
液晶素子を用いた記録密度可変走査光学系の開発

Optical Scanning System Capable of Recording Density Switching by Liquid Crystal Device

天田 琢*

Taku AMADA

宮武 直樹*

Naoki MIYATAKE

安藤 文刀**

Fumikata ANDOH

井上 斗貴子**

Tokiko INOUE

三ヶ尻 晋***

Susumu MIKAJIRI

吉田 佳樹****

Yoshiki YOSHIDA

要 旨

MFP (Multi Function Printer) における出力速度の高速化及び出力画像の高密度化を図るため、マルチビーム走査光学系を用いた書込方式が用いられている。マルチビーム走査光学系において副走査方向の記録密度を可変とするには、走査線間隔の変更が必要である。

従来、走査線間隔を変更する技術としてステッピングモータ等のアクチュエータにより光源装置を回転調整する方式が用いられているが、我々は新たに、小型/軽量、低消費電力に優れる方式として、液晶素子を搭載した走査光学系を開発した。本走査光学系では、液晶素子に入射したレーザビームの波面を傾けて光路を偏向することにより、走査線間隔を変更する。

ここでは、記録密度可変用の液晶素子の駆動原理及び光学仕様、並びに本液晶素子を搭載した走査光学系の特徴について報告する。

Abstract

Applying a multi-beam scanning system to MFPs is effective in order to achieve high-speed printing and produce a high-density image. In the multi-beam scanning system, altering a scanning line pitch is needed to switch the recording density in the sub-scanning direction.

A scanning line pitch is generally altered by rotating a multi-beam light source driven by actuators such as a stepping motor. We developed a novel technique which utilizes a liquid crystal device as a light path deflector, which contributes to reduction in size and weight, and low power consumption of the scanning system. Light path deflection by inclining wavefronts of two laser beams incident on the liquid crystal device can alter the scanning line pitch in our scanning system.

This report presents mechanics and optical properties of the liquid crystal device to switch recording density, and features of the multi-beam scanning system equipped with the liquid crystal device.

* 画像エンジン開発本部 モジュール開発センター

Module Development Center, Imaging Engine Development Division

** 光学ユニットカンパニー

Optical Components Company

*** PP事業本部 PP設計センター

Production Printing Designing Center, Production Printing Business Group

**** MFP事業本部 第三設計センター

3rd Designing Center, MFP Business Group

1. はじめに

デジタル画像出力機における出力画像の高画質化の要求に応えるため、高記録密度化が進んできた。例えば、600dpi画像と比較し、1200dpi画像では高画質な印刷が可能であり、小さな文字でも細部までクリアに再現することができる。そのため、コピー機能とプリンタ機能を備えたMFP(Multi Function Printer)においては、コピーモードでは600dpi、プリンタ高画質モードでは1200dpiのように、出力画像の記録密度を切り替えたいとのニーズがある。

マルチビーム走査光学系を搭載したMFPにおいて出力画像の副走査方向の記録密度を可変とするには、感光体ドラム上の走査線間隔を変更する必要がある。我々は、小型/軽量、低消費電力に優れた液晶素子を利用して走査線間隔を変更可能な走査光学系を業界で初めて開発した。この走査光学系は、オフィス向けフルカラーデジタルカラーMFP「imagic MP C7501」(2010年1月発売)に搭載されている。

本報では、記録密度可変用の液晶素子の駆動原理及び光学仕様、本液晶素子を搭載した走査光学系の特徴について報告する。

2. マルチビーム走査光学系

2-1 ビーム合成方式の概要

出力画像の高速化(高出力枚数化)及び高画質化(高記録密度化)を達成するため、MFPにおける光走査装置においては、感光体ドラム上を同時に複数のレーザービームで走査する「マルチビーム走査光学系」が主流となっている。マルチビーム光源は、低コストなシングルビーム半導体レーザーからのレーザービームを合成する方式と複数の発光点を有する半導体レーザーアレイを利用する方式に大別される。

Fig.1に示す走査光学系は、2本のレーザービームで同時に走査する「2ビーム走査光学系」の構成であり、レーザービームを合成する方式を採用した例である。この2ビーム走査光学系の光源ユニットにおいては、2つの半

