

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K14296

研究課題名（和文）立ち仕事による下肢の疲労からみた床の性能評価方法の確立

研究課題名（英文）Evaluation Method of Floor Hardness from the Viewpoint of Physical Fatigue Due to Long Standing Work

研究代表者

福田 真太郎（Fukuda, Shintaro）

東京工業大学・環境・社会理工学院・准教授

研究者番号：50781887

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：長時間の立ち仕事による身体の疲労について床のかたさに着目し、身体の疲労からみた床のかたさの評価方法を確立することを目的に研究を行った。具体的には、かたさが異なる複数の床上で、立ち仕事を模擬した動作を長時間実施してもらい、疲労度合いを回答してもらった官能検査を実施した。また、官能検査を実施した複数の床を対象に、身体の疲労と関連があると予想される既存の性能値を測定した。官能検査によって得られた回答から構成した心理学的尺度と、測定した性能値の関係を検討した結果、座ったり寝転んだりする際に感じる床のかたさを表す性能値 D_c が、身体の疲労からみたかたさを表す性能値としても適用可能であることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我が国では高齢化が進行しており、介護従事者の不足が問題となっている。介護従事者は勤務中、被介護者の不測の事態に備えて常に座ることなく立ったり歩いたりしており、それによる身体の疲労は大きい。本研究では、そのような立ち仕事による身体の疲労を床のかたさによって軽減する可能性を探る目的で、床のかたさと身体の疲労の関係について検討した。その結果、疲労からみた床のかたさには最適値が存在していることが明らかとなった。介護施設等でかたさが最適な床を選定すれば、介護従事者への負担を軽減することができ、我が国における介護従事者の不足を間接的に解消する一助となると考えられる。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to establish a method for evaluating floor hardness from the perspective of physical fatigue. Specifically, a sensory test was conducted in which participants were asked to perform actions simulating standing work for long periods of time on several floors with different hardness, and then to respond to their level of fatigue. In addition, existing performance values that are expected to be related to physical fatigue were measured for the several floors on which the sensory test was conducted. As a result of examining the relationship between the psychological scales constructed from the responses obtained from the sensory test and the measured performance values, it became clear that the performance value D_c , which represents the hardness of a floor felt when sitting or lying down, can also be used as a performance value that represents hardness from the perspective of physical fatigue.

研究分野：建築部位の性能評価

キーワード：長時間の立ち仕事 かたさ 身体の疲労 官能検査 性能値 評価方法

1. 研究開始当初の背景

近年、高齢者施設や介護施設などにおいて、介護従事者が身体の疲労を訴える事例が増加している。介護従事者の身体の疲労は、自分以外の体重を支える必要がある介助動作を行う場合などにおいて、間接的に事故を引き起こす原因となる可能性がある。疲労の程度は、施設内の空調環境、介助動作の種類・頻度、着衣や履物など、様々な要因によって左右されるが、勤務中に長時間常に立ったり歩いたりしている状態(以降“立ち仕事”と記す)であることも大きい。ここで、立ち仕事による身体の疲労に影響する床の性能の一つとして、かたさが挙げられる。特に、高齢者施設や介護施設などの床は、くつを脱いで使用する床(以降“上足床”と記す)であるため、かたさの影響を受けやすく、設計段階での配慮がより必要と思われる。

現在、高齢者施設や介護施設などの床をかたさの観点から設計、選択する際は、既に性能評価方法が確立されている“転倒衝突時の安全性¹⁾”や“車椅子の走行性²⁾”の観点から行われることが多い。一方で、立ち仕事による身体の疲労からみたかたさについては、これまでいくつかの検討がなされているものの妥当な性能評価方法が確立されているとは言いがたく、その重要性が認識されながらも床の設計、選択が行えない現状である。例えば、疲労からみた床のかたさを検討したものと、小野ら³⁻⁴⁾による居住性からみた床のかたさの評価方法が挙げられる。これは、床で歩行を行った際のかたさの適性ととも、長時間動作を続けた際に予測される疲労も評価できることを明らかにしている。しかし、この結果は短時間の動作からの予測に基づいたものであり、実際に長時間の歩行を行った際の疲労への適用性については十分に検討されていない。

