1成分電子写真システム現像部におけるトナー帯電量に 及ぼす現像ロール表面組成の影響

Effect of Surface Composition of Development Roll on Toner Charge in Mono-component Electrophotographic System

三尾 浩,^{a,b} 藤村 隆二,^c 下坂 厚子,^c 白川 善幸,^c 日高 重助^c

Hiroshi Mio, Ryuji Fujimura, Atsuko Shimosaka, Yoshiyuki Shirakawa, Jusuke Hidaka

Received 11 December 2007 ; Accepted 1 February 2008

The effect of surface composition of a development roll (mixture of the acrylic resin and the polyurethane) on the toner charge was investigated. The specific toner charge increased with the content of acrylic resin. The mass of toner layer coated on the development roll also increased with the content of acrylic resin because of the increased adhesion force between the toner and the development roll. The current was passed at the blade, the development roll and the supplying roll during the charging. The direction of current at the blade suggested that the blade worked for the charging to toner particles. On the other hand, the development roll worked for the discharging when the content of acrylic resin was less than 40%, while it worked for charging at the content higher than 40%. The charge distribution of toner particles was wider with increasing the acrylic resin because of the charging effect at the development roll.

Keywords : Mono-component development system, Specific toner charge, Adhesion force, Toner charge distribution, Surface composition

1. 緒 言

近年の情報化社会の著しい進展に伴い、その情報の可視化手段である電子写真システムの需要が高まっている。電子写真システムは、プリンタやコピー機に採用されている印刷手法の一つであり、粉体トナーを帯

電させ、静電気力によりトナーの運動を制御し、情報を可視化する方法である。この手法は **Fig. 1** に示すように、主に6プロセス（帯電、露光、現像、転写、定着、クリーニング）で構成される¹⁾。特に、現像、転写プロセスでは感光体・現像ロール、あるいは、転写媒体（紙、中間転写体等）間に電界を付与し、トナーを所望の場所へコントロールする。そのため、電子写真システムにおいて、トナーの持つ帯電量は非常に重要となる。すなわち、未帯電トナーや著しく高い電荷を持つトナー、あるいは、逆極性を持つトナー等はこれらのプロセスでうまく制御できず、印刷画像の濃度低下やかぶりの原因となる。そのため、トナーの帯電プロセスの最適設計は非常に重要な課題となっている。帯電プロセスは主に現像プロセス内に設置されており、使用粒子や帯電方法の違いにより1成分現像方式と2成分現像方式に分けられる。1成分方式は現像時にトナー粒子のみを使用し、現像ニップ直前に設置された規制ブレード（金属や樹脂等）と現像ロール（合成ゴム等）間で摩擦帯電させ、現像する手法であ

- a (株) けいはんな 京都府地域結集型共同研究事業
(〒619-0237 京都府相楽郡精華町光台1-7) TEL 0774-98-2210
Kyoto Fine Particle Technology, Keihanna Interaction Plaza Inc.
(1-7, Hikaridai, Seika-cho, Soraku-gun, Kyoto 619-0237, Japan)
- b 同志社大学 先端科学技術センター
(〒610-0321 京都府京田辺市多々羅都谷1-3) TEL 0774-65-6590
Research Center for Advanced Science and Technology, Doshisha University
(1-3, Tatara-miyakodani, Kyotanabe, Kyoto 610-0321, Japan)
- c 同志社大学 理工学部 化学システム創成工学科
(〒610-0321 京都府京田辺市多々羅都谷1-3) TEL 0774-65-6590
Department of Chemical Engineering and Materials Science, Faculty of Science Engineering, Doshisha University
(1-3, Tatara-miyakodani, Kyotanabe, Kyoto 610-0321, Japan)

