

高信頼性電子写真用現像剤の開発

Development of the High Quality and Long Life Developer

小 鶴 浩 之*
Kozuru, Hiroyuki

丸 川 雄 二**
Marukawa, Yuji

山 根 健 二*
Yamane, Kenji

大 柴 知 美*
Oshiba, Tomomi

Taguchi method have been used to improve quality of products in various industry. We have used this method in some developments of developers and toners, and we have obtained some good results. In this paper, we have reported the case of the development of the high quality and long life developer by using this method.

We have chosen the prescription and the production process of carrier for the design factor and the environmental condition of mixing carriers and toners for the error. So, we have obtained the developer which have small fluctuation of triboelectric charge by changing environmental condition and too many copying process.

1 はじめに

近年、各種産業で品質を改善するためにタグチメソッドが用いられている。この手法は基本機能の機能性を評価することで、製品の設計、製造工程、市場の様々な使用条件下で、製品のロバスト設計を行うことができる。

我々はこのタグチメソッドを電子写真プロセスの中でも画像品質を決定する上で重要な因子である現像剤の開発に適用した。今回、キャリア処方及び製造工程を制御因子にとり、誤差に使用環境をとることで、使用劣化及び使用環境の変化に対して帯電量変化が少ない現像剤処方を確立し、安定した画像品質が得られることを確認したので報告する。

2 目的

Carlson プロセスについて、Fig.1 に示す当社の OPC 搭載アナログ系複写機を用いて説明する。Carlson プロセスでは①の帯電工程で感光体上に均一にマイナスの電荷を形成し、②の露光工程で非画像部の電荷を消去し、静電潜像を得る。次に、③の現像工程でマイナスの静電潜像にプラスに帯電したトナーを現像し可視化する。④の転写・分離工程で感光体上に現像されたトナーを転写材に転写し、転写材を感光体から分離し、⑤の定着工程でトナーを熱と圧力で転写材に定着させることで画像を得る。

この電子写真プロセスにおける現像法として、トナーとキャリアとから成る二成分現像剤を用いた磁気ブラシ現像法が広く用いられている。磁気ブラシ現像法に用いられる現像剤は、内部に磁石を有したスリーブ上に磁性体であるキャリアが担持され、このキャリアにトナーが

静電的に付着した現像剤が磁気ブラシを形成する。現像時、トナーは感光体に現像され、キャリアは現像器中に滞留する。

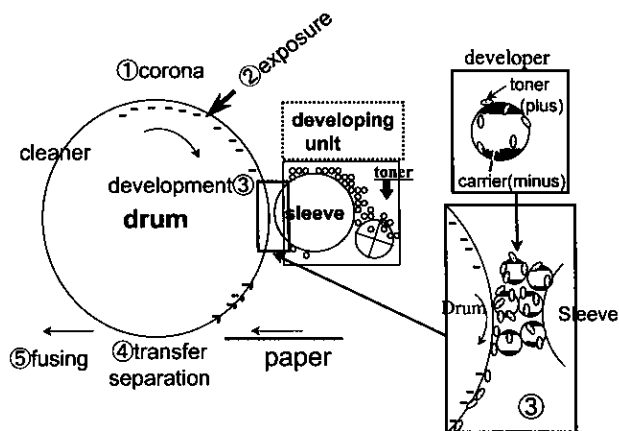


Fig.1 The image forming process of electrophotography

このプロセスでは、キャリアは適正な磁化及び抵抗を持つ必要がある。更に、キャリアは攪拌部で補給されたトナーを現像スリーブに運びながら摩擦によりトナーをプラスに帯電させている。このトナーの帯電量を適正値にすることが、高画質な画像を得るには必要である。適正値より帯電量が低いと画像カブリの問題が発生し、帯電量が高いと最高画像濃度が不足する。

実際の使用では、現像剤は a) キャリアの膜剥がれ及びトナースペント等によるキャリアの帯電付与力低下（耐久性）、b) 使用環境（温度、湿度）の変化による帯電量変化（環境依存性）等が起り、トナーの帯電量が変化するという問題がある。そこで、タグチメソッドを用いて、キャリアの帯電付与力低下に対してロバストネスのあるキャリア処方を確立し、目標の耐久性を満足する現像剤を得

