

電子写真による写真プリントへのアプローチ

An Innovative Photo Finishing with Xerographic Technology

要 旨

電子写真プロセスを用いて『写真』出力を得るため冷却剥離を用いた定着装置と専用紙を開発した。画質の向上と市場許容度の確認を併せて実施することで、電子写真技術によるデジタルカメラプリントサービスを導入することができ、2005年度日本画像学会技術賞受賞という栄誉に浴する事もできた。本稿では新しく開発した写真プリント技術について述べる。

Abstract

執筆者

野上 豊 (Yutaka Nogami)¹
篠原 浩一郎 (Koichiro Shinohara)²
沼尾 和則 (Kazunori Numao)¹
坂口 泰生 (Yasuo Sakaguchi)³
岡野 貞夫 (Sadao Okano)⁵
金澤 祥雄 (Yoshio Kanesawa)⁶
内海 慎一 (Shinichi Utsumi)⁵
大木 靖 (Yasushi Ohki)⁵
江連 平和 (Tadakazu Ejure)⁵
細井 清 (Kiyoshi Hosoi)⁴
大土 文男 (Humio Daishi)³
小倉 佳剛 (Yoshitake Ogura)³
村井 朝 (Ashita Murai)⁷
石塚 弘 (Hiroshi Isizuka)⁸

We developed a brand new photo finishing system with xerography that includes a cold release fusing system and resin coated paper. With the improvement of image quality and the confirmation of the market tolerance, we introduced a new service for the print market, and won the 2005 technology award from the imaging society of Japan.

- 1 技術開発本部マーキングプラットフォーム開発部
(Marking Platform Development, Technology Development Group)
- 2 研究本部ニューマーキングシステム研究所
(New Marking Systems Lab., Corporate Research G.)
- 3 技術開発本部機能部材開発部
(Essential Components & Materials Development, Technology Development Group)
- 4 技術開発本部基盤技術開発部
(Key Technologies Development, Technology Development Group)
- 5 オフィスプロダクト事業本部マーキングモジュール開発部
(Marking Technology & Module Development, Office Products Business G.)
- 6 生産本部生産企画管理部
(Manufacturing Strategy & Management, Manufacturing G.)
- 7 富士フイルム(株) R&D 統括本部イメージング材料研究所
(Imaging Materials Research Lab., Fujifilm Corporation)
- 8 富士フイルム(株) R&D 統括本部
フラットパネルディスプレイ材料研究所
(Flatpanel Display Materials Research Lab., Fujifilm Corporation)

1. はじめに

デジタルカメラの出荷量はすでにフィルムカメラのそれを越え、さらに市場は拡大しつつある。また、デジタルカメラからのプリント量はカメラユニット販売数の成長とともに大きく増加している。

そこで、デジタルカメラからのプリント出力を電子写真方式の MFP (Multi Functional Printer) で実現するために、新しい写真仕上げ技術を用いたサービスを 2004 年 10 月より導入した。

写真品質を実現するためには、画質面の改善もさる事ながら、あたかも「水面下の」対象を観察するかの如く表面に高低差や光沢差のないフラットな面質が求められる。このような品質を得るために、我々は、写真プリントとして要求される性能を把握し、面質と画質という 2 つの品質目標を決定した。面質の実現のために我々は MACS (Melt Adhere Cooling before Stripping system) と名づけた冷却剥離を用いた光沢処理技術、および、専用メディアを開発した。また、電子写真プロセスと画像処理の両面から基本画質を向上させた。



写真 1. デジカメプリント機能を搭載した MFP
New MFP Print System

2. 写真品質を実現するための課題

市場に受け入れられる品質目標値を設定するため、2 段階の官能検査を行なった。まず、種々のプリント方式により印刷されたサンプルを社会人・学生・ミニラボオーナーを含む想定顧客に対して示し、写真としての許容度、課題を抽出した。同時に、当社社員に対しては、7 段階のカテゴリー法によるグレーディングを行なっ

た。グレード 1 (G1) は、“Much worse”、グレード 7 (G7) は、“Much better”を表す。表 1 は、その二つの官能試験の結果を表している。銀塩ミニラボは、G5.5 以上で 95% の顧客と 74% のミニラボ店舗オーナーが、その画質を写真として許容している。プリンター p2 は、市販の写真プリンターであり、G4.9 で 92% の顧客と 76% の店舗オーナーが写真として許容すると回答している。

表 1. 画質許容度とカテゴリー評価結果
Photo grade allowance and category evaluation

printer		銀塩	p2	p3	p4	p5
店舗	オーナー	○-	○-	×	×	×
	技師	74	76	46	10	8
顧客	学生	○	○	○	×	×
	社会人	95	97	85	13	23
		○	○	○	×	×
		98	92	72	17	12



