

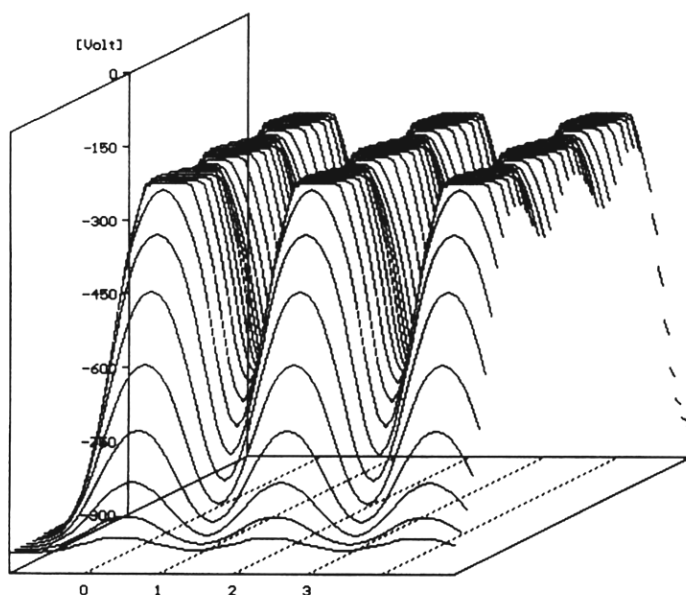
デジタルカラー複写機における潜像設計

—レーザ走査と画像の対応—

Latent Image Forming in Digital Color Copying Machine

本井俊博

情報機器事業本部
機器第一開発センター



Abstract:

In the electrophotographic process of digital color machine, the scanning of laser beam is used as an image forming method.

This laser beam is modulated by the signal of image data to form latent images on a photoconductor.

For high image quality with high resolution and high gradation, precise beam control is needed and this is the key to achieve high image quality.

In this paper, line and half-tone latent images formed by laser scanning were simulated and compared with the printed images.

Suitable parameters were also derived and proposed for fine image reproduction.

Motoi, Toshihiro

Machines Development Center No.1
Business Machines Headquarters

1

まえがき

デジタルカラー複写機では、Fig.1に示す構成のプロセスで画像が形成される。まず読み取り系のカラーCCDにより得られた画像信号は、画像処理系で各種加工・処理され記録信号に変換される。次に書き込み系で記録信号によってレーザ光を変調し、感光体上に結像・走査して静電潜像を形成し、電子写真プロセスで顕像化され可視化される。

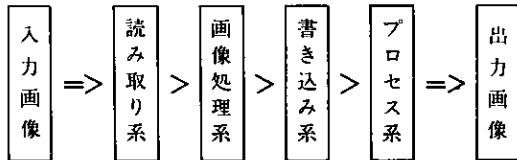


Fig.1 Constitution of digital color copy machine

この画像形成プロセスにおいて、高画質画像を得るためには、記録密度を上げる事と階調性を向上することが基本的課題である。しかし、これらの課題はそれぞれの系の特性を考慮しなければ、期待した効果が得られない。特にレーザの走査により形成される潜像の特性は、画質を決定する基本要素であり、この潜像形成を正確に把握する事が高画質化へのキーポイントとなる。

今回は、レーザの走査で形成される潜像の状態を、隣接画素も考慮した計算で2次元的に求め、線画と階調画の潜像形成の差について、実際の出力画像の結果と比較し、最適な潜像の形成に必要な書き込み系のパラメータについて検討した。

2

潜像シミュレーション

感光体上に潜像形成を行うための書き込み系をFig.2に示す。

半導体レーザからの変調光ビームは、コリメータレンズにより平行光にされたあと、回転多面鏡で偏向走査され、結像レンズ系により感光体上に結像されて、ドットの配列からなる潜像を形成する。

階調再現を重視するデジタルカラー複写機では、1ドット毎に階調制御を行うため変調方式として、画像濃度に応じて、レーザのパルス発光時間を制御するPWM方式と、光強度を制御する強度変調方式を用いることが知られている。

