

三菱電子印刷における 高速・高精細光書込み装置の開発

Development of High Speed and Precision Recording System
for Mitsubishi Electronic Printing System

技術本部 池田 弘昭^{*1} 下山 誠^{*2}
三原製作所 島田 仁章^{*3} 古川 勝一^{*4}

印刷機械のデジタル化に対応した電子印刷機は、市場の多様化、小ロット化、即応性において従来の印刷市場を変革しつつある。こうしたニーズにこたえて、三菱電子印刷 MD 300 用のレーザ走査装置を開発した。光学技術、精密加工技術、電子制御技術を融合させることにより、800 dpi (dot/inch) の高画質な A4 サイズの画像を 1 s 以下で描画できるレーザ走査技術について紹介する。

Electro-printing system has brought a revolutionary change for the new press market that is known as a short run printing or on demand printing system. We have developed Mitsubishi electronic printing system MD 300 for this market with a new laser recording system. We have introduced the recording system that achieved the system performance of 800 dpi (dot/inch), 1 page (A4) per second by combining our highly sophisticated optics, precision machining and electronic control technology.

1. ま え が き

インターネットなどのマルチメディアの発達に伴い、表現の一形態である印刷技術にも革新の波が押寄せている。印刷情報のデジタル化と、それによる必要と必要な部数だけ印刷するオンデマンド印刷や、頻繁な印刷内容の改訂が瞬時に行えるページバリエーション印刷がこれに当る。そのため画像情報を出力する印刷機も、市場の動きに連動した技術革新が必要となっている。必要なデジタルデータを即時に紙面上に印刷する電子印刷は、高精度な光書込み技術を用いることにより、こうした印刷技術の革新に対応した製品となることができる。

通常の印刷物は小さなドットの集合体で、画像の形、濃淡、色を表現している。この小さなドットの集合体を網点と呼んでいる。この網点のモデルを図 1 に示す。一つの網点の大きさは、人間の明視の距離から識別できない 250 μ m 以下の大きさで構成されてい

る。この網点の大きさは小さいほど画像の形、濃度、色の表現力が増すことになる。網点の大きさは 1 in 当りの個数（線数）で表しており、我々が日常目にしている通常のオフセット印刷物では 100 線以上の性能が要求される。この網点をレーザスポットにより形成する技術が光書込み技術である。

2. 光書込み技術

レーザのスポットで画像を形成しようとする、スポット径は画像の細かさ、濃度値を制御するだけの分解能が必要となる。例えばある画像を 100 線、64 階調の濃度変化で表現しようとする、レーザスポット径は空間分解能の 100 線と 64 階調のうちの水平方向の 8 階調分の積である 800 dpi (dot/inch) が必要となる。さらに電子印刷の特徴である即時性に対応するため、レーザスポットの高速走査と光の変調速度の高速化も必要となる。

今回、開発した電子印刷の印刷速度毎分 72 枚/A4、画像品質 100 線 64 階調を達成するには、光書込み装置として解像力 800 dpi 以上、光の変調速度 60 MHz 以上の性能となる。現在 OA (Office Automation) 市場で利用されている一般的なカラーコピー機の解像度 400 dpi、印刷速度 6 枚/min の性能と比較すると、本光書込み装置は空間分解能で約 2 倍、印刷速度で約 12 倍の性能を有することになる。

2.1 光書込み技術の比較

電子印刷のような高精細な画像を記録する光書込み技術には、LED アレイ、液晶シャッター、レーザ走査等が考えられる。各技術の特徴を図 2 に示す^{(1)~(3)}。図 2 から高解像化、高速化にはレーザ走査系が適していることが分かる。

レーザ走査装置に必要な構成と機能は以下のとおりである。

- ポリゴンミラー：レーザビームを一次元走査する。
- 結像レンズ：レーザビームを所定の位置で目標とするスポット径に絞る。
- 半導体レーザ：画像を形成するための光源で、オン・オフすることにより画像を形成する。

