

# 1 成分非接触現像におけるトナー飛翔挙動解析 (II)

— ACジャンピング現像モデルの構築 —

Analysis of Toner Behavior in Developing Gap of Mono Component Developing System (II)  
— Proposal of a Jumping Development Model on AC Voltage Application —

岡田拓也*	高井隆幸*	岡建樹**
Takuya OKADA	Takayuki TAKAI	Tateki OKA
平山順哉*	夏原敏哉*	
Jun-ya HIRAYAMA	Toshiya NATSUHARA	

## 要旨

現像ギャップ中のトナー移動が空間電荷制限電流に基づく事から、平衡モデルを構築した。この結果、1成分非接触現像では、二つの平衡状態が存在し、現像量が決定されることを示した。一つは、電位的にゼロとなる平衡状態で現像量が決定される場合である。もう一つは、トナーの付着力の影響で、電位的にゼロとならない平衡状態で現像量が決定される場合である。前者は高コントラスト領域で起こり、後者は低コントラスト領域で起こることが確認できた。

## Abstract

An equilibrium model was discussed based on the result that toner movement in a developing gap was controlled by space charge limited current. As a result, two cases of equilibrium state were proposed for determining amount of developed toner. One is a case of potential distance equilibrium in which the amount of developed is controlled by the potential converging to zero. Another is a case of adhesive force affected equilibrium in which the amount of developed is controlled by the potential converging to nonzero value. The former was confirmed in a higher contrast state and the latter was confirmed in a lower contrast state.

## 1 はじめに

1成分非接触現像は、現像ギャップでの往復動が現像量に深く関与している。先の報告で述べた通り、我々は、この往復動が空間電荷制限電流 (Space Charge Limited Current) により決定されることを明らかにした。

$$I = k \frac{2\varepsilon_0}{d^3} V_p (V_p - E_t d) \quad (1)$$

$k$  : 比例定数  
 $d$  : 現像ギャップ間隔  
 $V_p$  : 電極間電圧  
 $E_t$  : トナーの離脱電界  
 $\varepsilon_0$  : 誘電率

本報告では、空間電荷制限電流に基づいた現像モデルを構築し、従来説明が出来なかった特徴の有る現像特性についてその成因にまで言及した。そして、実験データとの整合を示し、モデルの妥当性を確認した。

## 2 現像ギャップ中トナー挙動

### 2.1 解析方法

現像ギャップ中の往復動を電流信号で捉える独自開発の測定装置を使用した。本装置は、感光体に相当する電極と現像ローラに相当する電極を平行に対向させたもので、両電極間でのトナーの往復動を電流信号で捉え、定量的に評価することができる。同装置の詳細な原理および構成については前報あるいは文献(1)を参照されたい。

両電極間に印加するACバイアスとして、実際の現像ローラおよび、対向する感光体の曲率を考慮して、現像ギャップ部入口では電界が小さく、最近接で最も大きく、その後小さくなる事を考慮したACの矩形波を与えた。

現像ローラ相当の電極・感光体相当の電極には、アルミ材を用い、感光体相当の電極には、表面に20 $\mu$ mの樹脂層を設けた。尚、各電極は面を水平とし、現像ローラ相当の電極を下側に、感光体相当の電極を上側に設置した。以後、それぞれを“下電極”、“上電極”と称する。

トナー層は下電極で作成する。作成には2成分現像装置と2成分現像剤を用いた。

ACバイアスを印加すると往復動を開始するが、下電

\* 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

極から上電極へ移動する場合を“往動”，その逆方向の移動を“復動”と称し区別する。

## 2.2 トナーの往復動の推移と平衡状態

Fig. 1 に現像ギャップでのトナーの往復動の測定結果を示す。実験条件を以下に記載する。

(ギャップ条件)

現像ギャップ間隔：150 μm

上下電極径：φ 20mm

(バイアス条件)

矩形波の周波数：2kHz

矩形波の波高値：1050V

矩形波のDuty：50%

DC電圧：-100V

(トナー層条件)

トナー付着量：6g/m<sup>2</sup>

トナー帯電量：-25 μC/g

横軸はトナーの往復回数で、最近接に至るまでに50回、最近接通過後に50回の往復をさせるACバイアス(矩形波)を印加した。縦軸は往動で移動したトナー電荷量と復動で移動したトナー電荷量である。

