

# 生理的・心理的な側面から評価した木質系床材の歩行快適性に影響を及ぼす要素の解明に関する研究

森川, 岳

<https://hdl.handle.net/2324/7157390>

---

出版情報 : Kyushu University, 2023, 博士 (農学), 課程博士  
バージョン :  
権利関係 :

生理的・心理的な側面から評価した

木質系床材の歩行快適性に影響を及ぼす要素の解明に関する研究

森川 岳

2023

## 目次

第1章 緒言	… 1
1. 1 はじめに	… 1
1. 2 既往の研究と問題点	… 3
1. 3 研究の目的	… 4
第2章 木質床における裸足での歩行が生理・心理に及ぼす影響	… 6
2. 1 背景	… 6
2. 2 材料と実験方法	… 7
2. 2. 1 実験の手順	… 7
2. 2. 2 モデル床	… 8
2. 2. 3 生理的指標	… 17
2. 2. 3. 1 歩行時の下肢表面筋電図測定	… 17
2. 2. 3. 2 歩行距離	… 18
2. 2. 4 心理的指標	… 22
2. 2. 5 統計解析	… 22
2. 3 結果	… 23
2. 3. 1 歩行距離	… 23
2. 3. 2 下肢表面筋電図	… 23

2. 3. 3	Semantic Differential 法による印象評価	… 2 9
2. 4	考察	… 3 3
2. 4. 1	歩行距離と下肢表面筋電図の関係	… 3 3
2. 4. 2	床仕上げ材の下肢表面筋電図への影響	… 3 3
2. 4. 3	床下地材の下肢表面筋電図への影響	… 3 4
2. 4. 4	裸足での歩行実験における総合考察	… 3 5
2. 5	小括	… 3 8
第3章	木質床における靴下を装着した状態での歩行が生理・心理に及ぼす影響	… 4 0
3. 1	背景	… 4 0
3. 2	材料と実験方法	… 4 1
3. 2. 1	実験の手順	… 4 1
3. 2. 2	モデル床と靴下	… 4 2
3. 2. 3	生理的指標	… 4 2
3. 2. 3. 1	歩行時の下肢表面筋電図測定	… 4 2
3. 2. 3. 2	歩行距離	… 4 4
3. 2. 3. 3	足底圧力分布	… 4 4
3. 2. 4	統計解析	… 4 8
3. 3	結果	… 4 9
3. 3. 1	歩行距離	… 4 9

3. 3. 2	下肢表面筋電図	… 5 2
3. 3. 3	足底圧力分布	… 6 0
3. 4	考察	… 6 8
3. 4. 1	歩行距離と下肢表面筋電図の関係	… 6 8
3. 4. 2	床仕上げ材の下肢表面筋電図への影響	… 6 8
3. 4. 3	床下地材の下肢表面筋電図への影響	… 6 9
3. 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	… 7 0
3. 4. 5	靴下を装着した状態での歩行実験における総合考察	… 7 1
3. 5	小括	… 7 3
第4章	木質系床材の歩行快適性に影響を及ぼす要素についての総合考察	… 7 5
4. 1	現代の生活様式からみた木質系床材の歩行快適性についての考察	… 7 5
4. 2	歴史からみた木質系床材の歩行快適性についての考察	… 7 5
4. 3	木質系床材の歩行快適性研究における今後の見通し	… 7 6
第5章	結言	… 7 8
	謝辞	… 7 9
	引用文献	… 8 0

## 第1章 緒言

### 1. 1 はじめに

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（西山 1980）。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で繁殖したダニによるアレルギーの問題（伊東ら 1998; 三澤ら 1999; 高島 2006）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、木床が再び日本人の居室に定着してきている。木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深く関わっている。

床を含めた木質系内装が五感を通してもたらす快適性については、生理的・心理的な側面から報告されてきた。特に、視覚的な影響は、木質系内装が好まれる理由の一つとして報告されている。Tsunetsugu ら（2007）は、木材率の異なる部屋（0%、30%、40%、45%、90%）に男性被験者を座らせ、心拍や脳血液動態などの生理的指標、部屋の印象や POMS などの心理的指標の測定を行い、木材率の高い部屋が生体を鎮静的な状態にすることを報告している。末吉ら（2016）は、事務所の内装写真を用いた聞き取り調査の解析により、木質内装が「あたたかい」、「快適」、「静か」、「明るい」、「友好的」などのイメージを持たれており、事務所の内装で木材が好ましいことを報告している。しかし、これらの報告があるにもかかわらず、近年の日本の住宅では、直接触れられることの少ない壁や天井などの内装には木材

以外の材料が大部分を占めていることが多い。また、室内で靴を履いて生活する欧米では、木材を模した代替床が普及しているなど、日本ほど本物の木材を床に用いることへのこだわりはない。これらの背景は、直接足裏で床に触れる生活スタイルが日本人の床材の選択に影響を及ぼしていることを示唆している。すなわち、日本において木質床が使われ続けている理由の一つとして、木質床の接触感の良さが考えられる。Ikei ら (2020) 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的、心理的な反応について報告しており、伊藤ら (2010) はスギの浮造りの床板やスギの平滑な床板、ビニール床タイルなど 6 種類の床材について、足裏での接触感の心理的評価を報告している。いずれの研究においても、木床への足裏による接触は生理的にも心理的にも快適であることが示されていた。ただし、室内で人の足裏が木床に触れる機会は、座って静止している時よりも立って歩行している時の方が多い。快適な木床に求められる特性は、触って快適であるだけでなく、歩く上でも快適であることが重要であると考えられる。Jonsson (2006) は、顧客満足度モデリングという手法を使用した木質床材を含めた床材料についてのオランダ人を対象とした顧客ニーズの評価から、実用的で機能的な利点が顧客満足度にも大きな影響を与えることを報告している。さらに、セラミックタイルや木目調印刷シートが貼られたラミネート床材等の代替品が好まれる要因 (耐久性等) についても指摘している。住宅内で靴を履かない日本に当てはめると、オランダとは反対にセラミックタイルやラミネート床等が普及しないことや、無垢の木や木質材料による床仕上げ材が好まれ続けている理由として、これら木質系床材に直接触れて歩く上での“実用的で機能的な利点”が得られるからと考えられる。以上の背景から、木質系床が居住性に及ぼす影響を明らかにするには、木

質系床への接触をともなった歩行の評価を、床の物性値ならびに歩行時の生理的反応、心理的反応の比較から行い、総合的に考察する必要がある。

## 1. 2 既往の研究と問題点

木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。例えば、小野ら（1985、1987、1999）、横山ら（2000、2013、2014）、福田ら（2017）は、たわみ量やすべりやすさに関連した物理量とかたさ感や振動感覚等の歩行感の関係について、木材を含めた様々な床を対象とした研究により総合的に検証し報告している。井上ら（1998）や富田ら（2013）は床構造と床仕上げ構造の違いが、かたさやたわみ、好ましさを歩行感覚に影響を及ぼすことを報告している。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（1993）は歩行時における身体各部位の加速度を測定し、心理学的な評価ならびに床材の反発係数との関係について検証している。また、筋電図を用いた生理学的な研究として、小野ら（2000）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。井上ら（2001）や富田ら（2003、2007）は、衝撃力特性とかたさ感やたわみ感、好ましさととの関係が、被験者の歩行タイプを足底圧力分布から分類した実験から明らかにしている。一方、木床への接触を伴う場合、すなわち裸足での歩行時に関しては、心理面から調べた小野と落合（2000）の報告や、宇京ら（2000）による歩行感と衝撃応答特性との関係に関する報告があるものの、生理面も含めた検討は行われてこなかった。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、硬すぎたり柔らかすぎたりする床の腰や膝への影響など、安全面や健康面から評価する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、床の違いの影響が検出されない可能性が高く、研究の対象となりにくかったものと思われる。しかし、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の接触感を含めた床材料に対する歩行時の生理的、心理的反応に関する研究を行うことが、木材利用を利用した快適な居住環境を実現していく上で重要である。

### 1. 3 研究の目的

以上の検討を踏まえ、本研究では異なる木質材料からなるモデル床を作製し、そこでの歩行時における生理的反応ならびに心理的反応を測定し比較することにより、歩行快適性におよぼす木質床の要素を明らかにすることを目的とした。実験では日常での様々な歩行形態を想定したが、スリッパやルームシューズを履いての歩行については履物の素材が触感のほとんどを占めてしまうため対象から除外し、裸足ならびに靴下履きでの実施とした。ここでは接触を通して歩行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にして床下地材を 2 種類、床仕上げ材 2 種類に限定し、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製した。

第 2 章では、これらのモデル床を裸足で歩行した時における生理的反応と心理的反応の測定を行い考察した (森川ら 2023)。生理的反応の指標としては、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(横山ら 1995;小野ら 1999;小野ら 2000;横山ら 2010)で使われてきた下肢の表面筋電図ならび歩行距離を用いた。心理的反応の指標としては、床の歩行感や接触感の研究(井上ら 1999;伊東ら 2010;Ikei and Miyazaki 2020)で用いられてきた Semantic Differential 法(以下、SD 法)を用いた。

第 3 章では、モデル床を靴下履きで歩行した時における生理的反応の測定を行い考察した(森川 2023)。生理的反応の指標としては、裸足での歩行実験で用いた下肢の表面筋電図ならび歩行距離に加え、足底圧力分布も用いた。

第 4 章では、裸足での歩行時と靴下履きでの歩行時の比較を中心に総合的な考察を行い、木質床の違いが歩行に及ぼす影響について考察した。

本研究における実験は全て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(最終承認:2014年3月)のもとに行われた。

## 第2章 木質床における裸足での歩行が生理・心理に及ぼす影響

### 2.1 背景

前章で述べたように、床での歩行には、床材の表面性状や剛性の違いが影響を及ぼすことが明らかにされている。しかしながら、これらは、あらかじめ抽出された歩行への影響が考えられる要素を一つ一つ掘り下げるための研究であり、他の要素を抽出することを目的としたものではない。例えば、床材の表面性状に着目した研究は、裸足の歩行でも床のすべりのみを対象としており、用いられている試料は、物理量と心理量の間を一般化しやすいよう、均質な材料や、木材でも表面をコーティングされたものである（小野ら 2000）。塗装されていない木床の表面は、成長輪による大きな凹凸や木材の組織による細かな凹凸などがあり、均一に整えられた床材料と比べると不規則である。足裏からの触感覚入力立位時の姿勢維持に影響することが報告されているように（大久保ら 1979、斎藤ら 2017）、裸足での木床の歩行ではすべり以外の床の表面性状が影響を及ぼす可能性がある。また、歩行に影響する各要素の相互影響について調べた研究の報告（福田ら 2017）はあるものの、歩行感との関係が示されてきた各物性値の間について検討したものであり、実際に歩行に影響があるとされている要素を組み合わせた条件を作って被験者による歩行感の評価を実施したものではない。また、日本の家屋を想定した裸足での歩行時に関しては、前述した心理面から調べた報告（小野ら 2000）があるのみである。このように、既往の研究を見ても、歩行快適性におよぼす木質床の要素に関する研究は十分には行われていない。

以上の背景から、歩行快適性におよぼす木質床の要素を明らかにするために、凹凸の明確な無塗装のものと平滑な塗装を施したものと2条件の床仕上げ材ならびに、低剛性なも

のと高剛性なものとの2条件の床下地材を組み合わせた4種類のモデル床を作製し、裸足での歩行実験を行った。生理的指標として下肢表面筋電図を測定するとともに、心理的指標として歩行感についての印象評価を実施し、床仕上げ材と床下地材の個々の影響ならびに両者の相互影響について総合的に考察した。

## 2. 2 材料と実験方法

### 2. 2. 1 実験の手順

実験は、2016年1月から2月の間、20代(22.4±1.6歳)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、森林総合研究所内の温度23°C、相対湿度50%RHに制御した実験室とした。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表面筋電図を測定した。各床の歩行後には、SD法(Osgood *et al.* 1957; 増山と小林 1989)による印象評価を実施した。SD法とは、対象物の感情的イメージを、「温かい - 冷たい」、「安定な - 不安定な」など、対立する形容語の対を用いて5段階または7段階の尺度で回答させる方法のことである。歩行の順番は各床モデルで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回目の歩行は全ての被験者ともコンクリート+ビニール床とした。

## 2. 2. 2 モデル床

2 種類のモデル床の仕上げ材を用いた (Fig. 1)。1つは、ホットプレスにより 200°C、4.0 MPa で圧密加工された、厚さ 12 mm の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つは、厚さ 12 mm の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 1 m<sup>2</sup>あたり 100 ml 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で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。ヒノキ・セラミック仕上げ材は、ガラス塗料が浸透して凹部を埋めており、平滑な表面を持つ。両者は、標準的な床材の範囲内で表面性状が大きく異なる床仕上げ材を比較することを目的として選定された。

2 種類の下地材では、いずれにおいても大引を想定し 910 mm 間隔で並べた 105 mm×105 mm×910 mm の正角材を基材として用いた (Fig. 2)。下地材の一つは、基材に直交して 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) 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おり、両試料は、剛性が異なる床下地材を比較することを目的として作製された。

4 種類のモデル床は、2 種類の下地材を長さ方向に 4 体ずつ繋げ長さ 7280 mm とした上に、仕上げ材を 2 種類ずつ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)。



Surface consolidated Japanese cedar



Ceramic – coated Japanese cypress

Fig. 1. Floor finishing materials.

