

(4) 2540dpi 液体现像システムとその応用

細矢 雅弘

(株)東芝・研究開発センター・技監

1. はじめに

微細パターンングへの応用という視点から主要印刷技術の実用特性を比較してみると、電子写真技術の可能性が浮かび上がってくる¹⁾。スクリーン印刷やインクジェットはその簡便さからパターンングへの応用が進んでいるが、解像度や生産性における限界が指摘されている。グラビア印刷やオフセット印刷は解像性に優れるが、厚膜形成や少量多品種印刷などにおいて本質的な課題を抱えている。電子写真技術、わけても液体トナー電子写真は、これらの課題を解決できる潜在能力を秘めているように思われる。

本稿では、サブミクロンサイズの微粒子液体トナーを用いることでオフセット印刷と同等以上の解像度を實現できることを紹介し、電子写真技術が微細パターンングへの応用において高いポテンシャルを有していることを示す。

2. 液体现像プロセスと画像特性

図1に液体トナーと乾式トナーの典型的な粒子のSEM写真と画像特性を示す。液体トナーの平均粒径は一般に $1\mu\text{m}$ 以下の場合が多く、乾式トナーに比べ1桁小さい領域にあるため高解像度化が容易で、後述するように転写方式等を工夫することでオフセット印刷に匹敵する画像を様々な媒体上で實現することが出来る。液体トナーを用いると、図1の1mm角の微小文字が用紙上できれいに再現されており、ソリッド画像のエッジの状態も粒子が飛び散っている乾式トナーの画像に比べ著しくシャープなものになっている。

図2は、コート紙に転写したトナー画像の表面と断面を60度の傾斜をもって撮影したFE-SEM写真である。乾式トナー画像においてはトナー付着部(左側)と非トナー付着部(右側)の表面状態の違いや境界における段差が明確に見て取れるが、液体トナーの場合

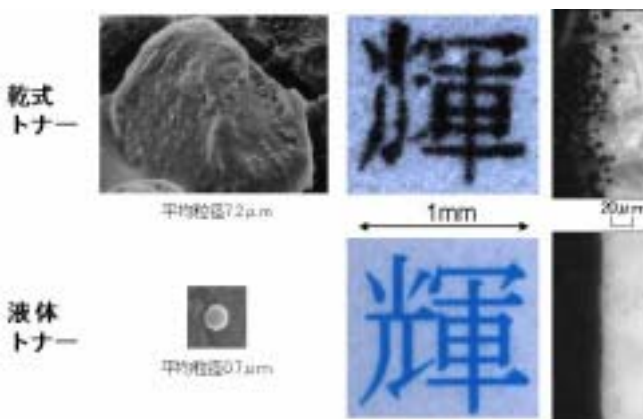


図1 トナーと画像特性

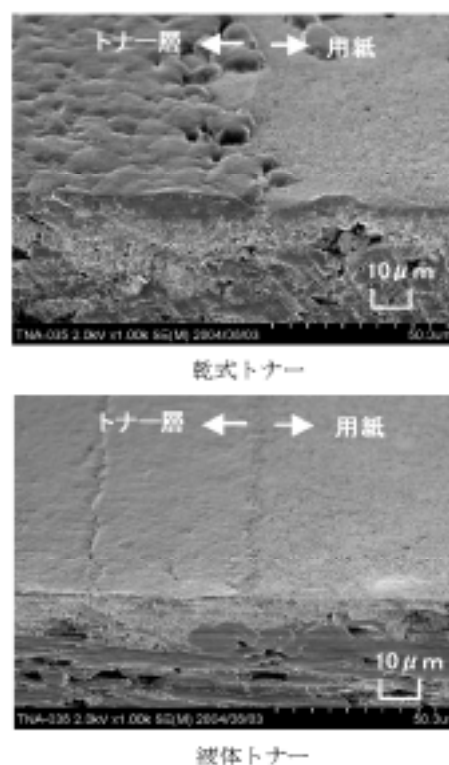


図2 トナー画像の表面・断面構造

は層が密実で薄く、トナー層表面の質感は用紙表面の状態に近い。このような相違は自ずと解像度の差となって現れる。別途撮影した断面写真によれば、乾式トナー層の厚さが約 $7\mu\text{m}$ であるのに対し液体トナー層は $0.6\mu\text{m}$ で、粒径と同様に約一桁の相違が見られた。