Fig. 1 Electrophotographic system

る。2成分方式はキャリア粒子（フェライト等）とトナー粒子を現像槽内で攪拌混合し、両者を摩擦帯電させる。その後、キャリア粒子が現像領域にトナーを運び、現像を行う。本研究で対象としている1成分現像方式は攪拌槽を必要とせず小型化が可能であり、近年では世界最小のカラープリンター²⁾にも本方式が採用されている。しかし、本方式では、現像ニップ直前でトナー粒子を帯電させるため、そこでの帯電挙動の重要度は極めて高い。そのため、トナー粒子や現像ロールの材料設計や操作条件の設定等が非常に大きな課題となっており、実験、シミュレーションによる多くの研究^{3~10)}が報告されている。近年では現像ロールには帯電性や耐摩耗性、環境負荷等を考慮し、主にシリコンゴムやウレタンゴムが使用されている。シリコンゴムは電荷付与性に優れているが、耐摩耗性が低く、寿命が短いのが欠点である。一方、ウレタンゴムは機械的強度、耐摩耗性に強く、長寿命であるため多く用いられている。しかし、ウレタンゴムは電荷付与性が低いことが欠点であるため、基材にウレタンゴムを使用し、ローラ表面に他の高分子をコーティングして、帯電性を高めるという方法がとられている。

そこで本研究では、現像ロール表面組成がトナー帯電挙動に及ぼす影響を検討することを目的とし、ウレタン基材の現像ロール表面に、アクリル樹脂とウレタン樹脂の混合物（アクリル組成割合：20～80%）をコーティングし、表面組成を変化させた5種類の現像ロールを使用し、これらの表面組成がトナー比電荷、帯電量分布、および、現像ロール上へのトナーコート

Fig. 2 Schematic diagram of mono-component development system

量、ならびに、帯電経路に及ぼす影響を検討したので報告する。

2. 実験

2.1 実験方法

本研究では市販の非磁性1成分電子写真システムの現像ユニットを取り出し、現像ロールを任意の回転速度に調節できるよう改造し、現像ロール表面組成がトナー帯電量に及ぼす影響について検討した。Fig. 2に本研究で用いた実験装置の概略図を示す。本実験装置には感光体を取り付けているが、現像プロセスは行われない。現像ロールの直径および長さは18mm、225mmであり、カーボン含有するウレタン基材に層厚約5μmで樹脂をコーティングした。現像ロール外層の表面組成は、アクリル樹脂とウレタン樹脂の混

Table 1 Properties of development roll

Acrylic	(%)	20	40	60	70	80
Urethane	(%)	80	60	40	30	20
Resistance	(log Ω)	6.6	6.2	5.7	5.6	5.4
Ionization potential (eV)		5.860	5.790	5.785	5.780	5.700

割合を20, 40, 60, 70, 80% (アクリル樹脂割合) とした5種類のものを使用した。各現像ロールの電気抵抗値 (全抵抗), イオン化ポテンシャルを **Table 1** に示す。イオン化ポテンシャルは大気中光電子分光装置 (AC-1, 理研計器株式会社) を用い, ITO 基板上に所定の樹脂をコートし, 測定を行った。規制ブレードはL字型ステンレススチール製 (幅: 22.5 mm, 長さ: 220mm, 厚さ: 0.7mm) のものを用い, Fig. 2 のように現像ロールに押し当てた。トナーは平均粒子径 $6.6\mu\text{m}$ のポリエステル系負帯電性粉砕トナー (花王株式会社) を使用した。カートリッジ内に投入したトナーは, 供給ロール (発泡ポリウレタン), および, 現像ロールの回転により規制ブレードまで搬送され, 現像ロールとの間で摩擦帯電作用を受け, 電荷を得る。その後, 現像ロール上に形成されたトナー薄層は現像されずに再びトナーカートリッジに戻り, 回収される。現像ロールと供給ロールは接しており, 両者の回転によりトナーが掻き落とされる。しかし, 供給ロール表面は非常にやわらかいため, それ以上の付着力で現像ロール上にコートしている一部のトナーは掻き落とされずに, そのまま次の帯電プロセスに移動する可能性がある。そのため, 規制ブレードに搬送されてくるトナー粒子は, “新規トナー” + “回収トナー” + “回収されずに現像ロール上に付着したままのトナー” の3種類が考えられる。しかしながら, 規制ブレードに搬送されてくるトナー粒子の帯電量は, ブレード通過直後のトナー帯電量に比べ, 十分に低いことが確認されており, 同じトナーが常に現像ロール上に存在することはない。現像ロール回転速度は60 rpm 一定とし, 所定回数の回転後, 現像ロール上のトナーを吸引式ファラデーケージ (日立製作所) により20箇所吸引し, トナーの平均帯電量, および, 現像ロール上のトナーコート量を求めた。また, トナー粒子の帯電量分布をイースパートアナライザ EST-II (ホソカワミクロン株式会社) により測定した。測定部における Field voltage は50V とし, 分離部のエア圧, 噴射時間, 噴射停止時間はそれぞれ, 0.06 ~ 0.09MPa, 5 秒, 4 秒で行った。トナーサンプリ

