

2021 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、ランニングは下肢の負担が大きく、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。もし上肢の動力を下肢に伝達することができ、自身の上半身の力で自身の歩行をアシストできるようなスーツが開発できれば、下肢の負担軽減につながる。そこで、ランナーの上肢のエネルギーを下肢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®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

■マッキベン型空気圧人工筋の改良

上肢の動力を下肢へ伝達する機構には軽量性と柔軟性が求められる。そのため、動力伝達手段としてフルードパワーに注目し、マッキベン型空気圧人工筋の使用についてこれまで検討している。2020年度の助成を通して、市販品と同程度の性能(収縮率 25%程度)を持つマッキベン型空気圧人工筋の内製が可能になった。その過程で、マッキベン型空気圧人工筋を構成するスリーブとゴムチューブの組み合わせ方によっては市販品の性能を超えるマッキベン型空気圧人工筋が製作できる可能性があったため、2021年度はスリーブとゴムチューブの寸法や材質を変更することで、マッキベン型空気圧人工筋の性能向上を図った。その結果、収縮率 32%、収縮力 470N を発揮可能なマッキベン型空気圧人工筋の製作が可能になった(図 1)。

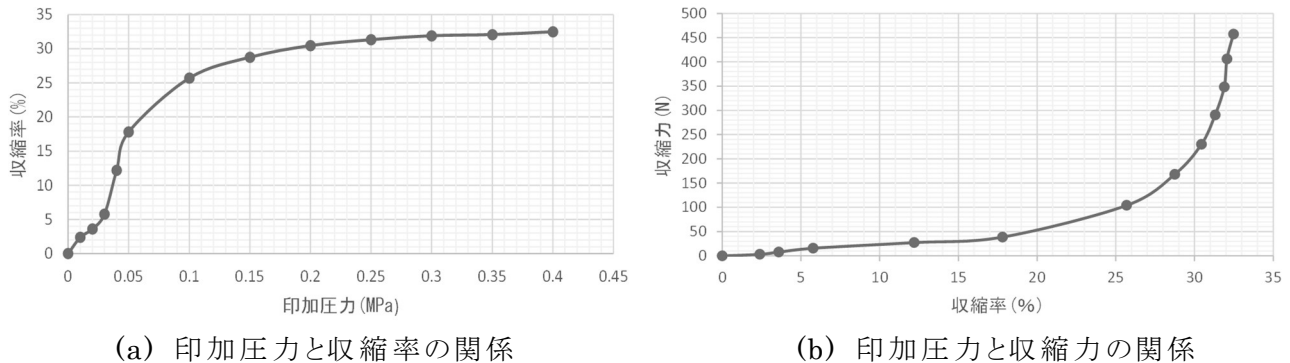


図 1 改良したマッキベン型空気圧人工筋の性能

■マッキベン型空気圧人工筋を利用した動力伝達機構

マッキベン型空気圧人工筋は流体が注入され内部圧力が高まると収縮するアクチュエータである。本研究で検討する動力伝達機構においては、人工筋を 2 本直列に接続し、圧力をあらかじめ印加した上で使用する。2 本の人工筋のうち一方(駆動側)を伸長させると空気が他方(被駆動側)へ流れ込み、被駆動側の人工筋は収縮する。この原理を利用し、人工筋の一方を上肢に、他方を下肢に取り付けることで上肢から下肢への動力伝達の実現を目指す。

マッキベン型空気圧人工筋による動力伝達機構の実現可能性を検証するため、人工筋の連動実験を行った。実験装置の空気圧回路図を図 2 に、外観を図 3 に示す。コンプレッサーで人工筋を加圧後、調整弁を閉じる。その後、人工筋の一方を駆動側として図 3 に示すように引張試験装置で引っ張り、被駆動側の人工筋の収縮率を測定した。

実験の結果、人工筋への印加圧力が 0.04MPa の際に駆動側の伸び率に対する被駆動側の収縮率が最大となり、駆動側のマッキベン型空気圧人工筋を 17%伸ばしたところ、被駆動側の人工筋の収縮率は約 6%となった。駆動側のマッキベン型空気人工筋を上肢に取り付け、被駆動側の人工筋により膝関節を補助することを考えた場合、被駆動側の人工筋には 5%程度の収縮率が求められる。本実験では約 6%の収縮率が得られたため、提案する動力伝達機構の有効性が確認できた。今後は動力伝達機構を応用してセルフアシストスーツを製作する。

