

## 解 説

## 可能性を伸ばし限界に挑戦するインクジェット

藤井 雅彦\*

(2010.8.20 受理)

## Ink Jet has extended the Possibility and performed a Challenge Against the Limitation

Masahiko FUJII\*

I have followed the progress of ink jet technology as the parents watch their child grows up with expectation and have contributed somewhat to the progress. With great pleasure, the child, ink jet technology has been evolving even now. The evolution has two directions as extending capability and getting over weak point in the similar way of nurturing. Namely, the former is expansion of ink jet to various applications using simple process and the later means challenges against performance limitation derived from imaging process achieved only by the interaction between ink and media.

The differences of technical approaches in each direction also exist. Progress of elemental technology region has been noticeable in extend of the possibility and challenge against the limitation has been dazzling in system integration or peripheral technology progress.

I would like to present the status of ink jet technology and the prospects in line with two directions of the progress.

**Keywords:** Ink Jet, Printed Electronics, Liquid Latitude, Environmental Load, Offset Printing

我が子を見守る親のごとく、インクジェット技術の進展を期待を込めて見守り、またその進展に少なからず寄与してきた。喜ばしいことに我が子は今なお成長、いやインクジェットは進化を続けている。その進化にはこれまた子育て同様、可能性をさらに伸ばす、あるいは苦手を克服する2つの方向性が見られる。すなわちインクジェットの持つシンプルなプリントプロセスを生かした様々なアプリケーションへの展開であり、メディアとインクの相互作用のみに画像形成を依存するゆえの性能限界への挑戦である。

その両者の技術開発の切り口にも違いが見られ、前者は要素技術の進化が中心であり、後者はシステムとしての進化に注目すべきものがある。

本稿ではこの2つの進化の方向に沿って、インクジェット技術の現状と今後の見通しを述べる。

**キーワード:** インクジェット, プリンティッドエレクトロニクス, 液体範囲, 環境負荷, オフセット印刷

## 1. はじめに

インクジェットのシンプルなプロセスを生かしたまま性能向上を図るには、構成要素技術(プリントヘッド、インク、メディア)に種々の機能を詰め込み(高機能化)、絶妙なバランスを保つ(相互作用を制御する)必要がある。このため機能分担型の電子写真に対し、インクジェットは機能集中型のマーキング技術といえる。しかし、現在のパーソナル市場はどうだろうか。消費者の要求に応え、コストとのバランスを保ちながら購

買意欲につながる新規な技術進化はほぼ終えたのか、消費者の新しい要求がなくなったのかの議論はさておき、近年の新製品においては、これら要素技術において大きな差別化技術の導入、大幅な仕様の向上は少なくなってきた。

一方、非接触、微小液体量の正確な移動制御といった特徴を生かし、デジタルファブ리케이션に代表されるように、インクジェットを従来プロセスや技術に置き換えることが試みられている。ここでは要素技術の高性能化、特に機能性液体(インク)の多様化、高性能化と、それをハンドリングできるプリントヘッドの開発が今なお進行中である。

超高速化、さらには高速と高画質を両立するという高いハードルにインクジェットは挑み、High-End Office, Transactional Print, あるいは印刷へも市場を伸ばそうとしている。ここでの課題対応は、インクとメディアの相互作用のみに依存する

\* 富士ゼロックス株式会社 研究技術開発本部 インクジェット技術研究所

〒243-0494 神奈川県海老名市本郷 2274

\* Fuji Xerox Co., Ltd.

Ink Jet Technology Laboratory, Research & Technology Group

マーケティングプロセスではもはや解決困難であり、インクジェットの基本プロセスに様々な機能、プロセスを付加しようとしている。シンプルなインクジェットプロセスからの離脱を意味するが、高速での Variable Print の提供や、小部数での低コスト化など新しい価値の提供が可能になる。さらには従来技術に比べ、環境負荷の低減も期待できる。

## 2. 可能性の伸張と展開

ここ数年のパーソナル市場向けプリンタにおける新商品の訴求点は、ハードウェアの進化が牽引していない。毎年インプリされる新機能はプリンタの新しい可能性に気付かせてくれるが、ハードの spec. が向上する感動はなくなった。もちろん spec. の向上がないという要因だけではないが、国内のインクジェットプリンタの販売台数は 2005 年から下降傾向にある (Fig. 1)。北米の SOHO (Small Office/Home Office) や SMB (Small and Medium Business) においてインクジェットが市場を拡大しつつある Biz IJ (Business Ink Jet) においても、要素技術に進化が見られないのは同様である (価格帯がコンシューマよりやや上にある Biz IJ においては、Swath の増加など、もう 1~2 ステップの仕様ジャンプは可能だと考えている)。このような中で、産業分野、デジタルファブ리케이션へとといった新しい市場、領域へのインクジェットの適用が注目されている。

