



進化し続ける 印刷技術



近代印刷はグーテンベルクの活版印刷から始まった。当初、活字を加圧によって印刷するという物理的現象を活用していた印刷技術は、その後、化学の領域を取り入れ、文字以外の図版や写真も容易かつ正確に複製するようになった。デジタル化時代を迎えた現在、印刷技術は、オンデマンド印刷への発展やエレクトロニクス分野においてリソグラフィ技術として発展している。

右上は、グーテンベルクが最初に印刷した「42行聖書」

近代印刷の幕開け

1450年頃、ドイツ人のヨハネス・グーテンベルクは、鉛合金活字、ネジ式ブドウ压榨機を応用した印刷機、活字になじむ油性インクを考案して、一つの印刷システムにまとめ上げた。そのシステムは活版(活字組版)印刷と呼ばれるもので、1455年頃「42行聖書」の出版など活発な活動を生み出し、それまで貴族や僧侶たちの特権であった文章を読む機会を多くの市民に開放した。その後、印刷物は情報伝達の有効な手段となり、近代社会の形成に多大な影響を及ぼしていくのである。



徳川家康が朝鮮伝来の銅活字を元に作らせた「駿河版活字」(重要文化財)

グーテンベルクは、鉛を主体にスズとアンチモンを加えた合金で活字を製造した。当時の活字合金の組成は、鉛82%、アンチモン6%、スズ9%となっており、その後も組成比に大きな差異はない。

活字合金は、熔融温度が240～300℃と低く、鑄込みに適している。また、物質の熱収縮・膨張の特性をうまく利用し、真鍮製の母型(鋳型)に熔融した活字合金を、凝固収縮を利用して母型から剥離される。凝固の際の体積収縮率は鉛で0.942%、スズで0.695%とかなり大きい。アンチモンは凝固の際に多少膨張する。アンチモンを加えることによって、剥離に必要な収縮を最小限に抑え形状再現性を高めるとともに、活字合金のブリネル硬度を高め、耐刷性も向上させた。

金細工師であったグーテンベルクが、合金の知識をかなり持ち合わせ、それをもとに活字を製造したと想像することは、あながち間違いではないだろう。

日本においては、1590年代にキリスト教宣教師により、活版印刷機がもたらされた。また、豊臣秀吉の朝鮮出兵時代に

銅活字の導入などもあった。しかし、主流の木版印刷が揺らぐことはなく、日本の近代印刷は、1869年の本木昌三による明朝体漢字と平仮名の鉛合金活字の出現まで待つことになる。

写真技術の導入

印刷とは、一般的に「版にインクを着け、圧力をかけて版上の文字や画像を紙などに移すこと」と定義される。印刷機をプレスということから、この加圧という力学的な要素が印刷の基本にあることがうかがえる。

活版印刷は版の凸部にインクを付着して印刷する凸版印刷の一種で、長い間、印刷の王道を歩んだ。この間に、凹版や平版といった他の版式も開発され、それぞれの特長を生かした印刷が行われた(版式については図参照)。

印刷技術の革新の一つは、19世紀に起こった写真技術の導入である。これにより、印刷の幅と質が飛躍的に高まったのである。

その一例が、写真技術を応用して刷版(本刷り用の版。Plate)を作製すること、

すなわち写真製版であった。写真技術の応用による製版法を初めて試みたのは、フランスの化学者ニエプスである。彼は、1816年頃、鉛とスズの合金の板に油で溶かした純アスファルトを塗布し、そこに油を引いて透明にした銅板画(原画)を重ね、強い日光で焼き付けて現像し、酸で画像を腐食させて版を作成した。この技術は、現在の代表的な印刷であるオフセット(平版)やグラビア(凹版)の製作原理と何ら変わることはない。

19世紀中頃になると、塩化銀をコロジオンでガラス板に固着させた感光板を使用する湿式写真製版が登場した。湿式写真は製版フィルムにとって代わられるまで、長い間写真製版分野で主流であり、現代写真製版技術の基礎となった。

