

研究論文

# オフセット印刷マットコート紙におけるインキ転移後のミクロな挙動

北野 賀久\*, 江前 敏晴\*\*, 磯貝 明\*\*

\*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

## Post-printing micro-dynamics of ink film on matte coated paper

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

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

\*\*The Univ. Tokyo Yayoi1-1-1, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8657 Japan:

### Abstract

In a previous report, the frequency analysis applied to changes of surface roughness of matte coated paper before and after printing, it was expected that small-scale roughness components become exposed with ink vehicle penetration. The purpose of this work at this present is to elucidate post-printing ink micro-dynamics, or microscopic behavior of an ink film immediately after transfer to coated paper.

Dynamic print gloss for coated paper was compared between inks with different viscosities. As a result, gloss increased slowly for inks with higher viscosities. Inks with higher viscosities probably penetrate slowly on coated paper, resulting in slow gloss increases. Distribution of ink density was compared between paper with different surface roughness. As a result, distribution of ink density was wider on uneven coated paper. Inks probably flow on uneven coated paper, resulting in wide distribution of ink density.

Changes of ink surface roughness immediately after printing were observed using reflected light. It was confirmed from the obtained results that large-scale roughness of paper surface and small-scale roughness due to coating pigments became exposed with time. In short, roughness hidden by ink coverage appeared as the ink film became thinner by penetration.

Ink surfaces were solidified with liquid nitrogen at various laps of time after printing, and the ink densities were determined by color-image analysis. Although ink density distribution immediately after printing was not dependent on roughness of coated paper, ink flows along paper surface geometry with time and builds up at the bottom of valleys resulting in high ink density in there. This phenomenon is supported by the fact that the correlation coefficient between the images of paper surface profile and ink density distribution increased with time.

## 1. はじめに

近年, 電子写真技術を用いたカラープリンタは, 高速・高画質化に伴い, 印刷市場で使用されるケースが増えている<sup>1, 2)</sup>. しかしこれらの商品はオフセット印刷に比べ, 用紙グロスを変化させた時の, 印刷物グロスの変化が小さいことがわかっている. オフセット印刷では, 印刷内容にあわせた望ましいグロス<sup>3)</sup>の印刷物を得るため, 用紙グロスを選択する. しかしカラープリンタでは, 用紙グロスを変化させても印刷物のグロスは大きく変化しないため, 印刷内容に適したグロスの印刷物を作成できない場合がある<sup>4)</sup>. そのため, カラープリンタでもオフセット印刷と同じように, 用紙グロスに伴い印刷物のグロスが変化することが望まれている.

本研究は, オフセット印刷のグロス発現メカニズムを解明し, 電子写真技術との差を明らかにすることを目的としている. これまでの研究で, オフセット印刷と電子写真での印刷物表面形状について解析した<sup>5)</sup>. その結果, オフセット印刷で用紙グロスに伴い印刷物のグロスが変化している理由は, 用紙表面形状に倣った印刷物表面が形成されていることが主要因であることを定量的に明らかにした. そこで用紙表面形状の影響がわかりやすいマットコート紙を用いて, オフセット印刷でのグロス発現メカニズムを検証した. その結果, インキが転移する際に印刷物表面に乱れが発生し, その後レベリングすることを明らかにした. さらにインキは転移した後, 用紙の起伏に起因した動きが生じることを明らかにしたが, その詳細は十分明確にできていない<sup>4)</sup>.

オフセット印刷での用紙に転移した後のインキの挙動に関して, 従来次のような研究が行われてきた. 寺元らはインキが用紙に転移する際, インキ表面にスプリットパターンに由来する亀裂が入り, 時間とともにインキが流動して, それら亀裂はレベリングされるが, インキが乾燥した後もスプリットパターンの一部が残り, グロスに影響を与えていることを明らかにした<sup>6)</sup>. 同様に, 荒井らもスプリットパターンが, 特にキャストコート紙に印刷した時のグロスに影響していることを示し, 用紙の表面および内部構造を変化させ, 用紙へのインキビヒクルの浸透を変えることで, グロスが変化することを示した<sup>7)</sup>. また江らは, インキの浸透深さを定量的に解析するシステムを開発し, コート紙での浸透挙動に影響を与える因子として, ビヒクルの粘度が最も影響が大きいことを明確にした<sup>8)</sup>. 田中らは, 超音波透過法を用いて浸透挙動を解析し, 用紙の孔径や平滑性など用紙の物理的性質との関係を明確にした<sup>9)</sup>. 内村らは, 転移して用紙に浸透したインキと用紙の断面を観察し, 浸透が用紙基材の紙層構造に影響を受けることを明確にした<sup>10)</sup>.

以上のように, インキが用紙に転移した後の挙動に関し, レベリングや用紙への浸透について盛んに研究が行われてきたが, 特にマットコート紙のように用紙の起伏が大きく, その形状に依存した挙動が予想されるような場合の研究は, 十分に行われていない. そこで本報では, オフセット印刷でのマットコート紙グロス発現メカニズム解明の一環として, インキが用紙に転移した後, どのような挙動をして印刷物表面形状が形成されるかに関して検証した.

## 2. 実験

### 2.1 試料

オフセット印刷の画像形成プロセスは万能印刷試験機(熊谷理機工業株式会社製MPT6000)を用いてシミュレートした. 印刷速度は $2.8 \text{ m/s}$ , 印刷線圧は $11.8 \text{ kN/m}$ とした. 実験環境は, インキ練り温度を $25^\circ\text{C}$ , 周辺温度を $20 \sim 25^\circ\text{C}$ に調整した. これらはオフセット枚葉印刷機の一般的な設定値を参考に決定した<sup>11)</sup>.

インキはオフセット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JapanColor2001を再現できる量として,  $0.1 \text{ ml}$ をインキ練りロールに供給した. この時, マットコート紙へのインキ転移量は $1.2 \text{ g}$

/m<sup>2</sup>であった。

用紙は、市販のマットコート紙(王子製紙株式会社製OKトップコートマット, 公称坪量127.9 g/m<sup>2</sup>)を使用した。

インキ粘度の影響を検証する実験では, 上記インキに加え, 粘度が異なる2種類のインキを使用した(東洋インキ製造株式会社製TKハイユニティYZ, LZ)。この時, マットコート紙へのインキ転移量が同じになるよう, インキ練りロールへの供給量を調整した。インキの公称粘度とマットコート紙への転移量をTable 1に示す。

用紙表面形状とミクロな明度分布の関係を検証する実験では, 市販のキャストコート紙(王子製紙株式会社製ミラーコートプラチナ, 公称坪量127.9 g/m<sup>2</sup>)を使用した。印刷物試料作成の際, インキ転移量が同じになるよう, インキ練りロールへの供給量を調整した。

用紙表面形状と印刷物試料のインキ量分布を検証する実験では, インキが用紙に転移した後, 所定の時間経過した時点で, 印刷物試料を液体窒素に入れて, そのまま凍結乾燥機(東京理化学器械株式会社製EYELA FDU-830)で2日間乾燥させて印刷物試料を調製した。

