

Ⅲ—2 電子写真の技術動向

石井 洋*、上原 康博*、谷 繁満*、豊吉 直樹*

はじめに

1938年のカールソン氏によるゼログラフィ方式の複写実験の成功、1959年の世界初の事務用普通紙複写機の商品化に始まり、アナログ方式からデジタル方式へ、モノクロからフルカラーへと時代とともに技術が発展してきた電子写真方式は、オフィスユースのMFP・プリンタで主流の位置を維持するとともに、プリントオンデマンド、バリアブル・プリントなどと呼ばれるデジタル印刷分野にも広がりを見せている。

電子写真技術は長い歴史を有しているが、現在でも更なる高精細化、高画質化、高速化、高信頼性化、低消費電力化に向けての技術開発が活発に行われており、最近の注目技術を調査した結果をプロセスごとに整理して報告する。

1) 露光

デジタル複写機の露光光学系として広く使われている光学系には、レーザー光源と回転ポリゴンミラーを組み合わせたレーザーROS (raster optical scanner) 方式と、LED (発光ダイオード) を光源に用いた LED プリントヘッド方式がある。

レーザーROS方式は現在の主流技術であり、部品コストが低価格で、均一な露光量を得ることができるといった長所を有しており、マルチビーム化による高速化、高解像度化が加速している。

富士ゼロックス「ApeosPort-III C7600/ C6500/ C5500」では、富士ゼロックスが独自開発した面発光型半導体レーザー「VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser)」を採用している。従来の半導体レーザー (端面発光レーザー) は、半導体基板の端面に

発光面があり、基板に対して平行方向に発光するのに対して、「VCSEL」は半導体基板の面に発光面があり、基盤に対して垂直方向に発光する。このため、レーザーを平面に並べる二次元配列の実現が容易で、配列を増やすことにより、大規模化にも対応できる。また、製造時の工程の簡略化によるコストダウンが可能である、低消費電力で高速駆動が可能であるといったメリットを有している。前述の複合機ではレーザーによる書き込みにおいて1スキャンあたり32本のマルチビームを発光することにより、カラー60ppmのスピードにおいてリアル2,400dpiの高解像度を実現している。また、画像ズレ・色ズレの補正処理技術の搭載によりレジストレーション精度が向上し、色ずれの少ない超高精度な画像を提供している。

リコー「Pro C900」は4ビームレーザーアレイを2個採用し、リコー独自のビーム合成技術による8ビーム走査にて高速書き込みを実現しつつ、高品位な画像・文字・細線を高精細に描画している。

キヤノン「Color imageRUNNER iR C4580/C4580F」は、4ビームレーザーユニットとドラムユニットをそれぞれ4つ水平に連続して配置した「ADVANCED FLAT4 ENGINE」を搭載し、カラー40ppm、モノクロ45ppm (ともにA4ヨコ) という高速出力と、9,600dpi相当×1,200dpiという高解像度を両立している。

コニカミノルタ「bizhub C650」は4色×2ビームレーザーで露光を行う一体型のプリントヘッドを新開発し、出力スピードの高速化と、さらなるコンパクト化を達成している。

一方、LED式は走査光学系が不要なので、レーザーROS方式に比べて大幅な小型化が可能であり、機械ノ

* 技術調査小委員会委員

イズが発生しないなどの特長がある。しかしながら、たくさんの発光源を持つLEDプリントヘッドの露光量を均一にするのは困難で、LED方式固有の課題がある。その課題と課題解決に必要な技術開発項目は、

- ・ 光量ばらつき：光量補正技術
- ・ 光量劣化：LEDアレイの高発光効率化技術
- ・ LEDアレイ結像の位置精度：ダイボンド位置精度技術とレンズアレイ組立技術
- ・ 熱伸縮による位置変動：高発光効率化技術

などであるが、最近ではこれらの課題に対する技術開発が進んで改善されつつある。

富士ゼロックスは「ApeosPort-III C3305/C2205」において、発光源として1,200dpi自己走査型発光素子を搭載することで、高解像度を実現している。配線数を大幅に減らすことによって、従来のLEDプリントヘッドよりもさらに小型化を実現している。その結果、従来のレーザーROS方式に比べ、体積比で1/40（従来機比）を達成し、複合機に搭載した場合に大幅な小型化が可能になり、用紙トレイ1段分ものスペース削減が実現できている。一方、高解像度になるほど難しくなるLEDの露光量均一化に対しては、高精度で高速な光量計測技術と、LEDの発光特性、レンズの光学特性を多機能に補正する新開発アルゴリズムを1チップIC化することによって、レーザーROSと同等以上の高画質で高解像度（1,200×2,400dpi）なLEDプリントヘッドを実現している。

