

論文

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

北野 賀久*, 江前 敏晴**, 磯貝 明**

(2005.9.9 受理)

Analysis of Printed Surface Topography in Electrophotography and Offset Printing

Yoshihisa KITANO*, Toshiharu ENOMAE** and Akira ISOGAI**

Relationship between pre-printing and post-printing topographies of paper surfaces in both electrophotography and offset printing was discussed. The correlation coefficient of Pearson between two-dimensional profiles of paper surface and its printed surface at the same location was calculated by using four kinds of coated paper of different gloss. The correlation coefficient was high for every coated paper except cast coated paper for offset printing, but it was low for every coated paper for electrophotography. Even rough low-gloss paper resulted in a low correlation coefficient, therefore paper surface profile does not influence printed surface profile greatly for electrophotography. Then, transfer function analysis was applied to surface profiles as paper surface profiles were input and printed surface profiles were output. Two differences were found between the two printing methods. One is the printed surface topography formed by toners or inks at lower frequencies. The other is the level to which roughness of paper surface is filled by toners or inks at higher frequencies. Moreover, for electrophotography, reduction in amount of toners gives a better correlation coefficient between paper surface and printed surface profiles.

Keywords: Surface topographies, Correlation coefficient of Pearson, Transfer function, Gloss, Coated paper

電子写真とオフセット印刷における印刷前用紙表面形状と印刷物表面形状の関係について解析した。グロスが異なる4種類のコート紙を用いて、印刷前後の2次元的な表面形状画像間でピアソンの相関係数を計算したところ、オフセット印刷ではキャストコート紙以外は非常に相関が高く、電子写真ではすべての用紙種で相関が低かった。電子写真では、起伏が大きくグロスが低い用紙でさえも、高い相関が得られないことから、印刷物表面形状に与える用紙表面形状の影響が小さいことが明らかとなった。また用紙表面形状を入力、印刷物表面形状を出力とした時の伝達関数を算出した。2つの印刷方式を比較すると、低周波数域ではインキやトナーにより形成される形状に差があり、高周波数域では用紙表面の細かい起伏がインキやトナーによりどの程度埋められるかに差があることがわかった。さらにトナー量を少なくすることで、より用紙表面形状に近い印刷物表面形状が得られることを定量的に明らかにした。

キーワード: 表面形状, ピアソンの相関係数, 伝達関数, グロス, コート紙

1. はじめに

近年、電子写真技術を用いた印刷市場向けオンデマンドプリンターが数多く商品化されている。これらの商品は、オフセット印刷とは異なるグロス発現をすることがわかっている。従来の研究から印刷物の好ましいグロスは、印刷画像内容により異

なることが指摘されている¹⁾。オフセット印刷では印刷画像内容に応じて用紙グロスを選択することで、印刷物のグロスが変化し、好ましいグロスの印刷物を得ることができる。しかし電子写真では、グロスが異なる用紙を使用しても印刷物グロスの変化が小さいため、あらゆる印刷画像内容に応じた好ましいグロスの印刷物を得ることが難しい。

従来、電子写真とオフセット印刷でのグロス発現は、印刷物の表面形状が主要因であることがわかっている^{2~4)}。電子写真での表面形状に関して、背景部に透明トナーを現像し表面形状(グロス)を均一にする研究が行なわれており、グロス変動ノイズの低減と定着過程のドットゲイン抑制による拡散反射変動の低減により、オフセット印刷と同様に、均一なグロスで低粒状性の高画質画像を得られることが明らかになっている⁵⁾。ま

* 富士ゼロックス株式会社

〒243-0494 神奈川県海老名市本郷2274番

** 東京大学大学院農学生命科学研究科

〒113-8657 東京都文京区弥生1-1-1

* Fuji Xerox Co., Ltd., 2274 Hongo, Ebina-shi, Kanagawa 243-0494 Japan

** The University of Tokyo, Yayoi 1-1-1, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8657 Japan

た印刷物の断面を観察する研究が行われており、電子写真とオフセット印刷では、画像の厚みと画像の厚み変動量に大きな差があることが明らかになっている⁶⁾。

オフセット印刷での表面形状に関して、インキが用紙に転移した後の挙動に関する研究が行なわれており、インキのレベリングや浸透によりインキが転移する際に発生する乱れを低減しながら、表面形状が形成されていくことが明らかになっている^{7,8)}。また印刷物の断面を観察する研究が行なわれており、用紙基材の紙層構造に沿ってインキが浸透し表面が形成されていることが明らかになっている⁹⁾。

