

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 18 日現在

機関番号：30108

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350667

研究課題名(和文) 歩行時における外乱刺激が姿勢保持へ及ぼす影響の解明と転倒予防への応用に関する研究

研究課題名(英文) A study on the influence of perturbations on posture retaining while walking and its application to fall prevention.

研究代表者

敦賀 健志 (TSURUGA, Takeshi)

北海道科学大学・保健医療学部・准教授

研究者番号：60337011

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では冬道での転倒予防に関わる基礎研究として、ヒトが姿勢を崩すことにつながる足部の滑りの要因を定量的に調べる研究を行った。まず、足部の滑りを模擬的に実現するシステムを製作し、足部に与える加速度と移動距離が正確に呈示できるかを確認した。次に、被験者に対して刺激を呈示し、姿勢を崩しそうになったかどうかを口頭で確認した。その結果、個人差はあるもののヒトが姿勢を崩す際の足部の加速度と移動距離の関係が示唆された。

研究成果の概要(英文)：In this study, the factors of slippage of the foot that make the posture unstable were quantitatively investigated as a basic study related to fall prevention on winter roads. A system that simulatively reproduces the slippage of the foot was designed and constructed. Then, it was confirmed whether the acceleration and the moving distance of the stage moving the foot can be accurately presented according to the setting. In the next experiment, the subjects orally answered whether or not the posture could be kept stable after presenting the perturbations. The results of this study suggested that the relationship between the acceleration and the moving distance of the foot was suggested when the posture becomes unbalanced although there is an individual difference.

研究分野：積雪凍結路面での歩行において姿勢安定性の向上に必要な要因の解明と転倒予防に寄与する歩行補助具の開発

キーワード：滑り 転倒予防 姿勢制御 靴 フィードバック

1. 研究開始当初の背景

北海道のような寒冷地において冬期間の屋外歩行は危険と常に隣り合わせである。現に札幌市においてはスパイクタイヤの使用が禁止された平成3年から、歩行中に転倒し、病院に搬送された人数が激増している(図1)。平成23年度における札幌市消防局の調査によると、札幌市で雪による転倒事故の救急搬送者数は974名であり、その半数以上を60歳以上の高齢者が占める。世帯の核家族化、独居老人数の増加といった近年の傾向から見ても、冬期間に高齢者が外出しなければならない状況が増加しており、転倒防止は急務の課題と言える。また、寒冷地における冬期の転倒事故は高齢者のみならず若年者においても発生しているが、特に高齢者においては転倒による外傷・骨折は日常生活活動を著しく低下させることから保健・医療・福祉行政において大きな問題となっている。このような現状を踏まえ、転倒防止を目的とした歩行方法の講習会や各種防滑靴の開発・販売が行われているが、事故件数減少には至っていない。防滑靴に関してはスタッドレスタイヤをモデルとし、靴底のパターンや材料の改良といった点に関して研究がなされているが、こちらも決定的な打開策とは成り得ていない。また、歩行動作中の転倒に大きく関わるヒトの足部の滑りに関しては、路面と足部(または靴)との摩擦係数を用いたの評価や足底圧中心(COP: Center of Pressure)と身体重心(COG: Center of Gravity)の位置関係による評価、さらにはヒトが低摩擦路面において転倒しないために、どのように歩行動作を適応させているかといった研究は行われている。滑りとは、路面と足部との瞬間的な「ずれ(外乱刺激)」と定義できるが、そもそもヒトはどのような「ずれ」を「外乱刺激」と認識し、どのような「外乱刺激」によって姿勢を変化させられ、歩行中、転倒に至るのかといった研究はなされていない。

