

インクジェット技術

富士ゼロックス(株)研究技術開発本部
マーケティング技術研究所
藤井 雅彦

インクジェット技術は、低価格のコンシューマ(家庭)用、オフィス用プリンタから超高速で高画質なプロダクション用プリンタ、あるいは特殊メディアや用途に向けた各種産業用プリンタまで、幅広いプリントニーズを実現できるプリント技術である。この幅広いプリントニーズへの対応が可能なのは、インクジェットヘッドからインク滴をメディアに直接吐出し付着させることでプリントが完了するという極めてシンプルなプロセスにあり、スケーラビリティ、すなわち技術の拡張性や展開性が極めて高いからである。このシンプルなプリント原理からインクジェット技術はプリンタとしてだけではなく、様々な機能性液体のパターニング手段としても用いられており、例えばPrinted Electronics、バイオ・医療用、また3Dプリンタなどの領域にもインクジェット技術の応用が広がっている。

このようなことからインクジェット技術とは、「色材、機能材料を含む液体(インク)を液滴に分離し、画像信号(プリント信号)に応じ、記録対象(メディア)に向けて吐出し、色材・機能材料を対象物に付着、伝達させるマーケティング方式」と定義されるものである⁽¹⁾。

このためインクジェット技術は、①プロセスが単純で、小型化、低コスト化に適しており、高いプロセス安定性が得られる。②記録対象に非接触で、記録対象を広範囲に選べ、大面積や平面でない場所へのプリントに対応することができる、といった特徴を有している。

本稿では、このインクジェット技術の歴史を簡単に振り返り、現在の技術開発状況や今後の研究開発動向について説明する。

インクジェットの分類と歴史

1. インクジェット方式の分類

インクジェット方式を主にインク滴の吐出駆動源により分類したのが図1である⁽¹⁾。画像(パターン)信号に

よらずヘッドから連続的にインク滴を吐出する連続噴射型と、画像信号に基づいて画像形成に必要なインク滴のみを吐出するオンデマンド型に分類することができる。ここに記載していない数多くの方式も提案されているが、現在市場で見られる方式は、図中の紺色部分を引いたごくわずかしが残っていない。

家庭やオフィスで使用されているプリンタはすべてオンデマンド型であり、サーマルインクジェット方式とピエゾインクジェット方式のいずれかである。

2. インクジェットの歴史

連続噴射型は、画像信号に関わらずインク滴を連続的に吐出するため、プリントに不要な滴をメディアに到達させない手段が必要である。1749年にフランスのノレット(Abbé Nollet)によりなされた液滴流への静電気の影響についての研究など、荷電偏向制御方式における重要な技術領域であるインク滴を帯電し、クーロン力で偏向させるプロセスに関する研究が古くから行われてきた。1878年の液滴化に関するレイリー(L.Rayleigh)による研究は、後の連続噴射型インクジェットプリンタの誕生や開発に大きく貢献したため、インクジェットの歴史に関する記述は、このレイリーから始まるものが多い。

世界で最初の商用インクジェットプリンタは、レイリーらの研究結果に基づいて開発された連続噴射型の荷電偏向制御方式であり、1968年にA.B.Dick社からVideojet 9600が商品化された。これ以前にもケルビン(L.

