

電子写真現像装置における攪拌プロセスの最適化

The Optimization of a mixing process for a developing device for electro-photography

佐藤 和彦*
Sato, Kazuhiko

田村 希志臣*
Tamura, Kishio

白 勢 明 三*
Shirose, Meizo

In recent years, the quality of copy machines or printers using the electro-photographic system is becoming better and better. As an electro-photographic product manufacturer, we are trying to optimize the developing device and minimize the particle size of developer for quality improvement.

In order to optimize the mixing process of developing device, it is generally considered that stabilizing the distribution of charged amount of developer leads to the improvement of print quality. It is therefore important to evaluate the variability of the charged amount of individual toner particles in the developing process as a mean of evaluating mixing function.

After the optimization of the developing device, a more stable mixing function in a given developer mixing time was obtained. The evaluation technique developed from this study is being applied to the development of a new developing device.

1 はじめに

近年、市場では電子写真システムを用いた複写機やプリンターの高画質化の要求が高まっている。電子写真関連企業においては、高画質化のために種々の技術検討が進められている。高画質化技術の一つとして、現像装置における攪拌プロセスの最適化による、現像剤の帯電量の安定化がある。

現像装置は補給トナーと現像剤を攪拌混合することでトナーを所定の値に帯電することが必要である。この時、補給トナーと現像剤を上手く攪拌混合しないと画質不良の問題を引き起こす。しかし、攪拌プロセスを最適化するには、補給トナーと現像剤の攪拌混合状態を評価する必要があるが、その評価手法は確立されていない。

本検討では、攪拌プロセスの機能性評価を行うにあたり、現像剤中の個々のトナーの帯電量バラツキを評価することを試みた。検討の結果、従来の現像装置よりも安定した攪拌性能を持つ現像装置を得ることができた。なお、本検討で確立した攪拌プロセスの機能性評価技術は別機種の新規現像器設計にも活用されている。

2 背景と目的

2.1 電子写真システムの概要

電子写真システムについて、Fig. 1 に示す一般的な構成を例に取り上げて説明する。

最初に 帯電手段により感光体ドラム上に電荷を一様に帯電させた後に 露光手段により感光体ドラムに、光を照射し静電的に潜像を書き込む。続いて 現像手段によりキャリアとトナーの内、トナーのみを感光体ドラム上に現像し、 現像したトナーを紙などの媒体へ転写し、紙を感光体ドラムから分離する。最後に 定着手段により、紙の上のトナーに熱と圧力を加えることで定着して画像を出力する。

本検討では、電子写真システムのうち画像を形成する現像装置の攪拌プロセスに着目し検討を行った。

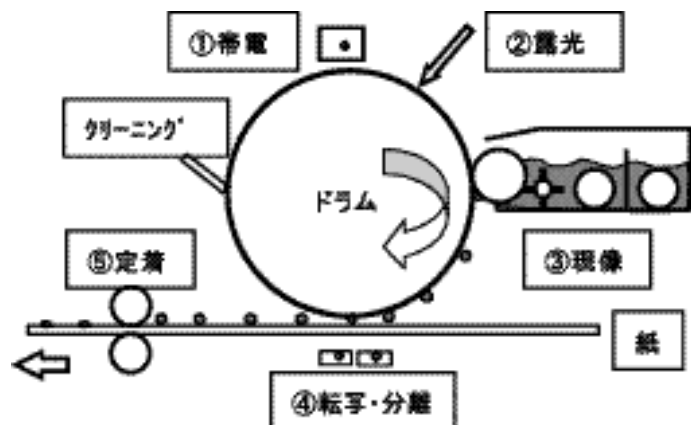


Fig. 1 電子写真システムの構成

* O D カンパニー 機器サプライ生産事業部 第2開発センター

2.2 現状の問題と検討の目的

現像装置には、10 μ m程度の樹脂を主成分とするトナーと50 μ m程度の磁性粉であるキャリアとが摩擦帯電した状態で充填されている。充填された2成分現像剤（以下、現像剤と略す）は、画像を形成することによりトナーのみが消費される。従って現像装置には消費されたトナーと同量のトナーを補給する機能が装備される。この補給トナーは、現像装置中で現像剤と攪拌混合することで所定の値に帯電する。（Fig. 2）

