1成分現像におけるトナー状態安定化技術

Toner State Stabilization Technology in Mono-Component Developing System

後藤 浩 * Gotou, Hiroshi

村内 淳二* Murauchi, Junji

要旨

1成分現像システムでは、耐刷に伴うトナーの状態変 化によって、画像品質が低下していく課題がある。この 課題を対策することを目的として、トナーの現像器内に おける移動・蓄積に着目した解析を行った。まず、ト ナーの粒径選別や劣化を生じさせる現像ローラ周辺の領 域Aと、トナーを貯蔵しつつ現像ローラからの回収ト ナーを受け取る領域Bの2ブロックで構成される従来型 現像器での解析では、耐刷に伴いトナー状態が単調に変 化していくことが示された。これに対して、常に初期状 態のトナーを貯蔵し、状態変化した領域A・Bへのト ナー補給だけを行う領域Cを追加した3ブロックで構成 される現像器での解析では、初期的な変動はあるもの の、トナー状態は飽和することが示された。これらの解 析結果に基づき,実際の現像器に領域Cを設けた検証を 行い、粒径選別およびトナー劣化について、共に解析結 果と同様の挙動を示すことが確認された。

Abstract

Deterioration of image quality in mono-component developing system is caused by changes of toner properties according with printing volume.

To solve this problem, traveling and accumulation of toner in the developing unit was analyzed to propose a countermeasure. The conventional 2-Block type developing system has block A where size selection and deterioration of toner occur, and block B where toner is received from the developing roller while the toner is stored. The toner in this system was changed and deteriorates monotonously according to the print volume.

On the other hand, in a 3-Block system having additional block C which supplies only new toner to blocks A and B, the state of toner property was changed in early period and saturated in good condition.

Actual printing tests were conducted to verify the analysis, and the 3-Block type developing system was confirmed to exhibit a preferable results.

はじめに 1

1成分現像方式は、カラー/モノクロを問わず、小型 ページプリンタに広く適用されている。

しかしながら、現像ローラに部材を圧接させてトナー 薄層を形成する方式のため, トナーの粒径選別や外添剤 のトナーへの埋没によるトナー劣化が引き起こされる。 この状態変化したトナーが、現像器内のトナー貯蔵部に 戻されることで,現像器全体のトナー状態が徐々に変動 し、画像品質を低下させてしまう。このため、長寿命化 や画質安定性の面で、信頼性が不十分であった。

我々は、この問題を解決するために、状態変化したト ナーをトナー貯蔵部と隔てられたブロック内にとどめる 方式を考え,まずはトナー移動のシミュレーションでそ の効果を確認、ついで実機を用いた耐刷結果により、こ の考え方が妥当であるとの結果を得た。

本稿では、これら一連の研究結果について報告する。

1成分現像器内でのトナー挙動 2

1成分現像器の構成とトナーの状態変化 2.1

Fig.1に非磁性1成分現像器の概略構成を示す。送り羽 根によって現像ローラ近傍に送り込まれたトナーは、供 給ローラで現像ローラに塗布され、規制ブレードで薄層 化された後に、現像部で感光体上潜像の現像に用いられ る。ここで現像残りのトナーは再度現像器内に戻り、供 給ローラによって現像ローラから剥離されて現像器内の トナーと混合される。



Fig.1 Schematic diagram of the conventional mono-component developing system

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

このようにして形成されるトナー薄層では、白部現像 後とベタ部現像後の粒径分布に違いがあり、白部現像後 の方が小粒径化することが報告されている^{1),2)}。これ は、規制ブレードによる薄層化の際に、大径トナーに比 べて小径トナーが確率的に通過しやすいことに加え、現 像残トナーを供給ローラで回収する際には、小径トナー の方が剥離されにくいことによる。その結果、現像器内 に貯蔵されているトナー粒径に比べて小粒径のトナーが 現像ローラ上に搬送・消費され、現像器内に残留するト ナーは耐刷が進むにつれて大粒径化していく。

また,現像ローラ周りでトナーに与えられる負荷により,外添剤がトナー表面に埋没していく現象も見られる。Fig.2は,現像ローラ上にトナー薄層を形成し,剥離することなく規制ブレード部を繰り返し通過させた時の,トナー表面状態の変化であるが,わずか3分の駆動時間で外添剤が埋没していることが判る。



(a) New toner

 (b) Toner after developing roller rotating for 3 minutes

Fig.2 SEM photograph of toner surface

2. 2 簡略化した現像器のブロックモデル

上述のように、1成分現像器の中でも実際にトナーの 状態変化に関わる部分は現像ローラ周辺部に限られてい る。そこで、現像器をFig.1に示すように、現像ローラ周 辺部の領域Aと、トナーを貯蔵している領域Bにブロッ ク分けして、トナーの受け渡しとトナーへの作用をまと めると、Fig.3のようになる。



