

平成 22 年 6 月 10 日現在

研究種目：若手研究（スタートアップ）

研究期間：2008～2009

課題番号：20800044

研究課題名（和文） 脳卒中片麻痺者のためのバイオメタルソックスの開発と評価

研究課題名（英文） Development and evaluation of Bimetal Socks for Hemiplegia from Cerebrovascular Accident.

研究代表者

昆 恵介（KON KEISUKE）

北海道工業大学・医療工学部・助教

研究者番号：30453252

研究成果の概要（和文）：

人工筋肉のバイオメタル繊維を使用した靴下型装具の開発を行った。バイオメタルは電気を通すと収縮する性質があり人工筋肉と呼ばれ、多方面の分野で応用が期待されるものである。本研究ではバイオメタルを機構内部に取り入れ、実用化に向けた装具の性能とシステムについて、機構面、電気回路システム、安全性などについて検討したので報告する。

研究成果の概要（英文）：

It is said that BIOMETAL, a kind of artificial muscle, can be utilized in various areas because of its characteristic: it shrinks when it conducts electricity. I have developed a socks type of orthosis in which BIOMETAL was utilized. In this study, in order to put the orthosis I took care of into practice I researched the system itself, its performance and its safety.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,340,000	402,000	1,742,000
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,540,000	762,000	3,302,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：福祉工学、福祉援助工学、脳卒中、福祉機器、装具、身体障害者、転倒予防  
バイオメタルファイバー

## 1. 研究開始当初の背景

## (1) 現状の問題点について

脳卒中片麻痺者の多くは歩行能力の獲得およびその向上を目的に下肢に装着する図 1 のような装具を用いている。現在主流の装具はプラスチック製(図 1-A)や金属製(図 1-B)が主であり、中でもプラスチック製の使用頻度は高い<sup>2)</sup>。脳卒中片麻痺者に対する短下肢



A：プラスチック製 B：金属製

図 1 短下肢装具

装具の効果としては、歩行速度の増大や立位および歩行バランスの改善やつまづきの改善などが挙げられ、短下肢装具のもつ機械的特性と歩行能力に関する報告が数多く見られる<sup>2)3)4)</sup>。しかしこれらの装具を装着すると、靴内部で装具分の容積が増大することから、靴が履きにくくなってしまふという問題が発生する。この問題の対処としては、装具を入りやすいように、ひとまわり大きいサイズの靴の購入が必要となる。結果的に左右差のある靴の選択を余儀なくされ、靴購入に際しては2足分の購入となってしまうという問題がある。また機能性を追及することから、おしゃれな靴を選択する自由度が減ってしまっている。

## (2) 近年の流行

図2はゲイトソリューションという商品名の装具で、2006年に山本<sup>3)</sup>らを中心に商品化された短下肢装具であり、歩行能力改善の目的で研究開発されたものである。国内においての脳卒中片麻痺者に対する装具の研究は、歩行改善の目的が主で機能面を充足させようとする研究がほとんどであり、外観よりも機能面に重きを置かれているのが現状である。



図2 ゲイトソリューション

## (3) 機能面重視の理由について

機能面を重要視する理由としては脳卒中片麻痺者の多くの場合において、患者は痙攣麻痺と呼ばれる病状になり、常に足が“こむら返り”したように痙攣した状態となる。障害発生部位や条件によってはこの痙攣麻痺の程度は変化し、これが日常生活動作に影響を与えることがある。また麻痺が著明な患者では、よりこの状態が悪化し、歩行時の阻害因子として問題となってくる。生活環境などの変化によっては日常生活動作中に**つま先を引っ掛けてしまい転倒**することがしばしば起こる。これらを防止し、安全性を獲得するために外観よりも機能性を重視しているというのが現状である<sup>4)</sup>。

## (4) 装具不要のケースについて

一方で、痙攣麻痺による痙攣状態を短下肢装具によってコントロールするのではなく、靴の中敷きに凹凸をつける細工を施し、痙攣状態を改善させ、自発的な筋活動を促そうとする研究があり、臨床では一定の成果を上げている<sup>5)</sup>。このアプローチによって実際に装具が不要になるケースも報告<sup>6)</sup>されており、必ずしも従来からある短下肢装具のデザインが絶対的でないことがいえる。

