

1 成分非接触現像におけるトナー飛翔挙動解析 (I)

— 飛翔トナー量の要因解析 —

Analysis of Toner Behavior in Developing Gap of Mono Component Developing System (I)
— Factorial Analysis for Amount of Jumping Toner —

平山 順哉*	夏原 敏哉*	
Jun-ya HIRAYAMA	Toshiya NATSUHARA	
岡田 拓也*	高井 隆幸*	岡 建樹**
Takuya OKADA	Takayuki TAKAI	Tateki OKA

要旨

1成分非接触現像におけるトナーの挙動を我々が独自に開発した測定装置を使い解析した。その結果、現像ローラまたは感光体から移動するトナーの量は、現像ギャップ中に存在するトナーの電荷により制限される事を明らかにした。また、移動するトナーの量は、現像ギャップ間に印加する電圧とギャップ間隔、そして現像ローラまたは感光体からの離脱電界で決定される事を示した。

Abstract

The toner behavior of a mono-component developing system was analyzed by an instrument originally designed by ourselves. As a result, it became clear that the amount of toner transferred from a developing roller or a photoconductor is limited by toner charge in a developing gap. Further, it was shown that the amount of transferring toner is determined by input voltage applied across the developing gap, the gap width, and an electric field for toner separation from the developing roller or the photoconductor.

1 はじめに

非磁性1成分接触現像では、トナー層が現像ローラによって潜像まで運ばれる。この為、静電気的な平衡モデルに基づきトナー層が分離することで現像量を説明する多くの有用なモデルが報告されている。一方、非磁性1成分非接触現像では、ギャップ間に印加される交流電界によって、潜像へのトナーの供給と回収が繰り返される。そしてこの過程で平衡に達し現像量が決定される。従って、これらトナーの往復動が重要で現像量を大きく左右している。

近年、これらの一側面は高速カメラなどで捉える事が可能となり、トナーのギャップ中での分布、軌跡が観測され、品質との関連が解析されてきた。

しかし、現像ギャップ入口から出口に至るまで、トナーの往復動を定量的に解析する事は極めて困難である為、現像量との関連について解析された例は無かった。

我々は、このようなトナーの挙動について定量的に観測できる手法を考案し、以前報告した。¹⁾

本報告では、この手法を用いて往復動の過程を詳細に解析し、ギャップ中でのトナー移動量に対し有用な知見を得たので報告する。

2 トナー飛翔挙動の評価装置と測定例

2.1 測定原理

Fig. 1で本装置の概略構成を説明する。

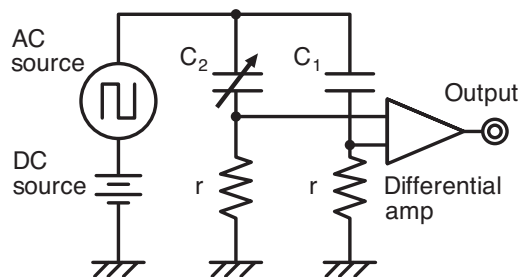


Fig. 1 Schematic diagram for measurement of toner current.

C₁は平板電極を平行に対向させたもので、上電極は感光体に相当し、表面に樹脂層が形成されている。下電極は現像ローラに相当し、トナー層を形成させる。C₂は可変容量コンデンサ、rは電流検出抵抗である。電源には

* コニカミノルタビジネステクノロジーズ(株)
開発本部 要素技術開発センター 作像技術開発部
** コニカミノルタビジネステクノロジーズ(株)
開発本部 要素技術開発センター

DCオフセットの設定が可能な矩形波のAC電源を使用する。電源を稼働するとC₁と直列に接続されたrにはトナー移動による電流が流れる。この電流を検出する事でトナーの移動を捉え、解析する事が出来る。

2.2 測定方法

2.2.1 下電極へトナー層を形成する方法

下電極へのトナー層形成は、2成分現像器と2成分現像剤を用いて行った。Fig. 2 にトナー層を形成する装置を示す。

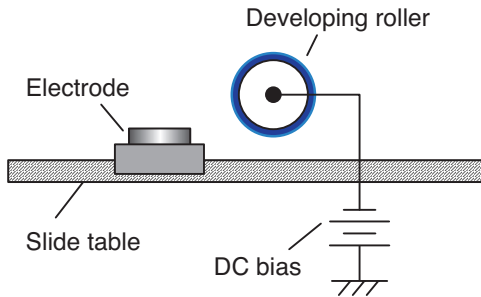


Fig. 2 Method of making toner layer.

