

多段磁気ブラシ現像における均一性の向上因子

Factors for Improving Uniformity in a Multiple-Stage Magnet Brush Development

服部好弘*
Yoshihiro HATTORI

板垣整子*
Seiko ITAGAKI

峯岸なつ子*
Natsuko MINEGISHI

齋藤裕行*
Hiroyuki SAITO

要旨

多段磁気ブラシ現像法は、高速電子写真装置で実用化されている方式である。この方式は、組み合わせを含めて決定すべきパラメーターが膨大となるため、自由度の高い実験を効率的に計画する高い設計スキルが要求される。我々は、単純化されたモデル実験機を構築し、複数の現像ローラーの回転方向の最適な組み合わせを決定した。また、静電場平衡モデルを元に、多段現像に適用した数学的モデルを提案した。実際の現像装置を試作し、特性の最適化実験を行うことで、高速現像性と画像の均一性を得るとともに、数学的モデルの妥当性を検証した。

Abstract

A multiple-stage magnet brush development method is practically used in some high-speed electrophotographic machines. This method has so huge numbers of parameters to be determined including combinatorial factors that it requires advanced designing skills to plan the experiments flexibly and efficiently. We have built a simple experimental equipment to determine an optimum suite of rotational directions of developing rollers. We have also proposed a mathematical model for the multiple-stage development method, which was arranged from the charge transport equilibrium mechanism. Actual developing unit has been designed and tested to optimize its performance of high-speed developability as well as image uniformity. Validity of the mathematical model was also verified.

執筆者



服部好弘



板垣整子



峯岸なつ子



齋藤裕行

* コニカミノルタビジネステクノロジーズ(株) 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によるハイライト画像部での均一性の低下が懸念される。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が進められている¹⁾。

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テスターを試作し、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²⁾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。

$$Q = \frac{-\epsilon_0 V_0}{d_p/k_p + d_t/k_t + d_c/k_c \theta} \quad (1)$$

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電界を重畳した現像法では、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³⁾。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、

$$Q_1 = \frac{-\epsilon_0 V_0}{d_p/k_p + d_{t1}/k_t + \frac{1-\alpha_1}{\theta_1} d_{s1}/k_s} \quad (3)$$

$$Q_2 = \frac{-\epsilon_0 V_0 - \{(d_{t1} + d_{t2})/k_t + d_p/k_p\} Q_1}{d_p/k_p + (d_{t1} + d_{t2})/k_t + \frac{1-\alpha_2}{\theta_2} d_{s2}/k_s} \quad (4)$$

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。

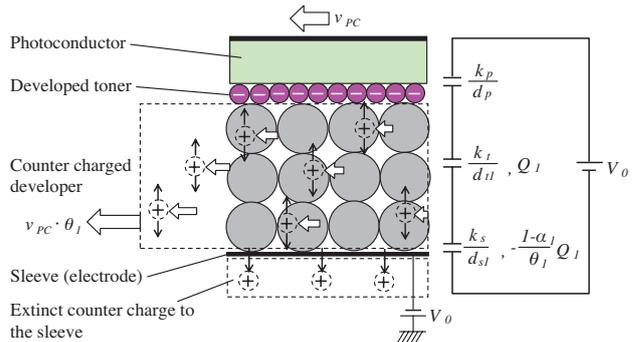


Fig. 1 Schematic illustration and equivalent circuit of charge transport equilibrium model at the 1st development.

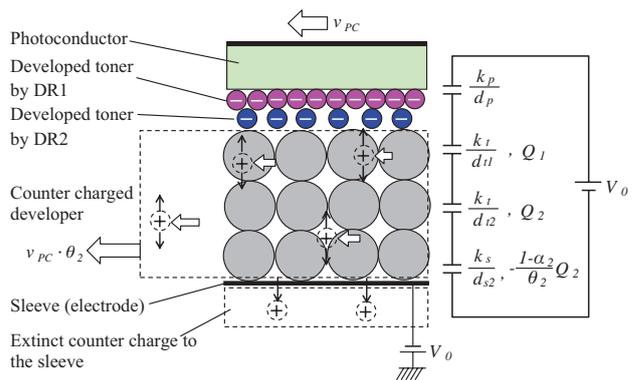


Fig. 2 Schematic illustration and equivalent circuit of charge transport equilibrium model at the 2nd development.

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、水帯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。

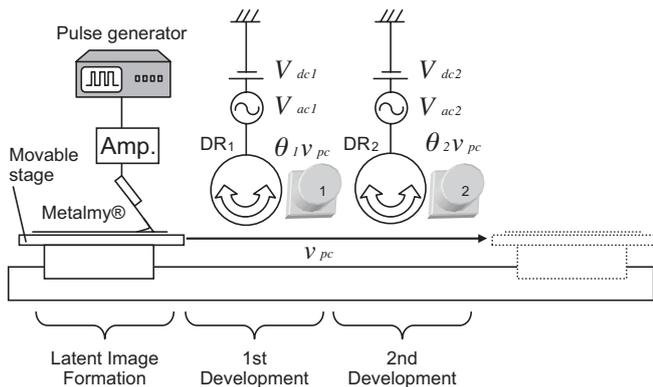


Fig. 3 Scheme of an experimental instrument to determine the best suite of double stage magnet brush development.

