

8ビームレーザー走査光学装置の開発

Development of an Eight-beam Laser Optical Scanning System

長坂 泰志*
Yasushi NAGASAKA

稲垣 義弘*
Yoshihiro INAGAKI

関根 春行**
Haruyuki SEKINE

奥川 裕司***
Yuuji OKUGAWA

要旨

コニカミノルタのカラーデジタル印刷機のフラッグシップ機に位置付けられるbizhub PRESS C8000に要求される高速化（毎分80枚）と高密度化（1200dpi）を同時に達成する為に、レーザー走査光学装置は従来2本だったビーム本数を8本に増やしている。しかし、単純にビーム本数を4倍にただけでは8ビーム内のビーム相対位置誤差は7倍に増えてしまい、高画質を掲げる本製品の画像仕様を達成出来ない。

このような理由から8本のビームを並列走査する場合、ビーム相対位置誤差を低減する事が重要な技術要素となっている¹⁾。本報では、今回開発した8ビームレーザー走査光学装置に搭載したビーム相対位置誤差低減に関する技術を中心に報告する。

Abstract

The bizhub PRESS C8000, Konica Minolta's flagship color digital press, offers higher printing speed (80 ppm) and higher resolution (1,200 dpi). To achieve this, the number of laser beams in the laser scanning optic device was increased from two in the earlier model to eight. However, if the number of laser beams is simply increased by four, the beam relative position error in the eight beams increases seven times, blocking high image quality. For this reason, with the parallel scanning of eight beams, a reduction of the beam relative position error is important.

In this report, we describe technologies that focus on the reduction of the beam relative position error incorporated in the newly developed eight-beam laser scanning optic device.

1 はじめに

現在、レーザープリンターやデジタル複写機は高速化、高密度化の市場要求は高く、今後更にこの傾向は強まると思われる。この要求を満たす為に、レーザー走査光学装置は大きく分けると2つの取り組みを実施している。1つは複数ビームを並列走査する構成であり、もう1つはビームを走査する速度を高速化する構成である。

近年、レーザーダイオードのマルチビーム化が進んでおり、高画質が要求されるプロダクションプリント分野の製品ではレーザーの変調周波数と偏向器の回転数を下げることが出来るマルチビーム化の構成が主流となっている。以下に8ビームレーザー走査光学装置の構成と重要な技術要素について報告する。

2 8ビームレーザー走査光学装置の構成

本装置の構成をFig. 1~3に示し、諸元をTable 1に示す。レーザーダイオードから出射された8本のビームがコリメーターレンズ、スリット、折り返しミラー等を経てポリゴンミラーで偏向される。その後、 $f\theta$ レンズ、折り返しミラーによって感光体ドラム上およびセンサー上に集光される。センサーは主走査方向の画像先端同期とビーム相対位置の検出を行なう。主走査方向とは感光体ドラム上をビームが移動する方向であり、これに垂直な方向を副走査方向と呼ぶ。

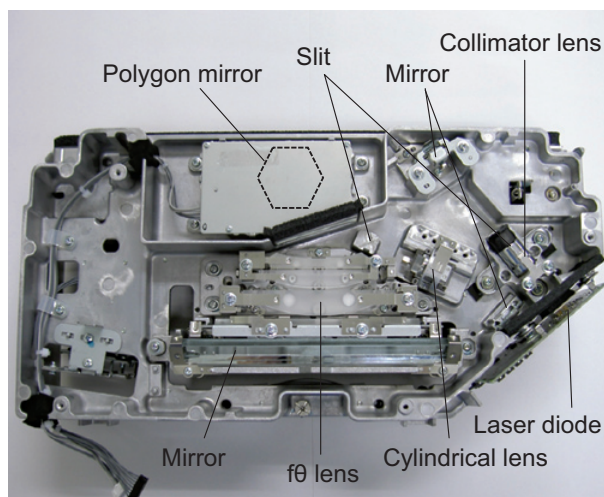


Fig. 1 Top view of the new eight-beam laser scanning unit.