## (5) 脳卒中片麻痺者の装具に求められることについて

今後、脳卒中片麻痺者の装具に求められる要求項目としては、室内外を問わず装着が可能であり、外観は装着を意識させないくらい、**目立たないもの**が望ましい。また機能面ではつまづきによる転倒を予防し、歩行ができるものが望ましいと考える。

## (6) バイオメタルファイバーの活用

近年は工業製品においての技術的革新が著しく、バイオメタルファイバーという一種の形状記憶合金が注目されている。バイオメタルファイバーは電流の流れによって伸縮を制御することが可能であり、通常はナイロン糸のように細く、しなやかであるが電流がバイオメタルファイバーに流れると、図3のように繊維が収縮するという特性をもつ。この技術は今後、医療分野において、さらに注目される領域の工業製品と思われる。



図3 バイオメタル活用例

(電流が流れるとバイオメタル  
繊維が収縮し、おもりが上がる)

## (7) 本研究の恩恵

本研究のバイオメタルソックスが実用的な面を考慮して、開発されると、今まで屋外用と屋内用の2種類の装具と2サイズ分の靴購入を余儀なくされていた問題が解決されるとともに、ソックス型にすることで見た目ではわからないほど外観性を向上させることが可能である。また歩行動作中の転倒防止を行うことも可能であり、機能面と外観を両立させた新概念の装

具となる。本研究のバイオメタルファイバーの特性を利用した人工筋肉ソックスの開発によって、それまで日常生活を不憫に感じていた片麻痺者が満足した生活を送れると考えている。

## 2. 研究の目的

本研究では、靴下の繊維にバイオメタルファイバーという人工筋肉を取り入れ、外観性と機能面を両立させた新概念の脳卒中専用バイオメタルソックスの開発を目的とする。バイオメタルファイバーは通常はナイロン糸のように細く、しなやかであるが、電流が繊維に流れると、繊維は収縮し、強度はピアノ線の強度に達する。本研究で開発するバイオメタルソックスによって、歩行動作と連動して微弱な電気信号をバイオメタルファイバーに流すことで歩行をコントロールすることが可能と考えている。

## 3. 研究の方法

### (1) 研究の流れ

第1段階として、バイオメタルソックス開発に必要な設計を行う。第2段階として、実験用バイオメタルソックスの開発を行い、実用使用に耐えるものか室内実験を実施する。第3段階としては、靴下型にするために、本システムの機構を靴下内部に取り込む。第4段階として、バイオメタルソックスが意図した動作が可能かどうか、特に安全面に着目する。また耐久性テストも実施し、実用化を目指した最終成果物を完成させる。

### (2) 性能評価方法

#### 重量比較方法

電子ばかりTANITA デジタルクッキングスケールKD-176-WH(最大計量2kg, 最小表示1g)で各装具の重量を計測した。

#### 使用時間の評価方法

起電力をV, 供給する電気をQ, 抵抗値をRとした場合、電池2個直列で接続した場合の電池の寿命Tは $T=2QV/(4V^2/R)$ で求められる。

#### 制動力の評価方法

制動力の評価には、筋力測定器REHAMATE R-BO型(Kawasaki)を使用した。

REHAMATE から出力される、電圧の変化をAD変換器を介してPCに取り込み、角度・制動モーメントの関係式を求め、バネ定数を算出した。

## 4. 研究成果

### (1) バイオメタルソックスの開発

#### バイオメタルソックスの仕様

バイオメタルソックスの開発コンセプトとして、歩行中の転倒防止と日本の生活様式に適應したデザインを考慮して、設計・開発を行った。完成したバイオメタルソックスを図4に示す。足関節背屈保持は、図5のように足底内部にラチェット機構を埋め込むことにより達成した。ラチェット機構は、足関節の底屈制限と底背屈フリーを

可能とし、バイオメタルファイバー(以下 BMF)を用いて切り替えるものである。BMFとは、電流を流すと緊張収縮する人工筋肉型の繊維状アクチュエータ(駆動装置)である。

