

レーザービームプリンターの光学系の革新と開発

箕 浦 一 雄

1970年代の初めにレーザービームプリンターが開発されてから現在まで約25年が経過したが、レーザービームプリンターの発展は、そのシーズであるHe-Neガスレーザーと半導体レーザーの普及に大きく依存してきた。そして、その発展に関連してもうひとつ忘れてはならないのは、1980年代のパソコンの普及に伴って生じたDTP (desk-top publishing) というニーズである。

一般的にいて、潜在的ニーズを発掘してその市場を創造するためにシーズを活用し、最適な技術開発を効率よく展開することが実用面における理想的な開発であることはいうまでもないが、レーザービームプリンターの開発の場合は、その理想に近かったといえる。特に、世界で最初に半導体レーザーを応用したデスクトップ型レーザービームプリンターの開発¹⁾と、それをベースとして驚異的な小型化と低価格化を実現した普及機²⁾はレーザービームプリンターの歴史上において大きな意味があるであろう。

世界で最初に半導体レーザーを応用したデスクトップ型レーザービームプリンターは大型コンピューター用のレーザービームプリンターに比べると飛躍的な小型化を実現したが、当初は価格面に問題があり特殊用途にしか受け入れられなかった。

しかし、それは次の開発ステップにとってよい試練となった。すなわち、その頃の米国においてはDTPのコンセプトが潜在的に熟成されつつあり、レーザービームプリンターがワードプロセッサやパソコンの分野に進

出できれば大きな市場形成が期待できるという開発意欲がますます強まったのである³⁾。そしてさらなる技術開発によって、ついに小型化においても低価格化においても驚異的な製品が実現された⁴⁾。これはDTP市場を創造したとっていいほどニーズに対してコストパフォーマンスだけでなくタイミングも合致した。

キヤノン(株)の場合、それが世の中に普及するに至るまでの過程において、経営上においてはいくつかの岐路があったが、適切な判断により技術開発が理想的に展開されたといつてよい。しかし、ただひとつ残念なことは、日本がDTPという市場創造とその主導権を握るチャンスをおかせなかったことである。当時の日本は全体にキャッチアップ型開発志向であり、コンセプト創造とソフトウェア技術の力が非常に弱かった。それは今でもまだ十分に解決されていない課題であろう。

一般的にいて、研究開発者の基本的使命はシーズを育成・活用することにより、時代の要請であるニーズに対してタイミングよく最適な技術開発を展開することであるが、レーザービームプリンターの技術開発の展開は、それ以外の開発に携わる一般の研究開発者にとっても参考になる例のひとつではないかと考える。

本稿においては、レーザービームプリンターの開発を振り返り、大きく3つのフェーズに分けて筆者の経験を変えて述べる。まず第1フェーズは1970年代のガスレーザーの普及に伴う大型コンピューター用高速レーザービームプリンターの実用期、第2フェーズは1970年代の終わりから1980年代の前半にかけて、半導体レーザーの普及に伴う小型普及機の開発期、そして第3フェーズは1980年代の半ばから現在にいたるまでの成熟期である。

Innovation and development in optical system for laser beam printer (1996年5月21日受理)
Kazuo MINOURA キヤノン(株)商品開発本部 RA グループ
(〒146 東京都大田区下丸子 3-30-2)

1. 大型コンピューター用レーザービームプリンターの実用期

今から約25年前に開発された初期のレーザービームプリンターは、大型コンピューター用の高速出力機として光源にHe-Neガスレーザーが使用され、ビーム変調器として音響光学効果をもつ光学結晶素子が使用されていた。その変調器の前後には、回折による変調機能を効果的にするために高精度のアライメントを要求する光学系が配置され、さらにその変調系によって変調されたビームを高速に偏向するための回転多面鏡は、特に回転軸の傾き精度とその軸に対する各鏡面の平行度に高精度が要求された。その許容角度誤差は数秒であり、高精度の治工を使用することによりガラス研磨装置にて長時間かけて加工された。そのように当初のレーザービームプリンター光学系は部品加工だけでなく、組立においても高精度が要求され、現在のように量産性があるものではなかった。また、その光学系はガスレーザーとビーム変調器を使用するために、サイズが大型になることはやむを得なかった。