2.1 表面電位分布

レーザの結像スポットの光強度分布はGauss分布で近似できることが知られており、ここではこの分布形状を1次元的な走査を前提としたパラメータを含めて求める事で感光体に与える光強度分布を算出する。

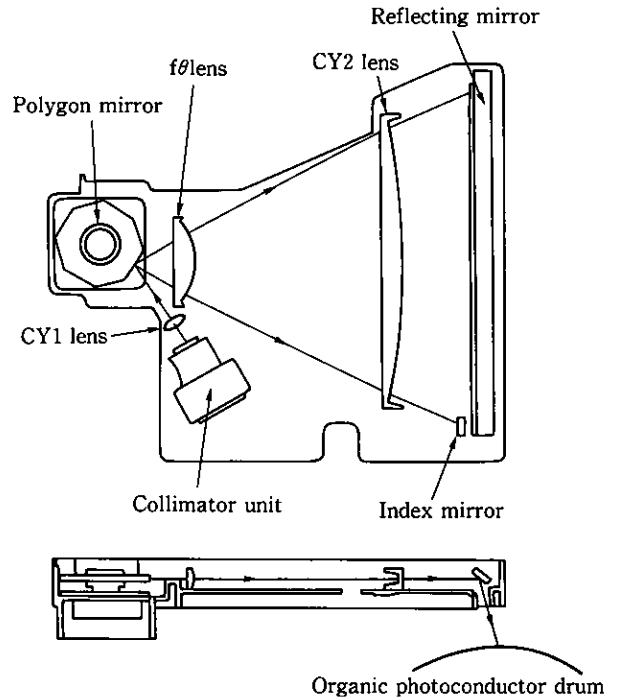


Fig.2 Configuration of optical system

主走査方向を x_3 軸、副走査方向を y_3 とすると、静止結像スポットの光強度分布 $I(x_3, y_3)$ は以下の式で表せる。(但し W_{3x} , W_{3y} はスポット半径、 P は全光量)

$$I(x_3, y_3) = I_i^{0.0}(x_3, y_3) = \frac{2P}{\pi W_{3x} W_{3y}} \cdot e^{-\frac{2x_3^2}{W_{3x}^2} - \frac{2y_3^2}{W_{3y}^2}} \quad [\text{W/m}^2]$$

$$P = \iint_{-\infty}^{\infty} I(x_3, y_3) dx_3 \cdot dy_3 \quad [\text{W}]$$

この静的分布に走査の要素を加味して動的な光強度分布が得られる。レーザスポットの走査速度を v [m/sec]、レーザの変調パルス幅を Δt [sec] とすると、走査面における単一パルス幅 Δt による光強度分布 E [Joule/m²] は、以下の式となる。

$$E(x_3, y_3) = \int_0^{\Delta t} I(x_3 - vt, y_3) dt = \frac{2P}{\pi W_{3x} W_{3y}} \cdot e^{-\frac{2y_3^2}{W_{3y}^2}} \int_0^{\Delta t} e^{-\frac{2(x_3 - vt)^2}{W_{3x}^2}} dt$$

この式で P を一定として、 Δt を変えた時に得られる光強度分布がPWMにより形成される分布であり、 Δt を一定として P を変化させた場合は、強度変調の光強度分布となる。

求めた光強度分布を感光体の光量対電位への変換特性(E-V特性)を使って電位分布に変換し潜像の電位分布を求める。

E-V特性は非線形特性を持ち、感光体や使用条件で異なるため、数式化せずレーザを一定の出力で常時点燈させ、感光体表面を一様に露光させ表面電位を測定する事により得られる結果を使用した (Fig.3の曲線a)。単位体積当り

