



Title	ヒト手指を手本とした導電性ナイロン繊維によるセンサおよびアクチュエータに関する研究
Author(s)	厚海, 慶太
Citation	大阪大学, 2023, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/92204
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏名 (厚海慶太)	
論文題名	ヒト手指を手本とした導電性ナイロン繊維によるセンサおよびアクチュエータに関する研究
論文内容の要旨	
<p>ヒトの手指によって実現される「匠の技」と呼ばれるような卓越した技能を保存・継承するためには、究極的には、ヒトと完全に一致した感覚（センサ）機能と運動（アクチュエータ）性能の両方を備えた人工物としての手指ロボットが必要である。</p> <p>近年、ナイロンなどの樹脂繊維に強いねじりと熱処理を加えて作られる SCP (Super Coiled Polymer) アクチュエータが注目されている。特に、銀めっき処理で導電性が付与されたナイロン繊維マルチフィラメント製のミシン糸（以下、導電糸）を材料として利用すると、Joule 热によって動作を電気的に制御できる。さらに、導電糸は無加工の状態でも伸縮センサ等として利用できる興味深い機能性材料でもあり、目指すべきロボットを構成する基本的なセンサ・アクチュエータ材料として非常に有望と考えた。</p> <p>以上を踏まえ、本学位論文は以下の3部により構成される。</p> <p>【主論文1】ヒトをロボットの一種と見做し、その動特性や運動戦略を知ることは、目指すロボットの理想形を知ることと等価である。そこで、筋シナジー仮説と平衡点仮説に基づき、機能的電気刺激を用いて等尺性条件下の手指MP関節における神経筋系の伝達関数を取得し、モデル化を試みた。</p> <p>【参考論文】導電糸による伸縮センサ（人工筋紡錘）の応用例として、マスクに複数の導電糸を取り付け、その変形を計測した結果から表情識別を試みた。</p> <p>【主論文2】導電糸を原材料としたSCPアクチュエータ（人工筋繊維）は製品として流通しておらず、必要に応じて半ば手作業で製作せざるを得ない現状である。そこで、施撲から熱処理まで一貫して連続処理できるアクチュエータの全自動製造装置を開発し、入手体制を確立した。</p> <p>これらの成果は、筋束や筋紡錘など筋繊維組織によって形成される生体組織について、形状および機能の両面から同時に模倣することを可能とし、より再現度の高い忠実な手指ロボットの実現へと続く新たな布石と考えている。</p>	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏名 (厚 海 慶 太)	
	(職)
論文審査担当者	主査 教授 西川 敦 副査 教授 大城 理 副査 教授 垂水 龍一

論文審査の結果の要旨

近年、ナイロン繊維表面に銀めっき処理を施し導電性が付与されたマルチフィラメントのミシン糸（以下、導電性ナイロン繊維）が上市されている。導電性ナイロン繊維は、導線の性質と糸の性質を兼ね備え、無加工で変位センサとして機能するのみならず、強いねじりと熱処理を加えることによりジュール熱によって電気的に制御可能なアクチュエータとしても利用できることが報告されており、次世代ソフトロボットの新たな基本構成要素となり得る有望な機能性材料である。本論文は、ヒトの手指を手本として、手指ロボットのセンサおよびアクチュエータとして導電性ナイロン繊維を活用するための基盤技術に関する3つの研究成果をまとめたものである。

(1) ヒト筋骨格系を構成する拮抗筋ペアの筋電位の比（筋拮抗比）および和（筋拮抗和）が、対応する関節角度の平衡点および関節剛性とそれぞれ密接な関係があるとする平衡点仮説に基づいて、拮抗筋ペアに対する電気刺激強度を決定する機能的電気刺激法（FES）が考案され、このFESに基づいて肘関節ならびに足関節運動にかかる神経筋系モデルがすでに導出されている。本研究では、この方法を手指関節の拮抗筋ペアに新たに適用し、等尺性条件下での手指関節運動にかかる神経筋系モデルを導出した。本モデルを従来モデルと比較検討することで、肘関節・足関節・手指関節運動にかかる筋の大きさの違いおよび筋腹と筋腱部の長さの比の違いが系の特性の違いを生んでいる可能性を定量的に見出した。本成果は、ヒトの運動制御の理解という観点のみならず、生体組織を模倣した筋骨格ロボットを構成する上での1つの指針となり得るという意味でも意義深い。

(2) 複数の導電性ナイロン繊維を不織布マスク表面に取り付け、マスク装着時の表情変化に伴うひずみを計測して表情識別を試みた。一般的な高精度ひずみセンサが適していない大きな曲げを伴うような変位を、生体に対する安全性を確保しながら低コストで簡便に計測できること、および、機械学習アルゴリズムを適用することで、高い精度でマスク装着中の表情識別ができる事を示した。マスクを柔軟な面状エンドエフェクタ、顔面を対象物体と考えたとき、次世代ロボット用手先ツールとしての本成果の応用展開が期待できる。

(3) ナイロン繊維に強いねじりと熱処理加工を施して製造される Super Coiled Polymer (SCP) アクチュエータは、原材料が安価に入手できることやその優れた諸特性から、ロボットの新しい人工筋としての応用が有望視されているが、量産・市販されている製品はいまだ存在せず、本質的な連続製造や完全自動化には至っていないかった。本研究では、従来型撚糸機の流用では困難だった特殊な撚糸状態の形成工程と熱処理工程を一元的に連続して処理できる専用の製造装置の開発に成功した。本装置によって、市販の導電性ナイロン繊維から長大なSCP アクチュエータを大量に自動製造することが可能になり、次世代ロボット研究への足掛かりとして極めて有用な成果が得られた。

以上のように、本研究は、生体模倣ロボティクスならびにソフトロボティクス分野の発展に大きく貢献するものであり、博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める。