7段階評価	5.5	4.9	4.0	2.8	2.3
-------	-----	-----	-----	-----	-----

一方、市販の電子写真のプリントサンプル (p4, p5) の場合は G3.0 以下で、許容度も 10% から 20% と低い値に留まっている。プリンター p3 のサンプルは、特殊表面処理をして画質調整を行なったもので、G4.0 のスコアと 70% 以上の顧客が許容する画質であると回答している。ここが、市場許容レベルと考え、第 1 世代の写真画質 MFP の写真品質目標を G4.0 とすることとした。

更に、電子写真プリントと銀塩写真プリントの品質上の差を検討した。

表 2. 写真品質目標
Target quality for photo image

	従来 電子写真プリント	銀塩プリント (Minilab)	目標値
粒状性	6	2.5	≤5.5
光沢度 (20° グロス)	40%	80%	≥70%
平滑度 (段差)	≥10 μm	≒0 μm	≤3 μm
官能評価	G3.0	G5.5	≥G4.0

表 2 に見られるように、両者のもっとも大きな差は粒状性に代表される「画質」とプリント表面の凹凸に起因する「面質」である。この 2 つの特性を如何に向上させるかが写真画質達成のキーとなる。以下に MACS による光沢性の獲得と基本画質の向上について順次記述する。

3. 高光沢化技術

表面を鏡面のように仕上げた身近なものでは板ガラスがある。板ガラスは、フロート法と呼ばれる方法により製造される。これは、熔融した金属（一般に錫）の上にガラスの融液を流し、ガラスを冷却固化することで熔融した金属が表面張力で鏡面状態になった表面を写し取るものである。そのため、研磨などの加工をすることなく平滑な表面を得ることができる。本技術は、電子写真の定着技術を応用して、作像媒体であるトナーを熔融し、鏡面にした後冷却固化することにより、高速で高光沢なプリント表面に仕上げる技術である。

この光沢化に必要な技術は、主に以下の3つがあげられる。

- ① 樹脂コート用紙
- ② 冷却（固化）剥離定着技術
- ③ 定着ベルト

図1に示す本技術の概要構成をもとに光沢化のプロセスを説明する。

トナー画像が形成された用紙は画像面が定着ベルト側となるように搬送され、加熱ロールと加圧ロールの間でベルトとともに、加熱加圧されてトナーと用紙表面の受像層樹脂が熔融しトナーは用紙の受像層樹脂の中に埋め込まれて平滑になった状態でベルトに密着する。そして、定着ベルトの回転に伴い用紙は搬送され冷却部に至るとベルトの裏面からベルトとともにヒートシンクにより冷却される。この時、用紙は定着ベルトに密着しているため、鏡面に加工された定着ベルト表面を写し取って固化することで光沢面が形成される。更に、用紙は搬送されて剥離ロール部で定着ベルトの搬送方向が変わるため、用紙は自然に剥離する。これらの工程を繰り返すことで、連続してプリント表面を光沢にすることができる。このような原理に基づき

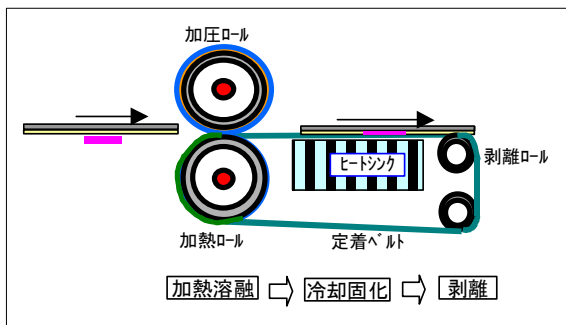


図1. MACSシステム構成図
MACS system

光沢を付与するため、トナー材料は、熱可塑性の結着樹脂をもつ一般のオフィス向けの複写機やプリンターに使用されているものを用いることができる。

図2には、ベルト表面粗さを変えて、十分に用紙を冷却した後剥離したプリント表面のトナー画像部の光沢度を測定したデータである。この結果から、ベルトの表面光沢度とプリント表面の光沢度には相関があることが分かる。

