

(5) 高速・高画質を実現する新規水性インクジェット記録材料システム

橋本 健

富士ゼロックス（株）研究本部 ニューマーキングシステム研究所・グループ長

1. 緒言

インクジェット（以下 IJ と略記）は小型かつ安価なダイレクトマーキング技術として約 20 年前から普及が加速され、パーソナル市場では PC プリンターやフォトプリンターとして大成功を収めた。又、CAD やグラフィック用大判プリンターとしてもメジャーな地位を占め、産業用プリンター市場への展開も周知である。更に、この数年活発化しつつある紙幅ラインヘッドを用いた高速プリンターの出現は、レーザー方式（電子写真）を脅かす「破壊的技術の萌芽」¹⁾ と言われるまでになった。しかしながら、電子写真が支配的なオフィス市場では、依然として IJ の影は薄い。その理由の一つは、低粘度インクを用いる IJ は普通紙に高速で高画質画像を形成することが苦手、だからである。

本稿ではオフィス市場への展開を視野に入れ、水性フルカラー顔料インクと顔料凝集作用を有する処理液を組合せ、両者の反応を利用することで、普通紙に対する高画質と高速印字を実現する新しい水性 IJ 記録技術“DCLS”（Double Component Liquid System）の概要を紹介する。図 1 に紙幅ラインヘッドを 5 本並べた構成例で DCLS の高速出力システム概念図を示した²⁾。

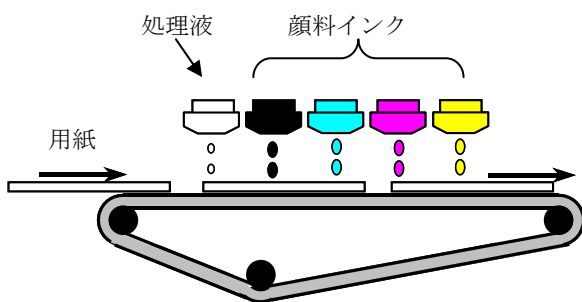


図 1 FX/DCLS 高速出力システム概念図

2. 水性 IJ インクと普通紙画質

パーソナル用 IJ プリンターは、長さ 1 インチ前後の記録ヘッドを繰り返し走査することで印字を行う。そ

して IJ 専用紙に数 pl の微小インク滴を多パスで印字し、更に画像処理のアシストも付加し、銀塩写真に匹敵する高画質出力を達成した。しかし被記録媒体が普通紙となると、画質制御は難化する。この典型的例は、Fast Dry (FD と略記) 型インクと Slow Dry (SD と略記) 型インクのジレンマとして知られている。表面張力の低い FD 型インクは用紙に素早く浸透するが、低 OD・低発色で画像も太る（単色滲み）。一方、表面張力の高い SD 型インクは用紙への浸透は遅いが、高 OD で単色滲みの少ない画像となる（後出の図 2 参照）。印字濃度（OD）、画像滲み（単色 Feathering や色間 ICB）と高速適性（高速インク・ドライグ）の相反挙動及び用紙に依存した変化が水性インク普通紙画質の基本問題であり、水に起因する用紙の変形（カール/カックル）と共に電子写真に対する弱点と言って良い。インク色材として染料を採用する場合は、画像の耐水・耐光性も問題として付加される。逆に、水性 IJ の画質上の長所は、平坦画像（用紙と一体化した画像表面）と省エネルギー定着（自然乾燥）と言えるが、後者つまり水の乾燥は高速化時、新たな問題として浮上するだろう。

3. 水性顔料インク/DCLS 技術コンセプト

上述の水性 IJ 弱点改善に向け、①インク滴微小化、②インク物性制御、③インク反応、④ヒーター加熱、等が従来から代表的手段として検討されてきた。①は近年、インク滴が 1pl（直径≒13 μm）前後に微小化されたため、②と組合せて多パス・低速印字ではかなり普通紙画質改善が可能になりつつある。但し①、②は、高速信頼性や用紙依存性に難がある。③は IJ 専用紙技術と同根の手法であり、過去、染料インクの画質・耐水性改善³⁾ や SD 型黒顔料インクの画質向上とドライグ時間の若干の短縮に利用されている⁴⁾。④は有効な手段だが、エネルギー消費多が欠点である。

