解説

色材, 74 [3], 129-135 (2001)

環境対応型塗料最近の動向

中山 雍晴*

1. はじめに

性能アップを至上命令としていた塗料に、ずいぶん昔に無公害が加わり、さらに省エネルギー・環境対応・リサイクルが追加されてからでもかなりの時が経過している。その間、無公害が中心であった時代の特定の問題に対する個々の対応が、より総括的な対応に変化しつつある様子をまとめた一文は、「新しい環境対応型塗料」と題して一昨年色材協会誌に掲載されている¹⁾。

今日ではこの傾向はさらに進み、環境対応は単に塗料そのものにとどまらず、塗料にかかわるより広い範囲、すなわち塗料原料・製造工程・塗装工程・塗装対象物・生活空間の改善にまで及んでいる。本文では文献に示された結果をも含めその概容を解説する。

2. 塗料原料にかかわる環境対策（ペットボトルの再利用）

塗料原料に何を使用するかは、塗料を LCA の立場から論ずる時には非常に大きな問題である。とくにリサイクル原料の有効利用は循環型社会の構築に寄与する所が大きい。廃ペットボトルの再利用は、容器包装リサイクル法の施行にともない重要な緊急課題である。現在エコマーク商品類型には多くの繊維類型が登録されているが、僅かに含まれる不純物のために経済性が悪い。現在エコマークに登録された塗料類型はないが色々の試みが行われている。

2.1 PET 樹脂の再利用

廃ペットボトルを粉体塗料として利用するために、ペットボトルを細かく粉砕するプラントが稼動している²⁾。微粉砕することが困難で、粒子径が大きいために焼付温度が普通の粉体塗料にくらべ高い傾向にある。粉砕方法が色々検討されており、この技術が今後の発展の鍵になると思われる^{3,4,5)}。

PET 樹脂は金属との付着性がよい。コンクリート内の鉄芯を腐食から守るためのプラスチック保護樹脂としての適性をしるるために、リサイクル PET 樹脂の小粒子またはフレーク

を、8 分間 275°C に熱し金属板上で溶融して皮膜をつくり、その付着性を PVC およびバージン PET と比較した。その結果、リサイクル PET 樹脂は鉄芯保護プラスチックとして使用可能と結論された⁶⁾。

2.2 PET 樹脂成分の再利用

PET 樹脂を各成分にまで分解し、各原料単体で回収し再使用するのが理想であるが、その完全な分解には超臨界メタノールを使用する必要があるなど経済的な負担が大きい⁷⁾。

塗料業界で主として行われているのは、塗料用ポリエステル樹脂原料の一つとして利用する方法である。すなわち、廃ペットボトルを他のポリエステル原料と共に加熱溶融して、エステル交換反応により PET 樹脂成分を塗料用樹脂に組み込んで行く方法である。どの程度まで分解するのか、どの程度の量まで置換するのかは製品の性能により決められる。

PET 樹脂の多塩基酸構成成分であるテレフタル酸は、一般には塗料用原料としては使用されない。その理由は、テレフタル酸を原料として合成した樹脂は結晶性に優れるために、融点が高く溶剤に難溶性で塗料用樹脂としての適性に欠けるためである。PET 樹脂再使用の対称となるのは、汎用塗料に使用される酸化重合で硬化する長油アルキド樹脂⁸⁾、工業塗料に使用される中油から短油のアルキド樹脂⁹⁾およびポリエステル樹脂¹⁰⁾であるが、いずれの場合にもイソフタル酸あるいは無水フタル酸等の通常の塗料に使用する多塩基酸が混入される。

ポリエステル樹脂配合例を表-1 に示す¹⁰⁾。コントロールおよびモデルポリエステルの合成はテレフタル酸と多価アルコールを反応した後、イソフタル酸を加え 200~220°C で酸価 4 になるまで脱水縮合した。ポリエステル-2 は上記と同様にまず PET 樹脂と多価アルコールを反応させた後イソフタル酸を加えて縮合した。これに反してポリエステル-3 は多価アル

〔氏名〕 なかやま やすはる
〔現職〕 千葉工業大学非常勤講師
〔趣味〕 絵画, 囲碁
〔経歴〕 昭和 38 年京都大学工学部高分子化学科修士課程修了, 昭和 41 年ベルギー・ルーバン大学博士, 同年生産科学研究所入所, 昭和 43 年関西ペイント入社, 昭和 45 年京都大学工学博士, 平成 12 年現職

