(8) 進行波電界によるトナー搬送を利用した現像システム

足立 克己、山名 真司、中村 雅 シャープ株式会社 ドキュメントシステム事業本部 ドキュメント商品開発センター

1.はじめに

近年、家庭向けやオフィス用途のプリンタやコピー機 の画質は目覚しく向上してきている。低価格帯ではイン クジェット方式が主流となり、専用紙を用いた場合には 従来の銀塩写真並みの画質まで到達している。またオ フィス用途としては、普通紙対応や高速印字の需要ある いはメンテナンスの容易性から、ドライトナーを用いた 電子写真方式の機器が主流であり、これもまた大きな進 化を遂げてきている。電子写真方式の画像形成プロセス で特徴的な工程の一つは現像工程であり、トナーを担持 した現像ローラを高速回転させて感光体に接触させて 感光体上の静電潜像を現像して可視化する作用を担う。

ー方、電子写真方式の高画質化へのアプローチとして、 トナーを小粒径化し、感光体上への現像トナー量を軽減 して薄層トナー像を形成する手法や¹⁾、高解像度化の検 討が行われている。従来の現像方式では、現像ローラ上 のトナー層の薄層化や、感光体との接触による掻き乱し 作用や、現像ローラの駆動負荷変動などが高画質化アプ ローチの障害となる懸念がある。

我々は上述の点に着目し、進行波電界によるトナー搬送^{2 5)}を利用した現像システム(以下、進行波現像シス テムと記す。)について検討を行ってきた。本稿では進 行波現像システムの電子写真装置への適用の可能性、画 質向上効果、現状の課題について説明する。

2.進行波電界によるトナー搬送原理と狙い

まず進行波電界によるトナー搬送原理について簡単 に説明する。*Fig.1* は本検討で使用した進行波電界によ るトナー搬送装置の概略図である。



Fig.1 進行波電界によるトナー搬送システム

進行波電界を発生させる電極体は Fig.1 上図に示すよ

うな所定間隔で配列された電極をポリイミドフィルム で挟んだ構造の FPC(Flexible Print Circuit)を用いた。 この電極体に Fig.1 下図に示すような4相交流電圧を印 加し、進行波電界を発生させ、トナー搬送を行う。各電 極への印加電圧が変化する毎に隣接電極間にトナーを 所定方向に移動させる電界が発生し、トナーが各電極間 を順次移動していく。このような作用を受けて、トナー はクラウド状態となって、数 100mm/s ないし数 m/s の 速度で搬送される。

次に進行波現像システムの狙いについて説明する。 Fig.2 は従来の現像システムでの課題と、進行波現像シ ステムの特徴を示したものである。



Fig.2 従来方式での課題と進行波現像システムの特徴

従来の現像方式では、感光体上へ薄層トナー像を形成 するには現像ローラ上にも非常に薄いトナー層を均一 に形成しなければならない。特に非磁性1成分方式の現 像装置では、トナー薄層を形成する際のトナー層規制プ レードへのトナー固着がより助長される。また現像工程 においては、現像ローラと感光体との接触による掻き乱 し作用が微小ドット形成を妨げる。さらには現像ローラ を感光体周速度よりも速く回転させるために駆動負荷 が大きく、この回転負荷の変動によってジッターなどの 画像欠陥が発生しやすい。

一方、進行波現像システムでは現像工程で必要なト ナー量はトナー供給部材上のトナー量や回転数などに より調整される。FPC上に供給されたトナーは進行波電 界の作用により、クラウド状になって高速搬送される。 つまり、空間密度の希薄なトナー流を高速に搬送して単 位時間当たりに必要なトナー量を現像工程に供給する。 よってトナー供給部材側では比較的厚いトナー層を ゆっくり形成し、現像部への少量トナー供給は進行波電 界の作用により行うため、従来のように機械的な薄いト ナー層の形成や、高速回転駆動の制約が緩和される。ま たトナーがクラウド化されて現像工程に供給されるた め、非接触現像が容易になり、感光体との接触による掻 き乱しの影響の低減や、クラウド化されたトナーは感光 体上の微小な潜像に対してのレスポンスが高く、高解像 度現像性能が期待できる。

このような作用を利用することで、従来の現像システムでの課題を解決することが本システムの狙いである。

3.ペルト被覆型システム

本検討で用いた進行波現像システムの構成を Fig.3 に 示す。特徴的な構成は進行波電界を発生させる FPC 表面 を回動可能な高抵抗の薄膜ベルトで被覆した点である。 以降、特に本構成を指す場合、ベルト被覆型システム (Belt-covered system)と記す。また Table.1 に代表的 な動作条件を示す。



