

機関番号：34419

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2013

課題番号：25540127

研究課題名(和文) 振動曝露環境下におけるISO表面性状パラメータを物理指標とした粗さ感覚の評価

研究課題名(英文) Evaluation of roughness sensation using areal surface texture parameters based on geometrical product specifications under exposure to vibration

研究代表者

米原 牧子 (YONEHARA, Makiko)

近畿大学・次世代基盤技術研究所・博士研究員

研究者番号：90549552

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,000,000円、(間接経費) 600,000円

研究成果の概要(和文)：工業製品の付加価値を高めるため用いられる表面の「質感」を定量化するため、「粗さ」に着目し、粗さの感覚量と物理量の関係を調べた。粗さの感覚量はシボ表面を指で触った際の粗さ感とし、物理量はISO25178-2に準じた面領域の表面性状パラメータの値とした。実験の結果、感覚量を考慮した粗さの設計目標値を提案した。さらに、振動のある動的環境下で粗さ感を評価した結果、パターンの違いにより、各々の粗さの感覚が変化することを示唆する結果が得られた。

研究成果の概要(英文)：The texture is necessary to create added value for products. This study was focused on roughness to quantify the texture. In this experiment, it was investigated for relation between amount of sense and physical quantity of roughness. The amount of roughness sensation was obtained with touching by hand. The values of areal surface texture parameters, which are defined in ISO 25178-2 : 2012, were used as quantity of roughness. Results of experiment, it was proposed targeted values including roughness sensation to design surfaces. Moreover, it was suggested to changing the roughness sensation by the difference pattern of wrinkled textured surfaces under the dynamic conditions with vibrations.

研究分野：情報学

科研費の分科・細目：人間情報学・感性情報学

キーワード：質感 テクスチャ 粗さ感 触り心地 表面性状 尺度構成 設計目標値 デザイン

1. 研究開始当初の背景

(1) 感覚量評価の必要性

本課題で取り上げる“粗さ”の定量化研究は、そもそも工業製品のデザイン要素の一つである質感(テクスチャ)を設計する際に、デザイナー(設計者)と製造業者間の意思疎通をいかにスムーズに行えるか、ということに端を発する。

これまでに「質感」の定量的評価法の確立に向け、工業製品に使用される材料を対象として質感における物理指標の関係性を明確にしてきた。具体的には、物理指標の一つとして JIS 及び ISO 規格において規定されている「表面粗さ(以下「表面性状」)」パラメータを使用し、有効な表面性状パラメータを特定した。しかし設計条件へ活かすには“人間”の評価が不可欠であり、感覚量と物理量の関係を明確にする必要があった。

感覚量、とくにヒトの手が触れる表面質感の評価に重要な「粗さ」感覚に関する研究報告は多くみられるが、粗さの物理量がサンドペーパーの番手や粒径であることが多い。また旧 JIS の表面性状パラメータを用いて、加工精度の判定を目的とした感覚量の計測結果がいくつか報告されているが、ヒトの手が触れた時の「快適さ」との関係は述べられていない。一方、新 JIS 及び ISO で規定されている表面性状パラメータを用いた表面評価の研究報告は見られるが、感覚量は考慮されていない。さらに、例えば職業ドライバや工具類の使用時など、日常的に全身が振動にばく露される環境を想定した場合の振動条件と粗さ感覚の関係を検討した報告もほとんどない。

(2) ISO 規格に基づく粗さの評価方法

表面性状パラメータと感覚量の間関係を検討したものは、1970~80年代にかけて多く見られるが、その後の研究報告では、粗さの物理指標はサンドペーパーの番手や粒径、または既存の建築用内装サンプルや布地サンプルなどを用いたものであり、JIS や ISO 規格に基づく表面性状パラメータを物理指標とした粗さ感覚の研究報告は少ない。この一要因として、1994年の JIS 規格改定まで、表面性状は一部の規格で「面の肌」と呼ばれており、その評価法も凹凸高さ方向の評価のみで非常に曖昧さが残るといった問題点があった。しかし、ISO 規格との整合性を図ること等のため、1994年から大幅な規格改正が行われ、2001年には新たなパラメータの定義などが追加され現在に至る。さらに2007年頃からは ISO において面領域の表面性状パラメータを標準化する動向があり、2012年に面領域の表面性状パラメータを定義する ISO 規格が制定された(ISO25178-2)。以上の過程を経て、“面”の粗さ評価が可能となったことより、粗さの定量評価データの収集は重要であり、また評価データが蓄積されることにより、設計条件へのフィードバックが

