

## MR 流体リンクを用いた短下肢装具による足関節動作支援

## Ankle Motion Assist using Foot Orthosis with Magneto-Rheological Fluid Link

○大場隆宏(筑波大) 門根秀樹(筑波大) 鈴木健嗣(筑波大/JST)

Takahiro OBA, Univ. of Tsukuba

Hideki KADONE, Univ. of Tsukuba

Kenji SUZUKI, Univ. of Tsukuba/JST

**Abstract:** We propose the ankle motion assist using ankle-foot orthosis with magneto-rheological(MR) fluid link. The developed link is integrated with a MR fluid controlled by the current of an electrical coil, which is able to break and assist human motion. The potential application of the orthosis includes muscle training and ankle motion assist during locomotion. In this study, we examine the ankle-foot orthosis with MR powered elastic link and verify possibility of ankle muscles training.

**Key Words:** Ankle Motion Assist, MR fluid, Ankle Foot Orthosis, Assistive Robot

## 1. はじめに

近年、介護・福祉分野において、ロボット技術への期待が高まっており、特に歩行動作支援への応用が進められている。さまざまな疾患により下肢機能に障害を持つ患者は多数おり、厚生労働省によると高い確率で麻痺の後遺症が残る脳血管疾患の総患者数は約130万を超えている(平成20年)。歩行動作は日常生活において重要な役割を果たしており、運動器疾患により歩行能力が著しく低下する。そのため、運動能力の回復は、ADLの改善、QOLの向上に大きくつながるといえる。また、歩行運動は、麻痺筋の周期的なストレッチ運動、筋萎縮や関節拘縮の防止、心肺機能の維持向上に効果がある。

歩行動作では、立脚初期の底屈制動や、足首関節の運動は遊脚期の背屈保持、立脚後期の蹴り出し動作(底屈運動)など、足首運動が重要な役割を担っている[1][2]。麻痺症状によりこれらの動作が十分に行えなくなると、安定した歩行ができなくなり、転倒の危険性もある。これは、脳卒中による麻痺だけでなく、老化による筋力の衰えによっても起こる症状である。

そこで、我々は足首の随意動作に着目し、足首関節の動作に伴う筋力トレーニング及び適切な動作支援の実現を目指す。本研究では、圧縮バネを組み込み剛性を任意に制御可能なリンク[3]を応用し、本リンクを短下肢装具へ取り付けすることで、筋力トレーニング、足首動作支援を実現する。本リンクは、身体へ装着することを考慮し小型・軽量・低消費電力なものとした。本稿では、柔軟性を任意に制御可能なリンクの開発、及び筋力トレーニングを狙いとした適用実験について述べる。

## 2. MR 流体を用いたリンクシステムと短下肢装具への適用

足首の筋力トレーニング及び動作支援を実現するためには、足首動作の制動機能と補助する機能の両方を有する必要がある。これまで我々は、磁気粘性流体(Magneto-Rheological Fluid:MR流体)と圧縮コイルばねを用いて剛性を任意に制御可能なリンク機構開発を行っている。磁場の強さにより降伏応力を変化させることができるMR流体の特性を活かすことで、装着者への負荷を変化させ、同時に身体動作を制動することができる。さらに、身体動作により圧縮されたバネの力を高剛性な状態のリンクにより保持し、必要なタイミングで解放することで、身体動作を

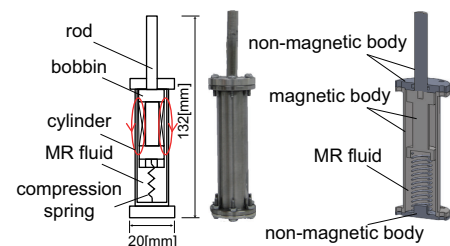


Fig. 1 Schematic diagram of MRLink

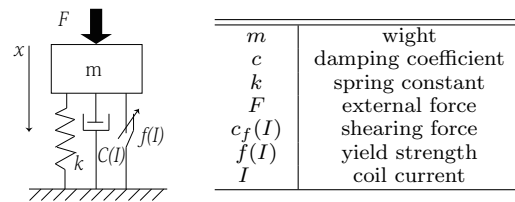


Fig. 2 Physical characteristic values of MRLink

補助することができる。図1に開発したリンクの構造を示す。重さは162[g]である。ボビンとシリンダ間には磁気ギャップを設けてコイルに印加する電流値を変化させることにより、ギャップ内のMR流体粘性を変化させることで、負荷に対するリンクの変形が可変する。

図2にリンクのモデルと各パラメータを示す。ロッドとシリンダ間のシール部分に生ずる摩擦力を無視し、次のように運動方程式を表す。

コイルに印加する電流  $I$  により、 $c_f(I)$ 、 $f(I)$  の値が変化する。 $I$  が大きくなると  $f(I)$  の値も大きくなり、外力に対する大きな降伏応力が発生する。

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + C(i) \frac{dx}{dt} + (kx + f(i)) = F \quad (1)$$

$$C(i) = c + c_f(i) \quad (2)$$

図3に示すように開発したMRリンクを短下肢装具へ取り付け。リンク上部は固定端とし、リンク下部は短下肢装具に固定している部材に取り付ける。これより、足首を底屈させる時にMRリンクにより足首へ制動力が生じる。