2. 研究の目的

本研究は、長時間の立ち仕事による疲労からみた床のかたさの評価方法を確立することを最終的な目的とする。疲労しにくい床材の具体的な開発、設計は研究の範囲外とする。

本研究で対象とする床の性能は、長時間の立ち仕事による疲労に影響する床のかたさとする。かたさと同様に疲労に影響すると思われる床のすべりや足元の冷えなどを対象とした検討、およびそれらとかたさを複合した検討は今後の課題とし、本研究では対象外とする。また、床の性能以外で疲労の程度を左右する要因となり得る、空調環境や着衣、履物の種類、また介助動作によって生じる疲労については考慮しないものとする。

3. 研究の方法

本報における研究方法は、以下の通りである。

- 1) かたさが多様となるように複数の試料床を選定し、床のかたさを表す性能値を測定する。
- 2) 1)で選定した試料床を施工した歩行路上で、検査員に立ち仕事の模擬動作を実施させ、疲労に関する官能検査を実施する。得られた検査結果に基づき、尺度構成手法にしたがい心理学的尺度を構成する。
- 3) 1)で測定した性能値と 2)で構成した心理学的尺度の関係を検討し、既存の性能値の適用性を検討するとともに、長時間の立ち仕事による身体の疲労からみた床のかたさの評価方法を検討する。

4. 研究成果

まず、実在する、あるいは今後開発されると思われる床のかたさの範囲を十分に包含するように留意して、直貼り床 8 種を試料床として選定した。選定した試料床を対象に、床のかたさを表す性能値として以下の 3 種を測定した。

- ・居住性からみた歩行時のかたさ $T^{3-4)}$
- ・足元の安定性からみた歩行、立位時のかたさ $S^5)$
- ・快適性からみた上足床特有の動作時のかたさ $Dc^6)$

続いて、表 1 に概要を示す、身体の疲労に関する官能検査を実施した。ここで、官能検査時に行う立ち仕事の模擬動作を設定する際、複数の介護従事者を対象に、勤務時の動作状況についてヒアリングを実施した。その結果、被介護者を介助する動作を行う時以外は、被介護者の不測の事態に備えて常に立ったり歩いたりしているとの回答を得た。すなわち、このような立ち仕事の際には、

表 1 官能検査の概要

尺度構成手法	系列範ちゅう法		
	いたさ尺度	張り感覚尺度	疲労尺度
構成する尺度	現時点で、(膝,足首,足裏)のいたさを	現時点で、(大腿(ふともも), 下腿(脛,ふくらはぎ)の張りを	現時点で、下肢の(脚,足)の疲労を
質問事項	非常に感じる … かなり感じる … やや感じる … まったく感じない	非常に感じる … かなり感じる … やや感じる … まったく感じない	非常に感じる … かなり感じる … やや感じる … まったく感じない
判断範ちゅう			
動作	100BPM歩行5分+立位10分を1サイクルとした計8サイクル(計120分)		
回答のタイミング	動作時間15分ごとに回答(計8回)		
検査試料	試料床8種 × 動作時間 8種 = 64種		
検査員	成人男女19名(年齢21~30歳,身長152~185cm,体重40~80kg)		
履物	くつおよび長スポンジャージ		

歩行と立位が繰り返し行われていることがわかる。以上を踏まえ、本研究では歩行と立位を交互に繰り返す動作を基準として、最適な模擬動作を設定すべく予備的検討を行った。具体的には、立ち仕事の経験がある5名を対象に、歩行速度を20BPM(Beats Per Minute)刻みで60~120BPMとした4パターン、歩行と立位の動作時間の割合を1:1, 1:2, 2:1とした3パターン、計4×3=12パターンの動作を床上で行ってもらい、実際の立ち仕事の際に感じる疲労と近いものを回答してもらった。その結果、100BPMの歩行5分+立位10分=15分を1サイクルとした動作が、実際の立ち仕事と近似した疲労が得られるとの回答が得られたため、この動作を本研究における立ち仕事の模擬動作として設定した。

官能検査は、図1に示すように、窓がある一般的な居室内に、四角い環状で1周が20m程度となるように縦4800mm×横7200mm、幅700mmに試料床を施工した歩行路上で実施した。模擬動作は、1サイクル目の歩行5分は時計周りに継続し、立位10分は図に破線で示す開始地点で行うこととした。立位の際は、足の踏みかえはしてもよいが、足踏みなど積極的に動くことはないように検査員に教示した。また歩行方向は、2サイクル目は反時計回り、3サイクル目は時計回りというように、サイクルごとに入れ替えた。検査員は健康な成人男女19人(年齢21~31歳、身長152~185cm、体重40~83kg)とし、検査時の履物は、温冷感の影響を排除することができ、裸足の次にかたさを感じやすいくつ下とした。

