

# トナー付着力と電界飛翔性の粒径依存性

The Size Dependence of Toner Adhesion Force and Field Detachment Properties

伊藤 昇\*  
Ito Noboru

平山 順哉\*\*  
Hirayama Junya

前山 健志\*\*  
Maeyama Takeshi

福田 洋幸\*\*\*  
Fukuda Hiroyuki

## 要旨

高画質を達成する小径トナーの付着力を正確に測定することはトナーおよびEPプロセスを設計する上で極めて重要である。

本研究において、トナーへ振動を与えトナー分離時の振動エネルギーから付着力を計測する方法を提案し、その測定から導出される真空誘電率の値と既知値とを比較し本測定法の妥当性を確認した。またトナー付着量の粒径依存性およびクーロン力と物理的な力とを個別に推定できることから、各粒径におけるトナー条件およびEPプロセス条件が提示できた。

## Abstract

Accurate measurement of adhesive force is very important to the design of an electrophotographic printing (EP) process, especially when using small-sized toner particles for high image quality. A method of accurately measuring the adhesive force of toner is proposed which validates a comparison of obtained values of the dielectric constant in a vacuum with known values. In this method, the toner is vibrated, and measurement of adhesive force is derived from the vibration energy required to separate the toner from an electrode. Electrical force and physical force can be obtained independently. As a result, the necessary conditions of the toner and of the EP process for a given toner particle size can be ascertained.

## 1 はじめに

近年、電子写真装置はカラー化の一途を辿り、カラーMFPおよびプリンタ製品量はほぼリニアに増加している。このため高画像品質への要求は厳しくなり、もはや高画質は前提として商品企画がなされている。

この高画質に伴いトナーも小粒径化が顕著で、 $6\mu\text{m}$ を切る製品も上市されている。しかし、小粒径トナーは、非静電気が支配的と言われており、電界でのコン

トロールが困難であると予測されている。<sup>(1)(2)</sup> このことは、トナーを電界で移動させ画像を形成する電子写真装置において、現像およびトナー条件設定が難しくなることを意味している。これを打開するためには付着力の正確な測定法を確立することが不可欠である。今までにも幾つか検討されてはいるが、結果が一致せずまたその妥当性についても明確になっていない。

我々は、振動離脱力から付着力を測定する付着力測定装置<sup>(3)</sup>を開発しその結果の妥当性を検証するとともに、付着力のトナー粒径依存性と帯電量依存性を調べ、小径化した場合にEPプロセスに要求される条件の定量的把握と課題抽出を行ったのでその結果を報告する。

## 2 実験方法

### 2.1 実験装置

付着力測定装置の原理図をFig. 1に示す。

トナーを付着させた試料電極①を圧電振動子②に装着する。捕集電極③と試料電極間には弱い電界を印加する。振動子を振動し、トナーに振動加速度を与える。

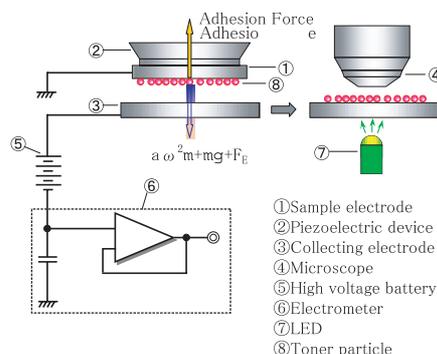


Fig.1 Scheme of apparatus

ここで振動振幅を  $a$ 、振動周波数を  $\omega$  ( $\omega = 2\pi f$ )、トナーの質量を  $m$ 、重力加速度を  $g$ 、捕集電極と試料電極間の電界で作用する電気力を  $F_E$  とすると、トナーに働く離脱力は、 $a\omega^2 m + F_E + mg$  となる。

ここで、重力  $mg$  は付着力に対して十分に小さく、また  $F_E$  は無視できるレベル ( $10^{-9}$  N 以下) になるように電界を設定した。トナーの付着力を  $F_{adh}$  とすると、

$$a\omega^2 m > F_{adh} \quad \dots\dots\dots (1)$$

\* 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 機器第2開発センター 機器第23開発部  
\*\* コニカミノルタテクノロジーセンター(株)  
システム技術研究所 プリント技術開発室  
\*\*\* 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 機器第3開発センター 機器第32開発部

(1)式が成立するときにはトナーは離脱し、電界に導かれ、捕集電極に付着する。(1)式から、振幅  $a$  とトナー質量  $m$  がわかれば付着力を測定することが出来る。

振幅  $a$  は非接触変位計により測定した。トナー質量  $m$  は、捕集電極を顕微鏡④へ移動させ、CCDカメラを経てコンピュータに取り込み粒子径から計算した。

