

## 印刷光沢の発現メカニズム

(東大院農生命) 寺元学、○江前敏晴、尾鍋史彦  
(日本エイアンドエル株) 早野三郎、内藤等  
(三井化学株) 高野弘二、鎌田一則

### Mechanisms of print gloss development

Manabu Teramoto, Toshiharu Enomae and Fumihiko Onabe  
Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo

Saburo Hayano and Hitoshi Naito  
Nippon A & L, Inc.

Koji Takano and Kazunori Kamada  
Mitsui Chemicals, Inc.

Contact e-mail address: enomae@pulp.gxa.f.p.a.u-tokyo.ac.jp

#### Abstract

In nip printings like offset, print gloss was dependent on coating materials (acrylonitrile groups content and gel content of latex), coating formulation (latex content), coating structure (porosity and smoothness), printing conditions (speed and linear pressure) and ink conditions (ink volume on plate and tackiness). Those factors affected ink transfer, ink hold-out, magnitude of initial split patterns and penetration rate of the vehicle controlling the ink viscosity. These mechanisms were exemplified by continuous print gloss measurements immediately after printing and by continuous observations with a video microscope. Additionally, three-dimensional shape of dried ink films on paper was measured with a confocal laser scanning microscope. It showed that stripes looking white in video images were valleys with gentle slopes on both the sides. It was found using a freeze-drying technique that valleys generated in printing become shallow with time. Printing (threading) direction, MD or CD, also affected print gloss. Anisotropy in ink solvent absorption into a coating somehow due to fiber orientation of the basepaper was suggested to cause print gloss anisotropy.

Keywords: Anisotropy, Coated paper, Latex concentration, Print gloss, Split pattern

#### 1 はじめに

光沢のある印刷物は、高級感を醸し出すことができる。そのため、印刷光沢(印刷インキが載った部分の光沢)は、印刷品質を左右する重要な要素となっている。特に、商品宣伝用の高級塗工紙グレードでは、一般消費者の購買意欲をそそる効果があるので高い印刷光沢が求められる。本発表では、印刷光沢発現メカニズムに関し、内外の研究例を紹介するとともに、我々がこれまでに行ってきた研究結果をまとめて報告する。

#### 2 理論 - 光沢の表す意味

紙の光沢は紙の平滑性と密接な関係があり、通常平滑性の指標であるとみなされるが、それは次の理由による

図1に示すように紙面の法線方向に対し $q=75^\circ$ の入射角で光 $I_0$ を当て、同じく $75^\circ$ の反射角で反射光 $I$ を検出し、その光の強度の比率 $I/I_0$ を測定して求める。光沢度は相対分光分布と分光視感効率の積を全ての波長にわたって積分したものに相当する。フレネルの法則によれば光学的に平滑な表面の(分光)鏡面反射率は、入射光の波長 $l$ と入射光の角度 $q$ の関数になっている<sup>1)</sup>。この関数 $f(q, l)$ はフレネル係数と呼ばれ、式(1)で表される。

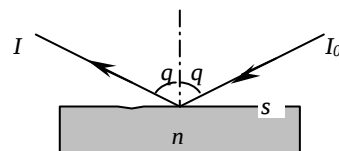


図1 鏡面反射の光路

$$f(q, l) = \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{\cos q - \sqrt{n(l)^2 - \sin^2 q}}{\cos q + \sqrt{n(l)^2 - \sin^2 q}} \right)^2 + \left( \frac{n(l)^2 \cos q - \sqrt{n(l)^2 - \sin^2 q}}{n(l)^2 \cos q + \sqrt{n(l)^2 - \sin^2 q}} \right)^2 \right] \quad \text{式(1)}$$

ここで、 $n(l)$ : 波長 $l$ における屈折率  $q$ : (紙の場合通常) $75^\circ$ である。

紙のような粗い表面については、反射率はさらに表面粗さの関数にもなっており、式(2)で表される<sup>2)</sup>。

$$\frac{I}{I_0} = f(q, l) \exp \left[ - \left( \frac{4ps \cos q}{l} \right)^2 \right] \quad \text{式(2)}$$

