

機能性包装材料の開発 イージーピールフィルム

住友化学工業(株) 樹脂開発センター

黒田 竜磨

高畑 弘明

高木 康行

住化プラステック(株)

三井 慎一

古田 明寛

Development of Functional Packaging Materials –Easy Peel Film–

Sumitomo Chemical Co., Ltd.

Plastics Technical Center

Ryuma KURODA

Hiroaki TAKAHATA

Yasuyuki TAKAGI

Sumika Plastech Co., Ltd.

Shinichi MITSUI

Akihiro FURUTA

Public needs for “barrier free” has brought the rapid expansion of the market of Easy Peel Film that is easy to open a lid in the packaging material fields. To meet this market demand, Sumitomo Chemical Co., Ltd has been making an extensive research and succeeded in the development of “Assist[®]”, the functional film by using its sophisticated resin design technology along with its extrusion processing technology. Sumika Plastech Co., Ltd, subsidiary of Sumitomo Chemical Co., Ltd has been engaging in production and marketing of this “Assist[®]” film. Investigation of the fracture mechanism of the materials was the key to success for its product development. In this paper, several examples of product development to meet the client’s various needs along with its product performance are addressed.

はじめに

さあ、食べよう！と思って食品を手にとっても、なかなか開封できずいらしたり、開けたと思ったらどんでもない開き方をして、中身が飛び散ったりという腹立たしい経験は誰にもあることだろう。

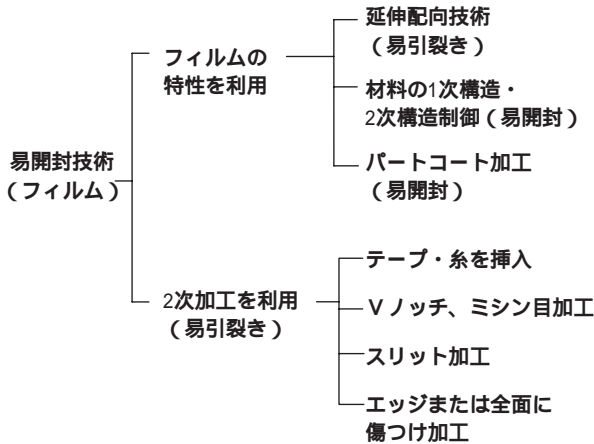
もともと「包装」は商品が消費者に届くまでの間、しっかり密封することで品質保持することが主題だが、近年より便利さを求める消費者の増加や高齢化社会の到来（バリアフリー）などにより、はさみや缶切りなどを使わずとも、手で簡単に開封できる技術「易開封＝イージーオープン」に対するニーズが強まってきている。

「しっかり密封」と「容易に開封」という一見相反する要求も、現在ではさまざまな工夫により両立さ

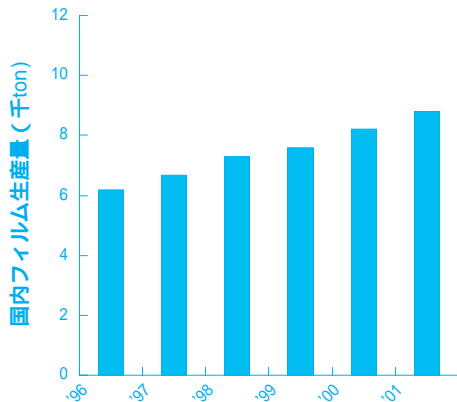
れ、ビールやジュースでお馴染みのイージーオープン缶、デザート容器など蓋が簡単に剥がせる易剥離（イージーピール）包材、フィルムに微細な傷をつけてどこからでも切れやすくした易引裂き包材、易開封キャップなど、さまざまな易開封性材料が開発されている¹⁾（第1図）。中でも材料の1次構造・2次構造などの高次構造の制御による「イージーピールフィルム」分野は当社の材料設計技術・押出加工技術が活かされると同時に、バリアフリーニーズがもたらした年率10%もの高成長市場でもある（第2図）。

本稿では当社が技術開発し、商標「アシスト」として住化プラステック(株)開発部で製造・販売を行っているイージーピールフィルムの開発の考え方と特性、その利用分野について紹介する。

