

氏名	永瀬 純也
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4422号
学位授与の日付	平成23年 9月30日
学位授与の要件	自然科学研究科 産業創成工学専攻 (学位規則第5条第1項該当)
学位論文の題目	空気圧剛性可変フィンガを有する腱駆動ロボットハンドの開発
論文審査委員	教授 鈴森康一 教授 則次俊郎 教授 五福明夫 准教授 神田岳文

学位論文内容の要旨

2021年には日本の総人口における高齢者の割合が30%にまで達する見込みであり、それに伴う若手の労働力人口の減少や介護者の増加などの問題を考えると、介護・福祉現場におけるロボットの需要は今後ますます高まる傾向にある。このような中で、ロボットハンドにおいては人間との接触や協調作業は必要不可欠となるために、安全性が最も重要視される。そのため、受動変形要素を有する空気圧人工筋アクチュエータを用いたロボットハンドの研究が数多く行われている。特に日常生活の支援動作を行う場合はそれらに加えて、器用な操り動作や、柔軟な対象物の把持、および摩擦を利用した動作など、様々なタスクが求められる。そこで本研究では、操り動作と柔軟把持動作、および摩擦を利用した動作と滑り動作に対する、それぞれの相反する要求仕様の問題を解決するために、ロボットハンドのフィンガの各体節を、表面剛性が自在に変化可能な剛性変化デバイスで構成することにより、フィンガ表面の剛性変化により目的や用途に応じて柔らかさや滑り易さが調節可能な小型・軽量のロボットハンドの開発を行った。

本論文では、まず、ロボットハンドのためのアクチュエータとして開発した空気圧バルーン型バルーンアクチュエータの基本構成と駆動原理について述べ、さらに基礎特性と生物学的特性の実験評価を行った。実験の結果、バルーンアクチュエータは従来の人工筋アクチュエータと比較して、発生力-自重比およびストローク-自重比が特に優れていることが確認できた。

そしてこのバルーンアクチュエータを用いた、フィンガの体節を剛性変化デバイスで構成した空気圧剛性可変フィンガを有するロボットハンドの開発について検討した。開発したロボットハンドは、質量が0.27kgと成人男性の人間の手より軽量であり、本ハンドにより把持動作やつまみ、手掌支え動作等が可能である。また、このロボットハンドはフィンガ内への空気圧が無印加時にはシリコンチューブで構成された柔らかな体節により柔軟な把持が可能であり実験ではヒトの手で把持した場合と同等の接触面積が得られていることを確認できた。さらに、空気圧の印加によって剛性を変化させることによりフィンガ表面の静止摩擦係数が調節可能であることを実験により確認し、ページめくり動作や人体のなぞり動作の可能性を示唆した。

次に、開発したロボットハンドにより様々な把持動作を行っていくために、剛性可変フィンガの力制御系を構築した。PFC制御系を用いたフィンガの接触力の制御実験を行った結果、オーバーシュートは5~10%程度に収まり、整定時間は0.4~1.2s程度の結果となった。また、フィンガ表面の剛性を変化させても、制御特性への影響は見受けられず、本PFC制御系が高いロバスト安定性を有することを確認し、日常生活支援を目的としたロボットハンドのための力制御系としての有用性を示唆した。

論文審査結果の要旨

介護・福祉現場において、ロボットと人間との接触や協調作業を安全に行うための新しいロボットメカニズムの需要が高まっている。このような用途では、精密な操り動作と柔軟把持動作、および、摩擦を利用した動作と滑りを利用した動作、等々、相反する動きがロボットハンドに求められる。本研究ではこのような状況を踏まえ、ロボットハンドを構成する各フィンガの体節を、表面剛性が自在に変化可能な剛性変化デバイスで構成することにより、目的や用途に応じて柔らかさや滑り易さが調節可能な小型・軽量のロボットハンドの構成法を新たに提案し、実現した。

まず、ロボットハンドのためのアクチュエータとして、空気圧バルーン型アクチュエータとよぶ新しいアクチュエータを考案し、その基礎特性と生物学的特性を理論と実験の両面から検討し、従来の人工筋アクチュエータと比較して、発生力-自重比およびストローク-自重比が特に優れていることを実証した。

次に、このバルーン型アクチュエータを用いた腱駆動ロボットハンド用に剛性変化デバイスとフィンガを設計し、ヒトの手と同程度の大きさのロボットハンドを構成した。このハンドにより把持動作やつまみ、手掌支え動作等が可能であることを示すとともに、把持実験を行った結果、フィンガが低剛性の時には柔軟な把持が可能であり、ヒトの手で把持した場合と同等の接触面積が得られることと、一方、フィンガの剛性を高めるとフィンガ表面の静止摩擦係数が調節可能であること、を具体的なデータで実証した。

剛性可変フィンガの力制御を行うために、PFC 制御に基づく力制御系を開発した。その結果、実用的に十分な応答性を実現できること、フィンガ表面の剛性を変化させても制御特性への影響は見受けられず、開発した制御系が高いロバスト安定性を有することを示した。

このように、本研究は、これまでにない新しい空気圧アクチュエータ、剛性可変フィンガ、ならびにそれらの制御系の設計法を具体的に示すとともに、その特性を理論と実験の両面から明らかにしたものである。この成果は、操作性と安全性に優れた実用的な新しいロボットハンド実現への道を拓くものである。

本学位審査委員会は、学位論文の内容ならびに参考論文等を総合的に判断し、博士(工学)の学位に値するものと判断する。