スクリーンと色分解

濃淡の連続で構成されているのが写真である。19世紀には、こうした写真を印刷で再現する方法として、階調を大小の点に変換して表現する「網点」が考案され、網点が規則正しく並んだガラススクリーンが登場した。写真原稿を撮影してネガを作るとき、スクリーンを通して光を当てると、色の薄い部分は、光の透過が少ないので小さな点になり、色の濃い部分は反対に大きな点となる。こうして出来た無数に並んだ点を銅板などの版に焼き付けるのである。このガラススクリーンは、後にフィル

ム製のコンタクトスクリーンへと発展する。

このスクリーンによる階調再現と並んで、近代の写真製版技術を確立させた革新技術が、色分解技術による色再現である。カラー印刷の基幹技術ともいえる藍、紅、黄の3色による印刷技術がなかった時代には、絵画の再現を行う場合、その絵画の持つ色を24色に分類し、その色ごとの版を作り、24色刷りして原画に近い色の再現に務めていたのである。この方法では、色の再現には職人技が必要であり、製版工程が極めて複雑であった。

その後、3原色理論を応用したフィルターによる分色版の作製、すなわち色分解技術が確立された。加法混色と減法混色に基づく3色の色分解技術の登場は、多色印刷の革命であり、印刷が工業へと変貌していく転換点となった。

電子技術の導入

20世紀に入ると、印刷分野に電子技術が導入されるようになり、印刷技術は新たな進展を開始する。1950年には、色取り込み装置(カラースキャナー)が開発された。このことは、製版業界では、まさに革命的出来事で、それまでの職人的な印刷の世界が揺るぎ始めた瞬間といっている。

カラースキャナーは、原稿の色情報を光として入力し、それを演算のために電気信号に変え、原稿の再現に必要な藍、紅、黄、墨の量に変換し、最後に再び光

に戻して出力するというものである。それまでの勘と経験による複雑な色処理は、電子回路に置き換えられ、印刷の生産性や品質が飛躍的に向上した。

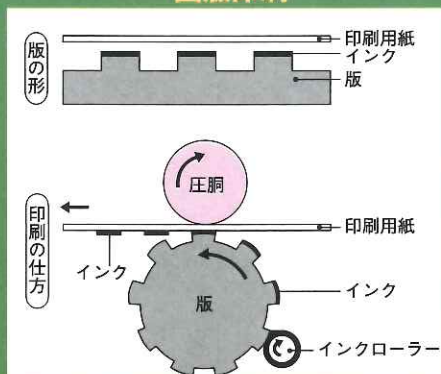
電子技術は、組版技術にも変革をもたらした。すなわち、写植(写真植字)のコンピュータ化である。日本の写植は、1920年代に石井茂吉と森沢信夫が実用化したものである。活版印刷では活字を一つひとつ選び出し並べて組版するのに対し、当時の写植は、和文タイプライターの要領で採字し、光学的に拡大、縮小した上で、感光材料に投影、露光して版をつくるものである。それは、やがて活字に取って代わる存在となった。1960年代に入ると、文字を選ぶ作業を電気信号で行う電算写植機が開発され、その後、写植のコンピュータ化に発展していく。

1980年代に入ると、画像印刷にコンピュータ技術が導入された。画像取り込み技術と画像処理技術が一体となったトータルスキャナーが登場して、ページのレイアウトや画像の修整などが画面で容易に行えるようになった。さらに、修整では、写真の中の不要な部分を消したり、コピー、回転、切り抜きなどの特殊処理もできるようになり、カラー画像を組み合わせることで幻想的な画像を作製するなど、創造的な表現も可能となった。