導体レーザーが主走査方向に離間して配列している¹⁾。Fig.2は、ビーム合成プリズムを利用して、副走査方向に離間して配列した2つの半導体レーザーを出射した2本のレーザービームを合成する構成である²⁾。

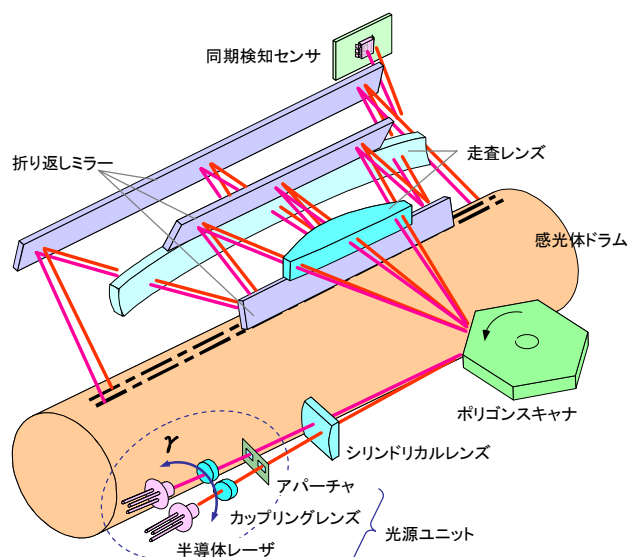


Fig.1 Dual-beam laser scanning system.

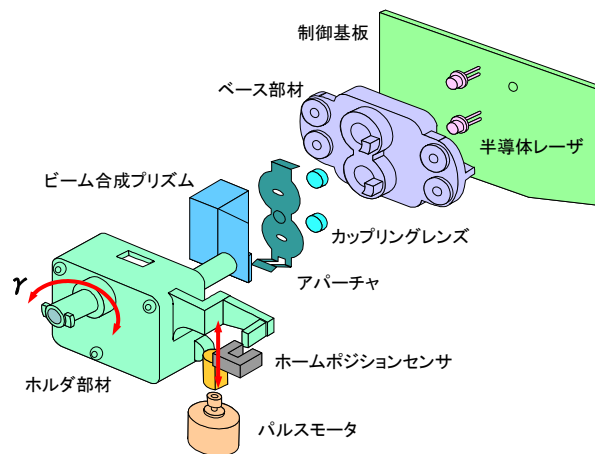


Fig.2 Light source unit with beam- synthesizing prism.

2-2 走査線間隔を可変する手段

出力画像の副走査方向の記録密度を切り替えるには、走査光学系において、感光体ドラム上の走査線間隔を切り替える必要がある。Fig.2の光源ユニットを図中の矢印 γ で示す方向に回転調整することにより、走査線

間隔を可変することができるが、パルスモータ等のアクチュエータ手段を備える必要がある。そのため、調整機構等のメカ要素の大型化を招き、レイアウトの自由度が制限される。Fig.1の構成の場合には、主走査方向のビームスポット間隔が広く、回転角度に対する走査線間隔変化の感度が高くなり過ぎる。その結果、減速機構が必要となるため、さらに調整機構の大型化/複雑化に繋がる。

また、走査線間隔を切り替える際に、調整機構内部のバックラッシュの影響を回避するため、一度ホームポジションに復帰させる必要がある。その結果、切替動作時間が長くなってしまうという欠点があった。

そこで、我々は、小型/軽量であり、かつ、応答速度が速い液晶素子を利用して走査線間隔を切り替え可能な走査光学系の開発に着手した。その模式図及び液晶素子の外観写真を、Fig.3に示す。

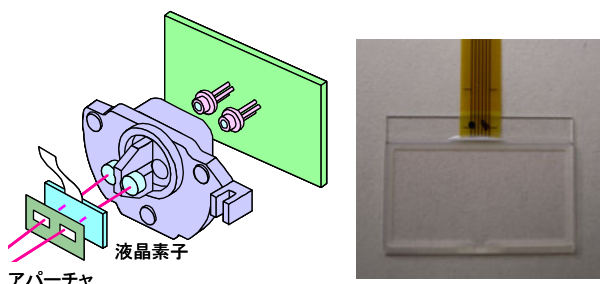


Fig.3 Diagram of light-source unit and photograph of liquid crystal device.

