

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	人体荷重下を無摺動で滑り込む柔軟空圧マニピュレータと介護支援への応用に関する研究
Title(English)	A Study on a Flexible Pneumatic Manipulator Capable of Sliding Under Human Body and Its Applications for Nursing Care
著者(和文)	中村知行
Author(English)	Tomoyuki Nakamura
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11089号, 授与年月日:2019年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:塚越 秀行,鈴森 康一,伊能 教夫,山北 昌毅,遠藤 玄
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11089号, Conferred date:2019/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	要約
Type(English)	Outline

人体荷重下を無摺動で滑り込む柔軟空圧
マニピュレータと介護支援への応用に関する研究

A Study on a Flexible Pneumatic Manipulator

Capable of Sliding Under Human Body and Its Applications for Nursing Care

指導教員：塚越 秀行 准教授

東京工業大学大学院 理工学研究科

機械制御システム専攻 博士後期課程

中村 知行

論文の和文要旨

論文題目

人体荷重下を無摺動で滑り込む柔軟空圧 マニピュレータと介護支援への応用に関する研究

A Study on a Flexible Pneumatic Manipulator

Capable of Sliding Under Human Body and Its Applications for Nursing Care

本論文は「人体荷重下を無摺動で滑り込む柔軟空圧マニピュレータと介護支援への応用に関する研究」と題し、全7章から構成されている。

第1章「序論」では、本研究の背景、意義、目的および構成について述べている。長期臥床の患者をかかえる介護現場では、背中とベッド面との間に介護者が前腕を挿入し、皮膚を擦らずに衣服のしわを除去する背抜きが2時間毎に行われている。この作業は、褥瘡予防のために不可欠である反面、介護者の負担となっている現状を鑑み、機械装置による背抜きの自動化を試みる意義と必要性を指摘している。また、介護者による背抜きは、体圧分布を変える効果や患者の肌に触れるタッチケアの効果も伴うとされており、機械装置でもこれらの効果の創出が望まれると述べている。以上を踏まえ、本研究の目的は、人体荷重下を無摺動で滑り込む繰り出し機能と、体位変換支援や人体把持動作を行うための屈曲機能とを具備した柔軟空圧マニピュレータの構成・設計製作方法・制御方法を提案し、臥床者の背抜きに適用するうえでの有効性を検証することであると述べている。

第2章「Slip-in Manipulator の提案とその動作原理」では、「Slip-in Manipulator」と名付けた柔軟空圧マニピュレータの構成を提案し、その動作原理と製作方法を説明している。柔軟袋構造を成す当該マニピュレータは、2つのチャンバの内部にワイヤと電気モ

ータを内包した構成を基本とし、空圧の印加による繰り出し動作と屈曲動作、および電気モータの巻き取りによる収納動作の3動作を生成すると述べている。マニピュレータは、3層のウレタンラバーシートの上にシリコンシートを挟む層状構造を熱溶着することで製作でき、屈曲動作時の折りひだを繰り出す際の抵抗の軽減と人体荷重を支える際の耐久性とを備えた構造になると述べている。

第3章「繰り出し動作の特性と制御」では、人体荷重下へアクセスするための繰り出し動作の特性と制御手法について論じている。まず、繰り出し動作の動作特性として、マニピュレータの推進力・中心位置の高さの推移・挿入時の推進プロセスを明らかにし、人体腹部を模した簡易モデルによる実験をもとに、人体荷重下に挿入可能となる設計条件を明らかにしている。次に、ベッド面上の臥床者に適用した際の実験をもとに、接触面の変形や人体の断面形状がマニピュレータの挿入性能に及ぼす影響を明らかにし、その性能向上のためにマニピュレータの挿入角度を適切に選択する必要性を述べている。さらに、繰り出し動作および収納動作における推進速度を適切に調整するための制御手法を提示し、その有効性を実験により確認している。

