

異なる木質床での歩行が生理・心理に及ぼす影響 (第2報)[†] 靴下履きでの歩行時における下肢表面筋電図および足底圧力分布^{*1}

森川 岳^{*2}

Effect of Differences in Wooden Floors on Human Physiology and Psychology during Walking II.[†]

Surface electromyography of the lower limb
and plantar pressure distribution during walking with socks on^{*1}

Takeshi MORIKAWA^{*2}

The purpose of this study was to clarify the effect of differences in wooden floor materials on walking with socks on. We conducted a walking experiment in four different model floors combining two types of floor finishing materials and two types of subflooring materials and a control floor (vinyl floor over the concrete subfloor) using surface electromyography of the lower limb and plantar pressure distribution as physiological indicators. It was found that the surface consolidated Japanese cedar, sugi (*Cryptomeria japonica*) wood finishing, which is uneven and non-slip, has smaller ratio of integrated electromyography (ratio of the integrated surface electromyogram for each model floor to the integrated surface electromyogram for the control) than the ceramic-coated Japanese cypress, hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) wood finishing, which is smooth and slippery, and reduces the burden on the lower limbs during walking. The difference between the finished materials under the low-stiffness joist and 15-mm-thick plywood subflooring condition was smaller than under the high-stiffness 24-mm-thick plywood subflooring condition, indicating that the stiffness of the subflooring material has a secondary effect on the ratio of integrated electromyography. In the plantar pressure distribution, the ratio of entire plantar load to control was significantly higher for the surface consolidated Japanese cedar wood finishing under the joists and 15-mm-thick plywood subflooring condition, indicating that the low rigidity subflooring material makes the uneven surface consolidated Japanese cedar floor finish material more difficult to walk on.

Keywords : electromyogram, walking with socks, floor finishing, subfloor, consolidated surface.

木質床の違いが靴下履きでの歩行に及ぼす影響を明らかにするため、床仕上げ材と床下地材を2種類ずつ組み合わせた4通りのモデル床ならびに対照（コンクリート＋ビニル仕上げ材）の床において下肢表面筋電図と足底圧力分布を指標とした被験者歩行実験を行った。凹凸があり滑りにくいスギ・表面圧密化仕上げ材は平滑で滑りやすいヒノキ・セラミック塗装仕上げ材に比べ歩行時の筋活動量比（モデル床での筋電図積分値を対照との比で表した値）が小さく、下肢の負担を低減することが分かった。低剛性の根太＋15 mm厚合板下地材では高剛性の24 mm厚合板床下地材と比べ仕上げ材間の差が小さいことから、床下地材の剛性が筋活動量比に副次的に影響す

[†] Report I: This journal, 69(1), 1-13 (2023).

^{*1} Received December 23, 2022; accepted April 22, 2023. 本研究の一部は第69回日本木材学会大会（2019年3月、函館）において発表した。

^{*2} 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所 Forestry and Forest Products Research Institute, Tsukuba 305-8687, Japan

Corresponding author: T. Morikawa (tmorik@ffpri.affrc.go.jp)

ることが分かった。足底圧力分布では、根太+15 mm 厚合板下地材条件下のスギ・圧密化仕上げ材で足底全体の荷重比が有意に高く、低剛性の下地材は凹凸のある床仕上げ材を歩行しにくくすることが明らかになった。

1. 緒 言

木の家において靴を脱いで暮らす日本人にとって、木の床の接触感や歩行感は居住性に大きく影響するものといえる。前報¹⁾では木質床の違いが裸足での歩行に与える影響を明らかにすることを目的に、2種類の床下地材ならびに2種類の床仕上げ材を組み合わせた4種類のモデル床での裸足による歩行を行わせ、その時の下肢6カ所における表面筋電図と印象評価の結果を報告した。床下地材の違いは裸足による歩行時の大腿二頭筋において有意に影響しており、床仕上げ材の違いは大腿筋膜張筋以外の5カ所の筋において影響している傾向がみられた。床の剛性が歩行時の安定感に影響を与えることから、剛性の高い24 mm 厚の構造用合板下地材が歩きやすいことと共に、床の凹凸が接触感を通じて立位時におけるバランスの維持に寄与する^{2, 3)}ことから、表面の圧密化加工により年輪の凹凸が強調されたスギの床仕上げ材が歩きやすいことが示された。

居室内における歩行としては、裸足以外にもスリッパをはじめとした室内用の履物を履いた状態での歩行がある。履物を履いての歩行の場合、特に問題になるのが滑りであり、実際これまでの歩行感や安全性に関する研究においては履物を履いた状態での歩行時における滑りに関して多くの報告が行われている。小野ら⁴⁻¹⁵⁾や横山ら^{16, 17)}は履物と床材との間のすべり抵抗係数 Coefficient of Slip Resistance (以下, C.S.R) の測定が可能なすべり試験機を開発し、履物を履いての床歩行時における官能評価との比較を中心として、各種床や階段などの歩行快適性や安全性について明らかにしている。しかし、スリッパやルームシューズなど底が厚い履物を主に対象としたこれらの研究では、歩行感は床と履物のそれぞれの材料間の関係を中心に説明されることが多い。床表面の性状をある程度感じ取れる靴下での歩行に関する研究としては、小野らは前述の研究⁹⁻¹⁴⁾の中で靴下と床材との間のすべり抵抗係数 C.S.R と歩行時の主観評価の関係についても報告しており、佐々木ら¹⁸⁾は靴下での歩行時における主観評価、すべり抵抗係数 C.S.R ならびに一般にモーションキャプチャーと呼ばれている光学系多点位置計測機構により被験者の動きをデジタル化して解析した歩行特性との関係について報告している。しかしながら、

床表面の性状をある程度感じ取れる状況の場合、人は足裏の接触感から得た多くの情報を処理しながら歩行に反映させるため^{2, 3)}、歩行は床材と履物との関係だけでなく人の感覚も大きく影響したものになると考えられる。また、これまでの研究の多くは床仕上げ材の表面性状や床剛性などの単独の要素との関係についての報告であり、表面性状と床剛性の相互影響などについては十分には検討されてこなかった。

これらの背景から、本研究では、前報¹⁾で用いた剛性の異なる2種類の床下地材ならびに表面性状の異なる2種類の床仕上げ材を組み合わせた4種類のモデル床において、靴下履きでの歩行実験を行った。生理指標として、前報¹⁾で用いた下肢表面筋電図を測定するとともに、歩行形態を明らかにする手段として用いられる足底圧力分布の測定を行い、総合的に考察した。