平成 13.1.5 受理
Recent Progress in the Paints for Environmental Protection
Yasuharu NAKAYAMA

* 千葉工業大学
千葉県習志野市津田沼 2-17-1 (〒275-0016)

表-1 検討ポリエステル組成

	モノマー組成 (モル)						備考
	PET	t-PA	i-PA	TMA	EG	NPG	
ポリエステル-1	—	0.48	0.45	0.05	0.48	0.48	コントロール
ポリエステル-2	0.48	—	0.45	0.05	—	0.48	アルコール分解あり
ポリエステル-3	0.48	—	0.45	0.05	—	0.48	アルコール分解なし
ポリエステル-4	—	0.48	0.45	0.05	0.71	0.24	モデルポリエステル
ポリエステル-5	—	0.48	0.45	0.05	0.24	0.71	モデルポリエステル
ポリエステル-6	—	0.93	—	—	—	0.95	モデルポリエステル

表-2 再生 PET 使用アルキド樹脂塗料の硬化性・塗膜性能・耐候性

	仕上がり 性	光沢 (グロス)		初期付着	指触乾燥 30 分	塗料粘度 (Ku 値)	60° グロスの変化		
		20°	60°				初期	250 時間	500 時間
現行	○	71.3	87.4	○	○	85	87.5	50.6	23.7
再生 PET	○	71.1	88.3	○	○	90	88.3	61.9	24.9

塗料配合：アルキド樹脂/顔料（チタン白）=100/120，乾燥条件：室温 24 時間，塗装方法：刷毛塗り，付着性測定：4 日乾燥後，耐候性試験：SSWOM

コールに PET 樹脂を溶解した後ただちにイソフタル酸を加えて合成した。これら PET 樹脂の NMR 解析・分子量測定・熱分析をした結果，ポリエステル-3 においても PET 樹脂由来の結合は分解されており，コントロールと同等の分子量分布とガラス転移点を持つことがわかった。

表-2 には無水フタル酸の 30% を PET 樹脂に変えた大豆油変性長油アルキド樹脂の性能を現行品との比較で示した⁸⁾。脂肪酸は現生している植物から製造されたものであって，石炭や石油等の化石資源からの誘導物ではないので，これを原料とする長油アルキド樹脂は環境対応性がよいといわれている。なかでも大豆油脂脂肪酸は食料油製造の過程で出てくる廃物利用であり，この塗料の環境対応性は非常に高いといえる。

エコマークの商品類型登録はまだないが，特許提出活動は活

発で，水性コーティング¹¹⁾，非水性コーティング¹²⁾，不飽和ポリエステル樹脂^{13~16)}など多くの公開特許が認められる。

3. 塗料製造にかかわる環境対策

塗料製造中に発生する洗い溶剤などからの溶剤回収は，普通反応釜での減圧蒸留で行われるために，排出操作を考慮すると 40% 程度までしか濃縮できない。残分の無駄と同時に，これを焼却処分することにより炭酸ガスが多量に発生する。

新しく開発された廃塗料リサイクル装置は¹⁷⁾，廃塗料を高温・低圧下で瞬時に固形分と溶剤分に連続的に分離して取り出せるので，溶剤分は 100% 回収できると同時に，廃塗料は固形分として取り出せ最終処分が簡単になる。

装置の概略を図-1 に示す。真空蒸留機は水平に設置され，

図-1 廃塗料リサイクル装置概略図

表-3 回収固形物の組成

項目	顔料・樹脂比率		油分 (%)	水溶出試験 (ppm)	
	顔料	樹脂		Cr(IV)	Pb
測定値	42	58	2.7	不検出	0.03~0.09
備考	チタン白, 炭カル等	アルキド, メラミン等	ソックスレー抽出 (n-ヘキサン)	(規制値) 1.5	(規制値) 0.3

内部には回転する翼があり、その両方共に 200℃までの加熱が可能である。注入された廃塗料は高温・低圧状態で瞬時に気体と固体分に分離される。固体分は回転翼により粉碎されながら排出口に運ばれる。溶剤の凝縮器と回収溶剤槽の間にはもう一つの溶剤槽があり連続排出が可能になっている。回収固形分の組成を表-3に示す。この固形分の廃棄には、中間処分としての焼却が不要で、産業廃棄物として管理型処分場での埋め立てが可能である。さらに将来的には塗料骨材として、あるいはさらに粉碎して顔料としての使用も可能になると考えられる。