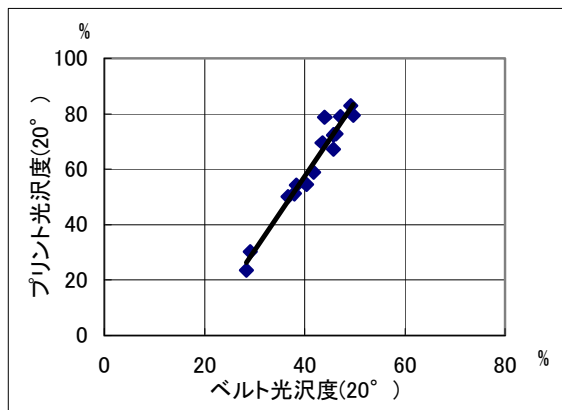


図2. ベルト光沢度とプリント光沢度の関係
Correlation between belt gloss and print gloss

3.1 樹脂コート用紙

銀塩写真と同様に平滑で光沢のある表面にするには、トナー画像部とトナー画像のない非画像部を均一な光沢にし、更に、トナー画像部が用紙表面から盛り上がらないように平滑にする必要がある。そのため、セルロース基材の表面には全面にシャープメルト性に優れた熱可塑性樹脂が塗布してある。また、用紙のセルロースは、含有水分量により伸縮するため、表面樹脂との収縮差によりカールしたり、膨張したセルロース基材にトナー画像が引っ張られてひび割れが発生したりする。そのため、用紙の裏面にも透気性をなくす加工を施している。その他にも、折り曲げへの耐性など長期間にわたり高品質な画像を維持させるために中間層を設けるなどの工夫が施されている。この用紙は、“Xerographic Photo Paper”として、富士フイルム（株）と共同開発したものであり、同社より研究レポート（No.50-2005）が発行されているため、ここでは詳細は割愛する。

3.2 冷却（固化）剥離定着技術

3.2.1 加熱加圧

先に述べたとおり、写真プリントに用いられる用紙は、セルロース基材の両面に透気性のな

い層が設けてある。そのために、トナーおよび用紙の受像層樹脂（以下トナー/樹脂と表す）が十分に溶融する温度まで加熱すると用紙の基材中に含まれる空気、および、水分などが膨張して用紙表面の樹脂を破って吹き出るプリスタと呼ばれるデフェクトが発生する。

一方、加熱溶融温度が低いとトナー/樹脂の流動が不十分となりトナー画像部と用紙表面の樹脂との間に段差（以下レリーフと表す）が発生したり、トナー画像と用紙の表面樹脂との境界部に窪み（以下エッジボイドと表す）が発生して、プリント品質を損なってしまう。（図3：プリスタ、図4：段差、エッジボイドのイメージ図）

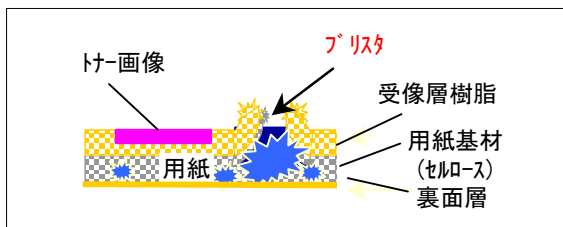


図3. プリスタイメージ図
Blister illustration

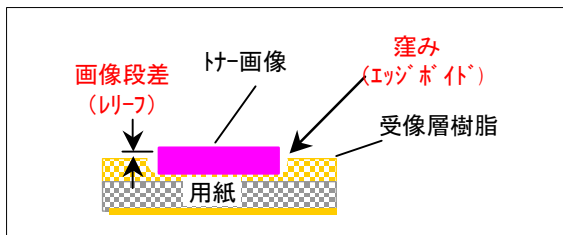


図4. 段差、エッジボイドのイメージ図
Edge void illustration

加熱溶融されたトナー/樹脂は粘性体として扱えるため、流動モデルを図5のように考えられる。ここで、トナー/樹脂の溶融時の粘度は材料が決まると加熱温度に依存する。そのため、

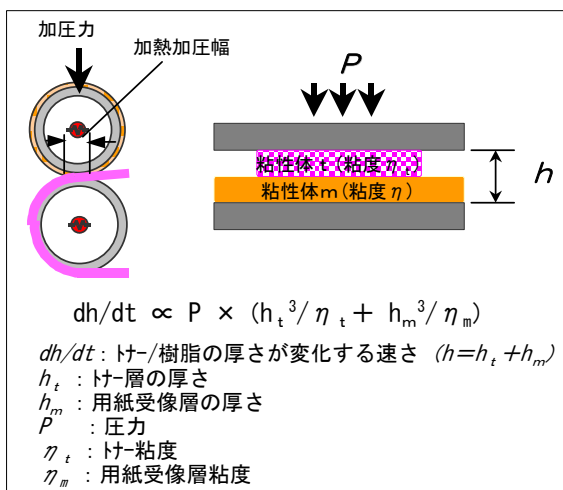


図5. 粘性体の流動モデル
Hydrodynamic model

デフェクトの発生を回避するためには、用紙に加える温度、圧力、時間を制御する必要がある。

図6は、レリーフ、エッジボイドが許容値となる加熱温度、圧力、加熱加圧時間の関係把握した結果である。この結果から、圧力を十分に加えることで、低い温度もしくは短い時間で良好なプリントの表面性が得られることが分かる。ここで、圧力に関わらず、加熱時間が0.1秒以内では傾きが大きくなっているが、これは、用紙が加熱ロールと加圧ロールの間に進入してトナー/樹脂が溶融して流動可能な温度となるまでに時間が必要となっているためである。

