5-4 インクジェット方式

—高画質化と高速化への課題—

碓 井 稔[†]

1. ま え が き

インクジェット方式には大別して、連続的に吐出しているインクを選択的に紙面に着弾させるコンティニュアス方式と、選択的にインクを吐出させるドロップオンデマンド方式がある。現在では、ドロップオンデマンド方式のパソコン用プリンタの商品化が相次ぎ、インクジェットプリンタといえばドロップオンデマンド方式のプリンタであると考えてよいだろう。

ドロップオンデマンド方式インクジェットプリンタには、インクを急激に加熱し、発生したバブルの圧力によりインクを吐出させるバブル方式と（代表例はキャノン社のBJ方式）、電圧を印加すると変形するセラミック（ピエゾ）を用いてインク室を加圧し、インクを吐出させるピエゾ方式（代表例はセイコーエプソン社のMACH-JET方式）がある。ここでは、高画質化と高速化という観点を中心に、ドロップオンデマンド方式インクジェットプリンタの課題について述べる（図1参照）。

2. インクジェット方式の特徴

インクジェット方式の特徴は、色材たるインクを直接記録紙に向かって吐出させるだけでプロセスが完結するという単純さにあり、この単純さの中に長所、難しさが潜んでいる。

インクジェット方式の長所には

- (1) 普通紙への記録が可能
- (2) 高印字品質、高印画品質
- (3) 記録スピードが高く、低価格
- (4) カラー化が容易
- (5) 静粛性に優れる

等、非常に優れた特徴がある。

一方、プロセスが単純ゆえに開発課題がヘッドとイ

図1 インクジェット方式の原理図

ンクに集中しており、相反する特性・性能の両立が大きな課題である。特に液体であるインクを扱うために、目詰まり性等の信頼性を確保しつつ、印字品質、印字スピード、コストの目標をクリアしなければならない点が特筆される。

3. 信頼性、耐久性の確保

インクジェット方式には信頼性の確保という難題があり、商品化までに非常に多くの時間を費やした。信頼性、耐久性を損なう要因には

- (1) インクによる目詰まり
- (2) インク流路への気泡の混入
- (3) ヘッド材質のインクによる劣化

等がある。(1)、(2)については、インクの改良はもとより、ヘッドキャップによる乾燥防止、ノズル面の洗浄等のクリーニング手段の開発によって克服してきた。印字品質の良いインクは一般的に(1)の特性は悪く、インクの開発を難しくしている。また、インカ

[†] セイコーエプソン株式会社

“Ink Jet Technology—The Problems of Ink Jet Technology in Respect of Improving Print Quality and Print Speed—” by Minoru Usui (Seiko Epson Corporation, Shiojiri)

ートリッジ交換時には、ヘッドとインクカートリッジの接続部からヘッドへ気泡が混入することは避けられない。(3)については、特に高熱にさらされるバブル方式において困難さが高いと思われるが、長期にわたり、インクのような液体にさらされる微細な構造物は他に例がなく、ピエゾ方式にとっても無視できない課題である。特に流路材質の選定、流路構成部品の接着剤の選定には注意を要する。バブル方式において採用されている使い捨てヘッドの思想は(1)、(2)、(3)の課題をことごとく軽減する画期的な方法で、インクジェット方式の普及に大きな貢献をしたが、ランニングコストは犠牲にしなければならない。

インクジェット方式の場合、高画質化、高速化は、信頼性の確保との相克の中でバランス良く達成されていかななければならない。

4. 高画質化、高速化への課題

インクジェット方式における高画質化、高速化は、いかにして適切で均一な大きさのドットを紙面上の所定の位置に正確かつ高速に形成するかということにつきよう。したがって、これらを妨げている様々な要因を克服していくことが技術開発のポイントになる。この要因はおおよそ3つに集約できよう。

- (1) インク滴の飛翔に関する要因
- (2) 紙面上での現象に関する要因
- (3) ヘッドと紙の相対位置精度に関する要因

であり、ここではそれらの主要な技術ポイントについて説明をする。さらに、インクジェット方式における画像処理手法による画質向上の可能性についても簡単に説明を加える。

4.1 インクの吐出特性

インクジェットヘッドの特性を決定するのは、優れたインクを正確に(量、位置)かつ、できるだけ短い繰り返し周期で吐出させる能力である。それは

- (1) 勢い良く、まっすぐにインクを吐出させる
- (2) きれいにインクを分離する
- (3) 次の吐出に備え、インクの振動をすばやく安定させる

能力であり、ポイントはアクチュエータにある。インクの抵抗に負けない発生力とすばやい応答性が、インクジェット用アクチュエータには要求される。さらに、小型・低コスト化のためには、高密度化が可能で30V以下での低電圧で大きな変形をすることが必要である。このような条件を満たすアクチュエータとして、BJ方式のバブルとMACH-JET方式から構成さ

