



EVOH による食品ロス削減と

環境配慮型包装への貢献

三菱ケミカル株式会社 スペシャルティマテリアルズ
アドバンストフィルムズ&ポリマーズ統括本部 R&D 本部
アセチルポリマーズテクノロジーセンター
ソアノール研究開発グループ 中西 伸次

1. はじめに

近年、世界各国はもとより企業、自治体、家庭における SDGs への取り組み・関心の高まりとともに、当社が関わる包装業界においても限られた資源を有効活用するための環境配慮型包装への需要が益々高まってきている。

従来、機能性包装材の多くは包装の 3 要素（「内容物の保護性」、「取扱いの利便性」、「情報伝達性」）が発現するように設計する必要がある、使用される複数の材料の特長を活かし、それらを複合化させることで易開封性、自律性、充填適性、遮光性、バリア性、シール性、耐衝撃性などの機能性を有した包装が開発されてきた。

環境配慮の観点から最近ではさらに「薄膜化・軽量化」によるプラスチック使用量の削減、「バイオマス素材や生分解性プラスチック」を用いることによる GHG 排出量の削減、「モノマテリアル化」によるリサイクル性向上などの新たな要素が機能性包装材に求められている。

本稿では、エチレン・ビニルアルコール共重合体樹脂を用いた環境配慮型の包装における、環境負担低減や食品ロス削減について述べる。

2. ソアノール™について

「ソアノール」は 1974 年、日本合成化学工業株式会社（現、三菱ケミカル株式会社）が商品化したエチレン・ビニルアルコール共重合体樹脂（以下、EVOH）である⁽¹⁾。EVOH はエチレンとビニルアルコールから構成されるランダム共重合体（図 1）であり、分子鎖中の水酸基に伴う水素結合により強い分子内および分子間相互作用が発生することで熱可塑性樹脂の中でも優れたガスバリア性を有している。この EVOH は、ガスバリア性以外にも保香性、耐油性、耐溶剤性、非帯電性、印刷特性、透明性、光沢性、高剛性、環境適合性、生体適合性などの様々な機能を有し、食品包装分野だけでなく、建材、自動車、化粧品、医療、工業、農業分野などへ展開されている（図 2）。

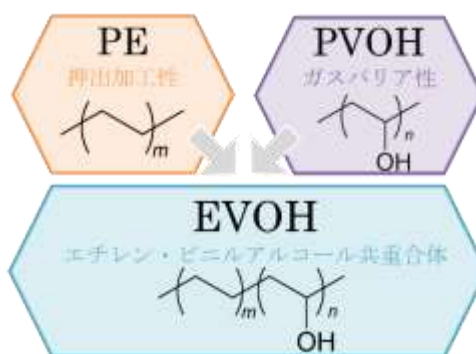


図1 EVOH「ソアノール™」構造式

食品用途



非食品用途



図2 EVOHを使用した商品群

3. EVOH を用いた包装による消費期限の延長

EVOH は、その高いガスバリア性から食品の酸化劣化や香気成分の蒸散、菌類の増殖抑制などにより品質劣化を抑制し、食品の賞味期限又は消費期限を大幅に延長することが可能である⁽²⁾。図3に EVOH バリア包装とノンバリア包装における食品の消費期限の違いを示す。加工肉においては、ガスバリア性のある包装材料を用いることで、消費期限を4倍以上に延長することが可能となる。

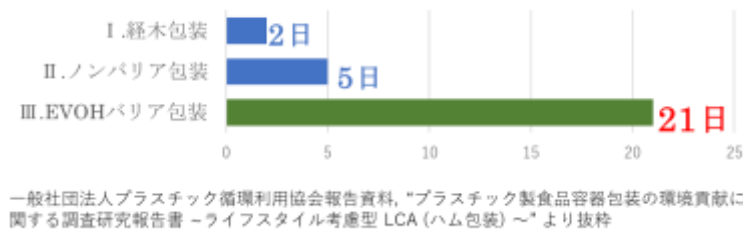


図3 包装における消費期限延長

ここで当社が実際に行ったガスバリア包装材料による品質劣化抑制検証を紹介する。

包材のガスバリア性による内容物の酸化劣化抑制検証のため酸素透過度（Oxygen Transmission Rate、以下 OTR）が違う PA 包装（OTR 値：25 cc/m²・day・atm）と EVOH 包装（OTR 値：5 cc/m²・day・atm）を比較した。それぞれの包装体に菜種油を充填後、45℃の条件下で保管し、菜種油の過氧化物価指数（Peroxide Value、以下、POV）の変化を測定した（図4）。この結果によると、ガスバリア性に優れる EVOH 包装を使用することで、PA 包装と比較して 6 か月後の菜種油の POV 値が約 1/3 まで抑制できることを確認した。

