原著論文

射出成形金型設計のための樹脂表面テクスチャにおける 目視と触察による粗さ感評価

相澤 淳平*, 平出 真一郎*, 北野 哲彦*, 榎山 剛士**, 上條 正義***

* 長野県工業技術総合センター, ** 榎山金型工業株式会社, *** 信州大学

Visual and Tactile Evaluation on Roughness Sensation of Plastic Texture for Injection Mold Design

Junpei AIZAWA*, Shinichiro HIRAIDE*, Akihiko KITANO*,
Tsuyoshi KASHIYAMA** and Masayoshi KAMIJO***

* Nagano Prefecture General Industrial Technology Center, 1-18-1 Wakasato, Nagano-shi, Nagano 380-0928, Japan

** Kashiya Kanagata Industry Co. Ltd., 1119 Otai, Saku-shi, Nagano 385-0009, Japan

*** Shinshu University, 3-15-1 Tokida, Ueda-shi, Nagano 386-8567, Japan

Abstract : The purpose of this paper is to verify a capability of injection mold design, through the evaluation on roughness sensation of plastic texture through visual and tactile sense. We used injection molded sample textures which have hemispheric protrusions arranged in a grid on base plane ('dot pattern'). In sensory test, panels evaluated roughness of six kinds of dot pattern samples made from combinations of protrusion size (R0.05-0.15mm) and interval (0.13-0.33mm), by tactile impression or by visual impression. The results are as follows: (1) Roughness feeling by haptic information depended on interval of protrusion. It was suggested that roughness is determined by frequency of the stimulation, in this dimensions range. (2) Roughness feeling by visual information depended on diameter of protrusion. We considered that roughness is determined by the contrast.

Keywords : Texture, Haptic information, Visual information

1. は じ め に

プラスチックは機械的・化学的性質に優れ、特に大量生産に適するため工業材料としてあらゆる分野で用いられている。一方、素材としての質感は金属・木材・皮革等に比して低く評価されがちで、このためコンシューマ製品では多くの場合、シボ加工や塗装・めっき等、質感の改善を目的とした表面加飾加工が施される。金型表面へのシボパターンの形成法としては、切削加工後の金型にエッチングでパターンを転写する方法が一般的であるが、近年では「デジタルシボ」と称される加工法[1]が一部で実用化されている。これはシボの3次元パターンを生成するシステムや、製品形状にテクスチャの凹凸を統合し大規模な3次元データを作成するシステム、大容量データを扱うことのできるComputer Aided Manufacturing (CAM) 等からなり、切削やレーザ加工によりシボパターンの形成まで行うことができる。またComputer Graphics (CG) による外観チェックやRapid Prototyping (RP) による試作とも親和性が高い。最終工程まで一貫してデジタルデータで管理されるため設計の自由度が高く、将来的には設計寸法によりテクスチャの外観や触感を数値的に制御することなどが期待される。これらの技術を背景に、金型設計の立場からは、質感を表現するためのテクスチャ設計手法の確立が課題となっている。このため本稿では量産可能なサイズの微細ドットパターン（直径0.1～0.3mm、間隔0.13～0.33mm）

を対象に、視覚・触覚における質感を調査し、寸法要因との関係を検討した。

製品開発の視点から樹脂の触感について検討した近年の事例として、佐野ら[2]による硬軟感のコントロールを企図したソフトフィールシボの開発や、川堰ら[3]による微細溝パターンの触感評価、米原ら[4]による凹凸のグラデーションをなぞり動作の位置決め精度の向上に利用した例等が挙げられるが、実際の成形品の微細形状を変化させて実施された例は未だ少数である。精神物理学や神経生理学の分野では、テクスチャの凹凸が人の感覚に与える影響については多くの研究が行われ、特に粗さ感に空間的要素と時間的要素がどう関わるかについて議論されている。Lederman [5] は、溝幅0.125～1mmの溝パターンについて接触力や速度を変えた場合の粗さ感を調査し、粗さ感には溝幅と接触力の影響が大きく速度の影響が小さいことを示し、刺激の時系列的変化の効果は小さいとした。これに対しCascioら[6]は、周波数を基準に速度を与える実験などを行い、この領域でも周波数情報が影響することを示した。Hollinsら[7]は、研磨紙を用いた実験により、100 μ m以下の粗さの識別には指とテクスチャの相対運動が必要なことを示し、粗い表面では空間的なメカニズム、微細な表面では振動によるメカニズムが用いられるとした。Jonsonらは、周期0.1mm以上を対象とした一連の神経生理学的検討[8]～[11]において、様々なパターンの粗さ刺激に対するサルの触覚受容体の応答をヒトの感覚量と比較することで、この領域では粗さ感がSA1の発火頻度の空間的变化によ