ここで、 $I$ :鏡面反射光強度、 $I_0$ :入射光強度、 $s$ :表面粗さの標準偏差である。

ISO 及び JIS で定義されている光沢度の単位は、屈折率 1.567 (Tappi では 1.540) のガラスの鏡面研磨面に対する反射率が光沢度 100(%)となるように目盛られている。これは反射率 26.46 %に相当する。従って屈折率の高い材料では 100 以上の光沢度になる。なお、印刷面の光沢を測定する場合インキの色や拡散反射が光沢に与える影響はごくわずかで、白色面は黒色面よりわずかに光沢度が高いが、その差は 1 以下である<sup>3)</sup>。

式(2)によれば、紙の光沢は、光の入射角、入射光の波長、屈折率及び材料表面の平滑度で決定される。塗工層は、異種の塗工紙でも材料の組成は似通っており、また塗工層に使用される鉱物性顔料の屈折率は近い値をとる。そのため、同一の光学条件下で測定した光沢度は、表面の平滑度によってほぼ決定されることになる。印刷表面でも顔料や樹脂分の組成やそれぞれの屈折率は同程度であると考えられるので、同様に印刷光沢もインキ層表面の平滑度によってほぼ決まるとみなすことができる。

### 3 印刷光沢に影響を与える因子

#### 3.1 印刷光沢とは

印刷光沢は、基本的には印刷前の白紙光沢を反映する。しかし、それは非塗工紙など、表面が粗い紙で、表面の凹部をインキがどれだけ被覆するかに依存する場合である。印刷光沢が問題となる高級塗工紙 (A2 以上) では、白紙光沢と無関係な印刷光沢となることも珍しくない。1960 年代から、印刷光沢は、インキビヒクルが塗工層表面にどれだけ (吸収されずに) 保持されているかが、紙やインキ面の平坦な部位の平滑度よりも関係がある、と言われてきた<sup>4, 5)</sup>。印刷面全体の平滑度を高く保つにはビヒクルを保持することが重要で、インキ保持性の低い塗工層はインキから溶剤を選択的に吸収してしまう。しかし、なぜ"インキ保持性"あるいはその反対の概念である"インキセット速度"が印刷光沢と関係があるのか? 2通りの考え方ができる。インキフィルムのレベリング(平坦化)がその1つで、もう1つが、インキ顔料粒子間に生じるメニスカスの形成である。メニスカスは塗工層の細孔がビヒクルをインキ顔料粒子間から引張り込もうとして生じるものである。しかし、実際に支配的なのはインキのレベリングである。