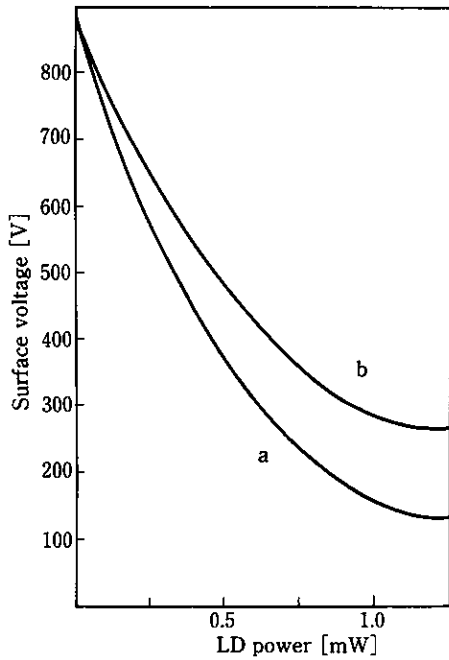


Fig. 3 E-V curve

の光強度 (エネルギー密度) ϵ [J/m^2] への換算は、 l を走査線密度 (Line/m) として以下の式を使う。

$$\epsilon = P \cdot \frac{1}{v} \cdot l \quad [\text{J}/\text{m}^2]$$

電子写真を使ったレーザ記録では、カラー再現に必要な階調再現が1ドットPWM (パルス幅変調) ではビームの広がりなどで十分にできないという理由で、線画で1ドットPWM、階調画では2ドットPWMと切り替えて使用されることが多いので、ここでは2ドットパルス幅まで1/10パルス幅ステップでPWMによって得られる主走査断面の状態を計算した。

Table 1 Beam scanning condition

光量	: 1.5mw
ビーム径(主)	: 45-70 μm
(副)	: 45-95 μm
画素サイズ	: 63.5 μm
(400dpi)	
変調パルス幅	: 65.484nsec
(15.27068MHz)	
走査速度	: 969.686m/sec

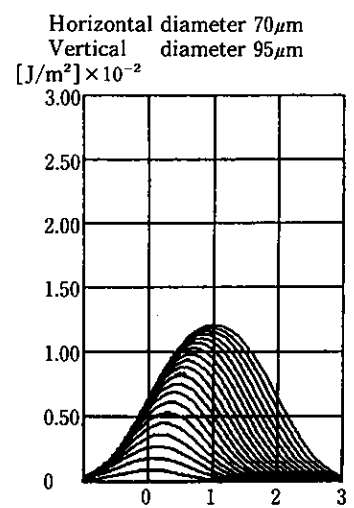
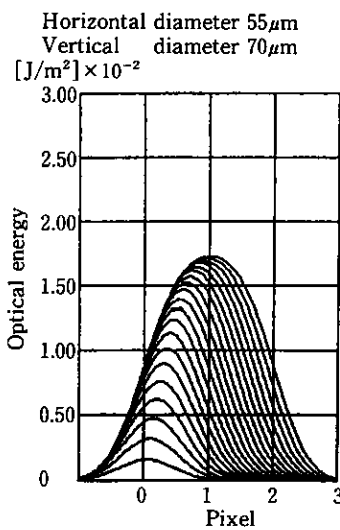
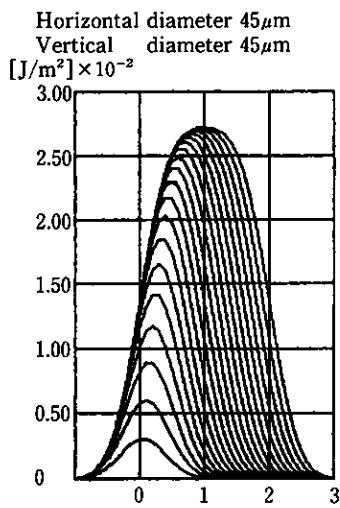


