

モノクロデジタル機用重合トナーの開発

The Development of Emulsion-Polymerized Toners for Monochrome Digital Copiers

小 林 義 彰*
Kobayashi, Yoshiaki

西 森 芳 樹*
Nishimori, Yoshiki

磯 部 和 也*
Isobe, Kazuya

田 所 肇*
Tadokoro, Hajime

"Digital Toner 2000" was developed to achieve higher image quality by adopting a production method employing emulsion polymerization and coagulation. The properties of such a toner, however, differ greatly from pulverized toners, which presented a challenge to design. We met that challenge by focusing on the unique properties of the new toner and by applying the Taguchi Method. The result was a series of toners and developers for monochrome digital copiers (Sitios 7022, 7130, 7035, 7135, 7155, 7165, and 7085) whose toners share the same core particles.

1 はじめに

近年、電子写真方式の複写機は、デジタル化、複合化が進み、オンデマンド印刷、軽印刷などの新たな市場を開拓しつつある。この流れに伴い、高画質化への要求がこれまで以上に増大し、画素再現性向上を目的としたトナーの小径化が進んでいる。従来、トナーの製造方法としては粉碎法が主流であった。しかしながら、粉碎法ではトナーを小径化するほど製造コストが上昇し、製造に伴う環境負荷も大きくなる¹⁾。これに対して、重合法は粒径の影響を受けないことから注目されつつあるが、今だ主力製品にて上市されていないのが現状である。

このような状況を鑑み、いち早く Digital Toner 2000 として、重合トナーの検討を開始した。結果、低速機から高速機までトナーの基本構成を統一化した処方完成させ、全セグメントの商品群 (Sitios7022、7130、7035、7135、7155、7165、7085用現像剤) に展開することができたのでここに報告する。

2 重合トナー開発の課題

トナー及び現像剤の構成を Fig. 1、2 に示す。トナーは、定着温度以下で熔融するワックスと着色剤を内部に含有し、表面には電帯制御及び搬送性改善を目的に無機微粒子を付着させたポリマー粒子である。マシン中では、帯電制御機能、搬送機能を有する樹脂コート磁性粒子 (キャリア) とともに現像剤として使用される。

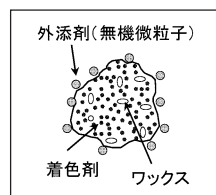


Fig.1 トナー断面

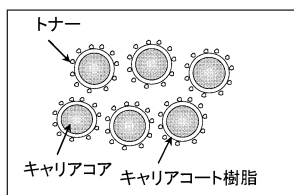


Fig.2 現像剤構成

黒トナーの着色剤は一般にカーボンブラックが用いられるが、1次粒子径が小さいため、粒子間凝集が生じ、分散不良を起こしやすい。分散不良は、トナーの黒化度を低下させ画像濃度を悪化させるだけでなく、トナー粒子毎の電荷発生能力にばらつきを生じさせ、画素再現性の低下、トナー飛散による機内の汚染の原因にもなる。粉碎法では、各成分を熔融し、混合シエアをかけることにより良好な分散状態を確保していた。しかしながら、重合法では粉碎トナーのような熔融混合方式をとることができないため、分散技術の確立が大きな課題であった。この課題を解決すべく、製造方法の設計を進めた。

更に、重合トナーを製品化するには、現像剤としてマシンに適合させていく必要がある。ここで、重要となるのが、重合トナーに適した外添剤及びキャリアの設計である。現像剤の耐久性はキャリア表面の帯電性能の劣化で決まり、帯電性能の劣化は、キャリア表面の汚染及び樹脂コート層の摩耗で生じる。粉碎トナーでは、微粉トナーによるキャリア汚染が主原因であった。しかしながら、重合トナーは粒度分布がシャープなため、粉碎トナーで見られる様なキャリア汚染はほとんどなく、変わって、従来、汚染の原因として注目されていなかった外添剤による汚染が寿命を決めることがわかってきた。この課題に対して、タグチメソッドを用いて外添剤処方設計を進めた。また、トナーを小径化すると、単位重量当たりの保持電荷が増大するため、現像されるトナー量が減少し、画像濃度が低下してしまう。保持電荷を下げることで現像トナー量を増加させることはできるが、トナー飛散という新たな問題が生じる。この課題に対して、保持電荷を確保しつつ現像トナー量を増加させる方法としてキャリアの設計を試みた。

