解 説

色材, 66(6), 352-360 (1993)

平 版 印 刷 機

鈴木 健 次*・田 淵 充*

1. は じ め に

15 世紀中頃に、グーテンベルグによって凸版印刷が発明されて以来、印刷法の主流は、凸版印刷であった。近年では、図-1 のように平版印刷の伸びが著しく凸版印刷に取って代わるまでになったが、その理由は、つぎのように思われる。

ひとつは、製版が簡便かつ安価であり、コンピュータによる情報処理技術とむすびついたシステムとして確立されることによって印刷前工程を著しく効率化した。もうひとつは、印刷品質が優れ、カラー印刷に適していること。

これらは、平版印刷が、小ロット・多品種、高級化などの印刷界の動向、また社会のニーズに呼応した結果であるといえる。

平版印刷の発端は、1798 年ゼネフェルダによる石版印刷である。石版印刷は、石灰石が脂肪とよくなじみ(親油性)、無数の小孔が水をよく吸い込む(親水性)という特性を利用したもので、それ以前の凸版や凹版などの物理的形状によって画像を形成する方法と異なる全く新しい印刷法として誕生した。

一方、1904 年にはルーベラがオフセット印刷法を発明した。オフセット方式は版上の画像を一度ブランケット胴と呼ばれるゴムで覆われたローラへ転写した後、紙面上へ再び転写する方法で、従来の直接印刷よりずっと繊細で調子のやわらかい仕上がりになった。

初期の平版印刷では、紙へ水が転写するために紙の表面強度が弱くなったり伸縮がおこるといった問題があったが、オフセット方式ではゴム胴へ水が転写されにくいために紙面上への水の影響は、きわめて少なくなった。

現在では平版といえば、ほとんどがオフセット方式で

あり、カタログ、チラシ類、雑誌、新聞等の大半は、オフセット平版印刷機によって印刷されるようになった。

本稿では平版印刷について印刷機の側面から現状と今後の動向について概説する。

2. 平版印刷機の構成

2.1 平成印刷機の分類²⁾

一般に、平版印刷といわれる印刷機の種類は、次のようになる。

- 1) オフセット平台印刷機
- 2) オフセット輪転印刷機
(枚葉式輪転機、巻取り式輪転機)
- 3) オフセット校正機
- 4) 軽オフセット印刷機

これらは、版式によって平台式(版が平板状)と輪転式(版が円筒状)にわけられるが、市場にでている印刷物のほとんどは、高速印刷に適している輪転印刷機によって印刷されている。

輪転印刷機は、さらに紙の搬送方式によって区別され、シート状の紙を一枚ずつ搬送する枚葉式と、連続紙を用いる巻取式にわけられるが、一般的に枚葉式は枚葉

〔氏名〕 すずき けんじ
〔現職〕 三菱重工業(株)広島研究所
紙・印刷研究センター主査
〔趣味〕 詩吟
〔経歴〕 昭和39年新潟大学工学部精密
工学科卒、同年、三菱重工業
(株)入社

〔氏名〕 たぶち みつる
〔現職〕 三菱重工業(株)広島研究所
紙・印刷研究センター
〔趣味〕 バレーボール
〔経歴〕 平成3年福井大学大学院工学
研究科修士課程終了、同年、
三菱重工業(株)入社

平成 5.2.4 受理

Lithographic Press

Kenji Suzuki and Mitsuru Tabuchi

* 三菱重工業(株)広島研究所 紙・印刷研究センター
三原市糸崎町 5007 (〒729-03)

図-1 新聞輪転機台数の推移¹⁾

表-1 枚葉印刷機と輪転印刷機の特徴

	枚葉印刷機	輪転印刷機
印刷速度	10,000~15,000 回転/時	30,000~45,000 回転/時
特 徴	紙サイズが可変 厚紙印刷が可能	両面刷りが一般的 通常、折機を装備
商 品	カレンダー、ポスター、 カタログ、包装印刷物、高級美術品	新聞、雑誌、ちらし 中量以上の出版物

