

デジタルプリント品質向上への取組み

長瀬百代*
古木一朗*
三浦 紳*

Towards Improved Digital Printing Quality

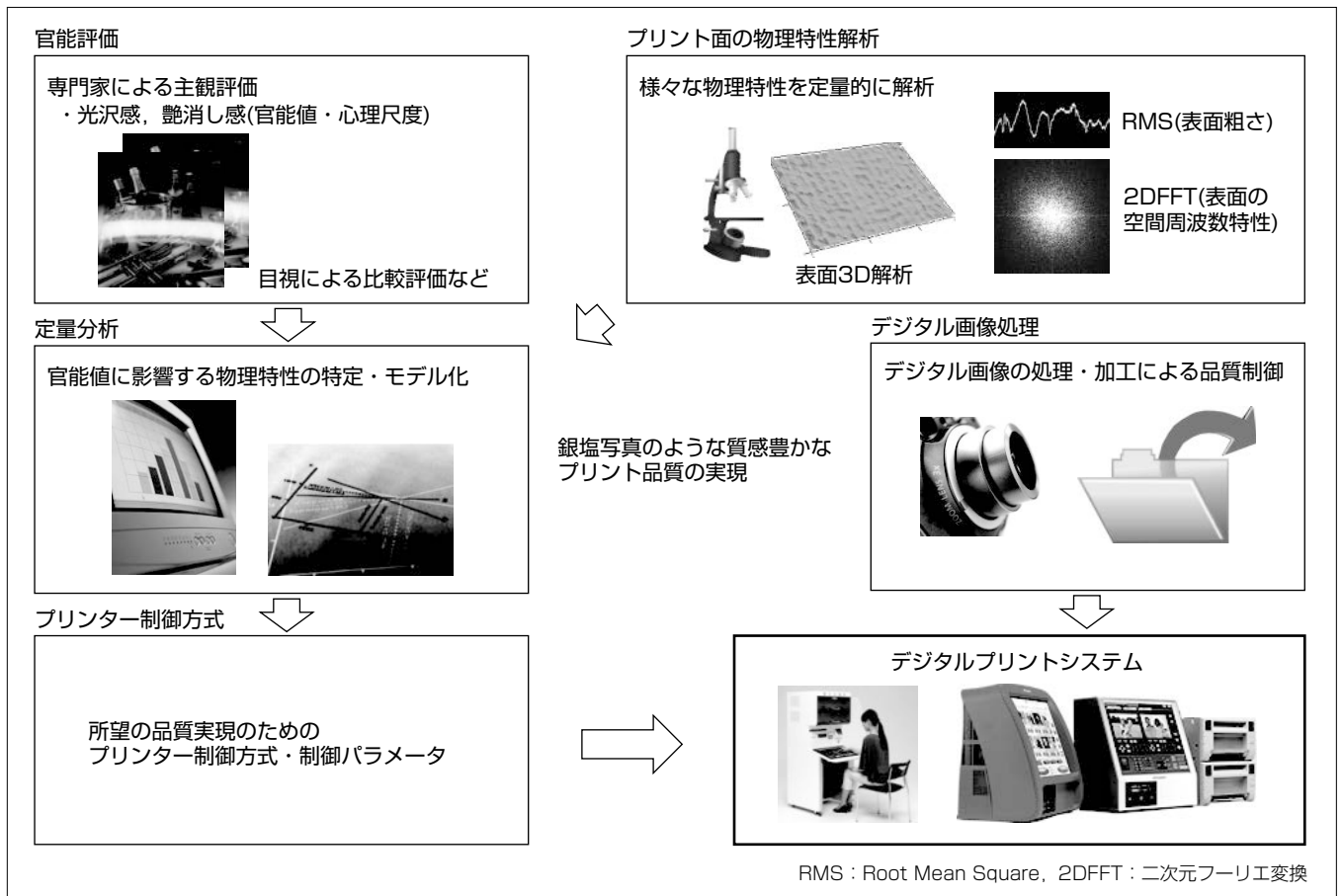
Momoyo Nagase, Ichiro Furuki, Shin Miura

要 旨

三菱電機では、コンビニエンスストアや家電量販店等でデジタル写真をセルフプリントするプリンターやプリントシステムを開発している。このデジタルプリントにも、高品質で、豊かな質感の再現が求められている。例えば、銀塩写真の“水面のような平滑な面質”すなわち光沢感、又は、表面が細かい粒状(凹凸)になっている面質による、“艶消し(マット)面質”の再現などである。これらの要求に対して、当社は、①官能評価による心理的品質と物理特徴の関係分析による心理的品質の評価・モデル化、②詳細なプリント面質の分析に基づくプリント面質制御、③デジタル画像の処理による画質・質感の制御という総合的な検討を進めている。本稿ではこれらの取組みの一例について述べる。

