

令和 5 年 6 月 29 日現在

機関番号：83303

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04374

研究課題名（和文）編地アクチュエータを用いた重量物取扱作業者の健康保持増進のための補助スーツの開発

研究課題名（英文）Development of assistive suit with a knitted fabric actuator for health maintenance of workers handling heavy loads

研究代表者

中島 明哉（Nakashima, Akichika）

石川県工業試験場・繊維生活部・主任研究員

研究者番号：80504737

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）：アシストスーツの具現化を最終目標として、衣服への適用が可能な編地アクチュエータを開発し、その基礎特性を解析した。また、アシスト技術として、編地アクチュエータによる薄板の湾曲変形時の飛び移り現象の応用を検討し、FEM解析を行なうとともに、CFRPプレートを作製した。さらに、健康管理機能として光電容積脈波方式を応用するために衣服の透過光スペクトルを計測し、利用可能な波長を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

重量物取扱作業者などへ普及が進んでいるアシストスーツの問題点である着脱の煩わしさを解消することで、これら作業従事者の健康保持増進が期待できる。本研究では、その問題解決の一つとして常時着用可能な補助スーツを開発することを目的に、アクチュエータ技術、アシスト技術、脈波計測技術の各技術について提案し、新たな可能性を示すことでアシストスーツの普及が進むことが期待できる。

研究成果の概要（英文）：Aiming for realizing an assistive suit, we developed a knitted fabric actuator that can be applied to clothing and analyzed its basic characteristics. In addition, as an assist technology, we investigated the application of jumping phenomenon during bending deformation of a thin plate by a knitted fabric actuator, performed FEM analysis, and produced a CFRP plate. Furthermore, in order to apply the photoplethysmographic system to health monitoring, we measured the transmitted light spectra of several cloths of different colors and confirmed the wavelengths that can be used not only for pulse rate detection but also for pulse oximetry.

研究分野：スマートテキスタイル

キーワード：スマートテキスタイル アクチュエータ アシストスーツ

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年、職場環境の改善や被雇用者の健康保持増進の取り組みが必要不可欠となっている。特に、業務上疾病で最多である腰痛の発症を予防するためのアシストスーツへの期待が高まっている。

アシストスーツには大きく二つのタイプがある。一つはフレームがあり、電動モータや空気圧アクチュエータなどの動力を搭載して積極的にアシストするロボットタイプ、もう一つはフレームもモータもなく積極的なアシストはできないが、コルセットやサポータなどのようにゴムなどが入ったの伸縮素材を用いてサポートする衣服タイプである。ロボットタイプは大きなアシスト力を得られるが硬く重い、衣服タイプは柔らかく軽量であるがアシスト力が弱いという問題がある。そのうえ、両タイプとも荷物の持ち上げや中腰の維持などの特定動作を支援することが大きな目的であるため、他の動作の際には邪魔になることが多い。そのため、常に同じ動作を繰り返す現場以外では着脱する使用方法となるが、着脱を繰り返すうちに装着が面倒になり着用しなくなるという問題があった。

### 2. 研究の目的

我々は衣服への応用を目指した編地アクチュエータを開発し、その応用と動作原理の解明に取り組んでできた。本研究では、以下のことを目的に研究を行なった。

#### (1) 編地アクチュエータの基礎解析

重量物取扱作業者の健康保持増進のための補助スーツへの応用を目的に、編地アクチュエータの基礎解析を行なう。

#### (2) 腰痛予防のためのアシスト技術

衣服型のコルセットやアシストスーツには、体幹などを固定するためにボーンと呼ばれる金属製ばねや樹脂プレートなどが搭載されたものが存在する。特にアシストスーツにおいては、ボーンは姿勢を固定することが主な目的であり、目的外の通常作業時には動きが制限される。そこで、目的とした作業時にはボーンが変形することでアシストし、それ以外の通常作業時には剛性を低い状態として動きを妨げないような剛性可変ボーンの開発を目的とする。

#### (3) 装着型(皮膚非接触)バイタルセンシング

作業着などと同種である衣服型のアシストスーツでは、基本的に肌に直接触れる部分が無いことから、バイタルセンシングシャツのような心電図計測によるバイタルセンシングは不可能である。そこで、下着などの衣服の上から計測可能な装着型(皮膚非接触)バイタルセンシング技術の開発を目指す。

