

連載第8回

高品質スクリーン印刷技術の普及のために 管理できる印刷プロセス実践の為の高品質スクリーン加飾印刷のススメ

(株)エスピーソリューション 代表取締役 佐野 康

1.3. 他の印刷用インキとスクリーン印刷用インキの粘度の違い

他の印刷工法で使用されるインキの粘度は、図52のように概ね適正範囲が決まっています。フレキシ印刷やグラビア印刷は、非常に低粘度で1Pa.S前後であり、オフセット印刷では非常に高粘度で100Pa.S程度です。なお、100Pa.Sは、1000dPa.Sのことであり1000ポイズ、10万センチポイズです。インキジェット用のインキは、最も粘度が

低く、0.1Pa.S以下の事が多いようです。なお、粘度の数値は、粘度計や条件により異なるため、本稿では、大手インキメーカーで標準となっているE型粘度計での5rpmでの粘度値で示しています。

一方、スクリーン印刷用インキは、応用分野により使用されている粘度範囲が異なり、非常に広い範囲にわたっています。例えばグラフィック、加飾印刷の分野インキでは、溶剤を添加する前の状態で数Pa.S~30Pa.S程度であり、希釈後は、これより大幅に低い粘度になります。

エレクトロニクス分野では、薄い膜を印刷する積層セラミックコンデンサー（MLCC）では、数Pa.S程度、太陽電池のフィンガー電極印刷では、70Pa.S程度、タッチパネルの高精電極印刷では、70~100Pa.S程度の粘度の銀ペーストが使用されています。

セラミック部品であるチップ抵抗やグリーンシート基板に印刷する低温同時焼成基板（LTCC）の用途では、30~70Pa.S程度の導電ペーストや抵抗ペーストが使用されています。ちなみに、筆者は、特にダレを抑制する必要がある高精細印刷やグラデーションなどの高品質印刷では100~200Pa.Sのかたい（高粘弾性）インクを推奨しています。

スクリーン印刷で、このように非常に広い粘度範囲での印刷が可能なのは、使用するスクリーンメッシュとスキージの働きによりインキの流動を制御することができるためです。つまり、粘度が低く流動性が高いインキは、吐出を抑制するために開口率が小さいメッシュを使用し、速いスキージ速度で印刷します。粘度が高いペースト状のインキは、比較的遅いスキージ速度で印刷をすることで適正化することができます。

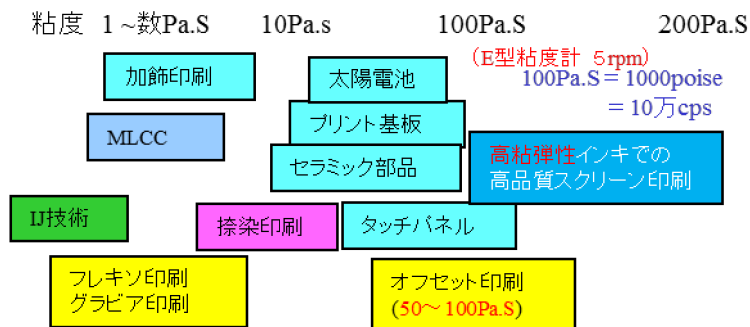


図52 各種印刷のインキの粘度範囲

インキやペーストは通常、顔料や金属粒子である無機粉末であるフィラー（充填物）を、ビヒクル（ワニス）と呼ばれる樹脂を溶剤で溶かしたバインダーに分散します。分散とは、図53のようにフィラーである粒子が一粒、一粒独立してバインダーの中に存在した状態を指すものであり、単なる混合とは区別した用語です。実際の印刷用インキは、濃厚分散系スラリーともいえるものであり、ビヒクルに対するフィラー（顔料）の含有率が非常に高く、フィラー同士が非常に近接した状態で分散されています。

加飾用のインキは、着色用の顔料をワニスに分散したものであり、エレクトロニクス用の銀ペーストは銀粉末をワニスに高濃度に分散したものです。銀ペーストでは、導電性を向上させるため銀粉末の含有量を樹脂成分に対して、できるだけ高くすることが必要となり、高い分散技術が要求されます。高濃度にフィラーを分散させるために分散剤として界面活性剤を多量に添加することがありますが、分散が不安定であると印刷時に分散剤がパターン外に滲み出すことがあります。この場合は、三本ロールミルやビーズミルでの再分散処理が必要です。

