

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：53301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K12762

研究課題名（和文）高齢者生活支援を目的とした動作方向の筋力補助が可能な無動力アシストスーツの開発

研究課題名（英文）Development of non-powered assist suit capable of assistance along the operating direction for elderly

研究代表者

藤岡 潤 (Fujika, Jun)

石川工業高等専門学校・機械工学科・教授

研究者番号：20342488

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：受動的に双方向の伝達力切り替えが可能な自己保持関節を開発し、それを使用したアシストスーツを製作した。さらに運動学モデルに基づく筋力補助効果を解析することで、本スーツにおける弾性材とフレームの最適設計手法を確立した。実際に製作した装置により、持ち上げ、運搬等の作業動作を支援した際の筋力補助効果を筋電位により定量的に評価した。評価結果よりアシストスーツの利用により、持ち上げ時の軽労化と、姿勢保持時の筋疲労の低下が確認された。以上の結果より、動作方向の筋力補助を可能とした従来にない機構、利点を有する無動力のアシストスーツが実現したと考える。

研究成果の学術的意義や社会的意義

受動型アシストスーツは小型軽量で利便性の高い装置であるが、原理的に動作方向の筋力補助に適さない。本システムは受動型の長所を損なうことなく動作方向の能動的な筋力補助を可能とする点で、福祉工学における従来の受動型アシストスーツの概念を覆す新たな成果として意義深い。アシストスーツは日常生活作業の負荷軽減のみならず、農作業や介護などの重労働支援、障害者やリハビリテーションのサポート等で広く活躍が期待されている。本研究成果は、生活支援だけでなく、こうした一般的な労働作業支援環境における受動型アシストスーツの利用拡大と促進にもつながることから、少子高齢化社会における総活躍社会の実現に広く貢献する。

研究成果の概要（英文）：We developed a self-holding joint capable of switching the transmission force passively in both directions, and developed an assistive suit that uses this joint. Furthermore, by analyzing the effect of muscle force assistance based on a kinematic model, we identified the appropriate design method for the elastic material and frame of the suit. Using the actual equipment, we evaluated quantitatively the effect of muscle force assistance by using muscle potentials when assisting in lifting, carrying, and other work activities. The evaluation results showed that the use of the assistive suit resulted in lighter lifting and less muscle fatigue during posture maintenance. Based on these results, we believe that a non-powered assistive suit with an unconventional mechanism and advantages that enables muscular force assistance in the direction of motion has been realized.

研究分野：メカトロニクス

キーワード：アシストスーツ 福祉機器 双方向クラッチ 軽労化

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

少子高齢化が進み、総活躍社会の実現が期待されるなか、高齢者の作業負担増加が深刻な社会問題となっている。この解決策の一つとして、肉体的負担を軽減して軽労化する装着型パワーアシストスーツが注目を集めている。アシストスーツには装置重量をスーツが支えるフルフレーム型と、人が支える部分フレーム型があり、筑波大学の HAL や、Lockheed Martin 社の HULC などに代表されるフルフレーム型アシストスーツは、重量物運搬や歩行支援など幅広い分野において実用化が進められている。しかしフルフレーム型は高い増力効果を得られる反面、装着負担や着脱の手間、応答速度の制限等から、高齢者に限らず、おおよそ日常生活の支援には向かない。部分フレーム型は着脱が容易で、歩行や作業の障害になりづらいが、装置自重が装着者の負担となるため、アクチュエータやフレーム強度が制限される。北海道大学のスマートスーツや、Ekso Bionics 社の Ekso Vest など動力を用いない部分フレーム型アシストスーツは、高齢者や力の弱い作業者が日常的に利用可能な負担軽減装置として、外部動力を必要しないため時間制限が無く、軽量で取り回しが容易な無動力の部分フレーム型スーツ（以降、受動型アシストスーツと呼ぶ）に大きな期待が寄せられている。一方で、受動型アシストスーツは弾性体等の戻り力を利用しているため、例えば持ち上げ動作等において上肢運動方向へ補助力となる弾性力を与えると、逆に何もしていない初期姿勢状態においてその弾性力が装着者を不要に拘束してしまう結果となる。よって、従来の受動型アシストスーツの補助効果は、前屈状態の腰部負担軽減や上方作業姿勢の維持など、装着者の姿勢状態の維持に限定されたものである。

2. 研究の目的

本研究では、弾性力の伝達と遮断の切り替えが受動的に可能な独自の双方向クラッチを受動型アシストスーツの上肢関節機構に用いることで、動作方向の筋力補助を可能とした、高齢者の日常生活支援に適した受動型アシストスーツを提案し、その開発と評価を行う。

