

インキ脱離用プライマーの開発

Development of De-inking Primer

荻原理生 研究開発カンパニー 研究開発センター 樹脂・化成品開発室
MICHIO OGIHARA Resins & Tall Oil Products Development, R&D Center, R&D Company



荻原理生

1 はじめに

プラスチックは、さまざまな場所で使用され、私たちの日常生活に必要不可欠な素材の1つである。その優れた加工性、機械的特性に加えて、軽量である性質から、容器包装、繊維、自動車など、身の回りのあらゆる分野で用いられている。プラスチックの消費量は年々増加しており、2019年時点で4億6,000万トン、2060年には12億3,000万トンに達すると予想されている¹⁾。

それに伴い廃棄されるプラスチックの量も増加する。プラスチックは手軽であるため、使い捨てられることも多く、正しく処理されていないプラスチックは環境中に放出され、海洋汚染問題として問題視されるようになってきている。

この課題に対して、プラスチックのリユース、リデュース、リサイクルが推進されている。リサイクルの方法としては、プラスチック廃棄物を粉砕し、異なる製品に使用する方法と同じ製品に再利用する「マテリアルリサイクル」、プラスチックを原料まで分解し、新たなプラスチックの原料として使用する「ケミカルリサイクル」、そして、プラスチック廃棄物を焼却し、熱エネルギーを回収する「サーマルリサイクル」の3つに分類される。

日本国内で排出されるプラスチック廃棄物のうち、リサイクルされる比率は2021年時点で87%と報告されている²⁾。そのうちサーマルリサイクルの比率が最も高く約62%を占める。サーマルリサイクルでは、使用された石油資源が再びプラスチックに戻らず循環しない。そのため、資源を循環させるリサイクルシステムを構築するためには、ケミカルリサイクルやマテリアルリサイクルを推進していく必要がある。

これらが進んでいない要因としてプラスチックの多層化と印刷層による着色が挙げられる。それぞれの樹脂成分が多層化されたプラスチックは、それぞれの層に分離しなければ再利用は困難であり(図1)、プラスチック基材に印刷されたインキが残存すると再生材に色が残る用途が限られてしまう(図2)。

上記の課題のうち、印刷されたインキが残ることに関しては解決方法がある。それは、包装材等に印刷されている



各層を分離する必要があり再利用が困難...

図1 多層化フィルムリサイクル時の課題



基材に印刷層が残り再利用が困難...

図2 印刷層を塗工したプラスチックリサイクル時の課題

印刷層を脱離する方法である。この脱離によって元の基材を得ることができる。印刷層を脱離するためには、インキやハードコート自体に脱離性能を付与する方法がある。また、それらの層を脱離するためのプライマーを塗工する脱離方法もある。本稿では、プラスチックの水平リサイクルを目的として、当社が開発した脱離するためのプライマー(以下、脱離用プライマー)について紹介する。

2 脱離用プライマーについて

印刷層とプラスチック基材の間に脱離用プライマー層を設けることで、脱離処理・粉砕工程で印刷層をプラスチック基材から脱離させ、プラスチック基材のみを得ることが可能となる(図3)。プラスチック基材のみを回収できれば、

