

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*1

森川 岳*2,3, 松村順司*3

Effect of Differences in Wooden Floors on Human Physiology and Psychology during Walking I.

Surface electromyography of the lower limb during barefoot walking and impression evaluation*1

Takeshi MORIKAWA*2,3 and Junji MATSUMURA*3

This study aimed to clarify the effects of differences in the wood subflooring and finishing on the physiology and psychology of walking barefoot. We measured surface electromyography (EMG) at six lower limb locations during walking on four different model floors, combining two types of flooring base materials with different stiffness and two types of floor finishes with different surface properties. We then conducted a psychological evaluation of the walking feelings. The 24-mm thick high-stiffness plywood subflooring had a significantly lower integrated EMG for the biceps femoris muscle while walking than the low-stiffness joist and 15-mm thick plywood subflooring, indicating less stress on the feet. Surface consolidated Japanese cedar, sugi (*Cryptomeria japonica*) wood finishing with the rough surface tended to have a lower surface integrated EMG during walking than ceramic-coated Japanese cypress, hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) wood finishing with a smooth surface. Smooth finishing materials were rated as easier to walk on in the impression evaluation, which was contrasted with the surface EMG results. EMG is considered to be better suited for predicting the accumulation of fatigue due to prolonged walking, which is difficult to recognize after a short period of walking.

Keywords : electromyogram, barefoot walking, floor finishing, subfloor, consolidated surface.

本研究では、木質系床材の下地材ならびに仕上げ材の違いが裸足での歩行時の生理・心理に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。剛性の異なる2種類の床下地材と表面性状が異なる2種類の仕上げ材を組み合わせた4通りのモデル床での歩行時において、下肢6か所の表面筋電図を測定するとともに、歩行感に関する心理評価を行った。高剛性な24 mm厚合板の下地材は低剛性な根太と15 mm合板の下地材と比べて歩行時の大腿二頭筋の筋電図積分値が低く足への負担が少ないことが示された。表面の凹凸が大きい表面圧密化スギ仕上げ材は平滑なセラミック塗装のヒノキ仕上げ材と比べて表面筋電図積分値が低い傾向にあった。印象評価においては平滑な仕上げ材の方が歩きやすいと評価されたが、これは表面筋電図の結果と反対であった。筋電図は短時間の歩行では認知されにくい長時間の歩行による疲労の蓄積の予測に有用であると考えられた。

*1 Received August 8, 2022; accepted October 24, 2022. 本研究の一部は第68回日本木材学会大会（2018年3月、京都）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

*3 九州大学大学院生物資源環境科学府 Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Sciences, Kyushu University, Fukuoka 810-0395, Japan

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

1. 緒 言

住宅内で靴を脱いで生活する日本においては、床は最も直接触れられることが多い内装であるといえる。日本において木材を張った床が使われたのは、弥生時代に作られた高床式倉庫からと考えられている¹⁾。その後、高床式倉庫と同様の木材張りの高床構造は神社建築に使われ、次第に貴族の住居に広がり、平安時代には都に住む庶民の住居にも用いられ始めた。江戸中期には庶民の居室に畳が普及して日本の居室における床材の中心となったものの、近年では畳やじゅうたんて繁殖したダニによるアレルギーの問題²⁻⁴⁾や、日本人の洋室嗜好の広がりなどから、フローリングを中心とした木質系床材が普及し、木の床が再び日本人の居室に定着している。木の床は長く日本人の生活に根付いており、日本の住宅の居住性に関わってきた。

木の床が人に及ぼす影響については、接触感ならびに歩行感について生理・心理の面から多く研究されてきた。接触感については、小野ら⁵⁾はフローリングや畳、カーペットなど24種類の材料を対象に足で触った時の温冷感、凹凸感ならびに硬軟感についての心理評価を実施し、対応する物理量との関係を明らかにすることで建築物床の足触りの評価法を提示した。Ikeiら⁶⁾は浮造り加工のスギ板、サンディングしたスギ板ならびに大理石について足裏で接触した時の生理と心理の反応について報告している。伊藤ら⁷⁾はスギの浮造りの床板やビニール床タイル、カーペットなど6種類の床材について足裏での接触感の心理的評価を行っている。

木の床の歩行感については、床の剛性に由来するかたさ感やたわみ、さらには床表面の性状に由来するすべり感に関連して多く報告されてきた。小野、横山、福田ら⁸⁻¹⁴⁾は、木材を含めた様々な床の歩行時において、たわみからすべり、振動感覚に至るまで物理量と歩行感の両面から総合的に検証し関係を明らかにしている。井上ら¹⁵⁾、富田ら¹⁶⁾は、床構造と床仕上げ構造の変化がかたさやたわみ、好ましさなどの歩行感覚に及ぼす影響について報告している。歩行が生体におよぼす影響に着目した研究に関しては、土井ら¹⁷⁾は歩行時における身体各部位の加速度を測定し、心理評価ならびに床材の反発係数との関係について報告している。小野ら¹⁸⁾は履物を装着した状態での歩行時における前脛骨筋ならびに腓腹筋の筋放電量ならびに重心揺動とすべりの関係について報告している。富田ら¹⁹⁻²¹⁾は、足底圧力分布から被験者の歩行タイプを分類し衝撃力特性

とかたさ感やたわみ感、好ましさとの関係を明らかにしている。一方、木の床への接触を伴う、すなわち、裸足での歩行時の生理・心理についてはこれまで調べられてこなかった。その理由としては、居住性の分野においてはすべりやすい床の危険性や硬すぎる、柔らかすぎる床の腰や膝への影響など、安全面や健康面から見た研究が優先されてきたことが挙げられる。裸足での室内歩行は、靴下やスリッパなどを履いた場合と比べてすべりにくいため、床の違いによる差が検出されない可能性が高く、研究の対象としにくかったものと思われる。しかし、足裏からの触覚入力が入力時の姿勢維持に影響することが報告されているように^{22, 23)}、裸足での歩行は履物を履いた状態とは異なる形で床の表面性状の影響を受ける可能性がある。また、日本の住環境では依然として裸足で歩くことが多いことから、日本人の日常生活を反映した足裏接触を伴う歩行の研究を行うことが、木材利用を快適な居住環境にむすびつけていく上で重要である。

以上の背景から、本研究では、異なる木質床での歩行が生理面や心理面に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。筆者らは裸足で歩行することへの影響が考えられる床仕上げ材のみならず、床下地材との相互の影響も併せた検討が必要と考え、全体的な傾向を調べることで床下地材を2種類、床仕上げ材を2種類に絞り、それぞれを組み合わせた4通りのモデル床を試験体として作成した。生理指標としては、歩行時や立位作業時における床のかたさや滑り、凹凸の影響に関する研究^{10, 18, 24, 25)}で使われてきた下肢の表面筋電図を用いた。心理指標としては、同様に既往の歩行感の研究⁵⁾や接触感の研究^{6, 26)}で用いられてきたSemantic Differential法(以下、SD法)を用いた。上記のモデル床での裸足による歩行時において、表面筋電位を下肢6か所において測定するとともに、SD法による歩行感の印象評価を実施し、木質床の違いが人に及ぼす影響について考察した。

