

インクジェット液滴浸透過程の顕微高速撮影と解析

(東大院農生命) ドミトリー・イブーチン、江前敏晴、磯貝明

Microscopic observation with high speed camera and analysis of ink-jet ink penetration process

Dmitry Ivutin, Toshiharu Enomae and Akira Isogai

Graduate School of Agricultural and Life Sciences

Abstract

Presently, ink jet printers and media are rapidly developing. Some of the directions of this development are transition to ink drop volume reduction, porous media introduction, high speed printing etc. Due to these improvements high quality ink jet prints became possible, and photo quality ink jet paper by various manufacturers is widely spread.

In most IJ papers silica is used as coating pigment, which allows to increase the ink absorption rate of the coating layer. But the coating layer structure differs, depending on the silica manufacturing conditions, which leads to considerable difference in printing quality. Purpose of this research is finding out the relationship between absorptivity for high quality ink-jet paper of the various manufacturers and photo quality. Ink-jet head device combined with microscope and high-speed camera was used to print dots on the sample and to record the process of dot setting frame-by-frame at high speed of 500frames per second. The obtained images were processed by image processing software, which allowed comparing such parameters as ink dot roughness and dot area. The same was conducted for the trial calcium carbonate coated papers. Ink penetration time for each sample was calculated by frame counting from the moment of surface contact to the moment of complete ink penetration in the sample. It was determined that dot area for photo quality IJ papers is smaller and levels off sooner than for other samples. Nevertheless, a clear interdependence between dot area and ink penetration time could not be established. The same may be seen for dot roughness index. Three types of trial calcium carbonate coated papers were compared and the results show that using ground calcium carbonate for coating, as well as calendering calcium carbonate coated paper improves the dot area parameter in comparison with non-treated calcium carbonate.

Keywords: *ink jet printing, ink penetration, coating layer, and high-speed camera.*

1. 緒言

現在、インクジェット（以下IJと表記）プリンタとIJメディア（用紙）はめざましく進歩している。IJプリンタの特筆すべき進歩として、インク滴の小液滴化があり、また多孔質IJメディアでは、インク浸透（記録）速度の向上やドットざらつきの改善などが挙げられる。このような進歩によってIJプリントの画質が改善され、様々なメーカーの写真画質IJ用紙が普及してきた。

市販IJ用紙のほとんどは、水性インクの吸収速度を上げるためにシリカを顔料として使用している。しかしシリカの性質およびインク吸収層の構造、製造条件によって印字画質がかなり違ってくる。本研究の目的は様々なメーカーの高品質IJ用紙の吸インク特性と画質の関係を把握すること

である。インク滴をノズルごとに自在に飛ばせる試験用 IJ ヘッドをもちいて印字を行い、高速度カメラによって毎秒 500 フレームの速度でインク滴の着地と浸透の挙動を録画し、画像処理ソフトでその挙動を数値的に解析した。

2 実験

2.1 サンプル

2.1.1 市販インクジェット専用紙

5 種類の IJ 市販紙を用いた。内訳は、写真画質の IJ 専用紙を 3 種 (A、B、C) 及び汎用紙 2 種 (D、E) であった。

2.1.2 炭酸カルシウム顔料試作紙

これとは別に、市販炭酸カルシウム (白石工業製 PZ) を顔料として使用した塗工紙を調製した。塗工カラーの調製は次のように行った。炭酸カルシウム 100 pph (parts per hundred of pigment) に分散剤 0.8pph を添加して、攪はん機 (キーエンス製 ハイブリッドミキサー HM-80) で 5 分分散させ 10 秒間脱泡した。この顔料スラリーにバインダーを 2.5pph、インク定着剤を 20pph 添加し、固形分 40% の塗工カラーを調製した。これをモータードライブのワイヤーバーコーターで ? の原紙に塗工した。乾燥は熱風で 60 秒間行った。この塗工紙を未処理試料 (Untreated) とする。また、この未処理試料にカレンダーかけをおこなった。テストカレンダー (熊谷理機製) を用い、スチールロール温度約 70 度、7 kg/cm² の圧力設定で、通紙を 2 回 (左右を入れ替えて 1 回ずつ) 行った。この試料をカレンダー処理試料 (calendered) とする。さらに、同じ炭酸カルシウムを 40% 濃度のスラリーにして、直径約 10 mm のシリカ製ボールを入れた粉砕機 (フリッチュジャパン製遊星型 ボールミル P-5) を使って湿式粉砕を行った。850rpm の速度で 10 分粉砕 - 10 分静止を 3 回繰り返して合計 1 時間粉砕した。この顔料を使って蒸気と同様に調製した塗工紙を粉砕顔料試料 (ground pigment) とする。

