

光束分割書込ユニットの開発

Laser Scanning Unit with Beam Splitting Technology

伊丹 幸男*

Yukio ITAMI

宮武 直樹**

Naoki MIYATAKE

今井 重明**

Shigeaki IMAI

林 善紀**

Yoshinori HAYASHI

小林 真治***

Shinji KOBAYASHI

大出 俊夫***

Toshio OHIDE

市井 大輔****

Daisuke ICHII

篁 智隆*****

Tomotaka TAKAMURA

要 旨

我々は光源に40チャンネルのVCSELアレイを用いた業界最高密度4800 dpiの書込ユニットを開発し、カラープロダクションプリンタに搭載した。この4800 dpiの書込ユニットにより、走査線ボーンスキー補正、色ずれ補正、表裏倍率補正を行い、プロダクションプリントングの要求を満足する高画質を達成している。

しかし、このような高画質をオフィス領域に広げるためには、書込ユニットの大幅なコンパクト化とコストダウンが要求される。

これに対し、光源そのものの数を半減するという世界初の光束分割書込ユニットを開発することで、大幅なコストダウンとコンパクト化を達成し、4800 dpiの書込ユニットをカラー複合機に搭載した。

ABSTRACT

We developed an LSU (laser scanning unit) using a 40-channel VCSEL (vertical-cavity surface-emitting laser) array that delivers 4800 dpi image quality. This LSU enables the user to correct the bow/skew of scanning lines, registrations of color images, and misregistrations in duplex printing. We have achieved high quality that meets the needs of production printing.

Drastic downsizing and cost reduction of the LSU are needed to introduce it into the office market.

For this requirement, we have been the first in the world to develop technology that enables the halving of the number of light sources. By using this technology, we have developed an LSU that achieves cost reduction, downsizing, and 4800 dpi image quality. This 4800 dpi LSU has been loaded onto a new color MFP.

* ビジネスソリューションズ事業本部 リコー環境事業開発センター

Ricoh Eco Business Development Center, Business Solutions Group

** 画像エンジン開発本部 ICT開発センター

Imaging Core Technology Center, Imaging Engine Development Division

*** IW開発本部 CD開発センター

Communication Devices Development Center, Intelligent Work Style Development Division

**** リコーアイダストリアルソリューションズ株式会社

RICOH Industrial Solutions Inc.

***** 生産本部 生産技術開発センター

Industrial Technology Development Center, Production Division

1. はじめに

1-1 背景と目的

我々は40チャンネルVCSELアレイを用いた業界最高密度4800 dpiの書込ユニットを開発し、カラー プロダクションプリンタに搭載した¹⁻³⁾。プロダクションプリンティング層、オフィス層におけるカラー対応電子写真装置では一般的にYMCK4色に対応し変調駆動する光源が必要であり、光源及び光源駆動回路がコストとレイアウトにおいて、大きな制約となっている。このため、40チャンネルVCSELアレイを用いた書込ユニットをオフィス層に展開するのは難しく、その使用はプロダクションプリンティング層に限定されていた。

そこで、我々は光束を分割し2つの走査領域を走査することにより、光源モジュール数の半減を狙った。光束を分割し複数の走査領域を走査する技術としては、回折素子を用いて1つの光束を分割しマルチビーム化するという方式がある⁴⁾。しかし、この方式は、分割した各々の光束を独立に強度／パルス幅変調させるデバイス（音響光学変調器等）が必要であり、コストアップと大型化を招く。

これに対し、我々は1つの光源モジュールから出射した光束を分割し、タイミングをずらし、2つの異なる感光体を交互に走査させることで、光源モジュールの数を半減するという世界初の光束分割書込ユニットを開発した。

2. 光束分割書込ユニットの課題、構成、達成手段

2-1 光束分割書込ユニットの課題

カラー電子写真装置においては、Cyan, Magenta, Yellow, Blackの色ごとに感光体を並列したタンデム方式が主流となっており、通常、4つの感光体に対し4つの光源モジュールが必要になる。

光束分割書込ユニットは、1つの光源モジュールから出射した光束を分割し、分割された複数の光束が2つの異なる感光体を交互に走査するというものである。つまり、2つの光源モジュールでフルカラー（4色）の書き込みができる。

