

テストピースによる電子写真現像剤の機能性評価技術開発

Development of the Functional Evaluation Technique for Electro-photographic Developers Using Test Pieces

田村 希志臣* 佐藤 和彦** 奥山 奥士*** 白勢 明三*
Tamura, Kishio Sato, Kazuhiko Okuyama, Okushi Shirose, Meizo

In recent years, the demands of high productivity and quality for copy machines and printers is getting stronger. To respond such demands, it is important to develop both machines and the developers used in the machines. In the traditional approach to develop the developer, the quality level of a developer is judged by the output of image. However, such development using actual machines takes time and is costly because a large amount of developer has to be consumed. It is therefore urgent to find a more efficient approach. To evaluate the function of a developer, time was introduced in the generic function, and test pieces were used to shorten the time of development and reduce the cost.

1 はじめに

電子写真システムを利用した画像出力装置である複写機やプリンター市場では、アナログ機からデジタル機へと変革し、ますます高生産性や高画質化の要求が高まりつつある。その市場の要求を満足させるためには機械の開発と同時に資材である現像剤の開発が非常に重要である。

従来の現像剤開発では画像を出力することで、その現像剤レベルを判断してきた。しかしながら実機を用いたの開発には、かなりの工数が必要であると同時に評価用の現像剤を大量に試作しておく必要がある。これが開発期間や開発コストを増大させる原因の一つであり、効率化した開発手法が望まれている。

本検討では、現像特性の基本機能に時間の概念を取り入れることで、より効率化した機能性評価技術の検討を行った。

2 現像剤／電子写真システムの概要と目的

現像剤の構成および電子写真システムの構成を Fig. 1 に示す。本検討ではトナーとキャリアからなる2成分系現像剤（以下、現像剤と略す）の機能性評価を行った。トナーは樹脂を主成分とする $10\mu\text{m}$ 程度の複合材料である。また、キャリアは $50\mu\text{m}$ 程度の磁性体をコアとし、表面は薄膜の樹脂で覆われている。

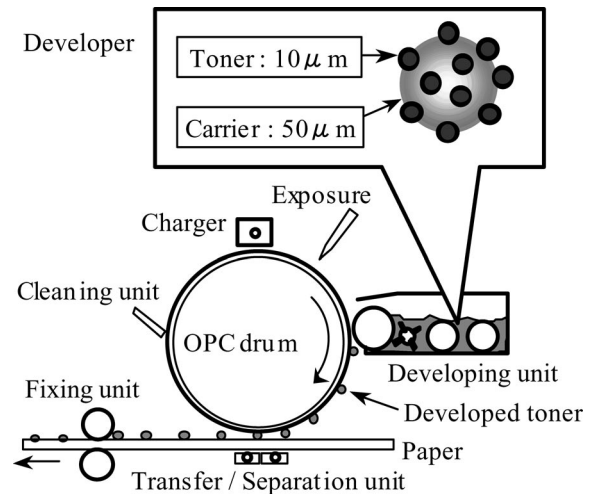


Fig. 1 Developer and electro-photographic system

また、電子写真システムの構成も Fig. 1 に示す。まず帯電手段と露光手段により感光体ドラム上に静電潜像が形成される。トナーとキャリアとは摩擦帯電しており、現像手段と感光体ドラム間に働く電界によりトナーはドラム上に現像され、像が可視化される。さらにドラム上のトナー像は、紙に転写された後、定着手段で固定化されて画像が出力される構成になっている。

本検討では、開発スピードの向上と開発コストの低減を図るために、実機ではなくテストピーススケールで現像剤の機能性評価技術を開発することを目的とした。

3 現像剤の評価方法

3.1 実験の構成

現像剤の機能性をより効率的に評価するために、電子写真システムの現像部をテストピーススケールに置き換えることを考えた。Fig. 2 は本検討で使用した試験器の

* OD カンパニー サブライ開発統括部 第2開発センター
** ODカンパニー システム開発統括部 システムソリューションセンター
*** OD カンパニー サブライ開発統括部 第1開発センター