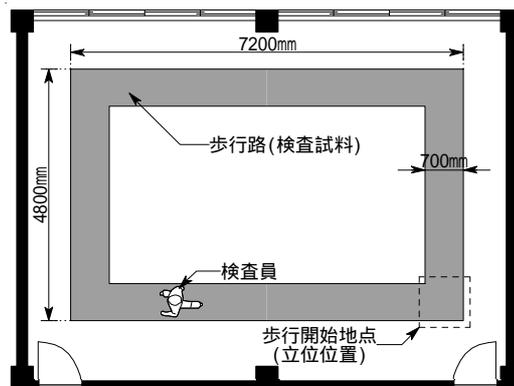


図1 歩行路の概要

表2に、官能検査で得られた回答を動作時間ごとに分散分析した結果を示す。黄色で示す箇所は床の違いによる影響を表す主効果の分散比が危険率5%以下、緑色示す箇所は危険率1%以下で有意であることを表す。表より、足裏のいたさは、他の質問項目と異なり早い動作時間から主効果の分散比が有意となっている。これは、足裏が床と直接接する唯一の部位であり、動作時に床の違いによる影響を受けやすいことが考えられる。また、下腿の張り感覚および下肢の疲労は、動作時間75分から主効果の分散比が有意となっている。これはすなわち、動作時間60分までに生じる下腿の張り感覚および下肢の疲労には床の違いはほとんど影響しないことを表している。一方、足首のいたさは、動作時間30分、45分時点でのみ有意となっているが、下肢の疲労が有意となる動作時間とは異なっていることから、足首のいたさは下肢の疲労にはほとんど影響していないことがわかる。また、膝のいたさおよび大腿の張り感覚は、いずれの動作時間でも有意となっておらず、床の違いは影響していない。以上のことから、以降は、足裏のいたさ、下腿の張り感覚、下肢の疲労のみについて検討することとした。

表2 動作時間ごとの分散分析結果

動作時間		いたさ						張り感覚				疲労	
		膝		足首		足裏		大腿		下腿		下肢	
		分散比	寄与率	分散比	寄与率	分散比	寄与率	分散比	寄与率	分散比	寄与率	分散比	寄与率
15分	主効果(試料床)	1.31	1.0%	1.69	3.0%	2.45*	4.4%	1.00	0.0%	1.52	1.7%	1.82	2.4%
	個人差	4.07**	26.5%	1.27	3.1%	4.78**	29.7%	3.69**	24.3%	4.55**	29.2%	5.82**	35.7%
30分	主効果(試料床)	1.24	0.9%	2.53*	5.0%	4.33**	8.7%	0.94	-0.2%	1.11	0.3%	0.64	-1.0%
	個人差	2.62**	16.1%	3.96**	24.8%	6.28**	35.3%	3.52**	23.1%	6.71**	40.4%	6.22**	38.8%
45分	主効果(試料床)	1.79	2.3%	2.16*	2.8%	4.99**	10.1%	1.00	0.0%	1.31	0.9%	0.93	-0.2%
	個人差	5.95**	36.3%	8.56**	46.1%	6.47**	35.5%	4.78**	31.1%	5.44**	34.3%	4.85**	31.5%
60分	主効果(試料床)	1.00	0.0%	1.38	0.8%	6.90**	14.3%	0.70	-0.9%	1.62	1.7%	1.87	2.8%
	個人差	6.51**	39.7%	11.6**	55.5%	6.32**	33.3%	6.20**	38.6%	6.31**	38.1%	4.21**	26.9%
75分	主効果(試料床)	1.85	1.8%	1.71	1.4%	11.24**	20.5%	0.35	-1.7%	2.37*	3.8%	3.02**	6.9%
	個人差	10.76**	52.8%	12.08**	56.1%	8.07**	36.4%	7.60**	44.8%	5.98**	35.8%	3.24**	19.7%
90分	主効果(試料床)	1.61	1.1%	1.13	0.3%	12.37**	23.5%	1.03	0.1%	2.22*	3.8%	4.46**	11.0%
	個人差	13.25**	58.7%	10.81**	53.8%	7.00**	31.9%	8.20**	46.2%	4.76**	29.8%	3.54**	20.7%
105分	主効果(試料床)	1.50	0.9%	1.34	0.7%	11.72**	21.4%	1.25	0.7%	2.74*	5.3%	4.17**	10.1%
	個人差	14.87**	61.8%	10.78**	53.4%	7.96**	35.7%	6.21**	38.1%	4.84**	29.8%	3.55**	21.0%
120分	主効果(試料床)	1.00	0.0%	0.87	-0.3%	11.10**	20.9%	1.79	1.9%	3.38**	6.9%	6.95**	18.0%
	個人差	13.87**	60.5%	10.28**	52.7%	7.48**	34.5%	8.04**	44.7%	5.20**	31.1%	3.13**	16.6%