一方、回転多面鏡によって偏向されたビームを結像するレンズとして一般の写真レンズのような歪み特性をもったものを使用すると、一定時間間隔のクロック信号に対応した変調ビームによる画像は歪みが生じてしまうので特別な工夫が必要であった。その一つの方法として、ハーフミラー等で分割した偏向ビームの一部によって、感光体面と等価な面に設けた一定間隔の格子を照射して、その光量変化をレファレンス信号としてそれに同期させる変調方式によって画像の歪みをなくするというシステムがあった。この方式においては光学系の部品数が多くなり複雑になるだけでなく、サイズが大きくなってしまう。

そのような不都合を生じることなく、光学的にレンズの特性だけを利用して画像の歪みをなくしたのがいわゆる $f \cdot \theta$ レンズである。1970年代において、レーザービームプリンターの光学技術は量産性やサイズに問題を残すが、その実用上の基本技術は確立されたといえる。

ここで、 $f \cdot \theta$ レンズに関する筆者の経験を紹介したい。すでに1970年代初めにベル研究所の関係会社により、回路製作用のレーザー走査装置用として、画角に応じて焦点距離が変化するという光学系の特許の権利を確立していた⁵⁾。しかし、その特許は $f \cdot \theta$ レンズの見かけ上の特性を請求範囲に記述しただけであって、明細書の中にはそれを実現するために必要な方法が開示されて

いなかった。したがって筆者たち関係者はその特許の無効性を証明するための資料調査と検討を行い、その結果有力な資料が見つかった。それは素粒子などの飛跡を解析するための装置に使用される走査光学系で、等角速度回転の多面鏡により光点を等速度にてフィルム上に走査する目的のものであった⁶⁾。

その光学系の特性は現在の $f \cdot \theta$ レンズのような原理と実現方法を明らかにしたものではなかったが、等速度走査特性を記述したもので、前記の問題特許の見かけ上の特性を開示する先行例として見なされた。それは今からおよそ20年ほど前のことである。

2. 半導体レーザーの普及に伴う小型普及機の開発期

レーザービームプリンターの開発の第2フェーズは、半導体レーザーの実用化とともに小型機の開発を目標として1970年代の後半から始まった。

2.1 世界で初めて半導体レーザーを活用したレーザービームプリンターの開発

半導体レーザーは1970年代の後半に実験用として利用できるようになり、それを応用してデスクトップサイズを目指したレーザービームプリンターの開発が始められた。筆者たちはその開発の中で半導体レーザーの活用と普及型 $f \cdot \theta$ レンズの開発に取り組んだ。

まず、当時の半導体レーザーはシングルモードのものが少なく、ビーム整形のための光学系を必要とし、またビームパワーの安定性も悪かったために冷却用にペルチェ素子を使用したこともあった。しかし、1970年代の終わりから1980年代の初めにかけて、CDの開発とともに半導体レーザーの性能は向上した。したがって、比較的早期にビーム整形のための光学系や冷却用のペルチェ素子は不要になった。He-Neガスレーザーを使用した大型コンピューター用レーザービームプリンターの光学系に対して半導体レーザーを使用した光学系を比較すると、光源から回転多面鏡までのサイズはメートルオーダーからセンチメートルオーダーまで約1桁小さくなった。サイズが小さくなっただけでなく、変調のための音響光学素子と、その周辺の変調光学系も不要になった。そして、1979年に世界で初めて半導体レーザーを使用したデスクトップ型のレーザービームプリンター⁷⁾が発表され、デスクトップ普及型のレーザービームプリンターの第1号として革新的な開発であった。

当時は半導体レーザーを使用した結像光学系の開発例はまだほとんどなく、半導体レーザーから出射した楕円状ガウシアン強度分布をもつビームに対して、筆者たち

は波動光学理論による結像特性を評価しながら $f \cdot \theta$ レンズの開発に取り組んだ。ここでは収差論に基づいたレンズ設計上のポイントを以下に紹介しよう。

レンズの設計における基本仕様として F ナンバーと画角があるが、レーザービームプリンター用の $f \cdot \theta$ レンズは一般の写真レンズと比較すると F ナンバーが暗い（口径比が小さい）ので、設計において球面収差とコマ収差の補正には比較的注意を払う必要がなく、したがって非点収差と歪曲収差の 2 つの収差補正に重点を置けばよい。そこで、3 次収差領域において非点収差と歪曲収差の 2 つの収差と、未知のパラメーターとしてレンズ形状ファクターである固有係数を 2 つ含む下記の連立方程式を解けばよいという仮説を立てた。

$$\text{III} = \sum (a_i B_{0i}^2 + b_i B_{0i} + c_i)$$

$$\text{V} = \sum (d_i B_{0i}^2 + e_i B_{0i} + f_i)$$

ここで、III と V はそれぞれ 3 次の非点収差と歪曲収差、 $a_i \sim f_i$ は近軸量などで表される係数、そして B_{0i} は固有係数と呼ばれるレンズ形状を表すパラメーターであり、 i は 1~2 でレンズの数を意味する。