* コニカミノルタビジネステクノロジーズ(株)
開発本部 要素技術開発センター PPデバイス開発部
** コニカミノルタビジネステクノロジーズ(株)
開発本部 エレクトロニクス開発センター PP HW開発部
*** コニカミノルタビジネステクノロジーズ(株)
開発本部 PP製品開発センター PP製品開発部

主な特徴は4つある。1つ目はf θ レンズが5枚構成で取差の少ない優れた光学性能を有していること。2つ目は樹脂レンズが平らで厚みがほぼ均一な形状をしており、成形安定性を向上させていること。3つ目は主走査方向と副走査方向のスリットが別々に設けており、ビーム相対位置誤差を低減していること。4つ目はビーム相対位置の補正手段を数多く有していることである。

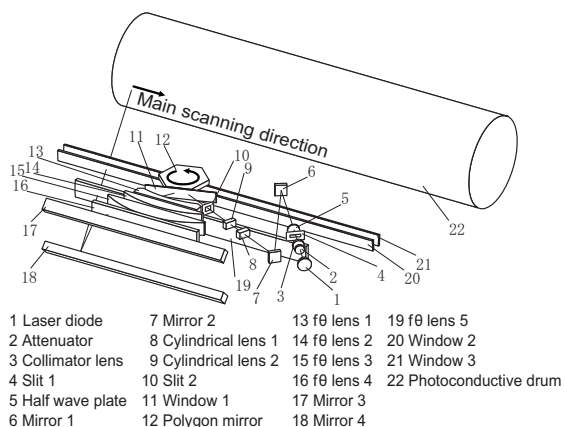


Fig. 2 Schematic view of the new eight-beam laser scanning optics.

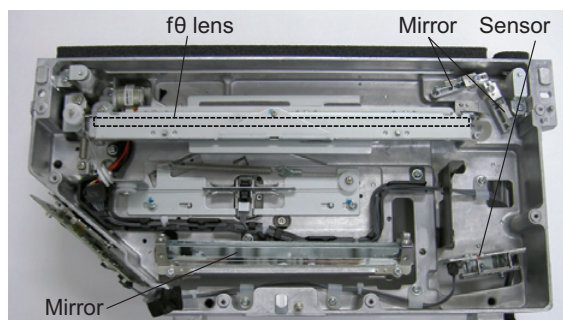


Fig. 3 Bottom view of the new eight-beam laser scanning unit.

Table 1 Specifications of new eight-beam laser scanning unit.

Items		Specification
Polygon mirror	Number of faces	6
	Revolution per minute	23622rpm
Video clock frequency		63.1MHz

3 ビーム相対位置誤差の種類と目標値

ビーム相対位置誤差の種類をFig. 4に示す。簡略化のために8本のビームの内、ビーム1とビーム8のみを図示する。理想状態は①であり、誤差の種類は②から⑦の6つである。誤差量は Δy , Δz で示す。

主走査方向または副走査方向において、全体の相対位置が変化する②⑤、主走査方向の両端部の相対位置が変化する③⑥、主走査方向の両端部と中央部の相対位置が変化する④⑦がある。(以降は②⑤をシフト、③⑥を傾き、④⑦を湾曲と呼ぶ)

実際に問題となるのは8本毎のビームのつなぎ目となる、ビーム8とビーム1の相対位置誤差であり、目標値は

画像スクリーンとの干渉や濃度ムラが目視で感知出来ないレベルに設定されている。具体的には、感光体ドラム上に形成される潜像電位パターンのシミュレーションや実際の画像評価の結果から、主走査方向の誤差を $\pm 6\mu\text{m}$ 、副走査方向の誤差を $\pm 6\mu\text{m}$ とした。この目標値を達成する為に本装置に含まれる光学系、機械系、電気系で各々の技術要素が盛り込まれている。

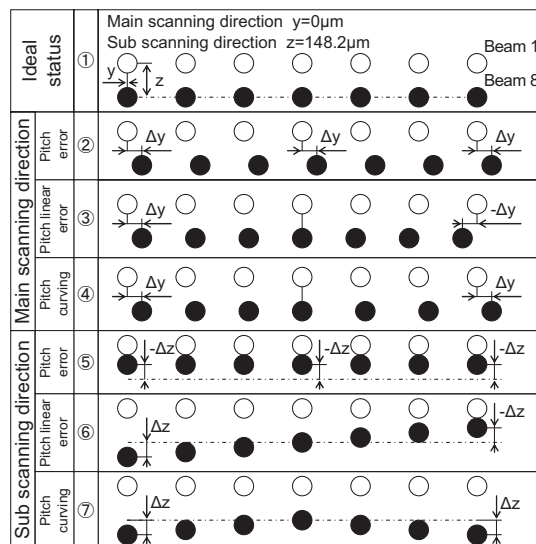


Fig. 4 Types of pitch error.