第1図 易開封技術の分類



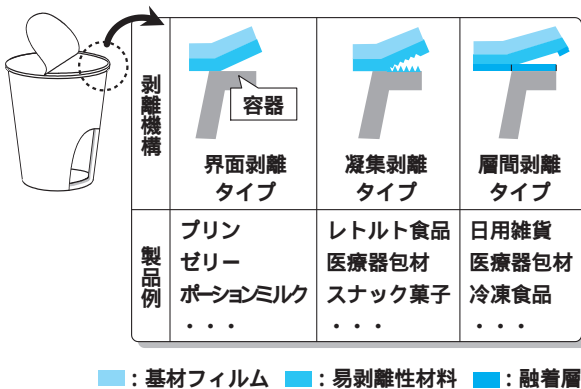
第2図 イージーピールフィルムの需要量推移 (当社調べ)



イージーピールフィルムの剥離 (開封) 機構

イージーピールフィルムの剥離機構には以下の3方式がある (第3図)。

第3図 各種剥離形態



1. 界面剥離タイプ

界面剥離タイプは、容器と蓋材と融着界面で剥離する形態をとる。例えばポリプロピレン (PP) は、

ポリエチレン (PE) とほとんど融着出来ないが、PE中にPPをブレンドしたり、特殊な分子構造を有するPEを使用するとPPと融着出来るようになる。詳しくは後述するが、この機構を適切に制御し、顧客の望む剥離強度を発現させる。

このタイプの特長は、開封後の容器の剥離された面が綺麗なことだが、内容物充填 融着の工程でしばしば発生する内容物挟み込み現象 (挟雑物シール) によって剥離強度が低下する短所を有している。

2. 凝集剥離タイプ

これに対し凝集剥離タイプは、挟雑物シールに優れることに特徴があり、プラスチック容器との組み合わせで最も広く使用されている。容器 - 蓋材の融着界面付近でフィルムが凝集破壊 (フィルム素材自身が破壊されること) を伴いながら剥離するためにこの呼び名がある。このためヨーグルトなどの蓋材で確認できるように、容器の剥離面にフィルム材料の一部が付着しているのがこのタイプの特徴である。

材料としてはエチレン - 酢酸ビニル共重合体 (EVA) とワックスを主成分とし、ロジン、テルペン樹脂などの粘着付与剤を添加した、いわゆる「ホットメルト」が一般的であり、融点が低いため冷蔵流通されるような食品には適しているが、ボイル用途など耐熱性を要求される分野には不向きである。またシール温度、圧力、時間などの条件により剥離強度が変化しやすく、剥離時にフェザリング (糸引き現象) が起こりやすいという短所を有している。

3. 層間剥離タイプ

このタイプは3つの剥離機構の中でもっとも高性能なものである。フィルムは2層以上の多層フィルムで構成され、1層は、容器と融着される層 (シール層) であり、もう1層は、シール層に隣接した層 (剥離層) である。開封するときは、他の2種のタイプと異なり容器とシール層の間でなく、シール層と剥離層との層間で界面破壊、あるいは凝集破壊を生じながら剥離される。

最大の特長は、シール層が容器と同種の材料で構成されているために完全融着可能で、挟雑物の影響が少ないこと、また剥離強度が多層フィルムの層間強度により決まるため、融着条件によらず、常に一定であるということが挙げられる。

さらに他の2つのタイプが内容物 (油などの揮発成分) によりダメージを受け、剥離強度が大きく変化してしまうのに対し、このタイプではそういった不良がほとんど見られない。

