

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：54101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2022

課題番号：17K06285

研究課題名（和文）動作に伴う人体の形状変化を考慮したウェアラブルロボット用装具に関する研究

研究課題名（英文）Study on

研究代表者

打田 正樹（Uchida, Masaki）

鈴鹿工業高等専門学校・機械工学科・准教授

研究者番号：80454437

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：人体の代表的な部位に対して3次元計測を行った。その結果、人体の運動変化にともなう形状変化を明らかにすることができた。その結果から人体への拘束感を低減しながらアシスト力を付与することが可能な装具を提案、実現することができた。さらに、その装具を搭載したウェアラブルロボットを試作し、その動作確認と有効性を検証することができた。それに伴い非装着者の動作意図を検出するセンサも新たな提案実現することができた。これらの知見をもとに最終的に全身用のウェアラブルロボットを構築することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人体の3次元計測より、運動変化にともなう形状変化を明らかにすることができた。この結果により、装具の定量的な設計が可能となる。これはリハビリテーション等にも応用可能である。また、装着時の拘束感低減と軽量化の両立を図ったウェアラブルロボットを構築することができた。

研究成果の概要（英文）：3D measurements were made on representative parts of the human body. As a result, we were able to clarify the shape changes in the movement of the human body. Based on the results, we proposed and realize a harness that can provide assistive force to the human body while reducing of restraint. Furthermore, we made prototype of a wearable robot equipped with the harness, confirmed its operation, and verified its effectiveness. In addition, we were able to propose and realize a new sensor to detect the examinee's intention to move. Based on these results, we constructed a wearable robot for the whole body.

研究分野：ロボット

キーワード：ロボット ウェアラブルロボット センサ 装具 アシスト装置

## 1. 研究開始当初の背景

人間の動作をアシストする装着型のウェアラブルロボットが注目されており、研究開発が盛んに行われている。産業用途では実用化された例も報告されている。このウェアラブルロボットは超高齢社会に突入した我が国において高齢者や疾病を持つ人の QOL を大幅に改善できる可能性があり実用化が期待される技術の一つであるといえる。

高齢者等の日常生活を支援するウェアラブルロボットでは、1. 人間本来の動作を妨げず、圧迫感も少ないこと。2. 効率よくアシスト力を人体に付与できること。3. 小型、軽量であること。の3つが必要なる。これらを実現するためには、人体と唯一の接点である装具を改善する必要があり、従来の装具とは異なる全く新たなコンセプトの装具とそれを搭載したウェアラブルロボットが必要となる。

## 2. 研究の目的

上述の背景から、新たなコンセプトの装具を提案し、その有効性の検証とそれを用いたウェアラブルロボットを実現することを目的とする。初めに人体の運動とそれに伴う人体の変化を計測し、その結果から新たな装具を提案する。最終的にはその装具のコンセプトを応用した全身用ウェアラブルロボットを実現する。

## 3. 研究の方法

上述の目的を実現するために以下を実施した。

- ◇ 3次元計測から人体の運動に伴う形状変化を計測する。
- ◇ 3次元計測の結果から、人体の形状変化に対応する装具とそれを搭載したウェアラブルロボットを提案し、試作機により有効性を確認する。
- ◇ 上述の装具を搭載する全身用ウェアラブルロボットを構築し動作確認を行う。また、それに伴い回路系、制御系の提案、検証も同時に行う。
- ◇ 研究開始当初は、高齢者被験者(65歳以上)に対して、医療機関にて実験と評価、改善を行う予定であったが、新型コロナウイルス状況下であったため断念し、健常者実験から評価、改善等を行った。

## 4. 研究成果

### 1. 3次元計測による人体の運動に伴う形状変化の定量的把握

人体の代表的な部位に対して3次元計測を行った。被験者は健常男性4名である。ここでその計測結果を図1に示す。図1は肘関節を屈曲伸展した際のそれぞれの3次元モデルを示してい

