

レーザー画像機器のためのレーザービーム形状計測技術

Measurement Technologies of the Laser Beam Profile for Laser Printing Equipment

大石 篤* 北村 光 晴*
Ohishi, Atsushi Kitamura, Mitsuharu

Two technologies which measure the beam profile on the same beam condition as that of just printing are developed. One is to measure the profile directly for self-scanning beam. Fast signal processing techniques make it possible to measure the beam at a scanning speed of 660m/s. The other is to measure the superposition profile for multi beams of drum scanning equipment. Since these profiles directly affect image quality, these technologies are expected to be useful to improve image quality especially for equipment which have complicated image making process.

1 はじめに

デジタル化の進展にともない、画像機器の分野でレーザー走査露光による画像形成が高速高画質の利点を背景にますます重要となってきた。レーザー画像機器においては、その画質は露光レーザーのビーム品質と感光材料のマッチングで決定する。¹⁾したがって画質を確保するためには感光材料の特性を把握した上で露光するレーザービームの品質を画質と結び付けて計測し、かつ制御することが必要である。ここでできるだけ直接的に画質に結び付けた計測ができれば、画質形成メカニズムの正確な理解につながり、ひいては早期の画質確保が実現できる。したがってレーザー画像機器のレーザービーム計測においてはもっとも直接的に画質に反映する計測として画像形成状態でのレーザービーム品質の直接計測が重要と考えられる。今回我々はこのような条件でレーザービームの評価分析が可能なレーザービーム形状計測技術を開発したのでその内容を報告する。

2 主要画質因子と必要技術

レーザー走査露光で形成される画像においてレーザービームに依存する主要画質因子は微小点や細線における切れと一定濃度領域での均一性(ムラ)である。レーザー画像機器は一般に平面走査型のようなレーザービームが自己走査するタイプと感光材料をドラムで回転走査するタイプに二分される。後者は低い走査速度を補うために一度に複数のレーザービームを照射する構成をとる。ここで書き込み時の平均ビーム径や平均形状が前記画質因子に影響するだけでなく

- (1) 自己走査タイプは走査中のビーム変動
- (2) ドラム走査タイプは複数ビームのばらつき

がビーム特性の変化として実際の画質に反映する。平均形状は静止単独ビームを対象とした市販測定器でおおよその推定は可能である。したがって望まれる画像形成状

* 感光技術センター

態でのビーム計測に対して、市販測定器を補完する技術として

- (1) 自己走査ビームの走査状態での測定技術
- (2) ドラム走査ではマルチビームの重ね合わせ品質を評価する機能

が必要となる。Fig.1に各種レーザー画像システムに対して画像形成の観点から必要なビーム計測技術を整理した。網かけ部が開発を必要とする技術であり、これらを対象に技術開発を行った。

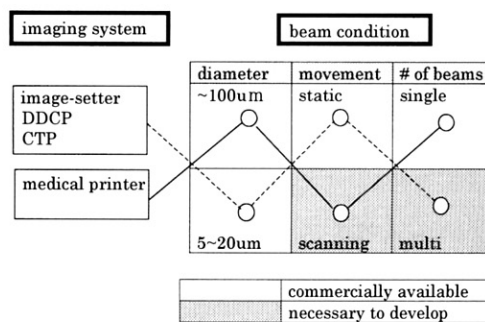


Fig.1 Necessary technology of the beam profile measurement for laser printing equipment

3 走査ビーム測定器の開発

3.1 測定方式

レーザービームのスポット径を計測する方法はこれまで種々の方法が提案され製品化されている。²⁾³⁾大別するとスリット、ナイフエッジ、ピンホール等でビーム断面を走査し透過光量でビーム形状を計測する方式と2次元 CCD で直接または拡大や縮小光学系を利用して測定する方法の2種類の方法がある。分解能よく直接的に計測するには前者が好ましくまた2次元のビームの強度形状を計測するには後者が有利である。レーザービームが自己走査する平面走査型の画像機器の一般的なビーム仕様は速度数百 m/sec、ビーム径 100 ミクロン程度である。この

