

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 13 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22360106

研究課題名（和文）

自立・介護を支援するソフトアシストウェアの開発

研究課題名（英文）

Development of Soft Assist Wear for Supporting Independence and Nursing

研究代表者

則次 俊郎 (Toshiro Noritsugu)

岡山大学・大学院自然科学研究科・教授

研究者番号：70043726

研究成果の概要（和文）：

高齢者や障害者の自立した生活や介護を支援する装置の実現を目的として、空気圧ゴム人工筋を身体に装着して各種動作を支援する小型・軽量・柔軟なパワーアシスト装置を開発した。研究成果の一部は、手指の動作を支援するパワーアシストグローブとして商品化され、また、片麻痺者を対象とした歩行支援装置や介護作業の支援を目的とした腰部動作支援装置を開発した。さらに、筋電や脳波などの生体信号を用いた装着者の意思反映手法を提案した。

研究成果の概要（英文）：

In order to realize the device which can support the independent life and the nursing of elder or disabled persons, compact, lightweight and soft power assist wears have been developed. These devices are driven with pneumatic rubber artificial muscles directly wearable on the human body. A part of research results has been commercially available as a power assist glove which supports the motions of fingers. And some assist wears for walking and waist motions have been developed. Further, some methods to measure the human intent have been proposed with EMG and brain wave.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	3,900,000	1,170,000	5,070,000
2011年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2012年度	2,800,000	840,000	3,640,000
総計	9,200,000	2,760,000	11,960,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・ 知能機械学・機械システム

キーワード：制御工学、知能ロボティクス、福祉介護、人工筋、パワーアシスト、ウェアラブル、パワーアシストウェア、筋電信号

### 1. 研究開始当初の背景

人間の動作を支援する機械装置として、米国 DARPA の BLEEX などいくつかの装置が開発されているが、重量が大きいなどの問題があり、日常生活での使用には適さない。また、近年、介護支援や生活支援を目的としたウェアラブルパワーアシスト装置に関する研究が進められ、神奈川工科大学、筑波大学、東京理科大学などの研究が知られている。上肢の運動補助を目的とした身体装着型支援装置、介護者の腕、脚および腰部の支援を目的とした全身装着型のパワードスーツなどが

ウェアラブルパワーアシスト装置に関する研究が進められ、神奈川工科大学、筑波大学、東京理科大学などの研究が知られている。上肢の運動補助を目的とした身体装着型支援装置、介護者の腕、脚および腰部の支援を目的とした全身装着型のパワードスーツなどが

開発されている。これらの装置はすべて外骨格を有するため、支援性能は確保されるが、反面、装置の柔軟性や軽量性に欠け、日常生活や社会活動の中で手軽に利用することは容易でない。そこで、本研究では、衣服やサポーターの感覚で手軽に利用でき、長時間あるいは常時着用が可能な軽くてやわらかいアシストウェア（ソフトアシストウェア）を開発する。その特徴は、高齢者や身障者あるいは介護者が日常生活や社会活動において手軽に利用でき、かつ、着用時に身体を不必要に拘束しないことである。

## 2. 研究の目的

### (1) 着想に至った経緯と研究の目的

空気圧ゴム人工筋はゴムチューブを網状の繊維コードで覆ったマッキベン型ゴム人工筋が代表的であるが、研究代表者らはこれをベースにして動作の異なるいくつかの空気圧ゴム人工筋を開発している。このうち伸長型湾曲ゴム人工筋を主体としたパワーアシストグローブを試作している。人工筋の内部のゴムチューブを加圧すると湾曲動作を行う。手袋の5本の指背の部分に伸長型湾曲ゴム人工筋を取り付けることにより把握力やつまみ動作の補助を行うものであり、医療現場において片麻痺患者等への試用実験によりその有用性が認められている。伸長型湾曲ゴム人工筋およびパワーアシストグローブは特許認定されている[装着型パワーアシスト装置、特許第4564788号(2010)]。

また、マッキベン型ゴム人工筋(収縮型直動ゴム人工筋)と長下肢装具を組み合わせることで外骨格型立ち上がり動作支援装置を開発し、特許認定されている[立ち上がり動作支援装置、特許第5017660号(2012)]。膝部と足首部の連動制御系を構成し、装着者の体重の約90%までの支援が可能であることを確認している。