今後ますます進展すると考えられる。

(3) 振動ばく露環境下における粗さの評価

粗さ感覚の評価に関する研究報告は、感覚量のみでの評価が多く、対応する物理指標を的確に評価出来ていない問題点があった。そのため、静的環境下における粗さ感覚の評価が多く、動的環境下、すなわち振動ばく露環境下で行った粗さ感覚の評価はほとんどない。しかし、表面設計の実用面を考慮すると、自動車運転時や工具類の使用時等、動的環境下で用いられる製品も多い。とくに職業ドライバなど長時間振動にばく露される環境下においては、粗さの快・不快状態は少なからず心身に影響をもたらすと考えられる。

(4) 被験者属性の影響

被験者実験に基づく感覚量評価の問題点として“個人差”がある。大まかな被験者属性として性別、年齢などが挙げられるが、実際に触れる皮膚表面の特性は、性別や年齢だけで分類するのは困難である。そこで、性別や年齢だけでなく、皮膚表面の「硬さ」「水分量」「油分量」「温度」を被験者属性の指標として取り上げることで、評価結果の個人差の影響が考察出来ないかと考えた。これについては、既往の研究から、皮膚表面の硬さは水分量と関係することは分かっており、また指先をわざと湿らすことにより粗さ感覚の評価が変化する結果も得られている。従って、皮膚特性と粗さ感覚の関係を定量化することは表面質感設計のための重要条件となると考えられる。

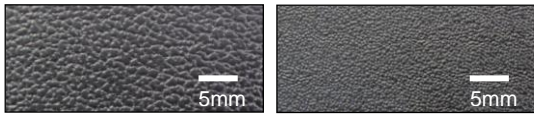
2. 研究の目的

本研究では、ISOにより規定されている面領域の表面性状パラメータを物理指標として、種々の条件下における粗さの感覚尺度構成を行うことを目的とする。その際、被験者の属性を示す指標として指先の皮膚表面における「硬さ」「水分量」「油分量」及び「温度」を取り上げる。これらを任意に変化させるため、環境条件の異なる夏季と冬季にそれぞれ被験者実験を実施する。また、「快適さ」に関わる粗さ評価として、触り心地の良さについても調べ、粗さと触り心地の関係について検討する。さらに、振動のない静的環境下と振動のある動的環境下において粗さ感覚の評価に差があるかどうか調査する。

3. 研究の方法

(1) 粗さ刺激

粗さ刺激は、主に自動車内装材として用いられるシボサンプルを用いた。材質はABS樹脂であり、形状は10×58×2mmの板材とした。表面色は、明度 $L^*=25\pm 0.5\%$ 、彩度 $C^*_{ab}=1.1\pm 0.01$ の黒とした。シボパターンは図1に示した2種類とし、各々のシボの深さが3段階に異なる合計6種類(刺激A~F)の粗さ刺激を準備した。



(a)パターンI(刺激A~C) (b)パターンII(刺激D~F)
図1 代表的な粗さ刺激の写真

(2) 表面性状パラメータ

表面性状の測定には高精度非接触三次元プロファイラ CCI HD (テラーホブソン製)を用いた. 測定範囲は1.8mm×1.8mmであり, 水平方向の分解能は1.75 μ m, 垂直方向の分解能は0.01nmである. 得られた表面の離散データを基にISO25178-2:2012に準拠した面領域の表面性状パラメータの値を算出する. 表面性状パラメータの例として, 高さ方向の算術平均値 S_a と最大値 S_z の値をそれぞれ表1に示す.

表1 表面性状パラメータの値

Stimulus	Pattern I			Pattern II		
	A	B	C	D	E	F
S_a (μ m)	5.24	9.81	15.3	3.97	8.46	12.7
S_z (μ m)	31.7	49.4	77.1	30.1	52.0	67.9

(3) 被験者

被験者は健康な若年男女とした. 被験者には予め実験計画及び内容に関する説明を口頭と文書で行い, インフォームドコンセントを得て実施した. なお, 本実験は学内および学外のメンバーで構成された近畿大学工学部生命倫理委員会の承認を得たうえで実施した.