### 2.1 プリントヘッド

日本国内のデジタルファブ리케이션、中でも Printed Electronics 領域では、残念ながら作り出された製品もまだ身近に感じることはできず、ビジネスとしても大きく育っていない。この現状と打開について、先の ICJ2010 で併催されたワークショップ「日本におけるプリンテッドエレクトロニクスの実用化加速」でも活発な議論が行われた。議論は今後も継続され、内容は別途紹介する機会があるだろう。現在、Printed Electronics ではほとんどの場合、コンシューマプリンタ、産業用プリンタに使用されているプリントヘッド、あるいはその

改良品を活用しているのが現状である。現在のプリンタに使用されているプリントヘッドでハンドリングできるインク物性 (粘度、表面張力、pH 等) はそれほど広くない。このためデジタルファブ리케이션ではこれらのプリントヘッドに互換性のある新規機能性液体材料 (インク) の開発が必要になる。技術的な私見ではあるが、本来デジタルファブ리케이션で要求される仕様にマッチしたプリントヘッドを開発するほどこの市場はまだ大きくない。従って現行の限定された仕様のヘッドを適用することにより十分なパフォーマンスが発揮できず、市場の立ち上がりを鈍らせている…このような負のスパイラルが存在しているのではないだろうか。負のスパイラルから脱出するパスの 1 つとして、当然ハンドリングできる液体範囲の拡大が求められる。

Fig. 2 は現在のコンシューマ向けプリンタに搭載されているプリントヘッドが (実用的な生産性で) 吐出できるインクの物性 (粘度、表面張力) 範囲を示している<sup>1)</sup>。この範囲が拡大できればこれまでのプロセスで使用してきた材料や、より性能の高い材料の導入が可能になるだろう。このためプリントヘッドで噴射できる液体範囲の拡大が試みられており、特に高粘度化への対応が進んでいる。ピエゾ方式で液体への圧力伝播効率を高め、非加熱で 200 mPa·s の液体を噴射できるヘッドが導入された<sup>2)</sup>。このプリントヘッドは接着剤、フラックス、オイル、液晶、ナノ粒子液体に対応できるとしている。このほか古くから存在する AIP (Acoustic Ink jet Printer) や静電吸引方式は、微量の液体を比較的大きなノズルから噴射できるため、高粘度液体のハンドリングが可能であり、500~30,000 mPa·s の高粘度液体を吐出した実例が報告されている<sup>3,4)</sup>。しかしこれらの方式は現在まだ液体を噴射するノズルを 1 つしかもっておらず、生産性向上にはマルチノズル化が課題となる。ところで、私のインクジェットの定義<sup>5)</sup>からはずれる方式だが、高速ガス流によりミスト化した高粘度液体 (~5,000 mPa·s) を噴出する Aerosol Jet<sup>®</sup> は、Shutter の ON/OFF 切り替え周波数は低いもののマルチノズル化 (40 ノズル) を実現して

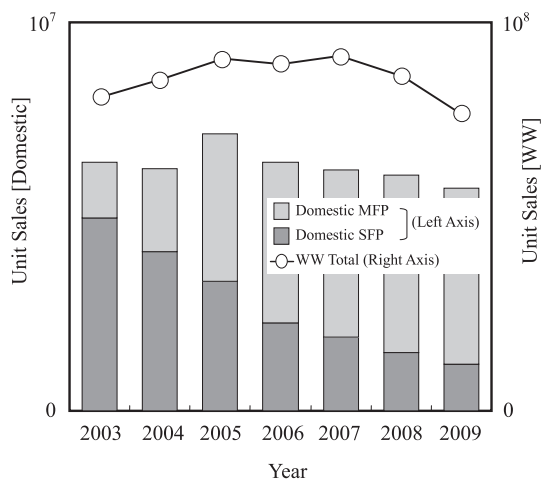


Fig. 1 Unit Sales of Ink Jet Printer.