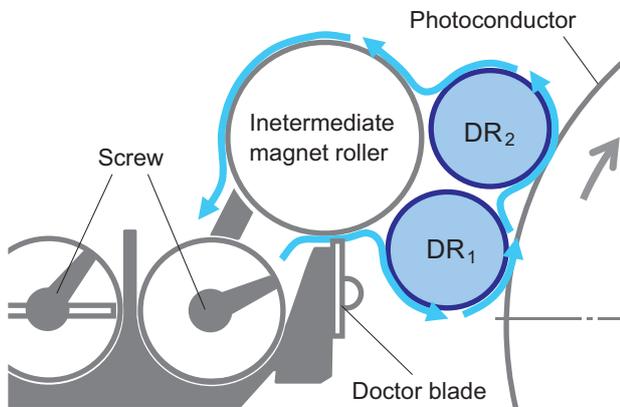


Fig. 4 Cross-section diagram of the actual model of double stage magnet brush developing unit.

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。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 $\phi 25\text{mm}$ 、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ー設計を行い、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一例を示す。水帯電法で形成した、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、下流の現像ローラーの回転方向で、磁気ブラシ摺擦痕の大小が決定されることが判る。

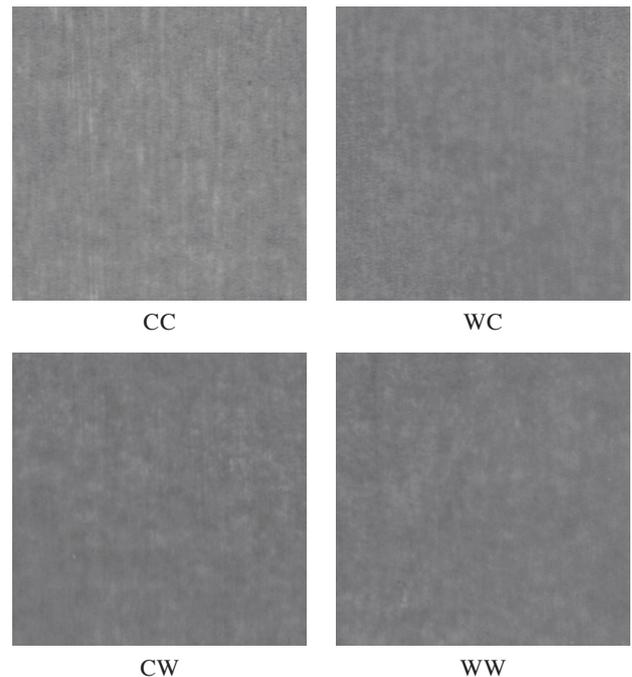


Fig. 5 Comparison of developed images among different suites of rotational direction (CC: counter-counter, WC: with-counter, CW: counter-with and WW: with-with). Halftone uniformity was determined by the rotational direction of the last developing roller.

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。誤差因子において搬送量を調整する規制板ギャップ d_b および現像ギャップ d_s の公差は、上下とも同じ向きに変化させた。

Table 1 Control factors for L9 orthogonal array.

Factor	Description	Levels		
		1	2	3
A	DR ₁ θ (θ_1)	0.8	1.0	1.2
B	V _{p-p} [kV]	0.3	0.4	0.5
C	Frequency [kHz]	9	11	13
D	DR ₂ Angle [$^\circ$]	-5	0	5

Table 2 Noise factors for N8 orthogonal array.

Noise	Description	Levels	
		1	2
a	Environment	HH	LL
b	Duration	New	Old
c	Tc [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	-	-

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。

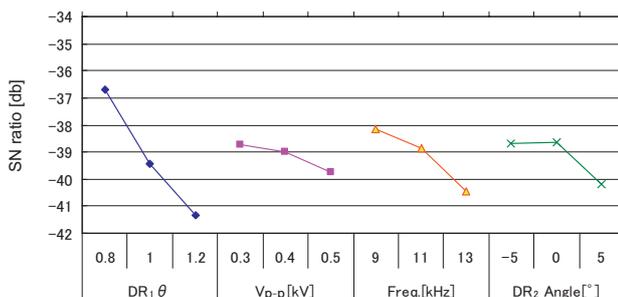


Fig. 6 Factorial effect plots of experimental result of L9 orthogonal arrays; SN ratio.