品質の定量化では、光沢感に由来着目していた鏡面光沢に加え、表面構造パラメータが心理的な光沢感と強い関係があることを確認した。また、マット面質の再現では、同様に心理評価結果と、面の空間周波数の分析に基づき、中域周波数成分を強調するプリンターのサーマルヘッド制御によって質感の向上を可能とした。さらに、デジタル画像処理の一例として、画像そのものの光沢を強調する方式について述べる。画像から、拡散反射成分と鏡面反射成分を分離し、鏡面反射成分の強調によってデジタル画像の光沢感の改善ができる可能性を確認した。

これらの総合的な取組みによって、ユーザーの満足度が高い映像サービスを実現する。



銀塩写真のような質感豊かなプリント物を印刷可能なデジタルプリントシステム

官能評価によって得られる心理評価と、プリント面の物理特性解析結果を定量的に分析することによって、心理評価に影響する物理特性を特定する。結果をプリント表面処理パラメータに反映することによって銀塩写真のような豊かな質感をプリント面上で再現する。さらには、デジタル画像の信号処理によって、より高度でユーザーの要求に応える映像サービスを実現する。

1. ま え が き

当社では、コンビニエンスストアや家電量販店等でデジタル写真をセルフプリントするプリンターやプリントシステムを開発している。デジタルカメラの高解像度化に伴い、プリンターにも銀塩(フィルム)写真並みの画質と質感の実現が求められるようになった。

当社のプリンターが採用している昇華型熱転写方式は、滑らかな階調表現が可能であり、画質そのものは銀塩写真と同等の品質が得られる転写方式である。しかし、その質感の再現では、まだ課題も多い。銀塩写真の質感を表す特徴の一つに、“水面のような平滑な面質”がある。このような平滑な面質を表現する指標が光沢感である。一般的に光沢のあるものには美しいものが多く、光沢が心理的な品質に与える影響は大きい。一方、銀塩写真の面質には、表面が細かい粒状(凹凸)になっている“艶消し(マット)面質”がある。この面質は、指紋が付きにくく、光による反射を抑えることができ、落ち着いた雰囲気のある情景やしっとりとしたやわらかな肌の表現に適している。ユーザーからは、このような面質、質感に対する要求も高い。

このような要求に対して、①官能評価による心理的品質と物理特徴の関係分析による心理的品質の評価・モデル化、②詳細なプリント面質の分析に基づくプリント画質制御、③デジタル画像の処理による画質・質感の制御という総合的な取組みを進めている。本稿では、光沢感とマット面質の再現を事例として、これらの取組みについて述べる。

2. プリント方式とプリント面の構造

プリント方式とプリント面の構造の違いを表1に示す。表中の表面断面は、実際のプリント表面の三次元形状測定結果を示す。銀塩写真とインクジェット方式では、プリントヘッドは印画紙に対して非接触で画像を形成する。したがって、プリント面質は印画紙の表面特性によって決まる。光沢仕上げには平滑な表面を持つ印画紙、マット仕上げには粒状面質の印画紙をそれぞれ用いる。これに対して、昇華型熱転写方式は、サーマルヘッドによってインクを熱し、加圧して画像を形成する。そのため、印画面にはサーマル

ヘッドに起因する凹凸が生じやすく、プリント面の光沢が低くなる傾向がある。また、画像形成時のプリント面には平滑性が要求されるため、粒状面質の印画紙を用いることができない。そこで、保護層であるオーバーコート層(OP)の転写エネルギーに強弱をつけてOP面を凹凸状に仕上げることでマット面質を実現している。

3. 光沢感の改善

3.1 光沢感と光沢度

一般に、光沢は鏡面光沢度として定量的に定義されるが、実際に観察者が知覚する心理的な光沢感と、物理量としての光沢度は、必ずしも一致しない。図1は、表面特性の異なる印画サンプルの光沢感に関する官能評価実験を行った結果と、物理量である光沢度の関係を示すものである。官能評価には表2に示すA~Gの7種類のプリントサンプルを用いた。Aは染料系インクジェット(写真光沢紙)、B~Fは記録メディア(インクシート、印画紙)やプリンター機種が異なる昇華型熱転写方式、Gは銀塩写真のプリントである。評価対象分野の専門家11人に7種類のサンプルを同時に提示し、サンプル表面の光沢感が高いと思う順に順位を付け、その順位を正規化することで順位間を定量的に表した。図1の左側は、官能評価結果を距離尺度に変換して表したものであり、上にいくほど心理的な尺度である光沢感