* 情報機器事業本部 機器サプライ生産事業部 第2開発 C
** KONICA SUPPLIES MANUFACTURING U.S.A., INC

た。しかし、このキャリアは使用環境の変化に対して帯電量変化が大きいという問題が残存した。今回、我々は制御因子及び誤差因子を見直し、使用劣化及び使用環境の変化に対してロバストネスのあるキャリア処方を確認を試みた。

3 要求特性

電子写真用キャリアは適正な磁化、抵抗、更にトナーへの安定した帯電付与性等の特性が必要とされている。この中でも、画像品質の安定化に寄与するキャリアの帯電付与特性の安定化に着目し、検討を実施した。

帯電付与特性が安定なキャリアは下記に示す二つの要求特性を同時に満足する必要がある。

- ① キャリア処理条件に対し、トナー帯電量積分値が直線的に増加すること
- ② トナーとの攪拌時間に対しトナー帯電量積分値が比例関係を持つことである。

今回、我々は2つの要求特性を1つの基本機能で評価した。

Fig.2に示すように、理想機能はトナーとの攪拌時間に対する帯電量積分値に直線性が得られることであり、更にキャリア処理条件(連続量)を調整因子に取った。この理想機能を平たく言うと、直線への転写性を示すSNを評価することで、②トナーとの攪拌時間に対しトナー帯電量積分値が比例関係を持つことを評価し、更に、直線の傾きの等間隔性を示すSN*を評価することで①キャリア処理条件に対し、処理キャリアとトナーとを混合した帯電量が一次の相関を持つことを評価する。

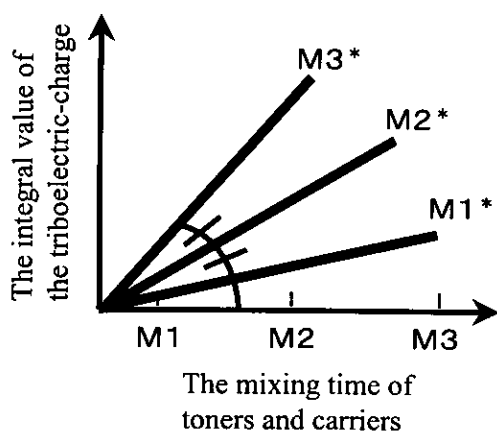


Fig.2 The ideal function of the electrophotographic developer

信号水準 M 及び M* は

M…キャリアとトナーの攪拌(混合)時間

M*…キャリアの処理条件(連続量)

① キャリア処理条件

キャリアの特性として、実写初期に帯電付与力が変化する現象があり、初期画像濃度が変化する問題が生じ

ている。そこで、我々は事前にキャリアを処理することで、実機内でのキャリア帯電付与力の変化を抑制する調整を行っている。トナーが初期より所望の帯電量を得るには Fig.3 に示すように、理想機能はキャリア処理条件(連続量)に対し、②で発現する処理キャリアとトナーとを混合した帯電量積分値が直線的に増加することである。要求特性がゼロ点比例とならず一次式となる理由は、入力がゼロ即ち処理していないキャリアを用いても、キャリアとトナーを混合することで帯電量は発生するからである。この一次式の乱れは実写初期においてトナー帯電量が変化することを意味する。

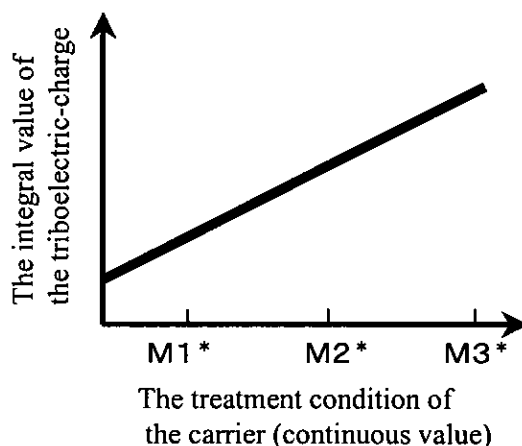


Fig.3 The ideal relation between triboelectric-charge and property ①

② トナーとの攪拌時間

キャリアの安定した帯電付与性とは Fig.4 上に示すようにトナーとの攪拌時間に対しトナー帯電量をすばやく立ち上げさせ、その後一定値を保たせることである。今回、入出力関係を動特性的にとらえるために、Fig.4 下に示すように帯電量を時間に対し積分した。その結果、理想機能はトナーとの攪拌時間に対しトナー帯電量積分値が比例関係となることである。この直線性の乱れは帯電量が安定しないことを意味し、また傾きは帯電量の大きさを示す。

