

補助事業番号 2019M-135

補助事業名 2019年度 重量物取扱時の身体動作より作業負荷を推定するパワーアシスト
スーツ用負荷推定機構の研究 補助事業

補助事業者名 山口大学工学部機械工学科 藤井 文武

1 研究の概要

本研究では、パワーアシストスーツ制御の新たな手法の提案を目標として、人が重量物を取り扱う時の身体動作が、重量の大小に依存して変化することに着目し、重量物取扱時の身体動作の計測値から負荷の有無と、作業種別3種の判別を行う判別器の構築を行いました。

また、重量物取扱時の上肢負荷の軽減低減を目指し、特に上腕の外転が必要となる場面での負荷低減に有効であると期待される、上腕外転時の運動補助機構を備えたアシストスーツを試作し、その負荷低減効果を、実験室レベルの測定によって検証しました。

2 研究の目的と背景

パワーアシストスーツの制御には、装着者の作業意図・強度を測定もしくは推定し、作業者の動作に遅延することなく適切な強度のカ・トルクが与えられるようアクチュエータを制御する必要があります。このため、様々な方法が提案されてきましたが、「生体信号を用いるもの」、「作業時の負荷を直接的に計測するもの」が主流となっています。

近年、身体運動の計測値を用いて運動強度などを推定しようとする研究結果が報告されるようになってきました。しかし、アシストスーツの制御にこれを用いるには、推定結果を得るまでにかかる時間が問題となり、推定値計算の実時間性を陽に考慮していない従来研究の方法をそのままアシストスーツ制御における負荷量判別に用いることは出来ません。

そこで、本研究では、近年の研究のトレンドである「身体運動の計測結果を用いた負荷量推定／判別」という目的はそのままに、装着者の動作に対する遅延が致命的な性能評価のマイナスをもたらすアシストスーツにも利用可能な、実時間負荷量判別器を開発することを目指しました。

3 研究内容 (<http://ctrl.mech.yamaguchi-u.ac.jp/2019-jka.html>)

(1) 重量物取扱時の身体加速度計測値を用いた作業負荷推定器の開発

アシストスーツでは、スーツを装着している人の運動・作業意図を正確に把握し、その強さも適切に推定して動力源を駆動する必要があります。作業意図や欲しいアシストの強さが作業者の意図と異なるものであった場合、最悪の場合はスーツの利用者がケガをする可能性もあります。これまで、アシストスーツにおける「利用者の運動意図・強度の測定／推定」には、運動意図・強度に依存して変化する皮膚表面筋電位・筋隆起量などの生体信号と呼ばれる信号の利用が一般的でした。本研究では、アシストスーツ制御に必要な運動意図・強度の推定に活用可能で、より安価なセンサで容易に脱着できるものを利用して、運動の態様と負荷の大きさを判別する判別器の開発を行いました。

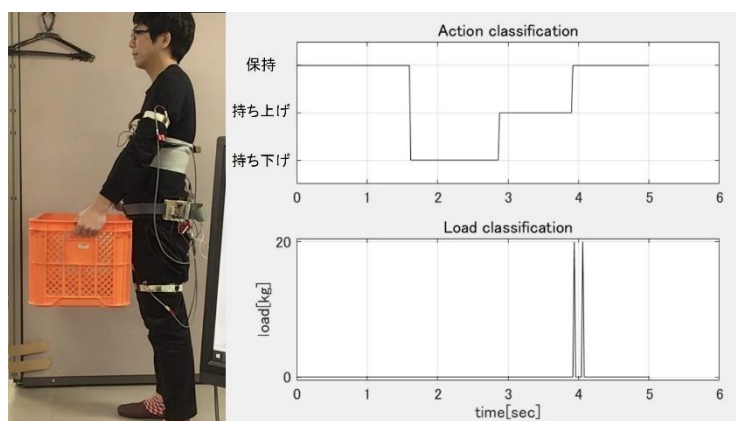


図 1 作業負荷推定器の計測システム（左）と、推定結果の一例（右）

図1の左側が実験時の様子で、被験者の両太もも、両腕および胸に各1個ずつ、3軸加速度センサを装着しています。これらの加速度センサにより得られる加速度計測値を計算用コンピュータで取り込み、本研究で開発を行った独自のソフトウェアによって、取得加速度の時系列データをもとに装着者の動作と負荷を推定しました。この推定器は装着者が動作を行っている最中に逐次的に推定結果を更新することができるので、途中で判別対象情報に変化が生じたとしても、非常に短い時間で変化を踏まえた動作および負荷を判別することができます。

計算用コンピュータでは独自に開発したソフトウェアで加速度センサの計測値から負荷の推定を行っています。このソフトウェアは、事前の実験で取得した重量物取扱実験の加速度計測値によってオフラインで学習をしたモデルを実装しました。使用時には、現在観測されている加速度計測値がどの動作で、どのくらいの負荷なのかを確率的に計算し、常時推定を行っています。

(2) アシストスーツフレームの設計製作

重量物持ち上げ動作における作業者の肉体的負荷を軽減するアシストスーツフレームを試作しました。動力源は圧縮空気を注入することで高い収縮力を生み出すMcKibben型人工筋肉を使っています。補助対象動作は、重量物積載コンテナを持ち上げる際の上腕による外転運動及び腰を曲げた状態から伸ばす際の回転運動としています。