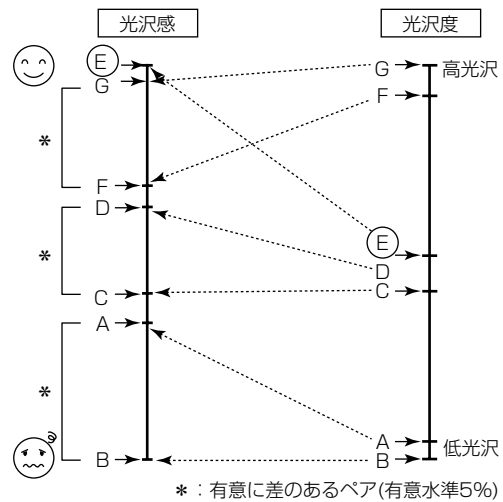


図1. 光沢感と光沢度

表1. プリント方式とプリント面の構造

	銀塩写真	インクジェット	昇華型熱転写
構造	露光(非接触) 床 罫 罫 保護層 発色層 支持体	インク吐出(非接触) マゼンタ シアン 黄 受容層 支持体	加圧・加熱(接触) サーマルヘッド 保護層(OP) OPインク 黄 シアン 受像層 支持体 マゼンタ
表面断面	1μm 滑らかな面 0μm 0μm 280μm	1μm 表面に微細穴 0μm 0μm 280μm	1μm 表面凹凸 0μm 0μm 280μm

が高いことを示す。右側は定量的物理量である光沢度であり、その関係を点線で示した。図中、光沢感のAとC、DとF、GとEには有意差が見られず、有意差のある距離は“*”を付して記している。この図から明らかなように、光沢感と光沢度には大きな差異がある。最も官能評価値の高いEの光沢度は、G、Fよりも低く、プリント面の心理的な光沢感は、光沢度が高い方が良好であるとはいえない。

光沢度と光沢感の関係では、次の2点に大きな問題がある。

- (1) 光沢感が最も高いサンプルEの光沢度が低い。
- (2) 光沢感が最も低く、その次に低いサンプルAとの差が有意であったサンプルBの光沢度が、Aと同程度である。

3.2 光沢感とプリント面物理特性の関係

3.1節の結果を受け、心理的光沢感と光沢度以外の物理量の関係を分析した⁽¹⁾。心理的光沢感とプリント面の物理特性との相関を図2に示す。

評価に用いたプリントサンプル表面の物理特性は次のとおりである。光沢度は20°鏡面光沢度、Raはプリント表面の算術平均粗さ、du (dullness)は波長0.1mm以下の微細表面における光の散乱度、DOI (Distinctness of Image)は表面に映る像の鮮明さを示す写像鮮明性、Wa~Weは、プリント面の波長0.1mmから30mmまでの表面構造を表すパラメータで、自動車の塗装業界でよく用いられているオレンジピールの指標となるものである。

光沢感と高い相関が見られたのは、光沢度、Ra、du、Wb、Wcであった。これらの特性の中で、3.1節で述べた2つの問題点を説明できるパラメータは、duである可能性が高い。Eのduは全サンプル中最小であり、Bでは最大であるだけでなくサンプルAとの差異も大きい。

今後、他のサンプルの評価を含めたデータの収集とモデ

表2. 評価サンプル

サンプル	A	B	C	D	E	F	G
20°鏡面光沢度	37.1	36.2	60.6	63.7	63.9	81.1	83.3
Ra(μm)	0.027	0.074	0.042	0.037	0.031	0.036	0.019
du	35.7	58.0	41.6	37.8	26.1	39.2	29.2
DOI	73.7	-	70.5	71.7	74.5	71.4	73.7
Wa(0.1~0.3mm)	31.4	-	35.8	38.3	31.8	38.5	38.8
Wb(0.3~1mm)	45.2	-	48.2	52.5	58.9	51.0	60.0
Wc(1~3mm)	39.4	-	40.1	43.9	54.0	41.4	50.3
Wd(3~10mm)	34.3	-	28.0	33.9	38.8	33.6	38.4
We(10~30mm)	25.0	-	21.2	24.6	40.3	24.5	27.2