3 トナー設計

3. 1 重合トナー製造スキーム

重合トナーの製造スキームは、以下に示すとおり、6つの工程からなる (Fig. 3)。

* OD カンパニー サプライ開発統括部 第2開発センター

- 着色剤分散工程 界面活性剤水溶液に着色剤を分散させる。
- 重合工程 モノマーからマイクロポリマー粒子を合成する。
- 会合工程 ミクロポリマー粒子と着色剤を凝集させたのち、熱融合させる。
- 洗浄工程 表面不純物を洗い流す。
- 乾燥工程 表面及び内部に取り込まれた水分を蒸発させ、乾燥粉体にする。
- 外添工程 外添剤を表面に付着させる。

即ち、着色剤の分散については、会合工程を如何に設計するかがポイントとなる。

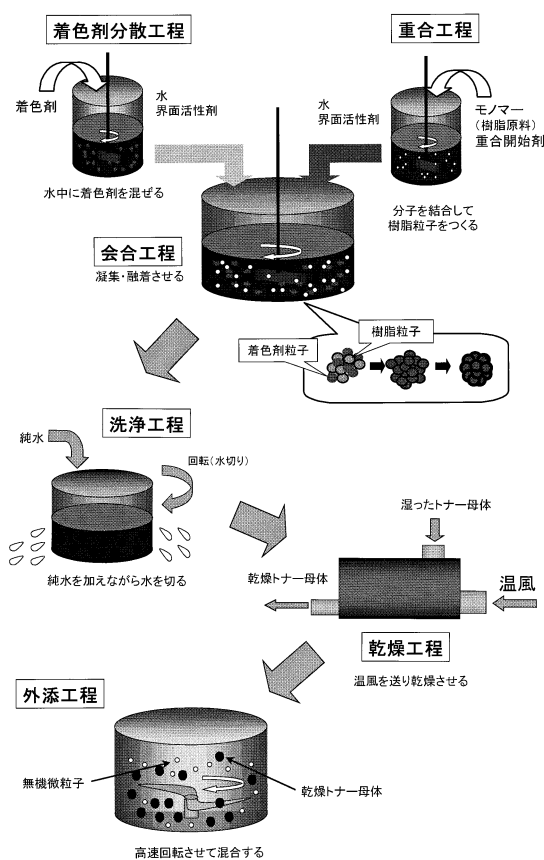


Fig.3 重合トナー製造スキーム

3. 2 会合設計

会合工程は、化学的引力のバランスを調整し着色剤とマイクロポリマー粒子を凝集させ、加熱融合させることでトナーの基本骨格を作る工程である。カーボンブラックの分散性を良好な状態にするには、この凝集力バランスを適正化することが重要となる。しかしながら、凝集力を左右する因子は非常に多く、見極めが困難なため、タグチメソッドを用いることで最適化を図った。Fig. 4 に結果を示す。