Fig. 4 Optical energy distribution

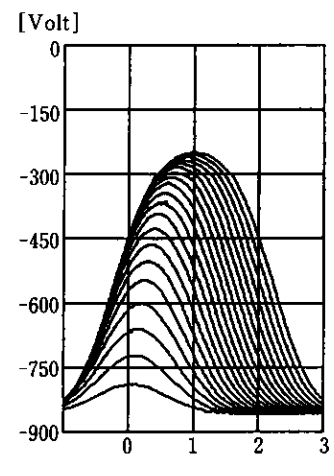
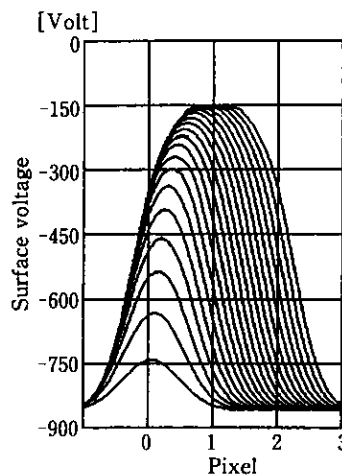
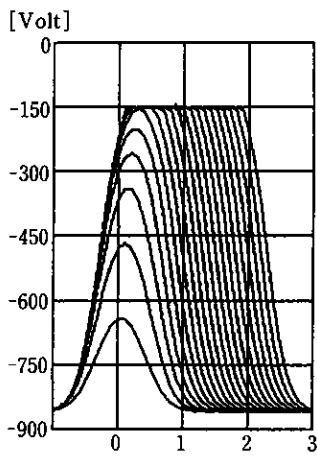


Fig. 5 Surface voltage distribution

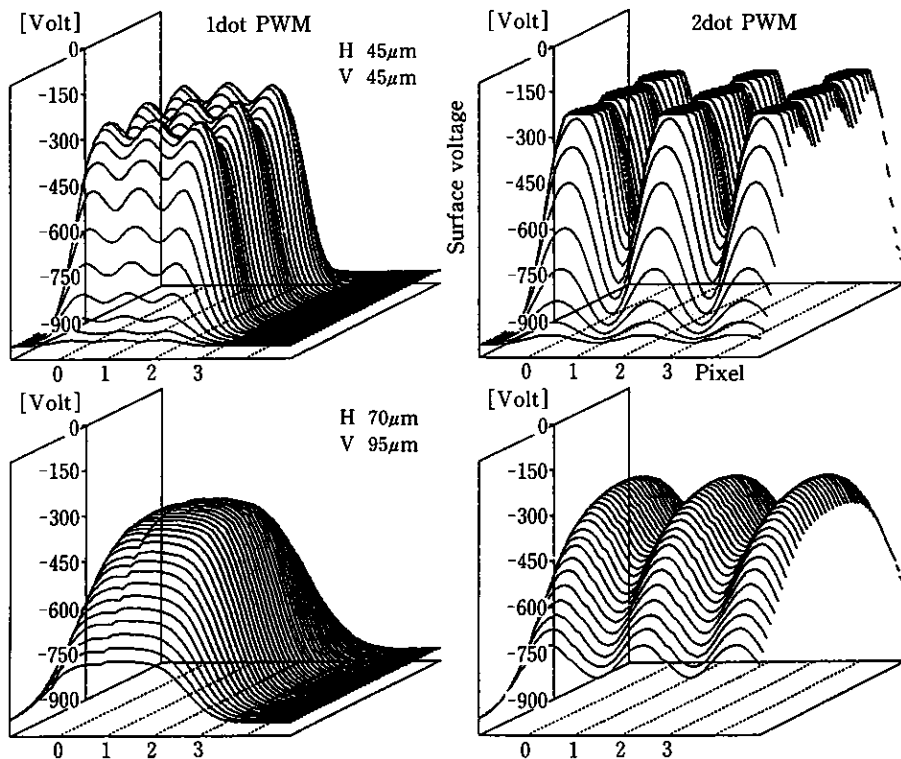


Fig.6 Surface voltage distribution (3×3dot)

走査条件をTable 1で与え、光強度分布をFig.4に、表面電位分布をFig.5に示す。

横軸は1画素サイズで正規化した値で、縦軸はそれぞれ光強度Joule/m²及び表面電位Voltである。

隣接ドットの影響を考慮した光電位度分布を調べる目的で、単一の光パルスが形成する光強度分布を形成し、2次元的に主・副走査平面で3×3ドットを重ね合わせるにより計算した。これから求めた表面電位分布がFig.6となる。

