

[研究助成 (A)]

日常生活でのパワーアシストのための皮革を利用した 空気圧人工皮膚筋肉の開発

Development of Pneumatic Artificial Skin Muscle Using Leather for Power Assist in Daily Life

2181035



研究代表者

法政大学 デザイン工学部
システムデザイン学科

准教授

山田 泰之

[研究の目的]

年齢、性別等の身体的能力差によって発生する仕事や体験の機会には平等とは言えない。近年、この身体能力差をウェアラブルパワーアシストデバイスでの解決が期待されている。これらはモータ等の機械的な外観・アシスト動作であるため、日常生活、例えば、散歩や家事、カフェに行くための利用には適していない場合がある。そこで著者らは、皮革や布のような生活になじみのある素材を用いた、衣服のように装着（着用）して使用するパワーアシストデバイスの開発を目指している。ファッション性を両立できる概観と装着時に身体的なストレスを感じない質感や肌触り、そして人間の柔軟な動きに沿った柔らかなアシストを実現できれば、日常生活での活用が期待できる。本研究では、それらのアシストデバイスを実現するために、身体に柔軟にフィットする面状や複雑形状の柔軟なアクチュエータについて研究開発した。

[研究の内容, 成果]

1. 面形状の空気圧人工筋肉

身体の曲面形状に対応するシート型人工筋肉を開発した。身体とのインタラクションを考えて、吸水性や保温性、肌触り等の質感とアクチュエータとしての性能を両立するため、図1

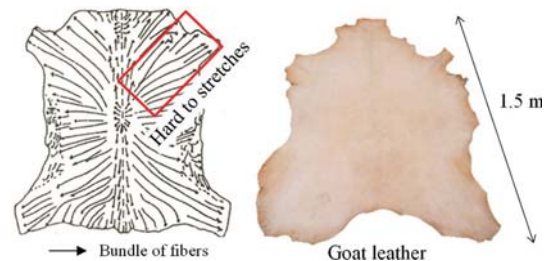


図1 Anisotropy of whole hide leather

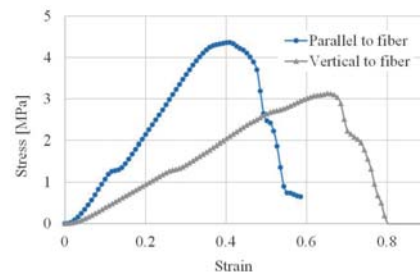


図2 Results of the tensile test of leather

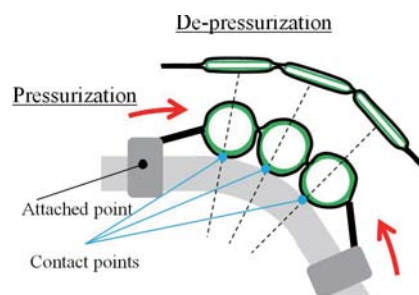


図3 Transmission of the assist force by each contact point

のように、手足方向に強い繊維構造をもつ皮革の異方性材料の特性（図2）に着目した。図3のように、2枚の薄い皮革を縫い合わせる等で袋形状を作り、そこに薄肉チャンバを並べて配

置した構造である。この面状の空気圧人工筋肉は、アクチュエータの伸縮方向に皮革の伸びにくい繊維方向を用いることで、アクチュエータの発揮力を確保しつつ、伸縮方向と直行する方向の伸縮性を確保して身体にフィットする。動作原理は以下である。内部の空気袋は、空気圧印加時に弾性変形して膨張する。一方で、接続された2枚のシートは伸びにくいいため断面形状が円形になり、両端間に伸縮力を発生する。身体にフィットできるため、アクチュエータと身体との各接点における摩擦によってもアシスト力を伝達可能であり、アクチュエータ端部のみでの力伝達に頼らない。この形状で発揮できる最大変位量は、シートの伸びを無視すると、シートの縫幅を l 、袋構造の数を n およびシート厚を t とすると、最大変量 x_{MAX} は式(1)となる。

$$x_{MAX} = n \left(\frac{l(\pi - 2)}{\pi} - 2t \right) \quad (1)$$

山羊革を用いて、図8の面状空気圧人工筋肉を製作した。これを空気圧人工皮膚筋肉と呼称する。今回は、基本的特性を把握するため、空気経路を平行かつ等長・等幅としたが、装着する身体箇所に合わせて、空気袋の大きさやシートを立体的に構成すれば、立体構造も製作できる。本アクチュエータは、2枚の山羊革をポリエステル製の糸で縫い合わせた袋構造である。この