2.2 実験装置

2.2.1 印字装置

コニカミノルタ製の試験用 IJ ヘッド装置 HEK-1 を用いた。本装置は IJ 印刷ヘッド、制御用ブロック、制御用ソフトウェアで構成される。IJ 印刷ヘッドは、256 個×2 列の合計 512 個のノズルをもつ。パソコン上のソフトウェアでインク滴を射出するための電圧データ (ノズル数、ヘッド周波数、射出条件など) を設定し、制御用ブロックを介して IJ 印刷ヘッドに送信する。IJ 印刷ヘッドは指定した画像パターンを印刷する。本研究には IJ 印刷ヘッドから 1 ドットだけを飛ばせるように 1 ピクセルのドットだけからなる画像を用いた。インクは Canon 製 IJ プリンタ用の水性黒インクを使用した。

2.2.2 撮影装置

高速度カメラは REDLAKE MASD, Inc. の Motion Meter1000 を用いた。本研究では 500fps (2ms ごとの記録) でビデオ画像を取り込んだ。IJ 印刷ヘッドから飛ばされたインク滴が紙に着地し、浸透したり、ドットが広がったりする挙動を撮影した。インク定着場所は光学顕微鏡レンズの真下に合わせて紙面に対し約 20 度の高さから冷光で照明し



Photo 1 Ink-jet printing device with high-speed camera and microscope

た。光学顕微鏡に高速度カメラを、ELMO 製アダプタ（10 倍接眼レンズ付）を介して取り付けた。顕微鏡の対物レンズは10 倍レンズを用いた。IJ ヘッドのノズルと試料までの距離は20mm 程度で、ヘッドの角度は45 度にした。写真1はこの装置を撮影したものである。

2.3 解析手順

記録したビデオ画像は、高速度カメラ上でコマ送り再生しながら、アイオーデータ機器製ビデオキャプチャケーブル USB-CAP2 を使って個々のフレームをビットマップファイルとして保存した。それぞれの画像について、画像解析を行った。ソフトウェアは、デジタルビーイングキッズ製 PopImaging (Ver.3.20)を使用した。手順は次のとおりである。まず画像はガウス型フィルタ処理をする。これは高速度カメラの走査線の数が多い画像の縦方向の画素数の半分しかないため生じる縞を消すための処理である。次に移動平均法を利用した決定した動的閾値による二値化をおこなう。その後ドットの周囲にかかっている穴があれば、閉鎖処理を行って穴埋めの作業を行う。最後にパターン領域解析を行ってドットの面積などの各種パラメータを計算させ、そのデータを CSV ファイルとして保存した。パターン領域とは二値化して得られた同一輝度の画素の集合体で、この場合は IJ 印字ドットの各点がこのパターンに相当する。得られた CSV ファイルは Microsoft 製の Excel2000 でデータ処理を行った。画像からこのドットについて計算したパラメータは次のとおりである。

- 面積







- **凹凸度** =外周囲長/包絡周囲長、パターン領域の凹凸度合いを表す。なお、外周囲長とはパターン領域の外周の長さを指し、包絡周囲長とはパターン領域に対する凸包の周囲長つまり、凹みがないように外側を結んだときの周囲長を指す。

これらのパラメータは紙試料 1 種類に五つドット分を解析し平均した。

3. 結果及び考察

3.1 ビデオ画像

図 1 は、写真画質 IJ 用紙 3 種について高速度撮影したビデオ画像である。ドット内の下半分で白く見えるのは照明光の反射である。ドット面積変化の計算ではこの反射部分もドットの一部とみなして計算した。また、ドット内側に同心円状に見えるインク膜が写っており、インクの液滴が浸透によって表面から消失するまである程度の時間を要することがわかる。

