



スキャナー光学系

箕浦 一雄・鈴木 雅之

キヤノン(株)中央研究所 〒243-01 厚木市森の里若宮 5-1

(1990年2月1日受理)

Scanning Optical System

Kazuo MINOURA and Masayuki SUZUKI

Research Center, CANON Inc.,
5-1, Wakamiya, Morinosato, Atsugi 243-01

1. はじめに

“スキャナー”という言葉は、たとえば光束を偏向するためのスキャナー、イメージスキャナー、ドラムスキャナー、など画像の入出力系に比較的多く使用される。本稿においては、電気的走査による画像入力を行う1次元アレーセンサーを使用したイメージスキャナーやドラムスキャナーを使用する記録系¹⁾は対象としないで、光束を偏向するためのスキャナーとその応用として、最近、技術の進歩が著しいレーザー記録装置における光学系について述べる。

今日においては、レンズ設計は昔のカメラ技術のような限られた専門家だけでなく、それ以外の異業種技術分野においても盛んに活用されるようになってきている。これは収差論²⁾に代表されるレンズ設計法に始まって、コンピューター技術そのものの進歩と、自動設計法³⁾などコンピューターを活用する各種の技術蓄積の恩恵によるものであろう。そのように、蓄積技術により、レンズ設計は現在では、コンピューターの各種ソフトウェアの一つとして位置づけられてもよく、コンピューターを操作することができれば、比較的簡単に誰でもレンズ設計ができるようになった。

一方、レーザーの技術進歩は著しく、とくに半導体レーザーを記録系に活用したことは、低価格のデスクトップの小型レーザープリンターを普及させるきっかけとなった。そして、スキャナー光学系の各種技術検討により、画像の高精細化、記録の高速化、光学系の量産化、小型化、などの進歩が実用上多く見られるようになっ

た。また、このような技術蓄積に基づいてカラーレーザープリンターも実用化されている⁴⁾。

そして、最近では半導体レーザーの進歩はその短波長化においてとくに顕著であり、各種の短波長半導体レーザーがすでに実用段階にある。レーザー記録ではないが、3色のLEDを同時変調して記録する単純な画像形成プロセスによるカラー記録装置も実用化されている⁵⁾。このような各種の技術進歩を考慮すると、複数波長の半導体レーザーとシステムの最適化に対応するスキャナー光学系の開発により、高速記録が可能な高精細カラー記録装置が実用化になる時期は目前にあると言ってもよいであろう。

2. レーザープリンターの歴史的展開

レーザープリンターが市場に出て以来、今日の小型デスクトップレーザープリンターが普及するに至るまでの間に多くの技術進歩が見られる。スキャナー光学系はレーザープリンターの要の技術として、とくに量産化に注目して各種の検討がなされてきた。しかし、それ以外にパーソナルコンピューターの普及、レーザー、感光体、そして感光プロセス等の技術の進歩が足並を揃えて展開されてきたことにより、高度の複合技術の集積結果であるデスクトップレーザープリンターが普及したのである。

ここで、もう少し詳しくその歴史的展開を見てみよう。1970年代の中ごろに大型計算機用の高速ノンインパクトプリンターとしてレーザープリンターが実用化され、それ以後レーザープリンターは光プリンターの主流

を占めてきた。その用途に使用されるものを含めて、1970年代の終わりとごらまでのレーザープリンターにおいては、He-Ne、Ar⁺などのガスレーザー、光変調器としてA/O変調器、そして光偏向器として回転多面鏡を使用するものがほとんどであった。そのなかでとくに回転多面鏡を使用する光偏向器は複雑かつ高精度の製造技術を要するもので、各種光学系によりその精度の緩和が検討された。しかし、ガスレーザー、A/O変調器、そして回転多面鏡光偏向装置を含めた走査光学系は、量産技術が十分確立されていなかったこともあって、当時のレーザープリンターは非常に高価なものであった。したがって、レーザープリンターは1970年代の終わりとごらまでは、大型の高速機としての需要に重点が置かれて開発および商品化がなされた。