り説明できることを示し、振動情報が手掛かりになるとする説は神経生理学的な根拠に欠けるとしている。本稿に類似するドットパターンの実験例として、Connorら[8]はドット間隔を変化(0.8～6.5mm)させた場合の粗さ感を調査し、間隔が3.2mmで粗さ感が最大になることを示した。一方Meftahら[12]は、ドット間隔を1.5～8.5mmの範囲で変化させた実験を行い、粗さ感はドット間隔に対し全域で単調増加し、Connorらが示したピークは生じないとした。この違いの原因として、ドット配置や触察方法(能動/受動)の違いの他、Connorらの実験ではドット高さが低い(0.35mm)ため指の底付きが生じた可能性を挙げている。Blakeら[10]はドットの直径(0.25～2.5mm)と高さ(0.28～0.62mm)を変化させ、粗さ感がドット高さにより増加し、ドット直径により減少することを示した。本稿のような微細な領域を対象とした例として、Yoshiokaら[11]は溝幅(0.1～2mm)を変化させた溝パターンを用い、1mm以下の領域でも上記のSA1によるメカニズムで粗さ感が説明できるとしている。

これらの先行研究から、刺激の周期や形状と粗さ感の関係について一般的な傾向を知ることができるが、寸法要因・寸法領域の組み合わせに対し既知の範囲は限定的であり、それ以外の場合の感覚量については個々に探索する必要がある。例えばBlakeら[10]の例はドット形状が円錐台形で、この直径と本稿における半球形ドットの直径とが同じ効果を持つかは不明である。本稿のように直径が小さかつ間隔が狭い組合せの例は少なく、さらに視覚的な印象と合わせて検討された事例はみられない。

本稿の目的は、デジタルシボ技術の事業展開を前提に、現行技術で質感表現が可能なことと、実用的な設計指標を示すことである。このため量産品と同様の工程で製作した試料を用い、触察のみによる官能評価(実験Ⅰ)と、目視のみによる官能評価(実験Ⅱ)により、視覚・触覚の評価を独立に行った。また、視覚的な刺激を定量化するため、試料面における反射光の詳細な輝度分布測定を行った。

実験の結果、質問項目のうち粗さに関する項目で試料間に明確な差がみられ、触察時と目視時とでその評価基準が異なることが明らかになった。触察時の粗さ感は凸点の間隔と、目視時の粗さ感は凸点単体の直径や反射光のコントラストとそれぞれ高い相関を示し、触察時の粗さ知覚には主に凹凸周期が、目視時の粗さ知覚には主に凸形状に由来する光学的特徴が手掛かりとなることが示唆された。この結果は先行研究とも整合するものであり、現行のデジタルシボ技術でこの領域の粗さ感を寸法により制御できることと、この寸法領域における寸法要因と視覚・触覚による粗さ感の間の相互関係を示すことができた。

2. 実験

2.1 試料

実験用試料は通常の樹脂製品同様に射出成形により製作した。本実験で用いたテクスチャパターンは、平面上に半球形

図1 試料寸法とテクスチャ寸法パラメータ

表1 寸法パラメータの組合せ (mm)

	①	②	③	④	⑤	⑥
ドット直径	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3
ドット間隔	0.13	0.2	0.3	0.23	0.3	0.33

