

令和 2 年 5 月 26 日現在

機関番号：13501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K01559

研究課題名(和文) 3リンク型パラレルメカニズムを用いた上肢アシスト装具の開発

研究課題名(英文) Development of an assistive instrument for upper limb with three-linkage type parallel mechanism

研究代表者

寺田 英嗣 (TERADA, Hidetsugu)

山梨大学・大学院総合研究部・教授

研究者番号：40262646

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：上肢アシスト装具の肩部のアシスト機構に回転関節型パラレルメカニズム構造を用いた構造を提案し、従来装具のような特定方向のみの可動域から、肩関節の可動域を球面状に拡張することができるようにした。更に姿勢保持機構に使用するパラレルリンクロック機構のための、電磁ソレノイドとくさび効果を利用したメカニカルロック機構から構成される、ハイブリッドロック機構を新たに提案した。これにより筋力負荷を低減することが試作機により確認された。ここでは介護作業の一つである「体位交換」作業をモデル作業として、その動作を積分筋電位の値で比較した結果、上腕部で平均17%の筋電位低下が見られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

介護現場において、体位交換や車椅子やトイレへの移動の際の立ち上がり補助では、腰・肩・肘に大きな負担がかかるため、介護職員の職業病の大きな要因となっている。今回の開発により介助者の負担を軽減できる上肢アシスト装具の構造を示すことができた。更に電磁ソレノイドと金属ブロックのくさび効果を利用したメカニカルロック機構は他分野への応用も可能であり、機器の省エネルギー化が図れる。

研究成果の概要(英文)：We proposed an upper limb assist orthosis that uses a rotating joint parallel mechanism structure for the shoulder assist mechanism. The range of motion of the shoulder joint can be expanded to a spherical shape from the range of motion in a specific direction as with conventional appliances. In addition, we proposed a hybrid lock mechanism for parallel link lock mechanism used for posture holding mechanism, which is composed of electromagnetic solenoid and mechanical lock mechanism using wedge effect. It was confirmed by the prototype that this reduces the muscle load. Here, as a model work, "position change" work, which is one of the nursing work, was compared with the value of the integrated EMG. As a result, an average of 17% decrease in EMG was observed in the upper arm.

研究分野：福祉工学

キーワード：3リンク パラレルメカニズム くさび ソレノイド 姿勢保持機構 アシスト装具 上肢 会議支援機器

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

介護を必要とする高齢者は、年々増加しており、それに伴い介護職員の確保は喫緊の課題である。しかしその一方で、身体的負担も大きく離職者も非常に多いのが現状である。特にベッドにおける体位交換や車椅子やトイレへの移動の際の立ち上がり補助では、要介護者の体重を支える必要があることから、腰・肩・肘に大きな負担がかかり腰痛・肩痛・肘痛だけでなく、椎間板ヘルニアや上腕骨外側上顆炎を発症してしまう事例も見られる(図1参照)。このため上肢アシスト装具を用いて身体的負担を減らすことが求められている(図2参照)。



図1 立ち上がり介護時の身体的負担

2. 研究の目的

これまでに研究代表者らは人工膝全置換術後歩行リハビリテーション用アシスト装具(KAI-R)や、ばね駆動型立ち上がり支援装具を開発してきており、それらの知見に基づき介護者支援用には、長時間使用に耐えられるよう軽量かつ姿勢維持機能が必要であることが明らかになっている。このため任意の姿勢を保持できる機構を有し、かつ長時間使用に耐えるうる軽量かつ長時間駆動が可能な機構を実現することを目的とする。

その一方で、現在実用化(予定のものを含む)されているパワーアシストを目的としたアシスト装具は腰部アシストが主体であり、上肢アシストは軽作業に用いられるものだけしか存在しない。加えて肩部の運動範囲が球面状であり、また体位交換や車椅子移乗の補助の場合には、前方挙上180度から0度まで、また外転100度から0度までの広範囲動作が必要である。なお、内・外旋方向はこれらに比べれば動きが小さいため、装具内のクリアランスでも対処可能である。

