

多段磁気ブラシ現像における均一性の向上因子

服部 好弘, 板垣 整子, 峯岸 なつ子, 斎藤 裕行
コニカミノルタビジネステクノロジーズ株式会社 PP 製品開発センター

1. はじめに

オフセット印刷領域に迫るデジタル印刷機としての高速カラー電子写真装置においては、高画質および高速対応性に勝る二成分磁気ブラシ現像法が多く用いられているが、プロセス速度が上がるにつれて、磁気ブラシが感光体を摺擦する仕事量が増大することで、ハイライト画像部での均一性の低下が指摘されている¹⁾。この傾向は、乾式電子写真方式の高画質化の限界として、商業印刷への進路を狭める一因と認識されつつある。

一方、高速機においては、高速現像性の確保のために、多段磁気ブラシ現像法の採用の動きもあり²⁾、速度限界を克服すると同時に、画質限界の克服が期待できる。多段磁気ブラシ現像法は、各段の現像条件と、その組み合わせにおいて、多様なシステムが考えられるが、その全てを検討して最適システムを選定するには膨大な開発期間を要する。

我々は、①多くのパラメーターが自在に設定可能な、簡易な構成による高速多段現像スターを試作し、そのシステムを絞り込むと共に、②二成分現像法の現像モデルとして知られる静電場平衡機構を多段現像法に適用し、数値計算による性能予測を可能にすることで、③選定された方式による現像装置を試作し、品質工学を用いて最適パラメーターを選定し、その効果を確認したので報告する。

2. 多段現像モデル

多段磁気ブラシ現像法において現像トナー量が決定される機構として、栗田³⁾による静電場平衡機構から展開した。感光体上にトナーが現像されるにつれ、現像剤層中にカウンターチャージが発生して現像を抑制することにより、現像トナー層表面の電場が0になったときに現像が終了したとすると、現像トナー電荷量 Q

は次式で表される。

$$Q = \frac{-\varepsilon_0 V_0}{d_p/k_p + d_t/k_t + d_c/k_c \theta} \quad (1)$$

ここで、 d_p/k_p , d_t/k_t , d_c/k_c はそれぞれ、感光体層、トナー層、カウンターチャージ層の距離を比誘電率で割ったものであり、静電的等価厚さ（実効距離）に相当する量、 V_0 は現像電位差、 θ は現像スリーブと感光体面の速度比を表す。AC 電界を重畠した現像法では、隣接するトナーが連鎖的に置き換わることで、カウンターチャージとしては長い移動距離が得られるため、カウンターチャージは現像剤層全体に分散され、その一部はスリーブ電極へ到達し消失する（消失率 α ）とみることができる⁴⁾。このとき、

$$d_c/k_c \theta = \frac{1-\alpha}{\theta} d_s/k_s \quad (2)$$

d_s/k_s は現像剤層全体の静電的等価厚さを示す。

1段目の現像が終了して2段目に現像剤が受け渡されるとき、現像剤層中にトラップされていたカウンターチャージは、磁力によるブラシ穂の倒立を繰り返すことで完全に消失し、2段目においては、1段目に現像されたトナー層を加味して、1段目と同様のモデルで現像量が決定される。以上を式で表すと、1段目、2段目はそれぞれ、

$$Q_1 = \frac{-\varepsilon_0 V_0}{d_p/k_p + d_{t1}/k_t + \frac{1-\alpha_1}{\theta_1} d_{s1}/k_s} \quad (3)$$

$$Q_2 = \frac{-\varepsilon_0 V_0 - \{(d_{t1} + d_{t2})/k_t + d_p/k_p\} Q_1}{d_p/k_p + (d_{t1} + d_{t2})/k_t + \frac{1-\alpha_2}{\theta_2} d_{s2}/k_s} \quad (4)$$

