

転倒防止に向けた小型センサによる 歩行状態推定方式の諸検討

北川 広大* ・ 郷 幸佑** ・ 戸谷 伸之***

Some Discussions of Walking State Estimation Using Miniaturized Sensors for Fall Prevention

Koudai KITAGAWA Kousuke GOU Nobuyuki TOYA

Abstract – Recently, falling accidents of elderly people happen many times. The reason why elderly people fall down is that they can't recognize height of the foot in walking. We discuss systems using wearable sensors for detecting and informing the walking state such as height of the foot. This paper reports experiments about two methods. One is the method using acceleration sensors of Smartphone on the wrist. And the other is the method using ultrasonic sensors on the heel. The result showed that two methods can detect walking state such as height of the foot.

Key words : Acceleration Sensor, Ultrasonic Sensor, Fall Prevention

1. はじめに

近年, 高齢者の転倒事故が深刻な問題となっている。東京消防庁の統計によると, 転倒事故で救急搬送される高齢者の約40%は入院が必要となる損傷を負うことがわかっている[1]。また, 転倒経験がある高齢者の約85%は転倒への恐怖感をもっており, 転倒への恐怖感から外出を控える高齢者は34%に及ぶことが報告されている[2]。これらの報告から転倒事故は高齢者に損傷や恐怖感を残し, 事故後の日常生活に悪影響を与えているといえる。

高齢者の転倒事故の原因に「つまずき」が最も多いことが報告されている[2]。また, 「つまずき」が起きる原因として, 高齢者は知覚能力の低下などによって, 歩行中に自らが上げている足の高さが低いことを認識できないことが挙げられている[3]。

そこで本研究では, 日常的に歩行中の足の高さを検出・通知し「足を高く上げる歩行」を促すことによって「つまずき」を防止するシステムを提案する(図1)。

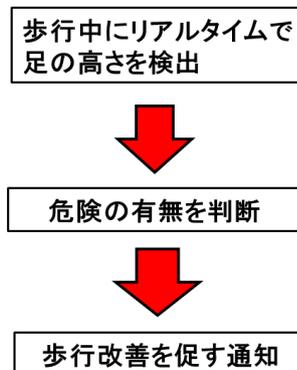


図1 提案システム

2. 使用するデバイス

本稿では前述のシステムの基礎検討として歩行中の足の高さを検出する方式について述べる。医療施設などで行われている歩行解析では大がかりな施設や測定装置が使われることが多い。しかし, 場所を選ばずに歩行解析をするためには, 小型で利用者が身に付けられる装置を用いることが望ましい。本稿では, 小型な超音波センサを用いた方式とスマートフォン内蔵の加速度センサを用いた方式の2つの方式について検討する。

* 釧路高専 電子情報システム工学専攻

** 豊橋技術科学大学 工学部 電気・電子情報学課程

*** 釧路高専 電子工学科

3. 超音波センサを用いた方式

3.1. 超音波センサ

本方式では踵に超音波センサを装着し、地面と踵の距離を測定することで足の高さを検出する。

超音波センサは、送信部から超音波を放射し、物体に反射した超音波を受信した時間によって超音波の送受信器から物体までの距離を測定する。超音波は指向性に優れており、物体の検知・距離測定を容易に行えることから、足と地面の距離の計測に適していると考えられる。

3.2. 距離検出デバイス

前述の超音波センサを用いて、踵と地面の距離を検出するデバイスを試作した。本デバイスでは、超音波センサから足の高さを測定する。さらに、測定値が閾値以下となるとLEDが点灯する仕様となっている。また、測定している足の高さを7セグメントLEDによって表示する。回路の制御はPICマイコンによって行っている。図2と図3にデバイスの外観と装着図を示す。

