



軟包装の循環型社会を考える：PE 単一素材包装

ダウ・ケミカル日本株式会社
ポリエチレン事業部
市場開発マネージャー 宮下 真一

1. ダウ・ポリエチレン事業部のサステイナブル戦略

多忙なライフスタイルに合わせて消費者は、柔軟で携帯性が高く小分けにされた使いやすいパッケージの商品を好みます。その一方、それらの利便性を有するプラスチックパッケージは、地球環境にとって悪影響を及ぼす廃棄物の一つとして認識されています。

世界経済フォーラム¹⁾によれば、世界のプラスチック製品の生産量は1964年の0.15億トンから2014年に3.11億トンと20倍以上に拡大しており、今後20年でさらに倍増すると予測されています。これらのプラスチック製品のうち、使い捨て容器包装が占める割合は約40%と推測されています。

ジャパントイムズ紙²⁾の報道(2019年3月7日)によると、リサイクルの重要性に対する理解が広がりつつある一方で、これまでに生産された全世界のプラスチックのうち、約80%が埋立てか、自然環境に放棄された状況となっていると述べられています。

パッケージのバリューチェーンの各企業は、プラスチック包装の環境問題解決に向けた取り組みを開始しております。ダウも他企業と同様に、プラスチックはサーキュラーエコノミー(循環型社会)が可能な製品と考えており廃棄されるにはあまりにももったいない資源だと考えております。ダウは、地球環境の保全と、人々の豊かな生活の両立を実現させるために、社会と経済の両面で利点のあるサステイナブルなプラスチックパッケージの開発に取り組んでおります。

ダウは、サーキュラーエコノミーを実現する事により、プラスチックの環境負荷が排除された世界が実現できると信じております。そのために、新製品や新技術の開発に注力しています。プラスチックのリユースやリサイクルのプロセスを見直し、リサイクル可能なプラスチックの製品設計や工程を提案しています。また、炭素排出量の削減に繋がる製品や製造工程の改善にも注力しております。

ダウは、包装材料向けに、下記5種類のサステイナブルなソリューションを開発し、パッケージングの循環型社会に貢献しています。①マテリアルリサイクル性の改善に繋がるポリエチレン単一素材包装(モノマテリアル・パッケージング)の開発、②使用済みのプラスチック廃棄物(PCR)を使用したマテリアルリサイクル品の開発と用途開発、③食品や医療用包装にも使用可能なアドバンスド・リサイクル(ケミカル・リサイクル)品の開発、④食品問題とバッティングしないバイオナフサ等の再生可能原料由来のポリエチレン樹脂の開発、⑤ポリエチレンの生産工場での風力発電等のサステイナブルなエネルギーを使用し、



火力発電等のエネルギーの製品よりも炭素排出量を削減した樹脂の開発（図1）



図1. ダウのサステイナブル戦略

2. マテリアルリサイクル性を改善したパッケージの設計

2-1. ポリエチレン (PE) 単一素材包装 (モノマテ)



図2. ダウのオールPEパッケージ

オールPEのラミネートソリューションは、プラスチックのサーキュラーエコノミーを実現するための有効手段と考えられます。ダウはオールPEのパッケージ（図2）の設計をサポートしており、軟包装の効率的なリサイクルやリユースが促進され、サステイナブルなサーキュラーエコノミーの構築に貢献し、各政府や団体の廃プラスチック規制に対応できるようになります。オールPEのパッケージは、軟包装業界の既存設備のままで生産性と廃棄基準を両立させられることが可能で、一般消費財のパッケージにも対応可能です。



このオール PE パッケージを実現するために従来の包装表層に用いられる OPET などの素材を PE へ切り替えることが大きな変化であり課題となります（図 3）。ダウは独自の技術を用いて、さまざまなソリューションを提案しております。