ただし短所は多層フィルム成形機が必須であり、フィルム設計も困難であるためコスト高となることである。

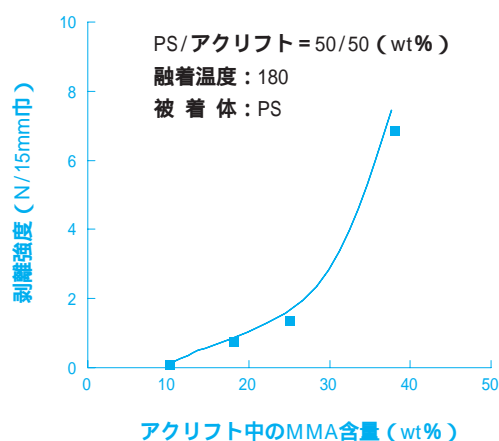
開発の考え方

当社は永年培ってきた重合技術により多様な機能性ポリオレフィンをラインナップするとともに、自動車用ポリオレフィン材料、耐熱・耐油性ポリスチレン等の開発によりポリマーアロイ技術を進展させてきた。イージーピールフィルム「アシスト」はこのような高度な材料設計技術に加え、樹脂開発センターが研鑽を積んできた押出加工技術によって生み出された高付加価値な樹脂加工製品である。

1. 機能性ポリオレフィンの活用

「機能性ポリオレフィン（機能性PO）」とはオレフィン（エチレン、プロピレンなど）と他のモノマーとの共重合体において、共重合モノマーの種類や組成の制御が、熱的性質や力学物性はもちろん、あらゆる材料との親和性など、多様な機能をもたらすためにこのように呼称されている。例えばアクリフト（エチレン-メタクリル酸メチル共重合体：EMMA）は、メタクリル酸メチル（MMA）の共重合比が多くなるとポリスチレン（PS）との親和性が高まり、PS容器の蓋材とした場合には、熱融着後の開封強度（剥離強度）が向上する（第4図）。

第4図 EMMA中のMMA含量と剥離強度



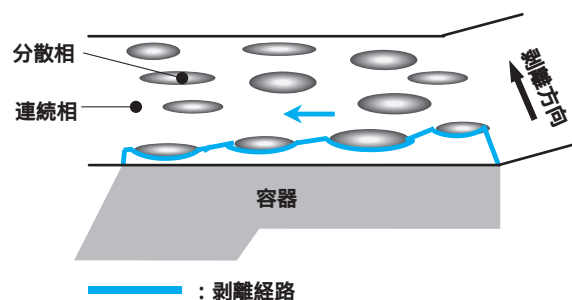
2. ポリマーアロイによる材料設計

ポリマーアロイ技術は本来、脆い材料をより強靱にするために開発された技術である。しかしその過程で材料破壊のメカニズム、さらには異種ポリマー間の界面状態の理解を深めることに大きく貢献した。

前述したようにイージーピールフィルムは剥離強度を顧客ニーズに合わせる事が要求されるが、これは強度を「より高くする」か「より低くする」かの違いはあれ、破壊現象を制御する点において技術的には源を同じくする。

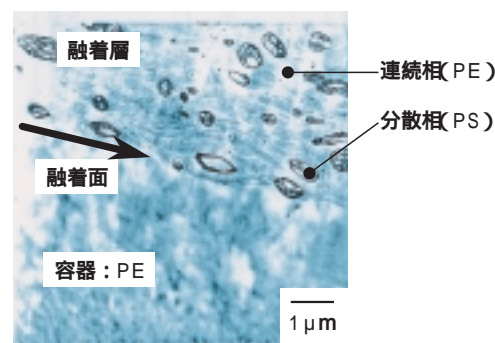
つまり当社の製品は「破壊現象の機能化」という概念で捉えられる。第5図に剥離時の状況をイメージ化した。剥離の力がフィルムにかかると、フィルムと容器の界面に応力集中が起こり、最も弱い部分に沿って破壊が進展していくが、通常それは連続相と分散相の界面となる。さらに、一つの分散相の界面が破壊された後は、つぎの分散相まで連続相が破壊される。すなわち剥離は「連続相の破壊」と「界面の破壊」の和であり、剥離強度を制御するためには両者の強度をそれぞれ制御すれば良い。

第5図 剥離強度発現機構



第6図に製品のモルフォロジ - の一例を示す。分散相がPS、連続相がポリエチレン（PE）であるが、アロイ化技術により本来、数十μmの分散状態であるものを1μm以下に制御している。

