

## 論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨の公表

学位規則第 8 条に基づき、論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

フリガナ 氏名 (姓, 名)	コジマ アキミチ 小島 景行	授与番号 甲 1598 号
学位の種類	博士(工学)	授与年月日 2022 年 9 月 25 日
学位授与の要件	本学学位規程第 18 条第 1 項該当者[学位規則第 4 条第 1 項]	
博士論文の題名	実用性を考慮した軽量装着型ロボットアームの提案と考察	
審査委員	(主査)李周浩 (立命館大学情報理工学部教授)	木村朝子 (立命館大学情報理工学部教授)
	満田隆 (立命館大学情報理工学部教授)	
論文内容の要旨	<p>本論文は、実用性を考慮した Wearable Robot Arm ( WRA )を提案し考察している。既存の WRA の問題である軽量化と操作性を改善することを目標とし、ユーザ負担やユーザとの協調作業範囲を考慮した WRA を検討している。具体的には、「軽量化と操作性を考慮した WRA のデザイン設計と評価」、「協調範囲に重きをおいた WRA の関節構成とリンク長の検討」、「ユーザ負担が少ない装着方法、装着位置の検討」を行い、「タスク評価実験」にて提案 WRA の有用性を評価している。</p> <p>最初に、「軽量化と操作性を考慮した WRA のデザイン設計と評価」において、作業時の人の腕の動きを基に、ロボットアームの関節に Passive と Active の 2 種類の関節を組み合わせた Assist Oriented Arm ( AOA )を提案し、軽量化と操作性の問題を改善した。アクチュエータを用いて動的に動くアクティブ関節と、ユーザが関節角度を制御するパッシブ関節の 2 種類を手先関節部分と根本関節部分に用いた。根本関節部分に用いたパッシブ関節は、関節を物理的に固定する機能のみ実装されており、これにより、軽量化が実現された。また、パッシブ関節は、ユーザが直接ロボットアームを把持し動かすため、誤操作によるユーザとロボットアームの接触の危険性を抑えた。提案手法の操作性や作業効率への影響をシミュレーションと実機の比較にて評価した結果、全ての関節を動的に可動した場合と 2 種類の関節を組み合わせた場合で有意な差は無く、軽量で操作性に影響の無い WRA としての有用性を確認した。</p> <p>検討した AOA の全長や、関節構成を最適化するため、日常のユーザ周囲で行うタスクの内、9 割を占める「持ち上げ」タスクを想定し、ユーザと AOA の協調範囲を基に AOA のリンク長と関節構成について検討を行なった。パッシブ部分とアクティブ部分の全長については、ユーザの作業範囲と拡張作業範囲の割合を基に検討し、パッシブ部分を 0.330 m、アクティブ部分を 0.317 m とした。関節構成については、Roll、Pitch、Yaw の組み合わせを考え、必要最小限の自由度を関節間のリンク長を変化させ協調範囲が最大になるように運動学を用いて関節構成、リンク長を検討した。その結果、関節構成は、パッシブ関節に 2 自由度、アクティブ関節に 3 自由度、グリップの姿勢制御用に 1 自由度用いた計 6 自由度が最小限必要であることを示した。これらの検討結果を基に実装した AOA は、「持ち上げるタスク」において最小限の関節構成や最適なリンク長を持つ WRA</p>	

	<p>の基準を定めることができた。</p> <p>次に、ユーザへの装着位置を網羅的に評価し、ユーザとの協調作業範囲、侵襲作業範囲を指標とし検討した。侵襲範囲と協調範囲の割合を基に評価した結果、肩上の3ヵ所と腰横の2ヵ所が、協調範囲が広く侵襲範囲が狭くなる装着位置の候補として選定された。選定した装着位置にAOAを装着する方法を応力解析にて評価し、ユーザへの応力が十分に分散する装着方法としてベストを用いてユーザの背面にAOAを固定する方法を定めた。この装着方法を用いて、選定した5ヵ所の装着位置を応力解析と被験者実験にて評価した結果を基に、腰横位置がユーザへの負担が少ない装着位置であることを確認した。</p> <p>最後に、WRAとしての有用性を示すために、これまで検討した内容を適用したAOAを開発し、評価実験を行った。被験者に、AOAを装着させ半田作業を行いWRAとしての有用性の評価を行った。その結果、作業においてAOAがWRAとして有用であることが示された。また、その他に電球取り換え作業や扉の開閉など様々な日常タスクに応用ができることを示し、軽量で安全な新しいWRAとしての可能性を示した。</p>
<p>論文審査の結果の要旨</p>	<p>本論文では、WRAにおける重量負担と操作性の問題を改善するために、動的と静的な関節を組み合わせAOAが開発され、既存のロボットマニピュレータと比べ40%以上の軽量化が実現された。また、静的な関節を用いた場合においても、すべて動的な関節を用いる場合と比べ操作性や作業効率に影響が無いことを、実験を通して示し、AOAの有用性を確認した。</p> <p>本研究で提案したAOAは、装着方法や装着位置について応力解析を用いて評価・検討を行ったため、装着時のユーザへの重量負担が軽減され、作業効率の向上が図れた。操作性の点では、AOAの操作時に、誤操作等によるユーザへの衝突の危険性を軽減することで安全性を向上したためWRAとしての実用性が向上できた。従来のWRAは、多種多様な形状および自由度をもつが、本論文はユーザの作業範囲との協調性を重視した最小限の関節構成、最適なリンク長を考慮したため、WRA設計の一般化に貢献した。これにより、従来は比較が困難な異なるタスクを目的として提案されたWRAの比較基準としてAOAを用いる事が可能となり、WRAのさらなる発展への貢献が期待できる。最後に、展望としてWRAの枠を超えて、壁や天井などの外部環境にAOAを取り付けることで、より多くの作業支援が期待でき、介護施設や農業等の安全性がより重要なシチュエーションにおいても活躍が期待できる。</p> <p>公聴会での口頭試問結果を踏まえ、本論文は本研究科の博士学位論文審査基準を満たしており、博士学位を授与するに相応しいものと審査委員会は一致して判断した。</p>

試験または学力確認の結果の要旨

本論文の審査に関して、2022年5月31日（火曜日）15時から16時にオンライン（Zoom）とびわこ・くさつキャンパスクリエーションコア3階実世界情報コース会議室でのハイブリッド形式で公聴会を開催し、学位申請者による論文要旨の説明後、審査委員は学位申請者に対する口頭試問を行った。審査委員および公聴会参加者より、パッシブ関節とアクティブ関節による操作性への影響、WRAとしての有用性、軽量化の評価方法や、WRAを用いる実用的なタスクなどについて質問がなされ、いずれの質問に対しても学位申請者の回答は適切なものであった。主査および副査は、公聴会の質疑応答を通して、学位申請者が十分な学識を有し、博士学位に相応しい能力を有することを確認した。

以上の諸点を総合し、審査委員会は、本学学位規程第18条第1項に基づいて、学位申請者に対し「博士（工学 立命館大学）」の学位を授与することが適当であると判断する。