

解説

高速半導体レーザープリンター

有本 昭*・斎藤 進**・森山 茂夫*

* (株)日立製作所中央研究所 〒185 国分寺市東恋が窪 1-280

** 日立工機(株)勝田研究所 〒312 勝田市武田 1060

(1990年2月28日受理)

High Speed Diode Laser Printer

Akira ARIMOTO,* Susumu SAITOU** and Shigeo MORIYAMA*

* Central Research Laboratory, Hitachi Ltd.,
1-280, Higashi-koigakubo, Kokubunji 185

** Katsuta Laboratory, Hitachi Kouki Ltd.,
1060, Takeda, Katsuta 312

1. 始めに

レーザープリンターは、1975年 IBM による最初の発表以来¹⁾、高速な印字速度、多様な出力形態が可能なこと、高品位の印刷が可能など従来のプリンターにない特徴を有するという理由で、計算機の出力装置、ワープロ、パソコン等のOA装置として主要な役割を果たしている。さらに、1979年にキヤノンから半導体レーザー搭載の小型のプリンターが商品化されたのを契機²⁾として、爆発的な伸びをもってOA市場での拡大が図られている。

一方、計算機用レーザープリンターは大手ユーザーへの導入は一巡したものの、依然として性能向上を狙った新機種種の開発、中小ユーザーへの導入などで着実に市場規模を広げており、各種サービスでの多品種文字および画像印刷、高品位の印刷機能が常に要求され、そのため技術開発が急がれている。本報告では高速の計算機用プリンターの最近の技術動向について解説する。

2. 半導体レーザー化への問題点

レーザープリンターの光源として半導体レーザーを用いることによって、AO外部変調器の除去、装置の小型化、省エネルギー化が図れる³⁾。しかしながら現在まで、印字速度10k行/分以上のレーザープリンターではAr⁺やHe-Cd, He-Ne等の気体レーザーが使われていた。

その大きな理由は次のとおりである。

- (1) 半導体レーザーの波長に合った感光体が入手しにくい。あるいは高出力の半導体レーザーが得にくい。
- (2) 半導体レーザーの波長が気体レーザーの波長に対して1.5~2倍と長いので、高分解能でかつ高速の走査光学系が構成しにくい。

しかし、(1)の問題に対しては最近50mW以上の半導体レーザーの開発も行われており、ちかぢか解決される可能性が大きい。また感光体も非晶質Siや有機光電感光体(OPC)等長波長の光に应答する材料が続々実用に供されている。それよりも(2)のほうがより深刻な問題と考えられる。半導体レーザーの波長が気体レーザーにくらべ1.5~2倍長いので、同一の解像力を有する光学系を構成するときには、NAを波長比だけ大きくすることが要求される。高速高密度印刷を実現するには、走査の周波数は数kHzと高いものが要求されそこに使う回転多面鏡の回転数への負担が厳しいものとなる。したがって、面数を少なくして走査面角を大きくすることができない。回転鏡の面数は8以上が適当な値となる。とくに計算機用の場合、印刷幅が400mmと広いので、長焦点距離の光学系と大きな半径の回転多面鏡が必要となる。回転多面鏡を用いるレーザー走査の場合、入射レーザー光束径を回転多面鏡の面積より大きくする場合と、その逆の場合がある(図1(a), (b))。

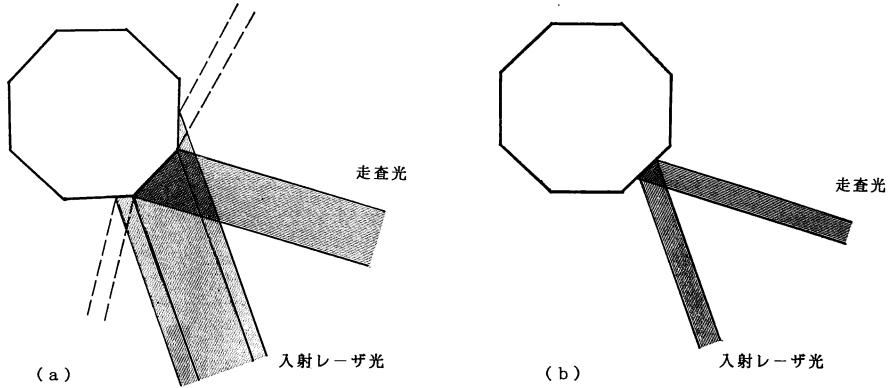


図 1 回転多面鏡へのレーザー入射方法

前者は回転多面鏡の走査角度 $2\pi/n$ (rad) が有効に使えるものの入射レーザー光の半分しか常に使えず、レーザー出力への負担が大きい。したがって後者の光学系が一般的である。走査角度、入射レーザー光束、多面鏡面数の関係は、式(1)で与えられる(図2)。