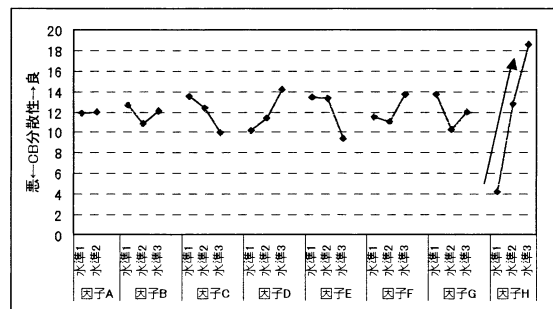


Fig.4 CB分散のSN比

因子Hは会合時に行う条件調整因子であるが、これが大きく着色剤の分散を左右することがわかった。この結果より、条件変更を行い、着色剤分散の改善レベルを確認した。Fig. 5、6 に改善前後のトナー断面を示す。著しい改善が確認された。Table 1 は条件変更前後でのトナーの黒化度の差、Fig. 7 はトナー毎の電荷発生能力のばらつきを示す帯電量分布である。トナーの黒化度は、粘着テープ上に一定量のトナー粉体の層を形成させ、その透過濃度を測定している。黒化度も向上し帯電量分布もシャープになり均一性が向上していることがわかる。

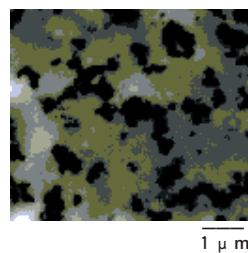


Fig.5 条件変更前

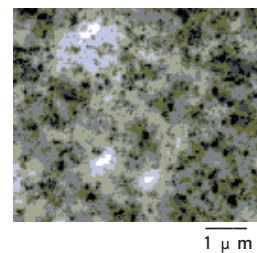


Fig.6 条件変更後

Table1 黒化度の比較

トナー	黒化度(透過濃度)
条件変更前	1.63
条件変更後	2.03
粉碎トナー	1.99

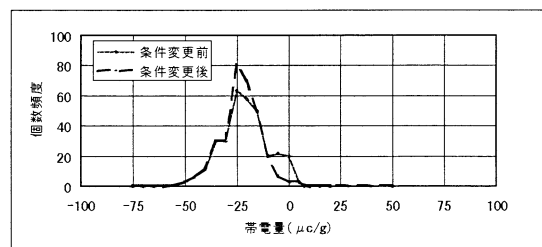


Fig.7 帯電量分布

3. 3 外添剤設計

トナー表面に付与されている外添剤は、目的機能によって数種添加されているため、ここでもタグチメソッドを活用し、開発の効率化を図った。機能性評価は、冒頭でも述べた様に外添剤によるキャリア汚染を考慮に入れて進めた。具体的には、環境差と混合強度とキャリア劣化（外添剤汚染）を誤差にとり評価した。結果をFig. 8に示す。因子C、E、Fは大きく影響していることがわかった。この結果より、○印の最適条件を選択し、実写性能を確認した。Fig. 9に外添剤汚染量、Fig. 10に帯電量変化を示した。外添剤汚染量が大幅に減少し、帯電性の安定化を図ることができた。更にわれわれは、上記因子で取り上げられなかった製造条件等についても取り入れた第2回目のパラメータ設計を行い、100万コピーの使用に耐える現像剤のベース処方を完成させた。