印刷されたインキは、含有されている溶剤成分が、乾燥工程で除去され、顔料（フィラー）が均一に分散された樹脂成分が基材上に緻密に堆積します。通常、溶剤型のインキは、印刷後の乾燥膜厚は、印刷後のウェット時の膜厚が50～40%程度に減量します。インキに希釈溶剤を添加した場合は、固形分量比率が下がるため、乾燥膜厚はさらに減ります。10%の希釈溶剤の添加の場合、乾燥後の印刷膜厚も、約10%減ることが類推できます。なお、希釈後の乾燥膜厚が類推した膜厚よりも薄くなる場合は、初期のインキの分散状態が不安定で、希釈時の攪拌により分散が適正化した事による現象であると考えられます。

ところで、スクリーン印刷の各分野で使用されているインキは、技術的な面からみて本当に適正な粘度範囲なののでしょうか。なぜ、それぞれの分野でこんなに粘度範囲が異なっているのでしょうか。使用される粘度はこれまでどのように決定されてきたのでしょうか。

実は、それぞれの分野で使用されているインキの粘度は、これまでのスクリーン印刷のそれぞれの歴史的な事情で異なっており、必ずしも技術的な面から高度に適正化されたものには無いと思われます。例えば、プリント基板用のエッチングレジストインキでは、1980年代にポリエステル300メッシュで200 μ m以下のファインラインを印刷するために、版離れのよいインキを低い印圧で高速印刷することが求められ、比較的低粘度のまま現在に至っています。セラミック基板での50 μ m以下のファインライン印刷の分野では、ステンレス高精細メッシュを使用する必要性から、メッシュ強度が低下したため、寸法精度の課題が大きくなり、比較的低粘度が低いペーストが使用されています。

WEB 篠崎 俊介ら (株)DNPファインケミカル

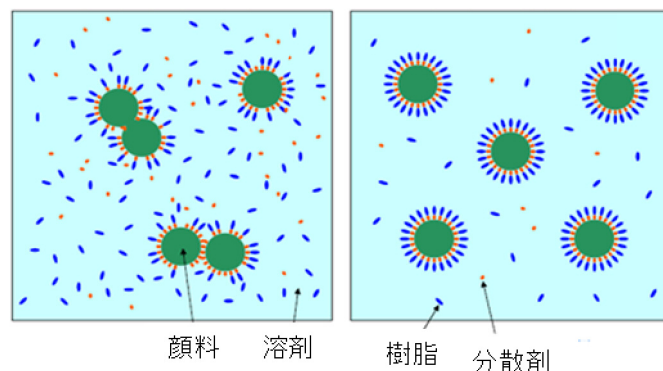


図53顔料が凝集状態(左)と分散状態(右)のイメージ図

また、グラフィック、加飾印刷の分野では、今でも、新品のインキに10~30%程度の遅乾性溶剤を添加して使用することが一般的であるとされています。一方、電子業界のペーストでは、どうしても溶剤添加が必要な時は、多くても数%、それも0.2%刻みで調整します。

希釈後の加飾インキ粘度は、数Pa.S程度と非常に低くなり、基材の上での流動が大きくなり、印刷解像性を大きく損なっています。私が以前、「もし新品のインキに溶剤を入れなかったらどうなりますか?」と、加飾印刷業界の方に質問した際の答えは、「インキが乾いて印刷できなくなります」との事でした。「それなら、なぜ最初からインキの中に遅乾性溶剤が入っていないのですか」と聞き返しましたが明確な答えはありませんでした。おそらく長い歴史の中でインキメーカーは、これまでの顧客の個別の要求に対応して、それぞれが、大きな不満を持たない対策として、既存の乾燥が速いインキに遅乾性溶剤を大量に加えるという提案をしたのだと思います。

