
新規AC転写と弾性定着ベルト技術を用いたエンボス紙印刷品質向上システム

Embossed Paper Print System Using New AC Transfer Technology and Elastic Fusing Belt Technology

田中 真也*
Shinya TANAKA

杉本 奈緒美*
Naomi SUGIMOTO

窪田 啓介*
Keisuke KUBOTA

辺見 香理*
Kaori HEMMI

要 旨

商用印刷分野では、オフセット印刷と同様の幅広い種類の用紙対応力が求められている。特に表面に凹凸加工を施したエンボス紙は、その独特の質感から印刷物の表紙などに使用されることが多いため、エンボス紙へ印刷できる技術が望まれていた。リコーでは2013年6月発売のRicoh Pro C5110S/C5100SにAC転写技術と弾性定着ベルト技術を搭載し、エンボス紙への印刷を可能にした。今回、AC転写の新規非対称交流波形技術と、弾性定着ベルト層厚の最適化により、印刷可能なエンボス紙の種類を格段に上げると同時に、画像品質も向上させた。本論文では、上記エンボス紙印刷向上技術について報告する。

ABSTRACT

In the commercial printing market, being able to print on for many types of paper is required as well as offset printing. In particular, embossed paper, which has a unique texture, is used for the cover of printed material, so there is a need to be able to print on it. Ricoh launched the Ricoh Pro C5110S/C5100S in June 2013 and made it possible to print on embossed paper with the AC (Alternating Current) transfer technology and the elastic fusing belt.

We increased the number of types of embossed paper that can be printed on and also improved the image quality by developing a new AC transfer technology and optimizing the elastic fusing belt technology. In this paper, we report on our improvement of the printing technology for embossed paper, which was mainly due to the new AC transfer technology and the elastic fusing belt.

* 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

本稿は、日本画像学会誌に投稿中の内容を基に作成した。

1. 背景と目的

1-1 背景

近年、商用印刷市場や企業内印刷市場では、印刷物の多品種・小ロット化により必要な時に必要な部数を低コストで印刷できるオンデマンドプリンティングに対するニーズが拡大している。特にオフセット印刷と同様の幅広い種類の用紙対応力が求められており、エンボス紙のような表面に凹凸を持った紙は独特の質感を出すことができることからその対応を望まれている。

電子写真プロセスではトナーを紙に転写させる駆動力は静電力であり、一般に転写領域には放電発生限界前後の強度の直流電界が形成される。静電力として単純な直流電界を印加した場合、普通紙のような表面が平滑な紙にはトナーを転写できるが、エンボス紙のような凹凸が大きい紙の凹部に転写することは難しい。凹部での転写性を向上させるには、転写させるトナーと紙の凹部との間の空隙を小さくする必要があり、それらの実現手段として弾性率の低い中間転写ベルトを用いる技術^{1,2)}や、中間転写ベルト上に予めクリアトナーを転写させておく技術³⁾が知られている。

我々はこれとは異なるアプローチとして、空気の絶縁破壊電界近傍の交流高電界^{4,5)}を形成する新規トナー転写方式により、凹部への転写性を劇的に向上させることに成功した。しかし正弦波による交流電界では、放電の発生を抑えるため電界の直流成分を低く抑える必要があり、用紙や画像パターンによっては濃度不足等の課題が発生する。

一方エンボス紙にトナーを転写できたとしても均一性に優れた定着強度を得るには、凹部の定着強度を向上させる必要がある。凹部の定着強度を向上させるには、凹部に対して熱及び圧迫従性を有することが必要になる。従来技術としては、クリアトナーを用いて凹部のトナー付着量を上げることにより、凹部トナー層と定着部材の距離を縮め、追従性を上げる技術³⁾が知られているが、レザック66（特殊東

海製紙(株)製、130 kg)以上の紙厚は凹部が深く追従性が上がらないため、定着強度が不十分となる課題があった。

1-2 目的

今回我々は転写領域に交流電界を形成する転写方法で、新しい波形を開発し、エンボス紙転写性を飛躍的に向上させた。また、エンボス紙に転写されたトナーを定着させるために、定着ベルトの弾性層を厚肉化した“弾性定着ベルト定着技術”を開発し、凹部の定着強度を飛躍的に向上させ、レザック66 260 kgまでの定着性を確保することに成功した。

