
一成分接触現像ニップでの電荷移動現象に関する検討

Study of Charge Transfer Phenomenon in Development Nip of Mono-component System

中川 秀一* 生野 秀一**

Shuuichi NAKAGAWA Hidekazu SHONO

要 旨

一成分接触現像ニップにおける電荷移動現象について調査した結果、感光体表面に形成された静電潜像の電位が、現像ニップ通過の前後で変化していることが確認された。これは、現像ローラに印加された現像バイアスが、トナー層を伝って感光体表面に充電される現象であり、このときのトナー層内を流れる電流量は、感光体と現像ローラの速度差に依存することがわかった。そこで、現像ニップ中のトナー層の動的抵抗を想定した感光体表面の充電モデルを作成し、注目すべき制御因子や、誤差因子への影響に関する考察を行った。

ABSTRACT

We have examined the charge transfer phenomena in contact development nip of mono-component system in electrophotography. As a result, the potential of the electrostatic latent image on the photoconductor surface was changed by passing the development nip. This phenomenon is obviously a charge transfer to the photoconductor surface through the toner layer from development roller by developing bias between photoconductor and development roller. In addition, the amount of current by the charge transfer depends on the speed difference between the photoconductor and development roller. Based on the experimental results, we proposed a model of the charge transfer to the photoconductor surface due to the dynamic resistance of the toner layer in development nip, and considered the noteworthy control factor and the error factor.

* 画像エンジン開発本部 機能材料開発センター

Functional Material Development Center, Imaging Engine Development Division

** プリント事業本部 LP設計センター

LP Designing Center, Printer Business Group

1. 背景と目的

乾式電子写真プロセスにおいて、一成分接触現像方式は小型化や低コスト化が容易であることやメンテナンスフリーに対応可能であるという特長を活かして、おもに低価格帯のプリンターを中心に採用されている。この現像方式の現像特性^{1, 2)}は現像ローラ上に形成したトナー層の帯電量に大きく依存することから、規制ニップにおける規制ブレードとトナーの摩擦帯電メカニズムや、トナー層内の電荷移動に関する研究^{3, 4, 5)}が進められてきた。

そこで、接触現像ニップにおいても同様に電荷移動が感光体やトナー層に影響を与えていると推測し、市販の一成分レーザープリンターに種々のトナーを詰め替えて調べたところ、トナーが現像付着していない箇所の感光体表面電位が接触現像ニップ通過前後で変化していることが観察された。また、その変化程度がトナーによって異なることも確認された。

本研究では、接触現像ニップでの電荷移動に関する実験結果に基づいて現象メカニズムを解明するとともに、今後の一成分接触現像システムの設計での新たな評価特性値を提示するための検討を行なった。

2. 実験

2-1 実験装置

接触現像ニップ通過が感光体の表面電位に与える影響に関する実験は、Fig.1に示す現像シミュレータを用いて行なった。この現像シミュレータは一般的な一成分接触現像方式の構成を再現したものであり、潜像担持体にはPETフィルム（東レ社製メタルミー）を用いている。PETフィルム裏面にはアルミ蒸着が施されており、金属ローラに密着して取り付けることによって電氣的に接地される。室内照明下でも蓄えた電荷を保持できるので、潜像状態に関する詳細な測定を行なうことができる。

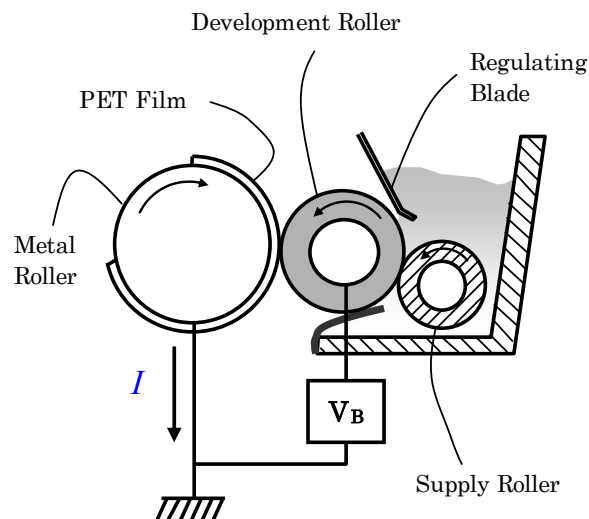


Fig.1 Schematic drawing of the development simulator.