スライドテーブル上に平板電極C₁の下電極を取り外し固定する。スライドテーブルの進行方向上にマグネットを内包した現像ローラを電極に対向する位置に設置する。現像ローラ上には現像剤の均一な層を形成させておく。DCバイアスを印加すると同時に現像ローラを回転させ、スライドテーブルを一定速度で進行させ、現像ローラ下を通過させる。以上の操作で下電極上にトナー層を作成した。トナーの帯電量は現像剤のトナーとキャリアの比率で調整できる。また、付着するトナー量はDCバイアスの設定やマグネット内包の現像ローラの回転数、同現像ローラと下電極間の距離、同現像ローラ上の現像剤量などで任意に調整する事ができる。

2.2.2 AC電源の波形

測定時に印加する矩形波のAC電圧波形について説明する。実際の現像を想定すると、現像ローラそしてこれに対向する感光体は曲率を持っている。

現像ギャップ部入口は電界が小さいが徐々に大きくなり、最近接部を過ぎると再び小さくなる。

Fig. 1 に示す装置ではギャップ間隔を変化させる事が出来ない為、ギャップ間隔の変化に伴う電界の変化を電圧を変化させることで再現した。

このようなAC電圧波形を与える事で、下電極上のトナー層は現像ギャップを通過する時と同じ電界の変化を受け、往復動の過程を解析する事ができる。

2.3 測定例

トナー層が現像ギャップを通過することを想定した測定例をFig. 3 に示す。実線はトナーが移動する事による電流値を示し、破線は印加した矩形波電圧を示している。

電流を表す縦軸のマイナス方向はトナーが現像ローラ想定の下電極から感光体想定の上電極への移動を示し、プラス方向はその逆を示している。

横軸は矩形波電圧を印加してからの経過時間である。測定例では最近接相当の0.01secまでのトナーの動きを示した。潜像を顕像化する過程におけるトナーの往復動が確認できる。

印加電圧の極性が切り替わるT/2sec毎(TはAC電圧の周期)に電流波形を積分すれば、上電極へ移動(以下往動と呼ぶ)したトナーの電荷量、あるいは戻ってきた(以下復動と呼ぶ)トナーの電荷量を知ることができる。

また、経過時間tをt=nT(nは整数で往復回数を表す)として、測定開始からt秒までを積分すると、n回の往復時点における感光体に付着した量を知ることができる。

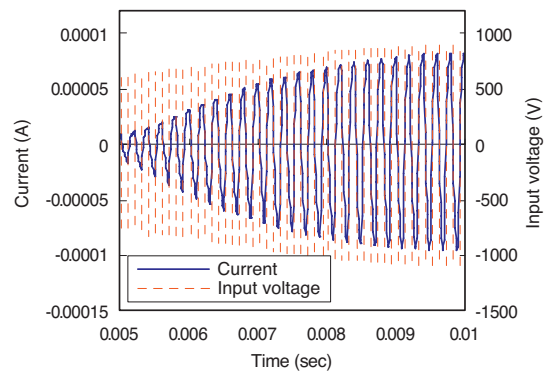


Fig. 3 Transition of current by moving toner.

計算処理を行った結果をFig. 4 に示す。往復回数に対する往動と復動の電荷量、そして感光体想定の上電極に付着する電荷量の推移を表している。注目すべきは、往動または復動時に移動するトナー量が、全トナー量に比べると、非常に少ない事である。即ち、ギャップ中のトナーすべてが一度に往復するのではなく、下電極上のトナー層の一部が往動し、そして上電極上のトナー層の一部が復動する。両者の差分が上電極へ蓄積され現像が進行している事が確認できる。この事から、往復動の量そして両者の差分は、潜像を顕像化するのに重要な因子であると言える。

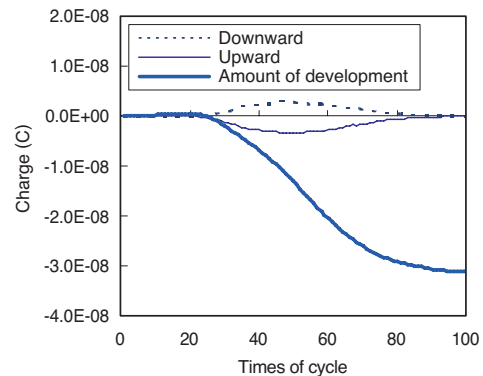


Fig. 4 Relationship between quantities of charges by developed toners and by transferring toners.