上記の画像出力に使用したカラープロセスの構成を図3に示す。感光体ドラムの周囲に帯電・露光・現像で構成される画像形成ユニットを4セット配置し、Y M C Kの平行処理によって感光体上にフルカラー画像を形成し、一括して用紙に転写する。一次転写、二次転写とも電界を利用しない圧力転写である上に乾燥されたトナー像が転写されるため、金属板や布、ラフ紙など、様々な媒体に転写可能である。また、カラー画像が転写前に感光体上で乾燥され、いわば仮定着された状態からオフセット転写されるため、現像直後の画質がほぼ維持され、極めて高解像度の転写画像が得られる。「シアリング転写」と呼ぶ独自の転写方式により、ほぼ100%の高効率転写を実現した²⁻⁴⁾。

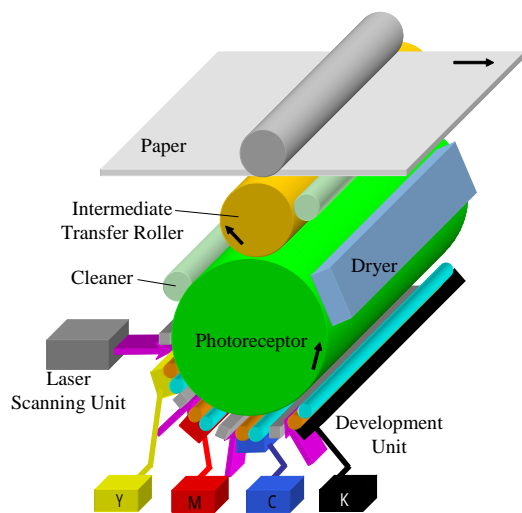


図3 液体トナーによる IOP カラープロセス

各色現像器は現像ローラとスクイズローラで構成されており、感光体上で重ね現像を行う際に前色のトナー像の上に次色トナーが確実にトラッピングされるよう、現像条件とトナー材料が調整されている。現像工程の概念図を図4に示した。

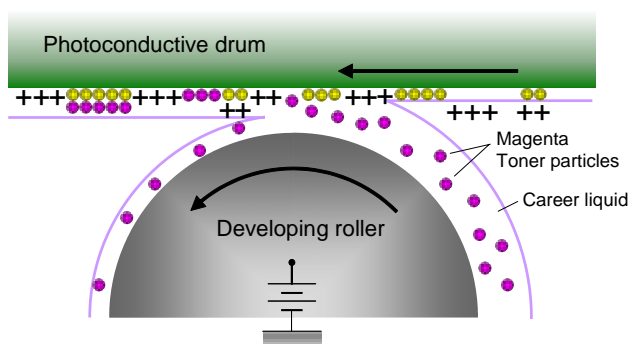


図4 重ね現像工程の概念図

3 . 2540dpi 画点の現像解析

感光体と現像ローラが対峙する現像エリアをモデル化し、連続の方程式と Poisson の方程式を用いて電界中における液体トナーの挙動をシミュレートすることにより、高解像度実現のメカニズムを明らかにした。解析の詳細は文献にゆずり^{5,6)}、結果の一部を紹介する。

初めに、2540dpi のシングルドットが現像される過程を2次元理論解析によって解析した。図5に、直径10 μm のドット潜像に向かってトナーが泳動し、画点が見られる様子を、時刻の経過とともに示した。ドット周辺の非画像部ではトナーが反発されるが、画像部に向かっては細い泳動路が形成され、トナーがドット潜像に集中してゆく様子が見られる。

