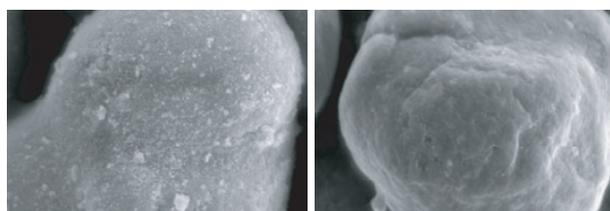


このようにして形成されるトナー薄層では、白部現像後とベタ部現像後の粒径分布に違いがあり、白部現像後の方が小粒径化することが報告されている^{1), 2)}。これは、規制ブレードによる薄層化の際に、大径トナーに比べて小径トナーが確率的に通過しやすいことに加え、現像残トナーを供給ローラで回収する際には、小径トナーの方が剥離されにくいことによる。その結果、現像器内に貯蔵されているトナー粒径に比べて小粒径のトナーが現像ローラ上に搬送・消費され、現像器内に残留するトナーは耐刷が進むにつれて大粒径化していく。

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。

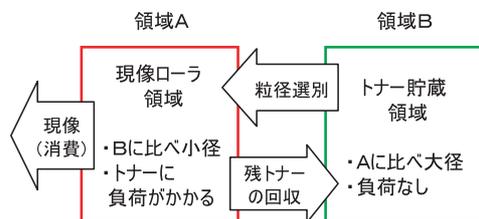


Fig.3 Schematic diagram of 2-Block type

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。

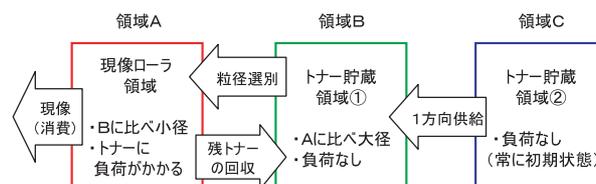


Fig.4 Schematic diagram of 3-Block type

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、

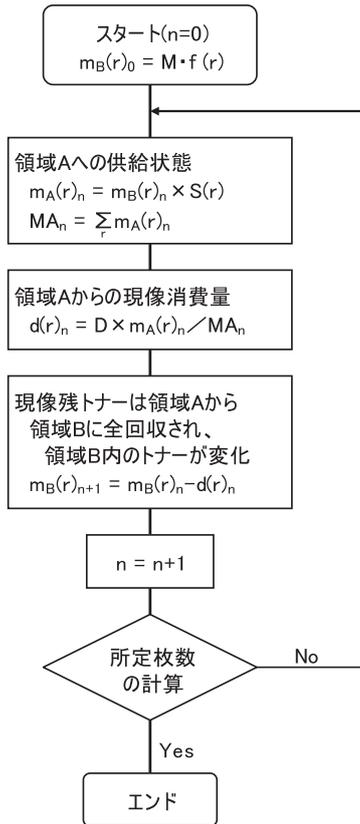


Fig.5 Flow chart in case of 2-Block type

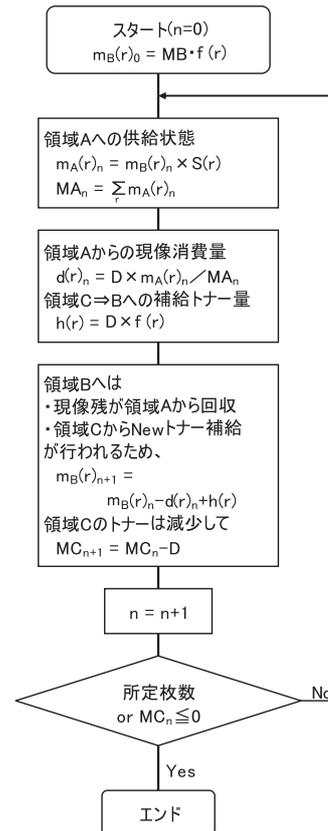


Fig.6 Flow chart in case of 3-Block type

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： $D = 20\text{mg/枚}$
- 現像器内トナー総量： $1.5 \times 10^5\text{mg}$
- 2-Block 構成時： $M = 1.5 \times 10^5\text{mg}$
- 3-Block 構成時： $MB = 2.0 \times 10^4\text{mg}$,
- $MC_{n=0} = 1.3 \times 10^5\text{mg}$

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 D_{50} 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。