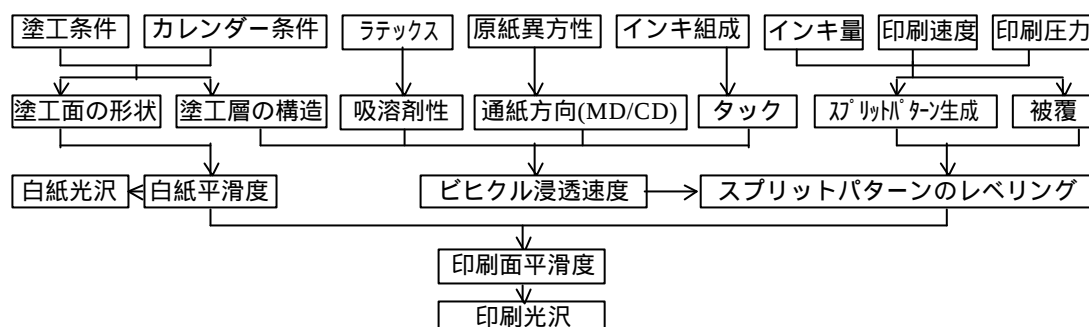


図2 塗工紙の印刷光沢に影響する要因

図2はニップ型印刷での印刷光沢に影響する種々の因子を整理したものである。インキ及び印刷条件のパラメータなどが複雑に絡み合って印刷光沢が発現することを示す。

このような印刷光沢の発現過程は、試験印刷機で印刷した直後の試料を光沢度計に移し、光沢の経時変化を連続的に記録すること及びビデオマイクロスコープ下に移して印刷面の微細な形状の変化を観察することによって把握することができた。印刷ニップを出た直後に、インキフィルムは開裂し、一部が紙に転移しあとは版面に残る。この開裂はインキ転移量が周期的に変動して起こるので波状のスプリットパターンが紙面に残る。このパターンがインキ層の流動によってレベリングするとき、印刷光沢が徐々に上がっていく。しかし、非塗工紙や塗工層の被覆が十分でない塗工紙では繊維間の大きな間隙にインキの一部が陥没して表面の平滑性が下がるので印刷光沢が低下する。この2つの作用が同時に起こるといったん上昇した印刷光沢が途中から低下に転じる現象が起きる<sup>6)</sup>。ある程度白紙光沢の高い塗工

紙ではこのようなインキ層の陥没による光沢低下は少なく、生成したスプリットパターンの大きさとそれが消える速度によって最終的な印刷光沢が決定される。

ビデオマイクロスコープでスプリットパターンを撮影したビデオ画像（後述の図9参照）では、印刷方向に対して主に直角方向に生じた長さ0.5 mm程度の筋が時間とともに消失していく様子が分かる。この消失とともに印刷光沢が上昇する。この白い筋の面積を画像処理により計算すると光沢との相関が高いことがわかった<sup>7)</sup>。なお、この白い筋はインキの盛り上がりではなく、インキフィルムが谷状に欠如している部分であり、共焦点型レーザー走査顕微鏡（レーザーテック 1LM21DW）で表面形状プロファイルを観察・測定すると図3のようにくぼみであることが確認された<sup>8)</sup>。

以下、図2に示す要因について、順次検討する。

### 3.2 塗工層構造の影響

#### 3.2.1 ラテックス配合部数

インキセット速度は塗工層の細孔構造によっておおかた決まるが、これは印刷光沢に影響する重要な因子である。著者らは既報<sup>9)</sup>で、SBラテックス配合量だけを変えた塗工紙では、配合部数を多くすると、白紙光沢は低くなるが、印刷光沢は高くなることを報告した。図4に示すように動的な印刷光沢の測定結果では、ラテックス配合部数が多いほど印刷直後からの上昇が急で、早く一定値に達した。これは、ラテックスの配合部数を増やすと、空隙率及び細孔径が小さくなり、インキ溶剤の吸収が遅くなったためである。溶剤の吸収が遅い方がインキの粘度は低く保たれるので、スプリットパターンのレベリングが速く進行する。なお、これら一連の実験は表1～3に示す条件で行った。また、図5に示すように印刷後10秒及び2日が経過してから表面形状も共焦点型レーザー走査顕微鏡（ライカ TCS NT）で測定した。インキの流動状態を固定化するため、所定経過時間後に液体窒素中に試料を浸せきし、-20℃で真空乾燥してから行った（通常の凍結乾燥と同様の処理）。印刷10秒後では、ラテックス配合部数の減少とともにスプリットパターンの溝が深くなる傾向が見られた。2日経過すると溝が浅くなっていることがわかった。

以上の結果とまったく反対に、深沢ら<sup>10)</sup>は、ラテックス配合部数を増加させるとインキセット速度は遅くなるが、印刷光沢が下がると報告しており、ラテックス配合部数が別の性質に影響している可能性がある。