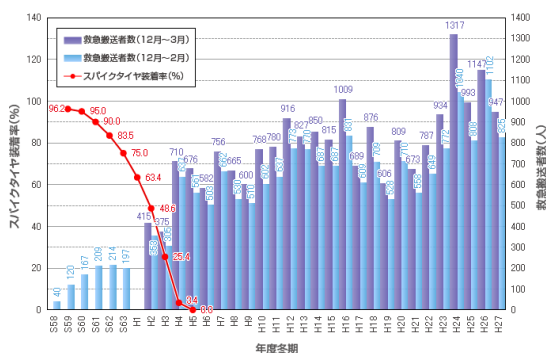


図1 札幌市におけるスパイクタイヤ装着率と冬季における転倒による救急搬送者数¹⁾

2. 研究の目的

本研究では、まず歩行時の姿勢安定性に大きく寄与する足部の滑りを再現する「外乱刺激」(足部が接地した路面を意図的に前方に動かす刺激)を呈示するシステムを構築する。

そして、システムの特徴を計測・検証した上で、被験者に対し外乱刺激を呈示し、姿勢保持へ及ぼす要因を解明する。その結果として得られる「ヒトが感じる外乱刺激」、「姿勢を崩すに至る外乱刺激」を計測するセンサの選定を行い、「外乱刺激」を検知もしくは予測した時点で歩行者に注意喚起を行う高機能型転倒予防靴の開発・評価につなげる。

3. 研究の方法

(1) 被験者に外乱刺激を呈示するための「外乱刺激呈示システム」の設計および製作を行う。高頭らの研究において、転倒する際の足部の挙動としては、加速度が20[m/s²]とされていることから本システムにおいても同等の加速度を実現できることが必要となる²⁾。研究当初は床面を動かすためにACサーボモータとボールネジによる直動運動を検討していた。しかし、この機構の場合、床面の加速度を増加させようとすると、ボールネジの慣性質量などが大きく影響し、加速度をあまり大きくできないことが懸念された。そこで、呈示できる加速度の範囲をより広くするため、新たにリニアサーボモータを採用することとした。ACサーボモータは回転運動をボールネジによって直動運動に変換するため、高速時に振動や発熱が生じ、構造上のねじれやバックラッシュにより目標と実際の位置との間に誤差が生じやすい。これに対しリニアサーボモータは、永久磁石である固定子と電磁石である可動子に向かい合わせた扁平構造であるため、ボールネジが不要となり高速・高加速の動作が可能となり、振動や騒音も少ない。さらに併設するリニアスケールの分解能によってマイクロメータオーダーでの位置決めが可能となる。また、固定子を連結するだけでロングストローク化が容易に実現できるといった利点がある。しかし、その反面、設計および製作において極めて高精度な技術が要求される。

本研究では安川電機製リニアサーボモータを採用した(可動子: SGLFW2-90A380AS、固定子: SGLFM2-90714A×2、SGLFM2-90306A、サーボパック: SGD7S-200A00A000F79)。容量の選定についてはサーボドライブ選定ツール(安川電機: SigmaJunmaSize+)を用いた。選定したリニアサーボモータの主な仕様は表1の通りである。

表1 リニアサーボモータの仕様³⁾

定格速度	4.0 [m/s]
最高速度	4.0 [m/s]
定格推力	1120 [N]
最大推力	3360 [N]
磁気吸引力	8480 [N]

リニアサーボモータを挟むように2本のリニアガイドを設置し、その上にジュラルミン製の板材(500×440×9.5mm)を取り付け、

さらにその上に床反力計（日本キスラー：9260AA3）を固定し可動路面とした（図 2）。可動路面の有効ストロークは 550 [mm] である。システムのフレームはミスミ製のアルミフレームを組み合わせて製作した。フレームの側面にはリニアスケール（ハイデンハイン：LIDA487）を取り付けた。システムの外観写真を図 3 に示す。

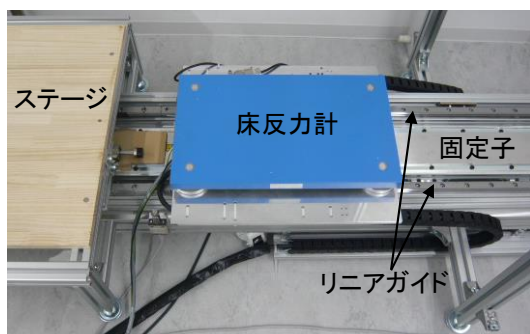


図 2 可動路面の外観



図 3 外乱刺激呈示システムの外観

次に、製作した外乱刺激呈示システムの基本特性を検証した。高頭らの研究では、ヒトの滑りには足部の加速度と、その持続時間が影響すると示されている。加速度を一定とした上で、加速度の持続時間を変化させることは、可動路面の移動距離が変化するということになる。よって、今回は加速度と移動距離をパラメータとして検証を行った。具体的には停止状態にある可動路面を様々な加速度、移動距離で動かし、設定した挙動が実現されているかを検証した。実際に設定した加速度は $4\sim 20$ [m/s^2] の範囲を 2 [m/s^2] 刻みの 9 通りとし、移動距離は $10\sim 80$ [mm] の範囲を 10 [mm] 刻みの 8 通りとした。結果として組み合わせは 9×8 の 72 通りとなった。