今後のデジタル複写機の露光光学系はより一層の高速化、高解像度化、低コスト化が進むと考えられる。レーザーROS方式では、それらに加えて低振動化、低騒音化、低消費電力化が、LEDプリントヘッド方式では、もともと高速化のポテンシャルを有しており、更なる高信頼化、露光量均一化が進むものと思われる。

2) 現像

2.1) 高速化

超高速領域では高い現像能力が求められることから、二成分現像方式では複数の現像ローラを用いた現像器が採用されている。2007年10月に富士ゼロックスか

ら発売された「490/980 Color Continuous Feed Printing System」（69m/分）は、3本の現像ローラを用いており、3本全てが感光体と順方向に回転している。リコーからは、日本画像学会主催のPan-Pacific Imaging Conference (PPIC) '08において超高速レーザープリンタ（1,420mm/秒）のプロセス技術が報告されている。同様に3本の現像ローラを搭載しているが、こちらは最上流の現像ローラは感光体と逆方向に回転しており、下流2本の現像ローラは感光体と順方向に回転する構成を採っている。

多段現像に向かうトレンドは見受けられるが、現像ローラの回転方向は各社異なっており、技術的にはまだ収斂していない感がある。画質に関する着目点の違いや現像剤特性との関連があるものと推測される。

また、一成分現像方式では、Océから発売された「Océ VarioStream 9510、9610、9710」（1,069ppm、1,283ppm、1,425ppm）、「Océ ColorStream 10000」（カラー168ppm、モノクロ800ppm）等が非接触現像方式を用いている。

二成分現像方式においては、現像後のキャリアには現像したトナーと逆極性のチャージが生じてしまい現像を抑制する電界を形成するが、一成分現像方式にはその発生が無いため、この点に関しては高速現像に有利な方式とも言える。

2.2) 高画質化

京セラミタは、「インタラクティブタッチダウン現像方式」と称する現像方式を中速のA3オフィス機に採用している。この方式は磁気ローラまでは二成分現像方式で処理し、その後は磁気ローラから現像ローラにトナー薄層を形成して感光体にトナーをジャンプさせる一成分現像方式のプロセスになっている。2成分現像方式で発生しやすいキャリアによる掃き目筋の低減を狙っている。

高速のプロダクション機でも、同様に感光体への現像部分を一成分現像方式とした現像方式が、富士ゼロックスのフルカラー機「Xerox iGen3 110 Digital Production Press」やモノクロ機「Nuvera 120 Digital Production System」に採用されており、後継機種である「Nuvera 144 EA Digital Production System」（2008

年1月発売)、「Xerox iGen4 Press」(2009年1月発売)でも継承されているようである。「iGen3」では、さらに振動電界を印加したワイヤーを現像空間に設置しトナーのクラウド化を促進している。

また、新たな付加価値を提供する商品として、キヤノンから光沢性を制御するクリアトナーを用いた5つ目の現像器を搭載する「imagePRESS C1+」が発売された。5色以上の現像装置を持つ出力機器としては高速な大型機が多く、従来からコダックの「Nex Press」やHPの「Indigo Press」のシリーズがあったが、「imagePRESS C1+」は855mm幅の非常にコンパクトな構成となっている。

トナーの改良は低温定着化を主目的としたものが多いが、高画質化に関しても各社で取り組まれており、トナー、キャリアの小径化や重合法によるトナー形状の均一化が訴求されている。富士ゼロックス「Nuvera 144 EA Digital Production System」では粒径6 μ mの乳化重合法の「EAトナー」が採用された。シャープ「MX-5000、MX-4100、MX-3600」では、新開発の「Mycros トナーHG」と小粒径「ESキャリア」により画質を向上したとしている。東芝テックは「e-STUDIO2830C、3520C、4520C、5520C、6520C、6530C」に従来よりも広い色再現領域を持たせた新トナーを、京セラミタは「ECOSYS FS-C5200DN、C5300DN」に従来よりも小さく表面が滑らかな新開発トナーを採用している。

2.3) 高耐久化

二成分現像方式では、キャリアの劣化がトナーの帯電性能の低下やトナー飛散の増加に繋がるため、キャリアを少量ずつ入れ替えてキャリアの劣化を抑制し、現像剤の高耐久化を図る方式が増えてきている。