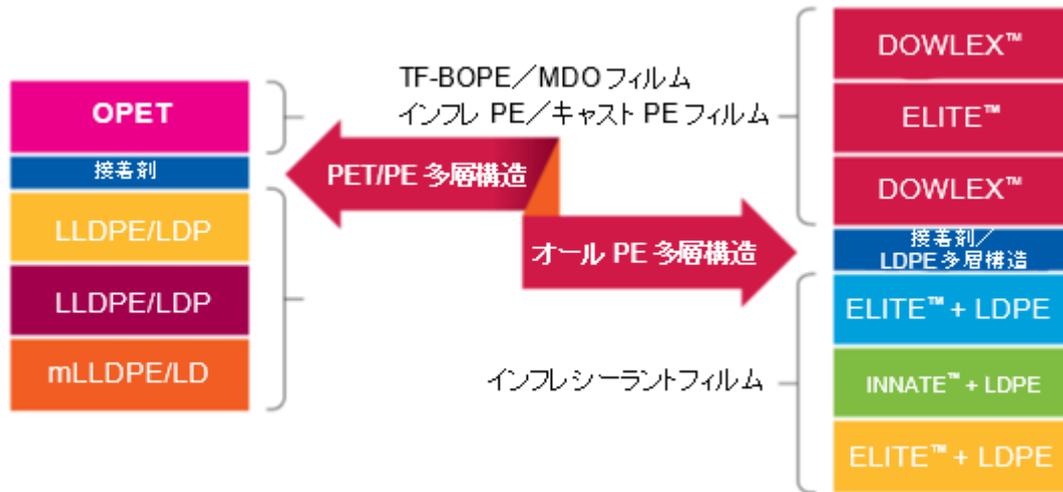


図 3. ダウ提案のオール PE パウチのフィルム構成

2-2. テンターフレーム二軸延伸ポリエチレン (TF-BOPE) フィルム

ダウは長年にわたる研究及び社内外のコラボレーションにおいて、独自の分子構造を設計することによりテンターフレーム二軸延伸性の高リサイクル性の延伸フィルム用に、INNATE™ TF ポリエチレン樹脂 (1.7g/10min MI: 0.926 g/cm³ 密度) を開発しました。INNATE™ TF PE 樹脂で作られた TF-BOPE フィルムは際立った特性を有します。従来の PE 製品で開発されたフィルムと比較し、INNATE™ TF 樹脂で作られたフィルムは（図 4）：

- ・ フィルムのヘイズが最大 80%少ない
- ・ 衝撃強度および引張弾性率が 2 倍
- ・ 突刺強度および引張強度が 3 倍
- ・ 低温における優れた耐屈曲亀裂性

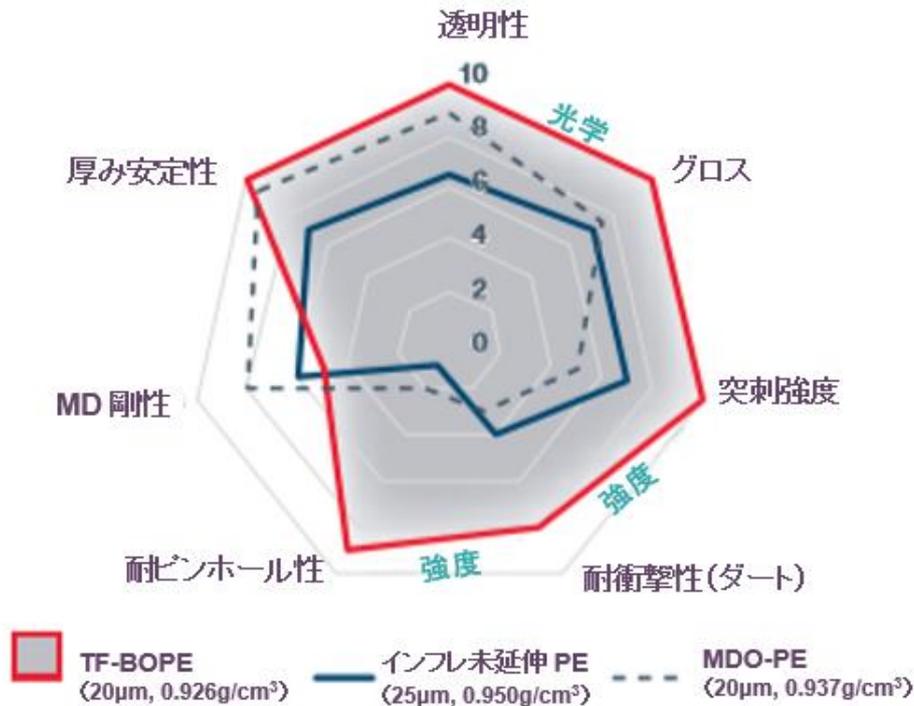


図4. TF-BOPE フィルムと他の PE フィルムの比較

TF-BOPE を用いるとパッケージの物的性能が全体的に向上し、フィルム使用量の削減やライン効率の向上に繋がります。図5に INNATE™ TF ポリエチレン樹脂を用いた場合の詳細を示します。