*: 危険率5%以下で有意 ** : 危険率1%以下で有意

続いて、表2で床の違いの影響が有意となった動作時間を対象に、試料床、動作時間、個人差を因子とした3次元の分散分析を行った。具体的には、足裏のいたさは動作時間15~120分、下腿の張り感覚および下肢の疲労は動作時間75~120分の回答をまとめて分析した。表3に結果を示す。表より、いずれの尺度でも試料床、動作時間、個人差の分散比が危険率1%以下で有意となっている。特に、各因子の寄与率をみると、下肢の疲労については試料床が動作時間を上回っており、床の違いの影響が十分に大きいことがわかる。以上の分析結果に基づき、尺度構成手法⁷⁾にしたがって、足裏のいたさ尺度、下腿の張り感覚尺度、下肢の疲労尺度の3種の心理学的尺度を構成した。

図2~4に、心理学的尺度と性能値の関係を示す。図中に ~ で示す破線は、官能検査に用

表3 3次元の分散分析結果

	足裏のいたさ (15-120分)			下腿の張り感覚 (75-120分)			下肢の疲労 (75-120分)		
	自由度	分散比	寄与率	自由度	分散比	寄与率	自由度	分散比	寄与率
主効果(試料床)	7	55.81**	10%	7	9.21**	5%	7	20.00**	13%
主効果(動作時間)	7	196.10**	37%	3	42.68**	11%	3	36.94**	10%
個人差	18	43.88**	21%	18	22.47**	33%	18	12.50**	20%

**：危険率1%以下で有意

いた判断範ちゅう(表1参照)の尺度上の位置を表す。また、図中のプロットは、動作時間が短いほど寒色、長いほど暖色とし、動作時間120分のみ黒で示している。

図2に示す T との関係では、いずれの動作時間でも対応しているとはいいがたく、特に動作時間が長いほどその傾向は顕著である。このことから、歩行時のかたさを表す性能値 T では、疲労からみた床のかたさを適切に評価できないことがわかる。

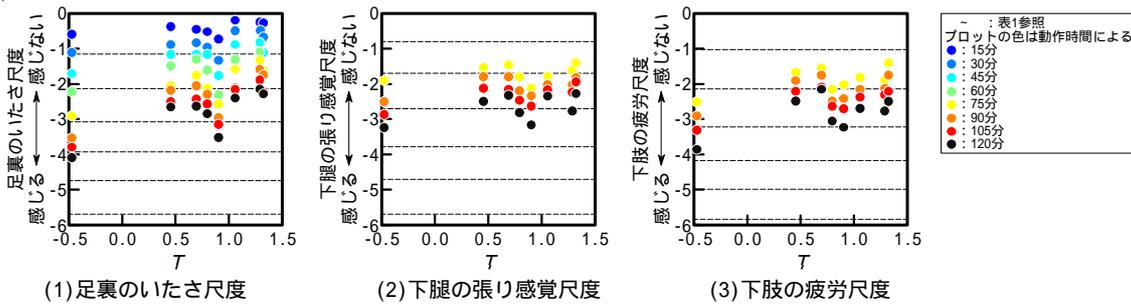


図2 心理学的尺度と T の関係

図3に示す S との関係では、足裏のいたさ尺度は右上がりの対応、下腿の張り感覚および下肢の疲労尺度は上に凸なる対応をおおむね示しているものの、 $S = -0.56$ のプロットが対応から下側に外れている。ここで、このプロットは遮音フローリングによるものである。遮音フローリングは、足元の安定性からみたかたさの評価方法が確立された当時にはなかった比較的新しい床材であり、清掃性を確保しつつ下階への軽量床衝撃音を遮断する目的で緩衝層が設けられたフローリングである。この緩衝層は軽量物落下時の衝撃音を吸収するために軽微な荷重領域で大きく変形する一方、歩行、立位時にかかる比較的大きな荷重領域では底付きする特異な変形性状を有する。この底付きの影響で足裏のいたさや下肢の疲労は生じやすいが、静的荷重を載荷した際の変形量 D_{max} を用いて算出される性能値 S は緩衝層の影響で大きくなるものと考えられる。