富士ゼロックスの「Apeos」シリーズでは従来から補給トナーにキャリアを一定比率混合し、トナー補給に伴ってキャリアを入れ替える方式を採用しており、「トリクル現像方式」と称している。この方式は高速プロダクション機の「Nuvera 120 Digital Production System」でも採用されている。さらに「iGen4 Press」では、「キャリア・ディスペンス・システム」としてキャリアを別個に供給する方式に進化している。

キヤノンも「imagePRESS 7000VP、C6000」で、同様のコンセプトを採用しており「ACR」と呼んでいる。

「ACR」とはAuto Carrier Refreshの略で、補給剤にキャリアを入れ、現像容器内の現像剤量が一定以上に増加した場合に容器内の現像剤を排出する構成である。

2.4) 低コスト化

プロダクションプリントから大～中規模のオフィス用途を中心に高速化、高画質化、高耐久化と動向を述べてきたが、一方目を転じてSOHOや小規模オフィスなどをターゲットとしているプリンタやMFPを見ると、一成分現像方式を採用している製品が多い。この商品カテゴリーはコスト競争が厳しく、現像剤の攪拌機構やトナー濃度検出、トナー補給制御が不要という二成分現像に対する優位点を活かして一成分現像方式で低コスト化を図っているところが多い。

さらにブラザー「HL-2040、MFC-7420」では一成分現像方式の現像ローラに転写残トナーを回収する機能を持たせることでクリーニング機構を省き、さらに簡易な構成を可能としている。トナーは現像効率、転写効率が高い懸濁重合法で作られたほぼ球形のトナーが用いられている。

3) 帯電・転写

3.1) 帯電について

感光体を帯電する方式としてはスコロトロンなどのコロナ放電方式とローラ帯電方式に大別することが出来る。オゾンレス帯電を実現したローラ帯電方式はキヤノンが小型モノクロLBP「レーザーショット」の感光体ドラム帯電器として、世界で初めて製品化した後、各社が開発・製品化に取り組んだ結果、帯電性能は飛躍的に向上し、今日では帯電の均一性の要求が厳しく、かつ、帯電速度も要求されるカラーデジタル印刷、カラーMFPにも採用されるまでに至った。以下に代表的な例を紹介する。

① ローラ帯電方式 その1

7色の液体インクを用いるHP「Indigo 7000 Digital Press」は120ppm(4色構成)の高速印刷を誇るデジタル印刷機であり、1つの感光体ドラムで1色ごとにト

ナー像を作像するロータリー方式を採用し、プロセス速度は2.51m/秒に達している。67ppm(4色構成)の従来機「Indigo press 5500」が帯電能力をカバーするために3個のコロナワイヤー帯電器を搭載して感光体ドラムを帯電していたのに対して「Indigo 7000 Digital Press」は新規に開発した帯電ローラ1個のみで120ppm(2.51m/秒)の高速帯電を実現している。

② ローラ帯電方式 その2

キヤノン「Color imageRUNNER iR C5185」はタンデム方式の採用により、モノクロ、カラー、何れも51ppmのコピー速度をローラ帯電方式で実現している。さらに、「iR C5185」は現像後に感光体上に残留する転写残トナーを補助帯電ブラシにより再帯電を行った後、帯電ローラの帯電領域を通過させたトナーを現像ローラで安定して回収・再利用するトナーリユース機能を併用したクリーナレス機構を構成しており、クリーニングブレードによる摺刷磨耗をなくしたことによる感光ドラムの長寿命化、および、トナーの経済性の向上を図っている。

クリーナレス機構はモノクロ機では従来より製品化されているが、カラー機にクリーナレス機構を搭載すると混色による画質劣化が大きな問題となる。球形で転写効率が良い「S トナー」を用いることなどにより「iR C5185」は混色の問題を解決したと推測される。

③ ローラ帯電方式 その3

電荷注入を用いた磁気ブラシ帯電などは例外であるが、一般的なローラ帯電方式は帯電ローラと感光体との接触部に隣接する微小空隙領域で気中放電が行われ、接触ローラ帯電方式でも気中放電に伴い若干のオゾンが発生する。

京セラミタ「ECOSYS LS-6950DN」はアモルファスシリコン感光体ドラムとプラスローラ帯電方式の帯電器との組合せによりオゾンフリー(測定可能下限値以下)を達成している。

