

印刷光沢発現プロセス—オフセット印刷と電子写真方式での比較

(富士ゼロックス) 北野賀久
(東京大学大学院農学生命科学研究科) 江前敏晴

Mechanisms of print gloss development—comparison between offset and electrophotography

Toshiharu Enomae
Graduate School of Agricultural and Life Sciences, the University of Tokyo
Yoshihisa Kitano
Fuji Xerox Corporation.

Abstract

Print gloss is one of the important factors influencing print quality and determined by surface smoothness other than refractive indices of the materials formulated in paper and inks. Offset printing where viscous inks transfer to the surfaces of a paper sheet passing printing nips and solidify on the surfaces and electrophotography where solid toner particles are fused and adhere to paper surfaces were compared. Then, mechanisms of the print gloss development were discussed. In offset printing, when an ink split pattern stays on an inked surface of paper immediately past the printing nip, if the ink vehicle is absorbed quickly by the coating, the ink film loses fluidity and the split pattern is left even on the dried inked surface of the paper. This split pattern resulted in a low print gloss. The effects of the formulated amount and chemical structure of latex in coatings, pigment properties, smoothness and porosity of coatings and printing conditions were discussed. For the analysis of electrophotography, surface profiles of paper and printed surface of the identical location were compared in terms of the Pearson's correlation coefficient and the transfer function at every frequency. As a result, roughness at the frequency level, that is, the wavelength level less than the toner particles diameter was found to be eliminated by the electrophotography. Thus, offset-like (print gloss changes with paper gloss) electrophotography has been established by controlling toner movement.

Keywords: Electrophotography, Ink split pattern, Matte coated paper, Offset printing, Print gloss

(和文要旨) 印刷品質の重要な要素である印刷光沢は、紙やインキの材料の屈折率を除けば、表面の平滑性によって決定される。オフセット印刷のように粘潤性液体インキが印刷ニップを通過するときに転移してから固化する場合と、電子写真方式のように固体粒子状トナーが熱溶融して固着する場合を比較し、印刷光沢発現メカニズムを考察した。オフセット印刷では、ニップ出口でのインキのスプリットパターンが紙面に残るが、インキビヒクルの吸収が早ければインキは流動性を失いスプリットパターンが印刷面に残るため光沢度は低下する。紙の塗工層のラテックス配合量と溶剤膨潤性、顔料特性、紙の平滑性と空隙率、印刷条件などの因子が与える影響について論じた。電子写真方式では、印刷前後の同一箇所の紙の表面形状の画像類似度と、粗さレベルの伝達関数を周波数ごとに検討したところ、トナー粒子径以下の粗さは埋もれてしまうことが分かった。そこでトナーの動きを制御できる手法を用いることにより、用紙のグロスの変化に応じて画像部グロスが変化する電子写真方式を開発するに至った。

1 印刷光沢（印刷グロス）が求められる背景

戸配新聞に挟み込まれた大量のチラシ類。景気がかなり上向いてきた昨今、商品宣伝のためのチラシ類の量が増加してきた感がある。バブル崩壊後の不景気の間にインターネットや電子メールなどの電子メディアが発達し商品宣伝形態にも変化があったためバブル景気の時代ほどではないにしろ、紙媒体の印刷物を使った広告類は増加しているようである。紙媒体に限っても広告形態は多様化し、飲食店などの情報を中心とするフリーペーパーに端を発し、地方公共団体が発行協力する各種の専門的無料誌に至

るまで、無料誌の増加が最近の傾向である。インターネット情報は無料という感覚が利用者にはあり、それと競争できるような動きとも言えるし、またインターネット情報と併用するようなクロスメディアとしての新しい価値観もこの無料誌は備えている。新聞における広告も、カラー印刷技術の向上と読者層を反映して高級ブランドの全面や半面の広告が目立つ。広告デザインやキャッチコピーが出来不出来を決める電子メディアに対し、紙メディアにおいては、印刷技術や印刷用紙の品質も広告の効果に大きな影響を持つ。そのような重要な要素の1つが印刷光沢（印刷インキが載った部分の光沢）である。光沢のある印刷物は、高級感を醸し出すことができる。特に、商品宣伝用の高級塗工紙グレードでは、一般消費者の購買意欲をそそる効果があるので高い印刷光沢が求められる。

2 理論—光沢の表す意味

紙の光沢は紙の平滑性と密接な関係があり、通常平滑性の指標であるとみなされるが、それは次の理由による

図1に示すように紙面の法線方向に対し $\theta=75^\circ$ の入射角で光 I_0 を当て、同じく 75° の反射角で反射光 I を検出し、その光の強度の比率 I/I_0 を測定して求める。光沢度は相対分光分布と分光視感効率の積を全ての波長にわたって積分したものに相当する。フレネルの法則によれば光学的に平滑な表面の（分光）鏡面反射率は、入射光の波長 λ と入射光の角度 θ の関数になっている²⁾。この関数 $f(\theta, \lambda)$ はフレネル係数と呼ばれ、式(1)で表される。

$$f(\theta, n(\lambda)) = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\cos \theta - \sqrt{n(\lambda)^2 - \sin^2 \theta}}{\cos \theta + \sqrt{n(\lambda)^2 - \sin^2 \theta}} \right)^2 + \left(\frac{n(\lambda)^2 \cos \theta - \sqrt{n(\lambda)^2 - \sin^2 \theta}}{n(\lambda)^2 \cos \theta + \sqrt{n(\lambda)^2 - \sin^2 \theta}} \right)^2 \right] \quad (1)$$

ここで、 $n(\lambda)$: 波長 λ における屈折率 θ （紙の場合通常） 75° である。

紙のような粗い表面については、反射率はさらに表面粗さの関数にもなっており、式(2)で表される³⁾。

$$G_s(\theta) = \frac{f_v(\theta, n(\lambda)) \exp \left[- \left(\frac{4\pi\sigma \cos \theta}{\lambda} \right)^2 \right]}{f_0(\theta, n_{\text{glass}}(\lambda))} \times 100 \quad (2)$$

ここで、 I : 鏡面反射光強度、 I_0 : 入射光強度、 σ : 表面粗さの標準偏差である。

ISO 及び JIS で定義されている光沢度の単位は、屈折率 1.567 のガラスの鏡面研磨面に対する反射率が光沢度 100(%)となるように目盛りされている。これは反射率 26.46 %に相当する。従って屈折率の高い材料では 100 以上の光沢度になる。なお、インキの色が光沢に与える影響はごくわずかで、白色面は黒色面よりわずかに光沢度が高いが、その差は 1 以下である⁴⁾。

式(2)によれば、紙の光沢は、光の入射角、入射光の波長、屈折率及び材料表面の平滑度で決定される。塗工層は、異種の塗工紙でも材料の組成は似通っており、鉱物性顔料の屈折率は近い値をとるものが多い。そのため、光沢度は表面の平滑度によってほぼ決定されることになる。印刷表面でも、色によって顔料の屈折率に多少差があるであろうが、樹脂分の屈折率や組成は同程度であると考えられるので、印刷光沢もインキ層表面の平滑度によってほぼ決まるとみなすことができる。

3 オフセット印刷において印刷光沢に影響を与える因子

3.1 印刷光沢度が変化するメカニズム

印刷光沢は、非塗工紙のように表面が粗い紙では、表面の凹部をインキがどれだけ被覆するかに依存するが、印刷光沢が問題となる高級塗工紙では、インキビヒクルが塗工層表面にどれだけ（吸収されずに）保持されているかが、紙やインキ面の平坦な部位の平滑度よりも関係がある、と従来から言われてきた^{5, 6)}。インキフィルムのレベリング（平坦化）による光沢度上昇とインキ顔料粒子間に生じるメニスカスの形成（バインダである樹脂量が塗工層への吸収により減少すれば光沢度が低下）が関与していると考えられるが、一般的に支配的な要因となるのはインキのレベリングである。印刷ニップ直下では、

インキはインキロール（ブランケットロール）と紙の間に隙間なく挟まれているが、ニップを通過するとインキフィルムはインキロール側と紙側の2つに開裂（スプリット）する。スプリットの様態は、フィラメント（曳き糸）の伸びが現れては開裂するという現象を周期的に繰り返すが、その周期や大きさは印刷速度やインキ粘度などの条件により様々である。この周期的なスプリットの跡は乾燥後の印刷面にも残っており、図2に示すように印刷方向と直交する方向に走る多数の筋となって観察されることが多い。この筋が走る方向は、印刷方向に見られる場合もあるし、また独立した多数の点として観察されることもある。図3は、点状に現れた場合の例である。ニップから出た直後の紙とインキロールに一对の孔が形成されている様子を高速カメラで捉えることができたので、これを図4に示す。

万能印刷試験機を用いて印刷ニップを通過した直後の試料を光沢度計に移し、光沢の経時変化を連続的に記録した。図5に種々の塗工紙について測定した光沢度変化を示す。吸収性のないPETフィルム上ではインキの流動性が保たれるのでスプリットパターンがすぐに消失し、光沢度は急激に上昇する。アート紙のコート面とA2コート紙では、インキビヒクルの吸収が起こるためにインキは流動性を失いスプリットパターンの平坦化が遅くなる。A2マットコート紙やアート紙の非塗工面はインキ膜厚のようなミクロン（ μm ）オーダーでは大きな間隙があるため、インキの一部が陥没して表面の平滑性が下がるので印刷光沢が低下すると考えられる⁸⁾。図2に示すようなビデオマイクロスコープで撮影したスプリットパターンのビデオ画像では、印刷方向と直行する方向に生じた長さ0.5 mm程度の筋が時間とともに消失していく様子が分かる。この消失とともに印刷光沢が上昇するが、この白い筋の面積を画像処理により計算すると光沢度との相関が高いことがわかった⁹⁾。なお、この白い筋はインキフィルムが谷状に欠如しているくぼみであることが確認された¹⁰⁾。印刷ニップ直下でインキがいったん紙面に接着しても、ニップ出口では負圧のためにキャビティ（真空の空洞）が発生し、この力によってインキが剥離する部分が窪みになると考えられる。