しかしこれらの研究からは、電子写真とオフセット印刷における印刷物表面形状の比較や、印刷物表面がどの程度用紙表面形状の影響を受けて形成されているかについて定量的な解析は十分行なわれていない。

本研究は、電子写真とオフセット印刷でのグロス発現メカニズムを解明し、その差を明らかにすることを目的としている。本報ではその一環として、電子写真とオフセット印刷の印刷前用紙表面形状と印刷物表面形状の関係について検証した。

その結果、電子写真とオフセット印刷において、印刷前の用紙表面形状と同じ位置での印刷物表面形状を測定し、それらの相関係数を算出することで、電子写真ではオフセット印刷に比べ印刷物表面形状に与える用紙表面形状の影響が小さいことを定量的に明らかにした。また用紙表面形状を入力、印刷物表面形状を出力としたときの伝達関数を算出することで、用紙表面に存在する起伏が印刷後でどのように変化したかを定量的に明らかにした。

2. 実験方法

2.1 試料

オフセット印刷物は万能印刷試験機（熊谷理機工業株式会社製 MPT 6000）を用いてサンプリングした。印刷速度は 2.8 m/s、印刷圧力は 11.8 kN/m とした。実験環境は、インキ練り温度を 25℃、周辺温度を 20～25℃に調整した。これらは枚葉オフセット印刷機の一般的な値を参考にした¹⁰⁾。インキは枚葉印刷機向けの標準的なタックのもの（東洋インキ製造株式会社製 TK ハイユニティ MZ）を用い、色はサイアン、量はアート紙で Japan Color 2001 を再現できる量として、インキ練りロールに 0.1 ml 供給した。以上のパラメータでキャストコート紙に印刷すると、インキ層の高さは平均 0.8 μm であった。

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 DocuColor 1250）を用いてサンプリングした。トナーの色はサイアン、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 μm 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。坪量はいずれも公称 127.9 g/m² であった。

2.2 実験方法

用紙、および印刷物の表面形状測定には、レーザー顕微鏡

（株式会社キーエンス製 VK 8500）を使用した。測定条件として 50 倍の対物レンズを使用し、高さ方向のサンプリングピッチを 0.02 μm とした。

グロスは市販のグロスメータ（日本電色工業株式会社製 VG 2000）を使用し、60° グロスを測定した。

画像の相関係数算出には、市販の画像処理ソフト（Media Cybernetics 社製 Image-Pro PLUS）を利用した。

3. 実験結果と考察

3.1 印刷物表面形状の構成要因

オフセット印刷と電子写真のそれぞれの方式でグロスが異なる 4 種類のコート紙に印刷物を作成し、印刷前の用紙表面形状と印刷した後同じ位置での印刷物表面形状をレーザー顕微鏡で測定した。

用紙グロスと印刷物グロスの関係を Fig. 1 に示す。オフセット印刷ではキャストコート紙のみ用紙グロスに比べ印刷物グロスが低いが、すべての領域で用紙グロスの変化に伴い印刷物グロスが変化している。本報で使用した電子写真システムでは低グロス側で印刷物グロスが十分低くならず、低グロスが好まれる文字画像¹⁾などでは、好ましいグロスの印刷物を得ることができない。

用紙と印刷物の表面形状を Fig. 2, 3 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り、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類似している。起伏が小さくグロスが高い用紙では、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⁷⁾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が印刷物表面でも観察できた。オフセット印刷と比較すると、異なる用紙間の印刷物表面形状の差が小さく、すべての用紙で滑らかな印刷物表面であった。