4. 塗装工程にかかわる環境対策

塗装工程でオーバースプレーなどにより出る廃塗料からの溶剤回収は古くから行われており、欧米の雑誌には経済性の試算などの報告がある^{18,19)}。樹脂および顔料の再利用は、技術的な困難さから研究は遅れているが、チタン白を2ホウ化チタンに変えて取り出す基礎研究の報告がある²⁰⁾。

廃塗料が出ない事が理想的であり、塗着効率の高い粉体塗料・電着塗料の需要が増加していることは周知のとおりである。スプレー塗装においても塗装効率の高い近距離塗装^{21,22)}・低圧スプレー塗装²³⁾、水性塗料用静電ペル型塗装^{24,25)}などが研究されている。また、色換えにともなう無駄の少ない塗装機²²⁾も開発されている。水性スプレー塗装において、オーバースプレーした塗料を回収再使用方法^{26,27)}が各種開発されていることはさきの資料¹⁾にすでに記載した。

これら塗着効率の高い塗装設備は一般に高価であり、その事がこれら技術の普及を遅らせている一因になっている場合が多く、その改善も必要な技術である。電着塗装は図-2に示す工程を必要としている。この水洗部分を省略して工程を大幅に簡素化する研究がなされている²⁸⁾。水洗を省略することで予想される主な欠陥は溜まり部の仕上がり不良である。現行の塗料では塗材に傾きを与え落ちやすくする必要があるが、塗料の改善による解決の道も探索されている。

5. 塗料にかかわる環境対策

無公害塗料といわれる粉体塗料・電着塗料・水性塗料、省エネルギー塗料といわれる2液塗料・UV硬化塗料、さらには両方を目的とする粉体スラリー塗料・2液水性塗料・UV硬化水性塗料等いろいろの複合型塗料が作られている。また、粉体塗料の低温硬化²⁹⁾・高仕上がり性、電着塗料の低温³⁰⁾および常温硬化^{31~34)}・無加熱減量^{35,36)}・鉛フリー化³⁷⁾等のさらなる改良が行われている。これらの基本的な方向性に付いてはさきの資料¹⁾に記載したとおりであり今も変わっていない。この資料では環境対策にとくに大きく貢献すると思われる、水性塗料を中心に最近の研究例を追加して解説する。

5.1 常乾水性アルキド樹脂塗料

常乾アルキド樹脂塗料は汎用塗料として多く使用されている塗料である。原料面での経済性あるいはさきの項で述べたようなリサイクル原料の使用も考えると今後とも重要な塗料であり、欧米では硬化メカニズム^{38,39)}あるいは水性化する方法^{40,41)}さらには利用のための基礎研究⁴²⁾等広範囲の研究活動が活発である。

エマルションを安定化するためには、微細に分散する必要があることは良く知られているが⁴³⁾、それ以外に水中で劣化しないドライヤーの開発とドライヤーの非鉛化という二つの問題がある。最近多くの基礎的な研究結果が発表され、その作用機構が徐々に明らかに成りつつある。

アルキド樹脂の酸化重合による乾燥は、硬化時間の長いことが一つの欠点といわれているが、水性化した場合その時間はさらに約1.5倍になるといわれている⁴⁴⁾。この原因は、水の酸素溶解量が少ないこと、水中では励起状態が長く続かないこと、ドライヤーが水と反応して劣化しやすいことが原因といわれている。

水性塗料におけるドライヤーの存在場所とpHの関係は図-3に示すように高pHで樹脂に配位している⁴⁵⁾。図-4に示したpHと硬化速度の関係をみると、pHの高い場合に速く硬化している⁴⁶⁾。この図に示されている硬化速度の経時劣化は、50℃と高い貯蔵温度であることを考えると大きな変化ではない。しかし、顔料を入れると劣化はいちじるしく加速される。劣化の原因は樹脂の加水分解もあるが、コバルト金属が顔料表面にケミカル吸着し、その触媒作用により水酸化コバルトとなって沈殿するのが主たる原因と考えられる。この防止のために以前はドライヤーとコンプレックスをつくって安定化する1,10'-フェナ