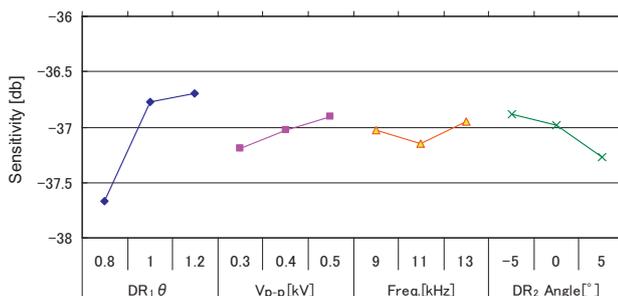


Fig. 7 Factorial effect plots of experimental result of L9 orthogonal arrays; sensitivity.

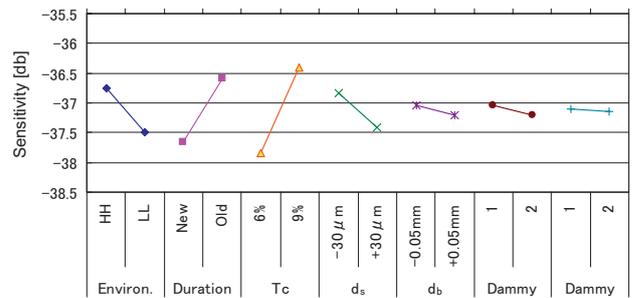


Fig. 8 Factorial effect plots of experimental result of N8 orthogonal arrays; sensitivity.

5 考察

実験結果を元に、各パラメータが式(3)、式(4)で定義した、カウンターチャージのスリーブ電極への消失率 α_1 , α_2 にどう寄与するかを見積もった。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。

$$\alpha = 1 - \exp(-\beta V_{p-p}/d_s) \quad (5)$$

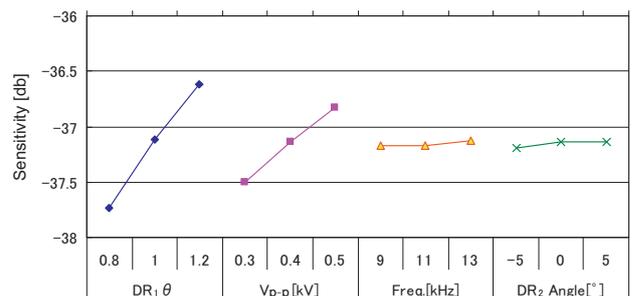


Fig. 9 Factorial effect plots of calculated result of L9 orthogonal arrays; sensitivity.

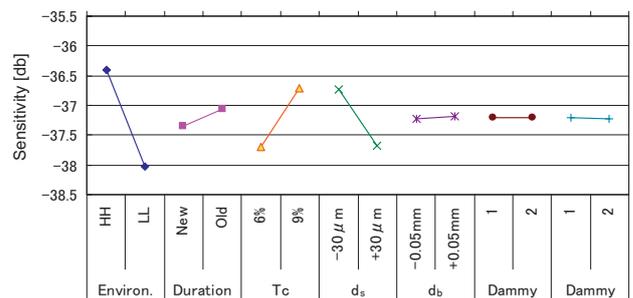


Fig. 10 Factorial effect plots of calculated result of N8 orthogonal arrays; sensitivity.

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、Tc(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、およそ帯電量の変化に応じた感度変化だ

けて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 DR_2 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、ブラシ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。

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に水帯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、スリーブ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。

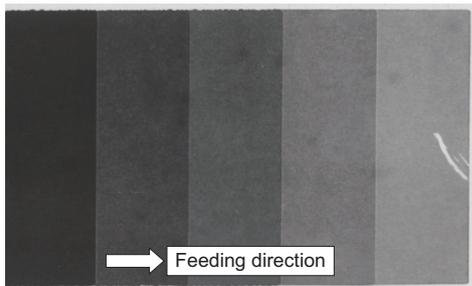


Fig. 11 Image sample of the optimized condition selected from the result of the L9 x N8 experiments.

6 まとめ

膨大な設計パラメーターをもつ多段磁気ブラ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ブ電極側への消失率 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。

今後、未検討パラメーターの現像モデルへの寄与を明確にし、磁気ブラシ現像法の機能向上に努めていく所存である。

●参考文献

- 1) T. Sugiyama, Y. Fujinuma, M. Nakayama, R. Kitajima, T. Satoh and M. Okamoto, "High Speed Digital Full Color Printer RICOH Pro C900", Journal of the Imaging Society of Japan, 48, pp. 51-57 (2009) [in Japanese].
- 2) T. Kurita, "Charge Transport Equilibrium Mechanisms in Electrographic Toner Development system", Journal of the Society of Electro-photography of Japan, 30 pp. 131-142 (1991) [in Japanese].
- 3) Y. Hattori, S. Hamamichi, S. Yoshimoto and T. Kobayashi, "Development Efficiency and Image Quality in Two-Component Color Developing system", Journal of the Society of Electrophotography of Japan, 37 pp. 16-24 (1998) [in Japanese].

●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。