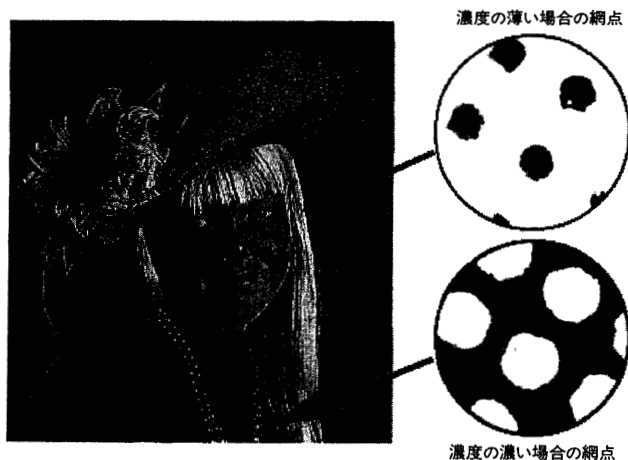


図 1 網点による画像構成モデル 印刷物は線数で形を、網点面積率で濃度を表現している。
Model of dot image structure on printing

*1 広島研究所色彩・画像研究室主務
*2 広島研究所色彩・画像研究室

*3 電子制御部電子印刷グループ主査
*4 電子制御部電子印刷グループ

	LED方式	液晶シャッター方式	レーザ走査方式
構成図			
長所	・高速変調が可能 ・駆動電圧が低い ・構成が簡単	・短波長化が可能 ・構成が簡単	・高速変調が可能 ・回折限界に近い高解像化が可能
短所	・各素子の光量ばらつきがある ・実装密度で高解像化に限界	・コントラストが低い ・変調周波数が低い	・短波長化できない ・可動部があり装置が大きくなる

図2 光書き込み技術の比較 発光する光源の種類により分類することができる。
Light recording method

このレーザ走査装置を用い、各々シアン、マゼンタ、イエロー、ブラック4色分の画像を作成し、重ね合わせることでフルカラーの画像を印刷することかできる。

2.2 本開発の特徴

今回の高速、高解像化を達成する光書き込み技術の課題と技術手段を次に述べる。

2.2.1 高速走査

印刷速度 72 枚/A4 を 800 dpi の解像力で印刷しようとする、レーザの走査周波数は 8 kHz となる。

ポリゴンミラーを 8 kHz の走査周波数で回転しようとする、6 面体ミラーで 80 000 rpm という高速回転となり、モータ軸受の耐久性、遠心力によるミラー面の変形によるビームのゆがみの問題が生じる。ミラーの面数を増やせば回転数を低減できるが、走査角度が小さくなり装置の大型化につながってしまう。そこで遠心力のゆがみの影響を生じない範囲の回転数でポリゴンミラーを使用するため光源をマルチ化し、複数個のレーザスポットを同時に書き込めるようにして、回転数を低下させても等価な走査周波数が得られるようにした。

2.2.2 結像レンズ系

レーザスポットで 800 dpi の解像力をもつには、50 μm のレーザスポット径が必要となる。通常ポリゴンミラーで走査したレーザ

ビームを結像するレンズとしては、走査角速度 ω に対し結像位置 $L = f\omega t$ なる関係が成立つ結像レンズ（通常 $f\theta$ レンズという）を用いる。この $f\theta$ レンズにより 50 μm 結像スポット径を得るには式(1)の条件を満たせばよい。

$$\phi = 4\lambda F/\pi = 1.3\lambda F \quad (1)$$

ここで、

ϕ : 回折限界のスポット径

λ : 光源波長

F : レンズの開口比

式(1)は回折限界時の場合であり、 $\lambda = 670 \text{ nm}$ で $\phi = 50 \mu\text{m}$ を得るためには、 $F = 57$ となる。光学設計上の制約から無収差レンズはかなり難しいが $f\theta$ レンズの場合、通常のレンズ $F = 1.4 \sim 5$ に比べ今回のレンズのように開口が $F = 57$ と暗いことから、Seidel の収差のうち球面収差やコマ収差は低減することが容易であり、以下の式(2)、(3)で表される非点収差とわい曲収差に着目して光線追跡による収差低減を図った。

$$\text{三次の非点収差} = \sum (a_i B_{0i}^2 + b_i B_{0i} + c_i) \quad (2)$$

$$\text{三次のわい曲収差} = \sum (d_i B_{0i}^2 + e_i B_{0i} + f_i) \quad (3)$$

ここで、

$a_i \sim f_i$: レンズの近軸係数

B_{0i} : レンズの形状パラメータ

i : レンズ面数⁽⁴⁾⁽⁵⁾

新たに設計した $f\theta$ レンズの非点収差とわい曲収差を図3に示す。

図3左図のリニアリティは、等角速度で回転するポリゴンによって走査されるレーザスポットの位置ずれを示したものである。通常の結像レンズでは、レンズ中心から遠ざかるにつれ同一角速度に対する移動距離が大きくなるレンズのゆがみ特性を有している。こうした通常の結像レンズを用いるとレーザの走査幅 300 mm の端（図のビーム位置 150 mm）では目的のスポット位置に対し 16 mm 以上、比率に直して 10% 以上の位置ずれが生じることになる。