図-2 電着塗装におけるライン構成図

図-3 Coドライヤー (cobalt 2-ethylhexanate) の存在相と pH の関係
固形分：50%，ドライヤー含量：樹脂量の 0.2%，
界面活性剤：なし

図-4 アルキドエマルジョンの硬化速度におよぼす pH および 50°C 貯蔵の影響

ンスロリンを添加した。着色することから最近では 2,2'-ピピリジルの添加が奨励されている⁴⁶⁾。

二次ドライヤーの鉛の代りになる金属の探索は非常に広範囲に行われ色々の試作配合が示されている。レアー金属にも効果はあるが、最終的には経済性からカルシウムやジルコニウムが選ばれるものと思われる。しかし、鉛の場合には多くの樹脂に共通した配合が見いだせるのに反して、鉛以外の金属を二次ドライヤーにした場合には共通の最適配合量は見いだせず、樹脂ごとに設定しなおす必要がある⁴⁷⁾。

5.2 水性常乾 2 液塗料

ラテックス塗料に対する 1 液常乾架橋システムの導入は、塗膜性能改善に一定の成功をもたらした^{48,49)}。しかし、溶剤型 2 液塗料と同じ性能を持つには、より密な架橋が必要であり 2 液型が必要になる。

5.2.1 イソシアネイト架橋水性塗料

イソシアネイト架橋 2 液工業用塗料は、日本ではあまり歓迎されてこなかったが、最近の省エネルギー指向と耐酸性雨性の必要からようやく本格的に始まろうとしている。一挙に水性 2 液塗料にまで進むことが出来れば環境に対する貢献は大きい。

図-5 アクリル樹脂とエポキシ樹脂の SP 値差と層分離性

イソシアネイト架橋水性塗料についての報告は多く、最近の研究は、被塗材の影響⁵⁰⁾あるいは添加剤効果⁵¹⁾など実用化に必要な項目、実際の使用にそった試験⁵²⁾、新しい重合方法を使った経済的な合成方法⁵³⁾に及んでいる。また、水との接触によるイソシアネイトの劣化を防ぐために、相転換直前の溶液に硬化剤を加え良く混合した後少量の水を加えて攪拌し、エマルジョン化する方法が報告されている⁵⁴⁾。この場合には、硬化剤の親水化処理は必要なく耐水性の改善も期待できる。しかし、依然として可使時間を明確にする手段は見つかっていない。

5.2.2 エポキシ架橋水性塗料

2 液エポキシ樹脂塗料は防錆下塗りを中心に広く使用されている。防錆塗料に必要な酸素透過阻止能に優れるエポキシ樹脂は、水性防錆塗料用としても必須の樹脂である。しかし、エポキシ樹脂は、樹脂が親油性であること、エポキシ基とカルボキシル基は反応するために親水基として使えずノニオン界面活性剤のみで分散しなければならないために微粒子にすることがむずかしい。粒子径が大きいと架橋剤を均一に塗膜中に分布させることが困難である。水溶性で樹脂との相溶性に欠ける架橋剤よりも分散タイプで樹脂との相溶性に優れる方が均一に混ざりやすく、塗膜性能によい結果を与える⁵⁵⁾。また、分散タイプの架橋剤は系全体のゲル化を起こすためにポットライフも明瞭になり興味深い。

5.2.3 シラノール架橋水性塗料

溶剤型塗料ではアルコキシシリル基の湿気との反応で発生したシラノール基の縮合あるいは逆に発生した水酸基とイソシアネイトの反応を利用した常乾 1 液塗料がある。この架橋系の特徴は結合が単純で着色・毒性の危険がなく、耐候性などのデータが豊富なことである。

水性塗料では加水分解することなくアルコキシシリル基を樹脂に導入することが困難で現在はあまり利用されていないが、色々のアルコキシシリル基をもった化合物が市販されるようになり、ラテックスへの後添加による導入技術が開発されていることから今後多く使われるようになるものと考えられる。