印刷光沢を直接発現するメカニズムは、以上に述べたとおりだが、紙や塗工層のどのような性質がそのメカニズムに関わっているかについて、順次検討した結果の一部を紹介する。

3.2 印刷光沢度変化に影響する紙の因子

3.2.1 ラテックス配合部数

インキビヒクルの吸収速度は塗工層の細孔構造によっておおきく決まるが、これは印刷光沢に影響する重要な因子である。SBラテックス配合量だけを変えた塗工紙では、配合部数を多くすると、白紙光沢は低くなるが、印刷光沢は高くなる¹¹⁾。クレー塗工紙（SBラテックスとデンプン3部を配合）に対する動的な印刷光沢の測定結果で、ラテックス配合部数が多いほど印刷直後からの上昇が急で、早く一定値に達した。ラテックスの配合部数を増やすと、空隙率及び細孔径が小さくなり、インキ溶剤の吸収が遅くなったためである。溶剤の吸収が遅い方がインキの流動性が保たれるので、スプリットパターンのレベリングが速く進行する。以上の結果とまったく反対に、深沢ら¹²⁾は、ラテックス配合部数を増加させるとインキセット速度は遅くなるが、印刷光沢が下がると報告しており、ラテックス配合部数が別の性質に影響している可能性がある。

3.2.2 顔料の粒径と塗工層細孔径

Ishleyらは、粒径0.55 μm で分布幅の小さい紡錘形炭酸カルシウムからなる塗工層は、超微細クレーの塗工層と比較するとはるかに空隙率が大きく、そのために印刷による光沢増分（印刷光沢－白紙光沢）は小さくなると報告している。DoniganとIshleyら¹³⁾は、印刷光沢と塗工層構造の関係を明らかにするため、粒子径だけが0.19～0.45 μm と異なる一連の炭酸カルシウムを用いて塗工紙を調製した。空隙率には差がほとんどなかったが、水銀圧入法による平均細孔径が小さいほど光沢増分は小さくなった。小さい細孔が多くある場合ほどインキ溶剤だけを引っ張り込む力が強く働く、と彼らは推測している。鈴木ら¹⁴⁾は、インキセット速度が速いほど、インキのスプリットパターンのレベリングを速く止めるので、印刷光沢は小さくなると述べている。その前報で、寺尾ら^{15, 16)}は、ベタ印刷後一定時間が経過してから、セットしていないインキを平滑なフィルムに転写し、光学濃度を測定した。光学濃度から計算した転写

面積と経過時間の平方根の間に直線関係が成り立ち、その傾きをインキセット速度と考えた。インキセット速度と $0.13 \sim 0.15 \mu\text{m}$ より小さな径の塗工層細孔容積との間の相関が高かった。この領域の細孔がインキの溶剤を選択的に吸収しインキの固化を効果的に促進するためだと考えた。

3.2.3 平滑度

白紙光沢度の高いA2コート紙のような紙とマットコート紙の大きな違いは表面の平滑度である。カレンダ処理の有無で比較すると、未カレンダの場合、印刷後50～100秒で光沢値のピークがあり、その後徐々に低下した。未カレンダ表面には幅 $100 \mu\text{m}$ 、深さ $5 \mu\text{m}$ 以上の大きな凹部が存在し、厚さ $3 \mu\text{m}$ 程度のインキ層では十分覆いきれず、非塗工紙の場合同様陥没が起きたと考えられる。またカレンダ処理がある場合は塗工層の空隙率が下がるために初期の光沢度上昇が顕著となる傾向も見られた。

3.2.4 塗工層の化学的要因

バインダの表面エネルギーなどの化学的要因もインキ溶剤の吸収には大きな影響を及ぼす。特にラテックスポリマーの化学的因子が変化すると印刷光沢に影響することが知られている。Gilderら¹⁷⁾は、溶剤の吸収によるインキのタック上昇速度がラテックスポリマーの溶解度パラメータと関係があることを示した。架橋ポリマー（高ゲル分率）は、直鎖状ポリマーと比較して、溶剤に膨潤しにくく、直鎖状ポリマーでも表面エネルギー（極性）が大きくなるように化学修飾すれば、インキ溶剤との相溶性が低下し、タック上昇速度を下げることであった。桑村ら¹⁸⁾は、SBラテックスのゲル分率とポリマーの極性（アクリロニトリル量）が光沢増分と密接な関係にあることを示した。また、水中にあるラテックスフィルムのインキ溶剤との接触角（二液法）が光沢増分と直線関係にあったことから、塗工層中のラテックス表面に吸着している水分子の層がインキ／塗工層間の相互作用に影響していると考えた。

3.2.5 印刷条件

印刷条件を変えてA2コート紙に印刷した場合の光沢度変化について述べる。練りロールに盛るインキ量が多いほど立ち上がりの印刷光沢は低いのでスプリットパターンも大きいことがわかるが、その後の上昇が長く続く。不動化していないインキ層が流動性を長く保ってレベリングするためと考えられる。印刷速度に関しては、 $2 \sim 6 \text{ m/s}$ の範囲では印刷速度が大きい方が印刷光沢度は低くなった。高速になるほどインキ転移率が下がること及び初期スプリットパターンが大きい（動的印刷光沢変化の立ち上がりが遅かった。）ことが原因と考えられる。印刷圧力に関しては、印圧の増加に伴って印刷光沢は高くなった。これは印圧の大きい方が、紙の凹部のより深くまでインキが浸入し、不動化する部分が増加することによりインキ転移率が大きくなったためと考えられる。

Glatterら¹⁹⁾は、理論的にスプリットパターンのレベリングを解析し、細かな凹凸は速く、大きな凹凸はゆっくりレベリングするとした。非吸収性PETフィルム上での挙動をビデオ画像でとらえ、光沢の経時変化を測定したところ、印刷速度が大きいほど、またインキフィルムが厚いほど大きな凹凸が生じ、それがゆっくりレベリングすることを示した。

4 オンデマンド印刷における印刷光沢の重要性

近年電子写真技術の高画質化、用紙汎用性や生産性の向上などにより、印刷市場向けのデジタルプリンターが数多く商品化されてきている²⁰⁻²²⁾。デジタルプリンターはオフセット印刷に比べ短時間で印刷物を作成できること、市場の流れが多品種小部数化に進んでいることなどから、これら商品を使ってオンデマンド印刷(以降POD)やバリアブル印刷など新たな市場が生まれている一方、オフセット印刷との競合も生じている²³⁾。

オフセット印刷の印刷物作成プロセスは、入稿データの展開/CTPなどによる刷版/印刷/断裁からなる。このように複数の機械による複数の工程を必要とするため、印刷物が完成するまで時間を要し、印刷物作成費用総額を抑えるには限界がある。しかし一度版を作成すれば、印刷物の大量生産が可能である。一方デジタルプリントでは、入稿後データを展開しデジタルプリンターに入力することで印刷物が完成する。多くの機械はカット紙を使用するため断裁の時間も要しない。そのため短時間に費用総額を抑え

た印刷物を作成することが可能だが、生産性が低く大量生産には不向きである。これらのことから、オフセット印刷とデジタルプリントを使い分けは、印刷物一枚あたりのコストと注文部数の関係がひとつの要因になる。

オフセット印刷市場における原価の算定方法や考え方は統一されておらず、印刷物の単価も会社によって大きく異なる。日本印刷技術協会では、オフセット印刷業界を調査した上で人件費や原材料費を仮定し、枚葉オフセット印刷機でのプリント枚数とコストの関係を算出した²⁴⁾。これを図6に示す。カラーデジタルプリントの費用を白黒プリントの4倍を目安にすると、日本国内では約20～40円/枚程度になると考えられる。これらのことから300～700部程度の印刷物がデジタルプリンターの対象となる。

米CAPベンチャーズによると、2004年時の全世界の印刷市場規模は約7610億ドルであり、そのうちPODは842億ドルである。印刷市場はその後徐々に成長していくことが予想され、特にPOD市場は2009年に1430億ドル規模になると予想している²⁵⁾。これを図7に示す。地域別にみると、2004年時印刷市場全体では北米が3722億ドル/西欧が1399億ドル/日本が840億ドルと、これら3地域で全世界市場の8割程度を占めている。ただしPOD市場は、北米が371億ドル/西欧が318億ドル/日本が48億ドルと、日本市場での比率が他の地域に比べて非常に低い。このことから日本では、デジタルプリンターが対象とする市場を十分獲得できていないことが予想される。

日本市場でのPOD比率が小さい理由のひとつとして、他の市場に比べて用紙汎用性や画質への要望が大きいためにあげられる。印刷会社を対象にした調査からも画質改善への要望が強く、オフセット印刷による印刷物の質感に対して、デジタルプリンターによる印刷物は違和感（異なる質感）を与えていることがわかっている。

5 オフセット印刷と電子写真の印刷物表面形状の差

印刷物の質感には、グロス（電子写真では“グロス”と呼ばれることが多いので、以降“光沢度”を“グロス”と呼び変える。その他同義語で言い換える場合は初出の際に注釈をつける。）が大きく影響している。オフセット印刷と電子写真でのグロス発現を比較するため、それぞれの方式でグロスが異なる4種類のコート紙を使って印刷物を作成した²⁶⁾。オフセット印刷は万能印刷試験機を用いてサンプリングした。インキはアート紙でJapan Color2001を再現できる量として、インキ練りロールに0.1ml供給した。電子写真による印刷物はカラーレーザープリンタ(富士ゼロックス株式会社製 DocuColor1250)を用いてサンプリングした。トナーの量はキャストコート紙に印刷した時、トナー層の高さが平均4 μ mになるよう調整した。その他の印刷条件は、用紙の坪量に応じて設定した。

用紙は、グロスが異なる市販のコート紙4種類(王子製紙株式会社製 マットコート紙：OK トップコートマット、ダルコート紙：Z コート、グロスコート紙：OK トップコート N、キャストコート紙：ミラーコートプラチナ)を用いた。