2. 実験方法

2.1 実験の手順

実験は、2016年1月から2月の間、20代の男子大学生17名を被験者として実施した。実験の実施場所は、温度23℃、相対湿度50% RHに制御された実験室とした。実験に先立ち、実験室と同じ温湿度に制御された前室において実験の内容を説明し、同意書を得た。その後、表面筋電図測定用のセンサーを被験者の右下肢6か所に装着して実験室に移動し

た。測定前に歩行の仕方の説明を行って2, 3回練習させた後、2種類の床仕上げ材と2種類の床下地材の組み合わせによる4種類のモデル床ならびに対照としてコンクリート下地にビニール床仕上げ材を張った実験室の床（以下、コンクリート+ビニール床）の上を裸足で歩かせたときの下肢における筋電図を測定した。各床の歩行後には、SD法による印象評価を実施した。歩行の順番はデータに影響しないよう各床モデルで1~4回目に行われる確率がほぼ同じになるよう被験者ごとに変え、最後の5回目の歩行はコンクリート+ビニール床とした。なお、本実験は国立研究開発法人森林研究・整備機構森林

総合研究所の倫理審査委員会の承認のもとに行われた。

2.2 モデル床

モデル床の仕上げ材は2種類のものを用いた (Fig.1)。1つは、ホットプレスにより200℃、4.0MPaで圧密加工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）とした。もう1つの仕上げ材はヒノキ単層フローリング材とし、平滑さを出すために、液体ガラス塗料（tatara 撥水セラミックマルチ, tatara hanbai 合同会社）を1m²あたり100mLほど3回塗布で施し、#800のサンドペーパーで仕上げたものとした（以下、ヒノキ・セラミック仕上げ材）。スギ・圧密仕上げ材は、高温高压で処理されることにより、表面全体の密度が高まって硬度が上がるとともに、低密度の早材部が凹んで高密度の晩材部が突き出た凹凸のはっきりした粗い表面を持つ。一方、ヒノキ・セラミック仕上げ材は、ガラス塗料が表面に浸透することにより、硬い陶器と柔らかい木材の風合いを合わせたような平滑な表面を持つ。

2種類の下地材では、いずれにおいても梁を想定し910mm間隔で並べた105mm×105mm×910mmの正角材が基材として用いられた (Fig.2)。下地材の一つは、基材に直交して455mm間隔で50mm角

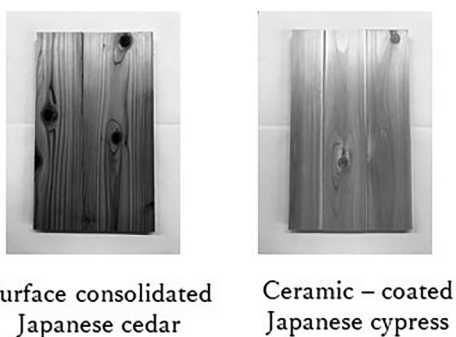


Fig. 1. Floor finishing materials.

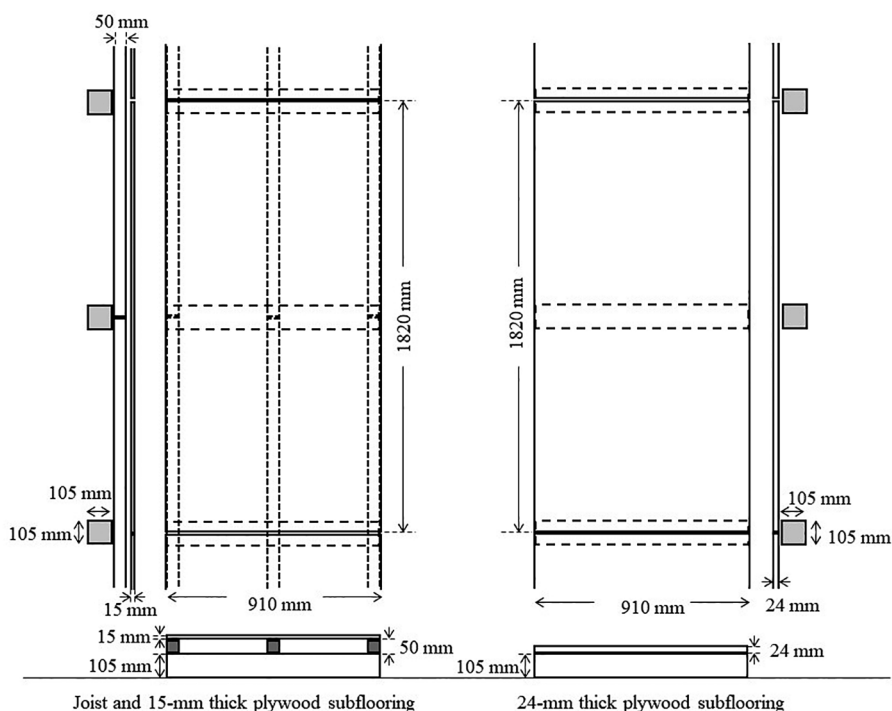


Fig. 2 Subfloor structures in model floors for walking experiment.

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）とした。もう一つは、基材の上に910 mm×1820 mm×24 mmの針葉樹構造用合板を直接張ったもの（以下、厚物合板下地材）とした。厚物合板下地材は根太+合板下地材よりも剛性の高い床であることを想定して作成された。4種類のモデル床は、2種類の下地材をそれぞれ長さ方向に4体ずつ繋げ長さ方向に7280 mmとした上に、2種類ずつ仕上げ材をフローリング用両面テープと小釘で固定することで得た（Fig. 3）。

Table 1に各床仕上げ材試料の物性値として、歩行感との関連がある表面粗さ、ブリネル硬さ、密度、たわみ量を示す。表面粗さは粗滑感や乾湿感との関係が知られている²⁷⁾。ブリネル硬さならびに密度は硬軟感との関連が考えられる。たわみ量に関しては床の硬軟感や安定感に影響する^{8, 12, 21)}ことが報告されている。

表面粗さは、JIS B 0601 : 2013²⁸⁾に基づき、表面粗さ計（サーフコーダ3500, (株)小坂研究所）を用いて繊維と並行方向ならびに直角方向に各10回測定

された中心線平均粗さ Ra の平均値とした。

ブリネル硬さは、JIS Z 2101 : 2009²⁹⁾の21「表面硬さ（ブリネル硬さ）の測定」の項目に基づき木材硬さ試験機（(株)前川試験機製作所）を用いて測定した。

密度の測定はJIS Z 2101 : 2009²⁹⁾の5「密度の測定」の項目に準じて行ったが、厚さに制限があるため、縦30 mm, 横30 mm, 厚さ12 mmの大きさに切り出した試料を用いた。

