

はじめに

スクリーン印刷は、感光性乳剤でパターンニングされたスクリーン(メッシュ)の開口部からペースト(インキ)を押し出し、基板に転写させる印刷方法で、量産性に優れ、ランニングコストも安価である利点がある。過去、スクリーン印刷により、コップやボトルなどへ装飾していたが、印刷技術の発展に伴い、自動車ガラスへの転用や、電子部品関連への応用がなされるようになった。原理的には単純とされるスクリーン印刷であるが、スクリーン印刷は、印刷機器、製版技術、ペースト技術、印刷技術のそれぞれの条件が合致した時に初めて目的の印刷が行える。このようにスクリーン印刷は非常に複合的な要因から成り立っているため一時期は「職人技」とされ、特に電子部品関連に於いては衰退傾向にあった。その後、CCD、CMOS等を用いた印刷位置合わせの向上やセッティングの自動化による印刷機の改良、新素材を追求した製版技術の発達による印刷版の長寿命化や寸法安定性の改善等でスクリーン印刷法が見直されている。

印刷に使用される印刷ペースト(インキ)は、複合材料からなり、印刷プロセスや、最終製品の物性に合わせ込む形で開発されるため、ペースト設計は一筋縄では行かない複合的要因を含む。本書では、複合的要因を多く含む焼成タイプのペーストを主体に、この複合的要因を細かく分析し、ペースト設計の方向性を解説する。

1. ペーストの種類と基本組成

スクリーン印刷用ペーストの種類は大まかに ●熱乾燥・硬化タイプ、●UV硬化タイプ、●焼成タイプ の3種類に分かれている。一般的なスクリーン印刷用ペーストの基本組成は、印刷、転写、密着させるために必要なビヒクル、印刷、乾燥後(硬化後)、被膜化させる樹脂分、焼成により目的の物性を発現させる固形分とからなるが、熱乾燥・硬化、UV硬化タイプでは印刷、転写、密着させる材料と被膜化させる材料が同一である場合もある。熱乾燥・硬化タイプのペーストは熱乾燥性あるいは、熱硬化性樹脂と主要粉末材料(セラミックス、金属、充填剤等)と希釈剤、添加剤とから、UV硬化タイプのペーストは一般的UV硬化型樹脂あるいはレジスト型UV硬化樹脂と主要粉末材料(セラミックス、金属、充填剤等)と希釈剤、添加剤とから、焼成タイプは焼成型樹脂と溶剤、添加剤と主要粉末材料(ガラス、セラミックス、金属、充填剤等)から成る。各タイプの基本組成の詳細を表1に示す。