(a) De-pressurization (b) Pressurization

図4 Pneumatic artificial skin muscle

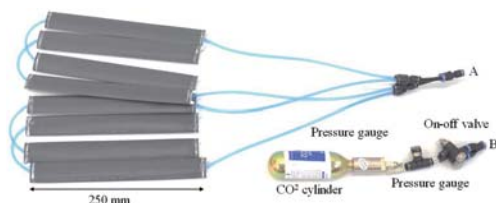


図5 Air bag units and air supply system

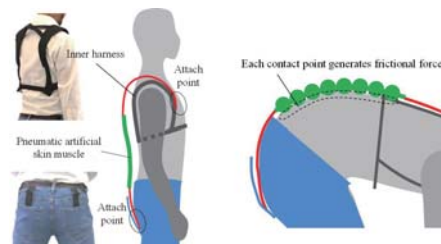
袋構造に図5の空気袋ユニットを挿入する。空気袋の長さは250 mmである。今回は8袋を用いて、革を含めて約220 gである。CO₂タンクをパワーユニットとしており、バルブを含めて計450 gである。革ジャンが1~2 kg程度あることと比較すると、衣服とし許容範囲内の質量と想定される。

2. 面人工筋肉を用いたアシストジャケット

日常生活に利用可能なパワーアシストデバイスの一例として、身近な上着であるジャケットの腰部に面状人工筋肉を利用した腰部アシストデバイスを試作した。日常生活に利用可能とするために、着座等の日常的な他の動作を阻害せず、洋服のシルエットを崩さず、アシスト効果を得られることを目指した。

試作したアシストジャケットの外観を図6, 75に示す。図6のような身体への固定ハーネスをジャケット内部に配置して、ジャケット背面に空気圧人工皮膚を配置することで、体幹前屈運動のアシストを行う。アシストジャケットの構造について図6を用いて説明する。空気圧人工皮膚筋肉はジャケットの背中面を構成しており、その上下には図中に赤色で示したベルトが左右2本ずつ接続されている。

これらは、上端はインナーハーネス、下端はズボンのポケットの中に接続される。なお、インナーハーネスは、ジャケットと一体化しており、図6は説明上分離した。インナーハーネスは、肋骨を摩擦の高い素材を添付した帯で拘束することで身体に固定している。またアシスト力をズボンのポケット内部に伝達することで、



(a) Wearing method

(b) Power assist

図6 Design of the power-assist jacket

アシスト力発生時に、大腿部のズボンの面全体で力を受けることができる。さらに、空気圧人工皮膚筋肉の発揮力は、図6(b)のように、アクチュエータ自体の柔軟性を生かして、腰部にフィットすることで、腰部表面の皮膚全体でも反力を受けることができる。そのため、インナーハーネスとズボンの固定は位置決めと予備的なものである。次に、アシストジャケットの調整方法について説明する。図6(a)のように2か所の調整機能を設けてある。1つは、背中長さの差を埋める調整機能である。もう一つが、胸囲の長さに対する調整機能である。なお、これらは、一度着用時に調整すれば、着用毎に調整する必要はない。

製作したアシストジャケットの動作外観を図7に示す。ジャケット背面に空気圧人工皮膚を配置することで、体幹前屈運動のアシストを行う。図7(a)のように、空気圧印可していない場合は、通常のジャケットのシルエットと変わらない。外骨格を有しない構造であるため、椅子や自動車の利用の妨げとならず通常の生活を過ごせる。図7(b)のように空気圧を印加すると、背中部の空気圧人工皮膚筋肉が背中全体の表面を引っ張るようにアシスト力を発生する。

次に、アシストジャケットの利用シーンについて、図8を用いて説明する。図8(a)のように、主に前かがみ姿勢の軽微な作業への補助に



図7 Power-assist jacket



図8 Applications of the assist jacket.

