
高画質SD現像システム

Ricoh SD-Development Technology for Image Quality

加藤 弘一*	寺井 純一*	津田 清典*	北 恵美*	高橋 裕**
Koichi KATO	Junichi TERAJ	Kiyonori TSUDA	Emi KITA	Yutaka TAKAHASHI
吉田 悟*	押川 雄樹*	宇都宮 皓一*		
Satoru YOSHIDA	Yuki OSHIKAWA	Kohichi UTSUNOMIYA		

要 旨

画像濃度の高安定性を達成する、新しいフルカラー二成分現像システムを開発した。このシステムは、現像剤の流れを制御するためにスクリュの機能分離を行い、現像ローラ長手方向でのトナー濃度偏差を抑制して、画像全体の濃度を均一にする技術（SD現像システム：Stable Density）である。また、現像剤の寿命を持続させるために、現像剤長寿命化システム（低ストレス現像方式、プレミックス現像方式）も併せて開発した。これにより画像濃度の安定とともに、現像剤の長寿命化を達成した。

ABSTRACT

High stability of image density was achieved in newly developed full color development technologies. SD development system shows no fluctuation of the toner concentration all the way to the developing area on the OPC. Besides we also adopted another system to make developer-lifetime longer. Using these two systems, we raised the stability of image density to higher level.

* 画像エンジン開発本部 モジュール開発センター
Module Development Center, Imaging Engine Development Division

** 画像エンジン開発本部 機能材料開発センター
Functional Material Development Center, Imaging Engine Development Division

1. 背景と目的

電子写真方式のフルカラー複合機やプリンタは、一般オフィス文書、企業内でのプレゼンテーション文書、オンデマンドプリントやデザイン用出力など高画質が要求される用途等、幅広い分野で使用されている。また、既存のモノクロ複写機やプリンタの置き換えとして、フルカラー複合機としての高生産性、高信頼性、高画質が望まれ、各社とも印字速度やカラー画質の高画質化に向けた技術開発^{1), 2), 3)}が進められている。

電子写真方式による画像形成では、画像濃度の安定性が大きな課題の1つとなっている。画像濃度安定性の低いマシンでは紙上の場所やプリントした時間などによって、同じであるはずの色が異なった濃さで表現されてしまう。画像濃度の変化をそのタイムスケールによって分けると3つのモード (Fig.1) が考えられる。

①頁内画像濃度変動：画像を1枚出力した際にその1枚の画像の中で画像濃度が変動している場合が頁内画像濃度変動である。現像装置が主要因となるケースとしては、現像ローラ上のトナー濃度 (TC) が長手方向で偏差を持つ場合や、非常に短時間で現像剤のTCが変動している場合などが挙げられる。

②リピート画像濃度変動：数十枚の画像を出力した際に前述した頁内画像濃度変動が増大する傾向が見られることがある。これがリピート画像濃度変動である。この現像装置要因としては、高画像面積率の画像を連続通紙によって多く補給されたトナーが充分に分散・攪拌されず帯電量やTCにムラが生じてしまう場合が挙げられる。

③経時での画像濃度変動：機械の放置や長期間使用による経時の画像濃度変動が挙げられ、この要因としては現像剤特性の変化などがある。

以上のようなタイムスケールの異なる画像濃度変動を安定化させるため、下記に示した3つの新しい技術を開発した。

- 1) 現像ローラの長手方向でのTC偏差を低減する技術
- 2) 多量の補給トナーを高分散化させる技術

3) 現像剤を長寿命化させる技術

これらは、SD現像システム (SD : Stable Density) と、プレミックス現像システムから構成される。

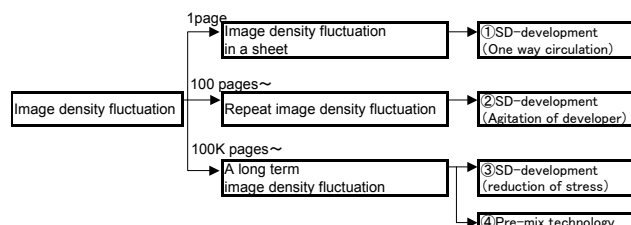


Fig.1 Image density stability and the technologies.