バイオメタルソックスの仕様を表1に示す。OFWは、単4電池2本で稼働し、連続使用時間は6時間である。日常生活の使用ではおよそ2か月は交換不要である。



A 外観 B 装着後(右足)

図4 完成したバイオメタルソックス

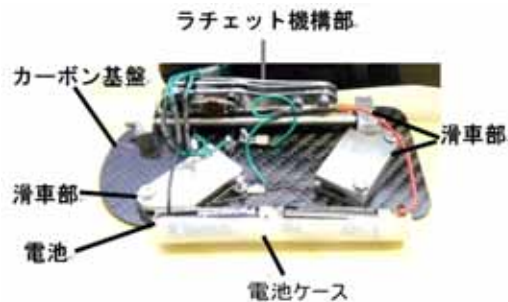


図5 足底内部構造

表1 バイオメタルソックスの仕様

仕様	詳細
電池	単4電池
電圧(V)	3
電流(A)	1.5
電流容量(Ah)	1.5
BMFの長さ(cm)	14.5
踵の厚さ(mm)	13
連続稼働時間(h)	6
重量(g)	443
バネ定数(Nm/degree)	0.4526

#### バイオメタルソックスの特徴

脳卒中片麻痺者においては、足関節が筋の緊張により底屈(足首が下を向く)してしまうことが特徴である。バイオメタルソックスは装着時に障害者の足の形状を再現した状態で装着が可能である。下腿部内側にあるロック解除ボタンを押すことでこの状態にすることが可能であり、装着を容易にする。

装着後は体重をかけることで、正常な足の状態に矯正することが可能となる(図5)。





図5 装着方法

#### 安全対策

日常生活の使用においては、安全性を確保と邪魔にならないことが重要である。

図6-Bのように、底屈方向へ制限をかけることで足首の角度を90度に保持することが可能となり、つまづきによる転倒を防止できる。また図6-Aのように背屈方向へは制限をかけないことで、しゃがみ込みが可能となり、和式トイレなどの使用も可能となる。

さらにバイオメタルソックス外側部には支持部が存在しないため、あぐらをかく事も可能である。さらに電力供給が止まってしまった場合には、図5のようなことはできなくなるが、図6の状態は維持されるため、転倒予防という安全対策も施されるものである。



A 背屈制限なし B 底屈制限あり

図6 安全対策機構

## (1)性能評価

### 重量について

バイオメタルソックスの総重量は443gと流通している装具と同等のものであるが、靴下という先入観で装着すると重さを感じるものであった。その原因を調査するため、バイオメタルソックスの各部品ごとの重量構成を調査することにした。結果を図7に示す。

バイオメタルソックスを構成するうち、足部の蓋や支柱部で全体の50%を占めていることがわかる。これらは障害者の足関節を90度に保持するために必要な外殻をなす部分であるが、計量化のためにカーボン繊維で作られている。しかし全体の構成比をみると、この部分の軽量化を今後は検討していく必要があると思われる。

また滑車部やラチェット機構部などはすテンズ利用しており、計量化実現が可能と考える。

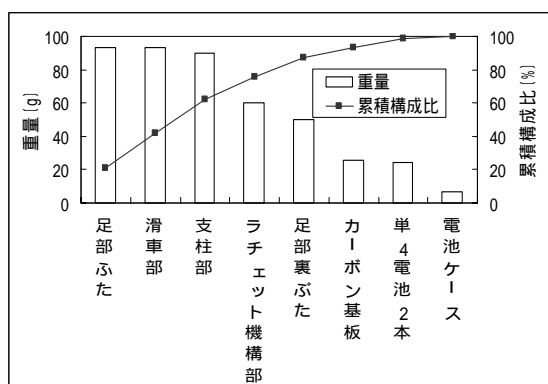


図7 各部品の重量構成比

### バイオメタルの制動力について

バイオメタルソックスは図6に示すような安全対策を施してある。特に脳卒中患者は足関節が底屈(つま先が下にさがる)してしまう傾向が強く、多くの場合でつま先をひっかけて転倒する。バイオメタルソックスでは、つま先の引っかかりを防止するための機構が設置してある。