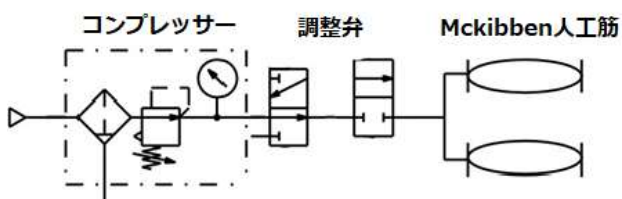


図 2 動力伝達機構の空気圧回路図

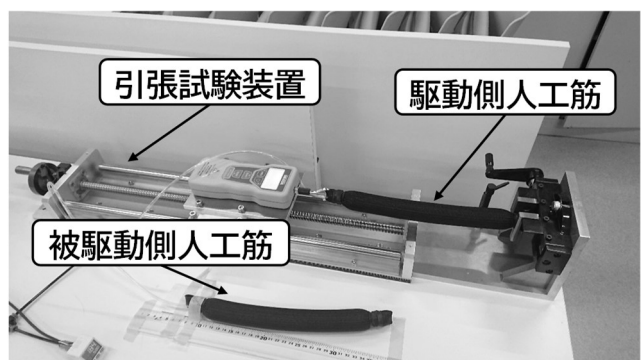


図 3 マッキベン型空気圧人工筋の実験装置

4. 今後の研究の見通し

マッキベン型空気圧人工筋を利用した動力伝達機構の有効性が確認できたため、提案する動力伝達機構を応用したアシストスーツの製作を開始している。マッキベン型空気圧人工筋の装着箇所を検討するために、人工筋を 1 本のみ使用し、図 4 に示すような簡易的なアシストスーツを試作した。人工筋の端部は腰ベルト部に接続されており、もう一方の端部は人工筋固定器具を経由して下腿部に取り付けられる。なお、本試作機では動力源にコンプレッサーを使用している。

アシストスーツの試作機をマネキンに装着し、コンプレッサーにより人工筋を加圧したところ、膝関節の伸展の補助が可能であることを確認した(図 5)。現状では、他の先行研究と同様に、動力源にはコンプレッサーを使用しているが、本研究では、コンプレッサーの代わりに上肢の動力を下肢に伝達し、自身で自身をアシストするところに特徴がある。そのため、動力源にはコンプレッサーを使用せずに、提案する動力伝達機構を応用したセルフアシストスーツの実現を目指し、2022 年度も研究を継続する。

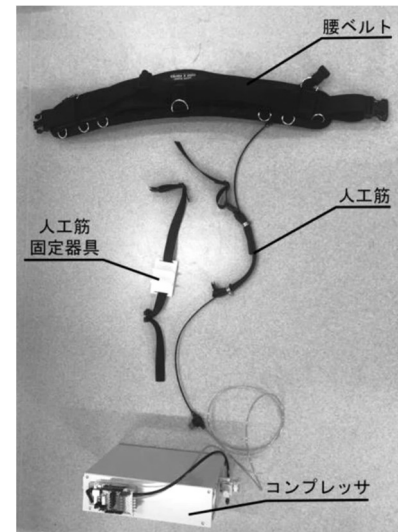


図 4 アシストスーツの試作機

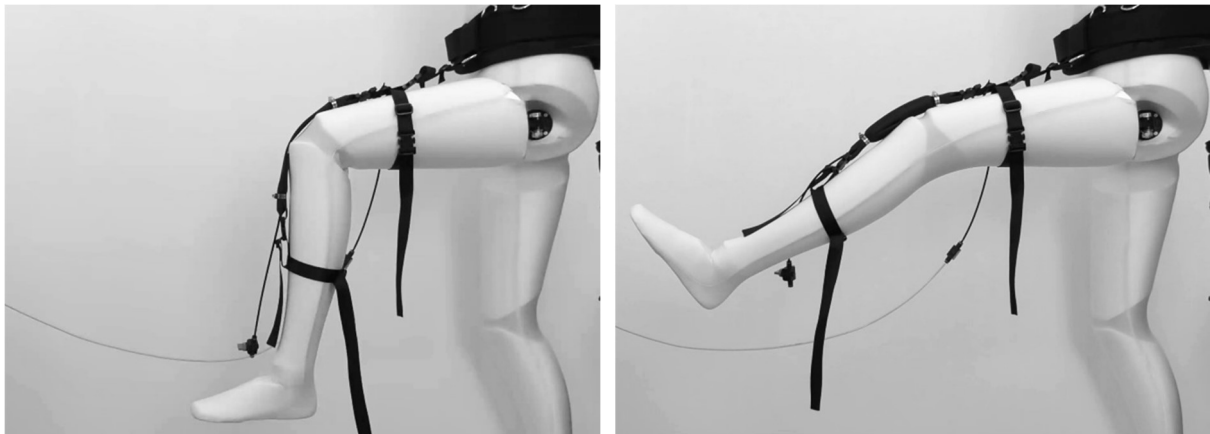


図 5 マネキンにアシストスーツ試作機を装着しての動作試験

5. 助成研究による主な発表論文、著書名

【国内会議（査読無）】

- 田上直樹, 新山龍馬, 池田昌弘, 橋本健二, “空気圧ロボット関節内部に流路を設けたリンク・マニホルダー一体型回転関節の開発”, 2022 年度秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集, pp. 16-18, 2022 年 11 月.