2. 技術

2-1 SD現像システム

SD現像システムはFig.2に示したように、現像ローラ、攪拌スクリュ、供給スクリュ、回収スクリュから構成される。はじめに、現像剤およびトナーの流れを説明する。

現像剤は、攪拌スクリュ (①→②)、供給スクリュ (③→④)、回収スクリュ (⑤) を循環して、現像ローラには供給スクリュから現像剤を供給する (④→現像ローラ)。現像ローラ上の現像剤は、回収スクリュに移流され攪拌スクリュ (現像ローラ→⑤→①) に戻される。供給スクリュで使用されなかった現像剤は攪拌スクリュに戻る (④→⑥)。

トナーは、攪拌スクリュ上流 (①) に補給され、供給スクリュ到達前に現像剤中に均一に分散される機構を有している。また、経時的に変化した現像剤は、排出スクリュ (Fig.3b) から現像装置外部へ排出される。現像装置内の現像剤は、経時的に変化した現像剤が現像装置外へ排出されることで減少する。そこで、トナーと同時にフレッシュキャリアを少量供給することで、現像装置内の現像剤量を一定に保持している。

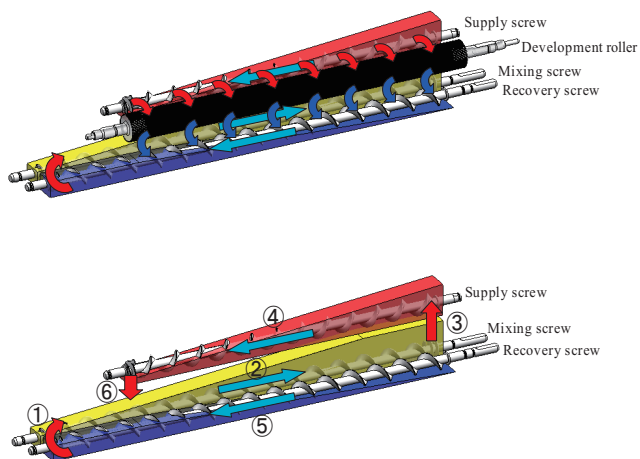


Fig.2 Schematic diagram of SD development system.

2-2 スクリュの機能分離

従来の一般的な2軸スクリュからなる現像装置 (Fig.3a, Fig.4) では、現像ローラに近い側のスクリュは現像剤の供給と回収の2つの機能を有している。そのため、一度回収された現像剤が再度現像ローラに供給される場合 (矢印E, F) があり、現像ローラ上の現像剤中トナー濃度が不均一 (Fig.4) となっていた。Fig.4, 5は、現像装置内の現像剤の流れを矢印で示している。矢印の濃淡はTCを表し、矢印の大きさはスクリュ上の現像剤の容量である。従来の現像装置では、現像ローラで一度使用された現像剤が再度現像ローラに汲み上げられるため、現像ローラ上TCが右から左に行くにしたがって低下している (Fig.4)。その結果、得られる画像濃度は現像ローラ上のTC偏差に依存し左右偏差があった。

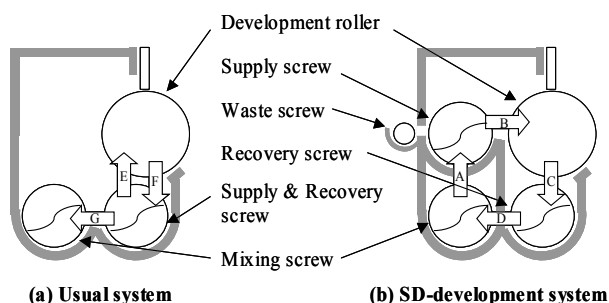


Fig.3 Cross-section of development units.

SD現像システム (Fig.3b, Fig.5) は、前述したように現像ローラ、攪拌スクリュ、供給スクリュ、回収スクリュから構成され、それぞれのスクリュは単独の機能を保持している。現像剤の流れを以下に説明する。攪拌スクリュで補給されたトナーを均一に分散した現像剤は、供給スクリュへ移流され (Fig.3bの矢印A)、現像ローラに過不足無く供給された後、余剰分は攪拌スクリュに戻される。

一方、現像ローラに汲み上げられた現像剤は回収スクリュにより回収され (矢印C)、攪拌スクリュに戻る (矢印D)。したがって、SD現像システムでは従来の現像装置で発生しているような、一度現像で使用されてTCの低下した現像剤が、現像ローラに再度汲み上げられる現象は起こらない。つまり、現像ローラへは常にトナー濃度が一定な現像剤が供給され、現像ローラ上TCは一定となり (Fig.5)、得られる画像濃度には左右偏差は少なくなる。

