

装着者の体重を用いた空気式歩行支援シューズの開発

Pneumatic Walking Support Shoes using Wearer's Weight

高岩昌弘（徳島大） 高川裕太（徳島大）

Masahiro TAKAIWA, Tokushima University

Yuta TAKAGAWA, Tokushima University

Abstract: In spite that walking plays an important role to keep and improve Q.O.L. for elderly person, most of their injury are reported to be caused by stumbling for even a small bump due to the deterioration of their tibialis anterior muscle. In this study, we aim at developing walking support shoes to prevent from falling by supporting their dorsiflexion motion at the moment of swing phase. A wearer steps a foot pump installed in bottom of shoes and compressed pneumatic energy is temporally stored as an elastic potential energy of a elastic material. Then, torque around foot joint is generated from restoration torque of the elastic one, which support dorsiflex in swing phase. In this article, after explaining a structure of the developed supporting shoes and walking principle, we investigate support effect through some experiments.

Key Words: Walking support, pneumatic system, Potential energy

1. 緒言

高齢化が進む我が国において，高齢者の Q.O.L. の維持向上は重要な課題である⁽¹⁾．日常の歩行動作は社会参加や健康維持に重要な要素であるが，高齢者は加齢に伴う前脛骨筋等の筋力低下により，遊脚期における背屈角度が小さく，すり足歩行になるため，わずかな段差でもつまずきやすく転倒のリスクが高い．

歩行支援に関する研究として，MR 流体を用いた粘性抵抗可変の継手を有する短下肢装具⁽²⁾や，空気圧受動要素を用いた足の尖足（爪先が鉛直下向きに垂れた状態）を防止する足関節装具⁽³⁾，また，膝関節装具と空気圧シリンダにより膝関節の伸展動作を補助する装置⁽⁴⁾などがすすめられている．

本研究では，高齢者のつまずきによる転倒を防止するため，歩行時の遊脚期における足関節部の背屈動作を能動的に支援する歩行支援シューズを開発する．このような人体装着型支援装置では，エネルギー源の確保が必要となり装置の大型化やコストの増大を招くことが懸念される．そこで本研究では，装着者自身の体重（位置エネルギー）を利用して足底部に設置したフットポンプを踏んでポンプ内の空気を圧縮し，提案するアクチュエータを駆動してバネの位置エネルギーに変換し，背屈時に足関節部にトルクを発生する．提案する装置の有効性を実験により検証する．

2. 歩行支援シューズの概要

2.1 歩行動作

Fig.1 に歩行時の足関節角度を示す⁽⁵⁾．直立状態を基準とし，背屈方向を正としている．図中 HO(Heel Off) で踵が地面から離れてから，図中 TO(Toe Off) でつま先が地面から離れるまで急速に底屈した後，背屈動作に入る．本シューズはこのつま先離地のタイミングで支援を開始し，背屈動作を補助するものである．

2.2 装置の構造

開発した歩行支援シューズの外観を Fig.2 に示す．足の甲の箇所に後述するペローズ型アクチュエータを装着し，踵部にフットポンプを配置している．装置重量は 570[g] である．

Fig.3 は足関節にモーメントを与えるアクチュエータを足の前方部分から見たものである．ペローズと弾性体（輪ゴム）を組み合わせている．同図 (b) はペローズが加圧され，ペローズの膨張力と弾性体の復元力が釣り合っている状態を示す．本歩行支援シューズでは足が地面から離れた瞬間にペローズ内の圧縮空気が一気に大気に開放されるようになっており，それにより生じる弾性体の復元力，すなわち足の甲の箇所における収縮力を利用して背屈動作を支援する．

