

一橋大学 21 世紀 COE プログラム
「知識・企業・イノベーションのダイナミクス」
大河内賞ケース研究プロジェクト

セイコーエプソン株式会社
高精細インクジェット・プリンタの開発

青島矢一
北村真琴

2008 年 5 月

CASE#08-03

本ケースは、一橋大学 21 世紀 COE プログラム「知識・企業・イノベーションのダイナミクス」から経費の支給を受けて進められている、「大河内賞ケース研究プロジェクト」の研究成果のひとつである。このプロジェクトは、大河内賞を受賞した業績について事例分析を行うもので、(財)大河内記念会と受賞企業のご協力をえながら、技術革新の概要やその開発過程、事業化の経緯や成果などを分析している。事例研究を積み重ねて、日本の主要なイノベーションのケース・データを蓄積するとともに、ケース横断的な比較分析を行い、日本企業のイノベーション活動の特徴や課題を探り出すことを目指している(詳細は <http://www.iir.hit-u.ac.jp/research/21COE.html> を参照のこと)。本プロジェクトを進めるに際して、(財)大河内記念会より多大なご支援・ご協力をいただいております、心よりお礼を申し上げます。

※本ケースの著作権は、筆者もしくは一橋大学イノベーション研究センターに帰属しています。本ケースに含まれる情報を、個人利用の範囲を超えて転載、もしくはコピーを行う場合には、一橋大学イノベーション研究センターによる事前の承諾が必要となりますので、以下までご連絡ください。

【連絡先】 一橋大学イノベーション研究センター研究支援室

TEL:042-580-8423 e-mail:chosa@iir.hit-u.ac.jp

21世紀COEプログラム
「知識・企業・イノベーションのダイナミクス」
大河内賞ケース研究プロジェクト

セイコーエプソン株式会社
高精細インクジェット・プリンタの開発

2008年5月

一橋大学イノベーション研究センター准教授 青島矢一*
東京経済大学経営学部専任講師 北村真琴

* 〒186-8603 東京都 国立市 中2-1
Phone: 042-580-8424 Fax: 042-580-8410
Email: aoshima@iir.hit-u.ac.jp
<http://www.iir.hit-u.ac.jp/>

本ケースは、一橋大学 21 世紀 COE プログラム「知識・企業・イノベーションのダイナミクス」の研究プロジェクトのひとつである「大河内賞ケース研究プロジェクト」の一環として作成したものである。

本ケース作成にあたっては、講演、2 度にわたるインタビュー、資料の整理、ケースの推敲にいたるまで、以下の方々に大変お世話になった。この場を借りて深く感謝の意を表したい。

セイコーエプソン株式会社

代表取締役社長 花岡清二氏

常務取締役 研究開発本部長兼生産技術開発本部長 碓井稔氏

情報機器事業本部機器環境 CS・PL 推進センター部長 大渡章夫氏

経営管理本部経営管理部課長 竹内上人氏

1. はじめに

セイコーエプソン(以下、エプソン)¹のプリンタ事業は、東京オリンピックの公式計時に使用されたプリンティングタイマーに端を発する。1968年、同社は世界初のミニプリンタを発売し、70年代を通じて、電卓用ミニプリンタで事業基盤を築き上げた。

1979年にシリアル・インパクト・ドット・マトリクス・プリンタ(以下、SIDM プリンタ)を導入した後、事業は成長軌道にのった。80年代に入ると、オフィスにパソコンが浸透し始めた。パソコン普及の初期段階、SIDM プリンタは、出力機器の主流として広くオフィスに定着した。それに伴って、エプソンのプリンタ事業も急拡大した。84年、SIDM プリンタ市場におけるエプソンの世界シェアは、日本電気を抜きトップとなり、プリンタ事業は名実ともにエプソンを牽引する主力事業となった。

しかし、1980年代半ば頃から、こうした状況に変化が訪れ始めた。パソコンが家庭に普及して、個人向けのプリンタに対する需要が高まってきた。この変化をとらえて、米ヒューレット・パカード(以下、HP)やキヤノンが、インク室内に作った気泡でインクを吐出する、バブルジェット方式²のインクジェットプリンタ(以下、IJプリンタ)を製品化した。このバブルジェット方式IJプリンタが、SIDMプリンタを代替する形で、個人向け市場において台頭し始めた。エプソンもピエゾ方式のIJプリンタを導入していたものの、個人向け市場に対応できるだけのコスト力がなかった。

さらに、業務用の高価格機市場では、電子写真方式などIJ以外の方式のプリンタが発売されるようになった。特にキヤノンのレーザービームプリンタは市場で高い評価を獲得した。だが、エプソンは電子写真方式の製品化に成功していなかった。

このように、SIDM プリンタを中心としたエプソンのプリンタ事業は、上からはレーザービームプリンタに、下からはIJプリンタに攻められ、深刻な危機に直面した。このままでは、事業の大幅な縮小が避けられない状況であった。

そこでエプソンでは、1980年代末より、個人向け市場をターゲットとして、ピエゾ方式IJ技術の改良に全社をあげて取り組むことになる。そこでは、低コスト化と小型化を実現し、カラー化にも対応できる新型印字ヘッドの開発が至上命題とされた。その結果、従来の10分の1の大きさでありながら、わずかな電圧で微量のインク滴でもまっすぐ吐出できる新型印字ヘッドの開発に成功した。それはMACH(マッハ)印字ヘッドと呼ばれた。

MACHヘッドを搭載したIJプリンタは、1993年に、「MJ-500」として日本市場で発売された。続く94年には、専用紙で720dpiの解像度を実現する「MJ-700V2C」が導入された。これは他社製品に比べ解像度が2倍、価格が半分という画期的な製品であり、世界中で圧倒的シェアを獲得することとなった。MACHヘッドはさらに進化を遂げ、96年には「写真画質」と呼ばれる高精細フルカラー化を実現した「PM-700C」が導入され、カラーIJプリンタはエプソンの代名詞となった。97年にはついに、日本市場におけるシェアでキヤノンを抜き返した。

こうしてIJプリンタ事業はエプソンの屋台骨を支える事業となった。しかし近年は、民生用市場におけ

¹ セイコーエプソンの前身は、諏訪精工舎とその子会社であった信州精器である。1985年両社が合併することによってセイコーエプソンが誕生した。本ケースでは、特に、諏訪精工舎もしくは信州精器を指し示す時以外は、合併以前の活動についても統一してエプソンとして表記している。

² バブルジェット方式という名称はキヤノンが使用している名称であり、同様の方式をHPはサーマルジェット方式と呼んでいる。以下では、HPのプリンタを直接指し示す時以外には、バブルジェット方式もサーマルジェット方式も、バブルジェット方式と統一して表記することにする。

る価格競争が激化しており、必ずしも将来にわたる安定した収益が約束されているわけではない。プリンタ本体の価格が低下する中で、インクや記録媒体などの消耗品で利益を確保するという事業モデルをとり続けているが、互換インクを発売する企業も存在しており、特に中国などの海外市場では、消耗品を中心とした事業モデルが成り立ちにくくなっている。

また、プリンタという単機能ではなく、コピー機能やスキャナ機能を併せ持つ、多機能複合機 (Multi Function Printer:MFP) の市場成長も著しい。こうした複合機市場では、複写機やファックスをもつ事務機器メーカーが優勢である。

そこでエプソンで期待されているのが、業務用市場における IJ 技術の水平展開である。エプソンのインクジェット技術は、ピエゾ素子の物理的な変形によって液体を吐出する。インクを気化させるバブルジェット方式とは異なり、吐出する液体に直接負荷をかけることがないため、多様な液体に対応できる。それゆえ、エプソンでは、民生用プリンタ以外の様々な用途へと IJ 技術を応用しようとしている。

インクを吐出するマーケティング分野では、吐出先の媒体を紙ではなく布にした捺染用 IJ プリンタが躍進している。広告用の大型ポスターの印刷用途などに向けては、印字ヘッドとインクをセットにして、他社への OEM 供給も行っている。また、インク以外の液体を吐出する非マーケティング分野では、液晶パネル製造に IJ 技術を応用している。IJ 技術は液体を吐出するという汎用性の高い機能を実現する。これを今後どのような分野に応用していくのが、エプソンの成長にとって重要な戦略的課題となっている。

2. IJ 技術の概要

IJ 技術の仕組みは、インクをノズルから吐出し、紙などの記録媒体に付着させるだけで画像形成プロセスが完了するという、きわめて単純なものである。この吐出方式には、物理的エネルギーを利用するピエゾ方式と熱エネルギーを利用するバブルジェット方式 (HP ではサーマルジェット方式と呼ばれる) の大きく 2 つの方式がある (図表 1 参照)。

ピエゾ方式の名前は、インクを吐出させるために、電圧をかけると伸縮するセラミックの圧電素子である「ピエゾ素子」を用いていることに由来する。作動原理は、ピエゾ素子を「キャビティ」と呼ばれるインク室の外壁に接着することで、キャビティを膨張・収縮させ、この力でインクを吐出させるというものである。

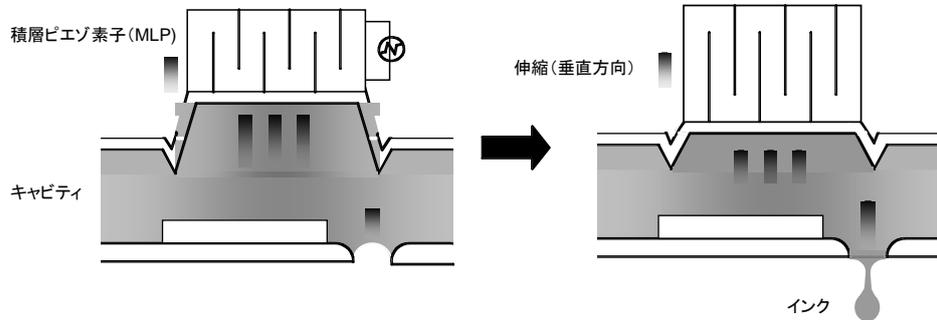
これに対してバブルジェット方式の作動原理は、ヒーターでインクを加熱・沸騰させて気泡を作り、この気泡の圧力でインクを吐出させるというものである。バブルジェット方式は、インクが入った注射器の注射針に偶然にハンダごてが触れたときにインクが飛んだことをヒントに、キヤノンの研究者が 1975 年に考案したものである³。

ピエゾ方式はバブル方式に比べ、インクの吐出制御性、インクの種類選択可能性、および印字ヘッドの耐久性において優れている。まず、インク滴の量は、ピエゾ素子に印加する物理的電圧の大きさを変えることで制御するため、自由自在に調節できる。また、バブル方式とは異なりインクそのものに負荷をかけないため、使用可能なインクの性質に対する制約は少なく、用途に応じたインクの種類選択が可能である。さらに、ピエゾ素子は半永久的に利用可能であるため、印字ヘッドの耐久性が高く、結果としてランニングコストが安くなる。

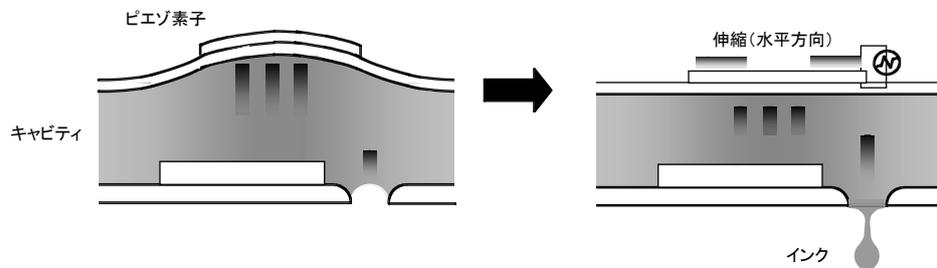
³ キヤノン HP より。

図表 1:ピエゾ方式とバブルジェット方式

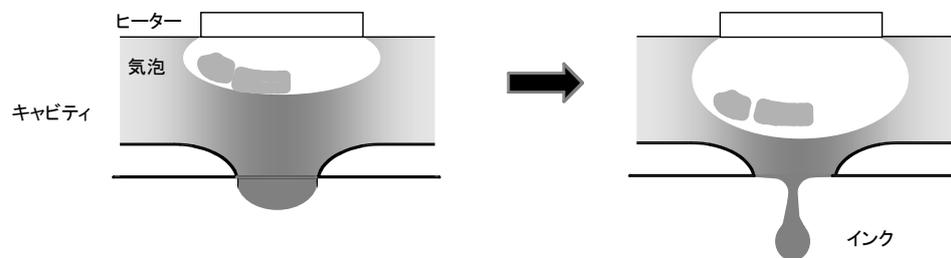
(ピエゾ方式:MLP)



(ピエゾ方式:MLChips)



(バブルジェット・サーマルジェット方式)



出所:『日経バイト』2003年11月22日号を参考に筆者作成

その一方で、ピエゾ方式は、量産性が低いため高コストで、小型化が難しいという欠点を抱えていた。印字ヘッドを構成するピエゾ素子やヘッドを構成するガラスの加工コストが高いことが、製品価格を高止まりさせていた。また、ピエゾ素子は変位量が小さい割に素子のサイズが大きいため、ノズルを高密度に配置することが難しいという問題もある。キャビティがピエゾ素子の大きさに依存するため、印字ヘッドの小型化、ひいてはプリンタ自体の小型化には自ずと限界がある。

これに対してバブルジェット方式は、圧電素子を必要としないため、ノズルを高密度に配置することが可能となる。また、半導体製造プロセスを使って製造するため、量産化や小型化がより容易であった。しかし、ヘッドの寿命が短いことが決定的な問題であった。図表 2 には、こうした、ピエゾ方式とバブルジェット方式の利点と欠点が比較されている。