$$\theta_a + \theta_b = 2\pi/n + \sin^{-1}(\sin \beta - D/2R) - \sin^{-1}(\sin \beta + D/2R) \quad (1)$$

ここで、 θ_a 、 θ_b は走査開始および終了時の回転多面鏡の位置を示す角度、 R は回転多面鏡半径、 D は入射レーザー口径である。また β は光軸に対するレーザー光の入射角度である。走査中レーザー光のけられが反射面で生じないようにするため、有効走査角度は $2\pi/n$ (rad) より小さい。通常はその $2/3$ 程度が有効走査角度となる。

図3は走査幅と使用レンズの焦点距離の関係を示す。破線は波長が 4416 \AA の He-Cd レーザーを用いたときの関係を示す。400 mm の走査幅を得るには焦点距離 480 mm のレンズを使えばよいが、この多面鏡で 780 nm のレーザーを用いたときには同じ焦点距離では 300 mm しか走査できない。

走査幅 400 mm を半導体レーザーで走査しかつ多面鏡の半径を同じにするには、面数を減らす必要がある。たとえば、図4は、面数を12から10に減らし、かつ印刷

速度 32.5 インチで印字密度 240 dpi の場合の多面鏡面数と回転数の関係を示したものである。12 面鏡では 42 krpm の回転数が10 面鏡では 50 krpm を越す。われわれの経験では 50 krpm 以上では回転時に動的バランスが崩れて回転に擾乱を引き起こす。したがって、焦点距離、回転多面鏡径を一定にして同じ印字速度、印刷幅を保つには、何らかの形で回転多面鏡の回転数を減らす必要がある。複数光源を導入し、平行走査を行い回転多面鏡の回転数を使用レーザー数で割った値に低減する必要

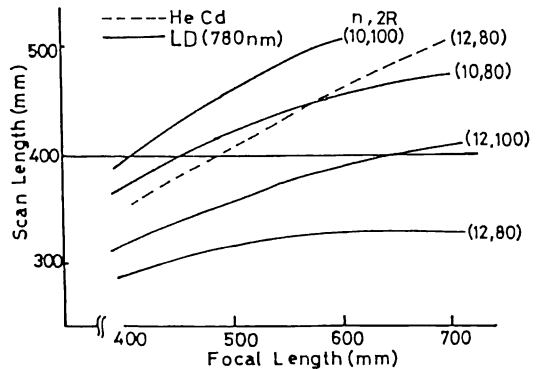


図 3 走査幅と焦点距離との関係

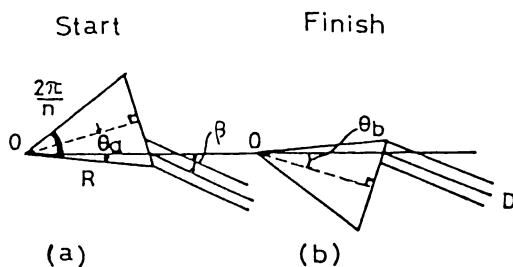


図 2 走査角度の多面鏡パラメータとの関係

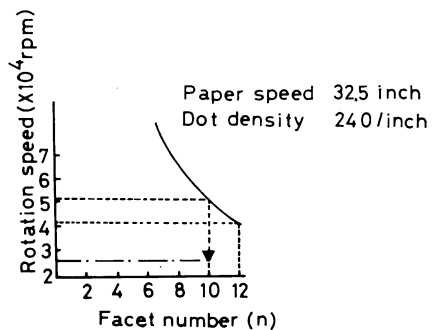


図 4 多面鏡面数と回転速度との関係

性はこの点から生じる。

3. 複数光源の選択肢

複数半導体レーザー光源を用いる光学系の構成法は二つある。

(1) 半導体レーザーアレイを用いる方法

(2) 単体の半導体レーザーを用いる方法

(1)に関しては、2~8本の半導体レーザーをモニタリングに集積化したものが開発されている。また8素子のレーザーアレイを用いたレーザープリンターが試作されている³⁾。