#### 3.2.2 顔料の粒径と塗工層細孔径

Ishleyらは、粒径0.55 μmで分布幅の小さい紡錘形炭酸カルシウムからなる塗工層は、超微細クレーの塗工層と比較するとはるかに空隙率が大きく、そのために印刷による光沢増分（印刷光沢 - 白紙光沢）は小さくなると報告している。DoniganとIshleyら<sup>11)</sup>は、印刷光沢と塗工層構造の関係を明らかにするため、粒子径だけが0.19～0.45 μmと異なる一連の炭酸カルシウムを用いて塗工紙を調製した。空隙率には差がほとんどなかったが、水銀圧入法による平均細孔径が小さいほど光沢増分は小さくなった。小さい細孔が多くある場合ほどインキ溶剤だけを引っ張り込む力が強く働く、と彼らは推測している。鈴木ら<sup>12)</sup>は、インキセ

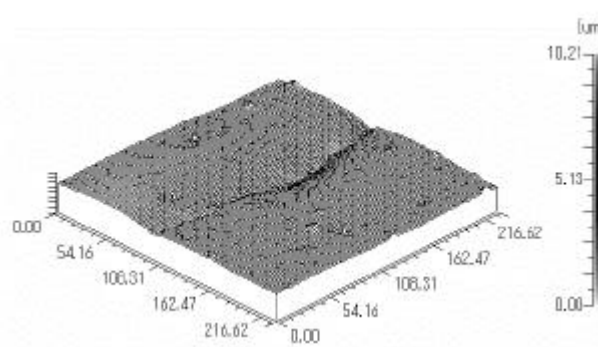


図3 共焦点型レーザー走査顕微鏡で観察・測定した印刷面の微小な筋状の窪み

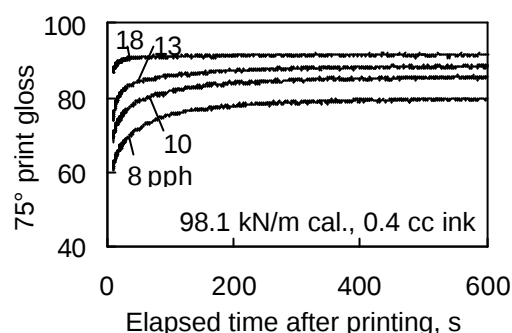


図4 SB ラテックス配合量の異なる塗工紙での印刷光沢経時変化

表1 塗工カラー組成

| 材料             | 配合量（部）          |
|----------------|-----------------|
| 炭酸カルシウム(UW-90) | 100             |
| デンブン           | 3               |
| SB ラテックス       | 18, 13, 10 or 8 |
| 分散剤            | 0.1             |
| NaOH           | 0.1             |

固形分 62 %, pH 9

表2 塗工条件

|            |                        |
|------------|------------------------|
| 上質原紙坪量     | 104.7 g/m <sup>2</sup> |
| 塗工量        | 15 g/m <sup>2</sup>    |
| 乾燥温度       | 150                    |
| カレンダーリング線圧 | なし, 58.9 or 98.1 kN/m  |
| カレンダーリング温度 | 50                     |

表3 標準印刷条件

|        |                       |
|--------|-----------------------|
| 試験印刷機  | 万能印刷試験機(熊谷理機工業)       |
| インキの種類 | オフセット平判用藍             |
| インキ盛り量 | 0.4 cc                |
| 印刷速度   | 2 m/s                 |
| 印刷圧力   | 12.3 kN/m             |
| 印刷面積   | 200 mm(印刷方向)×40 mm(幅) |