図表 2：ピエゾ方式とバブルジェット方式の比較

	ピエゾ	バブル
量産性(コスト)	×	△
耐久性	◎	×
吐出性能	○	○
高密度化	×	◎
インク選択性	◎	○

出所: エプソン資料

これら 2 つの方式の内、1970 年代中盤からエプソンが開発を進めてきたのはピエゾ方式であった。かつてのプリンタは複写機と同様に、メンテナンスの必要な事務機であり、事務機にとっては耐久性が重要である。そもそも同社のプリンタが躍進を遂げたのは、東京オリンピックでセイコーグループが公式計時を担当したのを機に、小型で耐久性の高いミニプリンタを開発できたためであった。それゆえ、構造は複雑であるが耐久性に優れたピエゾ方式を選択したのは自然なことであったといえる。

3. エプソンにおける IJ 技術開発の経緯

3.1 インパクトプリンタの躍進

エプソンでは、1970 年代にはミニプリンタが、80 年代には SIDM プリンタが、90 年代以降は IJ プリンタが、それぞれプリンタ事業の中心を占めてきた(図表 3 参照、また、プリンタの種類や印字方式については巻末資料 I を参照のこと)。

そもそもエプソンのプリンタ事業は、母体の 1 つである諏訪精工舎が 1968 年 9 月に発売したミニプリンタ「EP-101」に端を発する。ミニプリンタとは電卓や ECR 用のプリンタであり、数字などの活字をハンコのように印刷するものである。この量産化を担当したのが、当時は諏訪精工舎の子会社であった信州精器である。それ以降、プリンタ事業及び液晶事業は信州精器が担うようになり、他方で諏訪精工舎ではウォッチ事業、半導体事業、水晶事業、光学事業へと多角化が進められていった。信州精器は 75 年に「EPSON」ブランドを構築した。これには Electronic Printer (EP) の息子 (Son) を次々と誕生させていこうという意味が込められていた。82 年に信州精器の社名はエプソンに変更され、その後 85 年にエプソンと諏訪精工舎が合併して、セイコーエプソンとなった。

EPSON ブランドが構築されたのと同じ 1975 年には、パソコン用のプリンタの研究開発が始められた。その方式は、文字をドットに分解し、ドットの組合せに応じてワイヤピンが突出してインクリボンを叩くことで印字するという、ドット・インパクト方式である。ドット・インパクト方式の中でもエプソンは、1 文字ずつ順に印刷する SIDM 方式を採用した。

図表 3: エプソンのプリンタ事業の概要

	インパクトプリンタ		ノンインパクトプリンタ	
	ミニプリンタ	SIDM プリンタ	IJ プリンタ	その他
1960-70年代	68年: 諏訪精工舎、初製品「EP-101」発売 75年: EPSONブランド構築	75年: 研究開発を開始 79年: 初製品「TP-80」発売	75年頃: 諏訪精工舎で研究開発開始。 78年頃: 信州精器との共同開発。米カイザーの技術導入	この頃、熱転写方式、電子写真方式などの研究開発を開始
80年代		84年: 「JP-80」発売。9ピンカラープリンタ 88年: 世界初48ピン「VP-4800」発売	84年: 初製品「IP-130K」発売 89年: フィリップスがSIDMプリンタ向けに積層ピエゾを紹介	86年: サーマルプリンタ「AP-80」発売 87年: 国内初高性能ページプリンタ「LP-5000」発売 88年: ビデオプリンタ「CV-2000」ほか発売 88年: ビデオプリンタの開発中止
90年代			90年: 緊急印字ヘッド(KH)プロジェクト発足 93年: 「MJ-500」発売。新型印字ヘッド搭載。初の個人向け製品 94年: 「MJ-700V2C」発売。初のフルカラー製品。専用紙で720dpiを実現 96年: 「PM-700C」発売。「写真画質」を実現 98年: 「PM-9000C」発売。染料インク搭載のLFP 2000年: 「MC-9000」発売。LFPの課題であった顔料インク搭載をクリア	93年: エスパーレーザープリンタ「LP-8000」発売

出所: 各種資料より筆者作成

ドット・インパクト方式では、ワイヤピンの本数が印字品質を左右する。1979年に発売された最初の製品「TP-80」は7ピンであったが、翌年に9ピンの「MP-80」を発売すると、その後もピン数を増加させ、83年に24ピンの「UP-130K」を、88年に世界初48ピンの「VP-4800」を発売するに至った。パソコンの普及と足並みを揃えるように、SIDM方式プリンタは80年代を通じて売上げを伸ばし、世界向けSIDM方式プリンタの出荷高シェアにおいて同社は84年に日本電気を逆転すると、以後現在に至るまで国内メーカーの首位を維持してきた。

一方、プリンタメーカー各社は1970年代後半より、ミニプリンタやSIDMプリンタのようなインパクト方

式に代わって、ノンインパクト方式のプリンタ開発に着手し始めた。この時期は、さまざまな方式が開発される「百花繚乱」状態であった。エプソンの前身である信州精器も 70 年代後半に IJ 技術の開発を開始した。また信州精器では、通電熱転写方式(ビデオブリンタ)、サイカラー方式(カラー複写機)、電子写真方式など、他のノンインパクト方式の開発も並行して行われていた。

3.2 IJ 技術開発のスタート

1970 年代後半、エプソン前身である信州精器の設計部に儲けられた実験研究室では、様々な印刷原理に関する研究が行われていた。4-5 人の非常に小さな部隊ではあったが、インパクト方式を代替する可能性をもつ新たな印刷技術の基礎的な検討が行われていた。

IJ 技術の開発自体は、信州精器の親会社である諏訪精工舎で 1975 年頃に始まっていた。当時、諏訪精工舎では、技術担当の取締役の号令によって、様々なプリンタ技術の開発が行われていた。IJ 技術はその 1 つであった。70 年に諏訪精工舎に入社し、その後、ミニプリンタや IJ プリンタの設計や企画の中心人物であった花岡清二⁴は当時の様子を次のように振り返る。

そもそも IJ プリンタを開発しようといったのは取締役だった藤原さん⁵や相澤さん⁶・・・簡単にいうとプリンタまわりのテクノロジーはある程度全部手をつけようとした。それが始まりじゃなかったなかと・・・⁷。

IJ 技術の開発に携わっていた諏訪精工舎の技術者の一部は、信州精器の実験研究室に出向する形で、IJ プリンタ技術の開発を行っていた。1978 年に、初めてインクを飛ばして 1 つのドットを描くことに成功したことによって IJ 技術の実現性が見えたため、これらの出向者が本社に戻って本格的な開発を始めることになった。同時に、信州精器の技術者も諏訪精工舎に派遣されて IJ 技術の開発に参加することになった。ここに、諏訪精工舎と信州精器による IJ 技術の共同開発が始まった。

後に、エプソンの IJ 技術開発の一翼を担うことになる大渡章夫⁸も、1978 年の入社とともに、実験研究室に配属され、その後諏訪精工舎へと開発の場所を移した。このプロジェクトにおいて大渡に課せられた仕事は、IJ プリンタ用の新しいヘッドを開発することであった。

当時、IJ プリンタのヘッドの製法として、カイザー方式という新技術が広まりつつあった。カイザー方式とは、露光によって感光ガラスにノズルのパターンを転写して、その後にエッチング加工することで、一度に複数のノズルを形成する技術であった。それ以前の技術では、ガラス細工を製作するように、溶かしたガラスを引き延ばして細い管をつくり、1 つ 1 つのノズルを個別に製作していた。その細い管の一部に筒状の圧電素子を巻きつけて、電圧をかけることによってインクを飛ばすというやり方であった(これをグールド方式と呼ぶ)。当時主流であった SIDM プリンタの場合も、1 つ 1 つワイヤードットを製作することから、一度に複数のノズルを形成するカイザー方式は、信州精器の技術者にとっては極めて画期的な技術としてうつった。

新しい IJ プリンタヘッドを開発するにあたり、エプソンの技術者は、このカイザー方式の技術ライセンス

⁴ 現、エプソン代表取締役社長。

⁵ 藤原一司氏。元、セイコーエプソン取締役。

⁶ 相澤進氏。元、セイコーエプソン代表専務取締役。

⁷ 花岡氏に対する筆者によるインタビューより。2007 年 10 月 26 日。エプソン広丘事業所にて。

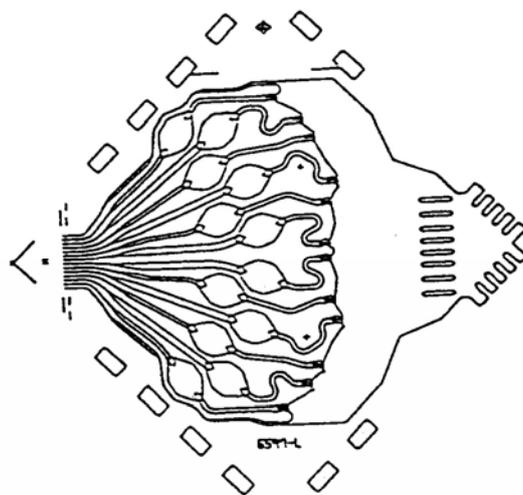
⁸ 現、情報機器事業本部機器環境 CS・PL 推進センター部長。

スを受けた。しかし具体的な製法にはエプソン独自の技術が活用された。例えば、最初に開発されたヘッドの材料に人工水晶が用いられたのは、クォーツ時計の水晶振動子の製造に関するノウハウを活用したからであった。水晶振動子は、人工水晶からエッチングでくり抜かれた音叉の形状をした水晶で電極を挟むようにしてつくられる。水晶振動子を内製していたエプソンにはこうした水晶の加工技術が蓄積されていた。

水晶振動子の製造の時と同じように、IJ ヘッドの製造でも、人工水晶の板にレジストを塗布して、露光によってマスクからパターンを転写した後、フッ化水素でエッチング処理をして、ノズル、キャビティ、流路の溝を形成した。図表4には、エプソンが最初に開発したプリンタヘッドのパターンが示されている。図に示されるように、1つのパターンで12本のノズルが形成されている。こうしたパターンを、人工水晶の両面に1ノズル分ずらして形成して、それぞれの面を水晶の板で封止し、さらにキャビティ部分に丸いピエゾ素子を貼付することによって、合計24本のノズルをもつヘッドの基本構造ができあがる。24本というのは、当時のSIDMプリンタの標準的なピン数に対応したものであった。

このようにして開発された新しいヘッドはHGヘッドと命名された。そして、HGヘッドを搭載した最初のIJプリンタ「IP-130K」が1984年に発売された。その後、90年に発売された「HG-4000」にいたるまで、HGヘッドを搭載したIJプリンタは合計で6機種発売されることになる。

図表4:HGヘッドのパターン



出所:エプソン資料

3.3 HGヘッドの問題

「IP-130K」は技術的には大きな成果であった。しかし、商品としては信頼性が極めて低く、市場での評判は散々なものであった。その後、IP-130Kの改善を任された花岡は、IP-130Kについて次のように述べている。

これがまあ、すごい代物で。売ってから、ノズルが目詰まりして、インクは出てこないわ。インクのパックですね、500ccから1リットル入っているような、それが破れて、プリンタの中がインクだら

けに…⁹。

こうした信頼性の問題とともに、50万円という高価格も市場で受け入れられない原因となっていた。そこで、IP-130Kに続いて導入された「HG-2500」では、コストダウンの努力によって、価格を25万円にまで下げた。しかしそれでもまだドット・インパクトプリンタに対抗するには十分ではなかった。「HG-4000」までの6年間、結局、エプソンの技術陣はIJプリンタのコストを大幅に低減させることができなかった。最大のコスト要因はHGヘッドにあった。

HGヘッドの製造はグループ会社に委託していた。当初の調達コストは約2万円。その後、コストダウンされたもの、それでも24ノズルで1万5,000円までにはしか下がらなかった。SIDMプリンタが24ピンから48ピンへと解像度を高めたのに対応して、HG-4000では、48ノズルを実現したが、その場合には、24ノズルのヘッドを2つ重ねて使用することになるため、ヘッドのコストは3万円にもものぼった。

材料費そのものが高いう問題もあり、ヘッドの材料を当初の水晶から通常のガラスへと変更したものの、それでもまだ高価であった。ピエゾ素子は大きさの割に変位量が少ない。薄くすれば大きな変位量をとれるのだが、当時の技術では十分に薄いピエゾ素子を製造することはできなかった。それゆえ、必然的に、キャビティを大きくせざるをえない。その結果ヘッドが大きくなりコストが増大する。また、ガラス板の上にクロム、金、レジストの順で蒸着をして、ノズルパターンを露光した後、フッ化水素でエッチングするという、製造方法の複雑さも高コスト要因となっていた。

問題はコストだけではなく、HGヘッドは、性能を向上させる上で、原理的な問題を抱えていた。まず、HGヘッドはガラスの両面をエッチングすることによって形成されるため、ノズルの断面が円ではなく半円になってしまう。それゆえ、目詰まりが生じたり、インクがまっすぐきれいに吐出されなかったりといった問題が生じる。それ以外にも、製品の完成度が低いことから、インク漏れや紙詰まりなどの問題も出てきた。同社のプリンタに対して寄せられてきた信頼を損なわないためには、購入後にかかりのサポートが必要となる状況であった。

また、図表4に示されるように、ノズルの高密度化とキャビティの容量確保を両立させるために、ノズルとキャビティの間に長い流路がある。ノズルとキャビティを離さないと配置できないため、設計上どうしても長い流路をもつ孔雀の羽のような形状になる。この長い流路ゆえに、流路にあるインク自身のイナータンス(慣性)が大きくなり、インクがノズルから吐出された後、インクメニスカス¹⁰の戻りに時間がかかってしまう。その結果、次のインクの吐出まで時間が長くなり、インク吐出応答性が上がらないという問題が起きる。吐出インク量を増やすと応答性はさらに下がる。また、ヘッド材質がガラスであるため、半円形状のノズルの周りにインクが漏れ、インクがまっすぐ吐出しないという問題もあった。