時間, ms	写真画質IJ用紙 A	写真画質IJ用紙 B	写真画質IJ用紙 C
4			
8			

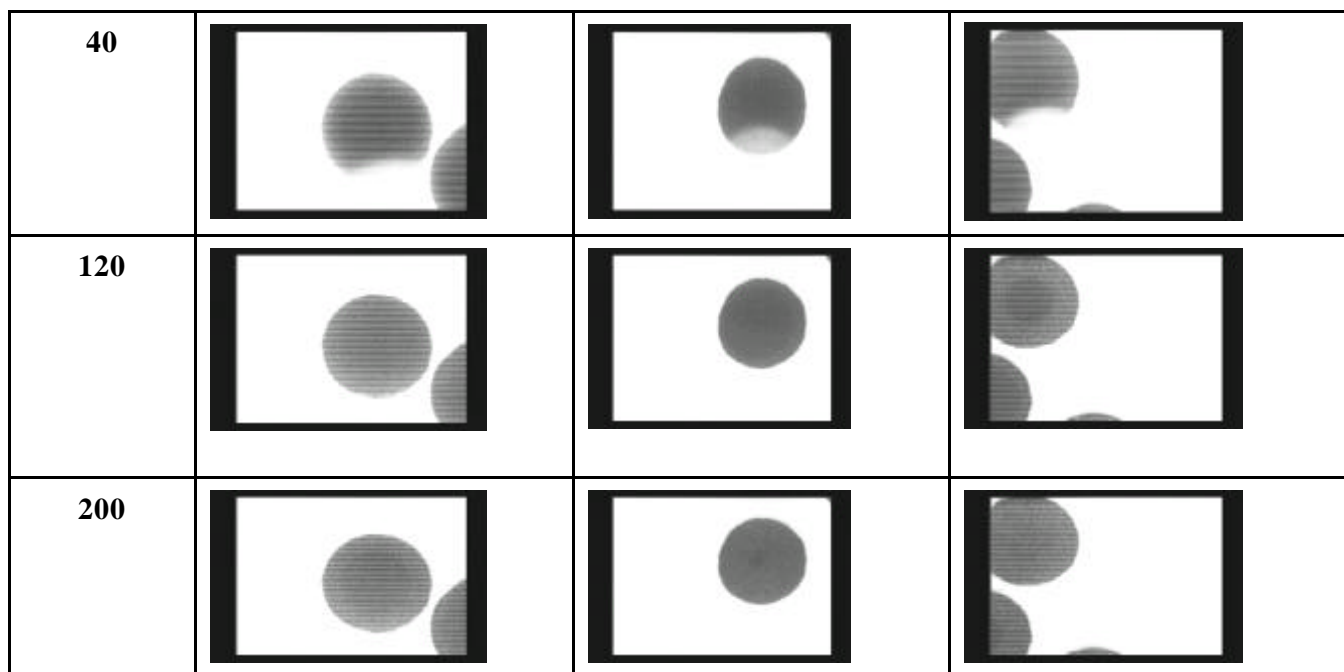


Fig.1 Video images of landing and spread of ink-jet dot.

3.2 市販紙のインク浸透解析

図 2 は様々な II 専用紙上でのドット面積の時間変化を示す。横軸の時間は撮影したフレームが 2 ms ごとであることから計算した。ドットが最初に視野に入る直前の画像を時間 0 とした。2 ms ごとの撮影ではドットが飛翔する状態を撮影することはできず、時間 0 の画像はどれもドットがインク滴球体から計算される径より明らかに大きかった。紙の種類によって II ヘッドの同じノズルから飛ばされたインク滴であっても用紙によって定着の仕方が違うということがわかった。写真画質の II 専用紙 (A、B、C) は汎用紙 (D、E) よりドット面積が小さい。それに写真画質の II 用紙は液滴が定着してからすぐドット面積が一定となる。図 3 には II 市販紙上のドット凹凸度の変化を示す。汎用紙はドットの凹凸度が写真画質 II 専用紙に比べて高く、時間変化も非常に大きい。しかし写真画質