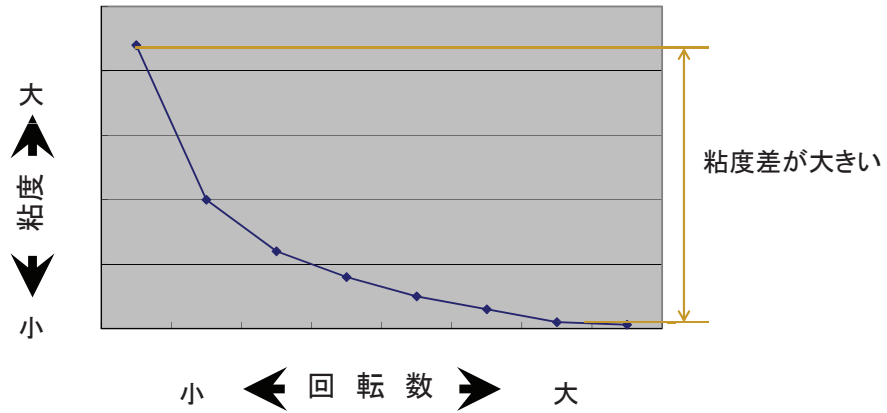


図3 チクソトロピック流体の流動特性モデル

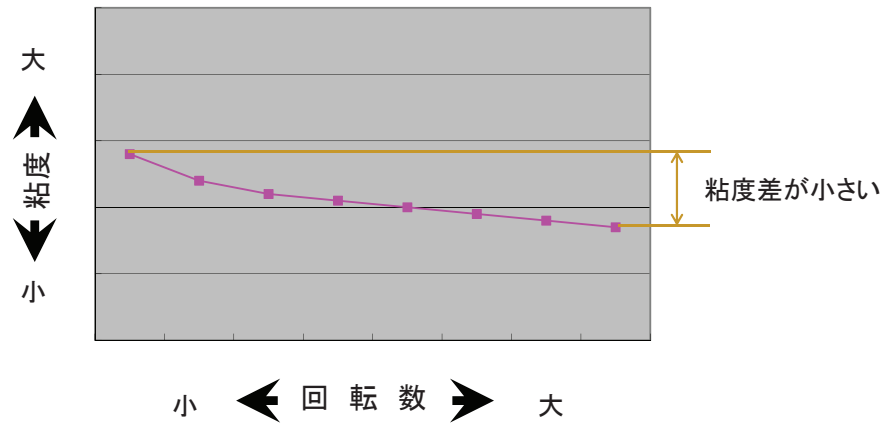


図4 ニュートン流体の流動特性モデル

表2 流動特性と印刷適合性

	ニュートン流体	チクソトロピック流体
適合	<ul style="list-style-type: none"> レベリング性 表面平滑性 流れ込み性 膜の均一性 	<ul style="list-style-type: none"> 高速印刷性 連続印刷性 ファインパターン性 版離れ性 形状保持性 高分散性
不適合	<ul style="list-style-type: none"> 高速印刷性 連続印刷性 ファインパターン性 版離れ性 形状保持性 ニジミ 	<ul style="list-style-type: none"> レベリング性 表面平滑性 流れ込み性 膜の均一性 カスレ

2.1.2 チクソトロピック流体の制御

スクリーン印刷時、ペーストは常にスキージ、スクレッパー、スクリーン版と接触している。印刷はスクリーン版上をスキージが圧をかけながら移動しペーストを押し出して基板へ転写させていく。この時重要となる要素はペーストと接しているスキージ、スクリーン版との界面でペーストが流動しているか否かである。これはローリングと呼ばれ、流動していなければ転写は出来ない。チクソトロピック性の発現が強すぎる場合、ペーストと接しているスキージ、スクリーン版の界面で構造破壊によるスリップ現象が発生し流動が阻害されるため印刷不具合が起こる。これに対処するには A：ビヒクルの処方見直し、B：ビヒクルと主要粉末材料の配合比率変化、C：主要粉末材料の見直し等を行う。具体的には A：チクソトロピック性の発現が弱い溶剤の選定、B：ビヒクル配合比率の増加、C：チクソ性を付与している粉末材料の削減等である。また、ペーストを調整できない場合、チクソトロピック流体は高シェア時に構造破壊を起こすため構造破壊を起こさないように印刷を行えばよい。具体的には、ペーストがスクリーン版上でローリングするまで、スキージの移動速度、すなわち印刷速度を下げることで対応が可能である。但し、印刷速度が遅すぎるとスキージがスクリーン版を移動するときのスリップ痕が転写面に反映されてしまったり、作業効率が極端に低下し、スクリーン印刷のメリットが阻害されてしまうことを考慮しなければならない。

