

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

長岡技術科学大学 機械系

助手 原 精一郎

(平成 11 年度奨励研究助成 AF-99024)

キーワード: 射出成形金型, しぼ, 光反射

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。しぼは, 表面にエッチングを施した金型によって射出成形を行うことで得られる。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, さらには製品にソフト感, 高級感等の質感を与え, 視覚品位, 触感などの製品価値を向上させる, といった機能が実現できる。しぼ加工は金型にエッチング加工を施すことによって行われるので, 製品全数に塗装を行う場合に比べて, 環境へ与える影響が少ない表面加工法である。

塗装を施さないプラスチック製品表面の質感は, 主に樹脂材料と表面の微細形状に因るが, 樹脂材料は機械的性質やコストによって選択の幅が制限されるため, 質感の制御はしぼ形状にその多くを依存している。しかし, しぼ形状の選択と生成は経験的に行われており, 質感としぼ形状との因果関係も定量化されているとは言い難い。人間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からの3次元表面凹凸形状と光反射特性および視覚品位の関係を求める。

2. 実験対象

本研究は主に家電製品のハウジングを想定し, 多く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試料を対象とした。

鏡面仕上げ面を含めて, 平均波長と振幅が異なる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

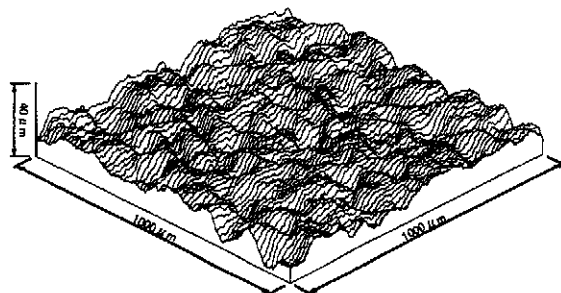


図1 Mold E の 3 次元表面形状

に示す。樹脂の色は, 拡散光の影響を抑えるために黒とした。主な成形条件を表1に示す。

各金型において, 表1に示したように金型温度が50~80°Cの4段階で成形を行っている。金型温度が高い場合には低い場合に比べ, 樹脂が金型の微細なしぼの窪底まで入り込むことになるので, より凹凸が転写された成形品が得られることになる。

3. 3次元表面凹凸形状と光反射特性

人間はしぼ面からの反射光を目で受光することによって, しぼ面の質感を認識している。そこで, しぼ面の3次元表面凹凸形状と光反射特性の定量化を試みた¹⁾。本研究では, 光量を表すパラメータの1つである反射輝度の角度分布から算出した標準偏差と, 3次元表面凹凸の高さデータから算出した微細面素の傾斜ヒストグラムの標準偏差を相関付けた。使用した輝度計と装置概要を表2に示す。輝度分布の測定原理を図2に, 測定結果を図3に示す。

表1 射出成形条件

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

表2 輝度測定条件

測定機	BM802D (トプコン)
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)

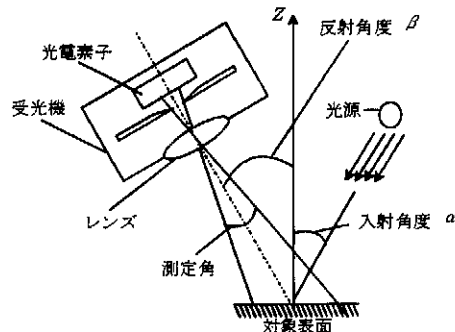


図2 輝度測定の概略

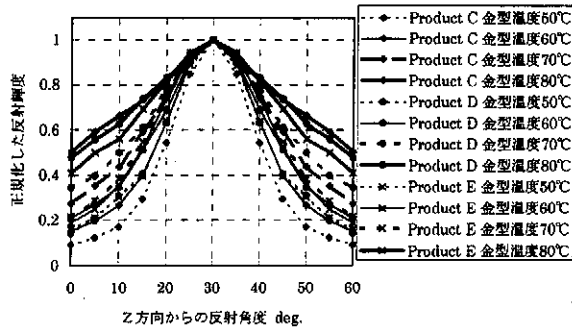


図3 輝度の角度分布

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。

式(1)で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必要がある。そこで、3次元表面凹凸形状の微視的要素から算出した傾斜値のヒストグラムの標準偏差を求めた。

傾斜の算出には平滑化微分法を用いた³⁾。この方法は、格子状の離散データに曲面を当てはめることによる平滑化効果が期待でき、短波長成分の影響が軽減できる。ここで、評価領域は2次元自己相関関数を算出し、最も早く相関値が1.0から0.8に減衰する方向の遅れ距離の2倍である32 μ mに設定した。この方法によって、離散データの各点でX、Y方向の2つの傾斜が求められるが、等方性である梨子地しぼ面においてX、Y方向の分布形状がほとんど変わらないことから、X方向の傾斜から標準偏差を求めた。

反射輝度の角度分布は正規分布に非常に近いものだったので、滑降シンプレックス法を用いて正規分布に近似し、標準偏差と平均値を求めた。

図4、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と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4の反射輝度の角度分布において、鏡面仕上げのMold Aと S_q 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5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すると、Product A,Bに違いは見られず、Product C・Eは違って見え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4、図5における各直線近似式の傾きを表3に示す。これより、傾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。