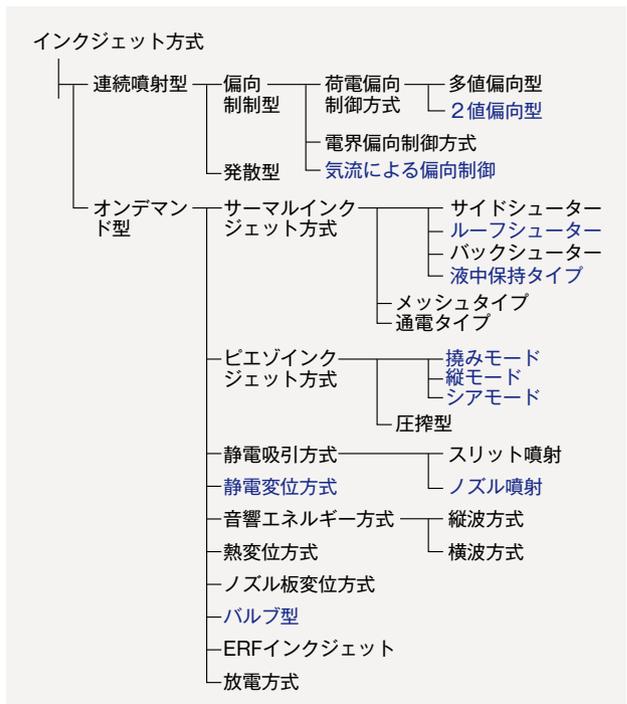


図1 インクジェット方式の分類

Kelvin)によるSiphon Printer (1867年)やシーメンスのMingograph (1948年)など、インクを使ったプリント装置はあったが、最初に記載したインクジェットの定義に基づけば、これらはインクジェットプリンタには分類されない。図2に連続噴射型の荷電偏向制御方式の基本構成を、図3に気流による偏向制御方式の基本構成を示す。

一方、オンデマンド型では、ピエゾインクジェット方式の誕生につながる重要な発見が1880年になされている。マリー・キュリー(Marie Curie)とともにノーベル賞を受賞したピエール・キュリー(P.Curie)とその弟のジャック・キュリー(J.Curie)による圧電現象(効果)の発見である。この発表論文で初めて使われたギリシャ語の「圧す」を意味する「piezein」がピエゾの語源になっている。圧電現象に続いて1881年にキュリー兄弟により確認された逆圧電現象(効果)を、ピエゾインクジェット方式ではインクの吐出原理として用いている。

1900年代中頃からは、オンデマンド型インクジェットの具体的な構成の提案(特許出願)が盛んになった。特に1970年代は、その後の製品に使用されたオンデマンド型の特許出願が相次ぐ歴史的に重要な時期である。ピエゾインクジェット方式では、1970年にカイザー(E.L.Kyser)がシングルキャビティー型を、その2か月後にゾルタン(S.I.Zoltan)が圧搾型(Squeezed Tube)の特許を出願している。翌1971年には、ステンメ(N.G.E.Stemme)がダブルキャビティー型を出願している。

サーマルインクジェット方式の発明は、実験中に注射器の針がハンダごてに触れて水が飛び出したというエピソードが有名であり、1977年にキヤノン(株)の遠藤ら

から特許が出願されている。これより3日前に(株)リコーの小夫から出願された特許は、発熱体でインクを加熱して蒸気を発生させるものの、冷却手段が必要と記載している。また、遠藤らの出願から約8か月後に、信州精器(株)の斎藤がマルチノズル構成を出願している。また、ヒューレットパカード(HP)も、1979年初めにはサーマルインクジェット方式の研究に着手し、1982年にJ.Vaughtらが特許を出願している。図4に現在のピエゾインクジェットプリントヘッド(撓みモード)の基本構成を、図5にサーマルインクジェットプリントヘッド(ルーフシューター)の基本構成を示す。

オンデマンド型の重要な2方式の具体的な構成がともに1970年代に考案されているのも興味深い。それぞれの方式について短期間に複数の個人/会社から似たような特許が出願されているのはさらに興味深い。このように同じような発明が同時期に起こる要因はいくつかあるが、その発明を必要とする時代のニーズがあり(あるいは予想でき)、それを実現する基盤技術、周辺技術が揃った時に必然的に起こることが多い。1960年代からコンピュータの発展に伴い、出力をプリントするといったニーズを満たすことは当時の重要な技術テーマであり、それを実現するインクジェットヘッドの基盤技術になる精密加工技術、半導体技術が進展し、各社が備えていた時期でもあった⁽²⁾。

オンデマンド型で最初に商品化されたのはピエゾインクジェット方式の圧搾型で、1977年にSiemensからPT-80というプリンタが発売された。サーマルインクジェット方式の最初の製品は、1984年にHPから