2. 実験方法

2.1 実験の概要

20代の男子大学生17名を対象に2016年の2月から3月の間、実験を行った。このうち11名は前報¹⁾と同じ被験者とし、6名は新たに参加した被験者とした。手順は下肢表面筋電図の測定までは前報¹⁾の裸足による歩行実験に準じた。前室で実験の説明を行った上で同意書を得た後、被験者の下肢に表面筋電図用電極を貼り付け、温度23℃、相対湿度50% RHの実験室に移動し歩行実験を行った。4種類の床モデル(下地2種類×仕上げ2種類)および対照である実験室のコンクリート+ビニール床仕上げ材の床において靴下履きでの歩行を行わせた。被験者に歩行方法の説明をして練習を行わせた後、各モデル床での歩行を行わせ、この時の下肢表面筋電図を測定した。さらに、各床モデルでの歩行スタート地点から歩行停止地点までの距離を測定して歩行距離を得た。4種類の床モデルの歩行順はほぼ同確率になるよう出来るだけ偏りなく被験者毎に順番を変え、最後は全被験者とも対照のコンクリート+ビニール床仕上げ材とした。下肢筋電図ならびに歩行距離の測定のための歩行を行わせた後、靴下の上から足底面に足底圧力分布測定用の圧力測定シートを装着し、さらにその上から別の靴下をカバーとして被せた状態で、下肢筋電図の測定時と同じ順番で各モデル床

での歩行を行わせ足底圧力分布の測定を行った。なお、本実験の実施に際しては、国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所における倫理審査委員会の承認を受けた。

2.2 試料

歩行時に用いた靴下は、被験者に直接履かせたものならびに足底圧力分布測定時において感圧シートの上からカバーとして用いたもののいずれも、くるぶし丈でポリエステル75%、綿25%、足底部の厚さ0.60 mmである市販品とした。

モデル床は前報¹⁾と同じものを用いた。仕上げ材は、表面圧密加工され年輪の凹凸が強調された無塗装のスギ単層フローリング材（以下、スギ・圧密仕上げ材）、ならびに表面を液体ガラス塗料（tatara撥水セラミックマルチ、tatara hanbai 合同会社）で仕上げた平滑なヒノキ単層フローリング材（以下、ヒノキ・セラミック仕上げ材）の2種類である。前報¹⁾で報告したように、JIS B 0601：2013¹⁹⁾に基づき表面粗さ計（サーフコーダ3500、(株)小坂研究所）で測定した中心線平均粗さ R_a の平均値は、スギ・圧密仕上げ材において繊維と水平方向に1.33 μm 、垂直方向に3.87 μm 、ヒノキ・セラミック仕上げ材において水平方向に0.65 μm 、垂直方向に0.70 μm であり、スギ・圧密仕上げ材の方がヒノキ・セラミック仕上げ材よりも粗い。同様に、前報¹⁾において JIS Z 2101：2009²⁰⁾ に基づき測定したその他の物性値については、ブリネル硬さ（(株)前川試験機製作所）がスギ・圧密仕上げ材で11.2 N/mm²、ヒノキ・セラミック仕上げ材で11.3 N/mm²、密度がスギ・圧密仕上げ材で510 kg/m³、ヒノキ・セラミック仕上げ材で529 kg/m³ であり、いずれも差が無い。これらの値が示すように、両仕上げ材は表面性状において粗さのみが大きく異なるよう設定した

ものである。仕上げ材の表面仕上げ条件ならびに仕上げ材と靴下との間で測定した静摩擦係数（ポータブル摩擦計 TYPE：94i-II、新東科学（株））を Table 1 に示す。

下地材は、910 mm×1820 mm×24 mm の針葉樹構造用合板（以下、厚物合板下地材）ならびに幅方向に455 mm 間隔で50 mm 角の根太を設置した上に910 mm×1820 mm×15 mm の針葉樹構造用合板を張ったもの（以下、根太+合板下地材）で、いずれも下地材の長さ方向に対して垂直に910 mm 間隔で並べた105 mm×105 mm×910 mm の正角材の上に釘で固定した。

2 種類の下地材をそれぞれ4体ずつ長さ方向に繋げ長さ7280 mm のものを作成し、その上から各下地材に2種類の仕上げ材をフローリング用両面テープと小釘で張ることで4種類のモデル床とした。前報¹⁾で示したように、JAS 1073²¹⁾ に規定されている方法を応用して各モデル床の5カ所において100 mm×140 mm の木片の上にそれぞれ15 kg と35 kg の重量をかけた時の差から求めたたわみ量は、厚物合板下地材にスギ・圧密仕上げ材を張ったもので0.65 mm、ヒノキ・セラミック仕上げ材を張ったもので0.61 mm、根太+合板下地材にスギ・圧密仕上げ材を張ったもので1.07 mm、ヒノキ・セラミック仕上げ材を張ったもので1.07 mm であり、下地材間で差があるものの、仕上げ材間では差が無い。また、土井ら²²⁾の方法に準じてソフトボール（日本ソフトボール協会公認1号球、140 g）を100 cm の高さからたわみ量測定と同じ位置に落として反発した高さ（cm）の平方根は、厚物合板下地材にスギ・圧密仕上げ材を張ったもので5.87、ヒノキ・セラミック仕上げ材を張ったもので5.88、根太+合板下地材にスギ・圧密仕上げ材を張ったもので4.65、ヒノキ・セ

Table 1. Surface finish conditions of floor finishing materials and coefficients of static friction between floor finishing specimens and sock fabrics.

Specimens	Surface finish conditions	Coefficient of static friction between floor finishing specimens and sock fabrics	
		Parallel to grain	Perpendicular to grain
Surface consolidated Japanese cedar	Consolidated by hot press at 200 ° C and 4.0 MPa.	0.347	0.411
Ceramic-coated Japanese cypress	Three coats of 100 mL of liquid glass paint per m ² were applied and finished with #800 sandpaper.	0.317	0.318

Note: The static coefficients of friction were measured between each specimen and the same fabric as the socks used in the walking experiment.

ラミック仕上げ材を張ったもので4.63であり、たわみ量と同様に下地材間で差があるものの、仕上げ材間では差が無い。これらの値が示すように、両下地材は剛性が異なるように設定したものであり、たわみ量が小さく反発高さの平方根が大きい厚物合板下地材が根太+合板下地材よりも高剛性である。なお、対照として用いたコンクリート+ビニール床仕上げ材では、たわみ量は測定できなかったものの反発高さの平方根が6.29であり、いずれのモデル床よりも高剛性である。

2.3 生理測定

2.3.1 下肢表面筋電図

下肢表面筋電図は、前報¹⁾に準じ、右下肢における腓腹筋、前脛骨筋、大腿二頭筋、大腿直筋、大脛筋、大腿筋膜張筋の6か所で測定した。各筋の表面に電極を貼り、遠隔測定型の表面筋電計(MWATCH-101, (株)和田製作所)にケーブルで繋いだ後、陸上競技用スパッツを履かせてケーブルが揺れないよう固定し、双極導出法により測定した。測定時における増幅率は10000倍、サンプリングレートは1000 Hz、フィルタは商用電源ノイズフィルタ(50 Hz)とした。