3. 液晶素子の基本原理^{3),4)}

3-1 液晶素子の基本構成

レーザビームの光路を偏向するための液晶素子の有効エリア内の電極パターン及び動作原理を、Fig.4及びFig.5に示す。

Fig.5の断面図に示すように、透明電極及び配向膜が形成された2枚のガラス基板により、層厚数 μm 程度の液晶層が挟持されている。透明電極と配向膜の膜厚は、数十～数百nm程度である。また、ガラス基板周縁部のシール材及び液晶層内に分散したスペーサ部材(不図

示)により、2枚のガラス基板間の間隔が維持され、透過波面収差の発生を抑制することができる。

一方のガラス基板1には全面に一樣な透明電極が形成されており、グラウンドに接地される。他方のガラス基板2側の透明電極は、Fig.4に示すY軸方向に長いストライプ状の電極パターンを形成し、それらの一端(-Y側の端部)を共通の抵抗膜で接続する。この抵抗膜は長さ方向(Z軸方向)に一定の抵抗を有している。

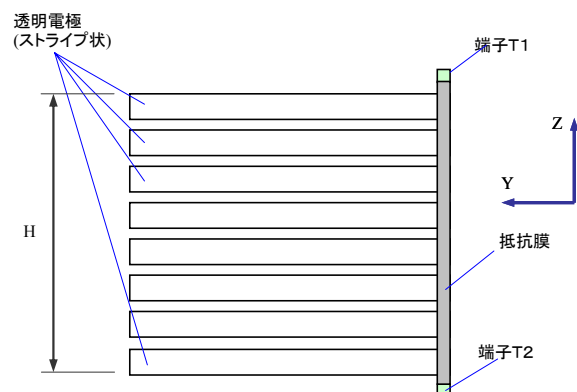


Fig.4 Electrodes within effective area of liquid crystal device.

3-2 液晶素子によるレーザビームの光路偏向

Fig.4に示す電極パターンの+Z側及び-Z側の端子T1及びT2に、各々駆動電圧V1及びV2を入力する。ストライプ状の電極パターンの幅を狭くし、配備数を多くすることにより、Fig.5(a)に示すように、有効エリア内部には実質的に直線状の電位分布(電位勾配)が発生する。この電位勾配に従い、液晶分子の傾き角度(配向角) θ がZ軸方向に分布をもつようになる。

Fig.5の断面図においては、図が煩雑になることを避けるため、配向角 θ を液晶層厚方向(X軸方向)に同じ角度で図示したが、実際には、配向膜の影響により、配向角 θ は液晶層厚方向に分布をもっている。

Z軸方向に振動するレーザビーム(直線偏光)が+X方向に進行して液晶素子に入射した場合、レーザビームに対する実効的な屈折率 N_{eff} は下式で表される。

$$N_{\text{eff}}(\theta) = \frac{N_e \cdot N_o}{\sqrt{N_e^2 \sin^2 \theta + N_o^2 \cos^2 \theta}} \quad \dots (式1)$$

ここで、 N_o は常光線の屈折率、 N_e は異常光線の屈折率を表す。このような液晶中をレーザービームが距離 d だけ進行した場合、その光路長は「 $N_{\text{eff}} \times d$ 」となり、レーザービームの位相が変調される。

Fig.5(b)に示す屈折率分布が生じた液晶層の中をレーザービームが進行することにより、Fig.5(c)に示す位相分布(位相遅れ)が発生する。このように液晶素子によりレーザービームの位相を変調して、波面を傾けることにより、その光路を偏向することが可能となる。駆動電圧 V_1 及び V_2 の電位差 ΔV を適宜設定することにより、端子 T_1 と T_2 の間の位相差 $\Delta \phi$ を可変できる。すなわち、液晶素子は、くさび形状の「可変頂角プリズム」として機能する。

4. 液晶素子による走査線間隔の可変

4-1 液晶素子の構成

「imago MP C7501」の光走査装置においては、Fig.3に示した構成の光源ユニットが搭載されている。この構成の光源ユニットと組み合わせるため、Fig.6に示すような液晶素子を開発した。