光束分割書込ユニット特有の主な課題は以下である。

- (1) 2つの異なる感光体を露光するタイミングが分離されていること
- (2) 2つの感光体でのビーム位置、光量等の特性を一致させること
- (3) 光束分割書込ユニットは分割された光束のうち一方は不要光となるので、一方の感光体を走査している際に、他方の感光体に不要光がいかないようすること

(1)の課題は光束分割書込ユニットの最も本質的な課題である。2つの異なる感光体を交互に走査するためのキーパーツが、回転方向の位相差を設けた位相差2段ポリゴンスキャナ（以降、「位相差2段ポリゴンスキャナ」と呼ぶ）である。更に、2つの感光体を露光するタイミングを分離するためには、本方式特有の書込エレキ制御を行う必要がある。

(2)の課題は一般的なタンデム方式でも課題となるが、光束分割書込ユニットは1つの光源モジュールが異なる2色に対応しているため、この方式特有の工夫が必要になる。この課題に対しては、書込エレキ制御と書込光学系設計で対応した。

(3)の課題に対しては、書込光学系設計上の工夫で対応している。

以降、書込光学系、書込エレキ制御、位相差2段ポリゴンスキャナの構成と上記3つの課題の達成手段について説明していく。

2-2 書込光学系

2-2-1 書込光学系の構成

Fig. 1に光束分割書込光学系の主要部構成を示す。光源からの光束を偏光ビームスプリッタ(Polarizing Beam Splitter: PBS)により上下に分割し、位相差2段ポリゴンスキャナで各々偏向反射される光束のタイミングをずらすことで、1つの光源で2つの感光体を交互に走査する構成となっている。

Fig. 2にて、位相差2段ポリゴンスキャナの上下段ミラーにより感光体を交互に走査することを説明する。図示された位相差2段ポリゴンスキャナの上下段4面ミラーの位相差は45度である。ここで、位相差2段ポリゴンスキャナは時計回りに回転しており、(a)に対し、(b)は時計回りに20度回転、(c)は45度回転、(d)は65度回転した状態である。

(a)では、上段ミラーでの反射光が感光体に到達し、下段ミラーでの反射光は遮光される。(b)では、(a)と同様に上段ミラーでの反射光が感光体に到達し、下段ミラーでの反射光が遮光されるが、(a)とは感光体照射位置が異なる。(c), (d)では、下段ミラーでの反射光が上記とは異なる感光体に到達し、上段ミラーでの反射光は遮光される。(a)に対し、位相差2段ポリゴンスキャナが90度時計回りに回転すると、再び、(a)の状態になる。

Fig. 3にカラーMFP機での光束分割書込ユニットの構成例を示す。40チャンネルVCSEL, PBS, 位相差2段ポリゴンスキャナからなる光束分割書込光学系2つが並列して並んでおり、2つの40チャンネルVCSELからの光束が4つの異なる感光体を走査する構成となっている。

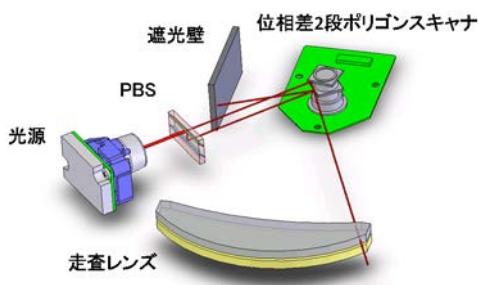


Fig. 1 Main configuration of beam splitting technology.