往動と復動の推移を見ると、ともに最近接付近で最大の移動量となる。そして両者の差分は最近接に至るまでが大きく、概ねこの領域で現像が進行する事を示している。

最近接部を通過した後は、往動と復動の量は等しくなり(以下、“平衡状態”と称する)、その後、電界が弱まるにつれ往動復動ともに終了する。

この様に、1成分非接触現象では、往動と復動の量が等しくなって現像量の増減が無くなり、平衡状態に入る。そして往動と復動が等しい状態を保ちつつ、それぞれが零となる。即ちトナーの離脱が終了する事が確認出来る。

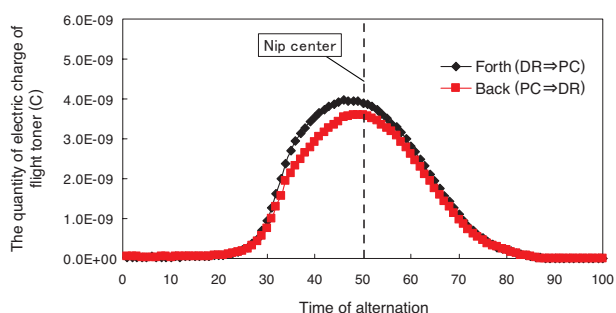


Fig. 1 Quantity of charge by flight toner.

## 3 モデルの構築

### 3.1 平衡モデル式

前項で確認した平衡状態についてその成立要因を考察する。前報において往動および復動の量は空間電荷制限

電流の式に従う事を報告した。同式は電極間の電圧と現像ギャップ間隔、電極からの離脱電界の関数である。平衡状態におけるこれらパラメータの関係を明確にする。

式(1)から往動時の電流  $I_d$  と復動時の電流  $I_c$  は以下の様に表す事が出来る。

$$I_d = k \frac{2\varepsilon_0}{d^3} (V_p + V_d)(V_p + V_d - E_{id}d) \quad (2)$$

$$I_c = k \frac{2\varepsilon_0}{d^3} (V_p - V_d)(V_p - V_d - E_{ic}d) \quad (3)$$

$E_{ic}$  : 下電極からのトナー離脱電界

$E_{id}$  : 上電極からのトナー離脱電界

$V_d$  : 現像中の残存電位差

$V_p$  : 電極間電圧 (矩形波の波高値の1/2)

$k$  : 比例定数

ここで、平衡状態においては、

$$I_d = I_c \quad (4)$$

となり、前項で述べた通り、平衡を維持しつつトナーの離脱が終了することから式(4)の値は0に収束する。トナーの離脱が終了した時の現像ギャップ間隔を  $d_e$  とすると式(2)(3)(4)から

$$V_p + V_d - E_{id}d_e = 0 \quad (5)$$

$$V_p - V_d - E_{ic}d_e = 0 \quad (6)$$

と置ける。従って式(5)と式(6)から

$$V_d = \frac{1}{2} d_e (E_{id} - E_{ic}) \quad (7)$$

となり、現像終了後の残存電位差を導く事が出来る。式(7)は、平衡に達しても現像ギャップ内には電位差が残った状態が有り得る事を示している。

即ち、1成分非接触現象において現像量が決まる過程で2つの平衡状態が存在する。

[Case1]

下電極と上電極からのトナー離脱電界が同じ場合は、平衡に至ると残存電位差は零となる。往動時の現像ギャップ中の電界と復動時の現像ギャップ中の電界が等しくなる事を意味し、電界のみで平衡状態を説明できる。これを“電界平衡状態”と称する。

[Case2]

下電極と上電極からのトナー離脱電界が異なる場合は、平衡に至ったにもかかわらず、電位差  $V_d$  を有し、平衡

状態は電界のみでは説明出来ない。トナーの離脱電界の差も関与する為であり、我々はこれを“動的平衡状態”と称する。

前報において、上電極からのトナー離脱電界と下電極からのトナー離脱電界が異なる可能性を示唆した。また、文献(2)で指摘される様に、原因は電極に付着したトナー量であって、現像量が少ない場合に上電極からのトナーの離脱電界が小さく、動的平衡状態になると推測する。

Fig. 2 を使い、現像特性との関連を説明する。現像コントラストの高い領域では、上電極に十分なトナーが付着する。この時、下電極に同じ程度の量が残ったとすると、離脱電界は両側ともに等しく電界平衡状態となる。一方、現像コントラストの低い領域では、上電極のトナーは疎な状態であり、離脱電界は下電極に比べ小さくなる。この場合、動的平衡状態となり残存電位差を持つ。

