

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:鈴木 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)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第		号	学位申請者氏名		FENG YUNHAO	
論文審査 審査員		氏名		職名		氏名	職名
	主査	鈴森康一		教授	審査員	塚越秀行	教授
	審査員	遠藤玄		教授			
		岩附信行		教授			
武田行生			教授				

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「油圧人工筋肉を用いたパワーソフトロボットの開発」と題し、以下の7章からなる。

第1章「序論」では、本研究の背景と目的について述べている。「力強さ」と「柔らかさ」の両方の特性を兼ね備えたパワーソフトロボットは従来ほとんどなく、その開発の重要性について述べている。具体的には、大きな収縮力とコンプライアンスを有するマッキベン型油圧人工筋肉に着目し、この特性を利用して、大きな可搬力と高いコンプライアンスを持つ多自由度ロボットアームを実現するための機構と制御の設計法を示し、その有用性を実証することが本研究の目的であると述べている。

第2章「編組角 30 度油圧人工筋肉を用いた拮抗関節」では、パワーソフトロボットに適した油圧人工筋肉とこれを用いた拮抗関節の設計について述べている。まず、パワーソフトロボットではとりわけ高い耐久性を持った人工筋肉が必要であることを述べ、人工筋肉の編組角を大きくとることにより、収縮性能は低下するものの、人工筋肉の素材の力学的負担を大幅に低減できることを示している。次に、油の非圧縮性に注目し、油圧人工筋肉の特性を理解する上で、従来の空気圧人工筋肉とは異なる「等容積コンプライアンス」という概念が必要であると述べ、特性式を導出し実験でその妥当性を示すとともに、油圧人工筋肉を用いた拮抗関節が手先負荷の突然の除荷に対して安定動作することも等容積コンプライアンスで説明している。

第3章「拮抗関節用サーボバルブの構成法」では、サーボ弁を用いた油圧制御系の構成法について述べている。まず、拮抗する2本の人工筋肉を2つのサーボ弁で個別に駆動する場合と1つのサーボ弁の2つの出力ポートを使って駆動する場合について論じ、前者の駆動法においてスプール位置に微小なバイアスをかけることにより、関節のトルクとコンプライアンスを広範囲にわたって独立して制御できることを示している。次に、スプールのラップ量について論じ、オーバーラップ弁を用いると特に弛緩側の筋肉の振動を抑えることができ、関節の安定性に大きく寄与することを示している。この効果はトルク制御や高フィードバックゲインの位置制御において、より顕著となると述べている。

第4章「ブレーキ付きインピーダンス制御」では、拮抗関節の制御において、油圧人工筋肉の等容積コンプライアンスを利用した新しい制御手法を提案している。これは、関節の位置制御において、偏差が閾値よりも小さい領域ではサーボ弁のスプールを中立点に固定することで等容積コンプライアンスを発現させ、閾値を超えた領域ではインピーダンス制御が機能するように切り替える制御法であると述べている。これによって、動的な外力に対する関節のコンプライアンス特性が改善され、位置決め制御時のオーバーシュート量が低減するとともに、衝撃的な外力が加わった場合にも安定して動作することを実験で示している。また、小さな外力を加えることによって広い範囲で安定したバックドライブが行えることも示している。

第5章「冗長ロボットアームのトルク余裕最大化制御」では、油圧人工筋肉で駆動される冗長ロボットアームの逆運動学解の決定法について論じている。油圧人工筋肉で駆動される関節の最大発生トルクはその回転角に大きく依存するため、冗長自由度を持つロボットアームの適切な逆運動学解を得るには、運動学と油圧人工筋肉の収縮力特性を同時に考慮する必要がある。本章では、拮抗する人工筋肉の圧力差を最小化する「トルク余裕最大化」と呼ぶ考え方を提案して、一部の人工筋肉に負荷が集中することがない逆運動学解を求める手法を示し、数値計算でその有効性を示している。

第6章「7 自由度パワーソフトロボットの試作と実験」では、前章までに述べた結果を総合して7自由度のロボットアームを試作し、その性能と有効性を論じている。試作したアームは最大全長 1.8 m で7関節を持ち、合計 29 本の油圧人工筋肉で駆動される。まず、試作したロボットの可搬力、動作範囲、コンプライアンスを実験で示し、比較的近い大きさの産業用ロボットとほぼ同程度の可搬力、また、これまでに開発されたコンプライアンスを有するロボットとほぼ同程度のコンプライアンスを、同時に実現できることを示している。次に、トルク余裕最大化制御の適用実験、落下重量物受け止め実験、コンクリートはつり実験を行い、開発した機構と制御アルゴリズムが設計通り機能し、瞬間的な負荷変動や大きな外力負荷に対しても安定した動作が実現できることを実験で示している。

第7章「結論」では、本研究で得られた結果を総括し、今後の課題と展望について述べている。

以上を要するに、本論文は、油圧人工筋肉を用いたパワーソフトロボットの機構と制御に関する一設計法を示すとともに、7自由度ロボットアームに適用してその有効性を示したものであり、工学上、工業上貢献するところが大きい。よって本論文は博士(工学)の学位論文として十分な価値があるものと認められる。

注意:「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポータル(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。