ここで現像装置の攪拌機能が不十分な場合、補給トナーと現像剤が十分に攪拌混合されないことがある。この時、現像装置内には攪拌不足のトナーが多く存在し、それらのトナーが現像装置の画像形成部へと搬送されると、ドラムに現像したトナーが画像の周囲に散ったり、機内でトナーが飛散する等の問題が生じる。

また、十分な攪拌を行うために現像装置の攪拌強度を強く設定すると、トナーの破碎やキャリア表面の膜はがれ等の現像剤劣化を引き起こし、画質劣化や画像濃度低下を引き起こすことがある。

本検討の目的は、補給トナーと現像剤を素早く帯電させることと、長期間の攪拌混合において現像剤劣化を引き起こさないことを両立する現像装置設計を行うことである。

そのためには、攪拌の機能性評価技術の開発が同時に必要となる。

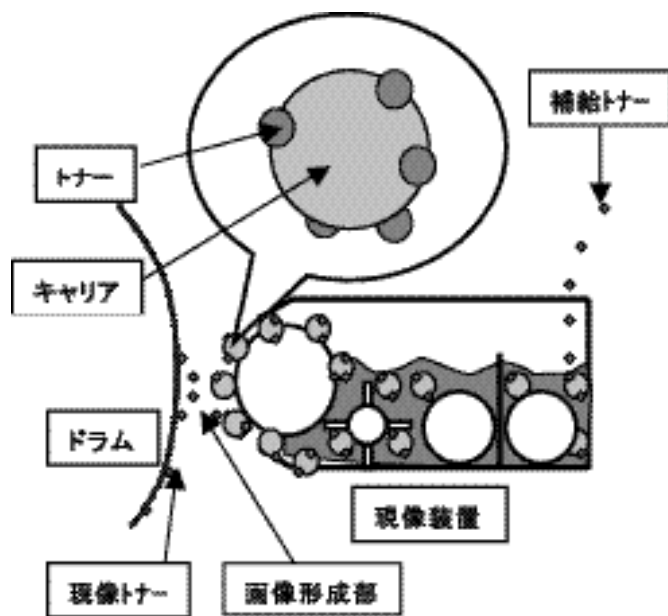


Fig. 2 現像装置の構成

3 攪拌プロセスの評価方法

3.1 理想機能と基本機能の考え方

現像剤の混ざり具合を定量的に評価することは非常に難しい。一般的な評価方法としてトナーの平均帯電量で

比較することが、計測が容易なこともあり頻繁に行われている。しかしながら、Fig. 3に示すような「分布が広い現像剤」と「分布が狭い現像剤」を平均帯電量で比較した場合、これらは同一帯電状態であると誤った判断をする可能性がある。従って平均帯電量だけで技術設計をすることは非常に危険である。

そこで本検討では、このような誤った判断をしないために平均帯電量ではなく、個々のトナーの帯電量バラツキを評価することが重要であると考えた。

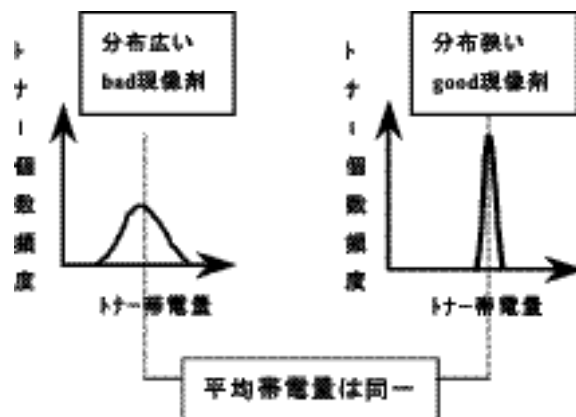


Fig. 3 平均帯電量と帯電量分布の違い

トナーは、画像形成部に現像電界を形成することでキャリアから離れてドラムへと現像される。

ここで帯電量が低い側にばらついたトナーは、画像の周囲に散ったり、機内で飛散するような問題を生じる。

また逆にトナーの帯電量が高い側にばらついたトナーは、画像濃度を低下させる問題を引き起こす。

そこで理想的な帯電量分布はFig. 4に示すような非常にシャープな分布が考えられる。このようなシャープな帯電量分布が、いかなる状況下でも維持できれば、高品質で安定した画像を常に出力することが可能である。

