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	原発の空中点検を行う干渉ワイヤ駆動型多関節アームの開発―立体関節機構の導入と小型モデル機の試作―
Title	Development of a Coupled Tendon-Driven Multi-joint Manipulator for Decommissioning Nuclear Power Plant -Introduction of mini CT-Arm model with 3D joint mechanism -
著者	洗津, 山田浩也, 遠藤玄, パウロ･デベネスト, ミケーレ･グアラニエリ, 風間裕人, 長友一郎, 広瀬茂男
Author	Shin SEN, Hiroya YAMADA, Gen ENDO, Paulo DEBENEST, Michele GUARNIERI, Yoshihito KAZAMA, Ichiro NAGATOMO, Shigeo HIROSE
掲載誌/書名	, 1A2-P20, ,
Journal/Book name	, 1A2-P20, ,
発行日 / Issue date	2013, 5
URL	http://www.jsme.or.jp/publish/transact/index.html
権利情報 / Copyright	本著作物の著作権は日本機械学会に帰属します。
Note	このファイルは著者（最終）版です。 This file is author (final) version.

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

原発の空中点検を行う干渉ワイヤ駆動型多関節アームの開発
—立体関節機構の導入と小型モデル機の試作—

Development of a Coupled Tendon-Driven Multi-joint Manipulator for Decommissioning Nuclear Power Plant

-Introduction of mini CT-Arm model with 3D joint mechanism -

○　洗津[*1]　　正　山田浩也[*1]　　正　遠藤玄[*1]
パウロ･デベネスト[*2]　ミケーレ･グアラニエリ[*2]　風間裕人[*2]　長友一郎[*2]
正　広瀬茂男[*1]
Shin SEN[*1] ,sen.s.aa@m.titech.ac.jp
Hiroya YAMADA[*1], yamada@robotics.mes.titech.ac.jp
Gen ENDO[*1], gendo@mes.titech.ac.jp
Paulo DEBNEST[*2], Michele GUARNIERI[*2], Yoshihito KAZAMA[*2], Ichiro NAGATOMO[*2]
Shigeo HIROSE[*1]
*1 東工大,Tokyo Institute of Technology　*2(株)ハイボット,Hibot Corporation

For the decommissioning of the Fukushima Daiichi nuclear power plant, we need robot arms which have long and slender shape, wide motion range, and radiation-tolerant system. However, existing robot arms are not capable of satisfying those requirements. In particular, the extremely large torque generated by the arm weight is the most difficult problem in the development of such long and slender arms. Therefore, in order to satisfy those requirements, we propose a new robot arm named "3D CT-Arm". The 3D CT-Arm uses a "coupled tendon drive", in which the all joints are driven by motors located on the base through wires and pulleys, and the all motors support the torque on the base joint. Thus, the 3D CT-Arm can maintain its posture even when it extends the arm horizontally.In this paper, we introduce the concept of 3D CT-Arm and show the design and test of a prototype.

***Key Words*:** Robot Arm, Coupled Drive, Wire Driven, Tendon Drive

1.　緒言

福島第一原発では炉心溶融や水素爆発により原子炉圧力容器・格納容器が損傷し,放射性物質の漏洩が問題となっている.格納容器内は高い放射線量により人間が立ち入ることが出来ないため,廃炉作業を行うロボットアームの開発が急務である. 本研究では2次元干渉ワイヤ駆動型アーム「CT-ArmI」[1]の機構を参考に,原発の空中点検を行えるような(図1)3次元干渉ワイヤ駆動型アーム「3D CT-Arm」を開発することを目的とする.

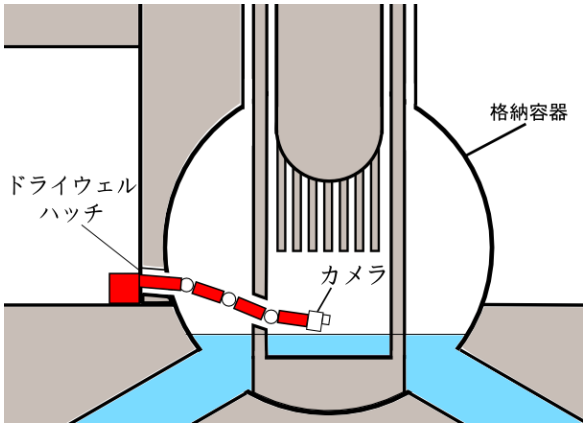

Fig. 1　3D CT-Arm concept

2.　3D関節を用いた長大なアームの提案

このロボットアームは原子炉建屋内を移動し,格納容器のドライウェルハッチからアームを伸ばし作業を行う.そのためには炉心まで届く10m以上のアーム長,ハッチを通れるφ300以下の細いアーム径,建屋内を移動するための2m角程度のコンパクトなサイズ,広範囲を調査するための広い可動域が求められる.