印刷機、巻取式は輪転印刷機と呼ばれている。それぞれの一般的な特徴を表-1、基本的構成を図-2 と図-3 に示す。

表-1 に記載されているように従来、品質要求が高いものは枚葉印刷機で、多量かつ品質要求の低いものは輪

転印刷機でといわれてきたが、現在では輪転印刷機の機械精度が向上し、印刷品質では遜色なくなりつつある。また、各種自動化装置により中量品も輪転印刷機で採算が合うようになり、両者の境界がなくなってきている。そのなかで枚葉印刷機は、高級品や厚紙、そして小ロットで多様な紙サイズに対応できる利点を活かしていくことになるだろう。

2.2 平版印刷機の基本構成

平版印刷機に限らず、印刷機は基本的には給紙部と印刷部、排紙部によって構成されている。

1) 印刷部

印刷部は、藍、黄、紅と黒の四色機が一般的である。

図-4 のように各色の印刷ユニットは、平版特有の給水部とインキ供給部、インキ練り部、版、ブランケット胴、圧胴によって構成されている。

図-2 枚葉印刷機の基本構成

図-3 輪転印刷機の基本構成

図-4 印刷部の構成 (枚葉印刷機の一例)

インキ壺から機械的なギャップ調節により供給されるインキは、インキ壺と版面の間に配置された多数のインキ練りローラによって薄くて均一な膜として版面の画線部に約 $1\mu\text{m}$ の厚さで転写される。インキ膜は、人間の視覚が $0.01\mu\text{m}$ のインキ膜厚に相当する濃度差を認識できるために、それ以下の精度で均一化しなければならず、印刷部は機械的に非常に高い精度が要求される。

一方、非画線部には湿し装置から湿し水が供給され、

インキは転写されない。このとき、湿し水の一部はインキと混合され、インキ中に湿し水が分散した乳化インキを形成する。実際に印刷機上のインキは、ほとんど乳化インキ状態である。

インキと湿し水の供給バランスが適正に保たれない場合は、濃度ムラ、非画線部の汚れなどの印刷障害につながる。安定した印刷品質を確保するためのインキと湿し水のバランス調整は、印刷作業のなかで最も熟練を必要とする作業となっている。

2) 給排紙部

給排紙部は、枚葉印刷機と輪転印刷機で大きく異なるが、主な機能は、印刷機入口から紙を搬送し、出口で印刷物を揃えることである。紙の搬送に不具合が生じると、印刷精度（見当）、折り精度の悪化、さらに印刷物の折れ、しわなどの致命的な欠陥になるため給排紙部には、高い精度と信頼性が要求される。

枚葉印刷機の場合、シート上の紙を一枚ずつ搬送するために、見当部で紙の位置を正確に決めた後、各胴の爪によって紙をつかみ替えながら受け渡すのが一般的な方法であり、複雑な機構が必要になる。

輪転印刷機の場合、走行紙の張力レベルが印刷品質や折り精度に影響するため、インフィード部とウェブパス部により、印刷部、折り部への紙張力を一定に制御することが、非常に重要になる。ローラ間を搬送される紙の張力は、図-5 中のような一般式で表される。

一方、生産性向上のための印刷機の高速化にたいするニーズに応えるため、特に輪転印刷機に関して印刷機メーカーは、競って高速化を図ってきた。印刷機の高速化は、給排紙部の高速安定化に依存するといってもよく、機械的な強度、振動、騒音はもちろん、紙の挙動までを考慮にいたれた研究にもとづく開発がすすめられてきた。

3. 平版印刷機における自動化

印刷需要が小ロット化、短納期化の傾向をますます強めるに従って、生産性向上を図るためには、印刷機の高速化だけでなく、印刷前後の準備作業時間短縮が重要である。最近の印刷機の発展の多くは、自動化による準備作業時間の短縮にあり、印刷工程の順にそって自動化技術を紹介する。