第6図 融着部付近のTEM写真



次に両者の強度決定の実際について紹介する。

(1) 連続相の破壊強度の決定

連続相の破壊強度は、素材の引張破断強度を指標とすることができる。機能性POとしては、分散相（PS）との親和性を考慮して、コモノマー含量が30wt%以上であるEVA、EMMA、EMA（エチレン-アクリル酸メチル共重合体）の3種を選択したが、破壊強度は第1表のようになる。

第1表 引張破断強度

材 料	EMMA	EVA	EMA
引張破断強度 (M Pa)	6.4	3.7	7.3

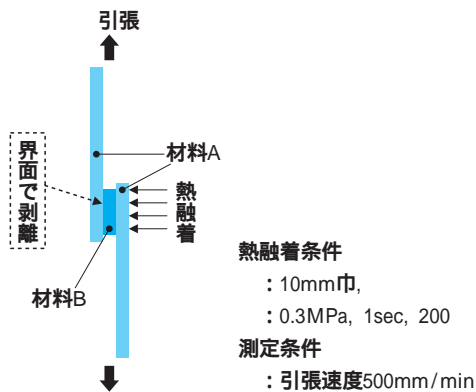
(JISK6730)

(2) 界面強度の決定

連続相 / 分散相の界面強度は第7図の方法で測定²⁾した。

第2表に結果を示す。機能性POの種類により両相の親和性は変化し、界面強度を制御できることが分かる。

第7図 界面強度測定

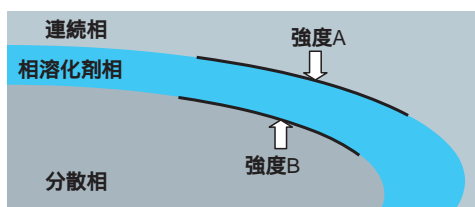


第2表 PS / 機能性POの界面強度

材料A	材料B	界面強度 (M Pa)
PS	EMA	1.0
	EMMA	1.3
	EVA	1.5

また、実際の製品にはさらに相溶化剤を加えた多元系を採用しているので、3元系の際の考え方についても言及する。第8図のように連続相 / 分散相界面には連続相 / 相溶化剤相 / 分散相という、二つの界面が存在し、破壊挙動を論ずる際には強度の弱い方を採用する必要がある。

第8図 3元系の相界面



連続相 / 分散相の界面強度 = Min (強度A, 強度B)

実際に各相間の界面強度を第3表に、見かけの連続相 / 分散相の界面強度と剥離界面を第4表にそれぞれ示した。

第9図は連続相(PE) / 分散相(PS)のモルフォロジーの例である。相溶化剤Aにより界面強度が増大するとともに、分散相が微分散化していることが分かる。

第3表 各相の界面強度

材料A	材料B	界面強度 (M Pa)
PS	EMMA	1.3
	相溶化剤A	5.7
	PE	1.0
EMMA	相溶化剤A	2.0 <
	PE	2.2

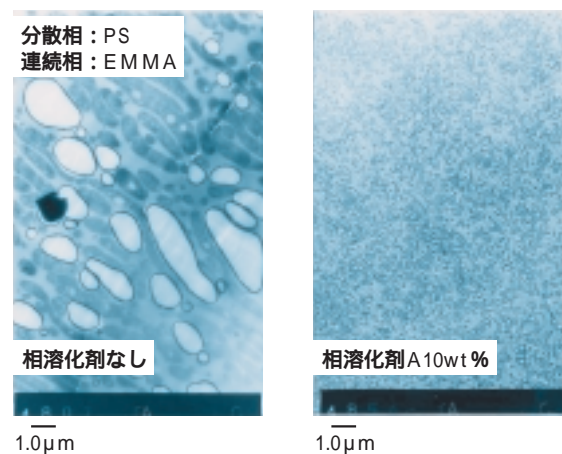
相溶化剤A : スチレン系エラストマー-St含量65wt%

第4表 界面強度と剥離界面

	界面強度 (M Pa)	剥離界面
PS/EMMA/PE	1.3	PS/EMMA間
PS/相溶化剤A/PE	2.2	相溶化剤A/PE間
PS/PE	1.0	



第9図 相溶化剤によるモルフォロジー変化



(3) 剥離強度の制御方法

前述したように、剥離強度は「連続相の破壊強度」と「界面強度」で決まるが、その定量的な理解にはLeiderらの理論³⁾を援用できることを見出している。Leiderらは、ガラスビーズなどの充填材をプラスチックに混合した時の破壊強度を充填量や界面強度との関係において理論的・実験的に検証し、第1、2式のように示した。