オフセット印刷と電子写真での印刷前用紙表面形状と印刷物表面形状の類似性を検証した。画像の類似性を示す指標とし

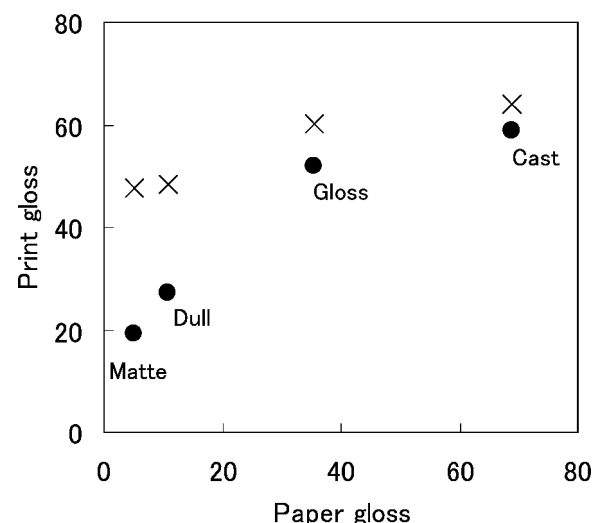


Fig. 1 Relationship between paper gloss and print gloss, ●: Offset printing press, ×: Electrophotographic color printer

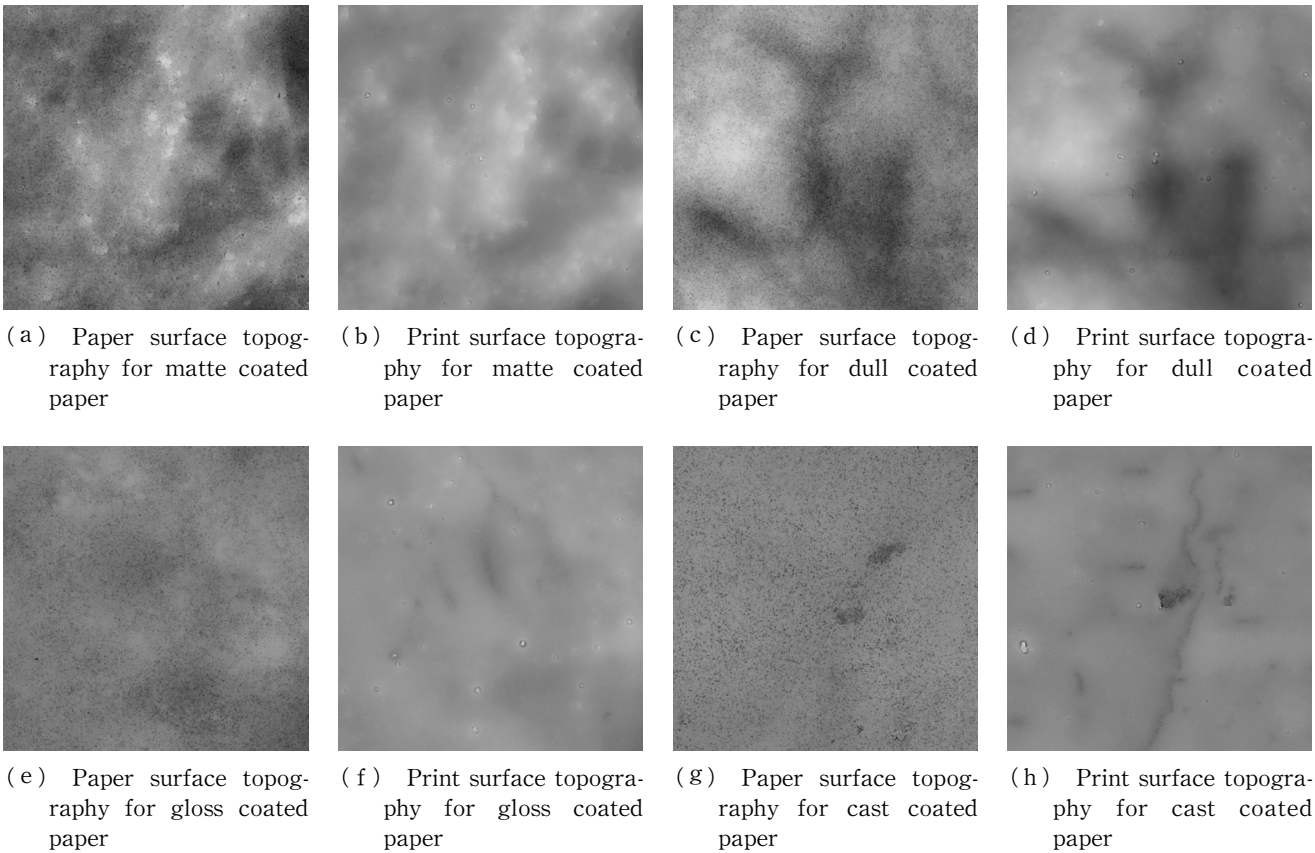


Fig. 2 Surface topography in offset printing, Size $150 \times 150 \mu\text{m}$, $10 \mu\text{m}$ in height with 8 bit gray levels