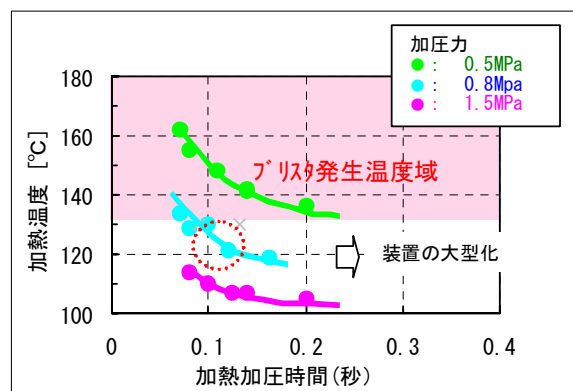


図6. 加熱温度、圧力、時間とデフェクトの関係
Correlation between MACS parameter and defects

3.2.2 冷却（固化）剥離

加熱、加圧されてベルトに密着した用紙は定着ベルトの回転に伴い冷却部に搬送される。冷却部ではベルトの裏面にヒートシンクを接触させて、定着ベルトとともに密着している用紙の熱エネルギーを吸収している。そして、ヒートシンクのフィン表面には空気を通して、空気中に熱エネルギーを放出して定着ベルトと用紙からヒートシンク、更に、空気中に連続して熱エネルギーを移動させて、用紙を所定温度に冷却している。そして定着ベルトと用紙を所定温度まで冷却した後に、ベルトから用紙を剥離して光沢化処理を終了する。図7に、用紙をベルトから剥離する時の温度と光沢度の関係を示す。

トナー、および、用紙表面の樹脂をそれぞれのガラス転位点温度の近くまで冷却することでベルト表面の鏡面性を写し取って高光沢なプリントに仕上げるができる。一方、十分に冷却しないでベルトから用紙を剥離した場合には、剥離時にトナー、および、用紙表面の樹脂はベルトとの付着力により引っ張られて微小な凹凸が連続的に発生して、光沢度が低くなってしま

う。光沢度が安定する温度域では、トナー、および、用紙表面の樹脂は冷却することで凝集力が大きくなるため、ベルトから剥離する際に分断してベルト表面に残ることもなく、常にベルト表面を鏡面状態に維持することができる。

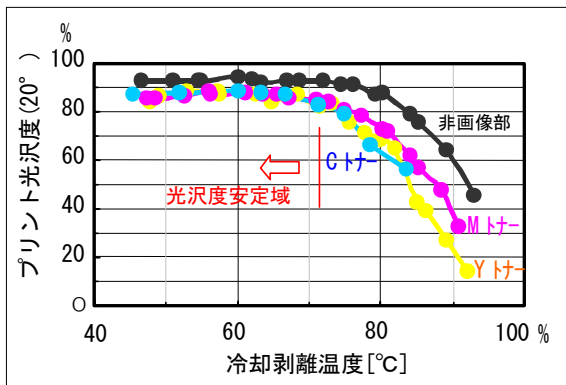


図 7. 剥離時の用紙温度と光沢度の関係
Gloss dependency on stripping temperature

図 8 は、従来の電子写真の定着装置で定着したプリント、MACS 処理したプリント、銀塩写真の各表面の光沢度を測定した結果を示したものである。また、写真 2 には、従来の電子写真プリントと MACS 処理したプリントの断面写真を示す。これらのことから、MACS 処理をすることで銀塩写真と同等の光沢性が得られることが分かる。

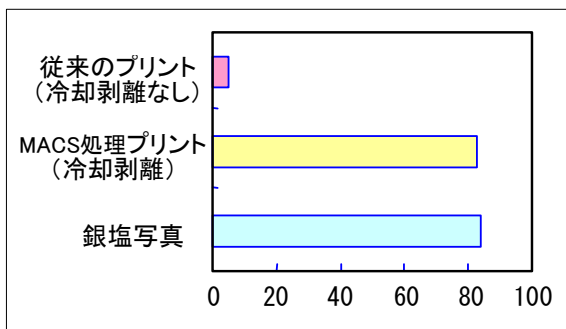


図 8. プリント表面光沢度 (20°) の比較
Gloss of each print

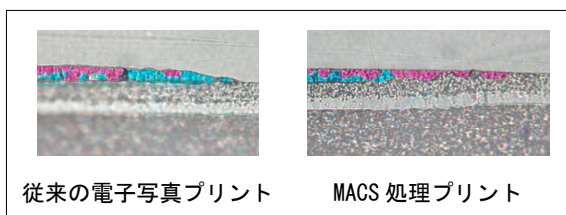


写真 2. プリント断面の比較
Cross section of each print

3.3 定着ベルト

定着ベルトの断面を図 9 に示す。主な構成は、基材部、表面層、端部補強部材からなっている。

基材部は、加熱冷却の繰り返しに対して表面層を支えるため、耐熱性、寸法安定性、機械的強度に優れた熱硬化性のポリイミドを用いている。表面層は、鏡面光沢を有し、耐熱性に加え、離型性を長期間にわたり維持する必要がある。端部補強部材は基材層の端部に傷が入った場合の基材の破断を防止し、耐熱性、接着性に優れる必要がある。そのために、定着ベルトの機能としては、従来の定着ベルトの機能に加えて、以下のことが求められる。