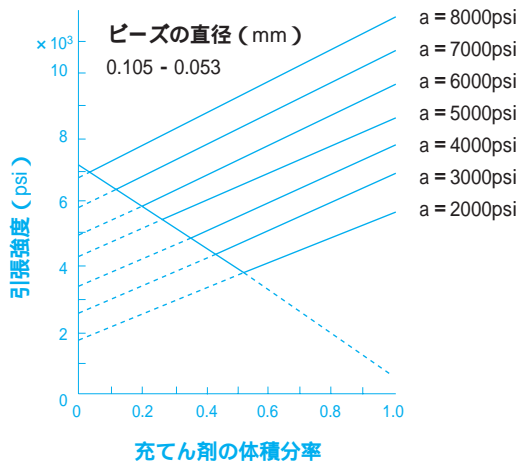
式

$c = 0.83P + K u_m(1 -)$第1式 充填量が少ないとき
 $c = (a + 0.83 s) + a(1 -)$...第2式 充填量が多いとき

c : 複合材料の引張強度 u_m : 連続相の極限強さ
 P : 界面の摩擦力 s : 連続相のせん断強度
 K : 定数 充填材粒子径の関数 a : 界面強度 S : 定数 濃度因子

すなわち、材料の強度は連続相の強度や界面強度などによって決まるが充填量によって二つのパターンがある。充填量が少ないとき、第1式のように複合材料の強度に界面強度が関与しないのは、界面への応力集中が全体の材料強度を支配していないことを示している。ただし、第1式で表される領域から第2式で表される領域への移行ポイント（臨界充填量）は、界面強度によって決まる。この事情を示したのが第10図⁴⁾である。材料強度 - 充填量のカーブはV字を示し、臨界充填量までは充填量に伴い強度が低下するが、それ以上では逆に向上する。また、界面強度の上昇とともに臨界充填量は小さくなり、材料強度は向上する。界面強度が非常に小さい場合には、材料強度は充填量とともに単純に減少するのみである。

第10図 第1、2式より計算した連続相/充填材間の界面強度によるポリエステル/ガラスビーズの引張強度の変化

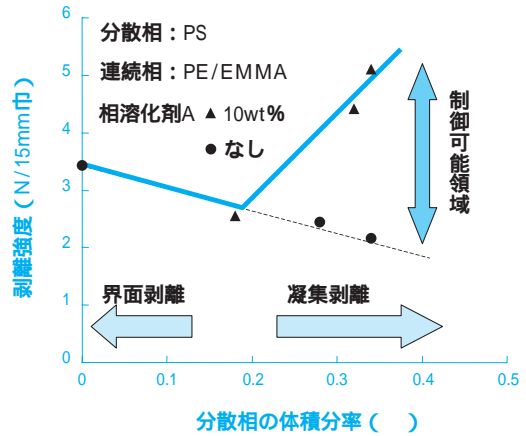


当製品の系では分散相を充填材とみなすことにより同様な理解が可能である。第11図は連続相(機能性PO)/分散相(PS)系における剥離強度の分散相の体積分率依存性を調べたものである。挙動はLeider型を示し、相溶化剤の配合により剥離強度を2~5N/15mm巾で制御できることが分かる。また臨界充填量以下であると、界面剥離タイプとなることも分かった。

以上のように連続相強度と界面強度を制御することにより包材機能である開封(剥離)強度を制御することができる。

この技術の基盤には、あらゆる被着体材料(容器)との親和性をもたらす機能性PO(連続相)技術や、界面強度を制御するポリマーアロイ技術があることを再度強調しておきたい。