そのような状況のなかで、1979年に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が発表され⁶⁾、レーザープリンターの開発史上において小型化、低価格化という新局面の展開が始まった。当時の複写機用の電子写真感光体は半導体レーザーの発振する近赤外光に対して十分な記録感度をもつものがほとんどなく、半導体レーザーに対して感度向上のための開発がなされた。一方、半導体レーザーはその発振波長を可視領域に向けて開発がなされ、実用上の記録感度の問題が解決された。半導体レーザーを使用することにより、それまでのガスレーザーとA/O変調器による光学系が占めてい

た空間を1/10以下に小さくすることが可能となった。一般に、小型化の課題の解決に見通しが得られれば次には低価格化が課題となるであろう。レーザービームプリンターの開発において、低価格化の最大の課題は光偏向装置とそれを含めた走査光学系の量産性の向上であった。

1983年に超小型卓上型レーザービームプリンターが発表されて⁷⁾、デスクトップパブリッシングという巨大マーケットを創成するトリガーとなった。その超小型レーザービームプリンターに使用される走査光学系は、光偏向装置の製造精度を緩和するための独創的な方式を採用し、金属を材料とする回転多面鏡の高速切削技術の確立により量産性を高めた。この製品は感光体を含む画像形成プロセス技術が高度に集積化された結果として生まれたメンテナンスフリーの使い捨てカートリッジを使用し、量産性が高く、かつ偏向角度がおよそ100°という広角偏向に対応できる走査光学系を使用することにより、超小型化、低価格化が実現された⁷⁻⁹⁾。その光学系を図1において紹介する。この製品の量産化により、回転多面鏡の量産性に対する従来の疑問は解消された。

以上のように、小型低価格のレーザープリンターは急速に発展し普及してきたが、これに対する他の光プリンターも成長しつつあることに注目すべきであろう。現在、レーザープリンター以外の主な光プリンターとしてLEDプリンターと液晶プリンターが実用化されている。