3.1 刷版交換作業

刷版装着時の位置ずれは、直接に見当ずれにむすびつくため、きわめて高い精度を必要とし熟練したオペレータに代わる自動化装置の開発が行われ、いくつかの方法が考案され実用化に至っている。図-6 にその一例を示す。

$$\left(\frac{1}{E_2} + \frac{T_2}{\eta_2}\right) \sigma_2(t) + \frac{T_2}{E_2} \frac{d}{dt} \sigma_2(t) = v_2(t) - v_1(t) + \frac{\sigma_1(t)}{E_1}$$

即ち 定常状態では

$$\sigma_2 = \frac{(v_2 - v_1) + \frac{\sigma_1}{E_1}}{\left(\frac{1}{E_2} + \frac{T_2}{\eta_2}\right)}$$

- t : 時間
- l : 紙幅
- a : 紙厚
- L_2 : ロールスパン
- σ_1, σ_2 応力
- F_1, F_2 紙張力
- E_1, E_2 ヤング率
- η_1, η_2 粘性係数
- v_i : 速度差比率
 $v_1 = \frac{V_1 - V_0}{V_0}, v_2 = \frac{V_2 - V_0}{V_0}$
- V_0 : 印刷胴周速
- V_1, V_2 : ロール周速
- T_2 : ロール間の紙の通過時間
 $T_2 = \frac{l}{V_0}$

図-5 ロール間における紙張力の一般式³⁾

図-6 全自動刷版交換装置作動手順⁴⁾

3.2 見当合わせ作業

各印刷ユニット間の見当ずれを、天地、左右、ひねり方向で修正するために、各印刷ユニットの刷版位置は図-7のような方向で微妙に調整可能な構造となっている。多色化に伴う印刷ユニット数の増加により一層困難な作業となるが、版胴に装着されたレジスターマークをフォトセンサで読み取り、自動修正する装置が開発されている。

3.3 色合わせ作業

見当合わせと同じく複数の印刷ユニット間における色

図-7 見当調整装置（輪転印刷機用）

のバランス調整は、高度に熟練したオペレータと調整時間が必要になる。これに対しては、プリセットインキングシステムが開発されている。

プリセットインキングシステムは、図-8のように刷版絵柄面積率計測装置とインキ壺遠隔制御装置、インキ供給装置の組み合わせによって、インキの供給量を印刷前に適正化するものである。これにより、オペレータの経験的作業の軽減と同時に印刷前の準備時間が削減された。

3.4 給排紙部調整作業

小ロット、多品種のながれは絵柄だけではなく、紙サイズにもあてはまる。これに伴う給排紙部の調整と印圧調整についても中央制御盤に紙サイズを入力することによって自動的にセットされ、準備時間の短縮に効果を発揮している。

3.5 給排紙作業

最近では、印刷資材、主に紙の搬入出はコンピュータ

図-8 プリセットインキングシステムの構成³⁾ 図-9 枚葉印刷機の自動供紙装置⁴⁾ 図-10 枚葉印刷機の自動排紙装置⁴⁾ 図-11 巻取紙自動仕立装置の構造⁴⁾

による生産管理の下で行われている。そして、印刷工程を物流システムに取り込むためには、印刷機の入口と出口にあたる給排紙部の自動化が必要になる。

枚葉印刷機の場合、それぞれ図-9、図-10のような給排紙装置によって連続給排紙と紙搬送の自動化が実現されている。

輪転印刷機の場合は、図-11の自動仕立装置で巻取紙の継目に両面テープを自動的に貼付後、印刷機にセットする装置と、運転を中断することなく巻取紙を継ぐ装置

の組み合わせによって紙搬送の自動化と連続印刷とが可能になった。

3.6 洗浄作業

印刷することによってブランケット胴には刷版の絵柄に相当したインキが残るため、新しい絵柄で印刷する時には、洗浄が必要になる。この洗浄は、印刷作業のなかでも3Kの代表である。これに対し、各種の自動洗浄装置が開発され、ほぼ標準装備となっている。