実際の測定では、低振幅から高振幅まで、数十ステップの振幅を与えた。各ステップ毎に飛翔した個々のトナー粒子の質量を算出し集計した。あるステップの振幅  $a_i$  で飛翔したトナーの付着力  $F_{adh}$  は、1つ前の振幅を  $a_{i-1}$  とすると、

$$a_{i-1}\omega^2 m < F_{adh} < a_i\omega^2 m \quad \dots\dots\dots (2)$$

(2)式が成立する。ここで1つ前の振幅から計算される付着力と離脱した時の振幅から計算される付着力の平均値をトナーの付着力とした。以上の操作により、全粒子の付着力を計算し、付着力分布および平均付着力を得た。

試料電極に付着させたトナーの帯電量については、飛翔したトナー電荷量をエレクトロメータ⑦でモニターすることにより測定した。

本装置の全体構成をFig. 2に示す。試料電極と対向電極および顕微鏡、CCDカメラを備えた測定部本体①、振動電極を駆動する高速増幅器②とファンクションジェネレータ③、振幅を測定する非接触変位計④、装置全体の制御と画像処理、付着力計算をするコンピュータ⑤、捕集バイアス用電源⑥、トナー電荷を測定するエレクトロメータ⑦で構成した。

## 2. 2 測定試料

試料としては、ポリエステル系レジン、顔料、ワックスからなる粉砕法でつくられた粒径の異なる4種類のトナーを使用した。外添材には、1次粒径13nmの疎水性シリカを使用した。外添材量は、それぞれのトナーの表面積から、被覆率が同等となるように決定した。

また、付着させる試料電極はTi合金で出来ており、付着表面は鏡面加工を施した。

## 2. 3 試料台トナーの付着方法

トナーを試料電極に付着させるにあたっては、キャリアと混合した2成分現像剤を作成し、Fig. 3に示すプレート現像装置を使用した。

リニアール上を移動するステージに載せた試料電極に対し、1層で付着するように磁気ブラシ現像を行いトナーを付着させた。

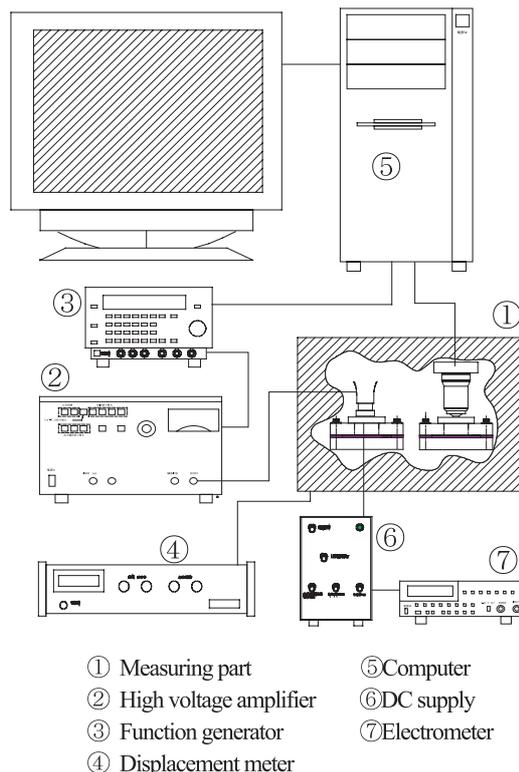


Fig.2 Schematic Diagram of Apparatus for Measuring Adhesion force

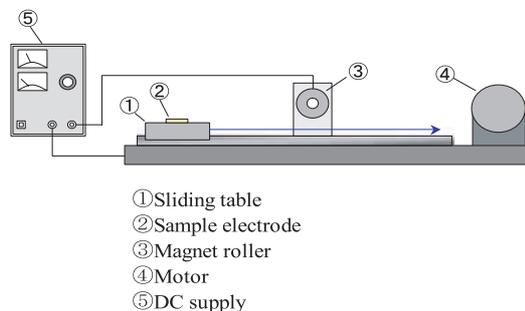


Fig.3 Experimental apparatus for development

また、各サンプルの帯電量は、キャリアとの混合比を変えることにより、3水準変化させた。

## 3 実験結果

各トナー試料の平均付着力の帯電量依存性をFig. 4に示す。各トナー粒子の半径は本装置で画像処理を行い得た平均粒子半径である。横軸は本装置で求めた  $Q/M$  (平均帯電量) の2乗である。