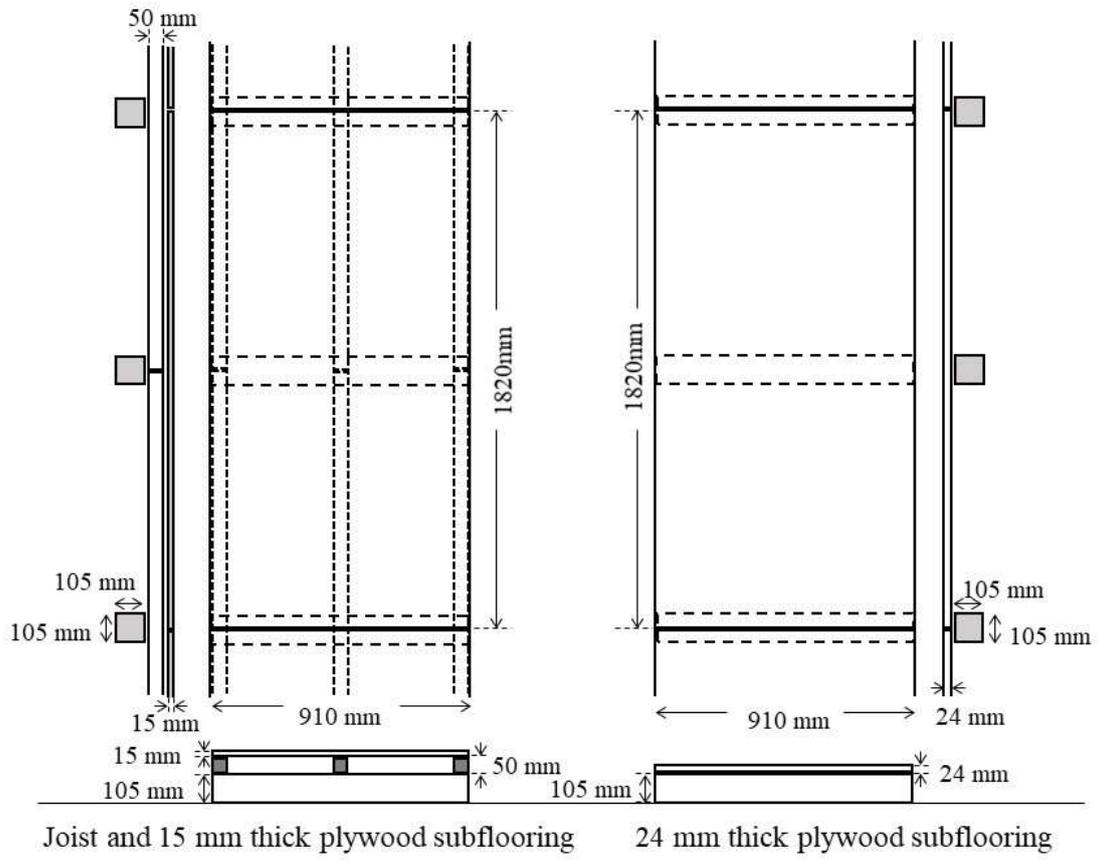


Fig. 2. Subfloor structures in model floors for walking experiment.

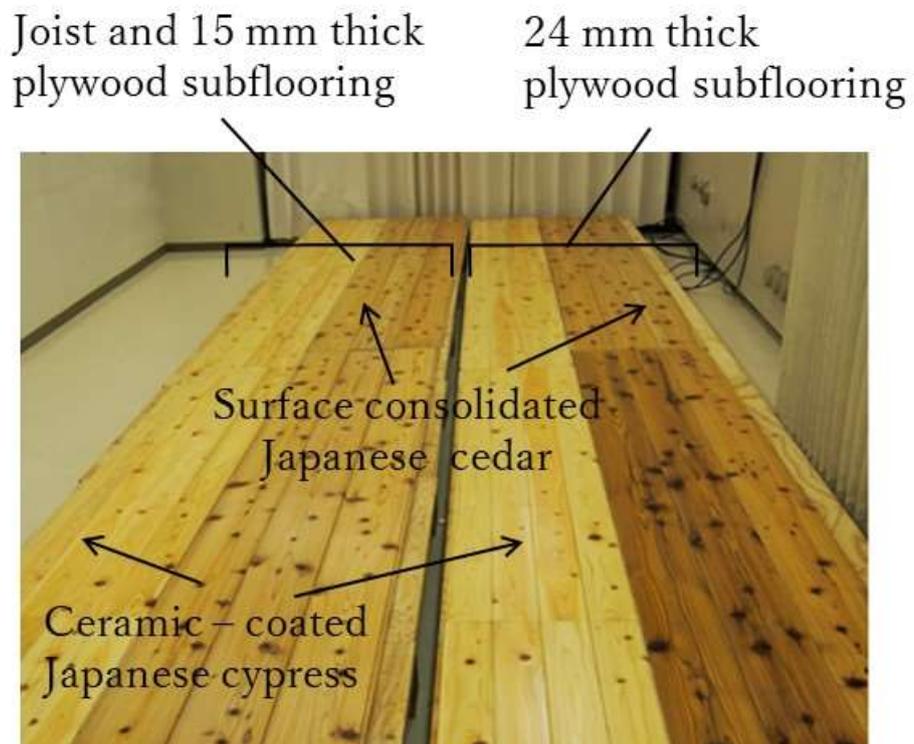


Fig. 3. Model floors for walking experiment.

Table 1 に各床仕上げ材試料の物性値として、歩行感と関連があると考えられる表面粗さ、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(岡野 1997)。ブリネル硬さおよび密度は硬軟感との関連が考えられる。たわみ量は硬軟感や安定感に影響することが報告されている(小野ら 1995 ; 富田ら 2007 ; 横山ら 2014)。

表面粗さは、JIS 規格の製品の幾何特性仕様(GPS)–表面性状 (JIS B0601 :2013) 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 規格の木材の試験方法 (JISZ2101 :2009) 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) 前川試験機製作所製) を用いて測定した。

密度の測定は JIS 規格の木材の試験方法 (JISZ2101 :2009) の 5「密度の測定」の項目に準じて行ったが、測定可能な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 規格 (JAS1073 - 2019)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。床の滑りにくさは歩行時の安定感にも関連する(横山ら 1995 ; 横山ら 2000 ; 小野ら 2000)。測定には、携帯型の摩擦計 (新東科学 (株)、ポータブル摩擦計 TYPE:94i-II)

を用いた。当機器では、通常は試験片に触れる部分である接触子部分に紙や布などを張って測定を行うが、本実験では 0.3 mm 厚の羊皮（クラフト用、表皮側の吟革と呼ばれる部分）を用いた。羊皮を用いたのは、人の皮膚を想定したいくつか組成の似た皮革の候補があった中で、接触子を覆うのに適した薄く柔らかいものとして適合性が高かったためである。人の皮膚は、乾いた状態と湿った状態で摩擦抵抗が異なることが想定されたため、乾いた状態の羊皮（含水率 0%）ならびに湿らせた状態の羊皮（含水率 120%、全乾法）を接触子部分に張って測定を行った。羊皮の含水率を決めた根拠については、羊皮にはなめし等の処理が施されており、表皮側が水分を含みにくいため、人の皮膚の水分量（20～30%）と同じ条件では同じような摩擦抵抗を再現できないと考え、実際にいくつかの水分条件の羊皮を触ってみて主観的に湿った人の皮膚に近かった含水率とした。

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 JAS1073 30)の方法のままでは小さすぎるため、底面サイズが縦横とも 2 倍の大きさである 100 mm×140 mm の木片上に 5 倍の重量である 15 kg と 35 kg の重量を乗じ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 (端から 227.5 mm、455.0 mm、682.5 mm、1137.5 mm、1365 mm、1592.5 mm) の位置、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についての報告した研究 (土井ら 1993)に準じ、たわみ量測定時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 100 mm 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。対照の床においても、歩行実験に用いた場所から 6 か所を選定して同様に測定した。

Table 1. Material properties of floor finish specimens.

Specimens	Roughness ( $\mu\text{m}$ )		Brinell hardness ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	Density ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	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

Note: 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

Note: The static coefficients of friction were measured between each specimen 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	0.465
	Ceramic-coated Japanese cypress	1.07	0.463
24 mm thick plywood subflooring	Surface consolidated Japanese cedar	0.65	0.587
	Ceramic-coated Japanese cypress	0.61	0.588
Concrete subfloor	Vinyl finishing	—	0.629

Note: 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 100 mm and bounced back.

## 2. 2. 3 生理的指標

### 2. 2. 3. 1 歩行時の下肢表面筋電図測定

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できる(岡本ら 2007)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観測できる(岡本ら 2007)ことを考慮し、内側広筋に代わり股関節の内旋、外旋に係ることが知られている大腿筋膜張筋(伊東ら 2015)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(Fig. 4)。表面筋電図は、遠隔測定が可能な簡易型表面筋電計(MWATCH-101、株式会社和田製作所)を用い、上記6か所の筋上の皮膚表面にセンサーを貼り、双極導出法により増幅率10000倍、サンプリングレート1000Hzで測定した。測定時におけるフィルタは商用電源ノイズフィルタ(50Hz)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(MWATCH Ver1.5.0.0、株式会社和田製作所)でスペクトログラム解析を行ってデータが5~500Hz以内に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(Fig. 5)。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回床面を踏むが、本実験では2回目、3回目、4回目の計3回分の着地している間(立脚相)のデータを解析の対象とした(Fig. 6)。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 :  $\mu V \cdot s$ ) 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 (Bigland *et al.* 1954)。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であると同時に、対照と比べて筋活動量が大きい ( $> 1$ ) か小さい ( $< 1$ ) かも表せる。

## 2. 2. 3. 2 歩行距離

表面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、筋活動量比が小さいという結果は少ないエネルギーで歩行できるということであり歩きやすい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。表面筋電図データと対応した歩行距離を得るため、測定は表面筋

