
動的ビームプロファイル測定技術

Dynamic Beam Profile Measurement Technology

吉川 浩史* 上条 直裕* 鎌田 照己* 高田 将人*
Hiroshi YOSHIKAWA Naohiro KAMLJO Teruki KAMADA Masato TAKADA

要 旨

レーザープリンタの画像記録では、画像形成において走査ビームの光学特性は重要な要因であり、画質に与える影響は大きい。しかし、走査ビームは、高速に走査される小径パルスビームであるため、そのビームプロファイルを高精度に測定することができなかった。そこで、走査ビームの実際の書込み状態でのビームプロファイルを全走査域で高解像に測定できる動的ビームプロファイル測定システムを開発した。本システムのビーム検出部は、拡大光学系とCCDカメラから構成され、検出時に光学系内部で生じる干渉縞の影響による光学ノイズを低減させることで、低ノイズ・高解像なビーム検出を実現した。その結果、ビームプロファイルの高精度な測定を行え、書込み状態での走査ビームの結像状態を把握することができるようになった。

ABSTRACT

In the image recording of laser printer, optical characteristics of the scanning beam are important in image formation for a laser printer. They have a strong effect on picture quality. It is not possible, however, to measure the beam profile with high precision, because it is a small diameter pulsed beam scanned at high speed. To overcome this problem, we developed a dynamic beam profile measuring system that can measure the beam profile in actual writing conditions of the scanning beam at high resolution in all scanning areas. The beam-detecting element of this system comprises an extension optical system and CCD camera. The system makes it possible to reduce optics noise resulting from the interference fringe in the optical system. It achieves low noise, high-resolution beam detection. As the result, it is now possible for the scanning beam profile to be measured and writing accomplished with high precision, thereby giving us a good grasp of image formation conditions of the scanning beam.

* 研究開発本部 生産技術研究所
Manufacturing Technology Research and Development Center
Research and Development Group

1. 背景と目的

レーザプリンタの画像記録では、レーザビームを走査して感光体に露光することで画像を形成する。高画質化のためにビームの小径化や高階調化が進められている。また、プリント速度の高速化のためにマルチビーム化されている。階調性を高めるためには、レーザの出力状態を多値にする、すなわち光強度変調やパルス幅変調などが行われている。当然のことながら、変調方式により、感光体位置でのビームの光強度分布(以降、ビームプロファイルと呼ぶ)は異なる。高画質化を図るためには、実際の書き込み状態すなわち動的な状態で、走査ビームの結像状態を把握することが必要となる。

レーザ出力特性の計測として、種々の測定方法が知られている¹⁾。しかし、走査ビームは、高速にON/OFF制御されて出射されるパルスビームであることに加え、小径ビームであるため、書き込み状態でそのビームプロファイルを高精度に測定できる手段はなかった。

そのため、小径パルスビームに対応し、走査ビームを全走査域に渡って高精度にビームプロファイル、ビーム径、ビーム走査位置を同時に測定できる、動的ビームプロファイル測定システムを開発したので報告する。

2. 動的ビームプロファイル測定システム

2-1 測定システム構成・動作

測定システムの構成をFig.1に示す。測定システムは、書き込みユニット内のLDの出力を制御するLD出力制御部、拡大光学系とCCDカメラから構成されるビーム検出部、それを搭載して主走査・副走査方向に移動できる主走査・副走査軸ステージ、取り込まれたビーム画像を処理する画像処理部、書き込みユニットを光軸方向に移動できる光軸方向移動ステージから構成される。

LD出力制御部に、出射するレーザビームの点灯パターンをあらかじめ記憶させる。また、ビーム検出部を、検出位置が書き込みユニットの結像位置になるように位置決めする。これにより、レーザビームを走査し、ビーム検出部に一走査分だけ入射させることで、走査ビームの結像状態を画像として

取り込むことができる。

取り込むタイミングは、書き込み開始位置に設けたPDからの同期信号に基づき決定している。一走査に要する時間だけCCDカメラを露光することで多重書き込みを防止している。また、同期信号をカウントすることで、特定のポリゴン面で偏向された走査ビームを選択的に測定することができる。

取り込まれたビーム画像に、複数のビームが撮像されている場合は、画像処理により個別のビームを切出してビームプロファイルを抽出する。このビームプロファイルをもとに、ビーム径とビーム走査位置を算出する。

書き込みユニットの全走査域に渡って測定を行う場合は、主走査軸ステージにより検出位置を順次移動させることでビーム画像の取り込みが可能である。このとき、ビーム画像を主走査軸ステージの位置検出部で検出されたステージ位置情報と関連付けて保存することで、主走査方向のビーム走査位置をステージ位置とCCDカメラ画面内の位置から算出することができる。