これら印刷物のグロス、および用紙表面形状と印刷後同じ位置での印刷物表面形状を測定し、それらの違いを検証した。

4.1 用紙グロス（白紙光沢）と画像部グロス（印刷光沢）の関係

上記4種のコート紙における用紙グロスと画像部グロスの関係を図8に示す。オフセット印刷ではキャストコート紙のみが用紙グロスに比べ画像部グロスが低くなったが、用紙グロスの変化に伴い画像部グロスが着実に変化している。電子写真では用紙グロスとともに画像部グロスも上昇する傾向はあるものの、その変化量はオフセット印刷の半分以下である。

この結果から、電子写真では用紙グロスと画像部グロスに大きな差が生じる場合があること、再現で

きるグロスの範囲が狭く印刷内容に適したグロス²⁷⁾が選択できない場合があること、が印刷物の質感の違いに影響を与えている一因であると予想される。

4.2 画像部グロスと表面形状の関係

画像部グロスはその表面形状により決まる^{18, 28)}。用紙の表面形状と印刷後まったく同じ位置での印刷物表面形状をレーザー顕微鏡にて測定した。これを図 9 と図 10 に示す。オフセット印刷では用紙種毎に印刷物表面形状が大きく異なることがわかる。起伏が大きくグロスが低い用紙では、用紙表面形状と印刷物表面形状が非常に類似している。起伏が小さくグロスが高い用紙では、滑らかな表面の中にインキにより形成された起伏であるスプリットパターン²⁶⁾が観察できた。

電子写真では起伏が大きくグロスが低い用紙では、用紙表面に存在した大きな起伏のみが印刷物表面でも観察できたが、異なる用紙間の印刷物表面形状の差が小さく、オフセット印刷に比べてすべての用紙で滑らかな印刷物表面である。

これら印刷前後での表面形状の変化に対して、ピアソンの相関係数と印刷前後伝達関数を用いて、定量的な検証を行った。

4.2.1 ピアソンの相関係数による類似性検証

用紙と印刷物の表面形状画像において、式(3)で表されるピアソンの相関係数 R_r を算出した²⁹⁾。

$$R_r = \frac{\sum_i (S1_i - S1_{ave}) \times (S2_i - S2_{ave})}{\sqrt{\sum_i (S1_i - S1_{ave})^2 \times \sum_i (S2_i - S2_{ave})^2}} \quad (3)$$

ここで i は画素位置、 $S1$ 及び $S2$ はそれぞれ印刷前後の画像の表面形状高さ（画像輝度）、 $S1_{ave}$ 及び $S2_{ave}$ は印刷前後の画像の表面形状の平均高さ（画像平均輝度）である。相関係数 R_r は 2 つの画像の類似度を評価するのに適している。 n 個の画素からなる画像は n 個の輝度レベルを持っており、これを n 個の要素からなるベクトルと考えたときの 2 つの画像ベクトル間の方向余弦に相当する。ただし、表面形状画像では高さの基準がどこにあってもよいので、画像内における輝度レベルの平均値を各要素の輝度値から差し引いて計算する。この操作により R_r の値が大きくなる。

その結果表 1 のように、オフセット印刷ではマットコート紙、ダルコート紙、グロスコート紙（A2 コート）で非常に高い相関を示し、これらの用紙では用紙表面形状が印刷物表面形状を決定する主要因であることがわかった。それに対しキャストコート紙では低い相関になった。キャストコート紙は用紙の起伏が小さいことに加え、一般的にはインキの浸透が早く、インキが用紙に転移する際に発生する乱れが十分レベリングする前にセットし、それら乱れが残りやすいため、インキが印刷物表面形状に大きく影響を与える結果になったと考えられる。

電子写真では全ての用紙種でオフセット印刷に比べて相関が低く、起伏が大きくグロスが低い用紙でさえ、高い相関は得られなかった。

これらの結果から、オフセット印刷では用紙表面形状の影響が大きい印刷物表面形状であるため、用紙グロスとともに画像部グロスが変化していること、電子写真ではトナーにより形成された形状が印刷物表面形状の主要因であること、が定量的に明らかになった。つまり電子写真でオフセット印刷同様に、用紙グロスに伴い画像部グロスが変化するためには、用紙表面形状に倣った印刷物表面形状を形成することが一つの手段になる。

4.2.2 印刷前後伝達関数による印刷前後の変化検証

ピアソンの相関係数 R_r は、画像のゆったりとした濃淡変化（低周波数）には敏感であるが、細かいレベルの濃淡の変動（高周波数）は、そのゆったりとした濃淡変化に埋もれてしまい、差が現れにくい。光沢度の差異は、細かい濃淡の変動、すなわち細かいレベルの起伏に影響を受ける可能性が十分にある。ここで用いた伝達関数は、印刷前の用紙上に存在する様々な周波数域での起伏が、印刷後にどの程度再現しているかを明確にするため、それぞれの表面形状画像で2次元フーリエ変換を行い、極座標とみなした時の動径が同一となる周波数でのパワーの値を平均し1次元化した Radially Averaged Power Spectrum（以降 RAPS）³⁰⁾を用いて、式(4)で表される伝達関数 $Gain$ を周波数ごとに算出した。

$$Gain(dB) = 20 \log \left(\frac{RAPS(\text{Printed surface topography})}{RAPS(\text{Paper surface topography})} \right) \quad (4)$$

この式のように伝達関数 $Gain$ の値（以降“ゲイン”とする）が0dBなら印刷前後の表面形状は全く一致している、ゲインが0dBより大きいなら用紙表面に比べ印刷物表面の起伏が大きい、ゲインが0dBより小さいなら用紙表面に比べ印刷物表面が滑らかであることを意味する。

それぞれ測定部位5ヵ所について伝達関数を算出し平均した結果を図11に示す。点線で示したオフセット印刷において、用紙種毎の伝達関数を比較すると、キャストコート紙以外はいずれも同様のプロファイルを取り、低周波数域において0dB近辺でゲインの変化が小さい領域が存在する。高周波数側へシフトするとともに用紙種間で再現性が異なり、起伏が大きくグロスが低い用紙ほど、より高周波数までゲインの変化が小さく、ある周波数以上で急激にゲインが低下する。つまりゲインの変化が小さい領域では用紙上に存在した起伏が印刷後も十分再現できている。それ以上の周波数では用紙上の起伏がインキに埋もれて十分再現できなくなることを示唆する。キャストコート紙では、 $25(\text{mm}^{-1})$ 程度の周波数域までゲインが0より大きく、この周波数以下ではインキにより形成されるスプリットパターンなどの形状が用紙の起伏より大きく、表面形状の主要因であることがわかる。ゲインの平衡領域は存在せず、高周波数側にシフトすると他の用紙同様にゲインが急激に小さくなり、用紙上の起伏がインキに埋もれて十分再現できていない。

実線で示した電子写真において、用紙種毎の伝達関数の比較をすると、オフセット印刷と異なり、低周波数域では用紙種間で異なった再現を示し、起伏が大きくグロスが低い用紙ほどゲインが0dBに近い値をとる。一方 $150(\text{mm}^{-1})$ 程度より高周波数域では用紙種に因らず同じような再現性を示す。この周波数がトナー径(約 $6\mu\text{m}(=160(\text{mm}^{-1}))$)に近いことから、用紙上のトナー径より高い周波数の起伏が、印刷時に埋もれて再現できていないことを示唆する。グロスコート紙、キャストコート紙では低周波数域でのゲインが0dBよりはるかに大きい。つまりトナーにより形成された用紙表面形状とは無関係な形状が印刷物表面形状の主要因であることがわかる。

オフセット印刷と電子写真の伝達関数を比較すると、マットコート紙では周波数全域でオフセット印刷に比べ電子写真のゲインが小さく、印刷物表面の全周波数領域の起伏が滑らかであることがわかる。ダルコート紙ではマットコート紙に比べるとオフセット印刷に近い値をとるが、低周波数域の一部以外、電子写真の方が滑らかである。グロスコート紙では低周波数域と高周波数域の一部を除き、2つの伝達関数は類似しており、グロスも近い値をとる。そのため2つの印刷物は似たような質感であった。キャストコート紙では周波数ほぼ全域でオフセット印刷に比べて電子写真のゲインが大きい。グロスは近い値だが印刷物表面形状は異なり、各々のプロセスや材料に応じて形成された印刷物表面形状であることを示唆している。

6 電子写真でのグロス改善

著者らはこれまでの研究結果から、オフセット印刷と電子写真でのマットコート紙グロス発現メカニズムを検証し、それらの違いが用紙上でのインキ/トナーの動きであることを明確にした³¹⁾。そこで電子写真で用紙表面形状に倣う印刷物表面形状を得るために、オフセット印刷のプロセスを模倣して、用紙上でトナーの動きを可能にさせた時のグロスの変化を検証した。

このような工程で得た印刷物での、用紙グロスと画像部グロスの関係を図12に示す。全体的にグロスが高い側にシフトしているが、オフセット印刷と同等の傾きを得ることができ、オフセット印刷と同等の質感を得る可能性が検証できた。

7 まとめ

本稿では、印刷品質の重要な要素である印刷光沢について、その発現メカニズムを検討した。オフセット印刷のように粘潤性液体インキが印刷ニップを通過するときに転移してから固化する場合と、電子写真方式のように固体粒子状トナーが熱溶融して固着する場合とでは印刷光沢の発現メカニズムに大きな違いがあることが認められた。オフセット印刷では、マットコート紙や非塗工紙のような白紙光沢のもとと低い紙に高い印刷光沢を求めることはなく、それは用紙表面が粗いものだから当然であるという捉え方をする。しかし、電子写真方式では、白紙光沢の低い紙でも、意図せずして高い印刷光沢となる。オフセット印刷における白紙光沢と連動した印刷光沢発現のメカニズムをお手本にして、どのように電子写真でそれが実現できるかをテーマにここ数年間行ってきた研究について報告させて頂いた次第である。