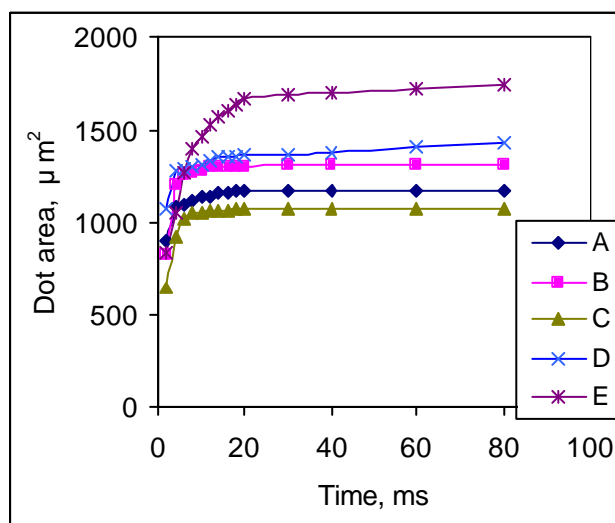


Fig.2 Dot area change with time for II papers

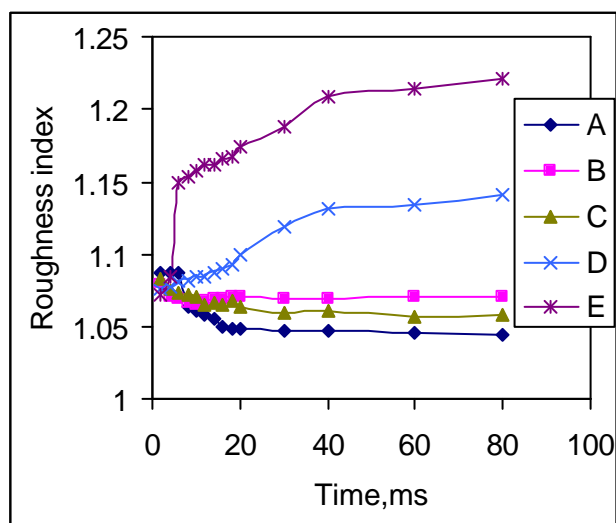


Fig.3 Roughness index change with time for II papers

II 専用紙はドット面積の場合と同じように、凹凸度がすぐ一定となる。

3.2 炭酸カルシウム顔料試作紙のインク浸透解析

図4と図5に、粉砕する前後の炭酸カルシウム顔料の粒子の走査電子顕微鏡写真をそれぞれ示す。粉砕前の市販品は $2\sim 3\mu\text{m}$ の粒子径を持つが、結晶の形状が斜方晶形、紡錘形、針状のいずれでもなく、凝集体である。1次粒子は公称 $0.15\mu\text{m}$ である。粉砕後の粒子径は $0.2\sim 2\mu\text{m}$ 程度になっており、大部分が小さい粒子になっているものの、やや大きい凝集体もある。大きい凝集体は粉砕前の粒子と比べて凹凸の激しい不揃いな粒子で、粉砕中にいったんばらばらになった粒子が再度強く凝集していると考えられる。試料の批評面積は 24m/g^2 であった。試作紙の塗工量は3種類とも約 25g/m^2 であった。

図6は炭酸カルシウム顔料試作紙についてドット面積の時間変化を示したものである。未処理試料の変化をシリカ顔料塗工の市販紙の変化と比較すると、汎用紙と同程度の変化速度を示した。約40ms経過時に達する一定値は、約 $1800\mu\text{m}^2$ で、汎用紙が $1400\mu\text{m}^2$ (D) 及び