ような走査ビームを測定する場合、CCD方式は有限のシャッター速度による画像ブレによる誤差という本質的な問題があり適さない。したがってスリット方式を選定し測定技術の検討を行った。

3.2 測定原理及び誤差分析

測定対象は Fig.2 に示すようなビーム走査方向（主走査方向）のプロファイルと走査直角方向（副走査方向）のプロファイルである。主走査方向のプロファイルは走査に直角なスリット A に自己走査するビームを横切らせて測定し、副走査方向のプロファイルは走査方向と微小角度 α 傾けたスリット B で同様に測定する。一般にスリット方式での測定では有限のスリット幅に起因する Convolution Error が存在するが³⁾ここではさらに副走査ビーム径の測定において微小傾きスリットを用いるためにスリットの傾き角度やビーム縦横比が敏感に測定誤差に影響することが予想される。そこでビームをガウス形状の楕円ビームと仮定して、スリットが微小角傾いた状態でビーム走査したときのスリット透過光量信号によるビーム径計測の誤差の分析を行った。

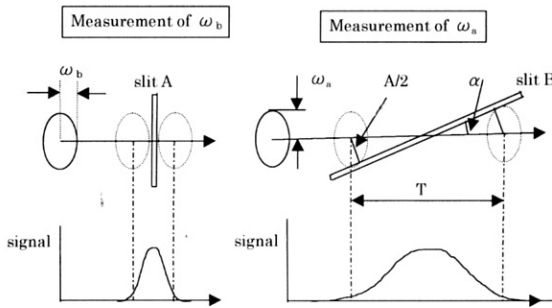


Fig.2 Measurement principle for a self-scanning beam

Fig.3 のように座標軸をとると楕円ガウスビームのパワー密度 S は

$$S(x', y') = \frac{2P_0}{\pi\omega_a\omega_b} \exp\left(\frac{-2x'^2}{\omega_a^2}\right) \exp\left(\frac{-2y'^2}{\omega_b^2}\right) \quad (1)$$

ここで座標軸は以下の変換式に従う。

$$\begin{aligned} x &= x' \cos \alpha - y' \sin \alpha \\ y &= x' \sin \alpha + y' \cos \alpha \end{aligned} \quad (2)$$

スリット透過光は 2 つのナイフエッジ ($x = x_s$ と $x = x_s + \Delta x$) の透過光の差で与えられるが、 $x = x_s$ のナイフエッジの透過光 $P(x_s)$ は

$$P(x_s) = \int_{x=x_s}^{x=+\infty} \left[\int_{y=-\infty}^{y=+\infty} S(x, y) dy \right] dx \quad (3)$$

(1)(2)式から $S(x, y)$ を求め(3)式に代入して

$$P(x_s) = \frac{P_0}{2} \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_{\sqrt{2}x_s/\omega(\alpha)}^{+\infty} \exp(-t^2) dt \quad (4)$$

$$\omega^2(\alpha) = \omega_a^2 \cos^2 \alpha + \omega_b^2 \sin^2 \alpha$$

がえられる。⁴⁾したがって全体光量で規格化したスリット透過信号 $N(x_s)$ は

$$N(x_s) = \frac{P(x_s) - P(x_s + \Delta x)}{P_0} \quad (5)$$

でありこの値は(4)式を用いて計算できる。さてこの斜めスリットでの測定値 A は、実際の計測値 T とは、Fig.2 で見るように

$$A = T \sin \alpha \quad (6)$$

の関係となっており、したがって測定値 A と実際のビーム径 $2\omega_a$ との差をとれば目的の誤差が算出できる。

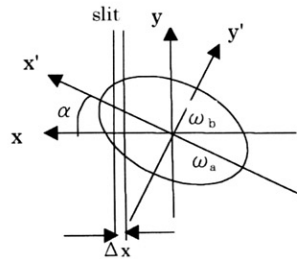


Fig.3 Configuration of error analysis about a tilted slit

現実的な値としてスリット幅 5 ミクロン、 $\sin \alpha = 0.1$ とし、副走査ビーム径の測定誤差のビーム径依存性を計算したのが Fig.4 である。スリットが傾きをもつことで本来影響されてはいけない主走査方向のビーム径に多少依存するが、100 前後のビーム径ではほぼ無視できる程度の誤差であることが分かる。また誤差が 0 となるビーム径の組み合わせがありこれはスリット幅による Convolution Error の + 誤差が斜めスリット化での - 誤差でキャンセルできていることを示しており、対象ビームの平均径に応じて適当にスリット幅と角度を選択すれば、誤差を最小化できることがわかる。

