

## MR ブレーキ組込下肢装具の制御のための傾斜路における歩行状態の判別

Discrimination of Gait State on Slope Ascending and Descending  
for Controlling the MRF Brake Installed Ankle-Foot-Orthesis

- 久保清文 (大阪電気通信大学大学院) 森本正治 (大阪電気通信大学)  
富山弘基 (橋本義肢製作株式会社) 橋本泰典 (橋本義肢製作株式会社)

Kiyofumi KUBO, Graduate School, Osaka Electro-Communication University  
Shoji MORIMOTO, Osaka Electro-Communication University  
Hiroki TOMIYAMA, Hashimoto P&O Co. Ltd.  
Yasunori HASHIMOTO, Hashimoto P&O Co. Ltd.

**Abstract:** A compact MRF (Magneto-Rheological Fluid) brake installed ankle-foot orthosis has been developed for people with paralyzed lower extremities after stroke. In order to establish methods of controlling the brake not related to walking road condition, we attempted to discriminate a gait state in the slope ascending and descending using a motion sensor. The seven state of the gait cycle (heel contact, foot flat, mid stance, heel off, toe off, swing acceleration and deceleration) were clearly fixed and the possibility to improve the brake control algorism was proved.

**Key Words:** Ankle-Foot orthosis, Magnetorheological fluid, Motion sensor

### 1. はじめに

脳卒中や事故等で下肢運動機能障害を持った患者の歩行補助に装具や補助具が使用される。なかでも下肢装具は材質や形状の違いにより様々な種類が存在し、より高機能な下肢装具の研究開発が大学や企業で進められている<sup>(1), (2), (3)</sup>。その中、我々は機能性流体の一種である磁気粘性流体(MRF)の特性を利用したブレーキを足継手部に組み込んだMRFBレーキ組込下肢装具の実用化に取り組んでいる<sup>(2), (3)</sup>。

これまで平坦路での歩行状態の判別を様々なセンサを使用して行ってきた。しかし、日常生活を行う上で歩行路面は必ずしも平坦路であるとは限らない。

そこで本研究では、3軸の加速度、角速度、オイラー角を計測可能な小型のモーションセンサを装具支柱部に取り付け傾斜路での歩行状態の判別を試みた。

### 2. 実験方法

#### 2-1 判別の目的

従来では、歩行状態を足底部の足底スイッチと足継手部の角度センサのセンサ情報を基に3状態に分け判別し、各状態に応じてブレーキトルクを制御している。この歩行状態の判別を精細にすることでMRFBレーキの高機能化が可能になると考えられる。

#### 2-2 判別条件の定義

Fig.1に歩行周期と判別状態を示す。判別条件は以下のように定義した。

State 1: 遊脚した下肢の接地

State 2: 立脚期中の足継手の底屈区間

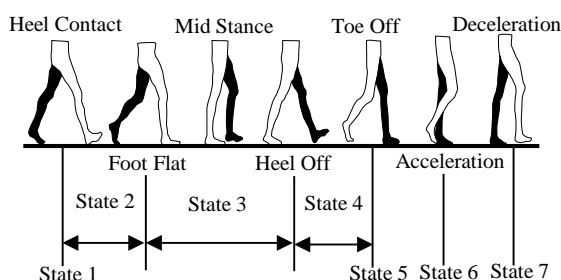


Fig.1 Gait Cycle and Gait States

State 3: 立脚期中の足継手の背屈区間

State 4: 立脚期から遊脚期への移行区間

State 5: 遊脚期の開始

State 6: 遊脚中に前方へ振り出す下肢の加速区間

State 7: 遊脚中に前方へ振り出した下肢の減速区間

これら State 1~7 をモーションセンサの情報から判別可能か検証した。

#### 2-3 計測方法

計測には空間座標計測装置(Mac3D:Motion Analysis 社製)モーションセンサ(3DM-GX3-25:Microstrain 社製)を使用した。Fig.2に空間座標計測装置のマーカ位置を、Fig.3に使用したMRFBレーキ組込下肢装具および取り付けしたモーションセンサとその座標系を示す。