これらを踏まえれば、装着型アシスト装具には被介護者の重量を支えるための脊椎保護機構および腰部保護カフ、上腕アシスト機構、前腕アシスト機構が必要となる。このためまず介護施設へのヒアリングおよび介護動作例の定量化を行い、必要な動作を決定する。その次に必要な機構設計条件を決め、これらの実現をするための機構試作および実証実験を行うとともに有効性を確認することが目的である。



図2 望まれる上肢アシスト装具使用による立ち上がり介護事例

3. 研究の方法

まず高速度カメラによる作業分析及び筋電位計測を用いた、動作範囲や人体干渉条件等の設計条件を定量化するとともにアシスト量の同定も行い、装具設計指標を明らかにする。特に介護施設協力により介護者の動作を定量化することは学術的にも意義が大きい。

また従来の上肢装具では特定方向可動域の構造の組み合わせであるため運動性に難があり、動きづらい方向や届かない姿勢が存在した。この問題を解決するために、肩関節アシスト構造の主要機構に2段3リンク型パラレルメカニズム構造を基本にした新たな3リンク機構を提案する。この機構は方向性のない任意の動きが可能である。なおこの3本のリンク配置が120度等配の場合は構造が実現されているが、人体に装着するためには人体との干渉があるため非対称形状にしなければならない。もしこの非対称形状が実現できれば、外骨格形状を取ることができるため、従来の球面ジョイント型のようなずれも発生しないことが独創的な点である。しかし、この非対称形状は数学モデル上でしか確認されておらず、さらに変数が非常に多くなるため超越方程式を解かないと解が出ないため、解析されなかった。そこで今回必要となる肩関節の動作範囲条件を利用して、新たに運動拘束条件を設定して計算を簡単にする手法を提案し、人体装着が可能な機構配置・寸法、動作制限範囲条件の最適化を図る手法を構築する。この手法はパラレルリンク機構を下肢装具に用いる際にも応用でき、学術的にも意義が大きい。

更にこれらを用いて外骨格パラレルリンク型肩関節装具およびロック機構を有する肘関節装具の設計・製作を行い、最終的には電磁クラッチを使用した能動関節装具を実現し(図3参照)、実証実験によりその有効性を検証するものである。本研究においては、肩部のアシスト機構にまた本装具が実現できることにより、アシスト可能な作業の範囲が広がり、介護現場だけでなく、農業支援、運輸・資材運搬支援機器としての応用も考えられることから、実用化の意義も大きい。

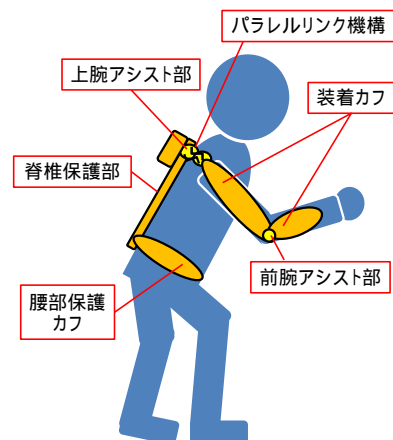


図3 望まれる上肢アシスト装具基本構造

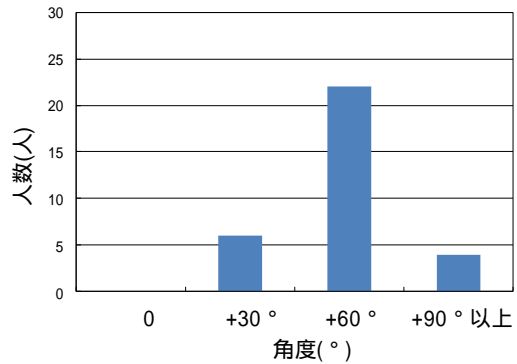
4. 研究成果

まず体位交換と車椅子への移乗の2つに代表される介護作業時の肩関節・肘関節動作解析を高速度カメラおよび画像解析評価装置を用いて行った。その結果、半球面の動きに近い広範囲の動作が必要であることが定量的に確認された。また介護施設における介護職員35名の動作について分析を行い、腕の外転運動では、上腕を体側につけた状態 0° とした場合、 $0^\circ \sim +60^\circ$ 、また屈曲運動でも $0^\circ \sim +60^\circ$ の動作をしていることが明らかになった(図4参照)。