そのため、応答周波数を高く設定することができず、印字スピードに限界が生じる。さらに、インクの吐出量が少ないことは、普通紙へ印字する場合に特に問題となる。当時、IJプリンタがターゲットとしていたのは、SIDMプリンタの業務向け市場であった。SIDMプリンタは普通紙への印字が前提となっていた。それゆえ、エプソンでは、IJプリンタ開発においても、専用紙を使うことなく普通紙に印字することを念頭においていた。しかし、HGヘッドでは、インクの吐出量が少ないため、普通紙へのきれいな印字が難しい。この問題に対しては、PH13という極めてアルカリの強いインクを新開発することによって対応せざるをえなかった。当時の普通紙は酸性紙であったため、強いアルカリ性のインクであれば、紙の表面を瞬時に

⁹ 前掲、花岡氏に対するインタビューより。

¹⁰ 界面張力によって液体の表面がつくる凸状または凹状の曲面。

溶かして、インクが垂直方向にきれいに染みこんでくれた。

このように、HG ヘッドはいくつか原理的な問題を抱えていた。開発陣もそのことは十分認識していた。にもかかわらず根本的な対策がなされなかったのは、業務用のSIDMプリンタが対象とする市場を念頭に置く限りにおいては、それで大きな問題がなかったからである。ドット・インパクトプリンタよりも、多少、高速で静粛性が高い、という特徴だけで一定の市場は確保することができたのである。

こうした状況を一変させたのが、HP による「DeskJet」プリンタの導入であった。

3.4 DeskJet の衝撃

エプソンが業務用途に HG シリーズを展開していた背後で、他社においては、パソコンの普及に歩調を合わせたプリンタのパーソナル化が着々と進められていた。特にエプソンにとっての大きな脅威となったのはバブルジェット方式 IJ プリンタの台頭であった。

1975 年に考案されたバブルジェット方式 IJ プリンタは、エプソンによるピエゾ方式 IJ プリンタの発売とほぼ同時期に製品化された。84 年に HP が「ThinkJet」を、翌 85 年にはキヤノンが「BJ-80」を発売した。エプソンの IP-130K が約 50 万円だったのに対し、ThinkJet と BJ-80 は、それぞれ 495 ドルと 679 ドルであり、いずれもエプソンの製品に対して価格面では圧倒的に優位であった。1,000 ドルを切る価格は、明らかに民生用市場を狙ったものであった。当時のエプソンの IJ 技術でこのような価格を実現するのは到底不可能なことであった。

価格と同様、またそれ以上に衝撃的だったのは、ThinkJet において HP が使い捨てヘッドというコンセプトを提示したことであった。ピエゾ方式に比べた時のバブルジェット方式の決定的な弱点はヘッドの耐久性が低いことであった。ピエゾ素子は半永久的に使える。一方ヒーターで熱を加えるバブルジェット方式のヘッドは原理的に寿命が短い。キヤノンや HP がどんなにバブルジェット方式の開発を進めても、この点におけるエプソンの優位性だけは揺るがないと思われた。しかし、使い捨てとなると、耐久性そのものが問題とならなくなる。使い捨てヘッドの出現によってピエゾ方式は一気に不利な立場に追い込まれた。

さらにバブルジェットの優位を決定づけたのが 1988 年の HP による「DeskJet」の登場であった。それまでのバブルジェット方式は、低価格である一方で、ノズル数が少なく、解像度は限られていた (ThinkJet は 96dpi)。しかし、DeskJet は 300dpi という解像度を実現しながら 1,200 ドルという低価格で発売された。さらに、90 年に HP は、同じ 300dpi の解像度を確保し、より価格を抑えた「DeskJet500」を導入した。DeskJet500 の市場価格は 91 年には 500 ドルを割るレベルにまで低下した (藤原, 2002)。キヤノンも 90 年 10 月に 360dpi を実現した「BJ-10v」を導入した。印字速度に優れた同製品はパソコンユーザーから圧倒的に支持を得て、世界的な大ヒット製品となった (藤原, 2002)。

一方、同時期にエプソンから発売された「HG-4000」は 360dpi の解像度しかないにもかかわらず、価格は 30 万円程度であった。バブルジェット陣営との差は歴然としていた。

バブルジェット方式の台頭は、エプソンの IJ プリンタへの影響だけでなく、稼ぎ頭であった SIDM プリンタの売上げにも影響すると予測された。当時エプソンの利益の半分は SIDM プリンタによるものであり、その売上げの 90-95% を欧米市場が占めていた。値段が同じであれば、解像度と静粛性が圧倒的に高い IJ プリンタの方が良い。実際に、DeskJet は米国市場を中心にエプソンの SIDM プリンタの市場を急速に侵食していった。当時の衝撃を前出の大渡は次のように述べている。

衝撃的だったのは DeskJet。これで、HG でやっていてはだめだと思った。全てのプリンタがサ

ーマルジェットになってしまう、ドット(インパクト)だけでなく全てのプリンタ市場をとられてしまう、という強い脅威を感じた¹¹。

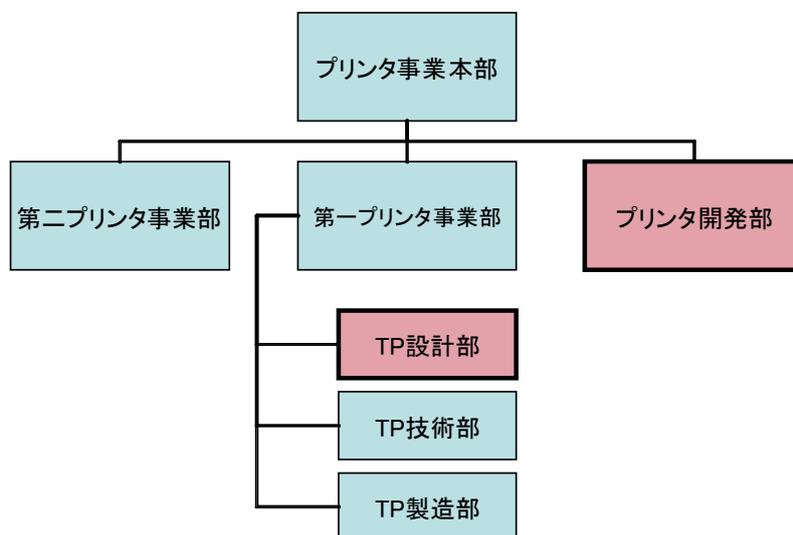
さらに、高価格帯においては、電子写真方式のプリンタが攻めてきた。1984年にキヤノンがレーザービームを用いた「LBP-CX」を発売し、86年までに世界で55万台を売り上げた。このことは、バブルジェット方式の台頭とともに、セイコーエプソンにとって、会社の存亡にかかわるほどの危機感をもたらした。同社の儲け頭のインパクトプリンタの売れ筋は1,000-2,000ドルという高額な業務用製品であったため、レーザープリンタと直接的な競合関係にあったのである。

このように、1980年代後半、エプソンが主力とするSIDMプリンタの市場に対して、低価格機セグメントではバブルジェット方式のIJプリンタが、また、高価格セグメントではレーザープリンタが攻め入ってきた。早急な対応が必要となっていた。

4. DeskJet への対応 : 2つの流れ

1988年の「DeskJet」の登場を受けて、エプソンでは新しいIJプリンタの開発に向けた活動が、プリンタ開発部(以下、開発部)とTP設計部(以下、設計部)の双方で進められた(当時の組織構造については図表5を参照のこと)。両者はそれぞれ独立して開発を進めたが、結果として、開発部と設計部で開発された技術が融合する形で、画期的なMACHヘッドが完成することになった。

図表5: プリンタ事業本部の組織の概要(1989年10月)



注: 第二プリンタ事業部はミニプリンタ、第一プリンタ事業部はターミナルプリンタ(SIDMプリンタやIJプリンタ)を担当
出所: 「セイコーエプソン株式会社組織図(1989年10月21日)」よりケース記述に関係する部分だけを抜粋して作成

¹¹ 大渡氏に対する筆者によるインタビューより。2007年9月20日。エプソン広丘事業所にて。

4.1 開発部における対応

バブルジェット方式IJプリンタやレーザープリンタが次々と市場導入される中、HG ヘッドでは到底太刀打ちできないことがはっきりしてきた。そこで、1987年、HGシリーズの商品化のために開発部から設計部に異動していた小藤治彦¹²が開発部に戻され、バブルジェット方式に対抗するピエゾ方式の印字ヘッド開発に注力することになった(小藤が完全に開発部に異動するのは89年2月)。小藤が開発部の部長となることで、開発部におけるIJ技術開発に重点が置かれることになったものの、後述するように、設計部でも残った技術者を中心にIJ技術の開発が続けられていた。したがって、80年代終盤から90年代にかけて、エプソンでは、開発部と設計部がそれぞれ独自にIJ技術の開発を行うことになった。

当初、開発部では、熱可塑性ポリマーのホットメルトをインクとして使用して、インク室内で振動子を上下に動かすことによってインクを吐出するVIC (Vibrator in Cavity) という方式を模索していた。ホットメルトを採用していたことからわかるように、IJプリンタの手軽さで、電子写真方式に対抗できるような印字品質を目指していたといえる。しかし、この方式では、実用性の高い製品を開発することはできなかった。

そこで、1988年、開発リソースをあらためてIJ技術開発に集中することになった。従来、開発部では、IJプリンタの他、ビデオプリンタやレーザープリンタの開発も並行して行っていた。80年代中盤といえば、カメラメーカーやエレクトロニクスメーカーから一斉に電子スチルカメラが導入された時期である。その出力機器の1つとして、一時期、ビデオプリンタにも注目が集まっていた。

しかし、電子スチルカメラは市場で受け入れられず、同様に、ビデオプリンタの需要も立ち上がらなかった。エプソンでは長野県岡谷市に拠点を置く第二プリンタ事業部でビデオプリンタを事業化していたが、業績が芳しくないため、撤退を余儀なくされていた。そこで、50人ほどいた開発メンバーを1987年頃から徐々にIJ技術の開発へと移管していった。ビデオプリンタの開発部隊は、最終的に、88年10月に解散し、全ての技術者がIJプリンタ開発部隊に統合されることになった。

ここに、総勢100名規模の新たなIJプリンタの開発部隊が再結成された。このときにビデオプリンタ開発から異動してきたのが、その後、エプソンのIJ技術開発の中核を担うことになる、中村治夫¹³と碓井稔¹⁴であった。

4.1.1 MLPの開発

IJヘッド開発を担当したのは碓井であった。碓井は当初、ホットメルトを使用した印字ヘッド開発の引き継ぎを依頼されたが、将来性がないと判断して、独自の方式を考案することにした。碓井は、インクを自在に飛ばすことさえ出来れば、圧倒的なパフォーマンスを実現できるはずだと考えていた。碓井は当時の様子を次のように述べている。

飛びを徹底的に極められるようなヘッドというのが、インクジェットの本質を極めるもので絶対不可欠なもの。・・・私が中学生だった頃、ボクシングでカシアス・クレイ(モハメド・アリ)という選手がいて、蝶のように舞い、蜂のように刺すというのがあるんですけど、こういうものをイメージしたんだよね。自在にインクをコントロールしてやれば、飛びは絶対にうまくいくはずだと¹⁵。

¹² エプソンを退社。

¹³ エプソンを退社。

¹⁴ 現、エプソン常務取締役。

¹⁵ 碓井氏に対する筆者によるインタビューより。2007年3月30日。エプソン本社にて。

インクを自在に飛ばすためには、まずもって、インクを吐出するパワーを確保しなければならない。そのためには、低電圧で大きな変形量が得られる薄いピエゾ素子を使いこなすことが必要となる。ピエゾ素子の変形量は、電圧をピエゾ素子の厚さで割った「電界強度」に比例する。だから薄さを半分にできれば、2倍の変形量を得ることができる。

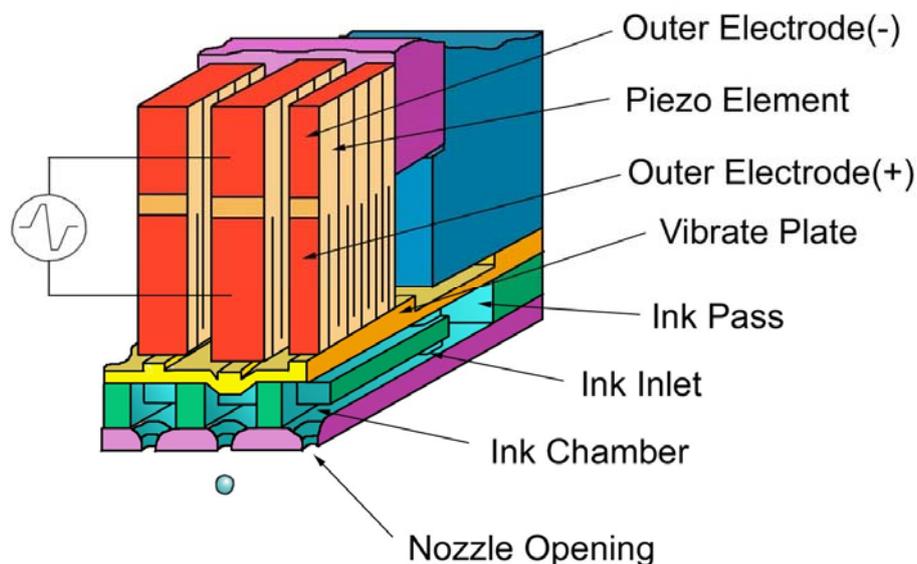
従来のHGヘッドでは、厚さ約100 μm のピエゾ素子が使用されており、100V以上の電圧を印加しても変形量はわずか0.1 μm であった。この電圧では電源もかさばり製造コストも高くなる。また、変形量が小さいため、キャビティを浅くして表面積を大きくせねばならず、小型化できない要因となっていた。さらに、吐出のパワーが小さいことは、印字品質の低さにもつながっていた。インク滴が細長い柱状で吐出されるためである。インク滴は球状でなければ、記録媒体に着弾した際に真円のドットとならず、またサテライトと呼ばれる微量のインクが周囲に飛び散ってしまうのである。

