T2R2 東京工業大学リサーチリポジトリ
Tokyo Tech Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	化学繊維ワイヤによる干渉駆動を用いた超長尺多関節アーム
Title(English)	Coupled-tendon driven long-reach manipulator using synthetic fiber wires
著者(和文)	遠藤玄, 堀米篤史, 高田敦
Authors(English)	Gen Endo, Atsushi Horigome, Atsushi Takata
出典(和文)	第24回ロボティクスシンポジア予稿集, , , pp. 63-64
Citation(English)	, , , pp. 63-64
発行日 / Pub. date	2019, 3

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

化学繊維ワイヤによる干渉駆動を用いた超長尺多関節アーム

遠藤 玄 *1, 堀米 篤史 *1, 髙田 敦 *1

Coupled-tendon driven long-reach manipulator using synthetic fiber wires

Gen ENDO*1, Atsushi HORIGOME*1,
and Atsushi TAKATA*1

*1 School of Engineering, Tokyo Institute of Technology
2-12-1 Ookayama, Meguro-ku, Tokyo 152-8552, Japan

This paper describes a coupled tendon-driven long-reach manipulator using synthetic fiber wires, potentially applicable to the decommissioning task in Fukushima Daiichi Nuclear Power Plants. The goal of mechanical design is to achieve a 10 m-long articulated manipulator whose maximum payload is 10 kg at the end, whereas the diameter of the robot arm should be less than 0.3 m. To satisfy these extremely difficult mechanical design specifications, we incorporated coupled-tendon driven mechanism using synthetic fiber ropes, and gravity compensation mechanism with a thick tendon pulled by a large air cylinder. We demonstrated its feasibility through prototyping, and confirmed its basic motion by experiments.

Key Words : Long reach articulated manipulator, Coupled tendon-driven mechanism, Syntetic fiber wire

1. 緒　　言

福島第一原発の廃止措置は国家的喫緊の課題である．１～３号機にはそれぞれ 100 トン以上の燃料デブリが解け落ちた状態で残っていると推定されており，これを安全に取り除くことなしに廃止措置は完了し得ない．格納容器内の線量は最大 80Sv/h に達し，人体の許容量といわれる 1Sv をわずか 45 秒で超えることから，ロボットによる作業は必要不可欠である．

現在，燃料デブリの取り出しでもっとも有望と考えられている工法は，気中横アクセス工法である．格納容器下部のメインテナンス用アクセスルートを用い，横から内部にアプローチする方法である．もし細径かつ長尺のマニピュレータが開発できれば，燃料デブリの取り出し作業に大いに貢献できる．本論文では，取り出し作業の前段階として想定される内部調査を想定し，各種計測機器を搬送することを考え，東京電力，IRID の公開資料などを元に以下の仕様を定めた．

- 全長: 10m
- 最大アーム直径: 0.3m
- 自由度: ピッチ 7 軸，ヨー 3 軸
- 手先ペイロード: 10kg
- 全質量: 500kg (アーム部: 100kg, 基部: 400kg)
- 運搬時のロボットの大きさ: 幅 3.0m ×高さ 2.5m の開口部を通過できること

*1 東京工業大学工学院（〒 152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1）gendo@mes.titech.ac.jp

2. 機　　構

狭隘空間に進入する片持ち構造の超長尺アームを設計するためには，根元関節に働く膨大な自重モーメントを如何に支えるかが最重要の設計課題である．これを実現するために，筆者らはワイヤ干渉駆動機構[(1)]と，太径ワイヤによる自重補償機構を組み合わせることを提案している[(2)]（図 1）．ワイヤ干渉駆動機構は，手先関節を駆動するワイヤを根元関節側の受動プーリに巻きかけながら中継することにより，手先関節に生成されるトルクを根元関節にも等しく生成する機構である．根元関節ほど中継プーリが多数になるため，より多くの自重モーメントを複数のワイヤ（図中青）で分散して支えることができる．アーム直径に制約がある条件下で，さらに大きな自重モーメントを支えるためには，均等なワイヤ直径よりも，自重補償を目的とした太径のワイヤ（図中赤）と，各関節角度制御用の細径のワイヤに役割分担して組み合わせる手法が有効である．なぜならワイヤの耐荷重は断面積の 2 乗に比例

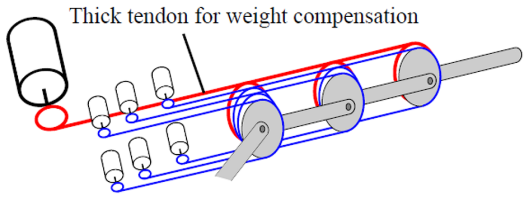

Fig. 1　Arrangement of tendons [(2)]