## 2. 2 実験方法

用紙と印刷物試料の表面形状の測定には, レーザー顕微鏡(株式会社キーエンス製VK-8500)を用いた。測定は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は0.02 μmとした。グロスの時間変化は, グロスメータ(日本電色工業株式会社製VG2000)からアナログ出力を取り出し, 60°グロスを連続的に測定した。

印刷物試料のミクロな明度分布の測定には, 市販の高解像度スキャナ(大日本スクリーン株式会社製Genascan5000)を用いた。印刷物試料をサイズ8×8mm, 5300dpiの解像度でRGBデータとして取り込み, 実験から求めた多重回帰式(12)を用いて, 高精度にL\*a\*b\*データに変換しL\*分布を算出した。

インキ転移後の印刷物試料表面形状の観察には, レーザー顕微鏡(株式会社キーエンス製VF-7500)を用いた。観察は500倍となる対物レンズを使用し, アナログ映像出力からデジタルビデオカメラ(ソニー株式会社製DCR-PC100)を経由して, 印刷物試料の表面状態変化をコンピュータに取り込んだ。それら画像から, 画像処理ソフト(Media Cybernetics社製Image-Pro PLUS)を利用して反射光分布を算出した。

用紙表面形状と印刷物試料のインキ量分布の検証では, レーザー顕微鏡(株式会社キーエンス製VK-8500)で, 用紙表面形状と印刷物試料のカラー画像を取り込んだ。カラー画像は, すべての印刷物試料で照明光量が同じになるよう調整し, RGBデータとして取り込んだ。表面形状(グレースケール画像)とカラー画像の比較には, カラー画像をsRGBデータと仮定し, PhotoshopにてL\*a\*b\*データに変換後, 分版したL\*画像データを用いた。

## 3. 結果と考察

### 3. 1 インキ転移後の挙動の予測

インキが用紙に転移した後, どのような挙動をしているかを予想するため, インキの粘度を変化させた時の用紙に転移した直後からのグロスの時間変化を比較した。さらに用紙表面形状がどのような影響を及ぼしているかを予想するため, 用紙表面形状が大きく異なるマットコート紙とキャストコート紙に印刷した時の, ミクロな明度分布を比較した。

#### 3. 1. 1 インキ粘度とグロスの時間変化

Fig. 1にインキ粘度を変化させた時の, 用紙に転移した時点からのグロスの時間変化を示す。全ての粘度で, 転移後数十秒程度グロスが急激に上昇し, その後下降するというプロファイルをとったが,

インキの粘度により, ピークに達するまでの時間, ピークの値, およびグロス低下の傾きが異なることがわかった.

グロスの上昇は, インキが転移する際に発生する表面形状の乱れが, レベリングすることで表面が滑らかになっていくため生じることがわかっている<sup>4)</sup>. さらにインキの粘度が異なると, インキが転移する際の乱れに差が生じることがわかっている. 粘度が高いと乱れが大きく, かつレベリングの速度が遅いため, グロスがピークに達するまでの時間, およびピーク値に差が生じたと予想する.

一方グロスの低下は, キャストコート紙など起伏が小さい用紙では観察されない現象で, 用紙表面形状に起因した現象であることがわかっている. 粘度によりインキビヒクルの浸透速度が異なるため, インキが用紙上に存在する時間に差が生じる. 粘度が高いほど表面に存在する時間が長く, 起伏が長時間インキに埋もれているため, グロス低下の傾きに差が生じたと予想する.

### 3. 1. 2 用紙表面形状と印刷物試料のミクロな明度分布

Fig. 2 にマットコート紙とキャストコート紙での明度分布を示す. このようにマットコート紙ではキャストコート紙に比べ, ピークの値が低く, 分布が広いことがわかる. 明度の平均値が異なる理由は, 用紙の明度が異なることに起因している. マットコート紙とキャストコート紙の大きな違いは用紙表面形状であり, 用紙の起伏に応じた流動が生じ, インキ量に分布が生じたと予想する.

以上のように, インキの粘度によるグロスの時間変化, および用紙表面形状によるミクロな明度分布を比較することで, 前報で示したインキが転移した後, 転移の際に生じた乱れがレベリングすることに加え, インキビヒクルが浸透し用紙上に存在した起伏が明確になる, およびインキが用紙表面形状に起因して流動する, これら2つの現象が生じていることが予想できた.

### 3. 2 インキ転移後の挙動検証

予想した2つの現象を明確にするため, インキ転移後の印刷物試料表面形状の観察と, 用紙表面形状と印刷物試料のインキ量分布の関係について検証を行った.

#### 3. 2. 1 インキ転移後の印刷物試料表面形状の観察

インキが転移した後の印刷物試料表面形状の変化を, 顕微鏡で観察した. その際の光源は, 印刷物試料の表面に対し法線方向となるように配置し, インキ層内部に入り込んで出てくる拡散光の影響が少なく, インキ表面反射光を十分に取り込める倍率とした. 観察結果をFig. 3 に示す. インキ転移直後は滑らかな表面だったものが, 時間経過とともに荒れた表面に変化していく様子が観察できた.

次にこれら画像の反射光プロファイルを算出した(Fig. 4). 反射光は表面形状に対する光源方向により決定する. つまり反射光プロファイルから, 印刷物試料表面形状を推測することができる<sup>13)</sup>. その結果, 用紙の起伏と思われる数十 $\mu\text{m}$ ピッチ程度の起伏と, より高周波である数 $\mu\text{m}$ ピッチ程度の起伏の変化が確認できた. SEMを用いて用紙と印刷物試料の表面を観察すると, Fig. 5のように印刷前の用紙表面に存在したコート層顔料が, 印刷物試料表面に露出している領域が存在することがわかった. このことから, 観察された高周波の起伏は, これらコート層の顔料であると思われる.

以上の結果は, 転移直後はインキに沈んでいた用紙の起伏やコート層顔料が, インキビヒクルが浸透し用紙表面に存在するインキ量が減少していくことで明確に現れたことを示唆する.

#### 3. 2. 2 用紙表面形状と印刷物試料のインキ量分布

用紙の起伏に応じたインキの流動として, 起伏の凸部から凹部に向けて動くことが予想される. このような流動が生じると, インキが多い領域と少ない領域が混在した状態になる. Lambert-Berrの法則より, インキ層の厚みとインキ濃度に相関があることが知られている<sup>14)</sup>. つまり流動が進むとともに, インキが多い凹領域は明度が低くなり, インキが少ない凸領域は明度が高くなることが予想される. そこで用紙表面形状に対し, 印刷物試料の明度分布が, 時間とともにどのように変化するかを検証した.

