



S. Hara

射出成形金型表面のテクスチャ設計と成形品の光反射特性に関する研究

原 精一郎*

1. 研究の目的と背景

多くの家電製品やパソコン等のハウジング、自動車の内装には微小な凹凸形状、すなわち「しぼ」が付けられている。塗装を行わないプラスチック製品表面の質感は、主に樹脂材料の特性と樹脂表面の微細形状で決定される。ただし、樹脂材料の種類は機械的性質やコストによって選択が制限されるため、質感の向上のためには、しぼ形状が重要な役割を果たす。

このようなしぼは、射出成形金型の表面にエッチングにより凹凸を設けることにより、成形と同時に施される。しぼを施すことによって、鏡面反射防止、あるいは、成形時のウエルドラインや艶むらを目立たなくするという機能、さらには視覚、触覚における品位を向上させて、製品にソフト感、高級感等の質感を与えるといった機能が実現できる。また、しぼ加工は金型に加工を施すだけで、製品全数にしぼが付加される。そのため製品全数に塗装を行う場合に比べて、コストを抑えることができ、さらに環境への影響が少ない表面加工法である。

そうした優れた特性がある一方、しぼ形状の設計あるいは選択は経験的に行われている例が多く、質感としぼ形状との因果関係が定量化されているとは言い難い。人はしぼ面からの反射光を目で受光し、表面がどのような質感であるかを感じる。そこで本研究では等方性と見なすことのできる梨子地しぼ面を対象として、3次元表面凹凸形状、光反射特性、及び視覚品位という3者の関係を明らかにすることを目的とする。

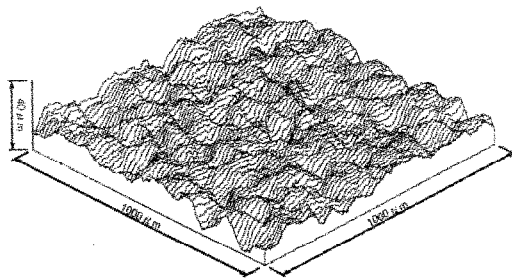


図1 Mold Eの3次元表面形状

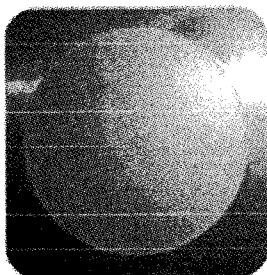


図2 成形品 Product Eの外観

2. 試験用の成形品の作成

本研究では主に家電製品のハウジングを想定し、頻繁に用いられている黒色のABS樹脂に等方性の梨子地しぼを施した成形品を対象とした。

鏡面仕上げ面の金型(Mold A)、及び平均波長(きめの細かさ)と振幅(表面粗さ)が異なるしぼを施したMold B, C, D, Eの計5種類のしぼ面金型で射出成形を行った。成形試料は60mm×60mm×2mmのプレート状であり、直径50mmの円領域内にしぼ加工を施した。例として、金型Eの表面凹凸形状を図1に、その成形品Product Eを図2に示す。樹脂の色が黒であるのは、拡散光の影響を抑える効果もある。表1に成形条件を示す。

各金型において、表1に示すように金型温度を50~80°Cの4段階に変化させて成形を行っている。これは金型温度が高い場合には低い場合に比べ、樹脂が金型のより微細なしぼの窪底まで入り込むことになるので、より凹凸が精密に転写された成形品が得られることが期待されるためである。

3. 3次元表面凹凸形状と光反射特性の関係

しぼ面からの反射光量が角度によって変化することを目で認識することにより、人はしぼ面の質感を認識していると考えられる。そこで、正反射方向から角度を変えてしぼ面での反射光の輝度分布を測定することとした。すなわち、反射輝度の角度分布の標準偏差を算出し、これを光反射特性の指標とした。この標準偏差が小さければ正反射の成分が強く、キラリと光る面であり、逆に値が大きければ拡散反射成分が強くボヤッと光る面である。輝度分布の測定原理を図3に、使用した輝度計と装置概要を表2に、測定結果を図4に示す。