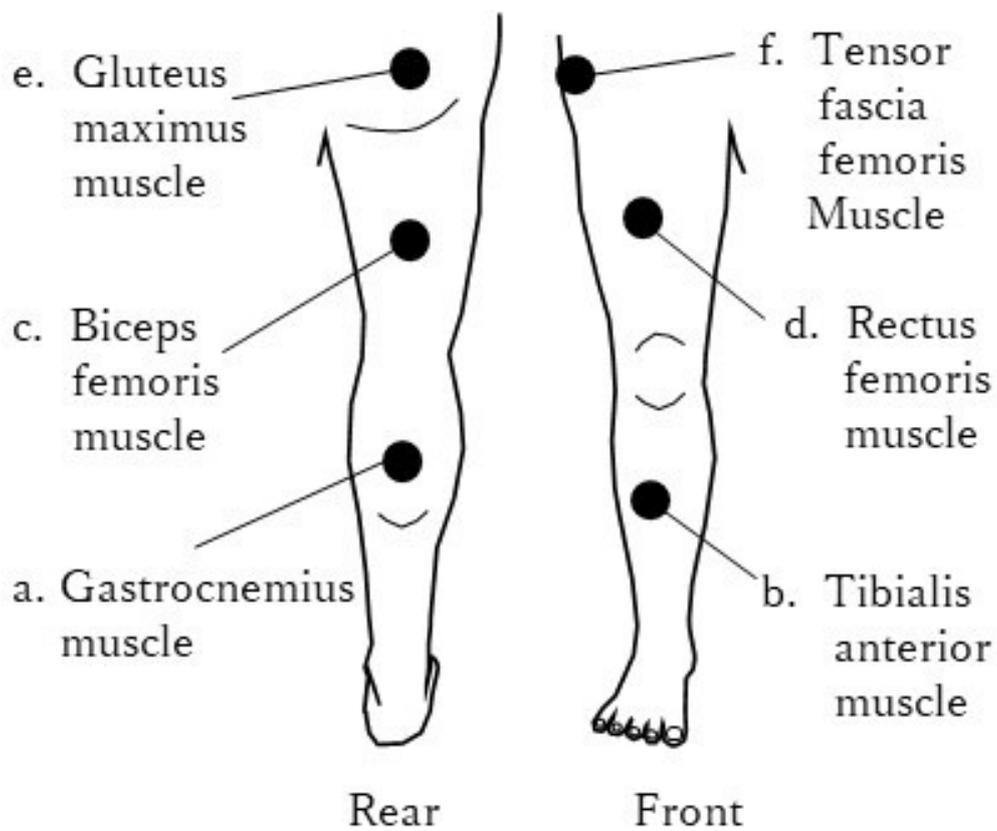


Fig. 4. Electrode attachment position of surface electromyography.



Fig. 5. Subject walking on the model floor.

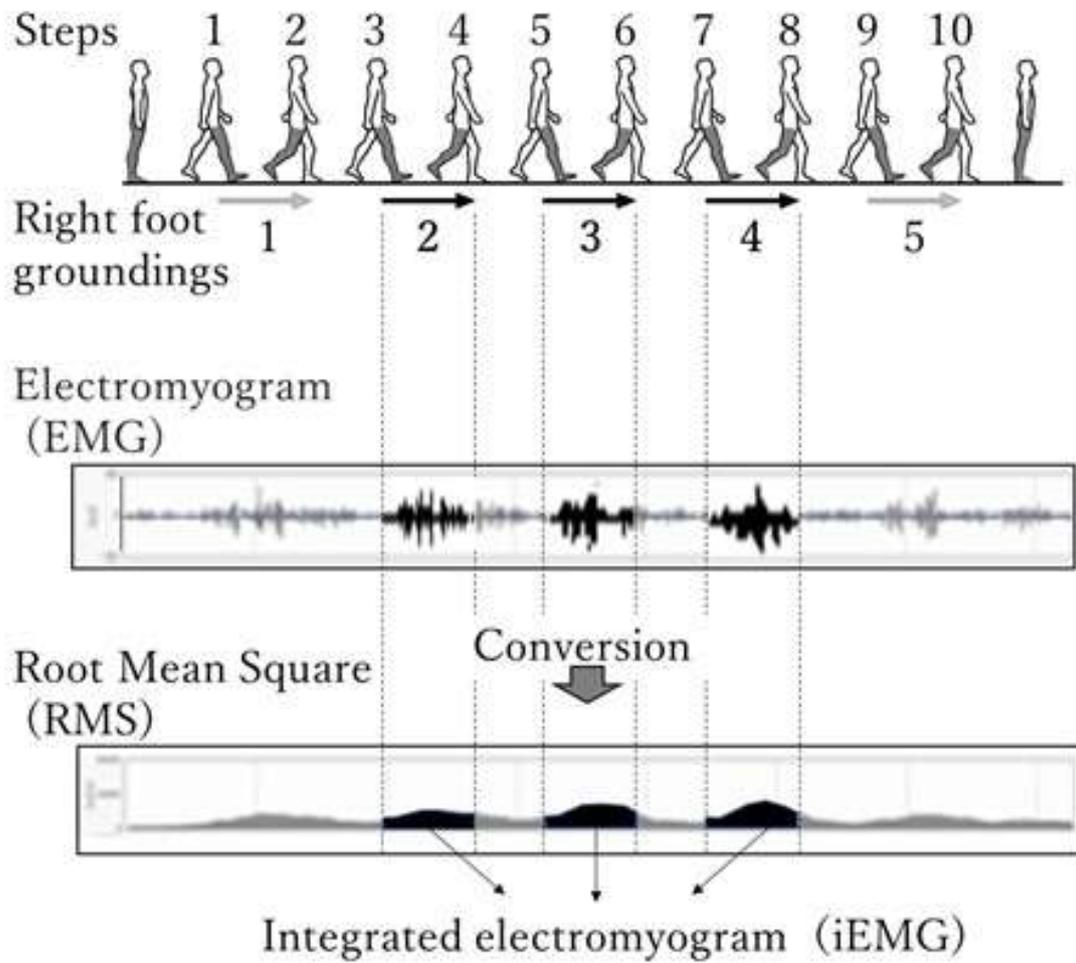


Fig. 6. Derivation of integrated electromyogram.

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. 2. 4 心理的指標

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“滑らかなー粗い”、乾湿感に関連した“乾いたー湿った”、仕上げ材の硬軟感または下地材の剛性に関連した“柔らかいー硬い”、さらに床全体の歩行感に関連した“安定したー不安定な”、“歩きやすいー歩きにくい” および“好きー嫌い”とした。評価は、例えば“好きー嫌い”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。それぞれ、滑らかな、乾いた、柔らかい、安定した、歩きやすいを正の評価、粗い、湿った、硬い、不安定な、歩きにくい、嫌いを負の評価とした。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. 2. 5 統計解析

得られた表面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。表面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、正規性が棄却されなかった。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測定部位毎に行った(第2章においては全て同じ解析方法であるため、章内では以下“二元配置分散分析”と表示する)。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、正規性が棄却された。このため、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、評価用語間の相関も求めた。

検定結果はいずれも $p < 0.05$ で有意としたが、表面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。

## 2. 3. 結果

### 2. 3. 1 歩行距離

Fig. 7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裸足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。

### 2. 3. 2 下肢表面筋電図

Fig. 8に4種類のモデル床における裸足での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対値)の平均値( $n=17$ )ならびにTable 4に床下地材と床仕

仕上げ材の二元配置分散分析の結果を示す。

腓腹筋 (a: Gastrocnemius muscle) 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、いずれもスギ・圧密仕上げ材の方が低い値であった。また、同じ仕上げ材条件で比較すると、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 (b: Tibialis anterior muscle) 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認められなかった。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 (c: Biceps femoris muscle) 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 4 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 (d: Rectus 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認められず、交互作用も認められなかった。

大殿筋 (e: Gluteus maximus muscle) 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一方で、同じ仕上げ材条件下で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認められず、交互作用も認められなかった。

大腿筋膜張筋 (f: Tensor fascia femoris muscle) 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。同じ下地材条件下での比較においてスギ・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。

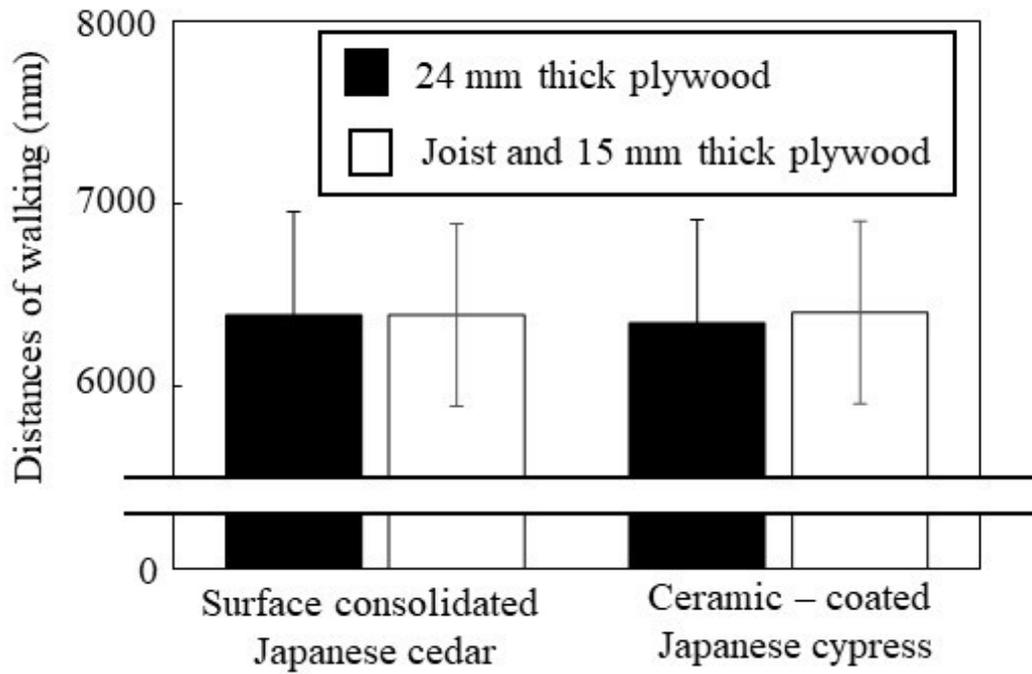


Fig. 7. Distances of walking barefoot on the model floors.

Note:  $n = 17$ . 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.

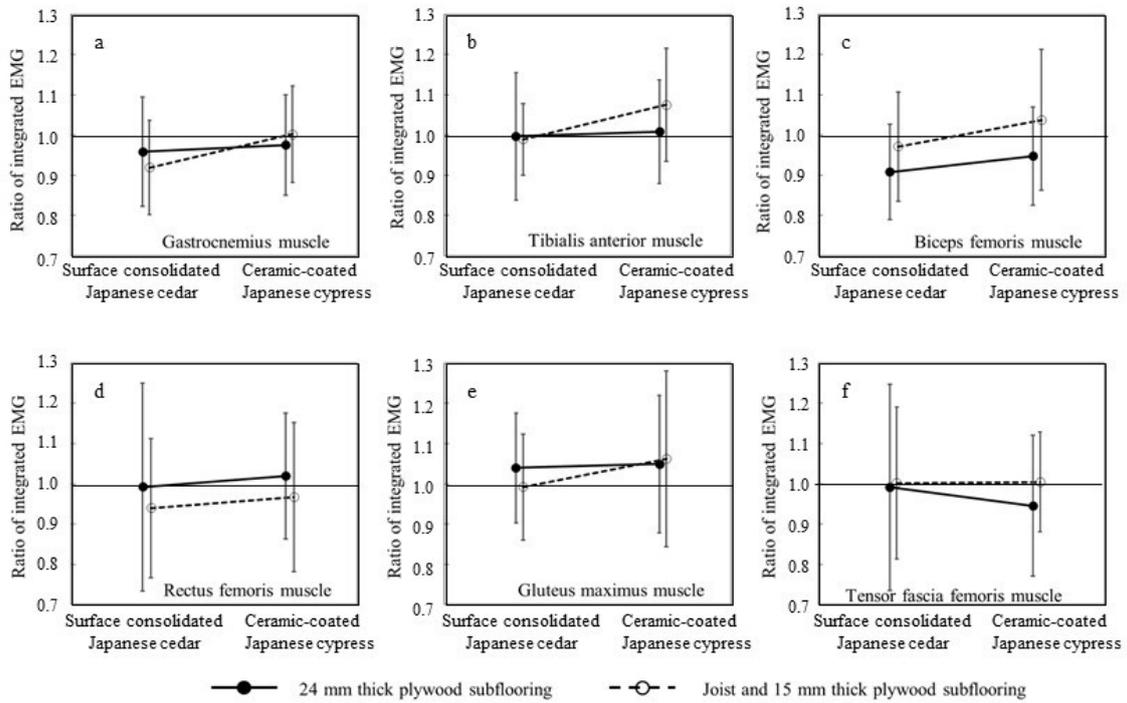


Fig. 8. Surface electromyography at the six positions of the lower limbs during barefoot walking. Note: Plots and error bars show means and standard deviations for seventeen subjects. The vertical axis represents the ratio of the integrated surface electromyogram for each model floor to the integrated surface electromyogram for the vinyl floor over the concrete subfloor as a control.