更に、この理想的な分布を個々のトナー粒子単位で考えてみると「個々のトナー帯電量がすべて同一であること」が攪拌プロセスの理想機能であると考えた。

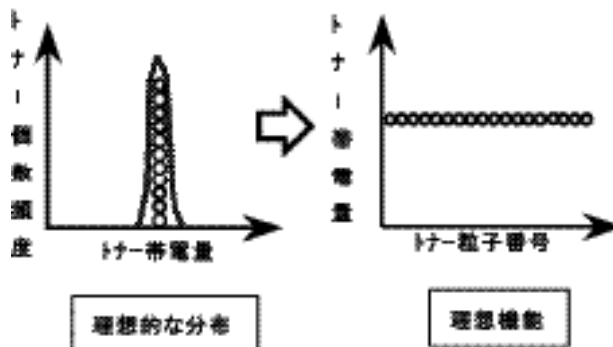


Fig. 4 理想機能の考え方

そこで本検討では理想機能の考えのもと基本機能を、「トナー個数に対するトナー帯電量の総和が比例関係にあること」と考えた。(Fig .5)

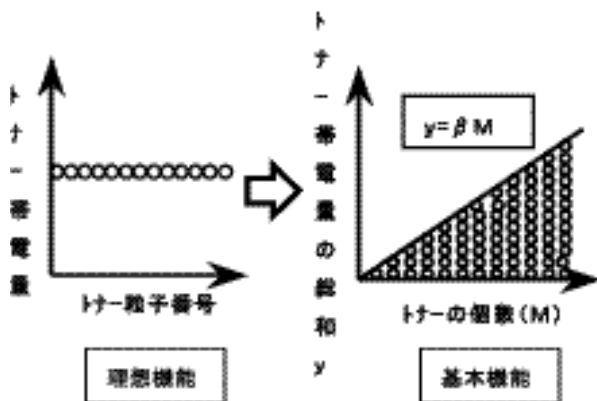


Fig .5 基本機能の捉え方

3.2 計測手段

本検討では、トナー個数とトナー帯電量の総和の比例関係を基本機能と考えている。従って、個々のトナー帯電量を計測することが必要である。そこで、本検討は(株)ホソカワミクロン製のE-spartアナライザーを活用した。以下にその特徴について簡単に記す。

E-spartアナライザーは、少量の現像剤を計測部にセットするとトナーのみを窒素ガスの圧力により分離する。計測部の中では、分離したトナー一個づつの帯電量を計測することができる。この点からE-spartアナライザーは、本検討を進めるにあたり非常に適した計測手段であると言える。

なお、ここでは触れないが今回用いたE-spartアナライザーは事前にL18実験¹⁾により計測機能性の最適化設計を実施し、計測自体のノイズを最小限に抑制してある。

4 実験の構成

4.1 信号因子と誤差因子

信号因子にはE-spartアナライザーで計測したトナー個数とし、その水準は1個から100個の100水準である。

また、トナー100個の帯電量のデータを信号水準に応じて積算した値を特性値とした。(Table 1)

Table 1 信号因子と特性値

信号因子 計測したトナー個数	M ₁	M ₂	.....	M ₁₀₀
	1	2	.....	100
個々のトナー帯電量	q ₁	q ₂	.....	q ₁₀₀
特性値	y ₁	y ₂	.....	y ₁₀₀

つまり、各特性値は下記のように個々のトナー帯電量を積算した値である。

$$y_1 = q_1$$

$$y_2 = q_1 + q_2$$

$$\dots\dots$$

$$y_{100} = q_1 + q_2 + \dots\dots + q_{100}$$

理想的なトナーの帯電量は攪拌混合する時間に対して一定であることが望ましいと考えた。

そこで誤差因子としては、攪拌時間を3水準選択した。(Table 2)

Table 2 誤差因子と水準

	N 1	N 2	N 3
攪拌時間	30秒	2分	60分

4.2 SN比と感度の計算方法

本検討におけるSN比と感度の算出方法に関して、No. 1 実験を例に取り上げて説明する。

Table 3 実験No. 1 の出力データ

	M ₁	M ₂	M ₃	.....	M ₁₀₀	L
	1	2	3	.....	100	
N 1	y ₁₁	y ₁₂	y ₁₃	.....	y ₁₁₀₀	92914
N 2	y ₂₁	y ₂₂	y ₂₃	.....	y ₂₁₀₀	130650
N 3	y ₃₁	y ₃₂	y ₃₃	.....	y ₃₁₀₀	90234