Fig.3 Schematic diagram of 2-Block type

Fig.3で示すトナーの受け渡しの場合,領域A(現像 ローラ周り)で状態変化したトナーが領域B(トナー貯 蔵部)に戻されるため,領域A・B共に耐刷に伴うト ナーの状態変化が進行する。これに対して,領域Aから Bへの残トナー回収がない構成,即ち現像された分のト ナーだけが新たに供給される構成ならば,領域B内での トナー状態変化は生じないが,領域Aにトナーが留まる ため,消費の少ない(低B/W比)画像を印刷するとFig.2 に示すような急激な状態変化が生じ,実用に耐えない。

以上より,現像器内に2つのブロックのみが存在する 従来構成では,耐刷によるトナー状態の安定化が図れ ず,画像品質低下を引き起こすと考えられる。

そこで、トナー状態変化の対策として、劣化トナーが 存在する領域A・Bから新品トナー貯蔵領域へトナーの 戻りを生じさせない構成(**Fig.4**)を考えた。



Fig.4 Schematic diagram of 3-Block type

この構成の場合,状態変化した領域A・Bのトナーが 現像消費されることで,領域Cに貯蔵されている新品状 態のトナーが,領域Bに補給されるように構成されてい るので,領域A・B内でのトナー状態変化が緩和され る。即ち, Fig. 4 の3-Block 構成において,領域Bは,ト ナー劣化を適度に緩和しながら,薄層形成の履歴を受け たトナーの消費を促進する役目を果たすと考えられる。 その結果,同一の消費状態が続く場合には,あるトナー 状態に収束していくと推測できる。

次節ではこの仮説について,シミュレーションによる 検証を行う。具体的には,粒径分布の変動と外添剤量の 変動に関するモデル計算を行う。

3 モデル計算

3.1 モデル計算① ~粒径分布の変動~

まず, **Fig. 3** に示す2-Block 構成での計算を考える。 トナー粒径を *r* , 初期トナー総量を*M*, 1 枚あたりの

トナー現像消費量をD,初期からのプリント枚数をnと する。ここで、初期のトナー粒径分布をf(r)、領域Bから Aへの各粒径での選別確率分布をS(r)とおくと、**Fig.5** のフローチャートに沿って、領域AおよびBにおける粒 径ごとのトナー存在量分布 $m_A(r)_n$ 、 $m_B(r)_n$ を逐次計算す ることで、粒径分布の推移を求めることができる。

次に, Fig.4に示す領域Cを加えた3-Block 構成での計 算を考える。2-Block 構成の場合には,消費に伴いトナー 貯蔵領域Bのトナー量が減少していくが,3-Block 構成で はトナー貯蔵領域Cが新たに設けられ,領域Bへの一方 向の補給を行うため,領域B内のトナー量は変動せず,



Fig.5 Flow chart in case of 2-Block type

領域Cのトナー量が減少していく。また、領域Cではト ナーの状態変化は発生せず、常に初期状態が維持され る。これらの点を踏まえると、計算のフローチャートは Fig.6に示したものとなる。ここで、*MB*を領域Bの総ト ナー量、*MC*ⁿを領域Cの総トナー量とおいた。

以上のアルゴリズムに基づき,両モデルにおける現像 器内トナー粒径分布の推移を計算した。ここで用いたf(r) 及びS(r)の分布をFig.7に示す。その他の条件を,

現像消費量:D=20mg/枚

現像器内トナー総量:1.5×10⁵mg

2-Block 構成時: M=1.5×10⁵mg

3-Block 構成時: *MB*=2.0×10⁴mg,

 $MC_{n=0} = 1.3 \times 10^5 \text{mg}$

とし、領域A・Bでの粒径分布推移を逐次計算で求めた。両モデル間での粒径推移の違いを比較する為、得られた粒径分布から体積平均粒径D50を求め、グラフ化したものをFig.8に示す。

これより,2-Block 構成では耐刷に伴い粒径が単調に増 大するのに対して,3-Block 構成では初期的な変動は生じ るものの飽和点を持つ特性となることが導かれた。この 飽和点ではトナー消費の生じる領域Aでの平均粒径が領 域Cからの補給トナーの平均粒径(=領域Bの初期平均 粒径)と同じになっており,入力と出力とが同じになっ たところで平衡に達しているものと考えられる。