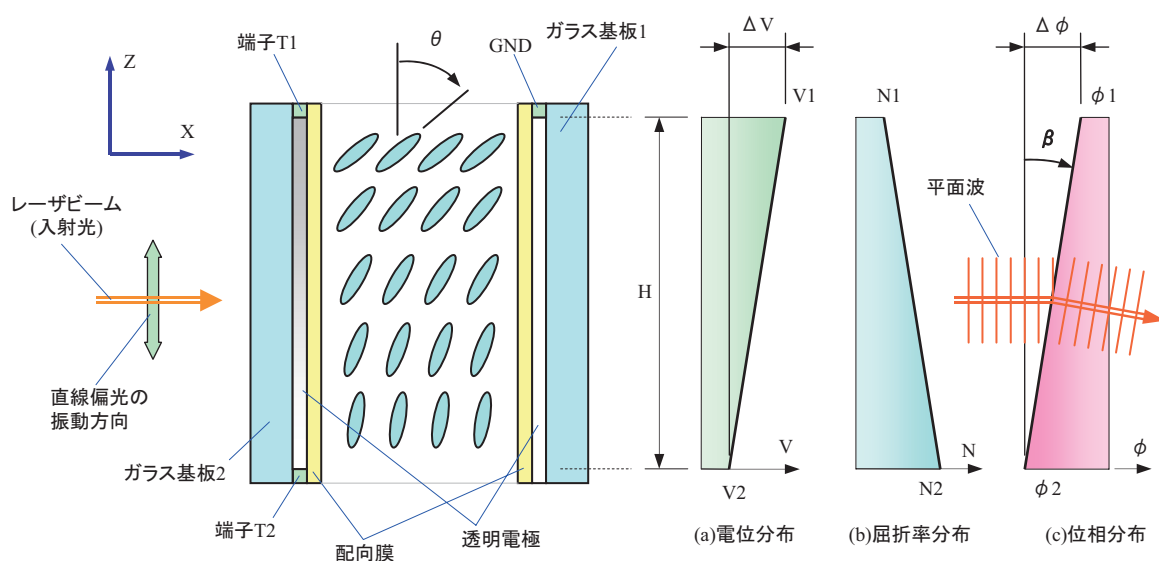


Fig.5 Cross-sectional configuration of liquid crystal device, distributions of electrical potential, refractive index and phase modulated in effective area.

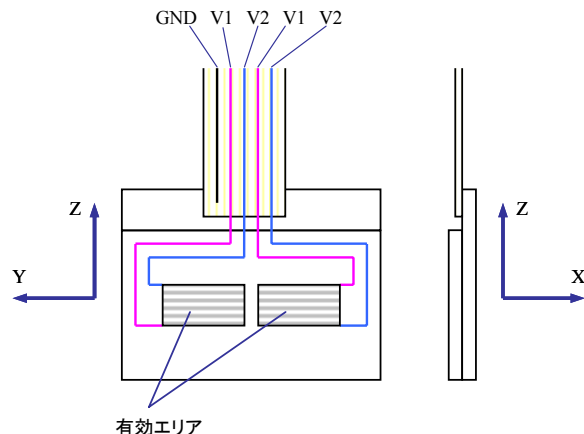


Fig.6 Electrical schematic diagram of liquid crystal device.

一方のガラス基板においては、2つの「有効エリア」内に、Fig.4で説明したストライプ状の電極パターンが形成されている。また、2つの有効エリアのZ軸方向両端部に、駆動電圧 V_1 及び V_2 を入力するために形成された透明電極が、各々2本ずつ接続されている。他方のガラス基板には全面一様の電極パターンが形成されており、グラウンドに接地するための透明電極(1本)が接続されている。合計5本の透明電極は、液晶素子に装着されたFPCを介して制御基板に接続される。

4-2 動作

Fig.6に示したように、駆動電圧V1及びV2を入力したときに、2つの有効エリア内のZ軸方向(副走査方向)において、互いに逆向きの電位分布が発生するように電極パターンが形成されている。これにより、各有効エリアに入射したレーザービームの光路を、副走査断面内で互いに逆向きに同じ角度だけ偏向することが可能である。