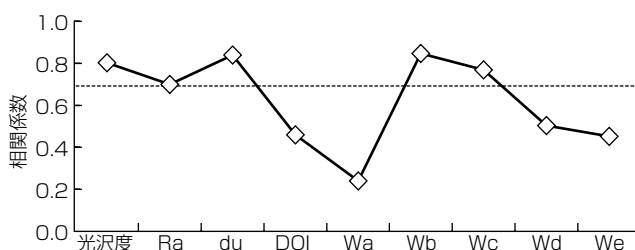


図2. 光沢感とプリント面の物理特性

ル化の検討を進める予定であるが、従来の光沢度の向上にだけ着眼した改良に対し、光の散乱度などを指標に加えることで、より心理的光沢感の向上を図れる可能性が高いことが分かる。

4. マット面質の改善

昇華型熱転写プリンターにおけるマット仕上げ時の面質は、プリント面の凹凸パターン(マットパターン)によって決まる。これまで主観評価に基づく開発を行ってきたが、更なる改良のために詳細分析を行った。一般的に高く評価されているマットプリント面(基準)を定量的に分析し、その分析結果と、現状のマットパターンの比較によって改良を図った。この評価では二次元フーリエ変換を用いた評価手法を適用した。評価対象となるマットサンプル面は透明なOP層によって形成されているため、マット表面状態を単純に画像情報として取得することは困難である。そこで、レーザ顕微鏡によってマット面の凹凸高さを計測し、その高さ情報を二次元化することによってマットパターンを画像情報として取得し、マットパターンの周波数(空間周波数)特性を評価した。従来及び改善後のマットパターンの空間周波数特性を図3に示す。図の横軸は空間周波数の自然対数、縦軸はパワースペクトルの自然対数を示す。基準パターンと比較して、従来のマットパターンは中域周波数成分が低いことが分かる。サーマルヘッドの制御方法を改善し、中域周波数成分に相当する凹凸パターンを高密度化した。これによって、評価が高い基準パターンと同等の周波数特性を達成した。

この中域周波数成分を強調するサーマルヘッド制御は、既にプリンターCP-K60DW-Sに搭載され、ユーザーから高い評価を得ている。

5. デジタルコンテンツの光沢部分検出・強調手法

プリント物の品質を向上又は、画質を変更する手法の1つとして、デジタルコンテンツそのものの加工がある。ここでは、3章で述べた光沢感の改善を画像処理によって

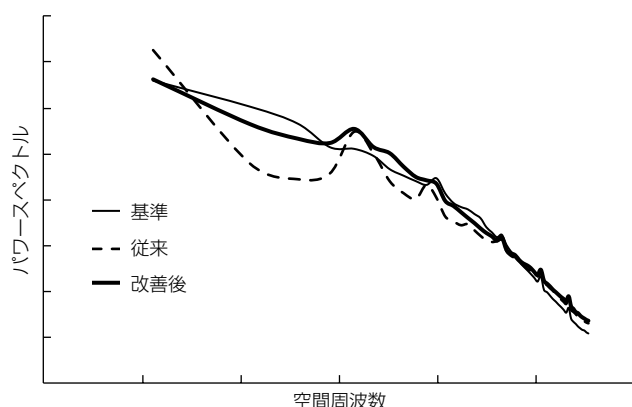


図3. マットパターンの空間周波数特性

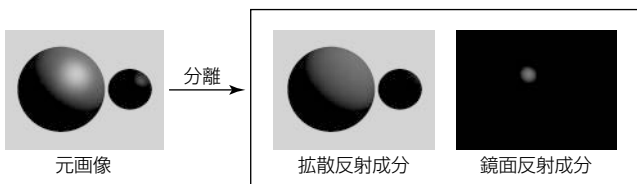


図4. 拡散反射成分と鏡面反射成分の分離結果

実現する手法の基礎検討について述べる。

5.1 光沢部分の検出手法

物体表面で反射した光が人の目に入ることによって、人は物体の形、色、質感を感じることができる。Shaferらは“反射光は拡散反射光と鏡面反射光の線形和で表される”という二色性反射モデルを提案した⁽²⁾。拡散反射光を I_d 、鏡面反射光を I_s とすると、反射光 I は式(1)で表される。

$$I = I_d + I_s \dots\dots\dots(1)$$

拡散反射とは、入射光が物体表面で様々な方向に反射することをいい、鏡面反射とは、入射光が入射面法線ベクトルに対して反対方向に反射することをいう。一般に、艶のあるものほど、鏡面反射成分の割合が高いとされている。

