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)	ワイヤ干渉駆動型超長尺多関節アームSuper Dragonの手先位置決め精度の検討
Title(English)	Positioning Accuracy of a Super Long-reach Coupled Tendon-driven Manipulator “ Super Dragon ”
著者(和文)	髙田敦, 遠藤玄, 鈴森康一, 難波江裕之
Authors(English)	Atsushi Takata, Gen Endo, Koichi Suzumori, Hiroyuki Nabae
出典(和文)	ロボティクス・メカトロニクス講演会2019 予稿集, Vol. , No. , pp.
Citation(English)	Proceedings of the 2019 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Vol. , No. , pp.
発行日 / Pub. date	2019, 6

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

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

Positioning Accuracy of a Super Long-reach Coupled Tendon-driven Manipulator “Super Dragon”

髙田敦（東工大）　正　遠藤玄（東工大）
正　鈴森康一（東工大）　正　難波江裕之（東工大）

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

Recently, a long-reach multi-joint manipulator is much required for investigation tasks. In our previous work, a new mechanism which is a combination of a coupled tendon-driven mechanism, a weight-compensation mechanism, and synthetic fiber ropes was suggested and a manipulator 10 m in length was demonstrated. This paper focuses on end-point positioning accuracy of the manipulator. Joint angles and an end-point position were measured by potentiometer and a laser scanner, respectively. A position of end-point which was calculated using joint angles was close in a distance of 0.2 m from result of measurement by the laser scanner. In the future, we will conduct controlled experiments for various posture of the manipulator.

Key Words: Tendon-driven, Control, Manipulator

1　序論

長尺多関節マニピュレータは人が立ち入れない場所に進入し，姿勢を変化させ障害物などを回避しながら広い空間を探査することができる．しかし，自重による大きなモーメントを細い体幹で支える必要があり，長尺であるほど機構の構成が困難である．特に応用が期待される福島第一原発の格納容器内部探査は，直径 0.5 m 程度の穴から進入し原子炉や配管が入り組んだ直径 20 m 程度の球状空間を探査するものである．これを実行するには直径 0.3 m 以下と痩身で，全長が 10 m を超えながら多関節なマニピュレータが必要であるが，実現した研究は確認されていない．

そこで，筆者らの研究グループは，ワイヤ干渉駆動型マニピュレータ [1] に自重補償機構を組み合わせた新たな機構を提案した [2, 3]．また，高い強度を持つ化学繊維ロープをその機構に用いることで，長大でありながら痩身かつ多関節のマニピュレータが構成可能であることを示し，全長 10 m，最大直径 0.2 m，10 関節の試作機，Super Dragon にて水平な姿勢保持を実現し，提案の有用性を示した [4]．

実用化に向けた次なる課題は探索作業に十分な手先位置決め精度の実証である．位置決め精度は最重要の性能であるが，体幹が長いこと，たわみなどの懸念点が多い．本報では，初期実験として全長 10 m 試作機の先端位置決めの正確さを計測する．

2　マニピュレータの関節角度と座標系の定義

図 1 に全長 10 m 試作機を示す．実験に先立ち，図 2 のように関節角度と座標系の定義する．まず，一番根元の関節が絶対座標系 Σ_0 の原点である．座標系は右手系で，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．続いて，各関節を原点に置く移動座標系 Σ_i $(i = 1 \cdots 10)$ の向きは x 軸正方向が体幹に並行な方向である．z 軸正方向は体幹を水平に伸ばした状態で鉛直上向きである．関節角 θ_i の変位はこれらの移動座標系の軸回りの回転として定義し，正方向は右ネジの方向である．y 軸回りに回転する関節が Pitch 関節，z 軸回りに回転する関節が Yaw 関節である．

3　手先位置の計測実験

実験では操作者がマニピュレータを観察しながら角度指令値を更新し，体幹全体が持ち上がったところでマニピュレータを

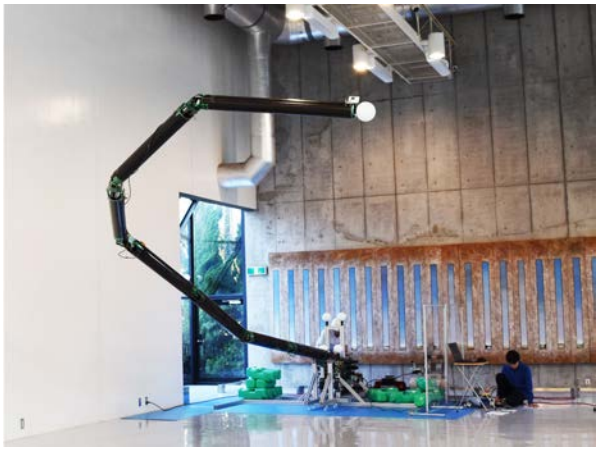

Fig.1 Super Dragon:全長 10 m 試作機

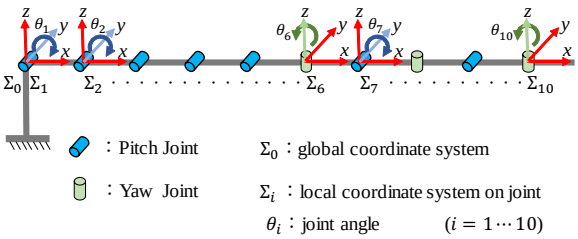

Fig.2 関節及び座標系の配置

静止させ，この状態で先端位置をレーザ測位計 (Focus3D X130, FARO) により測定した．測定の精度は公称 ±2% である．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 [4]．図 3 がレーザ測位計による計測の様子である．計測では合計 8 個のマーカを用いた．1 個はマニピュレータ先端に固定した．残りの 7 個は測位計から見た座標をマニピュレータの絶対座標系からみた座標に変換するための基準である．なお，測位計の座標系，絶対座標系ともに z 軸は鉛直上向きで一致し，測位計の z 座標は測位計により計測される．マニピュレータの基部に 4 個のマーカを設置した．これらは絶対座標系 x-z 平面について対称に設置され，これらの座標からマニピュレータの絶対座標系の向きと原点が分かる．さらに，マニピュレータの手先近くの地面にもマーカを 3 個設置し，先の 4 個のマーカとの相対位置が事前に計測された．姿勢制御中の計測はこの 3 個のマーカを基準に先端のマーカの位置を測った．これらと先端のマーカは近い位置にあるため相対位置を精度よく計測できる．