れた約20 μ mの薄いピエゾMulti-layer Actuatorがある。

4.2 インク滴の直進吐出

インク滴を所定の紙面上に正確に着弾させるためには、ノズルからインク滴を真っ直ぐに吐出させなければならない。真っ直ぐに吐出させるために極めて重要なのがノズル表面におけるインクの濡れ状態であり、ノズル表面に不均一な濡れがあると吐出インク滴がインクの表面張力によって引っ張られ、飛行曲がりを生じてしまう。そのため、ノズル表面に撥水処理を施し、インクによる濡れを防ぐことが必要である(図2参照)。

4.3 インク滴着弾位置

インクジェット方式の場合、ヘッドは紙面から約1mm離れた所を左右に移動しながら記録する。したがって、ノズルから吐出した地点から少しずれた紙面上にインクは着弾する。インクスピードと着弾位置のずれとの関係を図3に示す。着弾位置のずれはキャリッ

図2 ノズルの濡れとインクの直進性

図3 インクスピードと着弾位置

ジスピードに比例し、インクスピードに逆比例する。高画質化のためには正確な着弾位置を確保することが必要であるから

- (1) ノズル間のスピードばらつきは少なく
- (2) インクスピードは速く
- (3) ペーパーギャップは少なく
- (4) キャリッジスピードは遅く

することが効果的である。ただ、ペーパーギャップを少なくすることは紙ケバ等の影響でヘッドの信頼性を損なう結果を招き、キャリッジスピードを遅くすることは記録スピードを低下させることになる。したがって商品化に際しては、記録品質、記録スピード、コスト等のバランスに配慮すること必要となる。

4.4 小インク滴化

画質を直接的に向上させるためには、解像度を上げる、あるいは解像度を落すことなく階調性を上げねばならない。いずれにしても、紙面上に形成される最小単位であるドット径を小さくすることが必要である。解像度、階調数が決まると、それに対応した最適ドット径が決まる。ベタ部が確実に塗りつぶされ、かつ、インク滴の飛行曲がりに強く、充分な解像度が確保できるドットサイズが求められる(図4参照)。ドット径を小さくするためには小インク滴化が必要となる。インクの種類によって多少異なるが、おおむね図4に示すようなインク滴の実現が必要である。

4.5 応答周波数、ノズル数のアップ

ヘッドの応答周波数を上げることなしに解像度の向上を図れば、必然的に記録スピードが低下することになるから、応答周波数の向上も必要になる。ただ、ノズル数を増やさずに記録速度を維持しようとすると、応答周波数とキャリッジスピードを大幅に向上させなければならない(図5参照)。キャリッジスピードを極端に上げることは画質劣化の大きな要因となるので、ある程度のノズル数アップは必要となる。また、ドット変調をかける手法も、キャリッジ送りスピードを抑えることが可能であり、有効な方策となろう。

4.6 インクの開発

インクジェット方式のインクは、常に印字品質と信頼性との微妙なバランスに配慮して設計されなければならない。染料、溶剤等の選択、調合比は、相反する特性、性能を両立するよう設計されている。普通紙への高画質化はさらに難しい。普通紙が多様なセルロース繊維の集合体であるにもかかわらず、にじみのないクリアな画質を得るためには、紙中へのインクの浸透を巧みにコントロールしなければならないからである。

図4 解像度と最適ドット径、インク量

図5 解像度と応答周波数、キャリッジスピード
(ノズル数 64, 360 dpi, 5.4 kHz 相当の記録スピードを維持した場合)

コントロールの方法には大きく分けて2種類の方法がある。表面張力が高く紙に濡れにくいインクを用いて、できるだけインクを紙に浸透させない方法と、紙に濡れ易いインクを用いて、不均一ににじみが発生する前にすばやく紙に浸透させる方法である。表1、表2に両者の挙動と特徴を比較した。クリアな画質を得るためには明らかに前者が適しているが、カラー化した場合、複数のインクを混色させる必要があり、紙面内で混ざり合う後者が適しているといえる。どちらの方式にしても、まだ、かなりの欠点を抱えており、これらを解決して行くことがインクジェット方式における今後の最も大きな課題である。