主要部材の設定値をTable 1に示す。PETフィルムの初期表面電位はゼロに設定し、現像バイアス V_B の水準を段階的に振ることによって、接触現像ニップにおけるPETフィルムと現像ローラとの電位差を変化させた。トナーは負帯電極性を有するもので、前述の観察結果で最も現象が顕著に現れていたトナーAを用いた。

Table 1 Main Specifications of the development simulator.

Development Roller	Diameter : 12 mm Elastic material : Urethane Rubber
PET Film	Thickness : 0.04 mm Permittivity : 2.9×10^{-11}
Metal Roller	Diameter : 40 mm Contact nip length : 1.1 mm Contact nip width : 60 mm

2-2 速度設定条件

主要部材の速度設定条件はTable 2に示す24種類の組み合わせとした。とくに#1～#16は、PETフィルムが接触現像ニップを通過する時間と、接触現像ニップにおけるPETフィルムと現像ローラの速度差に着目したものである。

Table 2 Experimental conditions of the development simulator.

	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8
Speed of PET film (mm/sec)	25	50	100	25	50	100	150	180
Speed of dev. Roller (mm/sec)	182	207	257	132	157	207	257	287
Time for passage (msec)	44	22	11	44	22	11	7	6
Speed difference (mm/sec)	157			107				

	#9	#10	#11	#12	#13	#14	#15	#16
Speed of PET film (mm/sec)	25	50	100	150	180	50	100	180
Speed of dev. Roller (mm/sec)	82	107	157	207	237	77	127	207
Time for passage (msec)	44	22	11	7	6	22	11	6
Speed difference (mm/sec)	57					27		

	#17	#18	#19	#20	#21	#22	#23	#24
Speed of PET film (mm/sec)	80	60	140	80	120	150	100	140
Speed of dev. Roller (mm/sec)	205	155	215	155	165	177	105	140
Time for passage (msec)	14	18	8	14	9	7	11	8
Speed difference (mm/sec)	125	95	75	75	45	27	5	0

2-3 PET表面電位測定

現像動作途中で駆動を停止させた後、接触現像ニップ通過後のPETフィルム表面電位 V_{PET} を測定した。測定は、金属ローラを接地した状態で表面電位計を用いて行なった。現像バイアス V_B 水準によってはトナーが現像されてPETフィルム表面に付着してしまうが、エアブロー清掃によって付着トナーを除去した後の表面電位を測定した。

2-4 トナー層表面電位測定

現像動作途中で駆動を停止させた後、接触現像ニップ通過前と通過後の2箇所について現像ローラ上トナー層表面電位を測定し、その差分を計算してトナー層電位変化量 ΔV_T を求めた。測定は、現像バイアス V_B をゼロとした状態で表面電位計を用いて行なった。ただし現像によるトナー移動のない状態でのデータを取るために、限定した範囲の現像バイアス V_B 水準のみで測定した。

2-5 PETフィルム電流測定

現像動作中にPETフィルムから流れる電流 I を測定した。測定は、金属ローラとGNDとの間にマルチメータを接続して行なった。測定した電流 I の値は、PETフィルムの静電容量と接触現像ニップ通過に要した時間からPETフィルム表面電位に換算した。ここでも現像によるトナー移動のない状態でのデータを取るために、限定した範囲の現像バイアス V_B 水準のみで測定した。

3. 実験結果

3-1 現像バイアスと表面電位変化量の関係

Fig.2は、接触現像ニップ通過後のPETフィルム表面電位 V_{PET} および通過前後でのトナー層電位変化量 ΔV_T について、現像バイアス V_B に対する変化挙動を表したグラフの代表例である。PETフィルム表面電位 V_{PET} のデータは、2-3で説明した方法による V_{PET} （実測値）と、2-5で説明した方法による V_{PET} （換算値）の両方をプロットしたが、ともに現像バイアス V_B に依存して直線的に変化した。一方で、現像ローラ上トナー層電位は接触現像ニップ通過前後で殆ど変化せず、現像バイアス V_B の影響を受けることもなかった。なお、この所見は全ての実験データに共通して確認されたものである。

