バブルジェットカラー記録の現状と将来

キヤノン(株)B製品事業本部 太田 徳也

Color Ink Jet Printing

Tokuya Ohta

Canon Inc. BJ Products Operations

Color Ink-jet printing has recently attracted considerable attention as "the printing system of the future". Canon Inc. has successfully developed the original technology for a revolutionary new ink-jet printing system. In this paper, history, principle, features of Bubble-jet printing technology and application for color printers are described.

1. はじめに

情報の内容がより高度に複雑化、多様化するなかにあつて、情報を把握するうえで「イメージ」は大きな役割を果たしている。テレビ、印刷、写真の世界ではカラー化されたイメージが常識となっている。オフィスでも情報の70%が文字、図形、グラフといったイメージ情報だといわれており、そのイメージ情報を正確かつ効率よく伝達するために、ひと目で理解できるカラー化が熱望されている。記録方式にはワイヤードット、感熱、熱転写、レーザー、インクジェット方式など様々な方式があるが、そのなかでも近年特にインクジェット記録方式が急速に普及してきた。

インクジェット記録方式は、現像定着などのプロセスがないので装置が簡単で普通紙が使える、しかも自在の文字、図形が記録できカラー化が容易という特長を有しているため、以前からその将来性が注目されてい

た。キヤノンは従来の圧電素子（ピエゾ素子）を用いたインクジェットとは異なり、熱的に発生するバブル（気泡）によってインクを吐出させる独自のオンデマンド型インクジェットであるバブルジェット方式を開発した。

この独自のインクジェット記録技術の開発によりアプリケーションが飛躍的に拡大され、インクジェットが各種OA機器プリンターをはじめ複写機、ファクシミリ、またビデオプリンターなどオールマイティな記録方式として広く普及することが期待される。ここではバブルジェット記録方式の歴史、原理、特徴及びカラー記録への応用について述べる。

2. カラー記録の市場動向

矢野経済研究所によるカラー出力需要分野を図1に示した。

オフィス/OA および民生/ホーム分野の拡大が予想される。

図1 カラー出力需要分野

図 2 European Color Hard Copy Market Narrow Format Revenue (\$m)

図 3 US Color Hard Copy Market Narrow Format Revenue (\$m)

BIS CAP International によるヨーロッパと USA に於けるカラーハードコピーの技術別の成長予測を図 2, 図 3 に示した。カラー分野でのインクジェットの急速な伸びを予測している。

3. バブルジェット (BJ) 技術について

3.1 発明のいきさつ¹⁾

70 年代後半、キヤノン中央研究所では電子写真の次にくる新記録技術を探索すべく複数のグループが活発に活動していた。将来の記録技術の方向はインパクト型 (接触型) からノンインパクト型 (非接触型) へ、アナログ記録からデジタル記録へ、白黒画像からカラー画像への移行が予想された。このようなトレンドにはインクジェット記録こそが最も有望な記録方式であるとの結論に至り、メンバーを集中してインクジェットの開発にあたることになった。

スタート時は 10 名に満たないメンバーと、名ばかりの実験室に机 2 台とわずかの測定機が割当てられただ

けであった。当時、インクジェット記録は多くの企業が関心をもち始め製品もいくつか出ていたが、装置としての信頼性が乏しく技術的には未熟で黎明期であった。インクジェット方式は、装置は大型で複雑であるが記録速度の速いコンティニュアス方式と、小型で安価であるが記録速度の遅いオンデマンド方式に大別される。その中間のインターミット方式を含めると 8 種類の原理特許が存在し、それぞれ発明者の名前をつけた方式と呼ばれ、各企業へのライセンス供与が複雑に入り組んでいた。キヤノンのインクジェット開発グループは各方式の調査と比較検討を行うなかから、オンデマンド方式こそ将来の本命であるとの結論に至り、そのなかからガラス毛细管の周囲に円筒型の圧電素子 (ピエゾ素子) を配置したゾルタン方式 (グールド方式とも呼ばれる) を手がけることになった。ピエゾ素子 (ピエゾエレクトリック素子) とは、電圧を加えると機械的変位をおこす素子のことで、この変位を動力としてインク滴を飛ばすのがこの方式の原理であ

る。この方式を用いたプリンターはその後、電卓用プリンターとして、さらには電圧制御によって液滴の大きさを換え、多階調のステールビデオ用カラープリンターとして製品化された。ところでこの狭い実験室とピエゾ素子との出会いがバブルジェット方式を生み出す機会を与えることになる。