有効エリアのZ軸方向の幅をH、駆動電圧の電位差 ΔV により有効エリア内で発生する位相差を $\Delta \phi$ とする。液晶素子の駆動に伴う2本のレーザービームの光路の副走査断面内の角度偏差 β は、Fig.5(c)を参照して、

$$\tan \beta = 2 \times \Delta \phi / H \quad \cdots (式2)$$

で表される。このような液晶素子を走査光学系に配備した場合、液晶素子を駆動することにより、感光体ドラム上を走査する2本の走査線の間隔を、

$$\Delta p = K \times |m| \times (\Delta \phi / H) \quad \cdots (式3)$$

だけ変化させることが可能である。但し、(式3)において、Kは定数、mはポリゴンミラーから感光体ドラム表面までの光学系の副走査方向の横倍率を表す。

次に、走査線間隔を可変したときの2つのビームスポットの挙動の概念図を、Fig.7に示す。光源ユニットを回転させる従来方式の場合には、Fig.7(a)に示すように、2つのビームスポットも感光体ドラム上で回転する。一方、液晶素子によりレーザービームの光路を偏向する方式の場合には、Fig.7(b)に示すように、2つのビームスポットが上下方向に移動することにより、走査線間隔が可変される。

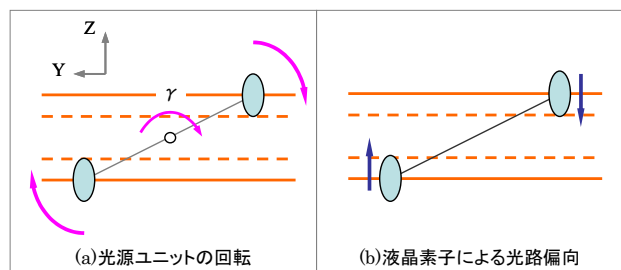


Fig.7 Manner of scanning line pitch switching from 600dpi to 1200dpi.

4-3 位相変調特性(獲得位相差)

Fig.8に示す位相変調特性(獲得位相差曲線)を有する液晶材料を備えた液晶素子の有効エリアの両端部(端子T1及びT2)に、駆動電圧V1及びV2を入力した場合について考える。

端子T1及びT2に駆動電圧V1及びV2を入力することにより、有効エリア内部には電位差 ΔV の電位勾配が発生する。すなわち、液晶素子の有効エリア内のZ軸方向の座標は、Fig.8の横軸(駆動電圧)Vに対応する。そこで、Fig.8の横軸を有効エリア内のZ軸方向の座標に置き換えた後、反時計方向に90°回転させた図を、Fig.9に示す。図中のT1及びT2は端子T1及びT2の座標を表す。

Fig.9では、有効エリア($T2 \leq Z \leq T1$ の領域)に平面波(平行光束)を入射させた場合の出射光の波面形状の様子を、模式的に表した。Fig.9の左図は有効エリアの幅Hを適切に設定した例であり、平面波が直線性の良好な領域を通過している。そのため、平面波が液晶素子により角度 β だけ偏向される際に発生する波面収差は最小限となっている。一方、右図は幅Hを広く設定した例であり、平面波が直線性の良好ではない領域を通過している。そのため、液晶素子により光路を偏向される際に、発散光束に変換されている。

このような波面収差の発生を低減するには、①位相差 $\Delta \phi$ を小さくする、②有効エリアの幅Hを小さくする、等の対策が有効である。

本液晶素子では、上述(4-2)のように2つの有効エリアで互いに逆向きにレーザービームの光路を偏向する構成とすることにより、走査位置を切り替えるのに必要な位相差 $\Delta \phi$ を1/2とした。さらに、後述(5-1)のように、アパーチャ部材に液晶素子を装着することにより、有効エリアの幅Hを最小限とすることができた。

これらの対策を講じた上で、所定の獲得位相差 $\Delta \phi$ に対して、Fig.8に示す獲得位相差曲線において直線性が良好な領域を利用可能な駆動電圧V1及びV2を選定した。これにより、駆動電圧のばらつきを考慮しても、液晶素子駆動時に発生する波面収差を、出力画像品質に影響を及ぼさないレベルに抑制することができた。

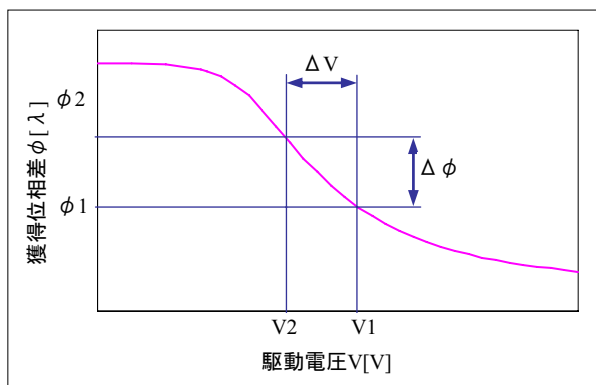


Fig.8 Phase characteristic curve.

