

## 印刷分野における材料・プロセスソリューションへの顕微鏡の役立ち Application of Microscope for Material & Process Solutions in the Printing Industry

麻生 真人<sup>a</sup>, 黒田 孝二<sup>b</sup>  
Mahito Asou and Koji Kuroda

<sup>a</sup>大日本印刷株式会社 ナノサイエンス研究センター

<sup>b</sup>大日本印刷株式会社 研究開発センター

**要旨** 印刷は溶解分散した分子状態から所期の構造、機能を発現させるプロセスである。20世紀の観察技術は原子、電子の構造と機能の解明を進め、半導体産業中心の発展を支えた。一方、印刷技術は15世紀のグーテンベルク以来の歴史を持ち、その対象を紙から包装、電子光学部材へと拡げてきたが、その現場には経験で材料を操るナノテクノロジーがひそんでいることが解き明かされてきている。21世紀のモノづくり技術の発展と次世代への継承には、プロセス中の材料がナノ構造からマクロ機能に発展する一連の挙動を俯瞰的に“見る”計測解析技術と“知る”ための多様な知識の蓄積と“操る”技能の一段の発展、および益々膨大化するデータの活用に、試料作製から観察、データ表現技術まで一貫したヒューマンインターフェイスを確保するシステムの体系化が緊要である。印刷分野ではナノ構造から何を読み解いて所期の機能体に仕上げるプロセス技術に反映するのかを論ずる。

キーワード：印刷技術、ナノテクノロジー、プロセス解析、材料挙動、ヒューマンインターフェイス

### 1. はじめに

印刷企業は3万社を超える取引先を擁し、得意先は出版や商業印刷、ICタグ、ICカード等の情報コミュニケーション分野、包装、容器、住空間マテリアル、プリンタ材料等の生活・産業分野、半導体フォトマスク、多層回路基板や液晶カラーフィルター、MEMS等のエレクトロニクス分野と多岐にわたり、モノづくりからインターネットサービスに至るまで、多彩な機能部材と情報メディアを提供している間口の広い産業である。その現場には、時々刻々変貌する市場動向をキャッチアップしながら、さらに多種多様な材料を複合機能化して、タイムリーに得意先に満足と信頼感を提供する責務がある。

この多岐にわたるモノづくりを支えているのは、コーティングとパターニングおよび異種材料を積層・複合化するプロセス技術である。例えばコーティングでは、得意先の機能とコストの厳格化に応えるため幅1mを超えるフィルムにミクロンレベルの厚み精度で数kmに渡って塗り続け、しかも複雑な塗膜内部構造を全面均質に仕上げる技術が求められる。本稿では、平成元年の印刷産業初の分析センター設立以来5万件を超える実績をもとに、材料とプロセスと人の感性との連動をめざした活動を紹介する。

### 2. 深さ方向に応じた機能分担とその構造設計と制御

図1の横軸は印刷加工の平面方向の精細さを、縦軸は材料表面からの深さを、中枠には各種の分析機器の測定領域を示している。横軸の数10から数100ミクロンの範囲は印刷の網点が面積を変えて色の濃淡を表現する範囲で、液晶ディスプレイに色表現を与えるカラーフィルターでは1ミクロンの加工精度を要するため、分析にはより細部の解析精度が要求される。表の縦軸の左には5万件の分析実績の集約から、解明できた機能を分析機器の測定深さ方向にあわせて示している。印刷現場のモノづくりに、濡れ、滑り、接着、転写等の機能は必須だが、それらの機能は1～10ナノメートルの深さ領域の構造に依存しており、印刷の現場技術にはナノテクノロジーがひそんでいることは注目に値する。