構成である。2枚の電極板は、数 mm の間隔を開けて平行に設置されている。電極(下)の上に現像剤を投入し、電源を入れると2枚の電極間にはトナーが電極(上)に現像する方向に電界を形成する。また、電源に連動して磁石が左右に動き、現像剤を攪乱する構成になっている。

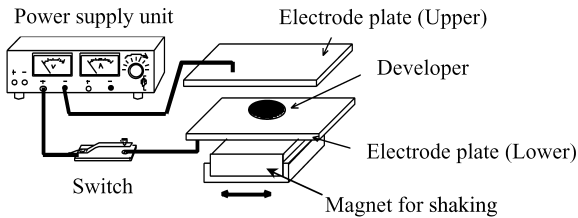


Fig. 2 Measurement system

3.2 基本機能の考え方

通常実機では、現像剤が現像器中を循環する構成になっており、現像剤は現像部へ次々と供給される構成になっている。これに対して試験器では、ある一定量の現像剤を電極(下)の上に投入する構成になっている。したがって現像するトナー量は有限であり、投入した現像剤重量とトナー濃度から飽和値が決まる。そこで、化学反応式の考え方を利用して、Fig. 3のような理想的な現像挙動を考えた。

特性値は全トナー量 Y_0 に対する残存トナー量 Y の比率 (=残存率) とした。なお、残存トナー量は全トナー量と電極(上)に現像したトナー量の差分として求めた。

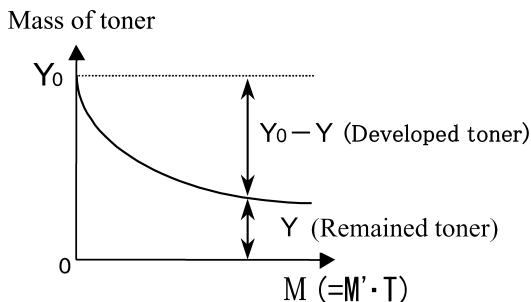


Fig. 3 Change of remained toner mass by developing

信号因子に関しては、当初は現像電位差 M' のみを想定していたが、化学反応式の考え方を利用すると同時に現像時間 T の概念を加え、2種類の信号因子を用いて解析することにした。

理想的な現像挙動の式は、

$$Y/Y_0 = e^{-\beta M T} \quad (1)$$

ここで Y_0 : 投入した全トナー量

Y : トナーの残存量

M' : 現像電位差

T : 現像時間

である。両辺の対数をとると

$$\ln(Y/Y_0) = -\beta M' \cdot T$$

となり、ここで $y = -\ln(Y/Y_0)$ とおくと、基本機能の式はゼロ点比例式

$$y = \beta M' T \dots\dots\dots(2)$$

となる(Fig. 4)。

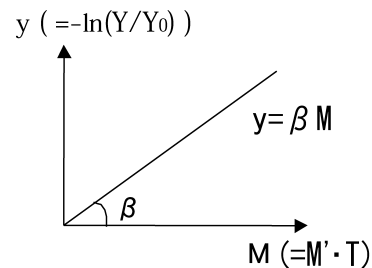


Fig. 4 Generic function

また、2種類の信号因子の水準は、それぞれ Table 1 のように割り付けた。

Table 1 Signal factors

Signal Factor M'	$M'1$	$M'2$	$M'3$
Potential [kV]	0.1	0.5	1.0
Signal Factor T	$T1$	$T2$	$T3$
Time [min]	0.25	1.5	3.0