従って、1成分非接触現像の現像特性では、高コントラスト領域と低コントラスト領域で異なる平衡状態となり現像量が決まると考える。

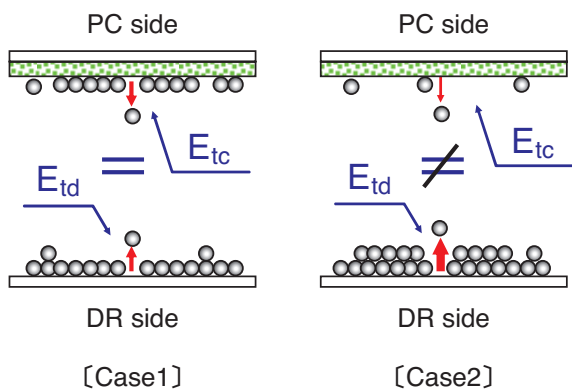


Fig. 2 Dependence of the magnitude of an electric field at which toner is separated from an electrode on the quantity of toner adhered to the electrode.

### 3.2 現像モデル式

前項の2つの平衡モデルの妥当性を実験で確認する為に、各現像量のモデル式を導く。

〔Case1〕電界平衡状態の現像モデル式

Fig. 3 に示す様に下電極の初期トナー層高さを  $L_0$ 、現像後の下電極上の残トナー層高さを  $L$ 、上電極に現像されたトナー層高さを  $l$  とする。この時、現像後の上電極上のトナー層電位を  $V_{pc}$ 、下電極上のトナー層電位を  $V_{DR}$  とすると以下の式となる。

$$V_{pc} = \frac{1}{2\varepsilon_0\varepsilon_s} \sigma l^2 + \frac{t_h}{\varepsilon_0\varepsilon_r} \sigma l \quad (8)$$

$$V_{DR} = \frac{1}{2\varepsilon_0\varepsilon_s} \sigma L^2 + V_{dc} \quad (9)$$

$t_h$  : 感光体膜厚  
 $\varepsilon_r$  : 感光層比誘電率  
 $\varepsilon_s$  : トナー層比誘電率  
 $\sigma$  : トナー層電荷密度  
 $V_{dc}$  : 現像前の電極間電位差

残存電位差が零の為、現像終了時点での上電極上に現像されたトナー層電位と下電極上の残トナー層電位が等しいと置く。(トナー層厚みに比べ、現像ギャップ間隔が十分に広いものとした。)

$$V_{pc} = V_{DR} \quad (10)$$

であるから、式(10)に式(8)式(9)を代入して、現像量  $l$  (ここではトナー高さ) は

$$l = \frac{\frac{\varepsilon_0\varepsilon_s}{\sigma} V_{dc} + \frac{L_0^2}{2\left(\frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_r} t_h + L_0\right)}}{\frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_r} t_h + L_0} \quad (11)$$

と表せる。

〔Case2〕動的平衡状態の現像モデル式  
 現像終了後に  $V_d$  の電位差が残存するので、

$$V_{pc} - V_{DR} = V_d \quad (12)$$

であるから、式(8)式(9)を代入して、現像量は、

$$l = \frac{\frac{\varepsilon_0\varepsilon_s}{\sigma} (V_{dc} + V_d) + \frac{L_0^2}{2\left(\frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_r} t_h + L_0\right)}}{\frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_r} t_h + L_0} \quad (13)$$

と表せる。

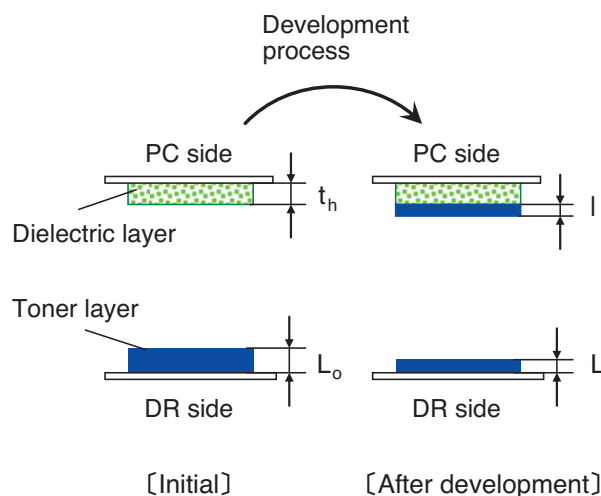


Fig. 3 Image of developing phenomenon.

