

## 2020年度 永守財団 研究助成 研究報告書

所属機関	明治大学 理工学部 機械情報工学科
職位または役職	専任准教授
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。もし上半身の動力を下半身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、下半身の負担軽減につながる。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®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

■ 空気を利用した動力伝達の基本原理の検証

上肢の力を下肢に伝達するための方法としてフルードパワー(特に空気圧)に注目した. 図 1(a)に示すように 2 つの空気圧シリンダを接続すると, 片側を駆動すればもう一方がそれに連動して駆動される. このような動力伝達機構を人間の上肢と下肢に装着すれば, 上肢の駆動力を下肢に伝えることができると考えられる(図 1(b)).

空気を利用した動力伝達機構の基本原理を検証するために, 市販品の空気圧シリンダを 2 つ接続し, その連動性を検証した. 具体的には, 2 つのシリンダの空気量の排気量と吸気量を一致させるために, 両ロッドのシリンダ(SMC 社の CQ2WA32-100DCZ)を選定し, 駆動側のシリンダに対する被駆動側のシリンダの追従性を評価した. 検証実験のための空気圧回路図を図 2 に示す. レギュレータによりコンプレッサから送られる空気を任意の圧力に制限し, 制御弁 1 にてレギュレータからピストンへの吸気と, ピストンから大気への排気の切り替えを行う. 制御弁 2 と制御弁 3 はシリンダ間で加圧された圧力を保つために使用し, 制御弁を閉じた状態で片側のピストンロッドを手動で動かすことで, もう一方のピストンロッドが連動して駆動される. 管路内圧力が大気圧時には追従性が低く, 駆動側と被駆動側のシリンダの変位にヒステリシスが計測されたが, 管路内圧力を 0.8MPa まで加圧した際には, ヒステリシスも見られず追従性が向上することが確認できた(図 3).

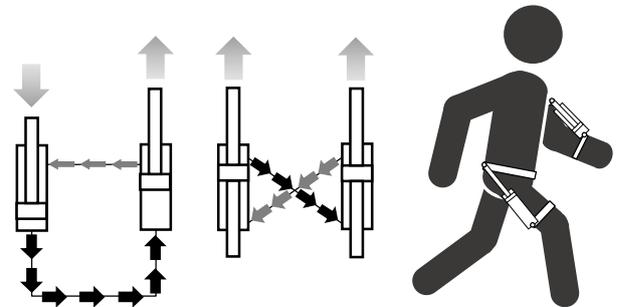
以上の実験結果より, 適切に加圧すれば, 上肢と下肢間の動力伝達に空気圧を使用することができることが確認できた. しかし, 一般的な空気圧シリンダはロッド部の摺動抵抗が大きく, さらに金属製で重いため, そのままではアシストスーツには適用できない.

■ マッキベン型空気圧人工筋の内製に向けた検討

動力伝達機構を人間が装着しセルフアシストスーツとする場合, 動力伝達機構には軽量性や柔軟性が求められる. そのため, 前述の空気シリンダの欠点を回避するために, マッキベン型空気圧人工筋の使用について検討した. マッキベン型空気圧人工筋は市販もされているが, アシストスーツへの応用を考えると, 人工筋の寸法などを微修正し試行錯誤的に試験することが想定されたため, マッキベン型空気圧人工筋の自作を試みた.

試作を繰り返す中で収縮率が約 25%のものまで製作できるようになった. これは市販品のマッキベン型空気圧人工筋と同程度の収縮率であり, 肘関節を 145 度屈曲するには, マッキベン型空気圧人工筋には 23%程度の収縮率が求められることを考慮すると, 十分な収縮率である.

また, マッキベン型空気圧人工筋を製作する過程で, アクチュエータとジョイント, リンクを一体化して製作する手法を新たに考案した. 多孔質にしたリンクに弾性体原料を流し込むことで, 弾性体とリンクの強固な接続を実現した.