広い可動域を実現するために多自由度性が必要となるが,長大な多自由度アームを実現しようとした時に,各関節にアクチュエータを配置してしまうとアームの自重が重くなり,根元部が自重のモーメントを支えられなくなってしまう.また精密機器である電子回路を炉心部の放射線量の高い環境下に出してしまうと誤作動や破損などを起こす可能性がある.そこでアクチュエータや制御回路を根元部に集中配置しワイヤ･プーリによってアームを駆動することによりアームの軽量化をはかり,同時にワイヤ張力を干渉させることによって駆動に必要なトルクを補う干渉駆動の原理を用いる.またこれに収納機構を搭載することによって長く細いながらも広可動域を持ち,収納可能でコンパクトな要求仕様を満たすアームとして「3D CT-Arm」を提案する.

3.　機構の検討

3.1　立体駆動節の開発

「CT-ArmI」ではPitch軸1自由度の平面駆動節のみだったものをPitch軸とYaw軸の2自由度を持った立体駆動節を追加する事によって立体駆動を可能にする.駆動用のワイヤを通すためにアーム筐体は中空のパイプを考え,その円周に沿うようにプーリを配置することを考える(図2).この時Pitch軸プーリとYaw軸プーリを直交配置することによってワイヤをスムーズに巻くことが出来る.またワイヤによってPitch軸プーリとYaw軸プーリが干渉することから,Yaw軸動力をPitch軸駆動にも用いることが可能になる.(図3)伸ばしたあとの根元部には立体自由度が必要ないと考えられるため,根元5節は従来の平面駆動節を用い,先端5節に立体駆動節を用いた10節15自由度のアームとする.(図4)

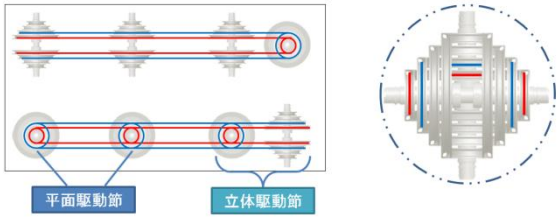

Fig. 2 Wire-Pulley Arrangement

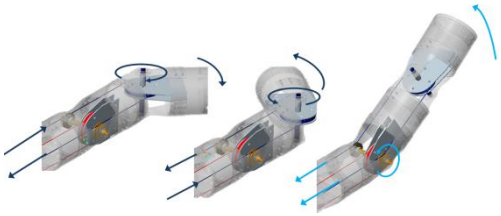

Fig. 3　3D-Joint

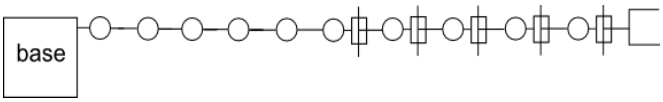

Fig. 4　Joint Arrangement

3.2 収納方法の検討

アームを動力や制御系などを搭載した直方体のドラムに巻きつけて収納する方法を考える.アームを螺旋状に巻きつけるためには,一周巻くとアーム径分だけずれる必要があることから,ドラム一辺につきアーム径の1/4ずつずらせば良く,そのためにはアームを巻きつける際にドラムに対して傾け,長軸方向にねじりながら巻けばよい.その傾ける角度θとねじる角度ϕを順運動学と逆運動学を用いて求めると,次の様な値になる.

$$\theta = \arctan(d/4s) \tag{1}$$

$$\phi = \begin{cases} \arccos\left(\sqrt{\dfrac{1}{(1+\sin^2\theta)}}\right) (n = 1) \\ 2\arccos\left(\sqrt{\dfrac{1}{(1+\sin^2\theta)}}\right) (n \geq 2) \end{cases} \tag{2}$$

ここでdはアームの径,sはドラムの一辺,nは巻く節の番号である.この式(1),(2)に実際の寸法を当てはめれば,一節目をドラムに対して約3.5度傾け,かつアームの関節を長軸方向に約3.5度ねじる.二節目以降は長軸方向に約7度関節をねじることになり,この方法で螺旋状に巻くことできることをシミュレーションで確認した.(図5)