歩行の方法も前報¹⁾と同様に、モデル床の端に立ち、右足から被験者のペースで10歩歩かせ両足をそろえて止まらせる形で実施した。右足における2, 3, 4回目の計3回分の着地している間(立脚相)におけるデータについて時間窓長100 msで自乗平均平方根に変換して100 ms毎の積分値を計算し、3回の立脚相の値を全て足し合わせて総和を求めた。さらに、各床モデル歩行時の総和を対照であるコンクリート+ビニール床の総和で割った値(筋活動量比)を計算し、下肢表面筋電図の代表値とした。筋活動量比が小さいことは歩行時に筋力を必要としないことであるため、歩きやすかったことを示すものと解釈とした。

2.3.2 歩行距離

歩行距離の測定は、前報¹⁾の裸足での歩行実験と同じく下肢表面筋電図測定時に行った歩行時の1回のみとした。測定した距離は、開始地点でのかかとの位置から歩行終了時のかかとの位置までとした。

2.3.3 足底圧力分布

足底圧力分布の測定には一般に圧力プレートや足底に着けるタイプの測定圧用センサーシートが用いられてきた²³⁻²⁶⁾。しかし、圧力プレートを用了場合、硬い装置に固定されるため、床のたわみや剛性の影響を見ることができない。また、センサーシートが厚いと床の接触感が感じられなくなる。このた

め、簡易測定方ではあるが、本研究では若林ら²⁷⁾が立位時のバランスに関する研究で使用し報告してきた使い捨てタイプの圧力測定フィルム(プレスケール LLLW PS, 富士フィルム(株))を用いた。圧力測定フィルムは二層式で、圧力が掛かると発色剤フィルム内のマイクロカプセルが壊れて内部の発色剤が顕色剤フィルム側に着くことで赤く発色する仕組みとなっており、圧力が高いほど発色が強くなる²⁸⁾。厚さは発色剤フィルムと顕色剤フィルムのいずれも0.1 mm程度である。圧力測定フィルムを装着する様子をFig. 1に示す。足型に作った専用台の上に靴下を切り開いて作ったカバーを内側が上を向くようにセットし、1) この上に長さ270 mm, 幅110 mmの足裏型に切り出した圧力測定フィルムをスプレーのりで固定し、圧力測定フィルムの上面にさらにスプレーのりを吹きかけ、2) 靴下を履いた被験者の右足を体重が掛からないように軽く乗せさせ、3) カバーで包み込み、4) テープで留めた。これにより、圧力測定フィルムは被験者が直接履いている靴下とその上から同じ靴下で作ったカバーとの間に固定されていることになる。被験者は2枚の靴下と1つの圧力測定フィルムを挟んで床表面を感知することになるが、予備実験において筆者らが実際に装着して確かめた感覚では、靴下1枚のときよりもやや弱いものの床仕上げ材の表面の違いは感じられた。歩行はモデル床の端に右足が着かないよう立たせた状態から右足を踏み出す形で開始とし、10歩ほど歩いたら反転させ、さらに10歩歩いたら再び反転させ、もう10歩歩いたところで停止するものとした。これにより被験者はモデル床を1往復半する間に30歩歩くことになるが、右足は15回着地するため圧力測定フィルムには15回分の着地による累積の圧



Fig. 1. Attachment of pressure measurement film and foot cover.

力が反映される。足底圧力分布は、圧力を受けて変色した圧力測定フィルムを専用スキャナ (FPD-9210, 富士フィルム (株)) で取り込み、専用の圧力画像解析ソフト (FPD-9210S, 富士フィルム (株)) を用いて色の濃淡から圧力分布を割り出すことで解析を行った。Fig. 2 に示すように圧力分布の画像においては、靴下の着圧により床からの圧力を受けていない部分も変色していたため、4.0 MPa 以下の部分を削除して解析画像とした。得られた解析画像から、前後ならびに内外 (被験者から見た左右) の荷重バランスを見るために圧力が掛かった範囲の中心点から前側部分ならびに内側 (被験者から見た左側) 部分の荷重割合をそれぞれ求めた。さらに、被験者毎に足底全体の荷重を各モデル床で求め、対照であるコンクリート+ビニール床との比を算出した。なお、圧力測定フィルムは靴下に十分固定したが、ズレが生じるなどの使えないものが7人分出たため、10人分の被験者の結果を解析の対象とした。

2.4 統計解析

下肢表面筋電図データ、歩行距離データならびに足底圧力分布のデータの解析には、統計解析ソフト (IBM SPSS Statistics Version 25) を用いた。下肢表面筋電図、歩行距離ならびに足底圧力分布のデータについては、Kolmogorov-Smirnov 検定を行った結果、いずれも正規性が認められた。このため、仕上げ材と下地材の2要因における対応のある二元配置分散分析を行い、交互作用が認められた場合は単純主効果の検定を行った。検定結果はいずれも $p < 0.05$ で有意としたが、 $p < 0.10$ の場合においても有

意傾向があるものとして考察した。

3. 結 果

3.1 歩行距離

Fig. 3 に各床モデルでの歩行距離の平均値を示す。厚物合板下地材の条件下では、スギ・圧密仕上げ材で6190 mm、ヒノキ・セラミック仕上げ材で6140 mm、根太+合板下地材の条件下では、スギ・圧密仕上げ材で6200 mm、ヒノキ・セラミック仕上げ材で6220 mm であった。2要因における対応のある二元配置分散分析の結果、下地材ならびに仕上げ材のいずれの要因においても主効果ならびに交互作用は認められず、いずれのモデル床での靴下履きによる歩行においても歩行距離に差が無いことが示された。靴下履きでの歩行では歩行距離がいずれのモデル床においても6200 mm 前後であり、6人の被験者は異なるものの前報¹⁾の6400 mm 前後であった裸足での歩行と比べると200 mm ほど短い値であった。

3.2 下肢表面筋電図

Fig. 4 に4種類のモデル床における靴下履きでの歩行時における下肢6か所の筋活動量比の平均値、Table 2 に床下地材と床仕上げ材の2要因における対応のある二元配置分散分析の結果を示す。腓腹筋 (a: Gastrocnemius muscle) だけはデータの範囲が大きいので、縦軸を他の筋より広いスケールで示している。

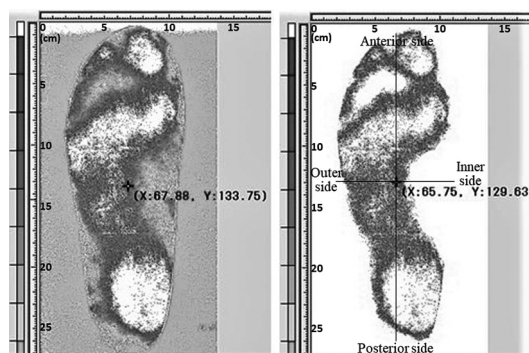


Fig. 2. Plantar pressure images.

Notes: The image on the left shows a pressure measurement film scanned and shaded by pressure using analysis software. The image on the right shows the left image with the area below 4.0 MPa removed. The "+" mark indicates the center point of the loaded area in each image.