引用文献

- 1) 小学生ライフ応援マガジン エコリ, <http://ecoli.jp/>, 参照2007-6-1
- 2) JIS Z 8741-1997 鏡面光沢度—測定方法 など
- 3) Lee, D. I., "A fundamental study on coating gloss", Tappi Coating Conference Proceedings, 97 (1974).
- 4) Tappi Test Method T 480 om-92 "Specular gloss of paper and paperboard at 75 degrees".
- 5) Fetsko, J. M. and Zettlemoyer, A. C., "Factors affecting print gloss and uniformity", Tappi 45(8), 667(1962).
- 6) Hecklau, F. L. and Pavol, M. Jr., "Gloss and ink holdout properties of coated paper and paperboard as influenced by clay pigmentation", Tappi 50(1), 61A-67A(1967).
- 7) 北野賀久, 江前敏晴, 磯貝明, "オフセット印刷におけるマットコート紙グロス発現メカニズム(第1報)", 日本印刷学会誌 42(2), 105-112(2005).
- 8) 寺元学, 江前敏晴, 尾鍋史彦, 早野三郎, 桑村五郎, 高野弘二, 鎌田一則, "印刷光沢の発現メカニズム", 第48回日本木材学会大会研究発表要旨集, 344(1998).
- 9) 早野三郎, 高野弘二, 鎌田一則, 寺元学, 江前敏晴, 尾鍋史彦, "塗工層の構造解析(II)", 紙パ技協誌, 53(8), 47-55(1999).
- 10) 寺元学, 江前敏晴, 尾鍋史彦, 早野三郎, 高野弘二, 鎌田一則, "印刷光沢の発現メカニズム (第2報)", 繊維学会予稿集, G-1(1999).
- 11) 早野三郎, 高野弘二, 鎌田一則, 寺元学, 江前敏晴, 尾鍋史彦, "塗工層の構造解析(II)", 紙パ技協誌, 53(8), 47-55(1999).
- 12) 深沢博之, 山下里恵, 日吉公男, "塗工紙の印刷光沢発現に関する考察", 機能紙研究会誌, No. 38,

21-31(2000).

- 13) Donigian, D. W., Ishley, J. N. and Wise, K. J., "Coating pore structure and offset printed gloss", Tappi J., 80(5), 163-172(1997).
- 14) 鈴木英之, 平林哲也, 福井照信, "印刷表面性の印刷光沢に与える影響", 第63回紙パルプ研究発表会, 紙パルプ技術協会, 82-87(1996).
- 15) 寺尾知之, 山本真之, 福井照信, "インキセットに対する塗工紙の塗工層構造の影響", 紙パ技協誌 51(9), 79-85 (1997).
- 16) 寺尾知之, 山本真之, 福井照信, "コート紙の塗工層空隙構造とインキセットについて", 第62回紙パルプ研究発表会, 紙パルプ技術協会, 118-123(1995).
- 17) Van Gilder, R. L. and Purfeerst, R. D., "Commercial six-color press runnability and the rate of ink-tack build as related to the latex polymer solubility parameter", Tappi J. 77(5), 230-239(1994).
- 18) 桑村五郎, 早野三郎, 高野弘二, 鎌田一則, 江前敏晴, 尾鍋史彦, "塗工層の構造解析", 紙パ技協誌 52(2), 177-183(1998).
- 19) Glatter, T. and Bousfield, D., "Print gloss development on a model substrate", Tappi J. 80(7), 125-132(1997).
- 20) 金子茂樹, "高速印刷分野向けタンデムカラー機の技術開発動向カラーオンデマンドパブリッシングシステム「Color DocuTech 60V / DocuColor 6060」", 日本画像学会誌, 42, 4, 450-457(2003).
- 21) Y. S. Ng, Aslam, M., Tombs, T., Peter, K., "Kodak NexPressデジタルプロダクション印刷テクノロジー", 日本画像学会誌, 44, 1, 42-48(2005).
- 22) 亀井雅彦, 市原美幸, "新プロダクション市場の創造 -多極分散型オンデマンド印刷とそれをささえる技術-", 日本画像学会誌, 44, 1, 53-59(2005).
- 23) 株式会社矢野経済研究所編, "POD市場の実態と展望 2001", 17-22(2001).
- 24) 松縄正彦, "デジタルプリントの現状と今後～浸透～", Printers Circle, 12, 56-58(2004).
- 25) Corr, C., "The Print On Demand Market Opportunity", CAP VENTURES, 入手先 (http://www.odp-japan.com/POD05/keynote_download.html), 参照2007-6-1.
- 26) 北野賀久, 江前敏晴, 磯貝明, "電子写真とオフセット印刷における印刷物表面形状の解析", 日本画像学会誌, 44, 6, 450-456(2005).
- 27) 笹沼信篤, 徳野義信, 梶家秀彦, 畠健志, 光沢特性と画像要素との関係, Japan Hardcopy'99論文集, 277-280(1999).
- 28) 近藤宏, "電子写真画像の鏡面光沢度数値シミュレーション", リコーテクニカルレポート, 89-94(2002).
- 29) 岩崎学, 中西寛子, 時岡規夫, 実用統計用語辞典, オーム社(2004).
- 30) Ulichney, R., "Digital Halftoning", MIT Press(1988).
- 31) Kitano, Y. Enomae T. and Isogai A., "Comparative studies of gloss development in electrophotography and offset printing", submitted to Journal of Imaging Science and Technology.

表 1 用紙表面形状と印刷物表面形状の間のピアソンの相関係数

	オフセット印刷	電子写真方式
マットコート紙	0.88	0.63
ダルコート紙	0.88	0.61
グロスコート紙	0.73	0.32
キャストコート紙	0.21	0.07

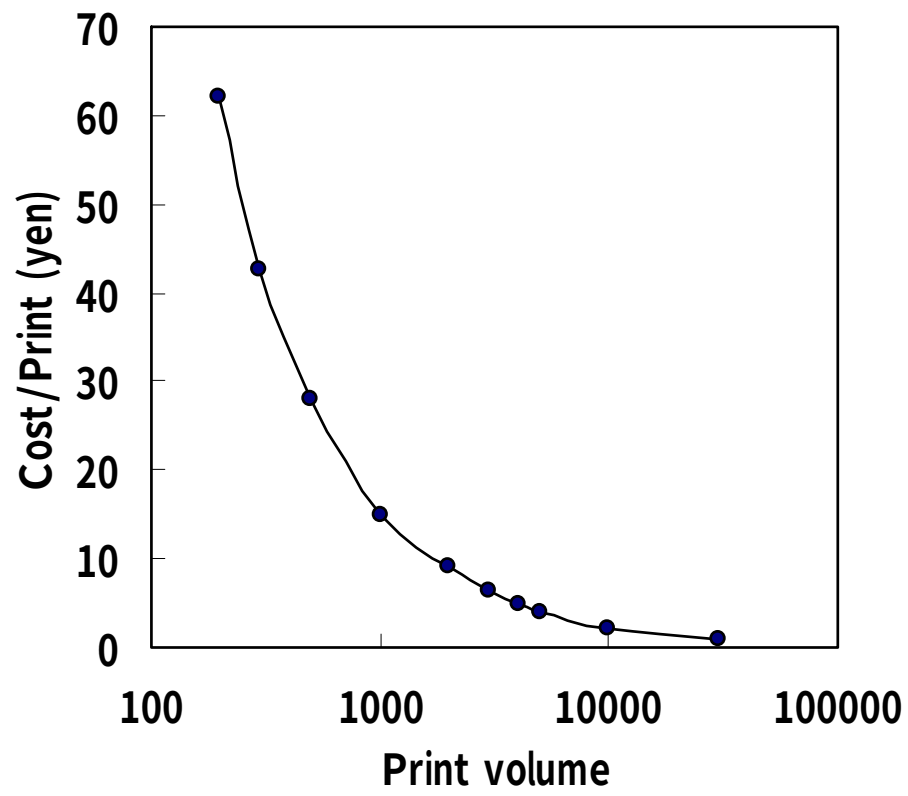
北野賀久, 江前敏晴, "印刷光沢発現プロセス—オフセット印刷と電子写真方式での比較", 紙パルプ技術タイムス 50(7), 29-38(2007).

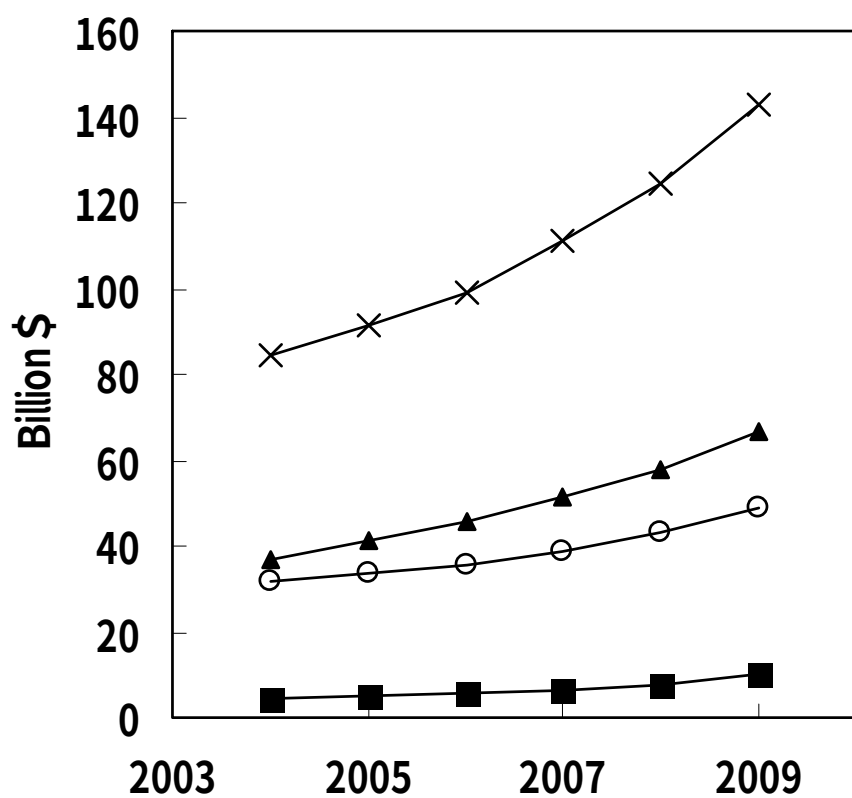
北野賀久, 江前敏晴, "印刷光沢発現プロセス—オフセット印刷と電子写真方式での比較", 紙パルプ技術タイムス 50(7), 29-38(2007).