印刷前の用紙表面形状と印刷後同じ位置での印刷物試料明度画像を Fig. 6 に示す。ここで示す画像は通常の光学濃度のような対数変換は行っていない。転移後時間が十分経過した印刷物試料では、用紙表面の起伏が低い領域で明度が低い、つまりインキ量が多いように観察できた。それに対しインキ転移直後の印刷物試料は、用紙表面形状に関係ない明度分布であることが観察できた。

次にこれら用紙表面形状と印刷物試料明度画像との相関係数<sup>5)</sup>を算出し、定量的な解析を行った。これら相関は、算出するエリアの用紙表面形状によりばらつくことが予想されるため、8箇所相関係数を算出し、それらの平均値と分散を比較した。算出結果を Fig. 7 に示す。この図のように、インキ転移直後に相関係数は大きく上昇し、それ以降は大きく変化しないことがわかった。

以上の結果は、インキが転移した直後に、用紙表面形状に沿って流動することで、用紙起伏の凸部でインキ量が少なく、凹部でインキ量が多く分布することを示唆する。

### 3. 3 インキ粘度と印刷物試料表面形状

以上の得られた知見をもとに、インキ粘度が異なる印刷物試料の表面形状について検証する。Fig. 8 に印刷前の用紙表面形状と、印刷後同じ位置での印刷物試料表面形状を示す。異なるインキ粘度間での印刷前後での表面形状の変化は、見た目には差がわからない。これら表面形状から算出した印刷前後での表面形状の伝達関数を Fig. 9 に示す。伝達関数とは、印刷前の用紙表面形状を入力、印刷後同じ位置での印刷物試料表面形状を出力とし、表面形状の変化の度合いを表したもので、ゲインが 0 dB なら印刷前後の表面形状に変化がない、ゲインが 0 dB より大きい場合は印刷前の用紙表面に比べ印刷物試料の表面が大きな起伏をもつ、ゲインが 0 dB より小さい場合は印刷前の用紙表面に比べ印刷物試料の表面が滑らかであることを意味する<sup>5)</sup>。標準的な粘度と低い粘度のインキの場合は周波数 100 (1/mm) 程度、高い粘度のインキの場合は周波数 30 (1/mm) 程度までゲインはほとんど変化せず、それ以降の領域で大きくゲインが低下する。またインキの粘度が低い場合はゲインの差はないが、インキの粘度が高い場合は、ゲインが小さくなることがわかった。つまりインキの粘度が高い場合、印刷物試料表面形状が、より滑らかになる。

インキ粘度は溶剂量を変えて調整していることがわかっている。粘度が高い場合は、インキ顔料の比率が高い。つまりインキの粘度が高い場合は、インキビヒクルが浸透した後、印刷物試料表面に残るインキ顔料の量が多いため、コート層顔料の覆われ方が変化し、グロスが高くなったと予想できる。

### 4. おわりに

本論文ではマットコート紙へのオフセット印刷において、インキ転移後のマイクロな挙動に着目し、インキの粘度を変化させた時のグロスの時間変化、用紙表面形状とマイクロな明度分布、インキ転移後の印刷物試料表面形状の観察、および用紙表面形状と印刷物試料のインキ量分布を比較することで、以下のことを明らかにした。

- ・インキの粘度によりインキが用紙に転移した後のグロスの時間変化が変化する。および用紙表面形状により印刷物試料のマイクロな明度分布が変化する。
- ・インキが転移した後の印刷物試料表面形状を観察した結果、用紙上に存在する起伏とコート層顔料の形状が、時間とともに明確になる。
- ・用紙表面形状と印刷物試料のインキ量分布の関係を確認した結果、転移直後は用紙表面形状に関係なく分布していたインキが、時間経過とともに用紙表面形状に倣った分布に変化していく。

以上のように、本研究ではオフセット印刷でのマットコート紙グロス発現メカニズムの解明を行った。前報<sup>4)</sup>で Fig. 10 (a) のように、インキが転移する際のインキフィラメントの破断により生じた乱れがレベリングすることを明らかにし、このことに加え、Fig. 10 (b) のように用紙表面形状に沿ってインキが流動することで、印刷物試料表面は用紙表面に比べて滑らかな起伏になりグロスが上

昇ることがわかった。これらグロスの上昇を伴う変化は、インキが用紙に転移後20～30秒程度の表面形状形成の主要因となる。さらにその後は、Fig. 10(c)のようにインキビヒクルが用紙に浸透しインキ層が薄くなることで、用紙の起伏やコート層表面の顔料形状が明確になる、また一部が露出することで、用紙表面形状に似た印刷物表面形状に変化し、グロスが下降することを明らかにした。

#### 参考文献

- 1) 安西正保: 日本画像学会誌, 40, 140(2001)
- 2) 高木純: 日本画像学会誌, 40, 145(2001)
- 3) 笹沼信篤, 徳野義信, 梶家秀彦, 畠健志: Japan Hardcopy'99 論文集, 277(1999)
- 4) 北野賀久, 江前敏晴, 磯貝 明: 日本印刷学会誌, 42, 105(2005)
- 5) 北野賀久, 江前敏晴, 磯貝 明: 日本画像学会誌, 44, 450(2005)
- 6) 寺元学, 江前敏晴, 尾鍋史彦, 早野三郎, 内藤等, 高野弘二, 鎌田一則: 第 67 回紙パルプ研究発表会講演要旨集, p.136(2000)
- 7) 荒井康宏, 野島一博: 第 64 回紙パルプ研究発表会講演要旨集, p.58(1997)
- 8) 江屹, 甘利武司, 渡辺鋼市郎: 日本印刷学会誌, 26, 251(1989)
- 9) 田中恒雄, 染矢幸通: 日本印刷学会誌, 30, 380(1993)
- 10) 内村浩美, 尾崎靖, 丸山誠二, 佐渡篤: 日本印刷学会誌, 39, 48(2002)
- 11) 高柳茂直: "オフセット印刷機", 日本印刷新聞社編(1986)
- 12) 安部純, 稲垣敏彦: Japan Hardcopy'99 論文集, 295(1999)
- 13) 画像処理標準テキストブック編集委員会監修: "画像処理標準テキストブック", 財団法人画像情報教育振興協会(1997)
- 14) 田幸敏治, 辻内順平, 南茂夫: "光測定ハンドブック", 朝倉書店(1994)