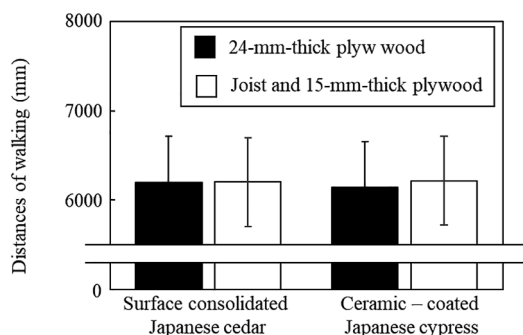


Fig. 3. Distances of walking on the model floors with socks on.

Note: $n = 17$. Error bars show standard deviations. Two-way repeated measures analysis of variance was conducted on two factors, subflooring materials and floor finishing materials. The main effects of both factors were not significant. The interaction effect was not significant. These show that there is no significant difference in walking distance between any of the model floors.

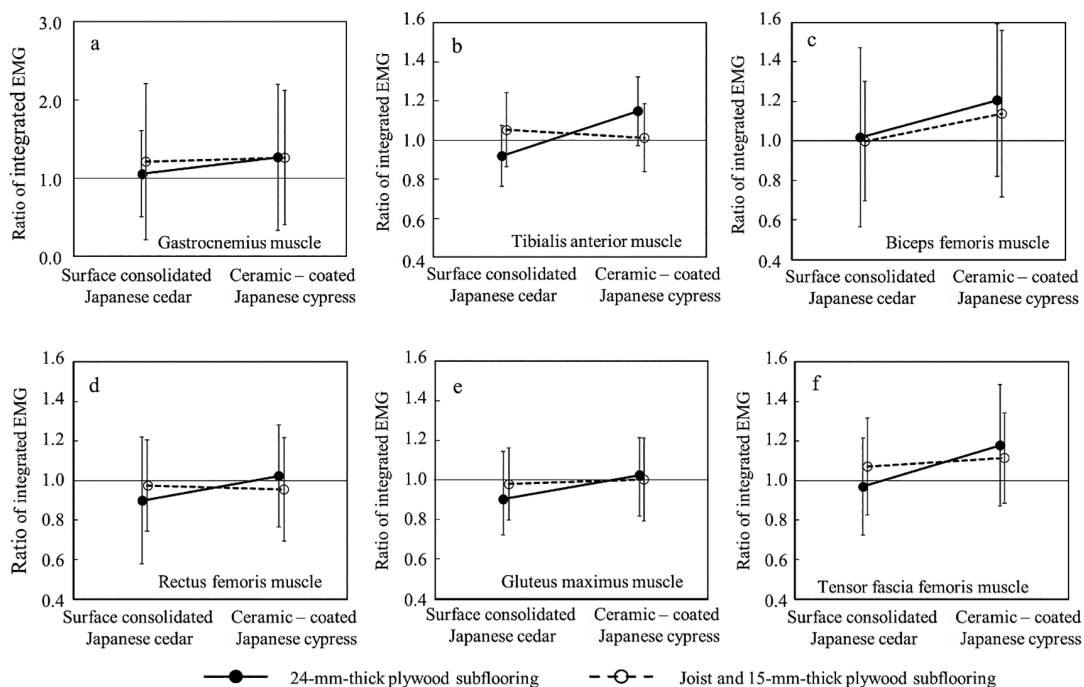


Fig. 4. Surface electromyography at the six positions of the lower limbs during walking with socks on.
 Notes: Plots and error bars show means and standard deviations for seventeen subjects. The vertical axis represents the ratio of the integrated surface electromyogram for each model floor to the integrated surface electromyogram for the vinyl floor over the concrete subfloor as a control. Only the graph for the gastrocnemius muscle had too large values, so the vertical axis was scaled differently from the other muscles.

Table 2. Results of two-way repeated measures analysis of variance in subflooring wood and finishing wood for surface electromyography measured in the walking experiment with socks on.

Electrode attachment position	Factor	<i>F</i> value	<i>P</i> value	Effect size
Gastrocnemius muscle	Subflooring	0.85	0.369	0.231
	Finishing	11.64	0.004**	0.853
	Subflooring × Finishing	1.07	0.317	0.258
Tibialis anterior muscle	Subflooring	0.08	0.788	0.069
	Finishing	8.74	0.009**	0.739
	Subflooring × Finishing	34.90	0.000**	1.477
Biceps femoris muscle	Subflooring	0.69	0.418	0.208
	Finishing	23.43	0.000**	1.210
	Subflooring × Finishing	0.13	0.721	0.091
Rectus femoris muscle	Subflooring	0.00	0.986	0.005
	Finishing	3.04	0.101	0.436
	Subflooring × Finishing	4.03	0.062 †	0.502
Gluteus maximus muscle	Subflooring	4.06	0.061 †	0.504
	Finishing	6.84	0.019*	0.654
	Subflooring × Finishing	3.80	0.069 †	0.488
Tensor fascia femoris muscle	Subflooring	0.13	0.726	0.089
	Finishing	9.89	0.006**	0.786
	Subflooring × Finishing	2.74	0.117	0.414

Note: $n = 17$, **: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$, †: $p < 0.10$.

腓腹筋の筋活動量比は、厚物合板下地材においてスギ・圧密仕上げ材で1.06、ヒノキ・セラミック仕上げ材で1.27、根太+合板下地材においては、スギ・圧密仕上げ材で1.19、ヒノキ・セラミック仕上げ材で1.24を示し、いずれもヒノキ・セラミック仕上げ材の方が高い値であった。2要因における対応のある二元配置分散分析の結果では、下地材の要因において主効果は認められず、仕上げ材の要因においては1%水準で主効果が認められた。下地材要因と仕上げ材要因との交互作用は認められなかった。

前脛骨筋 (b: Tibialis anterior muscle) においては、厚物合板下地材ではヒノキ・セラミック仕上げ材の方が高い筋活動量比の値を示した一方、根太+合板下地材においては、スギ・圧密仕上げ材の筋活動量比が高い値を示し、グラフが交差する形となった。2要因における対応のある二元配置分散分析の結果では、仕上げ材の要因において有意な値を示したが、2つの要因間で交互作用が1%水準で認められたため、単純主効果の検定を行った。Table 3に示すように、スギ・圧密仕上げ材の条件下においては、2つの下地材の間に1%水準で有意差が認められ、根太+合板下地材が厚物合板下地材よりも高かった。また、ヒノキ・セラミック仕上げ材の条件下においては1%水準で有意差が認められ、厚物合板

下地材が根太+合板下地材よりも有意に高かった。厚物合板下地材の条件下においては1%水準で有意差が認められ、ヒノキ・セラミック仕上げ材がスギ・圧密仕上げ材よりも有意に高かった。根太+合板下地材の条件下においては、有意差は認められなかった。

大腿二頭筋 (c: Biceps femoris muscle) においては、厚物合板下地材、根太+合板下地材のいずれにおいても、スギ・圧密仕上げ材の方が低い筋活動量比を示した。2要因における対応のある二元配置分散分析の結果では、仕上げ材の要因において1%水準で主効果が認められた。交互作用は認められなかった。

大腿直筋 (d: Rectus femoris muscle) においては、厚物合板下地材ではヒノキ・セラミック仕上げ材の方が高い筋活動量比の値を示した一方、根太+合板下地材においては、スギ・圧密仕上げ材の筋活動量比が高い値を示し、前脛骨筋と同様にグラフが交差する形となった。2要因における対応のある二元配置分散分析においては、下地材ならびに仕上げ材のいずれの要因においても主効果は認められなかったが、両要因間において10%水準で交互作用の有意傾向がみられた。単純主効果の検定を行った結果、Table 4に示すように厚物合板下地材の条件下にお

Table 3. Results of simple main effect test at tibialis anterior muscle.