Table 4. Results of two-factor repeated measure analysis of variance in subflooring wood and finishing wood for surface electromyography measured in the barefoot walking experiment.

Electrode attachment position	Factor	<i>F</i> value	<i>P</i> value	Effect size
Gastrocnemius muscle	Subflooring	0.14	0.713	0.094
	Finishing	3.66	<b>0.074</b> †	0.479
	Subflooring×Finishing	1.73	0.207	0.329
Tibialis anterior muscle	Subflooring	2.29	0.150	0.378
	Finishing	2.96	0.105	0.430
	Subflooring×Finishing	2.50	0.133	0.395
Biceps femoris muscle	Subflooring	4.57	<b>0.048</b> *	0.534
	Finishing	3.06	<b>0.099</b> †	0.438
	Subflooring×Finishing	0.30	0.590	0.138
Rectus femoris muscle	Subflooring	1.83	0.195	0.338
	Finishing	0.52	0.481	0.180
	Subflooring×Finishing	0.00	0.998	0.001
Gluteus maximus muscle	Subflooring	0.95	0.344	0.244
	Finishing	0.39	0.540	0.156
	Subflooring×Finishing	1.24	0.282	0.278
Tensor fascia femoris muscle	Subflooring	0.41	0.531	0.160
	Finishing	1.18	0.293	0.272
	Subflooring×Finishing	1.26	0.278	0.281

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

### 2. 3. 3 Semantic Differential 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。

各評価用語間の相関関係について調べた結果、最も相関係数の高かった“歩きやすい—歩きにくい”と“好き—嫌い”との関係を Fig. 9 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”、“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。

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

Sensory terms	Surface consolidated Japanese cedar	Ceramic-coated Japanese cypress	<i>P</i> value
Smooth - Rough	0.00	1.62	<b>0.001**</b>
Dry - Wet	0.91	0.29	<b>0.021*</b>
Soft - Hard	-0.18	-0.26	0.900
Stable - Unstable	0.15	1.15	<b>0.006**</b>
Easy to walk - Difficult to walk	0.35	1.12	<b>0.012*</b>
Like - Dislike	0.38	0.85	<b>0.026*</b>

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 in the barefoot walking experiment.

Sensory terms	Joist and 15 mm plywood subflooring	24 mm thick plywood subflooring	<i>P</i> value
Smooth - Rough	0.53	1.09	<b>0.017*</b>
Dry - Wet	0.56	0.65	0.703
Soft - Hard	-0.29	-0.15	0.403
Stable - Unstable	0.38	0.91	<b>0.017*</b>
Easy to walk - Difficult to walk	0.71	0.76	0.703
Like - Dislike	0.53	0.71	0.432

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

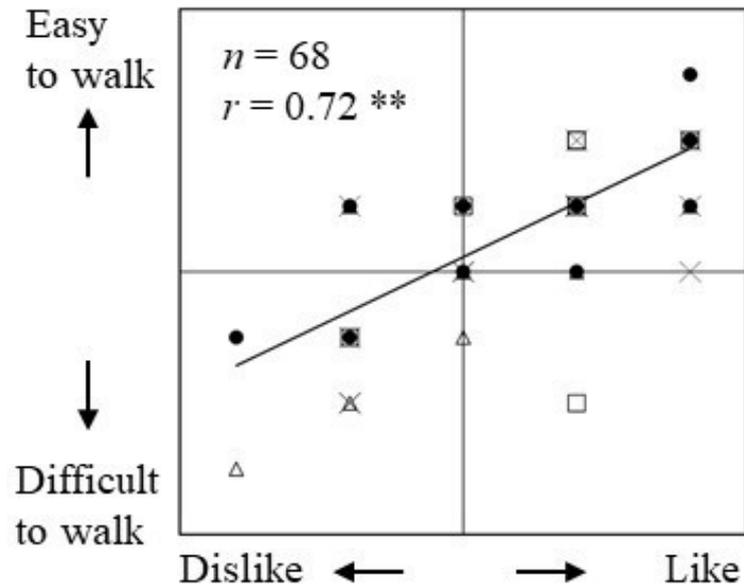


Fig. 9. Relationship between impression of “like - dislike” and impression of “easy to walk - difficult to walk” in the barefoot walking experiment.

Legend:  $\Delta$ : 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.

Note:  $n = 68$ , \*\*:  $p < 0.01$ .

A linear regression was performed between the scores of the two impressions,  $r$ : correlation coefficient.

## 2. 4 考察

### 2. 4. 1 歩行距離と下肢表面筋電図の関係

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表面筋電図、すなわち筋活動量比の結果について考察する必要がある。しかし、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、横山ら（2010）の研究のように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の差異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。

### 2. 4. 2 床仕上げ材の下肢表面筋電図への影響

表面筋電図において、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電位が低い傾向にあった。小野ら（2000）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

とからも、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要素としては、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“湿った状態の羊皮との間の静摩擦係数”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因子は“表面粗さ”あるいは“湿った状態の羊皮との間の静摩擦係数”のどちらかもしくは両方であると考えられた。

#### 2. 4. 3 床下地材の下肢表面筋電図への影響

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、これまで小野ら（1985、1987）、横山ら（2014）、福田ら（2017）や富田ら（2007、2013）、井上ら（1998、2001）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する必要がある。

#### 2. 4. 4 裸足での歩行実験における総合考察

SD法による印象評価では、仕上げ材の要因において表面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。一般に、足底は常にある程度の湿り気があることから、本研究においては“乾いた状態の羊皮との間の静摩擦係数”よりも“湿った状態の羊皮との間の静摩擦係数”の方が実際の足底と床仕上げ材との間の摩擦抵抗を反映していると考えられる。皮膚の摩擦特性について行われた研究 (Highley *et al.* 1977) 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（横山ら 1995；横山ら 2000；小野ら 2000）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表面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（大久保ら 1979；斎藤ら 2017）ことから、凹凸により圧覚を感知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の根拠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. 9 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触感の影響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（黒澤 2011）、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(2010)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表面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比の違いが非常に小

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と考えられる。

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。本研究では表面筋電図において交互作用は認められなかったが、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、表面筋電図において床下地材と床仕上げ材の相互影響が検出される可能性が考えられる。

## 2. 5 小括

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裸足での歩行時における下肢表面筋電図測定と SD 法による印象評価を行った結果、以下のことが明らかになった。

- 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した。
- 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った。

- 3) 本研究では、表面筋電図において床下地材と床仕上げ材の交互作用は認められなかった。
- 4) 印象評価では、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よりも歩きにくいと評価された。これは表面筋電図の結果とは逆の結果であり、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と考えられた。表面筋電図は、短時間の歩行における歩きやすさ感よりも、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た。

### 第3章 木質床における靴下を装着した状態での歩行が生理・心理に及ぼす影響

#### 3. 1 背景

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報告が行われている。小野ら（1982、1983、1986、1987、1988、1993、1996、1998）や横山ら（1995、2000）は履物と床材との間とのすべり抵抗係数 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、足裏で床の歩行感を直接感じ取れないため、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（1986、1987、1988、1996）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（1997）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で解析した被験者の歩行特性との関係について報告している。しかしながら、第2章の裸足での歩行実験のような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（大久保ら 1979；斎藤ら 2017）、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、前章の裸足による歩行実験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。生理的指標として、裸足による歩行実験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。

### 3. 2 材料と実験方法

#### 3. 2. 1 実験の手順

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 名は裸足での歩行実験と同じ被験者とし、6 名は新たに参加した被験者とした。手順は肢表面筋電図の測定までは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°C、相対湿度 50%RH のモデル床のある実験室に移動した。被験者に歩行方法の説明をして練習を行わせた後、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での歩行を各 1 回ずつ行わせ、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が終了した後、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。

### 3. 2. 2 モデル床と靴下

靴下履きでの歩行実験に用いたモデル床は、裸足での歩行実験と同様に、スギ・圧密仕上げ材ならびにヒノキ・セラミック仕上げ材の 2 種類の仕上げ材と、根太+合板下地材ならびに厚物合板下地材の 2 種類の下地材を組み合わせた 4 種類のものとした。また、対照としてコンクリート+ビニール床での歩行も行わせた。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圧力測定フィルムの上から被せる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%の市販品とした。Table 7 に各床仕上げ材と靴下と同じ生地との間で測定した静摩擦係数(新東科学(株)、ポータブル摩擦計 TYPE:94i-II)を示す。

### 3. 2. 3 生理的指標

#### 3. 2. 3. 1 歩行時の下肢表面筋電図測定

下肢表面筋電図測定の測定は、裸足での歩行実験と同様に、右下肢における a. 腓腹筋、b. 前脛骨筋、c. 大腿二頭筋、d. 大腿直筋、e. 大臀筋、f. 大腿筋膜張筋の 6 か所に電極を貼り、電極に繋いだケーブルが揺れないよう陸上競技用スパッツを履かせて固定し、簡易型

Table 7. Coefficients of static friction of floor finishing specimens.

Specimens	Coefficient of static friction	
	Parallel to grain	Perpendicular to grain
Surface consolidated Japanese cedar	0.347	0.411
Ceramic - coated Japanese cypress	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.

表面筋電計 (MWATCH-101、株式会社和田製作所) を用いて裸足の歩行時と同じサンプリング条件で測定した。

歩行も裸足での実験と同様に、モデル床の端に立ち、右足から出して被験者自身の楽な速度と歩幅で 10 歩歩かせ、両足をそろえて止まらせる形で実施した。右足による 2、3、4 回目の計 3 回分の立脚相でのデータについて自乗平均平方根に変換して積分値の総和を求め、対照であるコンクリート+ビニール床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) を算出し、筋活動量比として考察の対象とした点も、裸足での歩行実験と同じである。

### 3. 2. 3. 2 歩行距離

靴下履きでの歩行距離の測定についても、裸足での歩行実験と同じく表面筋電図測定時に行った歩行時の 1 回のみとし、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。

### 3. 2. 3. 3 足底圧力分布

足底圧力分布の測定には一般に床反力計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 (冨田ら 2003; 井上ら 2008; Lee *et al.* 2011; 辻内と伊藤 2014; 谷内ら 2021)。しかし、床反力計を用いた場合、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、簡易的な測定方ではあるが、本研究では若林ら (2006) による立位時のバラ

ンスに関する研究や田上ら (1984) の簡易重心の測定に関する研究ならびに荒木ら (1986) の慢性関節リウマチ足の装具療法についての研究で報告されてきた、使い捨てタイプの圧力測定フィルム (プレスケール LLLWPS、富士フィルム) 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 (辻内と伊藤 2014)。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. 10 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を着け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



Fig. 10. Attachment of pressure measurement film and foot cover.

