

令和元年6月13日現在

機関番号：21401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01557

研究課題名(和文) 空気圧人工筋肉を用いたウェアラブル体重免荷アタッチメントデバイスの開発

研究課題名(英文) Development of wearable body weight load reduction attachment device driven by pneumatic artificial muscle

研究代表者

齋藤 直樹 (Saito, Naoki)

秋田県立大学・システム科学技術学部・准教授

研究者番号：60315645

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：高齢化社会における健康寿命の延伸を目的として、空気圧人工筋肉を用いた体重免荷機能を持つ歩行支援システムの性能評価および小型アタッチメント開発のための基礎検討を行った。理想的な体重免荷動作を実現するためにラバーレス人工筋肉の制御性能の向上を検討したが、より効果的な、パッシブな柔らかさを利用した体重免荷動作を用いることとした。歩行実験システムを実際に構築し、提案する体重免荷動作の効果を実験により確認した結果、床反力や筋活動、膝関節間力の面で有用であることがわかった。これらの実験結果より、シーソー機構を利用した小型システムの基本構造を試作した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

体重免荷機能を有する歩行支援システムは、これからの高齢化社会において重要であると考えられる。一方で、個人用に提供するシステムであることから、よりシンプルで効果的なシステムの開発が望まれている。そうしたなかで、空気圧人工筋肉の受動的な柔らかさを利用する本研究の成果は、シンプルかつ低コストなシステムでも歩行支援への効果が期待できる成果であり、社会的意義が大きいと考えている。

研究成果の概要(英文)：In this research, we evaluate the performance of the walking assistive system which has a function of the body weight load reduction by using pneumatic artificial muscle and we examined the basic structure to miniaturization of this system, in order to extend a healthy life span in an aging society. In order to realize ideal body weight load reduction movement, We decided to adopt feedback control utilizing the softness of pneumatic artificial muscle. We constructed a walking experiment system, and confirmed the effectiveness of the proposed body weight load reduction movement through some experiments. As a result, we confirmed that it is effective in terms of floor reaction force, muscle activity, and knee joint force. From these experimental results, we prototyped a compact body weight load reduction system using the seesaw mechanism.

研究分野：空気圧、メカトロニクス

キーワード：空気圧 人工筋肉 体重免荷 歩行支援

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

日本の高齢化は急速に進行しており、平成27年度では33%である。この中で要介護者になる原因として、関節疾患と転倒・骨折が23%と非常に高い割合を占めている。関節疾患の多くは下肢であり、転倒やそれに伴う骨折を含め、歩行に問題があるという背景がある。

こうした中で、健康寿命の延伸の関心が高まっている。これを実現するための方法として、高齢者が日常的に歩くこと、またそれによる体力の増進や自立した日常生活を送ることが効果的である。関節疾患や転倒・骨折を考慮し、下肢への体重負荷を軽減する、体重免荷機能を有する歩行補助器が有効であり、開発が望まれている。

2. 研究の目的

体重免荷機能を有する歩行補助器の開発を目的として、これまで基本的な機能の検討を行い、新しい空気圧人工筋肉を用いた体重免荷の可能性について評価してきた。本研究ではこれまでの評価に加え、空気圧人工筋肉の特性をより詳細に調べて、効果的な体重免荷の実現を目指す。またこれと並行して、提案する体重免荷システムの評価について検討し、具体的な体重免荷の効果について示す。そして、これらを統合し、市販の歩行車へ簡単に取り付け可能な体重免荷アタッチメントデバイスとしての基本的な機構の提案を行う。

3. 研究の方法

(1)空気圧人工筋肉の柔軟性の表現方法でもある受動的機械インピーダンス特性を調べた。この調査では、柔軟物などのモデルとして適用される4要素モデル(図1)を用い、4つの粘弾性パラメータを、内圧や入力負荷の異なる複数のステップ応答を基に同定する。

