

氏名	蕭 凱文			
学位の種類	博士（工学）			
学位記番号	博 甲 第 8 5 3 0 号			
学位授与年月日	平成 3 0 年 3 月 2 3 日			
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当			
審査研究科	システム情報工学研究科			
学位論文題目	ワイヤ駆動型連続体マニピュレータの モデル化と機構に関する研究			
主査	筑波大学 准教授	博士（情報科学）	望山 洋	
副査	筑波大学 教授	博士（医学）、博士（工学）	星野 聖	
副査	筑波大学 教授	博士（工学）	矢野 博明	
副査	筑波大学 准教授	博士（工学）	伊達 央	
副査	首都大学東京 准教授	博士（工学）	武居 直行	

## 論文の要旨

審査対象論文は、近年ロボティクスの分野で注目を集めているソフトロボティクスにおける、ワイヤ駆動型連続体マニピュレータのモデル化と機構について論じ、ワイヤ駆動型連続体マニピュレータの機構とモデルのそれぞれに対して新たな提案を行っている。

まず、機構に関しては、可伸縮のワイヤ拘束手段を有するワイヤ駆動型連続体マニピュレータの機構が提案されている。この可伸縮ワイヤ拘束手段では、拘束手段である複数個の蛇管が、マニピュレータの半径方向には十分な強度を保ちつつ、長手方向に伸縮できるようになっており、マニピュレータ全体の大湾曲を妨げない巧みな機構となっている。これにより、スリムさと大湾曲特性を兼ね備えることに成功している。また、実際このような機構を実現するための、ゴムディッピングに基づく製作方法も示されている。提案機構により、大湾曲特性が実現されることが、実験プロトタイプを用いて実証されている。

一方、モデルに関しては、従来広く用いられてきた一定曲率モデルを拡張する新たなワイヤ駆動型連続体マニピュレータのモデルが提案されている。提案する運動学に関するモデルによれば、一定曲率モデルのときとほぼ同様の簡単な計算式で、ワイヤ引張量から手先湾曲角と手先湾曲方向を決定することができ、よって手先姿勢を定めることができる。また、提案する静力学に関するモデルによれば、摩擦分布一様などの適切な摩擦分布に対する仮定の下で、ワイヤ引張量から形状を定めることができ、よって手先位置を計算することができる。3本ワイヤ駆動の連続体マニピュレータによる実験により、提案モデルの妥当性が示されている。

さらに、提案する連続体マニピュレータの機構とモデルの知見に基づいて、連続体マニピュレータの機構と動きを設計する方法が例示されている。

## 審査の要旨

### 【批評】

本論文では、独創性の高いワイヤ駆動型連続体マニピュレータの機構とモデルが提案されている。本論文のロボティクスに対する主な貢献は、以下の通りと考えられる。

1. 連続体マニピュレータの機構に関して、ワイヤ駆動型連続体マニピュレータに対する、設計自由度の高い、機構の一オプションを提示したこと。本論文で提案する機構に基づけば、ワイヤを露出することなしに、スリムさと大湾曲特性を兼ね備えたワイヤ駆動型連続体マニピュレータを実現することができる。

2. 連続体マニピュレータのモデルに関して、最も利用されていた一定曲率モデルに対して一定曲率を仮定しない拡張モデルを提案したこと。本論文で提案するモデルに基づけば、ワイヤ周りの摩擦を無視できないようなケースに対しても、ワイヤ引張量から、手先姿勢、さらには、適切なワイヤ周りの分布力に対する仮定の下で、手先位置を容易に計算することが可能である。

可伸縮ワイヤ拘束手段の着眼は斬新であり、ワイヤを露出させることなく、スリムさと大湾曲特性を兼ね備えた連続体マニピュレータを実現することに成功している。またそれだけでなく、ゴムディッピングを利用した具体的な製作方法の提案も行っており、評価に値する。一方、これまで広く用いられてきた連続体マニピュレータの一定曲率モデルを、極めて自然な形で拡張することに成功しており、ソフトロボティクスの理論において有用性の高い成果であると評価できる。

なお、本論文で提案されている斬新なモデルと機構の提案は、相補的な関係にある。可伸縮ワイヤ拘束手段を備えた連続体マニピュレータでは、ワイヤ周りの摩擦力は無視できないほど大きく、これまでの一定曲率モデルは適用できず、提案モデルが役立つ。一方、このモデルは幾何的に厳密であり、大湾曲にも対応できるが、提案する機構は、連続体マニピュレータを大湾曲させるのに適している。

本論文の成果の主要部分は、既に日本ロボット学会誌の学術論文として採録済みであるだけでなく、ロボティクスにおける2大国際会議の1つ IEEE/RSJ IROS において、国際会議論文として採択・発表済みであり、国際的にも確固たる評価を得ている。

ワイヤ駆動型連続体マニピュレータに対する、これらの新しいモデルと機構の提案により、ソフトロボティクスの新たな応用展開が拓けると期待され、ロボティクスにおける価値の高い研究成果であると認められる。

### 【最終試験の結果】

平成30年1月26日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

### 【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。