床仕上げ材のたわみ量は、JAS 1073³⁰⁾におけるフローリングの曲げ試験に基づいて測定した。700 mmのスパンとなるよう設けた支点の上に長さ1000 mmの床仕上げ材試験片を設置し、その中央に底面50 mm×70 mmの木片を置いた上から3 kgの重量をかけた時と7 kgの重量をかけた時のたわみ量の差から求めた。

Table 2に仕上げ材の静摩擦係数の値を示す。静摩擦係数はそのまま滑りにくさを示す数値である。床の滑りやすさは歩行時の安定感にも関連する^{11, 18, 25)}。測定には、携帯型の摩擦計（ポータブル摩擦計TYPE : 94i-II, 新東科学(株)）を用いた。当機器では、試験片に触れる部分である接触子部分に通常は紙や布などを張って測定するが、本実験では人の皮膚を想定して0.3 mm厚の乾いた羊皮（含水率0%）ならびに湿らせた羊皮（含水率120%）を張った状態での測定を行った。

Table 3に各モデル床の剛性に関連した物性値を示す。モデル床の場合、たわみ量は前述のJAS 1073³⁰⁾の方法そのままでは小さすぎるため、底面のサイズが縦横とも2倍の大きさである100 mm×140 mmの木片の上に5倍の重量である15 kgの重量をかけた時と35 kgの重量をかけた時のたわみ量の差から求めた。測定位置は、下地材1体分（910 mm×1820 mm）の長さ方向に1/8, 2/8, 3/8, 5/8, 6/8, 7/8（それぞれ、端から227.5 mm, 455 mm, 682.5 mm, 1137.5 mm, 1365 mm, 1592.5 mm）の位

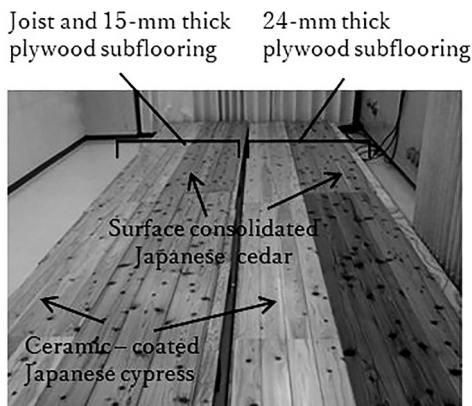


Fig. 3. Model floors for walking experiment.

Table 1. Material properties of floor finish specimens.

Specimens	Roughness (μm)		Brinell hardness (N/mm^2)	Density (kg/m^3)	Deflection amount (mm)
	Parallel to grain	Perpendicular to grain			
Surface consolidated Japanese cedar	1.33	3.87	11.2	510	1.38
Ceramic-coated Japanese cypress	0.65	0.70	11.3	529	0.80

Notes: Japanese cedar: *Cryptomeria japonica*, Japanese cypress: *Chamaecyparis obtusa*. Deflection amount indicates the difference in deflection when a 3 kg weight and a 7 kg weight are placed.

Table 2. Coefficients of static friction of floor finishing specimens.

Specimens	Coefficient of static friction			
	Dry		Wet	
	Parallel to grain	Perpendicular to grain	Parallel to grain	Perpendicular to grain
Surface consolidated Japanese cedar	0.593	0.598	0.695	0.639
Ceramic - coated Japanese cypress	0.592	0.597	0.848	0.852

Notes: The static coefficients of friction were measured between each material and the sheepskin, assuming human skin. Dry and wet indicate the condition of the sheepskin.

Table 3. Physical properties of model floors.

Subfloor	Floor finishing material	Deflection amount (mm)	Coefficient of restitution
Joist and 15-mm thick plywood subflooring	Surface consolidated Japanese cedar	1.07	4.65
	Ceramic - coated Japanese cypress	1.07	4.63
24-mm thick plywood subflooring	Surface consolidated Japanese cedar	0.65	5.87
	Ceramic - coated Japanese cypress	0.61	5.88
Concrete subfloor	Vinyl finishing	-	6.29

Notes: Deflection amount indicates the difference in deflection when a 15 kg weight and a 35 kg weight are placed. The coefficient of repulsion indicates the square root of the height at which a softball was dropped from a height of 1 m and bounced back.

置、幅方向に中央(端から227.5 mm)の6か所とし、平均値を求めた。反発係数は、各種フローリングでの歩行時のかたさ感との関係を報告している土井ら¹⁷⁾の方法に準じて、たわみ量の測定位置と同じ位置にソフトボール(日本ソフトボール協会公認1号、140 g)を1 mの高さから自由落下させ、反発した高さの平方根の平均値とした。また、対照の床においても、歩行実験に用いた場所から6か所選定して同様に測定した。

2.3 生理指標

2.3.1 歩行時の下肢筋電図測定

安定した成人の歩行を把握する場合、腓腹筋、前脛骨筋、大腿二頭筋、大腿直筋、大臀筋、内側広筋を測ることによって一連の歩行サイクルを観測することができる³¹⁾が、本実験では内側広筋の働きである膝の伸展の影響は大腿直筋でも見られると考え、内側広筋に代わり股関節の内旋、外旋に係る大腿筋膜張筋³²⁾を加えた。したがって、測定箇所は右下肢における a. 腓腹筋 (Gastrocnemius muscle), b. 前脛骨筋 (Tibialis anterior muscle), c. 大腿二頭筋

(Biceps femoris muscle), d. 大腿直筋 (Rectus femoris muscle), e. 大臀筋 (Gluteus maximus muscle), f. 大腿筋膜張筋 (Tensor fascia femoris muscle) とした。筋電図は、遠隔測定が可能な簡易型表面筋電計 (MWATCH-101, (株) 和田製作所) を用い、上記6か所の筋上の皮膚表面にセンサーを貼り付け、双極導出法により増幅率10000倍、サンプリングレート1000 Hzで測定した (Fig. 4)。測定時におけるフィルタは商用電源ノイズフィルタ (50 Hz) とし、測定後のデータの解析時に筋電計対応の専用ソフトウェアでスペクトログラム解析を行ってデータが5~500 Hz以内にほぼ収まっていることを確認した。センサーを貼り付けた後、ケーブルからノイズが入らないよう陸上競技用スパッツを履かせセンサーやケーブルを固定した。歩行はモデル床の端にかかとを合わせて静止した状態を保った後、右足から出して被験者自身の楽な速度と歩幅で10歩ほど歩き、両足をそろえて静止するものとした。この時、右足は5回床面を踏むこととなるが、本実験では2回目、3回目、4回目の計3回分の着地し

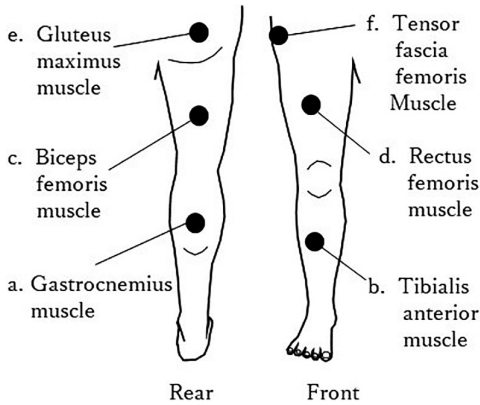


Fig. 4. Electrode attachment position of surface electromyography.