Fig.3 ベルト被覆型構造(Belt-covered system)

Transpor -tation	Pitch 3 [µm]		127	254	380	508
	Width W [m]		45	64	127	127
	Vpp [M]		400	900	1300	1900
	Frequency f[Hz]		2000	1000	750	500
	Wave form		Rectangle (Duty50%, phase-difference 1/0)			
Film or Belt	thickness [µm]		30			
	Material		Polylmide+Carbon			
Toner supply	without Belt	m(ar) [kg/m2]	±;8×E-3			
		v(sr) [m/s]	0.11			
	with Belt	m(bit) [kg/m2]	0.8~1.5*1E-2			
		v(bit) [m/s]	3~-6×1E-2			
Toner	Material		Non-conductive Non-Magnetic toner			
	diameter [µm]		7			
	q/m [C/kg]		-1.4~2×E-2			

Table1. 実験条件

以下、ベルト被覆型システムの現像デバイスの構成お よび動作について簡単に説明する。

まずベルト上にトナー層を形成する。ベルトの移動速 度は30~60×10⁻³m/s 程度の低速条件であり、ベルト上 に形成するトナー層の付着量は0.8~1.5×10⁻²kg/m² と 比較的厚いトナー層である。なお、本検討では市販の非 磁性1 成分現像装置の現像ローラ上に形成された帯電 トナー層をベルト上に転移させてベルト上のトナー層 形成を行った。ベルト上に形成されたトナー層はベルト の回動に伴って進行波電界を発生する FPC 装着部まで 移動する。進行波電界発生領域に到達したトナー層は、 進行波電界の作用により、クラウド状となり、空間密度 の極めて疎な状態でベルト移動速度の数十倍の速度で 搬送され、現像領域に供給される。イメージ的にはムー ビングウォークのような感じである。

進行波電界により搬送されたトナーは感光体との対 峙領域に到達し、感光体上の静電潜像を非接触状態で現 像する。

現像工程で使用されなかったトナーは進行波電界の 発生しない領域にて、再びベルト上に戻り、ベルト上の トナー回収機構によって再利用される。さらに次回のト ナー層形成過程に到達するまでにベルトの除電が行わ れるように構成されている。

このベルト被覆型システムの機能面の特徴は下記の 2点である。

- A) トナー搬送面のリフレッシュ機能 ベルト面の連続的なクリーニングと除電
- B) トナー供給/搬送の機能分離

トナー供給条件とトナー搬送条件の最適化

次節では、これらの機能面の特徴がトナー搬送性能に 与える効果について説明する。

4.トナー搬送性能検討

進行波現像システムにおいて、従来の現像システムの 主要機能に対して大きく異なる部分はトナー搬送に関 する部分である。以下、トナー搬送の重要機能である 1)安定性、2)供給能力、3)均一性に関する検討結果につ いて述べる。

4-1. 搬送安定性に関して

FPC のチャージアップとトナー付着

検討の初期では Fig.4 に示すような実験装置にて検討 を行った。前述のベルト被覆型システムと異なり、帯電 トナーを直接 FPC 上に電界供給し、FPC 上に移動したト ナーを進行波電界で搬送するというシンプルな構成と なっている。



Fig.4 初期検討における実験装置の概要

Fig.4 の実験系にてトナー搬送を継続すると、トナーの搬送状態が不安定となり、次第に FPC 面全域へのトナー付着現象が発生した。

Fig.5 はトナー搬送量の累積量に対する FPC 表面電位 変化である。負極性側(下側)へのチャージアップが絶 縁性の表面保護層を持つ FPC 単体を用いた場合の結果 を示しており、トナー搬送の増加に伴って FPC 表面電位 が上昇することを示している。ここでの単位時間当たり のトナー搬送量は約 3×10⁻⁴kg/(m·s)であり、数秒から 数十秒で FPC 表面電位が数 100V まで上昇することがわ かる。進行波現像システムでは、FPC 自体が現像部の対 向電極であること、また FPC 表面の電界分布がトナー搬 送特性に影響するため、FPC の帯電は現像特性および搬 送特性の変動要因となる。また表面電位上昇の度合いは 使用トナーによっても異なることを確認しており、ト ナー搬送過程における FPC 表面層とトナーの接触によ る帯電がチャージアップの主原因と考えられる。