デジタルプリントのコンテンツの光沢部分を強調するために、まず、コンテンツからこの鏡面反射成分を抽出する。

図4に拡散反射成分と鏡面反射成分の例を示す。

鏡面反射成分の色味は光源の色味と同一と近似でき(NIR(Neutral Interface Reflection)仮定)⁽³⁾、拡散反射成分は光源色と物体表面色との積で表現できる。例えば光源色を白色と仮定した場合、同一素材、同一色の物体では拡散反射成分の色味は一樣となる。拡散反射成分に関しては、この性質を利用することで、同一物体色の拡散反射成分と鏡面反射成分とを分離することができる⁽⁴⁾。

これらの成分を正確に分離するためには、同一素材・色部分を高精度に識別する必要がある。コンテンツ中の光沢部分は一般に輝度が高く、カメラ感度の限界によって白飛びしてしまうことが多い。そのため、カメラ観測輝度の上限に達している部分に関しては拡散反射成分検出処理からは除外し、周囲画素の色相を参照することによって、精度良く拡散反射成分を抽出する。

5.2 光沢部分の強調手法

検出した鏡面反射成分を定数倍し、拡散反射成分に足し合わせることで、鏡面反射成分を強調した画像を生成する。光沢部検出・強調の処理フローを図5に示す。

鏡面反射成分を強調した画像と元画像に対して、画像評価対象分野の専門家4名による主観評価を行った。その結果、テストサンプルでは、鏡面反射成分を2倍にしたとき、自然性を損なうことなく、光沢感が向上することが分かった。多様な画像から鏡面反射成分を抽出する方法など課題はあるが、方法の可能性を確認することができた。

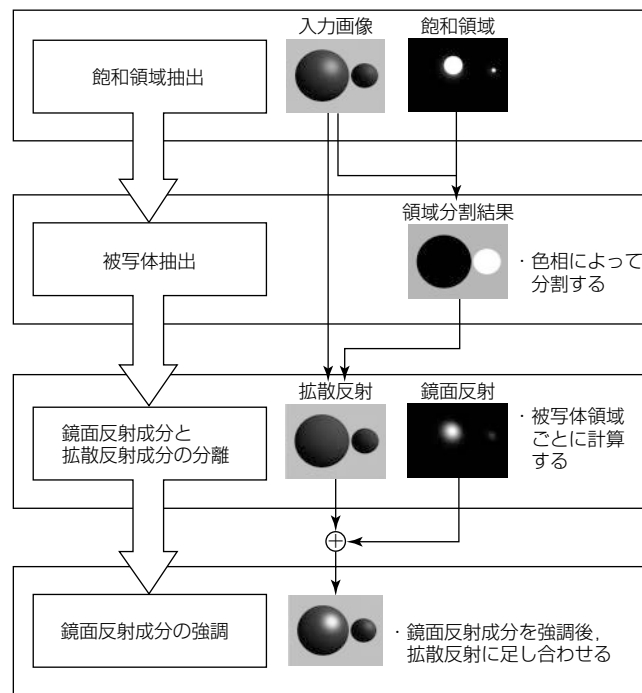


図5. 光沢部検出・強調の処理フロー

6. む す び

デジタルプリントをより質感豊かにするためのプリント面の面質改善検討について述べた。画像の品質、質感は、従来官能評価による比較が主に行われてきたが、この方法では改善のための制御手法を導くことができない。光沢感、マット面質で事例について述べたように、心理尺度と物理的特徴の分析を進め、将来的に画像品質、質感のモデル化を行い、これに基づくプリンター制御によって、高品質で多様な質感の実現を図る。さらには、画像処理技術によるコンテンツ自体の加工に関する研究開発も推進する。これらによって、ユーザーの嗜好(しこう)や要求に応じた、満足度が高い豊かな映像情報サービスを実現していく。

参 考 文 献

- (1) 古木一期, ほか: デジタルプリント面における心理的光沢度に基づく評価, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, **12** (2013)
- (2) Shafer, S.A., et al.: Using Color to Separate Reflection Components, COLOR Research and Application, **10**, No.4, 210~218 (1985)
- (3) Lee, H.C., et al.: Modeling light reflection for computer color vision, IEEE Trans. on PAMI, **12**, No.4, 402~409 (1990)
- (4) 肥後智昭, ほか: 二色性反射モデルに基づくリアルタイム鏡面反射成分除去, 電子情報通信学会技術研究報告.PRMU, **106**, No.230, 77~84 (2006)