この光学的なゆがみに対し、本レンズでは、わい曲収差を補正することで走査幅 300 mm の端でも 0.1% とスポット位置の高精度化を達成している。

図3右図の非点収差は、レーザスポットを走査する際、レンズ特性によって縦方向（走査方向と直角方向）と横方向（走査方向）でピント位置が変化することを示した図である。

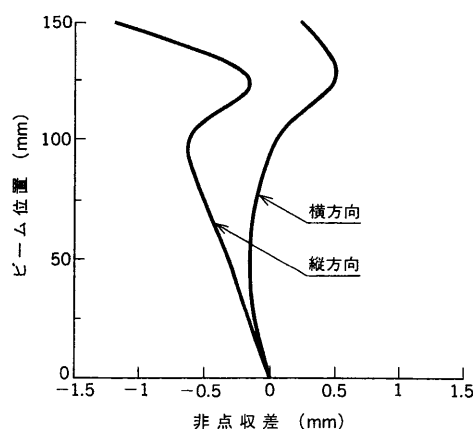
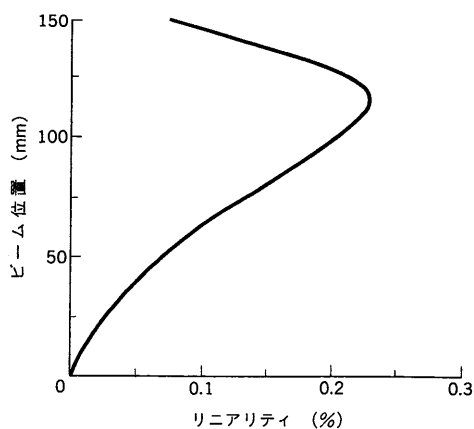