3.7 印刷品質検査作業

印刷品質に対する要求が高度化するなかで、品質の検

図-12 印刷品質検査装置の基本構成³⁾

査は、もっぱら人間の目視にたよっているが、印刷機の高速化にともない印刷中のサンプリング検査も困難になりつつある。印刷後の検査は時間的、労力的に大きな負担となり、まして全数検査となると不可能にちかい。このような事情から図-12 に示される、ラインカメラにより画像の濃淡を取り込み、絵柄の欠陥を検知する自動印刷品質検査装置が開発された。本装置によりオンラインの全面・全数の検査が可能となり、作業の効率化が図られている。

以上のような自動化装置と中央制御盤による集中制御によって、オペレータは印刷機出入口作業や、印刷準備作業等におけるきつい肉体作業や危険から解放され、高品質な印刷物を効率良く印刷するという本来の業務に専念できるようになった。その結果として、印刷機の生産性は大幅に向上し、小ロット・多品種、短納期といった社会のニーズに応えてきたといえる。

4. 印刷品質とインキ/湿し水バランス

平版印刷の特徴は、インキと湿し水の反発性を利用することにあるが、印刷品質を確保するためにインキと湿し水の供給量調整を必要とする。そのためにオペレータは、印刷しながら印刷物を目視で評価し、絵柄に対応したインキと湿し水のバランスを微妙に調整するという最も熟練を要する作業を強いられている。経験的にインキ/湿し水バランスが、印刷品質を支配することは明らかであったが、印刷機のインキローラ上でどのような現象が生じているかは、わからなかった。

印刷機ローラ上では、インキと湿し水は混合されて、図-13 のようなインキ中に湿し水が分散した状態の乳化インキを形成している。センサ技術の進歩によって乳化インキ状態と印刷品質の関係について研究が進んでいる

図-13 ローラ上乳化インキ状態

ので、ここでその成果の一部を述べる。

4.1 乳化インキの粘弾性

乳化インキの粘弾性が、ローラ間での転移性に影響を与えることは、周知である。

図-14 は、乳化インキ粘度の含水率に対する変化を示

図-14 乳化インキの粘度

図-15 乳化インキの動的粘弾性

図-16 乳化インキ状態可視化装置ブロックダイアグラム

しており、含水率又は、周波数の増加によって減少する。これはインキ中の樹脂成分、あるいは添加剤が水分分子と相互作用する官能基を含むため、乳化の進行にともない流動しやすい層が形成されるためであろう。

また高速印刷では、 10^{-2} から 10^{-4} s という短時間でニップ圧をかけるためにインキの動的粘弾性特性が重要になってくる。複素弾性率 G^* は

$$G^* = G'(\omega) + G''(\omega) \quad (1)$$

で表され、 G' 及び G'' は、それぞれ弾性成分及び粘性成分に関連した値を示す。図-15 に示されるように、インキの動的弾性率 G' は含水率とともに減少するが、 G^* 曲線の形が含水率に依存しないのは、乳化によりインキ複合体の構造が変化しないことを示唆する。

4.2 ローラ上の乳化インキ状態³⁾

図-16 のような乳化状態可視化装置によって皮膜状態、湿し水の混合挙動と乳化状態をしらべた結果、生インキの皮膜は、均一な膜状ではなく、メロンの表皮に似た網目構造の凹凸のある表面形状（メロンパターン）を示している。この形状は、ローラニップ出口でのインキ