Fig.5 FPC 表面のチャージアップ

また Fig.6 は、FPC 上へのトナー付着状態を示してい る。左側の写真は通常のトナー搬送を行った後の状態で あり、FPC 表面全域にトナー付着が起こっていることが わかる。また右側の写真は、FPC 表面の中央部を強制的 に帯電させた後、トナー搬送を行ったときのトナー付着 状態である。強制的に帯電させた領域にのみトナーが付 着し、トナー付着現象も FPC の帯電に関連していること が分かった。



Fig.6 FPC 表面へのトナー付着

高抵抗層の影響とベルト被覆型構造の効果

FPC 表面の除電作用付与を目的に、FPC 表面に高抵抗 層を設けて、トナー搬送面の除電効果を検証した。Fig.5 のグラフにて、上側のプロットが高抵抗層の体積抵抗率 を変更し、トナー搬送を連続して行った場合の表面電 位の変化である。高抵抗層は厚みが約30µmのカーボン を分散したポリイミドフィルムであり、抵抗率は100V 印加での値である。抵抗率が10¹²・cm以下では大きな 除電効果が得られることがわかる。

次に高抵抗フィルム層の時定数の作用によるトナー 搬送能力への影響を調査した。Fig.7 はフィルム抵抗率 をパラメーターに、電極ピッチが 254µm での進行波電 界周波数とトナー搬送量の関係を示したものである。ト ナー搬送量の測定は FPC 端部まで搬送されたトナーを 吸引採取して秤量し、単位幅および単位時間当たりの搬 送量を求めた。



Fig.7 高抵抗層によるトナー搬送能力への影響

フィルム抵抗が 10⁹・cm 以下ではトナーはほとんど 搬送されず、10¹⁰・cm 以上で搬送可能であった。また トナー搬送量は周波数 f が 1 k Hz 付近でピークを示し、 進行波電界変化にトナーが追従する最適周波数範囲が あることを確認した²⁻⁴⁾。さらにフィルム層が 10¹⁰・ cm 以上ではピーク時の搬送量はほぼ同等であるが、抵 抗が下がるにつれ、低周波数側での搬送能力が低下した。 よって高抵抗層を設けた場合には進行波電界周波数を より適切に選定する必要があることが分かった。

このように高抵抗層を配することでチャージアップ の抑制効果は確認できたが、長時間の使用では徐々にト ナー付着が進み、継続的な使用が困難であることが判明 した。ベルト被覆型システムでは、高抵抗ベルトを回動 させて、ベルト面の連続的なクリーニングと除電を行う ことが可能であり、トナー搬送面は常にリフレッシュさ れた状態を維持できるため、長期使用でのトナー付着現 象も解消され、安定したトナー搬送が継続可能となった。

4-2.トナー搬送量に関して

Fig.8 は FPC の電極ピッチに対するトナー搬送能力の 変化である。実験条件は Table.1 に示す内容であり、各 電極ピッチでの周波数はトナー搬送能力が最大となる 条件としている。ベルト回転系におけるトナー搬送量の 評価は以下の方法で行った。ベルト上のトナー量(0.8 ~1.5×10⁻⁴kg/m²)とベルト回転速度(3~6×10⁻²m/s) を変化させてトナー供給量を調整し、ベルト上にほとん

どトナーが残存しない条件を最大搬送量とした。



Fig.8 トナー搬送能力

例えば、感光体周速度が0.1m/g(印字速度が20~25PPM (A4 横送り換算)相当)、現像トナー量が0.4×10⁻²kg/m² (薄層トナー像形成を想定)の印字条件では、4× 10⁻⁴kg/(m·s)のトナー搬送量が必要となるが、ベルト被 覆型システムでの電極ピッチ が254µmの条件でこれ を満たすことが可能であった。更に電極ピッチを広げる ことでトナー搬送能力は増大し、例えば電極ピッチが 508µmの条件では約9×10⁻⁴kg/(m·s)の搬送能力であ り、40~50PPM相当の印字速度まで対応可能である。よっ てトナー搬送能力に関しては、電子写真装置で使用可能 であることが分かった。

一方、ベルト無しの系ではトナー搬送能力が低くなっている。ここでは FPC 面に約 9×10⁻⁴ kg/(m·s)のトナー 量が通過するようにトナー供給条件を設定し、前述 (4-1-)の方法にて測定した。Fig.4の構造から判る ように、ベルト無しの形態ではトナー供給と搬送がほぼ 同時に行われ、FPC 面へのトナー供給時に大きな供給電 界を与えると、トナー搬送を阻害するためである。

ベルト被覆型システムではトナー供給と搬送の機能 分離により、進行波電界による搬送能力を有効に作用さ せる特徴があることも分かった。

4-3. 搬送均一性に関して

次にトナー搬送状態の均一性について述べる。Fig.9 に示す実験装置を用い、感光体の導体基板に直接電圧を 印加してパイアス現像によりハーフトーン画像を形成 し、その画像状態からトナー搬送の均一性を評価した。