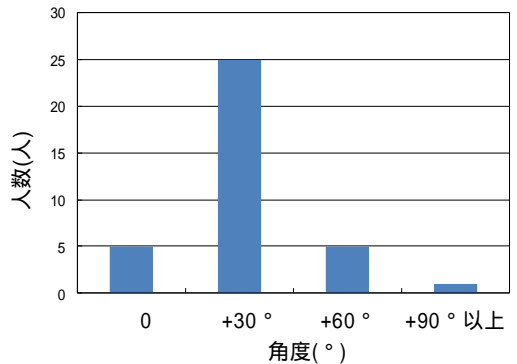
この結果に基づいた動作範囲を持つパラレルリンク機構について特異点解析を行うとともに非対称形状の実現のための肩関節シミュレーション解析を行った。この解析では人体のアームも一つのリンクとして拘束条件にして、これにより特異点を回避するための各リンクアーム長、初期配置位置および回転角を決定することができた。またこれらの解析結果に基づいて、体に沿うような外骨格パラレルリンク型肩関節装置を設計、試作を行った。特に体との干渉を防ぐために、一般的なリンク配置形状とは異なり非対称形状を有する形状とした。更に装置の軽量化を図るために、当初予定していたリハビリテーション機器用カフを使用せず、新たに研究代表者らが軽量なカフを設計することにより、従来よりも250g程度軽量化することができた。これは上肢の負担を減らすうえで効果が見られるものである。また、これを実際に装着して前述の画像解析装置で計測を行い、作業範囲が設計した範囲に到達しているかどうか検証を行い、十分な機能を有していることを確認した。

更に上肢にかかる力を補助するためには、実際には姿勢の維持で十分であることが動作解析結果から裏付けられたことから、姿勢保持機構に使用するパラレルリンクロック機構のための、電磁ソレノイドとくさび効果を利用したメカニカルロック機構から構成される、ハイブリッドロック機(図5参照)構を新たに検討しその基本制御手法を確立した。

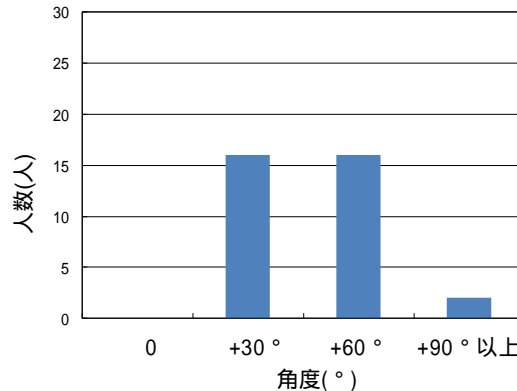
次に電磁ソレノイドと金属ブロックのくさび効果を利用したメカニカルロック機構から構成される、上肢支持リンクのハイブリッドロック機構を開発し、この試験機による特性評価を行い有効性と安全性を検証した。その結果、1か所あたり2.1Nmの静止トルクを発生することができ、片腕あたり3か所のロックを行うことを考慮すれば、上肢姿勢を保持するのに十分なトルクを発生できることを確認した。更に装着型アシスト装置に搭載できる小型機構の設計・製作を行い、両腕の姿勢保持が可能であることを実験用装置で確認することができた。特にソレノイド数を片側2個合計4個に削減することにより電力消費を $2/3$ に抑制できるようになった(図6参照)。また総重量も駆動用バッテリーを含めても2.8kgf未満にすることができた。またこのロック機構を能動的に制御するために、マイクロフォン経由の音声認識によるロック/ロック解除が可能な4ソレノイド制御システムを構築した(図7参照)。特に制御応答性を重視するため音声の言語把握をせずに特定音域の音量による閾値判定によりソレノイドを動作している。