図8の横軸は角度変化を示し、縦軸は回転力を示す。結果としては、底屈時に強い回転力を生み出し、つま先が下がるのを防止することが可能である。山本<sup>3)</sup>によると脳卒中患者に必要な底屈時の装具のバネ定数は0.3~1.2Nm/degとされている。バイオメタルソックスは表1に示したように0.45Nm/degと許容範囲を達成していることがわかる。

一方で背屈方向では、図8をみると、ほぼ抵抗なく回転することがわかる。これによってしゃがみ込み動作において、邪魔にならないことを客観的に示すものである。

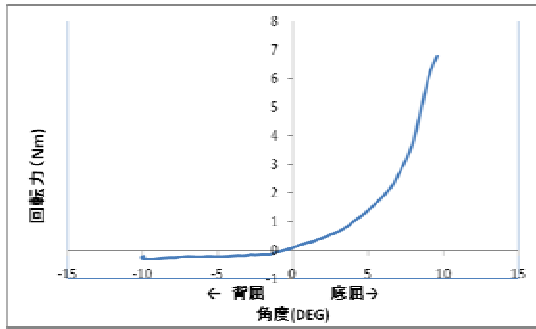


図7 バイオメタルソックスの制動力

#### 引用文献・参考文献

- 1) 厚生労働省:心疾患 - 脳血管疾患死亡統計の概況、人口動態統計特殊報告、2007
- 2) 高嶋孝倫:短下肢装具の総論とバイオメカニクス(各種プラスチック製短下肢装具) The Japanese Journal of Rehabilitation Medicine, Vol.39, No.supplement.129, The Japanese Association of Rehabilitation Medicine
- 3) 山本澄子:動作分析に基づく片麻痺者短下肢装具の開発,理学療法科学,18:115-121,2003
- 4) 中村隆一ら:脳卒中片麻痺患者の歩行能力評価,総合リハ,17:507-513,1989
- 5) 近藤和泉ら:痙性対策,義肢装具とリハビリテーション,リハビリテーションMOOK7,p162-166,2003
- 6) 昆恵介ほか:片麻痺者に対するインソール装着による歩容改善のアプローチと分析評価,POアカデミージャーナル,第16巻1号,2008
- 7) 昆恵介:バイオメタルファイバーを利用した脳卒中片麻痺者のための靴下型装具の開発,POアカデミージャーナル,特別号,2009

#### 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)

(雑誌論文)(計5件)

- 1) 昆恵介:バイオメタルファイバーを利用した脳卒中片麻痺者のための靴下型装具の開発, POアカデミージャーナル, 査読の有無【なし】、Vol.15 特別号 P138-139、2009.
- 2) 昆恵介:痙性抑制効果を考慮した短下肢装具の装具仕様設計に関する研究 第3報, POアカデミージャーナル, 査読の有無【なし】、Vol.15 特別号 P48-49、2009
- 3) 昆恵介:痙性抑制効果を考慮した短下肢装具の装具仕様設計に関する研究, POアカデミージャーナル, 査読の有無【あり】、Vol.16, No3 P1-9、2008.
- 4) 昆恵介、見木太郎:片麻痺者に対するインソール装着による歩容改善のアプローチと分析評価, POアカデミージャーナル, 査読の有無【あり】 Vol.16, No1 P197-202、2008.

(学会発表)(計4件)

- 1) 昆恵介:痙性抑制効果を考慮した短下肢装具の装具仕様設計に関する研究、日本義肢装具士協会学術大会、2009年7月18日、長崎
- 2) 昆恵介:バイオメタルファイバーを利用した脳卒中片麻痺者のための靴下型装具の開発、日本義肢装具士協会学術大会、2009年7月18日、長崎
- 3) 昆恵介:転倒回避行動遅延要因に関する基礎的研究、転倒予防医学研究会、2009年10月4日、東京
- 4) 昆恵介:痙性抑制効果を考慮した短下肢装具の装具仕様設計に関する一考察、日本義肢装具士協会学術大会、2008年5月31日、仙台

#### 6. 研究組織

(1)研究代表者

昆 恵介 (KON KEISUKE)

北海道工業大学・医療工学部・助教

研究者番号:30453252