薄いピエゾ素子を作るのが難しいのは、それがセラミックであり、焼き上げてしまうと非常にもろくなるからであった。従来は、ピエゾ素子の固まりを薄くスライスして、それを縦横2mmくらいの小さな短冊にして、キャビティに貼り付けていた。こうした方法では、どうしても薄いピエゾを扱うのが難しい。そこで、碓井が考えたことは、焼き上げる前に構造体として作ってしまうという方法であった。ピエゾ素子を短冊状に積層した構造体をつくるのである。その構造体をキャビティに対して垂直に貼り付けて、縦方向に変異させることによって、インクを吐出する(図表6参照)。構造的には複雑になるものの、これであれば、薄いピエゾを実現できる。また、キャビティに対して縦方向にピエゾ素子をあてるため、ピエゾの長さを長くすることによって変位を出せるし、ノズルの密度を高めることも可能となる。さらに、積層セラミックコンデンサは既に市場に出回っていたため、製造技術は十分に確立されていると考えられ、技術的なハードルも高くないと判断された。

碓井は、こうしたアイデアをもって、国内のセラミックメーカーに製造を依頼した。そのような中、1989年10月、蘭フィリップスが、SIDMプリンタの印字ヘッド駆動用に、ピエゾ素子を重ね合わせた積層ピエゾのアクチュエーターをエプソンに持ち込んだ。当時はワイヤピンを電磁石で動かす方式が主流であったのに対し、ピエゾ素子で動かすことを提案したものであった。この売り込みにたまたま、碓井と上司である小藤、SIDMヘッドの開発責任者の興石修¹⁶の3人(主任、部長、課長)が同席していた。碓井らは、これをSIDMプリンタではなくピエゾ方式IJプリンタに用いることを思いつき、サンプルをもらって試したところ、積層ピエゾ素子では印加電圧30Vで1 μm の変形量が得られることが判明した。そこで、この積層ピエゾ素子を利用した印字ヘッドを開発することを決定した。このヘッドはMLP(Multi Layer Piezo)と名付けられた。

¹⁶ 現、エプソンコンシューマ機器事業部主管部長。

図表 6:MLP の構造



出所:エプソン資料

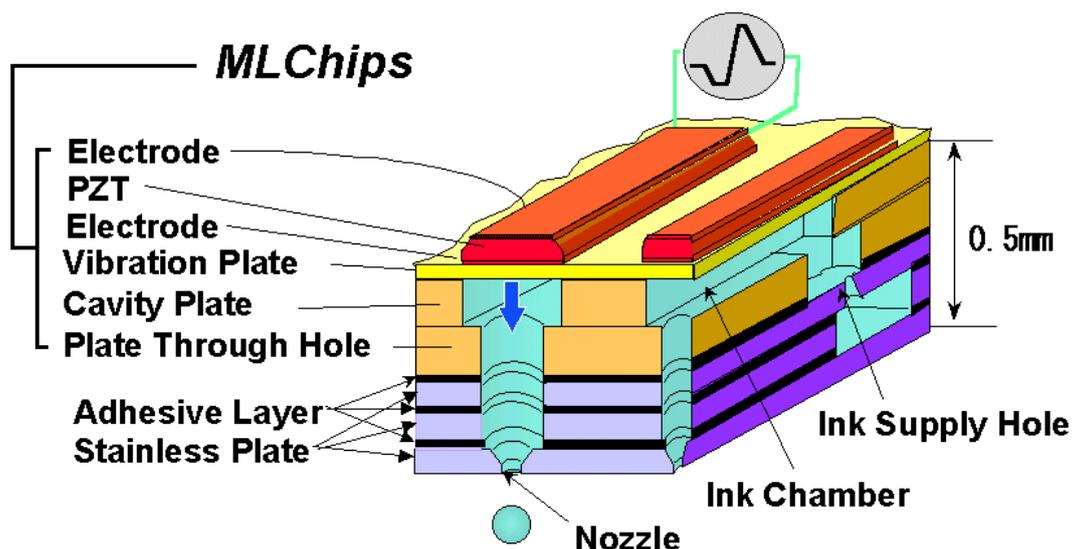
4.1.2 MLChips の開発

こうして、開発部のメンバーは MLP の開発に注力することになるが、碓井は、MLP とは別にもう 1 つのヘッド開発を模索していた。ノズル密度を高め、低電圧で変位を得るという点で、確かに MLP は有望である。しかし、MLP は構造が複雑であり、バブルジェット方式に対抗できるだけのコストダウンを実現できるのかが不安であった。構造の単純さという点では、従来の HG ヘッドのように、薄いピエゾをキャビティに貼り付ける方法の方が優れている¹⁷。この方式でピエゾ素子を薄くできればそれに超したことはない。インクを十分に吐出するには、ピエゾ素子を $20\mu\text{m}$ くらいまで薄くする必要がある。しかしこの薄さを従来の技術で実現することができないこともわかっていた。

そこで碓井は、ビデオプリンタ開発でやりとりのあった外部のセラミック企業と共同で、セラミックの積層体でインク室を作り、その上に、ピエゾをスクリーン印刷で薄く塗布した上で、全体を焼きあげるという方法を開発することにした。この方法であれば、セラミックのしっかりとした構造体の上にピエゾを塗布したあと焼き上げるため、ピエゾ素子がダメージを受けない。全体が一度に加工出来てしまうのでコストメリットもある。MLP に比べてノズル密度の点では劣るが、圧倒的に生産性が良い。この方式のヘッドは MLChips (Multi Layer Ceramic Hyper Integrated Piezo Segments) と呼ばれた(図表 7 参照)。

¹⁷ キャビティとピエゾ素子の間に振動板を挟むバイメタル構造になっている。

図表 7:MLChips の構造

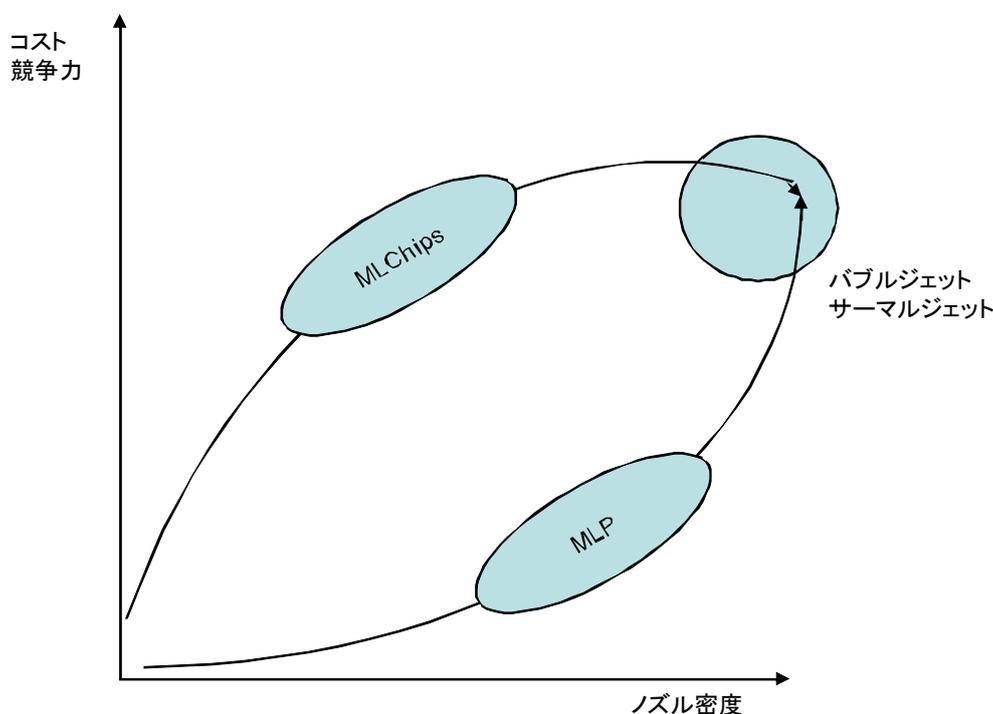


出所:エプソン資料

開発部の技術者は当面 MLP の開発に振り向けられたが、MLP と補完する技術として、確井は外部のセラミック企業との協力のもとで、次の技術として MLChips をロードマップ上に描いていた。

MLP と MLChips の 2 つを用意したのは、バブルジェット方式との競争を考えてのことであった。確井は、「MLP だけでは、構造が複雑でバブルジェット方式に対して限定的にしか勝負できない」と思ったという。バブルジェット方式のヘッドは、基本的にインク室にヒーターが付いているだけなので、構造的に非常に単純である。量産性も高い。ノズル密度を高くすることにも大きな制約がない。コストとノズル密度を両立することができる。しかし、ピエゾ方式では原理的にどちらかが犠牲となる。MLP ではコストが高くなり、MLChips では密度をあげることが難しい。そこで確井は 2 つを用意してバブルジェットに対抗することを考えていた。図表 8 にはこうした確井の考え方が示されている。

図表 8:コスト競争力とノズル密度のトレードオフ



出所:インタビューをもとに筆者作成

4.1.3 第3の方法：TFPの開発

MLPとMLChipsでバブルジェットを挟み撃ちするというのが当面の戦略であったが、碓井の頭の中には既に、さらにその先の究極の姿が描かれていた。碓井は次のように述べている。

最初から小さくて安ければいい。そのためにはものすごくピエゾを薄くしなければならない。現実的にすぐ出来る手段がみあたらなかった。原理的にはわかる。でも電圧をかけると破壊してしまう。最終的にはこういうので置き換えたいというイメージでやっていた¹⁸。

基本に立ち返って考えるなら、MLChipsのような構造で、ピエゾ素子が究極まで薄くなるのが一番好ましい。1990年当時の技術では到底実現できないと考えられたが、将来的にはそれを実現しなければならない。そこで、碓井は90年に、ピエゾを究極まで薄くしたヘッドの技術開発を、事業本部ではなく本社R&Dで行うように依頼した。この技術は、TFP(Thin Film Piezo)と呼ばれるものである。当面は本社R&Dの4-5人のメンバーがこの開発にあたることになった。基礎的な開発を経て、95年頃にメンバーは事業部に移った。その後、TFPの商品化は2002年から本格化し、最終的には開発がスタートしてから17年後の2007年春ようやく実現することになった。

このように碓井は、1989年の時点でエプソンのIJ技術の3つの方向を描き、それを実行に移していた。1つは、当面の重点的に取り組むMLPである。これはDeskJetに対抗できるだけのノズル密度の実現

¹⁸ 前掲、碓井氏に対するインタビューより。

が焦点となっていた。次は、量産性の高い MLChips。社内資源が MLP に割かれているため、外部企業との共同で開発を進めた。そして、最後が TFP。社内技術として囲い込む究極の技術であるが、事業本部でできるような段階でないため、本社 R&D で技術蓄積をするという道を選んだ。碓井は次のように述べる。

いますぐできることと、長期的なデバイスとしての競争力を維持することを両立しなければならぬ¹⁹。

4.1.4 メニスカスコントロール

バブルジェット方式に対抗するために碓井が考えていたもう1つの方法は、吐出するインク滴を自在にコントロールすることであった。これが前出のカシアス・クレイ(モハメド・アリ)の比喩で表現されていたことである。ピエゾ方式は、確かに、ノズル密度という点でバブルジェット方式に劣る。しかし、ノズル数が少なくても、同じノズルから小さなインク滴を吐出することができれば、細いノズルと同じ効果が得られる。幸いなことに、ピエゾ方式では、ピエゾ素子の物理的な変位によってインクを吐出するため、電圧のかけ方によって、吐出するインク量を制御することが可能である。これはバブルジェット方式に対して明らかな優位性である。

このようなインク滴の制御をメニスカスコントロールという。メニスカスとは、ノズルの先端で生じるインク界面のことを指す。後述するように、このメニスカスコントロールによって、高精細なカラー写真を最初に実現したのが、1996年に発売された「PM-700」である。

4.2 緊急ヘッドプロジェクト (KH プロジェクト)

1988年に開発部の資源を IJ 技術開発に集中させ、89年にはフィリップスの積層ピエゾと出会うことによって、MLPの実現可能性が見えた。そこで、エプソンでは、事業本部をあげて、新しい IJ ヘッドの開発を進めることになった。具体的には、90年6月、開発部を中心として、総勢80名の機能横断的なプロジェクトが結成された。この本部長直轄のプロジェクトは「緊急ヘッドプロジェクト(KHプロジェクト)」と呼ばれた。文字通り、IJ ヘッド開発の緊急性をあらわしている。KHプロジェクトには、事業本部の他部門や本社部門などから、光学関係、水晶関係の技術者も含めて、様々な技術者が集結した。

KHプロジェクトの目標は、レーザープリンタとバブルジェット方式 IJ プリンタの両方を凌駕する高品質・高コストパフォーマンスのピエゾ方式 IJ プリンタを開発することであった。具体的には、インクの吐出制御性、インクの選択可能性、および印字ヘッドの耐久性というピエゾ方式の長所をさらに伸ばす一方で、低コスト化・小型化を図ることでピエゾ方式の短所をなくすという目標が掲げられた。さらに、将来のカラー化・高速化に対応できるようにすることも必要であった。具体的には MLP の商品化に照準が当てられた。