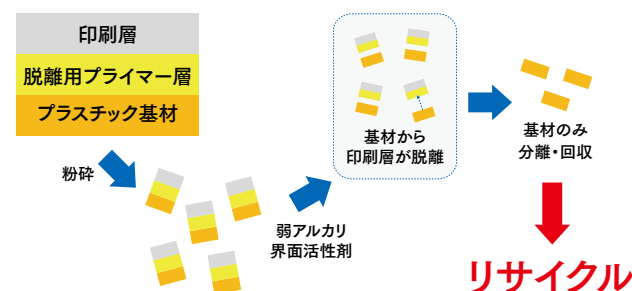


図3 脱離およびリサイクルフロー

マテリアルリサイクル、ケミカルリサイクルへの活用範囲が広がり、課題解決に役立つものとする。

3 脱離用プライマーSRKシリーズ

3-1 脱離用プライマーの詳細

脱離用プライマーSRKシリーズについて紹介する。脱離用プライマーはプラスチック基材に塗工するため、プラスチック基材への密着性など適応物性を考慮し、物性をコントロールしている。表1に脱離用プライマーSRKシリーズの諸物性を記す。SRKシリーズは、SRK-PT-1とSRK-OL-1の2品種を設定しており、両品種とも図4に示す淡黄色の液体である。また、不揮発分および粘度は顧客の要望に応じて調整することが可能であり、加えて当社の「自然の恵みをくらしに活かす」という企業理念の下、バイオマス成分も含有している。それぞれの品種によって、推奨膜厚と適用基材に違いを持たせている。

表1 脱離用プライマーSRKシリーズの詳細

サンプル名	SRK-PT-1		SRK-OL-1	
外観	淡黄色液体		淡黄色液体	
不揮発分 ^{*1} (%)	25		20	
粘度 ^{*1} (mPa・s/25°C)	190		30	
理論固形酸価(mgKOH/g)	297		105	
溶剤組成(%)	IPA	90	IPA	100
	酢酸エチル	10	酢酸エチル	0
固形分中のバイオマス比率(%)	10~15		40~45	
推奨膜厚	500nm以上		1,000nm以上	
適用基材	PET		オレフィン ^{*2} 、PET	

※1：粘度は代表値で示しており調整可能 ※2：オレフィン基材は別途コロナ処理が必要

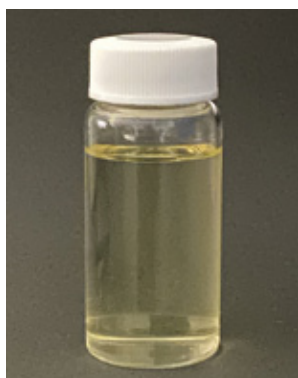


図4 脱離用プライマー外観

3-2 脱離用処理液による脱離メカニズム

印刷層の脱離方法に関しては脱離用プライマーを塗工したサンプルを脱離用処理液中に浸漬させることにより脱離させる。このとき、脱離用処理液の候補としてアルカリ水

溶液などが想定されている。アルカリ水溶液に浸漬させることで脱離用プライマー層が構造変化することによって膨潤し、プラスチック基材との密着性が失われ脱離する仕組みである。一例として、以下(図5)に水酸化ナトリウム水溶液中での脱離のメカニズムを示す。

図5において、脱離用プライマー層を設けたサンプルを水酸化ナトリウム水溶液中に浸漬させる。このとき、中和により、プライマー層が塩を形成し膨潤することによって基材との密着性が失われ脱離する。このメカニズムの下、実際に印刷層を脱離させた様子が図6である。基材に脱離用プライマーを塗工し、その上に白インキを塗工したサンプルをアルカリ水溶液に浸漬させている。その後所定時間アルカリ水溶液中で浸漬させ、印刷層が基材から脱離した様子を表している。