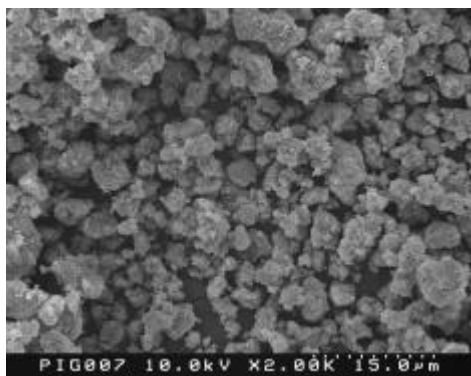


Fig.4 Scanning electron micrograph of commercial calcium carbonate

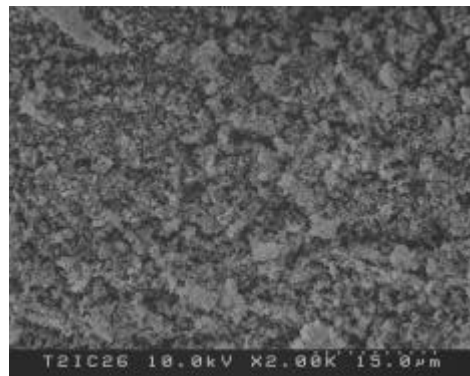


Fig.5 Scanning electron micrograph of ground calcium carbonate

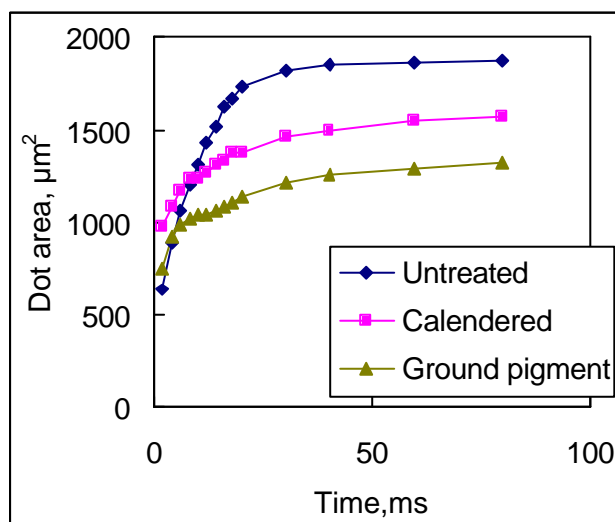


Fig.6 Dot area change with time for trial calcium carbonate-coated papers

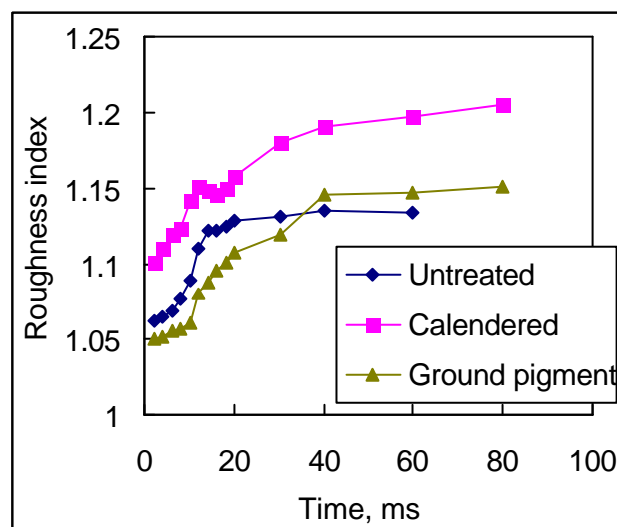


Fig.7 Roughness index change with time for calcium carbonate-coated papers

$1700\mu\text{m}^2$ (E) 程度であるのと比較するとやや大きいということになる。カレンダー処理試料の場合は、最終的なドット面積が小さくなると判断できるが、シリカ塗工市販紙に比べると大きく、また変化が長く続く傾向にあった。粉砕顔料試料では変化速度はカレンダー処理試料と同程度であるが、最終的なドット面積はさらに小さくなった。変化が長く続くのが炭酸カルシウム顔料の特徴であると解釈でき、これは顔料表面の濡れ速度が遅いことと関係すると思われる。