第4章「屈曲動作とその動作特性」では、マニピュレータの屈曲動作の特性と特性改善の方策について論じている。まず、空圧の印加により折りひだ構造で生成される屈曲トルクと屈曲角の数式モデルを提示し、その妥当性を実験により確認している。次に、人体把持動作への適用を想定し、マニピュレータのサイズや駆動圧力を変えずに屈曲角や屈曲トルクを増加させる手法として、複数の折りひだの直列配置構造や空圧とワイヤ牽引との複合駆動を提案し、その有効性を実験結果とともに示している。

第5章「把持力のセンシングと制御」では、前章で述べた複数の折りひだ構造による屈曲動作を人体の把持動作に適用することを想定し、把持力のセンシング手法と制御手法を論じている。まず、把持力のセンシング手法として、マニピュレータの外面に配置された小型エアバッグの内圧変化の計測により、間接的に把持力を推定する手法を提案している。次に、マニピュレータと一体化した小型エアバッグの製作方法、把持力を推定する数式モデル、把持力の制御手法を提示し、実験によりそれらの妥当性を確認している。

第6章「介護支援への応用」では、提案手法をもとに製作した Slip-in Manipulator の仕様を示したうえで、介護現場に導入するための2種類の適用事例を提示している。まず、折りひだ1つの構造を臥床者の背抜き作業に適用した場合、ベッド面に接する衣服のしわの除去効果、および体位変換支援による体圧分布変化の効果が生じることを実験により確認している。次に、折りひだ3つの双腕構造を抱き枕型ロボットに適用した場合、臥床者および座位者の背面にマニピュレータを挿入後、適切な把持力で人体を把持できることを確認しており、今後高齢者のバイタルサインの計測やタッチケアに適用するうえでの展望を述べている。

第7章「結論と今後の展開」では、各章で得られた知見を総括し、本研究の有用性を述べると同時に残された課題と今後の展望について述べる。

結論

本研究では、人体荷重下を無摺動で滑り込む繰り出し機能と人体を優しく抱き込む屈曲機能とを具備した Slip-in Manipulator の機構と制御手法を提案・具現化し、その介護支援の応用可能性を示すことを目的とした。

第1章「序論」では、本研究の背景、意義、目的および構成について述べた。従来の介護支援機器・ロボットにおける課題、介護現場で人体と触れ合う実用的なロボット技術を導入するうえで要介護者の人体荷重下に安全にアクセスする方策の必要性を指摘し、その実現のための新しいロボット技術として、植物の根や星口動物等が土中を進んでいく動作に見られるような先端のみが成長する繰り出し動作に着目した。繰り出し動作は、外部環境に対して無摺動で推進可能なため、柔軟構造でありながら摩擦抵抗に屈せず人体荷重下を推進することができる。以上を踏まえて、人体荷重下を無摺動で滑り込む繰り出し機能と人体を優しく抱き込む屈曲機能とを具備した柔軟空圧マニピュレータを新たに開発する意義を示した。

第2章「Slip-in Manipulator の提案とその動作原理」では、人体荷重下を無摺動で滑り

込む繰り出し機能と人体を優しく抱き込む屈曲機能とを具備した「Slip-in Manipulator」と名付けた新しい流体駆動マニピュレータを提案した。そして、提案するマニピュレータが備える繰り出し動作・収納動作・屈曲動作の基本動作原理をそれぞれ示したうえで、その動作を実現するための構成要素やその製作方法、設計での要求仕様について論じた。