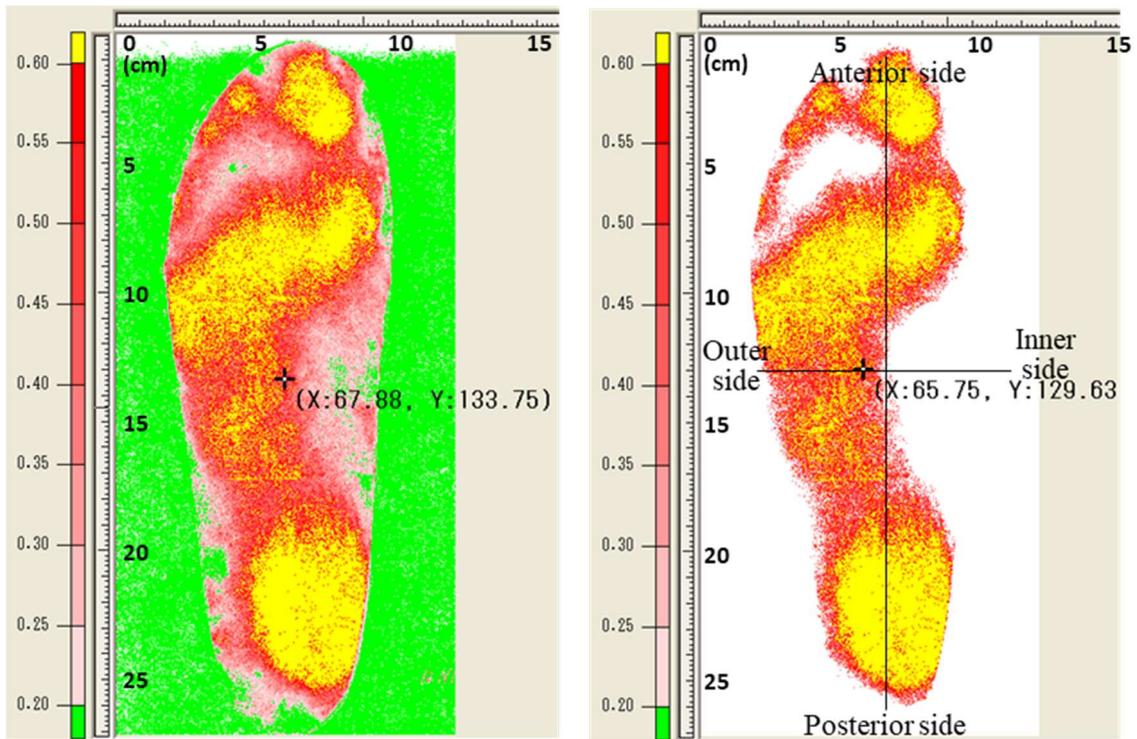


Fig. 11. Pressure images.

Notes: The image on the left was which captured by the scanner. The image on the right was the area below 4.0 MPa removed from the image on the left.

圧力が反映される。

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）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）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。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（Fig. 11）。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（圧力×面積）の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部分（被験者から見た左側）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。

### 3. 2. 4 統計解析

得られた表面筋電図、歩行距離ならびに足底圧力分布のデータについては、統計解析ソフト（IBM SPSS Statistics Version 25）を用いて解析を行った。Kolmogorov-Smirnov 検定を行った結果、いずれのデータも正規性が棄却されなかった。このため、表面筋電図、歩行距離ならびに足底圧力分布について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測定部位毎に行った（第3章においては全て同じ解析方法であるため、章内での結果ならびに考察においては“二元配置分散分析”と表示する）。表面筋電図の検定結果は裸足での歩行実験と同様に  $p < 0.10$  で有意傾向があるものとして考察の対象とした。

歩行距離においては、裸足での歩行実験にも参加した 11 名について、裸足による歩行時ならびに靴下履きでの歩行時のデータ間でモデル床毎に対応のある t 検定を行った。

### 3. 3 結果

#### 3. 3. 1 歩行距離

Fig. 12 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。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検出できなかった。17 人分の平均値において、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、6400 mm 前後であった裸足での歩行と比べると短い。しかし、全て同じ被験者での平均値ではないため、両方の実験に参加した 11 人分の平均値を求め、裸足での歩行時と靴下履きでの歩行時との間で歩行距離を比較した (Fig. 13)。

いずれのモデル床においても靴下履きでの歩行時が裸足での歩行時より低い値を示しており、対応のある t-検定を行った結果においても有意な差が認められた。11 人分の平均値では、裸足での歩行距離はいずれも 6500 mm 前後であったのに対して、靴下履きでの歩行距離は 6000 mm 前後で約 500 mm ほど短く、1 歩あたりにして歩幅が 50 mm 短いという結果であった。

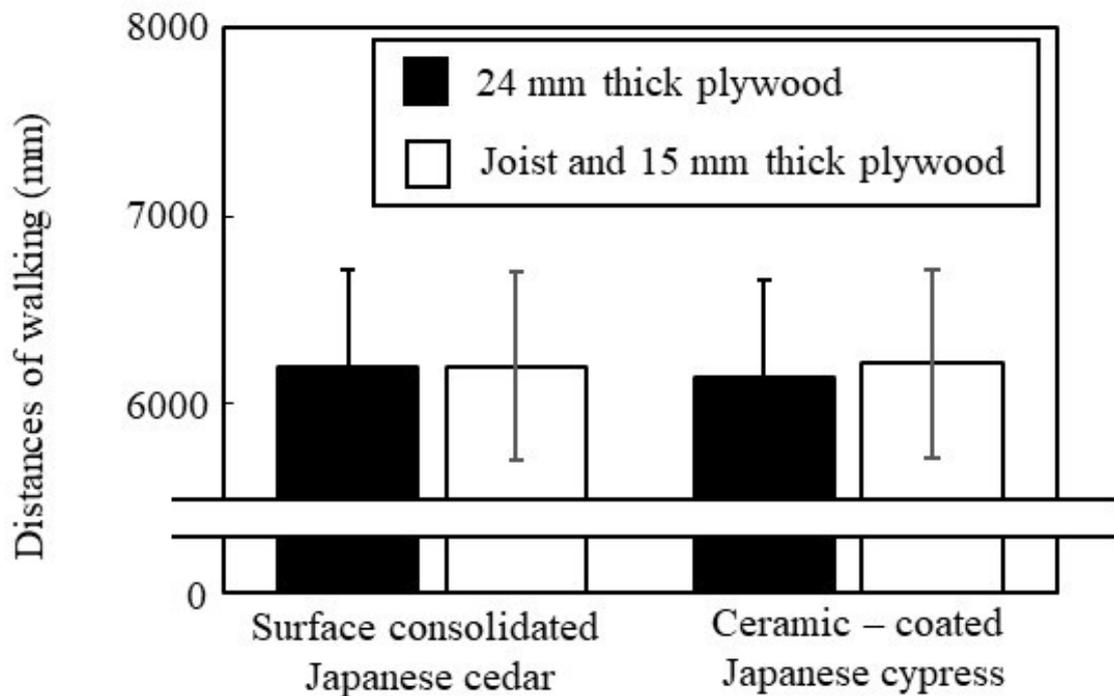


Fig. 12. Distances of walking on the model floors with socks on.

Note:  $n = 17$ . 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.

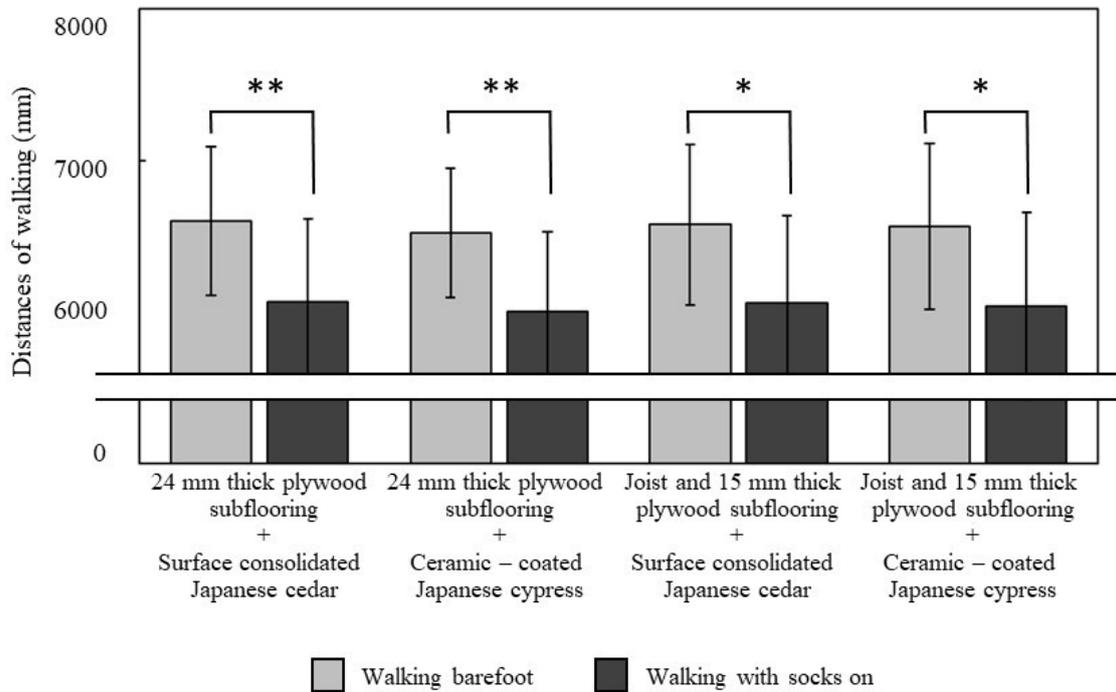


Fig. 13. Comparison of walking distances between walking barefoot and walking with socks on.

Notes: Thick bars and thin error bars show means and standard deviations for eleven subjects. Paired

t-tests were applied between walking barefoot and walking with socks on,  $n = 11$ , \*\*:  $p < 0.01$ ,

\*:  $p < 0.05$ .

### 3. 3. 2 下肢表面筋電図

Fig. 14 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（積分筋電図における対照との相対値）の平均値（ $n=17$ ）ならびに Table 8 に床下地材と床仕上げ材の二元配置分散分析の結果を示す。なお、腓腹筋（a: Gastrocnemius muscle）だけはデータの範囲が大きいため、縦軸を他の筋より広いスケールで示す。

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。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 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。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認められたため、単純主効果の検定を行った。Table 9 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有意に高かった。また、ヒノキ・セラミック仕上げ材の条件下においては、厚物合板下地材が根太+合板下地材よりも 1%水準で有意に高かった。厚物合板下地材の条件下においては、ヒノキ・セラミック仕上げ材がスギ・圧密仕上げ材よりも 1%

水準で有意に高かった。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。二元配置分散分析の結果では、仕上げの要因において 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。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検出されなかったが、両要因間において 10%水準で交互作用がある傾向がみられた。単純主効果の検定を行った結果、厚物合板下地材の条件下において 5%水準でヒノキ・セラミック仕上げ材がスギ・圧密仕上げ材よりも有意に高かった (Table 10)。

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・セラミック塗装仕上げ材がスギ・圧密化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・セラミック塗装仕上げ材がスギ・圧密化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。二元配置分散分析の結果、仕上げ材の要因において 1%水準で主効果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%水準で有意傾向が見られた。表面筋電図においては 10%水準でも考察の対象とするとしたため単純主効果についても検定を行った結果、Table 11 に示すように大腿直筋と同様に厚物合板下地材の条件下において仕上げ材の要因

で5%水準で有意差が認められた。

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・セラミック塗装仕上げ材がスギ・圧密化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。

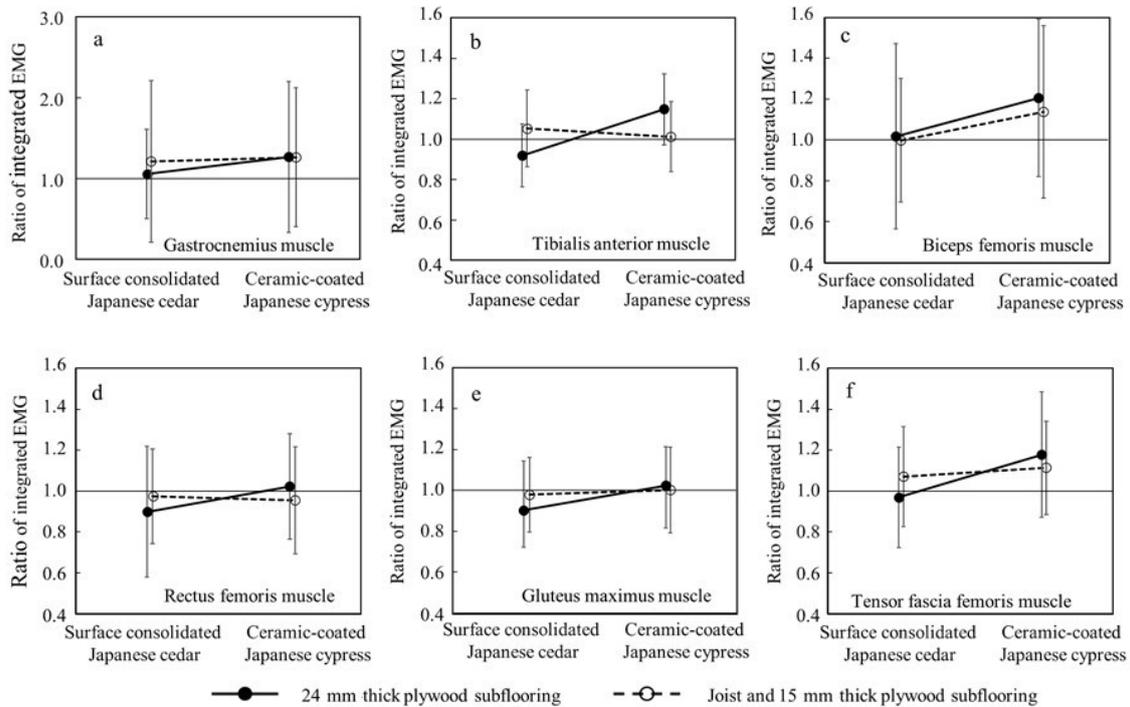


Fig. 14. Surface electromyography at the six positions of the lower limbs during walking with socks

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.