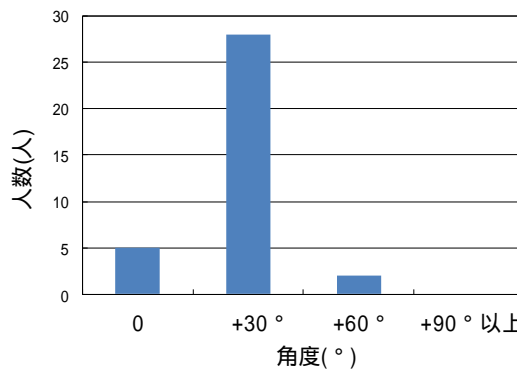
a) 最も腕を広げた状態での作業姿勢



b) 頻度の高い腕を広げた作業姿勢



a) 最も腕を伸ばした状態での作業姿勢



d) 頻繁の高い腕を伸ばした作業姿勢

図4 介護作業時の動作角度度数分布



図5 メカニカルロック機構

またこれを用いた試作機により実機動作が可能であることも確認した(図8参照)。

これらの結果に基づき角度分解能の15度に変更する等の装置の改良を行い、実際に上肢に装着して介護作業の一つである「体位交換」作業をモデル作業として、その動作を積分筋電位の値と比較した結果、上腕部で平均17%の筋電位低下が見られた(図9参照)。これは体位交換時にかかる筋力負荷を低減していることを定量的に示すことができた。更にこの機構は従来にはない構造から構成されていることから、特願2019-154099(2019.8.26出願)として特許出願を行うとともに国際特許出願するためにJSTに申請した。また姿勢保持機構の特性について実験的に検証し、特にロック片と案内部のすきま量と発生トルクの関係がシミュレーション結果と同様の性能が得られることも確認した。すきま量が狭くなるに従い発生トルクが増大し、0.05mmの際に最大発生トルク0.8Nmであることも確認した。なお0.05mmよりも狭くなると急激に発生トルクは減少することも確認された(図10参照)。またこの成果についてもIFTtoMM主催の国際会議MeTrApp2019において発表するとともにMechanism and Machine Scienceシリーズ79巻のRecent Advances in Mechanisms, Transmissions and Applicationsに掲載された。

参考文献

- [1] 青山和浩, 造船所における作業効率向上化を目的としたパワーアシストサポーターの実証実験及び指針の策定 - 造船所へのパワーアシストスーツ適用可能性に関する調査研究 - 報告書, 東京大学, 2015, pp127-129.
- [2] 佐藤和男, コ・メディカルのための実用運動学, メヂカルフレンド社, 1993, pp12-13.
- [3] 吉田みつ子, 本庄恵子監修, 写真でわかる基礎看護技術, インターメディカ, 2012, pp50-68.
- [4] H. Terada, Y. Zhu, K. Horiguchi, M. Nakamura and R. Takahashi, "Development of a Wearable Assist Robot for Walk Rehabilitation after Knee Arthroplasty Surgery", Advances in Mechanisms Design, Mechanisms and Machine Science Vol.8, 2012, pp65-71.
- [5] H. Terada, K. Makino, K. Ishida, M. Ichikawa, "Development of an Assisting Instrument of Standing-up Motion Using Driving Springs for Elderly Persons", Mechanisms, Transmissions and Applications, Mechanisms and Machine Science Vol.46, 2016.
- [6] 磯部浩, 西尾幸宏, パラレルリンク型高速角度制御装置, NTN TECHNICAL REVIEW No.80, 2012, pp42-47.