### 3. 研究の方法

#### (1) 編地アクチュエータの基礎解析

発生収縮力の算出精度向上を目的に、糸のヤング率と線径を測定し、曲げ剛性を算出する。さらに、編地アクチュエータにおける編目の変形と発生力の関係について解析するために、編地アクチュエータに適した新たな編目モデリングを構築することとし、その制御点や補間曲線について検討する。

次に、編地アクチュエータの寸法に大きく関与する設計パラメータであるウェール数やコース数を変えた編地を作製し、恒温槽付き万能試験機を用いて発生収縮力を測定する。また、編地の線径が発生収縮力に与える影響について解明するために、線径の違う形状記憶合金糸による編地を作製し、同様の手法にて発生収縮力を測定する。

#### (2) 腰痛予防のためのアシスト技術

剛性変化を編地アクチュエータで行なう方法として、一枚の薄板状ボーンを湾曲させるように断面形状を変化させることによるアシスト技術を検討する。特に、ボーンが変形する過程で見られる飛び移り現象のアシストへの応用可能性について検討する。

#### (3) 装着型(皮膚非接触)バイタルセンシング

光電容積脈拍方式の計測技術を応用して、衣服の上からでも計測可能な装着型の皮膚非接触脈拍計測技術として、衣服の色及び厚さ、材質などの影響度合いを確認するために、各種生地透過光スペクトルを計測する。

### 4. 研究成果

#### (1) 編地アクチュエータの基礎解析

編地アクチュエータに用いている形状記憶合金糸について、非加熱時と加熱時のヤング率と糸径を測定した。この測定値を用いて曲げ剛性値を算出し、それを反映させることで、実測値に

近い理論値の発生収縮力を計算できるようになり、精度向上が図れることを確認した。

さらに、糸のモデリングとして若松ら が提案している手法を用いると、糸のポテンシャルエネルギーが最小になる状態が安定した状態であるとのことから、編目が変形したことによるポテンシャルエネルギーの増加が編地アクチュエータの発生収縮力に大きく影響を与えると考えた。そのうえで、ポテンシャルエネルギーは糸の曲率が求まることで定義できることから、編地において力が直接作用する 4 点を通り、補間曲線に曲率の算出が容易なクロソイド曲線を用いることを提案し、二次元平面上における編目のモデリングを行なった。モデリング結果から算出した糸長と実際の編地を解いて測定した糸長を比較し、妥当であることを確認した。さらに、編地アクチュエータを一軸伸長させた際の編目の変形とその後の収縮時の変形について本手法にてモデリングを行ない、ポテンシャルエネルギーの増加を確認できることを示した。

次に、応用に適した編み組織として両面編みを選定し、コース数やウェール数を変えた編地アクチュエータを試作した。試作した編地アクチュエータについて恒温槽付き万能試験機を用い、ウェール方向一軸伸長後に加熱冷却を繰り返すことで、その発生力を比較した。結果は図 1 に示すとおりであり、ウェール数が増加するに伴い発生収縮力が指数的に増加する傾向にある一方で、コース数は増加に伴い緩やかに減少することが確認できた。

さらに、線径の異なる四種類の形状記憶合金糸 ( 50 $\mu\text{m}$ 、 75 $\mu\text{m}$ 、 100 $\mu\text{m}$ 、 150 $\mu\text{m}$  ) でウェール数 25、コース数 30 の編地を作製し、同様の方法にてその発生力を比較した。その結果を図 2 に示す。線径が増加することにより最大収縮力が大きくなっていることが確認できる一方で、線径の増加比が同じ 1.5 倍である二組 ( 50 $\mu\text{m}$  と 75 $\mu\text{m}$ 、 100 $\mu\text{m}$  と 150 $\mu\text{m}$  ) を比較すると、線径の小さい組 ( 50 $\mu\text{m}$  と 75 $\mu\text{m}$  ) に比べ線径の大きい組 ( 100 $\mu\text{m}$  と 150 $\mu\text{m}$  ) のほうが明らかに最大収縮力の増加が大きいことが確認できた。これにより、糸線径と編目の大きさには最適な関係があることが推察される。