Factor	F value	P value	Effect size
Subflooring at Surface consolidated Japanese cedar	12.05	0.003**	0.868
Subflooring at Ceramic-coated Japanese cypress	12.83	0.002**	0.900
Finishing at 24-mm-thick plywood	44.44	0.000**	0.670
Finishing at Joist and 15-mm-thick plywood	0.88	0.361	0.235

Note: $n = 17$, **: $p < 0.01$.

Table 4. Results of simple main effect test at rectus femoris muscle.

Factor	F value	P value	Effect size
Subflooring at Surface consolidated Japanese cedar	1.82	0.197	0.337
Subflooring at Ceramic-coated Japanese cypress	1.65	0.217	0.322
Finishing at 24-mm-thick plywood	7.41	0.015*	0.681
Finishing at Joist and 15-mm-thick plywood	0.18	0.677	0.106

Note: $n = 17$, *: $p < 0.05$.

いて5%水準で有意差が認められ、ヒノキ・セラミック仕上げ材がスギ・圧密仕上げ材よりも高かった。

大臀筋 (e, Gluteus maximus muscle) においては、厚物合板下地材、根太+合板下地材のいずれにおいてもヒノキ・セラミック仕上げ材がスギ・圧密仕上げ材よりも高い値を示したが、厚物合板下地材においてヒノキ・セラミック仕上げ材がスギ・圧密仕上げ材よりも高かったためグラフが交差する形となった。2要因における対応のある二元配置分散分析の結果、仕上げ材の要因において1%水準で有意差が認められるとともに、下地材の要因において10%水準で有意傾向が見られ、交互作用においても10%水準で有意傾向が認められた。単純主効果について検定を行った結果、Table 5 に示すようにスギ・圧密仕上げ材の条件下においては1%水準で有意差が認められ、根太+合板下地材が厚物合板下地材よりも高かった。また、大腿直筋と同様に厚物合板下地材の条件下において5%水準で有意差が認められ、ヒノキ・セラミック仕上げ材がスギ・圧密仕上げ材よりも高かった。

大腿筋膜張筋 (f, Tensor fascia femoris muscle) においては、グラフが交差する形になったものの厚物合板下地材、根太+合板下地材のいずれにおいてもヒノキ・セラミック仕上げ材がスギ・圧密仕上げ材よりも高い値を示し、仕上げ材の要因において1%水準で主効果が認められた。交互作用は認められなかった。

3.3 足底圧力分布

Table 6 に各モデル床歩行時における足底の前側ならびに内側における荷重割合を示す。前側の荷重割合はいずれのモデル床においても56%前後で、内側の荷重割合も同様にいずれにおいても51%前後であり、2要因における対応のある二元配置分散分析において床仕上げ材および床下地材の要因における主効果ならびに両要因の交互作用は認められなかった。Fig. 5 に各モデル床歩行時の足底全体における荷重の対照との比（以下、足底全体の荷重比）を示す。厚物合板下地材条件下では、スギ・圧密仕上げ材は1.01、ヒノキ・セラミック仕上げ材は1.00であった。根太+合板下地材条件下では、スギ・圧密仕

Table 5. Results of simple main effect test at gluteus maximus muscle.

Factor	F value	P value	Effect size
Subflooring at Surface consolidated Japanese cedar	9.23	0.008**	0.759
Subflooring at Ceramic-coated Japanese cypress	0.48	0.499	0.173
Finishing at 24-mm-thick plywood	7.68	0.014*	0.693
Finishing at Joist and 15-mm-thick plywood	0.58	0.457	0.191

Note: $n=17$, **: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$.

Table 6. Rate of load on the anterior side and left side of the plantar measured in the walking experiment with socks on.

Subfloor	Floor finishing material	Rate of load on the anterior side (%)	Rate of load on the inner side (%)
24-mm-thick plywood subflooring	Surface consolidated Japanese cedar	55.9	51.1
	Ceramic-coated Japanese cypress	56.0	51.1
Joist and 15-mm -thick plywood subflooring	Surface consolidated Japanese cedar	56.0	50.9
	Ceramic-coated Japanese cypress	56.1	51.1

Note: $n=10$. Two-way repeated measures analysis of variance was conducted on two factors, subflooring materials and floor finishing materials. The main effects of both factors were not significant. The interaction effect was not significant.

上げ材は1.04、ヒノキ・セラミック仕上げ材は1.00であった。2要因における対応のある二元配置分散分析を行ったところ、Table 7に示すように1%水

準で交互作用が認められた。このため単純主効果検定を行った結果、Table 8に示すように根太+合板下地材条件下において5%水準で有意差が認められ、スギ・圧密仕上げ材がヒノキ・セラミック仕上げ材よりも高かった。

4. 考 察

4.1 歩行距離と下肢表面筋電図の関係

2要因における対応のある二元配置分散分析の結果において、主効果ならびに交互作用ともなかったことから、いずれのモデル床においても歩行距離に差が無いことが示された。前報¹⁾でも触れたように、下肢表面筋電図の結果については歩行距離との関係から考察しなければならないが、靴下履きによる歩行においても裸足での歩行時と同様にモデル床間において歩行距離に有意差が認められなかったことから、本報告においても下肢表面筋電図の結果は直接の比較が可能となった。一方で、6人の被験者が前報¹⁾での実験と異なるものの、裸足での歩行と比べ、靴下履きではいずれのモデル床においても歩行距離は短くなった。前報¹⁾で報告したモデル床の静摩擦係数は、湿った人の皮膚を想定して用いた濡れた羊革との間で、スギ・圧密仕上げ材の繊維に対し平行方向で0.695、垂直方向で0.639、ヒノキ・セラミック仕上げ材の繊維平行方向で0.848、垂直方向にお

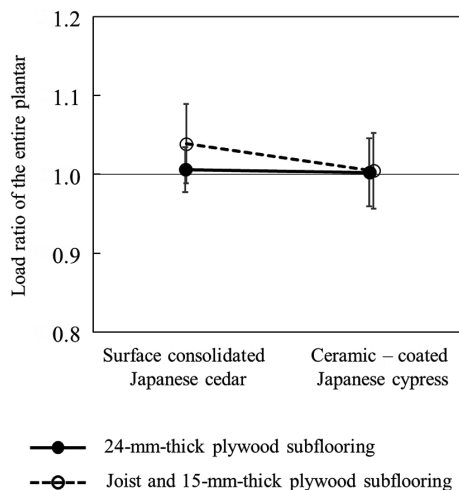


Fig. 5. Load ratio of the entire plantar at each model floor measured by pressure measurement film during walking with socks on.