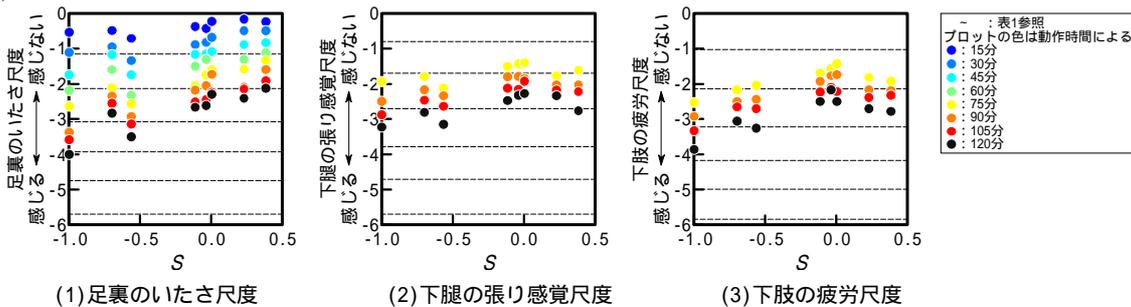


図3 心理学的尺度と S の関係

図4に示す D_c との関係では、いずれの尺度、動作時間でもおおむね良い対応を示している。具体的には、(1)に示す足裏のいたさ尺度ではいずれの動作時間でも右上がりの対応を示しており、動作時間120分の場合は点線で例示する対応曲線を目視で得ることができる。これは、やわらかい床ほど動作時に足裏に加わる圧力が分散され、いたさが軽減されるためと考えられる。一方、(2)に示す下腿の張り感覚尺度および(3)に示す下肢の疲労尺度ではいずれの動作時間でも上に凸なる対応を示しており、動作時間120分の場合は点線で例示する対応曲線を目視で得ることができる。すなわち、疲労の観点ではかたさに最適値が存在し、かたすぎる床ややわらかすぎる床では下腿の張り感覚や下肢の疲労が生じることがわかる。

以上より、静的測定結果に基づく性能値のうち、特に D_c が長時間の立ち仕事による疲労からみた床のかたさを表す性能値として適切であることが明らかとなった。これは、本報において立ち仕事の模擬動作として設定した歩行と立位を繰り返す動作時の足裏のいたさ、下腿の張り感覚、下肢の疲労には、動的な動作である歩行よりも、静的な動作である立位の方が大きく影響することを示唆している。

以上の検討結果に基づいて、立ち仕事による身体の疲労からみた床のかたさの評価方法を、以下の通り提示する。

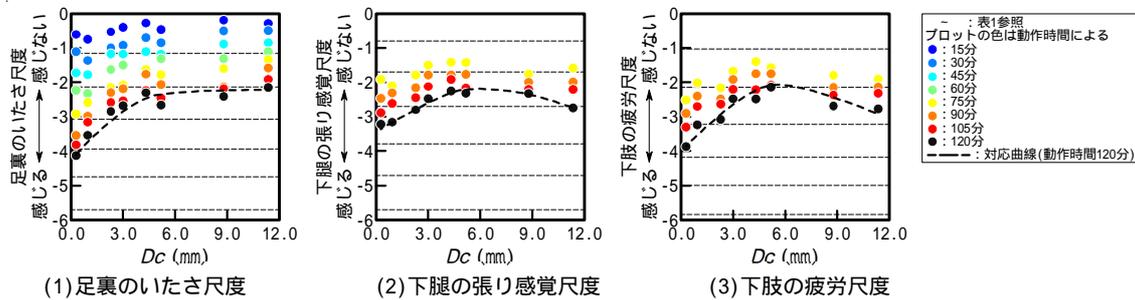


図4 心理学的尺度と D_c の関係

- 1) 評価対象床の性能値 D_c を測定する。
- 2) 1)で測定した D_c を図4と照合し、床のかたさを評価する。例えば、 D_c の測定結果が 3.0mm の床を評価する場合、 $D_c = 3.0\text{mm}$ を図と照合すると、120分の動作を行った場合の足裏のいたさは「どちらともいえない」から「やや感じる」程度、下腿の張り感覚は「どちらともいえない」程度、下肢の疲労は「どちらともいえない」から「やや感じる」程度と評価できる。