付着力が、 $(Q/M)^2$  に対して直線的に変化する事と、 $Q/M$  が零でも非静電気力のため付着力が零にならない事を確認した。

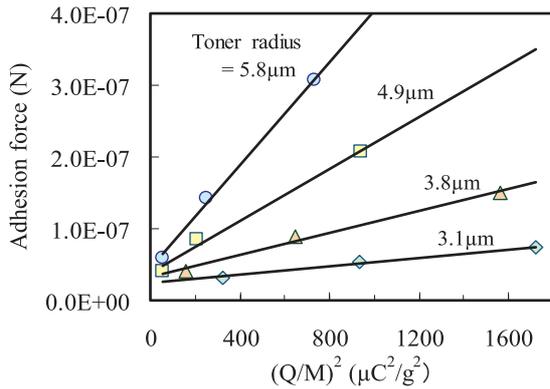


Fig.4 Dependence of the average adhesion force on the square of charge to mass ratio

## 4 考察

### 4.1 粒径と電界による飛翔性についての考察

トナーと試料電極間の静電気力は一般に(3)式で表せる。

$$F_e = K_e \cdot \frac{q^2}{r^2} \quad \dots\dots\dots (3)$$

q : 粒子の電荷量、r : 粒子半径、K<sub>e</sub> : 比例定数。

ここで、トナーの表面電荷密度をσとおくと、

$$q = 4\pi r^2 \sigma$$

であるから、(3)式は、

$$F_e = K_e \cdot 16\pi^2 r^2 \sigma^2 \quad \dots\dots\dots (4)$$

と表すことができる。

先の実験結果について、Q/Mを表面電荷密度σで表し、横軸をr<sup>2</sup>σ<sup>2</sup>、縦軸を非静電気力 (Fig. 4の切片)を差し引いた静電気力でプロットし直した。これをFig. 5に示す。

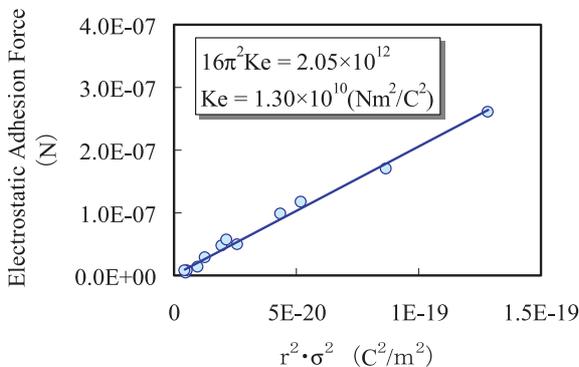


Fig.5 Relationship between the electrostatic adhesion force and r<sup>2</sup>σ<sup>2</sup>

静電気力は、(4)式に従い、r<sup>2</sup>σ<sup>2</sup>に比例することがわかる。

次に、非静電気力のトナー半径依存をFig. 6に示す。非静電気力F<sub>v</sub>は(5)式で表せることが確認できる。

$$F_v = K_v \cdot r \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここで、K<sub>v</sub>は比例定数である。

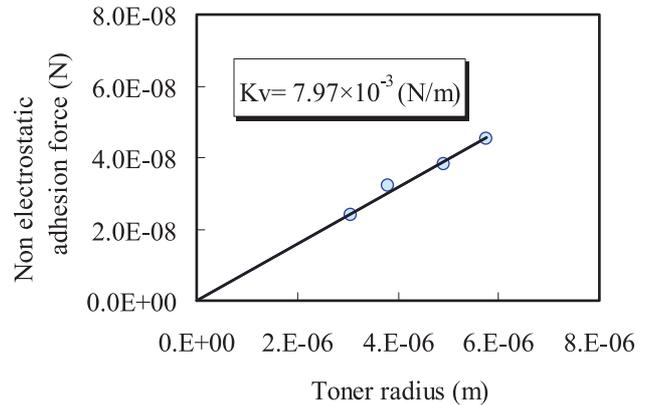


Fig.6 Relationship between the non electrostatic adhesion force and the toner radius

以上の結果から試料電極とトナーの付着力F<sub>ad</sub>は(6)式で表せることがわかった。

$$F_{ad} = K_e \cdot 16\pi^2 r^2 \sigma^2 + K_v \cdot r \quad \dots\dots\dots (6)$$

次に試料電極上のトナーをDC電界で離脱させる条件について考察する。

qの電荷量を持つトナー粒子を電界強度Eで離脱させるには、

$$K_e \cdot 16\pi^2 r^2 \sigma^2 + K_v \cdot r < qE \quad \dots\dots\dots (7)$$

が成立すればよい。q = 4πr<sup>2</sup>σであることから(8)式を得る。

$$K_e \cdot 4\pi\sigma + \frac{K_v}{4\pi r\sigma} < E \quad \dots\dots\dots (8)$$