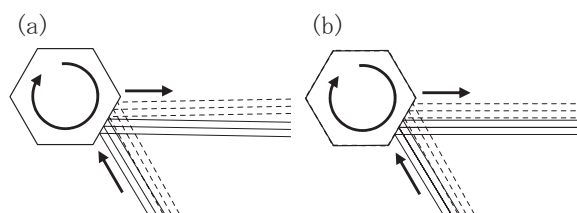


Fig. 5 Schematic view of light paths from polygon mirror. (a) Two rays after reflection at the polygon mirror differ in angle from each other. (b) Two rays after reflection at the polygon mirror are parallel to each other due to adjustment of light emission timing.

4 光学系によるビーム相対位置誤差の低減

8本のビームは一つのLDが発光し、単一のコリメーターレンズによって各々平行光となるが、8本のビームそれぞれで発光点の位置が異なる分、互いに角度差を持っている状態である。Fig. 2に示した今回の光学系において、ポリゴンミラー以降の光学系はf θ レンズであり、それに入射する平行光はその主走査断面内の角度差に応じて感光体ドラム上で異なる位置に入射することになるため、発光開始のタイミングを各々調節することによって画像の位置を揃えている。

ポリゴンミラー近傍での光路を示した模式図をFig. 5に示す。説明のため、角度や位置の差を拡大して描画している。また、ビームは2本だけ示し、一方を実線、一方を点線で描画している。Fig. 5 (a)はある瞬間の光路を示したもので、ポリゴンミラー後も角度差を持って光が

飛んでいる。Fig. 5 (b)は各ビームの発光タイミングを調節した状態を示している。ポリゴンミラー後で2本の光は互いに平行になっていて、感光体上では主走査方向について同じ位置に結像する。ただし、途中の光束では、主走査方向の範囲が異なっている。このとき、両方の光束を含む幅の広い光束を仮想的に考え、その波面収差を調べれば、二つのビームの結像位置がどのようにずれるかがわかる²⁾。

レーザー走査光学系では、ポリゴンミラーの角度誤差の影響を軽減する目的で、ポリゴンミラー近傍で副走査方向のみ集光させる方法が一般に使われている。それに伴って、ポリゴンミラー以降の光学系は主走査方向と副走査方向で大きく異なる設計となっている。そこで、波面収差を表す式を、主走査方向(y)と副走査方向(z)を二つの軸とした多項式とするのがよい。

$$w = \sum \sum a_{ij} y^i z^j$$

w : 波面収差

a_{ij} : yの次数がi次、zの次数がj次の係数

このとき、二つの光束範囲の差に伴う結像位置のずれを考えるには、波面収差の式を光束範囲の差の方向に微小量移動したときの変化について、結像位置のずれを考える方向の次数が奇数次を含む項を見ればよい。今回の光学系では光束範囲の差は副走査方向よりも主走査方向の方が大きくなっているため、移動を与える方向は主走査方向とする。主走査と副走査の次数が合計で2以上3以下の範囲で考えると、主の結像位置ずれに効くのは a_{20} 、 a_{30} 、 a_{21} の三つ、副の結像位置ずれに効くのは a_{11} 、 a_{21} の二つである。光学設計としては、これらの波面収差に特に留意する必要がある。

