

## 2022年度 永守財団 研究助成 研究報告書

所属機関	早稲田大学 理工学術院 大学院情報生産システム研究科
職位または役職	教授
氏名	橋本 健二

### 1. 研究題目

セルフアシストスーツの開発に向けた基礎研究

### 2. 研究目的

近年、健康維持のためにランニングをする人の割合が増えているが、ランニングは下半身の負担が大きく、筋肉が衰え始めた人が長距離のランニングをすることは難しい。もし上半身のエネルギーを下半身に伝達することができれば、下半身の負担低減につながる。そこで、ランナーの上半身のエネルギーを下半身に伝達することが可能で、筋肉が衰え始めた人が楽しみながらジョギングやランニングを行えるような歩行支援スーツの開発を長期的には目指す。

人間の身体の自由度は筋のレベルで  $10^3$  のオーダーであり、複数の筋シナジーの組み合わせによって膨大な計算量を低減している。ランニング中も上半身と下半身の複数の筋が協調しているため、上半身と下半身の動きに周期的な協調運動が見られる。そこで、上肢の関節を伸展・屈曲させるエネルギーを適切なタイミングで下肢の関節に伝えることができれば、継続して歩行を支援できるのではないかと考えるに至った。

従来研究ではサイバーダイン社のロボットスーツ HAL<sup>®</sup>のように電動アクチュエータを持つ歩行支援ロボットは多くある。しかし、それらの多くは歩行支援ロボットに搭載されているアクチュエータで歩行を支援するため、装着者の筋力を増強させる効果は少ない。本研究課題では、自分の力で自分自身をアシスト可能な「セルフアシストスーツ」の開発を目指すところに特徴がある。セルフアシストスーツの装着者は、あたかも自分で自分を支えているかのように感じることができ、自分自身の力で自身の動きをサポートするため筋力の衰えを抑制する効果が期待される。また、動力源には装着者自身の力を活用するため、アクチュエータを駆動するためのエネルギー源が不要になり、システムの小型化・軽量化が可能となる。なお、提案するセルフアシストスーツは、障がい者などを対象とした福祉機器ではなく、健常者を対象とするものである。

3. 研究内容及び成果

■上肢と下肢の運動を連動可能な動力伝達機構の改良

2021年度までにマッキベン型空気圧人工筋を2つ接続した動力伝達機構を考案し、駆動側となる人工筋を伸長させることで、被駆動側の人工筋を4.7%収縮させることができた。しかし、歩行中の膝関節の角度変化を考慮すると、被駆動側人工筋には10%程度の収縮率が求められる。そこで、①人工筋のゴムチューブの材質を変える、②被駆動側人工筋に対して駆動側人工筋の体積を増やすという2つのアプローチから収縮率の改善を図った。初期条件として0.05MPaの圧力を印加し、改良後の人工筋にて動力伝達機構の評価実験を行ったところ、収縮率に改善が見られた。また、被駆動側人工筋の自然長を駆動側人工筋の1/2の長さの150mmにすることで駆動側人工筋の体積を相対的に増やしたところ、駆動側人工筋を200Nの引張力で伸長すれば10%以上の収縮率が得られることが確認できた(図1)。

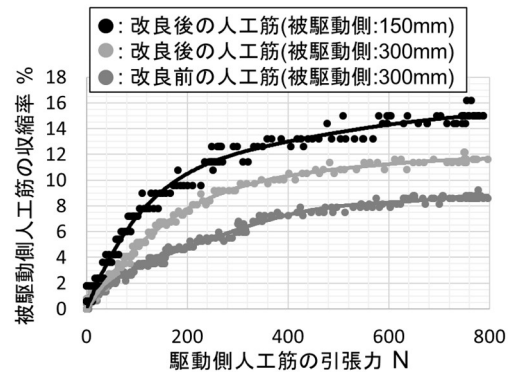


図1 動力伝達機構の改良結果

■セルフアシストスーツのプロトタイプ機的设计・製作と評価

改良した動力伝達機構を搭載したアシストスーツを設計・製作した。被駆動部となる人工筋の上端部は衣服に直接縫い付けており、人工筋の下端部はテンション調整用のダイヤル式靴紐を經由して衣服に取り付けている。駆動部の人工筋については、プロトタイプ機としての位置づけであるため、人工筋の一端を上半身のバックパックに縫い付け、もう一端を上肢で引くという構造になっている。裁縫を利用することで、スーツ質量を1.3kgと軽量に収めることができた。