また図4より、各判断範ちゅうの尺度値を表す ~ の破線と動作時間ごとの対応曲線の交点の D_c を求め、それぞれの範ちゅうを満足する D_c の範囲を、動作時間ごとに“許容範囲”として導出した。図5に、結果を示す。この図を用いることで、長時間の立ち仕事による身体の疲労の観点から床の選定を行うことができる。例えば、120分の立ち仕事が想定される室空間において下肢の疲労を「やや感じる」以下としたい場合、図の(3)と照合し、「 ~ 」の評価が得られる 4.7 D_c 6.7 となる床を選定すれば良いこととなる。

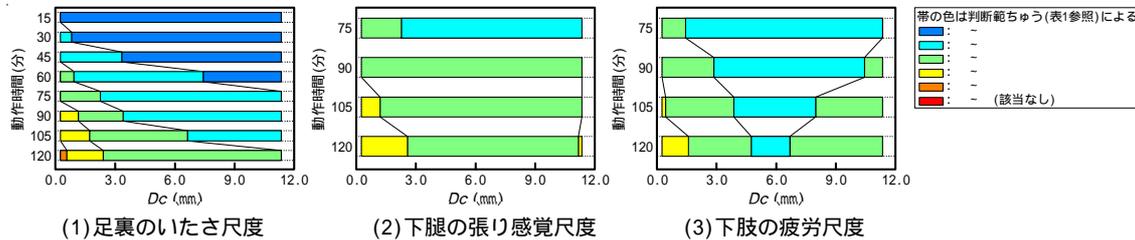


図5 動作時間ごとの D_c の許容範囲

< 参考文献 >

- 1) 日本建築学会：床性能評価指針，2015.11
- 2) 小野英哲，和田茂明，高橋宏樹：車椅子の直進走行性からみた建築物床および屋外舗装路の相対的評価方法に関する研究，かたさの観点から，日本建築学会構造系論文集，第59巻，第459号，pp.41-47，1994.5(DOI：https://doi.org/10.3130/aijs.59.41_1)
- 3) 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，第358号，pp.1-9，1985.12(DOI：https://doi.org/10.3130/aijsx.358.0_1)
- 4) 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，第373号，pp.1-8，1987.3(DOI：https://doi.org/10.3130/aijsx.373.0_1)
- 5) 小野英哲，高橋宏樹：足元の安定性からみた床のかたさの評価方法に関する研究，相対的評価方法の提示，日本建築学会構造系論文報告集，第448号，pp.1-10，1993.6(DOI：https://doi.org/10.3130/aijsx.448.0_1)
- 6) 福田眞太郎，横山 裕：おもに足裏以外が床と接触する動作を対象とした評価方法の提示，各種動作時の快適性からみた上足床の変形性状の評価方法 その2，日本建築学会構造系論文報告集，第82巻，第735号，pp.633-640，2017.5(DOI：https://doi.org/10.3130/aijs.82.633)
- 7) J.P.Guilford，秋元義治(訳)：精神測定法，培風館，1969

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 野寄一磨, 福田眞太郎, 藤井佑太郎, 横山裕
2. 発表標題 長時間の立ち仕事による身体の疲労からみた床のかたさの評価方法 その3 試料床のかたさの範囲と模擬動作を変更した官能検査結果に基づく再検討
3. 学会等名 日本建築学会学術講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 福田眞太郎, 竹岡美夕紀, 横山 裕
2. 発表標題 長時間の立ち仕事による身体の疲労からみた床のかたさの評価方法 その1 床のかたさに関する性能値の測定および身体の疲労に関する心理学的尺度の構成
3. 学会等名 日本建築学会学術講演大会
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 竹岡美夕紀, 福田眞太郎, 横山 裕
2. 発表標題 長時間の立ち仕事による身体の疲労からみた床のかたさの評価方法 その2 既存の床のかたさの評価方法の適用性の検討
3. 学会等名 日本建築学会学術講演大会
4. 発表年 2021年～2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	横山 裕 (Yokoyama Yutaka)		

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	藤井 佑太郎 (Fuji i Yutaro)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関