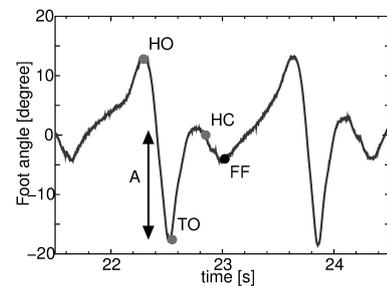


Fig.1 Foot angle in Walking

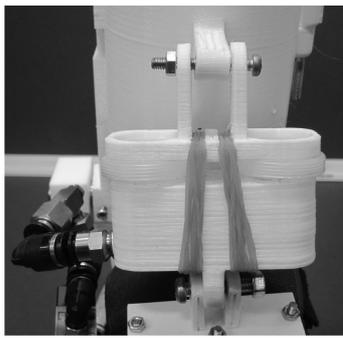


Fig.2 Overview of walking support shoes

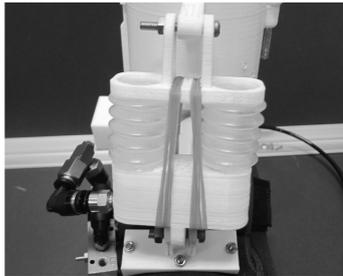
2.3 歩行支援動作

Fig.4 に支援装置となる空気圧駆動回路を示す．基本構成は踵部に設置したフットポンプ，ポンプで圧縮した空気を弾性エネルギーに蓄えるペローズ型アクチュエータ，流路を ON-OFF 的に切り替えるための 5 ポートパイロットバルブ，つま先が離地した際にパイロットバルブを切り替えるためのトリガー的な役割を行うゴムチューブから構成されている．

まず，足が接地した際に体重によって踵部に設置したポンプを踏む．ポンプはパイロットポートと繋がっているため，ポンプ内圧力，すなわちパイロット圧力の上昇によりバルブの位置が切り替わり，ポンプ内の圧縮空気がペローズ型アクチュエータへ移動する．アクチュエータ部ではペローズ内圧と弾性体（ゴムバンド）の復元力が釣り合った状態となる．次に踵が離地するとフットポンプの弾性力により膨張し，外気を吸い込むと共にポンプ内圧力はほぼ大気圧の状態となる．この時，パイロットバルブの位置が



(a) normal state



(b) compressed state

Fig.3 Bellows type actuator

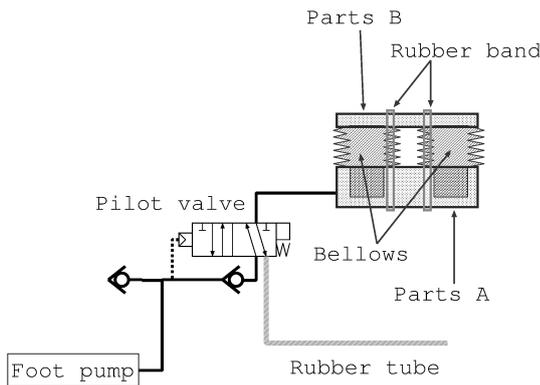


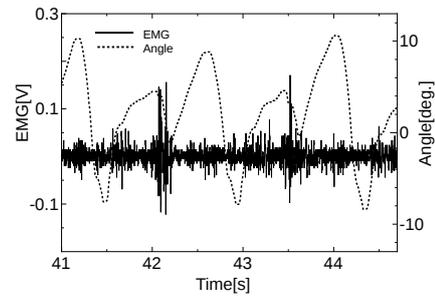
Fig.4 Working principle

切り替わり，ペローズ内の空気はゴムチューブを介して大気へ放出されるようになるが，ゴムチューブは足前方部において地面とシューズ間で押しつぶされた状態となっており，実際にはペローズ内圧力は弾性体復元力との釣り合いが維持される．その後，最大底屈状態から爪先が離地すると，ゴムチューブを圧縮していた拘束がなくなり，ペローズ内の空気が一気に大気に開放されると共に，弾性力の復元力が作用し，足の甲の箇所には収縮力が生じる．これにより足関節部に背屈モーメントが生じる．この一連の動作を歩行に合わせて行うことで，電気エネルギーを一切使用することなく遊脚期における背屈動作を支援する．

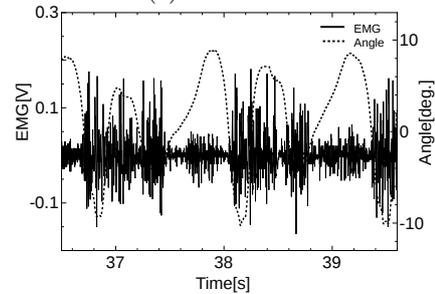
3. 実験結果および考察

相対的に前脛骨筋の筋力が低下した状態を模擬するため，約500[g]のおもりを足先につけた状態でトレッドミル上を約60分間歩行し，背屈動作を支配的に行う前脛骨筋および底屈動作を支配的に行う腓腹筋の筋電位の計測を行った．なお，筋肉の疲労状態をリセットするために，装置使用と非使用の歩行は別の日にしている．