このトータルスキャナーは、後にCEPS(color electronic prepress system)と呼

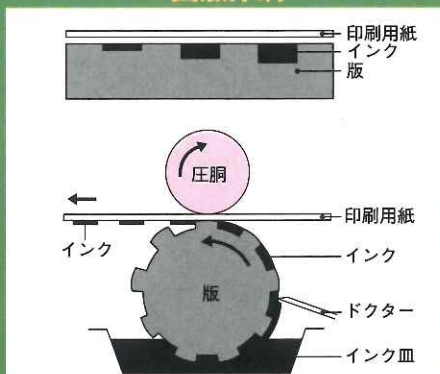
印刷の3大版式

凸版印刷



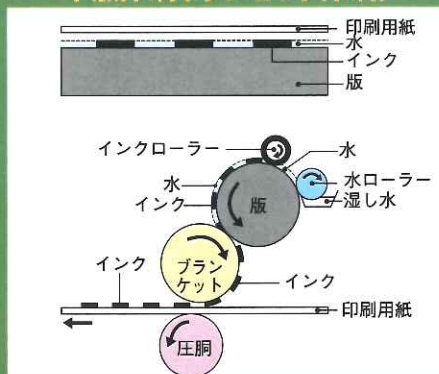
版画やスタンプと同様に、画線部が凸状になっている。版の凸部にインクを着けて、圧力により、版上のインクを紙などの印刷素材に移転させる「直刷り方式」が主流となっている。新聞や雑誌などに使われる単色刷りの「活版印刷」と、カラー4色で印刷を行う「原色版印刷」とに大別される。力強い仕上がりが特徴であり、写真集や絵画の複製、美術書などの高級書の印刷に適している。

凹版印刷



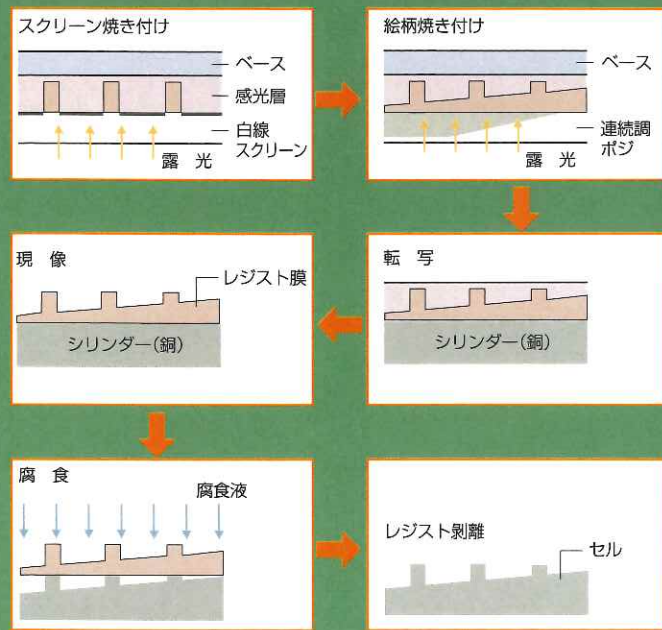
凸版とは反対に、画線部を凹状にしたもの。版をインクに浸し、「ドクター」と呼ばれる鋼鉄製の刃で掻き取った後、凹部に残ったインクを印刷素材に移転させて印刷する。グラビア印刷は凹版印刷の一つ。その版は、凹んだ小さな点(セル)の集まりで構成されている。写真のような高品質なグラデーションを作ることが可能で、写真集やグラフ誌の印刷に使われる。版の耐久性に優れる。

平版印刷(オフセット印刷)



版ほとんど平らな状態で、画線部を親油性、非画線部を親水性にしてある。版を水に濡らせてから油性インクを着けると、水は油に反発するため、インクは画線部にだけつく(図はオフセット印刷の例)。オフセット印刷は、版から一度ゴムのプランケットにインクを転写して紙に刷る方式で、カラー印刷において生産性が高く、最も一般的な印刷方式である。製版が比較的簡単なうえ、版の複製も簡単に高精度につくることができるので、大量印刷に向く。

刷版作製工程の例(凹版グラビア法)