Fig. 3 Schematic diagram of apparatus for current measurement

ング数は3000個とした。

2.2 微小電流測定

トナー薄層形成過程において, トナー粒子群への電荷移動経路を検討するため, 5種類の現像ロール使用時における, 現像システム内に発生する微小電流をそれぞれ測定した⁷⁻¹⁰⁾。Fig. 3 に示すように, 規制ブレード, 現像ロール, 供給ロールそれぞれとアースの間にエレクトロメータ (6517A, Keithley Instruments Inc.) を接続し, 各部材に流れる電流を測定した。電流は各部材からアースに流れる方向を正とする。なお, 電流測定はプログラム開発ソフト Labview (National Instruments Corporation) を使用し, 30 ミリ秒ごとに自動でデータをコンピュータに取り込むようにプログラムを作成した。

2.3 トナー物性測定

遠心法付着力測定装置 (CFA-200, 株式会社ナノサイズ) を用い, 5種類の現像ロールとトナー粒子間に作用する付着力を測定した^{11, 12)}。現像ロール表面を厚さ約2mm 切り取ったものを金属基盤に接着し, 現像ロール表面上に未帯電トナーを少量付着させた。その後, Fig. 4 に示すような回転半径66mmの遠心機に装着し, 回転速度を3000, 6000, 9000, 12000 rpm と変化させ, 遠心力により現像ロール上に付着

Fig. 4 Schematic diagram of apparatus for adhesion force measurement

したトナーを飛ばした。回転時間は3分間とし、回転処理後の残留トナー量を画像解析により求め、トナー粒子残留率が50%となる時の遠心力をトナー・現像ロール間の平均付着力とした。また、初期トナー、および、回転処理後のトナーの表面をFE-SEM (S-4300, 株式会社日立ハイテクノロジーズ) により観察を行い、外添剤の有無を確認した。さらに、この時のトナーの比表面積をBET法 (TriStar3000, 株式会社島津製作所) により測定を行った。

3. 結果および考察

Fig. 5 に、回転速度 60rpm の条件下での各現像ロール表面組成におけるトナー比電荷とローラ回転回数の関係を示す。図より、トナー帯電量に対する立ち上がりは非常に速く、数回転で所望の帯電量が得られ、そ

Fig. 5 Relation between the specific toner charge and number of rotations

Fig. 6 Relation between specific toner charge and content of acrylic resin

の後安定した帯電量が得られることが分かる。このことは画像形成過程において非常に重要であり、電子写真システムの起動後、すぐに安定したトナー薄層を形成し、所定の電荷を持ったトナーを現像領域に搬送できることが分かる。また、帯電量は現像ロール表面のアクリル樹脂比が増加するに従い、増加していることが分かる。Fig. 6 に、20~70回転間の平均トナー比電荷を示す。図より、アクリル組成20%で特に低く、アクリル組成が増加するに従って、帯電量が増加することが分かる。また、この時の現像ロール上のトナーコート量はFig. 7に示すとおりであり、トナー帯電量が増加するに従って増加することが分かる。これは、トナーの帯電量が増加することにより、現像ロー

Fig. 7 Relation between the specific mass of coated toner layer and the content of acrylic resin

Fig. 8 Relation between the toner remaining and centrifugal force

ルへの付着性が強くなるためだと考えられる。**Fig. 8**に、未帯電トナーを付着させた現像ロール（アクリル組成 20%）の一部を遠心機に装着し、回転速度 3000～12000rpm で遠心力を作用させたときの、現像ロール上のトナー残留率と遠心力の関係を示す。図より、50% のトナー残留率となる時の遠心力をトナー粒子の平均付着力とした。**Fig. 9**に、各現像ロールと未帯電トナー間に作用する平均付着力の関係を示す^{11, 12)}。図より、付着力はアクリル組成が増加するに従って増加することが分かる。この結果は、**Fig. 7**に示した現像ロールへのトナーコート量の増加とよく似た傾向を示しており、現像ロール・トナー間の付着力が現像剤搬送量の増加に寄与していることが分か