我々は、環境に優しい水性 IJ の長所を維持して高速・高画質の両立を達成すべく、「ヒーター無しで高速（100ppm）とレーザー同等画質（OD \geq 1.3、滲み無し）の両立」を技術目標として、手段③を主体に検討し、新規 DCLS 技術を考案した⁵⁾。オフィス使用想定から色材は全色顔料とした。DCLS は図 2 に示したように (a) 水性 FD 型顔料インクと (b) 無色 FD 型処理液から構成される「マーキング材料システム」であり、両者の接触・混合による顔料凝集と固液分離促進がマクロな機能発現メカニズムである²⁾。図 3 は DCLS の顔料画像形成過程と画像構造概念図を従来の水性 FD 型及び SD 型顔料インクと対比して示した²⁾。図 3 から分かる様に、インクと処理液を紙上で接触・混合し、瞬間的に顔料を凝集させ、着弾位置近傍に顔料を選択的に留める事で高画質（高 OD と滲み無し）実現を狙った。同時に、分離された低表面張力の FD 型ビヒクル液体を用紙に高速浸透させる事で高速印字適性の達成を意図した。

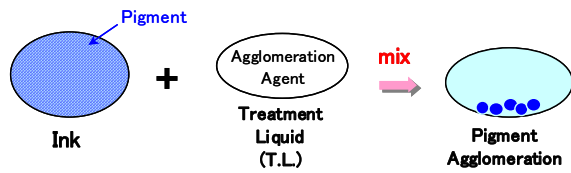


図 2 DCLS 技術の基本コンセプト

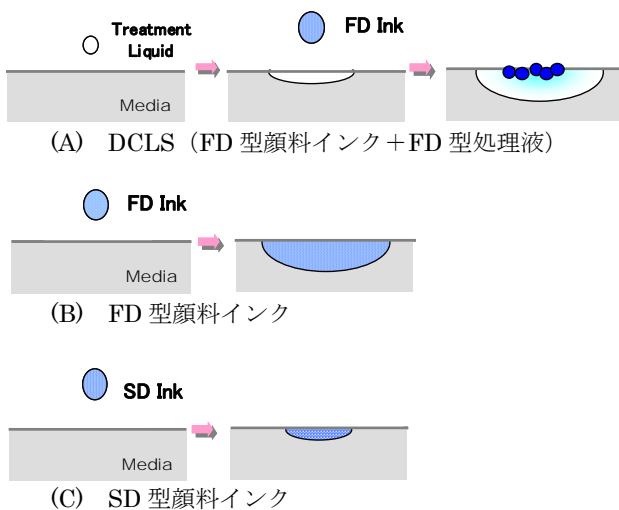


図 3 DCLS 技術と従来型インクとの画像構造概念図
(A) DCLS、(B) FD 型インク、(C) SD 型インク

4. DCLS コンセプトの原理検証と効果確認

DCLS コンセプトが狙い通りに機能するか否かを、モデル材料セットの印字評価で確認した。モデルインクは顔料をイオン交換水/多価アルコール/界面活性剤を含むビヒクル液体に分散し調製、モデル処理液は顔料凝集剤を同様のビヒクルに溶解し調製した。印字は原理検証用の印字実験ベンチを用いて富士ゼロックス普通紙に一括印字（1 パス）した。印字ヘッドや印字ベンチは実験目的に応じて使い分けたが、出力は主に 600、800、1200dpi で実験した。代表的印字サンプルを比較サンプルと共に図 4 に示した²⁾。



(a) DCLS 材料セット



(b) FD 型インク



(c) SD 型インク

図 4 DCLS 技術と従来型インクの出力画質比較

DCLS 技術で出力したサンプル(a)は、期待通りに高 OD かつ実質的に画像滲み（単色 Feathering, 色間 ICB）の無い画質と言って良い。では、この様な普通紙高画質はどの程度、高速適性と両立するのか。印字ベンチで