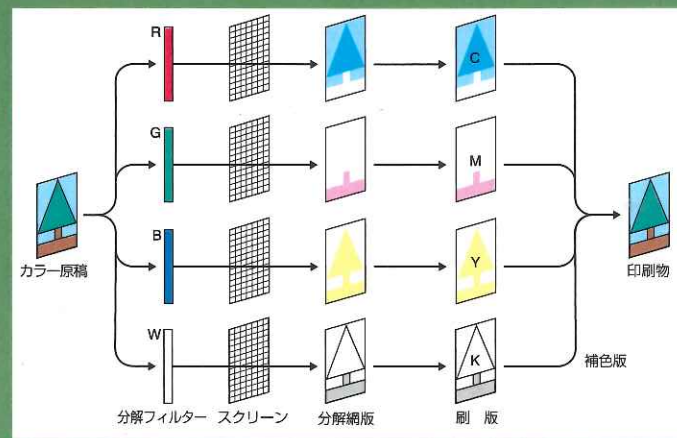


線数による違い

スクリーン線数とは、1インチの幅に網点が何列あるかを示すもの。理論上は、線数が細くなるほど微妙な階調表現が可能となるが、実際に使える線数には限りがある



印刷色の再現工程



ばれる専用のワークステーションとなり、より高性能化していった。CEPSは印刷のデジタル化の一步ではあったが、それは画像という限られた領域だけであり、画像と文字のデジタル統合は、やがて登場するDTP(Desktop Publishing)によって成し遂げられた。

印刷工程を変化させたDTP

DTPとは、「個人レベルの出版」を意味する。DTPは1985年、米国アップル社のパーソナルコンピュータ Macintosh と同社のモノクロレーザプリンタ、米国アルダス社のレイアウトソフト Page Maker、および米国アドビ社のページ記述言語 PostScript によって誕生した。このシステムによって初めて文字と画像の統合が簡単に行えるようになり、編集や印刷の現場に大きな変化をもたらした。

最も特徴的なことは、編集、デザイン、写植・組版・版下作製、製版、刷版、および印刷と、それまで明確に分かれていた分業体制が崩れ去ったことである。DTPは、デザインから製版までの工程部分をパソコン作業に置き換えたシステムである。その結果、印刷固有の技術であった写植や版下作製などが不必要となった。

DTPが登場する以前、印刷会社は、写植・組版・版下作製から製版、印刷、製本まで一括して受注してきたが、DTPの登場により、単に印刷、製本だけを受

注するケースが増えてきた。

このような中、印刷会社が次世代印刷技術として取り組んだのは、製版機能までを取り込んだ刷版および印刷までを一貫したデジタル工程で展開する仕組みの構築である。それが次に紹介するCTP(Computer to Plate)である。

CTPが21世紀の印刷スタンダード

CTPは、1995年、ドイツ・デュッセルドルフの drupa (印刷および紙国際見本展)で紹介され、印刷業界に大きな反響を呼んだ。CTPはデジタルデータを基に印刷用の版となる刷版(Plate)を製版フィルム無しで直接作製するシステムである。

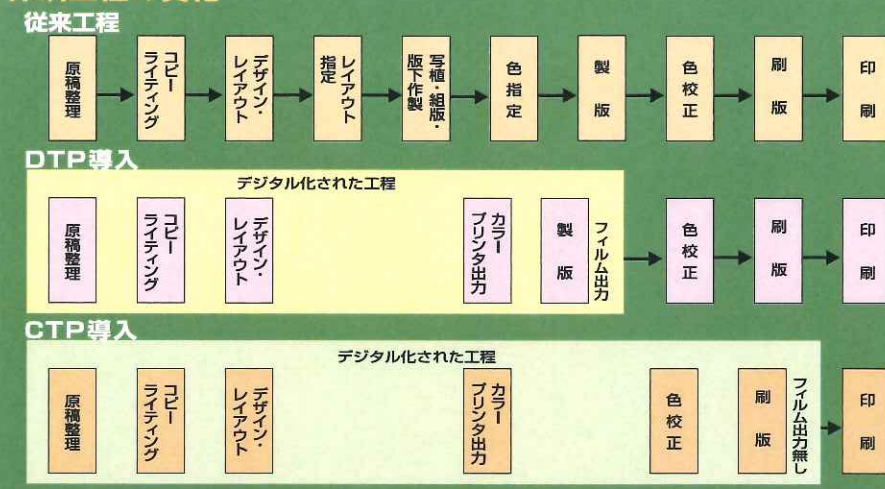
従来の製版フィルムを刷版に焼き付ける工程が不要となり、コストの削減、納期の短縮、修正の容易さなど生産性向上に