活用できる。継続的に前かがみになる例として、図8(b)などの、バイクや自転車の乗車姿勢のアシストにも利用可能である。また、腰部アシストデバイスの主な目的とされる図8(c) 荷物の持ち上げ動作に対しても、アシスト力を発揮する。ただし、より重いものを持てるということではなく、あくまで、少し楽になる程度を目指している。また、従来のジャケット形式であるため、図8(d)のように、アシストを利用しない場合も、そのまま装着したままお茶を嗜むことも可能である。

3. アシストデバイスと洋服の融合について

本研究では、皮革や布などを利用した洋服のような身近な形式でのアシストデバイスの提案をおこなっている。重労働や、同じ作業の繰り返しを想定した産業用のアシストデバイスとは異なり、あくまで日常的な軽微な作業のアシストを目指している。上記のようなコンセプトについて、成人男性10名を対象として、本コンセプトが日常生活に対して有効である可能性を検討した。

アンケート調査の被験者には、前提条件として、A) 各関節をモータでアシストする外骨格型アシストデバイスと、B) 革やジーンズを用いたアシストデバイス、であること、被験者が

仮に、歩けるが、筋力の衰えており長距離歩行は困難であり、日常生活での利用する場合についての質問であると説明した。評価の

指標は、1 (まったくそう思わない), 2 そう思わない, 3, 4 そう思う, 5 (とてもそう思う) とした。質問は全部で4個である。

質問1 A) を利用すれば、全く苦なく長距離歩けます、町に出かけますか？

質問2 B) を利用すれば、いつもよりは楽、シンドイですが長距離歩けます、町に出かけますか？

質問3 A) を利用すれば、全く苦なくずっと歩けます、家の中で家族や恋人と過ごすとき利用しますか？

質問4 B) を利用すれば、いつもよりは楽、シンドイですが家の中ならどこでも歩けます、家の中で家族や恋人と過ごすとき利用しますか？

アンケートの結果を表1と、図9のグラフに示した。質問1と4に対して、3以上の好意的な結果となったことから、アシスト性能よりも日常生活の状況に合致することも必要であることが示唆され、本アシストデバイスのコンセプトが有効であると期待できる。

表1 Questionnaire results.

| | Subject number | | | | | | | | | | Avg |
|----|----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| Q1 | 3 | 3 | 2 | 4 | 2 | 3 | 5 | 2 | 4 | 2 | 3.0 |
| Q2 | 5 | 2 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 3.8 |
| Q3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1.7 |
| Q4 | 5 | 1 | 4 | 5 | 2 | 5 | 5 | 3 | 4 | 3 | 3.7 |

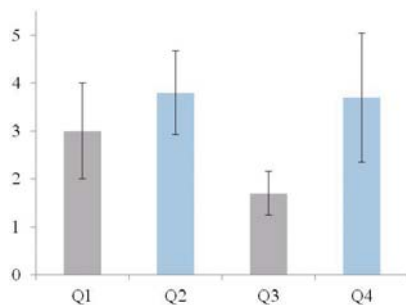


図9 Mean and standard deviation of the questionnaire responses.