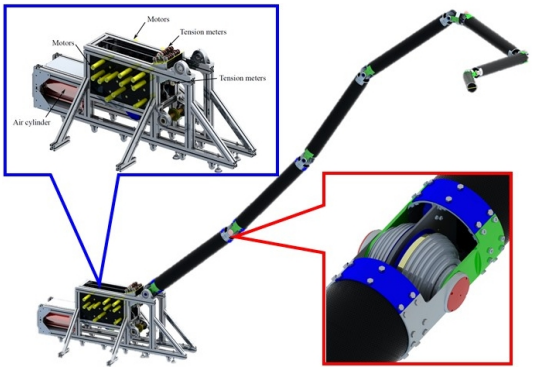

Fig. 2　Prototype model (wires are omitted)

Table 2　Specification of prototype model

Length	10 m
Arm diameter	Max. 194 mm
Weight	400 kg (arm: 50kg, base: 350kg)
Payload	10 kg

するため，均等にすべてのワイヤ直径を増すよりも，1 本のワイヤ直径のみを集中して増す方が，結果的により大きな総耐荷重となるからである．必要な自重補償トルクは，根元側の関節は大きく，手先側ほど小さくなる．これを二重プーリにより半径を変えることにより調整する．また自重補償トルクはアーム姿勢にも依存するため，姿勢に応じてワイヤ張力を制御する．

3. 試　作　機

試作機の概観を図 2 に示す．全てのアクチュエータおよび制御回路は基部に設置されており，アーム部は基本的に機械部品のみで構成されていることから高い耐放射線性が実現できる．各関節を駆動するワイヤは屈曲耐久性に優れる直径 2mm の高密度ポリエチレンワイヤを用い，150W の DC アクチュエータにより張力制御される．自重補償のワイヤは，屈曲耐久性は劣るがより伸びが少なく高強度である直径 5.5mm の PBO ワイヤを選定し，ボア径 200mm のエアシリンダ（最大発生力 30kN）と電空レギュレータにより張力制御される．用いた化学繊維ワイヤはステンレスワイヤに比して引張強度で 1.3〜2.0 倍，質量は 1/8 である．アーム部は軽量な肉厚 2mm の CFRP パイプを主たる構造材として用い，ワイヤ張力による大きな圧縮力とヨー軸屈曲時の捻りモーメントを受ける．関節角度は耐放射線性の高い受動素子であるポテンショメータにより計測する．試作機の諸元を表 2 に示す．

4. 実　　験

図 3 に試作機の概観と動作実験の様子を示す．最も自重トルクの高い水平保持の姿勢から上方にアームを持ち上げることが出来た．さらにヨー軸関節を駆動することで手先を横方向に曲げた姿勢が実現できることを確かめた（図 4）．また手先にカメラを装備し，環境中に設置したターゲットを撮影する実験にも成功し，目視調査に十分な制御性を有していることを確認した．最後に手先に質量 4.4 kg の重りを負荷した状態で水平保持が出来ることを確認した．

Fig. 3　Experiment on keeping horizontal posture

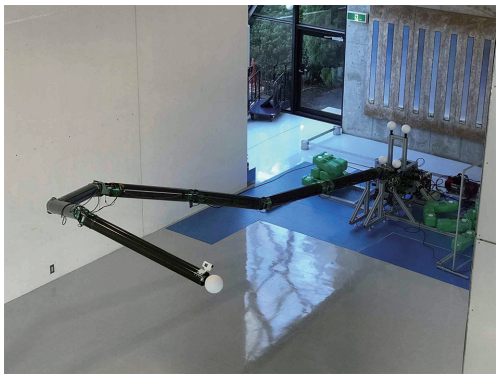

Fig. 4　Yaw bending posture

5. 結　　言

化学繊維ワイヤを用いて干渉駆動機構と自重補償機構を組み合わせることで全長 10m, 直径 0.2m, 全 10 自由度の超長尺多関節アームを実現した．今後の課題は 10kg のペイロードを実機検証することである．

謝　　辞

本論文の成果は，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, 第 26 巻, 11 号（1990）, pp. 1291-1298.

(2) A. Horigome et al., “Design of a Weight-compensated and Coupled Tendon-driven Articulated Long-reach Manipulator”, *Proceedings of the 2016 IEEE/SICE International Symposium on System Integration* (2016), pp.598–603.