表面性状パラメータを粗さの物理指標としたテクスチャ評価方法

米 原 牧 子^a

^a 近畿大学 次世代基盤技術研究所 (〒739-2116 広島県東広島市高屋うめの辺1番)

Evaluation Method for Texture Using Surface Texture Parameters as Physical Indexes of Roughness

Makiko YONEHARA^a

^aFundamental Technology for Next Generation Research Institute, Kindai University (1 Takaya Umenobe, Higashi-Hiroshima-shi, Hiroshima 739-2116)

Keywords : Texture, Surface Texture, Areal, Roughness, Geometrical Product Specifications

1. はじめに

工業製品における機能の充実化がなされる一方、他社製品との差別化を図るため、外観品位を向上させデザイン性を高める方法がある¹⁾。例えば、陳列された多くの製品の中から思わず立ち止まって見てしまう色彩、手にとって触ってみたいくなるような触感、などである。このような外観品位の向上のために重要とされる「テクスチャ」は、工業製品の外観を構成する「形状」「色彩」と並ぶデザイン要素の一つであり²⁾、テクスチャの種類によって色やツヤの見え方^{3)~6)}や触感が変わることより、様々な仕上げ法を用いて多種多様なテクスチャをデザインすることが出来る。

この「テクスチャ」という用語について、JIS 工業用語大辞典⁷⁾から調べてみると、(表面の)テクスチャとは「材質、表面構造によって生じる、物体表面に関する触覚の属性(Z 8144)」とあり、また(視覚の)テクスチャとは「材質、表面構造などによって生じる、物体表面に関する視知覚の属性(Z 8144)」とある。さらに、テクスチャ加工した表層とは“平滑な表層を凹凸のある表層に変化させたもの(L 0212-1)”とある。すなわち、テクスチャは表面の凹凸と関係し、人の視覚や触覚といった感覚に影響を及ぼすものと推察される。

しかし、テクスチャを設計する際、デザイナーと技術者(生産現場)間において使用される共通の設計指針がないため、サンプルや限度見本を用いて口頭で伝達することが多い。そのため、デザイナーが意図したテクスチャを技術者へ正確かつ迅速に伝達するのは困難である。形状や色彩のように、テクスチャも数値で指示することが可能となれば、デザイナーと技術者間の意思疎通に要する時間の短縮や、試作品製造に係るコスト削減にもつながると考えられる。すなわち、視覚や触覚といった人の感覚に関係するテクスチャの設計指標や設計目標値を提示するためには、人の感覚量との関係性を踏まえたテクスチャの数値化が必要と考える。

そこで本稿では、テクスチャを構成する要素のうち「凹凸」に着目し、テクスチャの設計指針を確立するために行ってき

た種々の実験的検討結果のうち、ISO 規格に基づく三次元表面性状パラメータによる凹凸の定量化と、三次元表面性状パラメータを物理指標とした触感との感覚尺度構成の例について概説する。

2. 三次元表面性状の規格化と評価パラメータ

2.1 三次元表面性状の ISO 規格

テクスチャを構成する凹凸を設計するためには、凹凸の形状について可能な限りあいまい性を排除した定量化が重要である。凹凸を定量化するために従来用いられている方法として触針式の粗さ測定機を用いた計測と算術平均粗さ R_a や最大高さ R_z などの表面性状パラメータによる数値化がある。しかし、この方法は輪郭曲線方式と呼ばれ、任意の一断面における輪郭曲線を計測するため、突起と尾根の違いや、くぼみと谷の違いなど、凹凸の形状によっては正確に評価できない⁸⁾。

そこで面領域の粗さを評価する方法が検討され、2010 年から順次、国際標準化機構(ISO)により三次元表面性状に関する国際規格が新たに制定された。面領域、すなわち三次元表面性状パラメータについては ISO25178-2:2012: Geometrical product specifications (GPS) - Surface texture : Areal - Part 2 : Terms, definitions and surface texture parameters によって定義された。三次元表面性状パラメータは、基本的には輪郭曲線方式で得られる二次元の表面性状パラメータを面領域へ拡張したものであるが、面積だけでなく体積での評価も可能となり、表面形状の違いを定量化することが可能である⁹⁾。

JIS 規格においても三次元表面性状に関する国際規格 ISO 25178 シリーズの翻訳が進められており、2014 年に三次元表面性状の測定方法に関する JIS 規格(JIS B 0681-6: 2014 (ISO 25178-6: 2010)「製品の幾何特性仕様(GPS)―表面性状：三次元―第 6 部：表面性状測定方法の分類」、2018 年には JIS B 0681-2: 2018「製品の幾何特性仕様(GPS)―表面性状：三次元―第 2 部：用語、定義及び表面性状パラメータ」がそれぞれ発行された。