一般に用いられている OPC(有機感光体)ドラムがマイナス帯電であるのに対して、アモルファスシリコン感光体ドラムはプラス帯電であり、マイナス帯電の1/10ほどのオゾン量となるプラス帯電がオゾンフリ

ー達成に大きく寄与しているものと推測される。

3.2) 転写について

カラー機はパスごとにトナー像を転写して複数回のパスで全色を重ね合わせたトナー像を得るロータリー方式と、1パスで全色のトナーを転写し、重ね合わせたトナー像を得るタンデム方式に大別され、オフィスユースのカラー機において、価格優先のマシンではロータリー方式、速度優先のマシンではタンデム方式が採用され、両方式とも静電転写が行われている。

オンデマンド印刷、並びにオフィスユースの上位機種分野ではユニークな転写を採用されたマシンも見受けられ、以下に紹介する。

① 転写同時定着方式

7色の「エレクトロインク」(液体インク)を用い、ロータリー方式により重ね合わせる色の数に応じたパスを繰り返す HP「Indigo 7000 Digital Press」の転写プロセスは「Indigo Press 5000」を踏襲し、1色ごとに中間転写体(Blanket)に1次転写した後、中間転写体から用紙に熱と圧力により2次転写する転写同時定着方式を採用している。

② 両面同時転写方式

Océのカラーデジタル印刷機「ColorStream 10000」は両面同時転写方式を採用している。印刷装置の構成は、中間転写ベルトを用いたトナー像作像プロセスを表面と裏面の2系列で構成し、更に裏面(表面)中間転写ベルト上に作像されたトナー像を帯電器で逆帯電させた後、1箇所の転写エリアで正規の帯電極性の表面(裏面)トナー像と逆帯電された裏面(表面)トナー像を用紙(ロール紙)に転写を行い、その後、定着エリアに搬送し、表面及び裏面をそれぞれ非接触で加熱して両面を同時に定着している。

③ 弾性中間転写ベルト

ポリイミド樹脂製の中間転写ベルトが有する、折れや割れが生じ易いなどの欠点を克服するために、富士ゼロックス「DocuPrint C525A」など中速機ではゴム製の弾性中間転写ベルトが採用されている。

デジタル印刷をターゲットにしたキヤノン「imagePRESS C+」は「imagePRESS C7000VP」を踏襲し、

ベルト強度の要求されるタンデム方式の樹脂ベルトにゴム層を追加して弾性をもたせた中間転写ベルトを採用し、凹凸などのさまざまな表面性をもったメディアにも着実かつ均一にトナーを転写し、高品位の転写画像を実現している。

4) 定着

4.1) 高速化

グラフィックアーツ業界用に、Océ から発売（2008年内に順次出荷）されたフルカラー機である「Océ ColorStream 10000」は、電子写真方式においては最速クラスであり、その印刷速度はカラー168ppm/モノクロ800ppm（A4 2-up 両面印刷）である。このシステムに用いられている定着器は、従来機である「Océ VarioStream 9240」と同様、赤外線による非接触熱定着方式であり、モノクロ機である「Océ VarioStream 9510、9610、9710」（1,069ppm、1,283ppm、1,425ppm）にも採用されている。

このような非接触熱定着方式を用いた超高速機は、2007年10月に富士ゼロックスから発売されている「フルカラー 490/980 Color Continuous Feed Printing System」（450ppm、A4 2-up）があり、キセノンランプを用いたフラッシュ定着が採用されている。

従来、このような光エネルギーによる定着方式において、カラートナーは光エネルギーの吸収率が低いこと、及び色の違いにより吸収率が異なり発熱特性が均一でないことからカラートナーに赤外線吸収剤を添加する必要があり、それにより色再現性に課題があった。しかし、各種赤外線吸収剤と定着性の最適化等が図られ、色再現性の良いトナーが開発されてきたため、近年ではフルカラーの超高速機に光エネルギーによる非接触熱定着方式が採用されてきている。

非接触熱定着方式の特徴は、記録媒体に接触することがないため、紙シワ、紙詰まり、カールが発生しにくく、また、高荷重をかけたローラを高速で駆動する必要がないことも相俟って、装置全体の信頼性向上を図ることが出来る。