図2 ドット配置模式図

の突起を格子状に配置したもので、突起の高さは球の半径に等しい。製品へ応用する際の汎用性を考慮し、意匠への影響が小さいこと、触動作に対する方向性の偏りが少ないこと、加工が容易なこと等を重視し、本パターンを選択した。外観が均一なため、より低周波のベースパターンに重ねて使用することも可能である。図1に試料寸法とテクスチャパターンの寸法パラメータの定義を示す。寸法パラメータの範囲は通常の加工で使用される最小ツール径を参考に決定し、ドットの直径と間隔を表1のように組合せた6種類のパターンを選定した。ドット間隔については、緻密な領域ではスペース・サラサラ～ザラザラといった連続的な印象で、疎になることで離散的な凹凸感(ブツブツ)が生じるため、上限を0.33mmとした。図2に1×1mm範囲のドット配置の模式図を示す。素材は黒色ABS樹脂とした。この方法は金型製作のためのコストがかかるが、実製品と同等の品質で均質な試料を大量に得ることができる。設計時に微細な触刺激の形状や配置を任意に設定でき、素材や加工法の影響を排して形状の効果を独立に評価できる点が特長である。

2.2 【実験Ⅰ】触察による触感評価実験

触察による触感を評価するため、目で見ずに試料表面に触れた印象を評価する官能検査実験を行った。実験手法はシェッフエの一対比較法(中屋の変法)に従い[13]、5段階の相対評価で回答させた。質問は被験者を含まない3名により予備的検討を行い、試料から想起される印象と既知の触感因子を考慮し、表2の実験Ⅰに示す8項目とした。質問の順序は全被験者で同一とした。

射出成形金型設計のための樹脂表面テクスチャにおける目視と触察による粗さ感評価

表2 官能検査における質問項目

実験Ⅰ		実験Ⅱ	
I-1	なめらか	Ⅱ-1	なめらか
I-2	目が粗い	Ⅱ-2	目が粗い
I-3	凹凸が大きい	Ⅱ-3	凹凸が大きい
I-4	滑りにくい	Ⅱ-4	滑りにくい
I-5	しっとりしている	Ⅱ-5	しっとりしている
I-6	触り心地がよい	Ⅱ-6	触り心地がよい
I-7	硬い	Ⅱ-7	加工面が目立つ
I-8	ひんやりしている	Ⅱ-8	凹凸を感じやすい

被験者はいずれも触感評価についての専門家でない33名(男性20名, 女性13名)で, 年齢構成は20代4名, 30代9名, 40代17名, 50代3名であった。試料表面が直接見えないよう手元の視界を遮る目隠しを設置し, この下に2枚1組の試料を提示した。6種の試料の組合せ数は15通りで, 組合せの提示順と各組における左右の並び順は乱数を用いてランダムに設定した。実験時には練習用に最初に5組のダミー試行を挿入した。触察方法は示指の腹で触れ, 擦る場合には試料の短辺に平行に往復させるよう指示した以外は特に拘束せず, 硬さを探索する押込動作などは自由とした。比較する回数・時間は自由とした。

2.3 【実験Ⅱ】目視による触感評価実験

実験Ⅰとは逆に, 目視のみで触感の印象を評価する官能検査実験を行った。実験Ⅰと同様にシェッフェの対比較法(中屋の変法)に従った。質問は実験Ⅰの項目を一部変更した表2の実験Ⅱに示す8項目とした。質問の順序は全被験者で同一とした。視覚的に観察できる項目については見た目の印象を, それ以外の項目については手で触ったときの質感を推定して答えるように指示した。

被験者は実験Ⅰの被験者の一部であり, いずれも視覚評価についての専門家でない11名(男性9名, 女性2名)で, 年齢構成は20代1名, 30代1名, 40代6名, 50代3名であった。照明・観察条件はJIS L 0801:2011「染色堅ろう度試験通則」[14]に定める視感法の条件(試験片を45°に保持し, 上方から照明して試料に対し90°の方向から観察する)を参考に, 光源・試料・被験者を図3のように配置し, 光学的な条件を統一した。照明には常用光源D65 (JIS Z 8720) 蛍光

図3 目視による官能検査実験時の配置

図4 輝度分布測定時の配置

灯を使用した。観察距離は約350mmで, ドット間隔の空間周波数は約19~47cycle/degreeに相当する。観察位置からの試料の外観は, 試料面が暗いためドット形状はわからず, 各ドットに照明が映り込んだ輝点が周期的に並ぶのが見えるが, ドット直径が小さい場合には輝点の識別が難しい状態だった。実験Ⅰと同様に組合せ数は15通りで, 提示順と並び順はランダムに設定し, 練習用に最初に5組のダミー試行を挿入した。試料の交換時は, 照明は消さず, 回答済みの1組の試料を試料台から回収した上で次の1組の試料を提示した。