光学設計時点で抑えていても、誤差によって発生する分については考慮が必要である。上述の波面収差の中では、次数の低い a_{20} と a_{11} が、ポリゴンミラーやレンズを設置する際の姿勢誤差や取り付け歪みの影響で発生しやすい。また、発生箇所がポリゴンミラー以降の素子であれば、その発生量は主走査方向の位置によって異なる。画像上の位置に応じて単調に変化する分は、後述のような調整機構によって取り除くことができるが、単調でない変化分が残存するため、発生量そのものを抑えることと、発生した際の影響を低減することが必要となる。上述の a_{20} 及び a_{11} の波面収差に関しては、発生した波面収差量が同じであれば、感光体ドラム上での結像位置のずれ量は、ビーム間の光束の範囲の差に対して比例関係になるため、光束範囲の差が小さくなるようにすることが効果的である。

今回の光学系では、副走査方向について感光体ドラム側で略テレセントリックとするために、副走査方向の光束規制を行うスリットをポリゴンミラーから離れた位置に設置している。ただ、同じ位置で主走査方向も規制すれば、距離が離れた分だけ、ポリゴンミラー反射後の光

束範囲の差が主走査方向について大きくなってしまいうので、上述の波面収差による結像位置のずれが大きくなってしまいう。そこで、ポリゴンミラーにできるだけ近づけた位置に、主走査方向のみ光束規制を行うスリットを設置することにより、光束範囲の差を小さくしている。

5 ビーム相対位置誤差の機械的な補正

5.1 機械的な補正を実施する種類

Fig. 4 で示した③⑤⑥に対して機械的な補正を実施している。④⑦は光学素子の平行移動や回転に対する補正感が低いので光学設計の段階で誤差の低減を行なっている。②は画像書き出し位置のタイミング制御による電気的な補正を実施している。ここでは③⑥について報告する。

5.2 ③主走査方向の傾き

補正箇所の詳細図をFig. 6 に示す。f θ レンズ2をy軸方向に移動させて主走査方向の傾きを補正している。調整ピンとホルダーの接触部は雄ネジ雌ネジになっているので調整ピンを回転させると回転軸方向に移動する。板バネでf θ レンズ2を押圧して調整ピンの先端押し当てることでy軸方向の移動が可能になる。

従来のガラスレンズとホルダーの接触箇所の詳細図をFig. 7 に示す。y軸方向の押圧力 N_1 、Z軸方向の押圧力 N_2 、ガラスレンズとホルダーの摩擦係数 μ_1 とする。

通常、ガラスレンズのz軸方向の切断面はザラザラで表面状態にバラツキがあるので摩擦係数 μ_1 が大きく変化し、摩擦力 $\mu_1 N_2$ が押圧力 N_1 よりも大きくなるとガラスレンズが動かなくなるという問題が発生する。今回の説明では、素子の質量は影響が小さいので無視出来る。

本装置のガラスレンズとホルダーの接触箇所の詳細図をFig. 8 に示す。ガラスレンズと鋼球の摩擦係数 μ_2 、鋼球とホルダーの摩擦係数 μ_3 、鋼球とホルダーの接触箇所A点、B点、B点の垂直抗力 N_3 とする。

ガラスレンズとホルダーの間にステンレスの鋼球が入っている。鋼球とホルダーの表面状態を滑らかにして摩擦係数 μ_3 を小さくする事が出来る。ガラスレンズの表面状態により、摩擦力 $\mu_2 N_2$ が大きくなっても、ホルダーと鋼球の摩擦力の和 $\mu_3 (N_2 + N_3)$ を超えた時点で鋼球が回転する。これにより、ガラスレンズの移動を妨げる力を小さくすることが出来る。

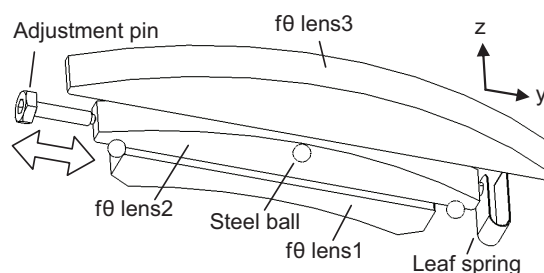


Fig. 6 Adjustment mechanism for main pitch linear error.

