

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年4月1日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22760110

研究課題名（和文）すべり転倒メカニズムに基づく高齢者の転倒抑制フットウェアの開発

研究課題名（英文）Development of fall-prevention footwear for elderly people based on mechanism of falling caused by slip

研究代表者

山口 健（YAMAGUCHI TAKESHI）

東北大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：50332515

研究成果の概要（和文）：本研究では、すべり転倒を防止するために支持基底面（BOS: base of support）を側方に拡大したフットウェア（BOS 拡大フットウェア）を開発し、その有効性を歩行実験を通して明らかにした。具体的には、BOS を内側に 10mm 以上、外側に 15mm 以上拡大することで、転倒が生じやすい低摩擦面上での方向転換時の側方へのすべり転倒危険性を 50% 以上低減できることが判った。

研究成果の概要（英文）：In the present study, we designed and manufactured wide base of support (BOS) footwear, in which BOS was widened in the medial and lateral directions, and examined whether the wide BOS footwear can reduce the risk of fall caused by induced slip. It was demonstrated that more than 10 mm and 15 mm extensions of BOS in the medial and lateral directions, respectively, reduced the risk of lateral fall cause by slip during turning on a contaminated floor surface.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011 年度	1,600,000	480,000	2,080,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：設計工学・機械機能要素・トライボロジー

キーワード：すべり，転倒，トライボロジー，支持基底面，バランス，高齢者

## 1. 研究開始当初の背景

近年、転倒事故による死亡者数は年々増加傾向にあり、2010 年には年間約 5000 名となっている。また、転倒事故死亡者の 8 割以上が 65 歳以上の高齢者であり、高齢社会に突入したわが国では、転倒事故防止の対策が急務の課題となっている。

転倒事故の原因として歩行中の靴底と床面間のすべりが大きな割合を占めることが

知られている。すべりは、運動の方向や速度が変化する方向転換などの過渡的な動作を行う際に発生しやすく、また、大腿骨骨折等を引き起こす転倒が生じやすいことが知られている。一方、立位時に姿勢安定を保つためには、身体質量中心（COM: centre-of-mass）が足の外縁で囲まれる支持基底面（BOS: base of support）上に位置していることが必要となる。しかしながら、すべりなどの外乱により、

COM が BOS から外れた場合には、ステップ等を行うことで BOS の位置、大きさを調整し、COM を BOS 上に捕獲することにより、バランスを回復する必要がある。しかしながら、高齢者は複雑な補償ステップをつくことが難しい場合が多い。そこで、BOS を拡大することにより、たとえすべりが生じて、COM を BOS 上に捉えることが容易となり、転倒防止効果が得られると考えられる。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、すべり転倒を防止するために、BOS を拡大したフットウェアを開発し、その有効性を明らかにすること、すべり転倒抑制効果を有する好適な BOS 拡大量を明らかにすること、である。

## 3. 研究の方法

### (1) BOS 拡大フットウェアの開発

図 1 に示すように、オーバーシューズに発泡スチロール製の BOS 拡大部を接着し、その上から靴を取り付け、BOS 拡大量の異なる 2 種類の BOS 拡大フットウェア(図 2)を作製した。BOS の拡大量はそれぞれ側方内側に 10mm, 20mm, 側方外側に 15mm, 30mm である。

### (2) 実験方法

本研究の実験には、19~24 歳の健康若年男性 18 名が参加した。被験者の年齢、身長、体重の平均値(標準偏差)はそれぞれ、21.5(1.9)歳、170.3(5.1)cm、63.4(5.9)kg であった。実験は、(独)国立病院機構西多賀病院内で行われ、その内容は同病院内の倫理委員会ですべて承認を得た。

図 3 に、実験システムの概略図を示す。三次元動作解析装置により、被験者に取り付けられた赤外線反射マーカの各時刻における三次元位置座標を検出した。また、フォースプレートにより、靴底に働く床反力の 3 軸方向の成分及び床反力の作用点である圧力中心点(COP: centre of pressure)を計測した。