モーションセンサは3軸加速度、3軸角速度、3軸地磁気を計測し、センサ内でこれら9種のデータを基にオイラー角を算出できる。加速度、角速度、地磁気をサンプリング周波数1[kHz]で計測し、オイラー角の算出は100[Hz]とした。空間座標計測装置はサンプリング周波数100[Hz]で計測した。

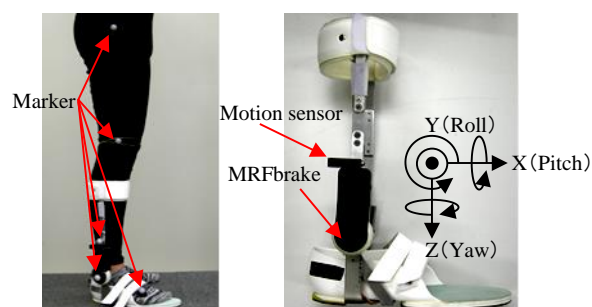


Fig.2 Marker position Fig.3 Orthosis with motion sensor

### 3. 実験結果

健常男性にFig.3の装具を装着し、傾斜角4[deg]と傾斜角7[deg]の傾斜路でケイデンス80[step/min]の歩行を行った。Fig.4からFig.9に空間座標データを基に1歩行周期分を含む1.8[s]のデータをグラフ化した計測結果の一例を示す。

Fig.4とFig.5は傾斜角4[deg]での歩行データであり、Fig.4は昇り、Fig.5は降りである。それぞれの(a)は加速度、(b)

は角速度, (c)はオイラー角, (d)は足関節角度である。Fig.6(a)は Fig.4 と, Fig.6(b)は Fig.5 と同時刻の 0.05[s]刻みのスティックピクチャである。

Fig.7 と Fig.9は傾斜角4[deg]での歩行データであり, Fig.7は昇り, Fig.8は降りである。それぞれの(a)は加速度, (b)は角速度, (c)はオイラー角, (d)は足関節角度である。Fig.9(a)は Fig.7 と, Fig.9(b)は Fig.8 と同時刻の 0.05[s]刻みのスティックピクチャである。

4. 考察

4-1 State 1 の判別

加速度に注目すると 0.2[s]付近で振動が発生している。この振動はZ軸方向が最も大きく、踵接地の衝撃を反映したものと考えられる。

また、Y軸の角速度は加速度に振動が発生する直前に負に転じている。これは踵接地寸前に下腿部を引き付けたために生じたと考えられる。同時に装具支柱部の矢状面内の傾斜を反映する Roll 角は後傾を示している。

よって、Z軸方向の加速度に閾値を設け、Y軸の角速度およびRoll角を計測できればState 1は判別できると考えられる。

4-2 State 2 の判別

足継手角度が踵接地後の最大底屈になった 0.01[s]後に、すべての加速度が負の方向に急速に増大している。これは足底部が全面接地した際の衝撃で発生したと考えられる。