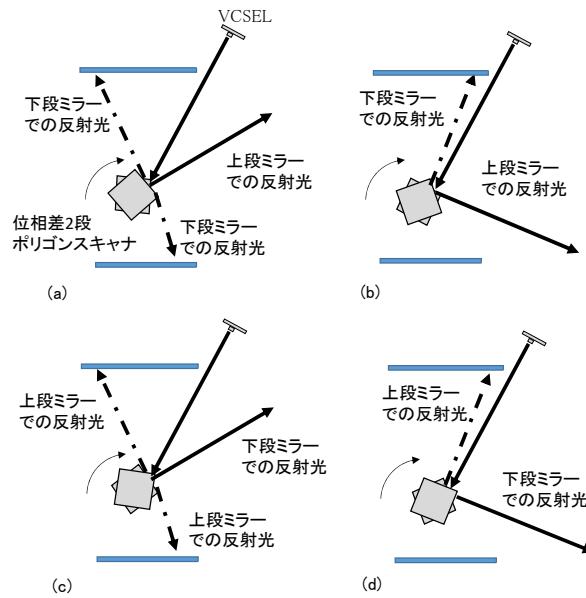


Fig. 2 Alternately scanning with use of two-stage phase-difference polygon scanner.

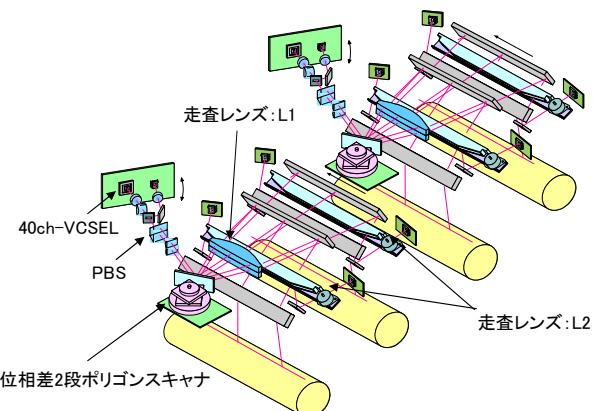


Fig. 3 LSU adopted with beam splitting technology in color MFP.

2-2-2 不要光を除去する書込光学系の構成

本書込光学系の、光源からポリゴンミラーまでの構成をFig. 4に示す。ここで、ポリゴンミラーの回転軸方向を「副走査方向」、副走査方向と光軸に垂直な方向を「主走査方向」と呼ぶ。

主走査方向を偏光方向、光学軸、透過軸での0度と定義し、副走査方向を90度と定義する。

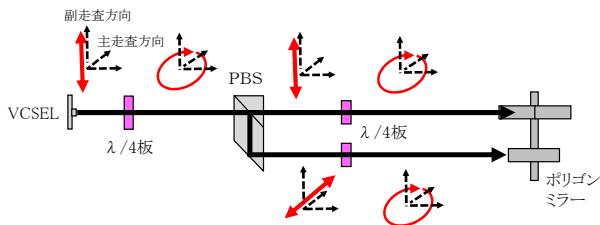


Fig. 4 The configuration from light source to polygon mirror.

VCSEL光源から射出される光束は、偏光方向90度の直線偏光であり、光学軸が45度の $\lambda/4$ 波長板（以降、「 $\lambda/4$ 板」と呼ぶ）により円偏光に変換される。円偏光となった光束は、透過軸が90度と0度のPBSにより、上段は偏光方向90度、下段は偏光方向0度の直線偏光としてPBSから上下に分割され射出される。

このとき、上段ミラーの偏向反射光が感光体へ書き込みを行っている際、下段ミラーが光源からの入射光に対し垂直配置となるタイミングが生じ、反射光が光源へ戻る現象が生じる。Fig. 5に示すとおり、戻った光は光源で反射し、再び、上段の光束として書き込み中の感光体に到達しゴースト光として異常画像を形成してしまう。

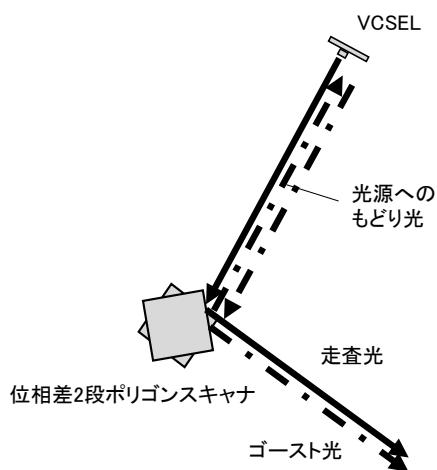


Fig. 5 The ghost light going back to light source.