インクジェット記録技術の将来性が徐々に社内で認められ、中央研究所の四大テーマの一つとして位置づけられた頃、開発グループのメンバー達はキヤノン独自のインクジェット方式を開発することを夢みて試行錯誤を続けていた。そんなとき、メンバーの一人がピエゾ素子を駆動するための回路制作に用いていたハンダごてが偶然インクを詰めた注射器の針に触れ、その瞬間注射針の先端からインクが飛び出すというハプニングに遭遇した。この現象を再現して確認した開発グループのリーダーは、この現象がピエゾ素子に代わってインクを吐出させる新しい方式になりうるのではないかと一瞬ひらめいたという。インクが飛び出したのは熱いハンダごてによってインクが気化して気泡（バブル）が発生しその蒸気圧によるものであった。「注射器とハンダごて」の伝説はこうして生まれ、バブルジェットの大発明につながっていった。

キヤノンのインクジェット開発グループはこの「注射器とハンダごて」の原理に、当時、同研究所で開発中の感熱記録のためのサーマルヘッドの技術を応用できなかいと考えた。

この二つを結びつけると、従来のピエゾ素子を使うノズルでは配置の幾何学上の制約から本質的に不可能とされていたノズルの高密度化・高集積化が低いコストで一挙に達成できるのではないかと考えた。この新吐出原理の発明と感熱記録に用いるサーマルヘッドの組合わせの着想が従来の方式では思いもよらぬインク吐出ノズルの高密度化、高解像化、高集積化を可能とし、高速で高精細記録への道を拓いたのである。

3.2 バブルジェットの原理²⁾

図4にバブルジェットによるインク液滴形成過程を示す。

- ヒーター面上に核気泡が発生する。
- 核気泡が合体し膜気泡が生まれる。
- 膜気泡（バブル）が断熱膨張し成長する。
- 周囲のインクに熱を取られ気泡が収縮する。
- 膜気泡が消滅し次のパルスを待つ。

この方式の特徴はa→b→cの過程で、膜沸騰現象を利用している点にある。記録手段として応用できるためにはいかに規則正しく膜気泡の発生、消滅をコントロール出来るかにかかっている。

図4 How the Bubble Jet works

図5 Difference of boiling state in accordance with applied pulse width

沸騰現象は次の二つの場合に発生する。

- (1) 高温に加熱された物体を液滴中に漬ける。
- (2) 液体と接する物体の表面温度を急激に上げる。

ヒーターの上で膜沸騰現象を再現させるためには(2)の方法を用いる。図5にヒーターに印加するパルス幅と気泡の発生する様子を示す。10 μs以下程度のごく短いパルスを与えると、ヒーターが急激に加熱されあらかじめ存在する発泡核が活性化する前に、インクが過熱限界に到達しきれいな膜気泡が得られる。この泡

は計算では 15 kg/cm 程度の内圧を持って断熱膨張し、インクをノズル外へ押出す。気泡が最大になる時点では加熱を停止しており、熱をうばわれた蒸気泡は自然と消滅する。加熱を徐々に行うと、ヒーター面に存在する発泡核から通常の沸騰が始まり、図のように不特定の気泡や固定泡が発生し、繰返し特性、泡の大きさや消滅のコントロールができない。このような膜沸騰をヒーター表面で実現することにより、(i)バブルの大きさが均一で安定 (いつも同じ大きさのバブルが、同じタイミングで出来る) (ii)インクへの熱損失が少ない (インクがあまり加熱されないで冷却手段を必要としない) (iii)バブルが最大体積に達したとき、既にバブル周辺のインクは冷たくなっているので気泡は急激に収縮する (周波数応答性が良く、高速でバブルの発生、消滅が繰返せる) など、オン・デマンド型インクジェットの吐出原動力として理想的な手段を得ることができる。

3.3 バブルジェットヘッドの構造²⁾³⁾

従来のインクジェットヘッドは個々のヘッドの応答周波数に問題があること、高度のマルチノズル化が困難であることなどの理由から印字スピードや印字品質の面で問題があった。

これらの原因は、液滴形成のために圧電素子を利用していることに起因する。圧電素子は占有面積が大きく、マルチノズル化するためにはノズルを曲げてまとめるなどの工夫が必要で素子部とオリフィス間隔の制限などにより、多数ノズルの高密度化が困難であった。