全変動

$$S_T = y_{11}^2 + y_{12}^2 + y_{13}^2 + \dots + y_{3100}^2 = 100436$$

有効除数

$$r = M_1^2 + M_2^2 + M_3^2 + \dots + M_{100}^2 = 338350$$

線形式

$$L_1 = M_1 y_{11} + M_2 y_{12} + \dots + M_{100} y_{1100} = 92914$$

$$L_2 = M_1 y_{21} + M_2 y_{22} + \dots + M_{100} y_{2100} = 130650$$

$$L_3 = M_1 y_{31} + M_2 y_{32} + \dots + M_{100} y_{3100} = 90234$$

信号の効果

$$S = (L_1 + L_2 + L_3)^2 / 3r = 97009$$

信号と誤差因子との交互作用

$$S_{*N} = \{(L_1^2 + L_2^2 + L_3^2) / r\} - S = 3019$$

誤差変動と誤差分散

$$S_e = S_T - S \quad S_{*N} = 407.5$$

$$V_e = S_e / 297 = 1.372$$

調合誤差変動

$$V_N = (S_e + S_{*N}) / 299 = 11.46$$

SN比と感度

$$= 10 \log\{(S / V_e) / (3r / V_N)\} = -20.79(\text{db})$$

$$S = 10 \log\{(S / V_e) / 3r\} = -10.20(\text{db})$$

4.3 制御因子

L18直交表を想定して、制御因子には現像装置周辺因子の中から現像剤の攪拌性能向上に期待できるものを表のように割り付けた。(Table 4, Fig. 6)

Table 4 制御因子と水準 (6¹ * 3⁶)

	1	2	3
A: 攪拌部材 X の形状	現行	Type 1	Type 2
	Type 3	Type 4	Type 5
B: 攪拌部材 X の移動速度	遅	中	速
C: 攪拌部材 X の壁との距離	狭	中	広
D: 攪拌部材 Y の形状	Type 1	現行	Type 2
E: 攪拌部材 Y の移動速度	遅	中	速
F: 攪拌部材 Y と壁との距離	狭	中	広
G: 現像スリーブの移動速度	遅	中	速

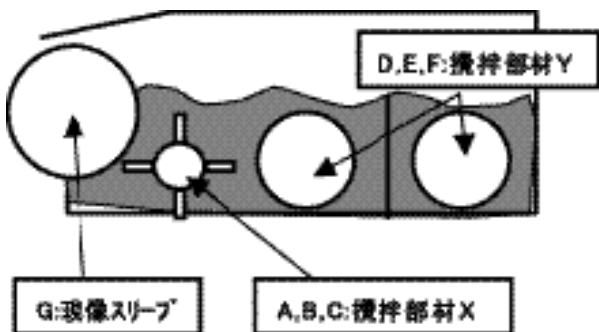


Fig. 6 現像装置の制御因子

4.4 実験手順

実験手順について説明する。まずL18実験の割り付けに従い現像装置を組み立てる。それから、現像剤を現像装置中に充填し、続いてメッシュを用いて補給トナーを現像剤の表面に均一に散布する。

これを初期状態として攪拌混合を開始し、誤差因子で割り付けた所定の時間で現像剤をサンプリングする。サンプリングした現像剤は、E-spactアナライザーにて個々のトナー帯電量を計測してSN解析を行う。

(Fig. 7)