本報告では、転写プロセスにおいて交流高電界を使った正弦波の課題を明らかにし、その課題を解決させた新規転写交流波形について、及び、エンボス紙の凹部の定着強度を確保する課題を明らかにし、その課題を解決させた弾性定着ベルト定着技術について報告する。

2. 搭載技術 AC転写

2-1 交流高電界の効果と課題

交流高電界でのエンボス紙転写システム構成をFig. 1に示す。ここでは転写対向ローラーに交流高電界を印加している。

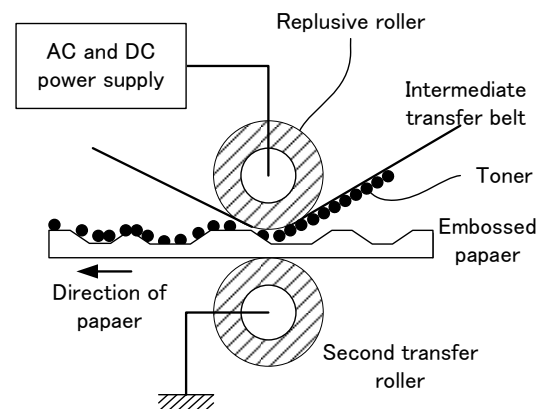


Fig. 1 The embossed paper transfer system by AC electric field.

交流高電界によって凹部で高い転写率が得られるメカニズムは、トナーが往復運動をすることによってトナー間及びトナーと中間転写ベルトとの付着力が低下し、トナーが転写されやすくなるためである⁵⁾。これによってトナーを戻す側の電圧によってトナーの往復運動を発生させエンボス紙への転写性を向上させることがわかったが、単純に直流成分の電圧に正弦波交流電界を重畳した場合、Fig. 2に示した電圧波形比較のように必然的にピーク電圧が大きくなる。なお、本稿では以後トナーを戻す側の電圧を V_r と記し、トナーを最終的に紙に保持させるための直流電圧成分（時間平均電圧）を V_{dc} と記し、 V_r が交流電界の1周期の中に占める割合をduty (%) と記す。

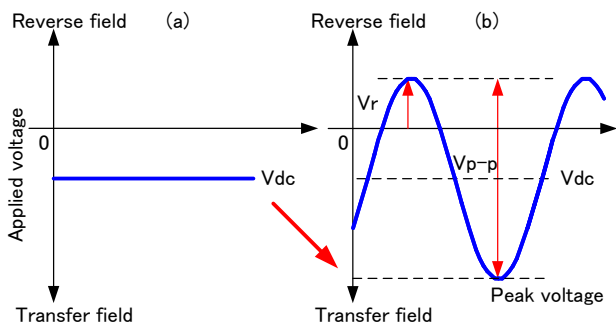


Fig. 2 Voltage wave forms. (a) is the simple dc field, and (b) is the AC sine wave voltage.

そのため、正弦波を用いた交流転写電界の場合、放電の発生を防止するために電界の直流成分を低く抑える必要がある。

しかし直流成分を低く抑えた場合、必ずしも良好な画像が得られない場合があることがわかった。Fig. 3はレザック66 175 kgの平滑部（凸部）におけるベタ画像とライン画像の直流成分と転写率の関係を示したものである。直流電界のみの転写の場合、ベタ画像とライン画像の転写率のピークはほぼ同じところにあるが、正弦波電界の転写の場合、ベタ画像とライン画像のピークは離れたところにあることがわかった。正弦波電界の場合、ベタが良好に転写される条件に合わせた場合、ライン画像は十分に転写されないという不具合が生じている。

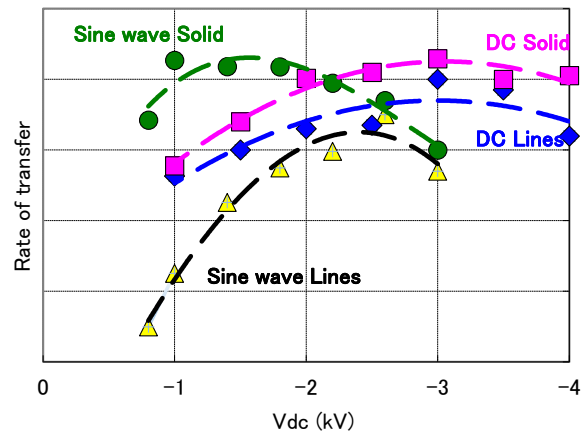


Fig. 3 Relations between the rate of transfer and the applied dc Voltage on DC wave and sine wave.