- ① 高光沢性離型性を維持させる表面材料
- ② 表面材料の高光沢性と無欠陥を実現する製法

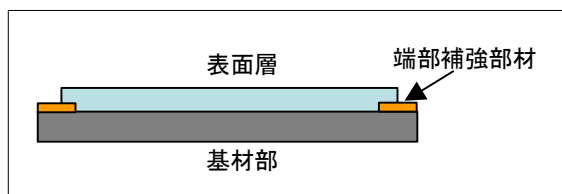


図 9. 定着ベルトの構成
Configuration of MACS belt

3.3.1 定着ベルトの表面材料

定着ベルトの表面材料は、デフェクトの発生を抑制し、高光沢性を長期間にわたって維持する必要がある。そのため、定着ベルトの表面がトナー画像の凹凸に追従して均一に接触させるために、適度な弾性が必要である。また、高光沢性を損なう要因としては、加熱ロールと加圧ロールに用紙とともに挟まれて圧力を受けた際、用紙端部に位置する部分の微小変形(凹み)や用紙との摺擦により発生する傷、トナーや用紙の材料が付着、堆積することによる離型性の低下などがある。そのため、変形しにくく、傷が付きにくい架橋構造を持ち、トナーや用紙の材料が付着しにくい油性材料との濡れ性の低い新規なフッ素系エラストマーを開発した。表 3 に検討を行なった表面材料の評価結果を示す。

表 3. 表面材料評価結果
Evaluation results of materials

評価項目	シリコン系		フッ素系	
	樹脂	エラストマー	樹脂	エラストマー
画像光沢度	○	○	△	○
レリーフ	○	○	○	○
エッジホイト	×	○	×	○
離型性	△	×	○	○
耐傷性	×	○	×	○

図 10 には、検討した表面材料と今回開発した材料のプリント光沢度の維持性を比較した結果を示す。この結果から、新たに開発した表面材料が、長期間に渡り高光沢性を維持していることが分かる。

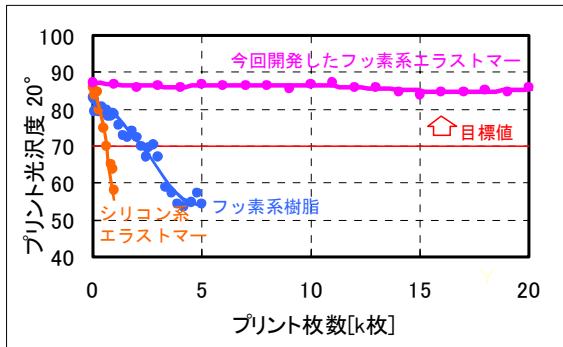


図 10. 表面材料による光沢維持性比較
Maintainability of print gloss

3.3.2 定着ベルトの製法

定着ベルトは、端部に補強部材を接着した基材の表面に液状の表面材料を塗布した後に、加熱することで架橋させて作製する。表面材料を塗布する装置を写真 3 に示す。高光沢面を形成する方法としては、浸漬塗布を用いている。フレキシブルなベルト基材を基材内側の円筒型で支えて表面材料の塗布液がレベリングすることで、材料自体の表面張力により鏡面光沢を持つ表面が均一な厚さで得られる。しかし、塗膜形成中に塗布液が重力方向に流下することにより、塗膜欠陥が発生しやすい。このような欠陥の発生をなくすために、塗布液の粘度、希釈液の組成を最適化した。さらに、粉塵等の付着によるスポット上の欠陥の発生を避けるために、塗布基材の洗浄、塗布工程、塗布後の加熱工程の環境を管理している。また、ベルト基材裏面への塗布液の浸入防止、円筒型の汚濁防止など、表面欠陥の発生を抑えつつ量産性を確保している。