3 理論

以下にトナーの往復動の量について考察する。

トナーはトナー層近傍の電界から受ける力で離脱する。離脱したトナーは電界に従いギャップ中を移動する。ギャップ中を移動するトナー電荷の存在は、トナー層近傍の電界に影響を与え、続けて離脱するトナー量を制限すると考えられる。以下、ギャップ空間に存在する電荷密度とトナー層近傍の電界の関係を求める。

Fig. 5 に示すようなギャップ間隔が d の電極対を考え、トナーが離脱する左側の電極にはバイアス V_p が印加され、電極間には離脱後に移動したトナーが均一に存在すると仮定する。

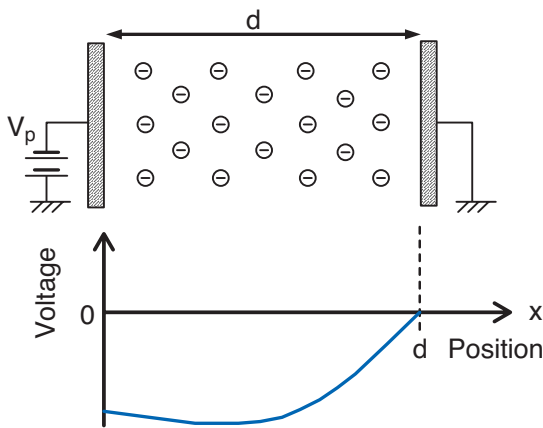


Fig. 5 Potential of the space between developing roller and photo conductor.

空間電荷の密度を σ 、空間電荷による電位を $v(x)$ とすると、以下の式が成立する。(ギャップ中の比誘電率は 1 とした。)

$$\nabla^2 v(x) = -\frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad (1)$$

境界条件は以下の通りである。

$$v(0) = V_p \quad v(d) = 0$$

式(1)を解くと

$$v(x) = -\frac{\sigma}{2\epsilon_0} x^2 + \frac{\sigma d}{2\epsilon_0} x - \frac{V_p}{d} x + V_p \quad (2)$$

従って、現像ローラ近傍の電界 $E(x)$ は上記式より

$$E(x) = -\frac{d}{dx} v(x) = \frac{\sigma}{\epsilon_0} x - \frac{\sigma d}{2\epsilon_0} + \frac{V_p}{d} \quad (3)$$

現像ローラからのトナーの離脱電界を E_t とすると

$$E_t = E(0) = -\frac{\sigma d}{2\epsilon_0} + \frac{V_p}{d} \quad (4)$$

よって、 σ は以下の式となる。

$$\sigma = \frac{2\epsilon_0}{d^2} (V_p - E_t d) \quad (5)$$

次にトナーが移動する事による電流 i を求める。ギャップ中のトナーの移動速度 v_t は、空気抵抗を受けるので概ね速度が一定で、平均電界 (V_p/d) に比例すると仮定し、比例定数を k とする。

$$v_t = k \frac{V_p}{d} \quad (6)$$

式(5)および(6)から、トナーが移動する事により流れる電流として以下の式を得る。

$$\begin{aligned} i &= \sigma v_t \\ &= k \frac{2\epsilon_0}{d^3} V_p (V_p - E_t d) \end{aligned} \quad (7)$$

以上の考察から、トナーが移動する事により流れる電流は、ギャップ中の電荷の制限を受け、電極間の電圧と離脱電界およびギャップ間の距離で決まる事が推定できる。この電流を以下、空間電荷制限電流 (Space Charge Limited Current) と称する。

4 実験

4.1 実験方法

トナーによる電流が空間電荷制限電流に従う事を検証した。実験には、Fig. 1 の装置を使い以下の条件で行った。

矩形波の周波数	5 kHz
矩形波の波高値	Table 1 に記載
矩形波のDuty	50%
DC バイアス	120V
下電極付着トナー量	6 g/m ²
現像ギャップ間隔	Table 1 に記載
上下電極径	φ 20 mm

Table 1 Condition of experiment.

No	Peak to peak Voltage of AC bias (V)	Length of developing gap (μm)
1	2500	250
2	2250	250
3	2000	250
4	1750	250
5	1350	170
6	1620	190
7	1800	210
8	2250	250

4.2 実験結果

矩形波の波高値(P-P)を変化させた場合の電流波形をFig. 6に、現像ギャップ間隔を変化させた場合の電流波形をFig. 7に示す。縦軸はトナー電流で横軸は経過時間である。経過時間は最近接部相当である0.01secを中心を示した。

矩形波の波高値を高くするに従い電流は大きくなる。一方、現像ギャップ間隔は狭い方が大きな電流が流れる事が確認できる。

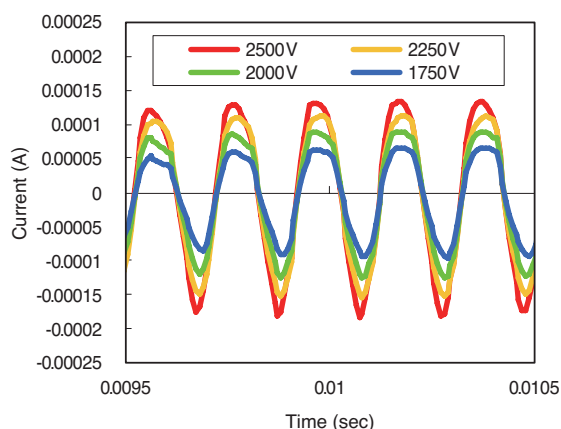


Fig. 6 Dependence of toner current on AC bias.