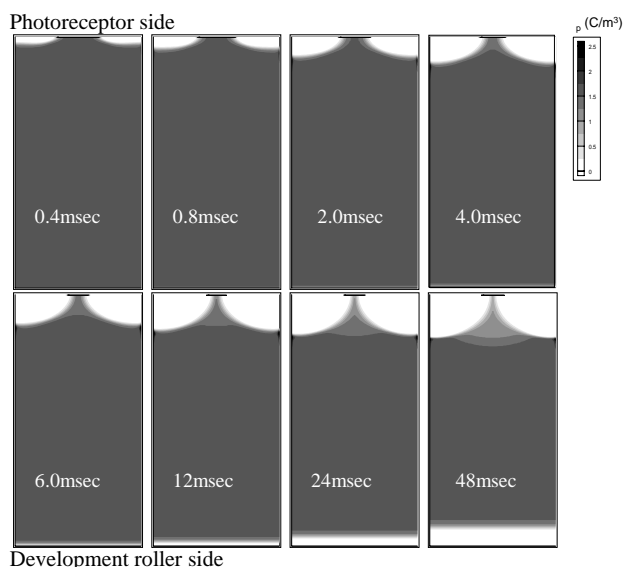


図5 孤立画点の現像におけるトナー挙動

潜像面においてトナーがドットに付着していく様子を表す解析結果を図6に示した。横軸は感光体上の位置、縦軸はトナー付着量を表す。時間の経過に従ってトナーがドット潜像上に蓄積し成長してゆく様子が見られる。ここで、注目すべきは、0.1msec から 1msec にかけてはドット径が10 μm を越える比較的広い領域にうっすらとトナーが付着するが、時間の経過と共にこれらがドットを中心方向に移動してシャープな画点成長していく様子である。このように、トナー粒子が溶媒中で潜像の面方向に移動し、自己再配置することによって画像の整理が行われ、より高画質の現像が実現されると考えられる。

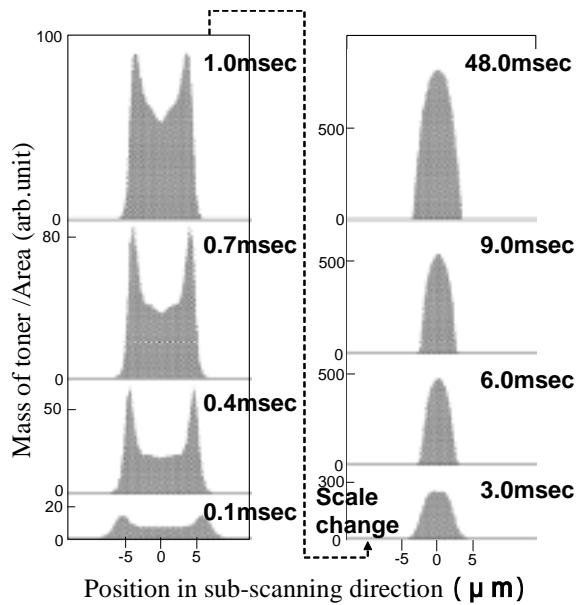


図6 潜像面における現像の時間変化

上記の解析において、現像バイアスを 300、400、500 V と変化させたときに得られる 2540dpi 孤立画点の径と、図 2 の画像形成プロセスで実際に用紙上に出力した画点の比較を、図 7 に示した。出力画像の画点径が理論値よりやや大きいものの、傾向はよく一致しており、用紙への転写圧力によるトナー像の広がりや考慮するとむしろ妥当な結果と言える。7.5~10 μ m というほぼ乾式トナー 1 個分に相当する大きさの微小ドットがしっかりと再現されている様子は、電子写真の潜在能力の高さを示している。