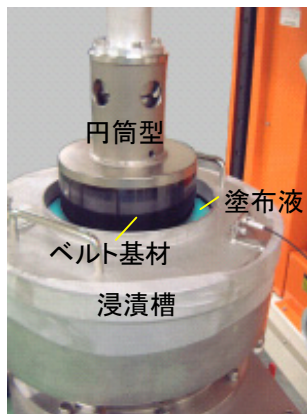


写真 3. 浸漬塗布装置
Belt surface coating equipment

4. 基本画質の向上

電子写真による画質が銀塩写真と比較して劣っている特性値の一つに粒状性があげられる。特に肌や青空などの比較的低濃度領域での差は歴然としている。近年、粉砕トナーから重合トナーへの移行に伴い粒状性は向上しているが、写真画質としては充分とは言えない。加えて、色の鮮やかさも向上させる必要があった。そこで、写真画質を達成するために、以下の画質向上技術を導入した。

1. 粒状性の向上
2. スクリーン構造の緻密化
3. 色再現域の拡大 (色の鮮やかさ)

4.1 粒状性の向上

図 11 に本技術の電子写真装置の概要構成を示す。

電子写真装置は、各色を作像する感光体上にトナー像を形成し、感光体上のトナー像を中間転写ベルトに順次転写する事で 4 色のトナー像を中間転写ベルト上に転写し (一次転写工程)、用紙に中間転写ベルト上のトナー像を一括転写 (二次転写工程) した後に、用紙上のトナー画像を定着し、MACS にて再度定着を行なう。粒状性は感光体上に潜像を形成してから用紙上にトナー像を形成するまでの間にトナー像の乱れが発生することで悪化する。

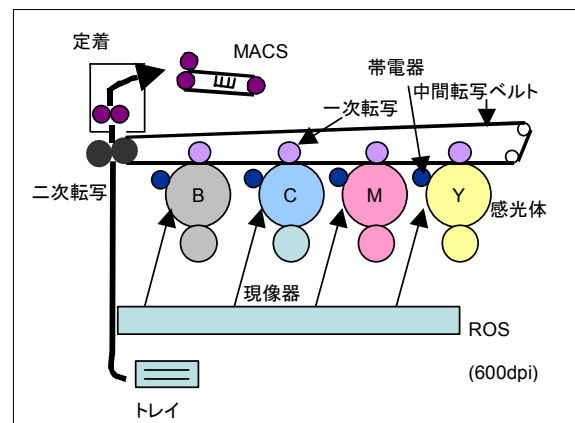


図 11. 電子写真装置の概略構成
Xerography marking system

4.1.1 転写工程での粒状性の向上

従来の電子写真プロセスでトナー飛散状態がどのように変化するか図 12 に示す。この図より、一次転写工程でトナー飛散状態が大きく悪化していることが分かる。

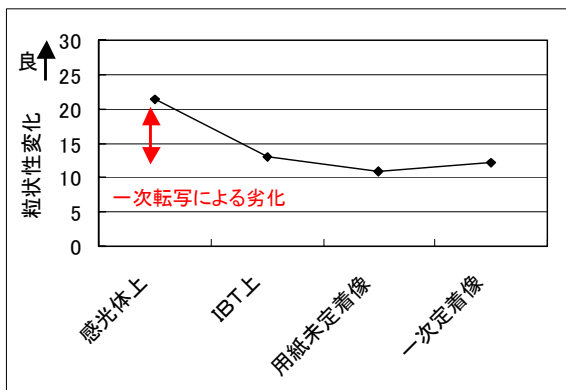


図 12. 各プロセスでのトナー飛散状態
Degradation of toner image

中間転写ベルト上のトナー像を観察したところ、トナー像の飛散が発生していることが判明した。中間転写ベルト上のトナーが飛散する原因としては、一次転写による電界を発生させた際に中間転写ベルトと感光体の接触する前後のギャップ部に異常放電が発生することで感光体上のトナー像を乱すためであると考えられる。これを改善する手段として、中間転写ベルトの電気抵抗を高抵抗化した。これによって、転写電界の広がり小さくでき、ギャップ部の放電によるトナーの乱れを抑えることができた。写真 4 に中間転写ベルトの電気抵抗値がトナーの飛散状態に与える影響を拡大観察した結果を示す。

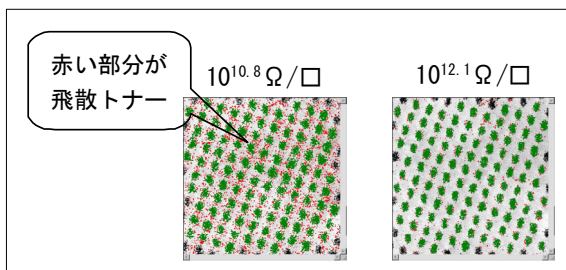


写真 4. 中間転写ベルト上の状態
Toner Stability on the Belt

4.1.2 墨入れによる粒状性悪化の回避

電子写真では、トナーの消費量を抑えるためにイエロー、マゼンタ、シアンの色で形成される画像部を黒トナー（墨）で置き換えているのが一般的である。また黒トナーを使用する理由としては三色で生成した黒では濃度が充分にでないため、文字やソリッド等ではインパクトに欠けてしまうという理由もある。銀塩写真でも夜景等の色の深みを表現するために、画像濃度は非常に重要視されている特性値である。しかし、黒トナーはコントラストが高いため、少