第3章「繰り出し動作の特性と制御」では、人体荷重下へアクセスするための繰り出し動作の特性と収納動作の特性そして、それぞれの制御手法について論じた。繰り出し動作における推進力 F_m は、断面積と内圧の積である F_p で簡易にモデル化できるが、厳密なモデル化では、シート材料の曲げ抵抗 FR 等を考慮する必要があることを示した。繰り出し動作によって推進動作を行う条件として、(i) 繰り出し中心点の延長線上に隙間が存在し、(ii) 推進力 $F_m > 0$ となることを明らかにした。そして、繰り出し中心点は隙間によって推移し、この推移動作は人体との接触面積を増加させ持ち上げる力を増加させることに寄与することを論じた。人体を持ち上げるときの力学的条件を導出し、実験により妥当性を確認した。条件式より、マニピュレータの直径 D を決定し、人体荷重下へ推進できることを示した。収納動作については、マニピュレータの内圧や構成するシートの厚み等を変更して実験を行い、張力は断面積と内圧の積によって簡単にモデル化できるが、シート材料も収納時の張力に影響を与えることを明らかにした。さらに、マニピュレータの繰り出し・収納動作を速度一定にするための制御系を設計し、繰り出し・収納速度の目標値と測定値が概ね一致することを確認した。

第4章「屈曲動作とその動作特性」では、繰り出し型マニピュレータに屈曲機能を付加するために、繰り出し動作を阻害しない屈曲動作機構について論じた。折りひだを利用した屈曲機構のトルク・角度に関する理論式を導出し、実験値との比較により導出した理論式の妥当性を検証した。そして、体位変換を支援する・人体を優しく抱き込むための屈曲動作の最適設計・制御方法を述べた。

第5章「把持力のセンシングと制御」では、マニピュレータの繰り出し・収納動作を阻害しない柔軟・薄型のエアバッグ式センシング機構を提案し、その製作手法とマニピュレータへの設置手法について述べた。製作したセンサの試作機をマニピュレータに実装し、繰り出し・収納動作を阻害しないことを確認した。そして、物体に対してエアバ

ッグによって把持力を検知しながら、適切な把持力で把持できることを示した。

第 6 章「介護支援への応用」では、マニピュレータに導入した基礎技術(繰り出し動作・屈曲動作・センシング手法)の介護支援への応用として、2 つの装置を提案した。一つは、i)寝具や衣類のしわや皮膚のツッパリを解消するための褥瘡予防装置、および ii) バイタルサインの計測やタッチケア効果誘発のために人体を適切な力で把持する抱き枕型ロボットである。これらの有効性を実験により検証した。

以上のように、人体荷重下へアクセス可能な新しい柔軟空圧マニピュレータを提案・実現し、その原理と設計手法を確立することができた。そして、提案したマニピュレータの特長を生かして介護支援への適用を通して、介護支援へ応用可能であると示せたことが本論文の結論である。

今後の展開

提案する繰り出し型柔軟空圧マニピュレータ Slip-in Manipulator の設計手法の今後の展開として次のような課題が挙げられる。

- ・ チャンバを構成する最適なシート材料の選定 (高耐圧・薄型・柔軟性等)
- ・ 収納動作の安定性向上 (収納動作時における座屈を防止するための設計手法の確立 [材料の選定・巻き取り機構の設計・制御手法等])
- ・ 繰り出し・屈曲動作の同時実現のための制御手法の確立

Slip-in Manipulator を用いたアプリケーションの今後の展開として、次のような課題および展開が挙げられる。

- ・ 衣類のしわ等の除去・寝返り支援への応用。複数被験者による評価実験
- ・ 実験により数値的限界を調べる。※70[kg]までの被験者の挿入実験に成功。

- ・ 仰臥位や側臥位等さまざまな姿勢の被験者に対しての評価実験

※仰臥位での実験のみしか行っていない.

- ・ 除圧の完全自動化を行うために臥床位置や臥床姿勢といった臥床状態に合わせて挿入位置や挿入角度を制御する技術
- ・ 繰り出し動作を利用することにより安定した把持グリップへの応用、設計手法・評価実験
- ・ 人に対して力学的に働きかける抱枕型ロボットへの応用、 評価実験:バイタルサインの計測を行うこと・心拍や脳波によるタッチケア効果の検証