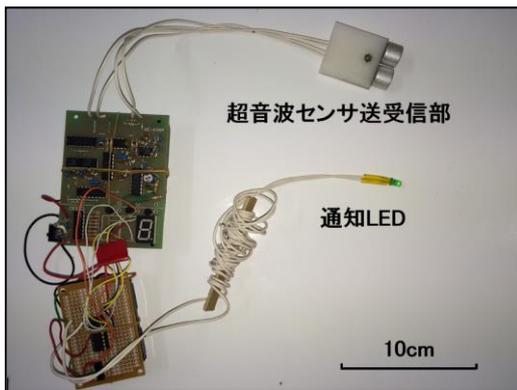


図2 距離検出デバイス



図3 デバイス装着図

3.3. 足の傾きと検出距離に関する実験

前述の通り超音波センサには指向性があるため、センサの傾きによって検出距離が変化する。本実験では、足関節の背屈・底屈による足の傾き(図4)がデバイスの検出距離に与える影響を実験によって調べた。

実験概要図を図5に示す。本実験では、平面路での利用を想定して、デバイスをコンクリート平面に対面させ、歩行時に生じる足の傾きを想定した角度 θ を徐々に変化させた。デバイスに設定する閾値は10[cm]とし、閾値以下の距離L(10~6[cm])で通知可能な角度 θ の範囲を調べた。

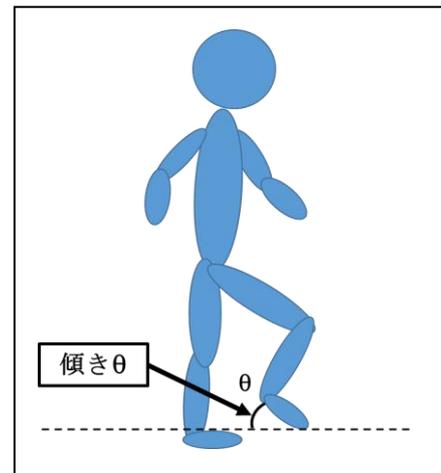


図4 歩行時に生じる足の傾き

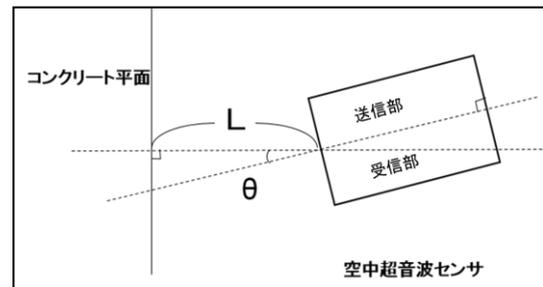


図5 距離検出デバイスに関する実験概略図

3.4. 実験結果

実験結果を表1に示す。デバイスと平面のなす角度が表1に示す角度範囲より大きくなると、デバイスと平面の距離Lが閾値以下になっているにもかかわらず通知を行わなくなった。また、デバイスと平面の距離Lが閾値に近くなるほど通知可能な角度範囲は狭くなった。閾値付近では通知可能な角度範囲が最も狭くなり、 $\pm 30[\text{deg}]$ となった。

高齢者の歩行特性に関する先行研究では、高齢者における足関節の運動域は $25[\text{deg}]$ の範囲であることが報告されている[4]。今回の実験結果では、通知可能な

角度範囲が±30[deg]以上となっているので、デバイスは足関節の背屈・底屈による足の傾きの影響を考慮しても、足の高さを検出することができると考えられる。

表1 平面-デバイス間の距離と角度範囲の関係

| 平面からの距離 L [cm] | 通知可能な角度範囲 θ [deg] |
|----------------|--------------------------|
| 10 | ±30 |
| 9 | ±30 |
| 8 | ±40 |
| 7 | ±50 |
| 6 | ±50 |

4. スマートフォンを用いた方式

4.1. スマートフォン

本方式ではスマートフォンに内蔵されている3軸加速度センサを用いることとした。スマートフォンを用いる利点としては、広く普及していることや日常的に身に着けられることが挙げられる。さらに、スマートフォンは多機能かつ高性能であるため、様々なシステムへの応用が期待できる。

4.2. スマートフォンの装着部位

多くの歩行解析においては、加速度センサを膝などの下肢に装着するケースが多いが、日常的にスマートフォンを身に着けることを考慮すると、下肢は装着部位として適当ではない。

