帯電に着目した電子写真用現像剤の材料 および現像器構成の研究

Study on Electrophotographic Two-Component Developer and the Developing Device from Aspect of Toner Charge

伊藤 昇

Noboru Ito

In electrophotography consisting of charged toner transfer processes, the toner charge is of great importance. Toner charge of two component developer is determined by work function, toner content, charging sites density etc. These parameters are dependent on not only the toner materials and their composition but also the manufacturing condition. Charging property of each material is estimated by their chemical properties, i. e., whether they are the electron donor or the acceptor. Toner charge stability during printing is influenced by the properties of developer and mixing process as well as the stress exerting on toner in a developing device. By employing an easy simulation method, it is possible to estimate the best constitution of the device and developer in various printing speed ranges without conducting experiments.

Keywords : Electrophotography, Developer, Toner charge, Developing device, Mixing

1. はじめに

1937年 Carlson が発明した電子写真プロセスは、今や MFP (Multi-Function Peripheral, 多機能複写機) やプリンタの中核を担っており、成熟技術と言われながらも、今なお各企業が競って技術の研究開発にしのぎを削っている。それは、MFP やプリンタに替わるデバイスの商品化がまだ難しい現在、10兆円とも言われる市場は、成長はあっても縮小する気配が

Fig. 1 Schematic diagram of electrophotographic process

なく、ビジネスとして重要だからである。しかし、その基本技術は今も変わっていない点で、特異である。

Fig. 1 は、現在一般的に使われている電子写真プロセスの概略であるが、主要部分は Carlson の手書きの図と何も変わっていない。光半導体を帯電し、アナログ機のような正現像プロセスの場合は非画像部を、デジタル MFP やプリンタのような反転現像プロセスでは画像部を露光して、導電性にし、電荷をキャンセルして潜像を作成する。そこへ、帯電したトナーをクーロン力で付着させ顕像化させる (すなわち現像)。このトナー像を逆電荷で転写部材 (メディアそのもので

2005年11月4日受付

コニカミノルタビジネステクノロジーズ (株) 機器開発本部画像技術開発部

(〒442-8585 愛知県豊川市八幡町東赤土2番地)

TEL 0533-88-8156

Image Engineering Development Division, Konica Minolta Business Technologies Inc.

(2 Higashi-akatsuchi, Yawata, Toyokawa, Aichi 442-8585, Japan)

< 著者紹介 >

1978年信州大学大学院工学研究科合成化学専攻修了。ミノルタカメラ (株) 研究部に配属。1992年より開発部に異動。現在、コニカミノルタビジネステクノロジーズ (株) 機器開発本部画像技術開発部所属。

専門：電子写真用現像剤材料、電子写真用画像プロセス、現像剤挙動解析。

あったり、転写ベルトであったりする)に転写させ、最後にトナーを熱溶融し定着させる。

ここで、最重要パラメータの一つが、粉体であるトナーの帯電である。ハードメーカーもトナー供給メーカーも、電子写真プロセスの開発開始以来長年にわたり、この古くて今なお理論的なアプローチが難しい“粉体と帯電”の両者に取り組んできた。

2成分現像剤におけるトナー帯電は、トナー材料・製造条件とキャリア材料という現像剤自体と、現像剤を使いこなす現像器の混合システムと負荷とに依存する。本稿では、この両方について解説する。

2. 電子写真現像剤の帯電理論

2成分現像剤の帯電理論は、数多く提案されている。多くは、Anderson¹⁾、Shein²⁾、Nash³⁾、岸本⁴⁾らが提唱する、仕事関数差・荷電点数・混合比をパラメータにしたモデルである。詳細は文献に譲るが、いずれのモデルも、帯電量が、仕事関数差および荷電点数やこの数が依存するトナー・キャリア表面積と比例し、混合比に反比例する形となっている。他には、近藤や栗田⁵⁾が提唱しているトナー-キャリア間の帯電による電界 E_k を基にしたモデルである。本モデルにより導出される式も、荷電点数やトナー・キャリア表面積に比例し、トナー混合比に反比例している。いずれのモデルも、実験的に経験する“帯電量と混合比との反比例関係”を説明しうる。