このように正弦波を用いた交流高電界での転写においては、溝部（凹部）での転写性が優れることは示されているが、平滑部においても良好な画像を得るためにはより大きな直流電界が必要であることがわかった。しかし、正弦波において単純に直流電界を大きくするだけでは、交流電界全体のピーク値が大きくなりすぎ、放電が発生してしまうため、平滑部と凹部の両立点を得ることができない。

2-2 トナー往復運動条件の解析

平滑部において良好な画像を得るためには高い直流電界が必須であることがわかったため、次はトナーを往復運動させて凹部にトナーを転写させるための電界 (V_r) についての解析を行った。ここで解析に使用した波形の概略をFig. 4に示す。

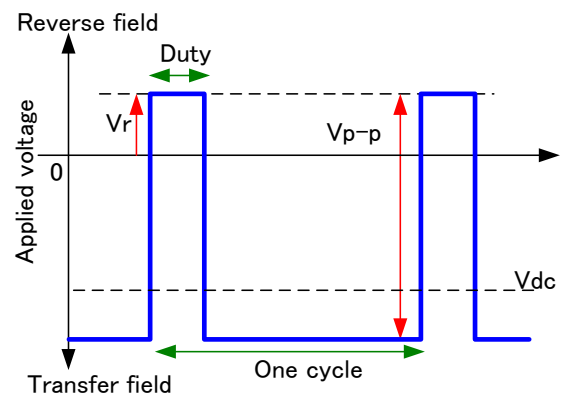


Fig. 4 Voltage wave forms.

凹部にトナーが転写される条件を探すために様々な波形ごとにトナーの往復運動がなされる条件を解析した。なお画像の評価は凹部の画像ランクのみを評価した。画像ランクは5段階で示し、ランク5を最良としている。凹部にトナーが転写されていれば、 V_r の効果によってトナーが往復運動していると判断している。ここで波形は全て矩形波を用い、ピーク間電圧（以下、 V_{p-p} と記す）を7 kV、 V_r を3 kVに固定しdutyごとに周波数を変化させ、凹部の画像ランクを評価した。Fig. 5に周波数と凹部の画像ランクとの関係を表す。

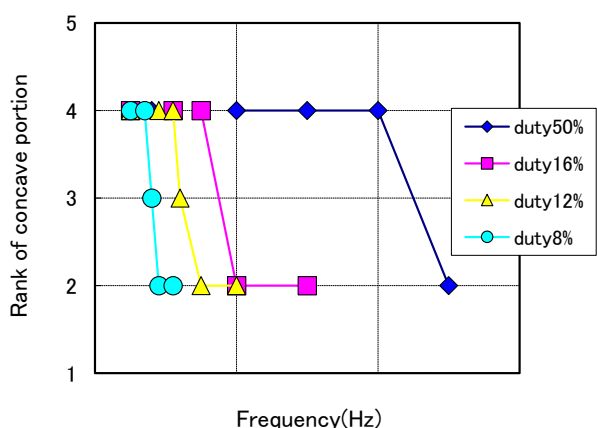


Fig. 5 Relations between the Rank of concave portion and the Frequency.

Fig. 5より、どのdutyの波形においても、周波数を上げていくとある値を境に凹部の転写性が悪化していることがわかる。

次に、Fig. 6に上記の評価における V_r の時間と凹部の画像ランクとの関係を示す。

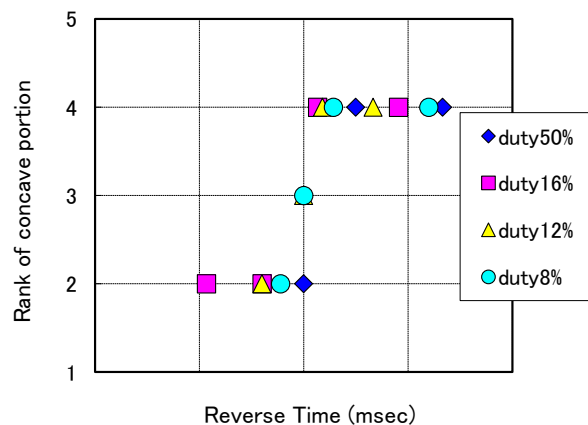


Fig. 6 Relations between the Rank of concave portion and the Reverse time.