受動型アシストスーツで装着者を不要に拘束することなく作業動作方向アシストを実現するためには、動作時は動作方向に補助力（弾性力）を伝達し、静止時は装置からの補助力を遮断する仕組みが必要となる。また、その切り替えは受動的で、伝達方向は双方向であるのが好ましい。よってまず、1) 装着者の上肢動作に応じて受動的に双方向の伝達力切り替えが可能なアシストスーツに適した新たな伝達機構（双方向クラッチ機構）の係合原理を解明し実現する。さらに無動力のアシストスーツは能動的な補助力制御がないため、作業動作に適した弾性材とフレーム設計が必要と考えられる。そこで作業動作における体幹および上肢筋骨格力学モデルを構築し、2) 力学モデルに基づく筋力補助効果を解析することで、本スーツにおける弾性材とフレームの最適設計手法を確立する。さらに、実際に製作した装置により、3) 持ち上げ、運搬等の作業動作を支援した際の筋力補助効果と作業負担軽減効果を定量的に明らかとし、本スーツの有効性を実証することを目的とする。

3. 研究の方法

1) 双方向クラッチ機構の係合原理と実現

双方向クラッチ機構は入力軸側からの回転とトルクは伝達するが、出力軸側の負荷等による回転やトルクを遮断する機構である。本研究で製作した双方向クラッチ機構ユニットを図 1 に示す。ユニットは入力軸、出力軸ユニット、係合子、ばね、ケースで構成される。各部品は熱溶解積層方式の 3D プリント (Creator3 Pro) を用いて PLA 樹脂で製作した。ユニット直径は 70mm、

重量は 57g と軽量である。クラッチの原理を以下に示す。入力軸回転時、出力軸にトルクがかかっていない場合、入力軸が係合子を押し下げることで係合子とケースとの噛み合いが外れクラッチが外れ、同状態で入力軸が出力軸を押すことで出力軸が回転する。出力軸にトルクがかかっている場合、出力軸が係合子を押し上げることで係合子とケースとの噛み合いが発生し回転はロックされ回転は生じない。また入出力軸共にトルクがかけられる場合、回転方向が異方向であれば、入力軸が出力軸を押し戻すことで、出力軸の係合子への負荷が除荷され、入力軸が係合子を押し下げることで係合子の噛み合いが外れ回転する。同方向の場合、出力軸と係合子の分離は発生しないが、出力軸による負荷を受けた状態のまま入力軸が係合子を三角歯に対して接線方向に押し下げることでまとめて回転する。製作した双方クラッチについて、無負荷時のドラグトルク、クラッチ可能な保持トルク、入出力における遊び角についてそれぞれねじり試験を行った。結果を表 1 に示す。