2.2 ガンマ特性

形成された電位分布がトナーで現像され可視化されて画像を形成する。上記で計算された電位分布の現像バイアス以上の表面電位が、トナー付着量に比例すると仮定すると、画像濃度を求める事ができる。

横軸にパルス幅(Duty比)、縦軸に対応した現像バイアス以上の電位総和をプロットすると、曲線は得られる画像濃度のガンマ特性を示すことになる。画像には線画(Line image)と階調画(Tonal image)が存在するが、前者は孤立ドット後者はドットの集合が画像の主要な構成要素であるため、両者の画像特性を調べる目的でそれぞれの場合のガンマ特性を求めた。

Fig.7は階調画と線画のガンマカーブのビーム径に対する変化を示したもので、ビーム径が小さい程線画でのガンマカーブに階調性があり、階調画のガンマカーブに近づき、良好な再現ができる可能性を示している。

逆にビーム径が大きい状態では、線画のガンマカーブ

に階調性をもたせるために光量を増加させると、階調画は濃度の飽和が早まり階調性が得られない事もわかった。

以上より、線画と階調画が混在する実際の画像で、記録を行うためにはビーム径を小さくすればよい事がわかったが、極端にビーム径を小さくすることは、現実にはコスト面から容易に達成できない制約がある。一方近年の画像処理技術では、領域を分けての処理も行われており¹⁾、画像の種類に応じて形成条件をかえる事が可能である。

ここでは実現可能なビーム径の範囲でも、画像処理と組み合わせて線画と階調画で光量をかえれば、良好な再現を得られると想定し最適条件を求めた。

その結果、線画では階調画の約3倍の光量で等しいガンマカーブが得られることがわかった。

同様の考え方は強度変調においても適用できる。強度変調では、画像領域に応じて光量範囲を切り替えるか、発光パルス時間を切り替える方法が考えられ、同様な計算により、両者は同一の結果を得られる事がわかった。

2.3 カラー画像再現

コニカのデジタルカラー複写機ではコニカニューカラープロセスを用いている。このプロセスは非接触現像法により、感光体にカラートナー像を4色重ね合わせたあと、一括して転写紙へ転写する。