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

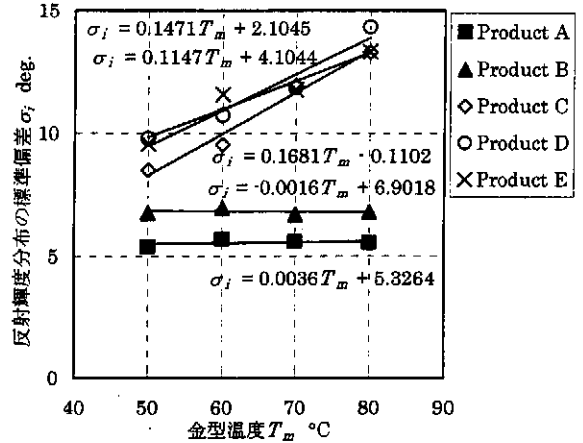


図4 輝度分布の標準偏差と金型温度の関係

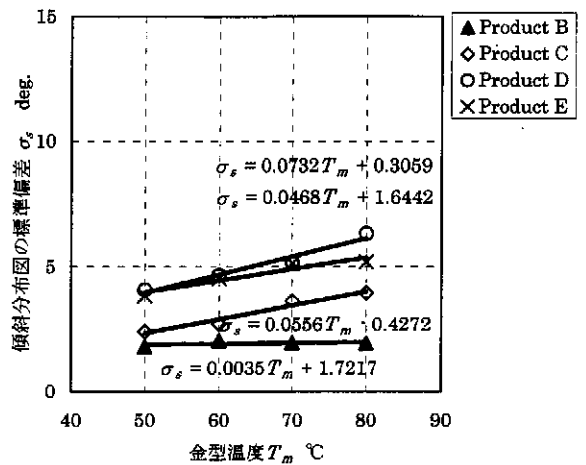


図5 表面傾斜の標準偏差と金型温度の関係

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

	反射輝度分布	傾斜ヒストグラム
Product A	0.00 deg./K	0.00 deg./K
Product B	0.00 deg./K	0.00 deg./K
Product C	0.17 deg./K	0.09 deg./K
Product D	0.15 deg./K	0.07 deg./K
Product E	0.11 deg./K	0.05 deg./K

ここで、 σ_i は反射輝度の角度分布から算出した標準偏差、 σ_s は傾斜ヒストグラムの標準偏差である。この結果から、式(1)の仮定が成り立っており、しぼ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。

4. 官能検査

4.1 品質ワード

図6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、

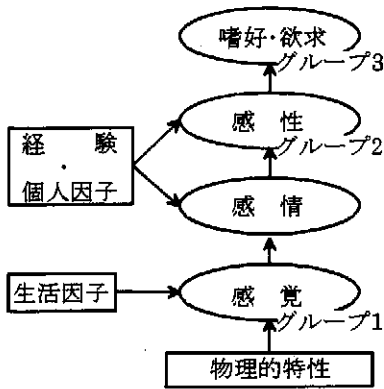


図6 嗜好へ至る概略的な流れ

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

「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。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、4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意性だけでなく、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

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

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意性を表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、

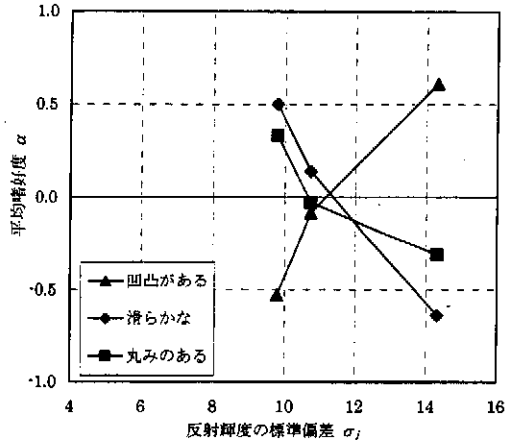


図7 平均嗜好度と反射輝度の標準偏差の関係(グループ1)

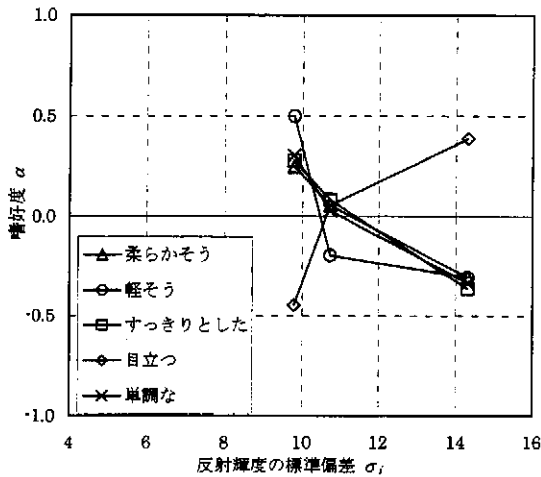


図8 平均嗜好度と反射輝度の標準偏差の関係(グループ2)

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. 光反射特性と質感の定量化

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7に、人間が受ける品質(表4のグループ2)を図8に示している。図7にお

いて、「凹凸がある」、「滑らかな」は嗜好の差が大きく、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考える。

一方、図8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との嗜好差が直線的な関係にあると考えられる。

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ほぼ線形の関係が得られた。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。

謝辞

本研究を遂行するにあたり研究助成をいただいた天田金属加工機械技術振興財団に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 奥野 眞, 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)