また最近では、デスクトップ用を目指した2個の集積化されたレーザーアレイを用いた研究例も発表されている⁴⁾。その例では、隣り合った走査線のインタレースを検討することでレーザー間隔が広くてもレーザー走査間隔が稠密にできることを示している。現在の半導体レーザーアレイはレーザー間隔は25~100 μm でありお互いの間隔が近接しているため、熱的なクロストークが生じる。しかし、この間隔でも光学的には扱えない。実際使用するうえでは、隣接する2本を同時に平行走査させるには、間隔が近ければ近いほど光学系の設計上都合が良いからである。これに対し、レーザーアレイ以外の可能性としては、単体の半導体レーザーを複数使うことが考えられる⁵⁾。この問題点は使用する半導体レーザーの相互位置をいかに正確に維持できるかにかかっている^{6,7)}。半導体レーザーの発光点は幾何光学上点光源と考えられるため、感光ドラム上の走査面とは近似的に幾何光学的な共役な関係と見なすことができる。そのため、レーザーの発光スポットサイズとスポット間隔の比は、走査面上での集光スポット径と走査間隔の間隔との比と同じ値に保たれる。

ドラム面上のスポット径は60~100 μm のオーダーであり、また走査間隔も1スポット径にほぼ等しい。したがって、走査間隔に比して1桁以下の精度に抑えるには、レーザー間隔の精度を発光点1 μm の10分の1以下の0.1 μm 程度に設定する必要がある。しかし、光学系の機械的、熱的な間隔の変動を常に0.1 μm のオーダーに抑えることは事実上不可能であり、走査間隔を一定にするには、何らかの形の位置制御方法を導入する必要がある。

4. 複数ビーム走査光学系

図5は2本のレーザーを用いた走査光学系を示す。2本の半導体レーザー光は、偏光プリズムを通しほぼ同一

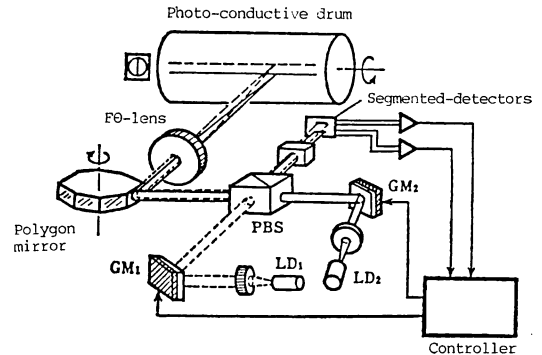


図5 2ビーム半導体レーザー走査光学系

方向の2本ビームとして合成され、回転多面鏡、F θ レンズからなる走査光学系に導かれる。一方、数%の光はビーム間隔を検知するための光検出器へ導かれる。この光検出器と走査面である感光ドラム面とは、幾何光学的に共役な結像関係にある。レーザー光の位置検出には、2分割の光検出器2組が用いられる。そして、おのこのレーザー光を2分割の光検出器上にのせるようにサーボ制御をかける。各2組の2分割検出器の中心分割線の間隔が所定の走査線間隔に相当するように、検出器群と感光ドラム面の関係をあらかじめ設定しておく。レーザー光の結像スポット径と走査間隔の比は4分割検出器の2組の検出器間隔と検出器の大きさの比と等しくしておく。このような配置で、走査面上の2本のレーザー光の間隔を所定の精度に設定することが可能となり、高品位の印字が高速で可能となる。

5. レーザービーム走査光学系の耐震周波数特性

本光学系のスポット制御における周波数特性を調べた。本来この制御系は、熱的あるいは経時的な原因による位置変動を監視制御するものであるが、ガルバノミラーのような光偏向器を用いると逆に装置全体が有する機械振動を拾う恐れがある。