そこで本書込光学系では、Fig. 4に示すとおり、PBSにて上下に分割された各々の光束に対し再度

$\lambda/4$ 板を透過させ、同じ回転方向の円偏光としてポリゴンミラーに入射させる構成としている。

この結果、Fig. 6に示すとおり、下段ミラーで反射され光源側に戻る円偏光の光束は、 $\lambda/4$ 板を透過し偏光方向が90度の直線偏光の光束としてPBSに入射し、PBSの上段側の面で透過し、反射光は光源側に向かわない。また、同様に上段ミラーで反射され光源側に戻る円偏光の光束は、 $\lambda/4$ 板を透過し偏光方向が0度の直線偏光の光束としてPBSに入射し、PBSの上段側の面で反射し光源側に透過されない^{5,6)}。

この構成をとることにより、ゴースト光は1%以下となり、画質に対しては影響のないレベルとなる。

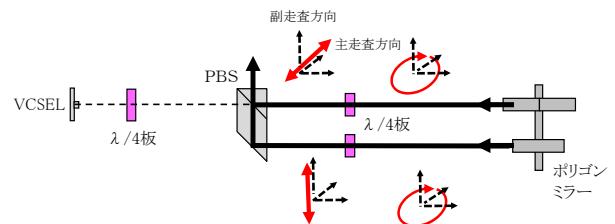


Fig. 6 Optical system removing ghost light going back to light source.

書き込み光学系への戻り光を除去する方式はほかにもあるが、PBSで分割された光束の後段に $\lambda/4$ 板を配置する本構成をとることにより、上下段の偏光特性をいずれも円偏光とすることができる、ポリゴンミラーを含むミラーの反射率特性、走査レンズの透過率特性を一致させることができ、異なる感光体面上での光量差を低減できる。

2-2-3 走査線間隔変動を低減する書き込み光学系設計

通常の2ビームや4ビームのマルチビーム書き込み光学系と異なり、40チャンネルVCSELアレイでは、副走査方向の両端チャンネルの間隔が非常に長い。このため、温度変動に伴う光学倍率変化により、感光体面上での走査線間隔がわりやすく、走査線間隔の変動を小さく抑えることが課題となる。

走査線間隔変動の主要因は線膨張係数が大きい樹脂レンズの伸縮であり、更に副走査方向の屈折力が

大きいレンズ、本書込光学系では走査レンズL2の寄与が大きい。このとき、走査レンズL2の伸縮による走査線間隔の変動を小さく抑えるためには、副走査方向の両端チャンネルからの光束を走査レンズL2の光軸近傍で交差させるのが良い。

しかし、本書込光学系ではPBSを配備するため、上下段で光路長が異なる。このため、副走査方向の両端チャンネルからの光束が交差する位置が上下段で異なる。具体的には、光路長が長い下段の交差位置は、上段よりもポリゴン側に近づく。

本書込光学系における、副走査断面での上下段の副走査方向両端光束の光路についてFig. 7に示す。実線は主走査方向の中央像高に向かう光束、破線は主走査方向の周辺の像高に向かう光束である。上段の中央像高、周辺像高、下段の中央像高、周辺像高での副走査方向の両端光束の交差位置はそれぞれ異なるが、走査レンズL2近傍に来るよう設計している⁷⁾。

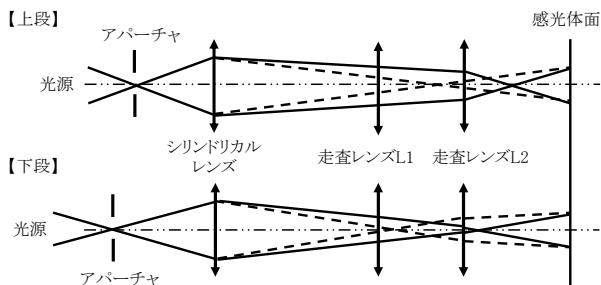


Fig. 7 Ray diagram.