また、書き込みユニットを光軸方向移動ステージにより移動させることで、デフォーカスさせた位置で走査ビームの結像状態を測定できる。

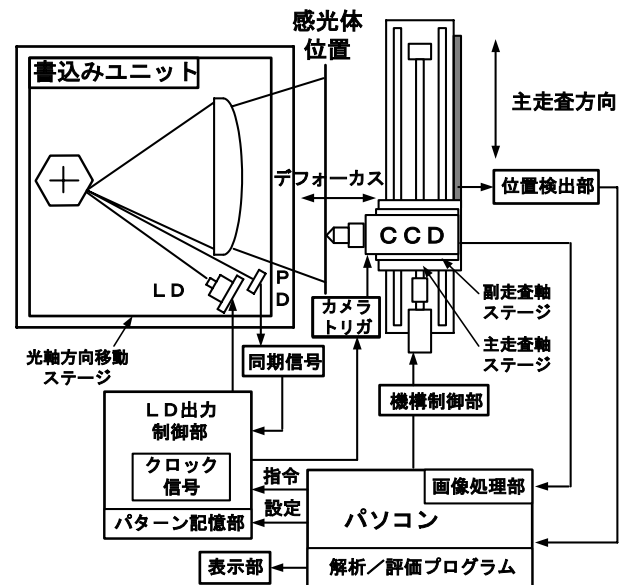


Fig.1 Schematic diagram of dynamic beam profile measurement system.

2-2 構成要素技術

2-2-1 低ノイズ・高解像ビーム検出

高速に走査、点滅するビームの測定には、一回の走査時間の間だけ積算されるビーム光量を二次元画像として取り込むCCDカメラが適している。しかし、レーザプリンタに用いられる走査ビームはビーム径が小さいため、CCDカメラだけでは十分な解像度が得られない。

そこで、Fig.2に示すように拡大光学系を採用することで、解像度を向上させている。

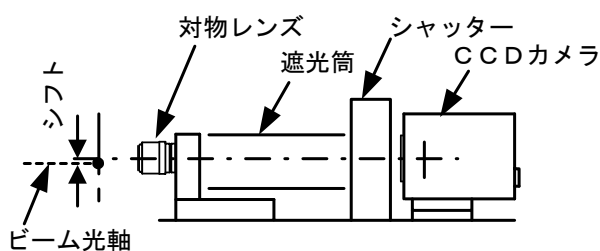


Fig.2 Schematic configuration of detection system.

しかし、Fig.3(a)に示すように、ビームは可干渉性があるため、CCDカメラ撮像面とカバーガラスの間や対物レンズ内部での多重反射によって干渉縞が生じ、ビーム画像が乱れる。そのため、カバーガラスを除いたCCDカメラを用い、ビーム光軸を対物レンズ中心軸とわずかにずらした位置でビームを検出している。

これにより、干渉縞の影響による光学ノイズを低減させ、低ノイズ・高解像なビーム検出を実現した。(Fig.3(b))

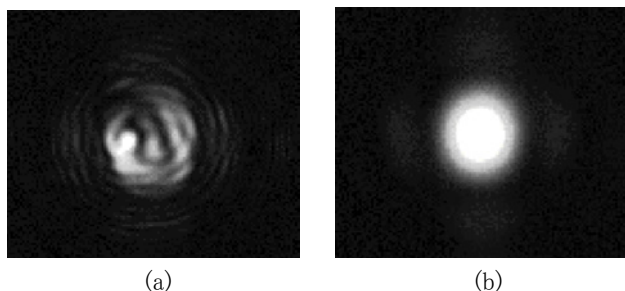


Fig.3 Images of laser beam taken by CCD camera. (a) Beam in which interference fringe was generated. (b) Beam in which interference fringe was eliminated.

2-2-2 副走査方向追従制御

拡大光学系を採用しているため、Fig.4に示すように、測定対象となる書き込みユニットの走査線曲がり大きいと、主走査方向の移動に伴いビームが撮像範囲から外れる場合がある。

そこで、常に撮像範囲内でビームを捉えることができるよう副走査追従機構を設けた。追従機構は、副走査方向に広い検出範囲を持つラインセンサにより副走査方向のビーム走査位置を検出し、副走査軸ステージを用いてCCDカメラを追従動作させている。

追従精度は $10\mu\text{m}$ を実現しており、走査ビームをCCDカメラ画面の中央付近で撮像することができる。

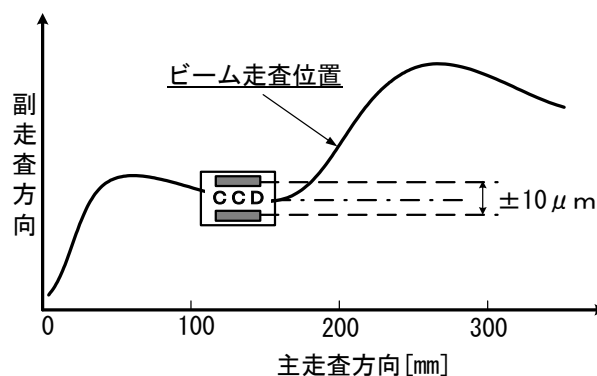


Fig.4 Schematic drawing which show the curvature of scanning beam.