このような外骨格型装置は、立ち上がりや歩行などの訓練装置としての有用性が認められている。一方、高齢者や身障者の日常生活や社会活動を支援するためには、長時間にわたりこれらの装置を着用できることが望ましい。このためには、できるだけ小型・軽量・柔軟で着用性に優れた装置が求められ、ハードな外骨格を用いないものが望まれる。空気圧ゴム人工筋を用いることにより、このような装置が実現可能になる。本研究では、これを上肢、下肢および腰部の動作支援へ発展させ、自立・介護支援用ソフトアシストウェアを開発し、その有効性を検証する。

#### ①ソフトアシストウェアの機構

従来、外骨格を用いないアシストウェアに関する研究はほとんどなく、この種のアシストウェアの機構を明らかにすることはウェアラブルパワーアシスト技術のブレークス

ルーに繋がる。そこで、上肢、下肢および腰部の動作支援を目的として、身体動作解析に基づいて、空気圧ゴム人工筋を用いたウェアラブル人工筋およびアシストウェアの構造や身体への取り付け方法などを検討し、支援性能と着用性の両面から適切なアシストウェアの機構を明らかにする。

#### ②装着者の意図と連携した制御

アシストウェアを利用するためには、装着者の意図と連携したウェアの動作を実現する必要があり、意図センシングが不可欠である。本研究では、まず簡便性や信頼性を考慮して、ウェアに曲げセンサや接触圧センサを内蔵した制御系と音声制御系を開発する。さらに、脳波や筋電位などの生体信号を用いる方法を検討する。制御アルゴリズムは、着用者制御型およびウェア自律制御型とする。

#### ③小型エネルギー源

エネルギー源のウェアラブル化を目的として、二酸化炭素などの小型高圧ポンペをエネルギー源とするアシストウェア駆動系を構築する。

#### ④実証試験

リハビリテーション分野の医師と連携して大学病院での評価試験を実施し、ウェアの効果や安全性を検証する。

### (2) 本研究の特色・独創的な点と意義

柔軟・軽量な空気圧ゴム人工筋を用いることにより外骨格を有しない衣服状のソフトアシストウェアを開発することが、本研究の主要な特色かつ独創的な点である。そのための身体動作解析、ウェアの機構および制御系設計は学術的および実用的に有意義である。身体各部の動作支援を目的とした研究成果は、高齢者や身障者、介護者を対象とした福祉・介護分野を始め、労力低減など各種産業分野での応用も期待される。

## 3. 研究の方法

身体動作を支援するアシストウェアを実現するためにはいくつかの要素技術が必要であるが、本研究では、上記の①、②、③に関連するウェアラブル人工筋、意図センシング、制御アルゴリズムを中心的な研究課題とする。ウェアラブル人工筋として適切なゴム人工筋およびアシストウェアの機構、装着者の意図のセンシング、それに基づいたウェアの制御アルゴリズムを構築するとともに、ウェアラブル小型エネルギー源の実用化を図る。

#### ①ソフトアシストウェアの機構

シート状湾曲型空気圧ゴム人工筋は配管を取り付けたゴムチューブを2枚のシートで挟み、周囲を縫合したものである。シートの材料として軸方向のみに伸長する部材(織ゴム)を使用することにより、ゴムチューブの半径方向への膨張力が軸方向への伸長力に

変換される。

加圧時の上下シートの伸長量に差を設けることによりいくつかの異なる動作が実現できる。上下を同枚数の織ゴムで挟んだ場合、加圧時の上下織ゴムの伸長量が等しいため人工筋は伸長動作を行う。異枚数の織ゴムで挟んだ場合、加圧時にシートの伸長量に差が生じるため伸長と同時に湾曲動作を行う。また、軸方向に伸びない素材で片側のシートを拘束した場合、加圧時に湾曲動作のみを行う。これらの動作を組み合わせることにより、対象とする身体部位の動作に適合したアシストウェアが製作できる。

図1は、シート状湾曲型空気圧ゴム人工筋を用いて試作した肘部アシストウェアの外観を示す。試作したウェアにより成人男性の前腕を100°程度まで湾曲できることが確認されている。