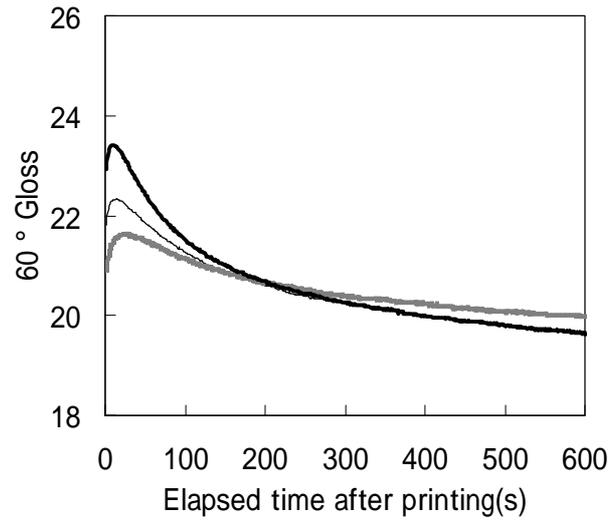


Fig. 1 Dynamic print gloss for matte-coated paper

- ..... Higher viscosity ink
- Intermediate viscosity ink
- Lower viscosity ink

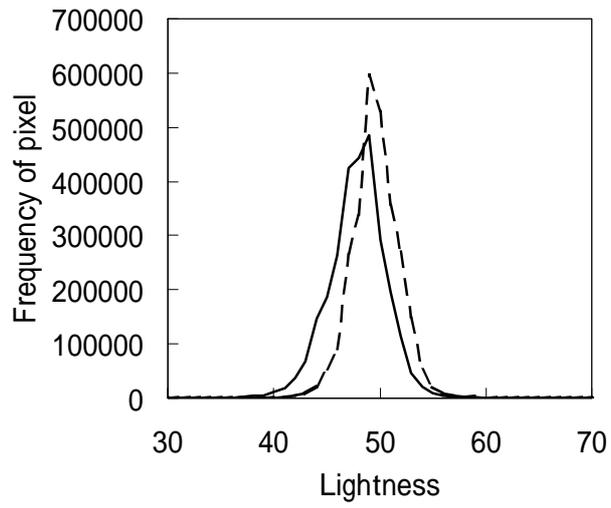
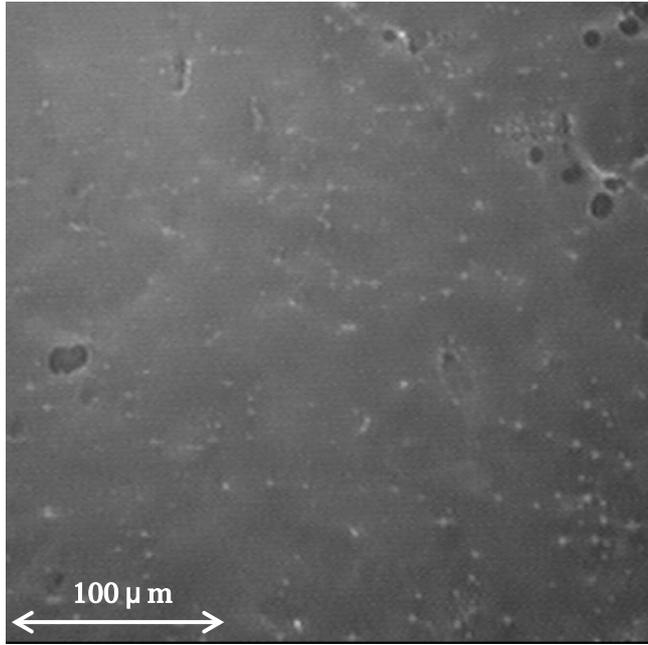
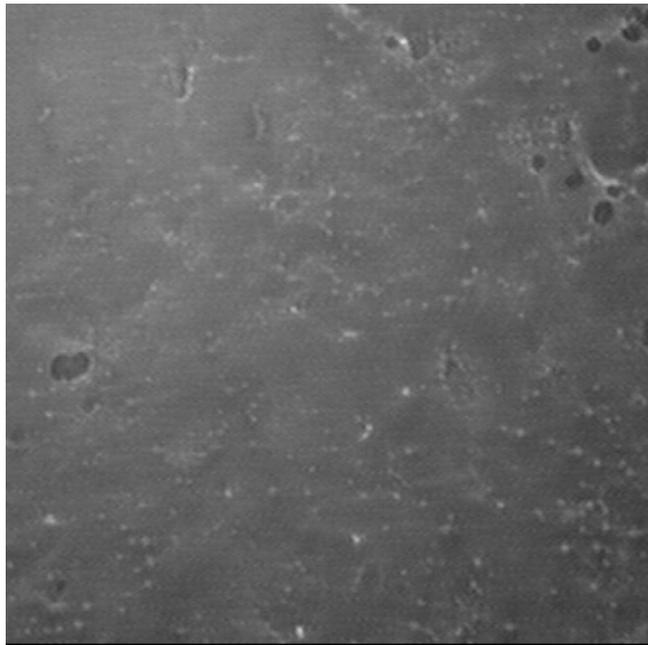


Fig. 2 Distribution of ink density using micro colorimetry

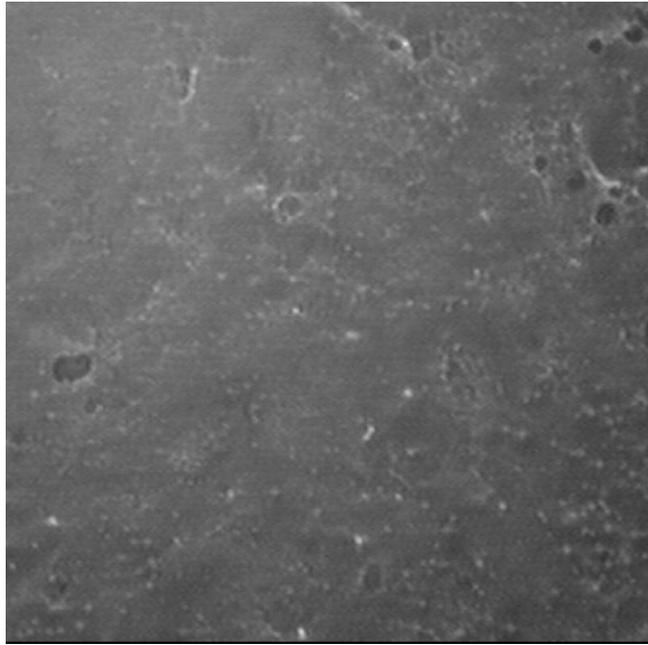
- ..... Cast coated paper
- Matte coated paper