第11図 分散相の体積分率と剥離強度



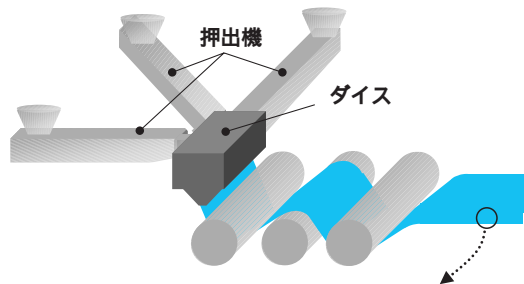
融着条件: 被着体PS
: 温度210

3. フィルム化技術

これまでイージーピール機能発現のための材料設計方法について紹介したが、素材はもともと破壊されやすく単独でフィルムとすることは難しい。流過程や2次加工(アルミ基材や印刷基材の貼合)で破れたり、デラミネーションと呼ばれる基材との剥離現象が起こるからである。このため他の素材と多層フィルムとして製品とするが、これには、第12図のような装置による共押し出フィルム成形技術を用いている。

多層フィルム(3層フィルム)の各層の役割も例示した。多層化によって本来の目的のイージーピール性が失われてはならず、容器との融着界面付近に応力集中するように各層の構成を決定する必要があることや、フィルムの腰(剛性)やカール、ブロッキング(フィルム面同士の互着現象)など、顧客での扱い易

第12図 加工機概略と各層の役割



基材層	貼合適性, 加工安定性
中間層	加工安定性
イージーピール層	熱融着性

さを考慮した層構成を選択しなければならないことが製品設計上重要である。また、製品幅1mあまりにわたって層構成のパラツキがないこと、長さ4000mで安定していることなどが生産上重要である。

開発例

1. 代表グレード

第5表に、これまでに開発した代表的なイージーピールフィルムの基本性能を示す。被着材である容器材質は、主にPS, PE, PP, A-PET（非晶性ポリエチレンテレフタレート）である。容器材質の他、使用用途によって要求性能（剥離強度、透明性、耐熱性等）が異なる為、製品は目的に合わせて使い分けられる。PS, PE 容器用は、標準的なグレードとしてラインナップし、特に冷凍食品（冷菓等）、冷蔵食品（飲料等）などの蓋材に好適に使用されている。PP 用では主に耐熱性と広いシール温度巾に特長があり、A-PET 用では剥離強度の安定性に特長がある。

第5表 代表グレード性能

容器材質	アシスト	剥離タイプ	低温融着	剥離安定性	透明	ボイル
PS	AE410	凝集				
	MS200	層間				
	MS430	"				
PP	P200	層間				
PE	AE300	凝集				
	MZE	凝集				
	ME200	層間				
A-PET	MT200	層間				

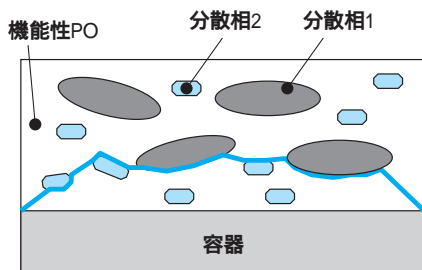
2. 特殊グレード

(1) 医療用途

食品用途では、一般に開封後の容器外観が綺麗であることが望まれるが、医療用では密封状態であったことを積極的に証明するために、剥離痕跡を容器側に残すことが要求されることがある。

この用途は上記剥離痕跡が残ることに加えて、患者が容易に開封できるために非常に軽剥離（約0.3N /

第13図 バイモーダルな分散相による2段階破壊



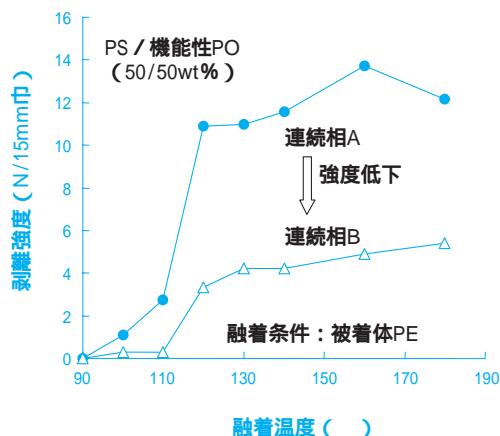
15mm巾)であることを要求された。第11図から分かるように軽剥離のためには界面強度を下げ、分散相の体積分率を大きくする設計であるが、この方向は分散相サイズの肥大化を伴い、美しい剥離痕跡を発生させることが難しいのである。筆者らは第5図の考え方をさらに展開し、第13図のように分散相のサイズをバイモーダルにすることでこの課題をクリアした。

