

高速高画質化へのIJ インクとシステムの開発

飯島裕隆*

印刷の起源は7世紀に行われた木版印刷とされ、15世紀にグーテンベルグが活版印刷を発明以降、商業的な広がりを見せ、現在では商業用途、産業用途に留まらず、オフィスでの文書出力、一般家庭での写真や年賀状出力など幅広い用途で印刷が行われている。印刷の方式にはオフセット印刷、グラビア印刷、乾式電子写真印刷、液体電子写真印刷、昇華転写印刷、インクジェット印刷など多様な方式があるが、それぞれの印刷方式の特徴を活かして使い分けされている。

各種印刷方式の中でもインクジェットの記録原理は非常にシンプルであり、インクジェットヘッドからインク液滴を飛翔させることにより、非接触で記録媒体上にインクを付着させ、乾燥などにより定着させる。記録媒体上に定着されたインクは点（ドット）として表現され、19世紀のフランスの画家スーラの点描画のように点画像を形成することで、グラフィックや文字の表現を可能としている。

このようにインクジェット印刷は、①記録原理が単純であり印刷機の構成がシンプルであること、②インクジェットヘッドから飛翔可能な液体であれば印刷が可能なこと、③記録媒体に対して非接触で印刷され使用できる記録媒体の種類が多い、

* IJIMA Hirotaka
コニカミノルタ株式会社
化成事業部 IJ 画像技術開発
センター IJ インク開発部 部長
〒191-8511
東京都日野市さくら町 1
hirotaka.ijima@konicaminolta.com



という他の印刷方式にはない特徴から、広い用途で使用されているユニークな印刷方式である。

インクジェットインク

インクジェットシステムで大事な機能部品であるヘッドは小さな水鉄砲に例えることができ、インクジェットインクは水鉄砲から噴射される液体である（図1）。この水鉄砲は高速連射が可能であり、1滴あたり数〜数十ピコリットル（ピコは1兆分の1、 10^{-12} を示す）の液滴を1秒間に数万回噴射する性能を持っている。しかしながら、インクジェットヘッドがこの性能を発揮するためには、液体物性（粘性、表面張力）が厳しく制御されたインクが必要である。通常用いられるインクジェットヘッド用のインクとしては、粘性は、水の数倍〜10倍程度（数 mPa 秒〜10 mPa 秒）、表面張力は 25〜40 mN/m の液体物性が求められる。

オープンシステム、クローズドシステム

前述の各種印刷システムはオープンシステム、クローズドシステムに分類することができる。ここで、オープンシステムとは、印刷機のような機器とインキのような記録材料が別々の会社から提

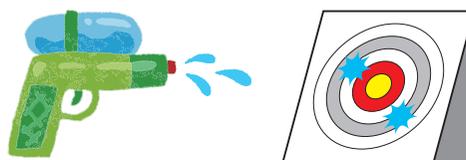


図1 インクジェットヘッドは水鉄砲

供され、機器を所有するユーザーが記録材料を自由に選択できるシステムと定義する。例えば、オフセット印刷機などはこの典型的な例として挙げられる。一方、クローズドシステムとは、印刷機に対して特定の記録材料が同一の会社から提供され、この印刷機に対して別のメーカーが記録材料だけを供給することが困難であるシステムと定義する。例えば、最近の電子写真方式の印刷機を例としてあげることができる。

オープンシステムの特徴としては、印刷画像の形成が主に記録材料側の特性のみに依存する。また、歴史的に長い間使用されており、記録材料に求められる物理特性が良く知られていることが挙げられる。

これに対してクローズドシステムの特徴としては、印刷画像の形成に際して、記録材料の特性に、装置側の因子が深く影響し、上手くマッチングさせて綺麗な画像を形成する。そのため、別の記録材料を使うと性能が大きく劣化したり、画像形成に不具合が出ることが多い。例えば、電子写真方式では画像形成時の感光体とトナーの静電特性のマッチング、また記録媒体に定着する時の温度や圧力とトナー粘弾性の温度特性のマッチングを取ることにより、綺麗で品質の良い印刷物が形成される。