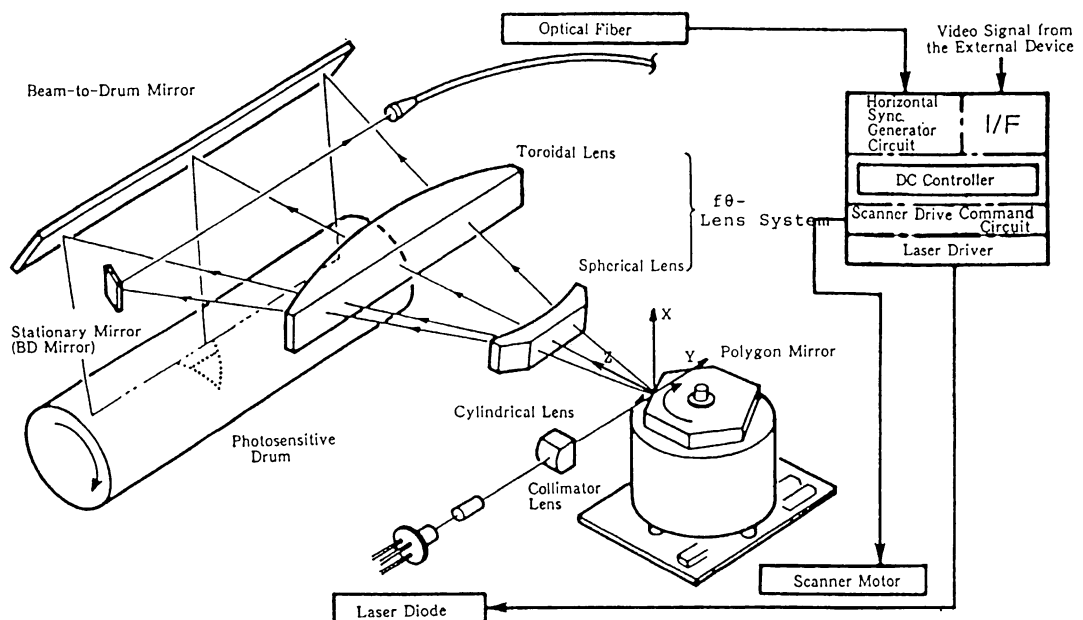


図1 超小型卓上レーザービームプリンター光学系

レーザープリンターは基本的に1本の変調光束を偏向して感光体上を走査するのに対して、LEDプリンターと液晶プリンターは、変調可能な複数の情報光源と感光体を1:1の結像倍率の共役関係にすることにより画像を形成する。すなわち、レーザープリンターは光ビーム偏向走査のために比較的長い光路長を必要とするのに対して、他の上記の二つの光プリンターは結像レンズアレーを使用することにより光路長を短くすることが可能である。この点だけに注目すれば、レーザープリンターは他の二つの光プリンターに対して不利であることは否めない。しかし、装置全体として見たとき、その光路長の差が優劣を決める決定的な要因といえるほど重大な問題かどうかは疑問である。最近のレーザービームプリンターはさらに小型化されている¹⁰⁾。現状では、LEDプリンターの場合はチップの歩留り向上、液晶プリンターの場合はそのスイッチングスピードとコントラスト比に限界があり、ともにレーザープリンターと競合できる状況ではない。集積化においてLEDプリンターや液晶プリンターより劣るレーザープリンターが圧倒的マーケットシェアを確保しているということは、その方式、そのコンポーネントがいかに安定して高速に高品位の画像を提供するものであるかということを立証しているようである。

今日の小型、低価格のレーザープリンターは、レーザー技術、光偏向器を含む走査光学系の技術、そして画像形成プロセス技術など各要素技術、コンポーネントの量産技術、そして複合集積技術などにおいて、一步一步の着実な技術の積み重ねによって実現されたものである。他のレーザー走査画像入出力機器においても、その優位性を活かした画期的な製品が今後多く生まれる可能性があり、スキャナー光学系の技術は新しい展開の局面が開けてきたと考えられる。

3. スキャナー光学系

レーザー走査画像機器への応用の観点に立って、その光学系に関するコンポーネントとして、レーザーはその重要な一つであるが、ここでは、偏向器を含む走査光学系に絞って述べる。

現在、光偏向器には回転多面鏡、ガルバノミラー、ホログラム、A/O素子などが実用化されている。

回転多面鏡は、光偏向器のなかでもレーザープリンター用として非常に多く実用化されている。その特徴は、使用波長に対して偏向特性が基本的に不変であること、広角、高分解点数の偏向が可能であること、そして比較

的、高速にビームを偏向できることなどである。最近では金属を材料とする切削加工技術の進歩¹¹⁾により量産が可能になり低価格化が可能になった。

ガルバノミラー型スキャナーは偏向速度が高速になるほど広角度の偏向を得ることがむずかしくなるが、比較的コンパクトな光偏向器で、正弦波あるいは鋸歯状波の駆動が可能であり、利用価値がある。

ホログラムスキャナーは現在POSスキャナーとして多く実用化されているが、レーザー走査記録用としては、回転多面鏡と比較するといくつかの実用的課題を解決する必要がある。その試みの例として、比較的広角度のビーム偏向に対して直線性の良い走査線が得られ、かつ、レーザーのモードホップによる走査面上でのスポット位置の変動を解決する方式があり¹²⁾、また、入射角度と出射角度をともに45°に設定して、そのスキャナー軸の傾き誤差によって発生する走査線間隔むらを補正するホログラムスキャナーもある¹³⁾(図2)。

A/O光偏向器に関しては、高速にランダムアクセスが可能であることが特徴であるが、分解点数が比較的小さいことが欠点である。新しいA/O光偏向器として、光導波路型の素子が研究されていて、その一例としてプリンターヘッドへの応用を試みた例がある¹⁴⁾。

スキャナー光学系は、よく知られているように、pre-objective型(偏向器が結像レンズの前に配置されるタイプ)とpost-objective型(偏向器がレンズの後ろに配置されるタイプ)の2種類に大別され、それぞれ利点、欠点がある。前者は結像レンズに偏向特性(等角速度偏向あるいは正弦状角速度偏向)に応じた歪特性をもたせることにより、歪のない画像を得ることができ、かつ、像面湾曲の補正により平面走査が可能である。この方式においては、結像レンズのコストが心配されるようであるが、レーザープリンター用としての走査レンズの設計検討^{15),16)}により低コスト化が可能になった。