(4) 実験手順

粗さの感覚量と相関の高い面領域の表面性状パラメータを特定するため, まず, 振動のない静的環境下において, マグニチュード推定法 (以下, ME法) を用いて粗さ感の尺度構成を行う. はじめに, 被験者にこれから提示する刺激のうち, ほぼ中央の粗さとなる刺激を提示する. そして, 6種類の刺激をランダムに3回ずつ合計18回提示し, 各々の粗さの感覚量を1以上の整数で口頭にて回答してもらう. その際, 1つ前に提示した粗さと比較して比率判断してもらう. 得られた感覚量と面領域の表面性状パラメータの相関関係を調べ, 決定係数の高い表面性状パラメータを粗さの物理指標とする.

次に, 物理指標とした表面性状パラメータを用いて, カテゴリー判断法による粗さの感覚尺度構成を行う. 粗さ感の尺度は表2のように定義した.

振動のある動的環境は, 図2に示したドライビングシミュレータの仮想空間に, 図3のように高さの異なるバンプを連続で配置した走行コースを設計し, バンプを乗り越えることによって被験者に振動をばく露させる. 振動ばく露環境は, 走行するコース2種類と

表2 カテゴリー判断法における粗さ感の尺度

カテゴリー	粗さ感
1	全く粗くない
2	やや粗い
3	粗い
4	かなり粗い
5	非常に粗い



併進方向:3自由度(x,y,z)
回転方向:3自由度(roll, pitch, yaw)

図2 ドライビングシミュレータの外観写真

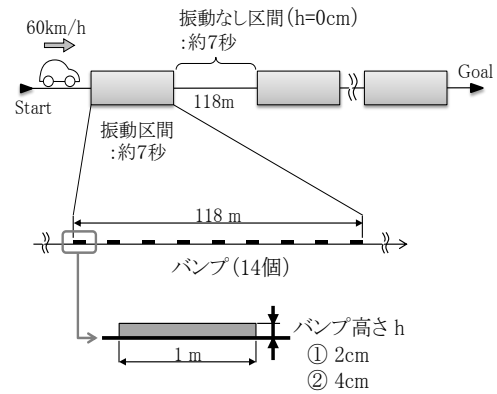


図3 走行コースのレイアウト

刺激の提示順序3種類を組み合わせた環境を構築し, ランダムに被験者へ提示した.

本研究における実験条件の一覧を表3に示す. なお, 本実験では粗さ感を評価する際, 視覚は使わず触覚のみで評価するよう被験者に教示した.

表3 実験条件

条件	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬
感覚量	粗さ感		触り心地		粗さ感		触り心地						
振動条件	静	静	動	静	動	静	動	静	動	静	動	静	動
評価手法	ME法	カテゴリー判断法				ME法	カテゴリー判断法		ME法	カテゴリー判断法			
環境条件	【夏季】 温度 31.5 \pm 2.99 $^{\circ}$ C 湿度 63.1 \pm 7.06%					【冬季】 温度 18.0 \pm 0.87 $^{\circ}$ C 湿度 39.5 \pm 9.37%							
属性	・性別 ・皮膚特性(水分量, 油分量, 弾力(最大値), 弾力(戻り率), 温度)												
物理量	面領域の表面性状パラメータ (ISO25178-2:2012)												

4. 研究成果

(1) 粗さの感覚量と表面性状パラメータの関係
振動のない静的環境下においてカテゴリー判断法より得られた粗さの感覚量 (条件②, ⑧) に与える性別及び環境条件の影響を調べるため、分散分析を行った。表4に影響因子を性別とした場合、表5に影響因子を環境条件とした場合の分析結果をそれぞれ示す。分析の結果、性別による影響に統計的な有意差は見られなかったが、環境条件による影響は1%水準の有意差が認められた。

表4 分散分析の結果(性別の影響)

要因	変動	自由度	分散	分散比	P-値	F 境界値
刺激	68.3	5	13.7	37	0.000	2.31
性別	1.41	1	1.41	3.82	0.054	3.94
交互	1.2	5	0.24	0.65	0.660	2.31
誤差	35.4	96	0.37			
合計	106	107				

表5 分散分析の結果(環境の影響)

要因	変動	自由度	分散	分散比	P-値	F 境界値
刺激	179	5	35.8	93.1	0.000	3.11
環境	8.17	1	8.17	21.2	0.000	6.76
交互	5.88	5	1.18	3.05	0.011	3.11
誤差	78.5	204	0.38			
合計	272	215				