図-17 インキ皮膜断面図（推定図）

図-18 印刷品質と品質特性との関連

の糸引きにより糸がちぎられた結果生じると考えられる。湿し水の混合により乳化が進行すると網目ピッチは、細かく分断され、表面に水滴（拡がり直径 10~50 μ m）が出現し始めると網目構造は、消失する。この水滴は、蒸発速度が早いこと、またインキ皮膜内部にはさらに微細な液滴が存在することから表面水であることが確認された。乳化度合の異なるインキ皮膜の断面は、透過後（図-16 の破線の照明で得られる画像）と反射像を照合することにより図-17 のように推測される。

湿し水の量が次第に増え、やがて表面水の出現する含水率は、乳化限度（使用されるインキと湿し水の界面張力や粘度のバランスによって支配される）で表されると考えられる。表面水はインキ表面に存在し、ローラ間のインキ転移を阻害するため、機上の乳化インキ流れや版面上の画像形成に強い影響を与えている。

4.3 印刷品質と機上の乳化インキ状態

印刷物の品質がどのような品質特性によって支配されているか、及び、それぞれの品質特性間の関連性については種々の見解があるが、図-18 に示すように網点再現性が最も基礎的な品質特性である。網点再現性は、ドットゲイン (DG)、相対コントラスト (K) によって次のように定義される。

$$DG = A_p - A_f \quad (2)$$

$$A_p = \frac{1 - 10^{-D_r}}{1 - 10^{-D_v}} \times 100 (\%) \quad (3)$$

$$K = \frac{D_v - D_r}{D_v} \quad (4)$$

図-19 含水率とドットゲイン

図-20 含水率と相対コントラスト

ただし D_0 はべた濃度, D_r は網点部の濃度, A_f は版の網点面積率である。一般に DG 値が0に近い程, K 値が大きい程, 品質が良いことになる。

印刷機上(図-4中のローラA)の含水率とドットゲイン, 相対コントラストとの関係を図-19と図-20に示す。含水率が, ある値より低くなると版面の非画線部に汚れが発生し, 相対コントラストが急激に低下する。それと同時にドットゲインは計測不能となり, 印刷品質は著しく損なわれる。汚れが発生する含水率は, 画線率が変化しても一定であることは, 興味深い。

一方, 網点再現性は, 含水率の上昇によって悪くなる。ドットゲインは, 版面上に形成された網点が, ブラケット胴に転写される際のニップ圧で広がることによって発生すると考えられている。この現象を検討するために図-21で示す二平面間のインキの広がりに関するモデルに置き換え, インキを単純な粘性流体と仮定した場合には, ドットゲインに相当する網点の拡大比 a/a_0 は, 次式で示される。

$$\frac{a}{a_0} \propto \frac{h_0^{0.3}}{\mu^{0.1}} \quad (5)$$

ただし, a , a_0 は, それぞれ圧縮前後の網点径, h_0 は圧縮前のインキ厚さ, μ はインキの粘度を示す。前述のよ

図-21 網点拡大過程のモデル図

図-22 インキ湿し水バランス制御の全体構成³⁾

うに粘度 μ は, 含水率の増加に従い減少することからインキ膜厚が一定ならば, 含水率の増加によってドットゲインが大きくなると考えられる。

上述のとおり, 印刷機ローラ上の乳化インキの含水率は, 印刷品質を支配する重要なパラメータであり, 印刷機ローラ上の含水率を最適値に維持するように湿し水供給量を調整しなければならない。

これらを背景として図-22のようなインキ/湿し水バランス制御装置が開発されている。ローラ上の乳化インキの含水率を赤外線式のセンサで測定し, 最適値になるように湿し水の供給量を自動調整するもので, 印刷中におけるインキ/湿し水バランス調整作業を不要にし, オペレータの負担を軽減するものと期待される。

5. 今後の平版印刷

ここまで省人化, レススキル化をねらった自動化における印刷機の進歩について主に述べたが, 近年の平版印刷の進歩にとって刷版, インキ, 湿し水等の格段の進歩を忘れることはできない。最後に, 平版印刷に関する新しい取り組みについて簡単に紹介したい。