一方、後者のpost-objective型は光学系が非常に簡単になるが、歪のない画像を得るためにレーザー変調を時間的に非線形にする必要があり、平面を走査するためには、偏向角度を小さくするか、あるいは特別の工夫を要する。たとえば、曲面ポリゴンミラーを使用して主走査像面湾曲を改善し、比較的広角度走査を可能にした例がある¹⁷⁾。今後のレーザープリンターは画像の高品位化が要求されているので、小さい結像スポット径を得るのに有利なpre-objective型の検討がますます進むと考える。

次に、光偏向器の偏向誤差(ここでは、ビームが偏向

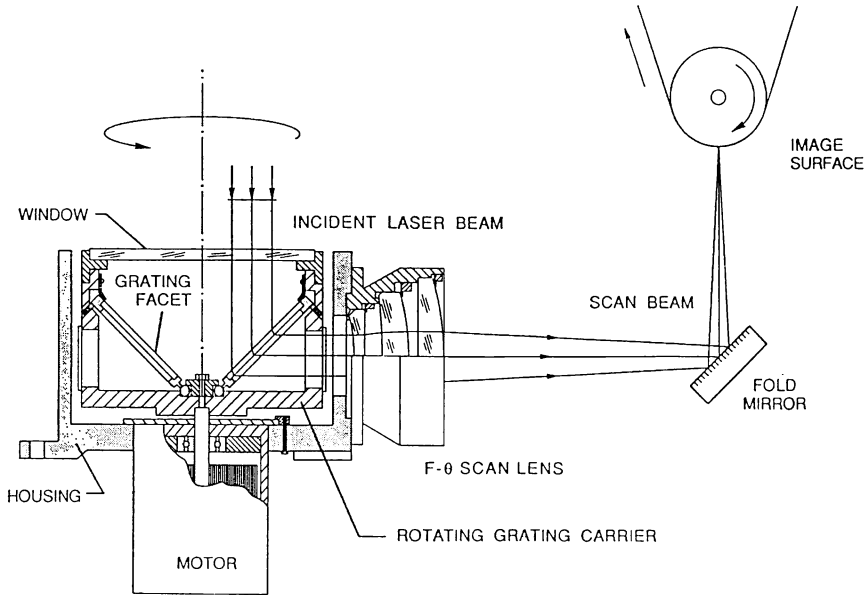


図2 回転軸倒れ誤差を補正するホログラムスキャナー

される面に直交する方向のビームの偏位)を補正する方式とその例について紹介する。とくに光偏向器が回転多面鏡やガルバノミラーなどの機械式光偏向器の場合には、その回転軸の倒れ誤差、および偏向面の加工誤差によって発生する走査線の間隔の不均一性に注意する必要がある。それらの誤差があっても、均一な走査線間隔を得るための光学系の補正方式は大きく次の三つに分類される。

- (a) 共役補正方式：偏向器の倒れ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

方式(a)はシリンドリカルレンズあるいはトーリックレンズなどのアナモフィックレンズを使用することにより実現される。図1はその実用例として超小型レーザービームプリンター⁷⁻⁹⁾に使用されている光学系の基本的構成配置を示すものである。

方式(b)は偏向されたビームに対してプリズム系の角倍率変換を利用する方法¹⁸⁾と焦点距離の短いシリンドリカルレンズを被走査面の近くに配置する方法¹⁹⁾がある。

方式(c)は、基本的には同一光偏向器で二度ビームを反射させる手法を使用し、最初の反射で生じた偏向誤差を二度目の反射において相殺させる。そのためにルーフミラー、ペンタプリズム²⁰⁾(図3)、あるいは最初の反射点と二度目の反射点共役の関係になるような反射光学系が使用される。

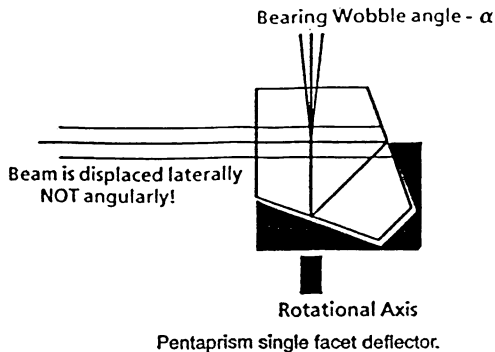


図3 ペンタプリズムスキャナー

4. 最近のレーザー走査光学系技術

最近、デスクトップパブリッシングや印刷の分野において、出力画像の高精細さ、高速記録、そして量産性などの観点でレーザー走査記録技術が脚光を浴びている。そのいくつかの例を紹介する。