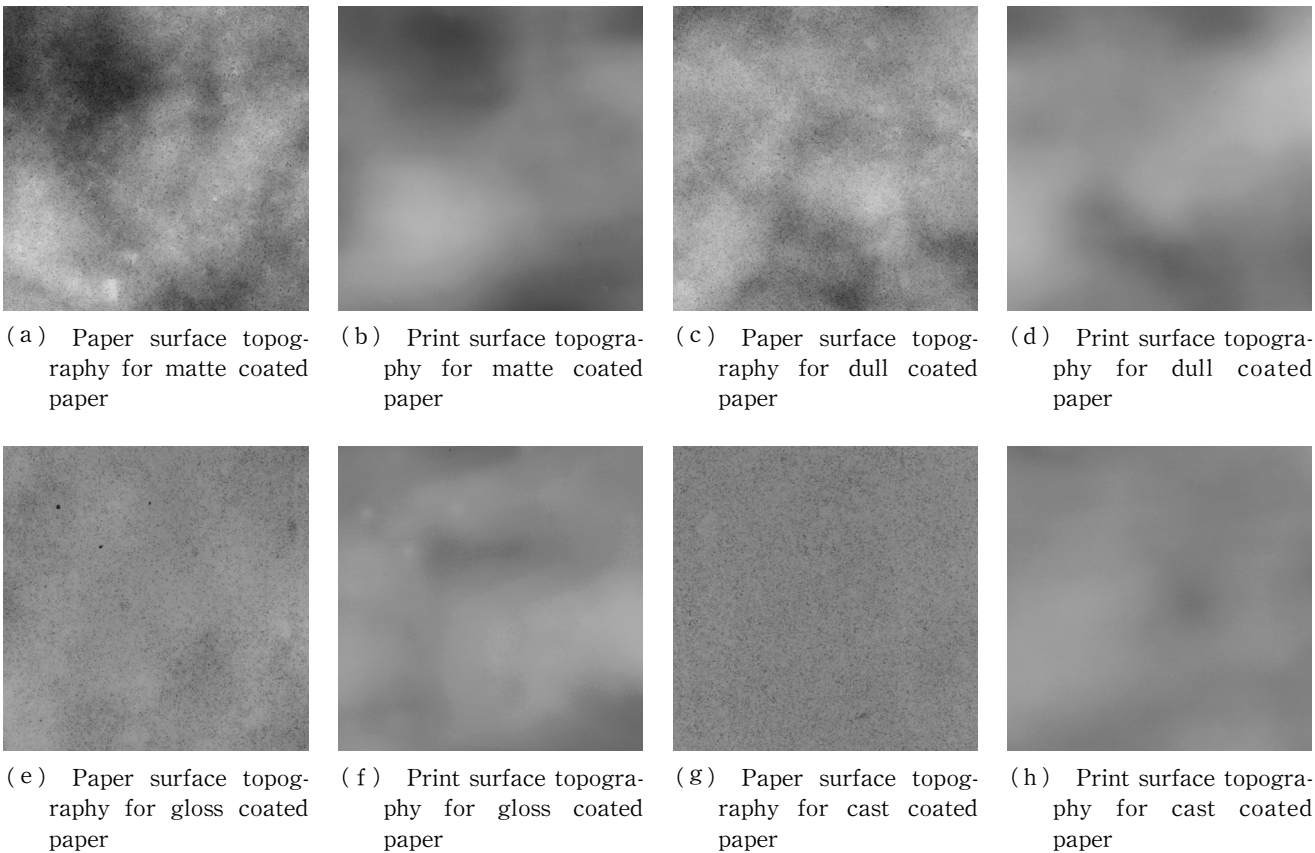


Fig. 3 Surface topography in electrophotography, Size $150 \times 150 \mu\text{m}$, $10 \mu\text{m}$ in height with 8 bit gray levels