この時期、プリンタ事業本部では、KHプロジェクト以外にも、2つの機能横断的なプロジェクトが結成されている(これは設計部を中心としたプロジェクトである)。1つは、「KLプロジェクト」と呼ばれ、レーザープリンタ開発に関するプロジェクトであった。OEM でレーザーエンジンを調達して製品化し、拡大するレーザープリンタ市場に対応しようとしたプロジェクトである。もう1つは「KSプロジェクト」と呼ばれたもので、SIDMプリンタを小型化、低価格化して、民生用市場での競争力を維持することを目的としていた。

つまり、短期的には、低価格の IJ プリンタに対しては SIDM の小型化・低コスト化で対応し、高価格の

¹⁹ 前掲、碓井氏に対するインタビューより。

レーザープリンタに対しては OEM による対応を行う。そして、なるべく早く、両者を凌駕する IJ 技術の確立を目指すというのが、シナリオであった。いずれにせよ、鍵となったのは、バブルジェット方式を越える MLP の開発であった。

KH プロジェクトには大きく 2 つのテーマがあった。1 つはシリアル用の IJ ヘッドの開発、もう 1 つはページプリンタ用の IJ の開発であった。後者は、インクにホットメルトを使用するタイプであった。前者はバブルジェット方式の市場をターゲットとしたもので、後者は電子写真方式の市場をターゲットとしていた。最終的に商品化されたのは前者のタイプである。

KH プロジェクトでの活動が進み、1991 年 4 月になると、MLP の大枠の技術コンセプトが固まった。まだ、インクを思うように飛ばすことはできなかったものの、商品化に向けた方向性が明確になったため、碓井は開発の場所を設計に移した方が良いと判断し、数人の部下を連れて、開発部と兼務という形で設計部へと異動した。そのときの判断について碓井は次のように述べている。

設計に行った方が、具体的な商品化のプロセスが早くなると考えて、開発を兼務しつつ設計部に異動した。設計は絶対に商品化するところなので、要するにあまり変なターゲットを開発にながてやるよりは、これでもう決めてやった方が商品化できるだろうということで、・・・十分にはまだできていなかったですけど、開発との兼務で、私は設計の方に行きました²⁰。

設計部に異動したものの、まだ、ヘッドが十分にできあがっていなかったことから、設計部からは様々な注文が出される一方で、商品化に向けた十分な協力を得ることができなかった。例えば、360dpi で考えていた解像度も、HP のプリンタが 300dpi であるから、そこまで落とすようにという提案を受けた。結局、設計部では、MLP はまだ商品化できる状況ではないと判断された。また後述するように、その頃設計部では、独自に開発した新しいヘッドを搭載した新機種「HG-5130」の発売が秋に迫っていた(1991 年 10 月発売、次節参照のこと)。設計部としては、むしろ、設計部で開発した機種の商品化を応援してもらいたいという状況だったのである。

そこで、碓井は、1991 年 7 月、一旦設計部から開発部に戻り、あらためて MLP の完成度を高めることに専念することになった。そして、91 年 10 月、インクを意図通り飛ばすことができるようになったため、あらためて設計部に対してプレゼンを行った。そのときには設計部でも、HG-5130 の次の機種に向けた低コストのヘッド開発をすすめていたが、そのヘッドの性能が十分にでないということで、MLP の量産化開発に踏み切ることになった。

新しい MLP ヘッドは MACH 印字ヘッド (Multi-layer Actuator Head) と名付けられた (米国では MicroPiezo と呼ばれた)。そして、MACH ヘッドを搭載した初めての機種が 1992 年 12 月に米国で「Stylus-800」として先行発売された。その後日本では同機種を 93 年 3 月に「MJ-500」として発売した。これはエプソン初の個人向け製品であり、価格は 7 万 4,800 円だった。これでようやく、バブル方式への反撃体制が整った。

しかし、本格的に個人向け市場をとらえるには、さらなるコストダウンと性能向上が求められていた。社内では、MLP は低コスト化に無理があるということから、キヤノンからバブルジェット方式のヘッドを購入することも検討されていた。実際に、MJ-500 の導入と同時に、設計部では、MJ-500 のヘッド部分だけをキヤノンから購入したバブルジェット方式のヘッドに交換して、「MJ-300」として市場に導入している。

²⁰ 前掲、碓井氏に対するインタビューより。

MJ-300 は予想以上の売上を達成した。

MJ-300 が市場のローエンドを支えてくれたために MJ-500 の値崩れが抑えられ、エプソンの個人向けプリンタ事業は首尾良く立ち上がることができた。しかし、MACH ヘッドを開発した碓井は、こうした状況を悔しい思いで見ている。それが碓井をさらなる技術開発へと動機づけた。碓井はそのときのことを次のように語っている。

ヘッドができなければインクジェットはできないので、事業運営として配慮してやっていたとは思いますが、あまりおもしろくはなかったですね。…でも絶対負けまいと思ってやったから…。²¹

実は MACH 印字ヘッドの実現には、積層ピエゾの他に、もう 1 つ重要な技術が必要となっていた。それは金属のノズルプレートである。これは、設計部で進められていたヘッド開発の過程で開発された技術であった。

4.3 設計部での開発過程

HP の DeskJet が登場したことによって HG ヘッドでは全く太刀打ちできないことは HG シリーズを商品化してきた設計部の開発メンバーにも明らかであった。設計部を指揮してきた小藤が 1987 年に開発部に異動することになり、エプソンの IJ 技術の開発は再び開発部に戻された形にはなったものの、設計部も手をこまねいてみているわけではなかった。MACH ヘッドは、実現すれば、確かにバブルジェット方式に対抗できるかもしれない。しかし、時間がない。本当にタイムリーに開発できるのか。こうした不安を感じて、設計部でも当面市場に対応できる商品の開発を進めることにした。そのときのことを、設計部の課長として商品化の責任者であった大渡は次のように語っている。

(DeskJet が出たことで)これは大変だということで。MACH ジェットは確かに高密度化できる。でも普通新しい技術開発には時間がかかる。経験的にいっても簡単にはできない。新しい材料がきても、すぐにはモノに出来ないだろうと思った。(MACH ジェットが)できたら、次は、そこにバトタッチすればいいと私は思っていた。でも 4-5 年はかかるだろうと思っていた。5 年先を見たときに HG ではとても戦えないと思った。どうあれ、応答性を高めなければならない。あれ (DeskJet) にはかなわないから。なんとかしなければと²²。

HG ヘッドの弱点ははっきりしていた。1 つは、ガラスを材料に使うこと、そして、加工をグループ会社に任せていることによる高コストであった。もう 1 つは、設計上ノズル密度を高めるのが難しいこと、ノズルとキャビティの間にある長い流路によって応答性と吐出性が悪くなると同時に小型化が難しいこと、さらに、ノズル形状が半円になることによる印字品質の悪化であった。こうした問題を解決した上で、4-5 年は市場で競争できるヘッドの開発が目標となった。

まず設計陣は、コスト削減のために、ヘッドの材質をガラスから射出成形が可能なプラスチックに変更して、内製化することにした。当時設計部長としてこの開発を指揮していた花岡は、そのときのことを次のように振り返っている。

²¹ 前掲、碓井氏に対するインタビューより。

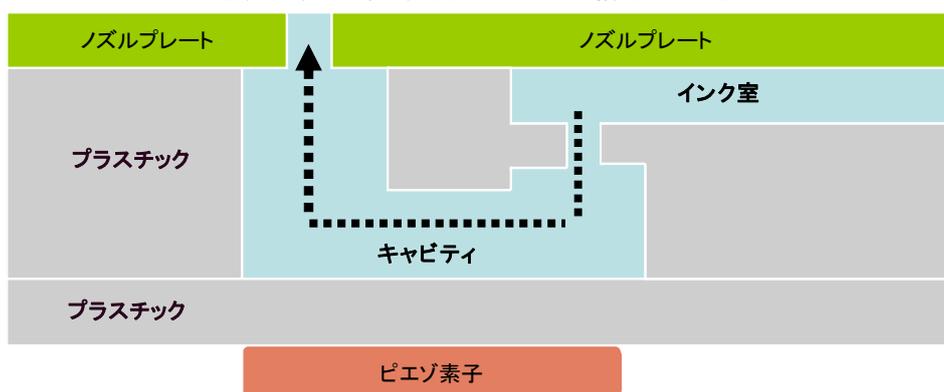
²² 前掲、大渡氏に対するインタビューより。

…もうやめようかと思っていたプラスチックのキャビティがあった。それでも一度商品化するかと。ゴミ箱に捨ててあったキャビティを拾ってやってみるかというのが 5130 (HG-5130、以下参照) だった²³。

プラスチックのキャビティを採用するとともに、ノズルとキャビティの間の距離を短くするように根本的な再設計が行われた。図表9にはこの新しいヘッドの1つのノズルの断面構造が示されている。図が示すように、プラスチックを両面から成形してインク室を作り、図の底面は別のプラスチックの板で封止して、振動板とピエゾ素子が貼り付けられる。インクの流路は、後からエキシマレーザーで穴を空けていた。ヘッドの上面には、後述する SUS のノズルプレートが貼付されている。こうした構造が、大きなプラスチックの板に 48 個並べられて1つのヘッドが成形された。

断面図が示すように、HG ヘッドに比べて、このヘッドでは流路が短いのが特徴である。これは DeskJet に対抗するだけの応答性を目指したことによる。ただし、ノズル密度はバブルジェット方式に及ばない。それゆえ、360dpi を実現するために、ヘッドを斜めに取り付け解像度を高めるという方法をとった。

図表9: 設計部が開発したヘッドの構造(断面図)



注: 図中の矢印はインクの流れを示している。

出所: インタビューをもとに筆者作成

4.3.1 ノズルプレートの開発

このように、ヘッドの材料をプラスチックにすることは、コストダウンに大きく寄与したが、他方で、プラスチックのノズルには耐久性に問題があった。そこで、設計陣はキャビティのみをプラスチック製にした上で、ノズルはステンレスの板に穴を開けて成形することにした。ただし、ノズルの先端の形状は真円に近くなければ、インク滴が記録媒体に着弾した際に真円のドットにならないため、印字品質が悪化する。レーザーで加工するという方法もあるが、焼け跡が残る真円にはならない。そこでエプソンではプレス加工することを選択した。しかし、厚みのある金属板に極細の穴を開けるのは容易なことではない。打ち抜いてしまえばバリもでるし、寸胴の細い穴だと流路抵抗が上がるという問題がでて応答性が悪くなる。設計陣と

²³ 前掲、花岡氏に対するインタビューより。

しては、穴の断面の上部が広くて下部が細い漏斗のような形のテーパーをいれることができれば最適であると考えたが、そんな複雑な加工が生産技術側でできるとは考えていなかった。しかし、高島永光²⁴を中心とした生産技術者たちはこれを実現した。大渡は次のように語っている。

これには私も驚きました。(生産)技術からは、「設計はとにかく一番いい設計をだしてくれと」。でもたぶん出来ないだろうなと思って出してみたら、できちゃった²⁵。

エプソンには時計の軸受けの加工に端を発する極めて高い精密加工技術が蓄積されていた。それが SIDM における部品加工技術に引き継がれ、今度は IJ ヘッドに活用されたのである。最終的にはノズルの先端の直径がわずかに 30 μm という、精密プレス加工技術が完成した。この金属製ノズルプレートの採用により、印字ヘッド製造のコストと作業時間は 3 分の 1 に低減した。

ノズルプレートの開発でもう 1 つ画期的であったことは表面のテフロン加工である。インクをとばすとノズルプレートの表面は濡れる。この濡れが均一でないと、残ったインク滴が邪魔をして、インクがまっすぐに飛んでくれない。そこで設計陣は、表面に撥水コート进行することにした。具体的にはニッケルにテフロンの粉を混ぜて溶かし、表面をメッキするという方法をとった。ノズルプレートの穴を加工した後で、その穴をふさがないようにメッキするのは非常に難しい技術が必要となるが、エプソンはこの技術も確立した。

4.3.2 HG-5130 の導入とさらなる課題

この金属製ノズルプレートを採用した印字ヘッドを搭載した「HG-5130」は 1991 年 10 月に市場導入された。価格は 22 万 6 千円と、前の機種より 5 万円ほど安くなったものの、キヤノンや HP の製品に比べるとなおも高価なままだった。

新しいヘッドには課題が残されていた。1 つはコストの問題である。ヘッドは安くなったとはいえ、まだ 6,000 円から 8,000 円のコストがかかっていた。コストが下がらない理由の 1 つは、ノズルプレートの値段が高いことであった。また、プラスチックの成形が難しいという問題もあった。HG ヘッドよりは簡単な構造になっていたとはいえ、流路を加工する部分を薄く残すようにするために複雑な金型を使わなければならなかった。この金型のコストも全体のコストを押し上げた。さらに、インクの流路を後から穴空けするために使用されたエキシマレーザーの減価償却費も重荷になった。当時、エプソンは 1 億円するエキシマレーザーを 3 台購入していた。

HG-5130 の開発ではインクも新開発した。既述のとおり、HG シリーズでは酸性紙を想定して強いアルカリ性のインクを使用していた。しかし、民生用を考えるとアルカリの強いインクは使えない。また、当時は、紙が酸性紙から中性紙へと大きく転換した時期であり、その意味でも、従来のインクは変更を余儀なくされていた。そこで設計陣は HP の DeskJet で使われていたものと同じタイプの「緩浸透型インク」(後述)を採用することになった。しかし、このタイプのインクだと、より多くのインク滴をとばさないと印字品質を保つことができない。従来以上にピエゾ素子の変位を大きくとる必要があった。

4.3.3 コストダウンヘッドの開発

MACH ヘッドの開発と平行して、設計部では大渡を中心にして「HG-5130」のヘッドに続く次のヘッド

²⁴ 現、エプソン機器生産技術部課長。

²⁵ 前掲、大渡氏に対するインタビューより。

開発を始めた。大渡は、MACH ヘッドができれば、全てそちらに移管したいと考えていたが、MACH ヘッド開発の進捗状況が思わしくなかった。実際に、一旦は設計に降りてきたものの、技術が不完全であったため、開発に戻されてしまっていた。MACH ヘッドがもしモノにならないようなら、もう開発部を当てにすることはできない。設計部でも早急に次に向けた用意をするように、と部長の花岡から指令が下った。