しでもトナー像に乱れが生じると目につきやすく、低濃度部では粒状性の悪化の一因になっている。この低濃度の画像領域には肌色や青空等の写真では非常に重要な色が存在している。

このため、墨は高濃度領域のみに入れ、中濃度から低濃度領域はイエロー、マゼンタ、シアンの3色のみで形成するようにして粒状性の向上を図った（図 13）。

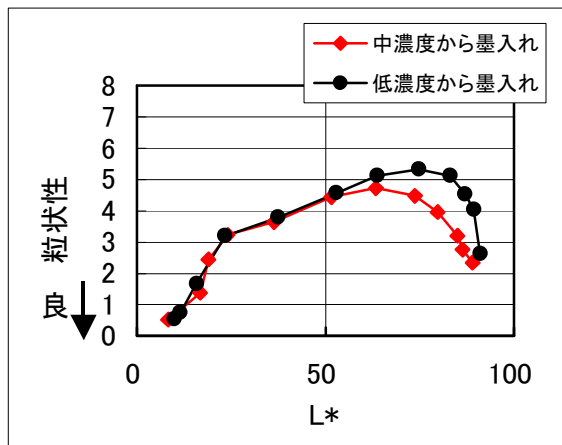


図 13. 墨入れパラメータの効果
Effect of UCR parameter

4.2 スクリーン構造の緻密化

一般的にスクリーン線数を低くするほど感光体上のトナー像はより安定して形成できるため粒状性は良化する。一方で、線数を低くするとスクリーン構造が視認されやすくなり、スクリーン構造を持たない銀塩写真と比べて違和感が発生する。このため粒状性とスクリーン視認性を両立したスクリーンとした。

写真画質として、スクリーン視認性に違和感のない線数を評価した結果、200 線以上が必要である事が分かった。図 14 にスクリーン構造の差による粒状性の影響を評価した結果を示す。

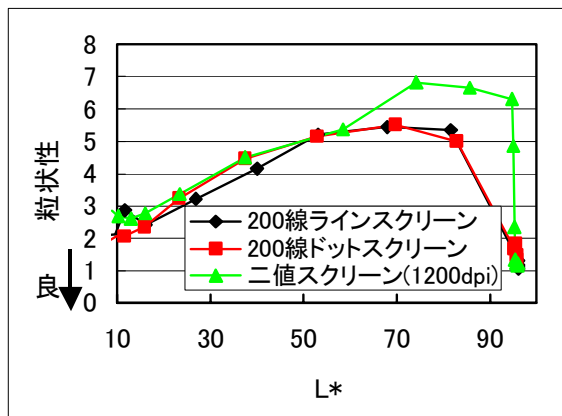


図 14. スクリーンと粒状性
Screen and Graininess

また、スクリーン構造は、粒状性以外にもスクリーン視認性を含む画質全般に影響する。そのため、プリントサンプルを官能評価した結果を図 15 に示す。

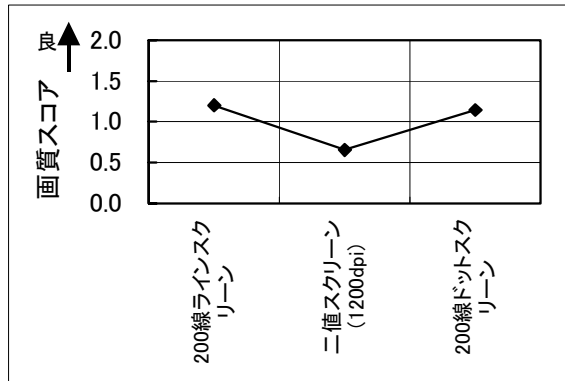


図 15. 官能評価結果
Result of objective evaluation

1200dpi の二値のスクリーンは表現できる階調数が乏しく粒状性および官能値共に最も悪い結果となった。一方 600dpi (多値レベル) のドットスクリーンの粒状性はラインスクリーンと同等であるが、スクリーン視認性がラインスクリーンよりも悪く、官能値は悪い。以上の結果よりラインスクリーンとした。

4.3 画像の鮮やかさ

銀塩写真では画像濃淡に起因した凹凸がなく、光沢も充分高いものである。これに対して電子写真では表面に微小な凹凸があるため光の乱反射により、色再現の鮮やかさに劣る。MACS を用いた光沢化処理技術により、銀塩写真と同等のプリント表面を高平滑、高光沢にすることができ、光の乱反射を低減させることにより光の不要吸収成分を抑制でき、色再現範囲を従来の電子写真に比べて大幅に向上させることができた (図 16)。