Fig. 6より、どの波形においても V_r の時間がある値よりも大きくなると凹部の転写性が向上していることがわかる。この結果からトナーを往復運動させることができる V_r を印加した場合であっても、それが必要最低限の時間に渡って印加されなければ、トナーの往復運動は起こらない。一方でこの結果は、必要最低限な V_r の値及び V_r が継続する時間さえ確保できれば、それ以外は自由に設定できるということである。

ここでFig. 7に今回開発した非対称交流波形を、従来の正弦波交流波形と共に示す。ここに示すように V_r の継続時間を短くすることで、 V_r 及びピーク電圧の値は正弦波と同じまま、 V_{dc} のみを大きくすることができている。

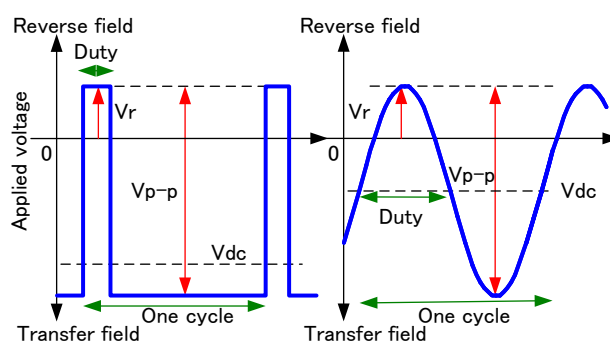


Fig. 7 Voltage wave forms asymmetry AC and sine AC.

さらに今回開発した非対称交流波形でのレザック66 175 kgの平滑部におけるベタ画像とライン画像を、従来の正弦波の結果と共に示す。

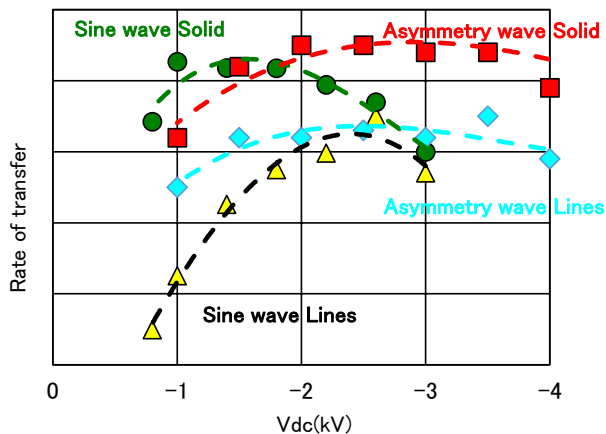


Fig. 8 Relations between the rate of transfer and the applied dc Voltage on sine wave and asymmetry wave.

Fig. 8より、非対称交流波形は高い直流電圧においてもベタ画像の転写率が下がることなく、ライン画像との両立ができています。

3. 搭載技術 弾性ベルト定着

3-1 弾性層厚の効果

弾性定着ベルトの特徴は、エンボス紙の凹部に対して圧力が追従することである。上記は、一般的には定着ベルトの弾性層の厚みが影響しているが、具体的な弾性層の厚みや定着ローラーの硬度、圧力等の様々な因子が凹部の定着性にどの程度寄与するか（定量的な影響度）が不明確であった。このため、これらの因子が追従性に与える影響を定量化する必要があった。

エンボス紙の凹部に対する圧力による追従性は、エンボス紙に見立てた台紙に評価シートを載せ、定着後の評価シートの色面積を数値化することにより、定量化を実施した。定着化の方法は以下①～④である。

- ① エンボス紙を簡易的に再現するために、径の異なる穴が開いた台紙を未定着トナーに載せ、擬似的なエンボス紙セットを作る。(Fig. 9)
- ② ①のセットを定着機に通す。
- ③ 台紙を外して用紙のトナーを布で擦り取り、画像をカメラで観察する。この時、定着している部分（＝定着部分とする）は用紙に残り、未定着部分は擦り取られる。(Fig. 10)
- ④ 画像処理により、③の画像における定着部分／穴面積を算出する。

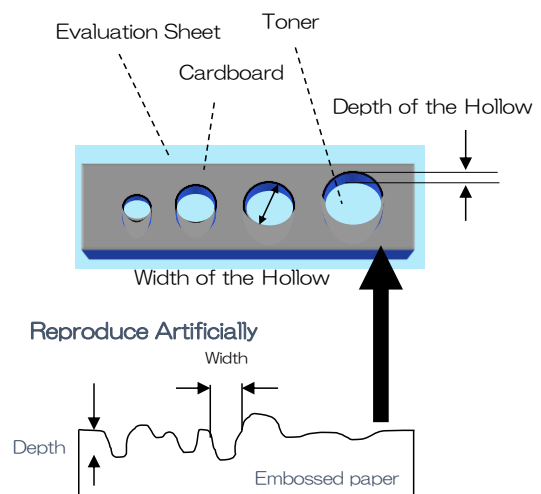


Fig. 9 Embossed paper set schematic diagram.