北野賀久, 江前敏晴, "印刷光沢発現プロセス—オフセット印刷と電子写真方式での比較", 紙パルプ技術タイムス 50(7), 29-38(2007).

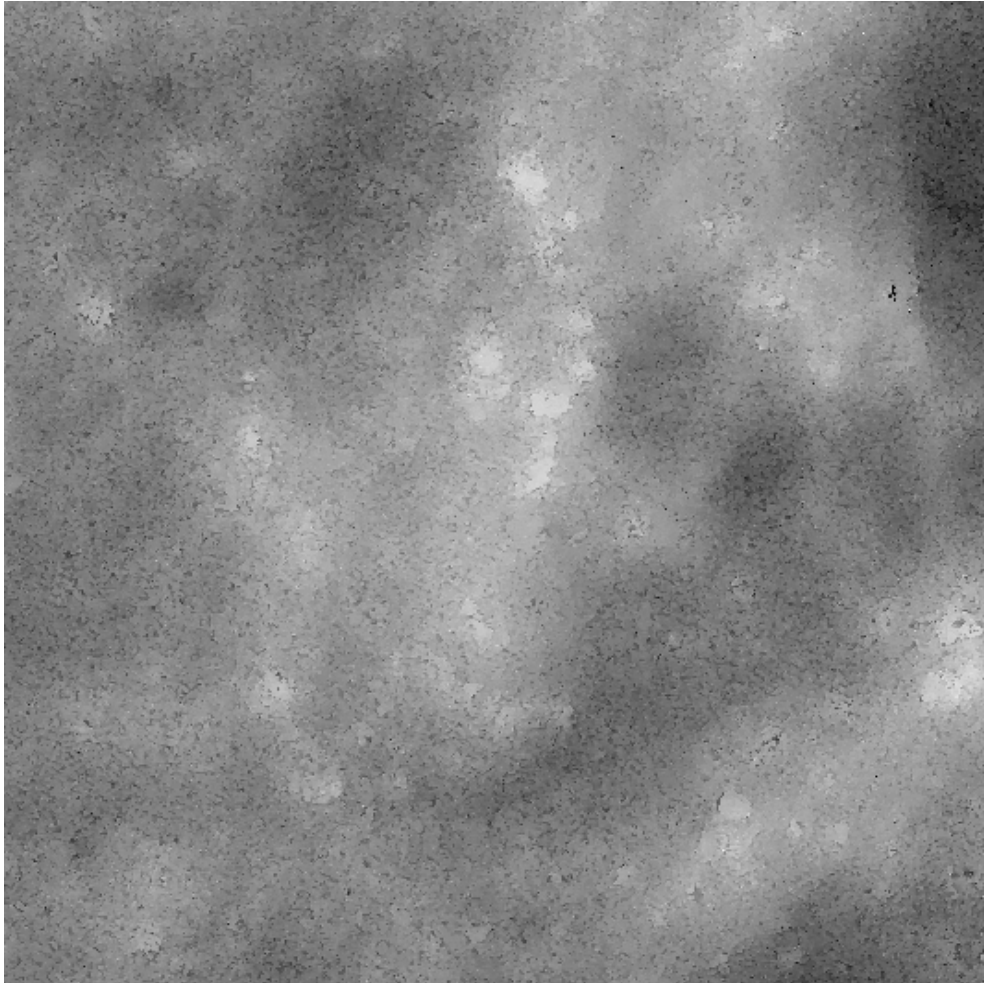
北野賀久, 江前敏晴, "印刷光沢発現プロセス—オフセット印刷と電子写真方式での比較", 紙パルプ技術タイムス 50(7), 29-38(2007).

北野賀久, 江前敏晴, "印刷光沢発現プロセス—オフセット印刷と電子写真方式での比較", 紙パルプ技術タイムス 50(7), 29-38(2007).

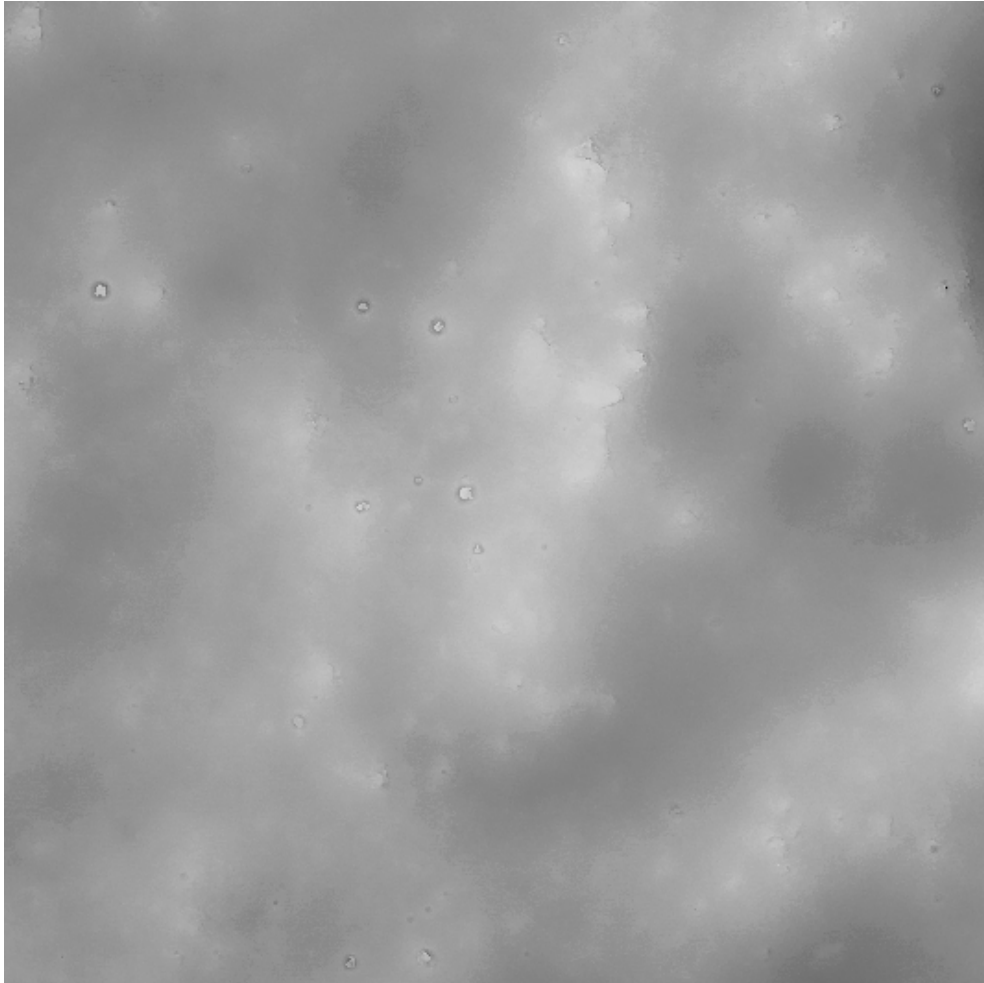




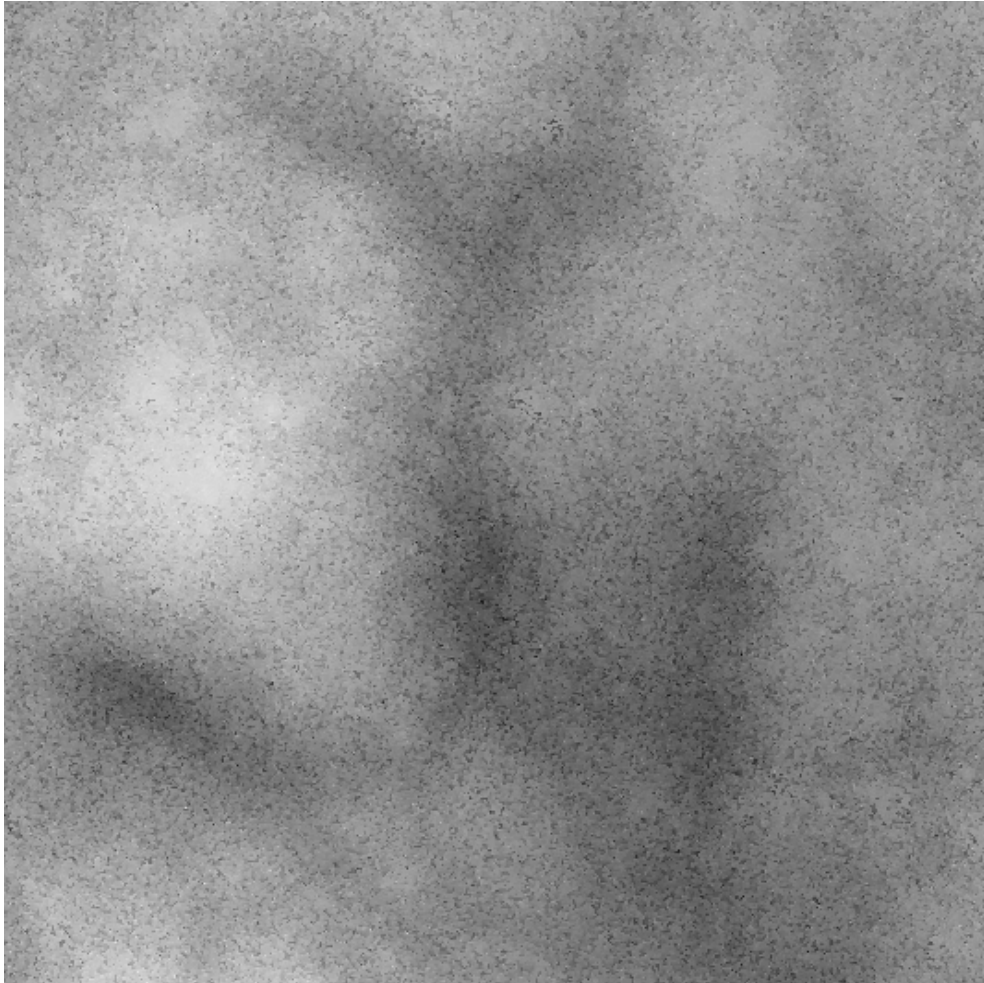
北野賀久, 江前敏晴, "印刷光沢発現プロセス—オフセット印刷と電子写真方式での比較", 紙パルプ技術タイムス 50(7), 29-38(2007).