これより、粒子半径r、表面電荷密度σのトナーを試料電極から離脱させるための電界強度との関係が求まり、数値計算した結果をFig. 7に示した。

Fig. 7の各曲線の上部領域が各トナーでの飛翔可能領域である。また、曲線の極小値は各トナーが飛翔する為の最適表面電荷密度、最低電界強度を表しており、粒子半径との関係式は次のようになる。

$$\sigma = 6.2 \times 10^{-8} \times r^{-1/2} \quad (\text{C/m}^2)$$

$$E = 2.0 \times 10^4 \times r^{-1/2} \quad (\text{V/m})$$

これよりトナーと試料電極間の非静電気力のトナー半径に対する比例定数 $K_v$ を変化させずに、トナー半径を $4\mu\text{m}$ から $2\mu\text{m}$ にすると、最適表面電荷密度および最低電界強度が、それぞれ1.4倍となる。また粒子半径 $2\mu\text{m}$ のときの表面電荷密度は $4.4 \times 10^{-5} \text{C/m}^2$ 、最低電界強度は $1.4 \times 10^7 \text{V/m}$ 以上必要であることを意味している。

しかし、トナー半径を $4\mu\text{m}$ から $2\mu\text{m}$ にするにあたり、トナーと部材表面に改良を加え $K_v$ を $1/2$ に下げた場合、(8)式左辺第2項の $K_v/r$ の値が変化しないことから、最適表面電荷密度と最低電界強度を変えなくてもトナーを飛翔させることが出来る。つまり、トナーと部材間に働く相互作用を解析し、 $K_v$ を制御することも今後の課題である。

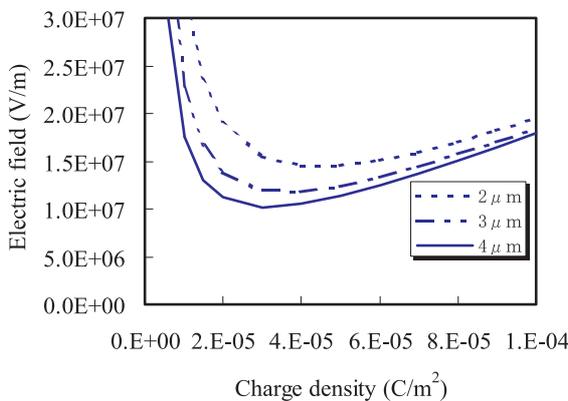


Fig.7 Relationship between the electrical field and the charge density

#### 4. 2 本測定装置から得られる真空誘電率の評価と本測定法の妥当性

以下の付着力式(6)において

$$F_{ad} = K_{ne}r + 16\pi^2 K_{ne}r^2 \sigma^2 \quad \dots\dots\dots (6)$$

定数 $K_{ne}$ は

$$K_e = 1 / (4 \epsilon) \quad \dots\dots\dots (9)$$

ここで  $\epsilon = 4\pi\epsilon_0$

実験値 $K_e = 1.3 \times 10^{10}$ より真空の誘電率 $\epsilon_0$ は、 $\epsilon_0 = 0.16 \times 10^{-11}$ と算出される。既知の誘電率は、 $0.88 \times 10^{-11}$ である。オーダーレベルでは合致しており、誘電率の測定値としては十分な精度と考えられ、本測定法が妥当であることを裏付けている。

## 5 まとめ

振動離脱法による付着力測定装置を使用し、試料電極(金属板)とトナーの付着力の粒径依存性を調べた。こ

の結果から得られる値が妥当であることを最後に示すとともに、トナーを小径化した場合に、DC電界で基板からトナーを飛翔させるための条件を定量化することが出来た。

以上のことから、トナー粒径を $r\mu\text{m}$ から $r'\mu\text{m}$ に小径化する場合のEPプロセスの課題について以下の視点での知見を得た。

- (1) 非静電気力のトナー半径に対する比例定数 $K_v$ を $r'/r$ 倍に低減させる部材およびトナーの表面改質。
- (2) 強度を $(r/r')^{1/2}$ 倍を可能とする高電界制御技術。
- (3) 表面電荷密度が $(r/r')^{1/2}$ 倍のトナーの荷電設計。

今後は、トナーを付着させる部材に感光体材料や現像ローラー材料を使い、実機の現像システムに近い手法でより精密な測定と現像特性との関係を明確にする。またトナーの粒径や帯電量は実際には分布を持っており、この関数を繰り返した解析を進める。

## 6 Acknowledgement

We wish to express our deep gratitude to Dr. Inan CHEN, Webster for his invaluable cooperation.

### ●参考文献

- 1) 増田弘明、電子写真学会誌、36、169 (1997)
- 2) 寺尾和男、重廣清、電子写真学会誌、34、83 (1995)
- 3) 平山順哉、和田実、蛭子修、Japan Hardcopy '97 Fall Meeting 論文集、45 (1997)
- 4) 平山順哉、長尾大典、蛭子修、Japan Hardcopy 2001 Fall Meeting 論文集、100 (2001)
- 5) J. Hirayama, T. Nagao, O. Ebisu, H. Fukuda, and I. Chen, J. Imag. Sci. Tech., 47, 9 (2003)