Hole diameter portion of the Cardboard

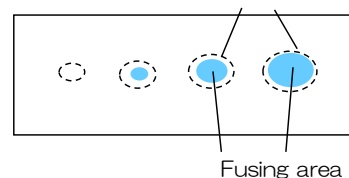


Fig. 10 Image of the Evaluation Sheet after removal.

上記結果より要因効果図を作成し、最適構成を決定した。L18実験における対象システムをFig. 11に示す。台紙の穴径を信号因子にとり、定着ユニットに通した後のトナー定着面積を出力特性とした。

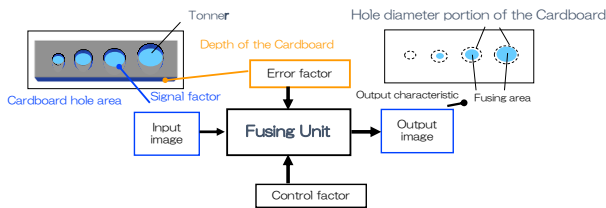


Fig. 11 Target system.

上記システムで評価を行ったところ、定着機構成の中では特に定着ベルト弾性層厚を厚くすることで紙の凹部の定着性を向上できることがわかった。

以上の結果により、弾性層厚を増加させることでエンボス紙の定着強度を確保することにした。

3-2 弾性定着ベルトの課題

弾性層厚を増加させることによる弊害として、通紙によりベルト表層に発生するシワが挙げられる。この現象は、通紙時、通紙部と非通紙部でベルト表面に線速差が生じ、線速差によりベルト表層の用紙エッジ部に一致した箇所に塑性変形が生じることにより発生する。

そこで、通紙によるベルト表層変形をモデルとしたシミュレーションにより、せん断応力によるベルト表層の塑性変形を発生させない表層厚を求めた。

Fig. 12に、ベルト表層に発生する塑性変形（シワ）とシミュレーションモデルを示す。

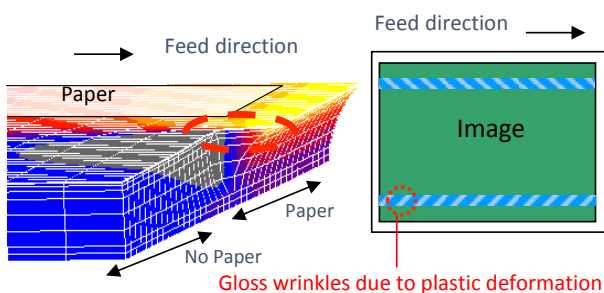


Fig. 12 Belt surface deformation simulation.

Fig. 13に、表層厚とシミュレーションにより求められたせん断応力の関係を示す。実通紙との比較により表層の塑性変形を発生させないせん断応力を求

め、このせん断応力以下になるように表層厚や圧力を最適化した。

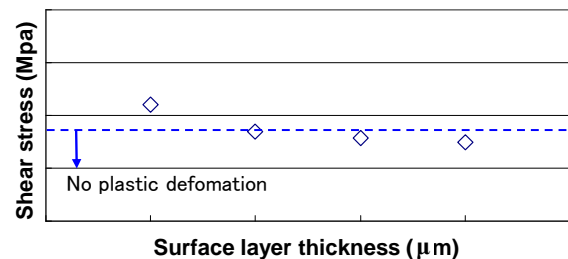


Fig. 13 Shear stress associated with the surface layer thickness.