も直結する。さらに品質面においても、フィルムが介在しないので、刷版焼き付け時におけるフィルムと版の密着不良によるボケ、現像工程を通ることによる変動、フィルム自体のキズやほこりなどの問題から解放される長所も有している。

CTPは印刷工程だけでなく、印刷現場の環境も大きく変えている。デジタル化に対応するため、コンピュータの増設が図られ、印刷現場はオフィスようになり、そこで働くのは、従来の印刷技術に長けた職人ではなく、デジタル技術を持つ人である。

「日本でも最近、CTPの導入・普及が急速に進み、我が社でも工場によっては、印刷機の約半分以上がCTPです。CTPに特化して印刷のデジタル化時代を生き残ろうとしている中小印刷業者も多くなってきています。もちろん、まだまだ解決しなければなら

印刷工程の変化



ない問題がありますが、印刷技術の方向性としては、CTPに向かっていって間違いないでしょう」(凸版印刷株式会社生産・技術開発部 長沼勉氏)。

デジタル印刷を可能にした版材料開発と露光技術

CTPでは、刷版がプレートセッターと呼ばれる出力機で作られる。プレートセッター内では、感光材料を塗布した版に、レーザー光を露光することで像を得る仕組みとなっている。こうしたレーザー光技術や版材料の開発があって、初めてデジタル印刷システムが可能となった。

CTP出力機における版の像形成の方法には、版材料の特性により2種類ある。一つは、レーザー光により、版の感光材料の化学変化を利用し、像を形成する「光モード型」で、もう一つは、赤外線波長のレーザー光の熱エネルギーを利用し、像を形成する「熱モード型」である。

光モード型の光源には、Ar(波長488nm)、高調波YAG(532nm)などの可視領域のレーザーが使用され、版材料には、銀塩拡散転写型とフォトポリマー型がある。銀塩拡散転写法は、銀塩写真から生まれた技術法で、事務用複写システムやポラロイド写真といった形で製品化された。これらの製品では、感光材料のネガ材とポジ材の定着、剥離による転写方法が採られているが、この方法では、転写ズレを完全に回避できず、印刷の版として仕様を満足できない。その解決策としてアルミニウムなどの支持体上に、ネガ材とポジ材を一体化する技術が考案された。

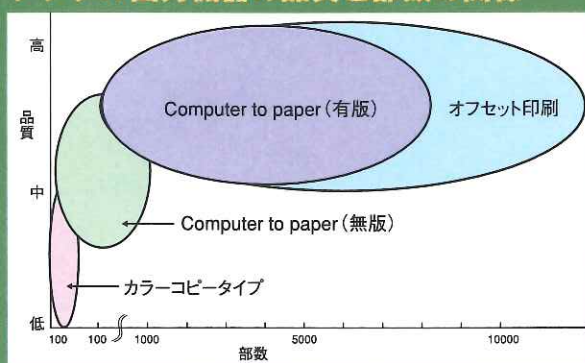
一方、フォトポリマー法は、露光された

部分のフォトポリマー層がラジカル重合することで架橋硬化し、現像液に不溶解になることで像を形成する方法である。

どちらもタイプも高感度な版材料であるため、比較的小出力なレーザー光を用いた短時間照射による高速露光が可能である。しかし、可視光にも版材料が感光するので暗室作業が必要であり、さらに温度や湿度への配慮も必要となる。「最近では、光源として紫外線波長域のバイオレットレーザーが登場し、注目されています。これは汎用品であり、値段が安い。しかし、出力が5mWと低いため、現状の版材料では、より高感度の銀塩拡散転写型にしか使えません。印刷コスト削減を考えれば、低感度ではあるが現在最も一般的に使用されている安価なジアゾPS版(アルミニウム板にあらかじめジアゾ感光剤が塗られたオフセット用の版)にも適用可能な高出力タイプの安価なレーザーが出てくることを期待します」(長沼氏)。

一方、熱モード型の像形成方法では、IR LD(830nm)やYAG(1064nm)などの赤外線領域の波長を持つレーザー光源が使用される。赤外線レーザー光を照射すると、版材料中の赤外線吸収色素が赤外線を吸収して発熱し、版材料中に共存する酸発生剤が熱分解されて酸となる。この時版全体を130～140℃で約30秒加熱することにより、レーザー光露光部分は、発生した酸が触媒となってレゾール樹脂が架橋硬化し、現像液に不溶解な像を形成する方法である。