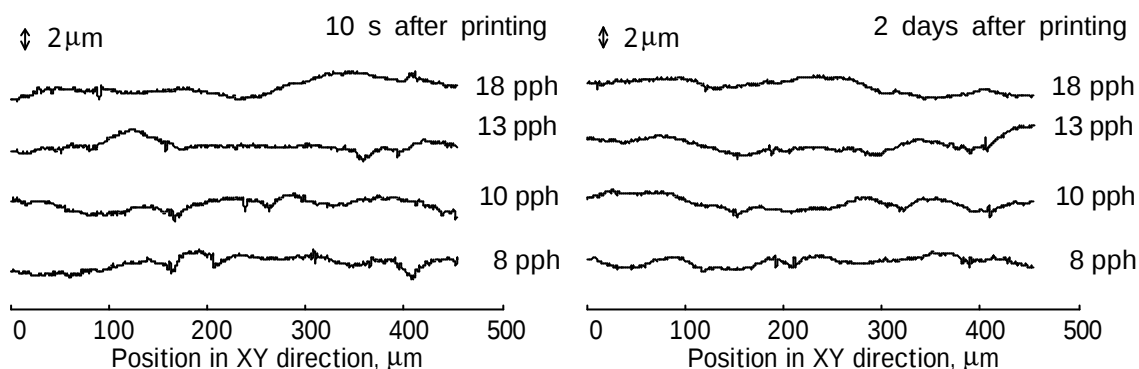


図5 SBラテックス配合量の異なる塗工紙にベタ印刷して10秒及び2日経過した試料を低温固定化処理し、共焦点型レーザー走査顕微鏡で測定した表面形状プロファイル

ット速度が速いほど、インキのスプリットパターンのレベリングを速く止めるので、印刷光沢は小さくなると述べている。その前報で、寺尾ら<sup>13, 14)</sup>は、ベタ印刷後一定時間が経過してから、セットしていないインキを平滑なフィルムに転写し、光学濃度を測定した。光学濃度から計算した転写面積と経過時間の平方根の間に直線関係が成り立ち、その傾きをインキセット速度と考えた。インキセット速度と $0.13 \sim 0.15 \mu\text{m}$ より小さな径の塗工層細孔容積との間の相関が高かった。この領域の細孔がインキの溶剤を選択的に吸収しインキの固化を効果的に促進するためだと考えた。

### 3.2.3 カレンダリング

図6にカレンダリング処理の有無による動的な印刷光沢変化の違いを示す。未カレンダーの場合、印刷後50～100秒で光沢値のピークがあり、その後徐々に低下した。未カレンダー表面には幅 $100 \mu\text{m}$ 、深さ $5 \mu\text{m}$ 以上の大きな凹部が存在し、厚さ $3 \mu\text{m}$ 程度のインキ層では十分覆いきれず、非塗工紙の場合同様陥没が起きたと考えられる。

### 3.3 塗工層の化学的要因

バインダーの表面エネルギーなどの化学的要因もインキ溶剤の吸収には大きな影響を及ぼす。特にラテックスポリマーの化学的因子が変化すると印刷光沢に影響することが知られている。Gilderら<sup>15)</sup>は、溶剤の吸収によるインキのタック上昇速度がラテックスポリマーの溶解度パラメータと関係があることを示した。架橋ポリマー（高ゲル分率）は、直鎖状ポリマーと比較して、溶剤に膨潤しにくく、直鎖状ポリマーでも表面エネルギー（極性）が大きくなるように化学修飾すれば、インキ溶剤との相溶性が低下し、タック上昇速度を下げる事ができた。桑村ら<sup>16)</sup>は、SBラテックスのゲル分率とポリマーの極性（アクリロニトリル量）が光沢増分と密接な関係にあることを示した。また、水中にあるラテックスフィルムのインキ溶剤との接触角（二液法）が光沢増分と直線関係にあったことから、塗工層中のラテックス表面に吸着している水分子の層がインキ/塗工層間の相互作用に影響していると考えた。

### 3.4 印刷条件

図7は、練りロールに盛るオフセット用インキ量を変えてA2コート紙に印刷したときの印刷光沢の経時変化を示す。インキ量が多いほど立ち上がりの印刷光沢は低いのでスプリットパターンも大きいことがわかるが、その後の上昇が長く続く。不動化していないインキ層が流動性を長く保ってレベリングするためと考えられる。