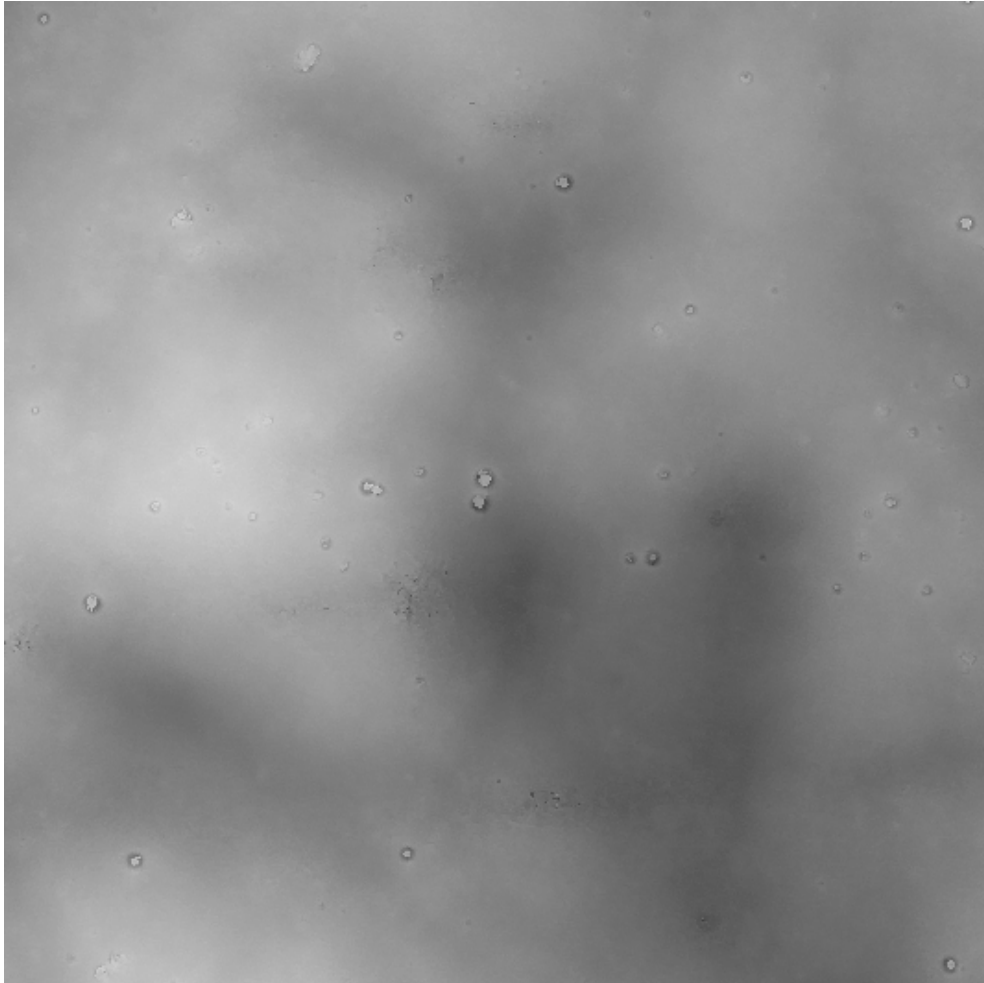
(a) マットコート紙の用紙表面形状画像



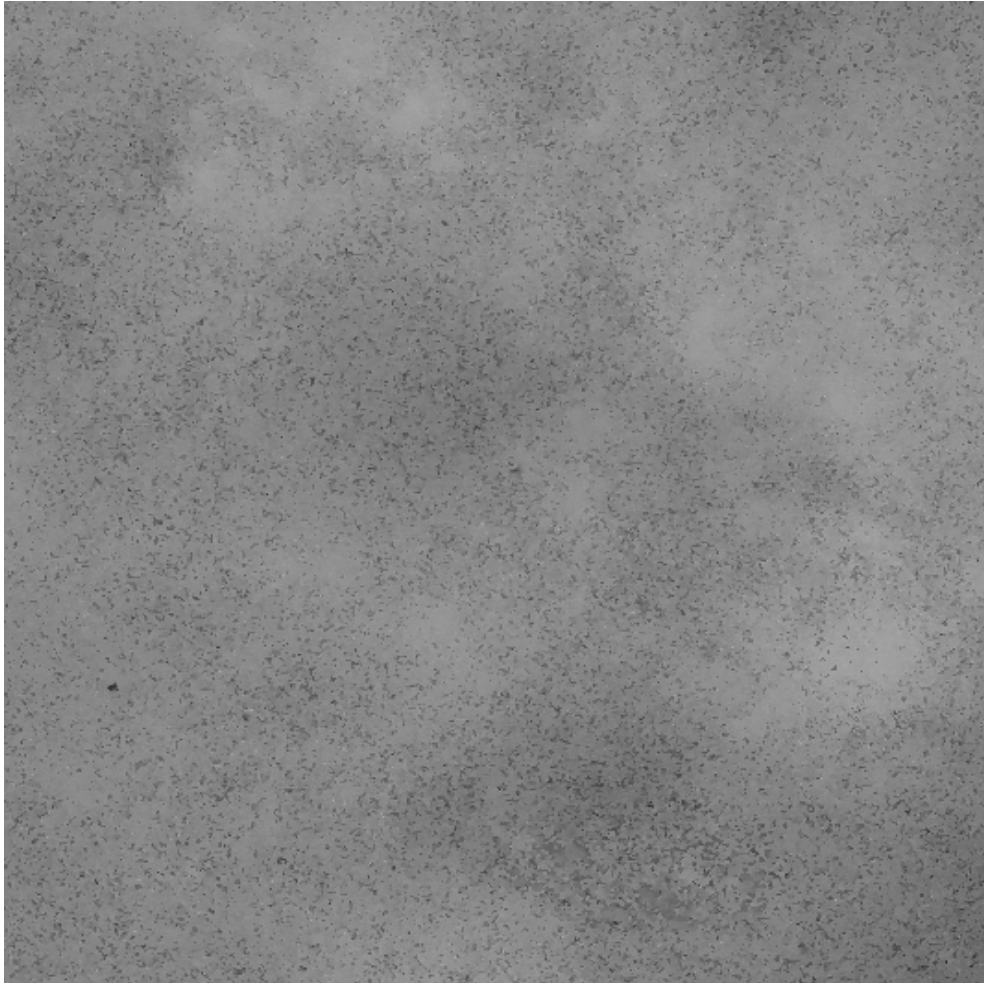
(b) マットコート紙の印刷表面形状画像



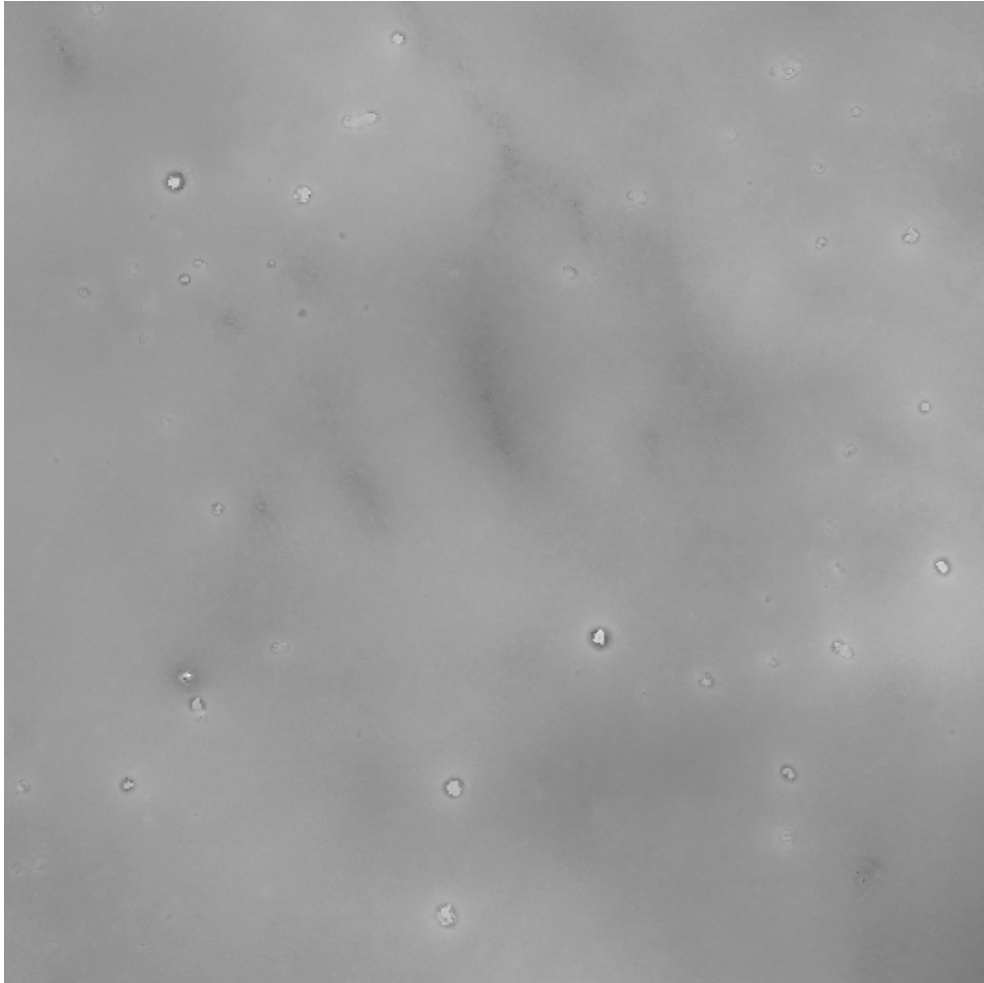
(c) ダルコート紙の用紙表面形状画像



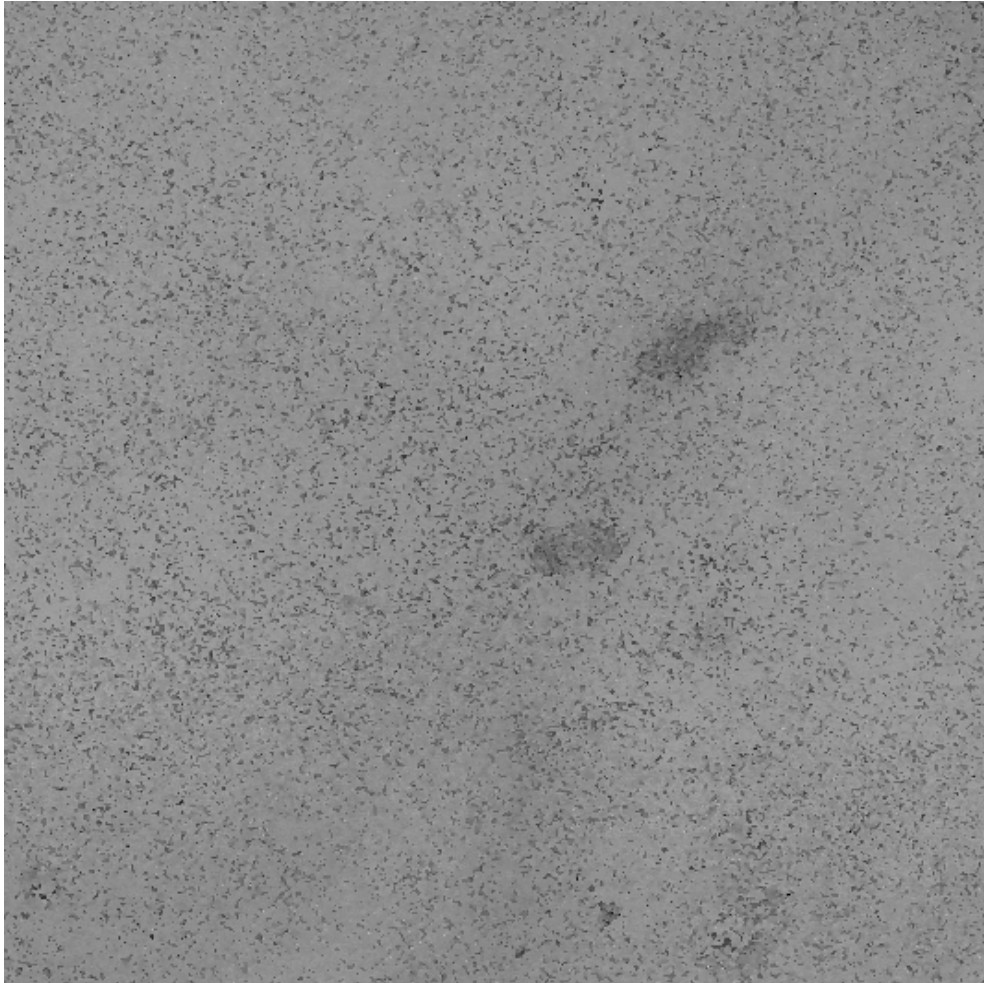
(d) ダルコート紙の印刷表面形状画像