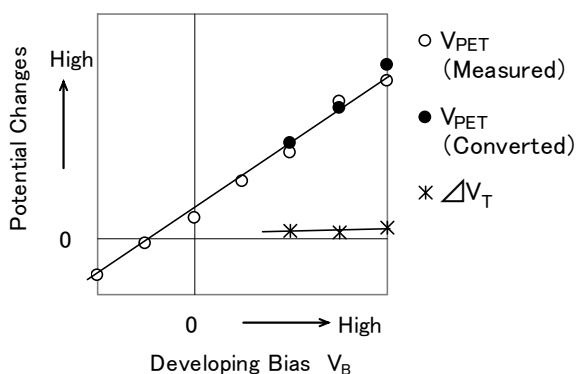


Fig.2 Relationship between developing bias and amount of surface potentials changes.

Fig.3には、全速度条件における V_{PET} （実測値）と V_{PET} （換算値）の相関関係を示した。様々の速度条件下であっても両者はほぼ合致した。

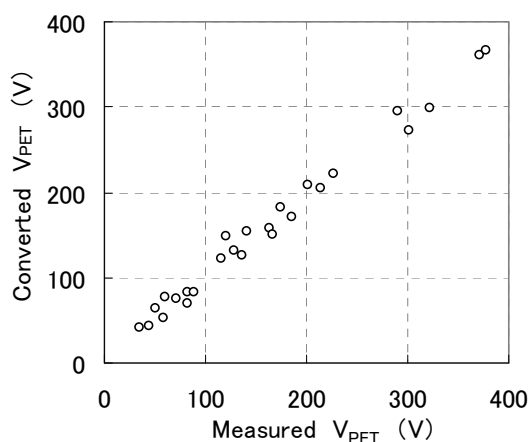


Fig.3 Relationship between measured V_{PET} and converted V_{PET} .

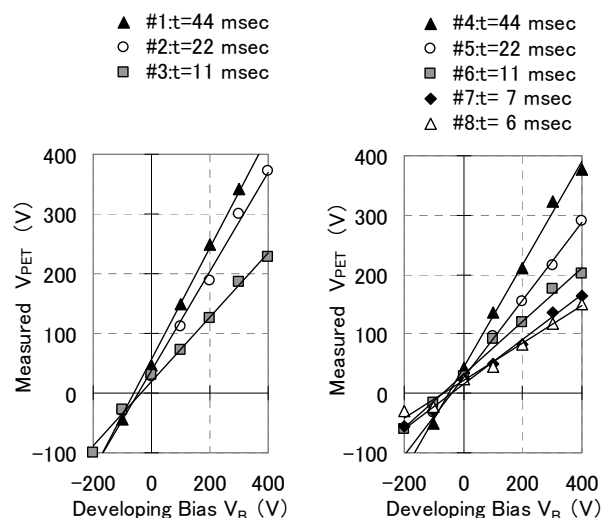
これらのことから、接触現像ニップ通過によるPETフィルム表面電位の変化は、現像ローラに印加された現像バイアスがトナー層を介してPETフィルムに充電される現象であり、PETフィルム表面電位 V_{PET} は接触現像ニップを通過する時間内にPETフィルムに注入された電荷量によって決まるものと言える。