2.4 テクスチャ面の輝度分布測定

目視による印象を決定するテクスチャの外観を定量的に評価するため, 詳細な輝度分布を測定した。輝度校正されたデジタルカメラ(2次元輝度計)を使用し, 図4の配置で測定した。照明光源には400lxのハロゲンランプを2基用いた。輝度測定時には照明が近く, 1方向では輝度の傾斜分布が生じるため, これを相殺し均一な分布を得る必要から照明を2方向とした。実験Ⅱとは照明の数異なるが, 入射角・反射角は同一であり, 後述するコントラストの相対比較への影響は比較的小さいと考えられる。官能検査に使用した6種のドットパターン試料に無地の試料を加えた7種類の試料を測定した。

3. 結果および考察

3.1 【実験Ⅰ】触察による触感評価実験結果

文献[13]に従い, 官能検査の回答を-2~+2の5段階で得点化した上で, 質問毎に各試料の平均嗜好度を算出し, ヤードスティック距離によってサンプル間の有意差を検定した。図5に各質問に対する各試料の平均嗜好度を示す。粗滑感に係る「なめらか」, 「目が粗い」, 「凹凸が大きい」と, 「しっとり」, 「触り心地がよい」については試料間の差が大きく, 多くの試料間で有意差がみられた。これらの触感は形状の違いによる差が生じやすいといえ, “なめらか”なものほど“しっとり”して“触り心地がよい”と評価される傾向にある。平面的な粗密を問う「目が粗い」と, 山谷の高低を問う「凹凸が大きい」とでは得点傾向に違いがみられず, 本試料の範囲では両感覚は区別されず, 単一の粗さ感として知覚されるといえる。「硬い」, 「ひんやり」では試料間の差が小さく, 硬軟感や温冷感といった素材物性に依存する因子では印象に明確な差が生じないと考えられる。

3.2 【実験Ⅱ】目視による触感評価実験結果

実験Ⅰと同様に各試料の平均嗜好度を算出した。図6に各質問に対する各試料の平均嗜好度を示す。実験Ⅰと同様に粗滑感を問う「なめらか」、「目が粗い」、「凹凸が大きい」については試料間で大きな差がみられる一方、実験Ⅰで明確な差がみられた「触り心地がよい」については試料間の差が小さくなった。「なめらか」「目が粗い」などは表面性状を表す上で視覚・触覚に共通して使われる表現であり、視覚情報から直接的に評価でき、被験者間で解釈の差も小さいため試料間の違いが明確に現れたのに対し、「触り心地がよい」は視覚情報から触覚体験を推定する必要があるため、個人間のばらつきが大きくなったと考えられる。

3.3 官能検査結果の主成分分析

図5、図6ではそれぞれ、質問によらず試料間の順位がほぼ一定していることから、試料間の違いが明確な質問項目にその他の質問項目が従属的に評価されている可能性がある。そこで質問に共通する評価基準を把握するため、実験Ⅰ、Ⅱに共通の6項目の得点について主成分分析を行った。結果を表3に示す。実験Ⅰ、Ⅱとも第1主成分は粗滑感の評価軸に

一致し、その寄与率は98%以上であった。いずれの実験でも被験者は粗さ感という単一の印象を重視して回答していると考えられる。そこでこれらをそれぞれ「触察粗さ感」、「目視粗さ感」と定義した。図7にその散布図を示す。両者の間には有意な相関がみられないことから、触察時と目視時とでそれぞれ異なる基準により「粗さ」が判断されていると考えられる。

3.4 テクスチャ面の輝度分布測定結果

一般的にドットパターンにおける輝度分布は、図8のようにドット部に生じた輝点が等間隔に並ぶパターンとなる。輝度の高い部分はドットの球面部に光源が写り込んだもので、ドットのない無地試料では全面が暗い均一な分布になる。輝度分布を評価する特徴量として、視覚刺激における代表的な特徴量であるマイケルソンコントラスト(コントラスト)を算出した。コントラスト算出における輝度分布の模式図を図9に示す。コントラスト m は平均輝度 L_{mean} に対する最大輝度 L_{max} と最小輝度 L_{min} の差で定義され、 $m = (L_{max} - L_{min}) / L_{mean}$ で表される。ここでは測定領域内の上位1%の平均値を L_{max} 、下位1%の平均値を L_{min} とみなし