3.3 誤差因子

誤差因子としては使用環境を想定し、Table 2のように高温高湿環境と低温低湿環境の2水準を選択することにした。

Table 2 Noise factor

Composed Noise Factor	$N1$	$N2$
Temperature	High	Low
Humidity	High	Low

3.4 SN比と感度の計算方法

本検討におけるSN比と感度の計算方法に関して、直交表実験 No.1 のデータを取り上げて説明する。

Table 3 Form of test data

M	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇	M ₈	M ₉
M'	M' ₁	M' ₂	M' ₁	M' ₃	M' ₁	M' ₂	M' ₂	M' ₃	M' ₃
T	T ₁	T ₁	T ₂	T ₁	T ₃	T ₂	T ₃	T ₂	T ₃
N ₁	y ₁₁	y ₁₂	y ₁₃	y ₁₄	y ₁₅	y ₁₆	y ₁₇	y ₁₈	y ₁₉
N ₂	y ₂₁	y ₂₂	y ₂₃	y ₂₄	y ₂₅	y ₂₆	y ₂₇	y ₂₈	y ₂₉

$$\text{全変動 } S_T = y_{11}^2 + y_{12}^2 + \dots + y_{29}^2 = 0.937$$

$$\text{有効除数 } r = M_1^2 + M_2^2 + \dots + M_9^2 = 14.254$$

$$\text{線形式 } L_1 = M_1 y_{11} + M_2 y_{12} + \dots + M_9 y_{19} = 2.258$$

$$L_2 = M_1 y_{21} + M_2 y_{22} + \dots + M_9 y_{29} = 2.259$$

$$\text{信号の効果 } S_\beta = (L_1 + L_2)^2 / 2r = 0.824$$

信号と誤差因子との交互作用

$$S_{N \times \beta} = [(L_1^2 + L_2^2) / r] - S_\beta = 0.004$$

$$\text{誤差作動 } S_e = S_T - S_\beta - S_{N \times \beta} = 0.109$$

$$\text{誤差分散 } V_e = S_e / 16 = 0.007$$

$$\text{調査誤差分散 } V_N = (S_e + S_{N \times \beta}) / 17 = 0.007$$

$$\text{SN比 } \eta = 10 \log[(S_\beta - V_e) / 2r / V_N] = 6.36(\text{db})$$

$$\text{感度 } S = 10 \log[(S_\beta - V_e) / 2r] = -15.43(\text{db})$$

3.5 制御因子

制御因子に関しては、現像剤成分の種類や量、製造方法をTable 4のように割り付けた。

Table 4 Control factors

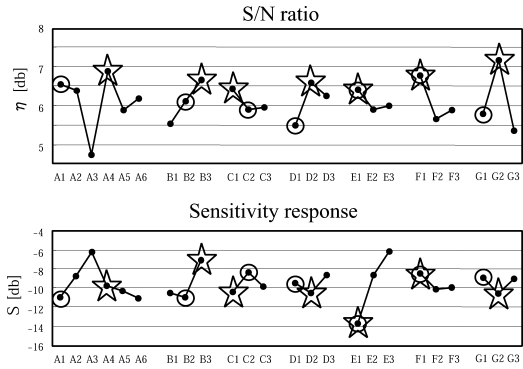
Control factor	Level 1	Level 2	Level 3
A. Material of component A	A1	A2	A3
	A4	A5	A6
B. Amount of component A	small	middle	large
C. Amount of component C	small	middle	large
D. Amount of component D	small	middle	large
E. Amount of component E	small	middle	large
F. Amount of component F	small	middle	large
G. Procedure	G1	G2	G3

4 実験結果

4.1 要因効果図

L₁₈ 実験より得られた SN 比と感度の要因効果図を Figs. 5 に示す。各制御因子の SN 比の改善効果が比較的小さいが、Table 5 のように最適条件と初期条件を選択して確認実験を行った。

選択した水準で確認実験を行ったところ、Table 6 に示すように利得の再現性は、ほとんど得られなかった。



Figs. 5 Factor level average response graphs (○; Current, ☆; Optimum)

Table 5 Control factor level of current and optimum

	A	B	C	D	E	F	G
Optimum	4	3	1	2	1	1	2
Current	1	2	2	1	1	1	1

Table 6 Results of confirmation test

Design	S/N ratio [db]		Sensitivity response [db]	
	Prediction	Confirmation	Prediction	Confirmation
Optimum	10.27	5.16	-13.46	-14.26
Current	6.41	4.05	-13.87	-13.92
Gain	3.86	1.11	0.41	-0.34