以上のように、転写性の信号因子にトナーとの攪拌時間を取った。更に、トナーとの攪拌を行う前にキャリア処理による帯電量調整を行うので、調整用信号因子にキャリア処理条件(連続量)を取った。

4 誤差因子

使用環境の変化による帯電量変化に対してロバストネスのあるキャリアを得るため、誤差因子として使用環境(トナーとの混合環境)をとった。

N1: 低温低湿環境(LL)

N2: 高温高湿環境(HH)

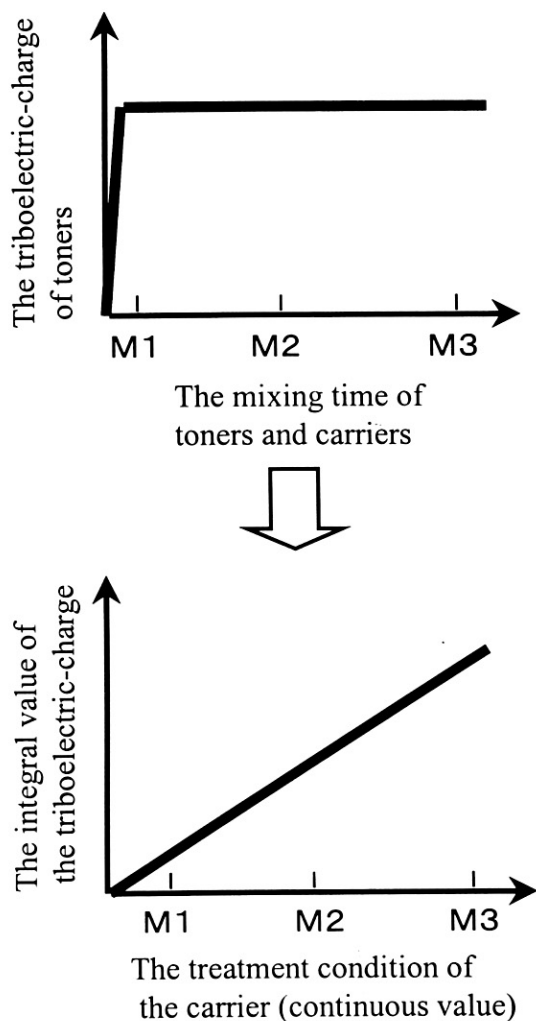


Fig.4 The ideal relation between triboelectric-charge and property ②

5 制御因子

キャリアの処方及び製造条件を制御因子にとり、L18実験を行った。

Table 1 Factors and levels in the experiments of the developer

factor	level 1	level 2	level 3
prescription A	A1	A2	
production B	B1	B2	B3
prescription C	C1	C2	C3
production D	D1	D2	D3
production E	E1	E2	E3
production F	F1	F2	F3
production G	G1	G2	G3
production H	H1	H2	H3

6 計測システム

実験方法を下記に示す。

- ① キャリア処理条件を連続的に変えて処理 (M1*, M2*, M3*)
- ② キャリアにトナーを入れて処理し、経時でサンプリング (M1, M2, M3)
- ③ サンプリングした現像剤の帯電量を測定

トナーの帯電量を測定する方法として、ブローオフ法、吸引法、垂直電極式直流電界法等が一般に用いられている。今回、ブローオフ測定装置を用いてトナー帯電量を計測した。

ブローオフ法とは、圧縮ガスによりキャリアとトナーとを混合した現像剤からトナーを分離し、この時に発生する摩擦帯電量を測定するものである。

本装置の測定原理を Fig.5 に示す。現像剤をファラデーケース内に取り付けた金網上に置き、圧縮ガスを吹き付け、トナーのみを金網の目開きを通して分離除去する。ケース内に残ったキャリアには、トナーが持ち去った電荷と等量の逆電荷が残っており、ケースに接続したコンデンサ（容量C）を充電するので両端の電圧を測定することにより、トナーの帯電量 $|Q| = CV$ として求められる。