5.1 水なし平版

上述のように平版印刷でインキと湿し水のコントロールは, オペレータの悩みの種とされてきたが, 非画線部にインキ反発性のシリコンゴムを採用した『水なし平

版』の登場によって、事情は一変しつつある。

平版印刷につきものとされていた湿し水に関する多くのトラブルから解放されることは、熟練オペレータ不足の問題を抱える印刷業者にとってメリットが大きく、次第に普及しはじめている。今後は、版材、インキ消費量アップ等のコスト高、刷版の耐久性などの課題解消が望まれる。

5.2 高線数印刷

印刷物の画像は網点によって構成されるために、その分解能は網点の細さに支配される。印刷品質の向上に対するニーズの高まりから印刷物の解像度を高め、より尖鋭性のある印刷物を追及する動きがある。そのために、従来の 175 線/インチより 2~5 倍細かい網点による画像形成技術や、網点の配列と視覚の関係などについて研究・開発がすすんでいる。

5.3 印刷品質検査 (色調制御)

前述の印刷品質検査装置は主に印刷欠陥を検知するもので、色調の微妙な不具合に関しては、検知できない。この要求に合う品質検査装置として現状では、印刷物上にパッチを設け、オンライン、又はオフラインで各色の濃度バランスを計測することにより色調を検査する方式である。濃度計又は分光光度計からのフィードバックによりインキ供給量を制御することによって色調調整の自動化を図っているものであるが、更なる性能向上が望まれる。

5.4 機上製版

製版工程は写真製版技術によって進歩を遂げたが、最近では、フィルムを用いることなく画像情報を直接に版へ書き込む、直接製版方式が開発されている。直接製版には電子写真、銀塩方式やフォトリソマー方式があるが、シリコン層の放電破壊を利用して印刷機上で直接製版し、そのまま印刷できる方法を実用化したメーカーもある。

さらなる研究・開発によって印刷機上で画像の書き込み、消去が何度でも可能になれば、製版、版交換の手間がなくなるだけでなく、市場のニーズに素早く対応でき

る印刷システムが構築できることになる。

5.5 エコロジー

エコロジー対応は、今日の産業界にとって最も大きなテーマの一つであり、避けることはできない。平版印刷に関するエコロジー対応の一つは、湿し水のノンアルコール化である。従来から湿し水の界面特性調整のため、数パーセントのアルコールを添加していたが、人体に有害であることからノンアルコール湿し水の開発が行われ、実用化にいたっている。もう一つは、エコロジー対応の代表格として一般に知られている再生紙の使用であるが、これらは品質低下やコスト高などの課題がある。自然、人にやさしく、かつ生産性を上げるといった相反する問題をいかに両立するかが問われている。

6. お わ り に

オフセット平版印刷は、印刷機の高速化、自動化や印刷資材 (インキ、湿し水、刷版など) の開発、改良によって省人化、レススキル化、エコロジー対応などの社会のニーズに対応しながら生産性を高め、印刷物の大半を生産するまでになった。

今後とも、ロット・サイズが大きいものについてオフセット平版印刷の優位性に疑問はないが、中量製品については、カラーコピーのような電子写真印刷との棲み分けが必要になる。また、将来的なマルチ・メディア時代の到来による印刷業界全体のソフト化などへの素早い対応も忘れてはならない。

参 考 文 献

- 1) 1991 年度、日本のオフ輸出調査/日本印刷新聞社、(大手の凸版、共同、DNP を除く)
- 2) 日本印刷学会編: 印刷工学便覧、技報堂出版
- 3) 三菱重工業 (株) 三原製作所編: オフセット印刷機、日本印刷新聞社
- 4) 鈴木健次他: 日本印刷学会誌、29 [2]、139~169 (1992)、印刷技術年報特集号
- 5) 岩木 貫、磯野 仁: 三菱重工技報、25 [2] No. 3 (1988)