そこで、L₁₈ 実験の生データを調べたところ化学反応式で想定した範囲よりも、もっと早い段階から飽和傾向が生じていることがわかった。この傾向は全ての実験において共通に見られ、トナー量が有限であることは別の原因から飽和現象が起こっているものとする。

そこで、L₁₈ 実験の生データ全体を見て、Fig. 6 に示すように線形性が成立すると考えられる M₁~M₅ の信号範囲で再解析してみることにした。

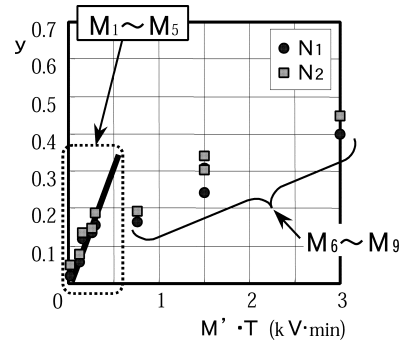
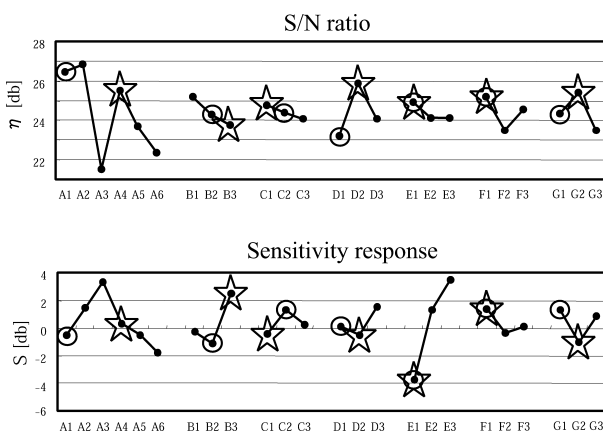


Fig. 6 Result of expt. No.1

その結果、SN比と感度の要因効果図は、Figs. 7のようになった。ここでFigs. 5の要因効果図と比較してみるとSN比に関しては制御因子AとBの傾向が変わったが、感度に関してはほぼ同一傾向であった。

最適条件が一部変わったが、当初選択した最適条件で利得の再現性を確認することにした。その結果、初期条件の確認値を除き、利得の再現性は良好なレベルにまで向上した（Table 7）。



Figs. 7 Factor level average response graphs (○ ; Current, ☆ ; Optimum)

Table 7 Results of confirmation test

Design	S/N ratio [db]		Sensitivity response [db]	
	Prediction	Confirmation	Prediction	Confirmation
Optimum	29.01	28.19	-3.81	-2.86
Current	26.38	23.21	-3.44	-2.37
Gain	2.63	4.98	-0.37	-0.49

4.2 品質特性の確認

テストピーススケールで最適化した条件が、実際の画像でどの程度改善しているかを確認するために、画像を出力して品質特性を初期条件と比較した。

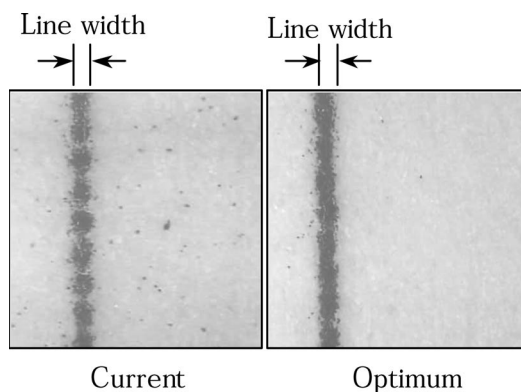


Fig. 8 Enlarged images of line and background

その結果、最適条件では画像背景部のトナーのカブリが低減するとともに、細線画像の品質などが著しく向上したことを確認した。

4.3 考察

本検討では、現像するトナーが有限であるため、あらかじめ飽和傾向が予想された。そこで、化学反応式を利用したわけだが、実際にはもっと早い段階から飽和傾向が現れた。これは、最表面のトナーは化学反応式にしたがってスムーズに現像できるが、現像剤層中のトナーは表面に出てくるまでに時間的な遅れがあることが原因と考える。したがって、信号水準を適正な範囲にとり再解析することで、再現性が向上したものとする。