## 4 モデルの妥当性確認

### 4.1 実験方法

1成分非接触現像装置を用いて、現像特性を測定した。実験条件を以下に示す。

(現像ギャップ条件)

現像ギャップ間隔：250  $\mu\text{m}$

現像ローラ回転方向：対向部で同方向

(バイアス条件)

矩形波の周波数：3kHz

矩形波の波高値：2250V

矩形波のDuty：50%

(トナー層条件)

トナー付着量：11.8g/m<sup>2</sup>

トナー帯電量：-17  $\mu\text{C/g}$

また、現像後の現像ギャップ間の残存電位を把握する為に現像ローラ上のトナー層電位と感光体上のトナー層電位を測定し、両者の差を調べた。

### 4.2 実験結果

Fig. 4 に現像特性の実験結果（横軸に現像電位差  $\Delta V$ ・縦軸に現像量）と電界平衡状態の現像モデル式で計算した結果（図中の実線）を、Fig. 5 には現像後の残存電位差を示した。

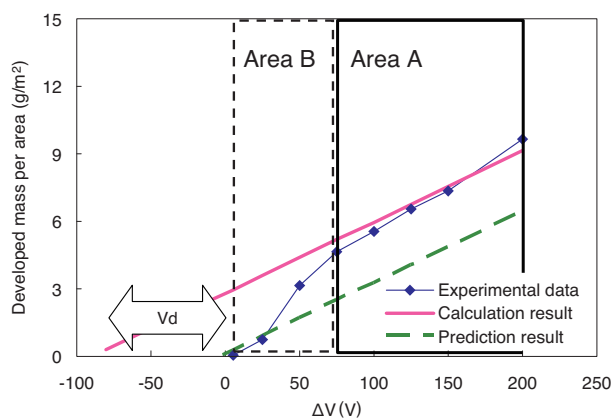


Fig. 4 Comparison of experimental data with calculation data.

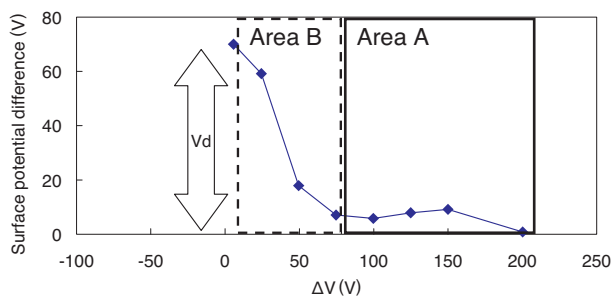


Fig. 5 Dependence of surface potential difference on  $\Delta V$ .

高コントラスト領域（図中A領域）の現像特性は、電界平衡状態の現像モデル式の計算結果と良く一致した。更に、Fig. 5 に示す様に、現像後の残存電位差は、概ね零であった。この事から高コントラスト領域での現像モデルは妥当であると考えられる。

次に低コントラスト領域（図中B領域）を見ると、現像量は電界平衡状態の現像モデル式の計算結果よりも低い値を示している。また、現像後の残存電位差は零ではなく、平衡モデルの予測通り、動的平衡状態になっていると考えられる。

式(13)に基づき  $\Delta V$  が0～25Vのプロットにフィッティング（図中の破線）させると、式中の  $V_d$  は、75V程度と想定される。実際の現像後の残存電位差はFig. 5 から60～70Vであり、概ね一致している。

以上の様に、トナーの往復動の解析結果と理論計算から予測した2つの平衡モデルで、1成分非接触現像の現像特性を説明出来る事を示し、モデルの妥当性が確認出来た。

## 5 まとめ

1成分非接触現像の現像ギャップでのトナーの往復動が空間電荷制限電流に基づくことから現像モデルを構築した。その結果以下の事を確認した。

(1) 1成分非接触現像では、2つの平衡状態が存在する。

〔Case1〕電界平衡状態

現像ギャップ内の電位差が無くなり（DC電界が零）往動と復動の量が等しくなり現像量が決まる。

〔Case2〕動的平衡状態

現像ギャップ内の電位差を有したまま、往動と復動の量が等しくなり現像量が決まる。

(2) 現像特性の高コントラスト領域では、電界平衡状態となる。低コントラスト領域では、動的平衡状態となる。

(3) 動的平衡の原因は、トナー離脱電界が電極間で異なる為である。これには電極上に付着しているトナー量の違いが電氣的付着力に影響する為と推測する。

### ●参考文献

- 1) 前山, 平山, 夏原: “1成分非接触現像における現像Gap部のトナー飛翔挙動解析”, Japan Hardcopy 2004 Fall Meeting, p.17.
- 2) 栗田: “電子写真の現像特性と静電場平衡機構”, 電子写真学会誌, 第30巻, 第2号 (1991), p.141～142.

### ●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。