## (2) 腰痛予防のためのアシスト技術

薄板ボーンをたわみやすい梁の大変形と見立て、その変形前後の断面二次モーメントやアクチュエータに必要な収縮力について計算した。変形前後については計算可能であったが、飛び移り現象時の力の算出は難しかったため、FEM 解析を試みた。その結果、図 3 に示すように飛び移りの現象は再現できる可能性が高いことを確認した。今後は、力や変位などを正確に算出するための諸条件の検討が課題である。

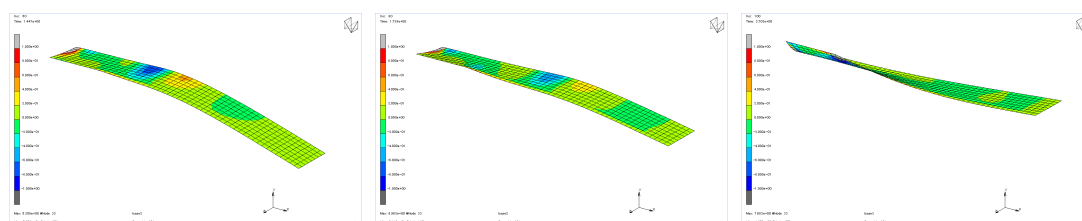


図 3 飛び移り現象シミュレーションの様子

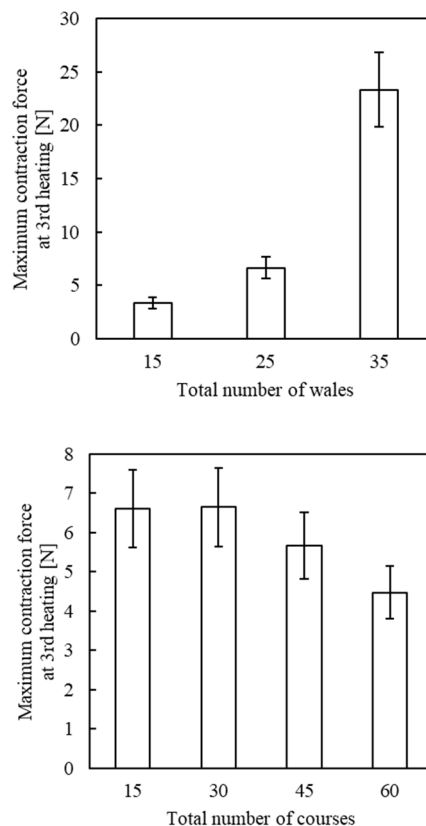


図 1 編地アクチュエータの発生収縮力

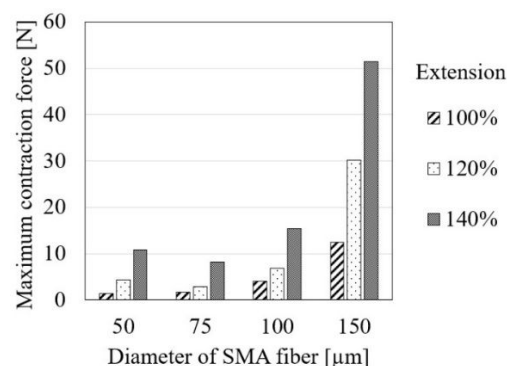


図 2 糸線径と最大収縮力

本研究にて開発するアシストスーツにおいて、常時着用可能とするためには、ボーンは軽くかつ変形後は高剛性を維持しなければならない。そこで、CFRP を用いることを検討した。CFRP は炭素繊維の配列により剛性に異方性図を持たせることが可能である特徴を生かし、編地アクチュエータが収縮し湾曲させる方向には剛性が低く、変形後に荷重を受ける方向には剛性が高くなるように、一方向炭素繊維/PA6 シートを三層積層してプレスすることで、図4に示す一方向材のCFRP プレートを作製した。本研究においてはプレートの作製までしかできなかったが、今後は、このプレートをボーンとして応用することを検討していく予定である。



図4 CFRP プレート

### (3) 装着型（皮膚非接触）バイタルセンシング

波長 550~850nm の範囲において、白、黒、紺、赤、緑の計5色のTシャツ三種類（ポリエステル100% 4.1オンス、綿100% 4.0オンス、綿100% 5.6オンス）について紫外可視近赤外分光光度計 V-650（日本分光株）にて透過光スペクトル計測を行なった。その結果は図5に示すとおりであり、素材や厚さに比べて、色の影響が非常に大きいことが確認できた。

