

論文 / 著書情報
Article / Book Information

| | |
|-------------------|---|
| 題目(和文) | 油圧人工筋肉を用いたパワーソフトロボットの開発 |
| Title(English) | |
| 著者(和文) | ヒョウ ウンコウ |
| Author(English) | Yunhao Feng |
| 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12183号, 授与年月日:2022年9月22日, 学位の種別:課程博士, 審査員:鈴森 康一,岩附 信行,武田 行生,塚越 秀行,遠藤 玄 |
| Citation(English) | Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12183号, Conferred date:2022/9/22, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,, |
| 学位種別(和文) | 博士論文 |
| Category(English) | Doctoral Thesis |
| 種別(和文) | 論文要旨 |
| Type(English) | Summary |

(博士課程)

Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： 機械 系
Department of Graduate major in: 機械 コース
学生氏名： Feng Yunhao
Student's Name

申請学位(専攻分野)： 博士 (工学)
Academic Degree Requested Doctor of
指導教員(主)： 鈴森 康一
Academic Supervisor(main)
指導教員(副)： 遠藤 玄
Academic Supervisor(sub)

要旨(和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本研究では、鈴森が提案する「パワーソフトロボット」という新たなロボットのうち、従来の産業用ロボットより軽量な構造とよりシンプルな制御方法で、高い先端荷重能力を持つ「力強さ」、およびアーム先端に受動的コンプライアンスが有する「柔らかさ」を兼ね備えたロボットの実現に注目した。このようなパワーソフトロボットの駆動に適した高出力ソフトアクチュエータとして、本研究はより高い圧力を印加できる非圧縮性流体を用いた油圧マッキベン型人工筋肉に注目した。本論文では、「力強さ」と「柔らかさ」の両方を兼ね備えた安全性の高いパワーソフトロボットの実現を研究目的とし、油圧人工筋肉拮抗関節で「力強さ」と「柔らかさ」を実現するメカニズムとその設計法の判明、およびこれらの特性をさらに向上する筋肉特性を考慮した制御手法の提案、かつ多自由度パワーソフトロボットの実証実験により、その可能性を実証した。

第1章では、研究背景と先行研究での課題、ならびに本研究の目的について述べた。「パワーソフトロボット」の位置づけと本研究の目標、空圧マッキベン型人工筋肉に関する先行研究と油/水圧マッキベン型人工筋肉に関する先行研究について従来の研究をまとめた。高圧の水/油圧人工筋肉拮抗関節を持つ多自由度ロボットの開発例が存在しないため、多自由度の水/油圧人工筋肉ロボットの実用性が実験的に検証されていないという現状を述べた。

第2章では、新たに開発した耐久性の高い外部繊維編組角 30 度の油圧人工筋肉について述べた。この人工筋肉は、作動流体圧 5.0 MPa で最大約 2800 N の収縮力を発生でき、バルブ完全閉め状態でも微小の変位に対してコンプライアンスがあることを示した。また、油圧人工筋肉による拮抗関節の近似モデルを提案した。近似モデルを用いて四つの差圧を制御することで位置とトルクを制御でき、さらに平均圧力を制御することでコンプライアンスも調整できることを示した。また、空圧人工筋肉関節との安全性比較実験から、非圧縮性流体を用いた油圧人工筋肉関節の負荷変動への感度が低いために空圧人工筋肉より安全であることを実証した。

第3章では、拮抗関節用サーボバルブ構成法について述べた。位置制御とトルク制御の観点からシングルサーボバルブ構成とデュアルサーボバルブ構成の長所と短所を実験的に明らかにした。シングルサーボバルブ構成はコスト面で優れているが、デュアルサーボバルブ構成では位置やトルクを制御する同時に受動的なコンプライアンスも調整できることを実証した。加えて、拮抗関節は動作中に負荷と反対側の筋肉を伸展させる際の減圧・加圧による振動を発生しやすいが、オーバーラップサーボバルブはこの不安定さを抑制できることを示した。