印刷速度を変えた場合、2、4及び6 m/sの比較すると、

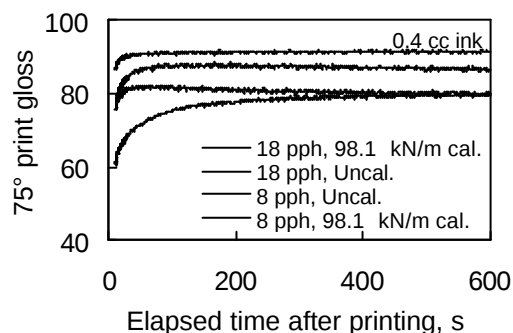


図6 線圧の異なるカレンダーがけ塗工紙での印刷光沢経時変化

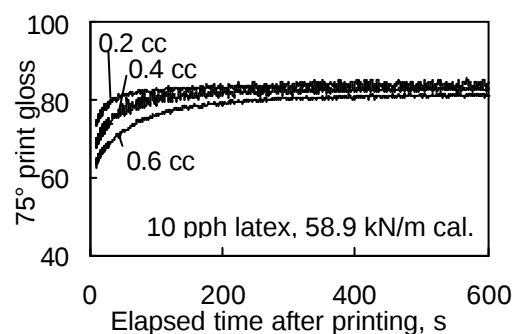


図7 インキ盛り量を変えたときの印刷光沢経時変化

印刷速度が速い方が印刷光沢は低くなった。高速になるほどインキ転移率が下がること及び初期スプリットパターンが大きい(動的印刷光沢変化の立ち上がりが遅かった。)ことが原因と考えられる。

印刷圧力を変えた場合は、印圧の増加に伴って印刷光沢は高くなった。これは印圧の大きい方が、紙の凹部のより深くまでインキが浸入し、不動化する部分が増加することによりインキ転移率が大きくなったためと考えられる。

Glatterら<sup>17)</sup>は、理論的にスプリットパターンのレベリングを解析し、細かな凹凸は速く、大きな凹凸はゆっくりレベリングするとした。非吸収性PETフィルム上での挙動をビデオ画像でとらえ、光沢の経時変化を測定したところ、印刷速度が大きいほど、またインキフィルムが厚いほど大きな凹凸が生じ、それがゆっくりレベリングすることを示した。

### 3.5 通紙方向による印刷光沢異方性

MD及びCD方向にA2コート紙を通紙したときの印刷光沢の経時変化を図8に示す。また、図9に印刷してから2、10及び120秒経過後のビデオマイクロスコブでとらえた印刷表面の画像を示す。2秒後のビデオ画像では、通紙方向に関わらず、同程度の多数の白い筋(スプリットパターン)が観察された。時間が経過するに従い、その数が減少しており、スプリットパターンがレベリングしていることを表している。MD方向に印刷した場合、10秒後にはその白い筋がほとんどなくなっているのに対して、CD方向に印刷した場合、白い筋の幅は細くなるものの、長さはほとんど変わらない。これらの変化は、印刷光沢の経時変化によく対応しており、CD方向に印刷した場合は印刷光沢の上昇が緩慢であった。なお、光沢はそれぞれ通紙(印刷)方向に測定している。

紙の通紙方向によって生じる印刷光沢異方性は、繊維配向性又は塗工方向などが何らかの原因となっているはずである。印刷2秒後の画像からもわかるように初期の印刷光沢には大差がないことから、スプリットパターンのレベリング過程で溶剤吸収の異方性が存在するものと考えられる。白紙面での光沢の異方性はごくわずかであるので、表面の形状に大きな異方性があるとは考えにくい。また、その他の理由として、印圧下で弾性的な伸びがあったとしても瞬時に収縮すると考えられ、むしろスプリットパターンの方が遅れて生成するであろう。また、インキのタックによる塑性的な伸びも原因となる可能性はあるが、実測した結果、MD/CDとも伸びは無視できる程度であった。アート紙でも同様の印刷光沢異方性が測定されたが、異方性の程度はA2コート紙ほどではなかった。これは印刷光沢異方性が原紙の異方性に影響される可能性を示唆する。