言い換えれば、3 次収差領域においては 2 群 2 枚構成によって $f \cdot \theta$ レンズが実現できるという仮定を設定した。この仮定に基づいてまず方程式を解く作業から着手した。この一連の設計作業は少々面倒なもので、当時の設計者仲間から「人間がする作業ではない」とひんしゅくを買ったが、筆者には「このステップを踏むことは一見遠回りようであるが、長期的には最も効率がいいはずである」という強い信念があった。その初期解をベースとして高次領域の設計検討を行った結果、あらゆる 2 群 2 枚構成のタイプの中から、普及タイプのレーザービームプリンター用の $f \cdot \theta$ レンズの最適解を得ることができた。それ以後その設計法によって一般の光学設計者でも容易にかつ効率よく普及型の $f \cdot \theta$ レンズを設計できるようになった⁷⁾。

その成果は、筆者の当時の開発環境と先輩や後輩の協力によるところが大きい。筆者は現在勤務する会社に入社して幸運なことに当時の光学系開発部門の中枢部といえる研究室に配属になり、最高の環境の中で研究、設計に取り組むことができた。その研究室で確立された収差論^{8,9)} は今でも光学設計者のためのすぐれた実用的教科書であり、筆者は各種の光学系の設計検討においてその近軸理論と収差論を常に活用した。

また当時、その収差論をベースとしてコンピューターによるレンズの自動設計法の開発が実用化に向かっていったが、筆者にとって新しい光学系の開発に取り組むとき

には、独自性と創造性を生むために自動設計法だけに頼らずに近軸理論と収差論を活用することを重要視した。

本稿のテーマから少し外れるが、光学系の開発に携わる若い後輩諸君の参考として、前述の近軸理論と三次収差論を活用する設計方法の利点と、筆者の考え方について少々述べたい。光学設計者にはよく知られているとおりレンズ設計には多くの解があり、コンピューター計算による高次領域の自動設計法だけを頼りにすると、その結果が多くの解のなかのどこに位置づけされるのか不明で、したがって得られた解よりもっとすぐれた解があるのかわからないことが多い。特にその光学系が過去に類のないような新規なものほどその傾向が強い。そのような場合に、近軸理論と三次収差論を活用すると解の存在領域をまず広く検討することができ、そのステップを踏んだ後の高次領域の自動設計法によって得られた解の位置づけを明確にすることができる。この方法によれば、比較的無駄が少なく最適解に到達することができ、得られた解を科学的に比較検討することが可能である。

2.2 倒れ補正光学系の開発

前述のように世界で初めて半導体レーザーを使用した光学系は、大型のレーザービームプリンターのそれと比較するとサイズも部品数も大幅に減少したが、ひとつの大きな課題を残していた。それは回転多面鏡の量産性であった。

これはプリンターの低価格化において大きな課題であり、その量産性を高める方法はいろいろ考えられていた。そのなかで、回転多面鏡とそれを含む偏向装置の製造精度を光学系によって補償する方法がいくつか考案されていて、それらは下記の 3 つの方式に分類される¹⁰⁾。

- (a) 共役補正方式：偏向器の倒れ角度誤差によって偏向ビームが偏位する断面内において、偏向ミラー面と被走査面とを共役関係にする方式
- (b) 緩和補正方式：方式 (a) と同じ断面内において偏向誤差を許容値以内におさめる方式
- (c) 自己相殺方式：偏向器自身によって、偏向誤差を相殺する方式

このなかで、分類 (a) に属する理論上すぐれた方式として、走査用レンズの一部にトロイダルレンズを使用した光学系が知られていた¹¹⁾。当時、筆者はこの光学系に対して、次の 2 つの課題を解決することができるかどうか疑問をもった。第 1 の課題は、そのトロイダルレンズはガラスを材料として加工するには困難な形状であり、プラスチック・モールドによる量産加工方法を導入する