被験者には、「直線歩行」、「継足歩行」、閉眼状態で単脚立位姿勢を 30 秒間維持する「単脚立位」(図 3(b))、直線歩行後プラスチックシートで液体洗剤を挟み込んだシート(スリップシート)上での、右足及び左足を軸足とした右側 60° の方向への「方向転換」(図 4(a), (b))の 4 種類の動作を行なうよう指示した。方向転換実験は、安全性を考慮して、被験者にハーネスを装着して行われた。実験は 2 種類の BOS 拡大フットウェア及び通常フットウェアについて行われた。また、各靴のつま先、かかと部に取り付けた赤外線反射マーカの位置から歩隔、すべり距離、すべり速度を計測した。得られたデータの差の検定には、有意水準 5% のもとで繰返しのある一元配置分散分析または  $t$  検定を用いた。

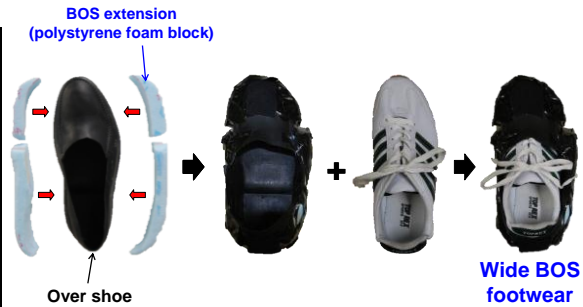


図 1 BOS 拡大フットウェアの製作工程

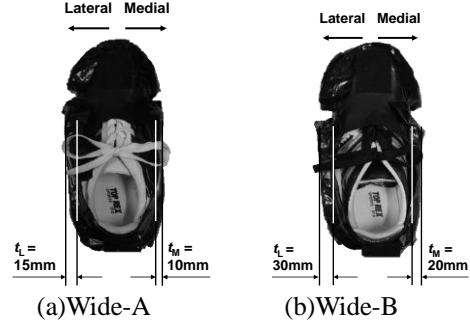
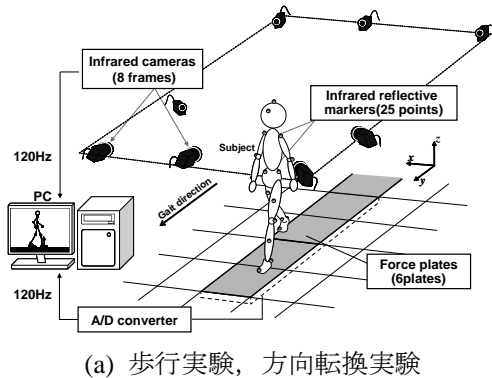
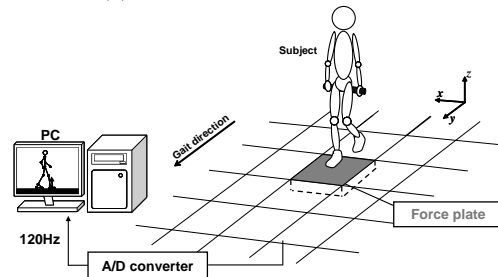