例えば、処理液印字⇒インク印字の順に印字する場合、処理液の印字量（印字面積率）増加と共にインク画像のODは上昇し画像滲みは低減される。この時インクのドラインク時間も処理液の印字量増と共にやや長くなるが、0.5s前後の高速ドラインク性は十分維持可能なことが分かった。処理液の組成・物性にも依存するが、処理液の用紙に対する塗布もしくは印字量（面積率）は100%ベタ状に供給する必要はなく、20~30%前後の面積率で1次色だけでなく2次色画像に対しても十分顕著な効果が得られた。代表的DCLSモデル材料の黒画像ODとドラインク時間を、従来のFD型及びSD型インクと対比して図5にまとめた²⁾。この結果からヒーター加熱等の補助手段を設けなくても、OD \geq 1.3かつ低滲みの高画質が100ppm(A4換算)以上の高速出力でも実現可能なことが確認できた。

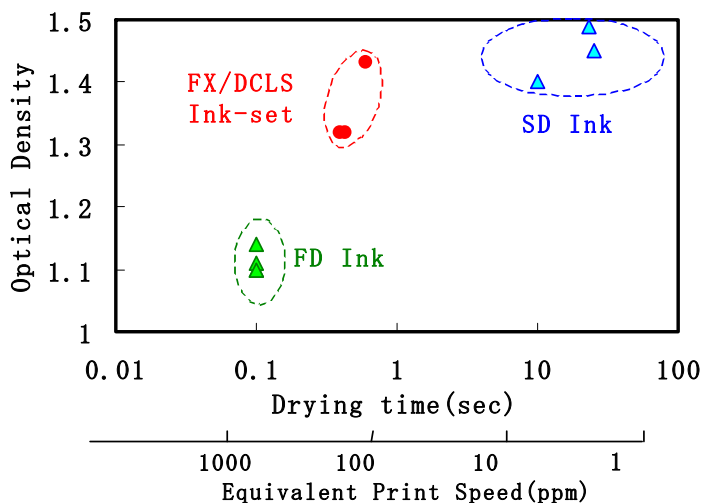
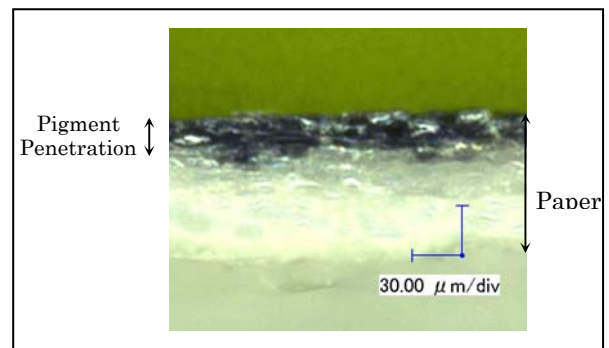


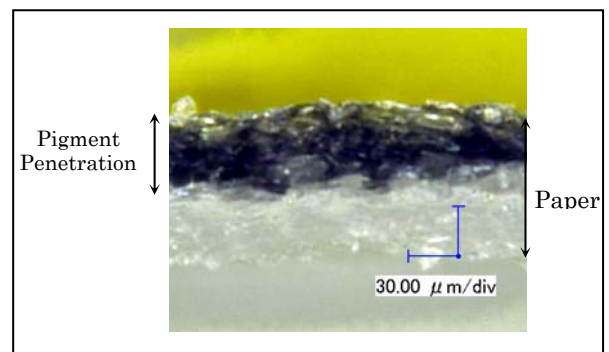
図5 黒顔料インクの画像濃度とドラインク時間：DCLS技術とFD型及びSD型インクの特長比較

ここでドラインク時間は、100%ベタ・インク画像の用紙への浸透状態をCCDカメラで観察し、浸透終点の時間を計測している。又、本稿での印字速度はA4用紙に100%全ベタを長尺/紙幅ヘッドで1パス出力する時間で議論している。通常の短尺ヘッド走査型IJ商品では印字速度は分割数等の印字モードに依存し、一般的に画質と印字速度はトレードオフ関係となる。そのため実力印字速度が分かり難いが、本稿の印字速度は上述の定義のため、電子写真プリンターとほぼ同一基準で比較可能である。