て、各画素の高さ（輝度）から平均高さ（平均輝度）を引いて導出するピアソンの相関係数⁹⁾を算出した。

その結果 **Table 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に大きく影響していることが明らかになった。それに対しキャストコート紙では、非常に低い相関になった。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、それら乱れが残りがやすいため、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。相関が用紙グロスに伴い変化しており、用紙グロス

Table 1 Correlation between paper and print surface topographies

	Offset	Elect.
Matte coated	0.88	0.63
Dull coated	0.88	0.61
Gloss coated	0.73	0.32
Cast coated	0.21	0.07

が高い場合はトナーが画像表面形状形成の主要因であること、用紙グロスが低い場合は用紙表面形状が画像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。

3.2 印刷前後表面形状伝達関数

印刷前の用紙上に存在する様々な起伏が、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の値を平均し1次元化した Radially Averaged Power Spectrum（以降 RAPS）¹¹⁾を用いて、式(1)で表される伝達関数を算出した。

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

(1)

この式のように伝達関数は、ゲインが0 dBなら印刷前後の表面形状は全く一致している、ゲインが0 dB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0 dB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 **Fig. 4** 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をすると、低周波数域では用紙種に因らず同じような再現を示す。一方高周波数域では用紙種間で異なり、起伏が大きくグロスが低い用紙ほど、ゲインが0 dB