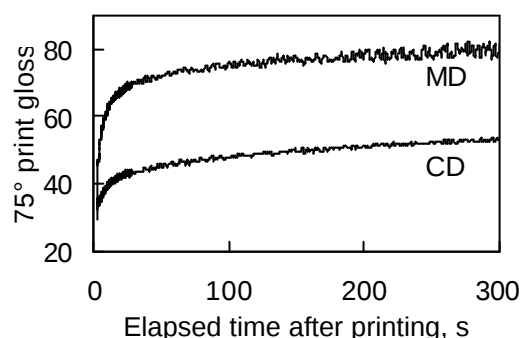


図8 A2 コート紙を用い、MD又はCD 方向に通紙して印刷したときの印刷光沢の経時変化

## 4 結論

オフセットなどのニップ型印刷で発現する印刷光沢は、塗工層の材料(ラテックスのアクリロニトリル基重合量及びゲル分率)、組成(ラテックス配合量)と構造(空隙率と分布及

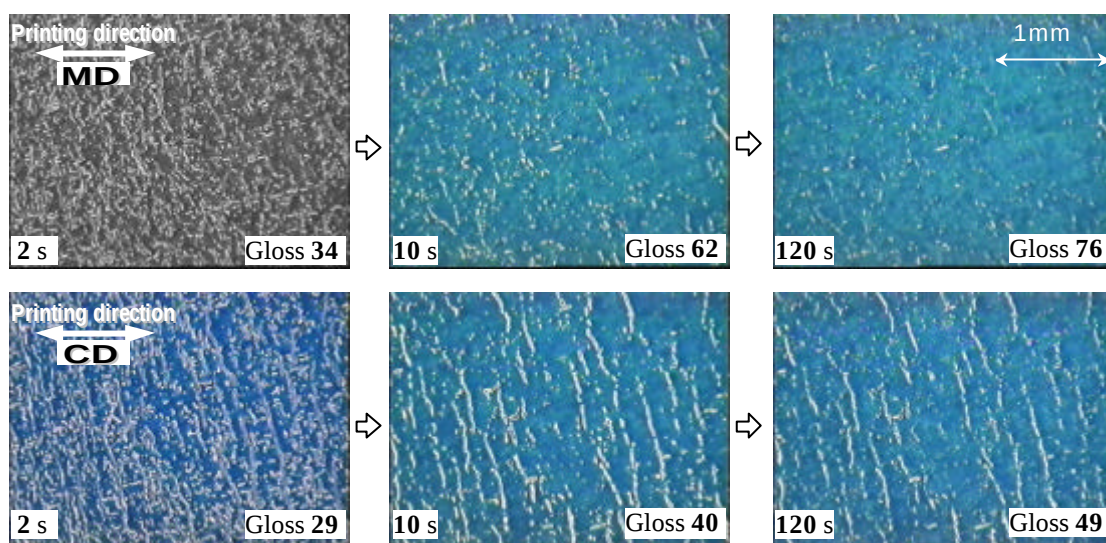


図9 A2 コート紙に印刷したときのスプリットパターン消失過程をとらえたビデオマイクロスコブ画像

び平滑度)、印刷条件(速度、圧力)、インキ条件(インキ盛り量、タック)によって決定される。これらの要因は、インキ転移量、インキ層の陥没、インキの初期開裂パターンの大きさ、ビヒクルの吸収速度と紙面インキの粘度低下速度に影響を及ぼし、紙面インキ層の粗さを決定する。これらのことを、印刷光沢の経時変化の測定及びビデオマイクロスコープによる印刷面の観察を通して明らかにした。また、インキ乾燥後に、紙面上のインキ表層の形状を共焦点型レーザー走査顕微鏡によって測定した結果、開裂パターンに由来する白い筋は、緩い谷状の溝であることが分かった。また、この溝は、低温固定・真空乾燥した試料での測定から、時間とともに浅くなっていくことが確認された。さらに、光沢には異方性があり、印刷機への通紙方向により光沢に差異が生じることが分かった。原紙の繊維配向に由来する塗工層の異方性が吸油性及びインキレベリングに異方性を生じさせていることが原因であると推測した。