表1 射出成形条件

金型	Mold A (鏡面), Mold B, C, D, E (しぼ面)
金型温度	50, 60, 70, 80 °C
樹脂温度	220~250 °C
射出圧力	1.03 GPa
保圧	0.88 GPa

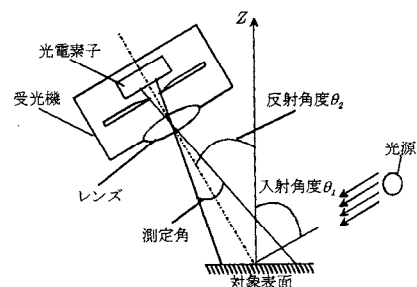


図3 輝度測定の概略

表2 輝度測定条件

測定機	BM802D (トブコン)
光源	COLD SPOT PICS-NLX-150(日本 P・I)
測定角	0.2 deg.
試料との距離	300 mm
入射角 α	30 deg.
反射角 β	0~60 deg.(5 deg.刻み)

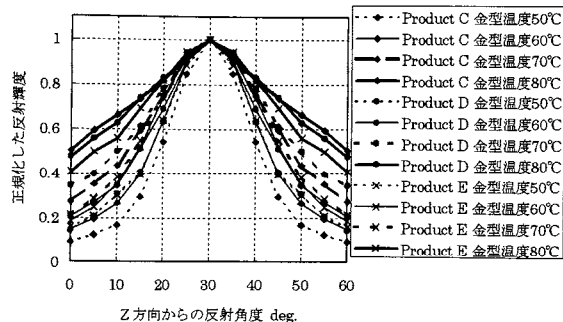


図4 輝度の角度分布

金型の種類と金型温度により反射光の角度分布が変化していることが明らかである。反射輝度の角度分布は正規分布に非常に近いものとなったので、滑降シンプレックス法を用いて正規分布に近似し、その標準偏差を求めた。

一方、しば面の3次元表面凹凸形状については、触針式表面粗さ計を用いて3次元の高さデータを測定した。

輪郭曲線における入・反射光と傾斜の関係²⁾は式(1)で表される。

$$\beta = \alpha + 2\gamma \quad (1)$$

ここで、 β は反射角度、 α は入射角度、 γ は表面の傾斜角度である。このように、反射角度の分布は、微細な面の傾斜の分布の2倍と関係付けられる。そこで、3次元表面凹凸の高さデータから各微細面素の傾斜を計算してヒストグラムを求め、その標準偏差を指標とした。ただし、式(1)では2次元の表面輪郭曲線における光反射が表されているが、人間の目は広がりを持った面領域からの反射光を受光していることから、3次元表面形状から算出した傾斜を用いるほうが望ましいと言える。そこで、3次元表面凹凸形状の微視的面素から算出した傾斜値のヒストグラムから標準偏差を求めた。

図5は正反射方向において正規化し、正規分布近似した反射輝度の角度分布であり、図6は表面形状の傾斜ヒストグラムの標準偏差である。図中の変数 T_m は金型温度、 σ_s は傾斜ヒストグラムの標準偏差、 σ_i は反射輝度の標準偏差を示す。図5の反射輝度の角度分布において、鏡面仕上げのMold Aと粗さの小さなMold Bは金型温度が変化しても分布の標準偏差はほぼ一定の値を示している。図6の傾斜ヒストグラムにおけるMold Bの標準偏差も変化していない。これは、実際に金型温度の異なる成形品を目視で比較しても、Product A,Bに違いは見られず、Product C-Eは違って見ることが反射輝度分布の違いにも表れているといえる。図5、図6における各直線近似式の傾きを表3に示す。これより、傾