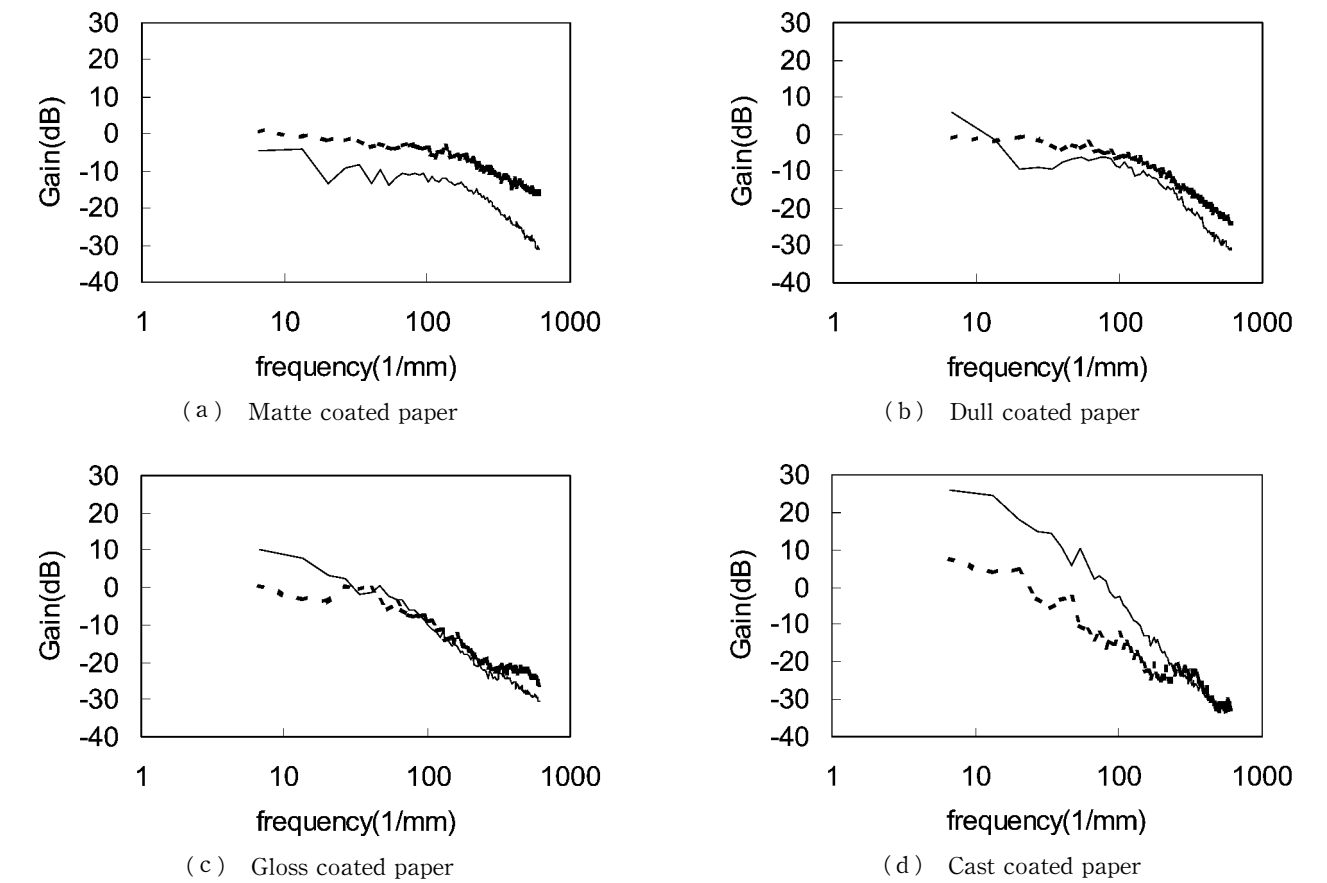


Fig. 4 Comparison in transfer function Dashed line : Offset printing Solid line : Electrophotography

に近い値をとる。マットコート紙、ダルコート紙では100 (mm^{-1}) 程度、グロスコート紙では60 (mm^{-1}) 程度の周波数域まで、用紙上に存在した起伏はゲイン0 dB 近傍であり、用紙上に存在した起伏が印刷後も十分再現できていることがわかる。それ以上の周波数になると、ゲインは急激に小さくなる。このことは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ことを示唆する。キャストコート紙では、25 (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、表面形状形成の主要因であることがわかる。

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0 dB に近い値をとる。一方高周波数域では用紙種に因らず同じような再現を示す。マットコート紙、ダルコート紙では100 (mm^{-1}) 程度の周波数域までゲインは大きくは変化せず、それ以上の周波数では急激にゲインが低下する。オフセット印刷同様に、用紙上の起伏がトナー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0 dB よりはるかに大きい。つまりトナーにより形成される形状が用紙の起伏よりはるかに大きく、印刷物表面形状形成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、印刷物表面の全ての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、電子写真のほうが滑らかである。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。

3.3 トナー量の影響

オフセット印刷と電子写真で印刷物表面を形成する要因の中で、大きく異なる点のひとつとして、インキ量とトナー量の差が挙げられる。そこでトナー量を少なくし、同様の解析を行った。トナー量はキャストコート紙に印刷した時、トナー層高さが平均2 μm になるように調整した。用紙と印刷物表面形状の測定結果を Fig. 5 に示す。

これら測定結果から、印刷前後の相関係数と伝達関数を算出した (Table 2, Fig. 6)。トナー量を少なくすることで、相関係数が上昇し、起伏が小さくグロスが高い用紙で低周波数域のゲインが0 dB に近づくことが明らかになった。

以上の結果から、電子写真において用紙表面形状と印刷物表面形状の相関を向上させる方向として、トナー量を少なくすることが有効であることがわかった。しかしオフセット印刷では、インキ量が少ないだけで用紙表面に倣った印刷物表面形状