Fig.6 Flow chart in case of 3-Block type



Fig.7 Condition of f(r) and S(r) used for calculation



Fig.8 Comparison of D₅₀ between 2-Block and 3-Block types

3. 2 モデル計算 ② ~トナー劣化~

次に外添剤の状態変動など、いわゆる「劣化」に関す る挙動についてのモデル計算を考える。簡単のために、 現像器内のトナーを初期トナーと劣化トナーの2種類に 大別し、領域Aで生じる劣化トナー量は送られてくるト ナー中の初期トナー比率に比例する(劣化係数β[mg/枚]) と仮定する。この仮定は、劣化トナーにも状態として 様々なものがあるという事実を反映していないが、ト ナーの受け渡しモデルによる安定性の違いを定性的に解 析するにあたっては問題ないものと考える。

まず, Fig. 3 に示す2-Block 構成において,ある時点での現像器内の状態から始めて⊿n枚の印字を行った際の初期トナーと劣化トナーの変化を, Fig. 9 のように分解して 整理した。



Fig.9 Income and outgo model of toner, in case of 2-Block type

これより, *△n*枚の間に生じる領域B内初期トナー量変 化は(1)式で表すことができる。

$$\frac{da(n)}{dn} \approx a' - a = -\frac{D + \beta}{a(n) + b(n)} \cdot a(n) = -\frac{D + \beta}{M - D \cdot n} \cdot a(n) \quad (1)$$

これを解き,領域B内トナー量に対する初期トナー存在 量の比率を劣化指標L(n)で表すと,(2)式が得られる。

$$L(n) = \frac{a(n)}{a(n) + b(n)} = \frac{M}{M - D \cdot n} \cdot \left(\frac{M - D \cdot n}{M}\right)^{\frac{D + \beta}{D}} = \left(1 - \frac{D}{M} \cdot n\right)^{\frac{\beta}{D}}$$
(2)

次に、3-Block 構成でのトナーの受け渡しを、**Fig.10**に 示す。これより、領域B内初期トナー量変化の基本式は (3)となり、これを解いて劣化指標*L*(*n*)を求めた。

$$\frac{da(n)}{dn} \approx a' - a = -\frac{D + \beta}{MB} \cdot a(n) + D \tag{3}$$

$$L(n) = \frac{a(n)}{MB} = 1 - \frac{\beta}{D + \beta} \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{D + \beta}{MB} \cdot n\right)\right]$$
(4)

ここで導出した式(2)と(4)を用いて,モデルの違いによ る劣化状態への影響を計算にて比較した。先と同じく現 像器中の初期トナー量*M*を1.5×10⁵mg,現像消費量*D*を



Fig.10 Income and outgo model of toner, in case of 3-Block type



Fig.11 Comparison of deterioration behavior between 2-Block and 3-Block types

20mg/枚, 3-Block 構成での領域Bのトナー重量*MB*を2.0×10⁴mgとして得られた結果を**Fig.11**に示す。

これより、トナーの劣化についても2-Block 構成では単 調に劣化が進行するのに対して、3-Block 構成では飽和・ 安定する特性を持つことが導かれた。但し、この飽和値 が現像としての機能を満足する閾値よりも下に位置して いると、いくら状態として安定していても現像としての 課題が予測される。そこで、(4)式に基づいて飽和値につ いての検討を行った。

(4)式で $n \rightarrow \infty$ 時のL(n)を一定値Lとおくと、 β とDの間に次の関係式(5)が得られる。

$$\boldsymbol{\beta} = \left(\frac{1}{L} - 1\right) \cdot \boldsymbol{D} \tag{5}$$

これより次のことが予測できる。

- 同一の現像器(β-定)を用いても、消費量Dが少なくなるにつれて飽和値Lが低下する。
- ②消費量 Dが少なくても劣化度 Lを維持するために は、βを消費量ダウンの比率で小さくする必要があ る。

次節では、ここで行った粒径変動とトナー劣化状態に 関する解析結果が、実際の現像器にも当てはめることが できるかどうかを検証していく。

4 実際の現像器を用いた検証

4.1 検証に用いた現像器構成

ここでは、3種の現像器構成で検証を行った。

まずFig.12に、ロータリー式の4サイクルプロセスで用 いた現像器の構造を示す。Fig.12(a)は、現像ローラ周辺 の領域Aとトナー貯蔵領域Bからなる 2-Block 構成の現 像器である。ロータリー駆動に伴い、領域B内のトナー は均一に混合される。これに対してFig.12(b)は、現像器 内部を領域Bと領域Cとに分割した 3-Block 構成の現像 器である。両領域は、上端部を固定した可撓性のフィル ム部材で仕切られている。フィルム部材があると、領域 B内のトナーが少量の場合には領域C内の送り羽根で送 られたトナーがフィルム部材を開き、領域Bへのトナー 供給が行われる。一方、領域B内に十分な量のトナーが 充填されていると、トナーの圧力によって領域Bの内部 からフィルム部材が閉じられ、トナー供給が停止する。 このように弁の機能を持たせることで、ロータリー駆動 時にも領域BからCへの戻りが生じない3-Block 構成を実 現することができた。