他のポリマー材料代替 INNATE™ TF PE 樹脂は優れた機械的特性を有しており、包装のフィルムの耐久層で使われている BOPA、BOPP、BOPET などのポリマーの代替品として使用すると、多層フィルムの厚さを低減することが可能になります。材料の置き換えによって、取り扱いが容易になると同時にコストも最適化できます。

使用時の利便性： INNATE™ TF PE 樹脂は単層でも、多層構造（例：BOPET//BOPE）でも、易引裂性という包装材としての重要な要件を備えており、最終消費者のよりよい使用体験を実現します。

●リサイクル可能な構造：優れた光学性能と印刷性能を備えた TF-BOPE フィルムはそのまま包装の印刷層としても使用できます。ロゴやイメージの鮮明さ、読みやすさ、商品陳列棚での見栄えの良さが確保されます。INNATE™ TF PE 樹脂を他の機能性ポリエチレンフィルム層（例：BOPE//PE）と組み合わせたオール PE パッケージは従来品よりリサイクル性が高く、サステナブルな製品の実現に向け一役を担うことができます。

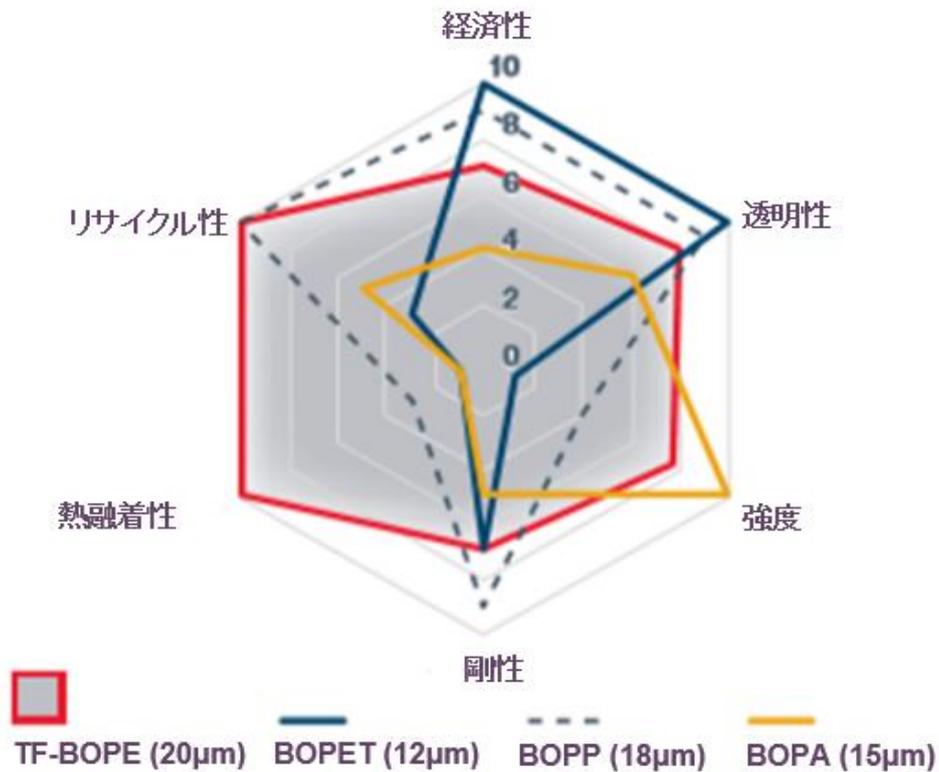


図5. TF-BOPE フィルムと他の延伸フィルムとの比較

2-3. 一軸延伸 (MDO) / インフレ PE フィルム / キャスト PE フィルム

最新鋭 MDO 装置とダウの PE 樹脂を組み合わせれば、既存のマルチマテリアル包装と同様にオールポリエチレン包装もできます。ダウが推奨する ELITE™ポリエチレン樹脂などの配合を用いれば、多層構造フィルムを製造している既存のインフレフィルムラインでも印刷可能な PE フィルムの生産が可能のため、ラインや設備の変更や購入は必要ありません。これらの方法に適するダウのポリエチレン製品は、下記のものが挙げられます。