以上のモデルは、初期的な帯電モデルである。耐刷(プリントの繰り返し)による帯電変動の研究は、あまり見られない。実際のMFPやプリンタでは、初期特性以上に重要なことは、耐刷による帯電安定性である。プリント動作では、環境変動(温度、湿度)・消費トナー量(印字面積)・連続プリント枚数・駆動時間等、現像剤帯電量に大きく影響する様々な攪乱因子がある。また、トナーを帯電させる現像器の構成にも、大きく影響される。これら多くの因子を考慮しながら、現像剤材料や製造条件の研究・現像器構成研究をしなければならない。

3. トナー材料と帯電性

3.1 トナー構成および種類

トナーは、主樹脂・着色剤・WAX(定着プロセスの離型性付与)・荷電制御剤(=CCA)からなる母粒子に、コロイダルシリカ・酸化チタン・チタン酸化合物(例えば SrTiO_3)・樹脂微粒子などが表面に処理されている。この処理剤は、1~2 μm のチタン酸化合物以

Fig. 2 SEM photography of toner surface
Scale : 1 μm

外は、30nm~100nm くらいの微粒子である。Fig. 2は、トナーの表面状態であるが、様々な粒子が処理されている。

トナーの製法は、混合・混練・粉碎・分級・後処理工程からなる、いわゆる粉碎法が主流であったが、近年、樹脂合成時にトナー組成物を導入して、重合と同時にトナーを作る手法(懸濁重合法トナー)⁶⁾、乳化重合微粒子をトナー組成物と混合し熱で会合させる手法(乳化会合法トナー)^{7, 8)}、樹脂とトナー組成物を有機溶媒に溶解後、水系溶媒中で粒子を作製し、熱で有機溶媒を揮発させる手法(溶液懸濁法トナー)^{9, 10)}など、ケミカル法が拡大しつつある。Fig. 3に、各トナーのSEM写真を示す。このケミカル法が拡大している理由は、形状制御、カプセル化による機能分離を適用した低融点化(高融点のシェルに低融点のWAXや樹脂を内包させ、耐熱性と低温定着を両立させる)、小径化や粒径分布のシャープ化など、粉碎法では困難な高機能付与が可能なことである。これらの機能は、高画質化(性能)・トナー低消費量化(コスト)や定着低エネルギー化(エコロジー)につながる。

さて、トナーの帯電は、理論的には構成される材料の仕事関数がパラメータとなるはずであるが、上述のように様々な成分から構成され、かつ、その存在状態が多様であり(内在、外在、表面露出の有無など)、また、その状態が製造条件とも密接につながっているため、各材料の仕事関数からトナー帯電量を予測する

Fig. 3 SEM photography of toner :
(a) Pulverized toner
(b) Emersion Aggregation toner
(c) Suspension polymerization toner
Scale : 10 μm

のは、極めて困難である。それよりは、材料設計は、まず電子の受容・供与により支配される化学的性質を基に大まかにを行い、その後、製造条件・詳細な組成比を微調整し、帯電性評価はトナー帯電量の直接測定を採用するほうが、開発速度の観点ではメリットがある。そして、これらのデータベースを基に、仕事関数という基本に戻って帯電メカニズムを明らかにし、理論体系を構築して、より自由にパラメータ制御できるようにするのが得策である。