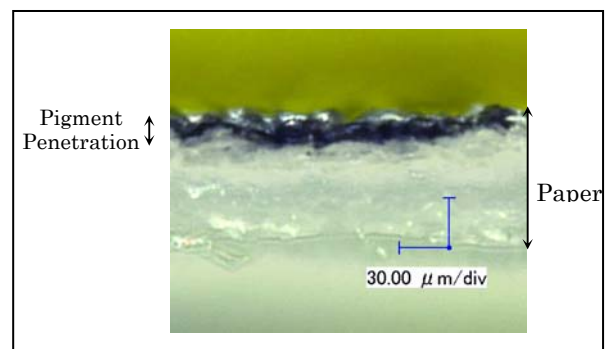
次いで用紙深さ方向の顔料画像構造を確認しておく。印字した普通紙断面を観察し、顔料の浸透深さを水性FD型顔料インク/DCLS技術と従来の水性FD型及びSD型顔料インクとで比較した結果が図6である²⁾。処理液無しでのFD型顔料インクでは顔料浸透深さは用紙厚の約50%（約45 μ m）に達している。それに対して処理液を用いたDCLSの浸透深さは用紙厚の約28%（約25 μ m）とほぼ半減し、SD型インクに近づいていることが確認できた。処理液によって凝集した顔料が用紙表面近傍にトラップされ、高ODと滲みを低減する基本コンセプト（図2、図3）と対応した結果である。



(A) DCLS（水性FD型顔料インク+処理液）



(B) 水性FD型顔料インク



(C) 水性SD型顔料インク

図6 IJ印字した普通紙の顔料画像部断面観察

なお、図 5、6 では水性顔料インク技術のみを比較したが、油性顔料インクを使用した場合も概ね水性 FD 型顔料インクと類似の挙動となる。但し、不揮発性かつ非硬化型の油性顔料インクは、水性インクの様な水分蒸発による定着メカニズムが期待出来ないため、一般的には水性 FD 型顔料インクよりも低 OD で画像滲みや画像裏抜けが目立ちやすい傾向となる。

以上、DCLS 技術の普通紙高画質と高速適性の両立に関して技術コンセプトの妥当性検証と基本効果の確認に関して概要を述べた。詳細は略すが、我々は紙幅ラインヘッドを 5 本搭載したシステムベンチで DCLS 技術の総合評価(多種用紙、夏/冬環境、等)を実施し、信頼性も含めて大きな問題、二次障害は見出されなかった事を付記する。図 7 にシステムベンチに搭載した紙幅ラインヘッド(12.8 インチ、7680 ノズル)を、図 8 に該ヘッドを 5 本(DCLS 処理液+4 色顔料インク)搭載したシステムベンチの写真を示した⁶⁾。

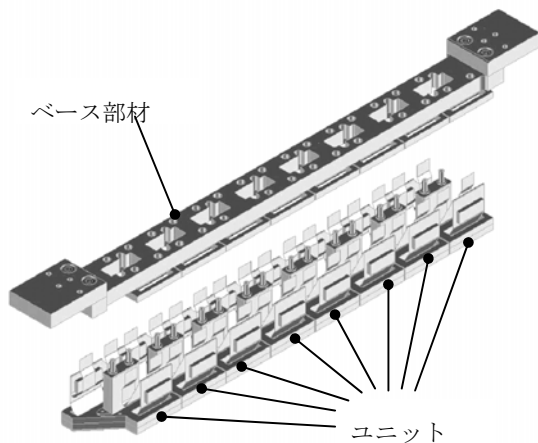


図 7 FX 試作紙幅ラインヘッド (600nz./inch)