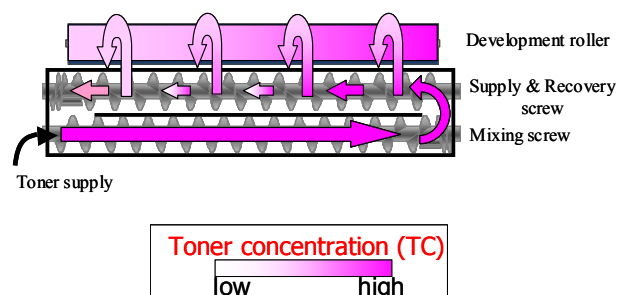


Fig.4 TC distribution in usual system.

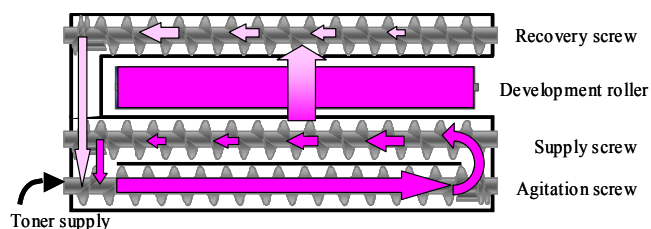


Fig.5 TC distribution in SD-development system.

2-2-1 攪拌スクリュの機能

攪拌スクリュの機能は、攪拌搬送路内の現像剤中に補給されたトナーを供給スクリュ到達前までに均一に分散することである。従来の現像装置では、トナー補給量が多い場合、均一にトナーを分散する機能が十分ではなかった。

SD現像システムでは、この機能を達成するために、現像剤のパッキング状態を攪拌搬送路内に形成させ、回転する攪拌スクリュにて現像剤に剪断力を付与する技術を搭載した。一般的に、十分に攪拌された現像剤は、弱帯電や逆帯電トナーの存在率が低い⁴⁾。

一方、現像剤にトナーが補給されて、攪拌が不十分だと弱帯電や逆帯電トナーの存在率は高くなる。連続印刷では補給トナー量が多い為、その傾向は特に顕著になり、攪拌が十分でないと弱帯電や逆帯電トナーの存在率は増加傾向になる。

Fig.6は、A3ベタを100枚印刷した時に攪拌スクリュ下流での弱帯電トナー比率を、従来の現像装置とSD現像システムで比較した結果である。従来の現像装置では、弱帯電や逆帯電トナーは印刷枚数にしたがって増加傾向にある。一方、SD現像システムでは、印刷枚数が増えても弱帯電トナー量が少量に抑えられていることから、補給トナーは十分に攪拌され、現像剤中のトナー濃度は継続的にほぼ均一になっている⁵⁾。

この攪拌スクリュの機能により、リピート画像濃度変動は抑制可能となる。

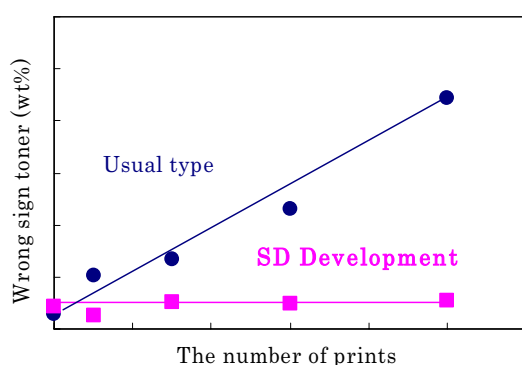


Fig.6 Wrong sign toner ratio dependence on the prints number.

2-2-2 供給スクリュの機能

攪拌スクリュにおいてトナーは現像剤中に均一に分散されているので、供給スクリュの機能は、現像剤を現像ローラに過不足無く供給することである。品質工学を用いた手法により、スクリュ条件の最適化を行った。

2-2-3 回収スクリュの機能

回収スクリュの機能は、現像に使用されてトナー濃度が低下した現像剤を回収搬送路内で滞留することなく回収することである。100%回収されないと現像に使用されてトナー濃度の低下した現像剤が再度現像に使用されることになり、得られる画像として頁内の画像濃度偏差がおこる。SD現像システムでは、現像剤供給搬送路と現像剤回収搬送路を独立搬送路として設計して、一度現像に使用された現像剤は完全に回収した。この機能により頁内画像濃度変動は抑制される。