Fig. 9 Relation between the mean adhesion force and the content of acrylic resin

Fig. 10 Relation between the current and the time

る。

Fig. 10に、アクリル組成 20% の現像ロールを用いた時の微小電流測定結果を示す。この時の電流値における方向は、**Fig. 3**に示すようにアースに電流が流れる方向を正としている。すなわち、正電流が観察された時、トナーに負電荷が注入されたとみなすことができる（ただし、トナーの帯電が電子の移動によるものとする）。**Fig. 10**より、ローラ停止時（0～3秒、12～15秒）には電流が観測されておらず、回転時のみに電流が観測されることが分かった。さらに、カートリッジ内にトナーが存在しない状態においても電流は観測されなかった。この微小電流の発生は、トナー・ブレード、および、現像ロール間における電荷移動

Fig. 11 Relation between the current and content of acrylic resin

Fig. 12 Schematic diagram of charging pass

や、帯電したトナー粒子がローラから剥がれるときに流れるものだと考えることができるが、ブレード、および、現像ロール表面においては、測定された電流値はトナーへの電荷移動によるものと考えられる。また、このデータのバラつきはトナーの接触数やそのトナーの帯電量の時間的変化が原因と推測される。図より、アクリル組成 20 % の現像ロールではブレードで正電流、現像ロールで負電流が観測されており、トナーはブレード表面で電荷注入を受け、逆に、現像ロール表面では電荷を失っていると考えられることができる。Fig. 11 に、現像ロール表面組成と各部材で確認された平均電流値の関係を示す。図より、現像ロール表面組成にかかわらず、ブレードに流れる電流の方向は変化せず、ブレードは常にトナーへの電荷注入として作用していることが分かる。一方、現像ロールに流れる電流の方向は、表面のアクリル組成割合に大きく依存し、40 % 近辺を境に逆転し 60~80 % の現像ロールでは現像ロールはトナーへの電荷注入として作用することが分かる (Fig. 12)。このことは、Fig. 6 に示したアクリル組成割合の大きな現像ロールにおいてトナー帯電量が増加する原因の一つであると言える。また、Table 1 に示すように現像ロールの抵抗値はアクリル組成が増加するに従い減少しており、また、イオン化ポテンシャルも同様に減少している。これらがトナー

Fig. 13 Toner charge distribution

への電荷注入経路に大きく影響を及ぼしていると考えられる。また、高アクリル組成においては、ブレードを流れる電流値よりも、現像ロールのものの方が大きくなっており、現像ロールからの電荷注入の方が支配的であると考えられる。これは、トナーの接触量がブレードよりも現像ロールの方が多いためと考えられる。

Fig. 13 に、アクリル組成 20 %, および、80 % の現像ロールにおいて、500 回転後の帯電量分布測定結果を示す。図より、アクリル組成 20 % の現像ロールにおいては、分布が狭く高帯電量を持つトナーも少ないことが分かる。一方、アクリル組成 80 % においては、高帯電を持つトナーが比較的多く見られ、分布が広がっていることが分かる。これは、Fig. 11 に示

Fig. 14 Relation between the specific toner charge and number of rotations

した微小電流の測定結果からも分かるように、アクリル組成の違いにより現像ロール表面における電荷移動方向の違いが原因と考えられる。すなわち、アクリル組成 80 % では、トナーは現像ロール、ブレード表面の両方から電荷を得るため、高帯電のトナーが存在し、その分布も広くなる。一方、アクリル組成 20 % では、ブレード表面では電荷を得るが、現像ロール表面でトナーは電荷を失うために、帯電量が小さくなると考えられる。一方、両条件における帯電量分布に占める逆極性を持つトナー粒子割合は、それぞれ 17.6 % (アクリル組成 20 %), 14.8 % (同 80 %) であり、アクリル組成が少ない条件では逆極性を持つトナー割合が増加していることが分かる。このことも、現像ロール表面で電荷を失うことが原因であると考えられる。帯電量分布の広いトナー、特に、高帯電トナーが多く存在するトナーや、逆極性を持つトナーは現像プロセスにおいて望ましくなく、印刷画像の濃度低下や、かぶりの原因になることが予想される。そのため、適切な現像ロールの表面設計が非常に重要となる。