4　実験結果と考察

関節角度の測定値と指令値を図 4 に示す．測定値は関節角度センサによって計測された値で，実線で示している．指令値は操作者から送信された値で，対応する関節角度と同色の破線で示している．また，エンドエフェクタ位置の測定結果を図 5 に示す．測位計の結果として，図中の緑の点がマニピュレータ基部に固定したマーカのうち 3 個の位置である．また，図中の紫の点がマニピュレータ先端に固定したマーカの位置である．測位計による絶対座標系から見た先端位置の座標 [m] は [9.77, 0.152, 1.77] となった．測位計による計測はおおむね 4.5 分を要し，時刻として 120 sec から 390 sec の間である．一方，関節角度センサの測定値と順運動学によって求めた先端位置が図中の黒点である．これは時刻 120 sec から 390 sec までの間の位置を 1 sec 間隔で描画している．この間に位置は変動しているが，その分散は測位計による結果との誤差に比べて小さい．図中の青線は 200 sec における姿勢を描画したものである．○印が関節に対応する．時刻 120 sec から 390 sec までの間の先端位置座標 [m] を平均すると [9.71, 0.223, 1.94] となり，測位計による結果との誤差は 0.194 m となった．考察として，図 4 の指令値と測定値を見ると，数十秒オーダーのオーバーシュートが確認できる．従って追従性が良いとはいえない．しかし，約 5 分の測位中に姿勢制御が発散することなく安定していた．さらに，そのときの手先位置の誤差はマニピュレータ全長の約 2%であり，人が立ち入れない建物内に侵入し，カメラを用いた探索を行うといった応用には十分な正確さと考えられる．

5　結論

本報では，全長 10 m，最大直径 0.2 m，10 関節のマニピュレータ試作機の手先位置決め正確さをレーザ測位計によって評価した．その結果，関節角度の測定値から求めた手先位置の誤差は手先カメラによる映像を見ながら行う探査では調整可能であると考えられる程度であった．今後の課題として，マニピュレータの手先を空間的に広い範囲に位置決めする関節角度制御の実証が必要である．

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] 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.

[2] 堀米篤史, 遠藤玄, 鈴森康一. 超長尺ワイヤ駆動型多関節アームの開発. ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, Vol. 2016, pp. 2P1–15a5, 2016.

[3] 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.

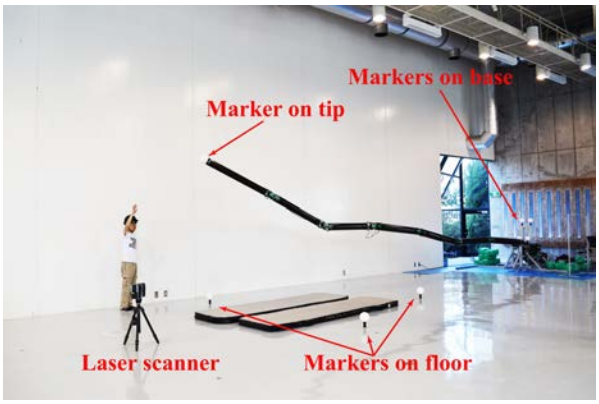

Fig.3 レーザ測位の様子

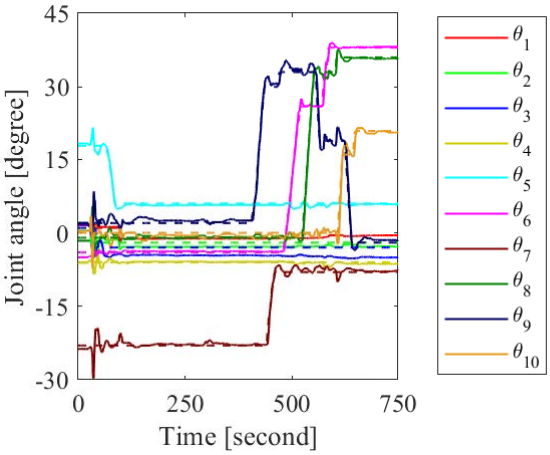

Fig.4 関節角度の時系列

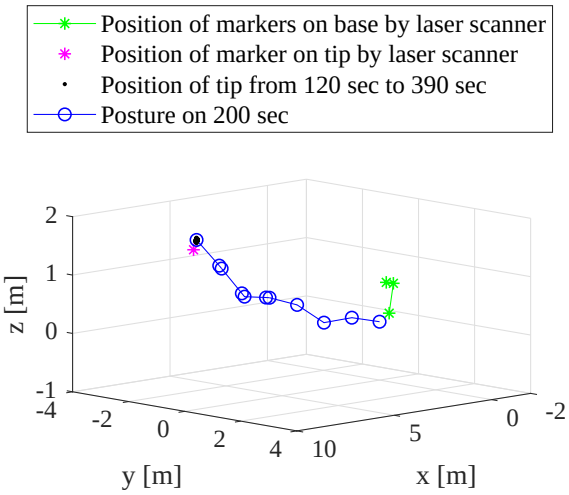

Fig.5 レーザ測位と関節角センサによる手先位置

[4] 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.