分析部門には、依頼元の課題に応じて測定部位と細かさを特定することが求められる。特に顕微鏡画像は改善の糸口を求める依頼元が直感的な行動を起こす説得力を持つので、分析担当者は単なる依頼項目対応ではなく、その奥の依頼背景まで洞察した上で、前処理、サンプリング部位や断面方向を特定し、観察視野と強調すべき画像の選択を慎重に行う責任を担っている。次に印刷製品のどの部位がどの機能と関連するのかの経験則を概説する。

#### 2.1 1～10ナノメートル深さ領域（ナノテクノロジー）

この領域は多くの機能を支えており、X線光電子分光（XPS）や飛行時間型質量分析計（TOF-SIMS）の化学状態解析に加えて、顕微鏡法では表面の凹凸や変形、異方性など多

<sup>b</sup>〒162-8001 東京都新宿区市谷加賀町1-1-1  
TEL: 03-3266-2839; FAX: 03-3266-3699  
E-mail: Kuroda-k2@mail.dnp.co.jp  
2008年11月25日受付

面的に構造要因を見極める必要があり、断面方向からも構造の特徴を捉えた観察が求められる。

濡れは、有機溶剤ではXPSとの相関が強いが、水系インキや液晶ではさらに浅い表面に敏感でTOF-SIMSによる表面分子の分布や配列、さらに微細凹凸までの総合解析を要する。また、接着は界面分子の結合や絡み合い、また極性や微細形態までの多面的な解析が必要である。滑りや磨耗には多様なメカニズムがあり、界面の吸着、反発、分子層内の乖離などで滑り界面が生成する。転写では、易剥離界面を一時的に密着しておく形状や化学状態の解析が大切である。

## 2.2 10 ナノメートルより深い領域

この領域の機能解析は、側面からの電子顕微鏡観察が主役である。帯電防止は、表面近傍に伝導性の連続層を形成するが、さらに滑りを加えるには滑り層をその上層にする。また、ヒートシールの機能解明には、シール前、熔融過程、固化後の高次組織観察をプロセスから与えられるエネルギーの時間軸変化に合わせた挙動として解析することが重要である。

## 3. 易剥離シールと電子顕微鏡観察

このように図1は製品機能を設計する上で有効な指針となる。印刷工程では、インキ等の溶液や分散液が塗布・乾燥を経て分子分散体(インキ)→集合体→組織→構造体(製品)へと劇的な発展を遂げ、均一な溶液から複雑なナノ構造を持つ表面・内部・界面組織が形成され所期の機能製品となっていく。この過程を塗膜中の変化の挙動で考えてみると、小さなナノレベルで速い変化が起こり、大きなマクロレベルのゆったりした変化に発展するために、様々な時定数が並行し

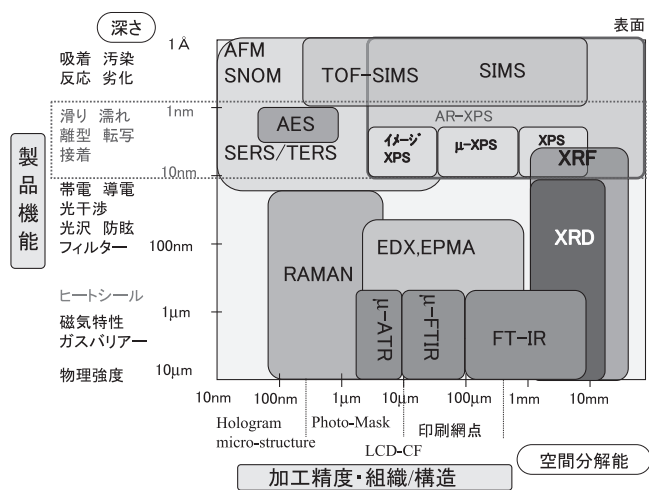


図1 製品機能と分析情報採取領域

AFM: 原子間力顕微鏡法 SNOM: 近接場分光法 SERS: 表面増強ラマン分光法 TERS: チップ増強ラマン分光法 (TOF)-SIMS: (飛行時間型) 二次イオン質量分析法 AES: オージェ電子分光法 (AR-)XPS: (角度分解型) X線分光法 XRF: X線蛍光分光法 XRD: X線回折法 EDX: エネルギー分散型X線分析法 EPMA: 電子線マイクロアナライザー RAMAN: ラマン分光法