このマッチングに相当する部分はしばしば「擦り合わせ技術」と呼ばれる。各社、特徴のあるトナーや感光体などの材料を開発し、レーザー露光条件や定着条件などを組み合わせた「擦り合わせ技術」により、材料のみでは達成できない高画質化などの性能を実現している。

インクジェットシステムは前述の通り、シンプルな記録方式であることからオープンシステム化が可能な記録方式である。実際に家庭やオフィスで使用す

る小型のインクジェットプリンタ用に、インク専門メーカーが販売したインクが一部で使用されている。また、産業用途でも、例えば、アパレル用に布を染色する捺染インクジェットシステムでは、機器メーカーとインク専門メーカーが分業しているケースが一部で見られる。しかしながら、インクジェットシステムでも高生産性や高画質など、品質や性能で高い顧客価値を創り出す場合には、クローズドシステムが適用される。

弊社では、インクジェットヘッドとインクジェットインク、そしてインクジェットシステムを一体で開発しており、特徴のあるインクジェットインクを「擦り合わせ技術」で使いこなし、高い顧客価値を創出する開発を行ってきた。その例として、オフセット印刷に迫る高画質、高生産性を実現した技術内容について紹介する。

高速インクジェット印刷における ピニングの重要性¹⁾

インクジェット印刷機は図2(左)のようにヘッドを用紙幅方向に往復させ(一般に主走査と呼ばれる)、主走査毎に用紙またはヘッドを用紙の搬送方向に一定量搬送する(一般には副走査と呼ばれる)方法により、用紙全面に記録するスキャン方式と呼ばれる記録方法と、図2(右)のように、

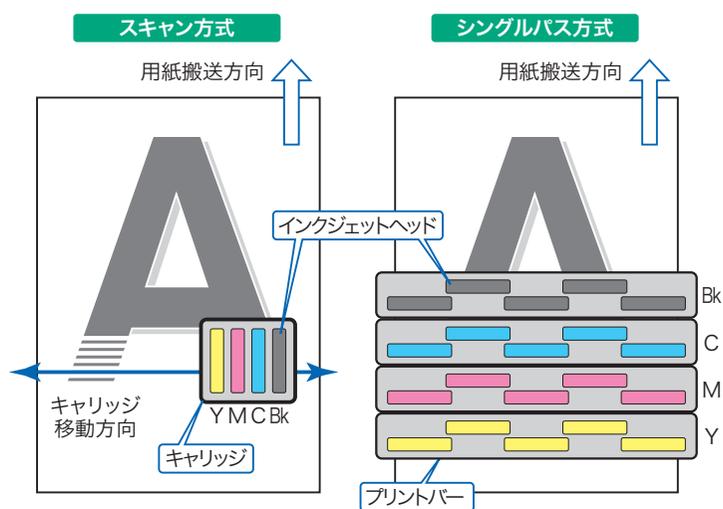


図2 スキャン方式(左)、シングルパス方式(右)

用紙幅手方向にインクジェットヘッドのノズルを並べ、ノズル列と垂直方向に用紙を搬送して用紙全面に記録するシングルパス方式に大別される。

スキャン方式は、小型のヘッドを移動させることにより、大きな面積の記録を行うことが可能であり、ポスターなどを印刷する大判プリンタや、小型で安価な家庭用プリンタに使用される。一方、記録速度の点では、スキャン方式はヘッドのスキャン動作により印刷速度は制限され、固定されたヘッドに対して、用紙を搬送するだけで記録するシングルパス方式が圧倒的に優れる。