大渡も、MACH ヘッドの実現可能性に疑問を持ち始めていた。しかし HG-5130 のヘッドでバブルジェット陣営と4年も戦えるとは思えなかった。何か新しい技術が必要であった。大渡は当時を振り返って次のように述べている。

一番心配だったのは積層ピエゾ。短冊にするのが本当にできるのか。ボイドがでてしまうだろう。また感光性樹脂を重ねなければならない²⁶。DeskJet に対抗できるのかという心配があった。DeskJet は1層でつくっている。MACH ヘッドは構成が複雑だった²⁷。

そこで大渡は、HG-5130 のヘッドの最大の問題であるコストの問題を根本的に解決することを考えた。コストを削減するためには、テフロンメッキを施した高価なノズルプレートを用いることなく、ノズルを含めて全てプラスチックで作ることが求められた。基盤両面を使った複雑な流路構造や、ノズルの撥水処理も見直す必要があった。

こうした検討の結果、プラスチック基板の片面にインク室、流路、キャビティを形成し、プラスチック天板で封止した後、ノズル面(側面)を有機撥水処理を施してエキシマレーザーでノズル穴をあける、というヘッド構造を考案した。この構造では、ノズル密度は上がらないが、コスト削減効果は大きい。エキシマレーザーの減価償却という意味合いもあった。あくまでもコスト重視の設計であった。

しかし、有機撥水処理を施してエキシマレーザーで加工したノズルでは、インクの漏れが不均一で、インクがまっすぐに飛ばないという致命的な問題があった。こうした問題を検討している頃、開発部に戻って MACH ヘッドの開発をしていた碓井のプレゼンがあった。MACH ができたのであれば、そちらに道を譲るのには何の問題もなかった。また大渡は、生産技術者とのやりとりからも、MACH ヘッドの競争力に確信をもった。また1990年代に入って、接着性の良い樹脂が出回ってきたことも MACH の実現可能性を高めていた。大渡は次のように述べている。

MACH でいけると思ったのは、生産技術の担当に作れるのか聞いたところ、「こっち(MACH)の方が楽ですよ」という答えを返ってきた。これを聞いた時にいけると思った。(MACH が)本当に楽にできるなら、小型だから、量産効果があるし歩留まりも上がる。(プラスチックヘッドとは違って MACH は)多数個取りができ、いっぺんにつくれるから²⁸。

こうして、設計部でのヘッド開発はストップして、MACH ヘッドの開発に全て統合されることになった。碓井は設計部で MACH ヘッドの商品化開発を先導した。一方の大渡は、碓井に代わって開発部に異動し、碓井のプロジェクトを引き継ぐと同時に、カラー化という次の大きな開発に取り組み始めた。

²⁶ 初期の MACH ヘッドでは感光性の樹脂を積層してエッチングすることによってヘッドを成形するという複雑な方法をとっていた。

²⁷ 前掲、大渡氏に対するインタビューより。

²⁸ 前掲、大渡氏に対するインタビューより。

5. カラープリンタの開発

5.1 関連技術の開発によるカラー化

エプソンが「MJ-500」を発売した頃、HP は次の製品としてカラープリンタの導入を開始していた。当時は、カラー印刷が必要なデジタル画像はもちろん、年賀状印刷という需要すらまだなかったものの、熱転写方式のカラープリンタが一部のパソコンマニアの間では売れていた。IJ プリンタのカラー化は必然の流れに見えた。「HG-5130」の開発を終え、設計部から開発部に移った大渡には、1 日でも早くカラープリンタを出せという命令が事業部長より下った。

しかし、カラー化は、単にインクの色を追加すれば済む問題ではない。印字ヘッドのみならず、インクや紙、画像処理のアルゴリズム、紙送り機構など、関連技術の開発とその融合が必要となる

カラー化するには、まず、インクの改良が必要であった。大学で化学を専攻した大渡は、カラーインクにはモノクロインクと異なる性質が求められることを知っており、1986 年頃からカラーインクの開発に取り組んでいた。

モノクロインクと同じ性質のカラーインクを採用すると、インク同士が干渉して混色を起してしまう。これは、モノクロインクが「緩浸透型インク」であったからである。緩浸透型インクは、紙に付着した後にインクの水成分を蒸発させ、染料だけを定着させる。これにより紙の表面にくっきりとした黒色の文字がきれいに残る。ところが、このインクは定着するのに約 10 秒を要する。それゆえ、カラーインクに緩浸透型インクを採用すると、前のインクが乾かないうちに次に吐出されたインクと混ざり合い、混色の問題を引き起こしてしまう。

そこでまず、紙にすばやく浸透する浸透型のインクに変えることにした。ところが、従来の浸透型インクでは、付着したインクが紙の繊維に沿って水平方向に浸透していくため、ドットがきれいに形成できないという問題があった。そのため、インク組成の浸透剤成分を検討して、インクが均一に紙に浸透できる「超浸透型インク」を開発した。このインクは数ミリ秒という短時間で紙に定着するため、次々と異なる色のインクが付着しても混色は生じない。こうして一旦は、フルカラー化が可能になったと思われた。

ところが、1993 年春、印字ヘッドの不具合が発覚した。調査の結果、これはキャビティ部がきちんと重合していなかったためだと判明した。超浸透型インクは溶剤の量が多いため、溶剤に強いエポキシ樹脂をアクリル樹脂に混合し、これらの感光性樹脂を層状に重ねることで、キャビティ部が形成されている。従来の工法では、まずキャビティ部を紫外線で硬化させ、次にこれを加熱して振動板と圧着する。ところが、この方法では、アクリル樹脂が 6-7 割しか重合していなかった。それゆえ、インクがアクリル樹脂に染み込んでしまい、結果としてキャビティ部と振動板の剥離や、キャビティ部内の樹脂と樹脂の剥離を招いていた。そこで大渡は、生産技術部とともに、従来の工法の最終段階で、電子線を照射するという解決策を生み出した。電子線は金属性の振動板を透過し、樹脂の重合度があげることができた。こうして、印字ヘッドの不具合はようやく解決をみた。

しかし、インクおよび印字ヘッドの問題は解消されたものの、カラー印刷には、A4 サイズで数分かかり、グラフィック印刷となれば、画像処理に時間がかかるため、10 分近くの時間を要するというように、印刷速度の問題は解消されていなかった。そこで、印刷速度の問題を打ち消すほどの際立った特長を製品に付与するために、解像度を 720dpi まで高めることにした。商品化の責任者であった花岡はそのときの考え方を次のように述べている。

モノクロだと価格競争になる。この形勢をモノクロだけでは逆転できない。全体の流れからすると、MJ-500を出して、次はカラー、720dpi、10万円以内、ここに行き着くかなど。仕様のにも、めっちゃ遅い。めっちゃ(時間が)かかるんだけど、世の中になく商品を出す、という発想²⁹。

解像度を高めるにはドットの直径を小さくせねばならない。しかし、360dpiの解像度にあわせた印字ヘッドでは、720dpiの解像度の微小ドットを吐出するのは不可能である。そこでエプソンでは、インクドットを小さいまま保てる紙の開発と、印字ヘッドの移動および紙送りの方法を改良するという、画期的な考えを採用した。

当時のインク滴の量は40plであった。これは、解像度360dpiの普通紙プリントを想定したときの適切なインク量であり、インクが紙に付着するとドット直径が100 μ m程度になる。それに対して720dpi印刷に対応するためにはドットの直径を40-50 μ mに抑える必要がある。そのための専用紙を製紙メーカーと共同開発した。次に、印字ヘッドの横方向の移動距離(分解能)を半分にするるとともに、縦方向に紙を送る距離も半分にするという改良を加えた。

以上の関連技術の開発の結果、1994年6月に初のフルカラー製品「MJ-700V2C」が発売された。社内ではさほど自信が持てないまま発売されたこの製品は、9万8千円という価格と、普通紙で360dpi、専用紙で720dpiという高解像度が支持され、発売後1年で国内36万台、世界で240万台を販売した。当時、国内のプリンタ市場の規模が、全方式を合計しても30万台であったことから、この製品が爆発的に売れたことがうかがえる。

5.2 MACH 印字ヘッドの進化と「写真画質」の実現

「MJ-700V2C」の発売により、エプソンはカラー化に成功した。だが、もともとビデオプリンタを開発していた確井や開発部長に就任していた中村は、当初より、単なるカラー化ではなく、カラー写真の印刷を目指していた。そのため、「きれいだが写真ではない」として MJ-700V2C には満足していなかった。「写真画質」の実現には、カラー化の実現と同様に、さらなる関連技術の開発が必要であった。

まず、インクに関しては、やはり緩浸透型インクの方がきれいに印刷できることが判明した。超浸透型ではインクが紙に染み込みすぎるために、色が徐々に薄くなってしまふ。そこでエプソンは、1995年6月、くっきりとした黒を残すために、モノクロインクのみ緩浸透型インクに戻した「MJ-800C」を発売した。

しかし、この決断は、混色に対する予想以上の不評を買う結果となった。さらに、専用紙で印刷した画像を加湿器の近くに置いたところ赤みを帯びた、というクレームも寄せられた。これは、マゼンタインクに用いられた色材の溶解性が高く、ドット直径を40-50 μ mに抑えられる専用紙を用いたとしても、高湿度な環境ではマゼンタインクが再溶解してマゼンタのドット直径を大きくしてしまうためであった。エプソンでは湿度85%程度で耐久試験を実施していたため、90%以上の高湿度下でこのような問題が生じることを発売前に把握できなかったのである。このような経緯で、エプソンはMJ-700V2Cの成功でキャノンから奪ったシェアを再び奪い返された。その後、1996年6月に、マゼンタインクを改良し、モノクロインクを再び超浸透型に戻した「MJ-810C」を発売することで、ようやく信頼を取り戻した。

しかし、写真画質の実現には、さらに克服すべき課題があった。高画質化には、原画像の色と階調を忠実に再現することと、インクドットの「粒状感」をなくすことが不可欠である(原画像の再現法については巻末資料Ⅱを参照のこと)。そのためエプソンでは、「インクの6色化」とインク滴の量を減らす「マイクロ

²⁹ 前掲、花岡氏に対するインタビューより。

ドット化」を図った。

この頃エプソンでは、普通紙にもよく浸透するようインクの色材を増やし、インクの濃度を高めていた。ところが専用紙ではこれがあだとなり、ドットの粒状感が出てしまう。そこで、イエロー、マゼンタ、シアンの3色のうち、ドットが粒として視認されやすいシアンとマゼンタについては、色材を従来の4分の1に減らしたライトシアンとライトマゼンタというインクを開発した。

5色のカラーインクとモノクロインクを合わせて6色も使用するとすると、画像処理のアルゴリズムもより複雑になる。MJ-700V2Cの時には、外部企業から購入した画像処理ソフトウェアを搭載していたのだが、その後、開発部では、独自にハーフトーンアルゴリズムの開発に取り組んでいた。幸いなことに、インクの種類を4色から6色にしても、印字ヘッド機構にはほとんど変更が必要なかった。そのため、画像処理の開発に資源を投入することによって、6色化用で高速の誤差拡散を可能にする画像処理アルゴリズムの独自開発に成功した。

またこの時期、ピエゾ素子に印加する電圧を調整するアルゴリズムも開発された。IJ技術では、インクを吐出するのかわからないのかという、2値化の処理がなされている。このようなインク吐出の有無に加えて、インクを「どの程度」吐出するのかわからない、インク滴の量を調整するメニスカスコントロールのアルゴリズムが開発された。これにより、インク滴を大・中・小の3段階でコントロールできるようになり、インク滴の量を従来の40plから13plに減らすマイクロドット化に成功した。マイクロドット化は、粒状感をなくすのみならず、一定面積あたりのドットの数を増やすことで階調の数を増やすという点においても、写真画質に不可欠であった。

さらに開発陣は、画像にできる「バンディング」と呼ばれる縞やすじを避ける為に「マイクロウェーブ」と呼ばれる方式を採用することとした。マイクロウェーブを実現するには、紙送りを小刻みにすることも必要となる。開発陣は、1/720インチずつ紙送りするモーターを搭載することにした。ただし、720dpiという高解像度になると、印刷速度が極端に落ち、A4サイズの写真の印刷では1時間も要することになる。こうした性能犠牲を払っても、開発陣は、飽くまでも写真画質の実現にこだわった。

大渡は、インクに加え、専用紙の開発も任されていた。「写真」というからには、光沢のある紙に印刷せねばならない。従来の専用紙は、インク吸収体としてシリカをコーティングしており、画像は白味を帯びていた。これを透明にするには、シリカより粒子の細かいアルミナゾルをコーティングすればよい。そこで、アルミナゾルを粉状にしてコーティングする技術を他社と共同開発し、上述のMJ-800C発売の頃に合わせて、「光沢フィルム」という呼び名の光沢紙を発売するに至っていた。

これらの関連技術の開発を経て1996年10月に発売されたのが、「PM-700C」である。製品名には、写真と同等の画質だとアピールするために、「Photo MACH」の略である「PM」を採用した。PM-700Cは、5万9,800円と安価ながら、圧倒的な高画質を実現した。この製品は、約1年にわたり約25%というシェアを獲得するという大成功を収めた。

その後1997年4月に、視認限界に近い1,440dpiという高解像度を謳った「PM-750C」を発売すると、海外でも人気を博し、ついにシェアでキヤノン抜きを返した。