0.05MPaで加圧した状態から駆動側人工筋を図2に示すように上肢で引張った際の駆動側人工筋の内圧の変化を図3に示す。人工筋を引張ることで、駆動側人工筋の内圧が0.06MPa増加していることが分かる。別途取得した印加圧力と人工筋の収縮力の関係(図4)から、被駆動側人工筋の収縮力は約50Nであると推定でき、セルフアシストスーツの実現可能性を確認することができた。



(a) 駆動側人工筋を伸長する前 (b) 駆動側人工筋を伸長した後

図2 セルフアシストスーツのプロトタイプ機の評価実験

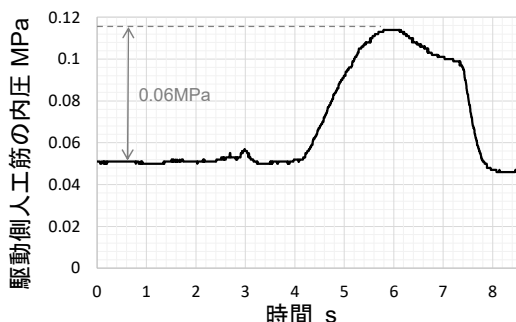


図3 駆動側人工筋の内圧の変化

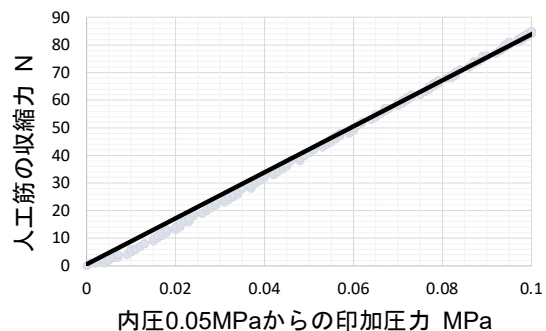


図4 印加圧力と人工筋の収縮力の関係

#### 4. 今後の研究の見通し

本研究助成を受け、セルフアシストスーツに向けた基礎研究を実施することができ、セルフアシストスーツのプロトタイプ機(図 5)を開発することができた。また、本研究助成を通して空気圧アクチュエータのようなフルードパワーを利用したロボット開発に関する知見を集めることができた。本研究の波及効果として、空気圧配管をリンク内に格納したロボットアーム(図 6)を開発した。これは肘関節に 1 自由度、手首関節に 2 自由度を持つものであり、3D プリンティング技術を応用することでロボット関節内部に空気の流路と制御弁を格納している。さらに、マッキベン型空気圧人工筋を応用したロボットハンド(図 7)も開発した。伸張型のマッキベン型空気圧人工筋と収縮型のマッキベン型空気圧人工筋を並列に組み合わせることで 1 つの指として構成し、この指を 2 つ対向して配置することで把持動作を可能にしている。ハンド質量 0.16kg に対して 2.6kg の重量物を把持することに成功した。把持対象物/ハンド質量比は 16 となり、空気圧アクチュエータを利用したハンドに関する関連研究と比較しても大きな値となっている。



図 5 セルフアシストスーツのプロトタイプ機

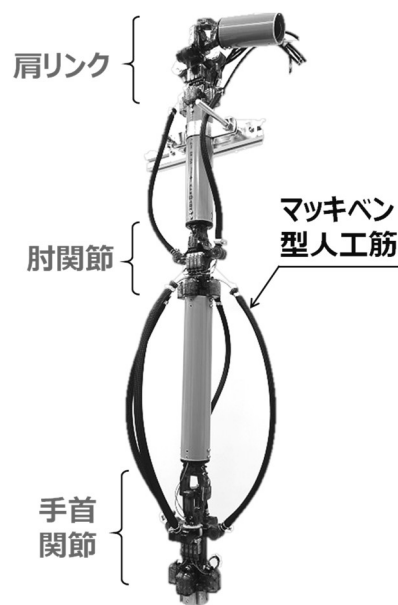


図 6 ロボットアーム



図 7 ロボットハンド

#### 5. 助成研究による主な発表論文、著書名

##### 【国際会議(査読付)】

- Ayumu Nara and Kenji Hashimoto, “Power Transmission Mechanism from Upper Limb to Lower Limb by Pneumatic Artificial Muscles for Development of Self-Assist Suit,” Abstract Booklet of the 16th World Congress of the International Federation for the Promotion of Mechanism and Machine Science (IFTOMM WC 2023), pp. 9-10, Tokyo, Japan, November, 2023.