(a) 2-Block unit

(b) 3-Block unit

Fig.12 Developing units applied to 4-cycle process



Fig.13 Developing unit applied to tandem process

Fig.13には、タンデムプロセスで用いた現像器の構造を 示す。領域AとBが現像器、領域Cがトナーホッパーと なっており、両者をスクリュー管で繋いでトナー補給を 行う。2成分現像器で採用されているのと同じ構成であ る。片側からの補給となる関係で、現像器内には2軸の スクリューを配置し、奥行き方向でのトナー状態が均一 になるよう攪拌を行っている。

4.2 粒径分布の変動に対する検証結果

Fig.12(a)(b)の現像器を用い,2-Block Unitと3-Block Unitでの耐刷に伴う粒径推移比較を行った。結果を**Fig.14** に示す。**Fig.8**のモデル解析結果と同様に,2-Block Unit では平均粒径が単調に増大するのに対して,3-Block Unit では平均粒径が飽和する特性であることが確認できた。



Fig.14 Experiment results on change of D₅₀ -in both the 2-Block and 3-Block units-

4.3 トナー劣化に対する検証結果

トナー劣化を表す指標は多数考えられるが,ここで は,外添剤粒子の変化度合いを劣化指標とした。初期ト ナーの外添剤量を1に規格化している。

まず,先の粒径変動と同じく,Fig.12(a)(b)の現像器を 用い、2-Block unitと3-Block unitでの耐刷に伴うトナー 劣化の推移比較を行った。結果をFig.15に示す。これより トナー劣化に関しても、Fig.11のモデル解析結果と同様 に、3-Block 構成での安定性を確認することができた。

次に3-Block unitにおいて、(5)式で予測したように、同 一現像器でも消費量により劣化指標の飽和値が変化する かどうかを検証した。実験にはFig.13の現像器を用い、印 字するパターンの面積を変えて複数回の耐久を行った。 実際の消費量と劣化指標の飽和値を計測した結果を、 Fig.16のプロットで示す。図中の曲線は、 $\beta = 7.5 \text{mg}/\text{枚}$ と した時に式(4)から求められる計算値であるが、ほぼ対応 の取れる結果となった。ここで得られた β の値が、実機 耐久での劣化指標推移と一致するかどうかについて、消 費量 Dが3mg/枚および12mg/枚の実験において確かめ た。その結果をFig.17に示す。ここで、各プロットは耐久 の各時点における劣化指標計測値を、実線は、Fig.16で求 めた $\beta = 7.5 \text{mg}/\text{枚}$; 消費量=実験値; 現像器のMB=



Fig.15 Experiment results on change of deterioration properties -in both the 2-Block and 3-Block units-



Fig.16 Comparison of experimental results with calculated data concerning consumed toner amount and deteriorated level



Fig.17 Comparison of experimental results with calculated data concerning deterioration properties -in cases of 3mg/print and 12mg/print-

2.0×10⁴mgの条件を式(4)に導入して求めた計算値を示している。計算値に比べて実験結果の時定数が若干小さい 方向にはあるが,前節の仮説モデルは妥当であると結論 できる。

5 まとめ

本研究により,1成分現像器内のトナーの受け渡し方 法を変えることで,耐刷におけるトナー状態の安定化を 図ることができ,長期にわたって安定した画質が得られ る1成分現像システムが提案できた。本技術は, KONICA MINOLTA magicolor2300,2400,5400シリー ズに搭載されている。

本文中でも触れたが、安定系が実現できても、安定レ ベルが機能を満足できる閾値を越えていなければ、シス テムとしては成立しない。トナー劣化に関する劣化係数 βの低減は、より信頼性の高いシステムの構築のために 極めて重要であり、今後さらに劣化を抑えることのでき るプロセス開発を行っていく。

6 謝辞

本研究に対してサポート頂いた,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なら びに機器第32開発部の方々に,深くお礼申し上げます。

●参考文献

- 1) 島田啓克, 桜庭保, 竹本晋一, 河崎明博, Japan Hardcopy 1994 Fall Meeting 論文集 (1994).
- 2) 岩松正, 東伸之, シャープ技報, 76, 52 (2000).