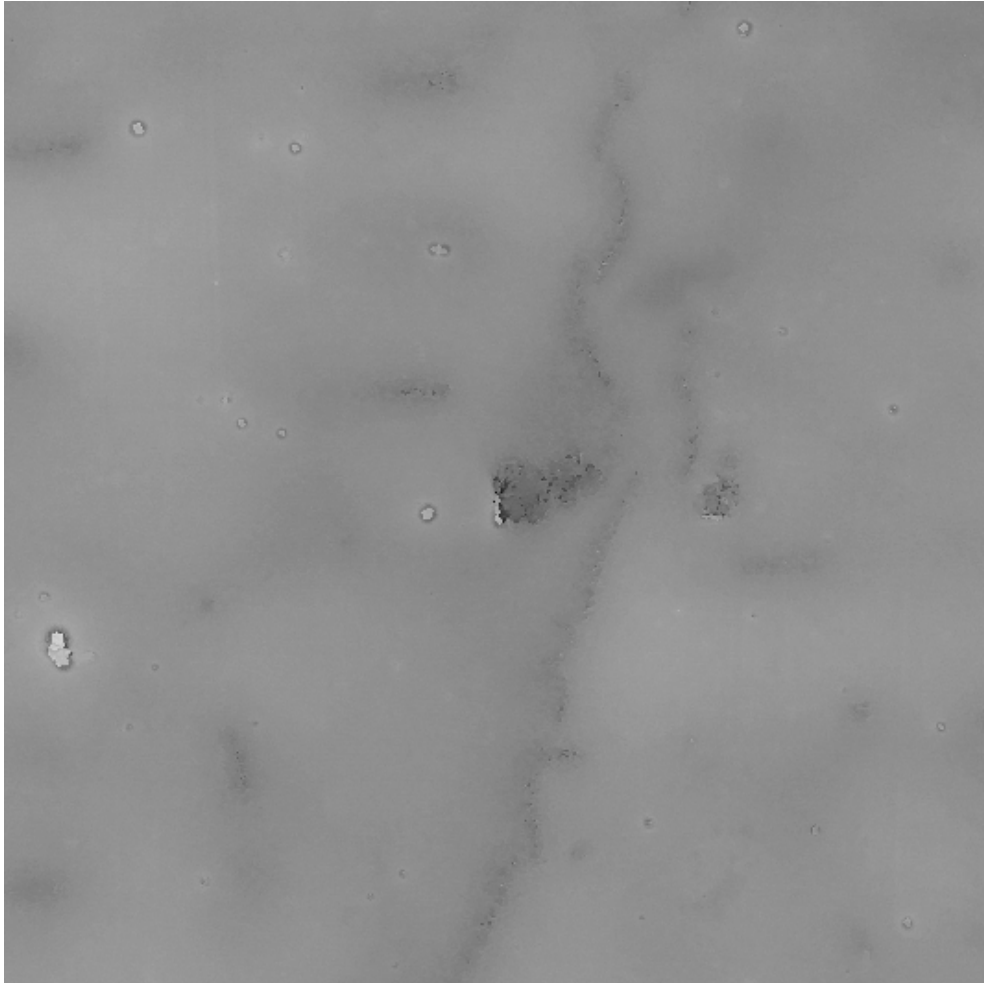
(e) グロスコート紙の用紙表面形状画像



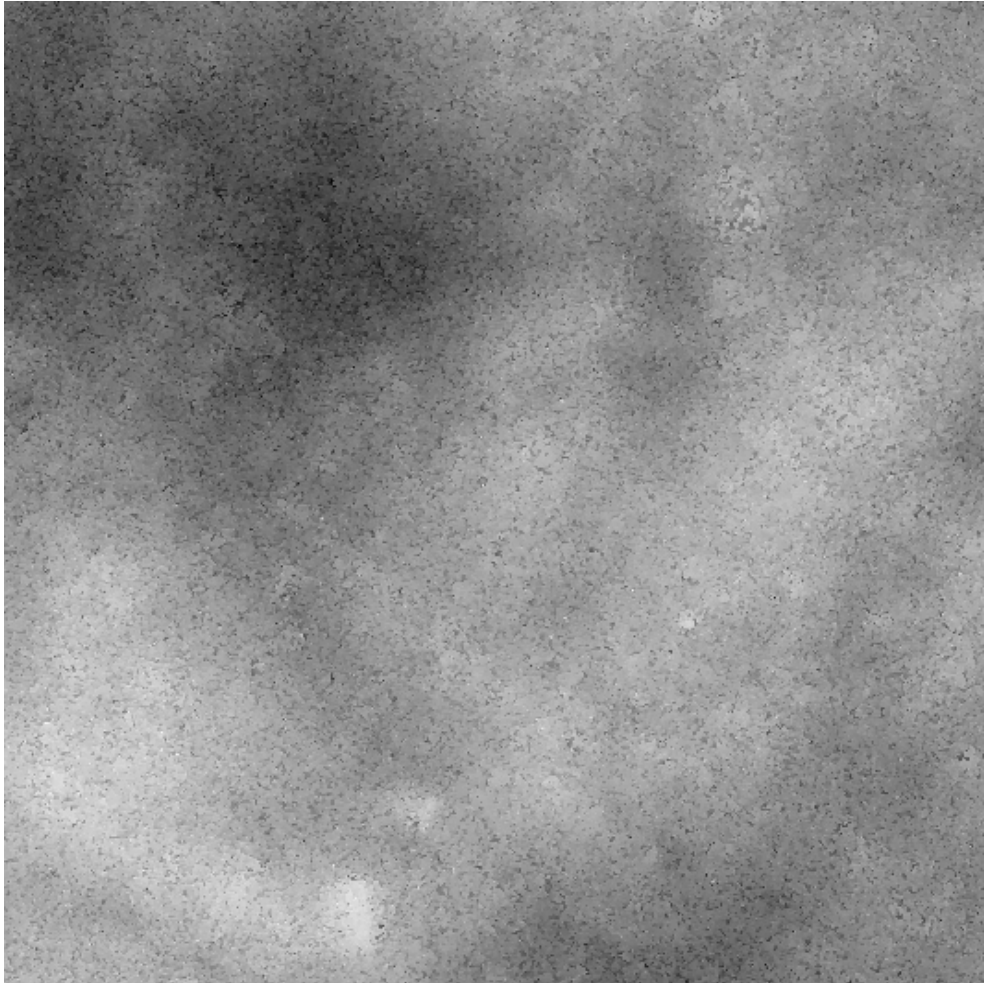
(f) グロスコート紙の印刷表面形状画像



(g) キャストコート紙の用紙表面形状画像



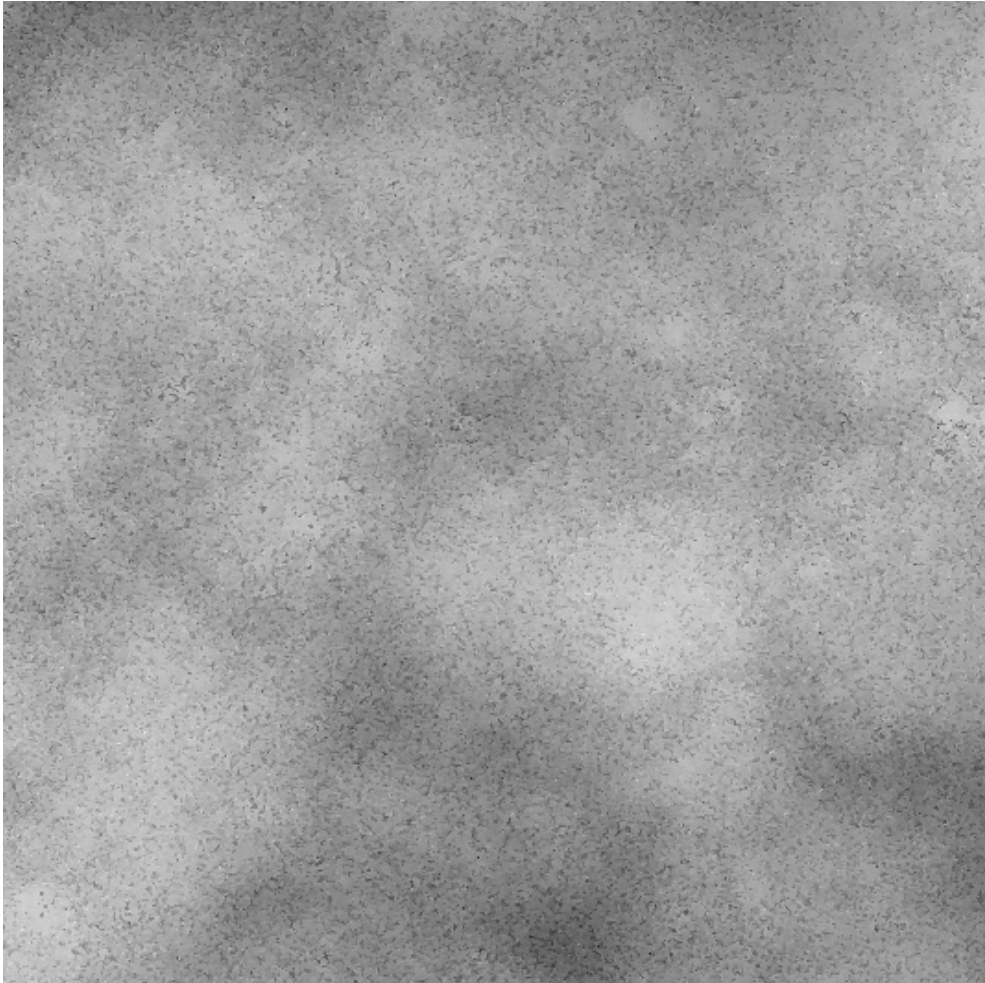
(h) キャストコート紙の印刷表面形状画像



(a) マットコート紙の用紙表面形状画像



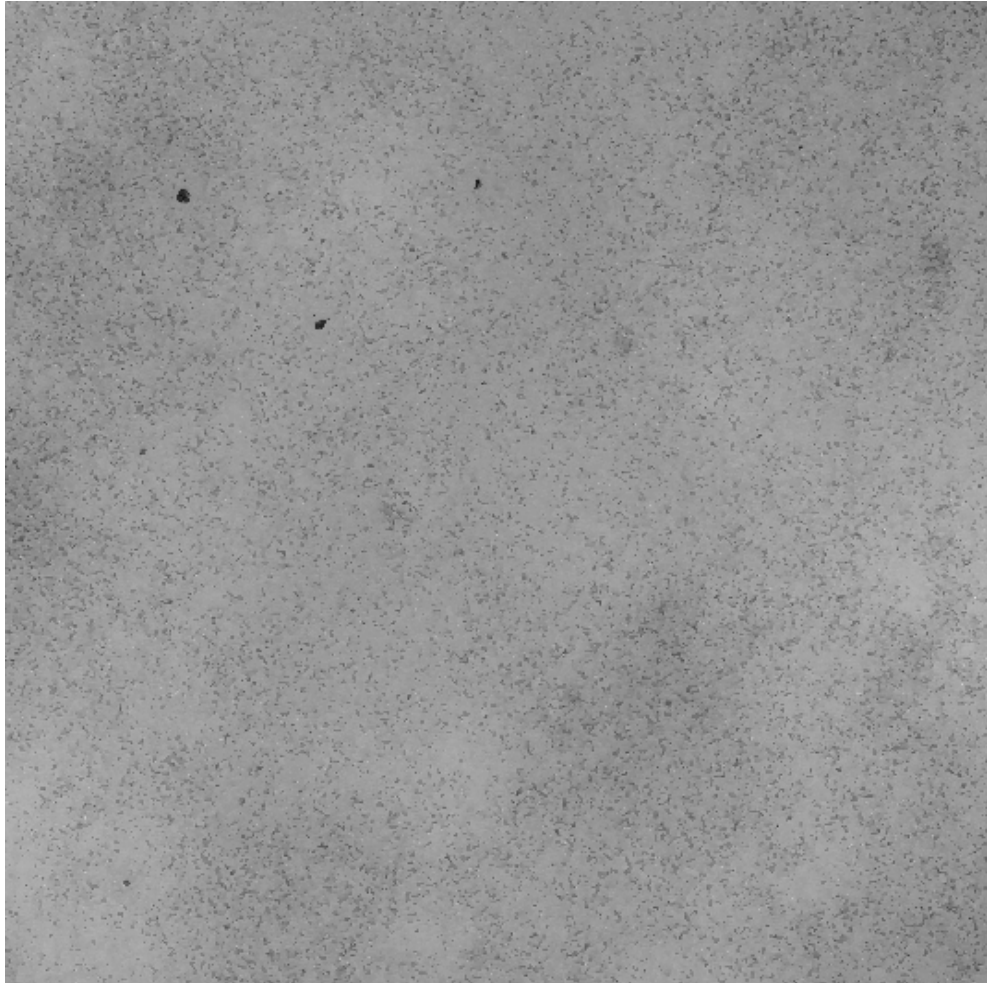
