

# 画像シミュレーションによる 摺擦ノイズ抑制と画質向上の研究

Friction Noise Suppression and Image Quality Improvement Using Numerical Simulation

近藤 芳昭\*  
Yoshiaki KONDOH

服部 好弘\*\*  
Yoshihiro HATTORI

## 要旨

2成分磁気ブラシ現像方式に起因する摺擦ノイズは、電子写真法固有の画質的特徴の一つである。この特徴的ノイズの低減に対して、現像サブプロセス設計による改善とともに、作像システム全体の画質設計の観点においても改善が図られてきた。

本検討では、シミュレーションを用いた電子写真プロセスの画質設計や評価において、現像での摺擦ノイズの画質的特徴をノイズ関数としてモデル化して、一連の計算過程に組み込む簡易的な手法を検討した。筋状ノイズを持つ実機出力画像サンプルの濃度分布をスキャナで読み取り、ノイズのない理想的な画像濃度との差からノイズ関数を導出した。ノイズ関数を用いた場合と用いない場合の画像濃度分布の計算結果の1次元フーリエスペクトルから、特徴的な空間周波数域の波高値を比較し、筋状ノイズの目立ちやすさの指標とした。解析結果は経験的に知られるパラメータ設計上の知見と傾向的な合致を示した。また、上記のシミュレーション技術および、筋状ノイズの数値化手法を用いて品質工学の直交実験を行い、各因子とノイズとの関係性を確認した。

本研究の活用により、製品開発の早い段階で画像ノイズに対して、設計の品質到達レベルをシミュレーションで見定めることが可能である。本研究をさらに信頼性の向上につなげることで、顧客価値の向上が将来的に期待できる。

## Abstract

Friction noise caused by the magnetic brush of a two-component development system is an inherent problem in electrophotographic imaging. To reduce friction noise, every effort has been made at KONICA MINOLTA in the design of the development sub-process as well as of the total imaging system. This paper presents a simplified method whereby the specific characteristics of development-induced friction noise were modeled as a noise function and used in a numerical simulation of the processes of design and evaluation.

A mathematical noise function was derived by subtracting the scanned density profile of an actual printed sample having friction noise from a mathematically-created, ideal noiseless image. Fourier transform spectra of the density profiles simulated with and without the noise function were analyzed by comparing peak heights in a specific space frequency range as a visibility index of the friction noise.

Results corresponded well with the empirical tendency of the design parameters. This simulation technique and the visibility index of the friction noise were applied to a quality engineering orthogonal array experiment whose results revealed a relationship between several control factors and noise factors. In this way, a final product quality level can be simulated at an early step in product development. In addition, the technique brings increased value to the customer when advanced to the level of product reliability design.

---

\* 品質保証統括部 品質企画推進部  
\*\* 開発本部 PP製品開発センター

## 1 はじめに

2成分磁気ブラシ現像方式を採用する電子写真装置において、磁気ブラシの摺擦によって生じる筋状のノイズは、電子写真固有の画質の特徴の一つである。電子写真システム的设计にあたっては、現像サブプロセスでの摺擦ノイズを低減する検討が進められるとともに<sup>1)</sup>、画質設計において、摺擦ノイズを目立たせないための設計上の配慮がなされている。シミュレーションを用いた電子写真プロセスの画質設計や評価において、現像での摺擦ノイズをはじめとした、電子写真固有の画質の特徴をモデル化して、一連の計算過程に組み込むことは、この手法の実用性を高める上で重要である。現像器において、動的に現像磁気ブラシ密度分布を精度よく測定・制御することは難易度が高く、様々な研究がなされている<sup>2)</sup>。このため、画像形成システム全体のバランスを考慮した画質向上パラメーターの抽出もまた難しい状況にあった。本研究では実写画像から抽出した摺擦ノイズ画像を関数化して現像特性の計算に重ねる簡易的な処理を採用し、その実用性を検討した。

## 2 シミュレーション

筆者らはこれまでに電子写真の画像形成プロセス（画像処理、露光、潜像形成、現像、転写、定着）の影響を考慮した画像シミュレーションを構築し報告した<sup>3)</sup>。その機能を Table 1 に示す。

Table 1 Functional specifications of the simulation system.