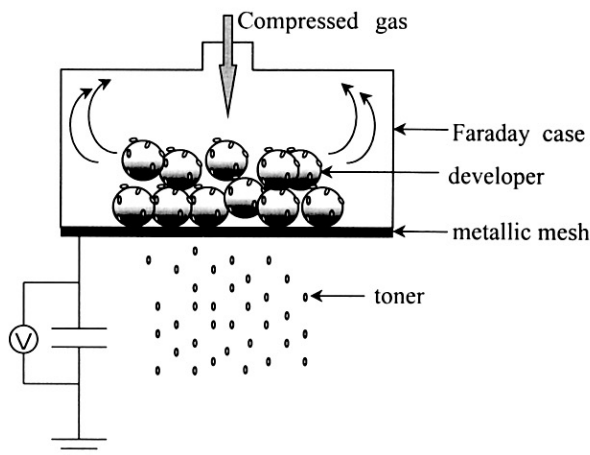


Fig.5 The model of Blow-off method

7 SN比、感度の算出

Table 2 及び Fig.6 に示すように、2信号同時解析を行った。Table 2 のデータ及び下記計算結果は L18 実験中の No.1 のデータ及び計算結果である。

Table 2 Analysis of the experimental data of the No.1 in L18

adjustment	aberration	signal			
		M1	M2	M3	L
M1 *	N1	12.9	275.7	596.7	14703.9
	N2	10.5	189.1	373.1	9363.6
M2 *	N1	17.2	341.7	718.2	17798.2
	N2	11.9	226.5	458.5	11446.9
M3 *	N1	19.8	391.5	818	20294.8
	N2	14.2	269.3	549.3	13693.2

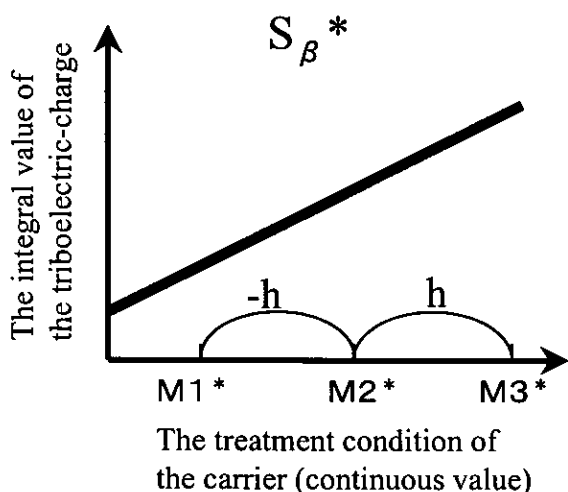
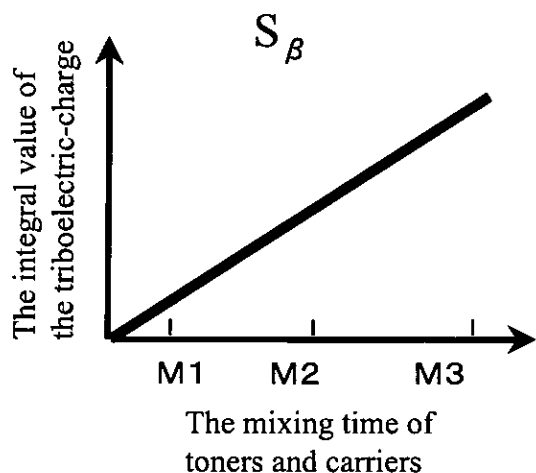


Fig.6 The analytical method of experimental results

信号の因子

$$S_B = (L_1 + \dots + L_6)^2 / \{(2 * 3(M_1^2 + M_2^2 + M_3^2))\} \quad (f=1)$$

$$S_{B*} = (-L_1 - L_2 + L_5 + L_6)^2 / \{(2 * 2(M_1^2 + M_2^2 + M_3^2))\} \quad (f=1)$$