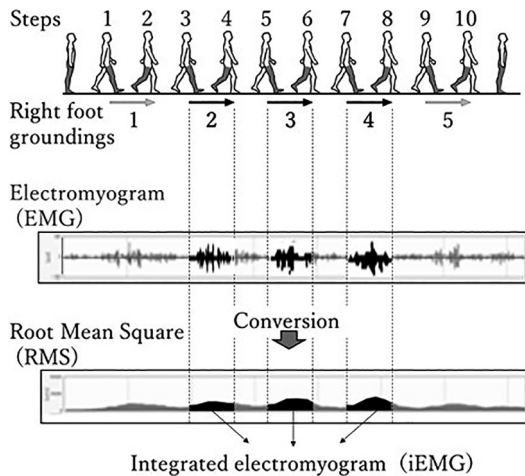


Fig. 5. Derivation of integrated electromyogram.

ている間（立脚相）のデータを解析の対象とした（Fig. 5）。各データについては、時間窓長100 msで自乗平均平方根（RMS：Root Mean Square）に変換し、専用ソフトウェア（MWATCH Ver1.5.0, (株)和田製作所）で100 msごとに積分値を算出した。歩行を開始してからの右足による3回分の立脚相の積分値の総和を求めて、本実験での歩行時における積分筋電図（integrated electromyogram, 単位： $\mu\text{V}\cdot\text{s}$ ）とした。得られた積分筋電図はその部位の筋活動の大きさを示し、値が大きいほどより筋力を必要としたことを示す³³⁾。ただし、積分筋電図の数値は個人差が大きいため、4種類のモデル床における歩行時データについて、各被験者内で対照であるコンクリート+ビニール床での歩行時データとの比（各モデル床/コンクリート+ビニール床）を求め、

以下、筋活動量比として考察の対象とした。筋活動量比は、各モデル床間での筋活動量の比較が可能な数値であると同時に、対照と比べて筋活動量が多い（ >1 ）か小さい（ <1 ）かも表す数値である。

2.3.2 歩行距離

筋電図の値を量的指標として比較に用いる場合、同じ運動量での比較を行うことが望ましい。例えば、歩行距離が他のモデル床と同じであった場合、筋活動量比が小さかったという結果は少ないエネルギーで歩行できたということであり、歩きやすいモデル床であることを示すと考察できるが、歩行距離が他のモデル床よりも短かった場合、むしろ歩きにくかったため歩幅が小さくなり筋活動量比も減ったという考察にもなりうる。しかし、運動量をそろえるために歩行距離を決めて歩いてもらうことは、不自然な歩行につながる。このため、本実験では被験者本人の楽な速度で歩いてもらい、開始地点から終了地点までを歩行距離として測定し、指標の一つとした。筋電図データと対応した歩行距離を得るため、測定は筋電図測定時に行った歩行時の1回のみとした。距離は開始地点に両足をそろえて立った時のかかとの位置から歩行終了時に両足をそろえて止まった時のかかとの位置までとした。

2.4 心理指標

各モデル床での歩行後に、歩行感の印象に関する評価をSD法により行った。用いた評価用語は、歩行感に影響するとされる表面性状を表す評価用語として、粗滑感に関連した“滑らかな—粗い”，乾湿感に関連した“乾いた—湿った”，仕上げ材の硬軟感または下地材の剛性に関連した“柔らかい—硬い”，さらに、床全体の歩行感に関連した“安定した—不安定な”，“歩きやすい—歩きにくい”および“好き—嫌い”とした。評価は、例えば，“好き—嫌い”ならば“非常に好き”を+3，“非常に嫌い”を-3，“どちらでもない”を0として、1点おきに7段階に分割した評価票に点をつけさせることで実施した。また、自由記述欄を設けて、感想があれば書き込むものとした。回答に際しては、視覚や聴覚などを除いた足で感じる歩行感の印象全体について評価するよう口頭で指示をした。

2.5 統計解析

得られた筋電図データならびに印象評価データについては、統計解析ソフト（IBM SPSS Statistics Version 25）を用いて解析を行った。筋電図データならびに歩行距離については、Kolmogorov-Smirnov検定を行った結果、正規性が認められた。このため、仕上げ材と下地材の2要因からなる二元配置分散分

析（反復測定）を測定部位毎に行った。SD法による印象評価においても、同様にKolmogorov-Smirnov検定を行ったが、正規性が認められなかった。この

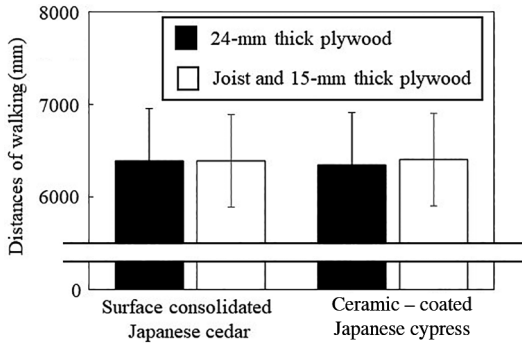


Fig. 6. Distances of walking on the model floors. Notes: $n = 17$. Error bars show standard deviations. Two-factor repeated measure analysis of variance was conducted on two factors, floor subflooring and floor finish materials. The main effects of both factors were not significant. The interaction effect was not significant. These show that there is no significant difference in walking distance between any of the model floors.

ため、仕上げ材の要因と下地材の要因においてそれぞれWilcoxonの符号付順位検定を行った。SD法の結果については、形容語対間の相関も求めた。

検定結果はいずれも $p < 0.05$ で有意としたが、筋電図の結果は個人差が大きいため、 $p < 0.10$ で有意傾向があるものとして考察の対象とした。

3. 結果

3.1 歩行距離

Fig. 6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6380 mm、ヒノキ・セラミック仕上げ材で6350 mm、根太+合板下地材の条件下では、スギ・圧密仕上げ材で6390 mm、ヒノキ・セラミック仕上げ材で6410 mmであった。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はなく、交互作用も認められず、いずれのモデル床での歩行においても歩行距離に差が無いことが示された。