Fig.9 搬送均一性確認の実験系

*Fig.10-(a) ~(c)*は進行波電界によるトナー搬送開始位 置を *Fig.9*の(a)点から(c)点まで順次ずらし、現像領域 までのトナー搬送距離(T.L.)を変化させて現像した像 である。なお、(a)~(c)点から現像部までの搬送距離は、 それぞれ 30mm、8mm、約0mm である。



Fig.10 スジ状ムラと斑状ムラ

搬送距離を短くするとスジ状のムラが次第に細くな り、現像領域近傍からの搬送条件にてスジ状パターンが ほぼ消失した。これはトナー搬送面の微小な凹凸や局所 的な帯電による搬送電界の不均一が、トナー搬送軌道を 偏向し、搬送距離が長くなるにつれ、トナー流の離散・ 集合を繰り返し、大きなスジ状ムラに成長するためと考 えられる⁵⁾。

短距離搬送によりスジ状のムラはほぼ解消したが、 Fig.10-(c)のような斑状の不均一が認められた。これは搬 送開始時のトナー挙動のバラツキが影響していると考 えられる。その要因としては、トナー層とベルトの付着 カバラツキ、あるいはトナー層自体の不均一性が挙げら れる。Fig.11 は進行波電界による搬送開始前に、位相差 180°の2 相交番電界(定在波)を発生させ、搬送前の トナー層を事前にクラウド化(プレクラウド)して、進 行波搬送開始時の挙動を揃えるための構成である。



Fig.11 プレクラウドシステム

プレクラウド部の電極ピッチや印加電圧は、進行波発 生条件と同じとした。またベルト上トナー層の均一性向 上の観点から、トナー供給ローラの表面精度やトナー層 形成条件の改善も行い、その結果、*Fig.10-(d)*に示すよう

に、斑状のムラを解消出来た。

よってトナー搬送の均一化に関しても、適切な搬送距 離と搬送開始条件を設定できる点で、ベルト被覆型シス テムが有効であることを確認した。

5.非接触現像性能検討

以上の結果を基に、進行波現像システムの現像特性の 検討を行った。本節ではクラウド現像による高画質化へ の寄与と、現像特性の諸課題について述べる。

5-1.解像性能と画質向上効果

まず、Fig.3の実験装置にて感光体への非接触現像を 行い、解像性能を検討した。なお露光装置は市販 MFP (Sharp 製 AR255P)の1200dpiのLSUを用いた。Fig.12 に 1200dpi ドットの現像状態を示す。印字条件は感光体 帯電電位を-800V、現像電位(進行波電圧の中心値 V(fpc))を-500V、現像ギャップを0.25mm、感光体膜厚 は 22 µm、感光体周速度は LSU 仕様より 61mm/s とした。 またトナー搬送量は電極ピッチ254µmのFPCを用いて、 3×10⁻⁴kg/(m·s)となるよう設定した。



Fig.12 1200dpi ドットの形成状態

進行波現像システムでは1 ドットを7 ドット間隔で 配置した 1by7 孤立ドットと、1 ドット間隔で配置した 1by1 密集ドットの両立が可能であった。一般に潜像パ ターンを高解像度化していくと画像部と非画像部の電 位差が小さくなるが⁶⁾、進行波現像システムではトナー のクラウド化により、微小ドットによる電位分布変化に も敏感に追従できるためと考えられる。

次に実際の画像パターンでの画質向上について検証 を行った。Fig.13 は進行波現像システムと従来の市販 MFP(Sharp 製 AR255P。2 成分現像)の感光体上のトナー 像を比較したものである。用いた画像パターンは SCID のN1 およびN3 パターンを 4.3cm × 5.4cm の 1200dpiの モノクロ2値画像に変換したものであり、同じLSU、プ リンタコントローラを介した露光条件で印字を行った ものである。また進行波現像システムでの印字条件は前 述の解像度検討の条件と同一である。

上段の画像を比較すると、衣服の繊維部分の描写状態 より進行波現像システムではドット形成状態の均一性 が高いことが分かる。また下段画像の比較では、陰影部 の描写において、ハイライト部の白とびやシャドー部の つぶれが少なく、階調再現性の改善効果が認められ、画 質改善効果があることを確認した。