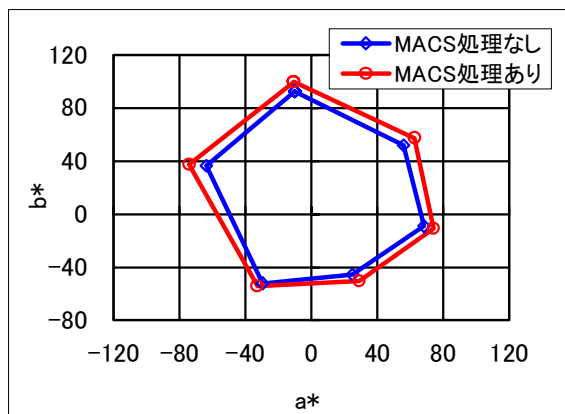


図 16. 色再現範囲
Color Gamute

5. まとめ

以上述べてきたように、MACS による光沢化と画質の向上により写真品質の達成レベルは表 4 に示すように目標値を達成し、官能評価値も G4 と目標を達成することができた。

表 4. 写真品質達成レベル
Achievement level

	目標値	達成値
粒状性	≤ 5.5	4.9
光沢 (20° グロス)	≥ 70%	80%
平滑度 (段差)	≤ 3 μm	1.5 μm
官能評価	≥ G4.0	G4.0

また、競合技術に対し機器としての性能比較を行なったものが図 17 である。電子写真では、プリント速度・プリント耐久性・ランニングコストなどに優れており、加えて MACS 技術を導入したことで、写真プリントを通常プリントと同一の装置で出力する両用機を実現した。

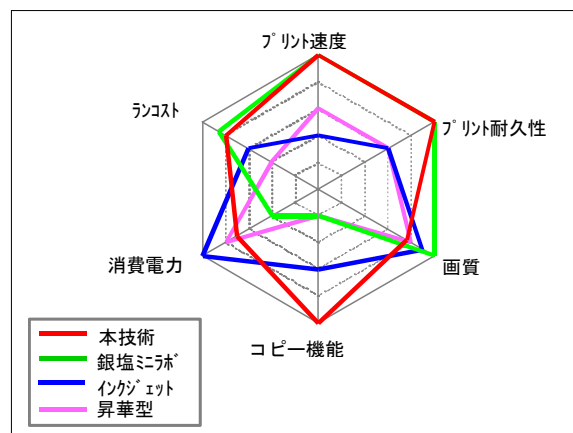


図 17. 競合技術との比較
Technology comparison

現在は、デジカメプリント市場に参入した段階であるが、更なる画質の向上を行ない、市場拡大を図っていきたい。

6. 参考文献

- [1] 篠原浩一郎、NIP20 論文集 p.29 (2004)
- [2] 村井朝ほか、富士フイルム研究報告、No.50, p.9 (2005)
- [3] 内海慎一ほか、Japan Hardcopy2005 論文集、p.215-218 (2005)
- [4] 齋藤隆則、日本接着協会誌、21.6 (1985) 粘着の理論 I

筆者紹介

野上 豊

技術開発本部マーケティングプラットフォーム開発部に所属。
日本画像学会員。専門分野：機械工学

篠原 浩一郎

技術開発本部技術企画部に所属。
日本画像学会/日本光学会員 専門分野：光学・画質設計

沼尾 和則

技術開発本部マーケティングプラットフォーム開発部に所属。
日本画像学会員。専門分野：画質設計

坂口 泰生

技術開発本部機能部材開発部に所属。
日本画像学会員。専門分野：化学

岡野 貞夫

オフィスプロダクト事業本部マーケティングモジュール開発部に所属。
専門分野：機械工学

金澤 祥雄

生産本部生産企画管理部に所属。
日本画像学会/日本経営工学会員 専門分野：物理、経営工学

内海 慎一

オフィスプロダクト事業本部マーケティングモジュール開発部に所属。
日本画像学会員。専門分野：機械工学

大木 靖

オフィスプロダクト事業本部マーケティングモジュール開発部に所属。
専門分野：システム工学

江連 平和

OP事業本部マーケティングモジュール開発部に所属。
研究・技術開発学会。専門分野：電気工学

細井 清

技術開発本部基盤技術開発部に所属。
繊維学会員。専門分野：化学

大士 文男

技術開発本部機能部材開発部に所属。
専門分野：高分子化学

小倉 佳剛

技術開発本部機能部材開発部に所属。
専門分野：生産技術

村井 朝

富士フイルム（株）R&D 統括本部イメージング材料研究所に所属。
日本画像学会/日本写真学会員 専門分野：化学

石塚 弘

富士フイルム（株）R&D 統括本部フラットパネルディスプレイ材料研究所に所属。専門分野：品質評価技術