まず、高精細記録に関しては、画素密度が 1800 dpi という高密度記録を、母線が互いに直交する二つのシリンドリカルレンズ系をもつ光学系によって達成した例

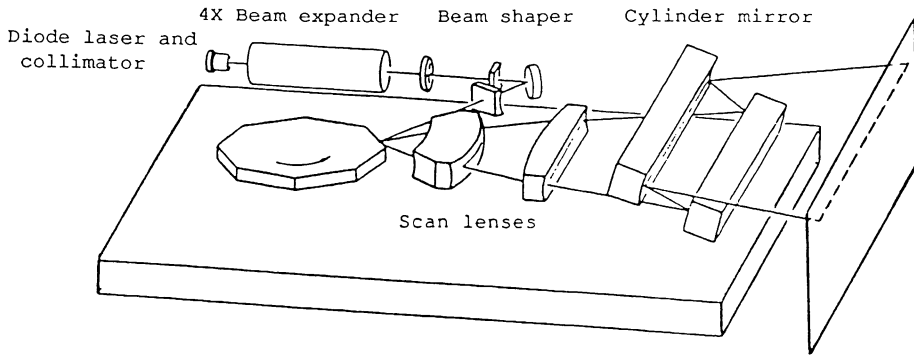


図 4 シリンドリカル面をもつ高精細記録走査光学系

があり、この報告によると、走査線間隔誤差を1画素の1.6%以下にしている²¹⁾(図4)。そして、600~1200 dpiの範囲で画素密度を選択できる高画素密度レーザー走査記録装置を製作して、画像の高品位化のための画素密度と中間調多値の関係を解析した報告もある²²⁾。表1にそのシステムの主な仕様を示す。この報告においては、半導体レーザーのパルス幅変調によって中間調多値を得ているが、印刷関連分野では、網点の形成を2値(レーザー変調がonとoffの2種類)で行う方式が多いようであり、1800 dpi以上の高画素密度の記録装置が必要となり、必然的に走査線間隔の不均一さを十分に補正する必要がある。

一方、高速化に関しては、複数のレーザービームを利用して、感光面上を同時に複数走査する方式が周知であ

るが、半導体レーザーアレーを使用する場合にはその発光部のアレー間隔を小さくすることに限界がありその活用方法がいろいろ検討されてきた。走査線に対して半導体レーザーのアレー面(接合面)をわずかに傾けて複数走査する方法は従来からよく知られている。これに対して、走査線を直交する方向にアレー面を設定して、インターレースを行う方法も報告されている²³⁾(図5)。

次に、量産性に関しては、プラスチックのモールド部品を光学系に導入する報告がいくつかなされている²⁴⁾。プラスチックを光学系に使用する場合は、温度、湿度など耐環境性を十分に検討する必要がある。モールド技術によれば複雑な面の量産加工に関して心配が少なくなることから、トーリック面やその他の非球面を導入した光学系の検討に関していくつかの報告がなされている^{25,26)}

表 1 高品位画像の検討用のレーザー走査記録系の仕様

Host computer	μ VAX
Pixel data rate	6 MHz
Frame memory	5250×7500 bytes
Data length/Pixel	166 ns (max), 1 ns (min)
Laser diode	HL 7838 G, Hitachi., Ltd.
max power	20 mW
wave length	780 nm
Focal length of collimator lens	22.65 mm
Selectable apertures	11.33 mm ϕ , 8.4 mm×6.0 mm, or 5.6 mm×3.9 mm
Focal length of cylindrical lens	157.1 mm
Polygonal mirror	6 facets (tilt error<5")
diameter (circumscribing circle)	50.0 mm ϕ
selectable speeds	3580 rpm, 4733 rpm, or 7160 rpm
Focal length of F-theta lens (in the deflection plane)	169.38 mm
Space error of scanning line	<0.03 μ m
Selectable space of scanning line	21.2 μ m, 28.2 μ m, or 42.3 μ m
Selectable pixel density	1200 dpi, 900 dpi, or 600 dpi
Selectable gradation levels	166