デジタル出力機器の品質と部数の関係



熱モード型版材料は、明室での取り扱いが可能で、画像の解像力や耐刷性も高いことから、CTP用版材としての導入が進んでいる。また、第2世代の熱モード型版材料として、加熱処理が不要なタイプも登場して実用化されている。

無版式印刷も登場

これまで述べたCTPは、刷版の製作までをデジタル化したものであった。さらに、最近のCTPには、Computer to Paper(又はPress。以下CTPaperと称す)という意味もある。CTPaperは、DTPによってデジタル化されたレイアウトデータから刷版を作ることなく、直接、紙などの印刷媒体に印刷するシステムであり、無版オンデマンド印刷と呼ばれ、すでに実用化されている。

無版オンデマンド印刷は、従来の量販を前提とした有版印刷と個別印刷であるコンピュータ出力などのオフィスプリンタ印刷との間に位置づけられるものである。必要な部数を刷る少量多品種の印刷要求が増大している今日、印刷業界にとって、デジタル印刷技術の進展より進出可能となったオンデマンド印刷は有望な分野である。

CTPaperの印刷方式には、コピー機や



最新のデジタル製版設備が揃った印刷会社

デジタル製版データから、版を作るCTPシステム

版作成をフルデジタル化した印刷工場

ファックスなどのオフィスプリンタ印刷技術を高性能化したインクジェット方式と電子写真(レーザープリンタ)方式の2種類がある。インクジェット方式は、インクをノズルから微粒子として射出させ印字する方式である。当初は解像度が低いとの評価があったが、最近では性能が上がり、解像度も高まってきている。

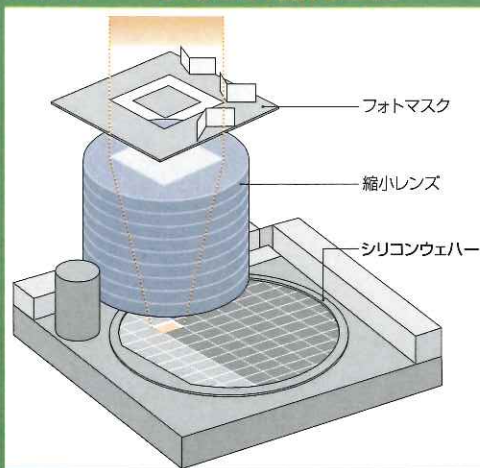
一方、電子写真方式は、レーザー光によって感光体表面に電位による画像を形成し、電位差を利用してインクやトナーを付着させ、それを紙面上に転写印刷する方式である。画質、経済性、高速性、用紙の汎用性など、オンデマンド印刷に要求される潜在的性能を有している。

この電子写真方式の感光体としては、光半導体の性質を持つセレン、シリコン、有機半導体が使われる。コロナ帯電により感光体の表面を帯電させるが、マイナス帯電の場合は、レーザー光で感光体をスキャン露光して非画線部の帯電を消去し、画像部のマイナス帯電を残す。露光後、着色剤と樹脂からなるトナーをプラス帯電して、マイナス帯電している画像部に付着させる。次に紙の裏側からマイナス荷電を与えながら、感光体表面のトナーを紙に転写し、その後、熱または圧力により定着する。この工程を藍、紅、黄、墨のトナーを用い、紙の上に重ねていけば、カラー画像を形成することができる。