また画質の点では、スキャン方式は、隣接するドットを複数回に分けて記録することにより、ドットを乾燥する時間を持たせるインターリーブ記録により、ビーディングやブリーディングと呼ばれる隣接するドットの中のしみや他色間のしみを抑制する。一方、シングルパス方式では隣接するドットに液滴が着弾する迄の時間間隔が非常に短いため、極短時間でドットの固定化を行う所謂ピンニング (Pinning: ピン止めの意) と呼ばれる技術が必要となる。ピンニングはコート紙のようなインクの浸透速度が遅い用紙への記録では特に必要である。

高速・高画質化の実現に向けた コンセプト^{1), 2)}

シングルパス記録の例として、弊社製のインクジェット印刷機「AccurioJet KM-1」(図3)は、1200dpiの記録解像度で、B2判プラスの用紙に対して、1秒間に約1枚の印刷が可能である。一



図3 インクジェット印刷機 AccurioJet KM-1e

高速高画質化へのIJインクとシステムの開発

方、このプリンタシステムの場合、同じ色の隣接ドットは最小時間では約20ミリ秒。異なる色のドットは約150ミリ秒で着弾する。高精細な画像を記録するためには、次のドットが記録される前に先に記録されたドットのピンニングが重要である。

ピンニング技術を用いずにコート紙にシングルパス記録を行った例を図4に示す。果物や果物カゴの背景は元画像では滑らかであるが、肉眼でザラザラに見えるほどに荒れている。右の吹き出し部分は背景部分を拡大した顕微鏡画像だが、用紙搬送方向に平行にスジ状になっている。紙の上で搬送方向のドット合一が発生し、搬送方向と垂直方向の拡がりや抑えられなかったためと考えられる。

オフセット印刷はKM-1同等以上の高速で高画質記録が可能である。オフセット印刷方式で高画質化が実現している理由は印刷インクの粘度が高いことが挙げられる。オフセット印刷のインク粘度は10,000ミリPa秒前後であり、一般的なインクジェットインクの1000倍以上の高粘度である。オフセットインクは、この粘性の影響でドット同士が接触しても合一や混合することはなく高画質記録が可能である。オフセット印刷インク相当の高粘性のインクをインクジェットヘッドから射出可能であれば、課題は解決するが、インクジェットヘッドで射出可能なインク粘度はせいぜい数十ミリPa秒である。(図5)