Sub-process	Parameter	
Toner	Density/mass	Studied
	Particle characteristics	Not studied
	Charging characteristics	Not studied
Photoconductor	PIDC	Studied
	Internal diffusion	Not studied
Development	Developing characteristics	Studied
	Edge effect	Not studied
	Friction noise	This report
Exposure	Beam profile	Studied
	Exposure position	Studied
	Light emission characteristics	Studied
Control	Max. density correction	Studied
	$\gamma$ correction	Studied
	Screening	Studied
Transfer	Transfer efficiency	Studied
	Discharging noise	Not studied
	Toner scattering	Studied
Fuser	Color/temperature	Studied
	Surface profile	Not studied
	Internal diffusion	Not studied
Paper	Surface profile	Not studied
	Electrical characteristics	Not studied
	Heat transfer characteristics	Not studied

前述の筋状ノイズに類する課題は表中の“Friction noise”に対応する。本検討では、この“Friction noise”に対する機能拡張を行った。まず、筋状ノイズを持つ実機出力画像サンプルの濃度分布 ( $D_{noisy}$ ) をスキャナで読み取る。そして式 (1) に示すように、ノイズのない理想的な画像濃度 ( $D_{ideal}$ ) との差を取ることでノイズ成分を抽出し、2次元空間分布関数  $\Delta g(x,y)$  を得る。

$$\Delta g(x,y) = D_{ideal}(x,y) - D_{noisy}(x,y) \quad (1)$$

(where  $\Delta g(x,y) < 0$  ignored)

以下、 $\Delta g(x,y)$  をノイズ関数と呼ぶ。ここで  $\Delta g(x,y) < 0$  のときを除外したのは、摺擦ノイズの発生メカニズムを、磁気ブラシ密度が低いことによる部分的トナー供給不足ととらえた場合を表している。摺擦ノイズの発生メカニズムは、この他にも、キャリアからの電荷注入による潜像の消去、摺擦力が高い場合のメカニカルなトナーの移動、カウンターチャージの偏在による静電的な引き戻しなどが考えられ、メカニズムに適した計算モデルを選択する必要がある。

得られたノイズ関数を式 (2) に示す様に比率としてトナー付着量分布 ( $F$ ) にかけて合わせることで、摺擦影響を計算に組み込んだ。

$$F(x,y) = F_0(x,y) \times (1 - \Delta g(x,y) / D_{ideal}(x,y)) \quad (2)$$

ここで  $F_0$  はノイズがないときのトナー付着量分布である。シミュレーションフローを Fig. 1 に示す。

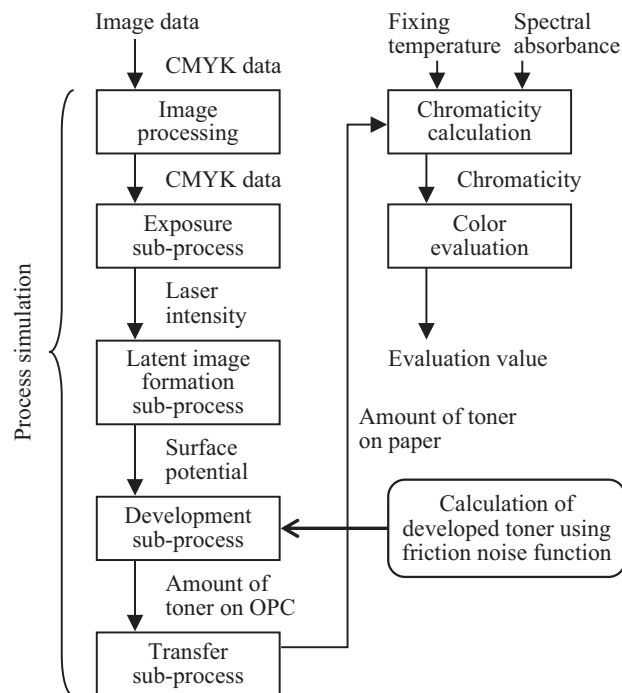


Fig. 1 Simulation flow. A friction noise function at the development sub-process is incorporated in a conventional simulation flow. An output image and evaluation values are obtained from input image data calculated at each sub-process.