そこでFig.2のグラフ中の近似直線の傾きを注入効率 α と定義し、PETフィルムへの電荷注入しやすさを示す数値指標として用いることにした。

3-2 速度条件の影響

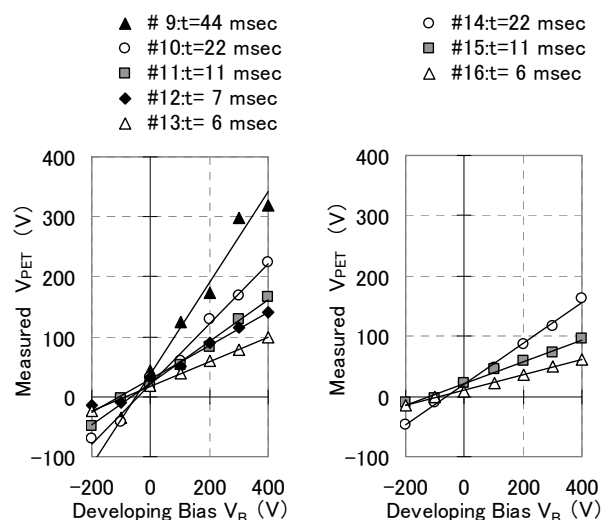
#1から#16の速度条件について、現像バイアス V_B に対するPETフィルム表面電位 V_{PET} 実測値の関係を示したものがFig.4である。

Fig.4では現像ローラとPETフィルムの速度差（以下、現像速度差 β と呼ぶ）によってグラフ(A)から(D)に分類し、それぞれに接触現像ニップ通過時間 t の影響を表



(A) Speed difference $\beta = 157$ mm/sec

(B) Speed difference $\beta = 107$ mm/sec



(C) Speed difference $\beta = 57$ mm/sec

(D) Speed difference $\beta = 27$ mm/sec

Fig.4 Relationship between developing bias and measured V_{PET} in various speed conditions.

した。その結果、各グラフに共通して、注入効率 α が接触現像ニップ通過時間 t の順に並んでいることが確認された。また現像速度差 β の異なるグラフ間比較でも、現像速度差 β が小さいほど注入効率 α も小さくなるという傾向が見られた。

4. 充電モデル考察

4-1 等価回路モデルとその検証

ここまでの実験結果から、接触現像ニップ内におけるPETフィルムの静電容量 C_{PET} とトナー層の抵抗 R_T の直列回路による充電モデルを考えた。

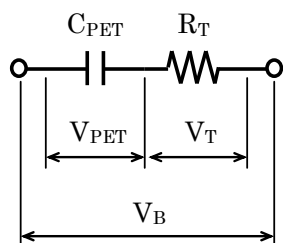


Fig.5 Equivalent circuit of the development process.

Fig.5の等価回路による充電特性の式をもとに、注入効率 α は接触現像ニップ通過時間 t の関数として式(1)で表される。

$$\alpha = \frac{V_{PET}}{V_B} = 1 - e^{-\frac{t}{C_{PET} R_T}} \quad (1)$$

実験では注入効率 α の値は時間 t だけでなく現像速度差 β でも変化していたことから、式(1)中に現像速度差 β によって変動する可能性のあるものを探すと、トナー層抵抗 R_T のみがそれに該当する。従ってこのモデルで R_T は定数ではなく、現像速度差 β によって変化するパラメータであると言える。

モデルの検証は、Fig.4の実験データにおいて式(1)の示す関係が成り立っていたか否かを確認することにより行った。まず#1から#16の速度条件について注入効率 α の値を求め、接触現像ニップ通過時間 t との関係をプロットした。そこに式(1)を当てはめて近似曲線を引いたものがFig.6である。

ここでは、 R_T によって式(1)を実験データにフィッティングさせているが、現像速度差 β ごとに異なる R_T の値を選択することで、全ての実験データを近似曲線の変化挙動にほぼ一致させることができた。

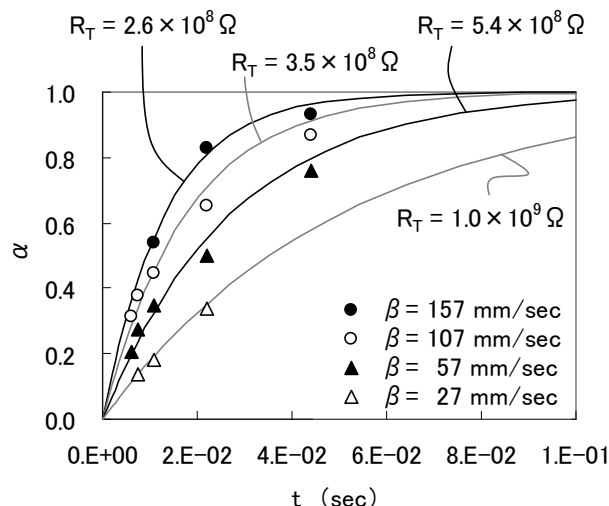


Fig.6 Relationship between t and α .