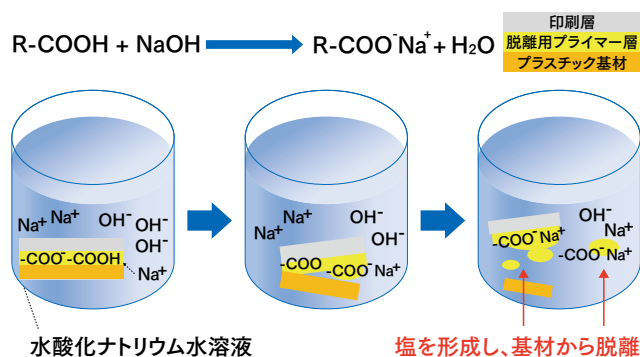


図5 水酸化ナトリウム水溶液を用いた脱離のメカニズム



アルカリ水溶液に浸漬 プライマー層が膨潤・溶解 基材から印刷層が脱離

図6 実際の脱離の様子

4 脱離用プライマーの評価について

4-1 プライマーの塗工およびサンプル作製

評価サンプルの作製手順を図7に示す。脱離用プライマ

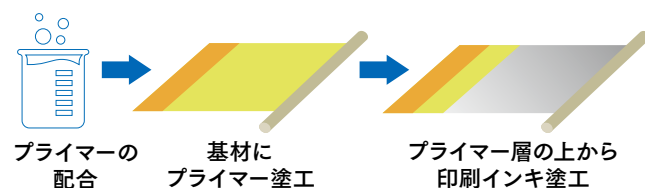


図7 評価サンプル作製手順

ーを配合後、バーコータを用いて基材にプライマーを塗工し、室温で乾燥させる。プライマーは速乾性があるため室温乾燥が容易であり、プライマー塗工後すぐに印刷インキ等を塗工可能である。脱離用プライマーは脱離性以外にもさまざまな機能が求められる。本稿では脱離用プライマーに求められる項目の中から、耐溶剤性、プラスチック基材に対する密着性、コーティング剤の相溶性について説明する。

4-2 耐溶剤性

印刷層には意匠性などの各種印刷適性が求められる。そのため脱離用プライマーを介しても印刷適性に悪影響を及ぼさないことが前提にある。しかし開発当初は脱離用プライマー層の上からインキ等の印刷層を塗工すると、印刷層表面に塗工ムラといった外観不良が発生していた。この原因として、脱離用プライマーの分子量が低いため、インキ中に含まれるインキ溶剤が脱離用プライマー表面を侵食したことで塗工ムラといった外観不良が発生したと考えた。そこでインキ溶剤に対する耐溶剤性を付与する目的で、脱離用プライマーの分子量アップを試みた。その結果、ある一定の分子量以上にすることで、耐溶剤性が向上し、塗工ムラが改善した。図8は印刷層を真上から観察したときの表面状態を示す写真である。高分子量化した脱離用プライマーを用いることで塗工ムラが良好化していることが見て取れる。分子量を上げることで樹脂同士が緻密に絡み合い、架橋によって溶剤分子に対する耐性を付与できたと考える。図9は耐溶剤性と樹脂分子量の相関図である。

