

オフセット印刷におけるインキ・水の混合と転移挙動

Ink/Water Emulsification and Transfer on Offset Printing

技術本部 岩木 貫*¹ 谷口 邁*²
高坂 昭良*³ 田淵 充*⁴
三原製作所 杉原 一雄*⁵

オフセット印刷機では、印刷品質向上のために機上のインキ及び湿し水の流れを最適にする必要がある。そのために、近年のオフセット印刷機のローラ配列は、インキ転移挙動シミュレーションに基づいて設計されている。しかし、ローラ群中におけるインキと湿し水の挙動については不明な点が多く、特に湿し水の影響を考慮に入れたインキ転移シミュレーションの適用は困難であった。本研究ではローラ間におけるインキと湿し水の混合と転移挙動の現象を把握し、モデル化することによって、湿し水の影響を考慮できるシミュレーションを開発した。このシミュレーションは、マルチモードダンプナの設計等に実用化され、印刷品質の向上に成果を上げている。

Recently there has been more and more emphasis on the importance of printing quality. As it is evident that the arrangement of inking and dampening rollers has a major influence on printing quality, the effective arrangement of inking and dampening rollers is needed. This is why we have been developing a computational simulator for roller arrangement. To attain this purpose, it is necessary to understand the ink and fountain solution behavior in a printing press. But this is very complex because the ink/fountain solution in a printing press co-exists in the form of W/O emulsion. In this paper, we characterized ink/fountain solution emulsification and transfer by using experimental methods, then the model was applied to the simulator. The simulation accuracy was verified by a full-scale printing test.

1. ま え が き

インキと湿し水の反発性を利用して画像を形成するオフセット印刷（平版）方式は、現在の印刷の主流を占めており、オフセット印刷機の特徴は、図1に示されるようにインキ装置と湿し装置を持つことにある。これらの装置は版面上の画線部に薄膜状（膜厚3~5 μm ）のインキを均一に付着させ、さらにブランケット

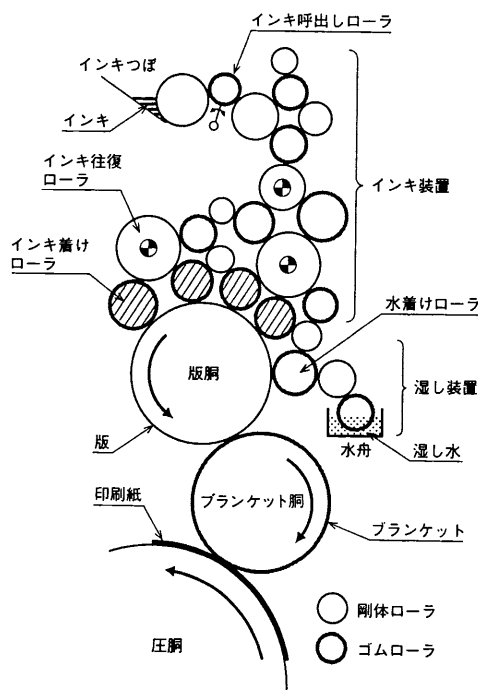


図1 オフセット印刷機の構成 オフセット印刷機の各ローラの模式図と各ローラの名称。
Construction of offset printing press

及び紙面へとインキを転写させるために多数のローラを組合せて構成されている。このローラ配列は、印刷品質へ著しい影響を及ぼす印刷機の心臓部である。

新しいローラ配列を組立てるためには、印刷機ローラ群中のインキ及び湿し水の流れを解析することが重要で、当社では計算機によるシミュレーションを活用している⁽¹⁾。シミュレーションは、各ローラ表面を細分割し、時々刻々のローラ接点（ニップ）でのインキ転移を計算することによってインキ膜厚を決定し、全ローラ上及び紙面上のインキ膜厚を予測するものである。したがって、任意のローラ配列について印刷品質とインキ膜厚分布の予測が可能であり、これを用いてローラの異径化やインキ流れの最適化が図られてきた。

ところで、オフセット印刷のインキローラではインキと湿し水の混在が避けられず、経験的にインキと湿し水の供給量バランスが印刷品質に影響を及ぼすことが認められている⁽²⁾。従来、このような湿し水の影響をシミュレーション計算に適用させることは、ローラ群中のインキと水の相互作用が複雑なために困難であった。本研究ではローラ間でのインキと湿し水の挙動を定量的に解析することによってモデル化を行い、シミュレーションへ反映させることができた。