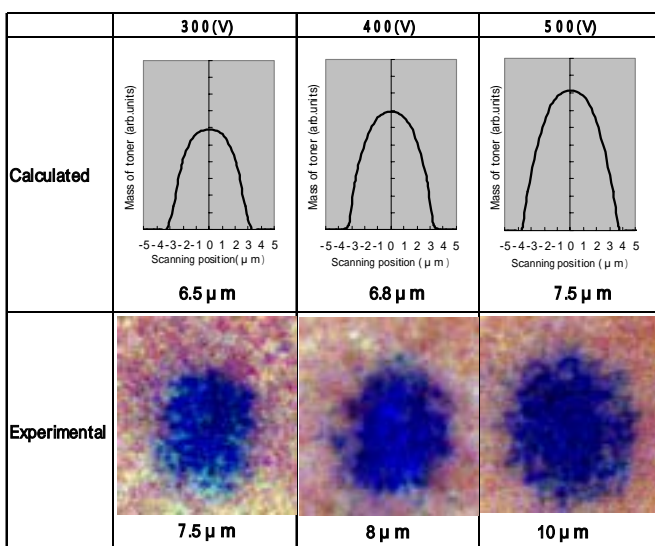


図7 孤立画点の理論径と出力画像

4. マルチライン画像の現像解析

次に、線幅 10 μ m のマルチライン画像の現像特性とそのメカニズムを解析する。上記と同様の手法で、解像度 2540dpi のレーザ走査装置で書き込んだ Line/Space が 3 通り (10 μ m/10 μ m、10/20、10/30) のマルチライン画像の潜像電位分布と現像ギャップ内の電位分布を求めた。図 8 に計算結果の一例を示す。現像ローラ側から 10 本のライン潜像へ向かう電位面は中央部に凹みを有し、両サイドで切り立った形状を示す。

このような電位分布に沿って現像が進行すると、トナー濃度分布は図 9 の様に変化してゆく。初めは 10 本のライン潜像に比較的均一にトナーが集積してゆき (1msec)、徐々に左右の外側の領域から最外部のラインにトナーが集中し始める (5msec)。現像の最終段

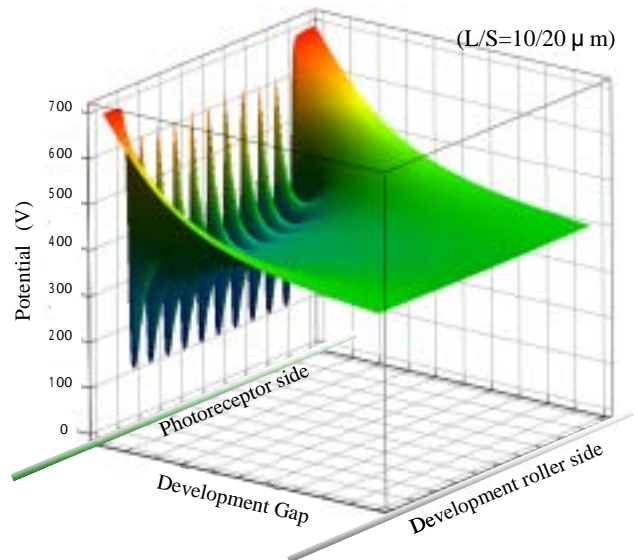


図8 マルチライン潜像の電位分布

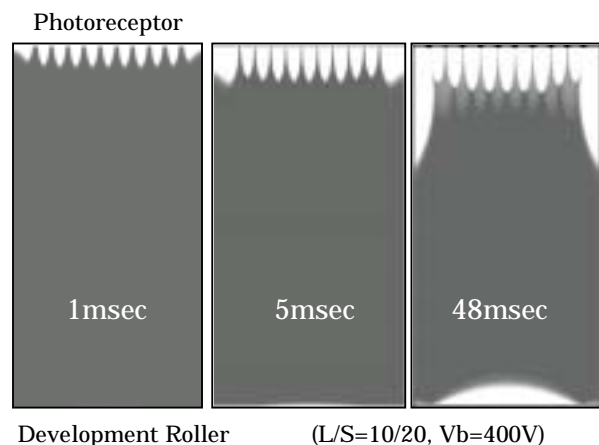


図9 現像領域におけるトナー濃度分布変化

(48msec) では外側の領域のトナーが枯渇するため、最外ラインへのトナー流路は細り、一つ内側のラインへトナーが集中する傾向が見られる。

図 10 はライン間スペースの違いによる現像性の変化を示している。スペースが狭い場合(L/S=10/10)はエッジ効果が顕著でラインごとのトナー付着量の差が大きく、スペースが増すに従ってこのような不均一性が解消される傾向を示す。高精細 Fabrication 等への応用に当たっては画像処理等によってこの課題に対処する必要がある。