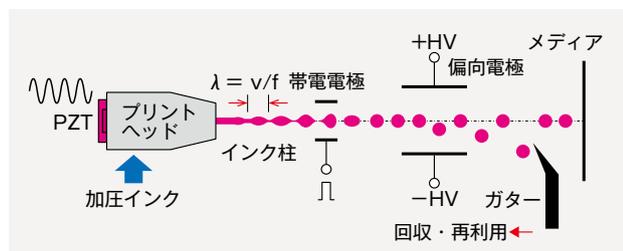


図2 荷電偏向制御方式

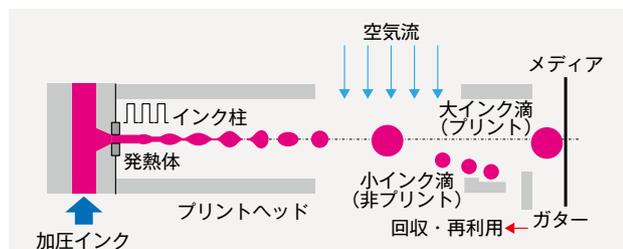


図3 気流による偏向方式

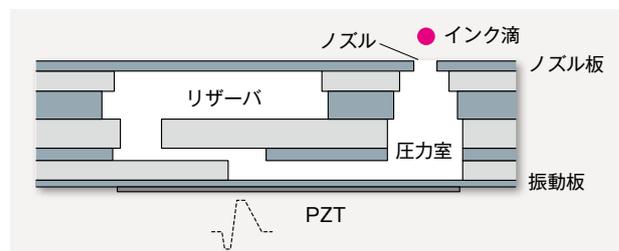


図4 ピエゾインクジェットヘッド(撓みモード)

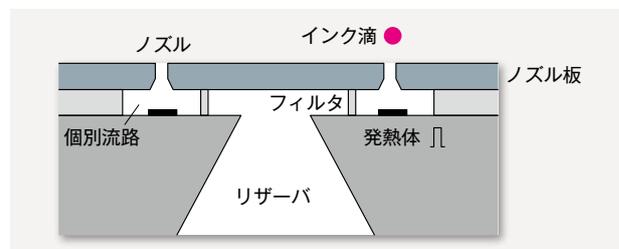


図5 サーマルインクジェットヘッド(ルーフシューター)

Disposable (使い切り型) プリントヘッドを搭載したモノクロプリンタ ThinkJet が発売された。続く 1986 年には HP がカラー化を行い、PaintJet を発売した。

1968 年に最初のインクジェットプリンタが発売されて以降、当初は小型化の特徴を活かした商品開発が盛んであったが、1996 年からはインク滴の小滴化、光沢紙の導入やフォトインクの採用もあり、インクジェットの高画質を活かした商品開発が進んだ。2003 年頃からインクを吐出するヘッドがメディア幅に相当するノズル領域を備えたラインヘッドの導入が活発になり、高速化の実現もインクジェットの目指す方向として位置付けられた。現在、プリント速度として 300m / 分を超える超高速プリンタも開発されている。現在は、高画質と高速化を両立するプリンタ、すなわち印刷市場向けプリンタの開発も盛んになっており、すでに市場導入が始まっている。

インクジェット技術の開発動向

1. 基本性能の向上

プリンタ性能を記述する特性はいくつかあるが、プリンタにおける最も基本的な性能は画質と速度である。図 6 は、画質と速度を軸としたインクジェットプリンタの市場分類を表している。インクジェットのプリントプロセスはシンプルであり、プリンタを構成する主要構成要素(機能)も少ない。このため主要構成要素であるヘッド、インク、そしてプリンタ要素ではないが、メディアの性能向上がプリンタの基本性能の進化を支えてきた。

プリンタの高画質化には、ヘッドから吐出されるインク滴の小滴化やインク色数の増加が大きく寄与してきた。しかしながら、図 7 の最小インク滴量のトレンドが示すように⁽²⁾、コンシューマ、オフィス向けプリンタでは、2005 年に 1 ピコリットル (10^{-12} リットル) まで小さくなった以後、小滴化が進んでいない。これ以上の小滴化は技術的な難しさもあるが、紙にインク滴が付着して形成するドットの大きさがほぼ人の目で解像できる限界 ($20 \sim 30 \mu\text{m}$) に達したため、高画質化への効果が小さくなったということも大きな理由である。インク色数は粒状性の改善、再現色域拡大の目的から最大 12 色まで増えたが、この間の小滴化の進展や、色材の発色性の向上もあり、コンシューマ用プリンタとしては基本 4 色 (YMCK) で十分な画質レベルにある。現在、7 色を超えるような多色プリンタは、プロシューマ向けなど一部の市場で使用されている。