先行研究ではスマートフォンを日常的に身に着けられる装着部位として、腰のベルトを用いた歩行解析システムが報告されている [5]。

本方式では身に着けやすい部位として、スマートフォンを手首に装着し、歩行中に測定される加速度の時間波形から歩行状態を判別することを目的とする。

今後普及していくと考えられるウェアラブルデバイスに、スマートウォッチが挙げられる。スマートウォッチは腕時計のように手首に装着するウェアラブルデバイスであり、スマートフォンと同様に加速度センサが内蔵されている。提案方式では、将来的にウェアラブルデバイスであるスマートウォッチなどを用いることも検討している。

4.3. 3軸加速度センサと測定加速度

スマートフォンの加速度センサからは3軸方向それぞれの加速度が測定される。しかし、これら3つの

加速度はスマートフォンの姿勢などによって値が正負に変動するため、安定した測定や評価が難しい。本方式では3軸方向の加速度を図6のように合成し、正の値で測定加速度を評価する。

本方式では手首の加速度によって、「足を高く上げる歩行」を判別し、「足を高く上げる歩行」を行っていない場合に通知を促すことを想定している。

また、本方式では「足を高く上げる歩行」を行った場合に、歩行者はバランスを保つために腕を大きく振り、測定される加速度の時間波形に大きな振幅が見られることが予想される。

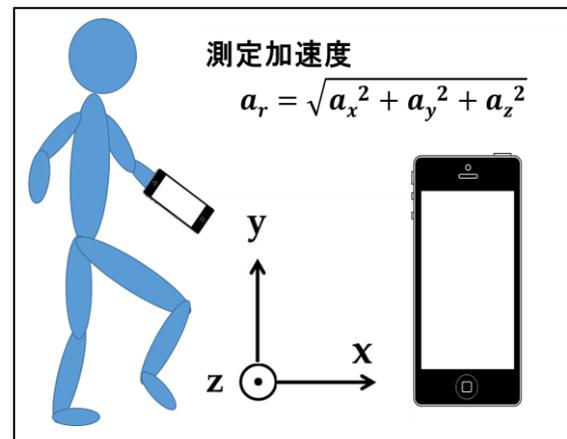


図6 装着部位と測定加速度

4.4. 歩行状態判別に関する基礎実験

本実験では若年者10人を対象とし、直線区間で「足を高く上げる歩行」と「自然歩行」を指示し、歩行中における手首の加速度についての時間波形を測定した。また、測定機器には提案方式を想定し、スマートフォンを用いることとした。

4.5. 実験結果

被験者1人の加速度波形を図7に示す。図7のように、被験者全員で「足を高く上げる歩行」の加速度波形において最大値は「自然歩行」よりも大きく、最小値は「自然歩行」よりも小さくなり、振幅に大きな差が見られた。図8に5人の被験者における加速度の最大・最小値のグラフを示す。また、表2に被験者全員における加速度の最大・最小値を示す。

これらの結果から、測定加速度における最大値と最小値の差分を算出し、閾値と比較することで「足を高く上げる歩行」と「自然歩行」を判別できることがわかった。ただし、加速度波形には大きな個人差があることから、利用者ごとに最適な閾値を設定する必要がある。

また、図7のように「足を高く上げる歩行」と「自然歩行」の両方の歩き方について加速度波形に周期性を確認することができた。この結果から、歩行中における手首の加速度は周期性を利用した信号処理などを行うことができる可能性が示された。