特に、シリンダー印刷機での高速印刷の場合、短い乾燥時間が求められるため、比較的乾燥が速いインキが有用であったとも考えられます。

古くからスクリーン印刷では、「版上では乾かず、印刷後は速く乾く」ことが理想であるといわれてきたようですが、それはUVインキで実現しています。大気中での一定の蒸発速度(蒸気圧)を有する有機溶剤を含有するインキでは、これらを完全に両立することは不可能です。高品質スクリーン印刷を目指した場合、どちらを優先するかを考えれば、印刷安定性である「版上では乾かず」が重要であることは明白です。なぜなら、「印刷後は速く乾く」ことは、適切な乾燥工程を入れることで対応可能だからです。

これまで、多くのインキの技術者、営業担当は、印刷は、顧客が行うものであり、個々の顧客の要求に合わせて改良するのが顧客サービスであると考えていたのではないかと思います。もしそれぞれの顧客が適正でないスクリーン版で正しくない印刷理論で、安定性が低い印刷を行っていたとしたら、インキメーカーはその間違った要求に応えようと努力してきたことになります。しかしながら、このような状況が長く続くと、スクリーン印刷は、管理が困難なプロセスとして、ほかの印刷に対して競争力を低下させることになりかねないと思われれます。

筆者は、これまで各分野のインキ、ペースト技術者とその印刷性能のことで意見交換する機会が多々ありました。その際、必ず彼らに「印刷テクニックで何とか良い結果を得たいと思っははいけません」と言っています。そして「インキ、ペーストメーカーが目指すべきは、正しいスクリーン版で適正な印刷した際に安定して高品質な結果が得られるインキです。」そして、「その適正印刷の範囲も比較的広い、いい意味で『鈍感』なインキを目指してください。」と提言してきました。

事実、このような考え方のインキでなければスクリーン印刷の「技術限界」を目指すことはできないと思います。そして、「インキ、ペースト技術者自らが適正な版を使用し、適正条件で印刷を行い、インキの印刷性を評価すべきです」と言い添えます。正しい理論で、スクリーン印刷の前提条件を適正化すれば、印刷性能が高いインキは誰が印刷しても良好な結果が出るはずで、版とインキの相性という言葉は使うべきではありません。「相性」という言葉は、技術の本質を探究することの妨げになります。

印刷とは、版の品質にインキの印刷性能が追隨して技術が向上するものです。スクリーン版の主要材料は、メッシュと乳剤です。メッシュは、第一に良好な版離れをさせるための十分な高い強度が必要です。強度が弱いナイロンより、強度が高いポリエステルを使用するほうが有利です。それでも版離れが悪い場合は、さらに強度が高い合成繊維やステンレスや超高強度メッシュを使用することができます。インキの印刷解像性を高めるためには、分散安定性が高く、印刷中の粘度変化が少なく、基材の表面エネルギー（濡れ性）の影響を受けにくい（高粘弾性）のインキが有利です。

現在、使用しているインキ、ペーストの揮発性、基材との濡れ性や粘度、弾性は、スクリーン印刷のメカニズム、原理から考えて本当に適正であるかどうかをそろそろ考え直す時期に来ているのだと思います。インキ、ペーストの印刷性能に関しては、次号でもう少し詳しく説明したいと思います。

1.4 スクリーン印刷の最大の課題を克服する超高強度メッシュ

通常、スクリーン版はメッシュ数が大きくなるほど線径が細くなりますので、同一の線材強度であればメッシュ強度は低下します。図54は、開口率が40%でメッシュ数が200/インチと400/インチの場合のワイヤ断面面積のイメージ図です。メッシュ数が2倍になるとワイヤの数は2倍になりますが直径が半分になるため一本当たり断面面積は1/4になります。このため、メッシュの単位幅あたりの総断面面積は、 $2 \times 1/4 = 1/2$ となることが分かります。ワイヤの単位断面面積当たりの強度が一定とすると、スクリーンメッシュの強度はメッシュ数に反比例して低下することになります。これは、ステンレスメッシュもポリエステルメッシュも同じです。このことから、印刷解像性向上のために安易にスクリーンの高メッシュ化を行うことは、メッシュ強度低下のリスクを伴うことを理解すべきです。