3.2 下肢筋電図

Fig. 7に4種類のモデル床歩行時における下肢6か所の筋活動量比（積分筋電図における対照との相

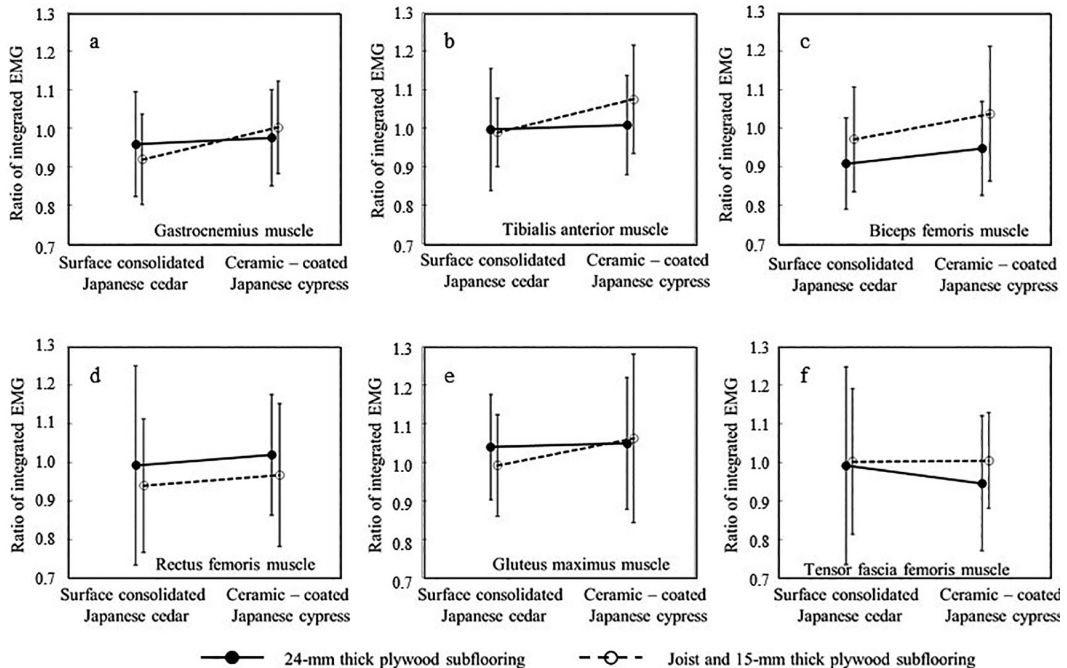


Fig. 7. Surface electromyography at the six positions of the lower limbs during walking.

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.

対値)の平均値($n=17$)ならびに Table 4 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(Gastrocnemius muscle, Fig. 7a)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0.96, ヒノキ・セラミック仕上げ材で0.98, 根太+合板下地材においては、スギ・圧密仕上げ材で0.91, ヒノキ・セラミック仕上げ材で1.00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。また、仕上げ材の条件下で比較すると、スギ・圧密仕上げ材において厚物合板下地材が根太+合板下地材よりも高かった一方で、ヒノキ・セラミック仕上げ材においては厚物合板下地材が根太+合板下地材より低かったことによりグラフが交差する形となった。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なく、仕上げ材の要因においては10%水準で有意傾向がみられた。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(Tibialis anterior muscle, Fig. 7b)においては、腓腹筋と同様に厚物合板下地材、根太+合板下地材のいずれにおいても、スギ・圧密仕上げ材の筋活動量比が低い値を示した。二元配置分散分析の結果では、下地材および仕上げ材のいずれの要因においても主効果はなかった。腓腹筋と同様にグラフが交差した形になったが、交互作用は認められなかった。

大腿二頭筋(Biceps femoris muscle, Fig. 7c)に

おいては、腓腹筋ならびに前脛骨筋と同様に厚物合板下地材、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。一方、仕上げ材の条件下で比較すると、スギ・圧密仕上げ材およびヒノキ・セラミック仕上げ材のいずれにおいても厚物合板下地材が根太+合板下地材よりも低かった。さらに、厚物合板下地材の筋活動量比はいずれの仕上げ材でも1を下回っており、対照であるコンクリート+ビニール床よりも低い傾向にあった。また、Table 3 に示すように、二元配置分散分析の結果では、下地材の要因において5%水準で主効果が認められた。仕上げ材の要因においては10%水準で有意傾向にあった。交互作用は認められなかった。

大腿直筋(Rectus femoris muscle, Fig. 7d)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が、仕上げ材の条件下での比較では、スギ・圧密仕上げ材およびヒノキ・セラミック仕上げ材のいずれにおいても厚物合板下地材が根太+合板下地材よりも高い筋活動量比を示した。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なく、交互作用も認められなかった。

大殿筋(Gluteus maximus muscle, Fig. 7e)においては、下地材要因下での比較においてはいずれもスギ・圧密仕上げ材の方が低い筋活動量比を示した

Table 4. Results of two-factor repeated measure analysis of variance in subflooring wood and finishing wood.

Electrode attachment position	Factor	F value	P value	Effect size
Gastrocnemius muscle	Subflooring	0.14	0.71	0.09
	Finishing	3.66	0.07 ⁺	0.48
	Subflooring × Finishing	1.73	0.21	0.33
Tibialis anterior muscle	Subflooring	2.29	0.15	0.38
	Finishing	2.96	0.11	0.43
	Subflooring × Finishing	2.50	0.13	0.40
Biceps femoris muscle	Subflooring	4.57	0.05 [*]	0.53
	Finishing	3.06	0.10 ⁺	0.44
	Subflooring × Finishing	0.30	0.59	0.14
Rectus femoris muscle	Subflooring	1.83	0.20	0.34
	Finishing	0.52	0.48	0.18
	Subflooring × Finishing	0.00	1.00	0.00
Gluteus maximus muscle	Subflooring	0.95	0.34	0.24
	Finishing	0.39	0.54	0.16
	Subflooring × Finishing	1.24	0.28	0.28
Tensor fascia femoris muscle	Subflooring	0.41	0.53	0.16
	Finishing	1.18	0.29	0.27
	Subflooring × Finishing	1.26	0.28	0.28

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

一方で、仕上げ材の条件下の比較では厚物合板下地材と根太+合板下地材で逆転しており、腓腹筋ならびに前脛骨筋と同様の傾向にあった。二元配置分散分析においては、いずれの要因においても主効果はなく、交互作用も認められなかった。

大腿筋膜張筋 (Tensor fascia femoris muscle, Fig. 7f) では、根太+合板下地材においてはスギ・圧密仕上げ材がヒノキ・セラミック仕上げ材よりも低い筋活動量比を示した一方、厚物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筋活動量比を示した。同じ下地材の条件下においてスギ・圧密仕上げ材がヒノキ・セラミック仕上げ材よりも高い筋活動量比を示したのは、本実験で測定した部位の中で大腿筋膜張筋だけであった。二元配置分散分析においては、主効果ならびに交互作用ともに認められなかった。

3.3 SD 法による印象評価

歩行感の印象に関する評価の結果について、仕上げ材における比較を Table 5 に示す。Wilcoxon の符号付順位検定の結果、粗滑感、乾湿感ならびに温冷感に関連した評価用語において 1% 水準で有意であり、ヒノキ・セラミック仕上げ材の方が“滑らか”で“湿っている”と評価された。さらに、“安定した