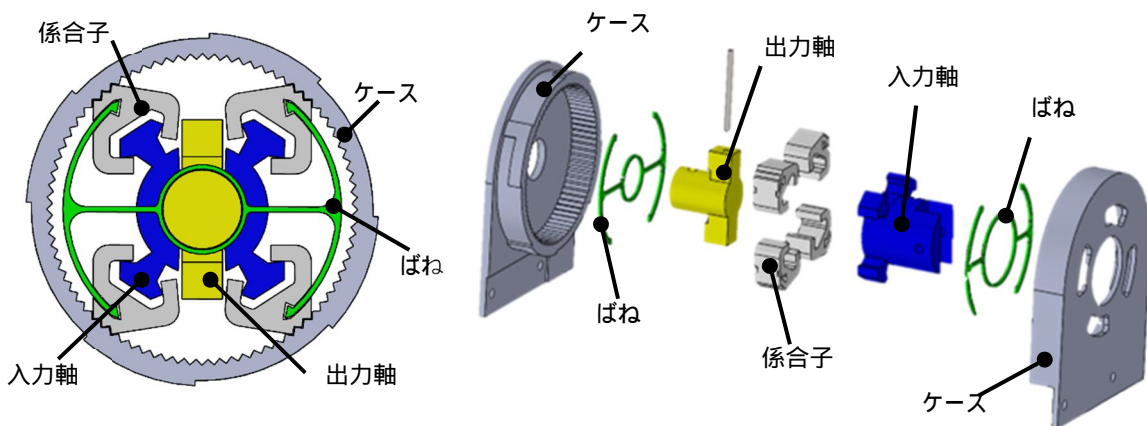


図 1 双方向クラッチ機構ユニット

表 1 双方向クラッチ性能

ドラグトルク [Nm]	無負荷	0.057
	出力軸トルク有 (5Nm)	1.069
保持トルク [Nm]		20.33
遊び角 [deg]		3.5

2) アシストスーツにおけるフレームの最適設計

本研究で製作したアシストスーツの構造を図 2 に示す。スーツは腕に装着し動作を入力する入力フレーム、弾性体を固定し補助力を得る補助フレーム、それらを繋ぐ双方向クラッチ機構ユニット、体にスーツを固定するための支持フレームとベルトで構成される。ベルトと支持フレームはロール・ヨー軸方向の自由度を持つ自在関節で締結される。着用者は上腕と入力フレームの固定と腰ベルトのみで接続されたため、普段の動作に対して支障をきたすことなく作業を行うことが可能である。スーツは弾性体が補助フレームを引張ることで上腕を振り上げる方向に補助力が発生する。双方向クラッチ機構により入力フレームは自由に動かすことができるが補助フレームからのトルクは入力フレームを動かしたときにしか伝わらない。アシスト可能角度は 10 ~ 170°、重量は 1.2kg でそのほとんどを腰ベルトで支えるためほとんど重さを感じることなく行動できる。

本スーツにおいて発生する補助力について運動学モデルに基づき解析した。補助力は上腕の

振り上げによって弾性体が後方で伸びることで発生する。このとき伸び量は振り上げた角度によって異なり、腕を下した際に最大となる。しかし、アシスト力として使用されるトルク方向の分力は振り上げ角度によって変化するため、入力フレームに伝わる補助力は以下の式に応じて変動する。

$$T = \frac{F A B}{l} \sin \theta$$

$$= \frac{(\sqrt{A^2 + B^2 + 2AB \cos \theta} - l_0) k A B}{\sqrt{A^2 + B^2 + 2AB \cos \theta}} \sin \theta$$

ただし、弾性体張力を F 、助フレーム長さ A 、支柱フレーム長さ B 、上腕の振り上げ角度 θ 、弾性体をばね定数 k 、自然長 l_0 とする。実際のスーツのフレーム寸法を固定値として、腕を動作させた際の補助トルクの理論値を図 3 に示す。ばね定数 k と自然長 l_0 により任意のアシスト力の強さ、アシスト力の角度における振れ幅を設計することができる。また入力フレームと補助フレームに取り付け角 α を設けることで、アシストのピーク位置を調整可能であることが確認できた。



図 2 双方向クラッチ機構による受動型アシストスーツモデル

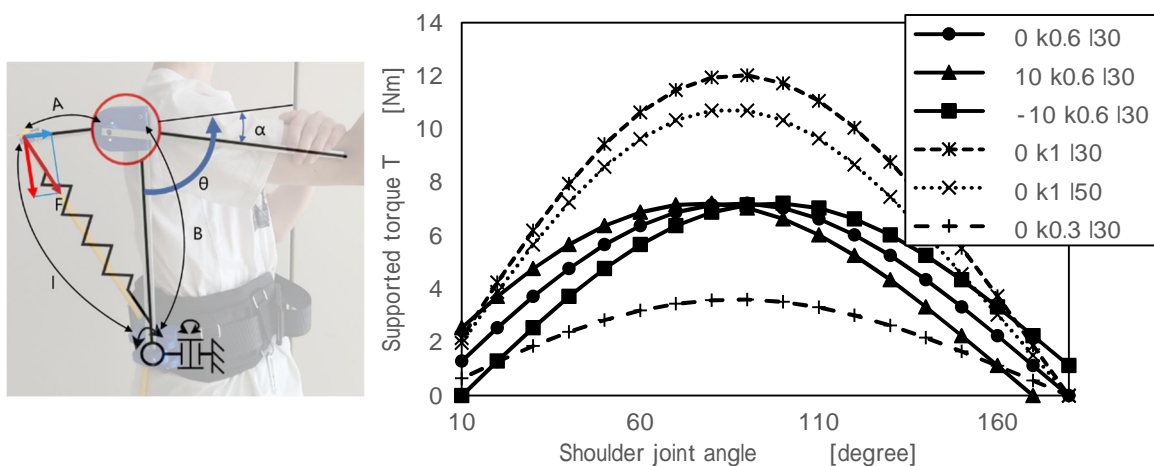


図 3 アシストスーツの運動学モデルに基づく設計変数と補助力の関係

3) 動作支援時の作業負担軽減の評価

アシストスーツ装着時の支援効果について作業負担軽減効果の評価を行う。実験ではアシストスーツ装着時と未装着時でそれぞれ 2 分間腕を水平に保持した状態を保ち、その間の三角巾と僧帽筋の筋電位を測定し、その積分値を比較して筋疲労状態を比較した。筋電位測定には国際電気通信基礎技術研究所の小型無線多機能センサ(TSND151)および生体信号計測用アンプ