その後もエプソンは、1枚200円と高価であった光沢紙の値段を下げるため、写真の印画紙と同様にシリカを塗布する技術も共同開発するなど、紙の改良を続けた。さらに、郵政省にかけあい、IJプリンタに対応した年賀ハガキの発売にもこぎつけた³⁰。IJプリンタにこの年賀ハガキを3枚同梱するというプロモ-

³⁰ 1997年末当時、自分でカラー年賀状を制作するには「プリントごっこ」などの版画機を用いることが主流であったため、IJプリンタ専用年賀ハガキは1千万枚が用意されたにすぎなかった。郵政省からの要望で「インクジェット」という名称を用いることはできなかったので当初は「コートはがき」という名称で発売された。それゆえ、レーザープリンタで使用するユーザーも

ションを展開した結果、翌年にはこのインクジェット用郵政ハガキの知名度があがり、売り切れを招くほどの人気を博した。現在は、年賀ハガキ全体の約6割にあたる22億枚をIJハガキが占めており、IJプリンタユーザーにとってカラー年賀状を自分で制作することが定着している。

6. IJ技術の水平展開

エプソンのIJ技術は民生用プリンタを中心に発展してきた。今でも民生用プリンタが最も大きな事業であることには変わりない。しかし、民生用IJプリンタ市場は既に成熟期にある。エプソンのプリンタの売上高は、2006年度の7,815億円に対して、2007年度は7,780億円と予測されている。ほぼ横ばいから微減であり、今後大きく成長することは望めない。

さらに、民生用プリンタは、他の家電・エレクトロニクス製品同様、厳しい価格競争にさらされている。消耗品で利益を得るといった事業モデルが、プリンタ本体の価格下落を容認できることもあり、本体を拡張すればするほど利益を圧迫する構造に陥っている。とはいえ、本体を拡張しなければ、消耗品事業を長期的に維持することはできない。民生用プリンタ事業は、このようなジレンマを含んだ難しい事業となりつつある。

特に、エプソンの場合、プリンタ事業全体の中で民生用プリンタの売上が6割を占めているため、収益悪化の影響を受けやすい。それに対して、ライバルのキヤノンの場合、業務用プリンタの売上がプリンタ全体の7割を超えており、より安定した事業運営が可能になっていると考えられる³¹。

このような状況に対応してエプソンは、近年、民生用プリンタ以外へとIJ技術を応用することに力を入れている。そうした水平展開は、(1)業務用プリンタ、(2)捺染印刷機、(3)工業用製造装置の領域に渡っている。

6.1 IJ技術の応用分野

業務用プリンタは、インクを紙に吐出するという点で、技術的には民生用プリンタと類似している。ただし、事業モデルは両者で異なっている。民生用プリンタの場合には、エプソンが完成品を最終顧客に直接提供するが、業務用プリンタの場合には、ヘッドとインクを供給する部材企業としての立場をとることが多い。例えば、ノーリツ鋼機の写真ミニラボ向けプリンタ、ローランド DG、ミマキ、武蔵工業のサイン(広告)グラフィック向けプリンタ、大日本スクリーン製造のデジタル印刷機に対して、エプソンはインクとヘッドをセットで供給している³²。これらのケースでは、中核技術はエプソンが担っているものの、完成品としてエプソンのブランドが表にでることはない。

さらにエプソンは、1996年頃からIJ技術の応用を広める活動を始めており、2006年9月に専用のホームページを立ち上げて、IJ技術を採用する提携企業の募集を始めた。IJ技術の応用市場を自ら開拓するには限界があるという判断がその背後にあると考えられる。また、業務用市場では、最終顧客との密接な関係が重要になるため、既存企業から顧客を奪い取ることは容易なことではない。それゆえ、エプソンは、IJ技術を中核部材という形で供給して、顧客に市場開拓をゆだねるという方法を選択した。

おり、ハガキのコーティングが溶けて感熱ドラムに巻きつくことでプリンタが故障するなどのトラブルが生じ、クレームが寄せられた。その後、「インクジェット」という名称を使用することが許された。

³¹ 『FujiSankei Business』、2007年1月15日、7ページ。

³² 『化学工業日報』、2006年9月27日、8ページ。

ただし、業務向け事業が全てヘッドとインクの供給にとどまっているわけではない。ポスター用の大判プリンタとしては「MaxArt」がある。また、写真ミニラボ向けプリンタとしては「CRYSATARIO」を、小売店のバックヤード向けには高耐久性を特徴とする「GP-700」を導入している。さらに、2007年には、食品のパッケージなどに貼るラベルの印刷機の開発も行っている。このように、業務向けプリンタ事業では、部材事業と完成品事業の両方を追求している。

インクを、紙ではなく布などの媒体に吐出する捺染印刷機も、エプソンが力を入れている領域である。捺染用 IJ 技術の提供をエプソンは 1990 年代後半から手がけているが、量産機に普及し始めるのは、2003 年にイタリア・コモ地区の捺染印刷機メーカーであるロブステリ社への技術供与を始めて以降のことである。この場合も、エプソンは、完成品ではなく部材供給を事業の基本としている。エプソンは、ロブステリ社の印刷機向けに IJ ヘッドを供給する。さらに、そのヘッド専用に関係されるインクは同じコモ地区のフォルテックス社を通じて顧客に提供されることになった³³。コモ地区は、世界の有名ブランドの多くを生産する、イタリア有数のアパレル産地である。イタリアンファッションの供給拠点といえるこの地域で、現在、エプソンの IJ 技術を使った捺染印刷機が立ち並んでいる。

上記のようなグラフィック用プリンタとは別に、IJ 技術は様々な工業用途への応用も進められている。既に市場化されているものの 1 つは液晶ディスプレイのカラーフィルタ製造用装置である。通常、カラーフィルタを製造するには、顔料を含んだ着色レジストを基板に塗布して、露光装置を使ってパターン形成を行う。しかし、この方法では、ディスプレイの大型化に伴って装置コストが大きくなることや、廃棄される材料の環境負荷が問題となる。その点で、近年、IJ 技術の優位性が高まっている。エプソンは、2006 年、第 8 世代の大型液晶基盤に対応した IJ 装置を開発し、それは既にシャープの亀山第 2 工場稼働している。また、カラーフィルタ製造向け以外にも、金属微粒子を含むインクを吐出することによって基板上に回路形成を行う技術も開発されており、レジストをつかった露光・エッチングプロセスの代替が期待されている。

業務用プリンタ、捺染印刷、工業製造など様々な用途に IJ 技術を応用するには、多様な液体を吐出する技術が必要となる。ここでは、「どのように飛ばすか」という開発に加えて、「何を飛ばすか」という開発が重要になってくる。エプソンの IJ 技術では、ピエゾ素子の物理的な変形によって液体を吐出する。吐出する液体そのものには負荷をかけることがないため、多様な液体を吐出することができる。それゆえ、多様な応用展開を行う上では、バブルジェット方式よりも有利な立場にあると考えられる。

IJ 技術は液体を吐出するという汎用性の高い機能を実現する。これを今後どのような分野に応用していくのかが、エプソンの成長にとって重要な戦略的課題となっている。今後の IJ 事業の戦略展開に関して、現社長である花岡は、「富士山から八ヶ岳」という比喻を使いながら次のように述べている。

今までコンシューマのプリンタは、富士山に登るような(もの)。非常に明確でマーケットも大きいです。…これからってそんなに大きな山ってあるのかどうかっていうのは(疑問)。むしろこれからは共通の技術基盤の上に、富士山ほどじゃない山をいくつか立てていくっていう。そういえば、我々が今持っている IJ の技術って、そういう基盤…八ヶ岳みたいな山を作るにはいい基盤じゃないかなって思っていますので。そういう点では、今の IJ の技術をいかに利用しながら、違った分野への事業を。そんなには大きくなくていいですから、いくつか(事業を)立てていくというのがこれからのエプソンの

³³ 『化学工業日報』、2003 年 5 月 28 日、10 ページ

姿かなど³⁴。

さらにエプソンは、デジタル化が進む中で生み出される新しい事業モデルの中に、IJ 技術を位置づけるような展開を模索している。例えば、2006 年 1 月には、米国のカタリナ・マーケティング社と協力して、大手小売店向け POS システムに対応した IJ プリンタを開発した。これは、例えば、コカコーラを買った顧客にペプシコーラの割引クーポンを提供するといったように、顧客が購入した品目を瞬時に分析してそれに応じた割引クーポンを印刷するというシステムであり、米国では約 12,000 店舗に設置されている³⁵。花岡は次のように述べている。

・・・あるビジネスモデルとうちの持っているプリンタっていう技術がくっついていくというところが非常に面白いのかなと。・・・従来のビジネスモデルを技術で置き換えるのではおもしろくない、自分たちの製品が入ることでビジネスモデル自体が変化するようなもの。そこに製品を入れないとおもしろくない。・・・捺染の例でいえば、デザイナーと店だけがあれば中間業者は不要なビジネスモデルくらいになると、全然ビジネスモデルが違いますよね。こういうビジネスモデルの中で自分たちの商品が入っていく。こういうことをやっていく。

7. おわりに

今ではエプソンを支える IJ プリンタ事業であるが、開発当初からこのような成長が想定されていたわけでは決してなかった。IJ 技術はエプソンが開発に着手した様々な技術の中の 1 つに過ぎなかった。1970 年代以降エプソンは、あらゆるプリンタ技術の開発を手がけてきた。商品化されたものの事業的には全く成果を生みださなかったものもある。商品化されなかったものもある。そうした試行錯誤の中から IJ 技術の優位性が徐々に明らかになっていったのである。

IJ 技術自体も辛抱強い試行錯誤によって徐々に実用化されたものである。最初のプリンタでは不具合が頻発した。HG ヘッドのコストはなかなか下がらなかった。MACH ヘッドの実現も危ぶまれた。ノズル密度とコストでバブルジェットを凌駕するのは容易なことではなかった。しかし、物理的な変形で吐出するピエゾ方式には原理的な優位性があること、薄いピエゾができればコストも性能も達成できるという考えから、将来の理想像を描き、その理想に向かって、課題を段階的に解決することによって現在のエプソンの IJ 技術は確立した。花岡は次のように述べている。

設計者が難しい要求を出すと、いつの日か理想形に・・・だんだんと近づいてくるんですよね。それが今日できるか明日できるかは別にしても。だからやっぱり、難しいことにかかると・・・作ることにに対しては難しいかもしれないけれど、だけどそれを一旦できたあかつきにはすごく商品力は高まると。これについてはとにかくチャレンジし続ける価値があるよね、というのは多分当時からみんなそう思っ

てやってくれたんじゃないかと思うんですけどね。

³⁴ 前掲、花岡氏に対するインタビューより。

³⁵ 『Management Newslines (セイコーエプソン)』、No.15、2007 年 4 月。

巻末資料Ⅰ プリンタの種類³⁶

プリンタの種類は、一度に印刷する量、印字方式という点で、いくつかに分類される。

まず、一度に印刷する量という点では、ページプリンタ、ラインプリンタ、シリアルプリンタの3つに分類される。

ページプリンタとは、文字や画像からなる印字データを1ページ分まとめてページのどこに配置するのか計算した上で、一度に印刷する方式である。後述する電子写真方式を採用したプリンタで採用されることが多いが、インクジェット(IJ)プリンタや熱転写方式プリンタでも採用されることがある。これに対して、ラインプリンタとは1行ずつ、シリアルプリンタとは1文字ずつ、順に印刷する方式である。

次に、印字方式という点では、インパクト方式とノンインパクト方式の2つに分類される。

インパクト方式とは、紙などの記録媒体を印字ヘッドが叩く(インパクト)ことで印字する方式であり、活字を紙に打ちつけて印字する活字方式と、文字を正方形のドットに分解し、文字の形になるドットの組合せどおりにワイヤピンがインクリボンを叩いて印字するドット・インパクト方式がある。いずれも普通紙に使用、特にカーボン紙を使った伝票の重ね印刷が可能であるため、業務用事務機として欠かせない。その一方で、印字音が大きく、静粛性には劣っている。

ノンインパクト方式には、IJ方式のほか、感熱方式、電子写真方式などが存在する。感熱方式には、熱転写方式と直接感熱方式の2つがある。このうち熱転写方式とは、熱で溶ける固体インクを感熱印字ヘッドで加熱することで溶かしたり昇華させたりして記録媒体に転写するものであり、それぞれ溶融型熱転写方式、昇華型熱転写方式と呼ばれる。他方、直接感熱方式とは、発色層を持つ専用紙を用い、これを感熱印字ヘッドで直接加熱することで発色させ、画像を形成する。電子写真方式とは、普通紙複写機に用いられている印刷方式である。ドラムにレーザーやLED(発光ダイオード)で光を当てて電荷の潜像を作り、粉末のトナーを潜像部に吸着させた上で、それを紙に定着するという方法で印字する。

巻末資料Ⅱ カラー画像の再現手法³⁷

カラー画像をパソコンのディスプレイや紙に出力する際、原画像の色と濃度を再現する必要があり、前者を「色再現」、後者を「階調再現」という。

まず、色再現には、「加法混色」と「減法混色」という2つの方法がある。ディスプレイのように発光する表示装置上では、「光の3原色」と呼ばれるレッド(R)・グリーン(G)・ブルー(B)を混合して発光させる加法混色により色を再現する。この場合、人間の目には発光させた波長の光がそのまま入る。他方、紙のように発光しない印刷媒体上では、「色の3原色」と呼ばれるシアン(C)・マゼンタ(M)・イエロー(Y)を混合する減法混色で色を再現する。この場合、ある波長の光は媒体表面のインクに吸収され、吸収されなかった波長の光のみが反射して人間の目に入る。