(Estimation by disclosed data from research outfit [IDC, Gartner, BCN])

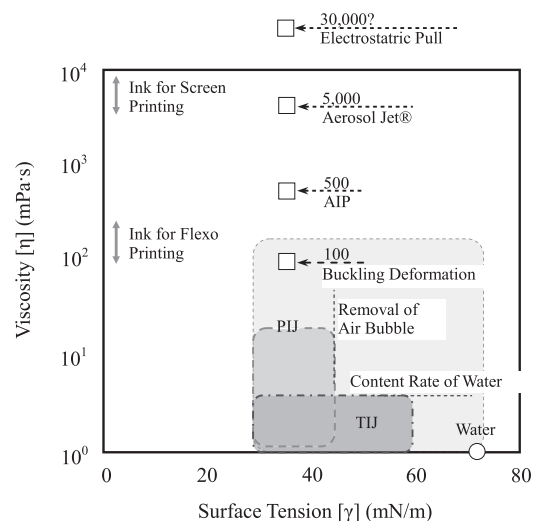


Fig. 2 Liquid Latitude Handled by Ink Jet<sup>1)</sup>.

おり、太陽電池セルの作成等に使用されはじめている<sup>6)</sup>。

インクジェットで全てのプロセスを行うのではなく、従来プロセス、例えば Photolithography とのハイブリッド化も検討されている。このプロセスは Digital Photolithography とも呼ばれ、インクジェットによるレジスト液やエッチャントの吐出も試みられている。このため強アルカリ (pH15) 液を吐出可能なプリントヘッドだけでなく、強酸への対応も検討されている<sup>7)</sup>。

吐出液滴の微小化はこれまでの予測とおり製品レベルでは動きは見られないが、ノズルの高密度化は進んでいる。製品化されたプリントヘッドのノズル密度として、1列では 800 npi (nozzle per inch)<sup>8)</sup>、複数列で 1200 npi<sup>9)</sup>がこれまで最高であったが、2列 (千鳥配列) で 1600 npi を有するサーマルインクジェット方式のラインヘッド (memjet)<sup>10)</sup>が実用化されようとしている。技術発表から製品の市場導入の発表まで時間がかかったため、途中その具現化に疑問が持たれていたが、年内にもラベル分野での製品化が始まる。memjet だけでなくシングルパスが基本のラインヘッドでは、高画質化の要件としてノズル配列の高密度化は当然考えられる方向性である。

今後のプリントヘッドの従来トレンド軸での進化、新しい応用を前提とした新しい価値軸での進化について、この解説記事が発行される頃 (2010年10月) に開催されるインクジェット技術部会主催の技術研究会「インクジェットヘッド技術徹底研究」において、パネルディスカッション形式で議論する予定である。ここでの議論の内容も今後本誌の中で、部会報告として紹介することができる。

デジタルファブリケーションなど新しい応用への担い手は、インクジェットを扱った経験が少ない場合も多い。そのためモジュール化技術としての進化、すなわち扱いやすさやロバスト性、あるいは標準化なども求められている方向である。

## 2.2 インク (機能性液体)

Printed Electronics で使われるインクジェット用の機能性液体は、半導体材料、ITO (Indium Tin Oxide)、導電性材料、絶縁体材料まで品揃えが進み、ほぼ全てのプロセス (機能) をインクジェットで形成できるようになってきた。

この中で導電性材料 (銀ナノ粒子インク) の焼成温度の低温化について取り上げる。銀ナノ粒子の分散機能を除去し、凝集・結合して基板上で十分な導電性を得るためには、当初 250℃ 程度の高温での焼成が必要であった。しかし Flexible 基板材料、例えば PET (Poly Ethylene Terephthalate)、PES (Poly Ether Sulphone)、PEN (Poly Ethylene Naphthalate) などの耐熱性から、この焼成温度の低温化が望まれている。

Fig. 3 は最新の銀ナノ粒子インクの焼成温度と抵抗率を示している<sup>11)</sup>。上記 Flexible 材料の耐熱温度以下の焼成 (60分) でも、 $10 \mu\Omega \cdot \text{cm}$  以下の抵抗率が得られるようになってきた (バルク銀の抵抗率は約  $1.6 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ )。銀ナノ粒子の分散剤除去に化学的方法を用い、基板の多孔質層を併用して、焼成不要、すなわち室温での低抵抗化 ( $10 \mu\Omega \cdot \text{cm}$  以下) を実現した発表がある<sup>12)</sup>。基板の選択性や耐熱性など取り組むべき課題もあり、現在は使用範囲が限定されるが、今後の進展、実用化に期待したい。また Au や Cu 材料のインク化も進んでいる。