図3 $f\theta$ レンズの収差図 レンズによる光の収束状態を収差により評価できる。
Aberation of $f\theta$ lens

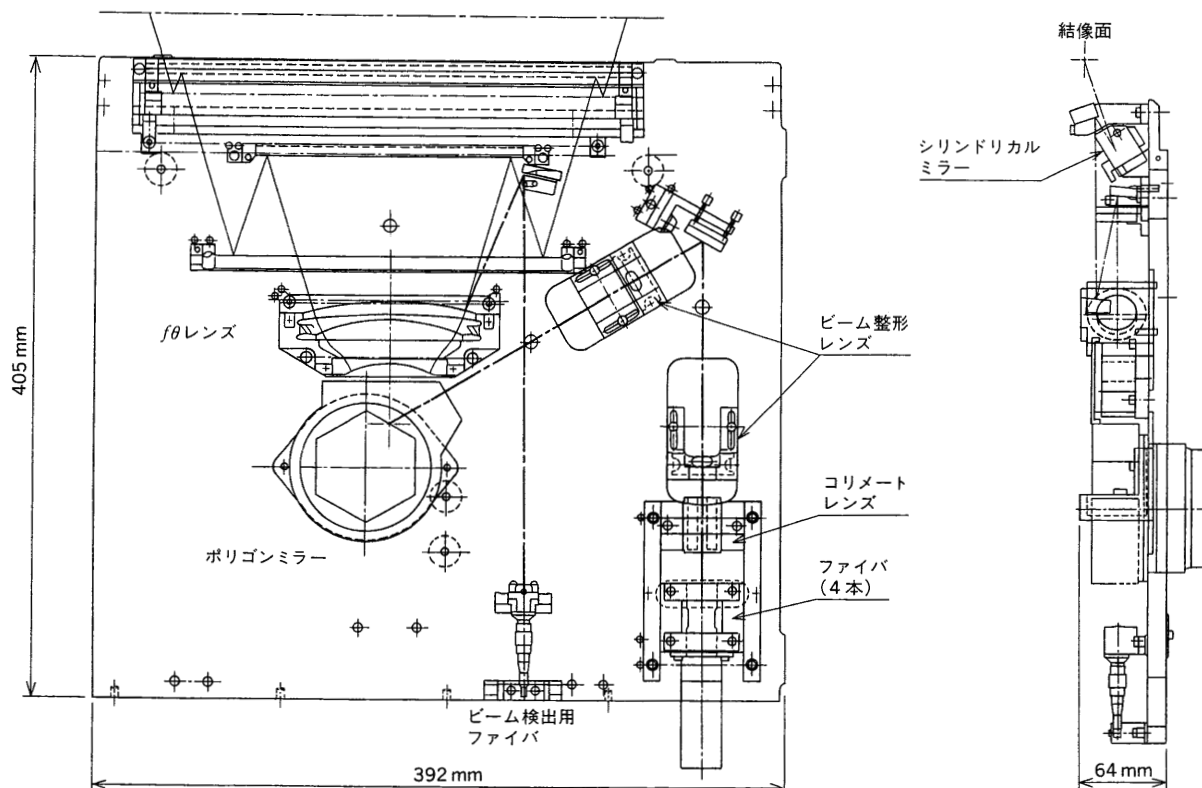


図4 レーザ走査光学系の構成 半導体レーザから出た光は、記録媒体上に均一なスポット径を等速に走査することができる。
Construction of laser recording system

この $f\theta$ レンズでは、走査全幅 300 mm にわたって、非点収差 1.5 mm 以下の特性であることが分る。この量は 50 μm のレーザスポット径に対する走査全幅の均一性が 5 % 以下という高精度であることを示している。

2. 2. 3 光源のマルチ化

ポリゴンミラーによる遠心ゆがみの影響を避けるため光源のマルチ化について述べる。半導体レーザのマルチ化はクロストーク問題等で実現が難しいため、複数の半導体レーザからレーザ光を一たんシングルモードファイバで伝搬し、このファイバを精度良く配列することにより光源のマルチ化を実現した。800 dpi に対応する配列精度は光学倍率を含めると誤差 4 μm 以下の高い精度でファイバを整列しなければならないが、高精度な加工と実装技術によりサブミクロンの精度を実現した。また光源のマルチ化により、個々のレーザ変調周波数を下げてもトータルのデータレートは高く設定でき、1チャンネル当りのレーザ変調周波数を 37.5 MHz とし、画像のデータレート 150 MHz を実現している。こうした技術手段を用いることで、画像書き込み時間 A 4 サイズ 0.8 s、解像力 800 dpi という高速、高解像な光書き込み装置が開発できた。

3. レーザ露光装置の開発

開発した走査光学系の構成を図4に示す。

波長 670 nm の半導体レーザをシングルモードファイバによりマルチ化した光源からコリメートレンズを通して4本ビームレーザ光が射出される。射出したレーザ光は縦ビーム径を決める整形用シリンダリカルレンズを通してポリゴンミラーに入射し、2 kHz の走査周波数で走査される。

記録媒体上での走査光は $f\theta$ レンズにより 50 μm のスポット径として等速走査され、画像データに従ってオン・オフを繰り返して、記録媒体上に画像を形成していく。

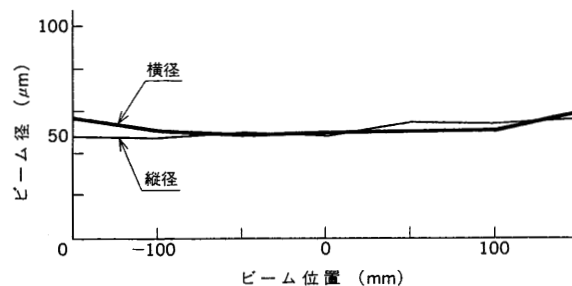


図5 走査位置でのビーム径 ポリゴンミラーで走査した結像面でのビーム径を計測したデータを示す。
Beam spot accuracy on scanning line

3. 1 走査装置

ポリゴンミラーは、 $f\theta$ レンズによる走査角を満足する6面体とし、軸受に耐久性の高い磁気軸受を用いた高速モータを採用している。ポリゴンミラーの回転むらは、各色ごとの色ずれを防止するためPLL (Phase Locked Loop) 制御により同期制御し、回転むらを抑制している。またポリゴンミラーの角度誤差を補正するためのシリンダミラーは、走査線曲りを低減するため像面の近くに配置してある。