そこで、ヘッドからの射出時は水のような低粘度でありながら、用紙に着弾後10ミリ秒以内にオフセット印刷インクのような高粘度に変化させ

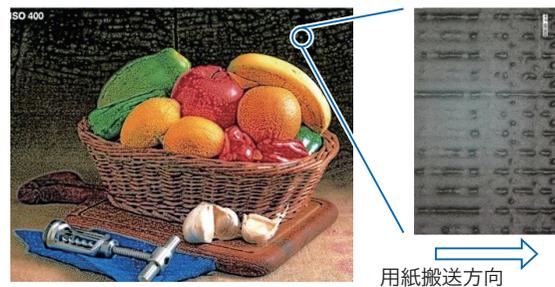


図4 コート紙にシングルパス印刷を行った場合の画質劣化例

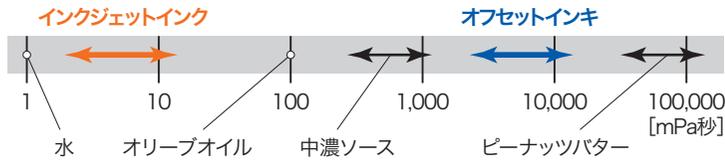


図5 各種液体の粘性

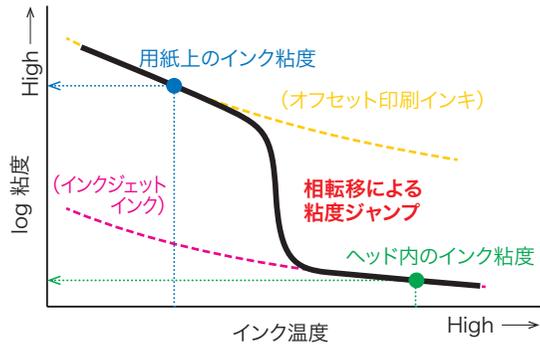


図6 相転移型インクの技術コンセプト

る、図6のようなコンセプトを掲げ、各種の高速反応や高速状態変化など様々な機構の探索と検証を行った。

また、KM-1では、オフセット印刷方式のように各種記録媒体に印刷を可能にするために、UV硬化型のインクを採用した。我々は各種検討の末に相転移現象の高速性に着目し、インクにゲル化剤を添加し、温度によりゾル-ゲル転移を起こす相転移型UV硬化インクについて検討を行った。

相転移型 UV(紫外線) 硬化インクの開発

モノマーは極性の低い油性物質だが、油性物質をゲル化したオルガノゲルは網状オルガノゲルとオイルワックスゲルに大別される、網状オルガノゲルはその名の通り、紐の様に一次元状に伸びたゲル化剤が、網のように三次元的に絡み合い、その中にモノマーなどの媒体が入り込

む構造を取る。オイルワックスゲルはトランプを重ね合わせた様なカードハウス構造を取る。オイルワックスゲルの電子顕微鏡写真を図7に示した。³⁾

ワックスは板状結晶として析出し、この板状結晶が立体的に自己組織化によりカードハウス構造を形成し全体がゲル化する。モノマーなどインクの液状成分はカードハウスでできた隙間に入るため、少量のゲル化剤により、インク全体をゲル化することが可能である。

網状オルガノゲルを形成する低分子型ゲル化剤、オリゴマー型ゲル化剤、オイルワックスゲルを形成するワックスゲル化剤のそれぞれについて、

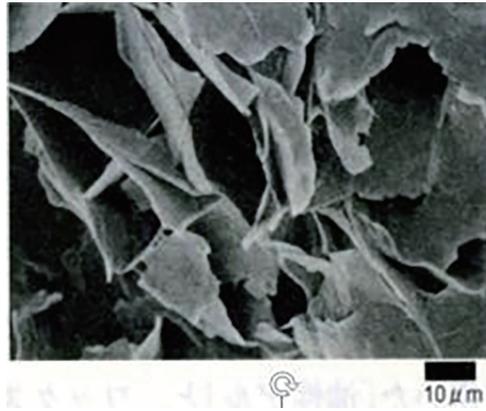


図7 オイルワックスゲルのカードハウス構造³⁾

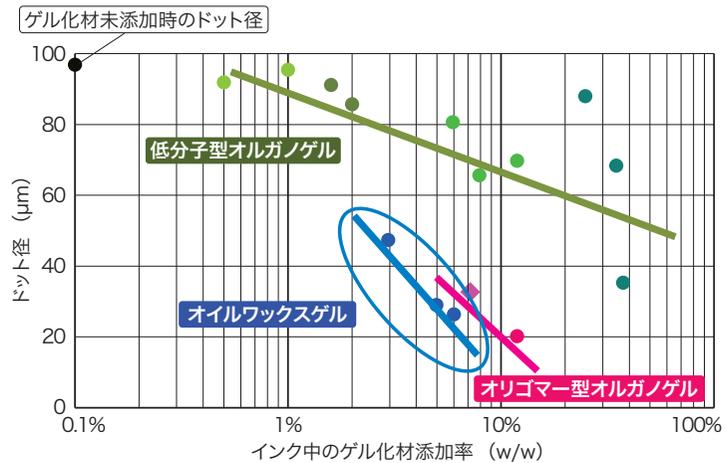


図8 各種ゲル化材による相転移インクのピンニング性能(ドット径の大きさで比較)

UV 硬化型インクに添加した場合のピニング速度について比較検討した結果を図 8 に示す。

この検討では、着弾後のドット径をピニングの速度の代用指標として用いた。液滴は用紙に着弾した後、インクの表面張力で紙を濡らし、ドットは拡大していく。この濡れ拡がりの時間は数ミリ秒から数百ミリ秒と言われている。