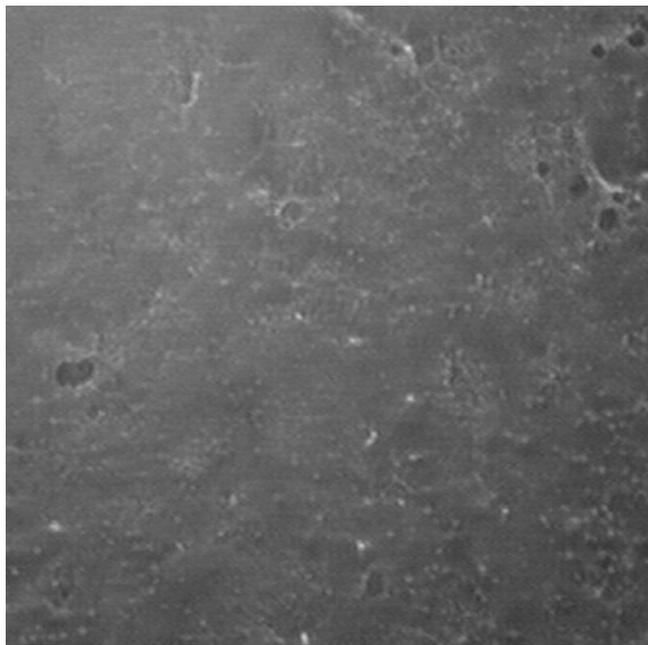
(a) 30 seconds after printing



(b) 60 seconds after printing

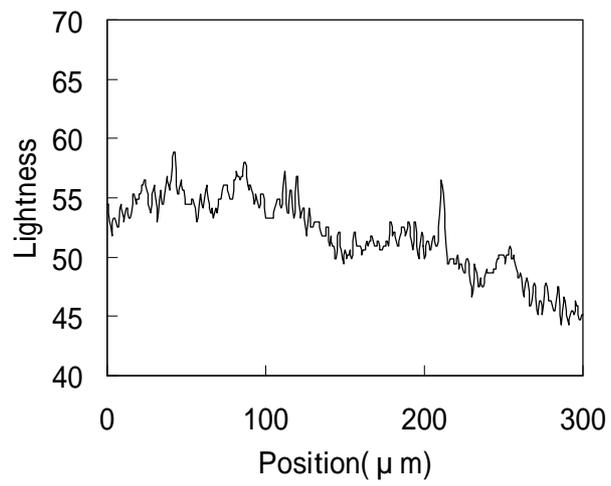


(c) 120 seconds after printing

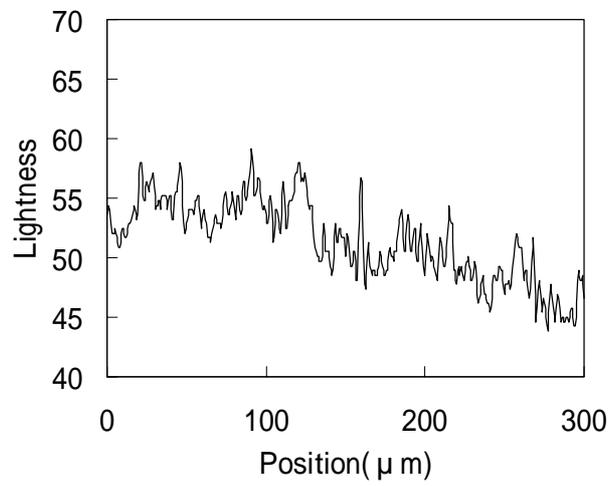


(d) 180 seconds after printing

Fig.3 Dynamic printed surface profiles after printing

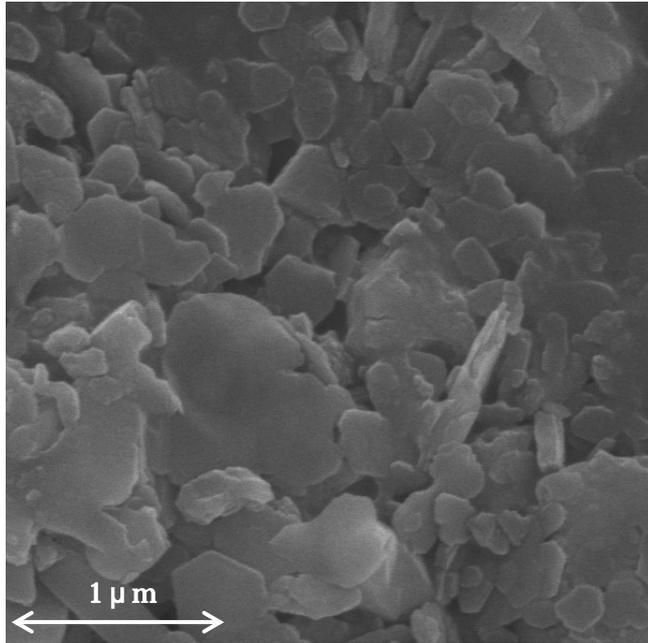


(a) 30 seconds after printing

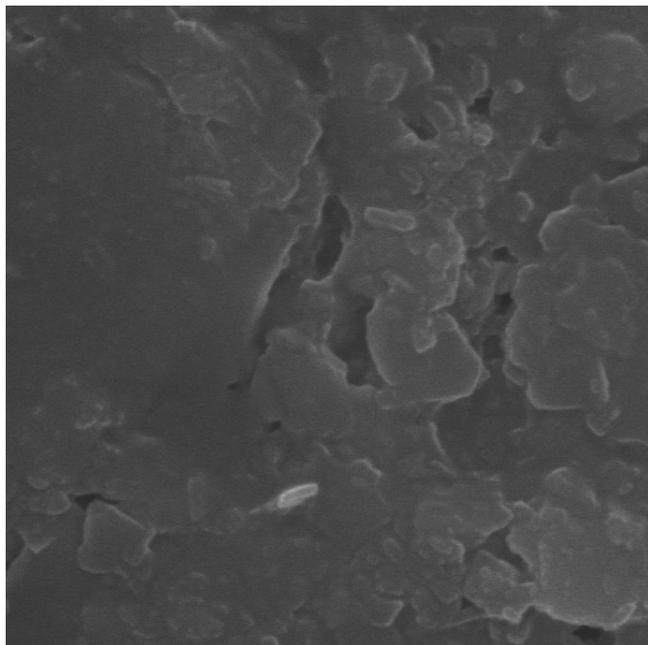


(b) 180 seconds after printing

Fig.4 Distribution of ink density

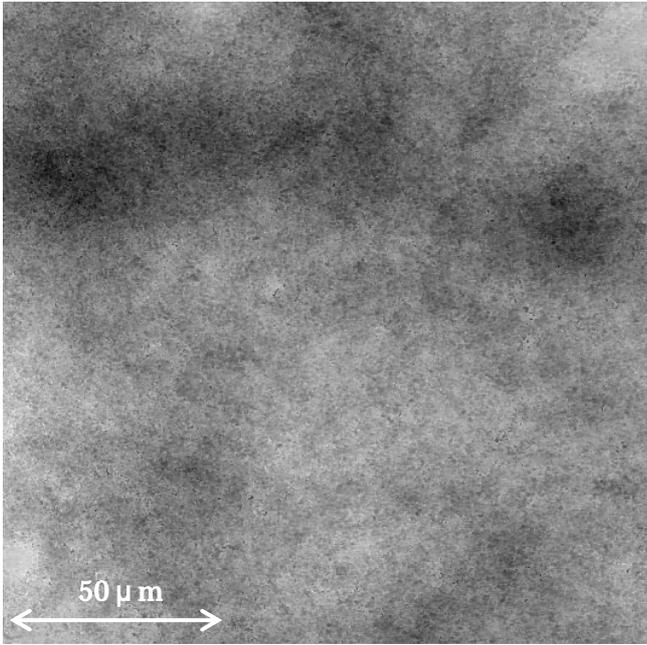


(a) Paper surface