Table 8. Results of two-factor repeated measure 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	<b>0.004**</b>	0.853
	Subflooring × Finishing	1.07	0.317	0.258
Tibialis anterior muscle	Subflooring	0.08	0.788	0.069
	Finishing	8.74	<b>0.009**</b>	0.739
	Subflooring × Finishing	34.90	<b>0.001**</b>	1.477
Biceps femoris muscle	Subflooring	0.69	0.418	0.208
	Finishing	23.43	<b>0.001**</b>	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	<b>0.062†</b>	0.502
Gluteus maximus muscle	Subflooring	4.06	<b>0.061†</b>	0.504
	Finishing	6.84	<b>0.019*</b>	0.654
	Subflooring × Finishing	3.80	<b>0.069†</b>	0.488
Tensor fascia femoris muscle	Subflooring	0.13	0.726	0.089
	Finishing	9.89	<b>0.006**</b>	0.786
	Subflooring × Finishing	2.74	0.117	0.414

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

Table 9. Results of simple main effect test at tibialis anterior muscle.

Factor	<i>F</i> value	<i>P</i> value	Effect size
Subflooring at Surface consolidated Japanese cedar	12.05	<b>0.003**</b>	0.868
Subflooring at Ceramic-coated Japanese cypress	12.83	<b>0.002**</b>	0.900
Finishing at 24 mm thick plywood	44.44	<b>0.001**</b>	0.670
Finishing at Joist and 15 mm thick plywood	0.88	0.361	0.235

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

Table 10. Results of simple main effect test at rectus femoris muscle.

Factor	<i>F</i> value	<i>P</i> 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	<b>0.015*</b>	0.681
Finishing at Joist and 15 mm thick plywood	0.18	0.677	0.106

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

Table 11. Results of simple main effect test at gluteus maximus muscle.

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

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

### 3. 3. 3 足底圧力分布

床の違いにより歩行時の前後左右のバランスに違いが見られるかを明らかにするために、足底全体に対する前側ならびに左側の荷重割合をそれぞれ Fig. 15、16 に示す。前側の荷重割合はいずれのモデル床においても 60 %前後であり、二元配置分散分析においても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 (Table 12)。左側の荷重割合は 50%前後であり、上側の荷重割合と同様に二元配置分散分析において主効果ならびに交互作用は認められなかった (Table 13)。

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 Fig. 17 に示す。厚物合板下地材条件下では、スギ・圧密化仕上げ材は 1.01、ヒノキ・セラミック塗装仕上げ材は 1.00 であった。根太+合板下地材条件下では、スギ・圧密化仕上げ材は 1.04、ヒノキ・セラミック塗装仕上げ材は 1.00 であった。二元配置分散分析を行ったところ、交互作用が 1 %水準で認められた (Table 14)。このため単純主効果検定を行った結果、根太+合板下地材条件下においてスギ・圧密化仕上げ材がヒノキ・セラミック塗装仕上げ材よりも 5 %水準で有意に高いことが示された (Table 15)。

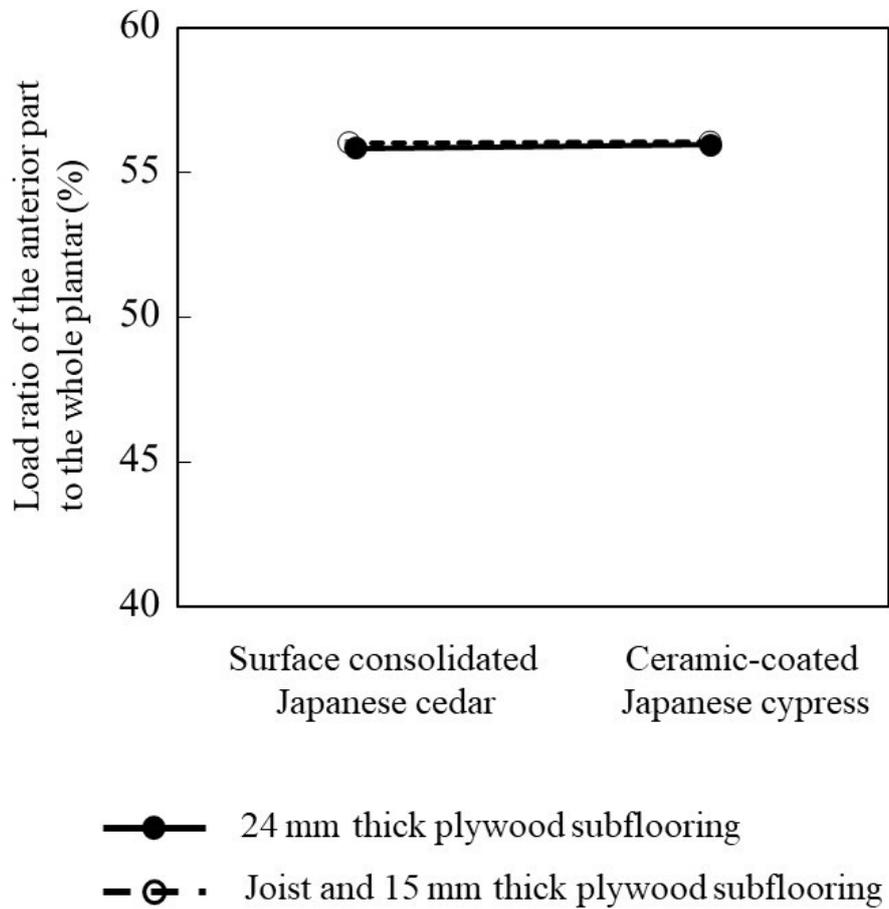


Fig. 15. Load ratio of the anterior part to the whole plantar measured by pressure measurement film during walking with socks on.

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

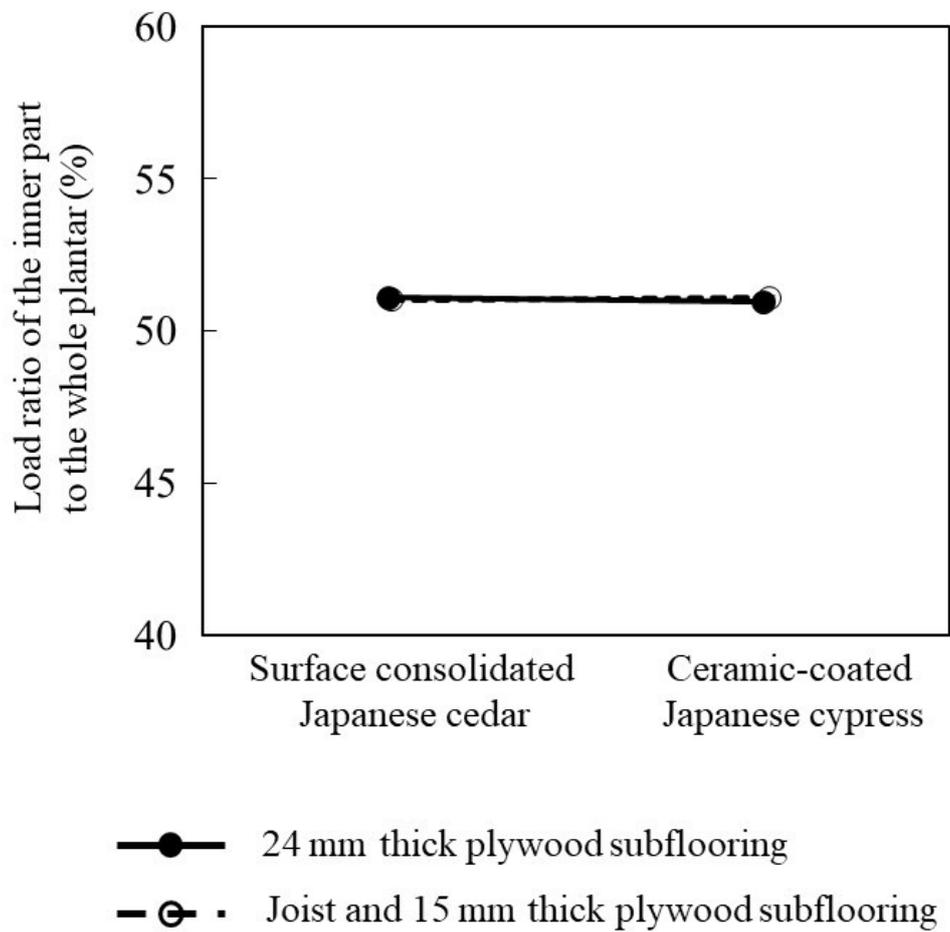


Fig. 16. Load ratio of the inner part to the whole plantar measured by pressure measurement film during walking with socks on.

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

Table 12. Results of two-factor repeated measure analysis of variance in subflooring wood and finishing wood for load on the anterior side of the plantar measured in the walking experiment with socks on.

Load area	Factor	<i>F</i> value	<i>P</i> value	Effect size
Anterior side of the plantar	Subflooring	0.84	0.384	0.305
	Finishing	0.77	0.405	0.292
	Subflooring × Finishing	0.87	0.375	0.311

Note:  $n = 10$ .

Table13. Results of two-factor repeated measure analysis of variance in subflooring wood and finishing wood for load on the inner side of the plantar measured in the walking experiment with socks on.

Load area	Factor	<i>F</i> value	<i>P</i> value	Effect size
Inner side of the plantar	Subflooring	0.02	0.900	0.043
	Finishing	0.15	0.705	0.130
	Subflooring × Finishing	0.46	0.514	0.226

Note:  $n = 10$ .