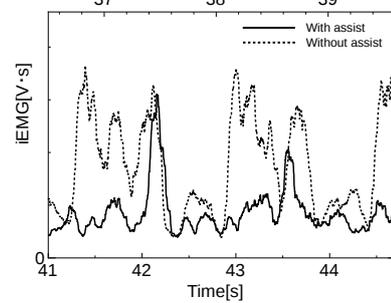
前脛骨筋の筋電位と足関節角度を Fig.5 に示す．同図 (a),(b) はそれぞれ支援あり，支援なしの場合である．また，同図 (c) は同図 (a),(b) の筋電位の筋電積分（積分時間 0.1 秒で移動積分し



(a) with assist



(b) without assist



(c) comparison with iEMG

Fig.5 EMG of tibialis muscle

たもの) による評価を示す．腓腹筋に対しても同様の評価をした結果を Fig.6 に示す．

Fig.5 に示す前脛骨筋の負担において，支援ありの場合のほうが筋電位が小さく，60 分間歩行しても筋の疲労が小さいことが示されている．また，Fig.6 に示す腓腹筋に対する評価においては支援あり，無しで大きな違いは見られない．これは本装置を装着しても腓腹筋の筋力に変化は無く，後ろへの蹴りだし動作を阻害していないことがわかる．

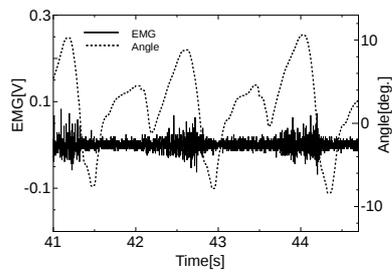
4. 結言

本研究では，高齢者の躓きによる転倒防止のため，歩行時の背屈動作を補助する機能を備えた歩行支援シューズを開発した．本支援装置は空気圧アクチュエータを用いて能動的に背屈動作を支援するものではあるが，装着者の体重（位置エネルギー）を動力源とするため，電気エネルギーを一切利用せず，その結果，小型軽量で低コストな支援システムを構築できる．

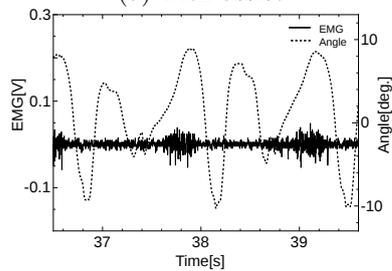
本稿では，装置の概要について述べた後，歩行動作時における支援効果を筋電位信号に基づく評価により検証し，通常歩行時の支援効果，ならびに長距離歩行時の疲労軽減効果を確認した．今後は高齢者を対象とするモニター調査を実施し，実用的観点から検証をすすめていく．

参考文献

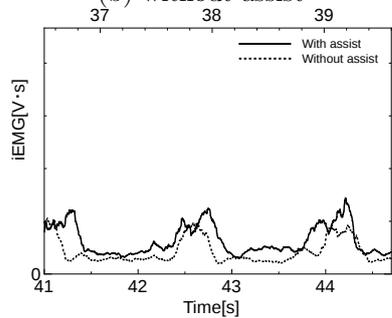
- (1) 内閣府：平成 23 年度版 高齢社会白書 第 1 章 高齢化の状況
- (2) 赤澤康史，中川昭夫，松原裕幸 他：”メカトロニクスを導入した短下肢装具の研究開発”，平成 15 年度 兵庫県立福祉のまちづくり工学研究所報告集



(a) with assist



(b) without assist



(c) comparison with iEMG

Fig.6 EMG of gastrocnemial muscle

- (3) 小澤隆太, 平井宏明, 川村貞夫 他: "空気圧受動要素を利用した足関節装具の開発", ロボティクスメカトロニクス講演会講演論文集, 2005
- (4) Kazuhiro FUJISHIRO, Tadayuki ARIUMI, Osamu OYAMA: "Development of Pneumatic Assist System for Human walk", Proc of SICE Annual Conference 2003 in Fukui
- (5) 臨床歩行分析研究会: "関節モーメントによる歩行分析", 医歯薬出版株式会社, pp.19-22, 1997 pp.155-166