4.2) 高画質化

ライトプロダクション向けに、キヤノンから発売（2008年3月）された「imagePRESS C6000」（60/60ppm）は、昨年発売された「imagePRESS C7000」シリーズ同様、デュアル定着方式が採用されている。デュアル定着方式とは、大きな加熱エネルギーが要求される厚紙やコート紙は用紙搬送が縦列接続となる2つの定着器で定着処理され、薄紙や再生紙など2回定着処理の必要のない用紙は第二定着器を回避するバイパスに搬送され第一定着器のみで処理される。最初に通紙される第一定着器は定着ローラと加圧ベルトによるワイドニップ定着器であり、2度目に通紙する第二定着器は定着・加圧共にローラ方式を採用している。11月に発売された「image PRESS C1+」は、カラー14.2ppm、モノクロ60ppmのため、上記のワイドニップ（第一）定着器のみで処理されている。

また、同じくキヤノンから発売（2008年2月）された「Color image RUNNER iR C4080」（36/40ppm）は、昨年発売された同シリーズの「Color image RUNNER iR C5185」（51/51ppm）と同様、「Twin Belt Fuser（TBF定着）」を採用している。TBF定着は、加熱側、加圧側共にベルトを用いることにより、2本のローラでは実現し難い15mmというワイドニップ幅を実現している。

このように、定着器においては、ワイドニップを採用することによって、光沢度の向上による高画質化を図っている。

4.3) 省エネルギー

定着器における省エネルギーとは、スリープモードからの復帰時間を30秒以下にすることで、待機時に定着器を所定の温度に加熱する電力をなくす取り組みであり、ウォームアップを早くするところにある。

そのウォームアップを早くするための加熱方式として、キャパシタ（蓄電デバイス）方式、IH（電磁誘導加熱）方式、面状セラミックヒータ方式等があり、それらについて以下に紹介する。

リコーの「imagio MP 7500/8000」においては、次世代大容量蓄電デバイスであるキャパシタを用い、待機

時にそこに蓄えた補助電力をウォームアップ時に定着器へ追加供給する「HYBRID QSU」技術を搭載し、ウォームアップタイム 30 秒以下を実現している。

IH 定着は、熱容量の小さい定着ベルトや薄肉のヒートローラを IH コイルで直接加熱することによりウォームアップを早くしている。また、従来のハロゲンランプ方式が加熱幅の異なるランプを複数装備し、印刷する紙サイズに合わせて適切な加熱幅のランプを選択し加熱幅を制御しているのと同様に、複数の IH コイルへの通電を選択して加熱幅を制御する方式のほか、IH コイルで発生する磁束を制御する IH 定着特有の加熱幅制御方式が実用化されており、磁束を打ち消すための消磁コイル、磁束を遮断するための磁気シールド板等を制御することによって用紙サイズに合わせた加熱幅制御を行っている。また、キュリー温度を超えると透磁率が急減して磁束を抑制する整磁合金を加熱ローラに採用することで、各用紙サイズに合わせ自動で加熱幅制御を行う方式もある。

2008年に発売開始された複合機の中で、前述の複数コイル方式を採用しているのはコニカミノルタ

「bizhub601/751」であり、消磁コイル方式を採用しているのはリコー「imagic MP C4000/C5000」であり、磁気シールド板方式を採用しているのは、2007年2月に発売されたキヤノン「image RUNNER iR5055/5065/5075」である。整磁合金を用いた自動加熱幅制御方式を採用しているのはパナソニック「WORKiO C3040/3030/2626」である。

面状セラミックヒータ方式はキヤノンが採用しており、熱伝導効率が高く熱容量が小さい定着フィルムと、サーマルヘッドと類似した構造で熱応答性に優れた面状セラミックヒータとを組み合わせることによりオンデマンド定着方式を開発し、定着フィルム回転時のみヒータを作動させ、製品によっては待機時の消費電力 0W を実現してきた。このオンデマンド定着方式は、ニップ幅が十分に取れない、熱供給が間に合わない等の理由により、高速化には課題が多いとされてきたが、2008年に発売された「image RUNNER iR C3580/iR3245」では、小型化や定着フィルムの基層材料の変更等により、カラー30ppm、モノクロ 45ppm にまで高速化を図っている。

禁 無 断 転 載

2008年度「ビジネス機器関連技術調査報告書」 “Ⅲ—2” 部

発行 2009年3月
社団法人 ビジネス機械・情報システム産業協会 (JB Mia)
技術委員会 技術調査小委員会
〒105-0003 東京都港区西新橋三丁目 25 番 33 号 NP 御成門ビル
電話 03-5472-1101(代表) / FAX 03-5472-2511