リニアサーボモータを動かす際、停止状態から加速した後、すぐに停止させることは非常に大きな減速を強いることとなり、システムを損傷しかねない。そこで今回は安全性に

配慮し、加速と同じ大きさで減速させることとしたため、可動路面の実際の移動距離は設定値の 2 倍となっている。

加速度の計測には 6 軸モーションセンサ（マイクロストーン：MP-M6-06/2000B）を可動路面に設置して行った。このセンサは 3 軸の加速度と角速度を計測することが可能である。センサからの出力は A/D 変換器（contec：AI0-163202F-PE）を用いてサンプリング周波数 1kHz で計測した。リニアサーボモータおよび A/D 変換器は VisualBasic2008 を用いて制御を行った。移動距離に関しては、基準点から移動後の可動路面までの距離をデジタルノギス（Mitutoyo：CD-20AX）を用いて計測を行った。加速度と移動距離の組み合わせ一つに対し、計測を 3 回ずつ行い平均化した。

(2) 外乱刺激呈示システムの動作確認を踏まえた上で、ヒトが姿勢を崩すに至る外乱刺激を調べる実験を行った。具体的には、立位状態の被験者が片方の足を前に踏み出し、その足が接地した瞬間、接地した可動路面を前方に移動させることで、低摩擦路面で足部が滑った状態を再現する。そしてどのような加速度と移動距離を呈示することで、被験者が姿勢を崩すのかを定量的に検証する。

外乱刺激呈示システムのステージ上に、両足をそろえた状態で被験者に立位を取ってもらう。この時、視覚情報を統一化するため、被験者には前方を見るように教示した。さらに被験者にはハーネスを取り付けて転倒防止に配慮した（図 4：左）。この立位の状態を初期姿勢とし、計測者の合図に従って、初期姿勢から右足を踏み出してもらい、床反力計の上に接地させた（図 4：右）。歩幅は 600 [mm] となるように規定した。踏み出した右足によって可動路面に 250 [N] の荷重がかかった瞬間、可動路面を前方に動かすように設定した。可動路面の加速度と移動距離は (1) の実験と同様に、加速度は $4\sim 20$ [m/s^2] を 2 [m/s^2] 刻みの 9 通りとし、移動距離は $10\sim 80$ [mm] を 10 [mm] 刻みの 8 通りとした。組み合わせは 72 通りとなり、順番はランダム化して呈示した。

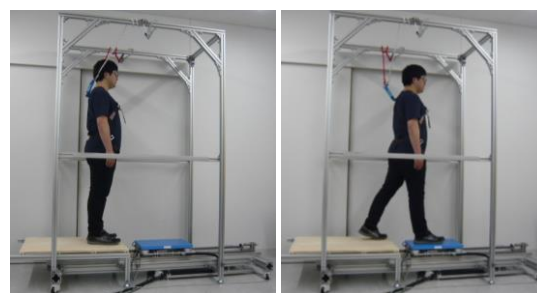


図 4 実験時の被験者の姿勢
(左：初期姿勢時、右：外乱刺激呈示時)

可動路面が移動した後、被験者には自発的に初期姿勢に戻ってもらい、姿勢を崩すに至る外乱刺激であったかどうかを口頭で確認した。被験者は年齢 24 歳の健常男性 2 名と

し、確実に可動路面に接地させるため十分な練習を行った後、計測を開始した。

なお、本実験は研究者が所属する機関の倫理委員会の承認を受けて実施した（北海道科学大学倫理委員会 承認番号 第 113 号）。

4. 研究成果

(1) 加速度と移動距離の組み合わせにおける移動距離誤差を図 5 に示す。横軸は加速度 $[m/s^2]$ 、縦軸は移動距離誤差 $[\mu m]$ の絶対値を表し、各加速度におけるストローク 10～80 $[mm]$ の結果を示している。グラフを見ると同じ加速度において移動距離が長くなるにつれて、誤差も増大している傾向が見られた。しかし、最大でも 80 $[\mu m]$ （加速度: 8 $[m/s^2]$ 、移動距離: 80 $[mm]$ のとき）であり、ヒトに呈示する移動距離の誤差としては十分に小さいと判断した。よって、今回製作した外乱刺激呈示システムにおける可動路面は、極めて精度よく位置決めが可能であることが分かった。これは先に述べたリニアサーボモータの特性を反映しているものと考えられる。