添え数字1,2は1段目、2段目のパラメーターを示す。

Fig. 1, Fig. 2 に上式をそれぞれ図式化して示す。

現像トナー電荷量 Q は現像トナー重量 M_t と、トナーの比電荷 q/m の積であり、現像トナー層厚さ d_t は M_t を

比重 ρ_t と充填率 σ_t で割ったものであるので、(3)式、(4)式は M_t の 2 次式として順に解くことができる。

$$M_{t1} = k_t \rho_t \sigma_t \left\{ d_p / k_p + \frac{1 - \alpha_1}{\theta_1} d_{s1} / 2k_s \right\} + \left[\left\{ k_t \rho_t \sigma_t (d_p / k_p + \frac{1 - \alpha_1}{\theta_1} d_{s1} / 2k_s) \right\}^2 + \frac{2k_t \rho_t \sigma_t \epsilon_0 V_0}{q/m} \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots (5)$$

$$M_{t2} = - \left\{ M_{t1} + k_t \rho_t \sigma_t (d_p / k_p + \frac{1 - \alpha_2}{\theta_2} d_{s2} / 2k_s + d_p / k_p) \right\} + \left[\left\{ M_{t1} + k_t \rho_t \sigma_t (d_p / k_p + \frac{1 - \alpha_2}{\theta_2} d_{s2} / 2k_s + d_p / k_p) \right\}^2 + \frac{M_{t1}^2 + 2k_t \rho_t \sigma_t (d_p / k_p \cdot M_{t1} - \frac{\epsilon_0 V_0}{q/m})}{q/m} \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots (6)$$

式(5)が 1 段目の現像トナーハー量、式(6)が 2 段目の現像トナーハー量を表す。2 段現像としてのトータルの現像トナーハー量は式(5)と式(6)を足したものになる。

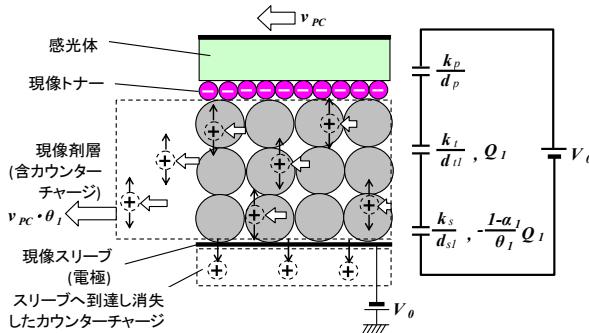


Fig. 1 第 1 段目現像における静電場平衡機構の説明図および等価回路。トナーとカウンターチャージの移動が進むにつれて、トナー層と現像剤層の界面の電場が弱まり、0 になった時点で現像が終了する。

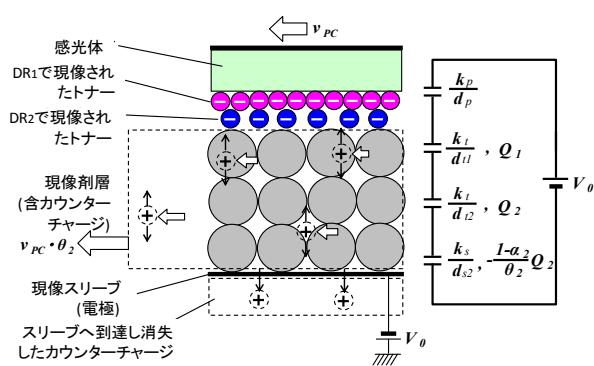


Fig. 2 第 2 段目現像における静電場平衡機構の説明図および等価回路。1 段目で現像剤層中に滞留したカウンターチャージが消失したことで、さらに現像が進行する。

3. 実験装置

多段現像の検討において、初期に用いた実験装置を Fig. 3 に示す。直線走行するスライダー上のステージに感光体に見立てたメタルミー® (Al 蒸着面を持つ PET フィルム) をセットし、水帶電法を用いて潜像形成した後、任意の速度で現像ステーションの下を走行させて現像を行う。2 台の現像ステーションは、それぞれ任意に回転方向、現像剤搬送量（現像ローラー上にセットした現像剤量で管理）、現像ギャップなどの現像条件を設定することができる。本機は主に、現像ローラーの回転方向の組み合わせを選定する目的で、各組み合わせでの直行実験の最適条件を求め、現像性および、画質の比較を行った。システム速度は 300mm/s から 750mm/s までの範囲で検討した。