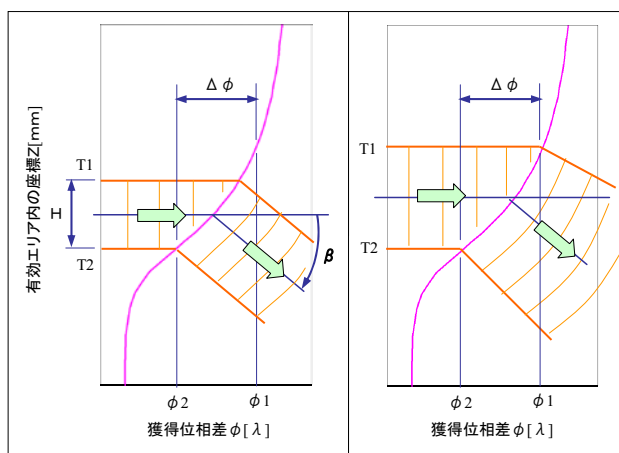


Fig.9 Wavefront aberration occurring during beam deflection.

5. 液晶素子を備えた光走査装置

5-1 構成

液晶素子を備えた光走査装置の外観図をFig.10に示す。一般に光走査装置においては、レーザービームの光束径を規制するための開口部(アパーチャ)が備えられている。液晶素子の有効エリアと入射するレーザービームを高精度に位置合わせするために、液晶素子をアパーチャに装着することにした。「imaggio MP C7501」では、アパーチャのみを設計変更して液晶素子を装着可能な形状に修正することにより、前身機「同C7500」と光走査装置(光学ハウジング)を共通化することができた。

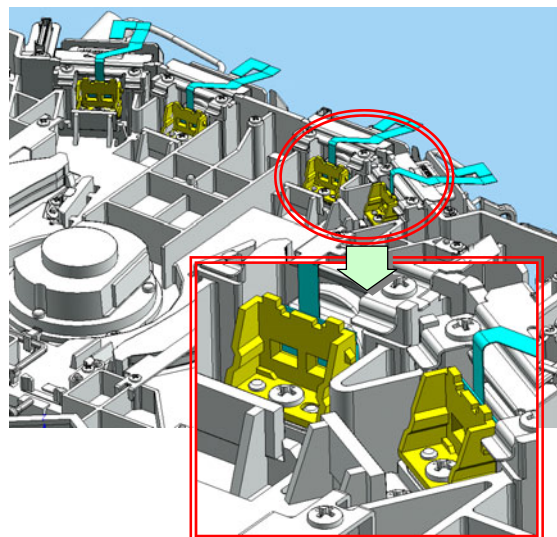


Fig.10 Magnified drawing of optical housing around liquid crystal device.

5-2 液晶素子の装着方法

アパーチャに対する液晶素子の装着には、Fig.11に示すような接着工法を採用した。この接着工法によるアパーチャと液晶素子との固定には、「外部からの衝撃に耐える接着強度の確保」と「接着剤の硬化収縮力による波面収差の抑制」の2つの課題があった。

上記2つの課題を解決するために、これまでの独自の接着工法開発で得た技術を展開し、接着前後及び環境試験前後での変形挙動のメカニズムを分析した。これにより、アパーチャと液晶素子とを強固に接着し、かつ温度変動、搬送時の衝撃、接着剤硬化収縮力等の外乱に対する液晶素子の変形を抑制する接着固定条件を設定した。

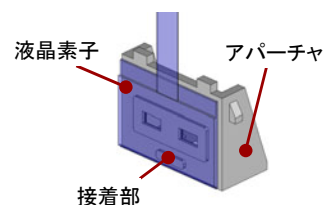


Fig.11 Adhesion of liquid crystal device to aperture member.