光電容積脈波方式を用いることで最終的には脈拍数だけでなく、酸素飽和度なども測定可能とするためには800nm付近を境目として、その上下に各一つの光が必要になる。しかしながら、従来のパルスオキシメータで多く使用されている660nmの波長の光は黒、紺、緑などの濃色においては透過率が5%以下になることから、アシストスーツには適していないことがわかった。この結果を元に、ハロゲン光源と分光器で構成したシステムを用いて、赤と黒の生地の上から660nmと750nmの波長で脈波が検出可能かを確認する実験を行なった。その結果、赤色生地では両波長共に脈波を検出できたのに対し、黒色生地では750nmでしか脈波を検出できない事を確認した。これらの結果から、アシストスーツで光電容積脈波方式によるバイタルセンシングには色の影響を受けにくい波長を選定することで、酸素飽和度の算出が可能であることを確認した。

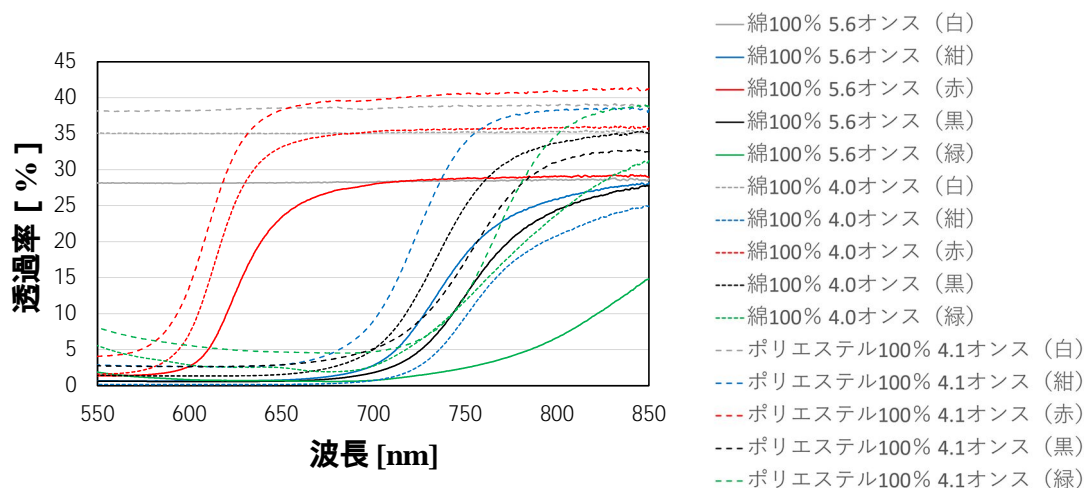


図5 Tシャツ生地の透過光スペクトル

#### <引用文献>

若松栄史, 和田隆弘, 「線状物体のモデリング」, 日本ロボット学会誌, vol.16, No.12, 145-148 (1998)

<https://doi.org/10.7210/jrsj.16.145>

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 1件）

1. 著者名 中島明哉、樋口雄亮、佐藤洋平、若子倫菜、喜成年泰	4. 巻 67
2. 論文標題 形状記憶合金平編地アクチュエータの収縮力と編目モデリング	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Textile Engineering	6. 最初と最後の頁 13-19
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4188/jte.67.13	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 吉村祐太郎、中島明哉、若子倫菜、喜成年泰
2. 発表標題 形状記憶合金平編地アクチュエータの収縮力に対するループ高さの影響
3. 学会等名 日本繊維機械学会第74回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉村祐太郎、中島明哉、若子倫菜、喜成年泰
2. 発表標題 形状記憶合金編地のループ構造とアクチュエータ特性の関係
3. 学会等名 日本繊維機械学会研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤洋平、中島明哉、若子倫菜、喜成年泰
2. 発表標題 摩擦特性を考慮した形状記憶合金平編地アクチュエータの収縮力発生機構
3. 学会等名 日本繊維機械学会研究発表会
4. 発表年 2020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	喜成 年泰  (kinari toshinari)  (90195321)	金沢大学・設計製造技術研究所・教授   (13301)	
研究 分担者	田中 志信  (tanaka shinobu)  (40242218)	金沢大学・フロンティア工学系・教授   (13301)	

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