これは、PETフィルム静電容量 C_{PET} とトナー層抵抗 R_T の直列という簡単な等価回路によって現象が表され、式(1)の関係が成立していることを裏付けるものである。従ってトナー層抵抗 R_T の値は式(1)を変形させて得た式(2)から求めることができる。

$$R_T = -\frac{t}{C_{PET} \text{Log}(1-\alpha)} \quad (2)$$

4-2 トナー層の動的抵抗

次に#1から#24の全実験データについて、接触現像ニップ通過時間 t 、PETフィルム静電容量 C_{PET} 、および実験結果として得られた注入効率 α から、式(2)を用いてトナー層抵抗 R_T を計算した。得られた R_T の値と現像速度差 β との相関関係グラフをFig.7に示す。

またグラフには、比較用データとしてトナーBを用いた同様実験の結果も併せてプロットした。このトナーBは、第1章に記した感光体表面電位観察の際に、トナーAに比べて電位変化が小さかったものである。

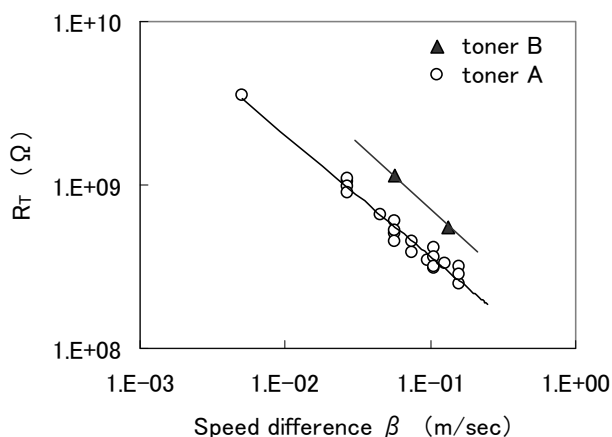


Fig.7 Relationship between Speed difference and toner layer resistance.

トナー層抵抗 R_T と現像速度差 β の関係は両対数グラフ上で直線を示し、近似式(3)で表される。今回の実験における式中の係数 Y は、トナーAが 6.6×10^7 、トナーBが 9.5×10^7 であった。

$$R_T = Y \beta^{-0.71} \quad (3)$$

現像速度差 β がゼロの条件では、トナー層抵抗 R_T は無限大に大きくなり、 V_{PET} は殆んど変化せず金属ローラ電流 I も流れなかった。

以上のことから、現像ローラとPETフィルムが等速回転している場合には、接触現像ニップ内に存在するトナー層は絶縁体に近い性質を示すが、現像ローラとPETフィルムに速度差を設けると、トナー粒子に動きが生じることによってトナー層内の電荷移動が可能となり、導電性が現れるものと考えられる。一般にトナーの電気的物性としての抵抗値測定は静的状態で行なわれるので、等速回転時のトナー層抵抗に同じとみなしてよい。これに対して速度差を設けた場合は、動的状態でのトナー層抵抗であると言える。

また、係数 Y はトナーによって値が異なり、感光体表面電位変化の小さかったトナーBのほうが Y の値が大きく、トナー層動的抵抗 R_T も比較的高くなるという結果になった。そこで Y を動的抵抗係数と呼び、トナー層動的抵抗 R_T を決定するトナー側の因子として用いることにした。

4-3 制御因子の効果予測

式(1)に、 t と C_{PET} の算出式および式(3)を代入すると式(4)が得られる。

$$\alpha = 1 - e^{-\frac{D}{Y W \varepsilon_P v^{0.29} (k-1)^{-0.71}}} \quad (4)$$

D : PETフィルム厚

W : 接触現像ニップ幅

ε_P : PETフィルム誘電率

v : PETフィルム速度

k : 速度比率(現像ローラ/PETフィルム)

ここで式(4)を用いて計算することによって、速度比 k を固定したままシステム全体の速度 v を変えたときの注入効率 α の変化挙動を予測した。計算は、基準条件である#a(トナーA使用)に対して、#b(トナーB使用)、#c(速度比 k を低くした場合)の3条件について行なった。計算に用いた数値条件をtable 3に、計算結果をFig.8に示す。

Table 3 Parameters for calculation.