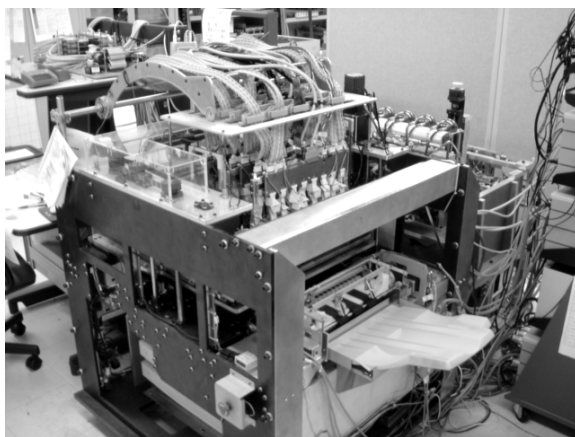


図 8 FX 印字システムベンチ

5. DCLS の材料設計とメカニズム解析

DCLS 技術のキー材料である処理液中の凝集剤効果について簡単に述べる。我々は、インク用顔料として表面にカルボン酸等のアニオン性官能基を有する顔料を 1 次モデルとして選択した。そこで処理液中の顔料凝集剤としては、多価金属カチオンや有機アミン類、酸類、高濃度電解質、等の効果を検討した。予備実験の結果、画質改善効果と高速ドライイングのバランスが良好であり、かつ分子設計自由度の高い有機酸を 1 次モデルとして選んだ。有機酸の顔料凝集メカニズムは「インク顔料表面のカルボン酸がアルカリ環境では可溶性基として顔料分散を安定化するが、酸性環境では不溶化し、顔料凝集を促進 (pH 依存)」と解釈出来る。図 9 に 2 種の有機酸系処理液の比較結果を示した⁷⁾。ここから処理液量はインクの 20~30% で十分な効果が得られる事と、有機酸の分子構造の違いで DCLS 効果(OD 上昇)が変化する状況が分かる。

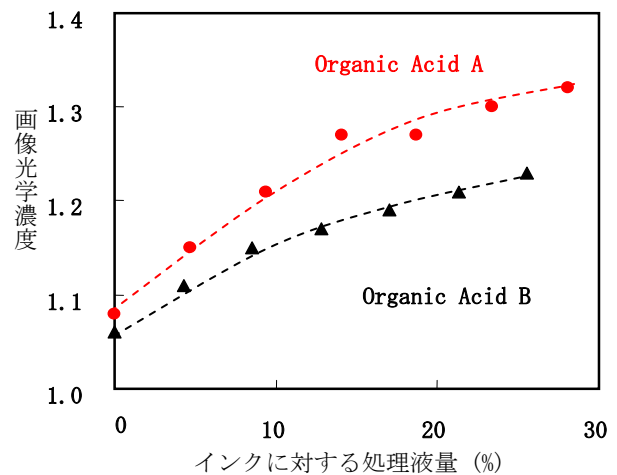


図 9 処理液濃度と構造の DCLS 効果への影響

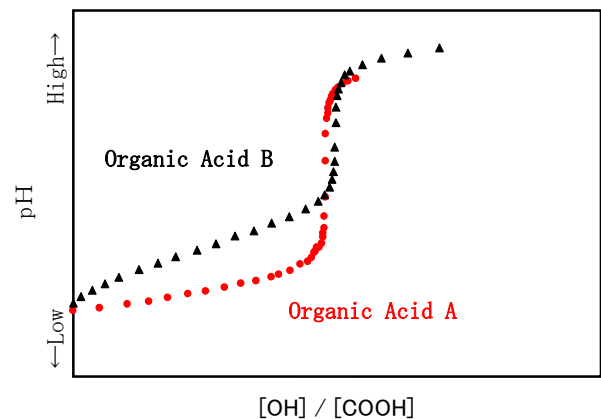


図 10 有機酸の滴定挙動

有機酸 A, B の差は、前述の顔料凝集の pH 依存メカニズムから、有機酸の酸解離定数や中和度、溶解性や処理液中の有機酸濃度、等が顔料凝集に影響する、と言って良いだろう。図 10 には有機酸 A, B の中和滴定挙動を示したが、図 9 の結果と対応している⁷⁾。

又、図 11 にはインク/処理液混合液体の粘度が処理液中の有機酸濃度でどう変化するかを示した⁷⁾。混合液体粘度の処理液(有機酸)中のカルボン酸濃度依存、有機酸 A, B の挙動差共に図 9 の DCLS 効果 (OD 上昇) と類似しており、混合液体粘度が DCLS 効果の代用指標と成り得る事を示唆する。なお、インク中で 100nm 前後の顔料粒度が混合液体中では μm オーダーに変化している事も別途確認されている。