て時々刻々と状態を変えていくドラマが演じられている。どのタイミングで光を当て、熱をかけ、風を送るかの勘所を抑えることが、複雑な挙動の行く先を決めるのである。

図2に、日常製品の機能の中にも材料とプロセスとの絶妙な整合が必要である事例を紹介する。液体ミルクカップは、雑菌が入らないように接着の万全な信頼性を保ちながらも、開封時にはスムーズに剥がれる機能が要求される。この秘密は蓋のアルミ箔とカップのシール材内部の海島構造にあり、この海と島が開封の力で分離し島伝いに剥離が進むしくみに構成されている。

この海島構造形成には、塗布工程では動的挙動の均一性を要求され、乾燥過程で幅方向、長手方向に均質に相分離現象を起こす必要があり、材料組成とプロセス相互の動的な調和によって達成される。図2の断面電子顕微鏡写真の左が均等な海島構造を持つ正常品で、右は表面に偏在構造を持つ異常品である。異常の原因は印刷機の更新で乾燥初期から表面が速く乾燥してしまい、膜内部で徐々に生成すべき海島構造成分が早くから表面に偏析したことにある。その当時は経験知が無いために、わずかな全反射赤外スペクトルの表面組成差に着目してから電子顕微鏡で断面に異常を発見するまで、1ヶ月のロスタイムを余儀なくされた。その後、ポリエチレンのヒートシール工程の高速化にもこの領域で起きるラメラ構造生成速度のプロセス依存性を見出して活用している。

## 4. インキ内部の顔料分布観察

最新のナノ分散材料では電子顕微鏡試料室内での試料回転により塗料や印刷膜内部の顔料分散状態の三次元分布解析が可能になってきているが、最近では有機顔料や低密度材料など電子顕微鏡ではコントラストのつきにくいナノ機能材が増えており、その構造と目的機能を阻害しない範囲で前処理の工夫でコントラストをつける技術が必要である。

また、印刷プロセス制御において重要なのはインキの流動特性に及ぼす液体内部の顔料分散状態の把握である。一般的にインキの顔料分散は数パーセントに希釈してブラウン運動状態の顔料をレーザー散乱法で観測するが、現場で使われるインキは数十倍も高濃度であり、一部は構造化して運動でき