ことである。その導入においては次の問題を解決しなければならなかった。すなわち、プラスチック材料の吸湿によって発生する内部の屈折率分布変化に起因する結像性能の変化をいかにして防止するかということである。当時の各種のプラスチック材料を使用して筆者たちはいろいろな方法を試みたが、吸湿による結像性能の変化を防止することは困難であることがわかった。第2の課題は、前記のトロイダルレンズを回転多面鏡と走査レンズの間に配置する必要性のために、走査レンズが大きくなる傾向があり、その大きさをどこまで小さくすることができるかが課題であった。検討の結果、筆者たちはそのトロイダルレンズを導入する走査光学系は普及型のレーザービームプリンターに適していないという結論に達した。

筆者たちはその他の方式も徹底的に検討した。例えば感光体の近くにシリンダリカルレンズを配置する方式—前記の方式(b)—に関しては、この方法は原理的に補正能力が低く、それだけでなく大きなシリンダリカルレンズを使用しなければならないという欠点があった。また(c)の自己相殺方式は偏向器が大きくなるだけでなく、走査レンズが大きくなってしまい普及型のレーザービームプリンターには適さない。

そのように筆者たちは回転多面鏡の量産性を上げるために過去に知られていた各種の方式を検討したが、どれも問題があり普及型レーザービームプリンターに相応しいものがないことがわかった。したがって、筆者たちは独自の方式を考案し検討することにして、そのために次の2つの基本的設計方針を設定した。

- (i) それ以前の開発において蓄積した $f \cdot \theta$ レンズの解析方法と結果に基づくこと
- (ii) ガラス材料を前提とした量産性のある非対称面を導入したレンズによって、前記の(a)共役補正方式に基づくこと

その具体的な光学系の設計方針は、世界で初めて半導体レーザーを使用したレーザービームプリンターを開発した際に検討した $f \cdot \theta$ レンズの解析結果の子午断面(ビームが偏向される面)内のレンズタイプを踏襲して、回転非対称面を導入するということであった。つまり、回転非対称面であっても子午断面と球欠断面のそれぞれの面内において球面であれば、量産性ある加工方法があるという仮定に基づいた。試作部門の加工担当者と密接に連携をして課題を徹底的に追究し、各種の治工具を考案して量産性ある加工方法を検討した。その非対称レンズの加工検討と同時に、写真レンズのようなレンズ鏡筒

とはまったく異なる機構の検討も進められた。また、加工誤差や組立誤差などの製造誤差による性能変化についても十分に机上検討が行われた。そのように試作の早期段階から光学系設計、シミュレーション、加工、そして機構設計の関係者の密接な連携プレーによって検討が進められた。その結果、設計方針どおりに、子午断面内においては従来の $f \cdot \theta$ レンズのタイプと基本的に同一であるが、球欠断面内にシリンダリカル面とトーリック面を導入した“倒れ補正”光学系が完成した¹⁾。筆者たちはそのレンズを「トーリックレンズ」と呼ぶことにし、その光学系はSPSE(現在のIS&T)学会の“The Second International Congress on Advances in Non-Impact Printing Technology”にて発表された²⁾。

図1はその製品外観、図2は試作段階におけるトーリックレンズの外観、図3はそのトーリックレンズの試作加工機、図4は試作段階における“倒れ補正”光学系(半導体レーザー、金属回転多面鏡、そしてトーリックレンズを搭載)の外観である。

そのトーリックレンズおよびそれを含む“倒れ補正”

