokyo Tech, takata.a.ac@m.titech.ac.jp
Hiroyuki NABAE, Tokyo Tech
Koichi SUZUMORI, Tokyo Tech
Hiroshige KIKURA, Tokyo Tech
Hideharu TAKAHASHI, Tokyo Tech
Gen ENDO, Tokyo Tech

This paper describes an investigation of the position accuracy of a long-reach coupled tendon-driven robot arm. An operational test of the arm was conducted in a full-scale field. Tip positions estimated using joint angles were compared with the tip position measured by the laser scanner. As a result, the tip position error in the yaw bending posture was larger than that in the horizontal posture. The reason is that the torsional deformation was caused by gravity. In the future, we will conduct calibration of joint sensors and modeling of deformation error caused by gravity.

Key Words: Tendon-driven mechanism, Manipulator, Field test

1.　緒言

福島第一原発廃止措置におけるデブリ取り出しに向けて，全長 22 m のロボットアームが三菱重工業と Veolia Nuclear Solutions によって開発中である[1]．このように，放射線量が高く人が立ち入れない場所に進入し，作業を行うには長尺多関節アームが有用である．筆者らの研究グループは，デブリ取り出しに先立って格納容器内部の調査を行うことを想定し，全長 10 m，10 関節，最大直径 0.2 m，手先ペイロード 10 kg の長尺多関節アーム，Super Dragon を開発した[2]．これは，ワイヤ干渉駆動機構[3] に自重補償機構[4]を組み合わせることで，長大でありながら痩身かつ多関節なロボットアームを構成したものである．

このアーム先端に各種センサを取り付け，探査を行う場合，先端位置決め精度が最も重要な指標となるが，体幹の長さ，自重によるたわみなどによって誤差が懸念される．以前の調査では先端位置決め誤差は 0.194 m と測定されたが[5]，特定の 1 姿勢で静止した状態での測定であった．本報では，アームが運動している間の先端位置の時系列をレーザ測位し，関節角時系列から運動学を用いて計算した先端位置と比較する．これにより様々な姿勢での先端位置決め誤差を調査する．

2.　Super Dragon の関節配置と座標系の定義

図 1 に全長 10 m 多関節アーム，Super Dragon の全景を示す．図 2 は関節配置を示したもので，青円筒がピッチ関節，赤円筒がヨー関節を表す．絶対座標系は一番根元の関節を原点とし，x 軸正方向が体幹を水平に伸ばした方向，z 軸正方向が鉛直上向きである．関節角の変位θ_i $(i = 1 \cdots 10)$ は図 2 に示すアーム長手方向を水平に伸ばした状態を原点とし，正方向はピッチ関節，ヨー関節それぞれ，y 軸，z 軸の右回りとする．各関節はポテンショメータ（JC10-000-103N，日本電産コパル電子） により計測され，PI 制御されている[2]．関節角度のサンプリング周期は 100 ms である．



Fig. 1 Super Dragon: a 10 m-long coupled tendon-driven robot arm.

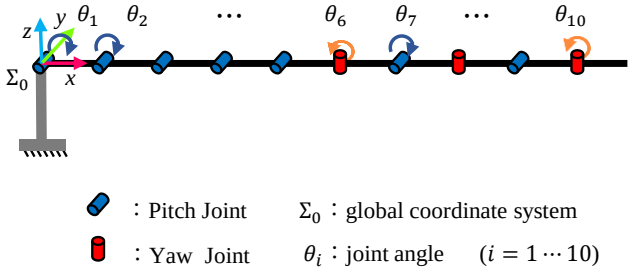

Fig. 2 Joint configuration of Super Dragon

3. 先端位置軌道の測定実験

図 3 は楢葉遠隔技術センター試験棟にて行った実験の様子である．試験用水槽を探査対象に見立て，ターゲットマークを設置した．これをアーム先端に設置したカメラで撮影する模擬的な探査動作を行った．操作者がアームの様子を観察しながら，ターゲットマークがカメラの画角に収まるように角度指令値を手動で更新した．同時に，アーム先端に設置したマーカの位置座標をレーザスキャナ（RobotEye RE05, Ocular Robotics）により測定した．レーザスキャナの制御ソフトによるサンプリング周期は 1 s～1.8 s，計測レンジは 50 m 程度，計測位置精度は±30 mm 程度である．

関節角度の測定値を図 4 に示す．この関節角とリンク長から順運動学を用いて計算した先端位置の推定軌道が図 5 の赤線である．この推定軌道（赤線）はレーザスキャナによる測定軌道（青線）に対する誤差が小さいことが期待される．2 系列のサンプリング時刻が異なり，正確な誤差時系列を算出できないため，特徴的な 2 姿勢（図 5 中の AA’間，BB’間）を選んで位置誤差を算出した．AA’間の誤差は 0.2 m，BB’間は 0.5 m となった．姿勢 A は前報[5]での姿勢と近く，誤差の値も近い，それに対して姿勢 B では誤差が 2 倍ほど大きくなった．この誤差の増加分の要因として，姿勢 B において生じるねじれ荷重による機構の変形と考えられる．姿勢 B では，レーザスキャナによる測定が運動学による推定位置よりもねじれ変形方向に大きくずれていることから推察される．