サブプロセスユニットごとに計算を順次行う。画像処理部では、プリントされる画像データに対し、実機相当のガンマ補正とスクリーン処理を適用している。露光部では、レーザーパワーやビーム径などをパラメーターとして感光体表面上に形成される露光エネルギー分布を算出する。潜像形成部では、露光エネルギー分布から感光体のPIDC (Photo-induced discharge curve) を用いて表面電位分布を求める。現像部では、露光で生じた表面電位分布から現像バイアス電位を引いた現像電位分布を求め、現像特性曲線を用いて現像されるトナー付着量分布の情報へ変換する。さらに、トナー付着量と画像濃度の特性曲線を用いて最終的なシミュレーション画像を得る。

Fig. 2はPIDC、現像特性曲線、トナー付着量と画像濃度の特性曲線である。それぞれFig. 2 (a), (b), (c)に示した傾向で表現されるものとし、後述する直交実験では各曲線の傾きを設計・誤差因子に割り当ててシミュレーションした。

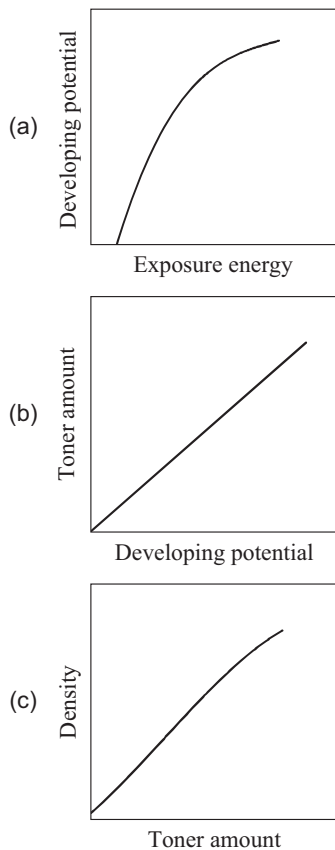


Fig. 2 Characteristic curves used for process simulation. (a)Developing potential versus exposure energy in latent image formation sub-process. (b) Toner amount versus developing potential in development sub-process. (c) Image density versus toner amount using after transfer sub-process.

ノイズ関数を用いた計算例を示す。まず、濃度100%の実写画像から抽出したノイズ関数を用いたシミュレーション画像をFig. 3に示す。ここで、本研究で扱うノイズ関数の強度は、光源位置と視認角度を調節することでノイズを確認できるレベルであるためFig. 3はコントラ

スト強調処理を行い、さらに画像濃度を反転させて視認性を向上させて示している。つまり、現像されたトナーが摺擦されて薄くなった部分が黒く表示されている。Fig. 3は画像の全面で縦方向の筋状ノイズが発生していることが分かる。Fig. 3に対応する1次元フーリエスペクトルをFig. 4に示す。Fig. 4では用紙搬送と並行方向をFD (Feed direction)方向、垂直方向をCD (Cross direction)方向と定義し、それぞれの方向でフーリエ解析した。筋状ノイズは、FD方向について図中の円で示したスペクトルピーク値に特徴づけられる。これらの特徴的空間周波数の波高値の増減に着目して筋状ノイズの目立ちやすさの数値化を検討した。CD方向に対しては、8 cycle/mm付近にピークはあるが、摺擦原因との相関は低いと考え、以後は検討対象から除外した。



Fig. 3 Simulated image using a friction noise function at 100% image density. For better visualization, image contrast has been enhanced and positive/negative has been reversed. Thus, the dark areas indicate removed toner.