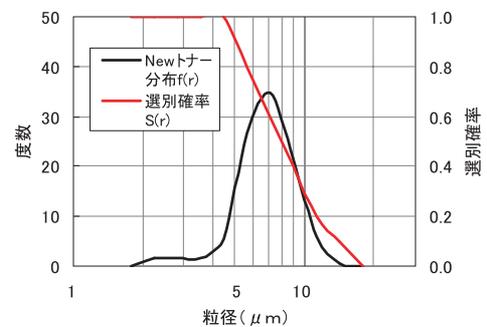


Fig.7 Condition of $f(r)$ and $S(r)$ used for calculation

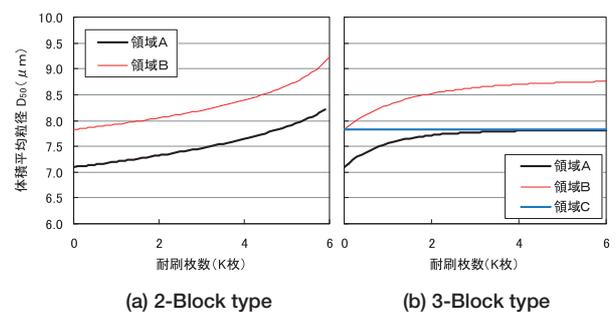


Fig.8 Comparison of D_{50} between 2-Block and 3-Block types

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する。

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 Δn 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。

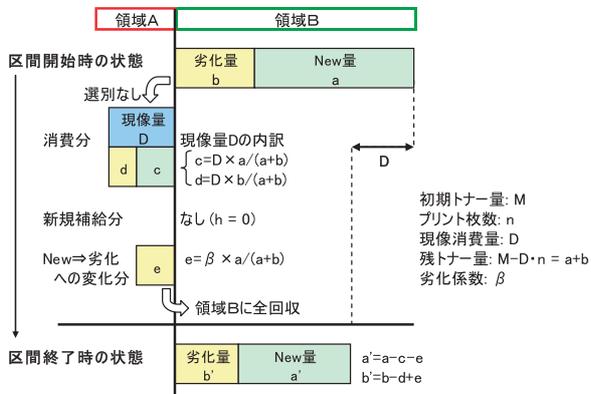


Fig.9 Income and outgo model of toner, in case of 2-Block type

これより、 Δn 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。

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

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。

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

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

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 1.5×10^5 mg、現像消費量 D を

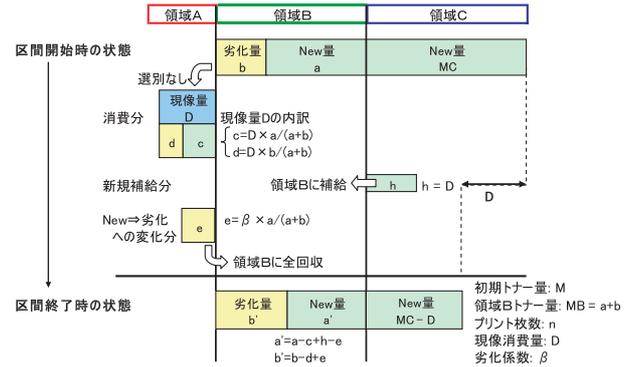


Fig.10 Income and outgo model of toner, in case of 3-Block type

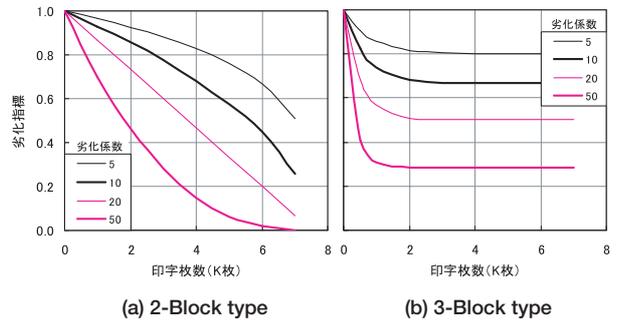


Fig.11 Comparison of deterioration behavior between 2-Block and 3-Block types

20mg/枚、3-Block 構成での領域Bのトナー重量 MB を 2.0×10^4 mg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。

$$\beta = \left[\frac{1}{L} - 1 \right] \cdot D \quad (5)$$

これより次のことが予測できる。

- ①同一の現像器 (β 一定) 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られ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。