4. 結言

本稿では，楢葉遠隔技術開発センターで実施した全長 10 m ワイヤ干渉駆動型多関節アーム，Super Dragon の探索動作中の先端位置精度を測定について述べた．アームを水平方向に真直ぐ伸ばした姿勢では先端位置誤差 0. 2 m であったのに対し，ヨー関節を水平方向に変位させた体幹にねじり負荷が生じる姿勢では先端位置誤差が 0.5 m と大きくなった．

今後は，レーザスキャナと関節角度センサの同期計測やその計測を用いた関節角度センサのキャリブレーション，先端位置誤差のモデル化に取り組む．

謝辞

本研究は，JAEA 英知を結集した原子力科学技術・人材育成事業 JPJA19P 19210348 の助成を受けました．レーザスキャナ制御ソフトは株式会社 ViewPLUS が開発したものです．

参考文献

[1] “福島第一原発「燃料デブリ」取り出しへの挑戦③～海外の協力も得て挑む技術開発の最前線”，2020, https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/debris_3.html (2021/03/02 閲覧)

[2] G. Endo, A. Horigome, and A. Takata. Super dragon: A 10 m-long coupled tendon-driven articulated manipulator. IEEE Robotics and Automation Letters, pp. 1-1, 2019.

[3] 広瀬茂男，馬書根．ワイヤ干渉駆動型多関節マニピュレータの開発．計測自動制御学会論文集, Vol. 26, No. 11, pp. 1291--1296, 1990.

[4] Atsushi Horigome, Gen Endo, Koichi Suzumori, and Hiroyuki Nabae. Design of a weight-compensated and coupled tendon-driven articulated long-reach manipulator. 2016 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), pp. 598--603, 2016.

[5] 髙田 敦, 遠藤 玄, 鈴森 康一, 難波江 裕之, ワイヤ干渉駆動型超長尺多関節アーム Super Dragon の手先位置決め精度の検討, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 2019, 2019 巻, ,1A1-R10, p.

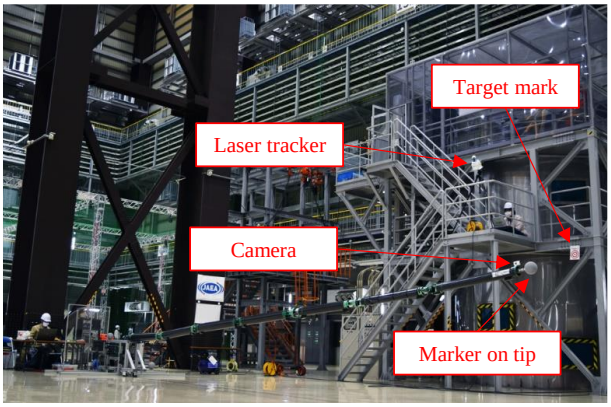

Fig. 3 Experimental setup in Naraha Center for Remote Control Technology Development

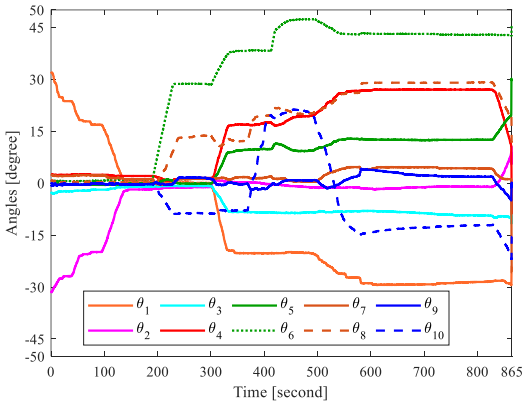

Fig. 4 Time series of measured joint angles

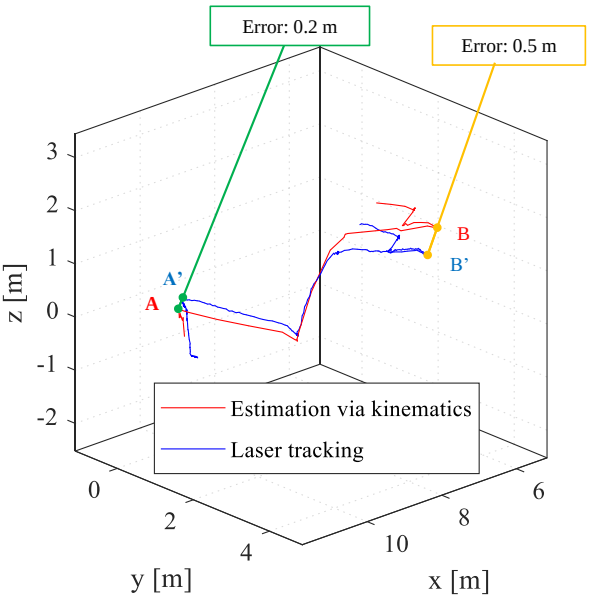

Fig. 5 The red and blue lines represent the tip paths given by joint angle and a laser scanner, respectively.