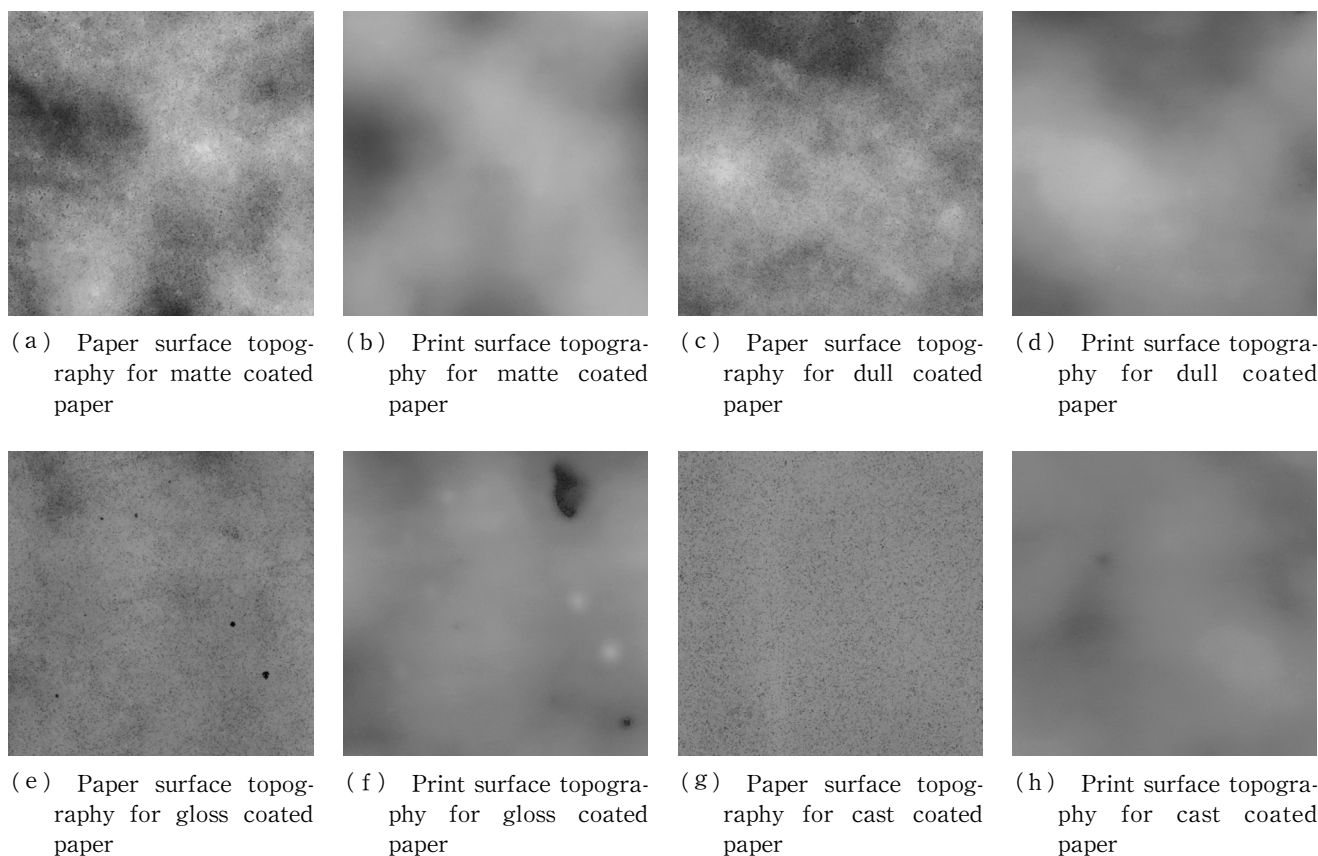
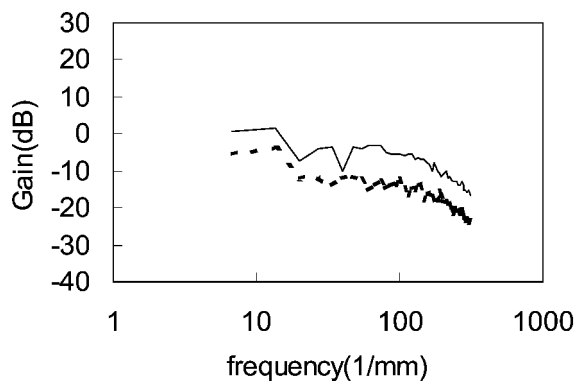


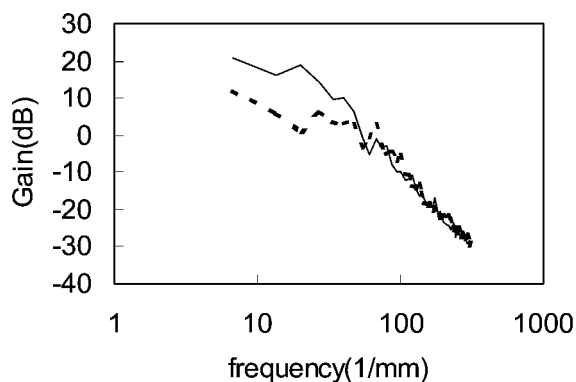
Fig. 5 Surface topography in reduced amount of toners in electrophotography

Table 2 Correlation between paper and print surface topographies in reduced amount of toners in electrophotography

	Elect.
Matte coated	0.67
Dull coated	0.75
Gloss coated	0.48
Cast coated	0.05



(a) Matte coated paper (dashed line) and dull coated paper (solid line)