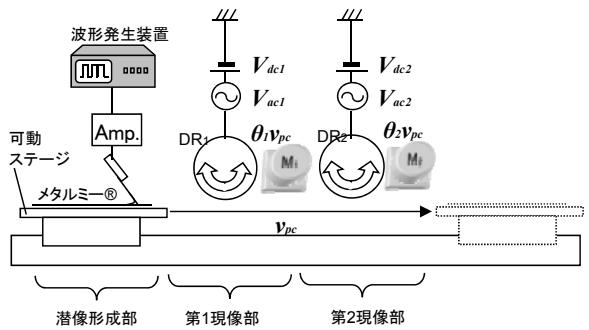


Fig. 3 2 段現像での磁気ブラシ回転方向の組み合わせを検討するための実験装置の構成図。

選定された回転方向と現像条件をベースに現像装置を試作し、詳細な現像条件の検討を行った。Fig. 4 に試作した現像装置の断面図を示す。

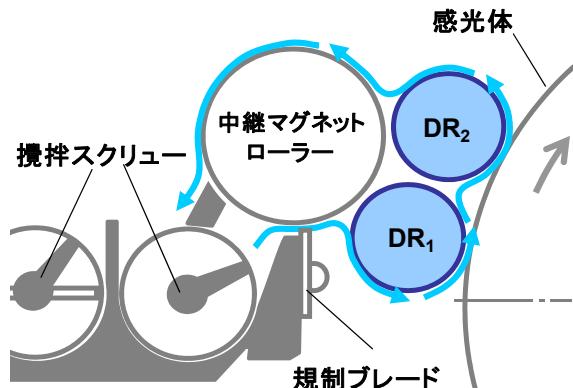


Fig. 4 実機に搭載できる 2 段磁気ブラシ現像実験器の断面図 (WW 回転選定時の構成)。

後述の選定結果により、1段目、2段目とも順方向(WW)で設計された。現像ローラー径はφ25mm、システム速度は750mm/sとした。試作した現像装置では、スライド式実験機で得られた最適条件を中心に、品質工学を用いたパラメータ設計を行い、画質のチューニングに必要な制御因子をL9直行表に割付け、重要な誤差因子5つを2水準系のL8直行表に割付けて、L9×N8の72実験を行った。

4. 実験結果

4.1 回転方向の決定

Fig. 5に第1の実験装置で得られた画像の1例を示す。水帶電法で形成した、均一な中間調電位での現像の均一性を比較した。図中のアルファベット2文字は1段目、2段目の現像ローラーの回転方向を示し、Wが感光体の進行方向と同方向、Cが逆方向を示す。図より、下流の現像ローラの回転方向で、磁気ブランシ摩擦痕の大小が決定されることが判る。

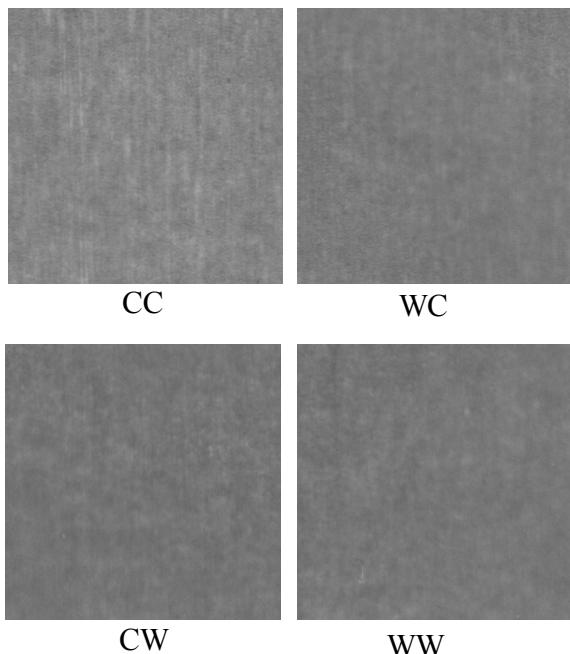


Fig. 5 回転方向の組み合わせの違いによる出力画像の比較(CC: 逆方向-逆方向, WC: 順方向-逆方向, CW: 逆方向-順方向, WW: 順方向-順方向)。中間調の均一性は、最終ローラーの回転方向の影響を強く受ける。