第4章では、コンプライアンス構造と非圧縮性流体の特性を利用し、ブレーキ付きインピーダンス制御という新たな制御手法を提案した。この手法は、拮抗関節本来の受動的コンプライアンスとインピーダンス制御を合わせることで、関節が簡単に外力で移動できるようになる。また、先端の重量物が落下しても空圧筋の関節のように急に跳ね上がることはない。一方、想定した場合に応じてパラメータを調整することで、衝撃的な外力が加わった際に、拮抗関節を変位させることにより衝撃を和らげるとともに、反対側の筋肉の圧力ピークを効果的に低減でき、筋肉の破裂リスクを減少できることを示した。

第5章では、油圧人工筋肉の性能を最大に発揮するという視点で、トルク余裕最大化手法と呼ぶ新しい制御手法を提案した。デュアルクォータニオン逆運動学を適用し、圧力差最小位置の算出方法と新たな評価指標を提案した。圧力差最小位置は現在の関節位置と左右筋肉の圧力から算出したトルク余裕が最大になる位置で、新たな評価指標は各関節のこの圧力差最小位置が最小値になるような指標であり、冗長性を利用して各関節を最小値である各圧力差最小位置に近づけることで、トルク余裕を増加させることができる。本手法のより、アーム全体に対してトルク余裕の増加効果が確認された。

第6章では、7 自由度のパワーソフトロボットの設計、および各関節の特性について述べた。数値解析と実験両方の結果から、可搬質量実験結果からパワーソフトロボットの 25 kg の質量を目標作業点付近に移動できるような高い力自重比、および制御のない状態でも人間が比較的容易にロボット先端を移動できる 1 mm/N 前後受動的コンプライアンスが有することを実証した。次に、トルク余裕最大化効果実験結果から、冗長性を利用してトルク余裕の増大効果、および 29 本の筋肉にわたる最大圧力の減少効果を確認した。最後に、耐衝撃性実験、運搬実験及びはつり作業実験から、本ロボットの高い安定性、コンプライアンスおよび耐衝撃性を実証した。

第7章では、第2章から第6章の結果から得られた結果を整理し、本研究が想定したパワーソフトロボットの領域に達したことが確認された。本論文は「力強さ」と「柔らかさ」を兼ね備えた安全性の高い油圧人工筋肉を用いたパワーソフトロボットのハードウェア構成と制御手法に有用な知見を提供するものであることを述べた。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： 機械 系
Department of Graduate major in: 機械 コース
学生氏名： Feng Yunhao
Student's Name

申請学位(専攻分野)： 博士 (工学)
Academic Degree Requested Doctor of
指導教員(主)： 鈴木 康一
Academic Supervisor(main)
指導教員(副)： 遠藤 玄
Academic Supervisor(sub)

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

Power soft robots are novel robots driven by powerful soft actuators, achieving both powerfulness and softness. The hydraulic McKibben artificial muscle is an approach to actuating a power soft robot. This study aims to realize a multi-DOF power soft robot with "powerfulness", meaning high payload capacity, and "softness", meaning sufficient passive compliance, with a lighter structure and simple control methods than conventional industrial robots. First, we investigated the mechanical realization of "powerfulness" and "softness" of antagonistic joints driven by hydraulic artificial muscles. Then proposed control methods that further improve these characteristics, considering the features of the hydraulic muscle and the antagonistic actuation.

The first chapter describes the background and the objectives of this study. Chapter 2 describes the characteristics of newly developed high-pressure 30-degree braided hydraulic muscle, modelling a single antagonistic joint, and conducted comparisons with a joint driven by pneumatic ones. Chapter 3 describes the dual/single zero/overlapped servovalve configuration comparisons for controlling an antagonistic joint. Chapter 4 describes a proposal of impedance control with a braking method to enhance the "softness" of an antagonistic joint using its passive compliance. Chapter 5 proposes a new control method for maximizing joint torque margins that utilize redundancy to reinforce the "powerfulness" of a multi-DOF power soft robot. Chapter 6 describes the design and analysis of the developed 7-DOF power soft robot driven by 29 hydraulic artificial muscles and the results of demonstration experiments. In Chapter 7, we summarize the results from Chapters 2 to 6, which confirm the realization of the power soft robot envisioned by this study.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).