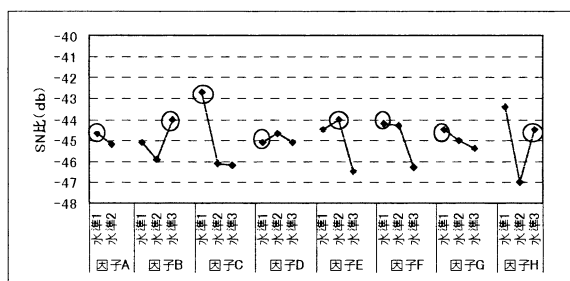


Fig.8 要因効果図

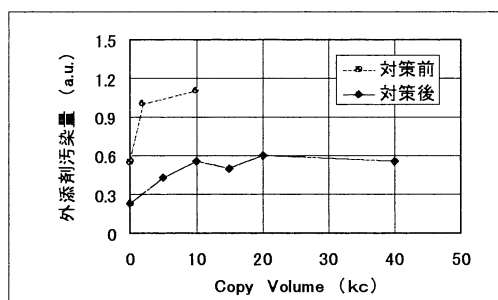


Fig.9 外添剤汚染量

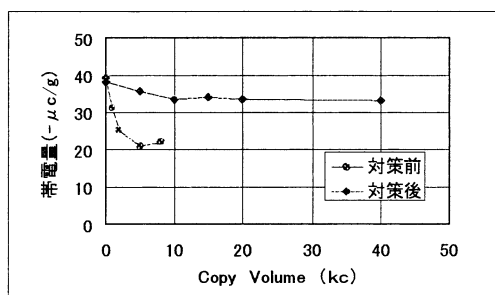


Fig.10 帯電量の経時変化

4 キャリア設計

Fig.11に現像部の模式図を、式1に現像トナー量を決める因子を示した。

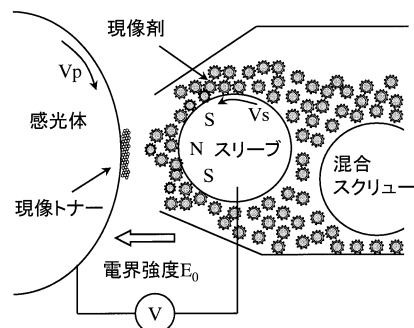


Fig.11 現像部模式図

$$M/A = (\pi/2) \cdot \epsilon_0 E_0 \left| V_s/V_p \right| / (Q/M)^2 \quad (式1)$$

M/A : 単位面当たりの現像トナー量

ϵ_0 : 真空の誘電率

E_0 : 現像部にかかる電界強度

V_s/V_p : 感光体と現像スリーブの線速比

Q/M : トナーの帯電量 (coulomb/mass)

ただし、式1にはトナーが現像されることにより生じる逆電界の項は含まれていない。また、 V_s/V_p はトナーの現像部に送り込まれるトナー量をあらわす指標である。この式より、現像トナー量は、送り込まれるトナー量と現像部の電界強度に比例しトナーの帯電量に反比例することがわかる。一方、トナーの帯電量は、その表面の電荷生成能力を一定と考えると、式2で表される。

$$Q/M = 4\pi r^2 \sigma / (4/3) \pi r^3 \rho = \sigma / 3r\rho \quad (式2)$$

r : トナーの半径

σ : トナーの表面電荷密度

ρ : トナーの比重

粒径を小さくすると反比例して帯電量が高くなり、式1より現像トナー量は減少する。同一現像量を得るにはほぼ同一の帯電量が必要なため、表面の電荷生成能力をあらわす表面電荷密度 σ をrに比例して小さくする必要がある。一方、機内汚染の原因となるトナー飛散は、トナーキャリア間の電荷による束縛力と現像部への供給スピードによる遠心力との大小関係で決定される(式3)。

$$F = (a/4\pi\epsilon_0) \cdot (q^2/r^2) - m V_s \omega > 0 \quad (式3)$$

a : トナーの誘電率等で決まる定数

V_s : スリーブ線速度

ω : スリーブ回転角速度

ここに、 $q = 4\pi r^2\sigma$ 、 $m = (4/3)\pi r^3\rho$ を代入すると、式4になる。

$$(a/\varepsilon_0) \cdot \sigma^2 - (r/3) \cdot V_s \omega \rho > 0 \quad (\text{式4})$$

現像トナー量を確保するため r に比例して σ を小さくした場合、式4では σ は2乗で効いてくるため、トナー飛散は厳しくなることがわかる。そこで、われわれは、式1において電界強度 E_0 を高める方法としてキャリアの設計を行った。**Fig.12**に現像部のコンデンサーモデル図を示した。この図の中の電界強度 E_0 は式5で与えられる。

$$E_0 = \varepsilon V / (\varepsilon d_2 + \varepsilon_0 d_1) \quad (\text{式5})$$