ELITE™樹脂：際立った剛性、耐熱性、光学特性および MDO プロセスで重要とされる十分な縦方向の延伸性を備えています。

INNATE™高精度樹脂：強靱性と剛性のバランスに加え、構造的な性能が強化されています。

AFFINITY™樹脂：低いシール開始温度と、包装ラインにおける優れた作業ウィンドウを提供するシーラント材料です。

2-4. 高水蒸気バリア性樹脂

パッケージは内容物によっては水蒸気バリア性と酸素バリア性を求められることがあります。ポリエチレンはフィルムに酸素バリア性を付与することが困難ですが、設計によって高水蒸気バリア性を付与することが可能です。

そこで、当社は保有する LLDPE の触媒技術を活用し、従来 LLDPE のみならず、一般的な HDPE よりも高密度かつ優れた水蒸気バリア性を有す ELITETM AT6900（密度：0.969g/cm³）を開発しました。下記図 6 に示すように、ELITE™ AT6900 を 100%用いた単層フィルムは当社従来品である ELITE™ 5960G1P（密度：0.962g/cm³）より約 3 倍優れた水蒸気バリア性を示しました。また、製膜時の作業性などの改善できるように、LDPE またはその他の LLDPE と併用する場合でも ELITE™ AT6900 が水蒸気バリア性における改善効果が確認できました。配合に 50wt%程度を用いることで従来品と同等な水蒸気バリア性を示し、その他の PE 樹脂と併用することでフィルムの設計にさらに可能性をもたらすことが可能と考えられます。

また、図 6 に示すように ELITE™ AT6900 は高密度がゆえに弾性率も従来品より優れているため、例えば、軟包装においては従来品より少ない配合量で自立性を付与できることが考えられます。



図 6. ELITE™ AT6900 フィルムと当社従来品フィルムとの比較



2-5. RETAIN™ 相溶化材

高酸素バリア性が求められる用途のパッケージにおいてはPE以外の素材も用いられていますが、バリア性に優れた素材が使用されているパッケージのリサイクルは極めて困難です。現在、パウチの製造にはさまざまな素材が使われていますが、これらの素材は互いに親和性がないため、ポリエチレン樹脂のマテリアルリサイクルのストリームに入れることができません。バリア性を付与する素材としてはエチレン・ビニルアルコール樹脂 (EVOH) が最も一般的ですが、EVOHは他の材料との相溶性が低いため、リサイクルが困難といわれています。RETAIN™相溶化材を利用したダウのRecycleReady™ AB (アドバンスド・バリア) 技術は大きな進歩をもたらし、これまで不可能だったバリア性素材が混在する軟包装のリサイクルを可能にしています。

RETAIN™相溶化材は流動性の高い無水マレイン酸グラフトポリエチレン樹脂であり、主要な有機バリア素材であるEVOHとポリアミド(PA)の両方に優れた相溶性を有します。ポリエチレン樹脂ベースの包装においてEVOHやPAと併用する場合、RETAIN™相溶化材は優れた性能を発揮するためリサイクル可能となります。さらに、RETAIN™相溶化材をブレンドすることにより、物性と加工性を高める事が可能と当社の研究で確認されています。