(2)効果的な体重免荷の実現のためには、制御性能の向上が不可欠であると考え、ヒステリシス特性を考慮した収縮変位制御を行う。本研究ではヒステリシス特性をプライザッハモデルで表現し、フィードバック制御系に適用して応答特性の改善を試みる。

(3)体重免荷システムの評価として、使用者が着座するシートに生じる座面反力と歩行周期を実験により同時に計測し、空気の持つ柔軟性の効果的な作用について検討した。また、本装置の利用者の多くは下肢の関節疾患を想定していることから、変形性膝関節症(KO)に着目し、体重によって膝関節間に働く圧縮力である膝関節間力の歩行動作中の推定を、フリーボディダイアグラム(FBD)を利用して行った。これにより、歩行動作中の体重免荷動作の効果を実験的に表現することが可能となった。

(4)体重免荷システムの小型デバイスの機構を試作した。これまでの検討からシーソー機構を用いることで、必要な体重免荷を実現しつつ小型化の実現の可能性を確認する。

4. 研究成果

(1)ラバーレス人工筋肉の受動的機械インピーダンス特性を調べた。その結果、粘性についてはある値を持つものの、圧力や入力条件による変化は少なく、主に弾性が変化するという結果になった。弾性についてシステム全体の合成弾性 $b_0 = (k_1 + k_2) / k_1 k_2$ で評価すると、図2に示すように、より収縮した状態のほうが弾性が低く、柔らかい傾向があることがわかった。

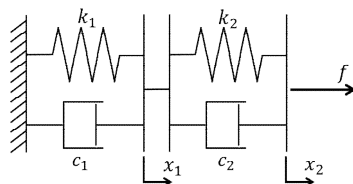


図1 4要素モデル

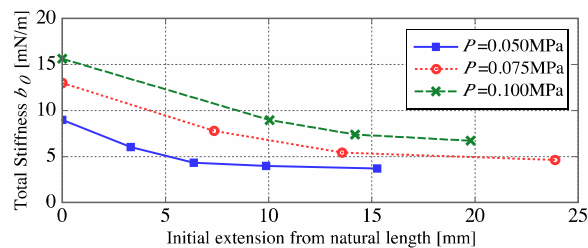


図2 合成弾性係数の評価結果

(2)プライザッハモデルを適用したフィードバック制御系のブロック線図を図3に示す。図3におけるModelがラバーレス人工筋肉の非線形特性を補償するモデルで、今回はヒステリシス特性を表現するプライザッハモデルと、従来より適用しているヒステリシス特性非対応の力学平衡モデルを比較した。目標収縮変位に正弦波関数を与えた場合の結果を図4に示す。この結果から、収縮変位が小さいところでプライザッハモデルを適用した結果のほうが目標値から大きくずれているものの、概ね力学平衡モデルよりも目標値に近い結果が得られ、また応答の遅れも小さくなっていることが確認できる。このことから、やや振幅が大きくなっていることからシステムゲインが大きくなる傾向があるが、即応性が求められるようなシステムに対して、ヒステリシス特性を補償したフィードバック制御系の有用性を確認した。ただし、システムゲインの増加傾向は、体重免荷における力制御の際に人に振動的な挙動を与えることもわかった。このことと、体重免荷においては空気圧の柔らかさにより制御性能の遅れを補償することを踏まえ、現段階では、ヒステリシスモデルの適用を見送ることとした。