(b) マットコート紙の印刷表面形状画像



(c) ダルコート紙の用紙表面形状画像



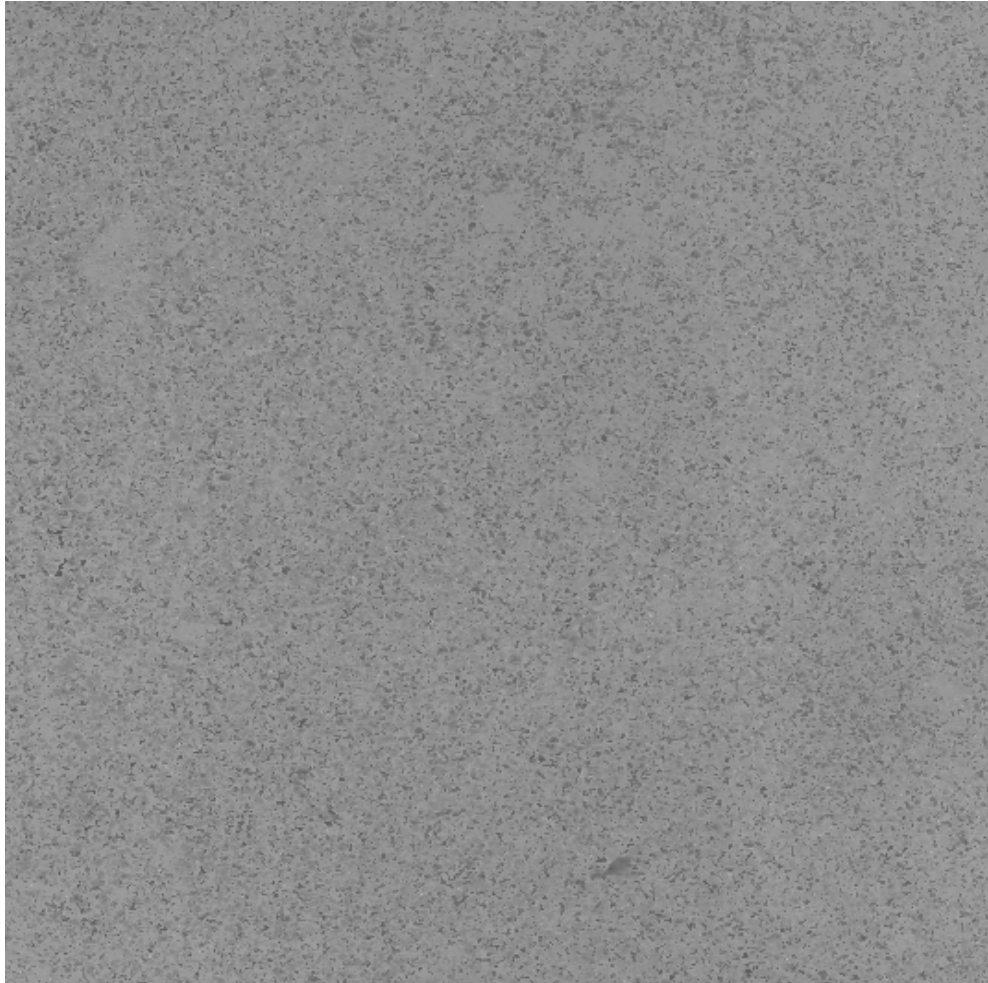
(d) ダルコート紙の印刷表面形状画像



(e) グロスコート紙の用紙表面形状画像



(f) グロスコート紙の印刷表面形状画像



(g) キャストコート紙の用紙表面形状画像



(h) キャストコート紙の印刷表面形状画像

(a) マットコート紙の伝達関数

(b) ダルコート紙の伝達関数

(c) グロスコート紙の伝達関数

(d) キャストコート紙の伝達関数