図1 肘部アシストウェアの試作例

本研究では、これらの研究成果を発展させ、上肢(手首、肘、肩)の屈曲・伸展、回内・回外、膝の屈曲・伸展、腰の屈曲・伸展、捻り動作など、必要に応じてそれぞれの多自由度動作の支援が可能なウェアを開発する。

身体装着型アシスト装置においては、人工筋の発生力を身体に伝達するための機構が重要である。外骨格を使用すれば伝達効率は向上するが、装置の柔軟性が損なわれ装着性が低下する。これに対して、図1では、伝達機構に布やゴムなどのやわらかい素材を使用することにより装着性を向上させているが、外骨格型に比べて伝達効率の低下は否めない。また、肩部などの多自由度運動を支援するためには機構の工夫が求められる。このような観点から、図1のようなウェアをプロトタイプとして、やわらかさと伝達効率の両立、多自由度運動への対応を主な課題とし、小型(薄型)、軽量のウェアの機構について検討する。例えば、サポーターとゴム人工筋を組み合わせる方法などが考えられる。

#### ②装着者の意図と連携した制御

アシストウェアを有効に利用するためには、装着者の意図とウェアのコミュニケーションが不可欠である。すなわち、ウェアは装着が動きたい時に加速力を発生し、静止したい時に減速力を発生しなければならない。こ

れまでに、筋電位や筋硬度を用いて装着者の意図を認識する方法が提案されているが、これらは身体に直接センサを取り付ける必要があり、発汗状態などにより認識精度が低下する恐れがある。

そこで、本研究では、できるだけ簡便でかつ信頼性の高いコミュニケーションを行うため、まず、曲げセンサや接触圧センサをウェアに内蔵した方法および音声認識による意図センシングならびに制御系を構成する。制御アルゴリズムは、1)着用者がウェアを微小な力で操作する着用者制御型、2)ティーチングなどによりウェアの動作目標を設定するウェア自律制御型、の2方法を検討する。

#### ③小型エネルギー源

アシストウェアを着用した状態での活動性を高めるためには、エネルギー源のウェアラブル化が望ましい。本研究では、小型、軽量、低騒音、低振動のウェアラブルエネルギー源を開発する。そのため、液化二酸化炭素などの小型高压ポンペを用いた駆動法の有効性を検証する。

以上の成果に基づいてアシストウェアの統合システムを構築し、岡山大学病院の医師(連携研究者)や医療・福祉分野の専門家の協力を得て、高齢者や身障者、介護者を対象とした実証試験を行う。その結果に基づいて、産学官連携等により実用的なアシストウェアとして社会への普及を図る。

## 4. 研究成果

### (1)平成22年度

これまでに外骨格を用いないアシストウェアに関する研究はほとんどなく、この種のアシストウェアの機構を明らかにすることはウェアラブルパワーアシスト技術のブレークスルーに繋がる。

アシストウェアの装着性を向上させて長時間あるいは常時着用可能なものとするため、ハードな素材を用いない構造とし、衣服状のソフトアシストウェアを開発した。これまでの研究でゴムと布を素材とするシート状湾曲型空気圧ゴム人工筋を用いて試作している上肢用パワーアシストウェアを開発させ、上肢(手首、肘、肩)の屈曲・伸展、回内・回外、膝の屈曲・伸展、腰の屈曲・伸展、捻り動作など、必要に応じてそれぞれの多自由度動作の支援が可能な上肢動作支援用アシストウェアを開発した。また、手指の動作支援を目的としたパワーアシストグローブの性能向上を図るとともにデータグローブを用いた各種動作の制御法を提案した。

### (2)平成23年度

身体装着型パワーアシストウェアは、通常はできるだけ柔軟であり、支援動作を行う時

ム人工筋を開発した。マッキベン型人工筋のゴムチューブとスリーブ(繊維コード)の間に、管断面を3分割したウレタン製パネルを軸方向に並べて挿入したものである。ゴムチューブに無加圧時には各パネル間に隙間があるため人工筋は90°程度湾曲することが可能であり、加圧によりゴムチューブが半径方向に膨張するとともに人工筋は軸方向に収縮する。軸方向への収縮により、内部へ設置したパネルは互いに軸方向の押し付け力を受け、それぞれの隙間が減少するように動作する。その結果、無加圧時に湾曲可能であった人工筋が、加圧により直線状に硬化することになる。すなわち、加圧時にのみ高剛性の外骨格としての利用が可能である。この人工筋を用いて、肩部の屈曲、外転、内旋の3動作の支援を行う肩部パワーアシストウェアを試作し、その一つの応用例として食事動作支援への可能性を明らかにした。

