バブルジェットプリンタ開発ストーリー

太田 徳也[†]

1. ま え が き

パソコンの普及に伴い、情報の出力機器としてのプリンタ、とりわけ安価でカラー記録のできるインクジェット方式のプリンタの需要が急速に高まっている。統計によれば'95年の全世界でのインクジェットプリンタの販売台数は2200万台であり、'98年には4500～5000万台の市場規模となると予想されている。このインクジェット方式の80%を占めているのがキャノンが独自に発明したバブルジェットである。

このようにバブルジェットは、いま最も旬で華々しい技術であるが、ここへ来るまでの道のりは、失敗と挫折の連続であった。バブルジェットプリント技術の開発に長年携わってきた者として、その苦闘の歴史を以下に述べる。もの作りへのこだわり、執念、情熱といった「デバイス屋のこころ」に何かを感じていただ

ければ望外の喜びである。

バブルジェット方式とは、細かいノズルに配置されたヒータを瞬間的に加熱してインクを気化させ、その時に発生した泡(バブル)の膨張力でインクを噴射(ジェット)して、紙などに記録する新しい記録方式である。バブルジェット方式は「速い、安い、きれい」という特徴をもち、パソコン情報の出力プリンタの中核となっている(図1)。

プリンタの印字方法には大きく分けて、電子写真方式、インクリボンピンで叩くワイヤドット方式、インクリボン熱で溶かして転写する熱転写方式、感熱紙を使う感熱方式、細かいノズルからインクを噴射させるインクジェット方式などがある。バブルジェット方式はインクジェット方式に属し、泡の力を使ってインクを1秒間に5000回もの高速噴射をさせることができる。しかも、プリントヘッドの構造がシンプルで

実際のプリントヘッドの複数の吐出口(ノズル)から、インクが飛び出す様子

図1 バブルジェットの吐出原理

[†] キヤノン株式会社B製品事業本部
“History of Bubble-Jet Printing” by Tokuya Ohta (BJ Products operations, Canon Inc., Tokyo)

高精細なのでカラー記録に適し、現在プリンタのみならず、カラー複写機、ワードプロセッサ、ファクシミリなどに実用化されている。さらには布への捺染や各種工業用のプリンタとしての応用が期待されている。このバブルジェット方式は広範な技術の複合された技術であり、約1万件以上の特許出願がなされている。この発明に対して内外で、グーテンベルグ賞、コサール・メモリアル賞、恩賜賞などを授与されている。

2. 試行錯誤のなかから偶然に

「フィルム屋さんのためにカメラをつくっている」キヤノンにとって、カメラのような入力装置だけでなく、出力装置やさらに記録材料まで手がけることが長年の悲願であった。このような願いから、1960年代の初頭から電子写真技術を中心とした電子技術、記録技術の確立へ向けて精力的な研究開発が行われた。

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ひと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製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(図2)。

このときから約1年遅れて、まったく独立に太平洋

の向こう側の国の一技術者が、コーヒを飲むためにポットでお湯を沸かしていて、そのとき発生する泡(あぶく)を見ていてまったく同じことを考えたという。そのことについては後で述べる。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いかと考えた。

この2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、高解像度化、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. 立ちはだかる技術の壁

初期のバブルジェットヘッドは、感熱記録用のサーマルヘッドと同様な構造を有する基板上に、感光性樹脂(フォトレジスト)を用いてインク流路となる溝を形成して完成した。現在のヘッドはシリコンウェハ上に半導体技術を使って作られたヒータボード基板と、超高精密射出成型で作られたプラスチック部材に、エキシマレーザでオリフィス穴を加工した溝付天板を接合することにより、量産プロセスが確立されている¹⁾²⁾。

開発グループが最初につかつた技術的な壁は、インクを加熱するヒータ材そのものの耐久性であった。初期のヘッドは駆動を始めるとすぐにヒータ面が破壊されてしまった。原因はインクとヒータを絶縁しているパッシベーション膜のピンホールによるショートであった。アルミニウムの電極とヒータ面の厚みの違いによる段差部をいかに完璧にカバーリングするかという難問を、最新の成膜技術を使って解決した。