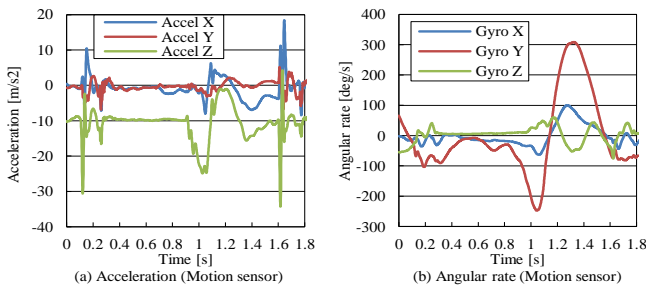


Fig.4 Result of measurement in the 4 degree slope ascent

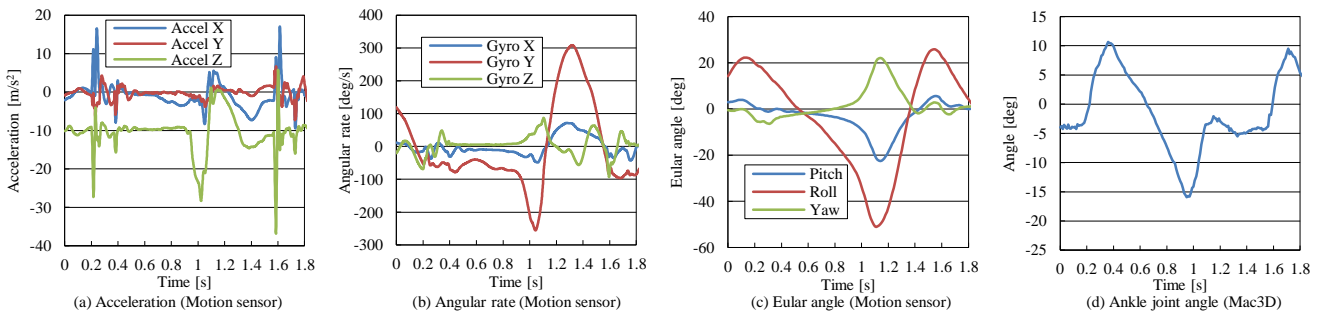


Fig.5 Result of measurement in the 4 degree slope descent

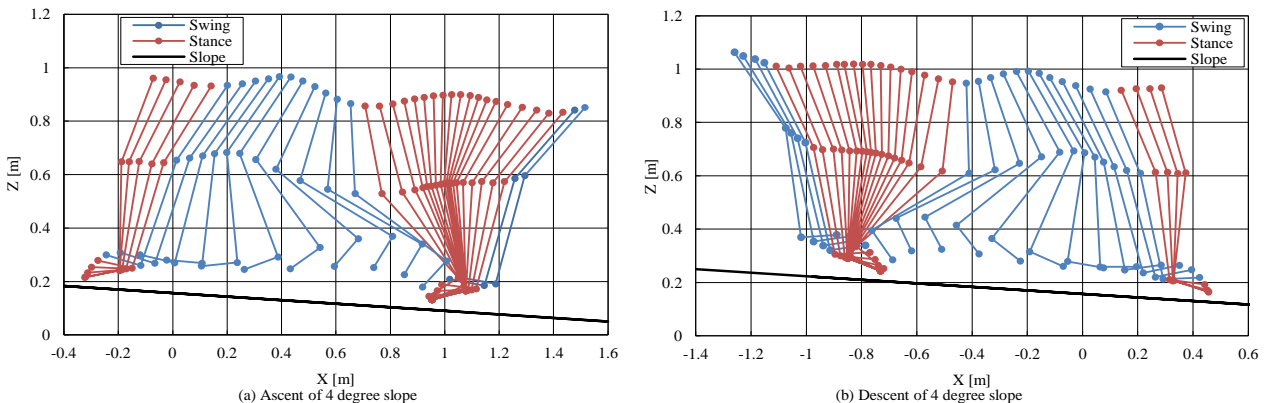


Fig.6 Stick picture in the 4 degree slope

よって、State 2はState 1が判別でき、その後の加速度の負の増大を検出できれば判別可能であると考えられる。しかし、実際の使用時には踵接地と同時に足底接地となることも考えられ、確実に判別できるとは言い難いため補助的に足底スイッチを使用するなどの工夫が必要である。

4-3 State 3 の判別

State 3は足継手の背屈区間の判定であるので、従来制御で使用していた角度センサの情報が判別に有効であると考えられる。

モーションセンサの情報に注目すれば、足底接地の衝撃で発生した考えられる加速度の負の増大が収まったのち、Roll角は前傾方向に増大していくがZ軸加速度はほぼ一定を示し、Y軸の角速度の変化量も小さくなっている。これは立脚中期での下腿部の緩やかな前傾を反映していると考えられる。