—不安定な”、“歩きやすい—歩きにくい”および“好き—嫌い”においても 5% 水準で有意であった。いずれの仕上げ材も正の値を示しており、“安定”、“歩きやすい”、“好き”と評価されたものの、ヒノキ・セラミック仕上げ材の方が高い評価となった。

下地材における歩行感の比較を Table 6 に示す。Wilcoxon の符号付順位検定の結果、下地材では“滑らかな—粗い”、“安定した—不安定な”において 5% 水準で有意であり、厚物合板下地材の方が“滑らか”で“安定”していると評価された。また、いずれの下地材も“安定した”、“歩きやすい”、“好き”と評価された。

歩きやすさ—歩きにくさ感と好き—嫌い感の評価傾向が似通っていたことから、線形回帰を行い相関関係について検討した結果を Fig. 8 に示す。両者の間には、有意な正の相関 ($p < 0.01$) が認められた。分布の傾向を見ると、プロットが -3 から +3 までの整数であるため重なりが多く全体に広がっているように見えるが、“歩きやすい”が“嫌い”との評価がされたことを示す第 2 象限と“歩きにくい”が“好き”と評価されたことを示す第 4 象限にプロットされたのは 68 個のうち 4 個のみであり、ほとんどの被験者が“歩きやすい”と評価したものを“好き”、

Table 5. Comparison of impression ratings of walking feeling between the two floor finishes by Wilcoxon signed-rank test.

Sensory terms	Surface consolidated Japanese cedar	Ceramic-coated Japanese cypress	<i>P</i> value
Smooth - Rough	0.00	1.62	0.00 **
Dry - Wet	0.91	0.29	0.02 **
Soft - Hard	-0.18	-0.26	0.90
Stable - Unstable	0.15	1.15	0.01 *
Easy to walk	0.35	1.12	0.01 *
- Difficult to walk			
Like - Dislike	0.38	0.85	0.03 *

Note: $n = 34$, **: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$.

Table 6. Comparison of impression ratings of walking feeling between the two subfloors by Wilcoxon signed-rank test.

Sensory terms	Joist and 15-mm plywood subflooring	24-mm thick plywood subflooring	<i>P</i> value
Smooth - Rough	0.53	1.09	0.02 *
Dry - Wet	0.56	0.65	0.70
Soft - Hard	-0.29	-0.15	0.40
Stable - Unstable	0.38	0.91	0.02 *
Easy to walk	0.71	0.76	0.70
- Difficult to walk			
Like - Dislike	0.53	0.71	0.43

Note: $n = 34$, *: $p < 0.05$.

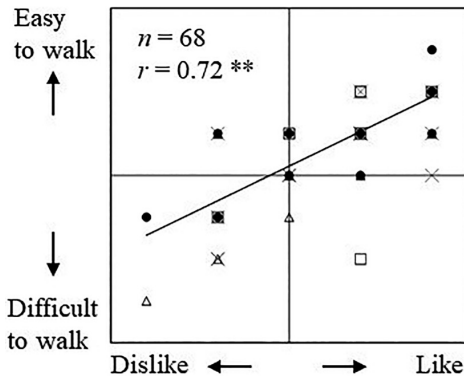


Fig. 8. Relationship between impression of “like – dislike” and impression of “easy to walk – difficult to walk”.

Legend: Δ : Surface consolidated Japanese cedar – 24 mm plywood, \times : Surface consolidated Japanese cedar – joist and 15 mm plywood, \square : Ceramic-coated Japanese cypress – 24 mm plywood, \bullet : Ceramic-coated Japanese cypress – joist and 15 mm plywood.

Notes: $n = 17$, $** : p < 0.01$. A linear regression was performed between the scores of the two impressions, r : correlation coefficient.

“歩きにくい”と評価したものを“嫌い”と評価していたことが分かった。

4. 考 察

本実験においては、各モデル床での歩行距離に差があった場合、それを考慮して下肢筋電図、すなわち、筋活動量比の結果について考察する必要があった。しかし、前述したように、モデル床間で歩行距離に有意な差がなかったため、筋活動量比はそのまま比較できるものとして扱った。また、動作解析も含めた考察を行う上では積分筋電図を時間で割って得られる時間当たりの積分値を算出し、その値における対照との比を指標として用いられる²⁵⁾ことが多いが、本実験では裸足による歩行に床の違いが及ぼす影響について傾向を見出すことに主眼をおいたため、足が床に接触している間、すなわち、立脚相の時間が長いことも下肢の筋への負担が大きかったものと捉え、時間で割らない筋電図積分値に基づいて算出した筋活動量比を用いた。ここでは、筋活動量比の大きさは筋で消費されるエネルギーの大きさと解釈し、筋活動量比が小さいほど歩行にエネルギーを必要としなかった、すなわち、“歩きやすかった”ものとして考察した。

筋電図において、仕上げ材の要因による違いは腓腹筋と大腿二頭筋においてみられ、いずれもスギ・

圧密仕上げ材がヒノキ・セラミック仕上げ材よりも低い傾向にあった。小野ら¹⁸⁾は、すべる床においては歩行が不自然となり腓腹筋の筋活動量比が低下し、相対的に前脛骨筋の筋活動が上昇することを報告している。しかし、本実験では、前脛骨筋もスギ・圧密仕上げ材が低い筋活動量比を示しており、モデル床間で歩行距離に差が無いことから、歩きやすさが腓腹筋ならびに大腿二頭筋の筋活動量比の低下につながったといえる。スギ・圧密仕上げ材での筋活動量比は、1を上回ったものが厚物合板下地材条件下の大殿筋のみであり、腓腹筋と大腿二頭筋以外でも全体的に低い傾向にあった。スギ・圧密仕上げ材がヒノキ・セラミック仕上げ材を上回ったのが、12通りの条件での比較において厚物合板下地材条件下における大腿筋膜張筋の1つのみであったことから、スギ・圧密仕上げ材が歩きやすい床仕上げ材であることが示された。仕上げ材間における歩きやすさの違いに影響を及ぼした可能性のある因子としては、Table 1, 2 に示す物性値のうち仕上げ材の間で差が見られた“表面粗さ”、“たわみ量”ならびに“湿った状態での静摩擦係数”が挙げられる。このうち、“たわみ量”はTable 3に示すように下地材と組み合わせた場合に仕上げ材間で差がなくなったことから、仕上げ材の歩きやすさに影響した要因は“表面粗さ”あるいは“湿った状態での静摩擦係数”のどちらかもしくは両方であると考えられた。