5-3 走査線間隔の調整方法

「imaging MP C7501」における記録密度のデフォルト値は600dpiである。そこで、組立工場での調整工程において、液晶素子を非駆動状態として、600dpiの走査線間隔になるように、光源ユニットを回転調整して、光学ハウジングに固定する。一方、ユーザの使用時に「高画質モード(1200dpi)」が選択されると、液晶素子が駆動されることになる。その詳細については、「5-4 駆動/制御系」にて説明する。

5-4 駆動/制御系

「imaging MP C7501」の光走査装置における液晶素子の駆動/制御系の概念図をFig.12に示す。また、「高画質モード(1200dpi)」時の液晶素子及びポリゴンスキャナへの入力信号をFig.13に示す。

液晶材料の「焼け付き」を防止するため、液晶素子の駆動電圧は通常は直流成分をもたない交流電圧(周波数：数十Hz～数kHz)としている。一方、光走査装置におけるポリゴンスキャナを回転駆動させるためのクロックの周波数は数kHzであることが多い。両者の周波数が比較的近いことから、本光走査装置ではポリゴンスキャナと液晶素子のクロック発生部を共通化することにした。

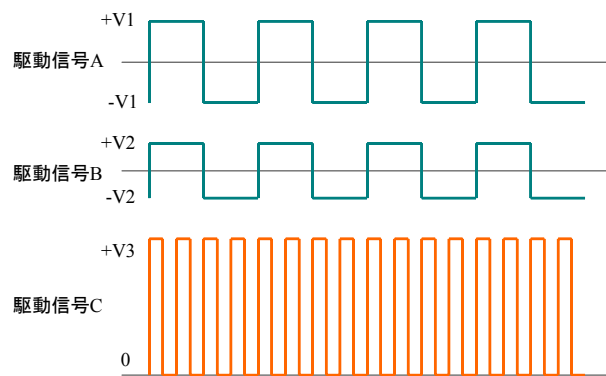


Fig.13 Input signals of polygonal mirror scanner and liquid crystal device.

ポリゴンスキャナを回転させる駆動信号Cは、画像形成装置のプロセス速度から予め決定されている。

一方、液晶素子を駆動させる駆動信号A及びBは、液晶素子の位相変調特性を考慮し、分周器を用いて駆動信号Cを1/4に分周した。

ユーザが高画質モード(1200dpi)を選択すると、切替信号がAMP部に入力され、所定の駆動電圧V1及びV2となるように、バイアス成分及び振幅成分が変換される。一方、600dpi時には、切替信号がAMP部のバッファに入力され、バッファ出力がHiZ(ハイ・インピーダンス)になることにより駆動信号の周波数成分がなくなり、液晶素子が非駆動となる。