3.2 材料の化学的性質と帯電性

先に述べたように、帯電は、材料の電子供与性・受容性に密接に関係している。下に、樹脂の官能基の帯電系列を示す。

電子を引き寄せる傾向のあるフッ素を含む樹脂は、強い負帯電性を示し、逆に不対電子を持ちプロトンを取り込みやすい、言い換えれば、電子を放出しやすいアミノ基は強い正帯電性を示す。実際、ニグロシン系染料や4級アンモニウム塩は、正荷電性CCAとして広く使われている。また、アミノアクリル樹脂は正荷電性トナー用樹脂である。アミノアクリル樹脂、スチレンアクリル樹脂、ポリエステル樹脂、テフロンをトナー粒径(14 μm)に粉碎し、キャリアと混合して帯電量を測定すると、最も正帯電を示すのがアミノアクリル樹脂粒子、最も負帯電となるのがテフロン粒子、ポリエステル粒子は適度な負帯電、スチレンアクリル樹脂粒子は弱負帯電である。これらの樹脂を使ったキャリアによるトナー帯電性樹脂の荷電性¹¹⁾が、そのままトナーの帯電量や極性(キャリア荷電性とは逆)を反映している。

CCAでは、付加させる官能基のハメット置換基定数と、CCA単体の帯電性を研究した例がある¹²⁾。

ハメットの置換基定数は、次のように定義される。

Fig. 4 Structure of Azo-Chromic complex CCA

安息香酸の解離定数 K_o 。および反応速度定数 k_o 。と、任意の置換基が付加した安息香酸化合物の解離定数 K_i および反応速度定数 k_i との間に下記の関係が成り立つ。

$$\log(k_i/k_o) = \sigma \log(K_i/K_o) = \sigma \rho \quad (1)$$

この $\log(K_i/K_o) = \rho$ をハメット置換基定数と称する。置換基定数は、置換基の電子吸引力を示すものであり、電子吸引力が強いほど誘起効果で負イオンが安定化し、 ρ が大きくなる。アゾ系含金属染料 (Fig. 4) に各種官能基を付加させ、置換基定数と帯電レベルとの関係を示したのが、Fig. 5 である。付加官能基の ρ が大きくなる、つまり電子吸引力が大きくなるに従い、ほぼ直線的に負帯電レベルが大きくなるのが分かる。

CCA は、帯電レベルの確保だけでなく、トナー帯電立ち上がり(飽和帯電量に達するまでの時間)を良くする目的で添加される¹³⁾。CCA が存在しない場合は、単にトナー樹脂表層とキャリア樹脂表層間の接触により授受されるわずかな電荷で帯電が進むため、帯電は接触確率依存となる。一方、CCA は、多くの電荷を供給して一度の接触でかなりの帯電をさせる、

Fig. 5 Dependence of Hammett substituent constant of pending group on charge of Azo-Chromic complex CCA

キャリアの荷電性付与でも同様のことが成り立つ。古くは、正帯電性トナー用キャリアのコート剤として、テフロンが知られている。昨今のデジタル化で、トナーは負荷電性が圧倒的に多いので、キャリアは正荷電性が求められる。Fig. 8は、コート剤の一例であ

$$\begin{array}{c} \text{[-(C(CH}_3\text{)CH}_2\text{)}_n\text{-(CH}_2\text{-CH)}_m\text{-(CH}_2\text{C(CH}_3\text{))}_l\text{]}_k \\ | \qquad \qquad \qquad | \qquad \qquad \qquad | \\ \text{C=O} \qquad \qquad \qquad \text{C}_6\text{H}_5 \qquad \qquad \qquad \text{C=O} \\ | \qquad \qquad \qquad | \qquad \qquad \qquad | \\ \text{O} \qquad \qquad \qquad \text{O} \qquad \qquad \qquad \text{O} \\ | \qquad \qquad \qquad | \qquad \qquad \qquad | \\ \text{CH}_3 \qquad \qquad \text{C}_2\text{H}_4 \qquad \qquad \text{C}_2\text{H}_4 \\ | \qquad \qquad \qquad | \qquad \qquad \qquad | \\ -\text{O(-Si-O-)}_j\text{CO-NH} \qquad \qquad \text{NH} \qquad \qquad \text{NH} \\ | \qquad \qquad \qquad | \qquad \qquad \qquad | \\ \text{CH}_3 \qquad \qquad \text{C}_2\text{H}_4 \qquad \qquad \text{C}_2\text{H}_4 \\ | \qquad \qquad \qquad | \qquad \qquad \qquad | \\ \text{O} \qquad \qquad \qquad \text{O} \qquad \qquad \qquad \text{O} \\ | \qquad \qquad \qquad | \qquad \qquad \qquad | \\ \text{C=O} \qquad \qquad \qquad \text{C=O} \qquad \qquad \qquad \text{C=O} \\ | \qquad \qquad \qquad | \qquad \qquad \qquad | \\ \text{C=CH}_2 \qquad \qquad \text{C=CH}_2 \qquad \qquad \text{C=CH}_2 \\ | \qquad \qquad \qquad | \qquad \qquad \qquad | \\ \text{CH}_3 \qquad \qquad \text{CH}_3 \qquad \qquad \text{CH}_3 \end{array}$$