通常、外骨格の回転軸(図2青丸)と人間の関節軸が一致するように設計されますが、工場現場の様に異なる体格の作業者が一つのアシストスーツを共用する状況では、一致させるのは困難です。

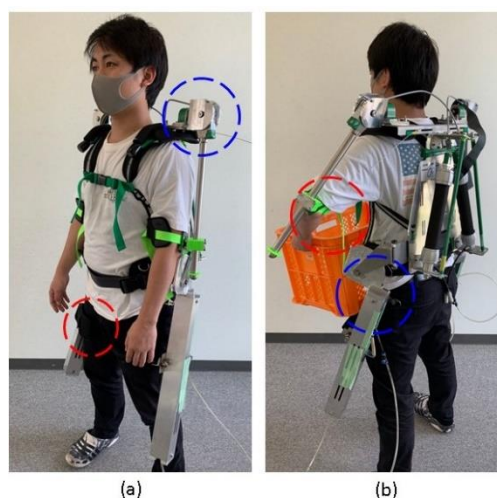


図 2 アシストスーツ全体図

そこで本研究では、軸の不一致を吸収するよう、フレームの設計を行いました。具体的には、上腕に図2(b)赤丸の様なスライド機構を設け、腰補助は図2(a)赤丸の様に太腿に補助力を加えるフレームを太腿とあえて固定しないことで、利用者の体格の相違を吸収することを試みました。

(3) 実験室及び実業務環境で実施する評価実験

前項目で製作したアシストスーツの軽労効果実験を実験室にて実施しました。実験内容は図3のとおりです。

負荷低減効果の評価には、動作に関する筋肉(上腕の外転に重要な三角筋中部、肘の屈曲に重要な上腕二頭筋)の皮膚表面筋電図を用い、最大随意筋収縮による正規化した値[%MVC]の、スーツの有無による差により定量化しました。



図 3 実験手順

被験者8名に実験を行った結果を表1に示します。三角筋中部、上腕二頭筋ともに未装着時より軽労化されていることが確認できました。さらに、コンテナ重量が2倍になると軽減率も倍になっていることが分かります。しかし、一部の被験者においては筋電位の上ではスーツ利用時に値が大きくなる事例もあったので、今後の検討が必要です。

表1.アシストスーツによる軽労化実験_実験結果

コンテナ積載重量	被験者8人の%MVC増減率の平均値[%]	
	三角筋中部	上腕二頭筋
負荷10[kg]	-13.4	-10.0
負荷20[kg]	-22.6	-24.7

4 本研究が実社会にどう活かされるかー展望

体に大きな負担がかかる作業は、いかにAIが発展しようとも当面の間残る作業であり、その担い手の高齢化も現実的などころである。アシストスーツも、既に上市されたものも存在しているものの、一般家庭がユーザーとなって安全かつ確実に使い続けて貰えるレベルに到達するためには、今後も継続した改良・技術開発が必要になると考えられる。今回開発した負荷判別器は、「事前の予備知識が無くても利用できるアシストスーツ」の実現に向けた手法の一つと位置付けられるものであり、今後も判別確度の向上や、センサ取り付け位置誤差に対するロバ

ト性の向上、センサ数の低減など発展の可能性を有する提案になり得ると考えている。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

単年度のプロジェクトとしては、当研究室が手掛けたものの中では過去最大の予算規模に比するものであり、制御ソフトウェアに利用できる学術的知見の開発に加え、アシストスーツの試作も行うことができたのは、当研究室にとっては大きかった。ただし、スーツ筐体の試作に対してのみ十分な予算が掛けられたわけではない。市場での競争力や商品の訴求性を考えれば、スーツ筐体には改善の余地が大いにあり、制御ソフトウェアレベルが一段向上しただけに、いかにフレームの改善(軽量・高剛性・着脱の容易さと確実性)を行うかが今後の課題になる。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

- ◆ 山根, 藤井, 石橋, 「重量物持ち上げ動作における身体加速度計測値を利用した持ち上げ対象物重量の2クラス判別器の構築」, 日本機械学会論文集, 2019, 85 巻, 880 号, p. 19-00189
- ◆ N. Ishibashi and F. Fujii, "Development of Load Weight and Height Classifier in Lifting-Up Task Using Body Motion Metrics," 2019 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Macau, China, 2019, pp. 4806-4811
- ◆ N. Ishibashi and F. Fujii, "Hidden Markov Model-based human action and load classification using 3D accelerometer measurements," Journal of Intelligent & Robotic Systems 投稿中

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

国際学会IROS2019での研究発表 (<https://ieeexplore.ieee.org/document/8968289>)



(2) (1)以外で当事業において作成したもの

該当なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 山口大学工学部 (ヤマグチダイガク コウガクブ)

住 所: 〒755-8611

山口県宇部市常盤台2-16-1

担 当 者: 准教授 藤井 文武 (フジイ フミタケ)

担 当 部 署: 機械工学科 機械システム制御工学研究室
(キカイシステムセイギョコウガクケンキュウシツ)

E - m a i l: ffujii@yamaguchi-u.ac.jp

U R L: <http://ctrl.mech.yamaguchi-u.ac.jp/>