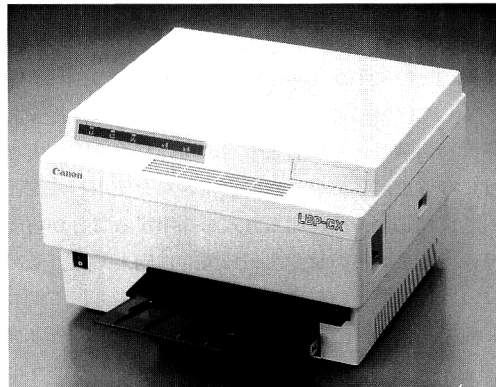


図1 低価格・小型普及機(LBP-CX)外観。

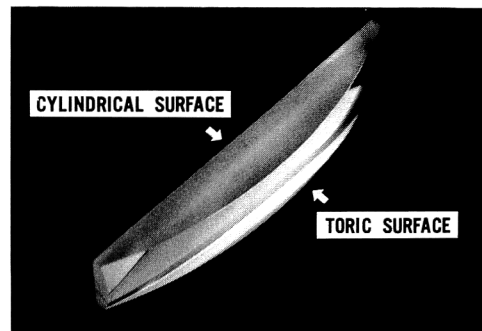


図2 トーリックレンズ外観。

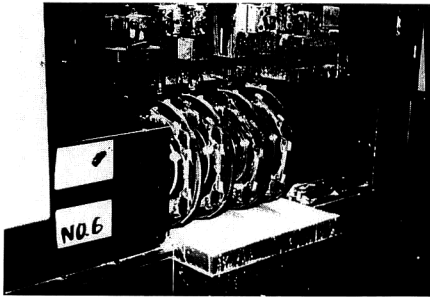


図3 トーリックレンズ試作加工機外観。

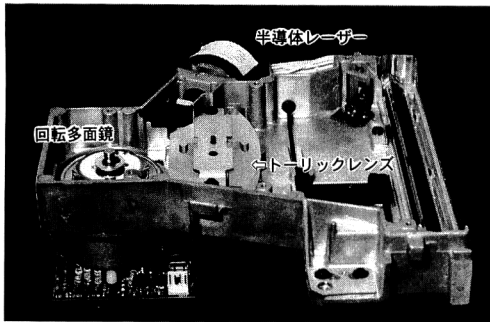


図4 倒れ補正光学系ユニット外観。

光学系の開発により、回転多面鏡の回転軸の倒れ許容角度、そして回転軸に対する各鏡面の平行度は、従来の回転多面鏡の精度に対して数十倍の粗い精度を許容できるようになった。したがって、金属材料を使用してダイヤモンド切削による高速加工方式を採用することが可能になり、回転多面鏡の量産性が飛躍的に向上した。このように、回転多面鏡の製造精度が粗くなっても、“倒れ補正”光学系により、実質上は従来の高精度の回転多面鏡を使用した場合と同等以上の性能が得られるようになった。

この金属材料の回転多面鏡の開発においても多くの光学的な問題や課題があった。例えば、切削による鏡面上の溝によってビームが回折して感光体面上にフレアを発生させてしまうこと、反射率を高めるために金属材料と相性がよいかつ耐環境性ある蒸着薄膜を開発することなどであった。そして、量産性を高めるために回転多面鏡の大きさを小さくするという光学系のシステムの設計上の課題も解決しなければならなかった。また、半導体レーザー、回転多面鏡、そして走査レンズなどによって構成される非対称・非共軸の光学系は、写真レンズのような回転対称共軸光学系の評価計算方法がそのまま適用できないので、非対称・非共軸光学系のシミュレーショ

ンができるように新たにコンピューター計算ソフトウェアが開発された。しかし、そのようなコンピューター計算システムが最初から整備されていたわけではなく、開発当初は従来の回転対称共軸系の計算システムを部分的に適用しながら、手計算によるシステム設計と評価を主体にして検討を行った。そのような検討においても近軸理論や公差理論が大いに役立った。

以上のように、“倒れ補正”光学系の設計のための最適なコンピューター計算システムが確立していなかった環境のなかでも、「トーリックレンズ」とその導入により量産性を飛躍的に向上させた金属回転多面鏡を使用した“倒れ補正”光学系の開発¹³⁾が行われ、低価格化と普及に道が開けた。さらに、筆者たちは、トーリックレンズを使用した“倒れ補正”光学系の広画面角化の検討も進め、偏向角度100°以上の広画面角化を達成したことにより、装置の一層の小型化を実現できた。そして、それらの開発成果を搭載した低価格・普及機が1984年に発表された⁴⁾。この発表のタイミングは理想的であった。すなわちそのころは、米国においてパソコンの普及に伴うDTPのニーズが生じてきており、低価格・普及型のレーザービームプリンターはそのニーズを十分に満足させるものであった。

2.3 開発におけるさらなる挑戦

前述のように低価格・普及型レーザービームプリンターの光学系において、それ以前の技術開発の蓄積をベースとして「トーリックレンズ」の導入により、回転多面鏡を含めて走査光学系の量産性とコンパクト化の課題を解決した。そして、筆者は将来の厳しい競争を予測してさらなる低価格化への挑戦を試みた。それは、「2群2枚構成の走査レンズ系を1枚で実現できないか」ということであった。2群2枚構成の $f \cdot \theta$ レンズは設計理論に基づいた合理的なものであるので、1枚構成は原理上不可能と考えられていた。しかし原理上不可能のはずの1枚構成に挑戦してみたのである。その結果、仕様によっては実現可能であることが判明した¹⁴⁾。この挑戦は筆者の開発の経験においていい教訓となった。そのひとつは、原理的に不可能と考えても現実には可能な場合があるということ、そしてもうひとつは、技術開発には終わりがなく、追求することをやめてはならないことであった。