図5 【実験Ⅰ】触察による官能検査結果
(*: P<0.05 **: P<0.01)

図6 【実験Ⅱ】目視による官能検査結果

表3 共通6項目による主成分分析結果

【実験Ⅰ】固有値と寄与率		
	固有値	寄与率
主成分1	4.92	98.3%
主成分2	0.06	1.2%
主成分3	0.02	0.4%

【実験Ⅰ】主成分1の負荷量	
なめらか	-1.00
目が粗い	1.00
凹凸が大	0.99
滑りにくい	0.98
触り心地	-1.00

【実験Ⅱ】固有値と寄与率		
	固有値	寄与率
主成分1	4.90	98.0%
主成分2	0.08	1.6%
主成分3	0.01	0.3%

【実験Ⅱ】主成分1の負荷量	
なめらか	-0.99
目が粗い	0.98
凹凸が大	1.00
滑りにくい	0.99
しっとり	-1.00

図7 触察粗さ感と目視粗さ感の関係

射出成形金型設計のための樹脂表面テクスチャにおける目視と触察による粗さ感評価

て算出した。表4に各試料のコントラストおよび $L_{\max}$, $L_{\min}$, L_{mean} の値を示す。平面部に現れる $L_{\min}$ は試料間の差が小さく、コントラストの違いは主に輝点の $L_{\max}$ の違いにより生じていると考えられる。

コントラストと寸法パラメータとの関係について、図10にドット直径・ドット間隔とコントラストの散布図を示す。コントラストはドット直径と高い相関を示す一方、ドット間隔との相関は小さくなった。輝点は照明光がドット面で反射したもので、その明るさは反射面の曲率に依存するため、輝点の輝度 $L_{\max}$ はドット直径(曲率)に従って変化する。このためドット直径によりコントラストが決定するものと考えられる。

図8 輝度分布測定例(部分)

図9 輝度分布の模式図

表4 コントラストと最大・最小・平均輝度 (cd/m^2)

	①	②	③	④	⑤	⑥	無地
コントラスト	4.09	3.33	4.94	7.55	7.49	10.43	0.68
$L_{\max}$	19.94	13.59	19.06	38.20	33.23	44.00	3.87
$L_{\min}$	1.73	2.05	2.34	1.78	2.01	0.97	2.02
L_{mean}	4.45	3.47	3.38	4.83	4.17	4.12	2.70

図10 ドット直径・ドット間隔とコントラストの関係

3.5 感覚量と物理的特徴量の関係

以下では触察・目視による印象のうち、3.3節で得られた2種類の粗さ感について論じる。

(1) 相関係数による検討

触察粗さ感・目視粗さ感と、ドット直径・ドット間隔・コントラストの間の関係は図11のようになった。触察粗さ感とドット間隔との間に高い相関 ($P < 0.01$) がみられ、ドット直径との相関は小さい。これとは対称的に、目視粗さ感とドット直径およびコントラストとの間に高い相関 ($P < 0.01$) がみられ、ドット間隔との相関は小さい。

(2) 重回帰分析による検討

粗さ感の決定に係る各寸法パラメータの影響を評価するため、各粗さ感を目的変数、ドット直径・ドット間隔を説明変数とする重回帰分析を行った。結果を表5、表6に示す。

図11 触察・目視粗さ感と寸法・コントラストの関係

表5 触察粗さ感の重回帰分析結果

自由度修正済み決定係数 $R^2 = 0.987$

変数	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F値	P値
ドット直径	3.82	0.14	2.6	0.203
ドット間隔	26.28	0.90	106.8	0.002 **
定数項	-7.16		200.6	0.001 **

表6 目視粗さ感の重回帰分析結果

自由度修正済み決定係数 $R^2 = 0.889$

変数	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F値	P値
ドット直径	27.57	1.02	27.8	0.013 *
ドット間隔	-2.44	-0.08	0.2	0.694
定数項	-3.99		12.7	0.038 *