2.2 乾燥特性

乾燥性はペースト中の溶剤成分の特性と固形分(主要粉末材料)の比表面積に依存する。有機溶剤系ペーストの場合、有機溶剤の種類により沸点、蒸気圧が異なるため、ペーストの乾燥性が変化する。スクリーン印刷の場合、刷版上でペーストが乾燥、付着するのを防止するため主として高沸点溶剤が使用される。一般的ペーストで使用される溶剤については 4.2 溶剤で説明することとする。一方、ペーストに充填される主要粉末材料は粉末粒子の比表面積が大きくなればなるほど乾燥性は速くなる。粉末の比表面積は吸油量の測定や BET 法で測定でき、これを目安とするのが一般的である。ペーストは、印刷後乾燥する雰囲気温度が上昇すればそれに伴い粘度が低下する。これは塗工後のプロセスの中でも重要な要因であり、この現象を利用して乾燥時に表面平滑性を上げることが可能である。例えば通常より沸点の高い溶剤を微量添加することで乾燥中に表面平滑性を向上させたりすることが出来る。通常、ペーストは乾燥時、表面から乾燥して行き、その時点で表面平滑性が決定されるが、高沸点溶剤を微量添加することにより、乾燥膜内部から染み出す高沸点溶剤がこの表面乾燥を防止し表面平滑性を改善させる。この様に、ペーストの乾燥性は溶剤の知見と主要粉末材料の知

表 4 熱特性(燃焼性)

樹脂系統	樹脂種類	焼成温度(℃)	
		O ₂	N ₂
水系・アルコール系樹脂	PVA(ポリビニルアルコール)	550～	850～
	PVP(ポリビニルピロリドン)	650～	770～
	PVB(ポリビニルブチラール水系グレード)	630～	800～
	水系セルロース(MC, HPC, HPMC)	540～	850～
	水系アクリル(エマルジョン)	530～	660～
	PEO(ポリエチレンオキサイド)	400～	480～
有機溶剤系樹脂	エチルセルロース	470～	800～
	ニトロセルロース	600～	670～
	アクリル	350～	400～
	PVB(ポリビニルブチラール溶剤系グレード)	630～	800～

4.1.2 分子量と添加量

樹脂の分子量と添加量はペースト(ビヒクル)の粘度の発現に大きく影響を与えるが、印刷膜厚にも影響を及ぼす。分子量が低い場合、粘度の発現は弱いため添加量を増やすことができる。樹脂の添加量が増えることで印刷膜厚は増大する方向になるが、焼成タイプのペーストの場合、焼成により燃焼し消失する樹脂の量が増えることになるわけで、その分焼成時の収縮が大きくなり最終的な膜厚は減少する傾向となる。これと逆に、分子量が高い場合は粘度の発現が強いため添加量が少なくなり、印刷膜厚も減少する傾向がある。焼成タイプのペーストの場合、焼成により燃焼し消失する樹脂量が減少することになるわけで、焼成時の収縮率が小さくなり最終的な膜厚の減少は少なくなる傾向となる。これらのことを考慮し、樹脂の分子量と添加量を相互調整することで印刷塗膜の膜厚調整を行い、焼成用途においては焼成後膜厚の調整を行うことがペーストを設計するための重要な要素となる。

4.1.3 製膜性

ペースト樹脂は印刷対象となる各種基板や各種基材に機能性を付与する。この機能性は印刷、乾燥・硬化後に形成された塗膜の基本物性に加え、ペースト中に添加・分散されている固形分物質の特性により付与されている。各種基板、基材との密着性、塗膜強度等の特性は樹脂本来の性質に影響されるが、分散させる主要粉末材料の種類、比重、添加量、粒径等によりそれら特性は大きく左右される。例えば、添加される主要粉末材料の量が多くなればなるほど、また、比重が軽ければ軽いほど樹脂本来の特性を阻害して密着力が低下したり柔軟

として、PZT(チタン酸ジルコン酸鉛)等圧電素子として使用されたりもしている。焼成タイプのペースト用セラミックス材料の場合、その粒子径と焼成温度によっては焼結作用で凝集し基材への密着力が得られる場合もあるが、基本的には密着力が弱くガラス粉末やフッ化アルカリ土類等の結着材を微量添加する場合がある。