2.4 その他の光学系

回転多面鏡は走査効率と分解能が高く、高速偏向が可能などの多くの利点をもつ偏向器であるが、ほかの偏向器として、ホログラム偏向器、ガルバノミラースキャナ

一なども有力な候補であった。

ホログラム偏向器は回転多面鏡にとって最も強力な競合技術であり、回転多面鏡にまさるとも劣らない多くの利点をもつ魅力ある偏向器である。例えばホログラムはプラスチック材料をベースとして量産加工が可能で、低価格化において最も期待できる。そしてそのホログラムを加工した板状の偏向器は軽くてしかも空気抵抗が比較的少なく高速回転に適している。しかしその欠点として、偏向角度が大きくなると走査線の直線性が崩れること、半導体レーザーの微妙な波長変化によって偏向ビームの角度に変化が生じること、回転軸の倒れに対して偏向ビームが偏位するのを補正する“倒れ補正”を必要とすること、などが挙げられる。それらの欠点のいくつかを改良したホログラム偏向器¹⁵⁾があるが、それらの改良のための開発が行われている間に、回転多面鏡とそれを使用した光学系の技術確立が先行し、ホログラム偏向器とそれを使用する光学系の技術確立が遅れた。それがホログラム偏向器の普及を阻害したひとつの原因であると考えられる。

ガルバノミラースキャナーも魅力ある偏向器であった。しかし高速化には限度があり、高速化に伴って時間に対する偏向角度が正弦状になることと、ブランキング時間が大きいことが欠点である。時間に対する偏向角度が正弦状になる特性に対して、筆者たちはその偏向特性に合せて歪みのない像形成を実現する走査レンズを開発し、試作検討を行った。筆者たちはこのレンズを「アークサインレンズ」と呼んでいる⁷⁾。

その他の偏向器として光導波路を使用した固体スキャナーの研究も行われているが、レーザービームプリンターへの応用としては、偏向角度の広角化、高分解能化、非対称結像レンズ系の開発などの課題が解決されていない。

3. レーザービームプリンターの成熟期

前述のように、普及型レーザービームプリンターの光学系の技術は1980年代前半までにおいて基本的に確立したといえる。しかし、今後のレーザービームプリンターの技術開発において、さらなる高速・高精細カラー化が課題であると考えられるが、それを解決するために開発すべき光技術はまだいくつかあると考えられる。

高速化のための光学系に関しては各種のマルチビームスキャン方式がかなり古くから考案されているが、実用化されたものがまだ少ない。この原因として、シングルビームでも高速化の余地がまだあるということと、その

反面において、それ以上の高速化のニーズがまだ少ないということが考えられる。

今後、さらなる高速化のニーズが強くなり、従来のシングルビーム走査において回転多面鏡の回転速度あるいは半導体レーザーの変調速度に限界が生じたときに、マルチビームスキャン方式が目されるであろう。そのときには半導体アレーレーザーの活用が有力であり、その活用方式は大きく分けて2つの方式がある。その1つは半導体アレーレーザーの接合面をビームの走査方向に対してわずかに傾けて走査する方式であり、もう1つは半導体アレーレーザーの接合面をビームの走査方向に対して直交させる方式である。前者の場合は、感光体上の結像スポットは走査方向に長くなる傾向にあり、高精細画像を形成するための障害になると考えられる。一方後者の場合は、半導体アレーレーザーの発光部に対応する複数の結像スポット間の距離が長くなる傾向にあり、インターレース方式を採用する必要がある¹⁶⁾。いずれの方式も課題を抱えているので、そのほかの方式も含めてさらなる検討が必要であろう。

高精細化に関しては、最近のレーザービームプリンターにおいて600 dpi以上の画素密度のものは珍しくなく、1,200 dpiのものもすでに出現しているが、電子写真感光体とトナーおよび画素密度を含めた光学系などの検討において、開発の課題がまだ多く残っている。筆者たちも基本的画質検討を目的として、600 dpi、900 dpi、そして1,200 dpiの画素密度による各画像を評価したが、決定的な結論を得るに至っていない¹⁷⁾。

画質の追求は究極的には銀塩写真を目標とされるであろうが、印刷における画像形成法が参考になると考える。網点方式の印刷画像を見ると、線密度が比較的粗くても、網点の大きさが連続的に変化しているために中間調がよく再現されているように感じられる。