下地材の要因においては、剛性の高い厚物合板下地材は剛性の低い根太+合板下地材よりも歩行時に大腿二頭筋における筋活動量比が有意に低く、歩きやすかったことが示された。さらに、大腿二頭筋の筋活動量比が厚物合板下地材においてスギ・圧密仕上げ材ならびにヒノキ・セラミック仕上げ材とも1を下回っていた。筋活動量比はコンクリート+ビニール床との比で表した数値であることから、厚物合板下地材の条件での歩行は最も剛性の高いコンクリート+ビニール床よりも筋活動量が少ないことが示唆された。すなわち、本実験での床剛性の条件としては、中程度の剛性の厚物合板下地材は最も剛性の低い根太+合板下地材ならびに最も剛性の高いコンクリート+ビニール床よりも歩きやすいという結果となった。この結果は、これまで小野、横山、福田ら^{8,9,12,14)}や富田、井上ら^{15,16,19,20)}による適度な剛性の床が快適で歩きやすいという報告を裏付けるものとなった。ただし、大腿二頭筋以外の部位では、厚物合板下地材が根太+合板下地材を上回っているものや、筋活動量比が1を超えているものがあるなど、下肢の他の部位に負担が分散されている可能性も考

慮しておく必要がある。

SD法による印象評価では、仕上げ材の要因において筋電図とは正反対の結果が見られた。歩行時の筋活動量比が低いことが示されたスギ・圧密仕上げ材よりもヒノキ・セラミック仕上げ材の方が安定さ、歩きやすさにおいて高く評価された。この原因の一つとしては、乾いていると評価されたスギ・圧密仕上げ材よりも湿っていると評価されたヒノキ・セラミック仕上げ材の方が歩行時の摩擦抵抗が高かったことが考えられる。Table 2 に示した羊皮との間の静摩擦係数では、乾燥した羊皮との比較において両仕上げ材が同水準であったのに対し、汗の影響を想定して湿らせた羊皮との間で測定した静摩擦係数はスギ・圧密仕上げ材よりもヒノキ・セラミック仕上げ材の方が高かった。皮膚の摩擦特性について行われた研究³⁴⁾では、乾いた皮膚に少量滴下することにより皮膚が柔らかくなって接触面積が増加し摩擦抵抗が上がるということが報告されている。本実験にあてはめると、乾いたと評価されたスギ・圧密仕上げ材では水分が吸い取られるのに対し、ヒノキ・セラミック仕上げ材では水分が残るため摩擦抵抗が高くなるものと思われる。SD法による印象評価ではすべりやすさの項目を評価語に入れなかったが、以上の結果から推察するとスギ・圧密仕上げ材よりもヒノキ・セラミック仕上げ材の方が滑りにくいと感じられていたものと考えられる。床の滑りにくさはこれまで報告^{11, 18, 25)}されているように、安定感の印象につながる。しかしながら、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歩行時の筋活動量比が低いという結果が得られたことは、本実験における2つの床仕上げ材の摩擦抵抗の違いは、安定感や歩きやすさの印象に影響した一方で、歩行時の筋活動量比に影響するほどのものではなかったことを示している。これらを考え合わせると、Table 1, 2の値のうち仕上げ材間で差が見られた“表面粗さ”の物性値ならびに粗さ感の印象評価のいずれにもかかわる要因、すなわち圧密化により強調されたスギ材の成長輪の凹凸が筋電図の結果に見られた歩きやすさの結果に影響したと考えられる。

凹凸が影響した要因の一つとしては、歩行で足を後ろに蹴り出す際に引っ掛かりとなって推進力に寄与したことが挙げられる。ただし、スギ・圧密仕上げ材は板目材であり、凹凸のほとんどが歩行方向（モデル床の長さ方向）に平行に走っているため、引っ掛かりとしての機能は限定的である。もう一つの要因としては、足裏の触覚受容体は特に圧覚によってどの方向に体重が掛かっているかを検知して運

動中枢に伝える役割を担っている^{22, 23)}ことから、凹凸により圧覚を感じしやすかったことがバランス維持に要する筋力の低減に寄与して歩行時の筋への負担を小さくした可能性が考えられる。詳細な動作解析を行っていないためこちらの要因も限定的ではあるが、いずれの要因にしても本実験の条件においては凹凸がスギ・圧密仕上げ材の歩きやすさに寄与したことが考えられる。

スギ・圧密仕上げ材がヒノキ・セラミック仕上げ材よりも歩きやすさにおいて低く評価されたもう一つの要因としては、Fig. 8 に示す歩行感についての好ましさの印象評価と歩きやすさの印象評価の関係において高い相関があったように、床仕上げ材の歩行感に対する印象に占める触感の影響の方が大きかったものと思われる。本実験で評価させた歩行感には足で感じられた印象全体を評価するように指示したため、表皮で感じる表在感覚ならびに筋や関節で感じる深部感覚が含まれると考えられる。自由記述においては、ヒノキ・セラミック仕上げ材について滑らかで気持ちいいと答えたものがあり、歩行感の印象評価において触感の影響が大きかったことを裏付けていた。人体において手掌や足裏は顔に次いで皮膚の感覚受容器が多く、これらを司る脳の体性感覚野の領域も筋や関節などの深部感覚を含めたその他の体性感覚よりも広いことから³⁵⁾、表面性状の違いは認識されやすかった一方で、筋活動量比の違いは歩きにくさとして認識されにくかったものと考えられる。横山ら²⁴⁾は、床下地材のコンクリート上面仕上げ作業時ならびに歩行時の下肢筋電図の測定とアンケート調査を行い、筋放電量比（本報での筋活動量比に相当）と動作のしにくさとの間に良い対応が見られたことを報告しているが、この報告では筋放電量比が最大2.0近い値を示していた。本研究では、腓腹筋ならびに大腿二頭筋ともに0.9から1.1の間であり、10%水準での有意傾向における差であったため、横山らの報告と比べると非常に小さく被験者が歩きにくさを自覚できなかったと考えられる。しかしながら、自覚できないレベルのわずかな筋活動量の違いを検出できたことは、長時間歩行した場合に生じる疲労の差を短時間の測定で予測できる可能性を示すものであるといえる。

印象評価での下地材の要因においては、厚物合板下地材が根太+合板下地材よりも有意に安定していると評価されており、歩行時の筋活動量比が有意に低かった大腿二頭筋の結果と一致した。一方、根太+合板下地材が厚物合板下地材よりも有意に粗いと評価されたことは、下地材のたわみやすさが表面性

状の認識に影響することを示している。本研究では、筋電図において交互作用は見られなかったが、腓腹筋や前脛骨筋でグラフが交差していること、さらにはいずれの筋においても根太+合板下地材ではスギ・圧密仕上げ材がヒノキ・セラミック仕上げ材より低い値を示したことから、より極端な条件で比較した場合、筋電図において床下地材と床仕上げ材の相互影響が見られる可能性が考えられる。

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て作られた4種類のモデル床での歩行時における下肢筋電図測定とSD法による印象評価を行った結果、以下の結論が得られた。