$j = 1 \sim 15, l = 1 \sim 30, m = 0 \sim 90, n = 1 \sim 70,$
 $l + m + n = 100, k = 3000 \sim 30000$

Fig. 9 は、トナー帯電立ち上がり性と、表面に露出する CCA 量との関係を示したものである。縦軸は混合時間が 3 分と 81 分での帯電量比で、小さいほど帯電立ち上がり早い。表面の露出 CCA は、分散性が悪いほど大きくなるので、観測される CCA 量が多くなる。分散性が悪いほど、帯電立ち上がり速度が悪くなる。これは、CCA とキャリアとの接触確率が小さくなるためと考えられる。混練工程では、混練物へのシェリングが大きく関係し、大きいほうが顔料にか

粉体工学会誌

Fig. 10 Influence of flowing property to non-charged toner ratio in Add-Mixing

かる力が大きくなる。その一つの因子は、温度である。なるべく低温で高粘度のほうが、シェアリングが大きくなり、分散性がよくなる。もう一つは、混練部材回転数である。回転数を大きくすると、帯電性能が低下する傾向¹³⁾がある。回転速度が大きくなることで動的粘弾性と印加力との適正な関係が崩れ、混練物へのシェアリング伝達が悪くなるためと考えられている。

4. 実機での帯電挙動に対するトナー設計

実機でのトナー帯電挙動推定は、無垢のキャリアとトナーとの荷電性能だけでは、不十分である。実機では、トナー消費によりトナー混合比が低下すると、磁気センサーや光学センサーが検知してトナー補給命令を出す仕組みになっているが、その時のキャリアの状態はほぼ8～9割の被覆率でトナーがキャリアを覆っている状態であり、トナーが接触可能なキャリア表面は限られている。したがって、単純にキャリアとトナーを混合するのではなく、あるトナー混合比の現像剤に更にトナーを混合したときの帯電挙動が重要である。これをAdd-Mixingという。Fig. 10は、トナーの流動性能（かさ密度）とAdd-Mixingによる帯電性能評価結果である。帯電性能は、無電界で現像ローラを回転したときに飛散する帯電不良トナー量比率で表した。トナー流動性とAdd-Mixing性能が依存している。Fig. 11は、同様にAdd-Mixing法で作製した現像剤の実機評価結果である。縦軸は非電界部、すなわち白紙部でのトナーカブリ度合いをあらわしており、数値が大きいほどカブリが悪い。横軸はトナーのかさ密度である。実機の画像データとAdd-Mixing法によるデータは、一致している。一般に流動性の悪いトナーは、性能が悪いように思われがちであるが、キャリアとうまく接触するためには、適度な流動性に抑えて摩擦力でキャリアがトナーを捕捉する必要があることを示している。

Fig. 11 Influence of flowing property to image quality

5. 帯電から見た電子写真用現像器の設計

5.1 初期的な特性と現像器構成

2成分現像器を帯電から考えると、トナーと現像剤との混合システムが重要である。電子写真機器が上市されて以来、様々な構成が提案されてきたが、この数年は小型化の市場要求から、高速プロダクション領域を除けば、複数本（多くは2本）のスパイラルからなる極めてシンプルな構成が主流になっている。