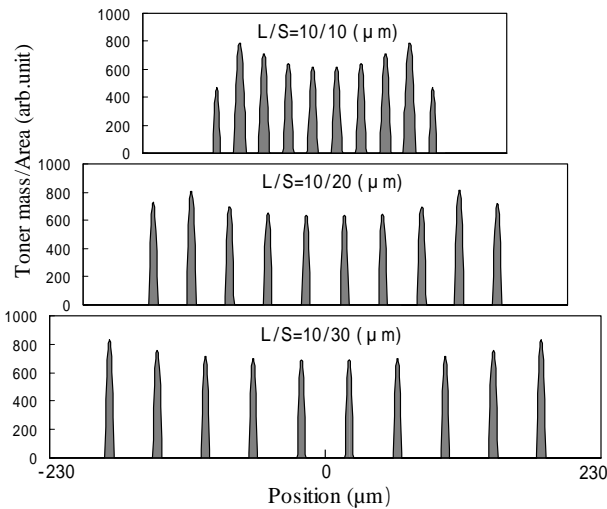


図 10 スペース幅による現像性の変化(48msec)

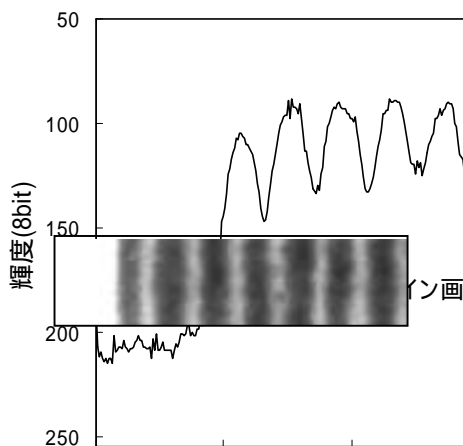


図 11 ライン画像の出力サンプルと濃度

2540dpi のレーザ露光ユニットを用いて実際に L/S=10/10 (μm)のライン潜像を形成し、前記の液体现像とシアリング転写で用紙上に形成した画像の拡大写真と濃度プロファイル(輝度データを上下反転プロッ

トしたものを)を図 11 に示した。左端部のライン濃度が 2 本目に比べて低くなっている状況は、図 10 に示したシミュレーション結果(L/S=10/10)と一致している。写真では理論値に比してライン間が狭くなっているが、圧力転写におけるトナー層のつぶれなどを考慮すると妥当な結果と言える。

5. 液体现像による微細配線の形成

電子デバイスをデジタルプリンティング技術で製作する Digital fabrication の開発が活発化しつつある。従来のリソグラフィ技術に比べ、小型の装置で、安価に、素早く製造でき、少量多品種にも対応できるものと期待される。インクジェット技術が注目されているが、液体トナーを用いれば一層の高精細化、高速化、低価格化を実現できる可能性がある。

図 3 に示した液体トナー電子写真プロセスをベースに、配線基板形成の検討を行った⁷⁾。図 12 にこの液体トナーファブリケーションプロセスの概略構成を示す。シードトナーはメッキの核となりうる Ag, Cu などの金属微粒子を樹脂粒子に付着させて液中に分散したものである。光学系に 1200dpi の LED ヘッドを使用し、Si ウェハ、ガラスエポキシ樹脂あるいはポリイミド等の基板の上に配線パターンを形成した。

図 13(a)は、作製したシードトナー画像の部分拡大写真である。配線パターンは、21 μm 幅のラインとスペースからなるものであり、エッジの鮮鋭度が高い良好なラインパターンが形成できている。次に形成されたシードトナー画像を核としてメッキ処理を行った。