潜像形成時に露光する時のE-V特性は、先に形成されているトナー像による光遮蔽や電位の影響があり、Fig.3の曲線bの様になる。

1色目と2色目のガンマ特性を示したのがFig.8である。

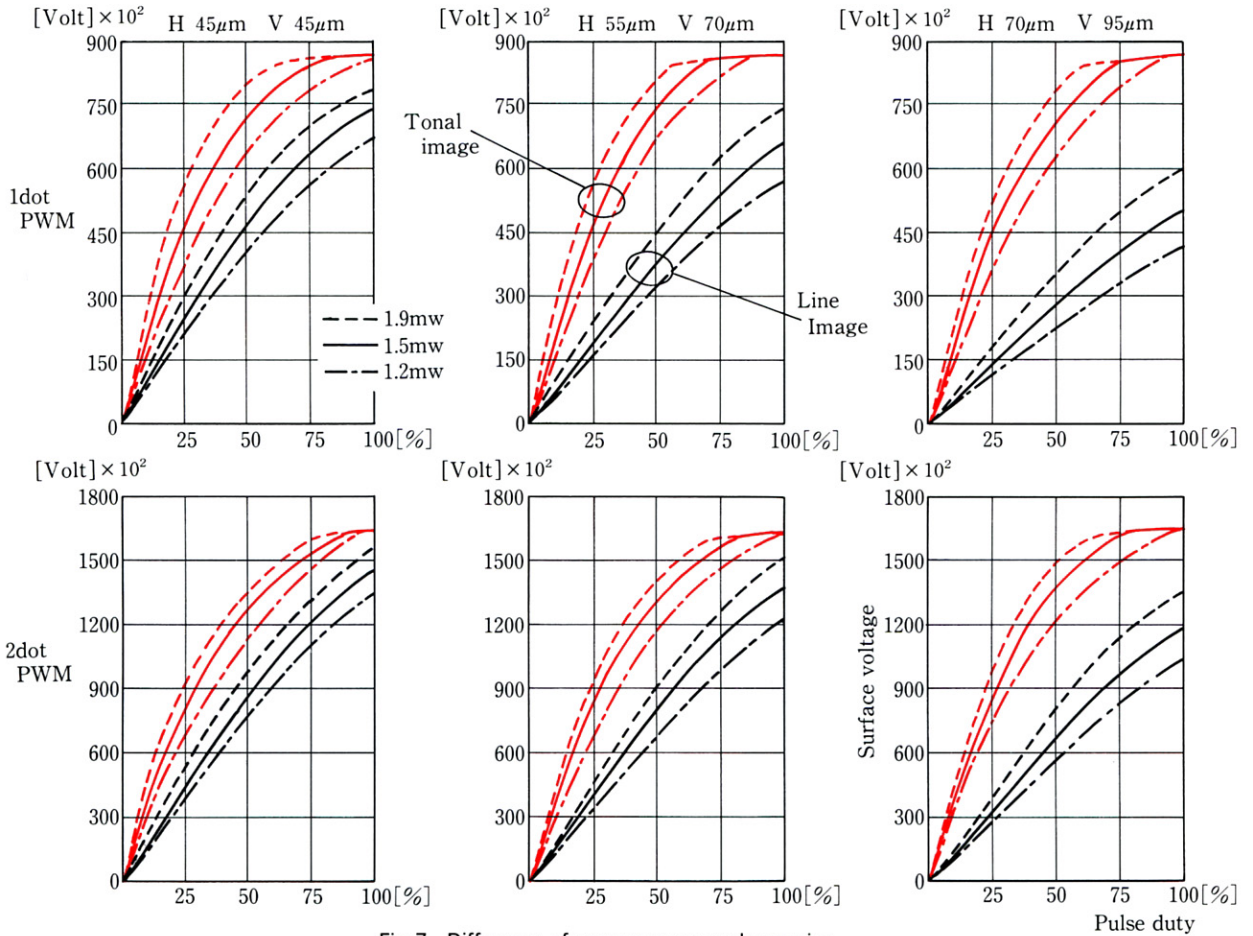


Fig. 7 Difference of gamma curve on beam size

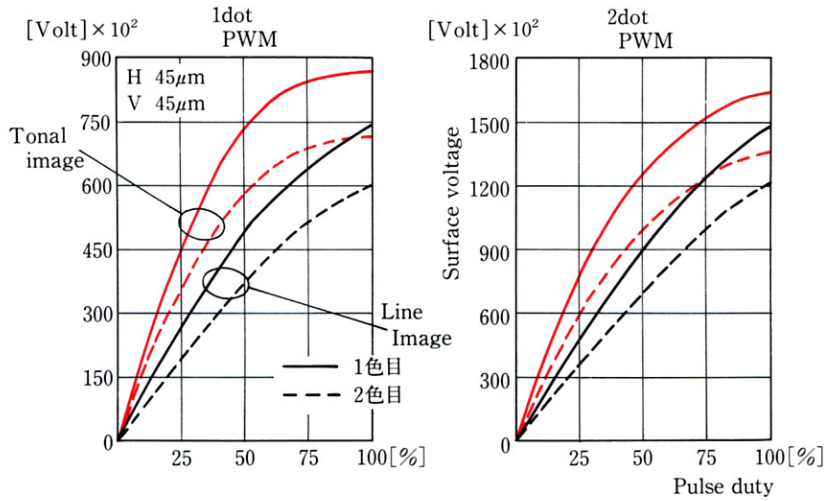


Fig. 8 Characteristics of gamma curve in full color image

2色目はガンマカーブの傾きが小さくなっている事がわかり、ハイライト部及び高濃度部での画像再現が困難になることを示している。

3

出力画像との対応

3.1 変調特性

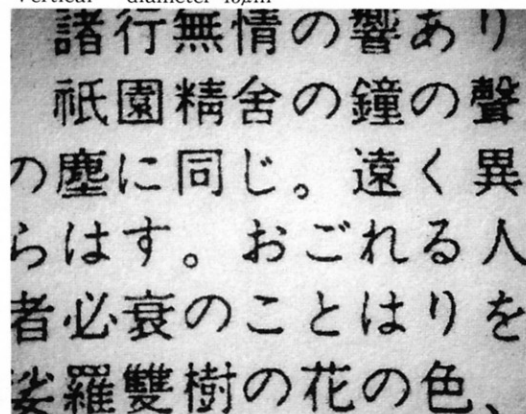
ビーム径による形成画像の差を確認するために、主副45μmビームが得られる書き込みユニットと主65μm副90μmのユニットを使用して比較をおこなった。

Fig.9が出力結果である。ビーム径の小さい方が文字再現性、階調性において優位性のあることが確認できる。

3.2 文字/中間調再現性

画像域に対応して光量を切り替える評価については

Horizontal diameter 45 μ m
Vertical diameter 45 μ m



Horizontal diameter 65 μ m
Vertical diameter 90 μ m

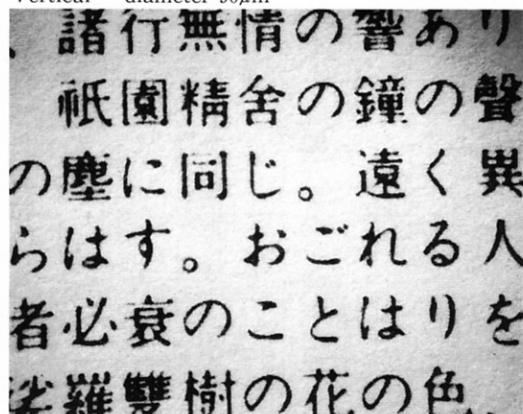


Fig.9 Difference of output image on beam size

領域に対応した光量で画像を形成し合成して評価した。

階調画では光量低下により階調性は改善された。線画では光量増加により文字再現性は向上したが、増加量が過多であるとビームが太りつぶれる画像となった。