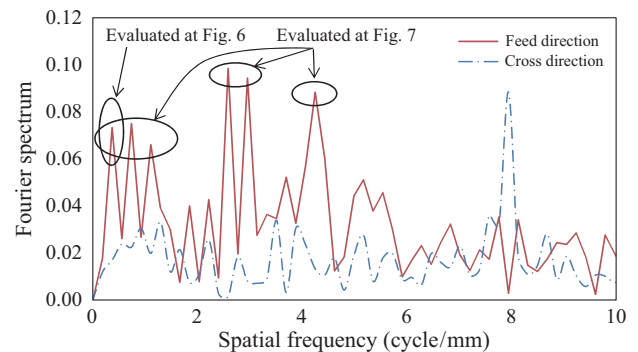


Fig. 4 Results of 1D Fourier analysis of image in Fig. 3 expressing both feed direction and cross direction. Friction noise in the feed direction is characterized by circled peak values.

次にハーフトーンにおいて、ビーム径を50 $\mu$ mと100 $\mu$ m、スクリーンを高線数と低線数で変えた計算例をFig. 5に示す。尚、Fig. 5はコントラストを強調して示している。計算条件は画像濃度を85%とし、Fig. 5の(a)はスクリーンが低線数 (Screen1) でビーム径50 $\mu$ m、(b)が低線数でビーム径100 $\mu$ m、(c)が高線数 (Screen2) でビーム径50 $\mu$ m、(d)が高線数でビーム径100 $\mu$ mである。Fig. 5では、ビームは小径、スクリーンは低線数の方が、筋状ノイズは見えにくい傾向となっており、経験的に知られる特性と合致している。

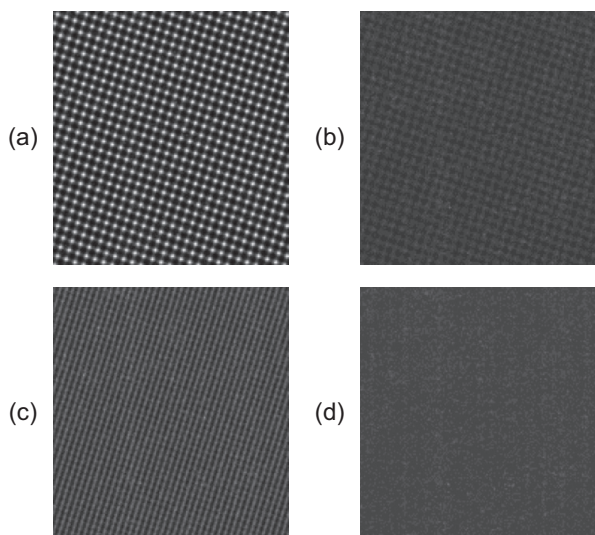


Fig. 5 Simulation results under various conditions with friction noise at about 85% image density. For better visualization, image contrast has been enhanced. Parameters are (a) 50  $\mu\text{m}$  beam diameter with coarse Screen 1, (b) 100  $\mu\text{m}$  beam diameter with coarse Screen 1, (c) 50  $\mu\text{m}$  beam diameter with fine Screen 2, and (d) 100  $\mu\text{m}$  beam diameter with fine Screen 2. A smaller beam diameter and lower line screen frequency tend to result in less friction noise, which agrees with experimentally known characteristics.

Fig. 5 (a), (b), (c), (d) の各計算条件において、Fig. 4 で特徴づけた空間周波数について、ノイズ関数を用いない場合と用いた場合のスペクトル波高値の差を筋状ノイズの目立ちやすさの指標としてFig. 6 にプロットした。Fig. 6 では画像濃度50%及び100% (Fig. 4) に対する計算値を併せて示した。スクリーンによるデジタル画像化で、ノイズの影響が軽減されている傾向が経験則と合致した形で数値表現できている。つまり、スクリーン特性が顕著となる条件 (濃度50%や低線数、ビーム小径) ほど低い数値となる。