粉体混合の様子をFig. 12に示す。縦軸は、混合比ばらつきを標準偏差で表したもので、横軸は混合時間である。このように、混合は移動⇒分割⇒拡散というプロセスを経て進む。現像器の混合部設計は、ほとんどが分割をいかに効率よく行うかに注力している。拡散は、トナーとキャリアの特性でほぼ決まるからである。キャリアとトナーの帯電性がよければ、自然と拡散が進む。

さて、粉体混合現象を表す式は、古くから粉体の種類に応じて幾つか提案されている¹⁴⁾。Fickの拡散方程式から導出される式を除けば、ほとんど簡単な微分方程式から導かれる。その中でも最もシンプルなEq. (2)を使う。あえて複雑な式を使う必要がないからで

Fig. 12 Mixing process of powder

Fig. 13 Change of toner content on some position by mixing

ある。

$$\sigma_t = \sigma_o \exp(-kt) \quad (2)$$

t : 混合時間, σ_o : 初期混合比ばらつき,
 σ_t : t での混合ばらつき, k : 混合速度定数

現像器の混合実験では、まず、キャリアを現像器に分散後、トナー供給部に所定量の異色トナーを投入し、現像器駆動時間に応じて各部の色彩を測定し、混合比に換算し、ばらつきを算出する¹⁵⁾。Fig. 13は、その測定結果の一例である。縦軸は混合比と比例関係にある現像剤の彩度 C^* である。

Fig. 14に、実験に供した現像器構成を示す。シンプルなスパイラル、スパイラルの羽根の一部を切り欠いて現像剤搬送に速度差を持たせて分割を促進する構成、スパイラルを隔てる壁の一部を除いて一部が横流れする構成の3種類である。

Fig. 15は、混合比ばらつき（標準偏差で表現）の対数 $\ln(\sigma_t)$ を、混合時間 t に対してプロットしたものである。傾斜が混合速度定数 k となる。Type Iに比較すると、Type IIIは混合が早く進んでいるのが

Fig. 14 Structures of developing devices

Fig. 15 Mixing property in Type I and III

Fig. 16 Mixing rate constance in Type I and II

分かる。Fig. 16は、Type IとType IIについて、駆動速度を変えた時の k をプロットしたものである。駆動速度が速くなると、当然ながら k は大きくなるが、構成のタイプが同じであれば一つのラインに乗る。

Type IとType IIIの帯電性能を検討したのが、Fig. 17である。混合実験と同様の方法で、現像器駆動時間に応じて各部の帯電量と混合比を測定した。混合比が変わると当然帯電量は変化するので、帯電性能を栗田のトナー-キャリア間接触電界強度 E_k で表現した⁵⁾。この値が大きいほど帯電性能がよい。混合性能の良好なType IIIの方が帯電性も良好なことが分か

Fig. 17 Change of charging property, E_k , as mixing time (E_k meaning field between toners and carrier)

Sl	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
R	1	2	3	•	•	•	k-4	k-3	k-2	k-1	k	•
	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	↑	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	↓
	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←
F	•	•	•	n+1	n	n-1	n-2	n-3	n-4	•	•	•
Sl	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓

Sl sleeve (developing roller)

→ direction of developer stream

a, b, c, d, e degree of dispersal from cell n to cell n-1, n-2, ... n-5, respectively

n-1 neighbour cell of upper stream from cell n

$$\text{Volume of carrier } RC_n(t) = a \times RC_n(t-1) + b \times RC_{n-1}(t-0) \\ + c \times RC_{n-2}(t-1) + d \times RC_{n-3}(t-1) + e \times RC_{n-4}(t-1)$$

$$\text{Volume of toner } RT_n(t) = a \times RT_n(t-1) + b \times RT_{n-1}(t-1) \\ + c \times RT_{n-2}(t-1) + d \times RT_{n-3}(t-1) + e \times RT_{n-4}(t-1)$$

$$\text{Toner content } RTC_n(t) = RT_n(t) / (RT_n(t) + RC_n(t)) \times 100 (\%)$$