200メッシュのワイヤの断面



400メッシュのワイヤの断面



図54 ワイヤの断面のイメージ図

一方、印刷解像性を向上できるかたい（粘弾性が高い）インキほど、「版離れ」のためのスクリーン版の大きな反発力が必要となります。つまり、スクリーン印刷の最大の課題とは、高メッシュスクリーン版での「版離れ」不具合と、大きなクリアランスでの寸法精度の低下の克服策であると言えます。

当然のことながら、スクリーンメッシュ自体の強度を高くするためには、強度が高い線材（ワイヤ）を使用することが必要です。ステンレス線材は、同じ材質でも伸線工程での熱処理条件を変えることで、強度を高くすることができます。しかしながら、強度が高い線材は硬く曲がりにくいため、製網時の曲率を大きくすることができません。

図55のように超高強度線材は、 $20\mu\text{m}\phi$ の直径で290メッシュでしか織ることができず、開口率は60%と大きくなってしまいます。開口率が高いとインキが吐出過多となるため、特にファインライン印刷では、開口率は40%前後で、高いメッシュ数のスクリーンが必要とされてきました。つまり、高粘弾性インキのスクリーン印刷に於いて、印刷解像性と印刷寸法精度を両立するための課題と解決する最も良い方法は、超高強度線材を開口率40%前後で織ることです。

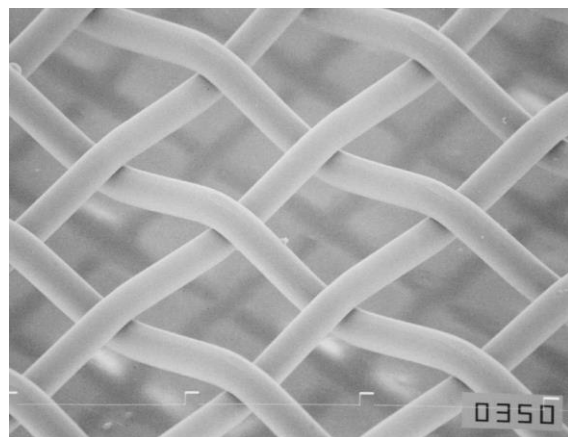


図55 開口率60%メッシュの外観

この命題に日本の大手ステンレスメッシュメーカーが挑戦し、2009年に完成した超高強度メッシュが開口率39%、線径 $19\mu\text{m}$ の500メッシュです。現在、この超高強度500メッシュの他に $25\mu\text{m}\phi$ 線径の360メッシュ、 $14\mu\text{m}\phi$ 線径の650メッシュが製品化されています。

通常、スクリーン印刷用のメッシュの織り方は、タテ糸とヨコ糸が1本ずつ交互に織られている「平織り」が一般的でした。これに対して超高強度500メッシュは、2本ずつ織っている「綾織り」構造です。図56は、このメッシュをカレンダー（圧延）加工し厚さを $25\mu\text{m}$ としたものです。

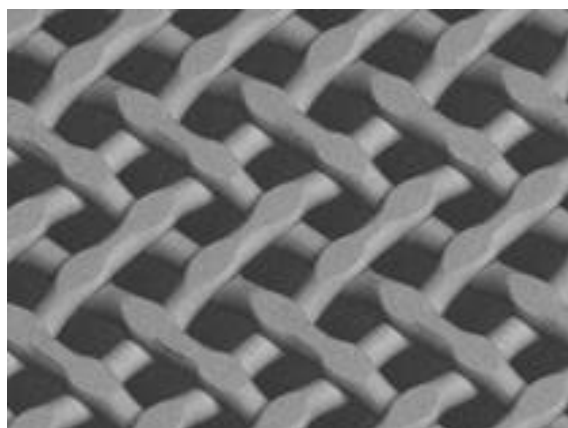


図56 開口率39%綾織メッシュの外観

「綾織り」は、線材の曲率が小さいまま高密度で織ることができるもので、これまで、おもにフィルターの用途で利用されています。「綾織り」は、印刷時に斜め方向に変形しやすいという欠点があり、これまで、高品質なスクリーン印刷用としては、あまり利用されることがありませんでした。