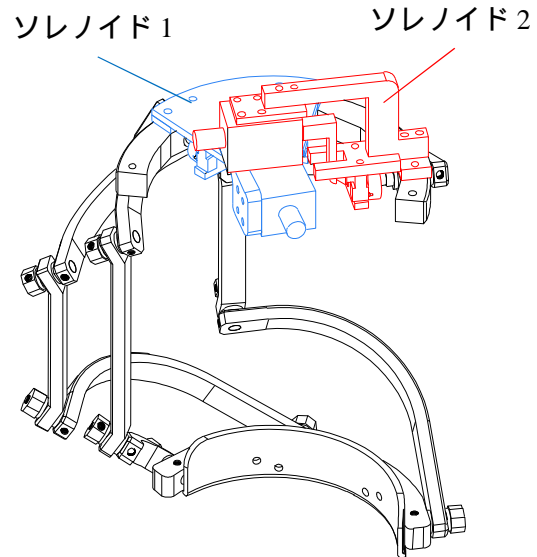


図6 2ソレノイド駆動型ロック機構を有するパラレルメカニズム型アシスト装具(右腕)

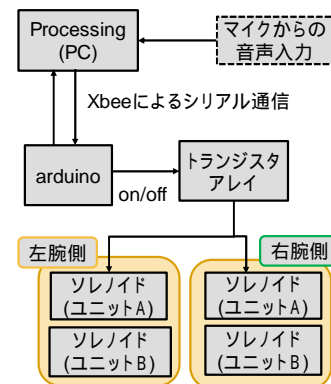
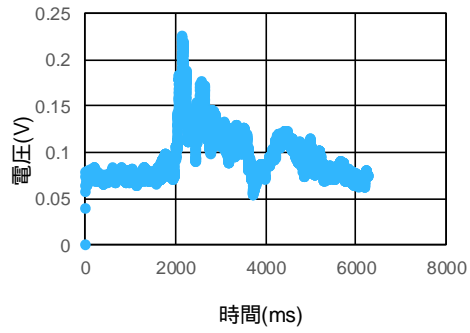


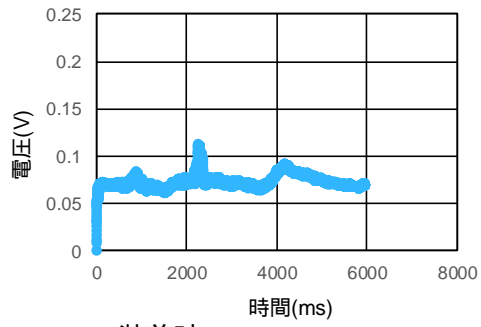
図7 音声制御ブロック図



図8 装着動作例



a) 非装着時



b) 装着時

図9 上腕部筋電位

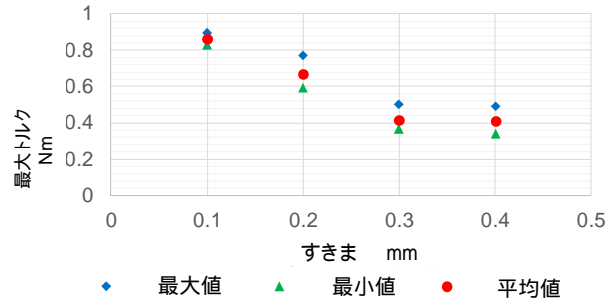


図10 装着型アシスト装具用ロック機構
すきま - 固定トルク特性

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Koji Makino, Tatsuya Kaneko, Kenji Matsumura, Hidetsugu Terada	4. 巻 79
2. 論文標題 Releasable locking mechanism using friction and a cuneus for holding a posture	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Recent Advances in Mechanisms, Transmissions and Applications	6. 最初と最後の頁 81-90
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1007/978-981-15-0142-5_9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 松村健司, 牧野浩二, 寺田英嗣
2. 発表標題 二自由度パラレルリンクを利用した介護作業用上肢アシスト装置の開発
3. 学会等名 LIFE2019
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 パワーアシスト装置	発明者 寺田英嗣, 牧野浩二	権利者 国立大学法人山梨大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-154099	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	牧野 浩二 (MAKINO Koji) (60560159)	山梨大学・大学院総合研究部・准教授 (13501)	
研究分担者	石田 和義 (ISHIDA Kazuyoshi) (70324176)	山梨大学・大学院総合研究部・准教授 (13501)	