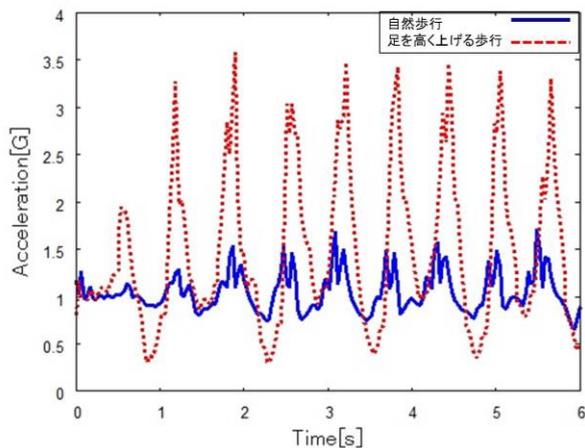


図7 手首における加速度の時間波形

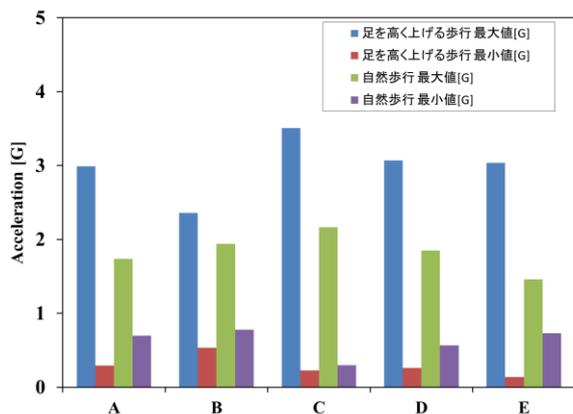


図8 被験者5人における加速度の最大・最小値

表2 各被験者における加速度の最大・最小値

| 被験者 | 足を高く上げる歩行 | | 自然歩行 | |
|-----|-----------|--------|--------|--------|
| | 最大値[G] | 最小値[G] | 最大値[G] | 最小値[G] |
| A | 2.99 | 0.292 | 1.738 | 0.699 |
| B | 2.361 | 0.535 | 1.942 | 0.78 |
| C | 3.507 | 0.228 | 2.166 | 0.299 |
| D | 3.07 | 0.258 | 1.849 | 0.569 |
| E | 3.038 | 0.137 | 1.461 | 0.73 |
| F | 5.063 | 0.13 | 2.803 | 0.245 |
| G | 3.417 | 0.128 | 1.746 | 0.482 |
| H | 5.272 | 0.255 | 1.608 | 0.649 |
| I | 5.894 | 0.118 | 1.946 | 0.376 |
| J | 3.625 | 0.296 | 1.691 | 0.643 |

5. 今後の課題

5.1. 歩行状態の通知方法

提案システムでは足の高さが低い場合に、歩行者に通知を行うことを考えているが、通知方法次第で利用者に二重課題を課し、転倒を誘発してしまうことが考えられる。今後、2つの提案方式において歩行への注意力を減少させないような通知方法を検討していく必要がある。

5.2. 超音波センサを用いた方式について

本稿では、基礎実験によって超音波センサを用いた方式が平面路において足の高さを検出できることを確かめた。

今後は超音波センサが凹凸の激しい路面に対しても足の高さを検出することができるか検証する必要がある。また、実際にデバイスを装着した状態の歩行では足の軌跡などによって、通知可能な角度範囲が変化することが考えられる。今後は実際の歩行中に、通知可能な角度範囲がどのように変化するか詳細に検討していく。

5.3. スマートフォンを用いた方式について

本稿では、手首から測定される加速度波形では「足を高く上げる歩行」と「自然歩行」において振幅などに大きな差があり、閾値によってこれらの歩行状態を判別できる可能性が示された。

今後は利用者ごとに最適な閾値を設定する方法を検討していく。また、「すり足歩行」など「自然歩行」以外の歩き方と「足を高く上げる歩行」を判別できるか確かめたい。

参考文献

- [1] 東京消防庁, “救急搬送データからみる日常生活の事故”, pp. 6-7, 2014.
- [2] 金憲経他, “高齢者の転倒関連恐怖感と身体機能: 転倒外来受診者について”, 日本老年医学会雑誌 Vol. 38, No. 6, pp. 805-811, 2001.
- [3] 齋藤誠二, 村木里志, “高齢者の障害物またぎ動作における足の軌跡と位置知覚に関する研究”, 人間工学 Vol. 46, No. 2, pp. 172-179, 2010.
- [4] 山岸豪, 徳田哲男, “老人歩行”, リハビリテーション医学, vol. 12, No2, pp. 97-104, 1975.
- [5] 榎原裕大他, “スマートフォンを用いた歩行動作改善ツールの開発”, 研究報告ユビキタスコンピューティングシステム (UBI), vol. 32, No. 7, pp. 1-8, 2011.