2-3 プレミックス現像システム

電子写真方式で使用される二成分現像剤はトナーとキャリアから構成され、コピーやプリントにより経時的に変化する⁶⁾。トナーの変化としては添加剤の埋没/離脱、粒径変化（選択現像、ユニット内粉碎）があり、キャリアの変化としてはトナー成分の付着、キャリアコート膜の膜削れ、等がある。これらの変化は、現像剤の電気特性、粉体特性に影響を与え、それらはさらに現像ローラ上の磁気ブラシ状態や感光体上トナー付着状態に悪影響を与える。その結果、画像にも影響を与え、画像濃度安定性に対しても現像剤特性変化は課題の1つとなっていて、現像剤劣化に起因した異常画像発生の場合は現像剤交換を行う必要がある。また、現像剤交換は、マシンのダウンタイムを増加させるため現像剤の交換頻度を低減させることが望ましい。この現像剤特性変化に起因する画像濃度の安定性を高めるため、現像剤の劣化速度を低減させ現像剤の交換頻度を抑制する技術としてプレミックス現像システムを開発した。プレミックス現像システムは、低ストレス現像とプレミックス現像の2つの技術から構成される。

2-3-1 低ストレス現像

一般的に現像剤の変化は、現像装置からのストレスが原因である²⁾。現像装置のストレスとしては、現像剤の量を規制するドクターブレード、現像剤を搬送するためのドクターブレード前の現像ローラ磁極配置、そして現像剤を搬送する搬送スクリュ等があげられる。このストレス低減のためには、現像ローラの磁束密度分布が重要と考え、磁束密度分布に対する現像剤汲み上げ能力、現像剤離れ能力をシミュレーション (DEM) を用いて解析を行った。

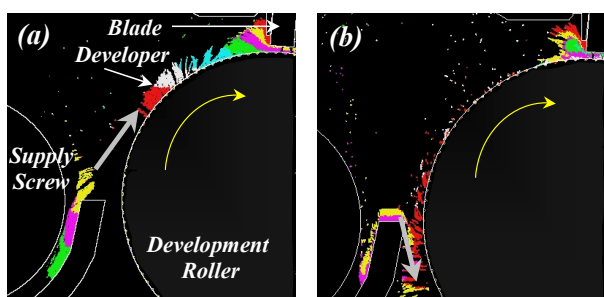


Fig.7 Movement of magnetic brush.

現像剤へのストレスを低減するためには、現像剤を現像ローラに引き付ける磁束密度を下げればよいが、下げ過ぎると現像剤の汲み上げ能力が低下する。そこで、現像ローラの磁極配置/強度を制御因子に、経時で変化する現像剤特性を誤差因子として最適解を算出した。

Fig.7は、低ストレス現像での現像剤の搬送能力の計算結果である。Type(a)では、供給スクリュから現像剤は十分に汲み上げられて、ドクターブレードにより現像剤量が適切に規制されている。一方、磁束密度を下げ過ぎたType(b)では、汲み上げ能力が不十分であることがわかる。現像剤の汲み上げ能力が最適化されたType(a)を採用した低ストレス現像は、汲み上げ能力に十分すぎる余裕度があった従来の現像方式に対して、40%減の低トルク化が達成され、現像剤の寿命を大きく伸ばすことに貢献した。

2-3-2 プレミックス現像

前述した現像剤の変化は、トナー、キャリアの組み合わせにより異なり、トナー成分付着、キャリア膜削れ等がある。またこれらの変化は印字される画像面積率によっても異なる。高画像面積率のトナー消費量が多いモードでは、キャリアに対してトナー成分が付着し、低画像面積率のトナー消費が少ないモードではキャリアの膜削れが発生する。つまり、ユーザーのプリントモードによってトナーおよびキャリアは変化して、トナーQ/Mは上昇または低下して画像濃度に影響を与える。

プレミックス現像システムは、稼動中に徐々に現像装置内の古い現像剤を新しい現像剤に交換していくシステムである。具体的には、補給トナー内にキャリアを一定量混入させておくことで、現像装置内に新しい現像剤を補給し、現像装置に現像剤排出口を設けて現像装置内の古い現像剤を排出する。