最近では、反応性の高いメチル基よりも反応性の劣る分子量の高いアルキル基のアルコキシシリル基を樹脂に導入し、使用

時に触媒⁵⁶⁾を加えて活性化する 2 液タイプが検討されている。導入の方法も単にアルコキシシリル基を持つモノマーの共重合ではなく、エマルジョン⁵⁷⁾およびラテックス⁵⁸⁾合成後にエポキシ基とアルコキシシリル基を持った架橋剤を添加する方法も報告されている。メチル基以外のアルキル基を持ったアルコキシシリル基の反応は遅くエマルジョンおよびラテックスの粒子融合が十分に行われた後、空気中の湿気とゆっくり反応して架橋するので高性能が期待できる⁵⁹⁾。

5.2.4 カルボジミド架橋水性塗料

カルボジミド基はカルボキシル基と反応するので、カルボキシル基含有ラテックスを架橋するのに適している。常温架橋から 140°C 加熱架橋⁵⁹⁾まで反応性の異なる架橋剤が市販されている。架橋の進行はラテックスの融合を阻止するので、融合が十分に起こった後に架橋する方が塗膜性能はよくなると考えられている。色々の反応速度をもったジミド架橋剤で架橋したカルボキシル基含有ラテックスの塗膜性能をしらべ、反応速度の遅い架橋剤で架橋した塗膜の性能がよいことを確認している⁶⁰⁾。

5.3 塗装工程省略

2 液塗装・低温架橋反応系・2 コート 1 ベークなどの採用による省エネルギー塗装システムの開発は古くから行われている。最近ではこれをさらに進めて工程そのものを省略する塗装システムが開発されている。

5.3.1 下塗り・上塗りのワンコートシステム

防食性のよいエポキシ樹脂と耐候性のよいアクリル樹脂を混合した塗料を塗装し、焼き付け時にその表面張力の違いによりエポキシ樹脂は金属面側に、アクリル樹脂は塗膜表面に配向させることで、下塗と上塗の両機能をもつ塗膜を 1 回の塗装で形成することができる。

比較的焼付温度の高いカチオン電着⁶¹⁾と粉体塗装⁶²⁾で行われ

ている。図-5 は粉体塗装の例であり、両樹脂の溶解性パラメーターの差が 2 以上になると 2 層に分離し始める。この方法で塗装した塗膜の耐候性・耐蝕性は表-4 に示すように両性能ともよい。このように配向した組成をもった塗膜は今後増えるものと思われる⁶³⁾。

5.3.2 表面処理・塗膜の同時形成システム

金属表面に直接塗料を塗装すると耐食性に劣る。耐蝕性を上げるためには、リン酸塩などによる表面処理あるいはクロメイト処理などを行った上に塗料を塗装する。塗料に特別なリン化合物を加えておくことで、In-Situ に表面処理膜を形成する研究が発表されている^{64,65,66)}。メラミン硬化型水性塗料の例を見ると、表面処理した金属板の上に普通の塗料を塗装した場合よりも、塗料の中にリン化合物を混合した塗料を未処理金属板に塗装した場合の方が圧倒的によい結果になっている。

5.3.3 プレス油塗布を省略する塗料

ウレタン樹脂ジスパーション、コロイダルシリカ、ポリエチレンワックスを混合して 100~150°C で乾燥した塗膜は 150°C の高温領域でも優れた潤滑機能を示すために、この塗料を塗装した鋼板はプレス油の塗布なしに加工することができる⁶⁷⁾。プレス油の洗浄にはクロル系の溶剤が必要であり、この省略は環境に大きく貢献する。

6. 被塗物プラスチックのリサイクルが容易な塗料

被塗物のリサイクルを阻んでいる塗膜のはく離技術開発はいろいろな所で進められていて、雑誌には多くの特集⁶⁸⁾が組まれているが、それらは既存塗膜のはく離に関するものである。これからの循環型社会ではつくる時から廃棄のことを考えて、塗料に廃棄時の対策を内在させるべきである。

プラスチックのリサイクルを容易にするために未塗装で使用

する方向もあるが、同色の物しか出来ないあるいは表面劣化があるなど実際にはむずかしい。プラスチックのリサイクルを容易にする塗料手法には、①塗膜をプラスチックに練りこんで再使用しても性能が落ちない、②塗膜が容易に取り除けるの 2 つがある。①の手法は塗料バインダーのアクリル樹脂と比較的相溶性の高い ABS 等のプラスチックに利用される⁶⁹⁾。一方②の手法は前報¹⁾において説明したように、脱塗膜工程は少し煩雑であるが、あらゆるプラスチックに適用できる^{70,71)}。とくに、リサイクルが簡単なポリプロピレン (PP) に塗装された場合に効力を発揮することが示されていた⁷²⁾。しかし、この種の 2 液水性塗料を PP に塗装する方法については示されていない。