Notes: Plots and error bars show means and standard deviations for ten subjects. The vertical axis represents the ratio of load at each model floor to the load at the vinyl floor over the concrete subfloor as a control.

Table 7. Results of two-way repeated measures analysis of variance in subflooring materials and finishing materials for load ratio of the entire plantar measured in the walking experiment with socks on.

Factor	F value	P value	Effect size
Subflooring	0.768	0.404	0.077
Finishing	2.973	0.112	0.247
Subflooring × Finishing	17.72	0.002*	0.662

Note: $n = 10$, *: $p < 0.05$.

Table 8. Results of simple main effect test for the load ratio of the entire plantar.

Factor	F value	P value	Effect size
Subflooring at Surface consolidated Japanese cedar	2.40	0.154	0.516
Subflooring at Ceramic-coated Japanese cypress	0.01	0.933	0.025
Finishing at 24-mm-thick plywood	0.09	0.768	0.098
Finishing at Joist and 15-mm-thick plywood	9.31	0.014*	1.017

Note: $n = 10$, *: $p < 0.05$.

いて0.852であったのに対し、靴下との間では、Table 1に示すようにスギ・圧密仕上げ材の繊維平行方向で0.347、垂直方向で0.411、ヒノキ・セラミック仕上げ材の繊維平行方向で0.317、繊維垂直方向において0.318であり、いずれも靴下との間の値が大幅に小さくなっていることから、本実験での歩行条件が滑りやすく歩行距離が大幅に短くなったことに影響したものといえる。

4.2 床仕上げ材の下肢表面筋電図への影響

Table 2に示すように、2要因における対応のある二元配置分散分析の結果、6か所の筋のうち5カ所において仕上げ材の要因で筋活動量比に有意差が認められた。そのうち、腓腹筋、大腿二頭筋、大腿筋膜張筋においては交互作用が認められず、仕上げ材の要因で主効果が認められた。また、1%水準で交互作用が認められた前脛骨筋ならびに10%水準で交互作用の有意傾向がみられた大腿直筋、大殿筋では、単純主効果の検定において厚物合板下地材の条件下でスギ・圧密仕上げ材とヒノキ・セラミック仕上げ材との間に有意差が認められた。以上の仕上げ材要因における主効果ならびに厚物合板下地材の条件下での単純主効果のいずれにおいても、スギ・圧密仕上げ材がヒノキ・セラミック仕上げ材よりも低い値を示している。これらの結果から、靴下履きでの歩行においては、スギ・圧密仕上げ材がヒノキ・セラミック仕上げ材よりも総じて歩きやすかったものといえる。この結果に影響を及ぼした因子については、滑りやすさが挙げられる。前述したように、滑りやすさが大きく異なる前報¹⁾の裸足での歩行時と本報の靴下での歩行時とでは、歩行距離に差があったが、本報内でのモデル床間の歩行距離に差は認められなかった。滑りやすい床、すなわち不安定な状況下での歩行時においては、歩行者は足を出すことに慎重になるため歩幅が小さくなるとともに、慎重に床に足を置こうと余計な力が入るため下肢における筋の活動量が高くなる^{16, 29)}。前報¹⁾での裸足での歩行を想定した濡れた羊革との静摩擦係数と本報の靴下での歩行を想定した靴下生地との静摩擦係数の差は、最大でヒノキ・セラミック仕上げ材の繊維垂直方向で0.534、最小でもスギ・圧密仕上げ材の繊維垂直方向で0.228であった。一方で、本実験において靴下での歩行時を想定した静摩擦係数では、スギ・圧密仕上げ材とヒノキ・セラミック仕上げ材との間で繊維平行方向に0.030、繊維垂直方向に0.093ほどの差である。本実験内での仕上げ材間の静摩擦係数の差は、前報¹⁾の裸足と本報の靴下との差ほど大きくなく、また滑りやすい条件下同士の比較とな

ったため歩行距離には反映されなかったが、わずかな滑りやすさの違いが下肢表面筋電図の結果に表れたと考えられる。仕上げ材間の比較で見ると、前報¹⁾においては、スギ・圧密仕上げ材とヒノキ・セラミック仕上げ材のいずれも印象評価において“安定している”と評価されており、静摩擦係数に差はあるものの滑りやすさの違いとして認識されなかったため、仕上げ材の滑りやすさの違いよりも凹凸の有無の方が歩行時のバランスに影響している可能性が示されたが、本実験では靴下を履くことにより静摩擦係数が大きく低下し滑りやすくなったことで、静摩擦係数の差の方が下肢表面筋電図に影響を及ぼしたものと思われる。

4.3 床下地材の下肢表面筋電図への影響

Table 2に示した下肢表面筋電図における2要因における対応のある二元配置分散分析の結果では、大殿筋においてのみ床下地材の要因で有意傾向がみられたが、同時に交互作用も有意傾向がみられ、床下地材の要因での主効果はいずれの筋においても靴下での歩行時では認められなかった。一方、交互作用が認められた筋や交互作用の有意傾向がみられた筋における単純主効果検定では、Table 3に示した前脛骨筋においてスギ・圧密仕上げ材条件下ならびにヒノキ・セラミック仕上げ材条件下のいずれも床下地材間に1%水準で有意差が認められ、Table 5に示した大殿筋においてスギ・圧密仕上げ材条件下で床下地材間に1%水準で有意差が認められた。前脛骨筋でいずれの床仕上げ材条件下においても有意差があったにもかかわらず床下地材の要因で主効果が認められなかったのは、Fig. 4bで示されるように、スギ・圧密仕上げ材条件下においては根太+合板下地材が有意に高く、ヒノキ・セラミック仕上げ材条件下では厚物合板下地材が有意に高くなってグラフが交差したためであり、両仕上げ材の関係に対して下地材条件が何らかの影響を与えたことが推察される。また、交互作用の有意傾向がみられたFig. 4dに示した大腿直筋においては、Table 4に示したように単純主効果は認められなかったものの根太+合板下地材においてスギ・圧密仕上げ材がヒノキ・セラミック仕上げ材よりも高い値を示した。Fig. 4に示したように、厚物合板下地材条件下における筋活動量比はいずれの筋においても強く右肩上がりの傾向で、ヒノキ・セラミック仕上げ材がスギ・圧密仕上げ材よりも高い値を示したのに対し、根太+合板下地材条件下においては傾斜が緩く、特に前脛骨筋ならびに大腿直筋では、前述の通りスギ・圧密仕上げ材がヒノキ・セラミック仕上げ材よりも高い値

となるという逆の傾向を示した。この結果は、床仕上げ材が靴下履きでの歩行時の下肢表面筋電図に中心的な影響を及ぼしたのに対し床下地材は副次的に影響を及ぼしたことを示すものと考えられる。

