

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 24 日現在

機関番号：13601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23656182

研究課題名(和文) 歩行アシストのための可変剛性高分子ゲルスパッツの構造と制御

研究課題名(英文) Structure and Control of a Variable Stiffness Gel Spats for Walking Assistance

研究代表者

橋本 稔 (HASHIMOTO, Minoru)

信州大学・総合工学系研究科・教授

研究者番号：60156297

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円、(間接経費) 900,000円

研究成果の概要(和文)：我々はポリ塩化ビニルゲルを用いた伸縮型アクチュエータを開発し、その特性について研究し、このアクチュエータには電圧印加に伴い、剛性が大きく変化する特性があることを見出した。本研究ではこのPVCゲルデバイスの変剛性特性を利用して、歩行アシストのための可変剛性スパッツを開発することを目的とした。歩行中にこのデバイスの剛性を増加させた時に発生する力を利用してアシストするものである。本研究により、可変剛性スパッツを開発してその有用性の検討を行った。その結果、本デバイスを装着することにより、歩行中の大腿直筋の筋活動量が減少することが分かり、開発した可変剛性スパッツの歩行アシストとしての有用性を証明した。

研究成果の概要(英文)：We have developed an expansion and contraction actuator by using the PVC gel in the previous study. And we investigated the characteristics of the PVC gel actuator. We found that the stiffness of the PVC gel actuator changes noticeably with the variation of the applied DC field. In this study, we designed a new variable stiffness spats for walking assistance by incorporating the variable stiffness PVC gel actuator with the generally used spats. The stiffness of the spats is variable with the electric field on and off. We think that the spats can assist the walking by restraining and releasing the body motion with different stiffness during the walking. And we conducted experiments to evaluate the effectiveness of the gel spats. It was found that both the IEMG and %MVC of the rectus femoris muscle decreased during the walking when wearing the variable stiffness gel spats. It indicated that the gel spats designed in this study was effective for the walking assistance.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：運動支援 高分子ゲル 可変剛性 アシストスーツ

## 1. 研究開始当初の背景

従来の歩行アシスト装置では、電気モータ、空気圧アクチュエータなどとリンク機構を組み合わせることにより、歩行のアシストを実現する方法がとられてきた。これらの方法では、アクチュエータや空気圧源が重く硬いため、装着時にその重量やフィット性が大きな問題となってきた。

一方、応募者らは可塑性ポリ塩化ビニル (PVC) ゲル (PGAM) を用い、伸縮運動を行う PVC ゲルアクチュエータを開発してきた。(「収縮型 PVC ゲルアクチュエータの構造と駆動特性」山野美咲, 小川尚希, 橋本稔, 高崎緑, 平井利博 日本ロボット学会誌 Vol 27 No 7, pp 718 ~ 724, 2009) この高分子アクチュエータは大気中で電場駆動が可能で、収縮率 10%, 発生力 3kPa, 応答性 7Hz という駆動特性を有するばかりでなく、印加した電場の大きさにより、アクチュエータの剛性が生体筋のように増加するという特性を有している。(図 1) この剛性変化は 10kPa ~ 100kPa と広い範囲で生じ、これを利用して身体運動を拘束したりまた拘束を開放したりすることにより、身体運動をアシストすることができるのではないかとこの発想に至った。つまり、一般に使用されているスパッツにこの可変剛性 PVC ゲルを用いることにより、衣服感覚で使用できる歩行アシスト装置を実現しようとするものである。

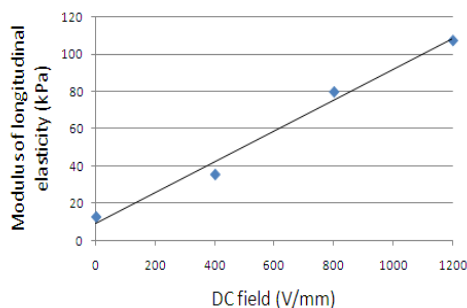


図 1 PGAM の電場と縦弾性係数の関係

## 2. 研究の目的

歩行アシストを目的とした可変剛性スパッツの構造と制御について研究する。応募者らが開発した可変剛性ポリ塩化ビニル (PVC) ゲルは電場の大きさにより 10 倍の弾性定数変化を生じることが知られている。この PVC ゲルを用いて従来の歩行アシスト装置に比べ飛躍的に軽量化した歩行アシスト装置を開発する基礎技術を確認することを目的とする。具体的には、スパッツに組み込むのに適した柔軟な可変剛性 PVC ゲルの構造を明らかにし、その上でそれを組み込んだ歩行アシストのためのスパッツの剛性制御法を確立する。