2-2-3 ビームプロファイル抽出

(1) ビーム抽出アルゴリズム

Fig.5は、2画素おきに点灯させた走査ビームのビーム画像を使って画像処理を行う様子を示している。測定システムにより取り込まれたビーム画像に画像処理を行うことで、個別のビームプロファイルを抽出している。抽出アルゴリズムのフローは下記の①～③からなる。

① ノイズ除去

CCDカメラの暗電流ノイズは、ビーム画像取り込み前の遮光時の画像と、ビーム画像取り込み時の画像との画像間差分を行い除去する。

② 個別ビームの切出し

画像全体から特定の閾値を設定し、個別のビーム領域を切出す。(白枠内の画像)

③ ビームプロファイル抽出

個別のビーム領域内で、再度、閾値処理を行い、ビームプロファイルを抽出する。

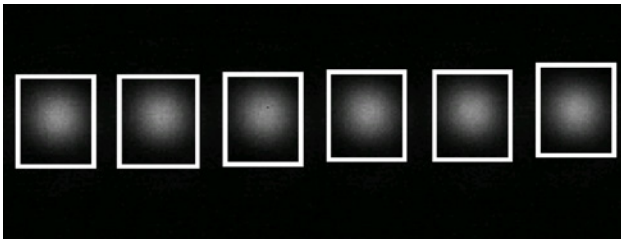


Fig.5 CCD image of scanning beam.

以上のプロセスにより、主・副走査ビーム径、画面内のビーム走査位置を算出する。ビーム径は一般的なビーム直径の定義²⁾に基づいて算出している。

(2) 2ビーム分離アルゴリズム

Fig.6(a)は2ビームによる実際の書き込み状態でのビーム画像である。マルチビームの場合、前述のビーム抽出アルゴリズムを用いた閾値処理(Fig.6(b))では、ビームが重なるために、個別のビームプロファイルを抽出することができない。

そこで、個々のビームプロファイルを関数で表現し、その関数の和を重畳したビームのビームプロファイルにフィッティングさせ、関数のパラメータを求めることで、個別のビームプロファイルを求める。

書き込みユニットのLD出射口近くに、矩形アパーチャが固定されている場合、集光されたビームの副走査方向の強度分布はフラウンホーファー回折像となり(1)式で近似できる³⁾。

$$f(x) = A * \left\{ \frac{\sin(B(x - C)\pi / 512)}{(B(x - C)\pi / 512)} \right\}^2 + D \dots\dots\dots (1)$$

Aはピーク光量、Bはビーム幅、Cはビーム位置、Dはノイズを含むオフセット量を表すパラメータである。

2ビーム測定時は(1)式に示した関数(f_1 , f_2)を用い、Fig.7に示すように、個別ビームの和で表した関数 $f = f_1 + f_2$ を8個のパラメータを変化させることで、フィッティングさせる(図の矢印は、フィッティングの様子を表示)。フィッティング後の8個のパラメータを f_1 , f_2 にそれぞれ代入することにより、Fig.8に示すように、個別のビームプロファイルに近似した関数が導出され、2ビームを分離することができる。

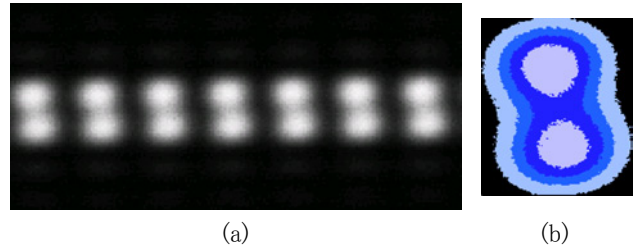


Fig.6 (a)Typical beam image of multi-beam. (b)Result of image processing.

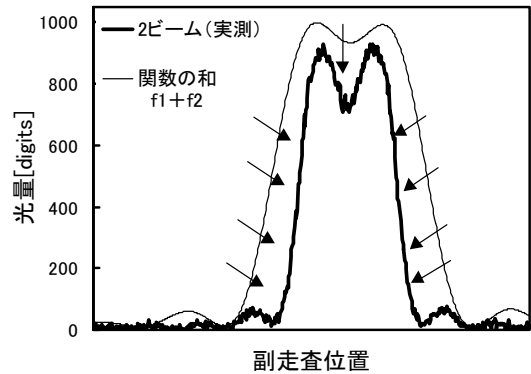


Fig.7 Conceptual scheme of fitting process.