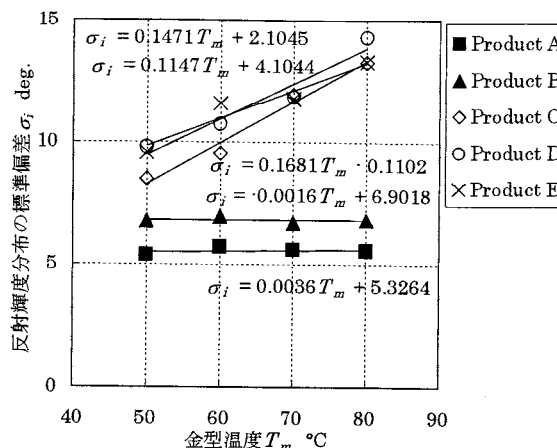


図5 輝度分布の標準偏差と金型温度の関係

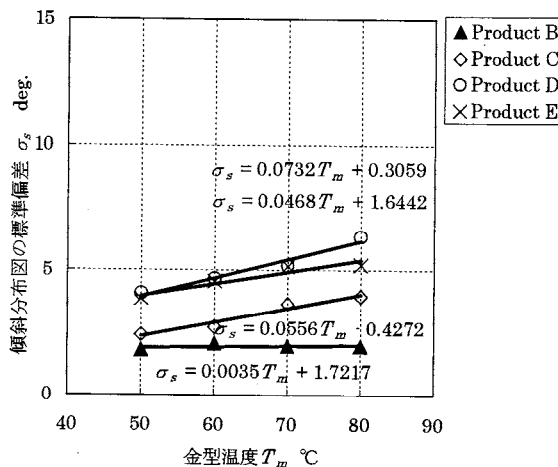


図6 表面傾斜の標準偏差と金型温度の関係

斜ヒストグラムと反射輝度の角度分布は式(2)で表すことができる。

$$\sigma_i \approx 2\sigma_s \quad (2)$$

ここで、 σ_i は反射輝度の角度分布の標準偏差、 σ_s は傾斜ヒストグラムの標準偏差である。よって、式(1)の仮定が成り立っており、しば面での光反射においては、面素の傾斜が支配的であることが分かる。この結果から反射光の強度分布を変化させるには、表面形状の微細な傾斜を制御することが重要であることが明らかとなった。

表3 金型温度と反射輝度分布・傾斜ヒストグラムの標準偏差の関係に対する回帰直線の傾き

	反射輝度の分布 σ_i	傾斜の分布 σ_s
Product A	0.00 °/K	0.00 °/K
Product B	0.00 °/K	
Product C	0.17 °/K	0.09 °/K
Product D	0.15 °/K	0.07 °/K
Product E	0.11 °/K	0.05 °/K

4. 官能検査

4.1 品質ワード

図7は製品を欲しいと感じて、購入する場合の視覚品位⁵⁾に関する概略的な流れを示している。実際はこのように単純ではないが、幾つかのグループ1の品質からグループ2の品質が想像され、さらに、グループ2の幾つかの品質によって、「好き・嫌い」、「欲しい・欲しくない」といったグループ3の嗜好に行きつくと考えた^{6,7,8)}。そのため、視覚品位における官能品質は大きく3つのグループに分けて考える。表4に3つのグループとそれに含まれる品質ワードを示す。ただし、本研究では、しば加工が施された試料のみから、グループ3の嗜好を判断することは難しいと考えたため、グループ1, 2に属する品質ワードを用いて検査を行った。

4.2 実験の概要

本研究では、k個の試料のうち2個ずつを対にして比較するため順位法⁴⁾に比べて判断が容易な一対比較法を用い、試料間における順位の有義性だけでなく、試料間の差の程度を算出することができるシェッフエの一対比較法⁴⁾を用いた。また、順序効果を考慮せず、1人のパネリストが全ての対を評

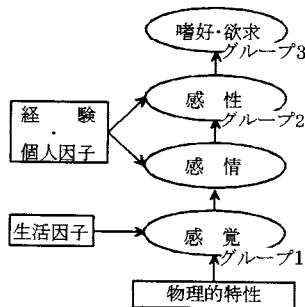


図7 嗜好へ至る概略的な流れ

表4 品質を表す言葉

グループ1 感覚: 光や表面形状で説明可能な品質		
光沢がある	滑らかな	凹凸がある
丸みのある		
グループ2 感性: 人間が受ける品質		
暖かそう	高級そう	丈夫そう
柔らかそう	軽そう	清潔そう
落ち着いた	なじみやすい	繊細な
すっきりとした	自然な	あいまいな
飽きのこない	目立つ	単調な
グループ3 嗜好		
好き	欲しい	良い