4. 画質への効果

4-1 エンボス紙転写性の向上

Fig. 14に中間転写ベルト方式の実験用プリンターで、エンボス紙上に今回開発した非対称交流電界で二次転写した最終画像(a)と、正弦波電界で二次転写した最終画像(b)と、単純な直流電界で二次転写した最終画像(c)を示す。なお、本実験用プリンターの中間転写ベルトは一般的なポリイミドベルトであり、使用したエンボス紙はレザック66（特殊東海製紙(株)製、175 kg）である。それぞれの印加電圧の条件は画像の均一性の主観評価に基づいて決定されており、サンプル(a)では直流電圧に非対称交流成分を重畳した電圧を二次転写対向ローラーに印加し、サンプル(b)では直流電圧に正弦波交流成分を重畳した電圧を印加、サンプル(c)では単純な直流電圧を印加した。サンプル(a)で用いられる直流電圧はサンプル(b)よりも大きな電圧が印加できており、この値はサンプル(c)で得られる直流電圧に近い値である。

このエンボス紙の平滑部と凹部の高低差は、最大で100 μmを超えるのだが、非対称交流電界で得られる画像は、凹部までトナーが転写されており、正弦波電界及び単純な直流電界で得られる画像と比較して、均一性に優れることがわかる。



(a) is by asymmetrical AC field.



(b) is by sine wave AC field.



(c) is by DC field with 3.0 kVdc.

Fig. 14 Image samples printed out on the LEATHAC66 (175 kg, A4 size) with an experimental printer.

4-2 エンボス紙定着性の向上

Fig. 15に、従来ベルト（弾性層厚 $200\mu\text{m}$ ）にてエンボス紙を定着させた写真を示す。凹部観察写真では、トナーが凸部に対して溶けにくいいため、画像欠損を生じさせている。従来の弾性層厚では凹部への圧追従性が足りず、トナー層に十分熱を伝えられないことがわかる。

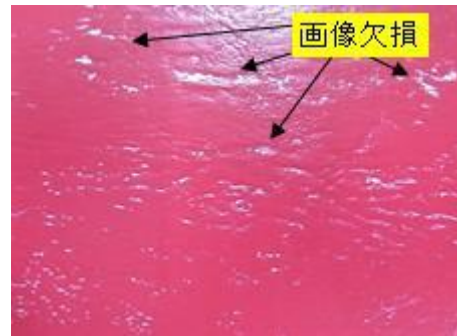


Fig. 15 Image sample fused by non-elastic belt.

Fig. 16に、改良ベルトにてエンボス紙を定着させた写真を示す。写真ではトナーが十分溶けているため、画像欠損が無いことがわかる。

このことより、改良ベルトが従来ベルトと比較し、凹部の追従性に優れることが証明された。



Fig. 16 Image sample fused by elastic belt.

5. まとめ

エンボス紙に対して、高画質な転写定着画像を得ることができるAC転写技術及び弾性定着ベルト技術を用いた印刷システムを開発した。

AC転写技術は、新規非対称交流波形を用いて、凹部及び凸部に対して良好な転写性を得ることを実現し、そのメカニズムを明確にした。弾性定着ベルト技術は、弾性層及び表層厚の最適化によって、塑性変形をすること無く、凹部の定着性を得ることを可能とした。

また、これらの転写、定着技術により、従来高コストであったクリアトナーを用いたシステムに対しても圧倒的な低コストでエンボス紙対応印刷システムの実現が可能となる。

なお、本件⁷⁾は、2013年発売のRicoh Pro C5110s/C5100s⁶⁾ (Fig. 17) に搭載されている。



Fig. 17 RICOH Pro C5110s/C5100s.

参考文献

- 1) Canon: *CANON TECHNOLOGY HIGHLIGHTS 2009*, p. 42 (2009).
- 2) T. Ohba et al.: Development of World's Smallest Color Tandem Printer FS-C 5016N, *J. Imaging Soc. Japan*, Vol. 43, pp. 453-458 (2004).
- 3) H. Mori: High-Speed Color Publishing System Color 1000 Press/Color 800 Press, *J. Imaging Soc. Japan*, Vol. 50, pp. 21-28 (2011).
- 4) 青木信次ほか: Imaging Conference JAPAN 2013 論文集, pp. 229-232, 日本画像学会 (2013).
- 5) 中村圭吾ほか: AC転写技術, *Ricoh Technical Report* 39 (2013).
- 6) RICOH: RICOH Pro C5110S/C5100S, http://www.ricoh.co.jp/pp/pod/pro_c/5100s_5110s/ (参照2014-07-01).
- 7) RICOH: 凹凸紙における画質向上技術, http://www.ricoh.com/ja/technology/tech/058_imag_equality.html (参照2014-07-01).