2. 2 シボ加工面の三次元表面性状の計測と評価パラメータ

シボ加工サンプルを供試材として、三次元表面性状パラメータを用いた凹凸形状の定量化を行った。サンプルは図1に示す12種類のパターンを準備した。材質はABS樹脂、色は黒($L^*=25\pm0.5\%$, $C^*ab=1.1\pm0.01$)である。

三次元表面性状の計測には、高精度非接触三次元プロファイラ CCI HHD (Taylor Hobson 製) を用いた。測定範囲は $1.8\text{ mm}\times 1.8\text{ mm}$ 、水平方向の分解能は $1.75\text{ }\mu\text{m}$ 、垂直方向の分解能は 0.01 nm である。計測した三次元表面性状の例を図2に示す。得られた表面の離散データを基に三次元表面性状パラメータの値を算出する。

3. シボ加工面における粗さ感の尺度構成

3. 1 粗さの感覚量

ここでは、種々の触感覚のうち、「粗さ感」を人の感覚量の指標の一例として、シボ加工面を指でなぞった際の粗さ感の尺度を構成し、設計指針となる境界物理量を求める。実験で用いた粗さパターンは図1に示したシボ加工サンプルのうち、サンプルE及びサンプルKとし、それぞれをパターンIとパターンIIとした。パターンI及びIIの各々のシボ深さが3段階に異なるサンプルを粗さ刺激として合計6種類を準備した。

粗さ感の尺度構成にはカテゴリ判断法を用いる^{10), 11)}。粗さ感の5段階尺度を表1に示す。被験者は20代男性11名とし、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。実験手順を以下に示す。

- (1) 被験者は楽な姿勢で椅子に着座する。
- (2) 実験者が6種類の粗さ刺激のうち1枚を被験者に渡す。
- (3) 被験者は、渡された刺激の粗さについて、表1に示した5段階の数字を口頭で回答する。その際、視覚は使わず

指先の触覚のみで評価するよう被験者に教示した。

- (4) 実験者は6種類の刺激をランダムに3回ずつとなるよう、被験者に順番に渡し、(3)の評価を合計18回行う。

3. 2 粗さ感の尺度構成と設計目標値の設定

表2に粗さ感の5段階尺度によって得られた各々の回答の度数分布表を示す。パターンI及びIIともにシボの深さが大きくなるに従い粗いと評価する回答数が増加している。この度数分布表を元に、粗さ刺激ごとの感覚量を求める。まず、度数行列 F より累積相対度数行列 G を求める。次に、累積相対度数行列 G から正規分布に沿った偏差比率 Z を求める。この Z を直接求めるのは困難だが Hastings の式などの近似式を用いることにより近似解を得ることができる。そして、各カテゴリーの上限値と中央値を求めてカテゴリー3を基準

表1 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

表2 粗さ感評価の度数分布表

		カテゴリー				
		1	2	3	4	5
パターン I	a	22	9	2	0	0
	b	1	18	9	4	1
	c	0	3	15	9	6
パターン II	d	22	11	0	0	0
	e	6	15	8	4	0
	f	0	11	13	6	3

図1 シボパターンの外観写真

図2 代表的な三次元表面性状の画像データの例

表3 三次元表面性状パラメータの値

		パターン I			パターン II		
		a	b	c	d	e	f
二乗平均平方根高さ	Sq [μm]	6.05	11.1	18.2	4.78	9.99	14.9
スキューネス(偏り度)	Ssk	-0.22	-0.37	-0.72	0.47	0.10	-0.16
クルトシス(尖り度)	Sku	1.98	1.84	2.45	2.48	2.05	2.02
最大山高さ	Sp [μm]	14.6	21.3	29.1	16.5	26.5	31.1
最大谷深さ	Sv [μm]	17.1	28.0	48.0	13.6	25.4	36.8
最大高さ	Sz [μm]	31.7	49.3	77.1	30.1	52.0	67.9
算術平均高さ	Sa [μm]	5.24	9.81	15.33	3.97	8.46	12.7
逆負荷面積率	Smc [μm]	7.60	12.7	19.7	7.04	13.8	19.7
極点高さ	Sxp [μm]	11.9	23.4	44.5	6.61	16.7	28.2
最小自己相関長さ	Sal [μm]	0.23	0.24	0.24	0.17	0.15	0.16
表面性状のアスペクト比	Str	0.72	0.79	0.72	0.76	0.58	0.82
表面性状の方向	Std [deg.]	40.9	31.2	13.1	52.8	52.6	62.2
二乗平均平方根傾斜	Sdq	0.62	0.64	0.66	0.67	0.73	0.70
界面の展開面積比	Sdr [%]	17.4	18.9	19.9	20.5	23.8	22.3