また、並行して、通常のマッキベン型空気圧ゴム人工筋を用いた柔軟構造による腰部動作支援や寝返り動作支援を目的としたパワーアシストウェアの開発を進めた。さらに、筋電信号を用いた装着者の意思検出法について検討し、ニューラルネットワークを用いて学習機能を付加することにより、上肢および手指の動作を適切に識別できることを示した。

### (3)平成24年度

マッキベン型空気圧ゴム人工筋を用いて図2に示すような片麻痺者用歩行支援装置を開発した。本装置は、外骨格を持たず布やゴムのみで構成され、軽量・柔軟である。布製のサポーター状ウェアに複数本の空気圧ゴム人工筋をマジックテープで固定したものであり腰関節と膝関節の屈曲動作を支援する。これにより下肢片麻痺者によく見られるぶん回し歩行を改善し、正常な歩行動作に近づけるものである。力学解析により適切な人工筋の仕様や取り付け位置などを明らかにするとともに、産学連携により本装置の実用化を目指した外観デザインや制御手法の開発を進めた。さらに、パワーアシストグローブや図3に示すような腰部パワーアシストウェアの研究を進展させた。



図2 片麻痺者用歩行支援装置

また、装着者の意思に基づいた装置の制御を可能とするため、表面筋電位を用いた制御法を開発した。空気圧ゴム人工筋で駆動される肘部動作支援装置による肘の屈曲、伸展、回内および回外動作を支援対象とし、装着者が支援を要求する動作を装着者自身の上腕二頭筋、上腕三頭筋、方形回内筋および回外筋から得られる4つの筋電信号に基づいて識別するものである。識別率を向上させるためニューラルネットワークを導入し、その学習機能により上記の動作を適切に識別できることを示した。さらに、将来的な「考えたら動く」パワーアシストウェアの実現を目指して、脳波を用いたブレイン・マシン・インターフェース(BMI)の導入について検討した。その結果、視覚誘発電位(VEP)などを用いることにより、比較的簡便な脳波計による意思反映の可能性を示した。BMIについての詳細な検討は今後の課題である。

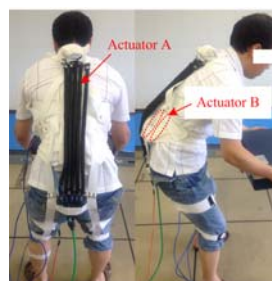


図3 腰部パワーアシストウェア

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計6件)

- ① Xiangpan Li, Toshiro Noritsugu, Masahiro Takaiwa and Daisuke Sasaki, Design of Wearable Power Assist Wear for Low Back Support Using Pneumatic Actuators, International Journal of Automation Technology, 査読有, Vol. 7, No. 2, 2013, pp. 228-236
- ② 小西秀和、則次俊郎、高岩昌弘、佐々木大輔、筋電により人間の意思を反映したパワーアシストグローブの制御、計測自動制御学会論文集、査読有、Vol. 49、No. 1、2013、pp. 59-65
- ③ Kuzuto Takashima, Toshiro Noritsugu, Jonathan Rossiter, Shijie Guo and Toshiharu Mukai, Curved Type Pneumatic Artificial Rubber Muscle Using Shape-Memory Polymer, Journal of Robotics and Mechatronics, 査読有, Vol. 24, No. 3, 2012, pp. 472-479
- ④ 則次俊郎、空気圧ゴム人工筋を用いた身体動作支援装置の最新動向、計測と制御、Vol. 50, No. 1, 2011, pp. 30-35
- ⑤ 稲葉智也、則次俊郎、二関節型ゴム人工筋を用いた支援装置モデルの解析と制御、日