4.4.3 その他粉末材料

その他粉末材料としては充填材や顔料等がある。充填材はフィラーと呼ばれ、主要粉末材料の微調整やペースト流動特性の微調整が主な役目となる。主要粉末材料の微調整といっても、セラミックス特性(誘電率等)の微調整、ガラス融着温度の微調整、基材との膨張係数微の微調整、導電率の微調整等様々である。顔料はその名の通りペーストや、最終被膜に着色させるためのものであり、一般的には無機顔料が使用されている。熱乾燥・硬化タイプやUV硬化タイプの場合、樹脂そのものに着色するため、有機系、無機系の染料が使用される場合も多い。無機顔料は有機顔料と比較して発色性が弱いが耐熱性、耐候性が強いのが利点である。一般的には金属酸化物固溶体が使用されている。

5. ペースト設計における組成材料とペースト特性の関係

この項から、ペーストを設計する上で重要となる要点を、ペースト構成材料の観点からペースト特性に与える影響と関連付けて解説する。各ペースト構成材料がペースト特性に与える影響としては「2. ペーストに求められる特性」の項でペースト特性の観点から、「4. ペーストに使用される材料の性質」の項で各構成材料観点から一部記述したが、ここでは各構成材料の観点からの詳細解説となる。ペーストの特性を決定付ける各構成材料は主として、ビヒクル、主要粉末材料(固形物)からなるのでこの二点に絞って解説する。

5.1 ビヒクル

本来、ビヒクルはペーストにどのような流動性を付与したいか、乾燥速度をどのようにしたいか、塗布後の膜厚や焼成後の膜厚をどのようにしたいか、という要因を考慮し設計される。しかし、ビヒクルの設計において、熱乾燥・硬化タイプやUV硬化タイプのペーストで、主体となる樹脂が液状タイプの樹脂である場合、その樹脂がペーストの特性を決定付けてしまう。このため、液状樹脂が主体となるペーストの場合、希釈溶剤の調整、変更や分子量の調整、変更等非常に限られた範囲でのビヒクル設計となる。一方、焼成タイプの場合ビヒクル

と基板との膨張係数差が大きければ圧縮或いは引っ張り応力がかかり基板が反ってしまい、酷い時には割れが発生する。これらを考慮しそれぞれにマッチングした結着材がポイントとなる。

B. ガラスペースト

ガラスペーストには装飾用、電子用、光学用、封止用等の種類がある。要求特性はそれぞれの用途により異なり、一例を示すと装飾用では発色性、電子用は絶縁性、誘電特性、光学用は光透過率、屈折率、封止用はガスバリア性等である。これらのペーストは主要粉末材料そのものが結着成分であるため導体ペーストと同様基板との膨張係数差に注意が必要である。また、これらのペーストは基本的に表面平滑性が必要であるためペースト設計を行う際はなるべくチクソトロピック性の低いペースト設計を行う方が良い。

7. ペーストと高精細印刷の関連性

スクリーン印刷は印刷条件、スクリーン条件(製版条件)、ペースト特性の3つの条件が合致した時、最適な印刷が行える。さらに細かく条件を分けると印刷条件はスキージ条件、スクレッパー条件、クリアランス条件となり、製版条件は紗の材質、紗張角、テンション、乳剤となる。基本的にペーストはこれら条件に合わせ込む形で開発されるが、ほとんどの場合、印刷条件や製版条件で微調整される。ペーストの印刷性に及ぼす代表的な要因を表 10 に示す。

表 10 ペースト印刷性に与える要因

・ スキージラバーの形状	・ 紗張り材質
・ スキージラバーの硬度	・ 紗の編み方
・ スキージ角度	・ 紗圧
・ 印刷速度	・ 乳剤
・ 印刷圧	・ パターン精度
・ スクレッパー速度	・ クリアランス
・ スクレッパー圧	・ 印刷方向
・ スクレッパー角度	・ ペーストレオロジー
・ 紗張り角度	・ 版離れ