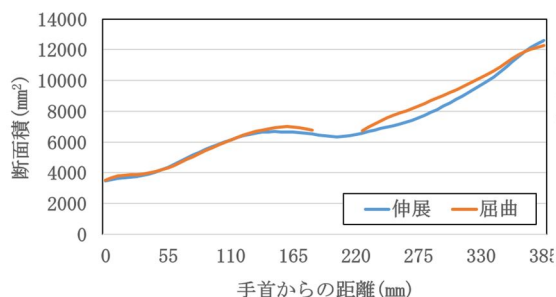
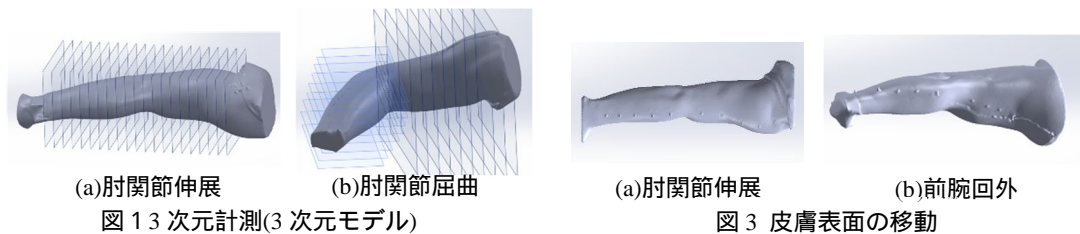


図2 伸展屈曲にともなう断面積の変化

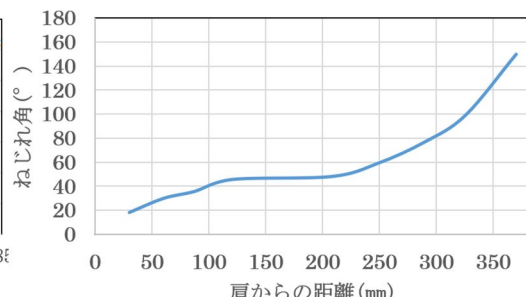


図4 前腕回外にともなう皮膚のねじれ

る。また、動作に伴う断面積の変化を図2に示す。上腕二頭筋付近において15~20%の断面積の増加、前肘部において3~8%の増加、三角筋付近において3~5%ほどの減少が見られた。一方、運動と皮膚表面の移動量との関係を明らかにするために3D形状のマーカを皮膚に貼り付け、3次元計測を行った。その代表例を図3,4に示す。この結果から上腕部で30~60°、前腕部で80~110°のねじれが発生しており、肘関節部はほぼねじれていないことがわかった。以上、上肢用装具の設計指針として、断面積変化がより小さい部位に装具を設けること、ほぼ全域でねじれが発生しているためねじれに対応する装具が必要であることがわかった。その他、3次元計測は肩部と下肢について行った。

## 2. 運動の変化に対応した装具を搭載したウェアラブルロボットの構築

はじめに上肢のアシストを行うウェアラブルロボットについて試作、評価を行った。その知見をもとに他の部位のウェアラブルロボットを製作し、最終的に全身用ウェアラブルロボットを構築する。

### 2.1 上肢用ウェアラブルロボットに関する研究成果

上記の「3次元計測による人体の運動に伴う形状変化の測定」の結果をもとに上肢ウェアラブルロボット機構系を構築し、その有効性の確認を行った。さらに、非装着者の意図を検出するためのセンサと制御アルゴリズムの構築を行った。それらについて述べる。

#### 2.1.1 上肢用ウェアラブルロボット機構の構築

上肢用ウェアラブルロボットの1次試作機を図5に示す。この試作機は肘関節の屈曲動作をアシストするもので、定格アシスト力 $1.3\text{N}\cdot\text{m}$ 、質量は約300g(バッテリーを除く)である。表面筋電位センサとマイコンを搭載しており、表面筋電位をもとにモータを駆動させ、アシスト力を発生させる。さらに、スマートフォン等による遠隔操作やデータ保存を可能としている。また、非アシスト時(モータ停止時)における被験者関節運動の拘束を低減するため、ワイヤとプーリを用いた減速機構を採用している。これにより、外力に対してワイヤが緩むことで高いバックドライバビリティを実現している。

このウェアラブルロボットでは被験者の前腕回内外に対応するため、図6に示すフレキシブル直動案内を新たに開発し、装具に用いている。これは上肢の断面形状の変化に対して受動的に