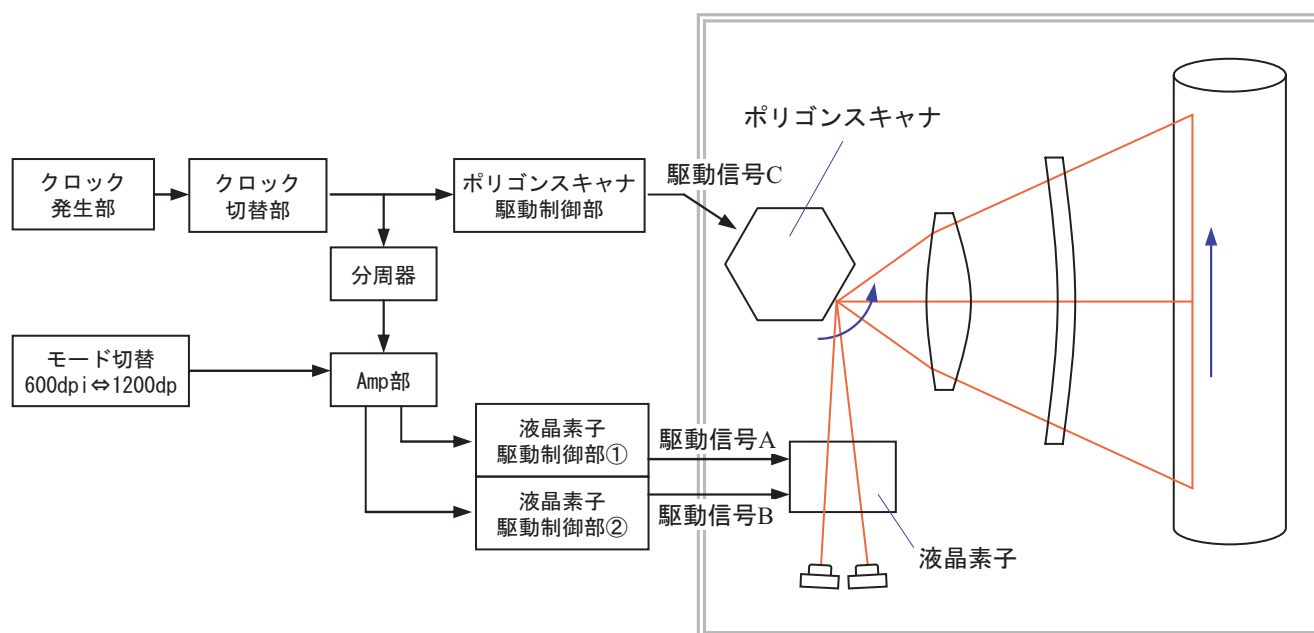


Fig.12 Block diagram of laser scanning system with liquid crystal device.

5-5 光学特性

①走査線間隔

駆動電圧の電位差 ΔV に対する走査線間隔の補正量 Δp を、Fig.14に示す。電位差 ΔV に対して、走査線間隔は連続的かつ直線的に変化することから、電位差 ΔV の分解能に応じた補正量 Δp を得ることができる。

副走査方向の記録密度を600dpi(走査線間隔：42.3 μm)から1200dpi(同：21.2 μm)に切り替えるには、走査線間隔を $\Delta p=-21.2\mu\text{m}$ だけ変化させればよい。そこで、 $\Delta p=-21.2\mu\text{m}$ となる電位差 ΔV_{set} を設定した。本図から分かるように、温度変化に対しても安定である。

②ビームスポット径

液晶素子の製造上の誤差や光走査装置内部の温度変化に伴い、液晶素子が膨張/収縮することにより、波面収差が発生する。液晶素子により波面収差が発生すると、感光体ドラム上のビームスポット形状が乱れ、出力画像の品質が劣化する。

既述した有効エリアの極小化及びアパーチャに対する液晶素子の接着工法の改善等により、液晶素子で発生する波面収差を、出力画像品質に影響を及ぼさないレベルに抑制することができた。

③応答時間

液晶素子の液晶層厚を数 μm とすることにより、応答時間を0.1秒オーダーとすることができた。これにより、光源ユニットの回転による従来の方法と比較して、走査線間隔の切替時間を大幅に短縮することができた。

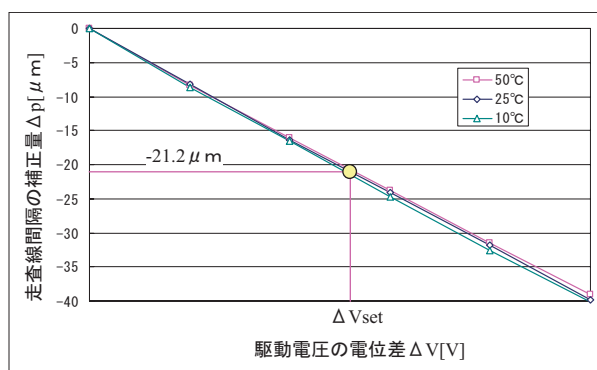


Fig.14 Relationship between driving voltage and variable amount of scanning line pitch.

6. まとめ

我々は、業界で初めて走査線間隔を切り替え可能な液晶素子を搭載したマルチビーム走査光学系を開発した。これにより、光走査装置の小型化及び記録密度切替時間の短縮化を達成することができた。

この走査光学系は、オフィス向けフルカラーデジタルカラーMFP「imagio MP C7501」に搭載されている。

参考文献

- 1) 林善紀, 天田琢: 2LD 交差方式光源ユニットの開発, Ricoh Technical Report, No.27, (2001), pp.83-87.
- 2) T. Ito, T. Nakajima: High Speed and High Definition Technology for Laser Printing, NIP14, (1998), p.417.
- 3) IBM Technical Disclosure Bulletin, Vol.15, No.8, January (1973).
- 4) W. Klaus et al.: Efficient liquid crystal wavefront modulator, SPIE Vol.3015, (1997), pp.84-92.