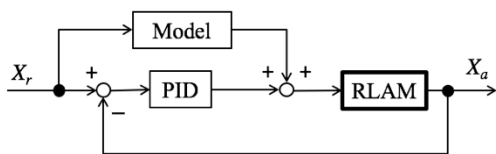


図3 位置制御ブロック線図

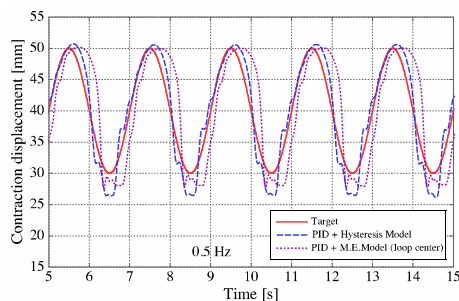


図4 位置制御の結果

(3)体重免荷システムの評価として、図5に示すような体重免荷実験システムを構築し、体重免荷動作を適用した際の床反力(図6)、腓腹筋筋電位(図7)、使用者が着座するシートの座面反力とそのときの腰の位置(図8)を計測した。被験者は体重50kgである。床反力と腓腹筋筋電位は歩行中の下肢負担を評価ができ、歩行中の床反力は設定した体重免荷量(150N)だけ減少していることが確認された。またこれに伴って腓腹筋の筋電位も減少している。さらに設定体重免荷量が150Nと200Nの場合を比較しても、設定値の増加に伴い筋電位が減少している。このことから、本システムの利用により下肢負担の低減の可能性が確認できた。図8は設定値が150Nmのときの歩行動作中の座面反力と腰位置の結果であるが、腰位置は通常歩行時と同様に15mm程度の振幅を示していることから歩容に与える影響は少なく、また座面反力は若干大きく増加している箇所もあるものの、常に120N以上の反力で体が支えられており、体重免荷効果を継続していることがわかる。本システムでは腰位置が下がっても最大で60N程度の増加で収まっており、この追従性は図2に示した空気圧の柔らかさによるものと考えられることができる。このことから、提案するシステムは歩行動作中に歩容を妨げず、常に体重免荷効果を発揮し続ける可能性があることが示された。また、図5の実験システムにモーションキャプチャシステムによる下肢関節位置の測定を追加し、そのデータと図6に示す床反力データを利用して歩行実