精密電子部品分野で 応用される印刷技術

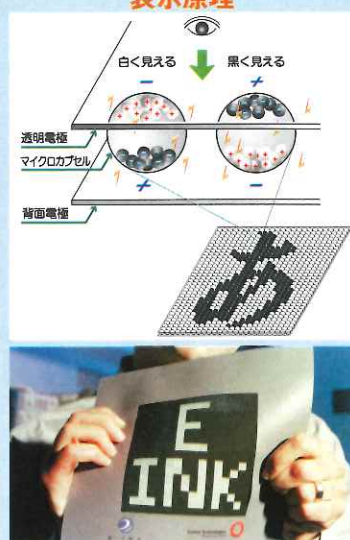
印刷の製版工程に、転写技術とエッチ

ステッパーによるLSI露光工程



電子ペーパーとは、紙のように薄くて曲げることもできる次世代の表示媒体である。現在、広く普及している液晶は、フルカラーや動画など「観るため」の表示を意識しているのに対し、電子ペーパーは、紙の印刷物に代わる「読むため」の表示を大きな目的としている。さらに、メモリー性があるため電源を切っても文字や絵は残る。ここも液晶との違いである。反射型で非常に見やすく、しかも消費電力も極めて低く抑えられるため、電子配信される出版物や新聞を読むビューワ、さらに店頭広告や大型看板など、多様な活用が期待されている。

これまで多くの方式が研究されているが、実用化が最も早いといわれているのが、米国のイー・インク社が開発したマイクロカプセル型電気泳動方式である。70 μ m程のマイクロカプセル内部に帯電した酸化チタンの白い粒子と、カーボンブラックの黒い粒子が多数あって、電圧をかけて白い粒子が上に引き寄せられると白く見え、逆の電圧により黒い粒子が引き寄せられると黒く見えるというものである。現在、カラー化の研究開発も進んでいる。



米国イー・インク社と米国ルーセントテクノロジー社の共同開発による、プラスチックトランジスタを用いた世界初のフレキシブル電子ペーパー

ング技術を組み合わせて版を製造する技術がある。それをフォトリソグラフィと呼び、この技術を応用して精密電子部品が印刷会社で製造されている。代表的なものに、導体集積回路の焼き付け原板となるフォトマスク、半導体集積回路の金属電極であるリードフレーム、カラーディスプレイ用のシャドウマスク、カラーフィルター、プリント基板などがある。

例えば、フォトマスクの製造は以下のように行われる。まず、フォトマスクブランク(石英ガラス基板上に0.1 μ m程度の厚さのクロム薄膜を形成したもの)に、電子ビーム耐食膜を0.4~0.5 μ m程度の厚さで均一に塗布して、電子ビーム露光装置に装填する。集積回路パターンのデータに基づき、フォトマスクブランク上の電子ビーム耐食膜が感光し、その後、現像処理することにより耐食膜のパターンが形成される。

この状態でエッチングを行うことにより、クロム薄膜のパターンニングが行われる。まさに、刷版が製造されるのと同じである。

半導体製造工場においては、ステッパー(縮小投影型露光装置)により、このフォトマスクに形成された集積回路がシリコンウェハー上に転写される。すなわち、ウェハー上に印刷されるのである。しかも、その寸法は0.25 μ m以下という微細なものである。そこには、精緻な縮小投影レンズの存在があり、0.25 μ

mの解像度を保つには、レンズ表面精度の許容誤差は、直径200mmのレンズの場合で10万分の1mm以下となる。これはドーム球場を例えにとるならば、直径約120mのグラウンド上に、0.006mmの凹凸しか許されない表面精度に相当する。

さらに、ステッパーのような精密装置は「その精密さ故に、装置を設置した場所の僅かな振動や温度差によって影響を受けてしまいます。これらの影響を防止するために、装置の骨格枠には、インバー合金が使用されています」(株式会社ニコン)。この合金の特徴は、熱膨張係数が18-8ステンレス鋼の約10分の1と極めて小さく、オーステナイト組織であり、衝撃値の遷移現象が無く、常温、極低温においても十分な靱性を有している。このような材料開発と印刷技術とが融合し、精密電子部品分野が進展している。

印刷分野で発展してきた印刷技術は、デジタル技術の時代になり、オンデマンド印刷に代表されるように、要求技術が変化している。一方、従来の印刷技術の根幹をなしていたリソグラフィ技術は、精密電子部品製造や半導体製造において、無くてはならない根幹の技術として新たな展開をしている。

■取材協力/凸版印刷株式会社、株式会社ニコン

■参考資料/『印刷博物誌』(凸版印刷株式会社)、『印刷ガイドブック』(玄光社)、『日本印刷年鑑』(1999年、2001年)ほか