前記上下段の交差位置は、ポリゴンミラー前に配置されるシリンドリカルレンズの焦点距離、及び、走査レンズの副走査方向の屈折力の最適化により、前記上下段の交差位置を最適化している。この結果、温度変化 ($\Delta 25^{\circ}\text{C}$) による走査線間隔変動を2 μm 以下の所望の値に抑えることができている。

2-3 書込エレキ制御

一般的なカラータンデム機での2色対応 (Yellow, Magenta) のレーザ駆動のタイミングチャートをFig. 8に示す。横軸が時間、縦軸が光出力を示しており、感光体露光に先立ち同期検出している。また、

感光体に露光されないタイミングで光量補正APC (Auto Power Control) されている。ここで、Yellow, Magenta対応のレーザは異なる駆動回路を用い、パラレルに駆動制御されている。Fig. 9は本方式に対応する2色対応 (Yellow, Magenta) 用のレーザ駆動のタイミングチャートである。位相差2段ポリゴンスキャナの回転に同期し、同一の駆動回路でシリアルに駆動制御される。このような制御を行うことにより、2つの感光体を露光するタイミングを分離している。また、光源の数だけでなく、レーザ駆動回路の数も半減でき、この点でも低コスト化／コンパクト化に寄与する。

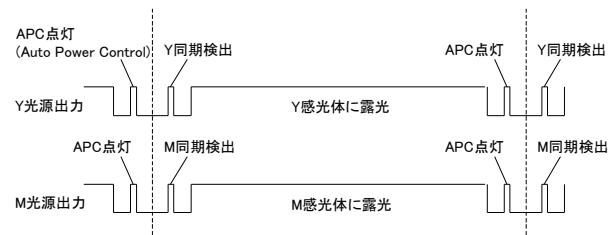


Fig. 8 Timing chart of laser driving of general LSU.

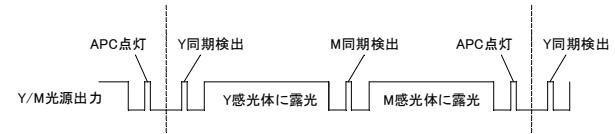


Fig. 9 Timing chart of laser driving of beam splitting technology.

更に、異なる感光体間で、色ずれを低減し、光量を一致させるために、以下の書き込みエレキ制御の工夫を施している。

色ずれは様々な要因で発生するが、主走査方向、副走査方向ともに書き込み光学系のばらつき起因で発生することが多い。我々は先に主走査方向のレーザ駆動のタイミングを任意にずらし、主走査方向のドット位置を精度良く補正する技術を開発している⁸⁾。一般的なカラータンデム機では異なる駆動回路を用い、それぞれ独立に主走査方向のドット位置を補正していた。本方式では、Y (Yellow) 感光体に露光する領域とM (Magenta) 感光体に露光する領域に対し、

同一の駆動回路でシリアルに、かつ、互いに異なるドット位置補正を行い、主走査方向の色ずれを低減している。また、副走査方向については、画像の最初の1行を走査するタイミングを互いにずらすことによって色ずれを低減している。

異なる感光体上の光量差も書込光学系のばらつき起因で発生することが多い。異なる感光体の走査領域で光量を異ならせることで、色間の光量差を低減している。

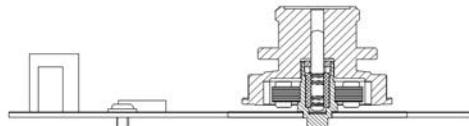
2-4 位相差2段ポリゴンスキャナ

2-4-1 位相差2段ポリゴンスキャナの課題

光束分割書込光学系でキーパーツとなる位相差2段ポリゴンスキャナの写真(A)と断面構造(B)をFig. 10に示す。



(A) Picture



(B) Cross-sectional diagram

Fig. 10 Two-stage phase-difference four facets polygon scanner.

Fig. 11は従来の書込光学系で用いられる6面2段ポリゴンスキャナである。上下2段のポリゴンミラーに回転方向の位相差角度ではなく、それぞれ独立の光源で1回転あたり6面分の走査を行う。

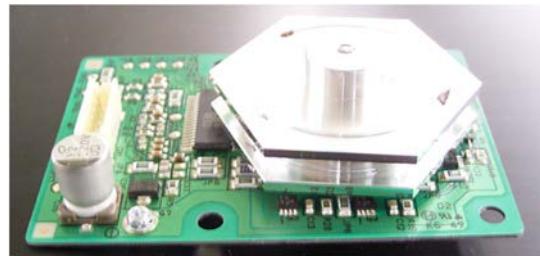


Fig. 11 Two-stage six faces polygon scanner.