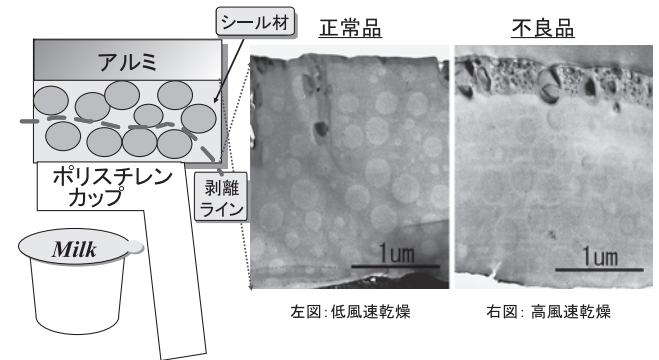


図2 易剥離性ヒートシール材の構造と機能およびプロセス依存性

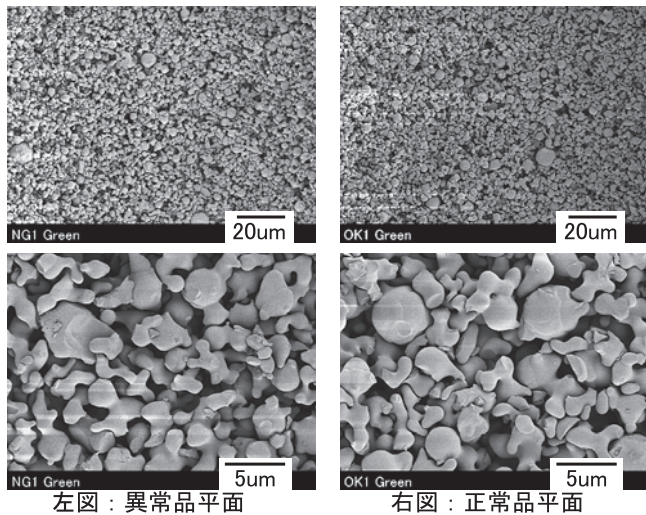


図3 プラズマディスプレイの蛍光体表面の比較

ず一部のみがブラウン運動できる状態にある。

この状態観察には、インキを100ミクロン程度のセルにこれ厚み方向から三次元的に動画を撮影する手法が有効である。この顕微鏡は<sup>1)</sup>、ピエゾで対物レンズを深さ方向に焦点移動させながら高速ビデオ撮影して秒30フレームの三次元画像データとして収めるもので、焦点深度の異なる位置もピントの合った動画として得られ、乾燥過程における顔料の分散状態の変化挙動解析にも有効である。

### 5. 電子顕微鏡画像の解析からアクションの誘発へ

プラズマディスプレイの基板開発において、蛍光体の輝度低下原因究明の事例から画像の持つ威力を紹介する。図3の断面観察では右の正常品より左の不良品が20%輝度低下した原因は抽出できず、この画像には現場にアクションを引き起こす説得力はない。しかし、輝度測定した一画素分の全体像を把握すべく約25ミクロン視野の電子顕微鏡写真を100枚並べて正常品と異常品各々2枚ずつを比較したところ、関係者全員が同じ要因を見出して改善活動が進んだ経験がある。人が眺める様子を図4に示すが、人間の目は、広く平均化されたノイズの背景から目的意識のある特徴を抽出する能力が極めて高く、並べた良品の全体像からはゴツゴツ感が感じられたことがきっかけで、散見されていた細粒が不良品表面に多いことに注目することができた。この細粒は、蛍光体造粒時に生成した組成異常の碎片と判明したのである。この現象は、真空紫外線で蛍光体の表面層のみが発光するプラズマディスプレイに限って起き、従来のブラウン管では電子線が蛍光体の内部を発光させるので、蛍光体メーカーですら経験則を持っていないものであった。

### 6. 21世紀の活力=次世代ソリューション能力の育み

企業における分析部門は先鞭をきってソリューション事例を示し現場の変革を引き起こさねば存在意義はない。従って

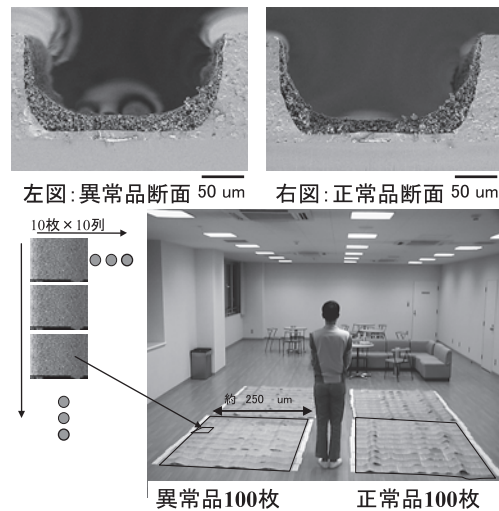


図4 プラズマディスプレイの蛍光体表面100枚の比較

分析部門は社外には無い独自のソリューション能力を培って、現場の3年先の課題を見越して布石を打ち分析技術を開発して準備しておかなければならない。分析部門の課題解決能力を高める最大の武器は、データの正確さや精度もさることながら、これを知恵に結びつける「知識ベースの多様さと豊富さ」にある。すなわちいかに多くの成功、失敗の体験知を個人が蓄積しているかにあることを認識して人材育成に努めるべきである。著者の分析部門では社内公募制度で現場の知見豊富な技術者を獲得したことが、データアウトプット偏重からソリューション志向への大きな変革のきっかけとなっている。