一方、ゲル化によりインク粘度が上昇すると、ドットは拡大できなくなる。つまり、ドット径が小さい程ピニング速度が速いことを示す。グラフの横軸はインクに添加したゲル化剤量、縦軸にはドット径を示す。低分子型のオルガノゲルは 10 質量%以上の添加量が必要であるのに対して、オイルワックスゲル、オリゴマー型のオルガノゲルでは数質量%の添加でドット径拡がりが抑えられており、極短時間でゲル化による粘度上昇が起きていると考えられる。さらに、インクジェットヘッドからの射出性を考慮するとオイルワックスゲルが最適である。(表 1)

図 9 に開発したインクの温度 - 粘性図を示した。当初構想したコンセプトに近い、温度 - 粘性挙動が得られた。

表 1 各種ゲル化材を添加した相転移インクの特長

ゲル化材種	ピニング性	射出性
低分子型オルガノゲル	Poor	Good
オリゴマー型オルガノゲル	Good	Poor
オイルワックスゲル	Excellent	Excellent

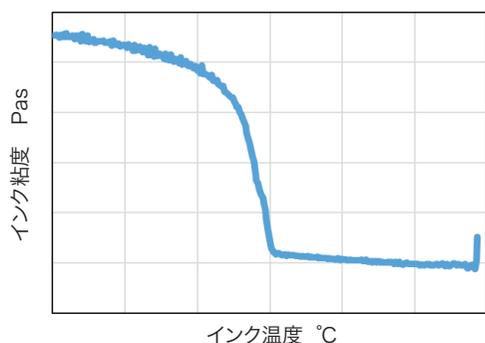


図 9 開発した相転移型 UV インクの粘度の温度依存性

高速高画質化への IJ インクとシステムの開発

相転移型 UV インクを使用したインクジェットシステム

開発した相転移型 UV インクは常温ではゲル状で高粘性であるが、プリンタシステム内で加熱し、一定温度に保つことによりゾル状の低粘性液の状態、インクジェットヘッドから射出される。記録媒体に着弾後は記録媒体などに熱を奪われ、インク液滴の温度が瞬時に低下、速やかにゲル化することによりピニングが可能となる。このように各色のインクが順次記録された後に一括して紫外線を照射し、瞬時に硬化が完了する。

そして、この相転移型 UV インクと、高温で駆動可能なように開発したインクジェットヘッド、そして射出前のインクの温度制御技術、インクが着弾する記録媒体の温度制御技術、紫外線の光量制御技術、インクジェットヘッドの定期的なクリーニング技術など、「擦り合わせ技術」が合わさったクローズドシステムとして、オフセット印刷に迫る高画質、高生産性を実現した。

クローズドシステムの必要性

以上、インクジェット記録方式はシンプルな故に各種印刷用途に使用されているが、高い顧客価値を創り出すためにはクローズドシステムによる解決が必要になる。我々は、インク開発と共にヘッド開発、システム開発を行っており、その総合力を駆使し更なる価値創出を続けていきたい。■

【参考文献】

- 1) 飯島裕隆, 高林敏行, 前田晃央, 池田征史, 水谷敏幸, 平野肇志, Imaging Conference JAPAN 2017 予稿集 (2017), p.61
- 2) Toshiyuki Takabayashi, Hirotaka Iijima, Katsunori Goi, Mitsuru Obata, Toshiyuki Mizutani, Hideo Watanabe, Proceedings of NIP 31 and Digital Fabrication 2015, p. 251.
- 3) 柴田雅史, 色材協会誌 78 (7), p.310 (2005)

●出典：本稿は月刊「印刷雑誌」2023年8月号に掲載された特集記事であり、発行元である印刷学会出版部の許可のもとに掲載しています。