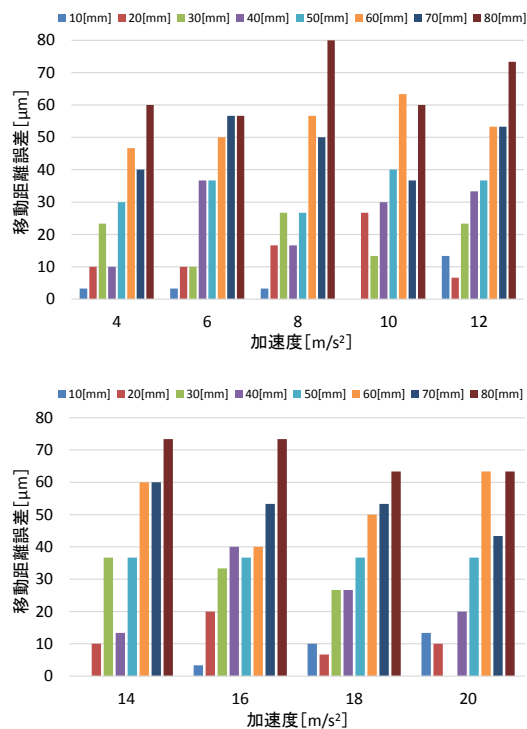


図 5 システム稼働時の移動距離誤差 (上: 加速度 4～12 $[m/s^2]$ 、下: 14～20 $[m/s^2]$)

次に加速度誤差の結果を図 6 に示す。横軸は加速度 $[m/s^2]$ 、縦軸は加速度誤差率 $[\%]$ の絶対値を表し、各加速度におけるストローク 10～80 $[mm]$ の結果を示している。グラフを見ると加速度および移動距離の違いによる変化傾向は見られない。加速度誤差率は最大でも 10 $[\%]$ 以内に入っており、6 軸モーションセンサ自体の計測誤差が 10 $[\%]$ 程度生じることから、妥当な値であると判断した。よって今回製作した外乱刺激呈示システムにおける可動路面は、設定した加速度どおりに稼働させ

ることが可能であることが分かった。

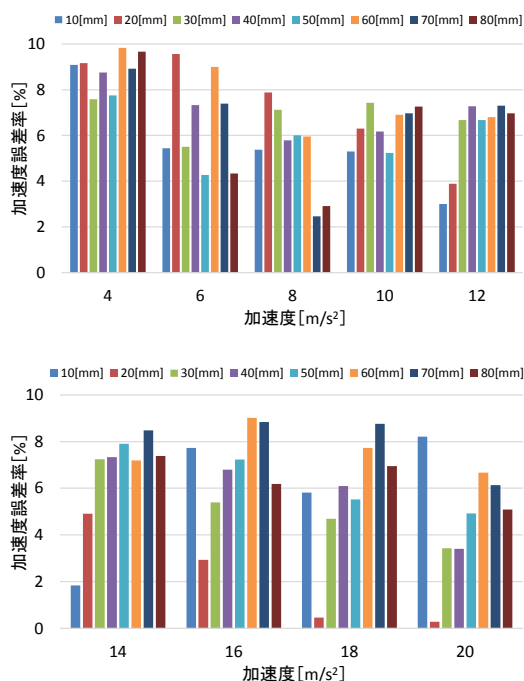


図 6 システム稼働時の加速度誤差率 (上: 加速度 4～12 $[m/s^2]$ 、下: 14～20 $[m/s^2]$)

(2) 次に、ヒトが姿勢を崩すに至る外乱刺激を調べた実験の結果を図 7 に示す。横軸は加速度、縦軸は可動路面の移動距離を表し、被験者が姿勢を崩すに至ると判断した刺激をプロットしている。被験者間でプロットされた領域に違いがあるが、加速度と移動距離がともに大きい領域だけではなく、加速度と移動距離の一方が大きくても姿勢を崩しそうになっていることがわかる。また、被験者 1 と比較して被験者 2 では、姿勢を崩すと判断した領域が狭くなっている。