信号と誤差因子との交互作用

$$S_{N*} = \{(L_1 + L_3 + L_5)^2 + (L_2 + L_4 + L_6)^2\} / \{3(M_1^2 + M_2^2 + M_3^2) - S_B\} \quad (f=1)$$

信号の効果

$$S = (14704 + \dots + 13693)^2 / \{(2 * 3(1^2 + 10^2 + 20^2))\} = 2535417$$

$$S_B^* = (-14704 - 9364 + 20295 + 13693)^2 / \{(2 * 2(1^2 + 10^2 + 20^2))\} = 49105$$

信号と誤差因子との交互作用

$$S_{N*} = \{(14704 + 17798 + 20295)^2 + (9364 + 11447 + 13693)^2\} / \{3(1^2 + 10^2 + 20^2) - 2535417\} = 111322$$

誤差因子と誤差分散

$$S_e = S_T - S_B - S_B^* - S_{N*} = 3231$$

$$V_e = S_e / f_e = 3231 / (18 - 1 - 1 - 1) = 215$$

$$V_N = (S_{N*} + S_e) / (f_{N*} + f_e) = (111322 + 3231) / (1 + 15) = 7160$$

SN比

$$\eta = 10 \log \{(S_B - V_e) / (2 * 3 * r) / V_N\} = 10 \log \{(2535417 - 215) / (2 * 3 * 501) / 7160\} = -9.57$$

$$\eta^* = 10 \log \{(S_B^* - V_e) / (2 * 2 * r) / V_N\} = 10 \log \{(49105 - 215) / (2 * 2 * 501) / 7160\} = -24.96$$

感度

$$S = 10 \log \{(S_B - V_e) / (2 * 3 * r)\} = 29.26$$

$$S^* = 10 \log \{(S_B^* - V_e) / (2 * 2 * r)\} = 13.87$$

8 結果

L18 実験の結果に基づき工程平均を算出し、要因効果図を作成した。Fig.7に η 、 η^* の結果を Fig.8に S、 S^* の結果を示す。Fig.7より、各制御因子でSN比を示す η と η^* を比較すると、SN比が最も高い条件が一致することがわかる。Fig.8より、感度はS、 S^* で異なる傾向を得た。