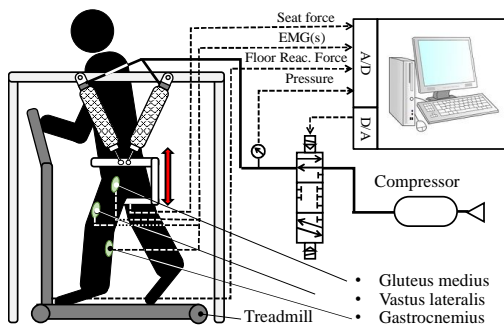


図5 体重免荷歩行実験システム

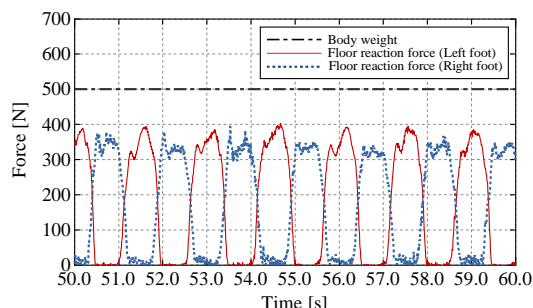


図6 歩行実験中の床反力

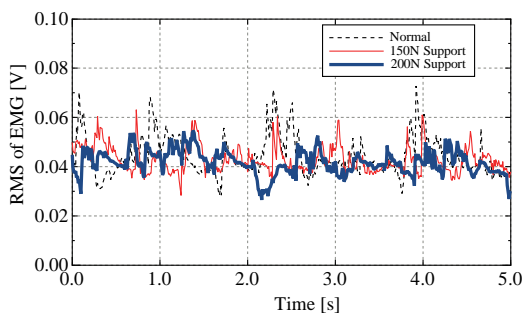


図7 歩行実験中の腓腹筋筋電位

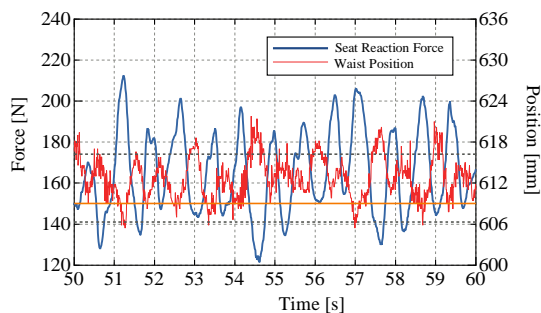


図8 歩行実験中の座面反力と腰位置

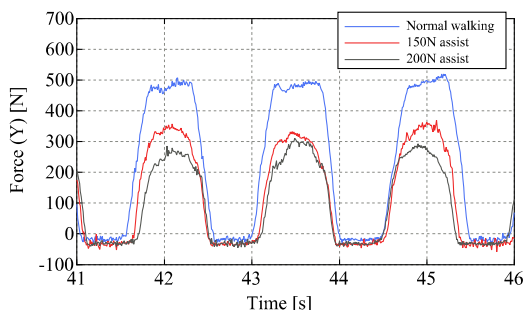


図9 歩行実験中の膝関節間力推定結果



図10 試作した小型体重免荷システム

験中の膝関節間力を推定した結果を図9に示す。この結果からも、体重免荷動作を施すことで膝関節間力は確実に減少しており、膝への負担が軽減していることが確認できる。また一方で、膝関節間力は体重免荷動作がない場合に台形状に変化しているが、体重免荷動作を適用した場合は上に円形状に変化している。これはつまり、本システムが腰を吊り上げるバネのように作用し、接地時の急激な体重負荷の変動を抑制しているためと推察される。このことから、本研究提案する体重免荷システムの方式の有用性が確認できた。

(4)以上の結果を受けて、現在試作中の小型体重免荷システムを図10に示す。このシステムでは空気圧人工筋肉が持つ柔らかさが有用であることから、空気圧人工筋肉で着座シートを直接駆動でき、かつ機構の自重の影響を小さくすることが可能な、シーソー機構を採用した。この機構により、人工筋肉やそれを駆動するための空気圧システムを下側に集約することができるため、歩行時のシステム自体の安定性の向上や、歩行者の動作の妨げにならないような実装レイアウトの実現が期待できる。現状では歩行車に取り付けるアタッチメントになっていないが、歩行車と同程度の大きさになっており、若干の部品追加でアタッチメント化が実現できるものと考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計5件)

Naoki Saito, Toshiyuki Satoh, Norihiko Saga, Effects on knee joint force from a body weight load reduction system driven by rubber-less artificial muscle, Industrial Robot: An International Journal, 査読有, 2019 (掲載決定)

Naoki Saito, Toshiyuki Satoh, Fundamental development and evaluation of body weight load reduction system driven by rubberless artificial muscle, Proceedings of the IEEE International Conference on Automation, Robotics, Control, and Vision 2018 (ICARCV), 2018 pp.1579-1584

Naoki Saito, Toshiyuki Satoh, Evaluation of weight bearing reduction system driven by rubberless artificial muscle, The 10th JFPS International Symposium on Fluid Power, 2D27, p.1-6, 2017

Naoki Saito, Toshiyuki Satoh, Structure of Rubberless Artificial Muscle and Evaluation of a Lifetime, Proceedings of the 42th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON2016), pp.648-653, 2016

〔学会発表〕(計13件)

齋藤直樹, 佐藤俊之, 空気圧人工筋肉を用いた歩行支援システムによる膝関節間力の低減, 第19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予稿集, pp.1897-1900, 2018

齋藤直樹, 佐藤俊之, ラバーレス人工筋肉の受動的機械インピーダンス特性, 平成30年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集, pp.10-12, 2018

齋藤直樹, 佐藤俊之, 空気圧人工筋肉を利用した体重免荷方法の筋活動による評価, 平成30年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, pp.57-59, 2018

齋藤直樹, 小澤雄也, 佐藤俊之, 空気圧人工筋肉駆動型体重免荷システムによる歩行支援制御, 平成29年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, pp.88-90, 2017

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：

番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：佐藤 俊之

ローマ字氏名：(SATOH toshiyuki)

所属研究機関名：秋田県立大学

部局名：システム科学技術学部

職名：准教授

研究者番号(8桁)：40315635

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。