(a) 動力伝達機構 (b) アシストスーツ  
図 1 セルフアシストスーツのイメージ図

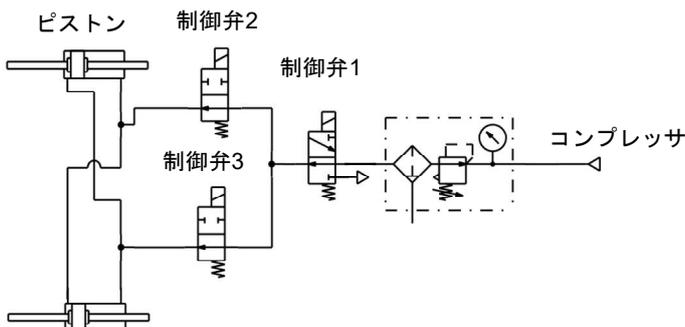


図 2 動力伝達機構の空気圧回路図

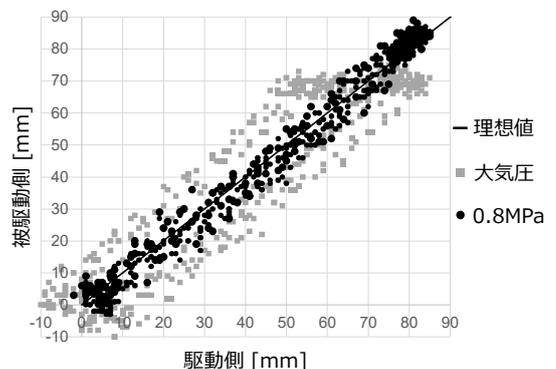


図 3 動力伝達機構の追従性実験

#### 4. 今後の研究の見通し

2020年度の研究では、セルフアシストスーツの実現に向けた基本的なコンセプトの確認と、要素技術の開発を行った。図4に示すようにマッキベン型空気圧人工筋の内製が可能になり、収縮率については評価できているが、その発揮力については評価できていない。そのため、等尺性実験（マッキベン型空気圧人工筋の長さを一定に保った時に収縮力を測定、図5）を通して、変位だけではなく発揮力についても検証を重ねる。また、2020年度の研究ではスーツの全体像が見えない状況であるが、2021年度には上肢と下肢の関節を連動させるなどし、セルフアシストスーツの構想が目に見える形にまで持っていきたい。

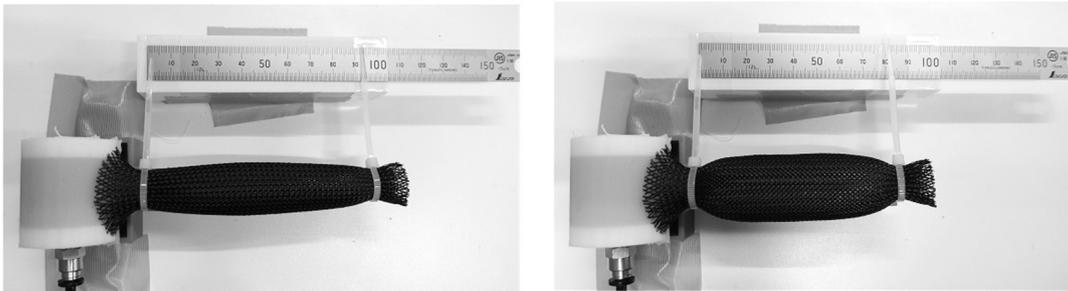


図4 試作したマッキベン型空気圧人工筋

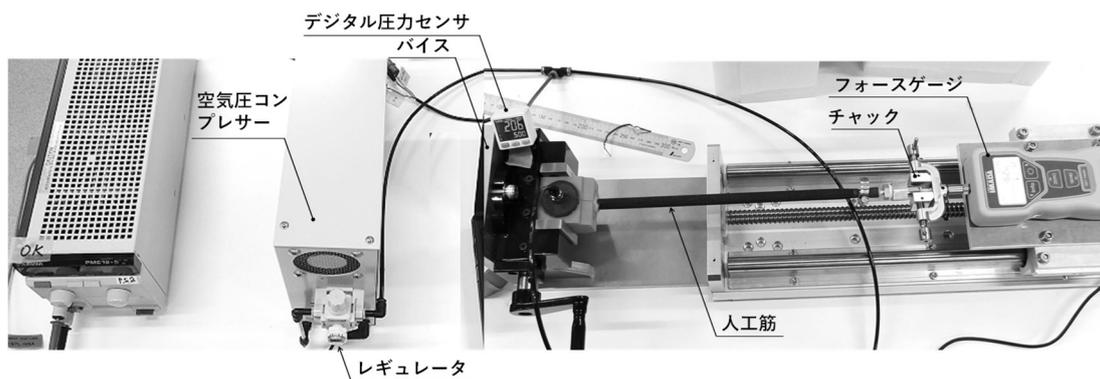


図5 マッキベン型空気圧人工筋の等尺性実験装置

#### 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, 橋本健二, “弾性体と多孔質リンクの強固な接続の実現とアクチュエータ化に向けた検討,” 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2021 (ROBOMECH 2021), 2P2-G08, 2021年6月.