中間調の均一性以外に、先後端エッジのかすれやエッジ強調、細線の再現性などを評価し、総合的にWW

回転を選択した。また、画質については、下流側の現像条件が支配的であり、上流の現像時に発生した不均一性や、エッジプロファイルの歪曲は、概ね下流側で修復されることがわかった。

4.2 パラメーター実験

選定されたWW現像におけるパラメーター実験を行った。画質的には下流側の現像条件が支配的であるため、下流現像ギャップ d_{s2} と現像剤搬送量、 θ_2 を固定し、上流と下流で回転速度差を持たせることで、より特性の安定性を得ることを意図して実験を組んだ。Table 1に制御因子の直行表、Table 2に誤差因子の直行表を示す。

制御因子では θ_1 の変更において、下流側の搬送量が一定値となるよう、 θ_1/θ_2 比に合わせて上流搬送量と、上流の現像ギャップ d_{s1} を調整した。現像バイアスは上下とも共通とした。誤差因子において現像ギャップ公差は、上下とも同じ向きに変化させた。

実験結果を示す。Fig. 6はSN比、Fig. 7は感度の要因効果図、Fig. 8は誤差に対する感度の要因効果図である。上流の θ を小さくすることで、誤差に対する安定性が高まるが、トータルの現像性としては低くなることが示され、最適条件として、 $\theta_1: 1.0, \theta_2: 1.2$ を選択した。

Table 1 L9 直行表に割り付けた制御因子とその水準

| Factor | Description | Levels | | |
|--------|-------------------------|--------|-----|-----|
| | | 1 | 2 | 3 |
| A | DR1 θ (θ1) | 0.8 | 1.0 | 1.2 |
| B | V _{p-p} [kVpp] | 0.3 | 0.4 | 0.5 |
| C | Frequency [kHz] | 9 | 11 | 13 |
| D | DR2 Angle [°] | -5 | 0 | 5 |

Table 2 L8 直行表に割り付けた誤差因子とその水準

| Noise | Description | Levels | |
|-------|-------------------------------|--------|-------|
| | | 1 | 2 |
| a | Environment | HH | LL |
| b | Duration | New | Old |
| c | T _c [wt%] | 6.0 | 9.0 |
| d | D _s tolerance [mm] | -0.03 | +0.03 |
| e | D _b tolerance [mm] | -0.05 | +0.05 |
| f | dammy | - | - |
| g | dammy | - | - |