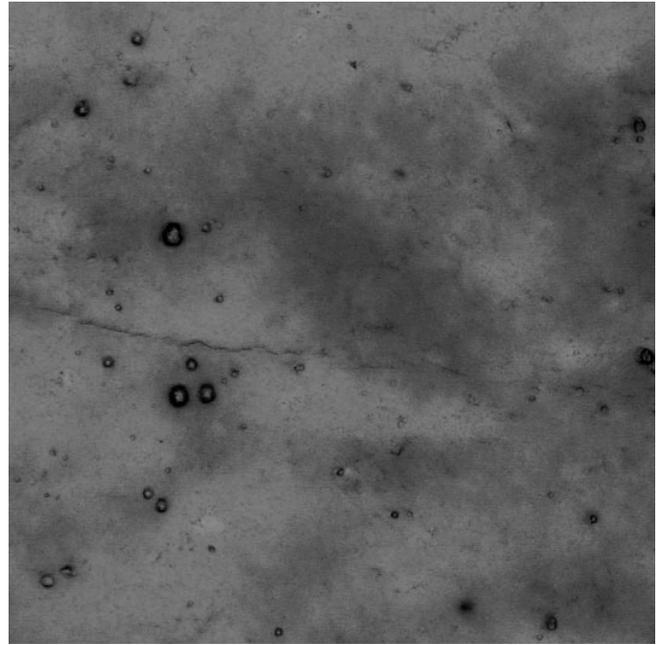


(b) Printed surface

Fig.5 Scanning electron micrograph for paper and printed surface

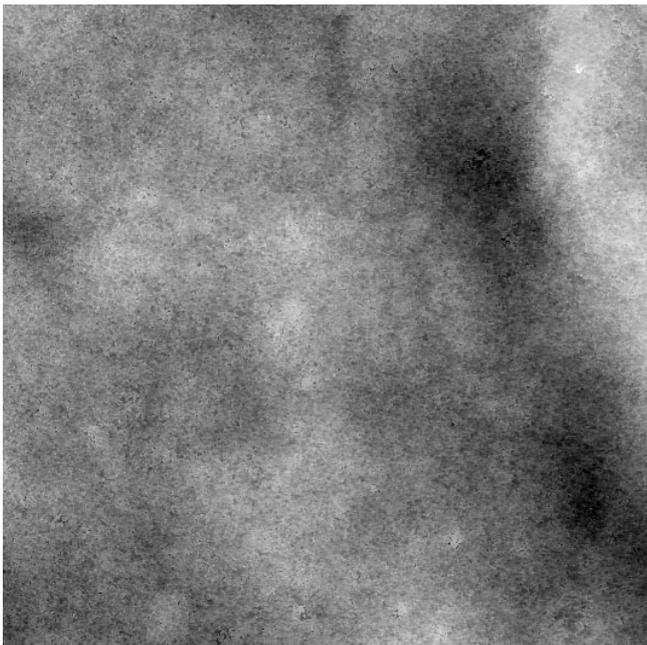


(a) Paper surface

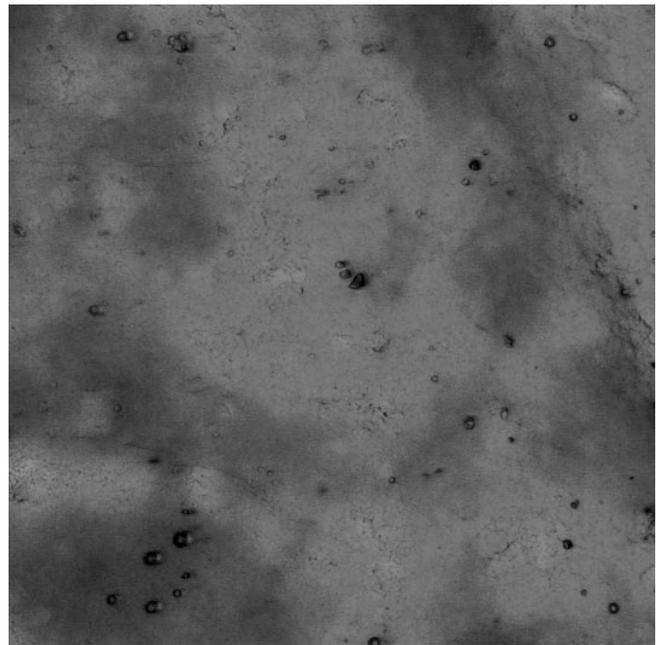


(b) Lightness image

10 seconds after printing

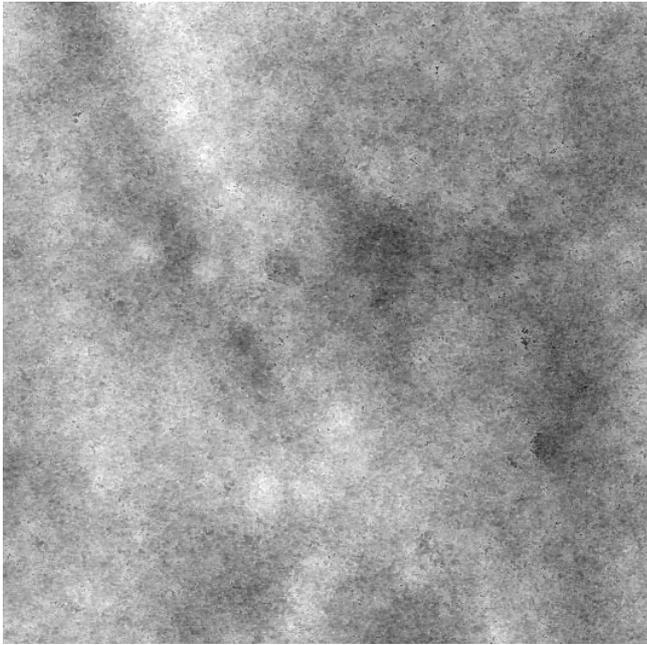


(a) Paper surface

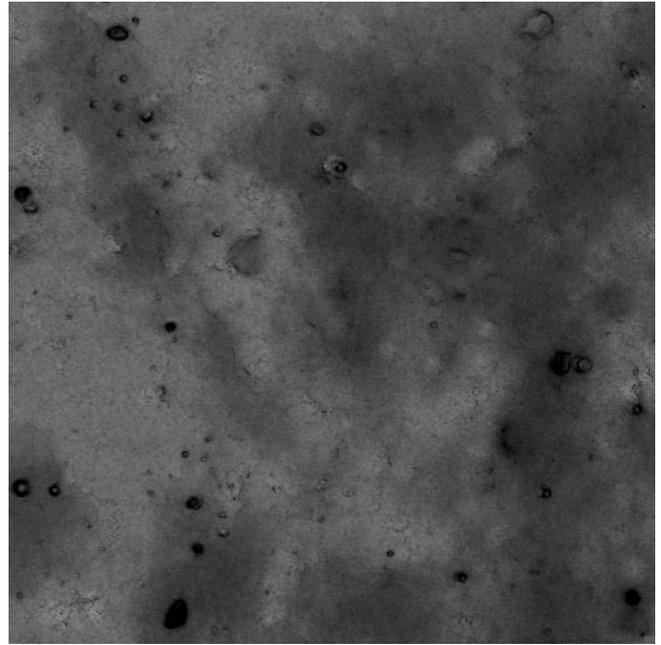


(b) Lightness image

20 seconds after printing

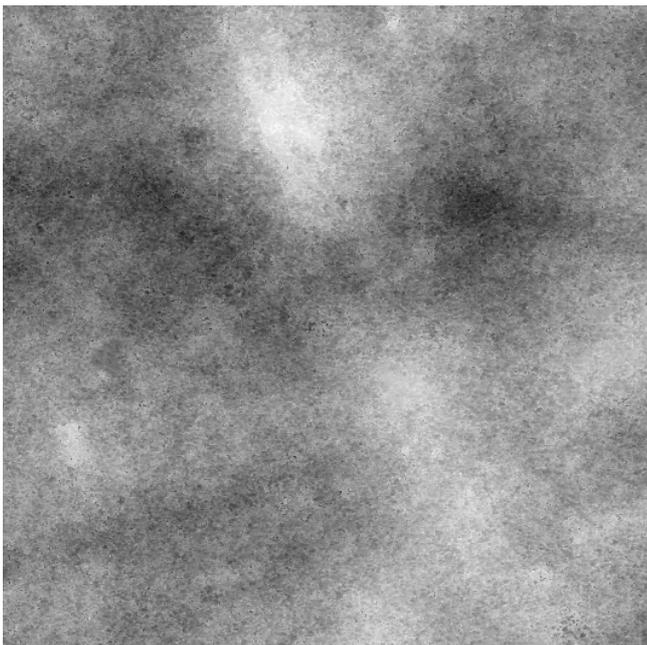


(a) Paper surface

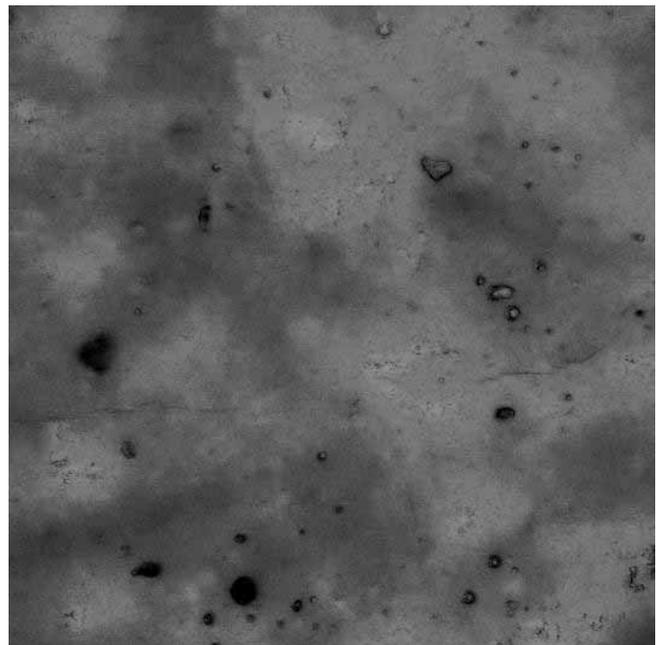