Fig.13 画質改善効果

5-2.エッジ部の細りと高速化の両立

最後に進行波現像システムでの課題を述べる。Fig.14 は 7mm 角のパッチ画像の現像状態である。左の現像 ギャップが 1mm の条件では画像エッジ部の細りが発生 している。細りはトナー搬送方向(赤矢印)だけでなく、 横方向にも発生しており、露光部周囲の電界の回りこみ の影響を強く受けているものと考えられる。Fig.1 に示 したように、進行波現像システムでは FPC 内の個々の 電極には周期的に高い電圧が印加されるが、FPC 表面か ら離れるに従い、電位分布は減衰し、感光体表面近傍で は印加電圧の中心値 V(fpc)が実効的な現像バイアスと して作用する。つまり DC 非接触現像に近い挙動となる。 よって現像ギャップが広い状態では感光体側へ向かう 現像電界はさほど高い状態ではなく、潜像エッジ部の回 りこみ電界の寄与が強くなるためと考えられる。非接触 現像の場合、画像端部に欠陥が出やすいことが報告され ている7)が、進行波現像システムではこの影響を受けや すいものと思われる。この現象は現像ギャップを狭める ことで軽減される。Fig.14 の右側は現像ギャップが 0.25mm の条件であるが、この状態ではエッジ細り現象 がほぼ解消できている。



Developing gap:1mm

Developing gap :0.25mm

Fig.14 エッジ部の細り

現像ギャップを狭めることでエッジ細りは軽減でき るが、印字速度の高速化を行う際に別の問題が発生する ことが判った。

Fig.15 は現像ギャップ 0.25mm での FPC の電極ピッチ が 254 µm と 508 µm の現像特性である。なお、横軸は感 光体電位 V(pc)と現像バイアス電位となる進行波電圧の 中心値 V(fpc)の差であり、通常の電子写真プロセスに おける現像電位差に相当する。4-2 項で述べたように、 電極ピッチを広げることでトナー搬送能力が向上し、高 速印字対応が可能となるが、電極ピッチが広い条件では、 感光体上の地カブリを抑制するために感光体の非画像 部電位 Vo を高く設定し、逆現像電位差である Vo と V(fpc)の差を大きくすることが必要となる。



Fig.15 現像特性の電極間ピッチ 依存性

一方、*Fig.16* は逆現像電位差(Vo-V(fpc))に対するエッジ細り量の関係を示したものである。なお、ここでは電極間ピッチ は 508 µm の条件である。地カブリを抑制するために逆現像電位差を大きくすると、エッジ細り量が増大していくことが分かる。また現像ギャップを拡大すれば、地カブリを抑制するための逆現像電位差は小さくなるが、現像ギャップが広い条件では同じ逆現像電位におけるエッジ細り量が増大してしまうことが分かる。



Fig.16 逆現像電位差とエッジ細りの関係

以上の結果より、印字速度の高速化とエッジ細り抑制 の両立が進行波現像システムの課題の一つであること が分かった。またこの問題の本質は、トナークラウドの 状態を如何に制御するかという点であり、進行波電界の 形成条件およびトナーの帯電制御が課題解決の重要な 要素と考える。

6.まとめ

進行波電界によるトナー搬送原理を利用した現像シ ステムの電子写真装置への応用を検討した。その結果、 ベルト被覆型構造を用いることで搬送の安定性、均一性 が得られ、トナー搬送量も電子写真装置に適用可能な能 力があることを確認した。

またクラウド化されたトナーによる非接触現像が可 能であり、1200dpi ドットを再現可能な高解像能力と、 実画像における画質向上効果を確認した。一方、エッジ 細りの抑制と高速印字への対応の両立が本方式の課題 であることを確認した。

参考文献

- 市村正則: "世界最小粒径フルカラートナー",富 士ゼロックステクニカルレポート, No13, P168 (2000)
- Fred Schmidlin : "The Role of Traveling Wave Toner Transport in Powder Printing", Proc. NIP11, IS&T, pg. 515 (1995)
- Fred Schmidlin : "Advances in Traveling Wave Toner Transport ", Proc. NIP15, IS&T, pg. 302 (1999)
- Michael D. Thompson, et al : "Aspects of Toner Transport on a Traveling Wave Device ", Proc. NIP15, IS&T, pg. P262 (1999)
- Keiji Taniguchi et al.: "Characteristic of Experimental Transportation System for Charged Toner Particles", Proc. NIP14, IS&T, pg. 473 (1998)
- Tadashi Iwamatsu et al .: "A Study of High Resolution Latent Image Forming and Development", Proc. NIP15, IS&T, pg. 732 (1999)
- 7) 重田邦男ら: "制御電極を用いた2成分非接触現像法", JapanHardcopy96 論文集, P73(1996)

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