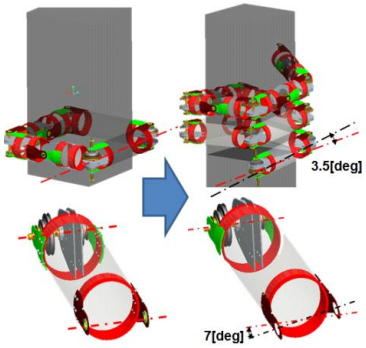

Fig. 6 Folding Mechanism

3.3 プーリ･ワイヤを用いた駆動機構の検討

ワイヤ･プーリで関節を駆動するにあたり,プーリの張力伝達効率が非常に重要になってくる.なぜならプーリの張力伝達効率が低かった場合,例えばプーリ一つあたり95%であった場合でもプーリ15個を経由してしまうと$(0.95)^{15}$=46%となり,著しく効率が低下する.そのためプーリ1つあたりの効率を求めるために,図6のような実験を行った.これはプーリに両端に同じ重さW[kg]のおもりをつけたワイヤをかけ,片側に荷重を加えた時に動き出す値f[kg]を測定することで,効率を求めるものである.この時効率ηは

$$\eta = W/(W+f) \tag{3}$$

で表される.負荷重量･プーリ数･使用ワイヤ･プーリサイズなどを変化させて実験した結果を元に,今回3D CT-Armに用いるような条件での効率を求める.その結果最悪の条件下でも効率は99%以上となり駆動に支障をきたす効率とはならなかったため,問題は無いと考えられる.

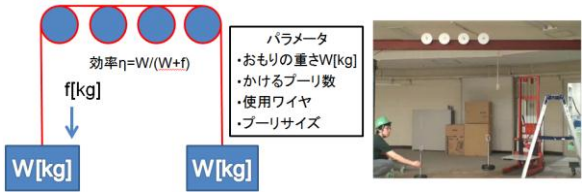

Fig 7　Pulley's Efficiency Experiment

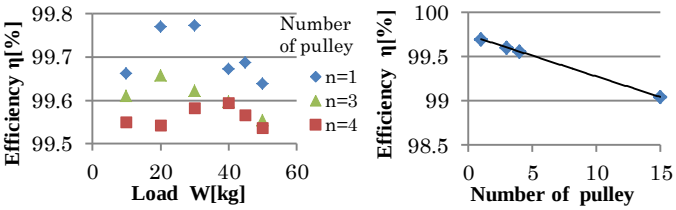

Fig. 5　Pulley'sEfficiency

3.4 駆動制御について

3D CT-Armと同様のアーム機構,プーリ配置を用いて,節数･サイズを減らした表1の仕様で小型実験用6自由度アーム「Mini CT-Arm」(図8)を開発し,関節を位置フィードバック制御することで基本的動作が実現できることを確認した.(図9)今後このMini CT-Armによってフィードフォワードによる自重補償やアーム関節にねじりを加えた場合の影響,センサの有無による制御の比較などの実証実験を行い,そのデータを3D CT-Arm開発に役立てる.

Table 1　Mini CT-Arm specification

Mini CT-Arm	
アーム長	2.4m
アーム質量	15kg
節数	4(1DOF:2 2DOF:2)
自由度	6
動作軸	Pitch, Yaw
収納機構	なし

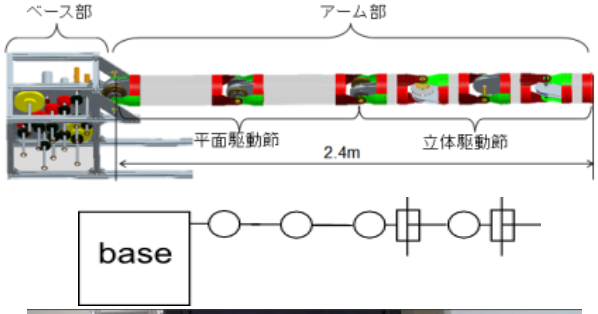

Fig.8 Mini CT-Arm

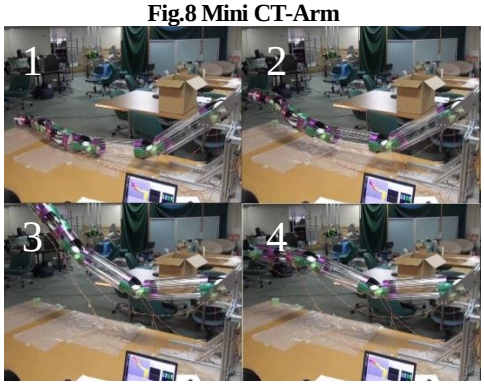

Fig.9 Mini CT-Arm Experiment

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 ,26, 11, pp.1291-1298 (1990)