よって、角度センサの出力から足継手の背屈を感知したときを開始判定としState 4の開始をもって終了判定とすればState 3は判別可能であると考えられる。

4-4 State 4 の判別

0.8~1[s]付近でZ軸の加速度が負の方向に増大している。これは立脚期後半の下腿の挙上動作により発生したと考えられる。また、同時期のY軸の角速度とRoll角に注目すると、変化量が大きくなっていることから下腿の前傾速度が大きくなっていると推測できる。

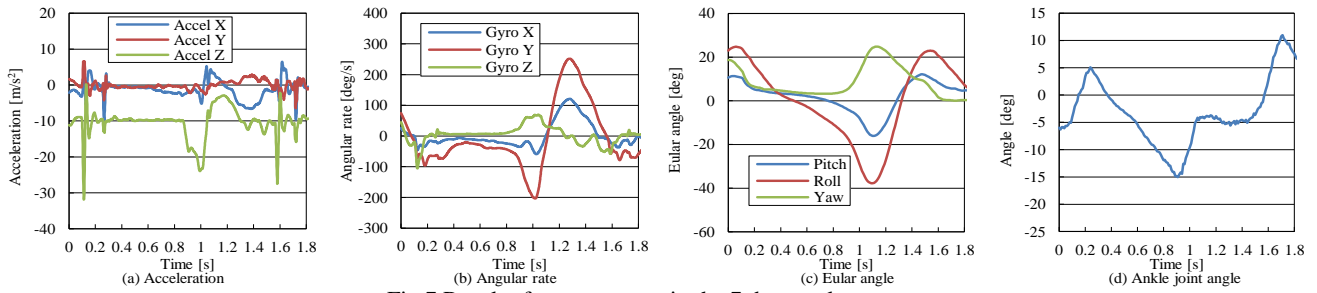


Fig.7 Result of measurement in the 7 degree slope ascent

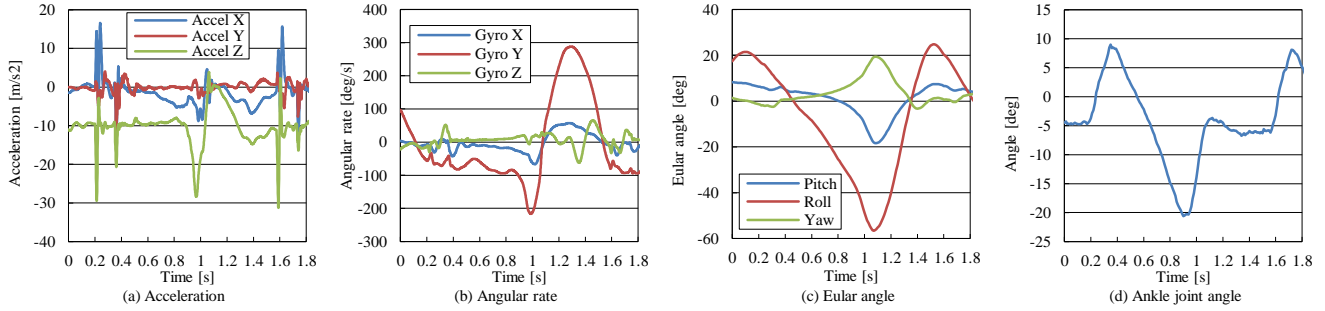


Fig.8 Result of measurement in the 7 degree slope descent

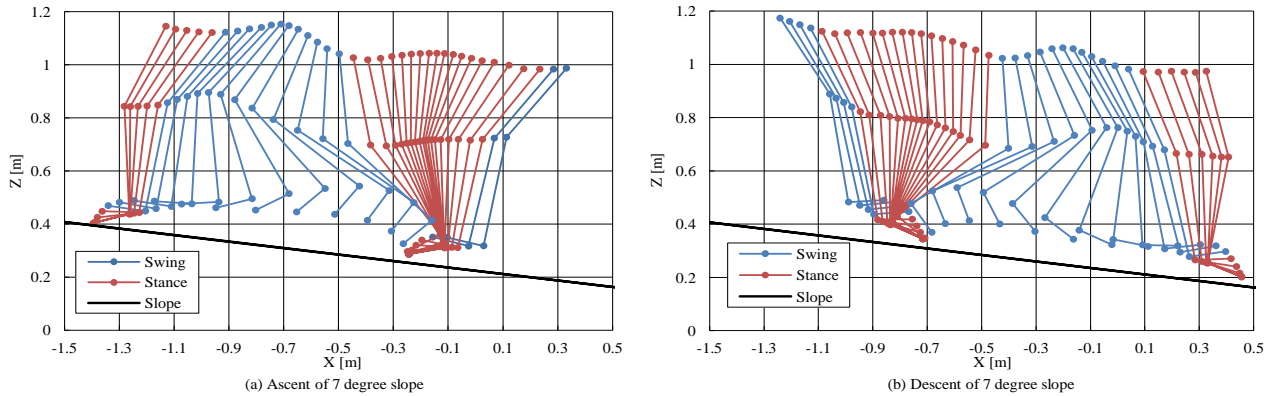


Fig.9 Stick picture in the 7 degree slope

よって、下腿の挙上動作に伴う Z 軸の加速度の増加と Y 軸の角速度および Roll 角の変化量増大を開始判定とすれば State 4 は判別可能であると考えられる。

4-5 State5 の判別

足継手角度が最大背屈した直後に下腿の挙上動作によるものと考えられる Z 軸方向の加速度の増大が最大となり、同時に Y 軸の角速度の増大が最大となっている。このことから歩行周期は爪先離地となったと考えられる。

よって、モーションセンサからの情報で爪先離地は判別可能であると考えられるが、爪先が完全に地面から離れたかどうかは厳密には判断できない。補助的に足底スイッチ等の接触センサを使用することで判別の精度が上がると思われる。

4-6 State 6 の判別