## 3. 研究の方法

### (1) 可変剛性ゲルの試作

これまでに開発した収縮型 PVC ゲルアクチュエータでは、メッシュ状電極を陽極に使用していたため、メッシュを構成する金属ワイヤが太く収縮方向以外の成分の剛性が大きかった。これでは、身体へのフィットが難しいため、メッシュ電極を使用せずに剛性制御を可能とする可変剛性ゲルを開発する。ゲルを格子状に突起を付けた形状にし、電場を加えたときに突起が陽極に這い出して、突起間の隙間がなくなりゲル全体の剛性が増すようにする。この形状のゲルを陽極と陰極で挟み込み単位構造を作成する。この単位構造を積層させることにより、積層方向の剛性を制御できるシート状の可変剛性ゲルを試作する。可変剛性スパッツを構成するためには、柔軟でシート状のゲル形状にする必要がある。具体的には、ポリ塩化ビニル (PVC) に可塑剤としてアジピン酸ジブチル (DBA) を混ぜ、溶媒としてテトラヒドロフラン (THF) を加えて溶解する。PVC ゲル膜に格子状の突起を付けるために、PVC 溶液をシャーレに入れた後に、円錐形の穴を格子状にあげたテフロン板を型として上から乗せる。この状態で数日間おくことにより、格子状に突起を持つ PVC ゲル膜を作製する。これを短冊状に切断し、ステンレス箔を用いた電極で挟み込み、積層させて可変剛性 PVC ゲルを作製する。スパッツを構成するために、大腿部の前後を覆えるような大きさの可変剛性 PVC ゲルとする。

### (2) PVC ゲルを組み込んだ可変剛性スパッツの試作

試作した可変剛性 PVC ゲルをスパッツの大腿の前部、後部の 2 か所に張り付け、可変剛性スパッツを試作する。ゲル以外の部分は、通常のスパッツに用いられる高弾性素材を用いる。その上で、電場を印加してスパッツの剛性変化を測定し、その特性を把握する。スパッツにはフィット性の高いものを用い、スパッツで身体を加圧し、スパッツの変形によって大腿部に力を加え、股関節の運動を補助できるようにする。可変剛性 PVC ゲルに種々の電場を印加し、その時の上下方向の剛性変化を測定する。さらに、開発したスパッツを身体に取り付け、装着状態での剛性変化を計測する。その際、スパッツが身体を圧迫させる強さが重要であるので、エアバック式接触圧計を用いて圧迫力を一定に保ちながら、ゲルの剛性変化を測定する。

### (3) 可変剛性スパッツの剛性制御法の研究

可変剛性スパッツの制御法について検討する。股関節の運動に同調させて大腿部の前後に組み込んだ PVC ゲルの剛性を変化させる。大腿部の運動と可変剛性 PVC ゲルを拮抗させて配置し、足を前方に振り出すときは前部のゲル剛性を高くし、後部のゲル剛性を低くす

る．逆に指示脚となっているときは，後部のゲル剛性を高くし，前部のゲル剛性を低くすることにより，指示脚を保持する．

本システムの最終目的は，電源，コントローラを身体に搭載させて，自立型の制御を実施することである．しかし，本研究では可変剛性ゲルによる歩行アシストの基本技術を確認することが目的であるため，電源，コントローラは外部に置き，身体に搭載はしない．したがって，制御システムとしては，PCベースで構成し，インタフェースボード，高圧アンプモジュール，大ひずみストレインゲージ，シグナルコンディショナーを用いる．

#### (4) 可変剛性スパッツの歩行補助効果の検証

(3)で研究した制御法を実験により検討する．アシスト効果の検証のために，大腿部の筋電位計測と関節角度計測を行う．これらは，設備費として計上した関節角・EMG アナログ計測システムにより実施することが可能である．高齢者を含む被験者にアシストスパッツを装着し，この剛性制御法を実施することにより，その有用性を検討する．最低でも10人の被験者により，評価実験を行う．有用性の評価基準として，筋電による歩行負担の軽減，角度計測による歩幅の拡大，心理実験による装着感の良好さ，同調性を下げた場合の運動教示の可能性などを用いる．これらの実験結果を統計的に評価し，剛性制御を実施した場合と実施しない場合で負担の軽減が得られるかを評価する．また，歩行の安定性への影響も考えられるので，歩行中の足底の圧力変化を計測する．これは，他の研究室の所有している足底圧力センサを借りて実施する．もし，評価結果が好ましくない場合には，これに戻って制御法の変更を行い，これを繰り返すことにより，アシスト効果を実現する制御法を見出す．