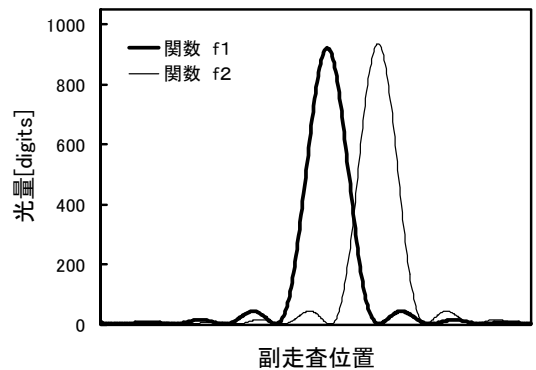


Fig.8 Result of fitting process.

3. 測定結果

3-1 ビームプロファイル測定結果

Fig.9は本測定システムを用いて、走査ビームのビームプロファイルを測定した結果である。静的ビームのビームプロファイルと比較するために光量を規格化して表示した。

走査ビームのビームプロファイルは、点灯時間だけ走査されるため、静的なものとは比べ走査方向に広がりをもつ。ま

た、走査ビームのビームプロファイルがゼロレベルまで下がらないのは、LDにオフセット発光させるための電流が常に流れているためである。

走査ビームのビーム径は、静的なビームプロファイルから点灯時間と走査速度より計算されたものと良く一致しており、動的な測定が正確に行われていることが確認できた。

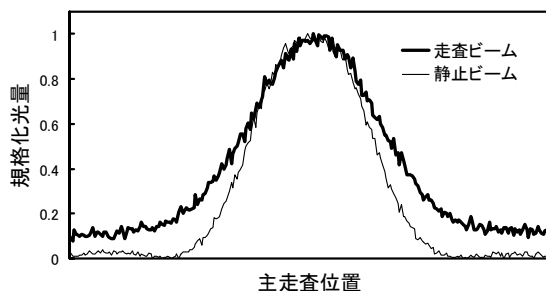


Fig.9 Measurement result of dynamic beam profile.

3-2 2ビーム書込みユニット測定結果

2ビーム書込みユニットを測定する場合、ビームは副走査方向に重なる。Fig.10は重なり合うビームプロファイルから、ビーム分離アルゴリズムを用いて、2ビームの個別のビームプロファイルを抽出した結果である(図では、2ビームのうち右側のビームのみ表示)。これは、2ビームのうち1ビームのみ走査させて測定したものと良く一致しており、このアルゴリズムの有用性が確認できた。

これにより、2ビームの個別のビームプロファイルを1ビームの場合と同等の精度で抽出することができ、個々のビームのビーム径とビーム走査位置、及び、副走査方向のビーム間ピッチの測定が可能になった。

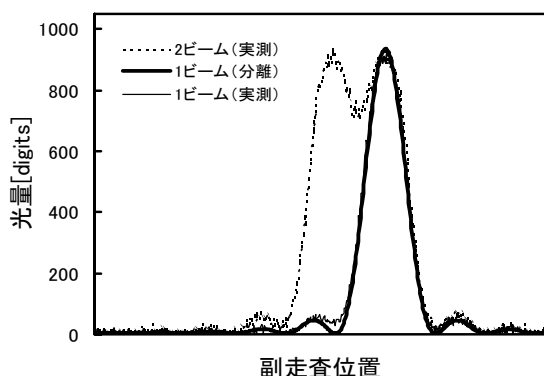


Fig.10 Measurement result of dynamic beam profile by beam separation algorithm.

4. まとめ

走査ビームの書込み状態でのビームプロファイルを全走査域で高解像に測定できる動的ビームプロファイル測定システムを開発した。また、ビームを関数表現することで個別のビームプロファイルを抽出するビーム分離アルゴリズムを開発し、マルチビーム書込みユニットの測定も可能となった。

5. 今後の展開

本技術を用いると、書込みユニット走査ビームの性能や品質の評価が可能になることから、新規書込みユニットの開発段階での開発ツールとして展開が期待されている。

謝辞

最後に、本動的ビームプロファイル測定技術の開発において、測定システムを構成するにあたり、ご指導、ご協力いただいた方々に深く感謝致します。

参考文献

- 1) レーザ学会編：先端レーザテクノロジー，日経技術図書(1992) p.19-28.
- 2) JIS C 6180 レーザ出力測定法，日本規格協会，(1995) p.1633.
- 3) 鶴田：応用光学 I，培風館，(1990) p.210-215.