1. 剛性の高い24 mm厚合板床下地材は根太+15 mm厚合板床下地材に比べ、歩行時に有意に大腿二頭筋の負担を低減することが明らかになった。
2. 表面の凹凸の大きいスギ・表面圧密化床仕上げ材は平滑なヒノキ・セラミック塗装床仕上げ材に比べて、腓腹筋ならびに大腿二頭筋の負担を低減する傾向にあることが分かった。
3. 本研究では、筋電図において床下地材と床仕上げ材の交互作用は見られなかった。
4. 印象評価では、表面筋電図の結果とは逆にスギ・表面圧密化床仕上げ材はヒノキ・セラミック塗装床仕上げ材にくらべ歩きにくいと評価された。短時間の歩行における歩きやすさの印象評価においては床仕上げ材に対する皮膚感覚が大きく影響するものと考えられた。筋電図は、短時間の歩行における歩きやすさ感を反映しにくい反面、長時間の歩行による疲労の蓄積の予測に適していると考えられる。

文 献

- 1) 西山卯三：IX農家。“日本のすまいIII”，勁草書房，東京，1980，pp. 7-123.
- 2) 伊東理恵，今井範子：居住者意識から見た畳空間の動向－集合住宅における－「畳空間にかかわる住様式の動向」と「畳空間の発展方向」に関する研究（その2）－大都市圏の都市住宅における“畳空間の住み方と住意識の検討”－. 日本インテリア学会論文報告集 8, 19-26 (1998).
- 3) 三澤安広，神野義紀，菅野誠吉，杉山貴行，菅野安市：コンクリート集合住宅における虫咬被害調査について. ベストロジー学会誌 14(1), 34-38 (1999).
- 4) 高鳥浩介：生活環境中の真菌と健康被害（セミナー〈特集〉生活環境と生体応答）. ファルマシア 42(7), 718-722 (2006).
- 5) 小野英哲，長塚由美子，中沢郁子：建築物床の足ざわりの評価方法に関する基礎的研究. 日本建築学会構造系論文集 473, 47-56 (1995).
- 6) Ikei, H., Miyazaki, Y.: Positive physiological effects of touching sugi (*Cryptomeria japonica*) with the sole of the feet. *J. Wood Sci.* 66, 29 (2020).
- 7) 伊藤靖代，深田美香，川上敬介，大平智恵子，坂本トヨ子，大谷豪太郎，山根勝美：うづくり加工を施したスギ板材の接触感覚評価. 日本生理人類学会誌 15(1), 17-21 (2010).
- 8) 小野英哲，横山 裕，大野隆造：居住性からみた床のかたさの評価方法に関する研究（その1）床のかたさに関する心理学的尺度の構成. 日本建築学会構造系論文報告集 358, 1-9 (1985).
- 9) 小野英哲，横山 裕：居住性からみた床のかたさの評価方法に関する研究（その2）床のかたさ測定装置の設計・試作および床のかたさの評価指標，評価方法の提示. 日本建築学会構造系論文報告集 373, 1-8 (1987).
- 10) 小野英哲，高橋宏樹，森山朋世，金森克彦：立位疲労からみた床のかたさに関する生理的考察. 日本建築学会構造系論文集 516, 21-27 (1999).
- 11) 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).
- 12) 横山 裕，福田眞太郎：感触の影響で評価が低下する床の動的判別方法の提示 動作時の適正からみた床の変形性状の評価方法（その2）. 日本建築学会環境系論文集 79(701), 877-885 (2014).
- 13) 横山 裕：複数歩連続した歩行振動の性能値に関する基礎的検討 木造大スパン床の歩行振動の居住性からみた評価方法（その1）. 日本建築学会環境系論文集 78(691), 689-695 (2013).
- 14) 福田眞太郎，濱田英明，横山 裕：直張り床の変形特性と日常の安全性 快適性に関する諸性能の関係. 日本建築学会構造系論文集 742,

- 1845-1852 (2017).
- 15) 井上勝夫, 木村 翔, 平光厚雄, 矢後佐和子, 渡辺秀夫: 歩行感から見た住宅床の感覚評価に関する研究 歩行感からみた住宅床の振動応答特性と床衝撃音遮断性能に関する研究 その3. 日本建築学会計画系論文集 **504**, 9-16 (1998).
- 16) 富田隆太, 井上勝夫: 床構造及び床仕上げ構造の変化が歩行感覚に与える影響に関する検討. 日本建築学会環境系論文集 **78**(687), 385-392, (2013).
- 17) 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).
- 18) 小野英哲, 高橋宏樹, 安田 稔, 国生正人: 疲労からみた床のすべりに関する考察. 日本建築学会構造系論文集 **531**, 27-32 (2000).
- 19) 井上勝夫, 木村 翔, 富田隆太: 平坦床, 階段, スロープの歩行時における高齢者の衝撃力特性. 日本建築学会計画系論文集 **541**, 1-8 (2001).
- 20) 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).
- 21) 富田隆太, 井上勝夫: 直張り木質フローリング床を対象とした高齢者及び成人の歩行感覚と動的変位量に関する検討. 日本建築学会環境系論文集 **612**, 15-22 (2007).
- 22) 大久保 仁, 渡辺 勲, Baron, J.B.: 足蹠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).
- 23) 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), S138-S139 (2017).
- 24) 横山 裕, 高橋宏樹, 横井 健: コンクリート上面仕上げ作業時の下肢への負担と床下地の表面凹凸への影響. 日本建築学会構造系論文集 **649**, 483-490 (2010).
- 25) 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变化の推定 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).
- 26) 設楽稔那子, 吉田宏昭, 上條正義, 藤巻吾朗, 山口穂高: 木材評価時における視触覚の印象形成. *木材学会誌* **63**(4), 149-161 (2017).
- 27) 岡野 健: 木材と感性3 触感覚と木材. *材料* **46**(9), 1112-1117 (1997).
- 28) JIS B 0601: 製品の幾何特性仕様 (GPS) - 表面性状. 日本規格協会 (2013).
- 29) JIS Z 2101: 木材の試験方法. 日本規格協会 (2009).
- 30) JAS 1073-2019: フローリング. 農林水産省 (2019).
- 31) 岡本 勉, 岡本香代子: 1 新生児・乳児の原始歩行 - 二足歩行の起源 - . “筋電図からみた歩行の発達 - 歩行分析・評価への応用 -”, 歩行開発研究所, 大阪, 2007, pp. 6-7.
- 32) 伊藤正憲, 高橋優基, 嘉戸直樹: 歩行時の方向転換動作. *関西理学* **15**, 23-27 (2015).
- 33) Bigland, B., Lippold, O. C. J.: The relation between force, velocity and integrated electrical activity in human muscles. *J. Physiol.* **123**(1), 214-224 (1954).
- 34) Highley, D. R., Coomey, M., DenBeste, M., Wolfram, L. J.: Frictional properties of skin. *J. Invest. Dermatol.* **69**(3), 303-305 (1977).
- 35) 黒澤美枝子: 11 体性感覚の経路. “ギャノン生理学 原書23版”, 丸善, 東京, 2011, pp. 205-213.