#### 謝辞

富士工業技術センターの深沢博之氏には光沢異方性のための印刷実験に際しお世話になりました。ここに謝意を表します。

#### 引用文献

- 1) JIS Z 8741<sup>-1997</sup> 鏡面光沢度 - 測定方法 など
- 2) Lee, D. I., "A fundamental study on coating gloss", Tappi Coating Conference Proceedings, 97 (1974)
- 3) Tappi Test Method T 480 om-92 "Specular gloss of paper and paperboard at 75 degrees"
- 4) Fetsko, J. M. and Zettlemoyer, A. C., "Factors affecting print gloss and uniformity", Tappi 45(8), 667(1962)
- 5) Hecklau, F. L. and Pavol, M. Jr., "Gloss and ink holdout properties of coated paper and paperboard as influenced by clay pigmentation", Tappi 50(1): 61A-67A(1967)
- 6) 寺元学, 江前敏晴, 尾鍋史彦, 早野三郎, 桑村五郎, 高野弘二, 鎌田一則, "印刷光沢の発現メカニズム", 第48回日本木材学会大会研究発表要旨集: 344(1998)
- 7) 早野三郎, 高野弘二, 鎌田一則, 寺元学, 江前敏晴, 尾鍋史彦, "塗工層の構造解析( )", 紙パ技協誌, 53(8): 47-55(1999)
- 8) 寺元学, 江前敏晴, 尾鍋史彦, 早野三郎, 高野弘二, 鎌田一則, "印刷光沢の発現メカニズム(第2報)", 繊維学会予稿集: G-1(1999)
- 9) 早野三郎, 高野弘二, 鎌田一則, 寺元学, 江前敏晴, 尾鍋史彦, "塗工層の構造解析( )", 紙パ技協誌, 53(8): 47-55(1999)
- 10) 深沢博之, 山下里恵, 日吉公男, "塗工紙の印刷光沢発現に関する考察", 機能紙研究会誌, No. 38: 21-31(2000)
- 11) Donigian, D. W., Ishley, J. N. and Wise, K. J., "Coating pore structure and offset printed gloss", Tappi J., 80(5): 163-172(1997)
- 12) 鈴木英之, 平林哲也, 福井照信, "印刷表面性の印刷光沢に与える影響", 第63回紙パルプ研究発表会, 紙パルプ技術協会: 82-87(1996)
- 13) 寺尾知之, 山本真之, 福井照信, "インキセットに対する塗工紙の塗工層構造の影響", 紙パ技協誌 51(9):79-85 (1997)
- 14) 寺尾知之, 山本真之, 福井照信, "コート紙の塗工層空隙構造とインキセットについて", 第62回紙パルプ研究発表会, 紙パルプ技術協会: 118-123(1995)
- 15) Van Gilder, R. L. and Purfeerst, R. D., "Commercial six-color press runnability and the rate of ink-tack build as related to the latex polymer solubility parameter", Tappi J. 77(5): 230-239(1994)
- 16) 桑村五郎, 早野三郎, 高野弘二, 鎌田一則, 江前敏晴, 尾鍋史彦, "塗工層の構造解析", 紙パ技協誌 52(2): 177-183(1998)
- 17) Glatter, T. and Bousfield, D., "Print gloss development on a model substrate", Tappi J. 80(7): 125-132(1997)