次に、ME法より得られた粗さの感覚量 (条件①, ⑥) から相関の高い面領域の表面性状パラメータを特定するため、式(1)を用いて直線回帰し、決定係数を求めた。

$$\text{Log } R = n \text{ Log } S + \text{Log } k \quad (1)$$

ここで、 R : 感覚量, S : 物理量, n , k : 定数をそれぞれ示す。得られた決定係数のうち上位10位までを表6に示す。また回帰直線の傾斜 n の値も併記した。

高さ方向の算術平均値を示す S_a の結果を

表6 回帰直線の傾斜 n 及び決定係数 R^2 (粗さ感)

	夏季			冬季		
	表面性状パラメータ	n	R^2	表面性状パラメータ	n	R^2
1	V_{mc}	0.92	0.995	S_{xp}	0.77	0.968
2	S_{xp}	0.77	0.991	V_{mc}	0.92	0.962
3	S_a	1.00	0.98	S_a	0.99	0.934
4	S_q	1.00	0.97	S_q	0.99	0.918
5	S_v	1.10	0.966	S_v	1.09	0.918
6	V_{vv}	0.72	0.928	V_{vv}	0.71	0.88
7	S_{ha}	0.25	0.912	S_{ha}	0.25	0.849
8	S_{pc}	2.28	0.91	S_{vk}	0.63	0.835
9	S_z	1.29	0.898	S_{pc}	2.21	0.833
10	S_{da}	0.45	0.897	S_{da}	0.44	0.833

見ると、傾斜角 n が正であることより、シボ深さが大きいほど粗いと評価していると言える。また、粗さの感覚量に環境条件の影響が認められたのに対し、感覚量と相関の高い面領域の表面性状パラメータは、夏季と冬季の環境条件が変わってもほぼ同じ表面性状パラメータであった。両条件において決定係数が高かった V_{mc} はコア (主部分) の材料の体積であり、これは突出した山や谷を除いた材料の体積を示す。すなわち、巨視的な凸部の体積を表している。従って、シボの大まかな形状の起伏を粗さ感として評価していると考えられる。

(2) 触り心地の感覚量と表面性状パラメータの関係

触り心地の感覚量を調べた結果 (条件④, ⑤, ⑩, ⑪, ⑫, ⑬), シボ深さが深いほど触り心地が良いと評価するグループ1と、シボ深さが浅いほど触り心地が良いと評価するグループ2に分かれた。そこで、各々のグループについて、触り心地の感覚量と表面性状パラメータの関係について調べた。代表的な結果として、振動のない静的環境下における粗さの感覚量 (条件⑩) を用いて、式(1)に基づき直線回帰し、得られた直線の傾き n 及び決定係数 R^2 を表7に示す。なお、表には決定係数の高かった上位10位までの結果を示した。

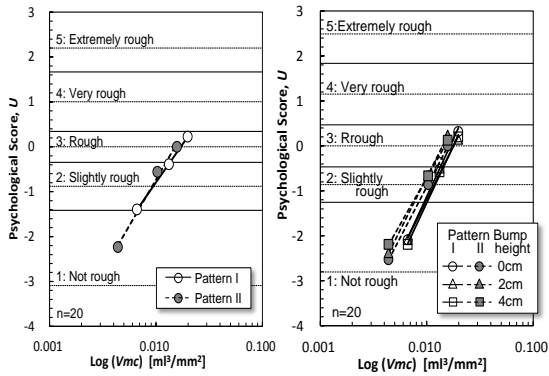
表7 回帰直線の傾斜 n 及び決定係数 R^2 (触り心地)

	グループ1			グループ2		
	表面性状パラメータ	n	R^2	表面性状パラメータ	n	R^2
1	S_{xp}	0.72	0.968	S_a	-0.71	0.960
2	V_{mc}	0.86	0.954	V_{mc}	-0.65	0.958
3	S_a	0.92	0.916	S_q	-0.71	0.956
4	S_v	1.00	0.9	S_v	-0.78	0.954
5	S_q	0.91	0.897	S_{xp}	-0.54	0.950
6	V_{vv}	0.66	0.873	V_{vv}	-0.51	0.922
7	S_{vk}	0.58	0.831	S_{da}	-0.32	0.915
8	S_{ha}	0.23	0.81	S_{ha}	-0.18	0.905
9	S_{da}	0.40	0.806	S_{pc}	-1.63	0.900
10	S_{pc}	2.03	0.802	S_z	-0.93	0.900