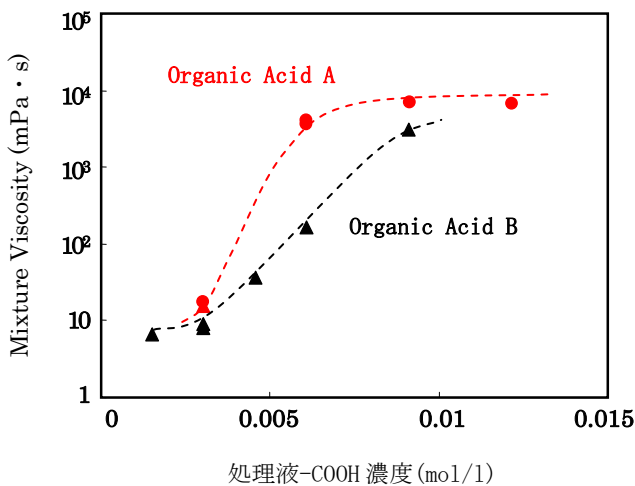


図 11 処理液/インク混合物粘度の処理液中のカルボン酸濃度依存性

インクの顔料としてポリマー分散剤(含むカルボン酸)を使用した樹脂分散顔料とポリマーを含まない自己分散顔料(含むカルボン酸)とを比較すると、自己分散顔料では DCLS 効果が発現され難いことが、確認された²⁾。ここから DCLS 効果の発現には、酸・塩基、イオン相互作用と共にポリマーの影響もある事が分かる。

6. 結言

新規 IJ 記録技術 DCLS による普通紙高画質と高速印字の両立状況と DCLS 材料システムの概要をまとめた。

本稿で議論した画質と速度の両立以外にも、用紙変形(カール/カクル)、顔料画像の定着強度、等が IJ

の弱点だと指摘されるが、どれも技術的には解決可能であろう。ただ現時点では、妥当なコストですべての解決策を一度に盛り込むことは困難である。我々は電子写真と同じ価値を狙うのではなく IJ の特徴を活かした新たな価値の創出を指向した。「最も環境に優しい高速・高画質・高定着カラー技術」と言ったコンセプトに基づき、こんな解はどうだろうか(特に印字速度 10-100ppm 域)、と言う提案が DCLS 技術である。

最後に、本技術の学会発表後、各方面から寄せられた代表的な質問と回答を以下に要約した：

- ①DCLS はコスト増になるのでは?⇒ 処理液供給手段(印字ヘッドや塗布ロール)は確かにハード・コスト増となりますが、同時にプレミアム感の訴求手段でもあります。そして発色効率が向上するため、インク打込み量やラン・コストは低減設計が可能です。
- ②処理液の有機酸は酸性紙問題を誘発しないのか?⇒ サンプル有機酸を塗布した用紙を加速テストを含めて評価した結果、問題無いと判断しています。
- ③OD \geq 1.5 は達成困難か?⇒ 達成可能です。但し、高 OD 化と共に定着が甘くなりやすいため、現時点では 1.3-1.5 を推奨したい、と思っています。
- ④ピエゾ(PIJ)とサーマル(TIJ)の両 IJ で使えるか?⇒ PIJ, TIJ 共に評価しています。両方とも適用可能です。但し両者で材料設計空間は異なります。

参考文献

- 1) 大槻、内田、Nikkei Electronics 2007. 9. 10. p. 58 (2007)
- 2) 土井、山下、沼田、橋本、Imaging Conf. Japan 2007 論文集、p. 133 (2007)
- 3) 倉林、Japan Hardcopy 1997 論文集、p. 141 (1997)
- 4) 例えば USP5, 428, 383 (HP 社)
- 5) 例えば USP6, 261, 353 (富士ゼロックス)
- 6) 瀬戸、梅原、片岡、奥田、Imaging Conf. Japan 2007 論文集、p. 125 (2007)
- 7) T. Doi, K. Yamashita, M. Numata, K. Hashimoto, Proc. IS&T/NIP23 p. 95 (2007)

禁無断転載

2007 年度

ビジネス機器関連技術調査報告書(“Ⅲ—3”部)

発行 社団法人 ビジネス機械・情報システム産業協会
技術委員会 技術調査小委員会

〒105-0003 東京都港区西新橋 3-25-33

NP 御成門ビル 4F

電話 03-5472-1101

FAX 03-5472-2511