バブルジェットでは液滴形成手段として熱エネルギーによるバブルを用いることにより、作用部分の面積を著しく小さくすることができる (数 $\text{mm}^3 \rightarrow 0.01 \text{ mm}^3$ 以下)。これによりオン・デマンドヘッドの高密度化が可能となった。また、作用部分がオリフィス近傍

に設置できるようになったため弾性波の反射や壁面の共振、エネルギーロスが小さく効率的に安定吐出ができる。

図 6 に BJ ヘッドの代表的構成を示す。エッジ型のサーマルヘッドにノズルを付設したような構成である。ノズル部分はフォトリソ工程で正確に作られており、その形状は吐出特性に対し重要なポイントになる。すべてのノズルは後端で共通の液室につながっており、インクの供給等を容易にしている。

BJ でカラー記録を行う場合、黄色、マゼンタ、シアン、黒の 4 種ヘッドを用いて記録を行う。したがって他の色を再現するためには、上記 4 色を記録面上で適宜混合させている。1 画素をより小さな複数の記録単位で構成し、それを埋めることで各色を再現しているためカラー記録するには高密度な記録ヘッドが必須となる。キヤノンで製品化したカラー BJ 製品およびそのヘッド仕様を表 1 に示す。

最近の BJ ヘッドのノズルは 360 または 400 DPI と高密度となっている。ノズル数が同じで高密度化すると当然印字スピードは遅くなる。そのため、ヘッドは高密度/多ノズルを同時に達成しなければならない。BJ ヘッドは前述のとおり高密度/多ノズル化に適した構造でありカラープリントヘッドとして優れている。また、単にノズル数を増やすとヘッドのみでなくその制御系をふくめたコストが高くなる。そのため印字スピードの高速化のためにはノズル数の増加だけでなく吐出周波数の増加も重要な技術となる。

3.4 イ ン ク⁴⁾

前述の通りインクは黒、黄色、マゼンタ、シアンの 4 色で構成される。インクに要求される性能としては以下が主要なものである。

(1) インク自体の項目

図 6 BJ ヘッドの構造

表 1 キヤノンのカラー BJ 製品およびヘッド仕様

製品名	用途	最大画サイズ	印字速度	発売開始	価格 (万円)	1色当たり ノズル数	密度 (DPI)
SGR	特殊プリンタ	9.5"×11"	2 sec/A 4	1985	—	1,792	203
BJC-440	CADプリンタ	A 2	—	1987	—	128	400
BJC-820 J	汎用プリンタ	A 3	—	1992	39.8	64	360
Pixel Pro	複写機	A 1	1.8 min/A 4	1988	1,200	256	400
Pixel Jet	複写機	A 4	1.5 min/A 4	1992	80	128	400

保存安定性 安全性

(2) ヘッドと関連する項目

吐出特性 (体積, 速度, 安定性, 耐久性)

(3) 記録紙と関連する項目

画質, 耐候性 (光, 水, ガス)

これらの性能を達成するためにはヘッド, 被記録材の開発と連携したインクの開発が重要である。

インクは次のような各種の材料より構成されている。

このうち着色材はとくに重要であり, 各種の新材料が検討されている。BJ 方式に固有に要求される性能としては Kogation⁵⁾ (ヒーターの上でのコゲの発生により泡が生成しなくなり, インクが吐出しなくなる現象) があげられる。原因は(1)染料ないし残存中間体の熱分解による不溶物の発生, (2)多価金属ないしコロイド物質による着色材の凝集, 沈着である。このためおもに熱に安定な染料の開発と染料精製技術の開発により, 信頼性の高い BJ インクが作られている。

3.5 被記録材⁴⁾

1) 用紙

インクジェット (BJ) は普通紙が使用できるが, カラーで高画質を要求する場合には現状では専用紙が必要となる。大きな理由はブリーディング (異色境界部のインクのにじみだし) である。ブリーディングを発生させないためには, 紙面上でのインク吸収性を向上させることが必須である。用紙側での対応としては過去においてはサイズ度を減じてインク吸収性を向上させる試みがなされたが, 印字ドットが過大となること, ドット形状が不良となること, 発色性が低下することなどによりあまり使用されていない。現在は紙の表面にインク吸収に優れ, 発色性の高いインク受容層をもうけたコート紙が主に使用されている。最近ではコー