一方、高速化はノズルからインク滴を吐出する周波数の向上や、ヘッドのノズル数増加が担ってきた。しかし、

これらの性能向上も家庭用プリンタでは鈍化し、この 10 年、際立ったプリント速度の向上は見られていない⁽²⁾。

基本性能以外では過去、縁なしプリントや CD/DVD のレーベルプリントなど、インクジェット技術の特徴を活かした魅力ある周辺技術も開発され、購買意欲の向上につながってきた。現在、コンシューマ用、オフィス用プリンタには、プリントコスト(ランコスト)の低減につながる CISS (Continuous Ink Supply System) と呼ばれる外付け大容量インクタンクが導入され始めている。

コンシューマ用プリンタではヘッドにノズルが形成されている幅 (Swath) はプリントされるメディア幅より狭いため、ヘッドをキャリッジに搭載しスキャンすることでメディア全体にプリントを行う。このようなヘッドをシリアルヘッドと呼び、プリンタをシリアルプリンタと呼ぶ。シリアルプリンタではキャリッジの走査距離を長くすることで大面積のプリントが可能であり、7m 幅を超えるメディアに対応できるプリンタもある。ラインヘッドを採用したラインプリンタでは高いプリント速度が実

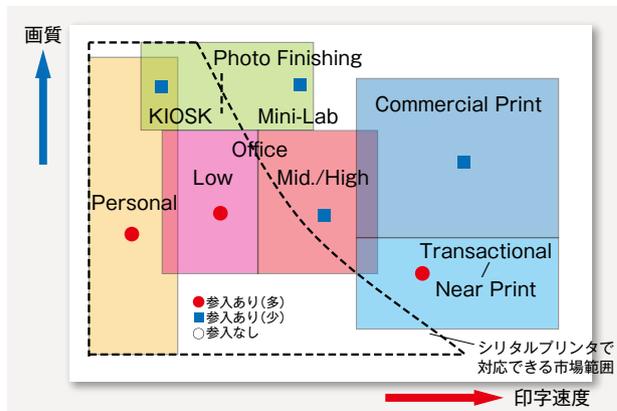


図 6 インクジェットプリンタ基本性能による市場分類

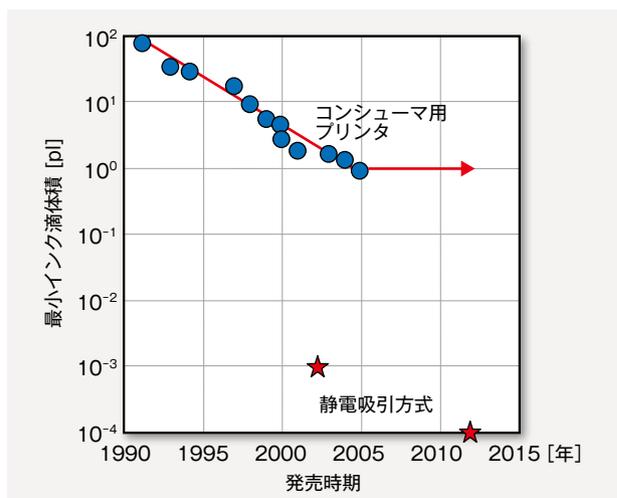


図 7 インク滴の微小化トレンド

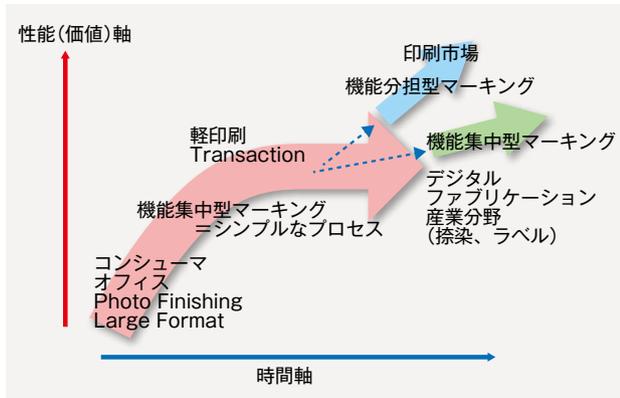


図8 インクジェット技術の進化形態

現できるが、コンシューマ用には採用されておらず、一部のオフィス用、プロダクション用プリンタに採用されている。300m/分を超える超高速プリンタや、150枚/分・A4を超えるオフィスプリンタはラインプリンタである。図6に示した市場分類で、太い破線で囲った領域がシリアルプリンタで対応できる市場範囲であり、その外はラインプリンタで対応すべき範囲である。

