

氏名	脇元 修一
授与した学位	博士
専攻分野の名称	工学
学位授与番号	博甲第3384号
学位授与の日付	平成19年 3月23日
学位授与の要件	自然科学研究科基盤生産システム科学専攻 (学位規則第4条第1項該当)
学位論文の題目	柔軟機能要素の開発と柔軟索状ロボットへの応用
論文審査委員	教授 鈴木 康一 教授 則次 俊郎 教授 五福 明夫

学位論文内容の要旨

人体と物理的に接するロボットメカニズム、生体細胞を能動的に扱うバイオマイクロチップ、あるいはバイオミメティックメカニズムでは対象とする人・物に危害を加えない高い安全性や生物が備えた柔らかく滑らかな動作が可能なソフトメカニズムが求められているが、その要素技術と成り得る柔軟なセンサの開発は十分ではない。

この背景を踏まえて本研究では導電性樹脂膜から成る柔軟センサの開発を行い、ソフトアクチュエータへの搭載を行うと共に、柔軟索状ロボットへの適用を行った。

カーボン、樹脂バインダ、トルエンを原料とする導電性ペーストから成膜される導電性樹脂膜によって、柔軟変位センサと柔軟圧力センサの製作を行った。

柔軟変位センサを内蔵した2本のMcKibben型アクチュエータを拮抗型に配置し、ロボットアームの回転角度の制御を実現した。さらに、曲面に対しても任意形状にセンサが形成できるペーストインジェクションシステムを構築することで、円筒形状であるFMAの側面に対して、センサの形成を行い、変位制御を実現した。これらの制御では対面に配置されているセンサの差を利用する新しい制御則を開発することで、センサ特性の改善を実現している。

次に柔軟圧力センサをMcKibben型アクチュエータに内蔵し、アクチュエータの制御を行った。センサ特性はゴムのクリープ現象の影響を受けるため、力学モデルによって補償する手法を考案した。この力学モデルを用いることによって、McKibben型アクチュエータの圧力制御、及び自然長における力制御を実現した。

また、正弦波駆動と呼ぶ狭隘部において有効な索状ロボットの駆動メカニズムを提案し、剛体リンクと電磁モータからなるロボットを用いて、その有効性を確認すると共に、構成要素が複数のMcKibben型アクチュエータとPET板という柔軟な素材から成る柔軟索状ロボットに適用した。このロボットは剛性の高い材質が一切使用されていないため、生物に近い滑らかさと柔軟性を有しており、陸棲生物であるヤスデと水棲生物であるウナギの駆動方法と同原理によって、陸上、水中において推進が可能であることを確かめた。

更に柔軟索状ロボットの高機能化を実現するために、導電性樹脂ペーストからなる柔軟センサをロボットに搭載した。

センサを利用することで移動経路幅の推定と力制御という機能を実現した。前者はロボットが移動する経路幅をセンサによってあらかじめ認識し、アクチュエータへの印加圧を決定する方法であり、後者はロボットの駆動中に経路幅が様々に変化した場合においても、経路壁とロボットに過剰な負荷を生じさせない制御方法である。

これらの機能を実現することによって柔軟索状ロボットの安全性を更に高めることに成功した。

論文審査結果の要旨

人体と物理的に接するロボットメカニズム、生体細胞を能動的に扱うバイオマイクロチップ、あるいはバイオミメティックメカニズムでは、柔らかく滑らかな動作が可能なソフトメカニズムが求められている。本研究では、導電性樹脂膜から成る柔軟センサを柔軟アクチュエータへ形成してサーボ系を構築するとともに、柔軟索状ロボットへ適用してその有効性を実証した。

まず、曲面形状を持つ柔軟アクチュエータ表面に任意形状にセンサを形成できるペーストインジェクションシステムを構築し、McKibben 型アクチュエータと FMA 型アクチュエータに対して変位センサを形成して変位制御を実現した。また、対向する位置に 2 つの柔軟センサを形成し、そのセンサの出力差を制御信号として用いることにより、センサの持つクリープ特性や非線形性を補償したサーボ系を実現できることを示した。

また、柔軟圧力センサを McKibben 型アクチュエータに内蔵することに成功した。ゴムのクリープ現象を力学モデルによって補償する手法を考案し、アクチュエータの力制御を実現した。

本論文では、これらの要素技術を柔軟索状ロボットに適用し、柔軟センサを内蔵する全ポリマー製の柔軟索状ロボットを実現した。

まず、複数の McKibben 型アクチュエータをシリーズに結合した柔軟索状ロボットを構築し、ヤスデとウナギの移動方法と対比させながらその運動を解析し、その運動と進行波の生成法を明らかにした。次に、開発した技術を利用して柔軟索状ロボットの構造の一部に導電性樹脂ペーストからなる柔軟センサを形成し、このセンサからの信号を利用することで移動経路幅の検出と押し付力制御を実現した。この実験により、全ポリマー製で、センシング/制御機能を有する柔軟ロボットを実現できることを実証した。

以上のように本論文は、柔軟アクチュエータへの柔軟センサの形成とこのセンサを利用したサーボ系の構築方法を明らかにするとともに、実際のロボットへの適用実験によってその有用性を実証したものであり、博士(工学)の学位論文として認められる。