回帰直線の傾斜 n を見ると、正負の符号が逆になっており、触り心地の評価は、粗さ感が大きい方が良いグループ1と、粗さ感が小さい方が良いとするグループ2に分かれた。一方、決定係数の高い表面性状パラメータはグループによる差がほとんど見られず、粗さの感覚量と相関の高いパラメータはほぼ同じであった。

(3) 振動ばく露環境下における粗さ感の評価

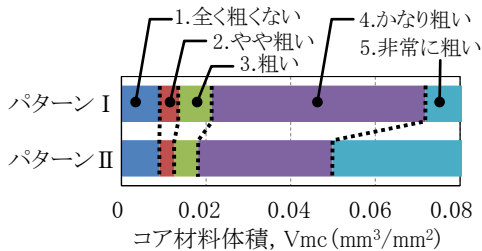
表面性状パラメータのコア材料体積 V_{mc} を物理指標として、カテゴリー判断法を用いた粗さの感覚尺度構成を行った (条件②, ③, ⑧, ⑨)。ここでは、代表例として、夏季条



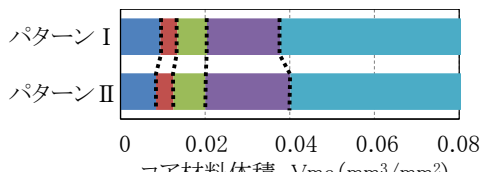
(a) 静的環境(振動なし) (b) 動的環境(振動あり)
図4 粗さの感覚量とコア材料体積 V_{mc} の関係

件における振動ばく露環境下における粗さ感の評価結果について述べる。

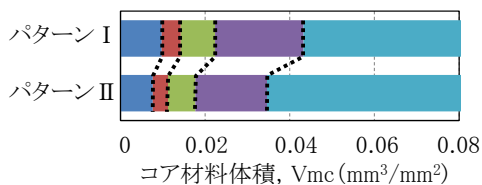
図4(a)(b)に被験者20名における感覚量とコア材料体積 V_{mc} の関係を示す。図4(a)は振動のない静的環境下、図4(b)は振動のある動的環境下における結果である。振動のない静的環境下では、シボのパターンの違いによる粗さ感の評価に差はほとんどなく、 V_{mc} が大きいほど粗く感じる結果が得られた。一方、振動がある場合、ばく露される振動条件が変わっても粗さ感の評価にほとんど変化は見



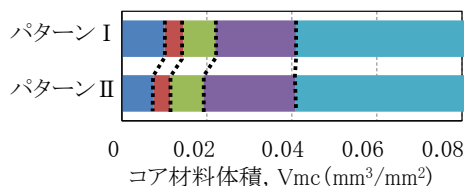
(a) 静的環境(振動なし)



(b) 動的環境(振動あり), $h=0\text{cm}$



(c) 動的環境(振動あり), $h=2\text{cm}$



(d) 動的環境(振動あり), $h=4\text{cm}$

図5 境界物理量

られなかったが、パターンIに比べてパターンIIの方が粗いと評価された。すなわち、 V_{mc} がほぼ同じであっても、シボのパターンが異なる場合、振動がある動的環境下では粗さの感覚が変化することが示唆された。

また、各カテゴリーにおける V_{mc} の境界物理量を算出し、振動条件ごとの棒グラフとして図5に示した。例えば、かなり粗いと評価された範囲を見ると、振動のない静的環境に比べ、振動のある動的環境の方が V_{mc} の範囲が狭くなっており、粗さの感覚が変化していることが確認できる。さらに、動的環境下の、例えばバンプ高さが2cmの振動条件における V_{mc} が0.02の場合を比較すると、パターンIよりパターンIIの方が粗いと評価されており、シボパターンの巨視的な凸部の体積の違いを、粗さの違いとして指先が敏感に感じ取っていると考えられる。すなわち、振動のある動的環境下において、パターンIのようなシボを設計する場合、触感が「粗い」と判断されるシボは、 V_{mc} の値を約0.015~0.02までにする必要があることを意味する。

(4) 皮膚特性が粗さ感と触り心地に与える影響

表5に示した分散分析結果より、環境条件を要因とした場合に粗さの感覚量に有意差が認められた。そこでカテゴリー判断法より得られた粗さの感覚量について(条件②, ⑧)、夏季及び冬季における刺激ごとの平均値の差について調べるためT検定を行った。平均値と分析結果を図6に示す。図より、パターンIの刺激A~Cについて、平均値の差に統計的有意差が認められた。すなわち、パターンIのシボの場合、夏季より冬季の方が粗いと評価されることが推定された。