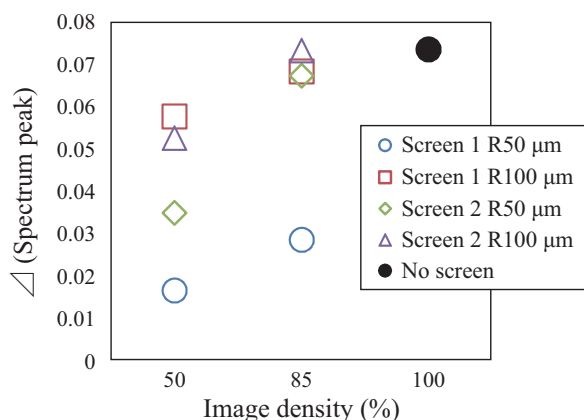


Fig. 6 Comparison of spectrum peaks simulated under various conditions. Data at 85% image density reflects the conditions in Fig. 5. At the lower 50% image density, the tendency is clearest that, primarily, the smaller the beam diameter and, secondarily, the finer the screen, then the lower the  $\Delta$  (spectrum peak) and thus the lower the friction noise. Vertical axis indicates a difference of peak height between with and without noise function of Fourier analysis as shown in Fig. 4.

### 3 品質工学を用いた評価

上記のシミュレーションおよび、筋状ノイズの数値化手法を用いて品質工学の直交実験を行い、各因子とノイズとの関係性を確認した。

制御因子としてL9直交表へ割り当てた項目をTable 2に示す。設計初期に議論すべき項目を割り付けた。因子B, C, Dは、Fig. 2 (a), (b), (c)に示した特性線それぞれの傾き (感度) を意味する。

誤差因子はTable 3に示すL4直交表 (2水準系) に割り付けた。製造個体差や出力環境による誤差を考慮した。誤差因子b, c, dは制御因子B, C, Dに対応する、特性線の傾き (感度) をパラメーターとした。尚、直交実験は100%濃度の画像にノイズ関数を付加したものをを用いて評価した。

Table 2 Quality engineering control factors.

Factor	Description	Levels		
		1	2	3
A	Exposure energy	Low	Mid	High
B	Photo-induced decay curve	Low	Mid	High
C	Bias vs toner-deposition curve	Low	Mid	High
D	Toner-deposition vs density characteristics	Low	Mid	High

Table 3 Quality engineering noise factors.

Factor	Description	Levels	
		1	2
a	Exposure energy	Low	High
b	Photo-induced decay curve	Low	High
c	Bias vs toner-deposition curve	Low	High
d	Toner-deposition vs density characteristics	Low	High

### 4 計算結果

計算結果の要因効果図をFig. 7に示す。このとき、Fig. 4に示した複数の特徴的空間周波数におけるスペクトルピーク値の平均値で評価し、望小特性でSN比を算出した。それぞれの因子でノイズ低減に寄与する程度や、有利な設計パラメーターの方向性が分かった。

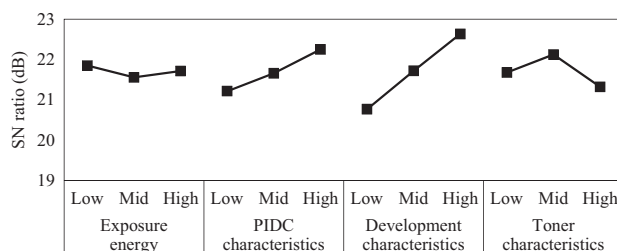


Fig. 7 Factorial effect plots. SN ratios are calculated by smaller-is-better response with averaged spectrum peak values circled in Fig. 4.



さらに確認実験を行った結果をTable 4に示す。このとき、比較の2条件として、最適条件水準[3 3 3 2]、最悪条件水準[2 1 1 3]を仮定した。推定値と確認実験値で2dB以下の差となり、利得再現性のある結果が得られたため、妥当な実験が実施できていたものと考えられる。また、利得として2.7dB程度のノイズ低減効果が得られている。その効果を視覚的に確認するため、Fig. 8に最適条件と最悪条件の計算結果画像を示して確認した。ここでFig. 8はFig. 3と同様のコントラスト強調処理と画像濃度反転を行い、示している。両図の比較から、最適条件はノイズ低減に有利な条件であることが確認できた。

Table 4 Results of confirmation experiment.