Fig. 18 Simulation of developer mixing

Fig. 19 Degree of toner dispersal

る。すなわち、いかに混合性能を上げるかが帯電性能を左右すると言える。

この挙動は、簡単なシミュレーションが可能である。

まず、Fig. 18 に示すように、現像器を適当な大きさのセルに分割する。各セルには一定量のキャリアが存在する。このセルの最上流に所望の混合比となるようにトナーを存在させる。駆動と同時に、一定時間にセル間を移動する現像剤量を決め（実験から求めてもよい）。下流側各セルへのトナー移動は、Fig. 19

Fig. 20 Change of σ_t to mixing time

のような分布を持つものとする。縦軸は、トナー移動量割合である。一定駆動時間ごとにおける各セルでのトナー混合比を逐次計算して、トナー混合挙動を求める。Type I の現像器のように単純に移動する場合と、Type III のように一部隔壁を無くして横流れする場合の計算結果を Fig. 20 に示す。ほぼ実験結果を再現している。

マシン速度に応じて、各セルの移動量、移動方向、トナー移動を様々に変えて最適条件を求めれば、その条件を達成するための構成を推定することができる。

5.2 プリントに伴う帯電性能変化

初期的な帯電性に加え、プリントに伴う帯電安定性が重要なことは先に述べた。通常、プリントに伴い帯電量は小さくなるが、これは、トナー成分、特に CCA がキャリアに移行してキャリアとトナーとの仕事関数差が小さくなることによる¹³⁾。

これを防ぐには、以下のように幾つかの手立てがある。

- 1) キャリアの表面エネルギーを小さくして、異物の

Fig. 21 Developing device for tandem system

付着を抑える

- 2) トナーの CCA 分散性を上げて、移行を抑制する
- 3) CCA が移行しても帯電低下が起りにくくする
- 4) 現像器中での現像剤への機械的ストレスを小さくして、トナーとキャリアの過剰な接触負荷を抑える。

1) ~ 3) は現像剤の組成・製造条件からのアプローチである。例えば、1) の場合だと、シリコン樹脂やフッ素樹脂を、キャリアのコート剤として使用する。昨今のデジタル機用現像剤は、負帯電性トナーが圧倒的に多いので、負帯電性のフッ素樹脂ではなくシリコン樹脂を使う例が多い。2) は前項で述べた通りである。3) はキャリア構成を変えることにより可能となるが、これは本誌の別の論文に詳細が述べられている。4) の現像器からのアプローチでは、現像剤攪拌や規制によるストレスをいかに小さくするかに腐心している。先に述べたように、混合部は単純なスパイラルのペアからなっている例が圧倒的に多いが、この

構成は負荷軽減の点でも優れている。規制部でのストレス低減は、まず規制位置である。Fig. 21 は、A 社タンデム型システムに使われている現像器である。下位置に規制部が設けられている。下位置にあることで、規制部への過剰な現像剤溜りが抑えられ、ストレスが低減される。ローラの回転トルクで示すと、上位位置に比べ半分くらいになる。また、現像プロセスでは、現像ローラから現像後の現像剤を脱離させる必要があるが、本システムでは反発磁界と重力により自然脱離するように設計されている。

規制部での磁気的力を受けにくくするには、キャリアの磁化低減も効果がある。本現像システムに使われているキャリアは、通常のフェライトコートキャリアではなく、樹脂中に磁性粉を分散したコアに樹脂コートされた構造となっている。コアは、懸濁重合トナーと同じように、磁性粉をモノマーに分散して重合して作製する。樹脂が含まれることで、その磁化は、通常のフェライトに比べ2/3~半分程度のため、規制部での現像剤磁気凝集が抑えられ、ストレスが緩和される。このような工夫が、キャリアの長寿命化につながる。