2. 印刷機上におけるインキと湿し水の混合と転移挙動

印刷機における湿し水の流れは、次の四つとなる。

- (1) 湿し装置→版（画線、非画線）→インキ装置
- (2) 湿し装置→インキ装置
- (3) 湿し装置→版（画線、非画線）→ブランケット→紙面
- (4) 蒸発

湿し水は図2(b)のように湿し装置から紙面への流れだけでなく、インキ装置への流れがあり、インキ装置内でインキと湿し水は混ざり合う。その様子は回転中のローラ表面を可視化すること

*1 広島研究所物質工学研究室・レオロジー研究室兼務主査 理博
*2 広島研究所レオロジー研究室主査
*3 広島研究所紙・印刷機械研究推進室主務

*4 広島研究所レオロジー研究室
*5 印刷機械設計部開発課長

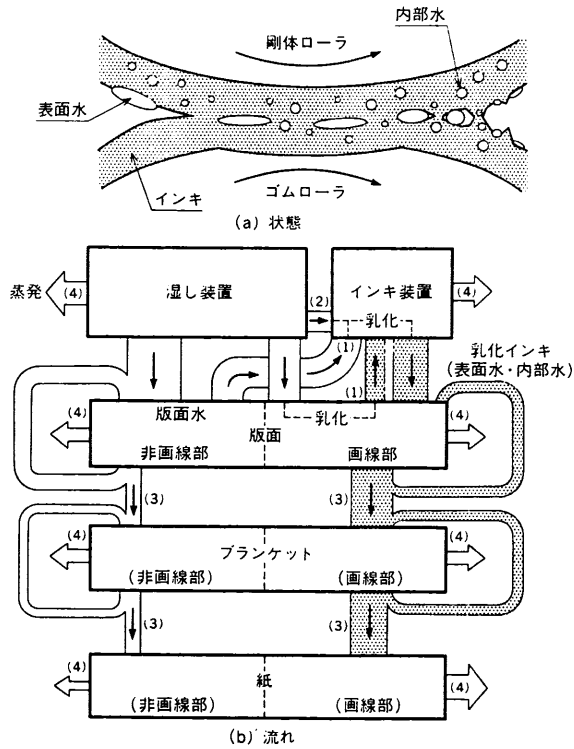


図2 印刷機ローラ上の湿し水の流れ⁽³⁾ 図中の流れの太さは、おおまかな湿し水量を表し、()は本文中に示す湿し水の経路を表す。またインキ装置内、版面画線部の湿し水の一部はインキ中へ混入し、内部水としてインキに伴って流れる。 Fountain solution transfer in offset printing press

によって明らかにされた⁽⁴⁾。つまり、図2(a)のようにローラ上のインキと湿し水はニップを通過する際、湿し水の一部はインキ中に微細に分散して乳化インキを形成し、乳化した水と乳化しなかった水はそれぞれ内部水、表面水と呼ばれている。ローラ上の乳化インキの状態はインキ膜厚、乳化率（内部水平均膜厚/インキ膜厚）、表面水平均膜厚によって特徴づけられる。

一方、インキはインキつばから紙面に向かって上流から下流へと流れるが、版面やインキローラ上で湿し水と接触して乳化インキを形成する。そして、その乳化インキ状態はニップを通過する度に変化しながら紙面に到達する。

互いに接触する二つのローラ上のインキ及び湿し水は、ニップ部で、押しつぶされて合一した後、ニップ出口側ではく離されて分裂する。任意のローラ対AとB間の分裂挙動は次のような転移率で特徴づけられる。

$$\text{転移率 } A = \frac{\text{転移後の A ローラ上膜厚}}{\text{転移前の A, B ローラ上膜厚の合計}}$$

ただし、転移率 A + 転移率 B = 1 である。現象的には転移率はニップ出口側における膜の分裂化を意味している。

3. インキと湿し水の混合と転移モデル

印刷機ローラ上におけるインキと湿し水の挙動は次の三つに大別される。

- (1) 乳化インキと乳化インキ間の、インキと湿し水の混合と転移（剛体ローラとゴムローラ間ニップ）
 - (2) 版面水（非画線部上）と乳化インキ間の湿し水の転移（版面非画線部とゴムローラ間ニップ）
 - (3) 乳化インキの紙への転移（ブランケットと紙間ニップ）
- (3) に関しては既に種々の報告⁽⁵⁾があるため、本研究では(1)、