図7は炭酸カルシウム用紙の凹凸度の時間変化を示すが、ドット面積と同じように80ms経過した時点でも一定値にならず変化し続けていた。ドット面積の変化速度が最も大きく、最も大きい値で一定とな

った未処理試料は、凹凸度の変化が最も早く一定値を取り、一定となるときの値も小さかった。未処理試料の塗工層は 3 種類の試作紙の中では最もポーラスであり吸インク速度が最大であると考えられる。

表 1 インク吸収時間

試料	時間, ms
写真画質 II 用紙 A	280
写真画質 II 用紙 B	230
写真画質 II 用紙 C	180

表面のインクの液滴が浸透して消失するまで時間は、II 用紙の種類によって異なっていた。表 1 は、写真画質 II 用紙 3 種について、消失までの時間をフレーム数から計算したインク吸収時間を表す。ドット面積の最も小さかった II 用紙 C が最も速くインクを吸収したが、2 番目に速い II 用紙 B は最もドット面積が大きく、凹凸度も大きくドット形成の結果では画質が最も劣ると判断されるが、必ずしもそれが吸収速度の遅さとは対応していないことがわかった。

4. 結論

実験の結果を解析して次のことが分かった。IJ 用紙の種類によってインク液滴の定着の仕方が違う。写真画質の IJ 専用紙は汎用紙よりドット面積が小さい。汎用紙はドットの凹凸度が写真画質 IJ 専用紙に比べて高い。写真画質の IJ 用紙は液滴が定着してからすぐドット面積が一定となる。ドット面積の場合と同じように、凹凸度がすぐ一定となる。表面のインクの液滴が浸透して消失するまで時間は、IJ 用紙の種類によって異なる。ドット面積の最も小さかった IJ 用紙 C が最も速くインクを吸収したが、2 番目に速い IJ 用紙 B は最もドット面積が大きく、凹凸度も大きくドット形成の結果では画質が最も劣ると判断されるが、必ずしもそれが吸収速度の遅さとは対応していないことがわかった。

炭酸カルシウム用紙の場合は粉碎とカレンダーリング加工によってドットの面積と凹凸度が下がり画質がよくなった。大きい凝集体は粉碎前の粒子と比べて凹凸の激しい不揃いな粒子で、粉碎中にいったんばらばらになった粒子が再度強く凝集していると考えられる。浸透が長く続くのが炭酸カルシウム顔料の特徴であると解釈でき、これは顔料表面の濡れ速度が遅いことと関係すると考えられる。未処理試料のドット面積変化をシリカ顔料塗工の市販紙の変化と比較すると、汎用紙と同程度の変化速度を示した。ドット面積の変化速度が最も大きく、最も大きい値で一定となった未処理試料は、凹凸度の変化が最も早く一定値を取り、一定となるときの値も小さかった。未処理試料の塗工層は 3 種類の試作紙の中では最もポーラスであり吸インク速度が最大であると考えられる。

謝辞

試験用 II ヘッドを貸与していただいたコニカミノルタテクノロジーセンターの松本和正氏及び中西研三氏、II 紙を提供していただいた中川製作所の藤巻文宏氏に感謝します。

引用文献

1 . P.D.Fleming, J.E.Cawthorne, F.Mehta, S.Halwawala, and M.K.Joyce, Interpretation of Dot Area and Dot Shape based on Image Analysis, *Proceedings of IS&T'NIP18:International Conference on Digital Printing Technologies*, IS&T, Springfield, VA, 2002

2.H.Lee, M.Joyce, P.D.Fleming, and J.Cameron, *Production of a single Coated Glossy Ink Jet Paper Using Conventional Coating and calendaring Methods*, *Proceedings of The TAPPI Coating Conference*, TAPPI Press. Atlanta, GA, 2002

3.Jaco Bear, *Dynamics of Fluids In Porous Media*, Dover Publications, Inc., New York, NY, 1972,p166

4.John.F.Oliver, and R.C.Forsyth, *A Dynamic Liquid Sorption Apparatus for Studying Interactions of Microscopic Drops In situ on Porous Substrates*, *Colloids and Surfaces*,43(1989) 295-305, Elsevier Science Publishers B.V.,Amsterdam