1[s]付近から Y 軸の角速度が大きく増大し、それに少し遅れ Roll 角が後傾方向に急速に増大していく。これは下肢を前方に振り出す動作を反映したものと考えられる。

よって、State 6 の開始判定はモーションセンサからの情報のみで可能であると考えられ、終了判定は State 7 の開始をもって行えばよい。

4-7 State 7 の判別

Y 軸の角速度の変化が反転すると同時に X 軸方向の加速度が減速方向に増大していることから、前方に振り出した下肢を減速させていると考えられる。

よって、State 7 はモーションセンサからの情報で判別可能であると考えられる。また、State 7 の終了判定は State 1 すなわち踵接地となるので、踵接地に備えてブレーキトルクを制御するといったことが可能になると考えられる。

5. 結論

MRP ブレーキ組込下肢装具の高機能化実現のため、モーションセンサによる傾斜路での歩行状態判別を試みた。

歩行の状態判別を7状態に分けられるものと定義し、モーションセンサからの情報に加え、補助的に足底部の接触センサを使用することで従来制御をより高機能化できることが示唆された。

参考文献

- (1) 森本正治,橋本泰典,古庄純次,赤澤康史,中川昭夫,津村稔,大築康生,磁性流体(MRF)ブレーキを応用した下肢支援ロボットの開発,生活支援工学会誌, vol. 8, no. 2, pp. 14-19, 2008.
- (2) 富山弘基,森本正治,中川昭夫,赤澤康史,古庄純次,下肢装具用足継手有限状態制御のためのMRブレーキの開発,バイオメカニズム, vol.19, pp. 151-161, 2008.
- (3) 谷田惣亮,菊池武士,大月喜久子,安田孝志,古庄純次,小澤拓也,藤川孝満,森本正治,コンパクトMR流体ブレーキを用いたインテリジェント短下肢装具3次試作機の開発と足関節弛緩性麻痺患者への適用,生体医学, vol.48, no.1, pp. 50-58, 2010.