レーザービームプリンターにおいては、電子写真感光体とトナーの技術開発が今後の画質向上の大きな鍵を握っていると考えられるが、光学系においても挑戦すべき課題があると考えられる。例えば、印刷の網点方式のように、1つの画素に対して実質上連続的にそのサイズを変化させることができるかという課題に挑戦するところに新たな技術革新が生じる可能性がある。その技術は画素ごとに結像スポットサイズを変化させ得る光学的超高速絞りというデバイスかもしれないし、半導体レーザーパワを超高速に制御する技術かもしれない。

あるいは解像度を含めたレスポンス特性のよい電子写真感光体と微粒子トナーあるいは伝統的な電子写真技術

に替わり、階調性がよくてランニングコストが安い画期的な感光材料が出現しないとも限らない。

そのようにシーズの追求も重要であるが、市場創造とニーズの視点から今後のプリンター環境を十分に検討する必要がある。つまり、今後のインターネットやイントラネットというネットワーク環境のなかでプリンターがどのように使われ、どのような市場創造の可能性があるかをまず十分に検討し、そのうえで必要な技術開発に取り組むべきである。従来のレーザービームプリンターの開発は比較的プリンター装置内だけでのシステム化を考えればよかったが、今後はネットワークインフラを念頭に置き、TVや電話そしてパソコンなどもレーザーなどのコンポーネントと同様にシーズと見なすことにより、市場創造、ニーズ、そして技術課題を検討する必要がある。現在はレーザービームプリンターの成熟期であると考え、マルチメディア環境の中での技術融合において、大きな飛躍につながる技術革新を生む可能性を追求するべきである¹⁸⁾。

4. 技術開発と市場ニーズ

レーザービームプリンターの光学系の革新と開発について述べてきたが、大型コンピューター用高速レーザービームプリンターの光学系の開発当初から前述の低価格・普及機の商品化に至るまでの実際の開発に携わってきた筆者は、各開発における明確な開発課題を含めて自主的な技術課題にも取り組むことができた。それは創造性を発揮するという点において研究開発者として幸せなことであった。そして、比較的早期に半導体レーザーの利用に着手することができたために、ゆとりをもってシーズとニーズを結びつける最適な技術開発を行うことができた。その結果として世の中にインパクトを与えた製品を生むことができた¹⁹⁾と考える。

レーザービームプリンターの開発の当初においてはHe-Neガスレーザーというシーズがあり、大型コンピューター用の高速ノンインパクトプリンターというニーズがあった。その次の開発段階には、半導体レーザーというシーズがあり、DTPというニーズがあった。いずれの開発段階においても、ニーズとシーズが存在してそれらをタイミングよく結びつけることが技術者の使命であった。そのようにシーズとニーズをよく見極めて技術課題の抽出を行い、効率よく解決する方法を検討することが技術者の使命であることは当然であるが、筆者は本稿を書きながらそれを改めて実感している次第である。

それは技術的視点での結果論かもしれないが、ともか

く半導体レーザーの実用化と普及はレーザープリンターの歴史において大きな変革をもたらした。そして、世界で初めて半導体レーザーを使用したレーザービームプリンターは、パソコンの普及とともにオフィスの変革を促進した画期的な製品であった。しかし、その半導体レーザーを利用したデスクトップ機も当初は価格の面で特殊用途にしか使われなかった。その後、前述の倒れ補正光学系の検討などにより低価格・小型の普及機が開発され、しかもDTPの市場ニーズがかなり明確になってきたことによって、1980年代の半ば頃から本格的な量産が開始された。

一方、普及機の市場において、レーザービームプリンターと競合するLEDプリンターや液晶シャッターアレーを使用したプリンターが出現した。それらと比較するとレーザービームプリンターは装置の小型化の点においても、光学系の構成においても不利であった。もし、これらの異なった方式のプリンター開発が同時にスタートしていたとしたら、高速性と高精細性の利点をもつレーザービームプリンターといえども、その利点だけではLEDプリンターや液晶シャッターアレープリンターとの競合において優位に立つことはできなかったかもしれない。レーザービームプリンターは、LEDプリンターや液晶シャッターアレープリンターよりも先行して、市場ニーズをよく睨んで徹底的な技術開発により量産性を追求したからこそ、今日のレーザービームプリンターの普及に繋がったと考える。

筆者がレーザービームプリンターの光学系の開発に携わり始めてから商品化までの間において取り組んだ課題は、本稿に述べた以外に多くある。そのなかには、直接製品につながらなかった検討も多くある。もちろん多くの関係者によってレーザービームプリンターの開発が展開されてきたことはいまでもないことである。