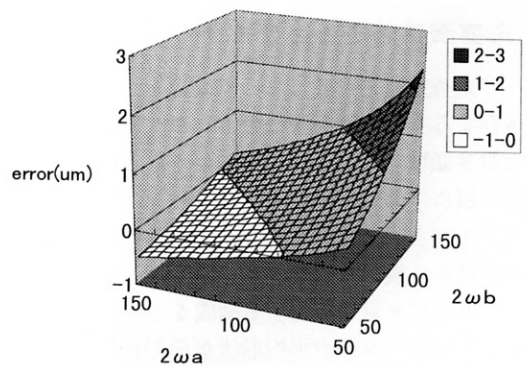


Fig.4 Error analysis about ω_a at various combinations of ω_a, ω_b

またビーム径主走査 75 ミクロン副走査 90 ミクロンでスリット角度を変えた場合の測定誤差を Fig.5 に示す。主走査径はスリットが垂直からわずかに角度が変化してもビーム径測定値への影響がほとんどないが、副走査径の測定ではスリットとビーム走査の交わる角度が非常に小

さい為、角度の変化は大きな誤差につながる。したがって正確に角度を設定するか、あるいはもうひとつのスリットをハの字状に設け両方のスリットを走査し2つの測定値を平均化することで誤差をキャンセルするか、等の誤差が生じないような工夫が必要である。

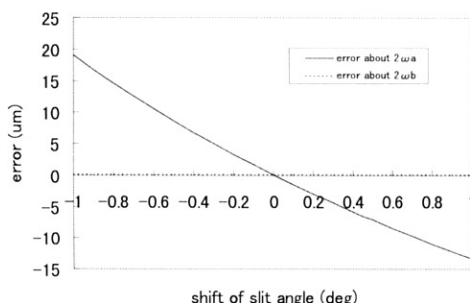


Fig.5 Error about ω_a , ω_b due to the shift of a slit angle

3.3 高速対応技術

従来の静止ビーム測定と大きく異なる技術上の課題は高速度のビームを直接計測することによるビーム形状信号の高速化である。静止ビーム測定で0.1msec程度の信号は走査ビーム測定では0.1usecと1000倍程度高速化される。したがってこの高速信号からビーム径を算出する技術が要求される。今回2種の技術を考案しそれぞれを実用化した。Fig.6にその構成を示す。A方式はビーム形状信号を高速のADコンバーターでデジタル化していったん記憶し、後にそれを時間に関係なく分析し径を算出する方式で、高精度が期待されるが、コストとリアルタイム性に劣る。一方、B方式はビーム形状信号をリアルタイムで2値化しそのパルス幅を計測して径を算出する方式で、一般にリアルタイム性は優位であるが短時間パルスのパルス幅を高精度に計測するのが難しい。この点において、今回パルス幅計測用のクロックにランダムな位相揺らぎを意図的に加え、統計処理することで高分解能化を実現した。これはノイズを性能向上や機能開発に積極的に応用した例⁵⁾としてスペックル技術⁶⁾等とともに、実用上重要な技術となっている。