表4 算術平均高さ Sa と感覚量の回帰式 $U = a \log S + b$ の係数と決定係数 R^2

	a	b	R^2
パターン I	9.10	-10.2	0.994
パターン II	10.8	-11.7	0.983

とした絶対尺度 A を算出する。さらに、各々の刺激のメジアンを絶対尺度に変換し粗さ感の感覚量 U を求める。なお、カテゴリー判断法の詳細は文献を参照されたい^{7), 8)}。最後に、得られた粗さの感覚量 U と三次元表面性状パラメータとの関係を次式により回帰させ、決定係数 R^2 の高い三次元表面性状パラメータを求める。

$$U = a \log S + b \dots \dots \dots (1)$$

U : 感覚量, S : 物理量, a , b : 定数

各々の粗さ刺激における粗さの物理量は、計測した図2の離散データから算出した三次元表面性状パラメータの値とする。本実験で用いたシボ加工サンプルから得られた三次元表面性状パラメータの一部を表3に示す。

図3 算術平均高さ Sa と感覚量の関係

カテゴリー判断法により得られた粗さ感の感覚量と三次元表面性状パラメータの値を物理量として直線回帰し、得られた決定係数 R^2 の値が比較的高かった算術平均高さ Sa について、回帰直線の定数 a , b と決定係数 R^2 の値を表4にそれぞれ示す。算術平均高さ Sa は2次元の輪郭曲線から得られる算術平均粗さ Ra を三次元へ拡張したパラメータであり、式(2)より求められる。

$$Sa = \frac{1}{A} \iint_A z(x,y) / dx dy \dots \dots \dots (2)$$

パターン I と II の算術平均高さ Sa と感覚量の関係を図3に示す。図中の実線は各カテゴリーの境界値であり、破線は各カテゴリーのメジアンをそれぞれ示している。算術平均高さ Sa と感覚量の相関性は、決定係数 R^2 が0.98以上と非常に高く、 Sa が大きくなるに従いより粗くなると判定されることが定量的に示された。さらに、式(1)を変形させた式(3)を用いて、粗さ刺激ごとに得られたカテゴリー境界を求め、設計目標値となる境界物理量を図4のグラフに示す。

$$S = 10^{(U-b)/a} \dots \dots \dots (3)$$

図より、パターン I 及び II ともに、算術平均高さ Sa の値が約 $6.5 \mu\text{m}$ 以下では「全く粗くない」と判定されるカテゴリーに分類されることを示した。さらに、パターン I すなわちサンプル E よりパターン II のサンプル K の方が、 Sa の値がより小さい値でも粗いと判定されることが示唆された。これは、表3に示した最小自己相関長さ Sal の値がサンプル Eの方が大きく凹凸周期が長いいため、なぞる際に指の腹に接す

図4 粗さ感の境界物理量

る凸部の面積がサンプルEの方が大きくなり凹凸を感じにくいことが要因として考えられる。

4. おわりに

工業製品の外観を構成する造形要素の一つである「テクスチャ」の「凹凸」に着目し、三次元表面性状パラメータを用いた凹凸の定量化と、「粗さ感」を触感の例とした尺度構成する方法について概説した。本稿では、感覚量の指標の一例として「粗さ感」を取り上げ、その境界物理量を設計目標値とする方法も示したが、感覚量の指標は、状況に応じた指標を設定することで人の感覚を考慮した設計指針を提示することが可能と考える。しかしながら、触ったときの「心地よさ」といった個人の嗜好が大きく影響する触感の定量化は難しい。テクスチャを「選択」するだけでなく「設計」し、表面品位の向上へのつなげるためには、人間の感覚はもとより、物理指標としての凹凸形状を定量化することも重要であるとする。

(Received November 5, 2018)

文 献

- 1) 伊東 誼; 生産文化論, p. 215 (日科技連, 1997).
- 2) 例えば, 工業デザイン全集編集委員会編; 工業デザイン全集第3巻設計方法, p.74 (日本出版サービス, 1983).
- 3) 米原牧子, 熊井真次, 磯野宏秋, 木原幸一郎, 杉林俊雄; 日本金属学会誌, **73**, 439 (2009).
- 4) 米原牧子, 熊井真次, 磯野宏秋, 杉林俊雄, 井形直弘; 軽金属, **56**, 429 (2006).
- 5) M. Yonehara, M. Matsui, K. Kihara, H. Isono, A. Kijima, T. Sugibayashi; *Mater. Trans.*, **45**, 1027 (2004).
- 6) 米原牧子, 鈴木圭介, 木原幸一郎, 木嶋 彰, 磯野宏秋, 杉林俊雄; 軽金属, **53**, 163 (2003).
- 7) 日本規格協会編; JIS工業用語大辞典(第5版), 1524 (日本規格協会, 2001).
- 8) 例えば, http://www.npl.co.uk/upload/pdf/blunt_liam_3.pdf
- 9) 内館道正, 柳 和久; 日本機械学会誌, **118**, 660 (2015).
- 10) 兼子千夏子, 萩原孝英, 前田節雄; ヤマハ発動機技報, **39**, 71 (2005).
- 11) C. Kaneko, T. Hagiwara, S. Maeda; *Industrial Health*, **43**, 221 (2005).