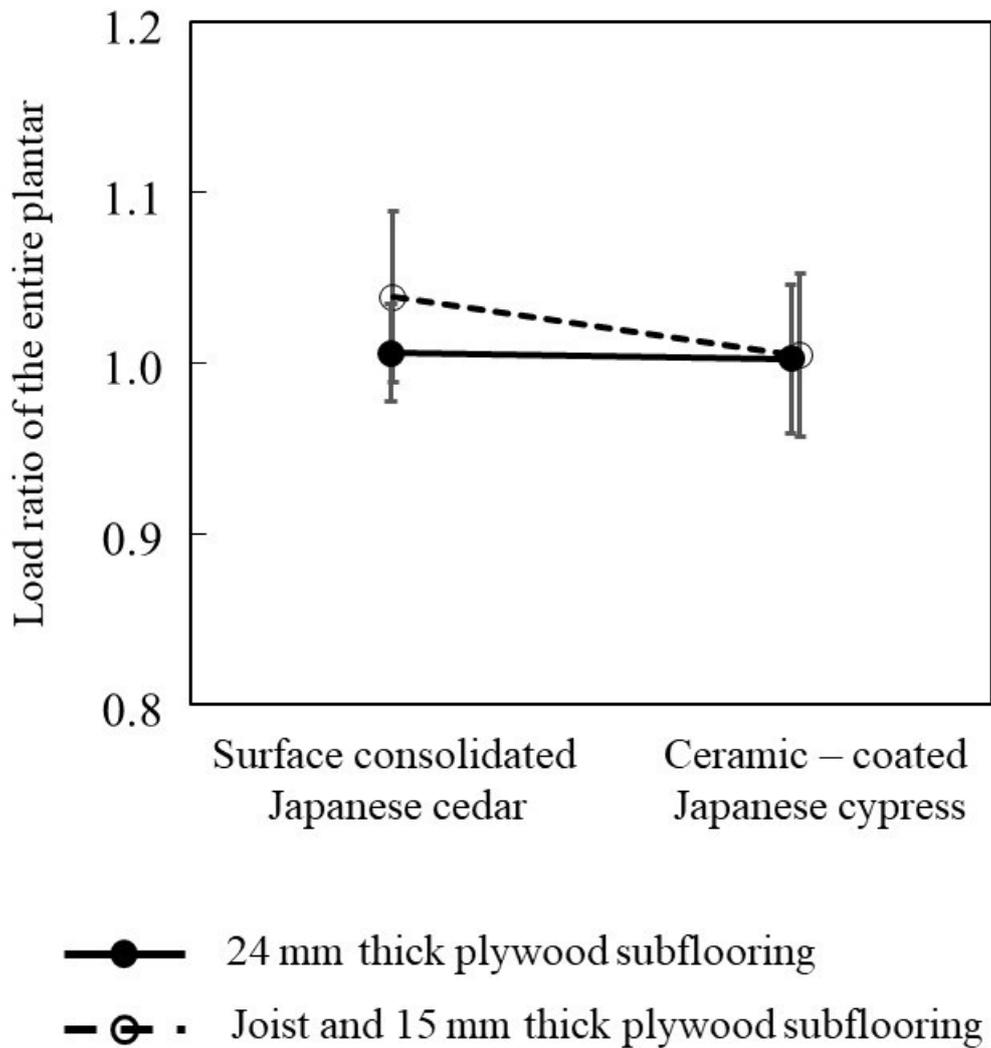


Fig. 17. Ratio of the load on the entire plantar for each model floor to the control measured by pressure measurement film during walking with socks on.

Notes:  $n = 10$ . Plots and error bars show means and standard deviations for ten subjects. The vertical axis represents the ratio of the load on the entire plantar for each model floor to the load of the entire plantar for the vinyl floor over the concrete subfloor as a control.

Table 14. Results of two-factor repeated measure analysis of variance in subflooring wood and finishing wood for load of the entire plantar measured in the walking experiment with socks on.

Load area	Factor	<i>F</i> value	<i>P</i> value	Effect size
Entire plantar	Subflooring	0.768	0.404	0.077
	Finishing	2.97	0.119	0.247
	Subflooring × Finishing	17.72	<b>0.002**</b>	0.662

Note:  $n = 10$ , \*\*:  $p < 0.01$ .

Table 15. Results of simple main effect test for the load of the entire plantar.

Factor	<i>F</i> value	<i>P</i> 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	<b>0.014*</b>	1.017

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

### 3. 4 考察

#### 3. 4. 1 歩行距離と下肢表面筋電図の関係

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表面筋電図、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が、裸足での歩行実験と同様に、靴下履きによる歩行においても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。筋活動量比は小さいほど歩行にエネルギーを必要とし、すなわち“歩きやすかった”ものとして以下考察した。

#### 3. 4. 2 床仕上げ材の下肢表面筋電図への影響

Table 8 に示すように、二元配置分散分析の結果、6 か所の筋のうち 5 カ所で仕上げ材の要因で筋活動量比に有意差がみられた。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なかったことから、仕上げ材の要因で主効果があることが示された。また、交互作用があった前脛骨筋 (Table 10) ならびに 10%水準で交互作用の傾向がみられた大腿直筋 (Table 11)、大殿筋 (Table 12) 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・圧密化仕上げ材とヒノキ・セラミック塗装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・圧密化仕上げ材がヒノキ・セラミック塗装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・圧密化仕上げ材がヒノキ・セラミック塗装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、Table 7 に示した静摩擦係数が関係していると考えられる。

裸足での歩行実験に対応して測定したスギ・圧密化仕上げ材と湿った羊皮との間の静摩擦係数が垂直方向に 0.639 (Table 2) であったのに対し、スギ・圧密化仕上げ材と靴下との間の値が 0.411、ヒノキ・セラミック塗装仕上げ材の靴下との間の値が 0.318 であった。前述したように、靴下履きでの歩行時は裸足での歩行時より歩行距離が 500 mm ほど短くなっている。安定感の印象評価において 0.15 とわずかに“安定した”と評価されたスギ・圧密化仕上げ材での裸足による歩行を想定した値よりも靴下との間の静摩擦係数がかなり低い値を示していることを考え合わせても、靴下履きでの歩行自体が滑りやすいものであり、特にヒノキ・セラミック塗装仕上げ材がさらに滑りやすかったと考えられる。これら床仕上げ材の滑りやすさの違い筋活動量比に影響を及ぼし、ヒノキ・セラミック塗装仕上げ材がスギ・圧密化仕上げ材がよりも高い値を示す結果をもたらしたと結論した。

### 3. 4. 3 床下地材の下肢表面筋電図への影響

下肢表面筋電図における二元配置分散分析の結果 (Table 8) 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あり、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、交互作用やその傾向がみられた筋における単純主効果検定では、前脛骨筋においてスギ・圧密化仕上げ材条件下ならびにヒノキ・セラミック塗装仕上げ材条件下でも床下地材間に 1%水準で有意差が認められ、大殿筋においてスギ・圧密化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主効果が認められなかったのは、Fig. 14-b で示されるようにグラフが交差し

ており、スギ・圧密化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・セラミック塗装仕上げ材条件下では厚物合板下地材が有意に高くなったためである。また、交互作用がみられた大腿直筋においては、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・圧密化仕上げ材がヒノキ・セラミック塗装仕上げ材よりも高い値を示した。Fig. 14 に示すように、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・セラミック塗装仕上げ材がスギ・圧密化仕上げ材よりも高い値を示したのに対し、根太+合板下地材条件下では傾斜が緩く、特に前脛骨筋ならびに大腿直筋においては、前述の通り根太+合板下地材においてスギ・圧密化仕上げ材がヒノキ・セラミック塗装仕上げ材よりも高い値となるという逆の傾向を示した。これらの結果が示すように、床仕上げ材が靴下履きでの歩行時の下肢表面筋電図に主に影響する中で床下地材は副次的に影響を及ぼしているものと考えられる。

#### 3. 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、身体疾患の患者を対象としたもの (Lee *et al.* 2011; 谷内 2021) や高齢者を対象としたもの (井上ら 2008) 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積算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（若林ら 2006；井上ら 2008）、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（横山ら 1995）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。

### 3. 4. 5 靴下を装着した状態での歩行実験における総合考察

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・圧密化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・セラミック塗装仕上げ材の方が低くなるなど複雑な結果となった。この原因については、床仕上げ材毎に床仕上げ材間の比較を行っていくことで検証する。

ヒノキ・セラミック塗装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+合板下地材の方が筋活動量は低い。反対に、スギ・圧密化仕上げ材条件下においては大腿二頭筋を除いては5つの筋において厚物合板下地材の方が筋活動量は低い。前者のヒノキ・セラミック塗装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・セラミック塗装仕上げ材では足を後ろに蹴り出す時の取っ掛かりが無く、前へ進む上での推進力は摩擦抵抗のみに依存する。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設置している床面とその他の床面に角度が出来て足を後ろに蹴り出す時に取っ掛かりとなり力が伝わりやすくなっている可能性が考えられる。後者のスギ・圧密化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としたと考えられる。たわみが作り出す取っ掛かりについては、凹凸があって取っ掛かりとなっているスギ・圧密化仕上げ材ではあまり影響が無いだろう。一方で、靴下を履いている状態でも凹凸が感知できるスギ・圧密化仕上げ材では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、剛性が低い根太+合板下地材の不安定さがより感知されやすかったと考えられる。

足底圧力分布測定の結果については、表面筋電図の結果と良く対応していた。根太+合板下地材条件下において、スギ・圧密化仕上げ材がヒノキ・セラミック塗装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筋活動量比では有意差が認められなかったが、2カ所

の筋でスギ・圧密化仕上げ材がヒノキ・セラミック塗装仕上げ材より高い値を示しており、ヒノキ・セラミック塗装仕上げ材がスギ・圧密化仕上げ材よりも高かった 4 カ所の筋においても、そ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・圧密化仕上げ材が、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・圧密化仕上げ材において 1.04 であり、ヒノキ・セラミック塗装仕上げ材は 1.00 でその差 0.04 と非常に小さいものであったが、10 人の被験者中 9 人でスギ・圧密化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、一貫した効果であるといえる。

### 3. 5 小括

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) 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、靴下履きでの歩行時における下肢の負担を有意に低減した。
- 2) 床下地材の要因において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、床下地材は下肢に対して副次的に影響していると考えられた。

- 3) 足底圧力分布においては、厚物合板下地材条件下におけるスギ・表面圧密化仕上げ材で、足底全体の荷重が有意に高くなることが示された。足底全体の荷重の結果は筋活動量比の結果とよく対応しており、平滑なヒノキ・セラミック塗装床仕上げ材の方が凹凸のあるスギ・圧密化仕上げ材よりも下地が低剛性の根太＋合板下地材である場合において歩行しやすいことが明らかになった。

## 第4章 木質系床材の歩行快適性に影響を及ぼす要素についての総合考察

### 4.1 現代の生活様式からみた木質系床材の歩行快適性についての考察

本研究では、裸足ならびに靴下履きでの歩行実験を通して、仕上げ材としては凹凸のあるスギ・圧密化仕上げ材、下地材としては中程度の剛性を持った24mm厚物合板下地材が歩きやすいという結果が得られた。人は足底の皮膚感覚も利用してバランスを調整しているため床の凹凸が歩行快適性に寄与すること、ならびに非常に剛性の高い床や剛性の低い床よりも中程度の剛性を持つ床が安定感を感じさせ歩行快適性に寄与することが示された。しかしながら、歩きにくいという結果になった平滑なヒノキ・セラミック塗装仕上げ材も、接触感を含めた印象評価において好まれていることが示されており、歩き回るよりも座ってくつろぐ機会の方が多き居間などには向いている可能性がある。また、低剛性の根太+合板下地材条件下ではスギ・圧密化仕上げ材も歩きにくいという結果になったが、これも床衝撃音や歩行振動、住宅の耐震強度の問題から床の剛性は高まっている現代では大きな問題にならない可能性がある。

### 4.2 歴史からみた木質系床材の歩行快適性についての考察

歴史ドラマや映画などで見られるように、昔の日本では戦国時代までは侍の身分でも住宅は木床が一般的で、屋内においては裸足で生活することが多かった。現代の靴下に相当するものとしては足袋があったが、江戸時代初期までは革足袋が一般的で、木綿の足袋は1657年の明暦の大火により輸入に頼っていた原料の革が不足してから普及しはじめた（石元1963；書上1979）。足袋を実際に履いたことがある人なら経験しているが、足袋を履い

て木床を歩くと本実験の靴下でヒノキ・セラミック塗装仕上げ材の上を歩くのと同じように非常に滑りやすく感じる。しかし、この木綿足袋が普及しはじめた頃と時期を同じくして畳が住宅における床の主流となっている。本実験で乾いた羊の革と木床との静摩擦係数が0.6程度であったのに対し、靴下の生地と木床との静摩擦係数が0.3~0.5の間で滑りやすい条件であったことを考えると、木から畳への床の変化が木綿足袋と関連しているのではないかと推察できる。特に、昔の床は木が無垢のまま表面も現代ほど平滑にされていないまま使われており剛性も高くないことを考えると、本実験でのスギ・圧密化仕上げ材と根太+合板下地材の組み合わせに近いと思われることから、この上で木綿足袋を履いて歩くのは慣れが必要であったといえるだろう。このように、住宅における床の変遷に伴い、日本人の屋内における歩行の条件も変化してきている。再び木床が主流となった現代において、木質系床材の歩行快適性に影響を及ぼす因子を明らかにした本研究の結果は、住居環境が生活に及ぼす影響の可能性を定量的に示している。