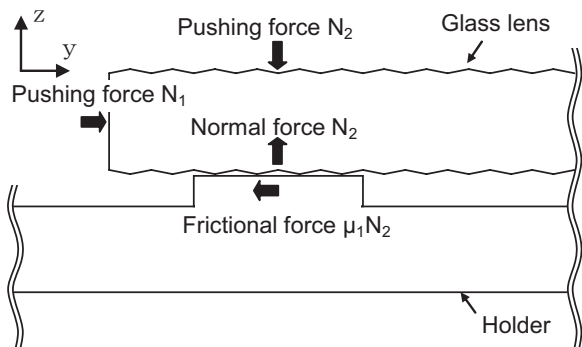


Fig. 7 Conventional lens support.

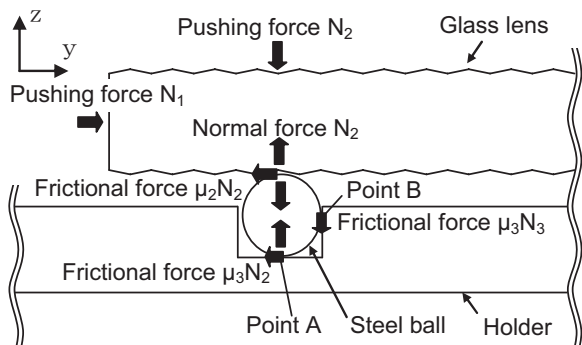


Fig. 8 Lens support of the new eight-beam laser scanning unit.

5.3 ⑥副走査方向の傾き

補正箇所の詳細図を Fig. 9 に示す。fθレンズ5の前に配置された折り返しミラー4をy軸回りに回転させて、fθレンズ5に入射するビームの位置と角度を変化させることで副走査方向の傾きを補正している。調整ピンは前述した構成と同じである。

従来の折り返しミラー3点支持の概略図を Fig. 10 に示す。3点の位置関係が二等辺三角形になっており、2点支持側のc点の位置を調整して折り返しミラーをy軸回りに回転させると僅かながらz軸周りにも回転して、主走査方向の傾きが発生する要因となる。

本装置の折り返しミラー3点支持の概略図を Fig. 11 に示す。3点の位置関係が直角三角形になっており、直線abはy軸と平行なので2点支持側のc点の位置を調整して折り返しミラーをy軸回りに回転させてもz軸周りに回転しないので、主走査方向の傾きを抑制出来る。

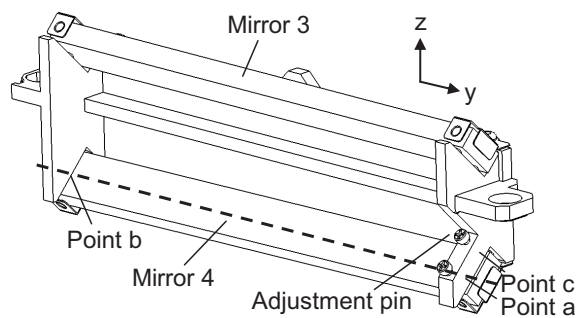


Fig. 9 Adjustment mechanism of sub pitch linear error.

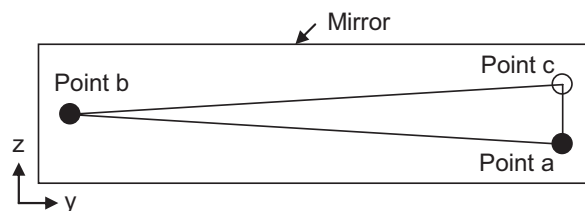


Fig. 10 Conventional mirror support. Points a, b, and c form an isosceles triangle. No side being parallel to the Y-axis causes a slant in the main scanning direction.

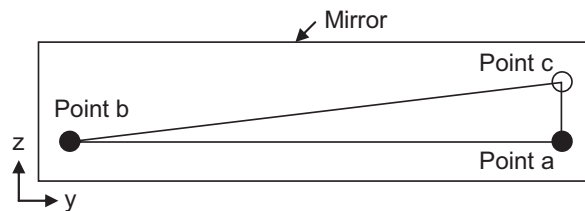


Fig. 11 Mirror support of the new eight-beam laser scanning unit. Points a, b, and c form a right-angled triangle. Since it has a side parallel to the Y-axis, the slant in the main scanning direction can be restrained.