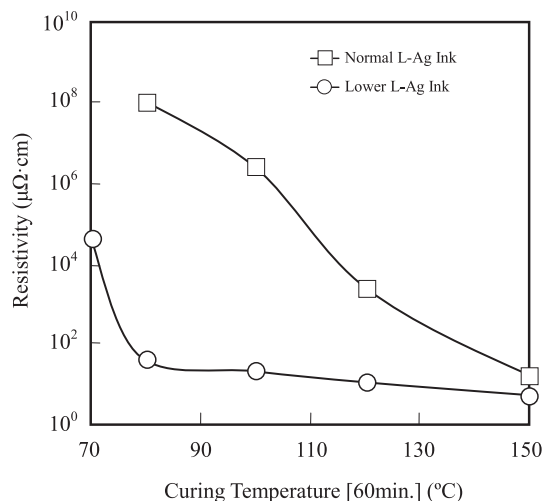


Fig. 3 Curing Temperature and Resistivity of Nonometalink<sup>11)</sup>.

ワイドフォーマットや産業用プリンタ向けにも新しいインクの登場が見られる。UV 硬化型インクでは、従来のラジカル重合型の欠点 (硬化時の収縮性、酸素による重合阻害など) を改善できるカチオン重合型が登場した<sup>13)</sup>。材料範囲やコストはラジカル重合型にまだ及ばないが、課題であった湿度による硬化阻害も改善が進んでおり、利点を生かした応用が広がっていくだろう。UV 硬化に用いられる光源も従来の高圧水銀灯や金属ハロイドランプに代わり、消費電力や寿命に優れる UV LED が採用され始めており<sup>14)</sup>、低光量でも重合が進行するカチオン重合型 UV 硬化インクにも適している。

透明フィルムや、パッケージプリントに使われている従来の白インクは、比重が大きい酸化チタンの比較的大きな粒子が色材として用いられており、長期保存や使用時の安定性確保などに課題があった。空洞を持った透明樹脂粒子を含み、この粒子表面と空洞界面で可視光を効率的に反射する新しい発色メカニズムを持った水性白インクも登場した<sup>15)</sup>。捺染用のインクも品揃えが充実している。

## 2.3 メディア

むしろ次章で取り上げるべきかもしれないが、インクジェットによる従来技術 (プロセス) の置き換えを狙った場合、既に使われているメディアの使用を前提にすると、シンプルなプロセスでの対応が難しい。(もちろん一部は UV 硬化型インクや溶剤インクでの対応が可能な場合もある)。メディアでのしなやかさ (例えば印刷本紙にインクジェット適性を持ったメディアの導入) によりシンプルなプロセスで対応した方が、トータルでの環境負荷の低減などメリットも多いと思われるが、このようなメディアの普及にはオフィス市場、印刷市場とも技術以外の要素の関わりが強い<sup>5)</sup>。鶏-卵論に似た構図もあり、まずインクジェットがこの市場で実績を示す方が先という考えもあるが、インクジェット適性を持ったメディアとの組み合わせで市場を獲得して行くアプローチにも期待したい。

### 3. 限界への挑戦

#### 3.1 限界の許容

「限界への挑戦」について述べる前に、「限界の許容」という観点で短くコメントしたい。インクジェットはプリントモード（ハーフトーニング、マルチパス等）やメディアを使い分け、（プリント速度をトレードオフすれば）用途に合致した出力結果を得ることができる。自由度の広さとも言えるが、メディアをインクジェット用に加工していない普通紙に限定すれば、にじみやブリーディング（画質）、乾燥（速度）の課題を避けることができない。

シンプルなプロセス下で起こるこれらの問題を許容すれば、電子写真より低い消費電力でプリントを得ることができる<sup>16)</sup>。近年、ドキュメントの電子化が進んだことにより、オフィスにおける紙のプリント物の位置付け（価値）が徐々に変化してきている。すなわち恒久的、あるいは外向けとしての役割から（保存、配信は電子的手段にまかせ）、紙のプリント物は一時的、私的な Viewer としての役割が増してきていると思われる。このような変化の中で、Laser Bias を乗り越えオフィスにおけるインクジェットの役割を上げることができる時期ではないかと考える。