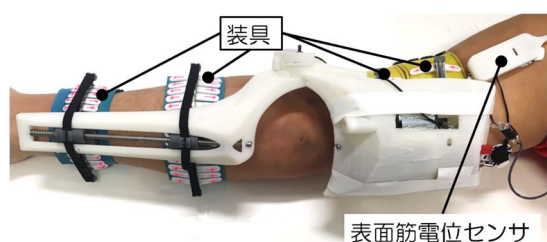


図5 上肢用ウェアラブルロボットの外観

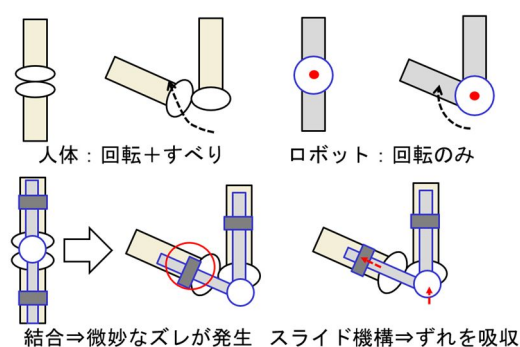


図7 関節構造の違い

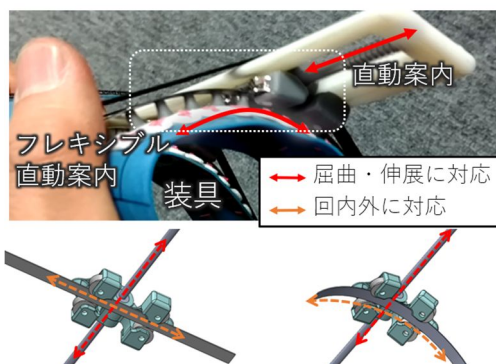


図6 フレキシブル直動案内

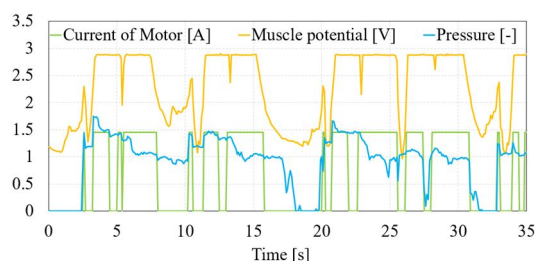


図8 アシスト時の各種データ

湾曲するフレキシブルなレールを、溝付きベアリングで案内するものであり、被験者の回内外動作を阻害することなくロボットと上肢を結合するものである。この機構を用いることで、前腕回内外時に上肢の皮膚移動量（皮膚の引っ張り感）が大幅に低減できたことを確認している。

一方、図7に示すように人体の多くの関節運動は滑りを伴い、ロボットの関節運動では滑りが発生しない。よって、それらをそのまま結合して屈曲させた場合、人間の関節や皮膚に不用意な力を及ぼしてしまう。これを解決するために装具にスライド機構を搭載し、関節の屈曲伸展に合わせてロボットのリンクが受動的に移動するようにした。これにより、不用意な力が人体にかかることを防止している。この有効性は、被験者の屈曲伸展動作に伴いスライド機構が受動的に移動し、皮膚がほとんど引っ張られないことから確認している。

ただし、この装具は、ロボットと人体間の結合部に複数の自由度を持っているといえ、その稼働によりロボットのリンクから人体に付与されるアシスト力が逃げてしまうことが予測される。よって、装具と上肢の間に圧力センサを挿入し、被験者実験を行った。その結果を図7に示す。図7より筋電位の値に応じてモータへ励磁されていること、それに合わせて装具と上肢との間の圧力が高くなっていることがわかる。これは装具から上肢に対して屈曲方向に圧力が加えられ、屈曲動作がアシストされているということを示している。よって、フレキシブル直動案内とスライド機構による装具を搭載した上肢ウェアラブルロボットの有効性を確認することができた。

#### 2.1.2 意図検出センサとそれを用いた行動意図推定手法の構築

上述の上肢ウェアラブルロボット試作機ではアシスト力の付与のために表面筋電位センサを用いていた。しかしながら、表面筋電位センサは決められた部位にパットを張り付ける必要があること、電気的ノイズ、個人差や体調の影響を受けやすいこと等から日常生活等で用いるには困難であると考えた。そこで、新たな意図検出センサの開発を行った。このセンサは非装着者がウェアラブルロボットの関節駆動部に加えた極微弱なトルクを高速に検出するもので、ひずみゲージを張り付けた梁とロータリーダンパから構成される。被験者の主観評価実験よりこのセンサの有効性を確認している。