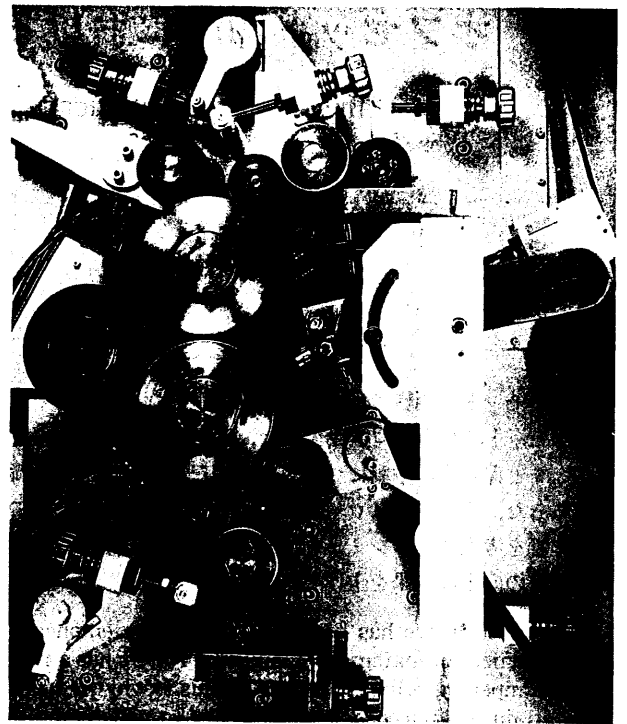


図3 乳化インキ転移装置 インキ膜厚・含水計と可視化装置により、ローラ上乳化インキ状態の変化を観測することができる。 Test equipment for emulsified ink transfer

(2) に関して調べた。実験は図3に示す当社の乳化インキ転移装置で行い、ローラ上のインキ膜厚、乳化率、表面水平均膜厚はインキ膜厚・含水率計と、可視化による画像解析から求めた。

3.1 インキと湿し水の混合（剛体ローラとゴムローラ間）

ニップ通過前後で変化する乳化インキ状態を定量的に把握するために、一定膜厚のインキ膜を形成した回転中のローラへ、薄膜状の湿し水を連続供給、及び供給停止した後のインキ乳化率の変化を調べた。図4(a)に示されるように、乳化率は湿し水供給後、増加の度合いが次第に緩やかになり平衡乳化率へ到達する。この現象は乳化インキ状態が変化する過程であり、可視化によって求めた。すなわち、表面水として供給された湿し水がニップ通過によりインキと混合し、内部水に移行していく過程である。また、図4(a)に示される平衡乳化率は蒸発などの水分消失量と表面水の内部水への移行量がバランスされた状態を示し、さらに湿し水の供給量を増加させると、過剰の湿し水はすべて表面水となる。逆に湿し水の供給を停止すると乳化率は減少していく。後者の過程は内部水から表面水への移行と、主に表面水の蒸発に起因する。

上に述べた実験から得られたインキと湿し水の混合・破壊現象は次のモデルによって説明される。

- (1) 表面水から内部水への移行速度が律速となるインキと湿し水の混合過程（湿し水供給量 > 水分消失量）

$$\phi = \phi_0 \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_m}\right) \right] \quad (1)$$

ϕ : 乳化率
 ϕ_0 : 平衡乳化率
 τ_m : 乳化時間

- (2) 内部水から表面水への移行速度が律速となる乳化インキの破壊過程（湿し水供給量 < 水分消失量）

$$\phi = \phi_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau_b}\right) \quad (2)$$