図 2 本研究で作製した BOS 拡大フットウェア

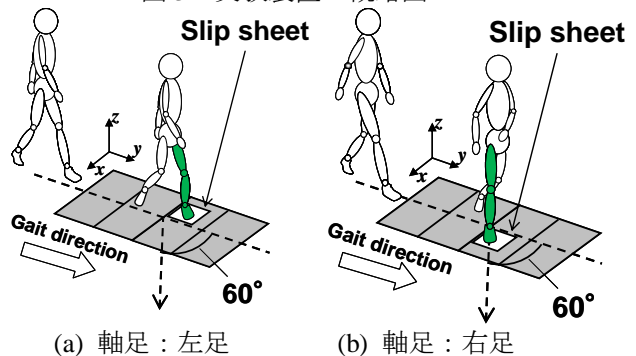


(a) 歩行実験、方向転換実験



(b) 単脚立位実験

図 3 実験装置の概略図



(a) 軸足：左足 (b) 軸足：右足

図 4 方向転換実験の概略図

#### 4. 研究成果

##### (1) BOS 拡大が静止立位バランスに与える影響

図 5 に、閉眼時における単脚立位姿勢保持の成功率の平均値を示す。同図より BOS を側方に拡大することで、成功率が増加することが判る ( $p < 0.05$ )。特に WideB フットウェアの成功率は通常フットウェアと比較して有意に高い成功率を示す ( $p < 0.05$ )。このことから、BOS を側方に拡大することにより、静止立位時の姿勢安定性が向上するといえる。

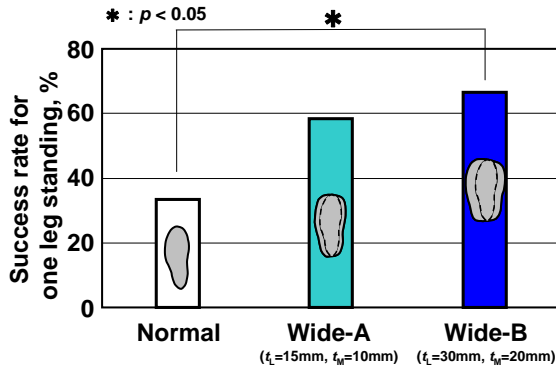


図 5 閉眼単脚立位姿勢保持の成功率

##### (2) BOS 拡大が歩容に与える影響

図 6 に、直線歩行時の歩隔の平均値を示す。WideB フットウェアにおける歩隔は通常フットウェアと比較して大きい値を示す。このことから、内側への過度な BOS 拡大は歩隔の増加につながることを判る。

図 7 に、継足歩行における左右の足の内側の衝突発生割合の平均値を示す。継足歩行では内側に BOS を拡大することで、左右の足の内側の衝突回数が増加することが判る ( $p < 0.05$ )。

以上のことから、内側に BOS を拡大することにより、左右の足の衝突を防ぐために、歩隔が増加すると考えられる。よって、内側への過度な BOS の増加は、歩容に影響を与えるといえる。