また本系では光ディスクとは異なり、印刷情報によりレーザー光をON-OFFし変調しており、常にレーザー光を出射しているわけではない。したがって、サーボ制御は特定の時間内に行うサンプルホールド制御の必要がある。図6は制御のためのタイムチャートを示す。ここで非印刷時間に相当するブランキング角度は、

$$4\pi/n - 2(\theta_a + \theta_b) \quad (2)$$

で与えられる。ここで、ブランキング時間内にレーザーを点灯し4分割の検出器で検出する。そのとき生じた位置誤差をガルバノミラーを駆動することで補償する。印

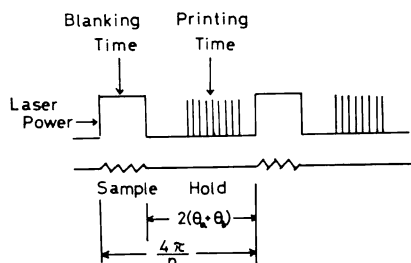


図 6 2 ビームレーザービーム制御のタイムチャート

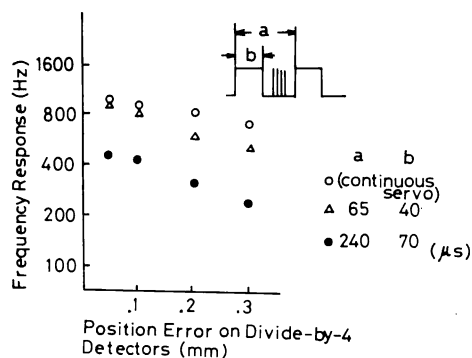


図 7 スポット制御の周波数特性

刷時間内はそこで補正した状態を維持する。図7はこのシステムの周波数応答特性を示す。aは制御のサイクル時間を示し、bはブランキング時間を示す。制御時間の比率が下がるにつれて周波数特性は低下する。黒丸が今回印写実験を行った制御時間に対応する。約30%の時間が制御に使われる。これによれば、約400Hzの外部振動まで補正が可能であることがわかる。

6. 実験結果

今回の実験には、気体レーザーを用いた高速のレーザープリンターの光学系を2個の半導体レーザーを用いた光学系に置き換え、感光体には赤外波長で感度のある非晶質Si感光体を用いた。表1に実験の条件を示す。また印字サンプルを図8に示す。(a)はサーボ制御のある場合を示し、(b)はない場合を示す。当然のことながらサーボ制御を施すことで高品位の印刷が維持できることがわかる。

7. 高解像度化への対応

高解像度化には、走査速度を増加させると同時に大きなNAに対応した光学系を用意する必要がある。現在まで数多くの光学系が提案されており^{8,9)}、おのおの長短所があり、どれが最適かを判定するのはなかなか困難

表 1 2 ビームレーザー走査の印写条件

Paper speed	32.5 inch/s
Resolution	240 dots/inch
Print width	16 inches
Laser power	30 mW/laser
Laser wavelength	780 nm
Modulation frequency	20 MHz/laser
Photoconductivity	0.1 m ² /mJ



(a)



(b)

図 8 2 ビームレーザー走査法による印字サンプル (a) 制御ありの場合、(b) 制御なしの場合

である。レーザープリンターの光学系の解説は5月号に詳しく解説されているが、従来まで使われてきた光学系の例をいくつか示す。これらの光学系には、回転多面鏡の回転むらで生じる走査ピッチむらを補正するための非球面の光学系が使われている。

たとえば図9のAでは、印刷幅に匹敵する長さのシリンダレンズが使われている。しかし感光ドラム面に接近して配置されているため、電子写真印刷で使用されるカーボントナーがレンズに付着する。とくに高速のプリンターでは、多量のトナーを消費するためその影響は大きい。これを防ぐ方法としてシリンダ面やトリック面等の二つの非球面をFθレンズに導入した方法が使われている(図9B)。これらの非球面は必ず回転軸をもつ非球面であり、光軸に対して左右対称である。