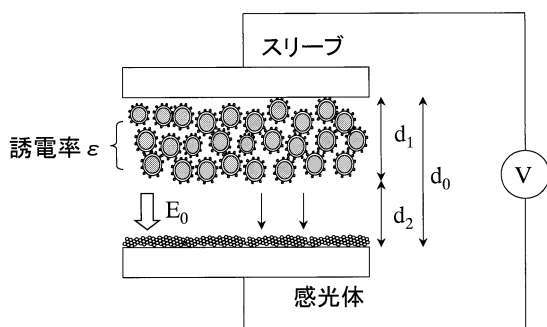


Fig.12 現像部モデル図

式5より、現像剤層の誘電率を大きくすることにより電界強度 E_0 を大きくすることができる。 ε を大きくする方法として高誘電率のキャリアコアを使用する、コート樹脂層に高誘電率材料を導入する方法等が考えられたが、より効果的な方法としてコート樹脂表面層に高誘電率材料を導入する方法を選択した。現像部では現像剤が絶えず移動しているため、表面抵抗を下げて流れ込み電流を発生させることが、最も効果的であるためである。**Fig.13**に効果を示す。約1.5倍の現像トナー量を得ることができ、トナー小径化による減少分を補うことができた。

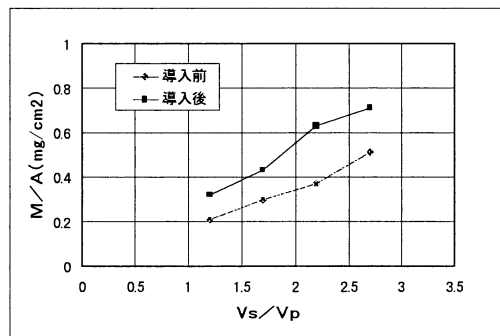


Fig.13 高誘電率材料導入による現像トナー量変化

5 到達性能

Fig.14、15は、低速、高速機を用いた実写テストの結果を示す。帯電量は安定性を示す基本指標である。いずれもライフを通して安定していることがわかる。

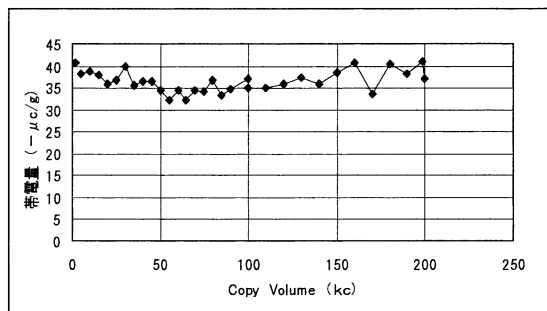


Fig.14 低速機帯電量推移

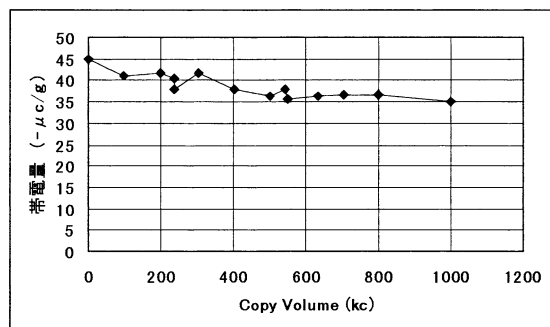


Fig.15 高速機帯電量推移

6 結び

電子写真方式のデジタル複合機の市場拡大に伴い、現像剤も新たな needs に答える技術を開発していく必要がある。そのスタートとしてわれわれは重合トナーの技術開発を進め、モノクロデジタル各機種に合せた現像剤処方を完成させた。カラートナーの製品化も進みつつある。しかしながら、重合トナーは緒についたところであり、より確実なものにするには、様々なシステムへ適用できる技術のラインナップの完成が今後の課題であろう。

●参考文献

- 1) 大柴知美、他、Konica Technical Report Vol.13(2000)
- 2) L.B.Shein, Photogr.Sci.Eng.,19(5),255(1975)