標準偏回帰係数およびP値から、触察粗さ感の決定にはドット間隔が支配的であり、目視粗さ感の決定にはドット直径が支配的であることがわかる。

上記(1)、(2)より、本試料の粗さ感は触察時には主にドット間隔から決まり、目視時には主にドット直径から決まるといえる。

3.6 触察における粗さ感の決定要因

3.5節のように触察時の粗さ感は基本的にはドット間隔により決まると考えられる。粗さ感がドット間隔に応じて増加することは多くの先行研究と一致するが、ここではBlakeら[10]が示したようなドット形状(直径・高さ)の影響がみられない。一方、図5の官能検査結果ではドット間隔以外の影響がみられる。図5にドット間隔が等しい試料③-⑤間で生じた有意差を白抜き文字で示す。粗さ感がドット間隔のみで決まる場合、③-⑤間で有意差は生じないはずであるが、「なめらか」「目が粗い」「凹凸が大きい」で安定した有意差($P<0.01$)がみられ、⑤の方が「粗い」と判断されている。Blakeら[10]の実験結果では、ドット直径が小さい領域では直径の影響は小さく高さの影響が強く表れる(ドット直径が0.25mmでは粗さ感はドット高さにほぼ比例する)。粗さ感が③<⑤となる結果はこの傾向と一致し、ドット高さが影響している可能性がある。ただしBlakeらの結果はドット間隔が十分広い(3.5mm)場合の例であり、この点が本稿と異なる。本稿ではドット間隔は直径の1.1~3倍と密で、ドット頂部しか接触に関与しないため、ドット高さの差(2倍)に比べ実質的な高さの差は小さくなると考えられる。このため本稿ではドット直径($\propto$ 高さ)の影響はみられるものの、ドット間隔に比べ非常に小さくなったと考えることができる。

以上のように、触察時の粗さ感は基本的にはドット間隔により決まるが、部分的にドット直径(高さ)の影響を受けると考えられる。

3.7 目視における粗さ感の決定要因

3.5節のように目視時の粗さ感は基本的にはドット直径により決まると考えられる。目視粗さ感・ドット直径・コントラストは相互に相関が高いことから、ドット直径から決まるコントラスト等の光学的特徴量が面の粗さ感を判断する手掛かりになっていると考えられる。上條ら[15]はコントラストチャートを用いた実験により、コントラストが視覚による粗さの判断基準になることを示している。赤川ら[16]は、正弦波による縞模様のコントラスト(0.1~1.0)と空間周波数(0.504~27.7 cycle/degree)を変化させた画像の粗さ・なめらかさを調査し、コントラストが高いほど粗く・空間周波数が高いほどなめらかに感じられることを示している。本実験においても同様の知覚機構により、被験者は試料表面のコントラストを凹凸の大小と解釈し、粗さを推定している可能性がある。また、ドット間隔が粗さ感に影響しないことから、視覚的には輝点の数や密度といった

平面的な配置は粗さと結びつきにくいと考えられる。一方、図6の個別の官能検査結果ではドット直径以外の影響もみられる。図6ではドット直径が等しい試料①-②-③および④-⑤間で生じた有意差を白抜き文字で示している。これらは順位と有意差の生じる位置により、次の2つのパターンに分けられる。

(1) 一般的なパターン(「目が粗い」以外)

「なめらか」、「凹凸が大きい」をはじめ多くの質問で②=③に対し①が有意に大きく、間隔が狭い①が粗く評価されている。この傾向は「加工面が目立つ」で顕著に表れることから、①では加工部と未加工部の外観の違いが粗さ感に影響している可能性がある。目視時に②、③は格子状の隙間をもつ周期的パターンに見えるのに対し、①はドットの密度が高いため、凹凸が隙間なく敷き詰められたように見える。空間周波数が高くドットが分離できないことで、加工部の目立ち方や粗さ感に交互作用が生じた可能性がある。

(2) 「目が粗い」パターン

「目が粗い」については他の質問と異なり、相対的に③の順位が高く、②-③間と④-⑤間に有意差が生じ、直径が等しい場合にドット間隔の広いものがより粗いと判断されている。これは平面的な粗密を問う質問であるためにドット間隔の違いがそのまま反映したと考えることができる。②-③、④-⑤では空間周波数が30 cycle/degree以下と比較的粗いため、これが官能検査結果の差に表れたと考えられる。