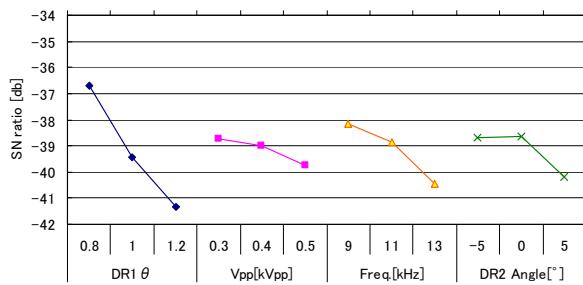


Fig. 6 L9 × N8 実験結果に基づく現像性(SN 比)の要因効果図。

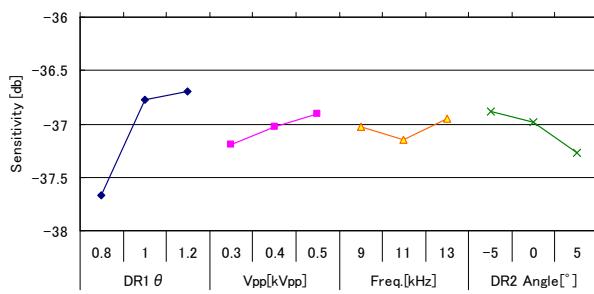


Fig. 7 L9 × N8 実験結果に基づく現像性(感度)の要因効果図。

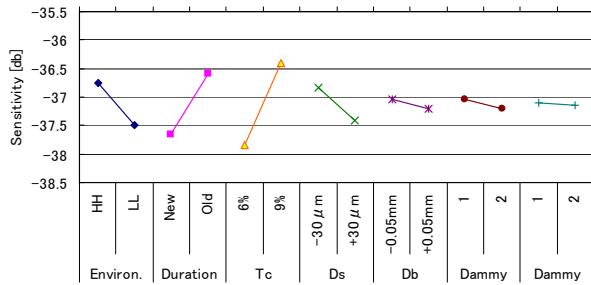


Fig. 8 L9 × N8 実験結果に基づく現像性(感度)の誤差の寄与度。

5. 考察

実験結果を元に、各パラメーターが式(3)、式(4)で定義した、カウンターチャージのスリープ電極への消失率 α_1, α_2 はどう寄与するのかを見積もった。現像ギャップ中の AC 電界が強いほど、消失率が 1 に収束すると仮定し、次式を立て、実験と同じように L9×N8 の直行表に基づき計算を行った。

$$\alpha = 1 - \exp(-\beta V_{p-p} / d_s) \quad (7)$$

計算結果を Fig. 9, Fig. 10 に示す。進行方向へのカウンターチャージの消失率を意味する θ と AC 振幅 V_{p-p}

の感度の大小関係については概ね実験と合致させることができた。また、Fig. 10において、環境、耐久、 T_c （トナー混合比）については、流動性や非静電的付着力の因子を考慮することなく、およそ帶電量の変化に応じた感度変化だけで実験に近い傾向が説明できていると考えられる。下流現像主極の感光体中心方向からの角偏差 DR2 Angle は画質やキャリア付着の制御因子として抽出した因子であるが、実験結果によれば現像性にも感度を持つことから、ブラン穂の感光体に対する衝撃力もカウンターチャージ消失率に影響を与えていることが示唆される。

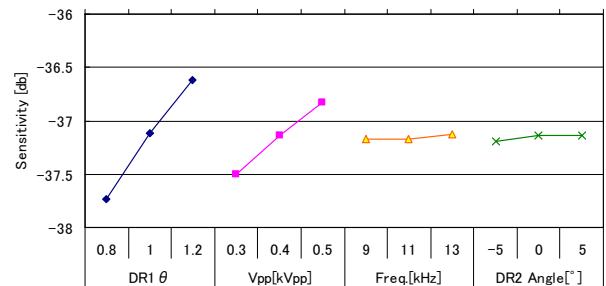


Fig. 9 L9 × N8 モデル計算結果に基づく現像性(感度)の要因効果図。

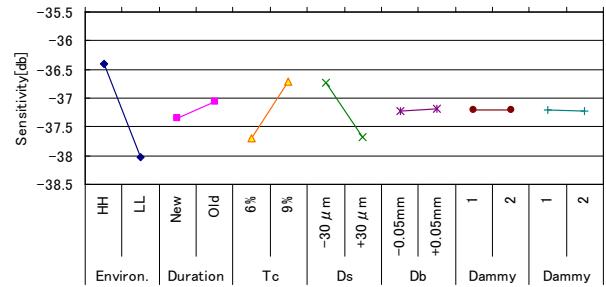


Fig. 10 L9 × N8 モデル計算結果に基づく現像性(感度)の誤差の寄与度。

パラメーター実験を元に、最適条件を選定し、画質確認と現像性の見積もりを行った。Fig. 11 に水帶電による均一電位階調潜像の現像結果を示す。ブラシ摺擦スジやパッチ上下流での濃度プロファイルの歪みの少ない、均一性の高い画像が得られた。2段現像におけるトータルの現像効率（消失率 100%としたときの計算現像量との比率）は、実験値では 75%，計算値では 73% となり、カウンターチャージ消失率のモデルの妥当性が示唆された。計算による消失率は、1段目で 31%，2段目で 36% であった。均一性を重視して θ を小さく