回転多面鏡の面倒れによる走査線ピッチむらを補正する光学系では、副走査方向に関して多面鏡反射面と感光ドラム面は幾何光学的な共役関係にある。しかし、回転

多面鏡の反射面は多面鏡の回転に伴って移動する。しかも、入射光線が多面鏡に斜めの方向から入るような系では、その動きは光軸に対して非対称となる。この非対称な動きに対して、常に走査面にレーザー光を精度良く結像させるには、光軸に対して非対称な形状の光学素子を導入する必要がある。図 10 はその例である。本系に用いられる非球面は

- ① 主軸と副軸の半径が異なる。
- ② 副軸の半径がレンズの中心から離れるにつれて増

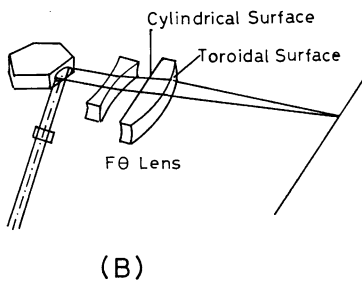
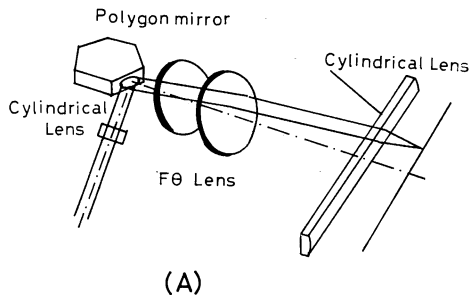


図 9 レーザー走査法の例

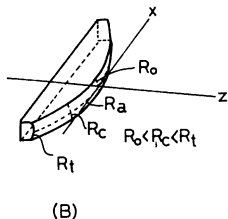
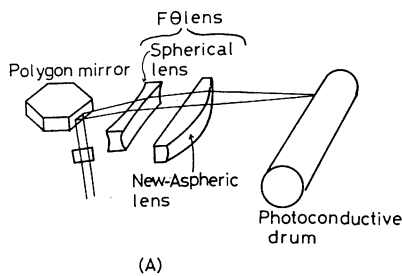


図 10 回転軸非対称非球面を用いたレーザー走査光学系

大する。

③ 副軸の増大の仕方が x 軸に対して非対称である。たとえば、主軸の半径が 155.7 mm に対し、レンズ中心部分での副軸の半径は 49.2 mm である。また副軸の変化の仕方を示したものが図 11 である。 x 軸に対し一側の端では 53.7 mm に対し、+側では 54.7 mm と非対称である。この非球面レンズと球面レンズでもって構成された $F\theta$ レンズの結像特性を示したものが図 12 である。

この場合、多面鏡の半径は約 65 mm であり、反射面の動きは ± 1 mm に達する。所定の感光ドラム面に対し、 ± 2 mm 以内に結像位置が主、副走査方向とも入っているのがわかる。このように、回転軸非対称非球面を導入することで結像位置を任意に調整できる。

上記のような非球面は、どこにも回転対称軸が存在しないので従来の研磨盤を用いたレンズ加工法では得ることができない。このため、次のようなレンズ加工法を開発した (図 13)。レンズ素材を回転テーブル上に配置する。レンズの加工面と回転中心はレンズ非球面の主軸半径に一致させている。