この欠点を解消するために、超高強度500メッシュのコンビネーション版は、外紗を引っ張ることで、内紗のひずみを除去できる前述した「ダイレクトコンビ法」で製作します。

また、この500メッシュは、メッシュの強度が標準の325メッシュの約2倍と十分大きいため、外紗も従来のポリエステル225メッシュより十分に強度が高い線径 $65\mu\text{m}\phi$ のステンレス150メッシュを使用しています。つまり、内紗は高精細で伸びが少ない超高強度ステンレスメッシュ、外紗は強度が高いが伸びが大きい標準線材の低メッシュスクリーンを使用した「SS（ステンレス—ステンレス）コンビ構造」です。（連載第6回既述）

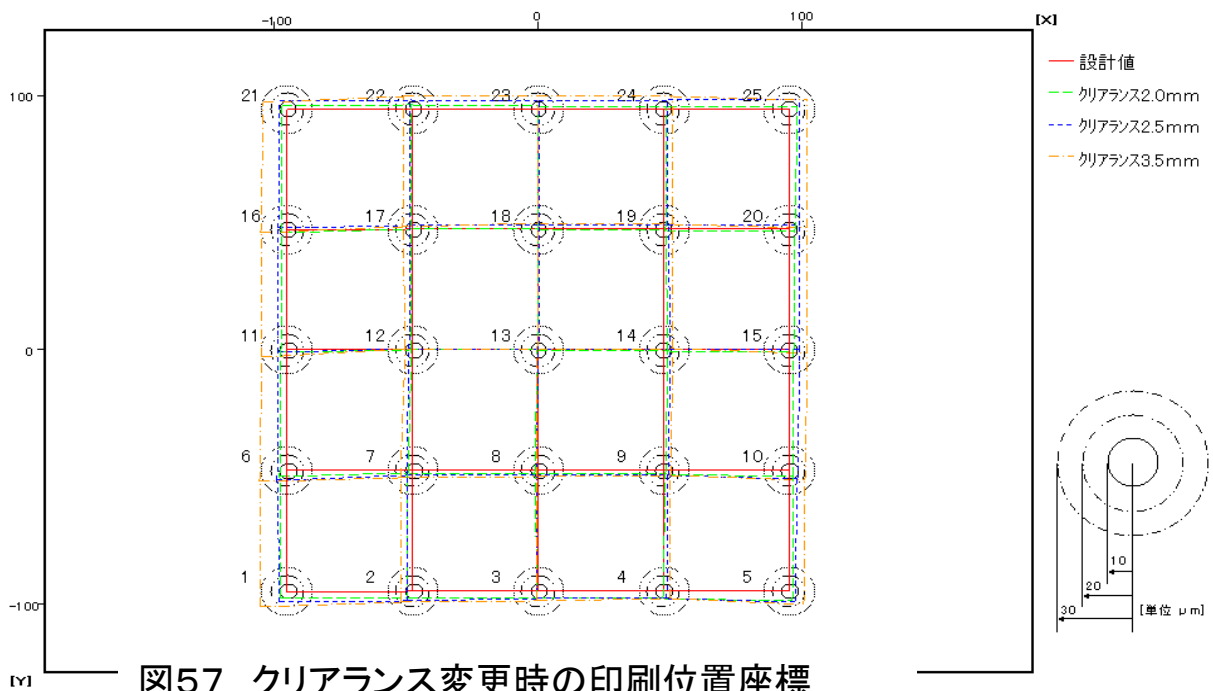


図57 クリアランス変更時の印刷位置座標

図57は、超高強度ステンレス線材の500メッシュスクリーン版で印刷したパターンの位置座標です。スクリーン枠サイズは550mm×550mmで画像エリア200×200mm、クリアランスを2mm、2.5mm、さらに標準の2.2倍である3.5mmに設定して、それぞれ100回の印刷を行い、その際の印刷パターンの位置を測定しました。クリアランスの増大に従い、印刷パターンはX,Y方向に拡大していますが、印刷パターンの斜めの変形は全くなく、矩形を保ち均一に拡大しています。つまり、印刷による塑性変形である版ひずみはありません。さらに、印刷後のスクリーン版を測長した結果は、完全に元の寸法にもどりました。また、この500メッシュのスクリーン版は、クリアランスを3.5mmに設定して実際に20000回の印刷を行った場合でも全く寸法精度が低下しない事が確認されています。