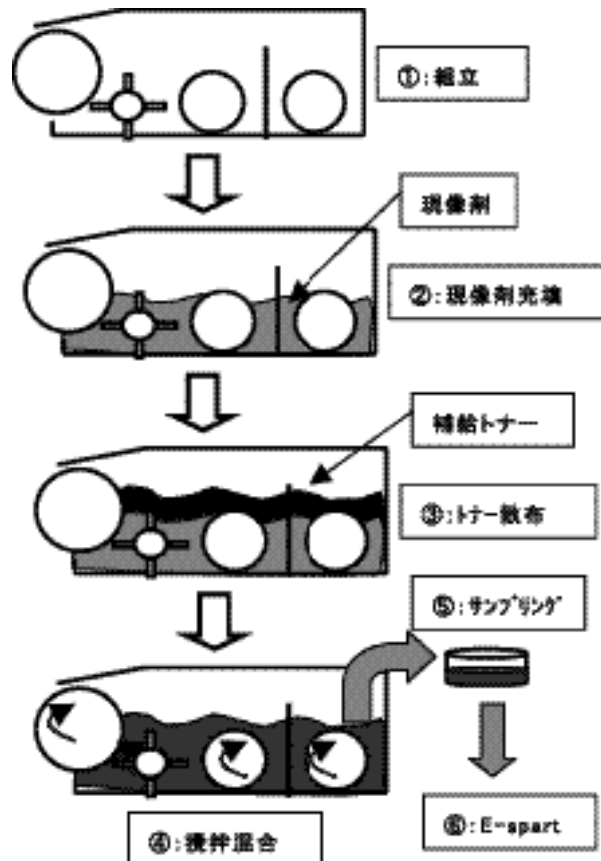


Fig. 7 実験手順

5 実験結果

5.1 要因効果図

L18実験を行った結果、要因効果図からA因子の効果が非常に大きいことがわかった。

最適条件としては、A、B、C、G因子を最適水準にすることで効果が期待できるが、実験装置の制約等があり今回の検討では特に効果が大きいと推定されるA因子のみを最適水準にすることで確認実験を行うことにした。(Fig. 8、Table 5)

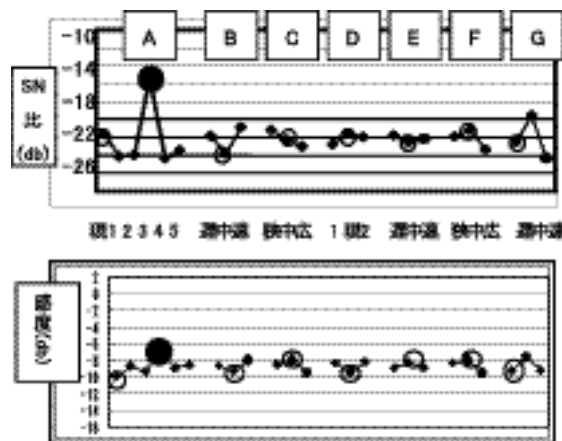


Fig. 8 要因効果図 (SN比と感度)

Table 5 現行条件と最適条件

	A	B	C	D	E	F	G
現行条件	1	2	2	2	2	2	1
最適条件	4	2	2	2	2	2	1

5.2 確認実験

S/N比と感度の推定値と確認値をTable 6に示す。S/N比、感度ともに良好な再現性が得られているものと判断できる。

Table 6 利得の再現性(推定値と確認値)

	S/N比(db)		感度(db)	
	推定値	確認値	推定値	確認値
現行条件	-22.74	-19.47	-10.12	-7.64
最適条件	-16.53	-12.44	-6.63	-5.43
利得	6.21	7.03	3.49	2.21

確認実験の生データをFig.9に示す。図を見ると現行条件に対して最適条件は誤差因子である攪拌時間に対する帯電量のバラツキが低減していることがわかる。最適条件は特にN1の線形性が向上、すなわち現像剤の劣化を生じることなく補給トナーを現像剤と素早く帯電させていることを示す。

また、全体の帯電量を意味する感度が向上していることもわかる。

通常なら帯電量は調整が必要である。しかしながら、今回の検討では調整の必要ない実用的な範囲に収まったため特に感度の調整は行わなかった。

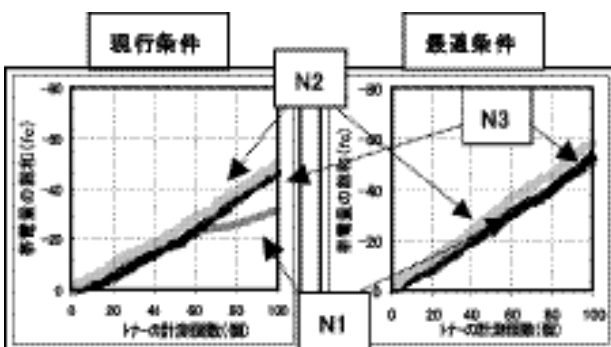


Fig. 9 確認実験生データ(現行/最適条件)