そのように現実には多くの課題があったが、レーザービームプリンターの開発は、一言でいえば効率のいい技術開発によって半導体レーザーというシーズとDTPというニーズがタイミングよく結びつけられた典型的な成功例であるといえよう。しかし結果論であるが、市場に応えられる製品開発という受け身的な視点だけでなく市場創造の視点で開発を考えたとしたら、レーザービームプリンターという単なるハードウェアだけの開発に終わらず、DTP関連のコンセプトとソフトウェア技術の開発の大きなチャンスがあり、米国に対してDTPという市場創造における主導権を日本が握り得たと考える。す

なわち、1970年の後半においてDTP市場というニーズに対応するだけでなく、パソコンが普及するとどんな市場創造の可能性があるかをよく検討していたとしたら、日本はハードウェアだけでなくソフトウェア技術も米国に負けない高水準になっていたかもしれない。

本稿で述べるべき内容から少々脱線してしまったが、成熟期におけるレーザービームプリンターの技術開発を進めるうえでも、市場創造意識は重要なことであると考えられる。つまり、今後のレーザービームプリンターの開発の課題を単に高速化あるいは画質の高精細化にとらえないで、商品企画者やシステム開発者と同様に光学系の開発者にとっても、まず将来のプリンターの環境とニーズを十分に検討するべきである。例えば今後のインターネットやイントラネットというネットワーク環境の中で新たなニーズを考え、ユーザーの視点に立って必要な要素技術の検討を行うべきであると考えられる。レーザーのようなコンポーネントは従来と同様にシーズであるが、今後のマルチメディア社会においては、TV、電話、そしてパソコンもシーズとして見なすべきであろう。つまり、技術の融合と複合化のなかでプリンターのあるべき姿を追究するところに技術革新と新たな開発の展開の可能性があると考える。

文 献

- 1) 北村 喬, 棚木孝一: “レーザービームプリンター LBP-10”, 信学会研究報告 IE 79-55 (1979) 9.
- 2) K. Minoura and T. Kuge: “The new technology for a new concept laser beam printer,” *SPSE, The Second International Congress on Advances in Non-Impact Printing Technology* (Nov. 5, 1984) pp. 52-53.
- 3) キヤノン株式会社: キヤノン史—技術と製品の50年 (1987) p. 286.
- 4) キヤノン株式会社: キヤノン史—技術と製品の50年 (別冊) (1988) pp. 69-70.
- 5) D. R. Herriot: “Pattern generating apparatus,” USP No. 3573849 (1971).
- 6) R. B. Palmer: “A flying spot film measuring machine employing crossed glass fibers,” *Appl. Opt.*, **2** (1963) 1025-1035.
- 7) 箕浦一雄, 立岡正道, 南 節雄: “レーザー走査用レンズの設計”, *光学*, **10** (1981) 348-355.
- 8) 松居吉哉: レンズ設計法 (共立出版).
- 9) 松居吉哉: キヤノン研究報告 No.2 (1963).
- 10) 箕浦一雄, 鈴木雅之: “スキャナー光学系”, *光学*, **19** (1990) 286.
- 11) J. M. Fleisher, M. R. Latta and M. E. Rabedeau: “Laser-optical system of the IBM 3800 Printer,” IBM Tech. Rep. TR 02.743 (1976).
- 12) K. Matsuoka and K. Minoura: “Scanning optical system having a tilting correcting function,” USP No. 4443055 (1984).
- 13) S. Minami, K. Minoura and H. Yamamoto: “Scanning optical system of the Canon laser beam printer,” *Proc. SPIE*, **741** (1987).
- 14) K. Minoura and K. Matsuoka: “Scanning optical system having a tilting correcting function,” USP No. 4585296 (1986).
- 15) C. J. Kramer: “Hologon deflector for high-resolution internal drum and flat-field imaging,” *Hard Copy Output, Proc. SPIE*, **1079** (1989) 427-442.
- 16) K. Minoura, M. Suzuki and S. Miyazawa: “A study on laser scanning systems using a monolithic arrayed laser diode,” *Proc. SPIE*, **1079** (1989) 462-474.
- 17) K. Minoura, Y. Shiraiwa, K. Isaka and T. Kobayashi: “Laser recording and image-quality evaluation,” *Proc. SPIE*, **1254** (1990).
- 18) K. Minoura: “Historical review and future trends of scanning optical systems for laser beam printer,” *Proc. SPIE*, **1987** (1993).