今後、さらに計測精度を向上させるためには現像時間を短くするか、投入する現像剤層厚を薄くするなどの条件見直しを行うことが有効だと予想される。

4.4 成果

開発段階でのL₁₈実験ということでの損失関数を用いて金額ベースで経済効果を示すことは難しいが、いくつか仮定をおいて経済効果を算出した。

画質不良によりお客様からクレームが出るだろうと予想される画像濃度の機能限界Δ₀をβの±50%とする。これは低濃度領域での機能限界と高濃度領域での機能限界が異なるだろうと考えたからである。つまり、低濃度の画像では微少な濃度変化でもお客様にとっては、不満になるが、高濃度の画像では、ある程度の濃度変化まで許容されるだろうと想定したからである。

$$\Delta_0 = 0.5\beta \times M$$

続いて、機能限界を超えてサービスマンが現像装置を交換する費用A₀を2万円とする。

確認実験の結果から初期条件と最適条件の損失金額を求めると

$$\begin{aligned} L &= (A_0 / \Delta_0^2) \times \sigma^2 \\ &= [A_0 / (0.5 \cdot \beta \cdot M)^2] \times \sigma^2 \\ &= (A_0 / 0.5^2) \times (\sigma^2 / \beta^2) \times (1 / M^2) \end{aligned}$$

初期条件の損失金額

$$\begin{aligned} L(\text{初期}) &= (20000 / 0.5^2) \times (4.78 \times 10^{-3}) \\ &\quad \times [1 / (0.5 \times 1.5)^2] = 680 \text{円} \end{aligned}$$

ここで、Mは信号因子の第2水準の値を代入した。またσ²/β²は、Table 7の確認値(10log(β²/σ²))より計算した。

最適条件の損失金額

$$\begin{aligned} L(\text{最適}) &= (20000 / 0.52) \times (1.52 \times 10^{-3}) \\ &\quad \times [1 / (0.5 \times 1.5)^2] = 216 \text{円} \end{aligned}$$

となる。

したがって、一台あたりの効果ΔLは

$$\Delta L = L(\text{初期}) - L(\text{最適}) = 464 \text{円}$$

となる。

本検討に費やした開発期間は、約2ヶ月/人であり、従来方法に比べて1.5年間短縮している。この現像剤を年間30万袋生産すると仮定すると

464円×30万袋/年×1.5年=約2.1億円となり、さらに1.5年間分の人件費0.3億円を加えると合計2.4億円の経済効果が得られることになる。

また、テストピーススケールでの検討ということで試作工数を約1/3に短縮できたのと同時に、試作原材料費を大幅に減らすことができた。

5 結論

本検討では、実機ではなくテストピーススケールでの現像剤機能性評価技術を開発することができた。また本評価により機能性を向上させた現像剤は、画像背景部のカブリ低減、細線画像の品質向上など、品質特性も大幅に向上していることが確認できた。さらに成果に関しては、約2.4億円の経済効果が得られたものと想定できる。

謝辞

本検討に関しては、(株)オーケンの矢野宏先生より多大な御指導と適切な助言を頂きました。深く御礼申し上げます。

●参考文献

- 1) 矢野宏, “品質工学計算法入門”, 日本規格協会, 1998, P.213~226

Q&A

Q1 基本機能を化学反応式に捉えた理由は何でしょうか。

A1 理想的には、線形式になる基本機能を選択すべきですが、本検討では計測するトナーが有限であるため化学反応式を利用することにしました。

Q2 現像電位は、信号因子として取り扱っていますが、制御因子ではないでしょうか？信号因子にすると実験工数が増えてしまうと思うのですが、いかがでしょうか。

A2 電位差に対して現像性が比例することが理想機能と考え信号因子として取り扱いました。実験工数は増えますが、だからこそテストピースにすることで実験の効率化に努めています。