Description	SN ratio (dB)		Gain
	Worst	Optimum	
Expectation	19.7	23.6	3.9
Confirmation	20.7	23.3	2.7

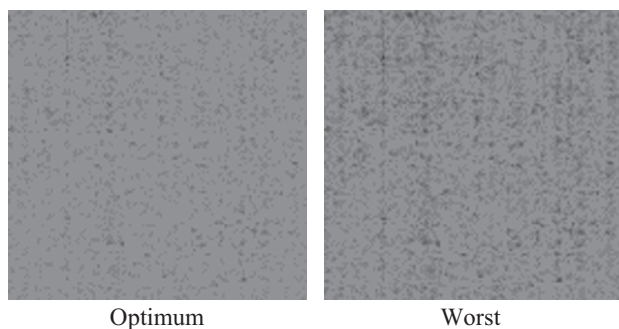


Fig.8 Confirmation images based on optimum and worst conditions in Table 4. For better visualization, image contrast has been enhanced and positive/negative has been reversed. A comparison of the images confirms that optimum conditions result in lower friction noise.

## 5 考察

電子写真画像に特徴的な筋状ノイズを考慮した、シミュレーションによる画質設計の可能性が示された。磁気ブラシ起因の摺擦ノイズは、気にしなければ視認されないレベルの強度であるため、経験的には知られている現象でも、実写画像のスペクトル解析から筋状ノイズを抽出し、定量化して傾向を示すことは、困難であった。シミュレーション画像による評価では、ノイズのない状態での理想のスペクトルからの差分を得ることができると、システム全体の持つパラメーターからノイズ低減に有効な因子の抽出に有効な手法であると考えられる。スクリーン線数やビーム径、画像濃度などの影響も考慮して設計条件を探索すれば、より効果的にノイズ低減に有利な設計条件を得られる可能性がある。また、今回は、視覚のMTF (Modulation transfer function) による補正などの処理は行っていないので、官能評価との対応付けは不十分であり、今後の検討課題である。

今回の計算結果は、製品開発の早い段階で画像ノイズに対して、設計の品質到達レベルをシミュレーションで見定めることが可能であることを示唆したものと考えられる。この技術の応用発展として、電子写真特有の画像ノイズを目立ちにくくする手段にとどまらず、画像ノイズを補正する処理も将来的には可能になると推察する。

## 6 まとめ

本研究では筋状のノイズという具体的な画質不良に着目し、シミュレーションで簡易かつ効果的にノイズ評価・対応できる技術の構築を行った。直交実験による最適化の事例に取り組み、より幅広いシステム間でバランスを考慮したパラメーター調整でノイズ低減できることを確認した。

本研究の活用により、影響力の高い設計パラメーターの抽出や、最適条件で到達可能な画像品質の予測、発生する画像ノイズの修復処理などが可能になると考えられる。この結果をさらにサービス訪問費用の削減、顧客ダウンタイムの短縮などの効果につなげることができれば、顧客へ提供する価値も効果的に向上させることができる。

今後の課題としては、より多くのノイズ条件や画像が検討できるように、評価技術を拡充することが挙げられる。また、さらに多くの設計パラメーターを考慮した検討を行うことで、より信頼度の高い技術情報が得られるようにすることなどが挙げられる。

### ●参考文献

- 1) Y. Hattori, S. Itagaki, N. Minegishi, and H. Saito : Proceeding of Imaging Conference JAPAN 2012, 181-184 (2012), [in Japanese].
- 2) H. Aono, Y. Kitano, and M. Kikuchi : Proceeding of Imaging Conference JAPAN 2012, 185-188 (2012), [in Japanese].
- 3) S. Ichitani, T. Makino, Y. Kondoh and T. Harashima: Study of a Simulation for Color Reproduction of Electrophotographic Image Based on Arithmetic Processing of Spectral Absorbance, KONICA MINOLTA Tech. Rep., Vol.10, 24-29 (2013) [in Japanese].

### ●出典

本稿の著作権は日本画像学会が有する。本稿は日本画像学会“Imaging Conference JAPAN 2014”論文集の予稿を加筆修正して転載したものである。