図58はガラス基板上に200PaSの高粘弾性銀ペーストを超高強度500メッシュのスクリーン版でクリアランス量を標準の2.2倍に設定して印刷した写真です。80 μ mのファインラインとベタ印刷が混在したパターンであり、非常に版離れが困難なパターン設計であっても、高い解像性で安定して印刷できていることがわかります。

なお、この超高強度スクリーンメッシュは、版のテンションを0.70mm程度まで高くすることで、シリンダープレス印刷機での低クリアランス高速高精細印刷にも適応できます。

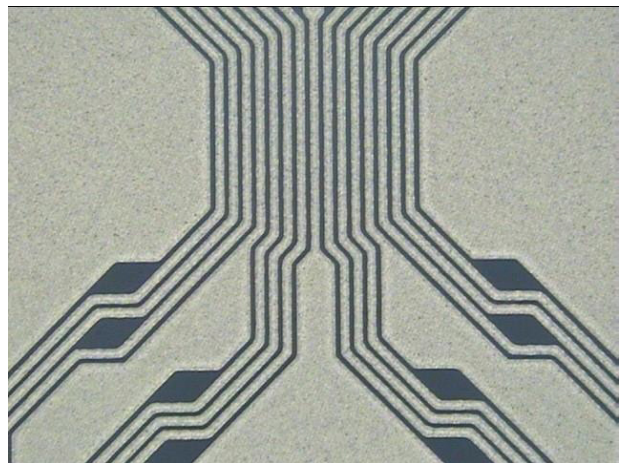


図58 ベタとファインの混在印刷(白画像)

スクリーンメッシュの強度とインキのかたさ

一般的にインキがかたくなる（粘弾性が高くなる）と、「版離れ」性が低下します。「版離れ」とは、基材に密着したインキが版開口部のメッシュに残る一定量のインキと均一に分断されるメカニズムと考えることができます。よくインキの版抜けという言葉を使っていますが、インキは版の乳剤開口部の壁面やメッシュの表面に一定量残る物であり、100%抜け落ちることはありません。より多くのインクが抜け落ちることを期待して、粘度を下げると印刷解像性が低下することになります。

粘弾性が高く印刷性能が高いインキは、版離れの際にメッシュから分離するための一定の時間が必要となります。つまり、版離れにもインキ粘弾性変化の時間依存性が影響しています。このようなインキを良好に版離れさせるためには、スクリーン版の十分に大きな反発力が必要となります。当然のことながら大きな反発力を得るためにはスクリーンメッシュの十分な強度が必要です。逆に言えば、強度が不十分なメッシュを高いテンションで紗張りしたり、大きなクリアランスで印刷するとメッシュがひずみ、スクリーン版の変形の不具合を引き起こします。

なお、版離れ性は、同じインキとスクリーン版を使用しても版枠に対するパターンの大きさにより大きく変わります。メッシュ強度が十分でない場合には、パターンサイズをスクリーン枠内寸の30%程度に小さくすることをお勧めします。

スクリーンメッシュの強度とインキの選択肢

スクリーン印刷は、非常に多くの分野で利用されていますが、使用されているインキのかたさ（粘弾性）やスクリーンメッシュ仕様が適正であるとは限りません。インキは、顧客の好みに合わせ、使用しているスクリーンメッシュを前提として粘度が決定されています。しかしながら前提であるスクリーンメッシュは、なぜそれが前提であるか明確でないケースがほとんどです。最初に誰かが行ってうまくいった版仕様を皆が後追いしているだけで、正しく適正化している応用例は非常に限られているといえます。

筆者が経験したスクリーン印刷で版とインキを高度に適正化した「技術限界」に近い量産をしている例として、図59のような積層セラミックコンデンサー（MLCC）の内部電極印刷について紹介します。

MLCCは、セラミックのグリーンシート上に170×600 μm 程度（0603部品）の矩形のパターンの集合体を非常に粘度が低いニッケルペーストで、ロール to ロール印刷するものです。印刷タクトは、2~3秒で、スクリーン版の寿命は20万回を超えています。