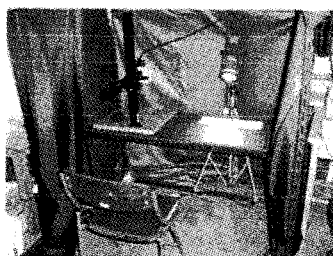


図8 官能検査ブース

価する中屋の変法を用いた。

検査は黒い遮光カーテンに覆われた図8のブース内で行った。試料には人工太陽照明灯(Seric XC-100)を正面上方から45°の方向より照射している。以下に実験概要を示す。なお、試料に関する情報はパネリストに与えなかった。

・パネリスト ……12人

・試料 ……Product Dの金型温度50, 60, 80°C

・評点法 ……3点法

4.3 実験結果

得られた結果から、平均嗜好度、個人差および組合せ効果の推定を行い、これらの推定値より分散分析とヤードスティックを求めた⁹⁾。分散分析結果とヤードスティックの95%信頼区間における試料差の有義性を表5に示す。分散分析において、主効果が有意で、個人差と組合せ効果が有意でない視覚品位を*印で示す。各視覚品位に関する試料の平均嗜好度を表6に示す。

表5で*が付いていない視覚品位は分散分析の主効果が有意ではなく、試料間に差があるとはいえない。「清潔そう」、「なじみやすい」は、分散分析の主効果が有意であったが、各パネリストの判断に個人差が現れている。

一方、「丸みがある」、「柔らかそう」、「軽そう」、「すっきりとした」、「目立つ」、「単調な」は分散分析において、各パネリストによる評価と試料の組合せによる差がなく、試料のもつ嗜

表5 分散分析とヤードスティックの検定結果
(金型温度の違い)

視覚品位	分散分析 有意差 [%]			ヤードスティック (95%信頼区間)		
	主効果	個人差	組合せ	50-60°C	50-80°C	60-80°C
グループ1						
光沢がある	×	×	×	×	×	×
滑らかな*	0.5	×	×	○	○	○
凹凸がある*	0.5	×	×	○	○	○
丸みのある*	1	×	×	×	○	×
グループ2						
暖かそう	×	2.5	×	×	×	×
高級そう	×	0.5	×	×	×	×
丈夫そう	×	5	×	×	×	×
柔らかそう*	5	×	×	×	○	×
軽そう*	0.5	×	×	○	○	×
清潔そう*	0.5	5	×	○	○	×
落ち着いた	×	5	×	○	○	○
なじみやすい*	0.5	2.5	×	×	×	×
繊細な	×	2.5	0.5	×	×	×
すっきりとした*	1	×	×	×	○	×
自然な	×	0.5	×	×	×	×
あいまいな	×	1	×	×	×	×
飽きのこない	×	2.5	×	×	×	×
目立つ*	0.5	×	×	○	○	×
単調な*	2.5	×	×	×	○	×

表6 平均嗜好度

視覚品位	金型温度		
	50[°C]	60[°C]	80[°C]
グループ1			
滑らかな	0.50	0.14	-0.64
凹凸がある	-0.53	-0.08	0.61
丸みのある	0.33	-0.03	-0.31
グループ2			
柔らかそう	0.25	0.06	-0.31
軽そう	0.50	-0.19	-0.31
清潔そう	0.36	0.11	-0.47
なじみやすい	0.33	-0.06	-0.28
すっきりとした	0.28	0.08	-0.36
目立つ	-0.44	0.06	0.39
単調な	0.31	0.03	-0.33