4.4 床仕上げ材ならびに床下地材の足底圧力分布への影響

歩行時における足底圧力分布の研究は、身体疾患の患者^{23, 24)}や高齢者²⁸⁾を対象としたものが多いが、いずれもバランスを取りにくい状況が荷重割合の内外差ならびに前後差を大きくすることが報告されている。これらの報告から、圧力測定シートを装着した状態での歩行により床の違いによる歩行バランスの変化を測定できることが期待されたが、本実験においては、前後、内外とも荷重割合に差が認められなかった。本実験では、圧力測定シートを装着した状態での歩行により15回接地しており、その蓄積が足底圧力分布として反映したものであるため、有意差が認められた場合は歩行バランスが変化して荷重の偏りに影響したと言えるが、有意差が認められなかった本研究の結果からは歩行バランスの変化の有無は特定できなかった。

歩行時における足底全体の荷重についての詳細な報告はないものの、立位時について行われた研究では、目を閉じている時の足底全体の荷重が目を開いている時とくらべて2倍前後大きくなることが報告されており^{26, 29)}、その原因として目を閉じることで重心揺動が大きくなるために何度も足底の各部位が圧力測定シートに強く押し付けられているためと考察されている。根太+合板下地材条件下のスギ・圧密仕上げ材で足底全体の荷重比が大きかったことは、不安定で歩きにくく何度も押し付けがあった、もしくは強く力が掛かった可能性を示す。一方で、歩行に慎重になることで立脚相の時間が長くなることが報告されている¹⁶⁾ように、本研究でも立脚相の時間も増えて圧力測定シートに与えられた足底全体の荷重比が大きくなったことも考えられる。本研究の足底圧力分布測定は時間分解能がないため詳細な要因の特定まではできないが、いずれにしても、根太+合板下地材条件下ではスギ・圧密仕上げ材がヒノキ・セラミック仕上げ材よりも高かったという結果は、スギ・圧密仕上げ材の方が歩きにくいと感じられていたことを反映している。

4.5 総合考察

モデル床による下肢表面筋電図への影響については、剛性の高い厚物合板床下地材の条件下では全ての筋でスギ・圧密仕上げ材が低くなっており、静摩擦係数、すなわち滑りやすさがそのまま影響したの

に対し、剛性の低い根太+合板床下地材条件下では下肢2カ所の筋で滑りやすいヒノキ・セラミック仕上げ材の方が低くなるなど曖昧になった。この原因については、床仕上げ材毎に床下地材間の比較を行っていくことで検証する。

ヒノキ・セラミック仕上げ材条件下において2つの下地材を比較すると、腓腹筋を除く5つの筋において根太+合板下地材の方で筋活動量比が低い。反対に、スギ・圧密仕上げ材条件下においては大腿二頭筋を除く5つの筋において厚物合板下地材の方で筋活動量比が低い。前者のヒノキ・セラミック仕上げ材については、床のたわみの影響が考えられる。剛性の高い厚物合板下地材においては歩行時における床のたわみがほとんど無いため、凹凸の無いヒノキ・セラミック仕上げ材では足を後ろに蹴り出す時の取っ掛けが無く、前へ進むまでの推進力は摩擦抵抗に依存する。一方で、剛性の低い根太+合板下地材では歩行時に床のたわみが生じ、わずかながらに足が接地している床面とその他の床面に高低差が出来て足を後ろに蹴り出す時に取っ掛けとなり力が伝わりやすくなっているものと思われる。後者のスギ・圧密仕上げ材においては、凹凸があることで足底が床面の状況を察知しやすいことが影響したと考えられる。スギ・圧密仕上げ材では、元々ある凹凸が取っ掛けとなるため、低剛性な根太+合板下地材で生じるたわみの推進力への影響は少ないと考えられる一方で、歩行による振動が凹凸を通じて足底に伝わりやすいため、低剛性な根太+合板下地材の不安定さがより感知されやすく歩きにくさに影響したと思われる。

足底圧力分布測定の結果については、被験者数は少なかったものの下肢表面筋電図の結果との対応が見られた。根太+合板下地材条件下においては、スギ・圧密仕上げ材がヒノキ・セラミック仕上げ材より足底全体の荷重比が有意に高かった一方で、有意差が認められなかったものの前脛骨筋と大腿直筋の2カ所でスギ・圧密仕上げ材がヒノキ・セラミック仕上げ材より高い筋活動量比の値を示している。また、その他4カ所の筋においても、根太+合板下地材条件下では仕上げ材間の差が厚物合板下地材条件下よりも小さくなっている。高剛性の厚物合板下地材条件下で歩きやすかったスギ・圧密仕上げ材が、低剛性の根太+合板下地材条件下により歩きにくくなった結果が足底全体の荷重比に反映されたものと考えられる。足底全体の荷重比は厚物合板下地材条件下におけるスギ・圧密仕上げ材において1.04であり、ヒノキ・セラミック仕上げ材は1.00でその差0.04

と非常に小さいものであったが、10人の被験者の内9人でスギ・圧密仕上げ材が高かったことで有意差が認められた結果であり、顕著な差であるといえる。ただし、スギ・圧密仕上げ材は根太+合板下地材条件下において歩きにくかったという歩行快適性の面で良くない結果となったものの、静摩擦係数はヒノキ・セラミック仕上げ材よりも高く滑りにくい仕上げ材であり、また年輪の凹凸により下地材の不安定さを感知しやすいという点では、転倒防止という歩行安全性の面からすると必ずしも悪くないといえる。

5. 結 論

剛性の異なる2種類の床下地材と、表面性状の異なる2種類の床仕上げ材を組み合わせで作られた4種類のモデル床において靴下履きでの歩行時における下肢表面筋電図ならびに足底圧力分布の測定を行った結果、以下のことが明らかになった。

1. 下肢表面筋電図について2要因における対応のある二元配置分散分析を行った結果、床仕上げ材の要因で腓腹筋、大腿二頭筋ならびに大腿筋膜張筋において主効果が認められたことから、静摩擦係数が大きいスギ・表面圧密化床仕上げ材は静摩擦係数が小さいヒノキ・セラミック塗装床仕上げ材に比べて有意に靴下履きでの歩行時における下肢の負担を低減することが明らかになった。
2. 床下地材の要因ではいずれの筋においても下肢表面筋電図に主効果は認められなかったものの、床仕上げ材と床下地材の要因間における交互作用が認められた。根太+15 mm厚合板床下地材は、高剛性の24 mm厚合板床下地材で高かったヒノキ・セラミック塗装床仕上げ材での筋活動量比を低下させ、低かったスギ・表面圧密化仕上げ材での筋活動量比を上昇させていることから、床下地材は下肢に対して副次的に影響していることが明らかになった。
3. 足底圧力分布においては、低剛性の根太+合板下地材条件下におけるスギ・表面圧密化仕上げ材ではヒノキ・セラミック塗装床仕上げ材よりも足底全体の荷重比の値が有意に高く、歩行時に長時間接地していた、もしくは接地面に強く圧力を掛けていたことが示された。足底全体の荷重比の結果は筋活動量比の結果とよく対応しており、靴下履きの場合、低剛性の床下地材条件は凹凸のあるスギ・表面圧密化床仕上げ材を歩行しにくくする事が明らかになった。