PP は付着性が悪くあらゆる塗料は直接塗装できない。溶剤型 2 液ウレタン塗料は、塩素化オレフィンプライマーを 20 μ m

表-4 複層形成粉体塗料の塗膜性能

	塗料種別	複層形成 粉体塗料 (青)	エポキシ系 粉体塗料 (汎用白)	アクリル系 粉体塗料 (汎用白)	試験方法
	項目				
塗装仕様	焼付	180°C	180°C	180°C	素材温度
	条件	20 分	20 分	20 分	時間
	膜厚 (μ m)	70~90	50~70	50~70	JISK 5400
塗膜外観	平滑性	○	○	○	目視
	鏡面光沢度	80 以上	80 以上	80 以上	60°鏡面
機械物性	鉛筆強度	H	F~H	H	JIS 5400
	付着性	100/100	100/100	100/100	碁盤目はく離
	エリクセン	7 mm <	7 mm <	7 mm <	JIS 5400
	耐衝撃性	40~50 cm	50 cm	40~50 cm	1/2 ϕ , 500 g
耐食性	耐塩水噴霧	0~1 mm	0~1 mm	3~4 mm	500 時間
耐候性	促進耐候性	90%	10%	90%	1000 時間
耐汚染性	赤マジック	○	×	○	24 時間後 アルコール 拭き
	青マジック	○	×	○	
	黒マジック	○	×	○	

表-5 ポリプロピレン板に塗装した水性2液塗料の性能

樹脂 No.	乾燥条件 温度/時間	塗膜性能			
		鉛筆硬度	耐水性	付着性	耐水後付着
285 (Tg 10°C)	20°C/7 日	H	○	100	20
	60°C/30 分	H	○	100	100
	80°C/30 分	H	◎	100	100
	100°C/30 分	2 H	◎	100	100
268 (Tg 20°C)	20°C/7 日	2 H	○-	100	80
	60°C/30 分	2 H	○	100	100
	80°C/30 分	2 H	○	100	100
	100°C/30 分	2 H	◎	100	100

前処理：10%塩素化オレフィンプライマーにPPを浸せきした後20°Cで60分乾燥，耐水後付着：塗膜を20°C7日水に浸せき後基盤目付着試験，架橋モノマー含量：全モノマーの30%

塗装した上に塗装し80°Cで乾燥している。表-5はこのプライマーをさらに1/2に薄めた液にPPを浸せきして表面をプライマー液で濡らし非常に薄いプライマー層を形成後乾燥し，その上に2液水性塗料を塗装した結果である⁷³⁾。架橋には反応速度の速いカルボニル基とヒドラジド基を使用しているので2H程度の硬度は簡単に出る。注目すべき結果は常温においてもよく付着していること，さらに60°Cに加熱すれば7日の没水の後も付着性が維持される点である。このように非常に薄いプライマー層で付着を確保出来る理由は水性塗料であるために，上塗り塗料がプライマー層を侵すことがないためである。塩素化ポリオレフィンエマルジョンをプライマー塗装した試験結果を見ると，プライマー層は薄いほどよい結果になっている。

7. 環境改善に貢献する塗料

以上は環境に負担をかけることの少ない塗料について述べてきたが，さらに進んで他の汚染源から発生する汚染物質を吸収・分解する機能を有する塗料の開発が行われている。酸化チタンの光活性を利用して，空気中の有害物質を効率よく分解することを目的とする塗料で，多くの総説がある⁷⁴⁻⁷⁷⁾。

酸化チタンの強力な分解作用にも分解しないバインダーとしてフッ素樹脂塗料⁷⁸⁾・シラン化合物⁷⁹⁾・無機塗料・有機無機ハイブリッド塗料⁸⁰⁾の開発が盛んになっている。