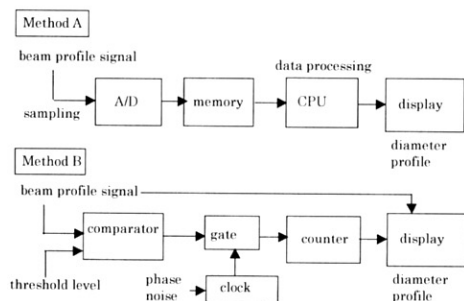


Fig.6 Fast signal processing techniques

3.4 装置構成

装置外観をあらわすものとして前記B方式の走査ビ-

ーム測定器をPhoto 1に示す。一つのスリットを回転させ走査方向の径、副走査方向の径を計測する。この際副走査方向の測定においては、ビーム走査方向とスリットの角度を正確に設定できるようセンサと表示メーターを設けている。約660m/sec、0.2mW程度のビームのビーム径と光量をビーム走査状態で計測できる。

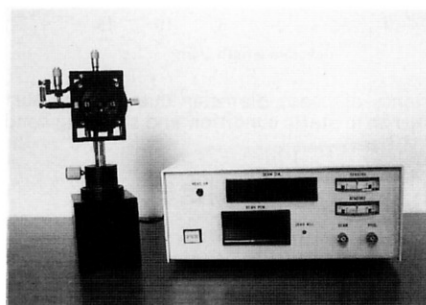


Photo.1 Scanning beam profile meter (method B)

3.5 性能

装置性能の評価は、市販の標準的な測定器（フォトン社のビームスキャン）での静止ビーム径との比較で実施した。結果をFig.7に示す。A、B両方式とも差異は多少見られるが十分な相関が観測され校正を加えることで、静止状態と同様な計測が可能であることがわかる。

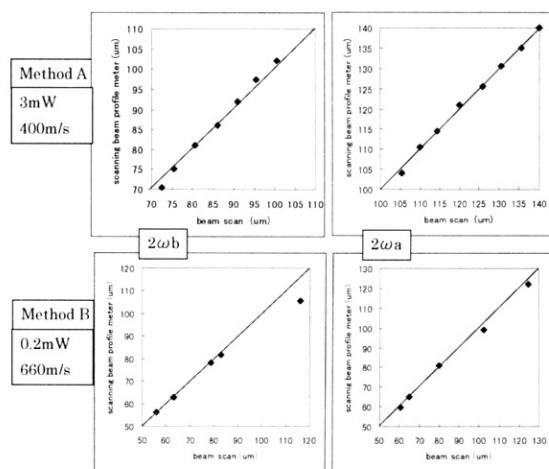


Fig.7 Correlation between scanning beam profile meter and Beam Scan (Photon Inc.)

3.6 測定例

走査ビームでの計測が特徴的に現れている評価例をFig.8に示す。これは走査用の回転ミラーの各面毎のビーム径変動を静止時と走査時と比較したもので、この画像濃度ムラにつながるビーム径変動が感光材料面付近で静止時と走査時で異なることがわかる。これは濃度ムラの抑圧検討や光学ユニットと感材間の距離設定の許容度検討に寄与する情報となる。静止ビーム測定だけでは得られないこのような新規な知見が画質形成メカニズムの解析精度を向上させることにつながる。

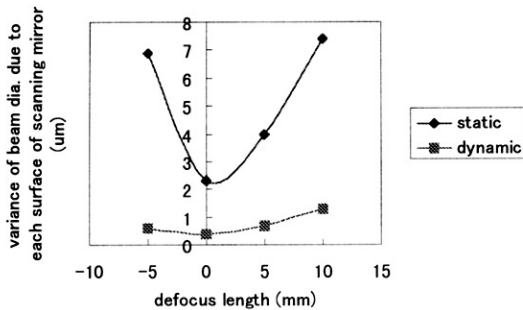


Fig.8 Variance of beam diameter due to each surface of a scanning mirror in static condition and scanning condition

4 微小マルチビーム測定器

4.1 測定方式

マルチビームの重ねあわせを評価する機能及びビームアライメント評価の実現、また対象となるビーム仕様(光量 $0.1\mu\text{W}\sim 0.5\text{W}$ 、ビーム径 $3\sim 30\mu\text{m}$)から、これら要求にこたえる方式として2次元 CCD を用いて拡大撮像する方式を選択した。