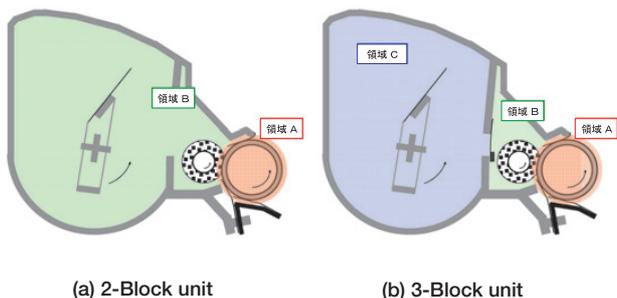


Fig.12 Developing units applied to 4-cycle process

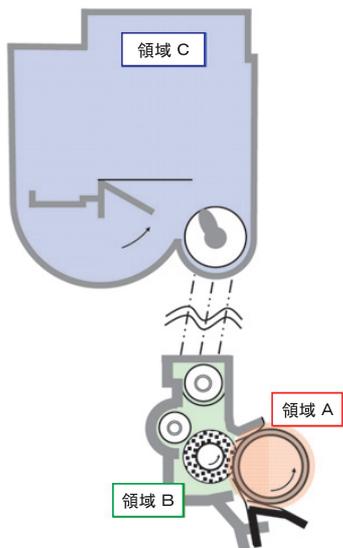


Fig.13 Developing unit applied to tandem process

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。

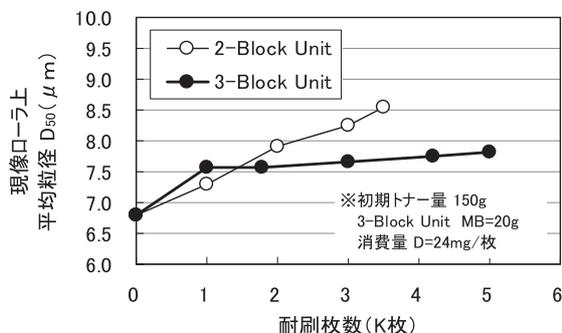


Fig.14 Experiment results on change of D_{50} -in both the 2-Block and 3-Block units-

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、印字するパターンを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、 $\beta = 7.5\text{mg/枚}$ 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 $\beta = 7.5\text{mg/枚}$ ；消費量=実験値；現像器の $MB =$

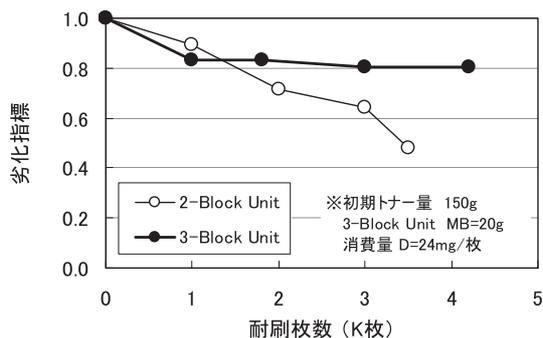


Fig.15 Experiment results on change of deterioration properties -in both the 2-Block and 3-Block units-

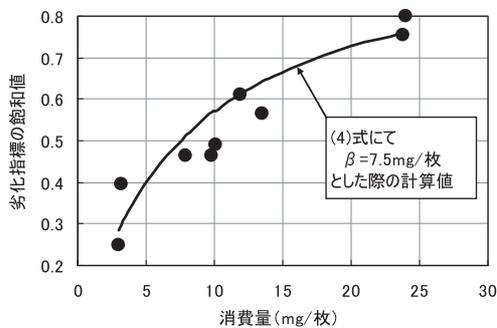


Fig.16 Comparison of experimental results with calculated data concerning consumed toner amount and deteriorated level

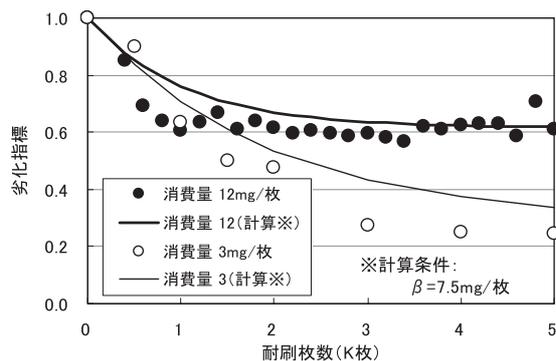


Fig.17 Comparison of experimental results with calculated data concerning deterioration properties -in cases of 3mg/print and 12mg/print-

2.0×10^4 mg 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).