## 4. 研究成果

### (1) 可変剛性ゲルデバイスの製作

可変剛性スパッツに用いる積層型PVCゲルの製作とその剛性変化について測定を行い，可変剛性スパッツを実現するための基礎技術を確認した．具体的は，次の通りである．

格子状の突起をつけたPVCゲルを作製し，この形状のゲルを電極で挟み込み，単位構造を形成した．この単位構造を積層することにより，積層方向の剛性を制御できるシート状の可変剛性ゲルを構成した．ポリ塩化ビニル(PVC)に可塑剤としてアジピン酸ジブチル(DBA)を混ぜ，溶媒としてテトラヒドロフラン(THF)を加えて溶解した．これを短冊状に切断し，ステンレス箔を用いた電極で挟み込み，積層させて可変剛性PVCゲルを作製した．(図2)

この積層型PVCゲルの剛性変化を測定した

結果，電場を印加しない場合に比べ電場を印加した場合は剛性が5倍以上大きくなっていることが分かった．

### (2) 下肢用可変剛性ゲルスパッツの製作

可変剛性ゲルデバイスを用いてスパッツの製作を行い，そのスパッツの歩行アシスト効果の検証を行った．具体的には次の通りである．

可変剛性ゲルを組み込んだスパッツの設計，製作を行った．(図3)歩行アシストに必要な発生力を20Nと設定して，可変剛性ゲルデバイスの設計を行った．可変剛性PVCゲルデバイスは，縦横の大きさが10mm×50mm，高さ15mm，積層数15層で構成され，重さ20gである．PVCゲルデバイスの剛性変化による収縮力を利用するため，側面をPVCゲルで被覆している．このPVCゲルデバイスを8個用いて片足の運動アシストに用いた．この可変剛性スパッツに7%程度の伸びをあたえ，300Vを印加するとPVCゲルデバイスの剛性変化で20N程度のアシスト力を発生させることができる．また，歩行実験により，このゲルスパッツを用いることで筋活動量が減少することを確認した．(図4)

### (3) 制御系の製作

可変剛性ゲルスパッツを制御するための，システム構築を行った．具体的には次の通りである．

LabViewを用いてリアルタイム制御を行うために，まず多層PVCゲルアクチュエータのセンサフィードバック制御のシステムを構成した．タッチセンサの情報に基づいてPVCゲルアクチュエータを制御できることを確認した．その上で，歩行アシスト制御のための足圧センサを靴のインソールに取り付け，立脚期と遊脚期のタイミングを検出できるようにした．また，両脚用の可変剛性スパッツを作製するために，可変剛性PVCゲルの設計を行った．特にPVCゲルデバイスに引っ張り力が発生しても，積層ゲルが剥離しないような構造を考案した．



図2 可変剛性PVCゲルデバイス



図3 可変剛性ゲルスパッツ

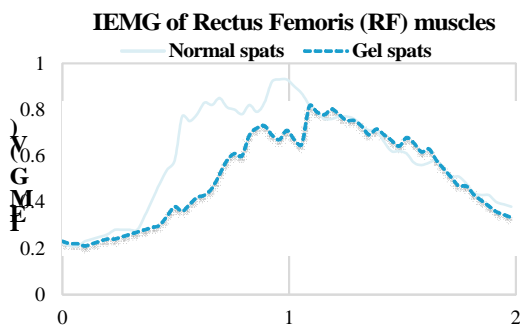


図4 歩行時の大腿直筋の筋活動

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔学会発表〕(計 3 件)

Yi Li and Minoru Hashimoto, PVC Gel Spats for Walking Assistance using Variable Stiffness, 第19回ロボティクスシンポジウム 2014年3月13-14日 兵庫 2014.

「歩行アシストのための可変剛性ゲルスパッツの開発」、前田康博、安田圭吾、李毅、橋本稔、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会、2P1-F08, (2013.5.22-25)

Yasuhiro Maeda, Yi Li, Kengo Yasuda and Minoru Hashimoto, Development of Variable Stiffness Gel Spats for Walking Assistance, Proceedings of the 2013 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2013), pp.5404-5409, Tokyo, (2013.11.3-8).

〔産業財産権〕

出願状況(計 1 件)

名称：伸縮性衣類  
 発明者：橋本稔，前田康博  
 権利者：国立大学法人信州大学  
 種類：特許

番号：特願 2012-195645 号  
 出願年月日：平成 24 年 9 月 6 日  
 国内外の別：国内

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

橋本 稔 (HASHIMOTO, Minoru)

信州大学・総合工学系研究科・教授

研究者番号：60156297