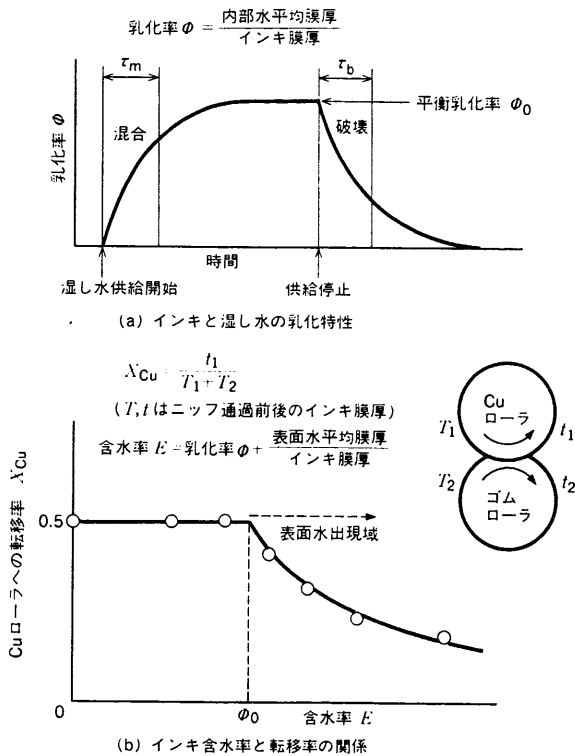


図4 ローラ上におけるインキと湿し水の混合と転移特性
 インキ・湿し水の乳化特性は湿し水供給量による乳化インキ状態の時間変化 (τ_m, τ_b) によって特徴づけられる。また、湿し水供給量が多くて含水率が表面水出現域以上になると、Cuローラ側へ転移する乳化したインキが減少することを示す。
 Characterization of ink/fountain solution emulsification and transfer on roller

τ_b : 乳化破壊時間

ここで、平衡乳化率 ϕ_0 、乳化時間 τ_m 、及び乳化破壊時間 τ_b はインキと湿し水固有の値であり、これらの値によってインキと湿し水の乳化特性が特徴づけられる。

3.2 乳化インキの転移 (剛体ローラとゴムローラ間)

乳化インキの粘弾性特性が乳化率によって変化することは多く報告されているが⁽⁶⁾、乳化状態がローラ間転移挙動に及ぼす影響については詳しく調べられていない。乳化インキ転移装置で得られた一対のCuローラとゴム (NBR) ローラについての転移率と含水率の関係を図4(b)に示す。低い含水率では転移率は変化しないが、平衡乳化率以上の表面水出現域になるとCuローラへの転移率は低下し始める。これは、Cuローラ表面の湿し水との親和性が比較的高いため、表面水出現域ではCuローラ表面のインキの一部が湿し水に置換されるためと考えられる。この変異点はインキ・湿し水とローラ材の組合せによって異なる。

ここで述べたインキ含水率 E による転移率 X の変化は、実験的に求められる転移率関数 f_x によって表される。

$$X = f_x(E) \tag{3}$$

3.3 版面非画線部における湿し水の転移

版面の非画線部はインキの付着 (地汚れ) を防ぐために高い保水性が必要とされており、毛細管現象を利用した砂目と呼ばれる微細な凹凸を持つ。

ニップ入側のゴムローラ上の乳化状態と版面水膜厚を変化させ、ニップ出側の版面水膜厚を求めた。版面水膜厚と乳化したインキの表面水を合わせた全水膜厚に対して、ニップ通過後の版面水膜厚をプロットすると図5のようになる。

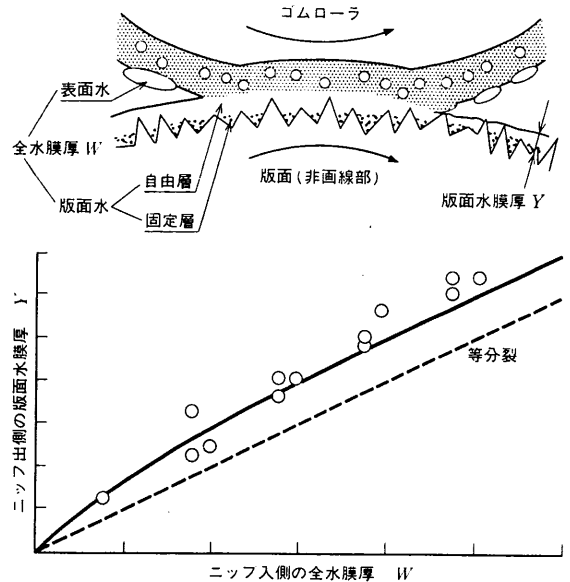


図5 版面非画線部上の湿し水の転移 非画線部上の湿し水の転移挙動は、非画線部の保水性による固定層と自由層の転移に分けられることを示す。
 Fountain solution transfer on non-image area