6 ビーム相対位置の電氣的な補正

Fig. 4 で示した②のビーム相対位置誤差を補正するためには、光学系により生じるビーム位置の相対差を正確に検出する必要がある。

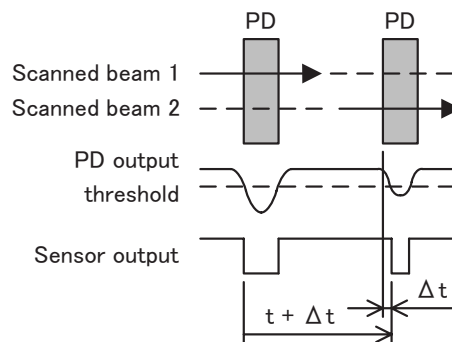


Fig. 12 Schematic diagram of conventional sensor.

Fig. 12 は主走査方向のビーム位置の相対差を検出する従来のセンサーの模式図であり、単一のフォトダイオード (PD) を主走査方向に二つ並べた構成である。ビーム1で上流のPD上を、ビーム2で下流のPD上をそれぞれ走査し、二つのPD間の走査時間を計測する。しかし、センサー出力はPD出力をある閾値と比較する構成のため、例えばビーム1に対しビーム2の光量が低い場合、Fig. 12 のように二つのPD間の走査時間は本来のtに対しΔtだけ誤差が生じてしまう。

これに対し、本装置のセンサーでは、より高い検出精度を達成するために2分割フォトダイオードを主走査方向に二つ並べた構成とした。Fig. 13 にその模式図を示す。センサー出力はPD1出力とPD2出力を比較しているため、ビームの重心付近を捉えることができ、ビーム1, 2に光量差があっても安定して走査時間tを得ることができる。

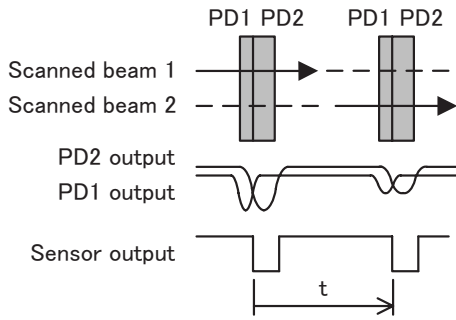


Fig. 13 Schematic diagram of new sensor.

また、ビーム形状の変化に対しても同様である。Fig. 14 はセンサーを光の進行方向にシフトして受光面上のビーム形状を変化させた際の検出誤差である。従来センサーでは誤差が大きいのに対し、本センサーでは非常に安定していることが分かる。

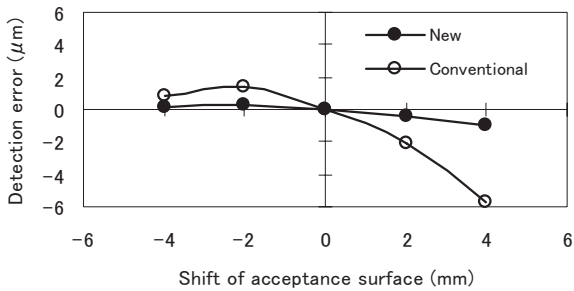


Fig. 14 Detection error in maintaining beam shape.

このように正確に検出されたビーム位置の相対差を基に、8本のビームそれぞれの発光開始タイミングを調整し、感光体ドラム上での主走査方向のビーム相対位置誤差を補正している。

7 まとめ

8ビームレーザー走査光学装置に搭載したビーム相対位置誤差低減に関する技術について報告した。光学設計、機械補正、電気補正の技術により、6種類のビーム相対位置誤差の全てを低減する事が可能になり目標値を達成出来た。

今後はこれらの技術を更に高め、高速化、高密度化および高画質化を追求していきたい。

●参考文献

- 1) 市原美幸, 森田真次, 本井俊博:Konica Tech. Rep., 9, 47 (1996)
- 2) 稲垣義弘:“自由曲面ミラーを用いたレーザープリンター”, 光学, 31 (2002) 681-683