Q3 確認実験の結果が非線形になった理由は何でしょうか。

A3 少し専門的な回答になりますが、計測中にトナー

層中のトナーが表面に出てくるまでの時間差と現像したトナーの層厚による電位降下による現像性の低下が影響したものと考えています。

Q4 $M_1 \sim M_5$ を使って再現性が向上していますが、 M_1 に固定して T_1, T_2, T_3 を信号にした方が再現性がさらに良くなるように思います。いかがでしょうか。

A4 本検討では、いくつか解析方法を工夫してみました。その中で $M_1 \sim M_5$ を使った時が、最も再現性が良かった訳ですが、ご指摘の解析方法でも高い再現性が得られております。残念ながら、さらに良くなるということはありませんでした。もう少し実験を工夫する必要があると感じております。

Q5 Fig.8の細線以外でも品質特性の改善が見られたのでしょうか。

A5 本検討では一番わかりやすい画像を掲載しましたが、細線以外にもベタ画像やハーフトーン画像の品質も向上しております。

Q6 開発段階での研究ということで経済性効果を算出するのが難しいと思われませんが、何か工夫されたことはありますか？

A6 4.4章で触れておりますが、開発段階ということでいくつか仮定をおいて算出しています。工夫した点は、お客様が機能限界と感じる Δ_0 を β の $\pm 50\%$ と捉えた点です。本検討の特性値はお客様が画像を出力した時の濃度を意味しており、画像が薄い時と濃い時ではお客様が感じる許容範囲が異なると考え、傾き β の許容限界から算出しております。

Q7 実機を用いないでテストピースにこだわった理由は何かでしょうか。

A7 開発スピードの向上にこだわりました。今までのやり方では、お客様の要望期間に対して、とても開発が間に合いませんし、さらに開発コストを考えると実機を使うよりテストピースがより効率的だと考えました。

Q8 テストピースと実機とでは結果に乖離はありませんでしたか。

A8 テストピースでの検討はバラツキの低減であり、実機と乖離する場合もあると思います。乖離に関しては、実機にて調整する必要があると思いますが、本検討ではほとんど乖離は無く、わずかな調整で問題ありませんでした。

- Q9** テストピースを考えたり、作ったりするのは時間がかかり、むしろ実機を用いた方が早いという場合もあると思うのですが、いかがでしょうか。
- A9** 確かにテストピースを考えたり、作るのには時間がかかります。しかしながら、トータル設計を考えると開発スピードは間違いなく向上すると思います。また、一度、機能性評価を完成させれば汎用性があるので、その後の開発スピードは大幅に向上すると考えております。
- Q10** テストピーススケールでの機能性評価技術を開発する上でのポイントは何でしょうか。
- A10** 機能性評価技術を開発する時に、必ず計測精度の問題が発生すると思います。したがって計測器の最適化設計も含めて検討することがポイントの1つだと思います。
- Q11** 開発スピードを上げられた素晴らしい実践内容です。現像剤という粉体にしなくて評価できれば、さらにスピードは上がると思います。アイデアがあれば教えて下さい。
- A11** 品質工学会誌「品質工学」Vol.4,No.1(1996)に掲載された「複合系材料における均一分散性と結着性評価技術の開発」という事例が参考になるかと思います。現像剤のトナーを開発する時に粉体にしなくてテストピースで開発された素晴らしい事例です。さらなるスピード化へのヒントになるかと思います。

執筆者注：

本研究報告は、学会誌「品質工学」Vol.9,No.3(2001)に掲載された論文を品質工学会の許可を受けて転載したものです。ただし、レイアウトなど、趣旨を変えない範囲で内容の一部を変更しています。