ニップ通過後、湿し水は等分裂 (図5中の点線) よりも非画線部に多く在ることから、非画線部の保水性によって水膜の分裂比が変化していることが分かる。この保水性を考慮して版面水転移式を求めた。この式はインキ転移式 (ブランケットから紙への転移) を適用したものである。インキ転移式は紙表面の細孔によるインキ膜の固定層と、等分裂する自由層を区別したものであるが、これを非画線部の保水性による水膜の固定層と自由層に置き換えることによって、版面水転移式は次のように表される。

$$\left. \begin{aligned} Y &= b\phi(W) + \frac{1}{2}[x - b\phi(W)] \\ \phi(W) &= 1 - \exp\left(-\frac{W}{b}\right) \end{aligned} \right\} \tag{4}$$

ここで、 Y : ニップ出側の版面水膜厚、 W : ニップ入側の全水膜厚、 b : 最大固定化水膜厚であり、関数 ϕ は固定化関数である。図5の実線は b 値を実験的に決定して求めた計算値である。なお、 b 値は版材の非画線部の表面粗さから推定される水膜厚とほぼ対応しているが、理論的に求めるためには、凹凸形状の統計的取扱いによる毛細管力の考慮と、湿し水/非画線部間の界面特性の考慮が必要である。

4. シミュレーション計算と検証テスト

オフセット印刷における湿し水の影響を考慮したシミュレーション計算の概要を図6に示す。シミュレーションではローラ表面を周方向及び幅方向に区間分割し (一つの区間をセルと呼ぶ)、セルごとに乳化したインキ状態を表すインキ膜厚、乳化率、表面水平均膜厚を割当てて、セルの周方向長さ ΔL だけローラを回転させる度に各セルの乳化したインキ状態の変化を計算し、これを繰返すことによって、任意のローラ配列についてローラ目やゴースト等の印刷品質を予測する。また印刷資材の影響をモデル試験で求め、シミュレーション計算に入力することで印刷資材 (版・インキ・湿し水) の適応性の評価が可能になる。

シミュレーションの精度を検証するために印刷試験を行い、異なる四つのローラ位置でのインキ膜厚及び乳化率と、紙面上の濃

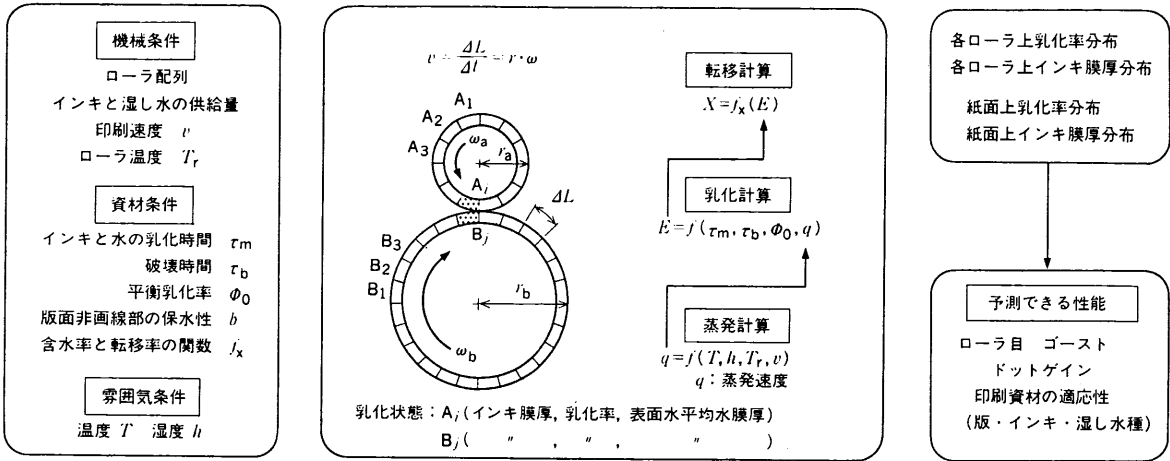
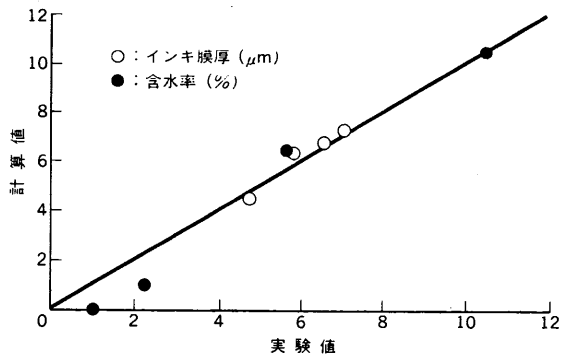
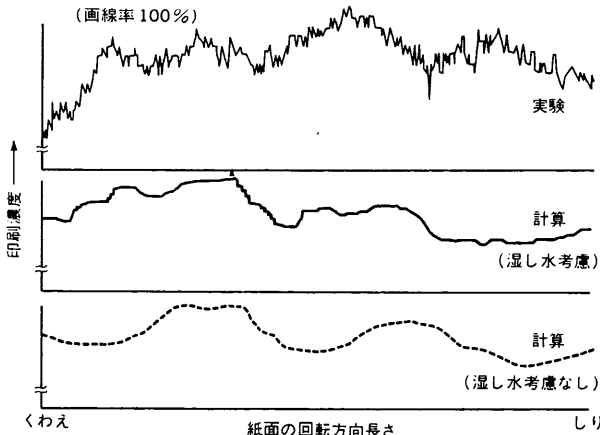