Fig. 14 に、アクリル組成 20 %, および、80 % の現像ロールを使用し、60rpm で 10000 回連続回転させた時の帯電量の変化を示す。本条件は、A4 用紙 (長辺 : 297mm) を約 1900 枚連続印刷するときの回転量に相当する (ただし、現像ロールと感光体の周速が同じとし、かつ、回転中は常に現像されているものと仮定した場合)。図より、帯電量は回転回数の増加に従い、減少することが分かる。これは、実験機が現像プロセスを持っておらず、トナーが現像により消費され

Fig. 15 SEM images of surface of toner particle

ることなく、頻繁に規制ブレード-現像ロール間を通過することによる現像剤の劣化が原因の一つと考えられる。Fig. 15 に、初期トナーと 10000 回転後のトナーの SEM 画像を示す。図より、初期トナーの表面には外添剤である SiO_2 が観察されたが、10000 回転後のトナー表面にはほとんど観察されなかった。また、両トナーの比表面積は $1.77\text{m}^2/\text{g}$ (初期), $1.57\text{m}^2/\text{g}$ (10000 回転後) となり、外添剤が離脱、あるいは、埋没したことが推測できる。そのため、トナーの流動性の低下、また、 SiO_2 自体の帯電が減少し、Fig. 14 に示すような帯電量の減少となることが分かる。また、比電荷の低下後 (トナー劣化後) の帯電量分布は Fig. 16 に示すとおりであり、高帯電トナーが減少し、低帯電トナーが増加していることが分かる。また、逆極性を持つトナーの割合は、24.1 % (アクリル組成 20 %), 20.3 % (同 80 %) となり、トナーの劣化に伴い著しく逆極性が増加していることが分かる。これは、 SiO_2 の帯電量の減少だけでなく、外添剤が離脱することによりトナー基材同士の接触が増えることにより、逆帯電が増えたと考えられる。以上のことより、現像ロールを長時間連続回転させることは望ましくなく、トナーの劣化を引き起こし、帯電量の減少、ならびに、逆極性のトナーを増加させるため、印刷画

(a) Acrylic resin : 20 %

(b) Acrylic resin : 80 %

Fig. 16 Charge distribution of aged toner particle

質の著しい低下が予想される。そのため、長時間の連続運転に耐える現像ロールやトナー設計が必要になると考えられる。

以上のことより、1成分現像法におけるトナー帯電挙動は現像ロール表面組成に大きく依存することが分かった。また、各組成における電荷移動経路が特定できたことにより、本プロセスのモデル化に非常に有用であると考えられる。今後はこれらの移動経路をモデル化し、シミュレーションによるトナー薄層形成解析、トナー帯電量分布の推算が期待される。

4. 結 言

本研究では、1成分電子写真現像プロセスにおけるトナー薄層形成過程におけるトナー帯電に及ぼす、現像ロール表面組成の影響を実験的に検討した。その結果、以下の知見が得られた。

- 1) トナー帯電の立ち上がりは、どの現像ロールにおいても非常に速く、現像ロール数回転で一定となることが分かった。また、平均帯電量は現像ロール表面のアクリル組成割合の増加に従って増加することが分かった。
- 2) 現像ロール上のトナーコート量は、アクリル組成の増加に従い増加した。これは、トナー帯電量の増加と、トナー・現像ロール間の付着力の影響によるものである。
- 3) トナー帯電処理中にブレードに流れる微小電流は常に正を示し、ブレードはトナーへの電荷付与の役割を担っていることが分かった。一方、現像ロールを流れる電流の方向はアクリル組成割合に大きく依存し、約40%を境として逆転する。この結果より、アクリル組成が少ない時は、トナーは現像ロール表面で電荷を失い、アクリル組成が大きい時は電荷注入を受けることが分かった。
- 4) アクリル組成の大きいローラではトナーの帯電量分布が広がり、高帯電トナーが増加した。一方、アクリル組成が少ないローラでは、逆極性のトナーが増加した。これは、現像ロール表面における電荷の授受経路が大きく影響していると考えられる。
- 5) トナーを現像ロール・ブレード間で長時間帯電処理を行うとトナーが劣化し、帯電量が減少した。これは、トナー表面の外添剤の離脱、埋没によるトナーの流動性の低下、外添剤であるSiO₂の帯電量の減少、トナー基材同士の衝突頻度の増加による逆極性トナーの増加によるものと考えられる。