4. 柔軟軽量構造アクチュエータ

洋服のような着用可能なアシストデバイスの検討を進める中で、外骨格式のアシストデバイスと同様の課題が発見された。アシスト力を効率的に身体に伝達するために、柔軟な身体構造に適切にアシストデバイスの力を伝える身体固定部である。現在の装具やアシストデバイスでは、身体形状に広い面で接する特注の固定具を用いる方法や、スポンジなどのクッション材を挟むタイプが工夫されている。著者は、これらの固定部で力を分散するために利用される、発泡体それ自体をアクチュエーションすることで、身体への適切な固定とアクチュエーションを両立できると新たな課題も見出した。そこで、このような発泡体アクチュエータと、面上状アクチュエータをハイブリッドで利用することで、衣服のように装着可能なアシストデバイスの性能を向上させられると考えた。

5. 発泡体積層アクチュエータ

発泡体には気泡の分布状態の違いで、気泡間の独立している独立気泡体と連続している連続気泡体がある。この特性の異なる発泡体を、図10のようにそれぞれ袋に内包させて減圧する。連続気泡体のみが発泡体内部気泡の空気も吸引

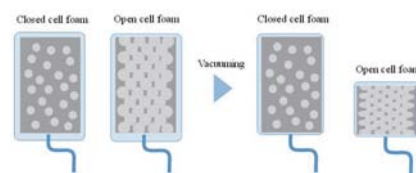


図10 Structure of foam.

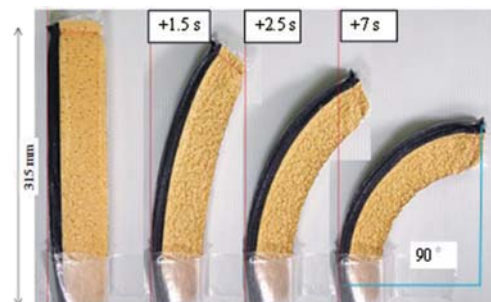


図11 Dynamic bending motion of the actuator.

されて体積が減少する。この特性を利用して、図 11 のように独立気泡体(黒スポンジ)と連続気泡体(黄スポンジ)を積層して袋に内包させて減圧することで、曲げや伸縮を発生させるアクチュエータを構成できる。このクッション性の高い軽量かつ形状を自由に設計できるソフトアクチュエータを用いて、身体にフィットするアクチュエーションする固定部の実現が期待できる。

[今後の研究の方向, 課題]

本研究で提案した、皮革等を用いた面状ソフトアクチュエータや、その過程で開発した発泡体積層アクチュエータなど、柔軟で軽量なおアクチュエータをハイブリッドに組み合わせることで、身体にフィットしつつアシスト力を出す身近なアシストデバイスの実現に向けて研究開発を続ける。特に、エネルギー消費と利用回数、装置総重量について検討していく予定である。

[成果の発表, 論文等]

国内口頭発表

- 1) 山田泰之, 小島明寛, 中村太郎, 常生活でのウェアアシストのための空気圧人工皮膚筋肉の提案,

第 18 回 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2A1-04, (2017.12)

- 2) 山田泰之, 中村太郎, “LayerCAKE: 発泡体積層構造を用いたソフトアクチュエータ ~Kawaii と優しいを備えたアクチュエータの提案~”, 第 36 回日本ロボット学会学術講演会, 1P1-05, (2018.9)
- 3) 山田泰之, 中村太郎, 発泡体積層構造を用いたソフトアクチュエータの開発 ~曲げ運動の過渡特性の検討~, 第 37 回日本ロボット学会学術講演会, ROMBUNNO.3D3-04, 2019.3.
- 4) 山田泰之, 中村太郎, 柔軟構造体を駆動可能とする発泡体積層構造を用いたソフトアクチュエータの開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2019, 2P1-C13 (2019.6)

国際会議論文 (査読付)

- 1) Yasuyuki Yamada, Taro Nakamura, Proposed Pneumatic Artificial Skin Muscle That Provides Assistance in Daily Activities, International Symposium on System Integration, (2019.1)
- 2) Yasuyuki Yamada, Taro Nakamura, Laminated foam-based soft actuator for actuatable lightweight flexible structure, Proc. of the 2019 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2019), China, Macau, (2019.11)
- 3) Yasuyuki Yamada, Taro Nakamura, “Actuatable Flexible Large Structure Using a Laminated Foam-based Soft Actuator”, Proc. of The 2020 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2020), Mo1C.2, USA, (2020.1)