一方、ウェアラブルロボットでは、人間の行動（屈曲のアシストが必要な場合や保持が必要な場合等）に応じてアシスト方法を変更する必要がある。よって、上述の意図検出センサの出力電圧とその微分値、ロボット関節に搭載された回転角度センサの値から、非装着者の行動の推定をリアルタイムに推定するアルゴリズムの構築も行った。そのアルゴリズムにより、机に置かれたペットボトルの水をのむ動作において五つのフェーズ（屈曲開始、屈曲終了、保持、進展開始、進展終了）にほぼ判別可能であることを被験者実験から確認できた。

#### 2.2 下肢用ウェアラブルロボットの構築

上述の上肢用ウェアラブルロボット研究に関する知見をもとに下肢用ウェアラブルロボットを製作した。この下肢ウェアラブルロボットの2次試作機の外観を図9に示す。これは股関節と膝関節の屈曲伸展動作をアシストするものであり、股関節部の最大アシスト力は $9.4\text{N}\cdot\text{m}$ 、膝関節部は $3\text{N}\cdot\text{m}$ 、質量は、靴を含めて $2.2\text{kg}$ である。1次試作機においてワイヤの取りまわしが複雑であったことから、2次試作機では一般的な歯車減速機構を用いている。さらに、それに伴い小型化と軽量化も実現した。その他、上肢ウェアラブルロボットと同様に、意図検出センサおよび股関節部と膝関節部にスライド機構を有する装具も搭載している。このウェアラブルロボットの動作確認と評価も上肢ウェアラブルロボットと同様の手法で行った。

#### 2.3 全身用ウェアラブルロボットの構築



図9 下肢ウェアラブルロボットの外観



図10 全身用ウェアラブルロボットの外観

肩関節をアシストするための機構の3次試作機を製作し、それらを結合した全身用ウェアラブルロボットを構築した。その外観を図10に示す。ただし、肩関節については自由度が多く複雑な動作となるため、すべての運動に対するアシストが困難であったため、上肢の挙上動作のみをアシストする構造としている。また、肩部装具に関しては片側で4自由度の受動直動、回転機構を用いることで、肩関節の動作をできるだけ拘束することがないようにしている。上肢と下肢のウェアラブルロボットについては前述のものを部分的に改良、変更したものを扱い、左右には全く同じとしている。

一方、全身用ウェアラブルロボットの主要な構造部材にCFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastics)を用いることで軽量化を図っており、装具や回路、バッテリー等を含む総重量は、約6kgである。

### 3. まとめと今後の課題

本研究では、高齢者等が日常生活においても利用可能なウェアラブルロボット実現することを目的に、以下の成果が得られた。

- 代表的な動作における人体の運動にともなう形状変化の定量化
- 拘束感を低減しながらアシスト力を付与することが可能な装具
- 非装着者の意図を検出および推定するセンサ，アルゴリズム
- 全身用ウェアラブルロボットの構築

今後の課題としては以下があげられる。

1. 各部位のウェアラブルロボット単体での動作確認は実施しているものの、全体を統合した回路系、制御系の構築は行っていない。すべての部位を統合した制御系を構築する必要がある。
2. 現状の全身用ウェアラブルロボットは高齢者等が日常生活において利用するためには、体格が大きく、質量も大きい。また装着に長時間を有する。よって、さらなる小型化と軽量化およびユーザビリティの改善が必要である。
3. 当初、高齢者に対して被験者実験と改良を行う予定であった。しかしながら、新型コロナウイルス状況下であったためそれを断念せざるを得なかった。上記2を達成後、医療機関において高齢者実験を行う必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 駒谷 いおた、打田 正樹
2. 発表標題 日常生活支援を目指した下肢ウェアラブルロボットの製作
3. 学会等名 第54回日本機械学会学生員卒研発表講演会
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 伊藤 優介、打田 正樹
2. 発表標題 肘関節アシスト用ウェアラブルロボット装着 時における関節運動の特徴判別
3. 学会等名 第42回バイオメカニズム学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 令和元年度専攻科研究フォーラム
2. 発表標題 肩関節アシストロボット用装具の開発及び筋電位の計測
3. 学会等名 伊藤優介、打田正樹
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 打田正樹
2. 発表標題 日常生活支援を目指した上肢用ウェアラブルロボットの試作
3. 学会等名 リニアドライブ研究会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

打田研究室の研究室紹介  
<https://www.suzuka-ct.ac.jp/mech/uchida/research.html>

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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------