文 献

- 1) 中山雅晴：色材協会誌，**72** (10)，640 (1999)
- 2) 日刊工業新聞，1998，5，29
- 3) 特開平11-114961
- 4) 特開2000-63892
- 5) 特開平10-287844
- 6) F. Bourges-Fricoteaux, O. Savodogo: *J. Coatings Tech.*, (884), 63 (1998)
- 7) 佐古 猛：PACKPIA, (8)，319 (1998)
- 8) 川村力，奴間伸茂：METEC/2000 表面処理技術，各論，塗料・塗装2，P-43
- 9) 大栗弘之：1999年度色材発表講演要旨集，P-30，25 A-

7

- 10) 川村 力，伊藤 圭，西田礼次郎，奴間伸茂：2000年度色材発表講演要旨集，P-120，13 A-12
- 11) 特開平5-311114
- 12) 特開平6-9923
- 13) 特開平9-316230
- 14) 特開平8-295729
- 15) 特開平8-151438
- 16) 特開2000-159878
- 17) 蔵方 伸，吉井正広，鈴木秀樹：塗料の研究，No. 134，50 (2000)
- 18) Edward. R. Swaszek: *Modern and Coatings*, (July), 28 (1992)
- 19) Arnold. H. Hoffman: *Modern and Coatings*, (July), 49 (1991)
- 20) 西山勝廣，中山明典，佐藤 宏，酒井秀樹，阿部正彦：2000年度色材発表会要旨集，12 B-11，P-80
- 21) 大本宗治，田中孝司，竹内 徹：塗料の研究，No. 133，Oct. 30 (1999)
- 22) 菊田真人，加藤恒雄，津田益二：塗料の研究，No. 132，Apr. 36 (1999)
- 23) 昌 隆行：工業塗装，No. 166，67 (2000)
- 24) 山辺秀敏：塗装工学，**34** (12)，451 (1999)
- 25) 木藤信雄：塗装工学，**35** (5)，166 (2000)
- 26) D. Webber: *Polymers Paint Colour J.*, Vol. **183**, No. 114 (1993)
- 27) 樋川浩一：塗装工学，**33**, No. 11, 460 (1998)
- 28) 中瀬 茂：塗料の研究，No. 135，36 (2000)
- 29) 高林 勇，大西和彦：塗料の研究，No. 134，14 (2000)
- 30) 特開平9-194769
- 31) Yasuharu Nakayama: *Progress in Organic Coatings*, **31**, 105 (1997)
- 32) 中山雅晴：色材協会誌，**71**，426 (1998)
- 33) Yasuharu Nakayama: *J. Coatings Tech.*, **69** (870)，61 (1997)
- 34) Yasuharu Nakayama: *J. Coatings Tech.*, **69** (875)，33 (1997)
- 35) 斉藤孝夫，川上一郎，阪本祐之，川浪俊考，堀 仁：塗装工学，**34** (7)，234 (1999)
- 36) Toshio Fujibayashi, Takahisa Kasukawa, Kazuyuki Morimoto: *Progress in Organic Coatings*, **21**, 231 (1993)
- 37) 平木忠義，室伏重雄，原義之則：塗料の研究，No. 132，53 (1999)
- 38) W. J. Muizebelt, J. J. Donkerbroek, M. W. F. Nielen, J. B. Hussem, M. E. F. Biemond, P. Klaasen, K. H. Zabel: *J. Coatings Tech.*, **70** (876)，83 (1998)
- 39) J. C. Hubert, R. A. M. Venderbosch, W. J. Muizebelt, R. P. Klaasen, K. H. Zabel: *J. Coatings Tech.*, **69** (869)，59 (1997)
- 40) Gunilla Östberg, Björn Bergenstahl: *J. Coatings Tech.*, **68** (858)，39 (1996)
- 41) Edwin Makarewicz: *Progress in Organic Coatings*, **28**, 125 (1996)
- 42) Ralph M. Nussbaum, E. John Sutcliffe, Ann-Charlotte Hellgren: *J. Coatings Tech.*, **70** (878)，49 (1998)
- 43) Gunilla Östberg, Björn Bergenstahl, Margareta Huldén: *J. Coatings Tech.*, **66** (832)，37 (1994)
- 44) Kansas City Soc. for Coatings Tech.: *J. Coatings Tech.*, **51** (656)，49 (1979)
- 45) Gunilla Östberg, Björn Bergenstahl, Kent Sörensen: *J. Coatings Tech.*, **64** (814)，33 (1992)
- 46) P. K. Weissenborn A. Motiejauskaite: *J. Coatings*