空間周波数について赤川[16]の結果を当てはめると、空間周波数が同じ範囲にある試料②~⑥(19~30 cycle/degree)についてはドット間隔が粗さ感の増加に寄与すると予想される。一方、本実験結果では上述の「目が粗い」以外ではこの傾向はみられず、空間周波数の影響は明らかでない。ドット面での反射光がスパイク状であることや、空間周波数の差(約1.6倍)が小さいことがこの違いを生じた可能性がある。試料①については空間周波数が高いにも関わらず粗さ感が大きくなっており、前述のような交互作用の影響が考えられる。

3.8 製品設計への応用

以上のように視覚・触覚の感覚モダリティにおいて粗さ感に結びつく寸法要因がそれぞれ異なることが明らかになった。樹脂製品におけるテクスチャ設計の立場からは、これを製品表面の印象制御に応用し得る可能性がある。触察と目視とで粗さ感の要因が独立していることから、個別に設計値を設定することで、見た目と触れた際の印象を任意に調整するなどが期待できる。両パラメータの組合せにより、例えば意匠の異なる表面の粗さ感を揃えたり、見た目の予想を裏切ることで触感の印象を強調したりするなどの展開が考えられる。本稿ではドットパターンを用いているが、触刺激の周期や視覚的なコントラスト等の光学的特徴量に注目することで、その他のテクスチャパターンにも適用できる可能性がある。

射出成形金型設計のための樹脂表面テクスチャにおける目視と触察による粗さ感評価

4. お わ り に

量産品と同様の工程で製造したドットパターンサンプルについて、触察のみによる触感評価実験と目視のみによる触感評価実験を行い、以下のことが明らかになった。

- (1) 粗さ感と寸法値との間に線形の関係がみられ、現行技術で設計値により粗さ感の調整が可能であることを確認した。触察と目視とでは粗さ感に結びつく寸法要因が異なることから、樹脂製品製造の視点からこれを製品の印象制御に応用し得る可能性がある。設計値を個別に設定することで、見た目と触れた際の印象を任意に調整するなどの活用が期待できる。
- (2) 触察時の粗さ感は基本的にはドット間隔により決まり、部分的にドット直径（高さ）の影響を受けることがわかった。この理由として、本試料の寸法域ではドットの密度が高く、ドット高さの違いが接触状態の違いに反映されにくいことが考えられる。
- (3) 目視時の粗さ感はドット直径およびコントラストと高い相関を持つことがわかった。目視による粗さ感は主にドット直径から決まるコントラスト等の光学的特徴を手掛かりに判断されると考えられる。また空間周波数の影響は明らかでなく、平面的な配置の様態は“目の粗さ”には影響するものの視覚的な粗さ感には結びつきにくいと考えられる。

今後の課題として、視覚・触覚が統合された場合の両者の組合せ効果について検討する予定である。また、本稿の結果は限定的な寸法域におけるものであり、実製品に活用する上では、より間隔が大きい場合やドットパターン以外への適用可能な範囲について検討が必要である。