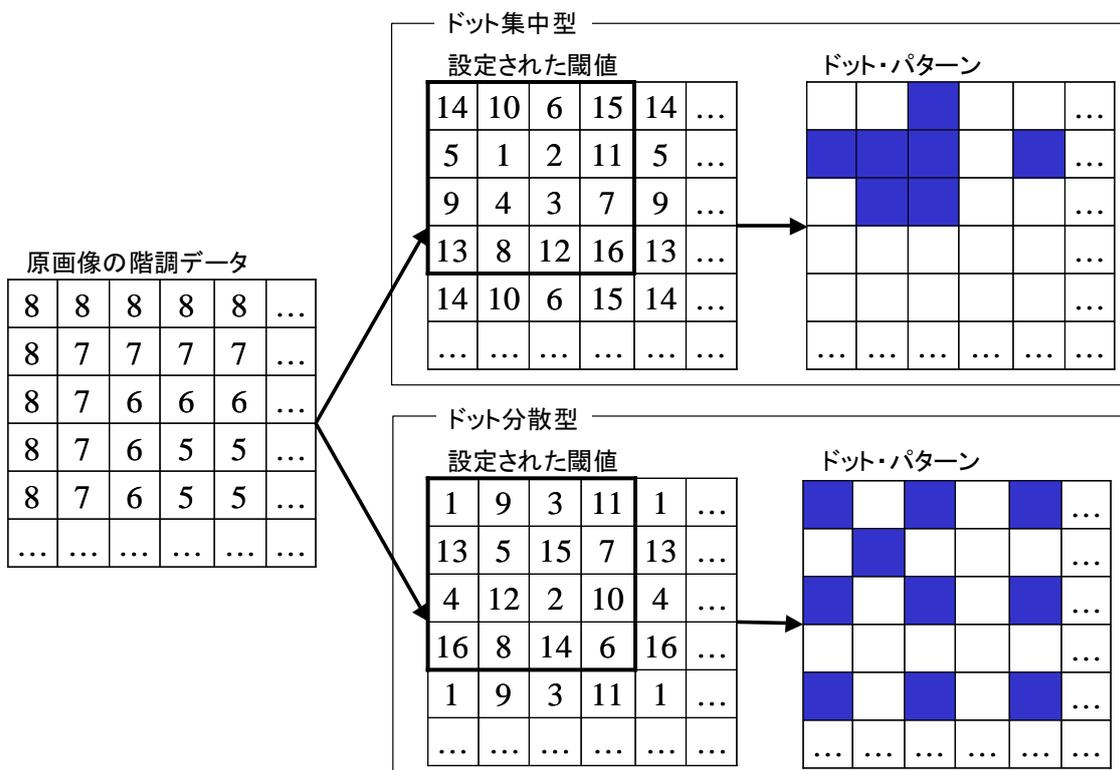
例えばCの色を感知させる場合、ディスプレイではBとGの色を均等に発光させる一方で、紙にはRの波長の光を吸収するCインクを乗せることになる。RGBとCMYは、それぞれ波長の反射率が反転した「補色」の関係にある。なお、3原色を均等に混合すると、加法混色では白として、減法混色では黒として感知される。一方、3原色とも全く混合しなければ、それぞれ黒と白として感知される。

³⁶ 本節の記述は『日経パソコン』1993年8月30日号、『日経エレクトロニクス』1994年8月22日号、『日経コンピュータ』1997年12月8日号に基づく。

³⁷ 本節の記述は『日経コンピュータ』1997年12月8日号に基づく。

次に、階調再現には、「濃度階調法」と「面積階調法」という 2 つの代表的な方法がある。濃度階調法は、1 つの画素の中で色の濃度を変えることで階調を再現するため、原画像を忠実に再現できる。他方、面積階調法は、1 つの画素のうち「ドット」と呼ばれる色の点が置かれる面積を変えることで階調を再現する。1 つのドットには階調がなく、色を置くか置かないかという 2 値しかないため、ドットを置く面積の大小により色の濃淡があると見せかけるのである。具体的には、1 画素をマス目上に区切り、それぞれのマス目に閾値(しきいち)をあらかじめ設定する。その上で、この閾値よりも原画像の階調の値が大きければこのマス目にドットを置き、小さければドットを置かないというルールにより、ドットの数と位置を決めるのである。面積階調法には、「ディザ法」と「誤差拡散法」の 2 種類があり、ディザ法はさらに「ドット集中型」と「ドット分散型」の 2 つに分けられる(図表 II-1)。ドット集中型は、閾値をマス目の中心から外側に向かい渦巻き状に設定するのに対し、ドット分散型はランダムに設定する。そのため、ドット集中型には安定した階調再現が可能であるという利点と、特定のドット・パターンが目立ちやすく、印刷媒体上の解像度がプリンタの解像度よりも低下するという問題がある一方、ドット分散型には特定のドット・パターンが目立たないという利点と、ドットを 1 つずつ安定して置くことが困難であるという問題がある。また、誤差拡散法では原画像の階調の値と閾値の差を後続の画素に分散させるため、特定のドット・パターンがディザ法のドット分散型よりもさらに目立たず、きれいな画質を再現できる。

図表 II-1: ディザ法のドット集中型とドット分散型による階調再現法



出所:『日経コンピュータ』1997年12月8日号、図5を一部修正

以上の階調再現法のうち、昇華型熱転写方式のプリンタは濃度階調法を、電子写真方式や溶融型熱転写方式のプリンタはディザ法のドット集中型を、IJ方式のプリンタはディザ法か誤差拡散法、あるいは

両方を組合せて採用することが多い。エプソンの IJ プリンタは、ディザ法と誤差拡散法を組み合わせることで長所を活かし短所をなくす「ハーフトーン」技術を搭載している。

参考資料

- 「起死回生を期したカラー・インクジェットプリンタの開発」、碓井稔氏による講演会、於：一橋大学イノベーション研究センター、2007年1月26日。
- 藤原雅俊(2002)「ビジネス・ケース:セイコーエプソン プリンター事業の技術戦略」一橋大学イノベーション研究センター編『一橋ビジネスレビュー』2002年秋号。
- (2004)「第4章 戦略の技術適合」伊丹敬之・西野和美編著『ケースブック 経営戦略の論理』日本経済新聞社。
- 『化学工業日報』「セイコーエプソン、インクジェット技術を伊の捺染印刷機会社に供与」2003年5月28日。
- 「セイコーエプソン、IJデバイスを強化、パートナー企業募集」2006年9月27日。
- 『日経エレクトロニクス』「発明表彰受賞者に特許出願の秘訣を聞く」1994年8月22日号。
- 「開発ストーリー:Colorio PM-700Cの開発」2000年2月14日号-2000年5月8日号。
- 『日経コンピュータ』「基礎講座:カラー・プリンタの基本原理」1997年12月8日号。
- 『日経メカニカル』「Breakthrough:セイコーエプソンインクジェットプリンタ」1993年6月14日号。
- 『日経パソコン』「特集:Windows時代のプリンター購入ガイド」1993年8月30日号。
- 「編集長インタビュー:インクジェットの高速化に限界はない」2008年3月10日号。
- 『日経バイト』「Under The Hood:INKJET PRINTER インクジェット・プリンター市場を分ける二大方式 個性生かした進化を遂げる」2003年11月22日号。
- 『FujiSankei Business』「明日への布石:セイコーエプソン(1) インクジェット戦略」2007年1月15日。
- 『Management Newslne(セイコーエプソン)』「次なる成長のステージへ:エプソン独自の『マイクロピエゾテクノロジー』が飛躍の原動力に」No.15、2007年4月。

IIR ケース・スタディ 一覧表／2004-2009

NO.	著 者	タ イ ト ル	発行年月
CASE#04-01	坂本雅明	「東芝のニッケル水素二次電池開発」	2003 年 2 月
CASE#04-02	高梨千賀子	「富士電機リテイルシステムズ(1): 自動販売機—自動販売機業界での成功要因」	2004 年 3 月
CASE#04-03	高梨千賀子	「富士電機リテイルシステムズ(2): 自動販売機—新たなる課題への挑戦」	2004 年 3 月
CASE#04-04	高梨千賀子	「富士電機リテイルシステムズ(3): 自動販売機—飲料自販機ビジネスの実態」	2004 年 3 月
CASE#04-05	伊東幸子 青島矢一	「ハウス食品: 玉葱催涙因子合成酵素の発見と研究成果の事業化」	2004 年 3 月
CASE#04-06	青島矢一	「オリンパス光学工業: デジタルカメラの事業化プロセスと業績 V 字回復への改革」	2004 年 3 月
CASE#04-07	堀川裕司	「東レ・ダウコーニング・シリコン: 半導体パッケージング用フィルム状シリコン接着剤の開発」	2004 年 3 月
CASE#04-08	田路則子	「日本開閉器工業: モノづくりから市場創造へ「インテリジェントスイッチ」」	2004 年 3 月
CASE#04-09	高永才	「京セラ: 温度補償水晶発振器市場における競争優位」	2004 年 3 月
CASE#04-10	坂本雅明	「二次電池業界: 有望市場をめぐる三洋、松下、東芝、ソニーの争い」	2004 年 3 月
CASE#04-11	三木朋乃	「前田建設工業: バルコニー手摺一体型ソーラー利用集合住宅換気空調システムの商品化」	2004 年 3 月
CASE#04-12	伊諒重 武石彰	「東洋製罐: タルク缶の開発」	2004 年 3 月
CASE#04-13	藤原雅俊 武石彰	「花王: 酵素入りコンパクト洗剤「アタック」の開発」	2004 年 10 月
CASE#04-14	軽部大 井森美穂	「オリンパス: 超音波内視鏡の構想・開発・事業化」	2004 年 10 月
CASE#04-15	軽部大 小林敦	「三菱電機: ポキポキモータ 新型鉄心構造と高速高密度巻線による高性能モーター製造法の開発」	2004 年 11 月

CASE#05-01	青島矢一 宮本圭介	「テルモ(1): 組織風土の改革プロセス」	2005年2月
CASE#05-02	青島矢一 宮本圭介	「テルモ(2): カテーテル事業の躍進と今後の課題」	2005年2月
CASE#05-03	青島矢一 河西壮夫	「東レ(1): 東レ炭素繊維複合材料“トレカ”の技術開発」	2005年2月
CASE#05-04	青島矢一 河西壮夫	「東レ(2): 東レ炭素繊維複合材料“トレカ”の事業戦略」	2005年2月
CASE#05-05	兒玉公一郎	「ヤマハ(1): 電子音源に関する技術蓄積」	2005年2月
CASE#05-06	兒玉公一郎	「ヤマハ(2): 携帯電話着信メロディ・ビジネスの技術開発、ビジネスモデル構築」	2005年2月
CASE#05-07	坂本雅明	「二次電池業界(改訂): 技術変革期における新規企業と既存企業の攻防」	2005年2月
CASE#05-08	高永才	「京セラ(改訂): 温度補償水晶発振器市場における競争優位」	2005年2月
CASE#05-10	坂本雅明	「東北パイオニア: 有機ELの開発と事業化」	2005年3月
CASE#05-11	名藤大樹	「ハイビジョンプラズマディスプレイの実用化 プラズマディスプレイ開発協議会の活動を中心に」	2005年7月
CASE#05-12	武石彰 金山維史 水野達哉	「セイコーエプソン: 自動巻きクォーツ・ウォッチの開発」	2005年7月
CASE#05-13	北澤謙 井上匡史 青島矢一	「トレセンティテクノロジーズによる新半導体生産システムの開発 —300mm ウェハ対応新半導体生産システムの開発と実用化—」	2005年10月
CASE#06-01	武石彰 高永才 古川健一 神津英明	「松下電子工業・電子総合研究所: 移動体通信端末用 GaAs パワーモジュールの開発」	2006年3月
CASE#06-02	平野創 軽部大	「川崎製鉄・川鉄マシナリー・山九: 革新的な大型高炉改修技術による超短期改修の実現 大ブロックリング工法の開発」	2006年8月

CASE#07-01	武石彰 宮原諄二 三木朋乃	「富士写真フイルム： デジタル式 X 線画像診断システムの開発」	2007 年 7 月
CASE#07-02	青島矢一 鈴木修	「ソニー： フェリカ(A)：事業の立ち上げと技術課題の克服」	2007 年 7 月
CASE#07-03	青島矢一 鈴木修	「ソニー： フェリカ(B)：事業モデルの開発」	2007 年 7 月
CASE#07-04	武石彰 伊藤誠悟	「東芝： 自動車エンジン制御用マイコンの開発」	2007 年 8 月
CASE#07-05	青島矢一 朱晋偉 吳淑儀	「無錫小天鵝株式会社： 中国家電企業の成長と落とし穴」	2007 年 8 月
CASE#07-06	青島矢一	「日立製作所： LSI オンチップ配線直接形成システムの開発」	2007 年 9 月
CASE#07-07	坂本雅明	「NEC： 大容量 DRAM 用 HSG-Si キャパシタの開発と実用化」	2007 年 9 月
CASE#08-01	小阪玄次郎 武石彰	「TDK： 積層セラミックコンデンサの開発」	2008 年 1 月
CASE#08-02	福島英史	「東京電力・日本ガイシ： 電力貯蔵用ナトリウム—硫黄電池の開発と事業化」	2008 年 3 月
CASE#08-03	青島矢一 北村真琴	「セイコーエプソン： 高精細インクジェット・プリンタの開発」	2008 年 5 月
CASE#08-04	高梨千賀子 武石彰 神津英明	「NEC： 砒化ガリウム電界効果トランジスタの開発」	2008 年 9 月
CASE#08-05	小阪玄次郎 武石彰	「伊勢電子工業： 蛍光表示管の開発・事業化」	2008 年 9 月
CASE#09-02	青島矢一 大倉健	「荏原製作所： 内部循環型流動層技術の開発」	2009 年 6 月

CASE#09-03	藤原雅俊 積田淳史	「木村鑄造所： IT を基軸とした革新的フルモールド鑄造システムの開発」	2009 年 7 月
------------	--------------	---	------------