したことによる現像性の低下を、スリープ電極側へのカウンターチャージの消失で補うことにより、高速現像性と高画質を達成する条件設定ができたと考える。

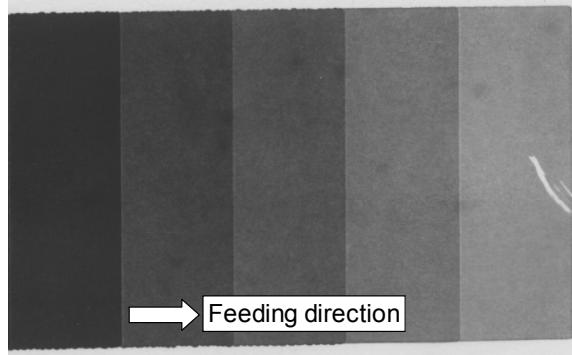


Fig.11 L9 × N8 実験で決定された最適現像条件での出力画像。スクリーン処理のないアナログ低電位潜像であっても均一に現像させることができた。

6.まとめ

膨大な設計パラメーターをもつ多段磁気ブランシ現像法の最適化に取り組んだ。

①簡易な構成による高速多段現像テスターを試作し、複数ある現像ローラー回転方向の組み合わせから、摺擦ノイズの少ないWW回転を選定した。また、画質や現像性が主に下流側の現像条件に依存することを確認した。

②二成分現像法の現像モデルとして知られる静電場平衡機構を多段現像法に適用し、カウンターチャージのスリープ電極側への消失率 α を導入し、1段目、2段目の現像モデルを提示し、実験との比較で α がAC電界強度に依存する傾向を確認した。

③WW回転方式による現像装置を試作し、品質工学を用いて最適パラメーターを選定し、750mm/sの速度下で、摺擦ノイズを抑制した上で高い現像効率を得た。

乾式電子写真方式の画質向上には、今回の現像条件からのアプローチのほかにも、レーザービーム径の小径化⁵⁾、トナーの小粒径化⁶⁾や、感光体の薄膜化や単層化⁷⁾などの効果が個別に報告されている。それらを組み合わせることにより、乾式電子写真の画質の限界は、現状を大きく超えることが可能であると考える。今後のさらなる検討に期待したい。

参考文献

- 1) 青野博之, 北野賀久, 菊池理夫, “二成分現像におけるキャリア摺擦が画質に影響を及ぼすメカニズム”, Imaging Conference JAPAN 2012 論文集, pp. 185-188 (2012).
- 2) 杉山敏弘, 藤沼善隆, 中山政義, 北嶋良一, 佐藤敏哉, 岡本政巳, “高速デジタルカラープリンター RICOH Pro C900”, 日本画像学会誌, **48**, pp. 51-57 (2009).
- 3) 栗田隆治, “電子写真の現像特性と静電場平衡機構”, 電子写真学会誌, **30** pp. 131-142 (1991).
- 4) 服部好弘, 濱道優, 吉本真一, 小林徹矢, “2成分カラー現像における現像効率と画質に関する考察”, 電子写真学会誌, **37** pp. 16-24 (1998).
- 5) 河合直利, 稲垣義弘, 長坂泰志, “小径ビーム走査光学系の画質への効果”, コニカミノルタテクノロジーレポート, **9** pp. 47-52 (2012).
- 6) 寺尾和男, 新井和彦, 吉野大典, “画像ノイズに対するトナー粒子径とレーザービーム径の効果”, 日本画像学会誌, **43**, pp. 128-133 (2004).
- 7) 石田英樹, 近藤浩人, 渡木龍司, “タンデム方式カラープリンタ LS-C 8026N の開発”, 日本画像学会誌, **45**, pp. 173-179 (2006).

●出典

本稿は日本画像学会 “Imaging Conference JAPAN 2012” 論文集の予稿を加筆修正して転載したものである。本稿の著作権は日本画像学会が有する。

禁無断転載
2012年度「ビジネス機器関連技術調査報告書」“IV—4”部

発行 2013年4月

一般社団法人 ビジネス機械・情報システム産業協会 (JBMIA)

技術委員会 技術調査小委員会

〒105-0003 東京都港区西新橋三丁目25番33号 NP 御成門ビル

電話 03-5472-1101(代表) / FAX 03-5472-2511