下記の図7が示すように、RETAIN™相溶化材の利点は当社の研究所で確認されています。

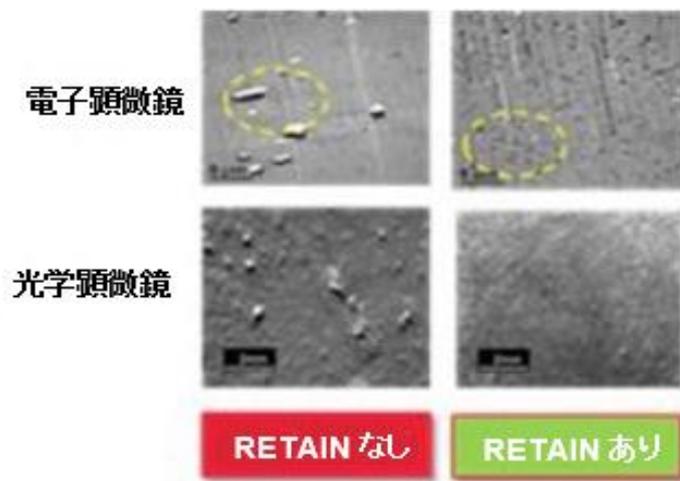


図7. RETAIN™相溶化材の添加効果*



*フィルム情報：

- 8% EVOH 含有のバリアフィルムスクラップを 30% 使用して製造した 50 μm フィルム
- ・ RETAIN™相溶化材非含有フィルム=30%スクラップ+70% LDPE/LLDPE フィルム
- ・ RETAIN™相溶化材含有フィルム (EVOH : RETAIN™3000 (1 : 2))
= 30%スクラップ+ 4.8%相溶化剤 (RETAIN™3000) + 65.2 LDPE/LLDPE フィルム

この相溶化材を用いずにスクラップ入りのフィルムを作製すると、多量のゲル残留物がみられるため、食品包装向けとしては受け入れにくいです。RETAIN™相溶化材は光学とともにゲルの数を減らす効果は顕著で、電子顕微鏡でも滑らかな表面をもたらしていることを確認できました (図7)。これは、フィルムの性質にもつながるものです。

さらに、この技術は多層フィルムにも効果的です (詳細は表1)。LLDPE/スクラップ材/LLDPE (15:70:15) 構造をもつ3層の多層フィルムを製造し、バージン樹脂 (フィルムA)、RETAIN™相溶化材を含まないリサイクルフィルム (フィルムB)、RETAIN™相溶化材を含むリサイクルフィルム (フィルムC) を比較しました (図8)。

RETAIN™相溶化材を含まないリサイクルフィルム (フィルムB) を用いると、バージン樹脂 (フィルムA) と比較して、透明性とダート衝撃特性が共に大きく低下しました。この二つの特性は軟包装に極めて重要なもので、これは明らかに不十分です。RETAIN™相溶化材 (フィルムC) をブレンドすることで、この二つの特性に伴う問題が改善されました。フィルムCは他の性質においてもバージン樹脂を用いたフィルムと同等な結果が出ました。

表1. 多層フィルム構成

	フィルムA	フィルムB	フィルムC
	対照	リサイクルストリーム含有フィルムRETAIN™相溶化材非含有	リサイクルストリーム含有フィルムRETAIN™3000含有
1層 7.5μm	LLDPE	LLDPE	LLDPE
2層 35 μm	LLDPE	リサイクルストリーム 10%EVOH含有	リサイクルストリーム 10%EVOH含有 (EVOH: RETAIN™3000=1:2)
3層 7.5um	LLDPE	LLDPE	LLDPE

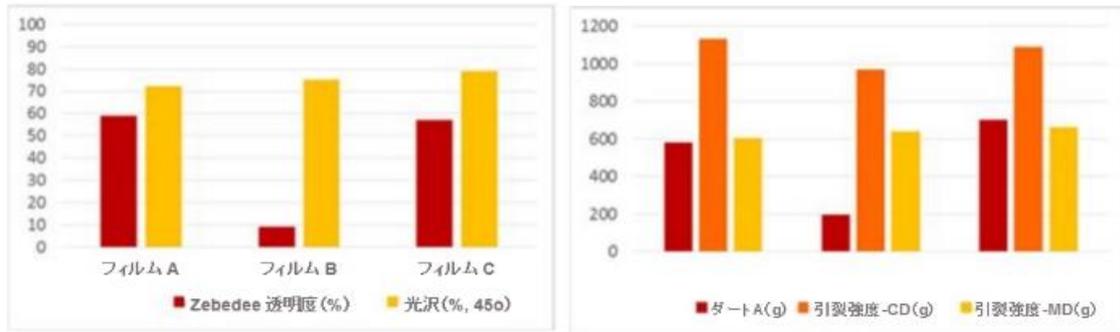


図8. フィルム性能比較 (左：光学特性、右：機械特性)

ダウは上述のように、マテリアルリサイクル性が向上できる包装材料向けのソリューションを継続的に開発し、市場のニーズに対応していきます。

1. World Economic Forum

<https://www.weforum.org/agenda/2019/01/plastic-might-just-be-the-solution-to-its-own-problem/>

2. Japan Times

https://www.japantimes.co.jp/opinion/2019/03/07/commentary/world-commentary/new-paradigm-plastics/#.XPX_VogzY2w