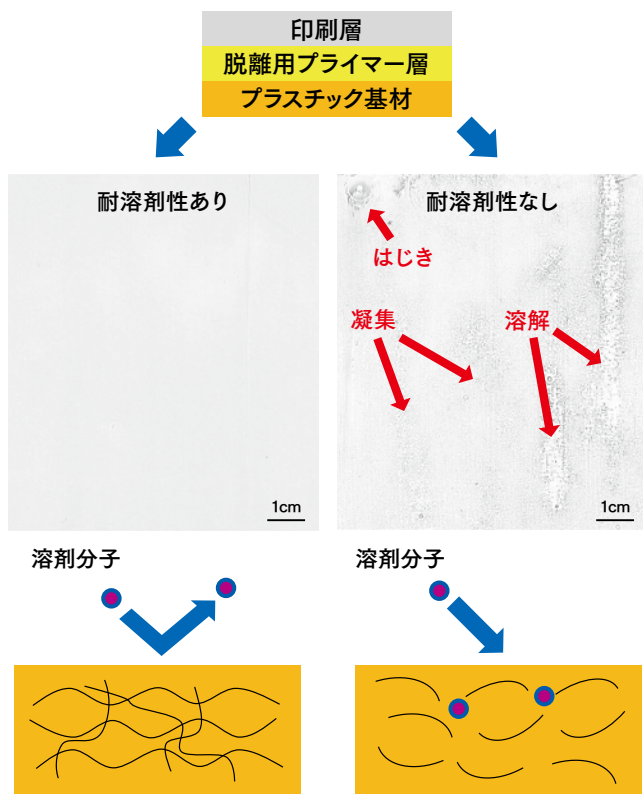


図8 脱離用プライマーの耐溶剤性について

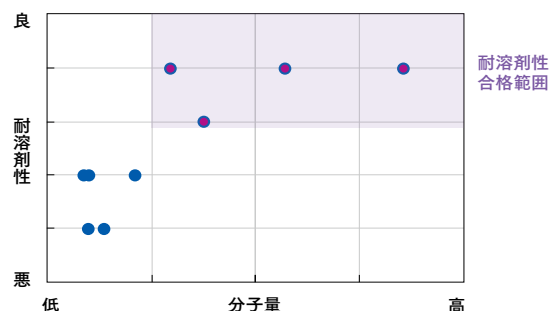


図9 耐溶剤性と樹脂分子量の相関図

4-3 プラスチック基材に対する密着性

脱離用プライマーは脱離処理工程で印刷層を脱離させるためのプライマーである。一方で、脱離処理前はしっかりとプラスチック基材に密着するという相反する性能が求められる。仮にプライマー層が基材に密着していない場合、プライマー層上に印刷された印刷層が剥がれるおそれがある。実際にテープ剥離試験の方法(図10)と試験実施後の塗膜の顕微鏡観察図を示す(図11)。密着性が弱いと図の

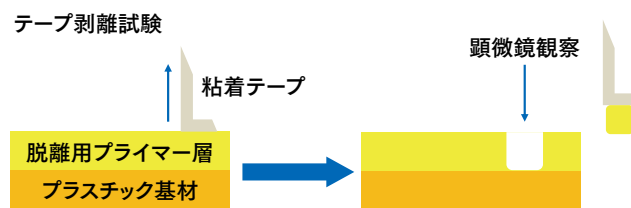


図10 テープ剥離試験方法

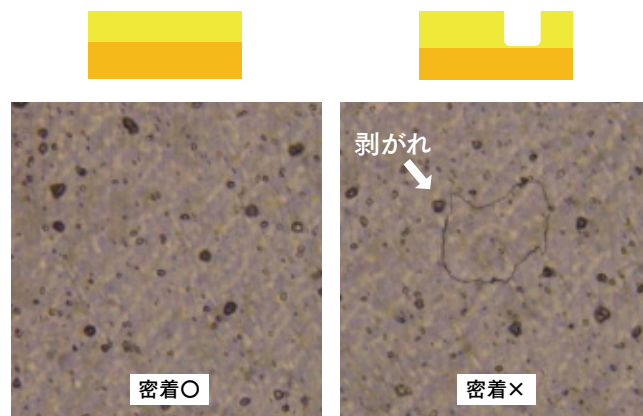


図11 粘着テープによる剥離試験後の塗膜

ように試験後に剥がれが生じる。

今回の開発でターゲットとしている基材は汎用性の高いPET基材およびオレフィン基材である。脱離用プライマーの樹脂設計において官能基量や種類をコントロールし、界面での相互作用を働かせることによってそれぞれの基材に対する密着性を付与している(図12)。