		#a	#b	#c
PET Film				
Thickness (mm)	t_P	0.04	←	←
Permittivity	ε_P	2.9E-11	←	←
Speed (mm/sec)	v	72	←	←
Contact NIP				
Width (mm)	W	60	←	←
Speed ratio	k	1.4	1.4	1.2
Toner				
Sample No.		A	B	A
Dynamic resistance factor	Y	6.6E+7	9.5E+7	6.6E+7

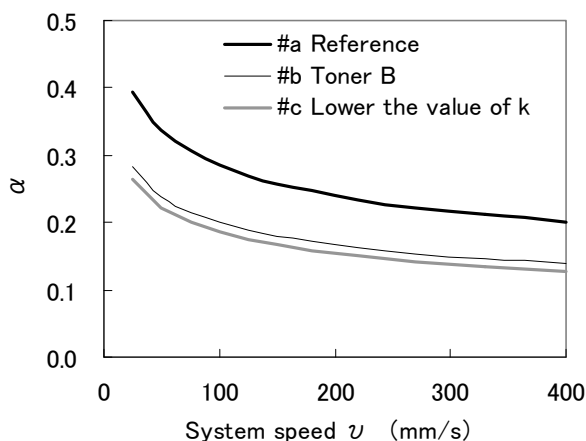


Fig.8 Calculated results of the relationship between v and α at a constant speed ratio.

グラフは右下がりのカーブを描き、システム速度 v の低い領域では注入効率 α が大きくなるという結果となったが、これは式(4)の示すとおりである。速度比 k および動的抵抗係数 Y の効果の大きさも確認できるが、速度比 k を下げることは現像トナーの最低必要量から限界があるため、動的抵抗係数 Y を制御することが重要となる。

5. 結論

一成分接触現像ニップを通過するときに潜像担持体の表面電位が変化するという現象は、現像ローラに印加された現像バイアスが、トナー層を介して潜像担持体の誘電層に充電されることによるものである。現像バイアスと潜像電位変化量が線形関係であることから、グラフの傾きを潜像電位の変化しやすさを表す指標として注入効率 α と定義した。このときトナー層は単純に電気抵抗としての挙動を示すことから、CR直列回路の充電特性を適用でき、注入効率 α は次式で表される。

$$\alpha = 1 - e^{-\frac{t}{C_{PET} R_T}} \quad (5)$$

t : 接触現像ニップ通過時間
 C_{PET} : 潜像担持体の静電容量
 R_T : トナー層動的抵抗

トナー層動的抵抗 R_T は現像速度差に依存し、現像速度差がゼロ付近では絶縁体に近い性質を示すが、速度差を大きくするほど抵抗値が低くなることから、接触現像ニップ内でのトナーの動的な物性が関与していると考えられ、現像プロセスやトナー設計における新たな特性値として留意すべきものである。

今後は、トナー層内の電荷伝搬メカニズム解明など、トナー層動的抵抗の発現に関する検討を行なうことにより、一成分接触現像システムの設計指針や新規制御因子抽出に反映させていきたい。

参考文献

- 1) 今井力：一成分接触現像，電子写真学会誌，Vol.30，(1991)，pp.183-193.
- 2) 細矢雅弘，斉藤三長：接触型一成分非磁性現像方式（I），電子写真学会誌，Vol.31，(1992)，pp.531-541.
- 3) 山口智責，竹内学：バイアス電圧印加非磁性一成分現像プロセスの特性，電子写真学会誌，Vol.36，(1997)，pp.268-274.
- 4) 細矢雅弘ほか：一成分非磁性現像方式，電子写真学会誌，Vol.26，(1987)，pp.107-114.
- 5) 梶浦生也ほか：非磁性一成分現像プロセスにおけるトナー帯電量が現像特性に及ぼす影響，Imaging Conference JAPAN 2010 Fall Meeting 論文集，(2010)，pp.9-12.