参 考 文 献

- [1] 樫山剛士：D3 テクスチャーを利用した新しいモノづくり、型技術、28(2)、pp.32-35、2013。
- [2] 伴アカネ、田村谷誠、竹内貴司、姜蓮伊、藤本英雄、佐野明人、望山洋、武居直行、田中由浩：特許第5253103号車両用内装部品、2008。
- [3] 川堰宣隆、藤井美里、清水孝晃、関口徳朗、住岡淳司、土肥義治：マイクロ加工を応用した風合いを有するプラスチック成形品の開発、2012年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集、pp.81-82、2012。
- [4] 米原牧子、樹野淳也、中村一美、竹原伸、藤井隆志、福本知輝：グラデーションパターンがなぞり動作の位置精度に与える影響、人間工学、49(6)、pp.279-288、2013。
- [5] Lederman, S. J.: Tactile roughness of grooved surfaces: The touching process and effects of macro- and microsurface structure, *Perception & Psychophysics*, 16(2), pp.385-395, 1974.
- [6] Cascio, C. J. and Sathian, K.: Temporal Cues Contribute to Tactile Perception of Roughness, *The Journal of Neuroscience*, 21(14), pp.5289-5296, 2001.
- [7] Hollins, M. and Risner, S. R.: Evidence for the duplex theory of tactile texture perception, *Perception & Psychophysics*, 62(4), pp.695-705, 2000.
- [8] Connor, C. E., Hsiao, S. S., Phillips, J. R. and Johnson, K. O.: Tactile Roughness: Neural Codes That Account for Psychological Magnitude Estimates, *The Journal of Neuroscience*, 10(12), pp.3823-3838, 1990.
- [9] Connor, C. E. and Johnson, K. O.: Neural Coding of Tactile Texture: Comparison of Spatial Temporal Mechanisms for Roughness Perception, *The Journal of Neuroscience*, 12(9), pp.3414-3426, 1992.
- [10] Blake, D. T., Hsiao, S. S. and Johnson, K. O.: Neural Coding Mechanisms in Tactile Pattern Recognition: The Relative Contributions of Slowly and Rapidly Adapting Mechanoreceptors to Perceived Roughness, *The Journal of Neuroscience*, 17(19), pp.7480-7489, 1997.
- [11] Yoshioka, T., Gibb, B., Dorsch, A. K., Hsiao, S. S. and Johnson, K. O.: Neural Coding Mechanisms Underlying Perceived Roughness of Finely Textured Surfaces, *The Journal of Neuroscience*, 21(17), pp.6905-6916, 2001.
- [12] Meftah, E. M., Belingard, L. and Chapman, C. E.: Relative effects of the spatial and temporal characteristics of scanned surfaces on human perception of tactile roughness using passive touch, *Exp Brain Res*, 132, pp.351-361, 2000.
- [13] 日科技連官能検査委員会：新版 官能検査ハンドブック、日科技連出版社、pp.379-385、1973。
- [14] 日本工業標準調査会：JIS L0821：2011 染色堅ろう度試験方法通則、日本規格協会、2011。
- [15] 上條正義、細谷聡、高寺政行、佐渡山亜兵、眞野倅一、清水義雄：粗さ感を発現する視対象物体の幾何学的特徴の抽出、繊維学会予稿集、57(2)、p.1、2002。
- [16] 赤川悠哉、石川智治、篠田一馬、乾滋、佐々木和也、宮武恵子、阿山みよし：布地を想定した提示画像の粗さ・なめらかさの評価～コントラスト・空間周波数・輝度の変化～、第10回日本感性工学会春季大会予行論文集、2015。

相澤 淳平 (学生会員)

1999年 慶應義塾大学大学院理工学研究科修士課程修了。2000年 長野県情報技術試験場ソフト開発部。2007年 長野県商工労働部ものづくり振興課。2009年 長野県工業技術総合センター設計支援部、現在に至る。感性工学、

生体計測、精密測定等に関する研究に従事。精密工学会会員。

平出 真一郎 (非会員)

1980年 信州大学大学院繊維学研究科修士課程修了。1981年 長野県繊維工業試験場化学部。2002年 長野県情報技術試験場繊維木工生活科学部。2007年 長野県工業技術総合センター人間生活科学部、現在に至る。繊維化学、

繊維製品消費科学等に関する研究に従事。繊維学会会員。

北野 哲彦 (非会員)

1996年 長岡科学技術大学大学院工学研究科修士課程修了。同年 長野県情報技術試験場デザイン部。2008年 長野県工業技術総合センター測定部。2012年 長野県工業技術総合センター人間生活科学部、現在に至る。形状計測、

精密計測、生体計測等に関する研究に従事。精密工学会会員。

榎山 剛士 (非会員)

1999年 桃山学院大学経営学部卒業。イギリス留学後、2001年 榎山金型工業(株)入社。2007年 同社、代表取締役社長。2010年 エムケーカシヤマ(株)代表取締役社長、現在に至る。

上條 正義 (正会員)

1987年 信州大学繊維学部繊維工学科卒業。1989年 信州大学大学院繊維学研究科修士課程修了。1990年 東京理科大学諏訪短期大学部感性工学科助手。1996年 信州大学繊維学部感性工学科助手。2001年 同大、助教授。

2005年 信州大学大学院総合工学系研究科助教授。2009年 同大、教授、現在に至る。博士(工学)。感性工学における計測評価の研究に従事。IEEE、繊維学会、自動車技術会、照明学会、電子情報通信学会、計測自動制御学会、人間工学会 各会会員。