すなわち、連続相の中に、小さな分散相を配置した。このことにより、大きな分散相が全体の剥離痕跡を受け持ち、小さな分散相が連続相の強度制御を受け持つこととなる。

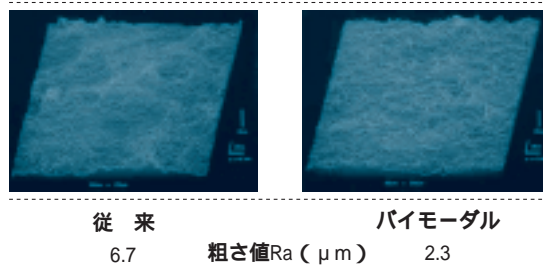
第14図に剥離強度を示す。ミクロな分散相により、連続相は強度低下し(A B)、軽剥離が可能となった。

また第15図にPE容器の剥離表面状態を示す(レーザーキャン顕微鏡)。表面粗さ値が小さくなることは、ケバ立ちが抑制され、被着材剥離表面の外観が綺麗で良好であることを示している。

第14図



第15図 剥離痕跡

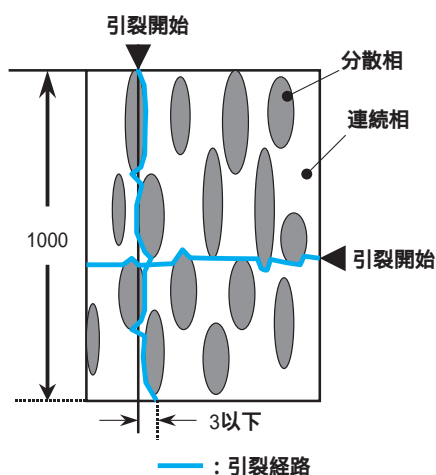


(2) 易引裂性フィルム

イージーピールフィルムでの開発の考え方は易開封性材料である易引裂性フィルムにも応用できる。易引裂性フィルムとは、袋状の包装形態で、直線的に引裂くことで開封機能を高めたものである。分散相を、高アスペクト比のロット状に制御することによ

り、連続相と分散相の界面部分に引裂くための道筋を作る。一般のフィルムとは異なり、フィルムの流れ方向（MD）とその垂直方向（TD）の二方向にのみ引裂くことができ、さらに直線引裂き性（引裂く距離に対するズレの比が3 / 1000 以下）に優れたフィルムである（第16図）。

第16図 直線引裂き性



おわりに

本稿で紹介したイージーピールフィルムは、ポリマー材料の破壊現象を機能化した高付加価値加工製品である。その設計思想の柔軟さから多くのニーズに対応できる製品群となった。

今後も社会ニーズはめまぐるしく変化しながら、より多様化・高度化していくであろう。それに取り残されず、むしろチャンスとしていけるよう、技術を一層研鑽し、躍動感ある製品開発を行っていきたい。

引用文献

- 1) 吉井 隼二, コンパーテック, 5, p112 (2002)
- 2) 高薄 一弘: 「接着及び粘着試験と評価技術」, 技術情報協会, p65 (1992)
- 3) J. Leidner, R. T. Woodhams : *J. Appl. Polymer Sci.*, 18, 1639 (1974)
- 4) 佐藤弘三: 「充てん高分子の物性」, 理工出版社, p133 (1978)

PROFILE



黒田 竜磨
Ryuma KURODA
住友化学工業株式会社
樹脂開発センター
主席研究員



三井 慎一
Shinichi MITSUI
住化プラスチック株式会社
開発部
主任部員



高畑 弘明
Hiroaki TAKAHATA
住友化学工業株式会社
樹脂開発センター
主任研究員



古田 明寛
Akihiro FURUTA
住化プラスチック株式会社
開発部



高木 康行
Yasuyuki TAKAGI
住友化学工業株式会社
樹脂開発センター