AMP-151 を使用した。実際の電極位置を図 4 に示す。グラウンドを動かない頸椎付近に固定し、僧帽筋、三角筋をそれぞれ挟み込むように電極を配置した。測定した筋電位は 50ms で二乗平均平方根処理し、その積分値($\mu\text{V}\cdot\text{s}$)を得た。

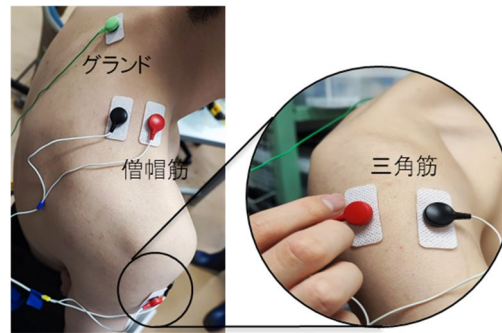


図 4 筋電位計測の電極配置

4. 研究成果

1) 双方向クラッチ機構の係合原理と実現

三角歯の係合子を有する双方向クラッチ機構を提案し、その係合原理を明らかにするとともに、実際に機構ユニットを製作して評価した。今回開発したユニットは重量 57g ながらドラグトルク 0.057Nm、保持トルク 20Nm 超、遊び角 3.5° の双方向クラッチを実現しており、軽作業時の人の上腕動作によって生じるトルクの保持、補助として十分な性能を有すると考えられる。同クラッチは、既存のクラッチ機構と比較しても高い保持トルクを示し、また全部品が樹脂製であることから、日常的な使用におけるメンテナンス性に優れた装置であると考えられる。

2) アシストスーツにおける補助力の幾何学的解析

本スーツにおいて発生する補助力について幾何学モデルに基づき解析した。実際のスーツ着用者が上腕を動作させた際の補助トルクの理論値を示し、ばね定数 k と自然長 l_0 により任意のアシスト力の強さ、アシスト力の角度における振幅を、また入力フレームと補助フレームに取り付け角 を設けることで、アシストのピーク位置を調整可能であることを示した。上腕保持の受動型アシストスーツにおいて、設計条件と自由度を明らかにできたことは大きな成果であると考えられる。

3) 動作支援時の作業負担軽減の評価

アシストスーツ装着時の支援効果について作業負担軽減効果の評価を行う。実験ではアシストスーツ装着時と未装着時でそれぞれ 2 分間腕を水平に保持した状態を保ち、その間の三角巾と僧帽筋の筋電位を測定し、その積分値を比較して筋疲労状態を比較した。筋電位測定の結果を **エラー! 参照元が見つかりません。** 5 に示す。三角筋、僧帽筋ともに未着用時に比べ着用時は筋電位の積分値が大きく減少している。この結果から、本アシストスーツ着用により、上腕保持時の負担が軽減されるものと考えられる。実際の着用者からのアンケート結果からも、力を入れずに腕を上げ続けることができる、アシストスーツを装着しないときに比べ負担が大きく減った、肩から肘にかけてのアシスト効果が大きくあった、といった評価が得られた。双方向クラッチの効果については、比較的上腕を下げたとき、あるいは斜め下あたりで作業をする際に、クラッチが無い場合に比べて腕を保持するための余剰な力みが不要となるといった感想があり、受動型アシストスーツにおける余剰なサポート力の遮断において効果を発揮したと考えられる。

以上の成果より、本研究において、弾性力の伝達と遮断の切り替えが受動的に可能な独自の双方向クラッチを受動型アシストスーツの上肢関節機構に用いることで、動作方向の筋力補助を可能とした、高齢者の日常生活支援に適した受動型アシストスーツが実現されたと結論付ける。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔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 酒屋亮太
2. 発表標題 Study on exercise support mechanism with self-retainable joint mechanism
3. 学会等名 令和3年度第3ブロック専攻科研究フォーラム
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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	穴田 賢二 (Anata Kenji) (30756531)	石川工業高等専門学校・機械工学科・准教授 (53301)	
研究分担者	任田 崇吾 (Touda Sougo) (50847382)	石川工業高等専門学校・電子情報工学科・講師 (53301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------