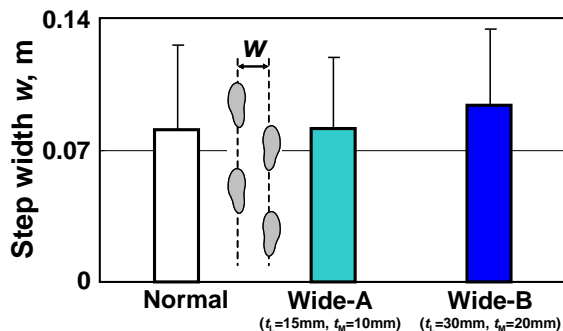


図 6 直線歩行時の歩隔の平均値

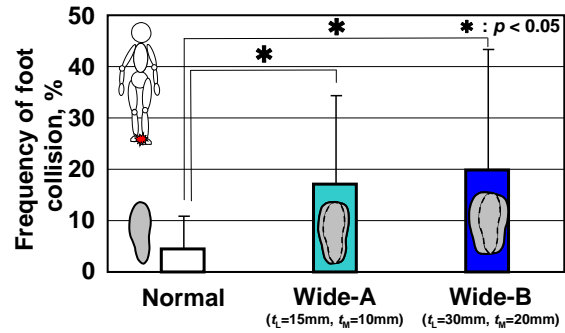


図 7 継足歩行における左右の足の内側の衝突発生割合

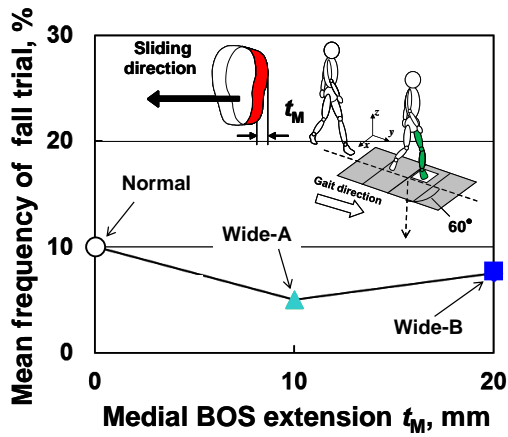
##### (3) BOS の側方拡大によるすべり転倒危険性の低減

本研究で行なった歩行時の右への方向転換動作では、右足を軸足とした場合には側方外側の BOS 拡大部が、左足を軸足とした場合には側方内側の BOS 拡大部が転倒抑制効果を示すと考えられる。左足、右足を軸足とした場合の、右側への  $60^\circ$  方向転換動作時のすべりによる転倒発生率と BOS 拡大量の関係を、それぞれ図 8(a), (b) に示す。図 8(a) より、左足を軸足とした場合の  $60^\circ$  方向転換動作時の転倒発生率には、フットウェア間に統計的に有意な差は見られない ( $p > 0.05$ ) が、Normal フットウェアに比べ、Wide-A フットウェア、Wide-B フットウェアの転倒発生率はそれぞれ 50%、25% 低減できることが明らかとなった。また、左足を軸足とした  $60^\circ$  方向転換動作においては、BOS を内側に 10mm 以上拡大することで、すべり転倒抑制効果が得られるといえる。一方、図 8(b) より、右足を軸足とした場合の  $60^\circ$  方向転換動作時の転倒発生率には、Normal フットウェアと BOS 拡大フットウェア間に統計的に有意な差が見られ ( $p < 0.05$ )、Normal フットウェアと比較して Wide-A フットウェア、Wide-B フットウェアの転倒発生率はそれぞれ 68%、61% 低減できることが明らかとなった。また、Wide-A フットウェアと Wide-B フットウェア間の転倒発生率に統計的に有意な差は見られず、このことから、BOS を外側に 15mm 以上拡大することで、すべり転倒の発生を大幅に低減できるといえる。

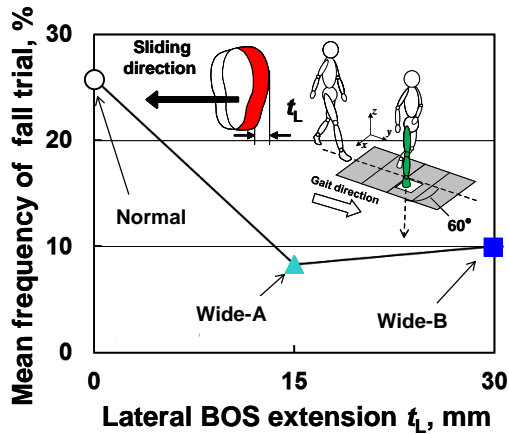
図 9 に、方向転換時の軸足のすべり距離、最大すべり速度の平均値の関係を示す。図 9(a) より、右足を軸足とした場合、BOS を側方へ拡大することにより、すべり距離を低減できることが判る ( $p < 0.05$ )。最大すべり速度については靴間に統計的有意差はみられない ( $p > 0.05$ ) が、BOS を側方に拡大することで最大すべり速度が減少する傾向を示すことが判る。また、図 9(b) より、左足を軸足とした場合は、すべり距離、最大すべり速度には

靴間に統計的有意差がみられない ( $p > 0.05$ ) が, BOS を拡大することで減少する傾向を示すことが判る. これは, BOS を側方に拡大することにより, COP の位置がより COM に近くなることから, 靴の床への作用力の水平方向成分が小さくなるためと考えられる. 以上の結果から, BOS 拡大によるすべり距離, 最大すべり速度の減少が転倒発生率の低減につながったものと考えられる.