この時のトナーと同時に供給するキャリア量はシミュレーション (Fig.8) を用いて検討を行った。キャリア充填率を変化 (図中の曲線) させて、ある一定の帯電量 (横線) まで低下した時のプリント枚数を現像剤寿命とした。

帯電量推移が、ある一定の値より高い場合のキャリア充填率であれば、現像剤の寿命を増大できることを示している。一方、帯電量推移が目標値より低い場合のキャリア充填率であれば、その時の現像剤寿命は短くなる。

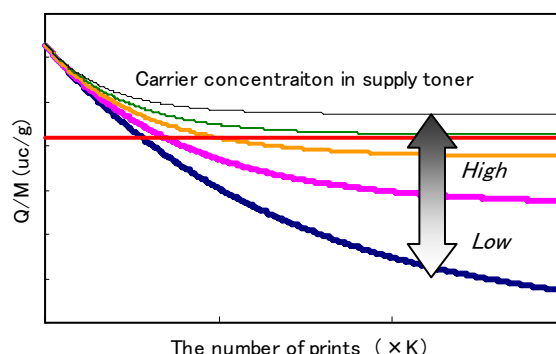


Fig.8 Time dependence of toner charge decay simulation.

最終的には実験によりキャリア充填率を決定し、プレミックス現像システムでは、従来の現像システムの3倍以上の現像剤寿命を達成した。現像剤寿命が伸びることで画像濃度に影響を与えるトナーQ/M変化は少なくなり、プレミックス現像システムは経時での画像濃度変動が低減された。

2-4 現像剤循環の安定化

現像装置内の現像剤は、TC、湿度、劣化により嵩が変化する。嵩変化により現像装置内の現像剤の流れが不安定になると、現像剤の嵩が少ない時には現像剤が現像ローラ全般に行き渡らず、異常画像としてスクリュピッチムラが発生する。また現像剤の嵩が多いと回収スクリュ上の一度使用された現像剤が現像ローラに供給される再汲み上げが発生して、画像濃度低下が起こる。そのため、プレミックス現像システムでは所定の現像剤の嵩に入るように現像装置内の高精度な現像剤嵩制御技術（①、②）を搭載した⁷⁾。

現像剤嵩制御技術①：現像装置内の現像剤が所定の容量を越えた際に、応答性の高い排出を行う技術であり、現像剤容積が所定の容量を越えると急激に嵩が増す個所を現像装置内に設け、この近傍に現像剤排出口を設置した

現像剤嵩制御技術②：現像装置内の現像剤が所定の容量以下の際には、排出を行わない技術であり、品質工学的手法を用いた最適化からロバスト性の高い性能を得た

プレミックス現像システムでは、応答性の高い排出技術を搭載することで現像剤嵩制御としての役割を持たせた。これらにより、従来機同等の小型サイズの現像装置でも、スクリュピッチムラ等の異常画像発生や、現像剤の再汲み上げを完全に抑えた安定した現像剤移流性能を保持するSD現像システムが得られた。

Fig.9に現像剤嵩制御の性能を示す。横軸に現像剤容積、縦軸に余剰の現像剤排出速度を示している。Volume AからVolume Bの領域では現像剤の排出はゼロに抑えられている。Volume Cの手前から余剰剤の排出は始まり、排出速度は徐々に増加している。つまり、現像剤嵩が一定以上になると、現像剤は排出され、あ

る量以下ではまったく排出されないシステムとなっている。

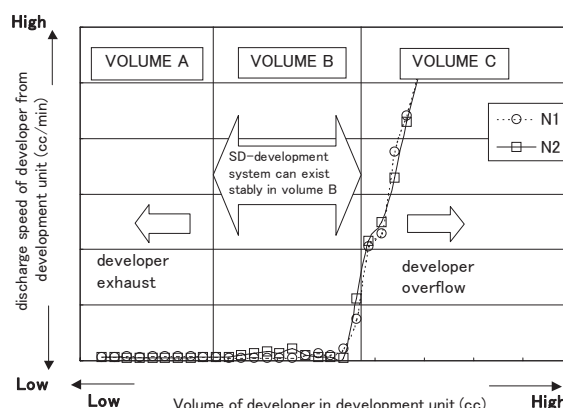


Fig.9 Exhausting speed of developer.