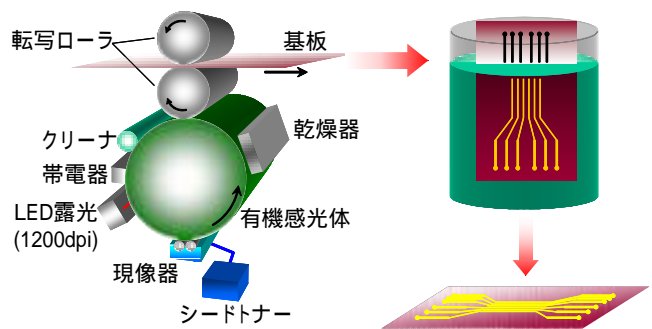
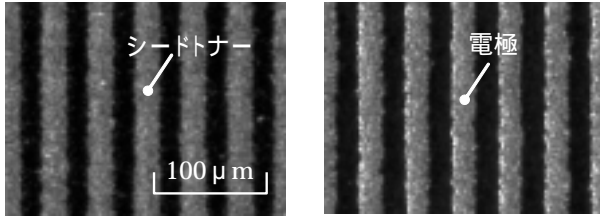


図 12 液体トナーによる配線形成プロセス



(a)基板上のシードトナー像 (b)メッキ後

図 13 液体トナー電子写真による配線パターン

同図(b)にメッキ後の配線パターンを示す。全 12 サンプルの電極の体積抵抗率を測定した結果、平均値が $2.13 \times 10^{-6} \cdot \text{cm}$ となり、純銅の体積抵抗率 $1.72 \times 10^{-6} \cdot \text{cm}$ に近い実用レベルの抵抗率が得られた。

図 14 に $L/S=10 \mu\text{m}/10 \mu\text{m}$ のライン潜像を液体トナーで実際に現像し、シリコンウェハー上のドライフィルムに転写した画像の拡大写真を示した。上記の解析で予測された線幅 $10 \mu\text{m}$ のライン画像が再現されており、液体トナー技術の高い潜在能力を確認することが出来た。

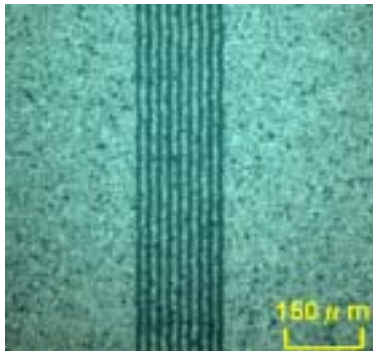


図 14 線幅 $10 \mu\text{m}$ のマルチライン画像

6 . おわりに

液体トナー電子写真技術が、印刷技術としては最高レベルの高解像度を実現できるポテンシャルを有することを示した。今後は、紙媒体への出力のみならず、電子デバイスの微細パターンニングへの応用が期待される。実用化へ向け、細線再現の安定性やパターンの耐久性を向上させることが今後の課題である。

参考文献

- 1) A. Huebler, Proceedings of IS&T's NIP20, p.274 (2004)
- 2) 平原、他、日本画像学会誌、143, p.17 (2003)
- 3) 飯田、他、日本画像学会誌、143, p.24 (2003)
- 4) 平原、他、日本画像学会誌、144, p.112 (2003)
- 5) 八木、他、日本画像学会誌、158, p.416 (2005)
- 6) 真常、他、日本画像学会誌、158, p.429 (2005)
- 7) A. Iida, et al., Proceedings of Digital Fabrication 2005, p.26(2005)

禁無断転載

2005 年度
ビジネス機器関連技術調査報告書(“ -3”部)

発行 社団法人 ビジネス機械・情報システム産業協会
技術委員会 技術調査小委員会

〒105-0003 東京都港区西新橋 3 丁目 25 番 33 号

N P 御成門ビル 4 階

電話 03-5472-1101

FAX 03-5472-2511