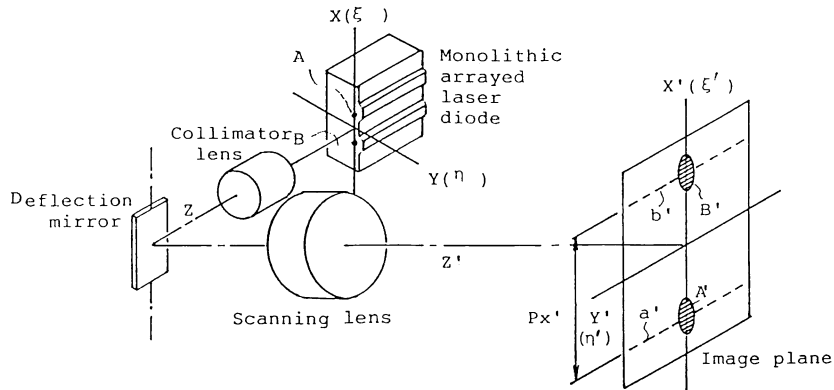


図5 アレーレーザーを使用したインターレース光学系

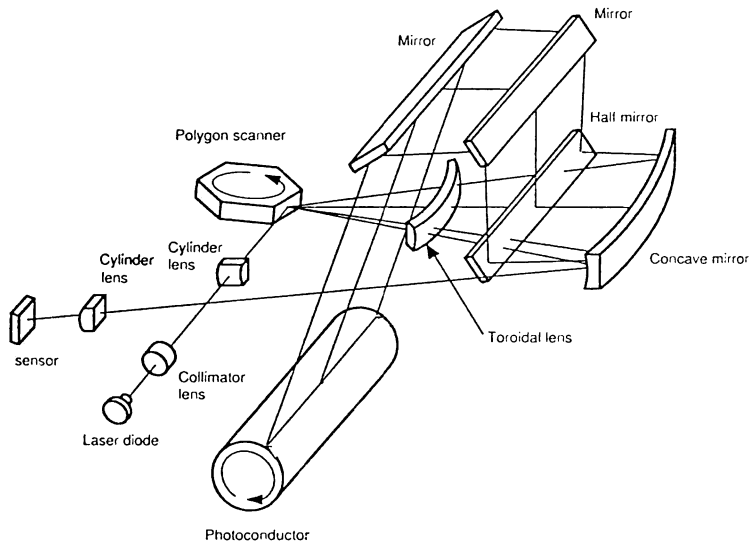


図6 プラスチックモールドを使用したレーザー走査光学系

(図6).

5. 今後のレーザー走査記録系と光学系

以上のごとく、レーザー走査記録技術を中心として、そこに活用される光学系について種々の技術開発の報告を紹介してきたが、今後この関連の技術動向について少々、著者の考えを述べる。

本稿においてはレーザー走査記録技術の応用分野については詳しく触れなかったが、今後、デスクトップパブリッシング、印刷製版、医療画像、HDTV 関連画像、各種画像解析など多くの分野でその優位性を活かしてレーザー走査記録技術が展開されることが予測される。それらの各分野において画像のカラー化は今後ますます重要なテーマとなるであろうから、レーザーおよび感光体

の研究開発はいっそう活発になり、それらをシステム化の観点で活用する光学系の技術もより高度の展開が必要になるであろう。

そのなかで、とくに半導体レーザーの短波長化が今後の重要な課題の一つであろう。その技術の進歩により、より短い波長を発振し、耐環境性、寿命など実用面での特性を十分満足する半導体レーザーが望まれる。究極として、可視域全域をカバーできるようになれば、その応用システムは多種多様におよび、レーザー記録技術のさらなる全盛時代が目に見えようである。

一方、光学系の技術においては、より高密度に、より高速に、そしてより多く普及することを目標にしてその設計技術、生産技術がさらに進歩すると信ずる。ただ一つ注意すべきこととして、記録装置だけでなく、他の

装置でもシステムを開発する場合には、要素技術の高度化が重要であるが、特定の要素技術だけにその機能負担を大きくしすぎないように、全体をみて、電気、機構、半導体レーザー、光学、感光材料などの要素技術を高精度、高速、小型化、量産性などの観点で、バランスよく融合させるためのシステム技術が重要であることは言うまでもないであろう。