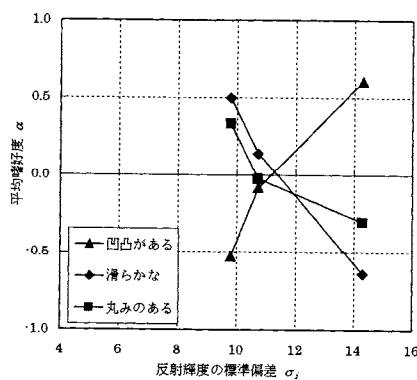
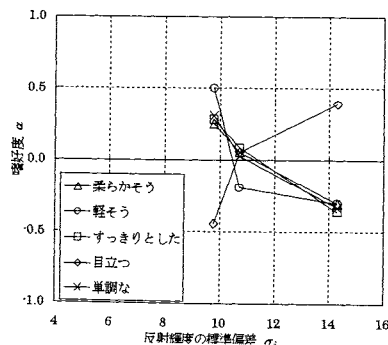


図9 平均嗜好度と反射輝度の標準偏差の関係(グループ1)



好度が統計的に有意であったが、ヤードスティック Y の 95% 信頼区間における試料差の有意性において、全ての試料間では有意差を得られていない。「滑らかな」、「凹凸がある」は分散分析、ヤードスティック Y のいずれにおいても全ての試料差において有意差があった。これは、光や表面形状で説明可能な品質 (表6のグループ1) であり、嗜好性に関する品質ではなく個人差が出にくいいため、明確な結果が表れたと思われる。

5. 光反射特性と官能検査の相関関係

表5で*印が付き、分散分析の結果が良い視覚品位に対して、反射輝度の角度分布から算出した標準偏差と、視覚品位の平均嗜好度について相関を求めた。光や表面形状で説

明可能である視覚品位(表4のグループ1)を図9に、人間が受ける品質(表4のグループ2)を図10に示している。

図9において、「凹凸がある」、「滑らかな」は差が大きく、個人差が現れにくく、試料差を判断しやすい視覚品位であると言える。

一方、図10の5つの視覚品位は、ヤードスティック Y において、全ての試料間では残念ながら有意差を得られていない。視覚品位が必ずしも光反射特性と線形的な関係にあるとは断定できないが、これらの試料が3次元表面凹凸形状、光反射特性において線形的な関係にあり、金型温度50°Cと金型温度80°Cの間で有意差が得られていることから、その間の金型温度60°Cとの嗜好差においても直線的な関係にあるとは考えられる。これらの結果より、反射輝度の分布に基づき視覚品位を推定することの可能性を示すことができた。

6. まとめ

- 1) 3次元表面凹凸形状データから算出した傾斜ヒストグラムの標準偏差と、反射輝度の角度分布から算出した標準偏差によって、表面形状と光反射特性を関係づけることができた。
- 2) 官能検査による視覚品位の平均嗜好度と、反射輝度分布の標準偏差にはほぼ線形的関係が得られた。これより、製造工程において射出成形後の試料の反射輝度を測定することで視覚品位が推定できることとなり、金型温度による視覚品位制御の可能性が示された。

参考文献

- 1) 奥野 真, 虎尾 彰: 鉄鋼業における目視検査の自動化、計測と制御, 37, 7 (1998) 516
- 2) X. Zhang and W. North: Retroreflective Grating Generation and Analysis for Surface Measurement, Applied Optics, 37, 13, (1998) 2624
- 3) 坂口智洋, 原 精一郎, 柳 和久: テクスチャ面を対象とした突起頂上部の形状評価と方位の定量化, 1998年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, (1998) 291
- 4) 佐藤 信: 統計的官能検査法, 日科技連出版社, (1985) 225
- 5) 中森義輝: 感性データ解析・感性情報処理のためのファジィ数量分析手法-, 森北出版, (2000) 6
- 6) 篠原 昭, 清水義雄, 坂本 博: 感性工学への招待・感性から暮らしを考える-, 森北出版, (1996) 22
- 7) 本多健一: 感性工学の枠組み, エリート印刷, (1997) 128
- 8) 長町三生: 感性工学 - 感性をデザインに活かすテクノロジー-, 海文堂, (1990) 22
- 9) 天坂格郎, 長沢伸也: 官能評価の基礎と応用 - 自動車における感性のエンジニアリングのために-, 日本規格協会, (2000)