〔謝辞〕本研究は、JST（科学技術振興機構）京都府地域結集型共同研究事業「機能性微粒子材料創製のための基盤技術開発」の支援を受け行われた。本実験で使用した現像ロールはバンドー化学株式会社 永瀬貴行氏より提供頂いた。また、帯電量分布測定に際し、京セラミタ株式会社 谷田啓一氏に多大な協力を頂いた。ここに記して謝意を表する。

References

- 1) Duke, C. B., J. Noolandi and T. Thieret: "The Surface Science of Xerography", *Surf. Sci.*, **500**, 1005-1023 (2002)
- 2) Choi, M. H., K. H. Kim, K. J. Pak, S. D. An and Y.

- G. Kim : "Technology Differentiation of CLP-300 Color Printer for Personal & SOHO", *J. Imaging Soc. Japan*, **45**, 541-545 (2006)
- 3) Noshiro, T., M. Takeuchi, M. Asanae and M. Ochiai : "Influence of Toner Composition on Its Tribocharging Characteristics", *J. Soc. Powder Technol., Japan*, **36**, 679-684 (1999)
 - 4) Sato, S. and M. Takeuchi : "Influence of Additives on Toner Powder Characteristics and Ghost Images in Electrophotographic Non-Magnetic Mono-Component Developers", *J. Soc. Powder Technol., Japan*, **39**, 648-655 (2002)
 - 5) Ito, T., H. Kawamoto and H. Okamoto : "Numerical Analysis of Imaging Defect in Single Component Magnetic Development in Electrophotography", *Nihon Kikaigakkai Ronbunshu C*, **72**, 418-425 (2006)
 - 6) Shimada, A., M. Saito and T. Miyasaka : "Properties of Toner Charge and Toner Mass Amount on Development Roller for Mono-Component Developing System", *J. Imaging Soc. Japan*, **45**, 514-520 (2006)
 - 7) Takagi, K., G.S.P. Castle and M. Takeuchi : "Influence of Electrostatic Properties of Development Roller Surface on Charging Characteristics of Mono-Component Toner", *J. Imaging Soc. Japan*, **41**, 320-326 (2002)
 - 8) Takagi, K., G. S. P. Castle and M. Takeuchi : "Analysis of the Tribocharging and Current Generation Mechanism in an Electrophotographic Mono-Component Toner Development System", *J. Imaging Soc. Japan*, **42**, 340-347 (2003)
 - 9) Takagi, K., G. S. P. Castle and M. Takeuchi : "Tribocharging Mechanism of Mono-Component Irregular and Spherical Toners in an Electrophotographic Development System", *Powder Technol.*, **135-136**, 35-42 (2003)
 - 10) Takagi, K., M. Takeuchi and G. S. P. Castle : "The Relationship Between Toner Charging and Properties of the Development Roller for Minimizing Degradation of Imaging Density", *J. Imaging Sci. Technol.*, **48**, 312-318 (2004)
 - 11) Terao, K. and K. Shigehiro : "Non-Electrostatic Adhesive Force between Photoreceptor and Toner Particles - Effects of Toner Particle Size and Toner Surface Treatments -", *Electrophotography*, **34**, 83-88 (1995)
 - 12) Shimada, Y., L. Wang and H. Sunada : "Measurement of Adhesive Force of Toners and Evaluation of Control Effect on Adhesive Force by Surface Modification", *J. Imaging Soc. Japan*, **46**, 495-500 (2007)