(b) Gloss coated paper (dashed line) and cast coated paper (solid line)

Fig. 6 Comparison in transfer function in reduced amount of toners in electrophotography

が得られているわけではない。従来の研究から、キャストコート紙とマットコート紙において、用紙表面に倣うための、画像形成プロセス、および用紙構造が必要であることがわかっている^{7,8,12,13)}。これらのことから電子写真でオフセット印刷同等の印刷物表面形状を形成するには、トナー量を少なくするだけでなく、用紙表面に倣う作像プロセス、材料設計や用紙構造が必要であることが類推できる。

4. おわりに

本研究では、電子写真とオフセット印刷における表面形状の

解析として、用紙表面形状と印刷物表面形状の相関係数と伝達関数を算出することで、印刷物の表面形状がどの程度用紙表面形状の影響を受け形成されるかを定量的に検証し、以下のことを明確にした。

- 印刷前後表面形状の相関係数は、オフセット印刷ではキャストコート紙以外非常に高い。電子写真の印刷物表面はすべての用紙種でオフセット印刷に比べ用紙表面の影響が小さく、起伏が大きくグロスが低い用紙でさえも高い相関は得られない。
- 印刷前後の表面形状の伝達関数から2つの印刷方式を比較すると、低周波数域ではインキやトナーにより形成される形状に差があり、高周波数域では用紙表面の細かい起伏がインキやトナーによりどの程度埋められるかに差がある。
- 電子写真において、用紙表面形状と印刷物表面形状の相関を向上させるには、トナー量を少なくすることが有効である。

参考文献

- 1) 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)。
- 2) 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)。
- 3) 平林純, 田上智博, 久郷晴美: 光線追跡法を用いた電子写真画像の光沢度解析, Japan Hardcopy 2005 論文集, 243-246 (2005)。
- 4) 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)。
- 5) 井出収, 栗本雅之: 表面構造制御による電子写真画像の高画質化, 日本画像学会誌, **38**, 2, 103-112 (1999)。
- 6) 栗本雅之, 渡辺富士子: 各種ハードコピー画像の断面構造, 日本画像学会誌, **35**, 2, 131-134 (1996)。
- 7) T. Enomae, M. Teramoto, F. Onabe, S. Hayano, H. Naito, K. Takano, K. Kamada: Mechanisms of print gloss development, 2000 International Printing and Graphic Arts Conference, Savannah, GA, USA, pp. 1-8 (2001)。
- 8) 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, 日本印刷学会誌, **42**, 2, 105-112 (2005)。
- 9) 内村浩美, 尾崎靖, 丸山誠二, 沢渡篤: 用紙に転移および浸透したインキの観察, 日本印刷学会誌, **39**, 1, 48-54 (2002)。
- 10) 高柳茂直: オフセット印刷機, 日本印刷新聞社編 (1986)。
- 11) R. Ulichney: Digital Halftoning, MIT Press (1988)。
- 12) 荒井康宏, 野島一博: キャスト紙における印刷光沢と塗工層構造, 第64回紙パ研究発表会用紙集, 47-55 (1997)。
- 13) 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(III), 紙パ技協誌, **53**, 8, 1015-1023 (1999)。

北野 賀久



1991年静岡大学工学部卒業, 1993年静岡大学大学院工学研究科修士課程修了, 同年富士ゼロックス株式会社入社。電子写真における画像形成プロセスと画質に関する研究・開発に従事。現在, 技術開発本部に所属。

**江前 敏晴**

東京大学大学院農学生命科学研究科助教授，博士（農学）。1984年東京大学農学部卒業，1986年同大学院農学系研究科修士課程修了。印刷適正に関連した紙の物性に関する研究に従事。平成11年度繊維学会紙パルプ論文賞受賞。紙パルプ技術協会試験規格委員会及び会誌編集委員会委員。日本印刷学会基礎講座委員。Paper Science Forum（紙の物性研究者ネットワーク）幹事。

**磯貝 明**

東京大学大学院農学生命科学研究科教授，博士（農学）。1985年東京大学大学院農学研究科博士課程終了，1985年米国IPC化学科博士研究員，1986年東京大学農学部助手，1994年東京大学助教授，2003年東京大学教授。現在に至る。セルロース化学と製紙化学に関する研究に従事。