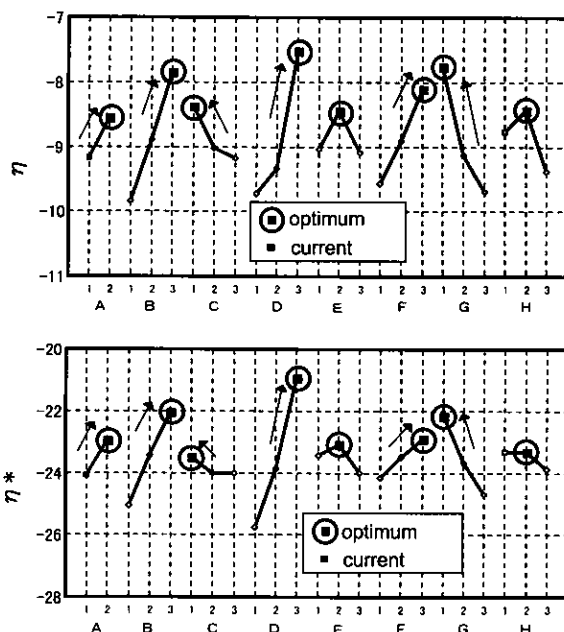


Fig.7 Factor effect diagrams of SN ratio from experimental results of L18

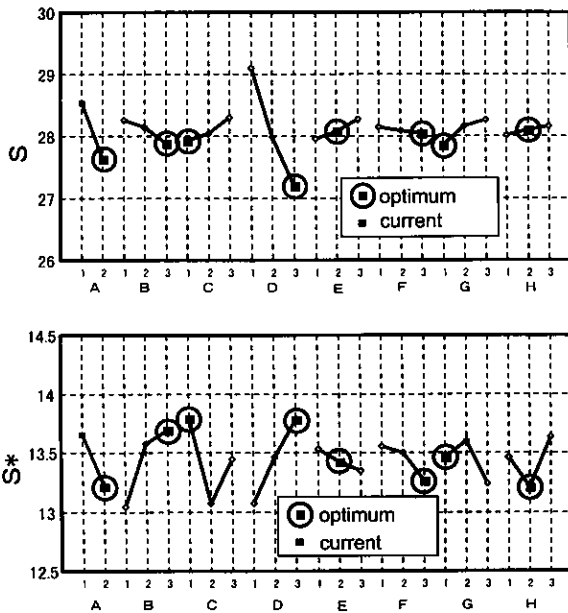


Fig.8 Factor effect diagrams of Sensitivity from experimental results of L18

9 利得の推定と確認実験

Table 3 に現行条件と SN 比から選んだ最適条件を示す。また、Table 4, 5 に現行及び最適条件の η 及び S の利得を推定した結果及び確認実験で得られた結果を示す。

Table 3 The experimental condition of the current level and the optimum level

control	current	optimum
A	A1	A2
B	B2	B3
C	C2	C1
D	D2	D3
E	E2	E2
F	F2	F3
G	G2	G1
H	H2	H2

Table 4 Gains of SN ratio in the experiments

	η		η^*	
	estimation	result	estimation	result
current	-9.33	-9.55	-24.36	-25.07
optimum	-3.01	-0.30	-15.33	-14.90
gain	6.32	9.32	9.03	10.17

Table 5 Gains of sensitivity in the experiments

	S		S^*	
	estimation	result	estimation	result
current	28.49	27.85	13.44	12.33
optimum	26.08	27.68	13.78	13.08
gain	-2.42	-0.17	0.34	0.75

L18 実験から推定すると、現行条件に対して最適条件は 6.32dB (η) 9.03dB (η^*) の利得が期待できる。また、この条件で確認実験を行い、9.32dB (η)、10.17dB (η^*) の利得が得られた。利得の再現性はやや低い、十分な利得が得られることが明らかとなった。

Fig.9, 10 に目標の感度が得られる M3* の結果を示す。現行条件 (Fig.9) に対し、最適条件 (Fig.10) は使用環境によるばらつきが大幅に低減している。

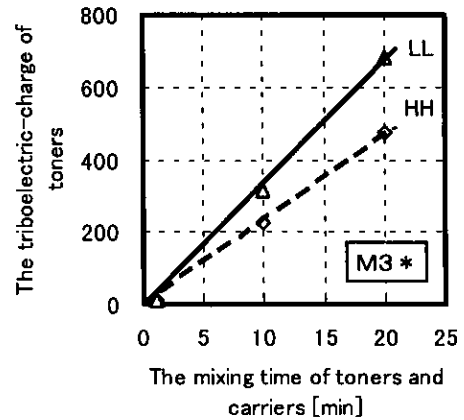


Fig.9 Results of the triboelectric-charge of toners in the current condition at HH condition and LL condition

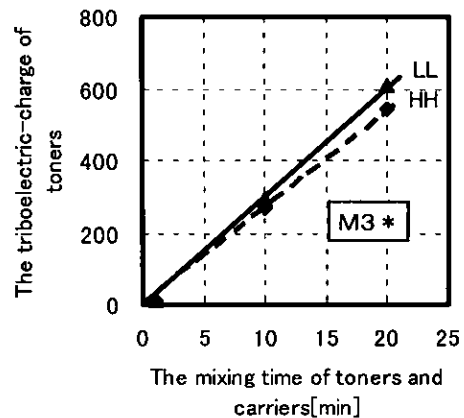


Fig.10 Results of the triboelectric-charge of toners in the optimum condition at HH condition and LL condition

10 考察

今回選択した最適条件が実機内でも効果があることを確認するため、誤差因子である評価環境を変え (HH, LL) で現行条件と最適条件キャリアの実写評価を実施した。現行条件は環境差が幅で $14 \mu\text{C/g}$ 、最適条件は幅で $6 \mu\text{C/g}$ の環境差となり、現行条件に対し最適条件は帯電量環境差が半分以下に低減している。Fig.11, 12 に、実写画像の最高濃度と画像カブリ濃度の結果を示す。最高濃度が 1.27 以下では画像濃度が不足し、1.33 以上では文