6. 最後 に

電子写真用現像剤の帯電設計は、理論が実際の材料へのフィードバックが進まないままに、各社で材料研究や評価法開発が進められ、経験則や膨大なデータベースが出来上がっている。今後は、これらを整理して、理論的な解析を進めることで、より汎用的な粉体帯電理論構築につながると考える。

Nomenclature

K_o, K_i : equilibrium constant of Benzoic acid and its derivatives, respectively	(-)	ρ : Hammett substituent constant	(-)
k : mixing rate constant	(s ⁻¹)	σ : proportion constant	(-)
k_o, k_i : reaction rate constant of Benzoic acid and its derivatives, respectively	(s ⁻¹)	σ_o : standard deviation of toner content at time 0	(wt %)
t : mixing time	(s)	σ_t : standard deviation of toner content at time t	(wt %)

References

- 1) Anderson, J.H. et al.: "A Comparison of Experimental Data and Model Prediction for Tribocharging of Two-Component Electrophotographic Developer", Recent Progress in Toner Technology, pp. 189-194, Soc. Image Sci. Tech., USA (1997)
- 2) Schein, L. B.: "Theory of Toner Charging", *J. Image Sci. Tech.*, **37**, 1-4 (1994)
- 3) Nash, R.: "Toner Charge Instability", Recent Progress in Toner Technology, pp. 169-180, Soc. Image Sci. Tech., USA (1997)
- 4) Kishimoto, T.: "Charge Model Comparison for the Concentration Dependency of Toner Charge", *Japan Hardcopy '95*, 59-62 (1995)
- 5) Kurita, T.: "The Contact Electrostatic Field between

- Powder Particles and Plain Surfaces", *Electrophotography*, **27**, 147-153 (1998)
- 6) Uchiyama, M.: "Canon no Kemikaru Tonâ", Chemical Toner ni kansuru Kenkyûkai, pp. 56-60, Imag. Soc. Jpn. (2003)
 - 7) Ishiyama, T.: "EA Toner", Chemical Toner ni kansuru Kenkyûkai, pp. 61-67, Imag. Soc. Jpn. (2003)
 - 8) Koyama, M.: "Konica Minolta Digital Toner", Chemical Toner ni kansuru Kenkyûkai, pp. 68-77, Imag. Soc. Jpn. (2003)
 - 9) Choi, E.-J. et al.: "Properties and Printer Performance of Wax-containing Polyester Toners Prepared by Chemical Milling", *IS&T's NIP* **18**, 270-273 (2002)
 - 10) Minamitani, T.: "Ricoh Jûgo Tonâ no Tokuchou", Chemical Toner ni kansuru Kenkyûkai, pp. 78-85, Imag. Soc. Jpn. (2003)
 - 11) Ito, N.: "Denshishashingenzouzai no Taiden", Preprint of autumn meeting, Soc. of Powder Technol. Japan, pp. 109-110, Makuhari (2004)
 - 12) Anzai, T.: "Taiden Seigyozai no Sayou", Seidenki to Imejingu", Denshi Shashin Gakkai・Seidenki Gakkai Jointo Seminâ, pp. 35-45 (1990)
 - 13) Ito, N.: "Taiden kara mita Denshishashinyou Gennzouzai no Sosei oyobi Gennzoukikousei no Kenkyû", Preprints of 41th Summer Symposium, Soc. of Powder Technol., Japan, pp. 19-22, Kyoto (2005)
 - 14) Yano, T.: "Kongou Kon-neri Gijutsu", 252 + vi Nikkan Kôgyô Shinbunsha (1980)
 - 15) Ito, N. et al.: "Mixing Property on Development Device of Electrophotography and Relation with Construction of the Mixing Part", Proceedings of Japan Hardcopy '00 Fall Meeting, pp. 32-35 (2000)