4.2 装置構成と特徴

装置構成を Fig.9 に示す。顕微鏡光学系で CCD 上に拡大撮像するビーム測定部を正確に3軸で位置制御する構成をとっている。特徴として

- (1) 広範囲の光量に対応するため、無限遠補正光学系を採用し、対物レンズと結像レンズの間に45度の角度で各種反射型 ND フィルター(裏面 AR 付き)を装着できるようにした。これにより反射光による戻り光の問題やフィルターによる干渉ノイズを抑制できる。
- (2) ハイパワーレーザー耐性と微小ビームの測定を両立するために、対物レンズは高 NA で超長作動距離のレンズを選定した。
- (3) マルチビーム全ビームを高分解に測定するため、測定部を離散的に位置制御し撮像した複数の測定画面の統合機能を開発した。

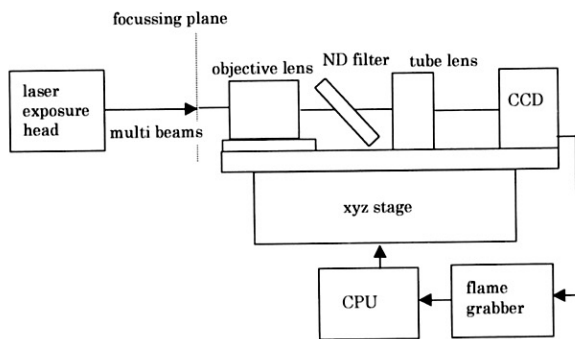


Fig.9 Configuration of profile meter for small multi beams

4.3 測定例

マルチビームでの露光では一般に副走査方向にビーム

が配列される。したがって走査ムラは副走査速度ムラに加えて、ビームの並びが影響する。両者のムラの空間周波数は通常異なるため、おのおの独立に抑制することが必要である。またそのためには対応した計測が必須となる。ここでは2400DPI、10ビームのビーム形状を計測しその重ねあわせを評価した例を Fig.10 に示す。10ビーム内は測定したプロファイル、ビーム位置で重ねあわせ、前後の走査とは基準副走査ピッチで重ねあわせている。これを周波数解析すれば画像形成状態でのムラ解析ができる。各ビームは形状が異なる場合が多く、したがって各ビームの光量は単に同一に調整するよりも、この重ねあわせにおいて問題の空間周波数成分を抑制するよう光量設定することが望ましい。

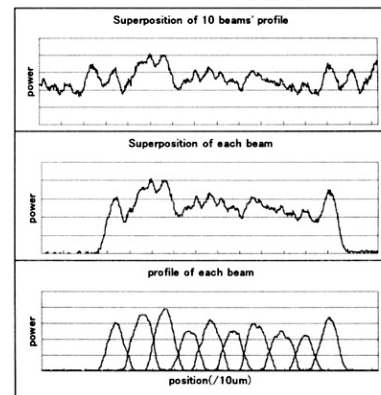


Fig.10 Measurement result

5 まとめ

レーザー画像機器においては画像形成状態でのレーザービーム特性を直接とらえることで、より正確にビームと画質とを関連づけることができ、早期の画質確保につなげることができる。今回われわれは平面走査式及びドラム走査式の各種レーザー画像システムに対して画像形成状態での計測が可能なレーザービーム形状計測技術を開発した。これによりこれまでの市販の静止単独ビーム用計測器では分析しきれない画像形成での影響が把握できる可能性が示された。この技術は特に複雑な画像形成メカニズムを有する画像機器に対し、画質解析を容易にし開発スピード向上や生産安定化に寄与できるものと考えられる。

●参考文献

- 1) 大石篤、澤住庸生、北村光晴: Konica Tech. Rep., 10, 9 (1997)
- 2) 木村茂治、棟方忠輔: 光学, 19 (2), 74 (1990)
- 3) 光アライアンス 92年10月, 19 (1992)
- 4) Hans R. Bilger, Taufiq Habib: Appl. Opt., 24 (5), 686 (1985)
- 5) 橋本周司, 大照完: 数理解科学, No.188, 43 (1979)
- 6) 澤住庸生、大石篤、前田元治: 第19回光学シンポジウム予稿集 39 (1994)