#### 3.2 高速・高画質市場

プロセス限界への挑戦として位置付けられる新規市場はいくつか考えられるが、高速プリント時の乾燥は共通する課題である。さらに印刷市場では、超高速での高画質出力を要求される。インクジェットからの挑戦アプローチでは、基本プロセスに新たな機能（プロセス）を追加することで課題をクリアしようとしている。この市場においても対環境性から水性インクを使用する機会が多いが、これまでにない超高速でメディア上の画像を乾燥させる（水分除去）には、温風、輻射熱、熱伝導など積極的な乾燥機構の導入が必要である。このため消費電力が極めて大きくなるだけでなく、膨大な水分の排出（放出）手段を確保することも考えなければならない。

従来の市場では、水性インクに対しては浸透性メディアが用いられているが、印刷市場で非（緩）浸透性の印刷用コート紙やフィルムをプリント対象にした場合、メディア上にインク（色材）を固定するための手段（プロセス）を持たなければならない。インク自身に定着機能を持たせる工夫だけでなく、インク（色材）を反応によって固定する手段も用いられており、プリントヘッドからの透明反応液の吐出、あるいはコーターによるメディアへの塗布が、乾燥手段と併せて試みられている。高速化のためにラインプリントヘッドを採用しワンパスで画像を形成する。欠陥ノズル（不吐出や不安定吐出）の存在は直接画質低下につながるため、高速での画像・吐出欠陥検出機構、および補正機構（画像補正）が必要になる。欠陥検出は一部のコンシューマ市場向けプリンタやワイドフォーマットプリンタでも行われているが、ワンパスプロセスで要求される精度、処理速度はケタ違いに高い。またほとんどのインクジェットプリンタではメディアに直接インク滴を吐出するが、多様な用紙への対応性を高めるため、中間体に画像を形成しメディアに転写、定着する機構も検討されている。

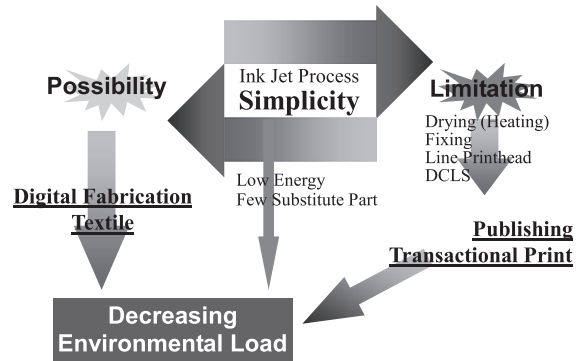


Fig. 4 InkJetandDecreasingEnvironmentalLoad<sup>17)</sup>.

これらの新規機能は、単純に足し合わせれば出来るものではなく、相互の作用点が増すため擦り合わせ技術の領域となり、実現のハードルは非常に高い。しかし、この大きな課題を克服して印刷市場に参入できれば、従来オフセット印刷におけるCTP工程の削除、色・見当調整などの前準備の短縮、ヤレ（印刷の損紙）の減少、圧胴洗浄の低減等が期待され、コスト的に2,000部以下でオフセット印刷より優位になると言われている。

一方、乾燥機能の付加に代表されるように、消費電力を始めとする環境負荷は増大する。このインクジェットの挑戦は環境に対して逆行する動きなのだろうか？ この問いに対しては、2,000部以下でB2サイズ枚葉印刷に比べ、インクジェットの方がCO<sub>2</sub>を25%削減することができるという発表がある<sup>17)</sup>。

### 4. おわりに

現在のインクジェット技術の進展に2つの方向性が見られ、それぞれの技術開発の特徴にも違いがあることを述べた。本文ではインクジェットを印刷市場に適用した場合の環境負荷低減について記載したが、可能性の伸長領域であるデジタルファブリケーションや捺染でも、インクジェットの採用により大幅に環境負荷が低減された報告<sup>18,19)</sup>がある。開発の2つの方向性は、意図されているか否かは別にして、いずれも環境負荷低減につながることも最後に述べておきたい (Fig. 4)。

紙プリント物の位置付けは、電子ペーパーやiPadなどのポータブル電子端末の登場、普及により今後ますます変化していくだろうし、この過程で再認識される紙プリント物の価値もあるだろう。紙文化で育った我々の価値基準とは異なるニーズや淘汰が起きてくる可能性も否定できない。前回の技術進展の解説<sup>5)</sup>や本稿は、インクジェット市場を俯瞰した時のインクジェット技術の現状や今後について考えてみた。今後は、例えば生活形式やビジネス活動といった社会的な視点で、ハードコピー技術、マーキング技術全体について考える機会も持ちたいと思う。このきっかけの1つである電子ペーパー（バックプレーン）や、液晶画面の作製にインクジェット技術の適用が試みられているのも、また面白いものである。