(b) Lightness image

80 seconds after printing



(a) Paper surface



(b) Lightness image

160 seconds after printing

Fig.6 Relation between paper surface and ink density distribution

Paper surface: 10  $\mu$  m in height with 8bit gray levels

Lightness image: range between 0 and 100 with 8bit gray levels

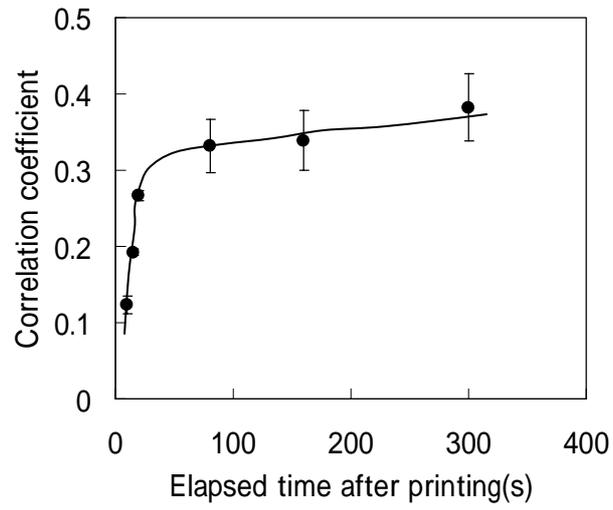
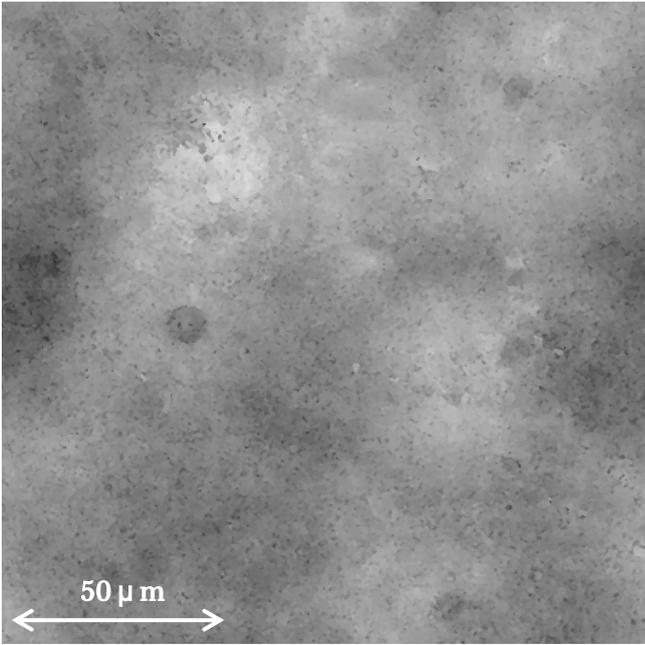
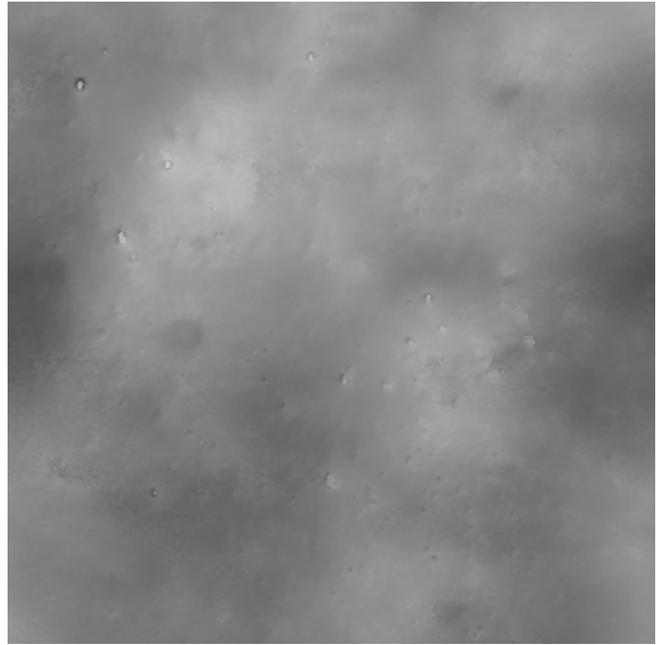


Fig.7 Change in correlation coefficient between images of paper surface profile and ink density distribution