## 3. 足首の随意動作支援への適用実験

本実験ではMRリンク適用装具を装着した状態で背屈・底屈動作を行った際、筋活動の変化を測定する。

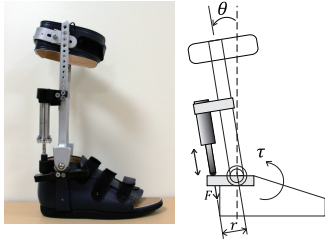


Fig. 3 Ankle-foot orthosis applied MRLink

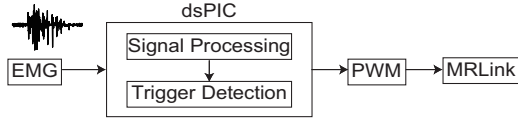
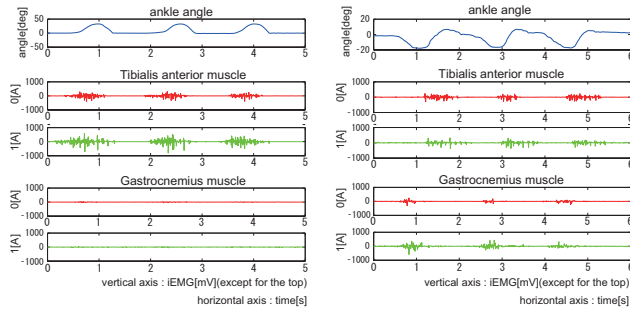


Fig. 4 Trigger Detection of EMG signal



(a) Dorsiflexion experiment (b) Plantarflexion experiment

Fig. 5 Experiment of motion



(a) Dorsiflexion experiment (b) Plantarflexion experiment

Fig. 6 The results of applying experiments

本実験では、MRLink への電流出力は手動で切り替える。なお、図 4 に示すように、本システムは表面筋電位の計測回路を実装しており、装着者の随意動作を検出することができる。運用段階では、この表面筋電位を用いた制御を適用することで、手動入力よりもより効果的な筋力トレーニングが可能になると考えられる。

### 3-1 背屈動作実験

実験の様子を図 5(a) に示す。本実験は健康な男性 1 名を対象にして行った。ここでは、背屈動作に対して負荷を印加するように MR リンクを取り付ける。コイルへ 0[A] から 1[A] まで 0.2[A] 毎に電流を印加し、足首の背屈動作を 3 回繰り返す。その際、足首関節角度、前脛骨筋・腓腹筋の表面筋電位を測定する。なお、前脛骨筋は足首を背屈させる筋肉で、腓腹筋は足首を底屈させる筋肉である。

図 6(a) に、印加電流値 0[A], 1[A] 時の背屈動作における関節角度、前脛骨筋、腓腹筋の表面筋電位を示す。関節角度のグラフより、3 回背屈していることがわかる。各動作の開始時は足首を持ち上げる背屈動作を示しており、その際主動筋である前脛骨筋が活動していることがわかる。また、印加電流値を大きくすると、前脛骨筋の筋活動も大きくなっていることがわかる。一方で、腓腹筋はほとんど

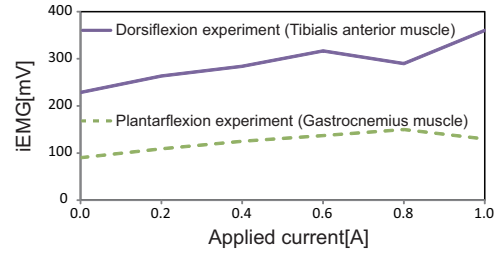


Fig. 7 Relationship between the integral EMG and the applied current

活動していない。これは、背屈させた足首は重力により自然に下がるため、腓腹筋をほとんど使用していないためと考えられる。

### 3-2 底屈動作実験

図 5(b) に示すように背屈動作実験と同様に、底屈動作に筋負荷を印加する底屈動作実験を行う。

図 6(b) に、印加電流値 0[A], 1[A] 時の底屈動作における関節角度、前脛骨筋、腓腹筋の表面筋電位を示す。3 回の底屈動作において、立ち上がり時に足首を下げる動作が見られるが、主動筋である腓腹筋が活動していることがわかる。背屈動作実験と同様に、印加電流値を大きくすると、腓腹筋の筋活動も大きくなることがわかる。一方、背屈動作実験とは違い、腓腹筋だけでなく前脛骨筋の活動も見られる。これは、底屈動作実験において、底屈させて足首を元の場所まで持ち上げる際は、重力に抗する力が必要であるためと考えられる。

### 3-3 考察

図 7 に、背屈・底屈動作それぞれにおける印加電流毎の積分筋電位を示す。積分筋電位は、背屈動作実験では前脛骨筋、底屈動作実験では腓腹筋の表面筋電位を用いている。これより、それぞれ印加する電流の増加に対して、積分筋電位がおおよそ比例して増大することが分かる。つまり、電流値を制御することで、足首動作に対して任意の筋負荷を与えることができるといえる。これにより、足首動作を行う筋力が低下して安定歩行が困難な人に対し、背屈・底屈させる筋力を向上させるトレーニング機器としての有効性が示された。

## 4. おわりに

本研究では、磁気粘性流体を用いて見かけの剛性が可変するリンクを用い、短下肢装具への適用を行った。足首動作支援実験では、動作に対して任意の筋負荷を与えることにより、足首動作を行う筋力が低下して安定歩行が困難な人を対象とした背屈・底屈動作に伴う筋力を向上させるためのトレーニング機器としての可能性を示した。今後は、MR リンクを組み込んだ短下肢装具による歩行動作支援の可能性を検証していきたい。

### 参考文献

- (1) P. Jacqueline. "正常歩行と異常歩行" 医歯薬出版, 2007.
- (2) 山本 澄子, "短下肢装具の開発と臨床評価", 日本リハビリテーション医学会誌, 44(1), 11-17, 2007
- (3) T. Oba, et al., "An Elastic Link Mechanism Integrated with a Magnetorheological Fluid For Elbow Orthotics," *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp.2789-2794, 2012