2-5 画像濃度安定性

スクリュ機能を分離したSD現像システムと、現像剤の寿命を伸ばすプレミックス現像システムを、リコー製従来機に搭載し、現像ローラの長手方向でのTC偏差の評価を行った。

A3ベタ100%画像を数百枚連続して出力して、従来の現像装置を用いた従来機とSD現像システムを搭載した改造機を比較した結果をFig.10に示した。横軸は印刷枚数で、縦軸は現像ローラ上のTC偏差である。従来の現像装置では数十枚印刷で既に大きなTC偏差があり、印刷とともにTC偏差が拡大していることがわかる。一方、SD現像システムでは数十枚印刷ではTC偏差は少なく、印刷枚数が増えてもTC偏差は大きく増加しない結果となった。

新しく開発したSD現像システムでは、現像ローラ上TC偏差が従来の約1/6以下になっており、従来の現像装置に比べて大きく改善されていることがわかる。この結果は、供給スクリュと回収スクリュの機能を完全に分離したことと、攪拌スクリュにて補給トナーを均一に分散させた効果である。

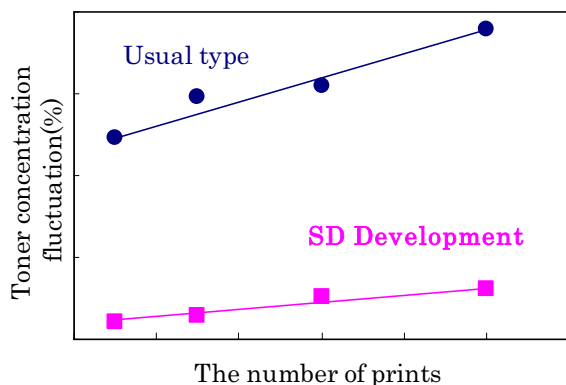


Fig.10 TC fluctuation on development role for the print number of sheets.

Fig.11は、A3ベタ100%画像を数千枚連続で出力した時の画像濃度変動の結果である。従来の現像装置では百枚の印刷で画像濃度バラツキが1枚目の3倍程度まで増加している。一方、SD現像システムでは初期から数千枚後もほぼ同じ画像濃度バラツキであり、その値も小さなものになっている。

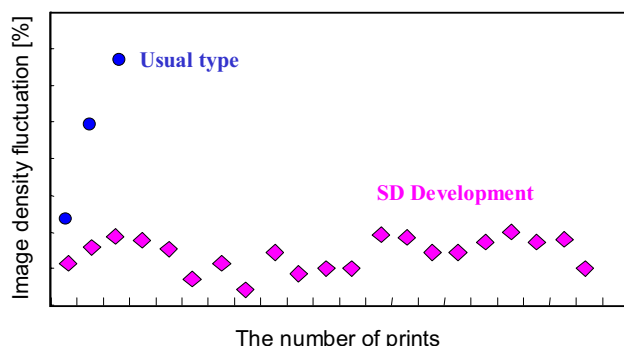


Fig.11 Image density stability for the print number of sheets.

SD現像システムとプレミックス現像システム搭載により、頁内の画像濃度安定性、リピートの画像濃度安定性、ともに従来の現像システムを圧倒する性能が得られた。

3. 成果

SD現像システムとプレミックス現像システムを新しく開発した。前者は、スクリュ機能を分離して現像ローラの長手方向でのTC偏差を低減するとともに、補給トナーの高い分散能力を得ることに成功した。後者は、低ストレス現像方式とプレミックス現像方式からなり、現像剤の寿命を従来現像システムの3倍以上にすることができた。これらの2つの新しいシステムは画像濃度の高安定性に大きく寄与している。

参考文献

- 1) 福原政昭：日本画像学会誌，第 45 巻，第 2 号 (2006)，pp.60-65.
- 2) 市原美幸：日本画像学会誌，第 45 巻，第 6 号 (2006)，pp.77-83.
- 3) 柘田恒治：日本画像学会誌，第 45 巻，第 2 号 (2006)，pp.78-84.
- 4) A. C.-M. Yang, C-Yu Chou, and S. Cha : Recent Progress in Toner Technologies, (1997), pp. 230 - 233.
- 5) K. Utsunomiya et al. : PPIC '08 Proceeding, (2008), pp. 92-95.
- 6) R. J. Nash, M. L. Grande and R. N. Muller : J. Imaging Sci. Technol., Vol.46, (2002), pp. 313-320.
- 7) Y. Oshikawa et al. : NIP24 Proceeding, (2008), pp. 329-332