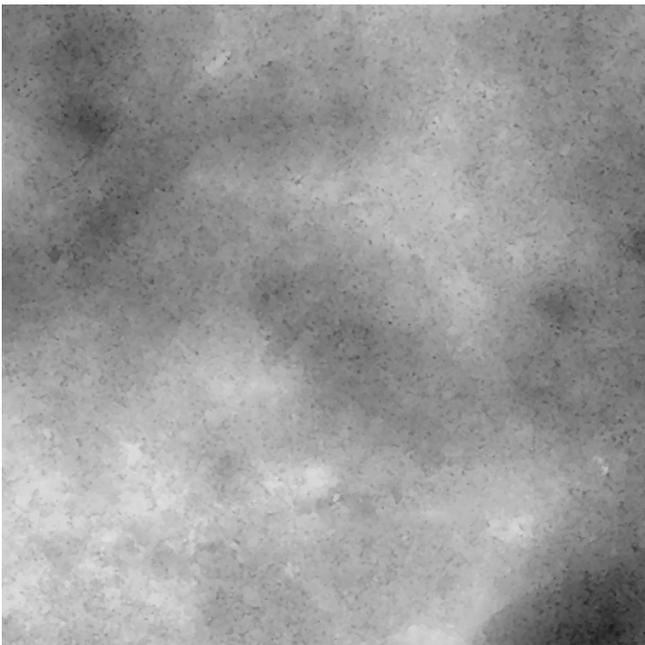


(a) Paper surface

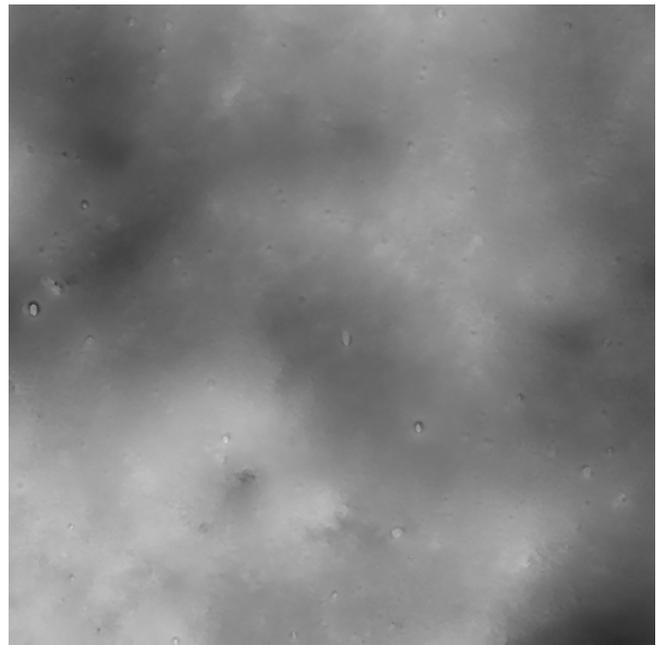


(b) Printed surface at same location

Higher viscosity ink

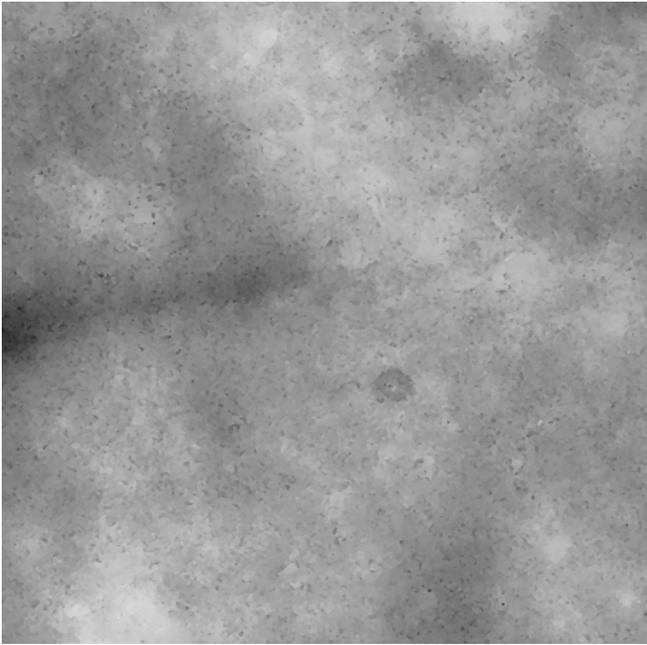


(c) Paper surface

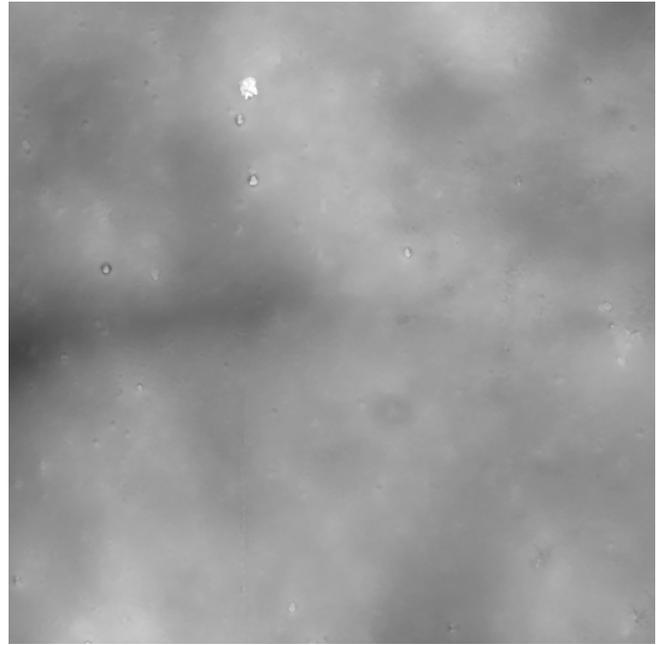


(d) Printed surface at same location

Intermediate viscosity ink



(e) Paper surface



(f) Printed surface at same location

Lower viscosity ink

Fig.8 Printed and paper surface topography  
10  $\mu$  m in height with 8bit gray levels

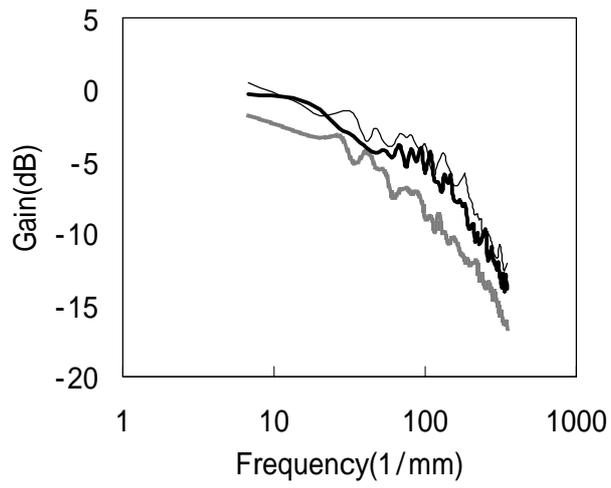


Fig.9 Transfer function



Higher viscosity ink



Intermediate viscosity ink



Lower viscosity ink



(a) Immediately after printing



(b) 20 ~ 30 seconds after printing



(c) after immobilization

Fig.10 Scheme of relation between printed surface topography and paper surface roughness

Table1 Property of inks with different viscosities

	Viscosity of ink (Pa · s)	Amount of transferred ink (g/m <sup>2</sup> )
Higher viscosity ink	85	1.20
Intermediate viscosity ink	65	1.20
Lower viscosity ink	50	1.15