ふたつめの技術的な壁は、生成したバブル(泡)が消滅するときに生ずる強い衝撃波によりヒータ面に亀裂が入り破壊してしまう現象である。この現象はキャビテーションという現象で、船のスクリューの破壊現象や、超音波風呂による胆石の治療等に応用される現象として知られる。このキャビテーションによるヒータ破壊は強烈で、試作するヘッドが片端から数十分から数時間で破壊されてしまうので、バブルジェットの実用化は無理ではないかと、開発メンバーの大半があきらめかけたほどであった。

これらの問題を解決してヒータ材としてハフニウムボライド、パッシベーション膜として二酸化ケイ素、

図2 発明のきっかけ

図3 バブルジェットヘッドの内部

キャビテーション保護膜としてタンタル膜を開発して、耐久性の優れたプリントヘッドを完成するのに5年近くの年月を要した。シリコンウェハの上に蒸着技術とフォトリソグラフィの技術を使って形成される8層の膜から成るヒータ部が、バブルジェットプリントヘッドの心臓部であり、開発に最も苦労した点である。この膜構成は、10の9乗パルス以上の繰り返しに耐えるパーマナント構造として、後に述べる他社の発明に差をつける大きな要因となっている(図3)。

次に待ちかまえていた大きな壁はインクであった。バブルジェットヘッドのノズル内のインクは瞬間的に300~400℃に加熱される。通常インクに使用される染料の耐熱温度は200~250℃であるから、バブルジェットに使用すると分解または変質して、ヒータ上に黒色の不溶性の堆積物が沈着する(コゲつき現象)。こうなるとヒータの熱がインクに伝わらなくなってバブルが生成しなくなり、ノズルからのインク吐出が停止する。この難題に直面したときは、ヒータ寿命の改善にメドがつかけて意気あがる開発担当者のほとんどが、バブルジェットもこれまでかとあきらめかけていた。

しかし、「窮すれば通ず」で台所のフライパンを使って、その表面に「おコゲ」がこびりつく様子を詳細に観察し、各種染料を片端からインク溶媒中で加熱分解してその挙動を調べていくうちに、染料が分解しても不溶性成分が生成しないものはコゲつかないことを見出した。すなわち、染料の化学構造とコゲつき現象には一定の傾向がみられることがわかってきた。また、コゲつき現象の引き金になっているのは染料本体だけでなく、染料やインク溶媒中の不純物(無機金属塩など)であることがわかってきた。そこで、バブルジェットに適した新規耐熱性染料と染料の精密精製方

法を精力的に開発することによって、この問題は解決した。このヒータ上のコゲつき現象は、後に学会で発表したとき、日本では「KOGATION」(コゲつきをもじった造語)と呼ぶと説明したところ、そのまま受け入れられ、今では海外の研究者にも広く使われ、国際的な専門用語として認知されている。

このように、他の産業分野でもあまり例のない特殊な現象であるキャビテーション破壊や、インクのコゲつき現象のため、この壁を乗り越えるのに多大のエネルギーと時間を消費した。しかし裏返すと、ここで積み重ねた膨大なノウハウと権利化された特許は、他ではそう簡単に真似のできない貴重な財産として残ったといえよう。インクジェット技術は流体の物性、制御や熱力学の物理設計技術、微細加工の超精密機械技術、光学技術、成膜などの半導体技術、インク、染料の材料設計技術、プリントヘッドを最適駆動する電気回路設計技術、画像設計のソフト技術、現象の理解解析とシミュレーション技術などが組合さってできあがった複合技術であるから、多方面の技術者がバランス良く存在するキャノンの得意な技術であったのかも知れない³⁾。

4. 海の向こうの良きライバル達

さて、このような背景のもとに生まれたバブルジェット技術であるが、人間の考えることは人種を問わず、いずこも同じのようで、キャノンの発明から1年遅れて、太平洋の向こう側のヒューレットパッカード社(HP社)がまったく同一の原理にもとづくインクジェット方式を独自に開発していた。「注射器とハンダごて」と同様に、一技術者がコーヒを飲むためポットで湯を沸かしてこの原理を思いついたという。彼らは世界中で自分達だけの発想と信じていたそうで、キャノンのUS特許が登録開示されたとき、HP社の技術者はショックを受け、皆でやけ酒を飲みに行ったとのことである。HP社ではこの方式をサーマルインクジェットと呼んでいた。その後、両社の間でこの技術を世界に普及させるため仲間として協力しあうことが話し合われた。発明はキャノンが先行したが、バブルジェットの製品化はHP社が先行することになる。