文 献

- 1) 森川 岳, 松村順司: 異なる木質床での歩行が生理・心理に及ぼす影響 (第1報) 裸足での歩行時における下肢表面筋電図および印象評価. 木材学会誌 69(1), 1-13 (2023).
- 2) 大久保 仁, 渡辺 勲, Baron, J.B.: 足趾圧受容器が重心動揺に及ぼす影響について. 耳鼻臨床 72(11), 1553-1562 (1979).
- 3) 齋藤誠二, 正木良典, 村上智大: 足底への刺激と立位安定性の関連. 人間工学 53(Supplement 1), 138-139 (2017).
- 4) 小野英哲, 宮木宗和, 河田秋澄, 吉岡 丹: 床のすべりおよびその評価方法に関する研究 その1 研究方法およびすべり感覚の尺度化. 日本建築学会論文報告集 321, 1-8 (1982).
- 5) 小野英哲: 床のすべりおよびその評価方法に関する研究 その2 すべり試験機設計・試作のための基礎的資料の集積およびすべり試験機の基本構想. 日本建築学会論文報告集 333, 1-7 (1983).
- 6) 小野英哲, 橋田 浩, 横山 裕: スポーツサーフェイスのすべりの評価方法に関する研究. 日本建築学会構造系論文報告集 359, 1-9 (1986).
- 7) 小野英哲, 三上貴正, 岩崎淑子, 横山 裕: エアロビクダンスフロアのかたさ, すべりの評価方法に関する研究. 日本建築学会構造系論文報告集 385, 1-7 (1988).
- 8) 小野英哲, 三上貴正, 高木 直, 横山 裕, 北山大, 高橋宏樹: 床のすべりの評価における床表面介在物の標準化に関する研究. 日本建築学会構造系論文報告集 450, 7-14 (1993).
- 9) 小野英哲, 高橋宏樹, 泉 譲太, 高橋成明: 高齢者の安全性からみた床および斜路のすべりの評価方法. 日本建築学会構造系論文集 484, 21-29 (1996).
- 10) 小野英哲, 須藤 拓, 三上貴正: 安全性からみた階段のすべりの評価方法に関する基礎的考察 安全性からみた階段のすべりの評価方法に関する研究 (その1). 日本建築学会構造系論文報告集 362, 1-10 (1986).
- 11) 小野英哲, 武田 清, 永田久雄: 階段各部分のすべり抵抗の測定方法 安全性からみた階段のすべりの評価方法に関する研究 (その2). 日本建築学会構造系論文報告集 373, 19-26 (1987).
- 12) 小野英哲, 武田 清, 三上貴正, 大野隆造: 安

- 全性からみた階段のすべりの評価方法の提示
安全性からみた階段のすべりの評価方法に関する研究 (その3). 日本建築学会構造系論文報告集 383, 1-7 (1988).
- 13) 小野英哲, 泉 譲太, 高橋宏樹, 磯田信賢, 井戸川純子, 植田 博: 高齢者の安全性からみた階段のすべりの相対的評価方法 安全性からみた階段のすべりの評価方法に関する研究 (その4). 日本建築学会構造系論文集 490, 27-33 (1996).
- 14) 小野英哲, 須藤 拓, 武田 清: 床のすべりの評価指標および評価方法の提示 床のすべりおよびその評価方法に関する研究 (その4). 日本建築学会構造系論文報告集 356, 1-8 (1985).
- 15) 小野英哲, 井戸川純子, 吉田佳代: 安全性からみた床と敷物のすべりの評価方法に関する研究. 日本建築学会構造系論文集 503, 29-35 (1998).
- 16) 横山 裕, 小野英哲, 稲垣太郎, 高橋宏樹: 高齢化にともなう歩行メカニズムの変化からみたすべりの評価の相対的変化の推定 高齢者の安全性からみた床のすべりの評価に関する基礎的研究 その1. 日本建築学会構造系論文集 478, 35-44 (1995).
- 17) 横山 裕, 伊藤仁洋, 高橋宏樹, 小野英哲: 着地すべり試験機の開発およびC.S.Rの下限値の提示 すべりの変化を認知していない場合を対象とした床のすべりの評価に関する研究 その2. 日本建築学会構造系論文集 528, 39-46 (2000).
- 18) 佐々木直人, 有川 智, 三橋博三, 野村希晶, 小野英哲, 三上貴正: 床仕上材料のすべりやすさと歩行特性の関係に関する基礎的研究. 日本建築学会構造系論文集 501, 19-24 (1997).
- 19) JIS B 0601: 製品の幾何特性仕様 (GPS) - 表面性状. 日本規格協会 (2013).
- 20) JIS Z 2101: 木材の試験方法. 日本規格協会 (2009).
- 21) JAS 1073-2019: フローリング. 農林水産省 (2019).
- 22) 土井 正, 宮野道雄, 綿貫茂喜, 中根芳一: 木質系床材の性能評価法に関する研究第1報 身体各部位の加速度に基づく検討. Ann. Physiol. Anthropol. 12(1), 11-16 (1993).
- 23) Lee, J. H., Fell, D. W., Kim, K.: Plantar pressure distribution during walking: comparison of subjects with and without chronic low back pain. J. Phys. Ther. Sci. 23(6), 923-926 (2011).
- 24) 谷内幸喜, 河崎由美子, 木原幸太: 脳卒中片麻痺者における歩行パラメータと歩行立脚期足底圧との関係. 理学療法科学 36(6), 813-818 (2021).
- 25) 富田隆太, 井上勝夫, 川又周太: 高齢者及び成人の歩行特性と歩行感からみた床仕上げ構造に関する検討. 日本建築学会環境系論文集 569, 7-14 (2003).
- 26) 井上裕美子, 大須賀美恵子, 橋本 渉, 中泉文孝: 足底圧プレートをを用いた高齢者のバランス機能と歩行の特徴の抽出. 生体医工学 46(1), 109-116 (2008).
- 27) 若林克彦, 村山 仁, 森嶋宏和, 児玉知明, 本田康裕: 直立時における人間の足底面内の荷重分担特性に関する研究 - 健常者とスポーツ選手の比較 -. 福祉工学シンポジウム講演論文集 2006, 134-137 (2006).
- 28) 辻内伸好, 伊藤彰人: 特集③: 人間工学のための計測手法 第1部: 動作計測 (3) - 力覚センサによる動作計測 -. 人間工学 50(5), 243-255 (2014).
- 29) 臼田 滋, 山端るり子, 遠藤文雄: 地域在住女性高齢者のバランス能力と下肢筋力, 歩行能力との関連性. 理学療法科学 14(1), 33-36 (1999).