- Tech.*: **72** (906), 65 (2000)
- 47) Richard W. Hein: *J. Coatings Tech.*, **70** (886), 19 (1998)
- 48) 杉島正見, 中山雍晴, 谷口 茂: 塗料の研究, No. 123, 54 (1994)
- 49) Yoshihiro Okamoto, Yoshiki Hasegawa, Fumio Yoshino: *Progress in Organic Coatings*, **29**, 175 (1996)
- 50) Marek W. Urban, Claudial L. Allison: *J. Coatings Tech.*, **71** (896), 73 (1999)
- 51) Sharon Xudong Feng, Phil Lunney, Rebecca Wargo: *J. Coatings Tech.*, **71** (897), 143 (1999)
- 52) Sharon Xudong Feng, Mike Dvorchak, Kevan E. Hudson, Christine Renk, Dick Todd, Howard Bender, Jim Papenfuss: *J. Coatings Tech.*, **71** (899), 51 (1999)
- 53) J. Huybrechts, P. Bruylants, A. Vaes, A. De Marre: *Progress in Organic Coatings*, **38**, 67 (2000)
- 54) Denise E. Fiori, David A. Ley, Richard J. Quinn: *J. Coatings Tech.*, **72** (902), 63 (2000)
- 55) Ernest C. Galgoci, Pratap C. Komar, Jim D. Elmore: *J. Coatings Tech.*, **71** (891), 45 (1999)
- 56) Ming J. Chen, Fred D. Osterholtz, Eric R. Pohl, Phibert E. Ramdatt, Antonio Chaves, Valerie Bennett: *J. Coatings Tech.*, **69** (870), 49 (1997)
- 57) Nobuo Harui, Tetsuro Agawa: *J. Coatings Tech.*, **70** (880), 73 (1998)
- 58) Ming J. Chen, Fred D. Osterholtz, Antonio Chaves, Philbert E. Ramdatt, Beuce A. Waldman: *J. Coatings Tech.*, **69** (875), 49 (1997)
- 59) 栢田一明, 大杉宏治, 桑島輝昭: 2000 年度色材研究発表会要旨集, P-98, 13 A-1
- 60) Ward T. Brown: *J. Coatings Tech.*, **72** (904), 63 (2000)
- 61) 松原茂樹, 鈴木 譲: 塗料の研究, No. 118, 51 (1990)
- 62) 大西和彦, 高林 男: 塗料の研究, No. 130, 8 (1998)
- 63) 小越 昇: 色材協会誌, **71** (12), 777 (1999)
- 64) Chaohua Wang, Yi-Yuan Chuang, Chhiu-Tsu Lin: *J. Coatings Tech.*, **71** (892), 61 (1999)
- 65) Tao Yu Chhiu-Tsu Lin: *J. Coatings Tech.*, **71** (892), 69 (1999)
- 66) Tao, YU, Chhiu-Tsu Lin: *J. Coatings Tech.*, **71** (895), 87 (1999)
- 67) 吉井和雄: 塗料の研究, No. 124, 40 (1994)
- 68) 「塗膜剥離剤及び塗膜剥離装置の導入とそのメリット」, 工業塗装, No. 166, (2000)
- 69) 大井戸秀年: 工業塗装, No. 162, 15 (2000)
- 70) Yasuharu Nakayama: *J. Coatings Tech.*, **70** (887), 63 (1998)
- 71) Yasuharu Nakayama: *J. Coatings Tech.*, **72** (900), 57 (2000)
- 72) 中山雍晴: 色材協会誌, **71**, 755 (1998)
- 73) 中山雍晴: 色材協会誌, **73** (5), 234 (2000)
- 74) 清 忠師: 色材協会誌, **72** (6), 382 (1999)
- 75) 内田 聡, 佐藤次雄: 色材協会誌, **72** (11), 680 (1999)
- 76) 福井 寛: 色材協会誌, **72** (10), 633 (1999)
- 77) 渡辺 満: 色材協会誌, **73** (5), 249 (2000)
- 78) 市原 聡, 今井大輔, 佐々木雅啓: 色材協会誌, **72** (12), 771 (1999)
- 79) 諏訪間昌巳, 栢田清治: 塗料の研究, No. 135, 50 (2000)
- 80) 大浜宣史: 塗装技術, 10 月増刊, 148 (1998)