3. 2 ビーム結像系

$f\theta$ レンズは球面3枚構成とし、短焦点化を図ることにより広角度走査を実現している。同時に $f\theta$ レンズへの入射ビーム径も小さくできることから、ポリゴンミラーの大きさも小さくすることができ、装置のコンパクト化に寄与している。このレーザ走査装置の4本ビームの走査位置に対するビーム径変化を図5に示す。走査領域全般にわたり目標とする均一なビームが得られている。

3. 3 光源部

ファイバ光源は、配列精度 1 μm 以下を実現するため高精度に加

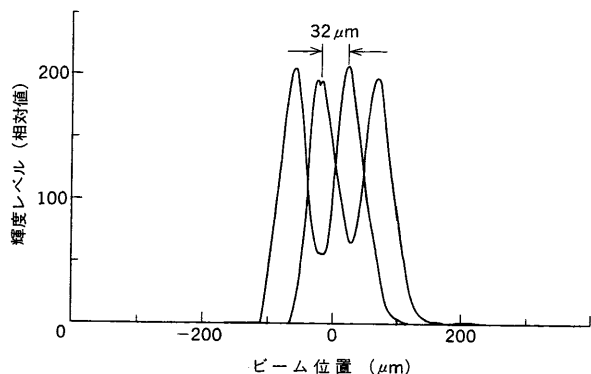


図6 マルチ光源による走査線間隔 精度良く配列されたファイバ光源からの4本の走査線ピッチを計測した結果を示す。
Scanning lines pitch

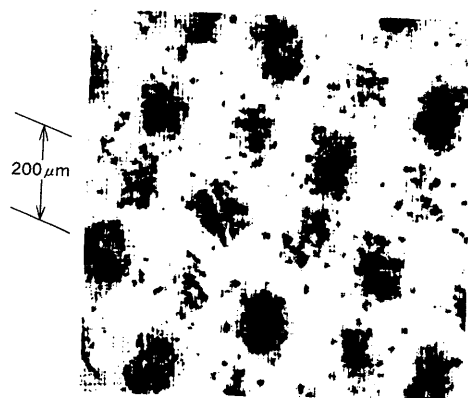
工したV溝で支持する構造としてある。ファイバから出射した4本ビームが記録媒体面上を走査する間隔を図6に示す。図6は結像面での4本のレーザビームのプロファイルを走査方向と直角な方向の断面で示したものである。各レーザビームの間げき誤差は、ファイバ光源の高精度化と $f\theta$ レンズのゆがみ低減により数 μm 以下に抑えることができた。

4. 性能検証

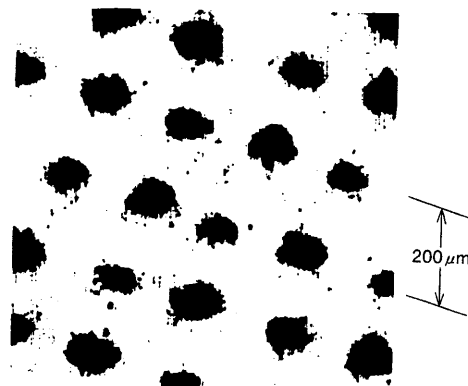
今回開発したレーザ走査装置を用いた電子印刷で、実際に編集したデータを印刷した拡大写真を図7に示す。電子印刷のトナープロセスによる高解像化技術とも合わせて、従来技術に比べ高精細な網点を得られている。

5. むすび

印刷分野のデジタル化の波は、急激な速度で進行している。こうしたニーズにこたえるため高性能な光書き込み装置について紹介した。更なる高速化、高画質化が望まれている市場ニーズに対



(a) 従来の電子写真による網点



(b) 開発した三菱電子印刷機による網点

図7 印刷物の拡大図 開発したレーザ走査装置で出力した画像の拡大図。網点が従来技術より鮮明である。
Result of printing

し、書き込み装置の性能向上はもとより、画像の形成方法を含めた各要素技術を結集しながら今後とも技術向上を推進する予定である。

参考文献

- (1) 有本, 保志, デジタル作像技術, 電子写真学会誌 Vol.32 No.3 (1993) p.274
- (2) 平根, 佐野, LED プリントヘッド, 電子写真学会誌 Vol.30 No.4 (1991) p.467
- (3) 大庭有二, 液晶シャッターアレイ, 電子写真学会誌 Vol.30 No.4 (1991) p.477
- (4) 養浦一雄, レーザービームプリンターの光学系の革新と開発, 光学 25 巻 10 号 (1996) p.580
- (5) 久保田廣, 光学, 岩波書店 (1964)