#### 6.1 “七み”を使ってよく“みる”ことが大切

人の似顔絵が描けてもその人となりは分からない。問掛けや働き掛けへの応答を多様に感じて蓄積していなければお付き合いはできない。同様に、モノの静止構造を精密に描けてもその機能の本質は把握できない。対象に様々な仕掛けを繰り返して“手応え感”を重ねてモノの個性を感じ取り、その手応えが必要な場面で思い起こせるように心に刻み、これを体験知として蓄積していくことで知恵を生み出す豊かな泉が培われてくるのである。

この感性を育むには「見」「観」「視」「診」「看」⇒「察」「顧」の“七み”を活用する。

見＝目に映る像を解釈する。

観＝全体のしくみをみる。

視＝問題意識を持って探る。

診＝問いかけて応答をみる。

看＝経過をスムーズにする。

察＝上記の五みを駆使して自分流に奥にある真の姿を洞察して仮説を立てる。

顧＝立てた仮説モデルを軸にして現場現象をみて素直に仮説モデルを修正していく。

自分なりの仮説モデルを立てていけば、出会う現象に近い

## 市場価値に合わせ込んだ加工技術への変革

-材料挙動のあらゆる姿を「みる」-

分析の「七み」(見・観・視・診・看→察・顧)の活用

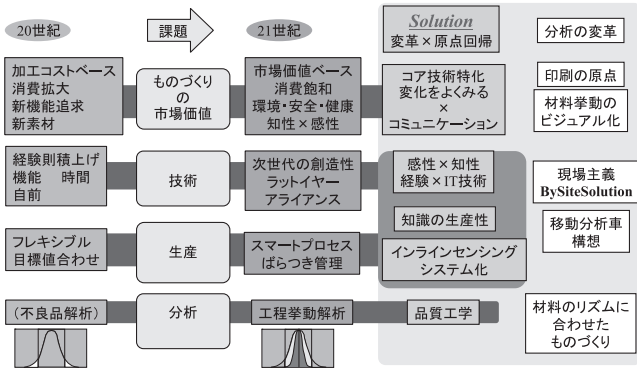


図5 材料の姿を探る「七み」の活用

か否かの距離感を持てるので、近いと満足、遠いと驚いて修正する。この繰り返しで本質を見る感性が養われる。仮説が無いと何事も印象に残らず、日常の中に必ずある課題に気付くような感性が育まれない。

### 6.2 顕微鏡技術の将来

新しい未知の現象の要因を見極めるには、やはり人間の目

による判断が極めて重要である。判断すべきデータ量が詳細化、膨大化する 21 世紀には人間の統合感覚的制御から離れていく危険性があり、画像も現象の一側面と考えてモノの多面的な挙動を現場や生活者、社会に伝えるヒューマンインターフェイス技術を早期に体系化することが、緊急かつ重要な課題ではないだろうか。今や人間が技術を制御できるかどうかの大切な時期に来ている。

顕微鏡技術者は今後も技術の研鑽を重ねて新しい現象の第一発見者になると思う。これをどのように研究者や社会に伝えるかが、次のテクノロジーの行方を決めるといって過言ではない。計測観察分野において、観察技術の探求以上の熱意を持って機器と人間を結ぶヒューマンインターフェイス技術と技術体系の構築を図ることが重要ではないだろうか。

### 文 献

- 1) <http://www.photron.co.jp/products/image/focuscope/mechanism.html>
- 2) 黒田孝二：感性とサイエンスのハーモニー— 21 世紀のものづくり像をめざして、一橋ビジネスレビュー，東洋経済新報社，54，No. 6，2007，p. 76-99