4-4 コーティング剤の相溶性

脱離用プライマーは複数の成分で構成されている。その

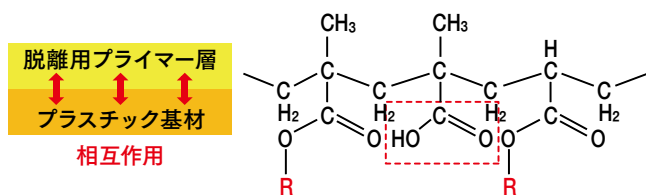


図12 密着性の相互作用について

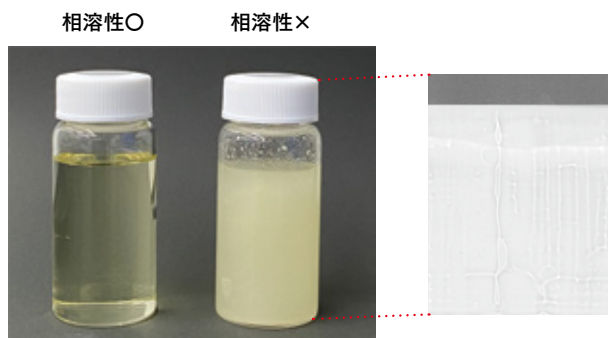


図13 相溶性の悪い脱離用プライマーと
同プライマーの上からインキを塗工した時の塗膜

ため、構成成分同士の相溶性が重要になる。相溶性が悪い脱離用プライマーをプラスチック基材に塗工し、そのプライマー層の上からインキを塗工するとインキをはじいてしまい、塗膜外観が悪化した(図13)。この現象は、相溶性が悪い脱離用プライマーをプラスチック基材に塗工し、塗膜が形成される際に構成成分が層分離を起こしたことにより、目的の成分が表面に形成されていないためと考える。その結果、インキを塗工したことでインキ成分をはじいてしまったと考える。この課題に対し、脱離用プライマー骨格中の官能基量や種類を調整することで構成成分同士の相溶性を上げる検討を実施したところ、インキ層のはじきが改善した。相溶性を上げることで、脱離用プライマー層が均一な塗膜となり、その上に塗られるインキ層との親和性が上がったと考える。

4-5 脱離性と脱離用処理液

表2 SRKシリーズの脱離性能について

品名	SRK-PT-1		SRK-OL-1	
	PET		オレフィン [*] 、PET	
脱離用処理液	1wt% NaOHaq	10wt% 希釈中性洗剤	1wt% NaOHaq	10wt% 希釈中性洗剤
室温×5分	○	×	×	×
室温×15分	○	×	○	×
40℃×30分	○	○	○	×
60℃×15分	○	○	○	×
60℃×30分	○	○	○	○

※オレフィン基材は別途コロナ処理が必要

・脱離性評価基準 ○：脱離する ×：脱離しない

表2に脱離用プライマーSRKシリーズの脱離性能を示す。プライマーを塗工したサンプルを脱離用処理液に浸漬する温度および浸漬する時間によってそれぞれ脱離性に違いを持たせている。これはプライマー骨格中の官能基量や種類によって制御しているものである。

また、当社開発の脱離用プライマーは、アルカリ水溶液のほかに界面活性剤などの中性洗剤でも脱離可能な設計にしている。脱離用処理液の選択肢においてアルカリ水溶液のほかに中性洗剤でも脱離可能にすることで、実際に脱離処理を実施する工場での廃水処理が容易になることや、作業者の安全性も増すことが期待される。

5

おわりに

プラスチックの水平リサイクルを目指した取り組みとして、プラスチック廃棄物から印刷層を脱離するための脱離用プライマーを開発した。この脱離用プライマーは、プラスチック基材と印刷層の間に一層設けることで機能を発現するコンセプトである。脱離方法としてはアルカリ水溶液や界面活性剤といった脱離用処理液に浸漬させることで、脱離用処理液中でプライマー層が溶解・膨潤する。その結果、構造変化が生じプラスチック基材との密着性が失われ、印刷層を容易に脱離できプラスチック基材のみを分離回収することを可能とした。また脱離用プライマーは脱離性以外にも、印刷層に対する耐溶剤性や、プラスチック基材への密着性などの機能を付与している。耐溶剤性は、印刷層に含まれるインキ溶剤に対する耐性を付与するため、脱離用プライマーの分子量に着目した。密着性は、脱離用プライマーの官能基量や種類をコントロールし、プラスチック基材との界面での相互作用を働かせる設計とした。このように脱離用プライマー層を設けることで、従来のインキ印刷方式を一切変えることなく、インキ印刷層を形成できるメリットがある。

本稿で紹介した脱離用プライマーは、プラスチック基材を繰り返し利用する目的の下、インキの印刷層脱離に特化した設計である。そこで現在はインキ層のほかにハードコート層や粘着層でも同様に脱離性を持たせる検討を行っている。加えて、本稿では溶剤系脱離用プライマーの紹介にとどまったが、環境問題や安全性を考慮した水系脱離用プライマーの開発にも着手している。以上より、今後も社会に貢献できるものづくりに向けて、環境負荷低減を前提に脱離性能を必要としている分野に拡大していく予定である。

〈参考文献〉

- 1) OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) Global Plastics Outlook: Policy Scenarios to 2060
<https://www.oecd.org/environment/plastics/>
- 2) 一般社団法人プラスチック循環利用協会「プラスチックリサイクルの基礎知識2022」
<https://www.pwmi.or.jp/pdf/panf1.pdf>