図6 シミュレーションの概要 Outline of simulation シミュレーションの入力条件と、得られる出力及び予測できる印刷機の性能の概略を示す。



(a) ローラ上



(b) 印刷紙面上

図7 実験値と計算値の比較 印刷機ローラ上の乳化インキ状態、及び印刷紙面上の印刷濃度についての印刷試験とシミュレーション結果の比較を示す。なお、シミュレーションによる印刷濃度は紙面上のインキ膜厚を濃度に変換して求めた。
Comparison between experimental and calculated results

度分布を求めた。図7(a)に示されるインキ膜厚、乳化率に関するシミュレーション計算と実験値の比較から、本手法は精度よく実験値を再現できることが分かった。また紙面上の濃度分布については、図7(b)に示されるように湿し水の影響によって濃度分布が変化し、湿し水の影響を考慮しない場合に比べて、実験との一貫性が向上した。

5. む す び

印刷機ローラ上における次の三つのインキ・湿し水挙動を適用することにより高い精度を持つシミュレーション計算技術を確認することができた。

- (1) インキと湿し水の混合・破壊（インキ・湿し水の乳化特性）
- (2) インキ含水率による転移率の変化（ローラ材の影響）
- (3) 非画線部の湿し水転移（版の保水性）

オフセット印刷は印刷機、印刷資材、そしてオペレータの技術がそろうことによって高い印刷品質が得られる。本シミュレーションは、印刷資材条件と機械条件を合わせて湿し水の影響を考慮することによって、従来のオペレータの経験に基づいた湿し水供給量調節について事前に最適条件を予測することができる。これにより、シミュレーションによる湿し装置を含めた最適な印刷機ローラ配列の検討が可能となった。本手法はすでに実用化され、印刷品質の向上、設計効率の向上に成果を上げており、マルチモードダンパなどにも適用されている。

今後とも高精細印刷を含めた印刷品質向上やノンスキル化などの市場の高い要求にこたえるために、オフセット印刷のノウハウを集大成したシミュレーション技術の精度向上をさらに進めていく必要がある。

参 考 文 献

- (1) 加藤ほか, 印刷機インキ装置におけるローラ間インキ流動, 三菱重工技報 Vol.22 No.4 (1985) p.492
- (2) 磯野ほか, オフセット印刷におけるインキ・水バランス量制御, 三菱重工技報 Vol.28 No.4 (1991) p.368
- (3) Karttunen, S. et al., Adv. Print. Sci. Technol. (1980) p.176
- (4) 岩木ほか, オフセット印刷におけるインキ・水の乳化特性評価, 三菱重工技報 Vol.27 No.2 (1990) p.110
- (5) 市川, わかりやすい紙・インキ・印刷の科学, 印刷局朝陽会 (1973)
- (6) 岩木ほか, オフセット印刷におけるインキ・湿し水の乳化現象と印刷品質, 三菱重工技報 Vol.25 No.2 (1988) p.124