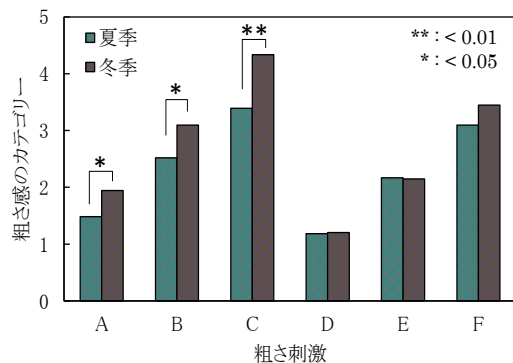


図6 粗さのカテゴリーにおける平均値

また、夏季と冬季における皮膚特性の平均値の差を調べるため、指先の水分量、油分量、弾力、温度の平均値についてT検定を行った。その結果、いずれの皮膚特性においても、夏季と冬季で計測した平均値に、統計的に有意な差が認められた。すなわち、夏季と冬季で皮膚特性は変化していることが推定された。しかしながら、各々の皮膚特性とシボパターンI(刺激A~C)における粗さの感覚量との

関係について調べた結果、明確な相関関係を得ることは難しかった。

(5) まとめと今後の展望

本研究より得られた結果について、以下に記述する。

- ① 粗さの感覚量は性別による影響は統計的に有意な差は見られなかったが、環境条件による影響は 1%水準の有意差が認められた。
- ② 巨視的な凸部の体積から粗さ感を評価していると推定された。
- ③ 振動のない静的環境下では、シボのパターンの違いによる粗さ感の評価にほとんど差が見られなかった。
- ④ 振動がある動的環境下では、ばく露される振動条件が変わっても粗さ感の評価にほとんど変化は見られなかったが、シボのパターンが異なる場合では、粗さの感覚が変化することが示唆された。
- ⑤ 粗さの感覚量と相関の高い表面性状パラメータを用いた境界物理量を算出し、設計指針となる粗さ感の閾値を示した。
- ⑥ 触り心地の良さは、粗さ感が大きい方が良いグループと、粗さ感が小さい方が良いと評価するグループに分かれた。

以上より、粗さ指標として従来の感覚量評価にほとんど使用されなかった ISO 規格に基づく面領域の表面性状パラメータを物理指標としたことにより、粗さ感や触り心地に対応する設計指針を提示することが出来た。

また、本研究で得られた成果は、ISO 規格に準拠したパラメータを指標としたことにより、学会等による成果発表後に国内では 3 社からの技術相談を受け、そのうち 1 社とは共同研究を開始した。また、本研究で得られた成果により、表面性状の測定機メーカーとの共同研究も開始することが出来た。さらに、国外の表面評価を扱うメーカーからも注目されており、国内外におけるインパクトは大きいと思われる。

今後は、対象とするサンプルの種類を拡充しながら、実際の製造現場で良否判定に多く用いられている視覚による評価も取り入れ、ISO 規格に基づく表面性状パラメータとの関係性を明確にし、さらに、様々な加工法や凹凸形状に対応する設計指針を産業界へ提示していく必要があると考える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 0 件)

〔学会発表〕 (計 3 件)

- ① M. Yonehara, H. Yoshino, K. Takamura, H. Isono, T. Sugibayashi, Quantitative characterization of wrinkled textured surfaces using areal surface texture parameters based on geometrical product specifications, 16th

International Conference on Experimental Mechanics, 2014 年 7 月 7 ~11 日、University of Cambridge (イギリス) (発表確定)

- ② 米原牧子、土屋賢太、樹野淳也、中村一美、竹原伸、前田節雄、シボ加工面における面領域の表面性状パラメータを用いた粗さ感の評価、第 46 回日本人間工学会中国・四国支部大会、2013 年 12 月 8 日、サテライトキャンパスひろしま (広島)
- ③ 米原牧子、磯野宏秋、杉林俊雄、表面性状パラメータを用いたシボ加工面のテクスチャ評価、プラスチック成型加工学会第 21 回秋季大会、2013 年 11 月 7~8 日、倉敷市芸文館 (岡山)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

米原 牧子 (YONEHARA, Makiko)

近畿大学・次世代基盤技術研究所・博士研究員

研究者番号：90549552