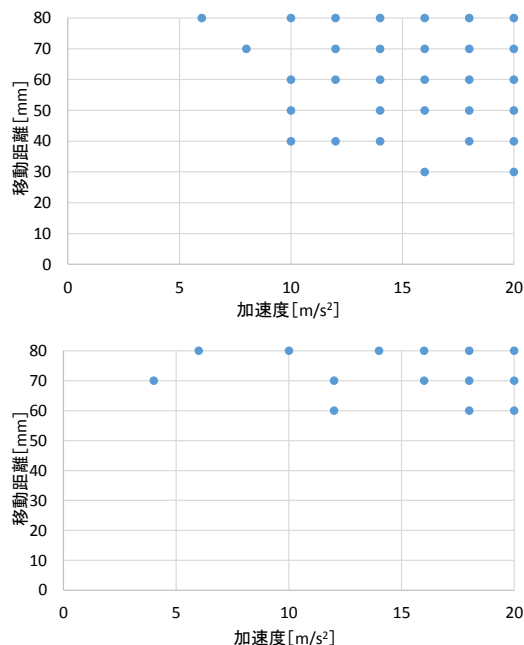


図 7 姿勢を崩すに至る加速度と移動距離 (上: 被験者 1、下: 被験者 2)

そこで、被験者 1 が姿勢を崩すと判断し、被験者 2 が姿勢を崩すと判断しなかった刺激の一例(加速度:14[m/s²]、移動距離:70[mm])に着目し、床反力の時間的変化を比較した(図 8)。横軸は時間[s]、縦軸は床反力の値を被験者の体重で規格化した値[%]である。足部が可動路面に接地し、床反力の値が 0 から増加し始め、一端ピークを迎えた後、減少し始める。これは可動路面が動き出したことにより、可動路面にかけられる荷重が一端減少していると考えられる。その後、体重程度の荷重がかけられ再びピークが発生する。これらの傾向は被験者間で共通である。しかし、各ピークを迎えるまでの時間を比較すると、被験者 1 よりも被験者 2 の方が明らかに短い。これは被験者 2 の方が早く可動路面に体重をかけていることを示している。これにより被験者 1 では、体重をかけるのに時間を要したため、可動路面が動く際、主として右足のみが前方に移動したため、姿勢を崩すと判断したと考えられる。これに対して被験者 2 は、速やかに体重移動を行ったため、身体全体が可動路面とともに前方に移動したため、姿勢を崩すという判断をしなかったと考えられる。このことから歩行速度も姿勢保持に影響があり、条件を揃える上で検討しなければ成らない要素であることがわかった。

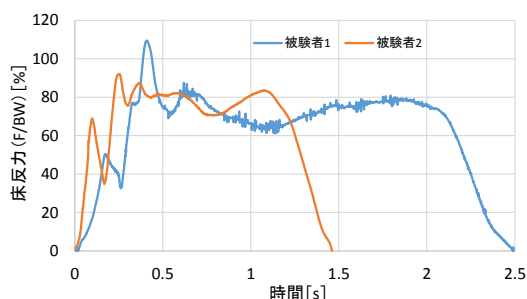


図 8 床反力値の時間的変化

今回の結果から、足部に生じる加速度と移動距離が姿勢保持に与える影響の定量的な傾向が示唆された。今後、さらに条件を絞り込み被験者数を増やすことで、姿勢保持に関わる条件の定量化を図ることが可能であると考えられる。また、歩行速度が遅すぎるよりも、ある程度、歩行速度が速い方が姿勢を崩しにくいということが示唆されたので、このことについても、歩行時の安定性を向上させる要因として、さらに検討を重ねる必要があると考えている。

<参考資料>

- 1) ウインターライフ協議会ホームページ
<http://tsurutsuru.jp/index.html>
- 2) 高頭芳昌、永田久雄、井上之彦、渡辺仁史、加藤正宜、床面の滑り特性の評価のための測定要件 転倒リスクから見た浴室床の滑り評価方法に関する研究(その3)、日本建築学会大会学術講演梗概集、2008、533-534

3) 安川電機、リニアサーボモータ製品マニュアル、4-7

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 0件)

[学会発表] (計 0件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

敦賀 健志 (TSURUGA, Takeshi)

北海道科学大学・保健医療学部・准教授

研究者番号：60337011