ト量の低減化により廉価なコート紙が得られるようになっている。

2) OHP 用フィルム

特に米国においてはプレゼンテーション用に OHP が多用されている。従来は手書き, 写真などにより作成されてきたが, 安価なカラープリンタが得られるようになってきたため, カラープリンタで作成する DTPR (デスクトッププレゼンテーション) が主流になろうとしている。前述の通り BJ インクは着色剤が染料であることから, 印字部の透明性に優れており OHP 用に最適であるが, インクを吸収するインク受容層が必須となる。透明でインクを吸収できる安価な OHP フィルムがのぞまれる。

3) 電飾用フィルム

キヤノンは BJ 用の新規な被記録材としてバックプリントフィルム (BPF) を開発した⁶⁾。本フィルムの構成を図 7 に示す。背面から印字することにより, 高画質で光沢のある記録物が得られる。本製品は Pixel pro 用に電飾フィルムとしてケース (ピクセルアート) と

図 7 BPF の構成と印字メカニズム

ともに市販されている。

4. BJ 技術の将来方向

4.1 普通紙化

記録技術の究極の目標はどんな被記録材（紙）でも高画質な印字ができることである。この意味では BJ 技術もまだ開発の途上である。

インクジェット各社もこの命題に取り組んで各種のチャレンジをおこなっている。たとえば、ワックスあるいはホットメルト型の媒体からなるインクを加熱融解して液化し液滴として吐出させるソリッドジェット型のインクジェットがあげられる。液滴は記録紙上で急激に冷却されて固化し、従来の液体インクでみられるようなブリーディングが発生しにくいという利点がある。ただし、装置が複雑になるため高価になる欠点がある。

特に普通紙へのカラー記録という観点からは濃度、印字ドット形状に優れ、なおかつ吸収性のすぐれたインクが望まれるが、これらは相反する性質である。ある程度の両立化は達成しているが、今後さらなる改善を計るためインク材料開発が重要となる。

他方、用紙としては光沢感のあるさらに高画質なものが要求されるようになると思われる。

4.2 高速化

前述したように、高速化の手段として吐出周波数の向上、および多ノズル化があげられる。

BJ 製品のうちでもっとも一色あたりのノズル数の多いヘッドは、シリアルプリントヘッドでは 256 ノズル、ラインプリントヘッドでは 128 ノズルのヘッドを 14 個組み合わせた 1,792 ノズルである。今後 BJ 方式の特長を生かしたさらに多ノズルのヘッド開発が期待される。

ヘッドは半導体成膜技術（ウェハー上への電極形成、ヒーター形成、フォトリソ技術）、微細加工技術（インク流路形成、切断技術）、電気実装技術、接着技術（異材料接合、封止）、材料技術（耐インク性）などの複合技術により成り立っている。BJ ヘッドのさらなる進化のためには、これら各技術の高度化が必要である。

4.3 BJ 技術の展開

カラー BJ 技術はパソコン用プリンター、複写機に使用されている。今後はカラー出力の低価格化にともない、カラー BJ 技術のファクシミリ、ワープロ等事務機器分野へのさらなる展開も考えられる。

また、被記録材に直接記録が可能であることにより捺染への応用も可能である。BJ 捺染方式によれば、従来の捺染システムにくらべ小ロット、短納期のフレキシブル生産システムを実現することが可能であり、さらには染料および処理剤の廃棄がほとんどなくなることにより環境保全にも貢献できる画期的な無版捺染が達成できる。

その他、マーキング、印刷など、各種産業用途へ展開が可能な記録方法として今後もカラー BJ 記録の拡大が続くことが予想される。

5. おわりに

記録方式として、現在は BJ 方式、ワイヤードット方式、熱転写方式、電子写真方式、ピエゾ型インクジェット方式など各種の方式が使用されている。BJ 技術が高密度で多ノズルのコンパクトなヘッドを低コストで実現できることから、今後の BJ 技術のシェアは確実に向上するものと予想されている。しかし、BJ 方式のさらなる高度化においては前記したようにキーコンポーネントであるヘッド、インク、被記録材とも材料技術に負うところが多く、関係各位のご協力を得られれば幸いである。

参考文献

- 1) 太田徳也：新規事業開発はこうすれば成功する P 140～P 155 (1991) 東洋経済新聞社
- 2) 太田徳也：第 20 回画像工学コンファレンス P 253～P 256 (1989)
- 3) 太田徳也：電子写真学会誌 24 (4) 78 (1985)
- 4) 千葉正博：高分子学会 1992 年度印刷・情報研究会講座 (1993)
- 5) 菅 祐子, 他 3 名：SPSE NIP 4 th International Congress March 20, 1988 New Orleans
- 6) Masahiko Higuma et al : USP 4, 785, 313 (1988)