文 献

- 1) K. Nagao and Y. Morimoto: "High image quality laser color printer," Hard Copy Output, Proc. SPIE, **1079** (1989) pp. 90-98.
- 2) 松居吉哉: レンズ設計法 (共立出版, 東京, 1972).
- 3) 南 節雄: "レンズ自動設計のシステムについて", 光学技術コンタクト, **11**, 10 (1973) 17-23.
- 4) 里村 博: "高品位デジタルカラーコピー", 写真と印刷に関する講演会, 日本写真学会 (1989) pp. 26-34.
- 5) S. Tatsumi and T. Ohtsu: "Full color hardcopy system based on a photo-thermographic material," Hard Copy Output, Proc. SPIE, **1079** (1989) 224-231.
- 6) 北村 喬, 棚木孝一: "レーザービームプリンタ LBP-10", 信学会研究報告 IE 79-55 (1979) p. 9
- 7) K. Minoura and T. Kuge: "The new technology for a new concept laser beam printer," The Second International Congress on Advances in Non-Impact Printing Technology, SPSE (1984).
- 8) S. Minami, K. Minoura and H. Yamamoto: "Scanning optical system of the Canon laser beam printer," Design of Optical Systems Incorporating Low Power Lasers, Proc. SPIE, **741** (1987) 118-139.
- 9) S. Minami, K. Minoura and H. Yamamoto: "Optical scanner design leads to commercial laser printer success," *Laser Focus/Electro-Optics* (1987) pp. 98-106.
- 10) T. Saito: "Non-impact printing in Japan," Hard Copy Output and Printing Technology, Proc. SPIE, **1252** (1990).
- 11) 渡辺 智: "金属ポリゴンの切削加工", 光学, **13** (1984) 505.
- 12) 岩岡秀人, 塩沢隆広: "直線, 無収差 ホログラムスキャナ", 電子通信学会技術研究報告, **OQE 84-86** (1984) 25.
- 13) C. J. Kramer: "Hologon deflector for high-resolution internal drum and flat-field imaging," Hard Copy Output, Proc. SPIE, **1079** (1989) 427-442.
- 14) 野崎信春, 栖原敏明, 西原 浩: "光導波路型音響光学プリンタヘッド", 電子通信学会技術研究報告, **OQE 85-177** (1985) 43.
- 15) 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** (1983) 348.
- 16) 佐久間伸夫: "レーザープリンタ用 $f\theta$ レンズの単玉化", Ricoh Tech. Rep., **7** (1983) 4.
- 17) 佐久間伸夫, 今河 進: "曲面ポリゴンミラーを用いる走査光学系", 光学, **16** (1987) 363.
- 18) キャノン: 特公昭 59-9883.
- 19) 日立: 特開昭 52-153456.
- 20) G. K. Starkweather: "A high resolution laser printer," J. Imag. Technol., **11** (1985) 300-305.
- 21) D. Kessler, D. DeJager and M. Noethen: "High resolution laser writer," Hard Copy Output, Proc. SPIE, **1079** (1989) 27-35.
- 22) K. Minoura, Y. Shiraiwa, K. Isaka and T. Kobayashi: "Laser recording and image-quality evaluation," Optical Hard Copy and Printing Systems, Proc. SPIE, **1254** (1990).
- 23) K. Minoura, M. Suzuki and S. Miyazawa: "A study on laser scanning systems using a monolithic arrayed laser diode," Hard Copy Output, Proc. SPIE, **1079** (1989) 462-474.
- 24) H. Fujita and H. Yamazaki: "Scanning lens system for laser beam printer," Hard Copy Output, Proc. SPIE, **1079** (1989) 475-487.
- 25) 久田隆紀, 有木美雄, 丸山竹介: "トーリックミラーを用いたレーザープリンタ用光学系", 1988年秋季応用物理学会予稿集, 6 p-N-11 (1988).
- 26) A. Hamada and M. Kuroda: "Design and evaluation of molded plastic laser scanning optics using a concave f-theta mirror," Optical Hard Copy Output and Printing Systems, Proc. SPIE, **1254** (1990).