ここで、従来の6面2段ポリゴンミラーで上下位相差角度を設けると、1面での走査画角が小さく、結像面である感光体までの距離が大きくなる光路設計となつて、書込ユニットが大型化してしまう。書込ユニットの小型化が可能な走査画角を確保するため、開発時の面数は4面を採用した。

位相差2段ポリゴンスキャナの主要開発仕様をTable 1に示す。

4面のポリゴンスキャナで6面のポリゴンスキャナ同等の生産性を確保するには適用回転数範囲を6面の1.5倍以上に拡大する必要がある。このため、回転軸一反射面間距離は6面の18 mmに対し、8 mmと半減以下にし、回転時のミラー風損低減とそれに伴う省電力化を狙った。

このミラー小型化の開発目標設定により、ミラー平面度／同面間ばらつきや動作時面倒れ（回転中心に対する反射面の傾き角）の仕様達成が上下ミラーの位相差角度形状とともに主要な開発課題となつた。

Table 1 Specifications.

項目	仕様
面数	4面
回転軸一反射面間距離 同 面間ばらつき	8 mm 1回転内 0.04以下 隣接面間 0.025以下
上下ミラーピッチ	8 mm
上下ミラー位相差角度	45° ±6'
ミラー平面度 同面間ばらつき	0.25 λ以下 0.125 λ以下
動作時面倒れ（回転中心に 対する反射面の傾き角）	1回転内 90° 以下 隣接面間 60° 以下

2-4-2 位相差2段ポリゴンスキャナの構成

位相差2段ポリゴンスキャナの要求仕様に対し、ミラー別体型 (Fig. 12 (A))、モータ別体型 (Fig. 12(B))、完全一体型 (Fig. 10 (B)) の3方式の加工法開発を進めた。

ミラー別体型は個別にミラー加工を行い、2個のミラーをモータ部の上に積層した。モータ別体型は、位相差ミラーを一体部品にして、鏡面切削加工時にチャッキング部分を変更（トンボ）して加工した。

一方、完全一体型については、ポリゴンミラーと回転中心部材となる軸を一体にした加工が必要になる。また、Fig. 11に示す位相差がないポリゴンスキャナと異なり、Fig. 13に示すようにそれぞれのミラーの角部分が干渉するほか、モータ部と切削バイトとの干渉をいかに解消するかが課題である。従来の鏡面切削加工の機能を集約した加工法を開発し、4面位相差2段ポリゴンミラーを一体加工した。

Table 2に各方式の比較結果（すべて平均値 + 3σ）を示す。ミラー別体型、モータ別体型は従来と類似の鏡面切削加工法を採用できるものの、隣接面間の動作時面倒れ（回転中心に対する反射面の傾き角）のばらつきが大きく、十分な工程能力が確保できない。また、詳細評価はしていないが部品構成と加工方法から定性的に、上下ミラー位相差角度や回転軸-反射面間距離の面間ばらつきも、工程能力の確保が困難と判断した。一方、完全一体型の位相差2段ポリゴンスキャナは上記加工法により、各仕様を達成し、最終的に量産対応の工程能力も確保できた。

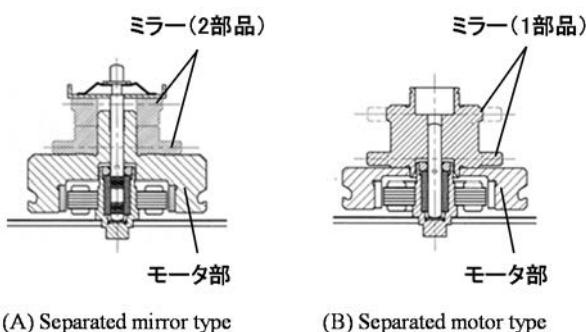


Fig. 12 Cross-sectional diagram of rotor configuration.