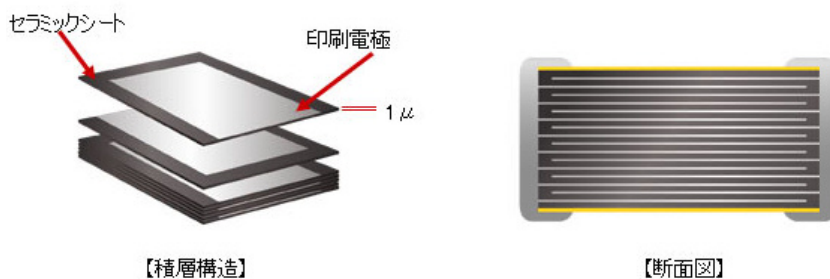


図59 MLCC 構造イメージ図

(株)マイクロ・テック WEB SITE 参照

印刷した 200mm×200mm 程度のグリーンシートを後工程で数百層積層することで高容量のコンデンサーを作ります。この印刷は、乾燥膜厚 1 μm 以下の薄層印刷の為にインキの固形分量を極端に少なくしておりインキ粘度が数 Pa.S 程度で版離れが容易である特長があります。このため、強度が十分でない通常の 500、640 メッシュのスクリーン版でも適正なクリアランス量での印刷が可能になっています。

しかしながら、他の多くのスクリーン印刷の分野、特に高い印刷解像性が求められる分野ではインキと版の適正化が不十分である場合が多いようです。この理由は、最初に十分な強度でないスクリーンメッシュを選択したままプロセスを構築し、それがスクリーン印刷の限界であると固定化した先入観にとらわれていたことが原因であると思われる。また、スクリーン印刷の正しい理論が無かったために、積極的に適正化を試みるリスクをとれなかったためでもあると考えられます。

スクリーン印刷の基本は、良好な「版離れ」の実現です。インキのかたさ（粘弾性）、印刷面積、パターンの内容から考え、十分な強度のメッシュを選択することがプロセス適正化の第一歩です。現在、使用できるスクリーンメッシュには、ポリエステルメッシュの他にもポリアリレート合繊、ステンレス、超高強度ステンレスなどの選択肢があります。

最初に、良好な「版離れ」を実現できる十分な強度のスクリーンメッシュを選択することで、インキのかたさ（粘弾性）の上限を拡げる事が出来、目的に合わせたインキの正しい選択が可能となり、プロセスの適正化が容易になります。

(次号につづく)

“あったらいいな”を実現

スクリーン印刷

立体加飾（塗装、スパッタリング、レーザーマーカ、インクジェット、浸透印刷、PAD印刷など）

樹脂加工（カッティングマシン、NCルーター、パネルソー、圧空成形、レーザーカッター、樹脂注入機など）



□戸田本社

〒335-0012 埼玉県戸田市中町2-17-11
Tel.048-445-9836 Fax.048-444-1043

□八潮工場（営業本部・製造本部）

〒340-0835 埼玉県八潮市浮塚800
Tel.048-995-2171 Fax.048-999-7681

□八潮第二工場

〒340-0835 埼玉県八潮市浮塚647-1

□トラクタセンター

〒335-0027 埼玉県戸田市氷川町2-6-6
Tel.048-452-8490 Fax.048-452-8494

□名古屋営業所

〒450-0002 名古屋市中村区名駅3-13-26交通ビル8F
Tel.052-586-0166 Fax.052-586-8770

<スクリーン印刷設備一覧>

桜井グラフィックシステムズ社製自動印刷機 10台
（全台UV乾燥機+リーフ式乾燥機付）

MS-102SD 3台

MS-80A 6台

MS-72A 1台

東海精機製CCDカメラ搭載全自動印刷機-1台

（コンベア式遠赤外線照射装置+UV乾燥機付）

東海精機製SSP-1200AN-2 3台

東海精機製SSP-1500A 1台

（バッチ炉+UV乾燥機付）

その他多数の印刷や加工設備あり

<http://www.housei-sangyou.co.jp>