2. 進化軸の変化と進化形態の変化

これまでインクジェット技術は、ヘッド、インク、メディアという少ない基本構成要素の進化によってプリンタの性能向上を図ってきており、これを機能集中型のマーキングと呼んでいる。しかし、上述したように、これら基本構成要素の性能進化は、これまでインクジェットの大きな市場であったコンシューマ用プリンタでは限界を迎えつつあり、プリンタ基本性能への貢献も小さくなってきている。このため、現在、インクジェットは市場を変えた、すなわち要求性能(進化軸)が変わる機能集中型マーキングとしての進化と、基本構成要素だけではなく、他の機能を導入しシステム全体で性能向上や課題に対応しようとする機能分担型マーキングによる2つの進化形態が起こっている⁽³⁾。

前者は、例えばPrinted Electronicsなどのいわゆるデジタルファブリケーションと呼ばれる応用領域におけるインクジェット技術である。この市場(応用)においては、さらなる小滴化も必要になっており、ピエゾインクジェット方式やサーマルインクジェット方式ではないが、0.1フェムトリットル(10^{-16} リットル)を吐出する静電吸引型のプリンタも開発されている。また、機能性液体の進化、例えば導電性や半導体特性など、発現機能の向上が液体(インク)に求められ、これらの高機能性液体をハンドリングするヘッドの進化が望まれている。すなわち高粘度や高pH(低pH)、あるいは大きな粒子を分

散させたインクの吐出など、液体範囲の拡大といった、これまでのコンシューマ用プリンタでの性能軸とは異なる特性の進化も必要になっている。

後者の機能集中型として代表的なものは印刷市場向けインクジェットプリンタである。この市場における基本性能はやはりプリント速度(生産性)と画質であるが、印刷市場で使われている従来技術、例えばオフセット印刷で用いられているインクが浸透しにくい印刷コート紙への対応がインクジェットにとって大きな課題になる。また、オフセット並みの高速性と高画質の両立も必要であり、非常に高いハードルがインクジェットの前に立ちまわっている。印刷コート紙への対応を含めた高画質化では、2液反応技術や水溶性エマルジョン含有インクによるメディア上のドット固定、定着というインクからのアプローチだけではなく、高速乾燥や、ドットの抜けや位置ずれの欠陥検出、検出結果にもとづいた画像補正など、新しい機能とそれを実現する技術の導入が不可欠になっている。



1958年のウィンストンの特許に「Ink Jet」という言葉が初めて登場する。当時は、液体の吐出をプリンタに使うことを前提にして研究が進められていたため、色材を含む液体である「ink」という言葉が使われたのは当然である。インクジェットの応用が広がりつつあるデジタルファブリケーションにおける機能性材料を含んだ液体も「インク」と呼んでいるが、むしろ1940年代に特許や文献で使用された「Liquid Jet」という言葉の方が相応しいかもしれない。

当時の研究者たちはそこまで予言していたとは思えないが、「Liquid Jet」に相応しいインクジェット技術の展開もようやく開花しようとしている。

プリンタ向けのインクジェット技術も、これまでとは異なる形態も含め、さらなる進化を続けている。Ink Jet、Liquid Jetにしる、インクジェット技術で価値が提供できる市場がある限り進化は続いていこう。本稿でインクジェット技術の本質を理解いただいた読者が、今後のインクジェット技術の進化に直接関わらなくとも、インクジェットが提供する価値と社会への影響に対して少しでも関心を持っていただくことを願っている。

◆参考文献◆

- (1) 藤井雅彦ほか：インクジェット，東京電機大出版局，2008
- (2) 藤井雅彦ほか：インクジェット技術，日本画像学会誌，Vol.51, No.2, 2012
- (3) 藤井雅彦ほか：インクジェット技術の進化の方向性，日本印刷学会誌，Vol.48, No.4, 2011