表 1 に本研究で得られた BOS 拡大フットウェアの効果をもとめて示す. 表 1 に示されるように, BOS 拡大フットウェアは, 通常フットウェアと比較して, 静止立位バランス, 方向転換時のすべり転倒抑制効果を有している. また, 歩容への影響を考慮すると BOS を内側に 10mm, 外側に 15mm 拡大した Wide-A フットウェアが好適な BOS 拡大フットウェアであるといえる.

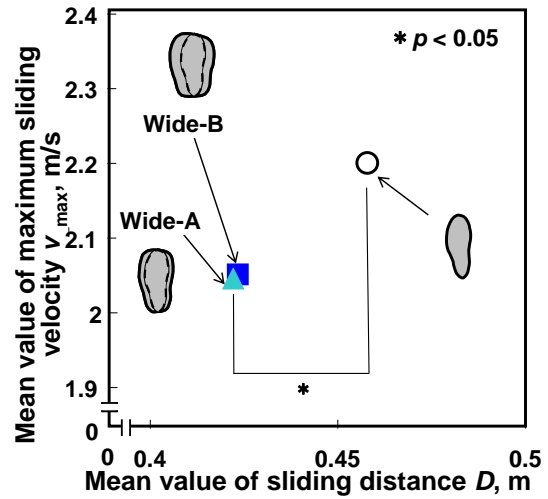


(a) 左足を軸足とした場合

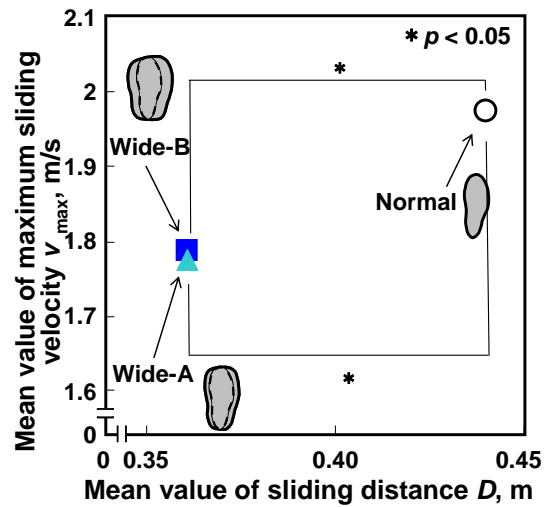


(b) 右足を軸足とした場合

図 8 右側への 60° 方向転換動作時のすべりによる転倒発生率と BOS 拡大量の関係



(a) 左足を軸足とした場合



(b) 右足を軸足とした場合

図 9 方向転換時の軸足のすべり距離, 最大すべり速度の平均値の関係

表 1 BOS 拡大フットウェアの効果のまとめ

		Normal	Wide-A ( $t_L=15\text{mm}$ , $t_M=10\text{mm}$ )	Wide-B ( $t_L=30\text{mm}$ , $t_M=20\text{mm}$ )
立位バランス	単脚立位時の姿勢維持成功率	—	○(75%向上)	◎(100%向上)
	歩き方	歩幅	—	◎
歩行速度		—	◎	◎
歩隔		—	○	△
左右の足の衝突割合		—	△	△
すべり転倒危険性	転倒発生率(軸足:右足)	—	◎(68%低減)	◎(61%低減)
	転倒発生率(軸足:左足)	—	◎(50%低減)	○(25%低減)

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4件)