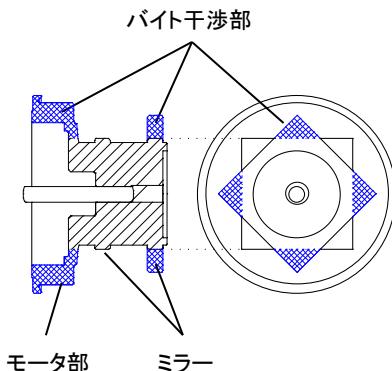


Fig. 13 Interference parts of two-stage phase-difference polygon mirror during processing.

Table 2 Comparison of rotor configurations.

項目	ミラー別体型	モータ別体型	完全一体型
ミラー平面度 面間ばらつき 0.125 λ以下	○ 上0.087 λ 下0.065 λ (n = 15)	× 上0.117 λ 下0.162 λ (n = 16)	○ 上0.087 λ 下0.065 λ (n = 30)
動作時面倒れ 隣接面間 60" 以下	×	×	○ 上50秒 下46秒 (n = 567)
上下ミラー位相差 角度45° ±6'	×	△	○
回転軸-反射面間 距離ばらつき 総合0.04 mm以下 隣接0.025 mm以下	×	×	○

2-5 光束分割書き込み技術のまとめ

光束分割書き込みユニットの技術コンセプトは1つの光源モジュールから出射した光束を分割し、分割された複数の光束が異なる感光体を交互に走査するというものである。感光体を交互に走査するためのキーパーツが位相差2段ポリゴンスキャナになる。ロータとミラーを一体加工する独自のポリゴンミラーを開発することで仕様を達成した。更に、位相差2段ポリゴンスキャナが感光体を交互に走査するタイミングに合わせて、2色の画像形成用のレーザをシリアルに駆動させることで、2つの感光体を露光するタイミングを分離した。

また、書込光学系の最適化設計、書込エレキ制御の工夫により、異なる感光体で、走査線間隔、光量、ビーム位置等の特性を略一致させた。

本方式では、一方の感光体を走査している際に、他方の感光体に不要光がいらないことが必要となる。これに対しては、PBSと $\lambda/4$ 板を組み合わせる書込光学系により、光源への戻り光に起因する不要光除去を達成した。

3. 結論

1つの光源モジュールで複数の走査領域（感光体）への書き込みを行う世界初の技術である光束分割書込ユニットを開発し、大幅なコストダウン、コンパクト化及び業界最高密度4800 dpi画質を両立した。本技術はカラー複合機に搭載されている。

本技術はプロダクションプリンティング分野への適用は勿論、レーザ加工機等、プリンティング以外の分野へも適用可能な幅広い展開性を有する技術である。

謝辞

本技術は10年ほど前に開発を開始し、多くの技術者の努力を経て製品化されました。その間、本技術の製品搭載に関わったすべての方々に、心より感謝いたします。

参考文献

- 1) 軸谷直人ほか: プリンタ用780nm帯40ch光書き込みVCSELアレイの開発, *Ricoh Technical Report*, No. 37, pp. 74-80 (2011).
- 2) 酒井浩司ほか: VCSELアレイを用いた書き込み光学系, *Ricoh Technical Report*, No. 37, pp. 81-86 (2011).
- 3) 近野久朗ほか: カラープロダクションプリンタ RICOH Pro C751EX/651EX, *Ricoh Technical Report*, No. 37, pp. 144-149 (2011).
- 4) 片岡慶二ほか: マルチビームを用いた高速、高解像度レーザ走査光学系, 電子写真学会誌, Vol. 37, No. 1, p. 91-98 (1998).
- 5) 林善紀ほか: 光走査装置及び画像形成装置, 第4445234号 (2010).
- 6) 林善紀ほか: 光走査装置及び画像形成装置, 第4500738号 (2010).
- 7) 市井大輔: 光走査装置及び画像形成装置, 第5900733号 (2016).
- 8) 石田雅章ほか: レーザ走査光学系における主走査方向の電気的画素位置補正技術, *Ricoh Technical Report*, No. 30, pp. 78-83 (2004).