HP社の最初の製品はシンクジェットと呼ばれる小型のプリンタであった。プリントヘッドはノズル数12本、解像度92ドット/インチというもので、性能的にはきわめてプリミティブなものであったが、ヘッドをコンパクトな使い捨て型のカートリッジとし、大量生産してコストを下げ、各種測定器のレコーダやキ

ャッシュレジスタなどの応用分野を開拓した点では画期的であったといえよう。

一方、キヤノンでは、シンクジェットが発売された1984年、ようやくヘッドの高信頼性、寿命にメドがつき、最初の製品を出すべく準備を整えていた。この頃のインクジェットに対する一般的な評価は、ノズルの目詰まりなど信頼性に乏しいということであったので、バブルジェットの最初の製品は入念に信頼性のチェックが行われた。翌1985年に製品化した「BJ-80」は、ノズル数24本、解像度180ドット/インチでMCTF(Mean Character to Failure; 故障までの平均文字数)2億字であり、ワイヤドットヘッドの10倍、HP社のシンクジェットヘッドの数百倍の寿命をもつものであった。

このように、キヤノンでは精密機器メーカーとしての会社の性格からか、ヘッドの信頼性に徹底的にこだわったのに対し、HPは寿命が短い分、使い棄てにすることで割り切って、市場で先手をとることを優先した。いずれにせよ両社で別々にまったく同じ新技術を発想したことで技術者がこの技術に自信をもち、お互いに競い合うことによって技術が飛躍的に向上し、以後のデスクジェットやBJ-10の大ヒットにつながった。

5. 「ものづくり屋」達の夢とロマン

バブルジェットの発明から本格的な製品に至るまで、10年をこえる歳月を要したことは先に述べた通りであるが、最近いろいろなところで、「よくテーマが10年もつぶされずにもちましたね」とか、「薄膜デバイスの世界に高温高圧をもちこみ、しかもインクという訳のわからない材料を扱って、どうやって耐久性(寿命)推定のシミュレーションをやったのですか」とか、さらには「インクジェットで最もきらわれる泡を駆動源にするには、どういうところからアイデアが

出たのですか」といった質問を受けることが多い。

バブルジェットは薄膜デバイスとかインクジェットの一般常識からすると、きわめて非常識な技術といえるであろう。このような非常識な技術を製品化までこぎつけるには、いろいろな内部外部要因があったことは言を持たない。ひとつは、もし完成すれば画期的な技術になるとの信念に裏打ちされた「ものづくり屋」達の夢とロマンである。とくにテーマのスタート時、他部門からはみ出した「得意技をもった一匹狼」達の旺盛な好奇心とハングリー精神を伴ったエネルギーがあった。しかしこのような新規技術は、開発しなければならない技術課題が多く、また薄膜デバイス、コンポーネント事業は金食い虫といわれるように設備投資に金がかかる。企業にとっては人、物、金のリソースの配分に頭を痛めるところである。

新規事業を成功させるには、企業の経営理念に基づく組織と風土、人材に対する考え方、研究開発の管理と運営システムが基本となり、新技術をはぐくみ育てる土壌を継続的に育成していくことであろう。

(1996年4月26日受付)

【参 考 文 献】

- 1) 小泉 寛: “バブルジェットヘッドにおける超精密技術”, マイクロマシン, 7, 5, pp. 227-230 (1994)
- 2) 吉村 茂: “インクジェット式プリンタの最新技術”, 設計工学, 30, 5, pp. 168-173 (1995)
- 3) 太田徳也: “バブルジェットプリンター”, 紙業タイムス 93, 6-1, 1030号, pp. 36-39 (1993)

おおた とくや
太田 徳也 1962年、東京農工大学農芸化学科卒業。キヤノン(株)入社後、中央研究所に配属。非銀塩記録材料、エレクトロクロミックス素子の研究開発に従事。1978年より、インクジェット用インク、プリントヘッドの開発を担当。現在、同社B製品事業本部に所属。