#### 4. 3 木質系床材の歩行快適性研究における今後の見通し

本研究では、これまで行われてこなかった床の歩行快適性を生理的・心理的な側面から明らかにするために多少極端ともいえる材料条件を用いた。例えば、本実験では陶器に似た表面性状となるセラミック塗装を用いたため非常に滑りやすい仕上げ材となったが、一般にはウレタン塗装のような平滑でも静摩擦係数が高く滑りにくい塗装の方が多く用いられている。スギの表面圧密化は本来、柔らかく傷つきやすいスギの表面の密度を上げ硬化させるための技術で、年輪の凹凸が強調されるのは副次的な効果であり、同じような硬さの無垢材

を用いた一般的な床仕上げ材ではこれほどの凹凸は無い。しかしながら、仕上げ材表面の凹凸や滑りやすさが人の皮膚感覚を通して歩行に及ぼす影響を明らかにできたこと、さらには床下地材の剛性も歩きやすさに影響するのと同時に床仕上げ材の影響を変化させることを明らかにできたことは、これからの床材の開発ならびに用途の拡大に活用できるだろう。今後は、床の歩行快適性が特に重要と思われる場所、例えば高齢者の介護施設や乳幼児の保育施設などを対象とした調査研究や実験を行い、実社会で床材に求められる性能をより詳細に明らかにしていくことが重要であると思われる。

## 第5章 結言

本研究では、木床における床仕上げ材表面の凹凸や滑りやすさ、床下地材の剛性が歩きやすさに影響することを、人の生理的・心理的な両側面から明らかにした。木床の仕上げ材表面の凹凸や滑りやすさは木材の組織構造や材質に由来しており、床下地材の剛性は木材の強度の指標の一つである。すなわち、本研究は、木材分野における研究の蓄積に生理的・心理的研究手法を融合させることで、より豊かな木材利用のための知見が得られることを示せた。

これまでの床材の研究は、均一な品質が求められる工業製品としての視点からバラつきの少ない材料を対象としたものが中心であり、無垢の木材のような材料は避けられる傾向にあった。しかしながら、バラつきが大きいことは、同じように加工されていても、どれも個性を持った唯一のものであることでもあり、木材の良さの一つであるといえる。地球環境保全が喫緊の課題となっている現代では、再生産可能な生物材料である木材を再評価する声は高まっているが、人との関係から見た木材の良さは十分に評価されているとはいえない。木材が人にやさしい材料としての正当な評価を得ていくには、機械的に性質を比較するだけでなく、人の生理と心理を通して評価することが重要になるだろう。

## 謝 辞

本研究を遂行するにあたりまして、主査を引き受けて頂きご指導賜りました九州大学大学院農学研究院の久米篤教授には、深甚なる謝意を表します。九州大学大学院農学研究院の松村順司教授には、本論文の作成にあたり多くの有益なご意見と貴重なご助言を頂きましたことに、深く感謝申し上げます。九州大学大学院農学研究院の古賀信也教授には、副査を引き受けて頂くとともに、本論文の作成にあたり特に取りまとめの段階で多大な力を貸して頂きましたことに、深く感謝申し上げます。そして、本研究を進めるに際し、副査を引き受けて頂くとともに、ご支援をいただいた九州大学大学院農学研究院の藤本登留准教授、長谷川益己助教、阪上宏樹助教に厚くお礼を申し上げます。

社会人課程で学位を取得するにあたっては、職場である森林研究・整備機構森林総合研究所の皆様には多大なご協力を頂きました。特に、所属先である構造利用研究領域におきましては、私の博士課程在籍期間における構造利用研究領域長を務めてこられた原田寿郎氏、軽部正彦氏、原田真樹氏、杉本健一氏、ならびに木質構造居住環境研究室主任研究員の宇京斉一郎氏には、学位取得にあたって多大なサポートを頂き、深く感謝申し上げます。

## 引用文献

- 荒木 義雄, 黒田 康二, 山下 信哉, 中村 明生, 高岸 直人 (1986) プレスケールを用いた RA 足の装具療法についての試み, 日本義肢装具学会誌 2 (1), 35-39.
- Bigland, B., Lippold, O. C. J. (1954) The relation between force, velocity and integrated electrical activity in human muscles. *J. Phys.* 123 (1), 214-224.
- 土井 正, 宮野道雄, 綿貫茂喜, 中根芳一 (1993) 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.
- 福田眞太郎, 濱田英明, 横山 裕 (2017) 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.
- Highley, D. R., Coomey, M., DenBeste, M., Wolfram, L. J. (1977) Frictional properties of skin. *J. Invest. Dermatol.* 69 (3), 303-305.
- Ikei, H., Miyazaki, Y. (2020) Positive physiological effects of touching sugi (*Cryptomeria japonica*) with the sole of the feet. *J. Wood Sci.* 66, 29.
- 井上勝夫, 木村 翔, 平光厚雄, 矢後佐和子, 渡辺秀夫 (1998) 歩行感から見た住宅床の感覚評価に関する研究 歩行感から見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.
- 井上 勝夫, 木村 翔, 矢後 佐和子 (1999) 行動別に見た住宅床のかたさ感覚評価に関する研究. 日本建築学会計画系論文集, 64 (521), 25-31.
- 井上勝夫, 木村 翔, 富田隆太 (2001) 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.

井上裕美子, 大須賀美恵子, 橋本 渉, 中泉文孝 (2008) 足底圧プレートを用いた高齢者の  
バランス機能と歩行の特徴の抽出. 生体医工学 46 (1), 109-116.

石元明 (1963) 近世履物史の研究-1-足袋に関する研究. 雄山閣出版.

伊藤正憲, 高橋優基, 嘉戸直樹 (2015) 歩行時の方向転換動作. 関西理学 15, 23-27.

伊東理恵, 今井範子 (1998) 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.

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 (2010)  
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.

Jonsson, N. (2006) Increasing the competitiveness of wood in material substitution: A method  
for assessing and prioritizing customer needs: J. Wood Sci., 52, 54-162.

黒澤美枝子 (2011) 11 体性感覚の経路. “ギャノン生理学 原書 23 版”, 丸善株式会社,  
pp 205-213.

Lee, J. H., Fell, D. W., Kim, K. (2011) Plantar pressure distribution during walking:  
comparison of subjects with and without chronic low back pain. J. Phys. Ther. Sci. 23  
(6), 923-926.

増山英太郎, 小林繁雄 (1989) センソリー・エバリュエーション—官能検査へのいざない  
—, 垣内出版株式会社.

三澤安広, 神野義紀, 菅野誠吉, 杉山貴行, 菅野安市 (1999) 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.

森川 岳, 松村順司 (2023) 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.

森川 岳 (2023) 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-. 木材学会誌 69 (4), 155-167.

日本規格協会 (2009) JIS Z 2101, 木材の試験方法.

日本規格協会 (2013) JIS B 0601, 製品の幾何特性仕様 (GPS) - 表面性状..

西山卯三 (1980) IX 農家. “日本のすまい III”. 勁草書房, pp 7-23.

農林水産省 (2019) JAS1073-2019, フローリング.

岡本 勉, 岡本香代子 (2007) 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, pp 6-7.

岡野 健 (1997) 木材と感性 3 触感覚と木材. “材料” 46 (9), 1112-1117.

小野英哲, 宮木宗和, 河田秋澄, 吉岡丹 (1982) 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第 321, 1-8.

小野英哲 (1983) 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試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第 333, 1-7.

小野英哲, 河田秋澄, 宮木宗和, 川村清志, 小西敏正, 三上貴正, 橋田浩, 吉岡丹 (1984) 床のすべりおよびその評価方法に関する研究その3 すべり試験機の設計・試作. 日本建築学会論文報告集第 346, 1-8.

- 小野英哲, 横山 裕, 大野隆造 (1985) 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.
- 小野英哲, 須藤 拓, 三上貴正 (1986) 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.
- 小野英哲, 武田清, 永田久雄 (1987) 階段各部分のすべり抵抗の測定, 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第 373,  
19-26.
- 小野英哲, 武田清, 三上貴正, 大野隆造 (1988) 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  
構造系論文報告集第 383, 1-7.
- 小野英哲, 北山大, 高橋宏樹 (1993) 安全性からみた斜路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第 448, 11-18.
- 小野英哲, 長塚由美子, 中沢郁子 (1995) 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.
- 小野英哲, 高橋宏樹, 泉讓太, 高橋成明 (1996) 高齢者の安全性からみた床および斜路のす  
べりの評価方法の提示. 日本建築学会構造系論文集第 484, 21-29.
- 小野 英哲, 井戸川 純子, 吉田 佳代 (1998) 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.

小野英哲, 高橋宏樹, 森山朋世, 金森克彦 (1999) 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.

小野英哲, 高橋宏樹, 安田 稔, 国生正人 (2000) 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.

小野英哲, 落合 昇 (2000) 素足での床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 537, 21-26.

大久保 仁, 渡辺 勲, Baron, J.B. (1979) 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.

Osgood, C.E., Suci, G., & Tannenbaum, P. (1957) The measurement of meaning. Urbana, IL: University of Illinois Press.

齋藤誠二, 正木良典, 村上智大 (2017) 足底への刺激と立位安定性の関連. 人間工学 53 (Supplement 1), S138-S139.

佐々木直人, 有川 智, 三橋博三, 野村希晶, 小野英哲, 三上貴正 (1997) 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.

設楽稔那子, 吉田宏昭, 上條正義, 藤巻吾朗, 山口穂高 (2017) 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.

書上 誠之助 (1979) 石底(いしぞこ)-足袋の生い立ち-. 繊維学会誌 35 (10), 291-295.

末吉修三, 森川 岳 (2016) 事務所の内装に使われた木材によってもたらされる視覚的影響—聞き取り調査の多次元尺度構成法による解析—: 木材学会誌, 62 (6), 311-316.

高島浩介 (2006) 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.

谷内幸喜, 河崎由美子, 木原幸太 (2021) 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.

田上 容祥, 酒匂 崇, 鈴木 悠史, 室屋 誠, 野口 義夫, 吉留 鶴久, 松本 玲子, 中西 賢二

(1984) プレスケールによる簡易重心の測定, 整形外科と災害外科, 33 (2), 503-505.

富田隆太, 井上勝夫, 川又周太 (2003) 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.

富田隆太, 井上勝夫 (2007) 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.

富田隆太, 井上勝夫 (2013) 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.

辻内伸好, 伊藤彰人 (2014) 特集③: 人間工学のための計測手法 第 1 部: 動作計測 (3)

ー力覚センサによる動作計測ー. 人間工学 50 (5), 243-255.

Tsunetsugu, Y., Miyazaki, Y., Sato, H., (2007) Physiological effects in humans induced by the

visual stimulation of room interiors with different wood quantities: J. Wood Sci., 53, 11-

16.

宇京齊一郎, 増田 稔, 秋山演亮 (2000) 床の衝撃応答特性と歩行感の関係. 木材工業 55

(4), 159-164.

若林克彦, 村山 仁, 森嶋宏和, 児玉知明, 本田康裕 (2006) 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.

横山 裕, 小野英哲, 稲垣太郎, 高橋宏樹 (1995) 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

横山 裕, 伊藤仁洋, 高橋宏樹, 小野英哲 (1999) 対象動作の選定および着地すべり試験機の荷載条件の設定 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1. 日本建築学会構造系論文集 516, 37-44.

横山 裕, 伊藤仁洋, 高橋宏樹, 小野英哲 (2000) 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.

横山 裕, 高橋宏樹, 横井 健 (2010) 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.

横山 裕 (2013) 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.

横山 裕, 福田真太郎 (2014) 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.