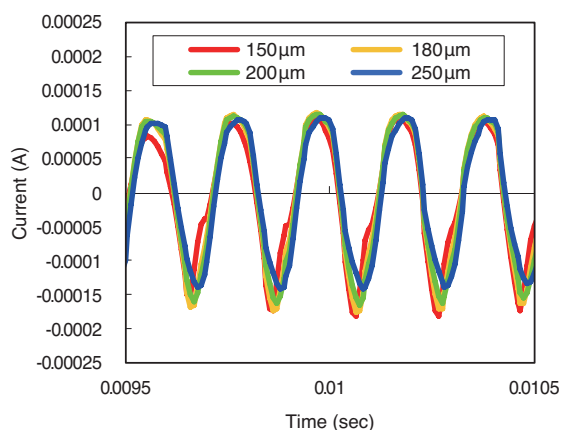


Fig. 7 Dependence of toner current on width of development.

4.3 モデル計算との比較

Fig. 6, Fig. 7 から0.01sec付近において、現像ローラ相当の下電極から感光体相当の上電極へ移動する電流のピーク値と上電極から下電極へ移動する電流のピーク値をそれぞれ求め、式(7)から求まる計算値と比較した。尚、下電極からの離脱電界を $E_t = 10^7 \text{V/m}$ 、上電極からの離脱電界を $E_t = 5 \times 10^6 \text{V/m}$ 、 $k=1$ として計算した。

比較結果をFig. 8に示す。実験値と計算値は非常に高い相関が有り、トナーの移動は、空間電荷制限電流によって説明出来る。

尚、計算において、両電極からの離脱電界に異なる値を使用した。同じ値を使用しても、概ね相関は認められたが上電極から下電極へ移動する電流は計算値よりも大

きく出る傾向があった。

このことから、現像ローラ相当の下電極からの離脱電界と感光体相当の上電極からの離脱電界は異なり、前者の方が大きいと推測する。

この原因として、下電極上のトナー量の方が多く密であるのに対し、上電極上のトナー量は少なく疎であって、静電的付着力に差がある事に起因すると考える。トナー量の静電気付着力への影響は文献2)でも指摘されている。

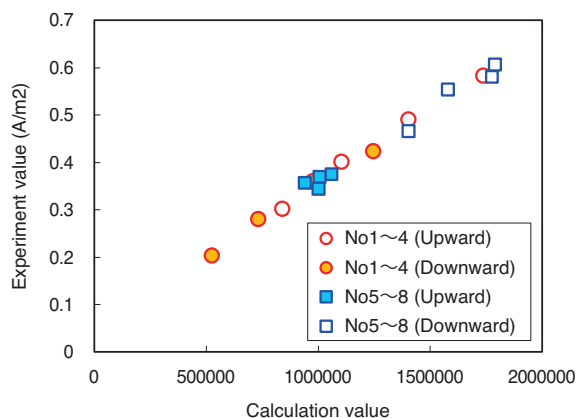


Fig. 8 Comparison of experimental data with calculation value.

5 まとめ

独自に開発した評価装置を用いて、非磁性1成分非接触現象におけるトナーの往復動を解析した。その結果以下のことを確認した。

(1) 1回の往動あるいは復動で移動する量は、現像ローラ上の初期搬送量に比べかなり少なく、往動と復動の差分が往復毎に少しずつ感光体へ蓄積され顕像化される。

(2) 往動あるいは復動時のトナーの移動に伴い流れる電流、即ち移動するトナーの量はギャップ中に存在するトナー電荷により制限を受ける。

(3) 従って、移動するトナーの量は現像ギャップ間に印加する電圧とギャップ間隔、そして現像ローラまたは感光体からの離脱電界で決定される。

●参考文献

- 1) 前山, 平山, 夏原 1成分非接触現象における現像Gap部のトナー飛翔挙動解析 Japan Hardcopy 2004 Fall Meeting p17
- 2) 栗田 電子写真の現象特性と静電場平衡機構電子写真学会誌 第30巻第2号 (1991) p141 ~ 142

●出典

本稿は日本画像学会“Imaging Conference JAPAN 2010”論文集からの転載である。本稿の著作権は日本画像学会が有する。