1. Takeshi Yamaguchi, Masaru Yano, Shinya Fukuzawa, Hiroshi Onodera and Kazuo Hokiirigawa, Preliminary study on wide base-of-support footwear in preventing falls caused by lateral slip during walking, Tribology Online, 査読有, 2012, 掲載決定.
2. Takeshi Yamaguchi, Tomoki Umetsu, Yusuke Ishizuka, Kenichi Kasuga, Takayuki Ito, Satoru Ishizawa and Kazuo Hokiirigawa, Development of new footwear sole surface pattern for prevention of slip-related falls, Safety Science, 査読有, 50, 2012, 986-994.
3. Hiroshi Onodera, Takeshi Yamaguchi, Hiroteru Yamanouchi, Kazumasa Nagamori, Masaru Yano, Yasuhisa Hirata and Kazuo Hokiirigawa, Analysis of the slip-related falls and fall prevention with an intelligent shoe system, Proceedings of the 2010 3rd IEEE RAS & EMBS, 査読有, 2010年, 616-620.
4. Kenta Moriyasu, Tsuyoshi Nishiwaki, Takeshi Yamaguchi and Kazuo Hokiirigawa, New measurement technique of 3 directional ground reaction force distributions, Footwear Science, 査読有, 2, 2010年, 57-64.

[学会発表] (計11件)

1. 矢野将, 山口健, 小野寺宏, 堀切川一男, すべり転倒危険性の低減効果を有する支持基底拡大フットウェアの開発, 日本機械学会東北支部第47期総会・講演会, 2012年3月13日, 仙台
2. Takeshi Yamaguchi, Masaru Yano, Kazumasa Nagamori, Hiroshi Onodera and Kazuo Hokiirigawa, Development of wide base-of-support footwear to prevent falls due to induced slips, International Tribology Conference Hiroshima 2011, 2011年11月3日, 広島
3. Takeshi Yamaguchi, Masaru Yano, Kazumasa Nagamori, Hiroshi Onodera and Kazuo Hokiirigawa, Tribological and kinematic analysis of gait during transient walking, International Tribology Conference Hiroshima 2011, 2011年11月2日, 広島
4. Takeshi Yamaguchi, Masaru Yano, Hiroshi Onodera, and Kazuo Hokiirigawa, Experimental analysis of traction coefficient of shoe/floor contact during walking,

International Conference on BioTribology, 2011年9月21日, London, England

5. Hiroshi Onodera, Takeshi Yamaguchi, Kazumasa Nagamori, Masaru Yano, Shinya Fukuzawa, Yasuhisa Hirata, and Kazuo Hokiirigawa, Fall prevention with a robot shoes system, 第29回日本ロボット学会学術講演会, 2011年9月9日, 東京
6. 山口健, 永盛一優, 矢野将, 福澤伸哉, 小野寺宏, 堀切川一男, すべり転倒抑制のための支持基底面拡大フットウェアの開発, 日本トライボロジー学会トライボロジー会議 2011春 東京, 2011年5月25日, 東京
7. 福澤伸哉, 山口健, 永盛一優, 小野寺宏, 堀切川一男, 靴の支持基底面拡大による着座・起立動作時のすべり転倒抑制効果に関する研究, 東北学生会第41回学生員卒業研究発表講演会, 2011年3月3日, 岩手大学
8. Takeshi Yamaguchi, Balance-enhancing footwear, CIHR Mobility in Aging Team Research Retreat #2, 2010年12月8日, Toronto, Canada
9. Hiroshi Onodera, Takeshi Yamaguchi, Hiroteru Yamanouchi, Kazumasa Nagamori, Masaru Yano, Yasuhisa Hirata and Kazuo Hokiirigawa, Analysis of the slip-related falls and fall prevention with an intelligent shoe system, IEEE BIOROB 2010, 2010年9月29日, Tokyo, Japan
10. 山口健, 矢野将, 永盛一優, 小野寺宏, 堀切川一男, 過渡歩行におけるすべり転倒挙動に関する研究, トライボロジー会議 2010秋 福井, 2010年9月15日, 福井大学 文京キャンパス
11. 山口健, 石塚脩之, 春日憲一, 伊藤貴之, 石沢智, 堀切川一男, すべり転倒防止のための耐滑靴底パターンに関する研究, トライボロジー会議 2010秋 福井, 2010年9月15日, 福井大学 文京キャンパス

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

○取得状況 (計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山口 健 (YAMAGUCHI TAKESHI)  
東北大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号：50332515

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：