また2ドットPWMの方が、光量増加に対してつぶれが少ない結果であった。これは文字部では隣接画素の影響が少ないためである。

つぶれ対策としては、線画で最適光量値を設定し階調画では、その光量値より低く設定すればよいと判断できる。

3.3 カラー画像再現

カラー画像再現の対応として、マスキング処理によりハイライト部はガンマカーブを一致させることができる。しかし高濃度部に関しては、トナーの重ね合わせにより電位コントラストが低下していることから、一致させることはできない。黒画像ではこのことが特に問題になる。そのため3色トナーからグレー成分を取り除き、黒トナーへ置換する割合を高めて色バランスを保ち、トナー層を薄して重ね合わせの影響を少なくすることが必要となる。

4

まとめ

デジタル画像形成では、画像処理のみでは良好な画像再現が得られず、潜像形成レベルでの設計まで考慮すべきであり、画像と対応づけられるシミュレーションは有効である。得られた結果を以下に示す。

1. 潜像形成はビーム径、孤立あるいは隣接するドットにより電位パターンが異なり、高画質化のためにはビーム径を絞り、画像領域に対応してレーザーパワーを制御する必要がある。
2. 1ドット/2ドットPWMによる潜像の電位パターンは異なり、画像の再現性も異なる。画像パラメータは各々設定することが、画質向上に役立つ。
3. コニカニューカラープロセスでは、色の重ね合わせに対応した処理が必要である。

●参考文献

- 1) 高橋利至他：画電学会研究会予稿, 90-06-04, 19(1990)
- 2) 河村尚登他：電写誌, 24(1), 13(1985);
24(3), 158(1985);
25(1), 32(1986)
- 3) P.C.Schubert, O.L.Nelson：第3回ノンインパクトプリンティング技術シンポジウム論文集 3-5, 101(1986)