本機械学会論文集 (C編)、査読有、Vol. 77、No. 778、2011、pp. 2323-2335

⑥ Yoko Kadowaki, Toshiro Noritsugu, Masahiro Takaiwa, Daisuke Sasaki, and Machiko Kato, Development of Soft Power-Assist Glove and Control Based on Human Intent, Journal of Robotics and Mechatronics, 査読有, Vol. 23, No. 2, 2011, pp. 281-291

[学会発表] (計 10 件)

- ① 則次俊郎、空気圧ゴム人工筋を用いた身体装着型パワーアシスト装置の開発、第 11 回福祉工学カフェ、2013 年 3 月 15 日、東京
- ② 則次俊郎、空気圧ゴム人工筋を用いたリハビリ用パワーアシストウェアの開発、電子情報通信学会東海支部 平成 24 年度専門講習会、2013 年 1 月 9 日、名古屋
- ③ 則次俊郎、ゴム人工筋を用いたパワーアシストグループの開発、日本作業療法学会、2012 年 6 月 16 日、宮崎
- ④ 則次俊郎、空気圧ゴム人工筋を用いたパワーアシストウェアの開発、ポリテクカレッジ島根開設 20 周年記念 記念講演会、2012 年 9 月 29 日、島根
- ⑤ 則次俊郎、産学連携研究を通じた制御工学教育、徳島大学創成学習開発センター&FD委員会共催特別講演会、2011 年 2 月 4 日、徳島
- ⑥ 則次俊郎、人に優しい身体装着型パワーアシストロボットの開発、平成 23 年度第 52 回全国電子工業教育研究会総会・協議会岡山大会 特別講演、2011 年 8 月 4 日、岡山
- ⑦ 則次俊郎、空気圧ゴム人工筋を用いたパワーアシストウェア、日本機械学会年次大会、機素潤滑設計部門企画 基調講演、2011 年 9 月 12 日、東京
- ⑧ 則次俊郎、社会との連携を通じた制御工学教育、第 53 回自動制御連合講演会 (制御工学教育研究集会)、特別講演、2010 年 11 月 15 日、高知
- ⑨ 則次俊郎、ロボットの研究開発動向について、香川県次世代ものづくり研究会、2010 年 10 月 14 日、高松
- ⑩ 則次俊郎、石野裕文、佐々木大輔、ゴム人工筋を用いたソフトパワーアシストウェア、第 12 回建設ロボットシンポジウム、2010 年 9 月 7 日、東京

[図書] (計 3 件)

- ① 則次俊郎ほか 28 名、産業図書株式会社、Actuator アクチュエータが未来を創る、2011、pp. 100-102、pp. 203-206、pp. 206-207
- ② 樋口俊郎、大岡昌博監修、則次俊郎ほか分担執筆、エヌ・ティー・エス、アクチュエータ研究開発の最前線、2011、pp. 53-57、pp. 375-384
- ③ Toshiro Noritsugu, Springer, Next-Generation Actuators Leading Breakthroughs, Chapter 22 Pneumatic Rubber Muscles and Application to Welfare Robotics, 2010, pp. 255-266

[産業財産権] (計 1 件)

名称：手袋型パワーアシスト装置  
発明者：則次俊郎、佐々木大輔、小川和徳、池田智浩  
権利者：国立大学法人岡山大学、ダイヤ工業株式会社  
種類：特許  
番号：特願 2011-057791  
出願年月日：2011 年 3 月 16 日  
国内外の別：国内

[その他]

ホームページ  
<http://mcrlab.sys.okayama-u.ac.jp/>

6. 研究組織

- (1) 研究代表者  
則次俊郎 (NORITSUGU TOSHIRO)  
岡山大学・大学院自然科学研究科・教授  
研究者番号：70043726
- (2) 研究分担者  
佐々木大輔 (SASAKI DAISUKE)  
岡山大学・大学院自然科学研究科・助教  
研究者番号：50372686
- (3) 研究分担者  
高岩昌弘 (TAKAIWA MASAHIRO)  
岡山大学・大学院自然科学研究科・准教授  
研究者番号：60243490
- (4) 連携研究者  
千田益生 (MASUO SENDA)  
岡山大学・大学病院・教授  
研究者番号：60226694