5.3 考察

本検討は現像装置における攪拌プロセスの機能性設計であるが、事前に計測技術の機能性設計を行っている。機能性設計を行う上では、常にその計測技術の信頼性と安定性についても十分に議論し、考える必要がある。本検討が上手くいった理由は、計測自体のノイズを最小限に抑えた条件下で実験できたことが大きな要因であると

考える。

今回最適化した現像装置は、補給トナーを素早く帯電させることができ、同時に長期攪拌による現像剤劣化が少ない設計ができた。これは、例えば大量のトナーが消費され、同量の大量のトナーが補給されるような状況下でもトナーを素早く帯電させることができることを意味し、またトナー消費量が少なく、長期攪拌された場合でもトナー帯電量を安定に保つことができることを意味する。これは現像剤の耐久性を向上させ、現像装置のメンテナンスフリー化やコストダウンにつながるものと考えられる。

5.4 成果

開発期間に関しては実験、計測、解析を通して15日間/人で終了している。同程度の制御因子を従来通りの一因子実験で見極めるためには、通常半年から一年の開発期間が必要であると予想される。従って開発スピードが、約10倍以上に飛躍的に向上したことがわかる。

また、現行条件から最適条件にすることにより7.03dbの改善効果が見込める。つまり、市場クレームを約1/5に低減させる効果があると考えられることもできる。

本検討は、開発段階でのタグチメソッドの適用であるため成果を金額ベースで捉えることはなかなか難しい。しかしながら、ここではいくつかの仮定をおくことで損失関数を用いて、経済効果を算出してみることにする。

お客様からのクレームの一つとして、画像の乱れや濃度低下がある。このような画質不良は、現像剤の攪拌不足や劣化により生じることが多い。従って、画質不良を引き起こすであろうと予想される帯電量の上下限を決め、その値から機能限界 σ_0 を

$$\sigma_0 = 7.5 \mu\text{c/g}$$

とする。

続いて現像剤が機能限界を超えた場合にサービスマンが現像装置を新品に交換するのに必要な価格 A_0 を

$$A_0 = 20000 \text{円}$$

とする。

確認実験の結果から現行条件の損失金額を求めると

$$\sigma^2 / \sigma_0^2 (\text{現行}) = 0.011$$

$$\sigma^2 (\text{現行}) = 0.17$$

$$\sigma^2 (\text{現行}) = 15.40$$

$$L (\text{現行}) = (A_0 / \sigma_0^2) * \sigma^2 = 5475 \text{円}$$

となる。

また、同様に最適条件の損失金額を求めると

$$\sigma^2 / \sigma_0^2 (\text{最適}) = 0.057$$

$$\sigma^2 (\text{最適}) = 0.29$$

$$\sigma^2 (\text{最適}) = 5.02$$

$$L (\text{最適}) = (A_0 / \sigma_0^2) * \sigma^2 = 1784 \text{円}$$

となる。

従って一台あたりの効果 L は、

$$L = L(\text{現行}) - L(\text{最適}) = 3691\text{円}$$

となる。

この現像装置が備え付けられた複写機やプリンターを年間1万台生産すると仮定すると

$$3691(\text{円/台}) \times 1(\text{万台/年}) = 3691(\text{万円/年})$$

と年間で約3700万円の経済効果が得られることになる。

また、今回得られた最適条件の知見は、他現像装置でも適用することも可能であり、経済効果は更に大きくなり得る。

6 結論

本検討においては、個々のトナー帯電量に着目することで、精度の良い攪拌プロセスの機能性評価技術を開発することができた。その結果、補給トナーを現像剤と素早く帯電させ、更にその後の攪拌混合に対して帯電量のバラツキを最小限に抑えた現像装置を設計することができた。攪拌時間に対して安定した攪拌性能は、高画質化に加えて現像剤の耐久性向上につながり、現像装置のメンテナンスフリー化やコストダウンが期待できる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、多大な御指導と適切な助言を(株)オーケン矢野宏先生より頂きました。深く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 田村希志臣、高際裕幸 : Journal of Quality Engineering Society Vol.7 N0.5 ,p47