字つぶれが発生している。画像カブリ濃度が0.005以上では画像以外の白地部にトナーが付着していることが目視で分かるレベルである。開発の目標は、最高濃度が1.27~1.33の範囲で、かつ画像カブリ濃度が0.005未満である。現行条件に比べて最適条件は最高濃度及び画像カブリ濃度共に目標性能を満足している。

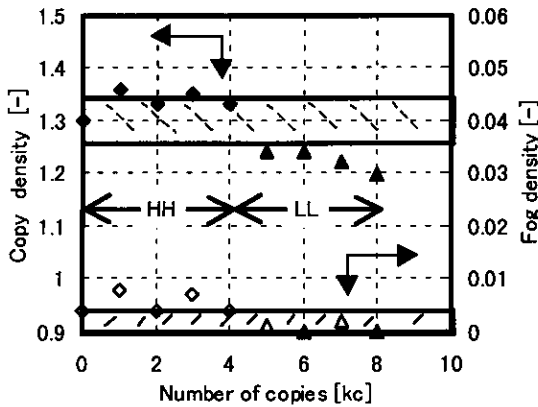


Fig.11 The copy density of using the current developer

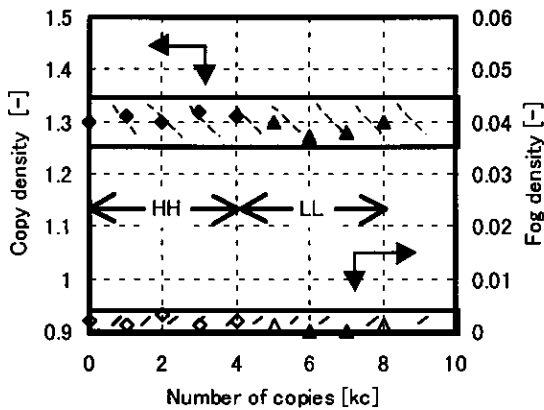


Fig.12 The copy density of using the optimum developer

また、実写により耐久性を確認し、現行製品に対し5倍以上の耐久性が得られた。以上の結果より、L18実験で得られた最適条件は、実機中でも十分な効果が得られることを確認した。

今回、実写結果から経済的損失を求めた。帯電量が10 $\mu\text{C/g}$ 以下では画像カブリやトナー飛散による画像汚れが発生し、40 $\mu\text{C/g}$ 以上では画像濃度不足の問題が発生する。よって、機能限界は帯電量が10 $\mu\text{C/g}$ 以下、及び40 $\mu\text{C/g}$ 以上(幅30 $\mu\text{C/g}$)である。機能限界となったときにかかるコストとしては、サービスマンが出張してメンテナンスを行う人件費と交換する現像剤のコストで、約20,000円のサービスコストがかかる。

複写機1台当たりの損失は各々

$$L(\text{現行}) = 20,000 \text{ 円} \div (30/2)^2 \times (14/2)^2 = 4,360 \text{ 円} \\ (\text{環境差 } 14 \mu\text{C/g})$$

$$L(\text{最適}) = 20,000 \text{ 円} \div (30/2)^2 \times (6/2)^2 = 800 \text{ 円} \\ (\text{環境差 } 6 \mu\text{C/g}) \text{ となる。}$$

この結果より、1台当たりの損失差(ΔL)は $\Delta L = L(\text{最適}) - L(\text{現行}) = 3560$ 円となり、最適処方とすることで1台当たりの損失は3560円低減される。年間6万台の発売とすると、年間2億1千万円の経済的損失の改善となる。

11 まとめ

キャリアの処方及び製造条件を制御因子にとりL18実験を行った。その結果、現行条件に対し、 η で9.32dB、 η^* で10.17dBの利得が得られた。更に、最適条件キャリアの実写評価において、使用環境の変化及び使用劣化に対して、トナー帯電量が安定し、それにより適正な画像濃度で安定化できることを確認した。

今回、我々はキャリア処方及び製造工程を制御因子にとり、誤差に使用環境をとることで、使用劣化及び使用環境の変化に対してロバストネスのある現像剤処方を確立し、安定した画像品質が得られることを確認した。

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働日本規格協会 矢野宏先生より頂きました。深く御礼を申し上げます。