また研削用砥石はそれ自体副軸方向に揺動し、副軸の

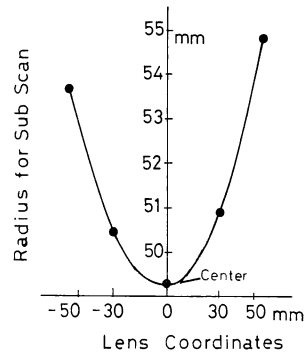


図 11 副走査方向の曲率半径の変化

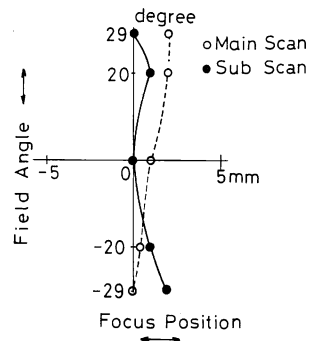


図 12 非球面レンズの最良像点位置

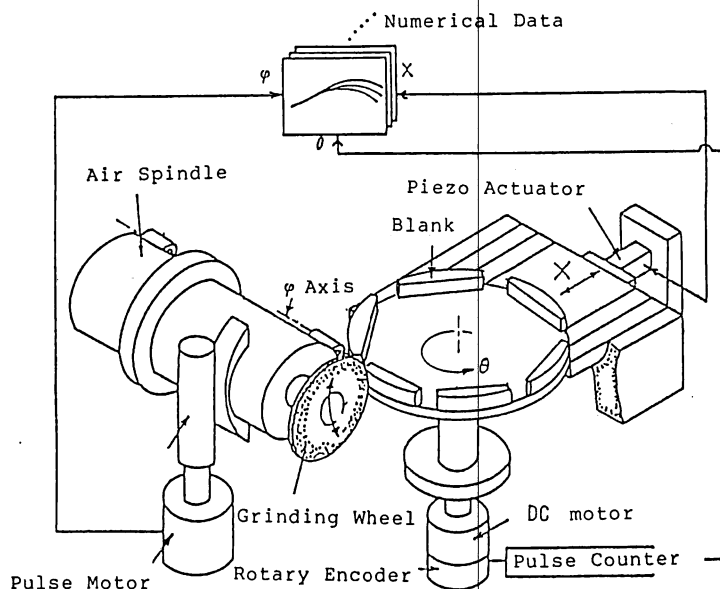


図 13 非球面レンズの加工法

半径を形成する。研削動作は回転テーブルを回転させながらかつ砥石も副軸方向に動かしながら加工する。この状態だと、トーリック面が形成されるが、本文に述べられた非球面を得るには回転テーブルの回転に同期して、テーブル自体をピエゾアクチュエータを用いて前後に出し入れする。この移動量はあらかじめレンズの設計値から算出されコンピュータに記憶されている。

8. 終りに

計算機用出力装置として主流を占めつつある、高速のレーザープリンターの最近の動向について報告した。最大の話題は半導体レーザーを如何に導入するかである。複数のレーザーを用いることが必要であるが、ここでは単体のレーザーを2個用いることで、半導体レーザー化が可能であることを示した。しかし将来は、半導体レーザーアレーが使われる可能性が大きいと思われる。走査光学系もさらに新しい非球面が使われていくものと思われ、新技術が次々に開発されるようであろう。

文 献

1) J.M. Fleisher, M.R. Latta and M.E. Labedeau: "Laser optical system of the IBM 3800 printer," IBM

J. Res. Dev., 9 (1977) 479.
 2) 柵木孝一: "レーザアレイプリンター", 第21回光学懇話会サマーマーセミナー論文集 (1983).
 3) 田辺文夫, 大月道明, 伊藤克之, 辻 健三: "半導体レーザー走査光学系", 第15回画像工学コンファレンス論文集 (1984) p. 203.
 4) K. Minoura, M. Suzuki and S. Miyazawa: "A study on laser scanning systems using a monolithic arrayed laser diode," Proc. SPIE, 1079, Hard Copy Output (1989) 462.
 5) 蘭 宗樹, 村山秀一: "半導体レーザマルチスキャナ", 昭和60年電子通信学会総合全国大会, No. 1301 (1985).
 6) A. Arimoto: "Dual beam diode laser scanning system with spot control system," Appl. Opt., 26 (1987) 2554.
 7) A. Arimoto: "Recent laser scanning technology in optical information systems," Proc. SPIE, 1139 (1989) 122. あるいは, 有本 昭, 斎藤 進, 森山茂夫, 望月健至: "回転非対称非球面を用いたレーザ走査光学系", 近藤芳正, 森山茂夫, 有本 昭, 久貝健一: "回転非対称非球面ガラスレンズの試作", 第49回応用物理学学会学術講演会, 6P-N9, 6P-N10 (1988) p. 738.
 8) 箕浦一雄, 鈴木雅之: "スキャナー光学系", 光学, 19 (1990) 283-289.
 9) H. Fujita and H. Yamazaki: "Scanning lens system for laser beam printer," Proc. SPIE, 1079, Hard Copy Output (1989) 475.
 10) S. Moriyama, Y. Kondou, A. Arimoto, S. Wada and K. Kugai: "Non axisymmetric lens fabrication for laser printers," Proc. SPIE, 1167, Revision Engineering and Optomechanics (1989) 219.