4.7 速乾性

インクジェットプリンタの記録スピードを向上させるには、ノズル数や応答周波数のアップが不可欠であるが、インクの乾燥性の問題も大変重要である。乾燥する前の記録面に次の紙が搬送されてくると、記録汚

表 1 浸透状態の比較

	着弾	過渡状態	定着
緩浸透タイプ			約 10 秒後
超浸透タイプ			約 0.1 秒以下

表 2 インクの特性比較

	濃度	シャープさ	混色
緩浸透タイプ	◎	△～◎ (紙種による)	×
超浸透タイプ	○	○	○

れが発生してしまう。インクの乾燥性を向上させることが最も直接的な対策になるが、記録品質、信頼性等の課題を引き起こすことが多く、ヒータの使用、紙搬送経路の工夫等も行われている。

4.8 記録紙の開発

インクジェット記録は普通紙にも十分な品質で記録が可能である。ただ、一般の印刷がそうであるように、記録紙の品質は画質を決定する大きな要因であり、より高レベルの品質を実現するためには、専用紙を使用すればよい。インクジェット記録用の専用紙は、発色性とインク吸収性を確保するためにコート層が設けられているのが一般的である。より優れた解像度と階調性を実現するためには、インクの広がりを押さえつつ、インクの吸収性に優れた記録紙が必要である。ただ、専用紙はコストと市場性が大きなネックである。

4.9 画像処理手法

インクジェット記録の特徴のひとつにドット再現性の良さがあげられる。それはインクジェット方式が記録信号に応じてインク滴を吐出させ、ダイレクトに紙面に画像を形成する方式であり、周辺のドット形成の状況に影響を受けずにドットを形成することができるからである。この特徴を有しているが故に、誤差拡散

法等の優れた 2 値化処理手法を使用し、飛躍的に画質を向上させることができる。誤差拡散法による 360 dpi のインクジェット方式のサンプルを写真 1(口絵)に示す。誤差拡散法は記録濃度と所望濃度との濃度差を周辺画素へ最適に振りわけつつ記録する 2 値化手法である。したがって、誤差拡散法によるサンプルは記録濃度と所望濃度との濃度差が大きい低濃度部におけるドットが多少目立つが、かなり高水準の記録品質が得られている(写真 1 参照)。低濃度部におけるドットのざらつきは更なる小ドット化によって改良されなければならない、インクジェット方式における画質改善の大きな課題である。

5. む す び

構造がシンプルで低コスト化が達成でき、普通紙に高品質の記録が可能であり、かつ、カラー化が容易なインクジェット方式は、必ず今後の主流記録技術になるであろう。今まさに低価格、カラー高画質を武器にプリンタの大衆化を牽引し、市場の拡大を実現しつつある。ただ、同じく普通紙への高品質な記録が可能な電子写真方式と比較すると、低コスト化、カラー化においては明らかに有利であるが、印字速度、普通紙における記録品質においては早急な改善が必要である。耐水性等の記録物堅牢性に関してはインクの改良が不可欠であるが、ノズル目づまり等の信頼性確保が容易ではなく、電子写真方式に比べ最も劣っている性能である。したがって、電子写真方式を凌駕していくためには、ヘッドの高性能化もさることながら、それ以上にインクにおけるイノベーション、インクを使いこなす技術のイノベーションが必要となろう。

(1995 年 3 月 1 日受付)

【参 考 文 献】

- 1) 碓井稔：紙バ技協誌, 48, 7, pp. 19-26 (1994)
- 2) 碓井稔：高分子学会 1993 年度印刷・情報記録研究会講座, 講演要旨集, pp. 27-32 (1994)
- 3) 太田徳也：紙バ技協誌, 47, 10, pp. 19-24 (1993)

碓井 稔 昭和 54 年、東京大学工学部卒業。同年、セイコーエプソン(株)入社。ミニプリンタ、サーマルプリンタの機構および要素の開発設計、ビデオプリンタ(通電熱転写方式)の機構設計、要素開発設計、Mach-Jet の要素(主としてヘッド)開発設計に従事。現在、TP 要素開発設計グループ課長。