### 参考文献

- 1) Masahiko Fujii, Issues and Approaches Imposed on Ink Jet for

- The Progress of Printed Electronics, Proceeding of ICEP2010, pp.199-203 (2010).
- 2) 例えば Panasonic Press Release (2009年4月15日).
  - 3) Hiroyuki Kawamoto, Electronic Circuit Printing, 3D Printing and Film Formation Utilizing Electrostatic Inkjet Technology, Proceeding of Digital Fabrication 2007, pp.961-964 (2007).
  - 4) Isao Amemiya, LED Packaging by Ink-jet Microdeposition of High-Viscosity Resin and Phosphor Dispersion, SID International Symposium Digest of Technical Papers, Vol. 38, No. 2, pp.1603-1606 (2007).
  - 5) 藤井雅彦, 日本画像学会と関連技術の歩み—インクジェット技術の進展と今後の展望—, 日本画像学会誌 41, pp.241-250 (2008).
  - 6) Bruce H. King, Aerosol Jet® Printing System for High Speed, Non-contact, Front Side Metallization Helping Improve Efficiencies of Silicon Solar Cells, Proceeding of NIP24, pp.918-922 (2008).
  - 7) T. Chen, Inert Piezoelectric Inkjet Print Head Technology for Alkaline Etch Process in Solar Cell Fabrication, Proceeding of Digital Fabrication 2009, pp.635-638 (2009).
  - 8) 齋藤孝一他, 高速印字対応 Ink Jet 技術, 2002 年度「事務機器関連技術調査報告書」(2002).
  - 9) 田鹿博司, Wonder BJ F850 の Digital Photo プリント技術, 日本画像学会 1999 年度第 3 回技術研究会 予稿集, pp.36-44 (1999).
  - 10) Kia Silverbrook, A 1600 npi Pagewidth Ink Jet Technology which Features Cost Competitiveness with Scanning Inkjet In Home, Office, And Wide Format Applications, 30<sup>th</sup> Global Ink Jet Printing Conference (2007).
  - 11) (株) アルバック超材料研究所にて開発中の, より低温焼成型の銀ナノメタルインク資料より
  - 12) 志野成樹, 銀ナノ粒子インクによる焼成不要な導電性パターン形成技術, 日本画像学会 ICJ2010 予稿集, A-38 (2010).
  - 13) Atsushi Nakajima, Development of New Cationic UV Curable Inkjet Ink, Proceeding of PPIC08, Tr-1-317 (2008).
  - 14) 大西勝, UV-LED インクジェットプリンタの開発, 日本画像学会 ICJ2010 予稿集, B-9 (2010).
  - 15) 例 えば “Epson makes breakthrough with Epson UltraChrome® HDR White Ink”, Australian & NZ Online Journal for the Printing & Graphics Arts Industries (2009.10.01).
  - 16) 藤井雅彦, インクジェット：可能性と限界から環境を考える, 日本画像学会 関西シンポジウム 2010 論文集, pp.9-12 (2010).
  - 17) 富士フイルム 2010 年 2 月 10 日リリース記事「Jet Press 720-将来のショートラン印刷」.
  - 18) H. Aruga, Practical Use of Inkjet Technology for Forming Functional Thin-Films for LCD, Korea Display Conference 2007 (2007).
  - 19) 柴田明宏, 環境・エネルギー負荷を大幅に軽減したテキストイル用インクジェット捺染システム, KONICA MINOLTA TECHNOLOGY REPORT Vol. 6, pp.23-26 (2009).



藤井 雅彦

1985年山口大学理学研究科(応用物理)修了。1985年富士ゼロックス(株)に入社。同年から連続噴射型インクジェットプリンタのインク滴飛翔制御の研究に従事。1989年より研究、技術開発、商品開発部門でサーマルインクジェットプリントヘッドの研究・開発に従事。現在、インクジェット技術研究所にて、インクジェットシステム技術の研究、インクジェット応用に関する研究に従事。日本画像学会インクジェット技術部会主査、DF技術部会委員、感性部会委員。IS & T DF2009,2010 アジアオセアニア地区 Program Chair.