包装構成：OPA//PE = 15/70 μm、(PA/EVOH/PA)//PE = (5/5/5)//70 μm

保存環境：45℃（暗所）

内容物：菜種油（市販品）

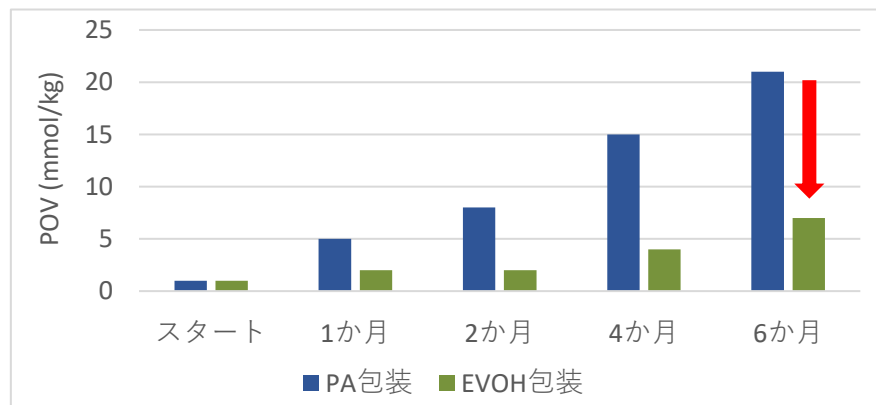


図4 PA 包装と EVOH 包装での菜種油の POV の変化

以上のように、EVOH を用いたガスバリア包装は食品の劣化抑制により消費期限を延長し、流通段階での賞味期限切れによる廃棄を抑え食品ロス削減に貢献している。また、消費期限延長による食品ロスの削減はその内容物の製造過程や食品流通に掛かる GHG 排出の抑制にも大きな効果がある。

4. ポリオレフィンリサイクルにおけるガイドライン

欧州では、2030 年までにプラスチック製容器包装の廃棄物をリサイクル可能とすることを目標に掲げた^③こともあり、各地域におけるリサイクル団体がガイドラインを制定している（表 1）。そして、リサイクル可能な包装としてモノマテリアル化による環境配慮型の包装設計が進んでいる。

EVOH は、欧米のリサイクル団体からポリオレフィンリサイクル可能な包装材料として認められているが、その配合量には上限が設けられている場合がある。例えば CEFLEX のガイドラインでは、EVOH の含有率が 5 wt%以下であれば EVOH を使用したポリオレフィン系の多層フィルムのリサイクルが可能であると記載されている^④。

表 1 ポリオレフィンリサイクルガイドラインにおける各素材の位置づけ

団体 素材	CEFLEX (欧)	Cyclos-HTP (欧)	PRE RecyClass (欧)	APR (米)	SPC How2Recycle (米)	CPRRA (中)
EVOH	○	○	○	○	○	○
PA6	検討中	×	×	△	△	△
PVDC	検討中	×	×	×	×	—
PET	検討中	×	×	×	×	—
アルミ箔	×	×	×	×	×	×
アルミ蒸着	○	—	○	△	△	—

評価基準：○：リサイクル可能と記載あるいは認証実績あり，×：リサイクル不可，—：記載なし，△：要検証

4-2 ソアノール™を用いた包装のリサイクル認証

当社はソアノール™を用いた多層フィルムが、欧州のリサイクル認証機関である Institute cyclos-HTP GmbH（以下「cyclos-HTP」）によるリサイクル認証を取得した（図 5）。

これまで CEFLEX などの欧州業界団体ガイドラインでは EVOH の含有率が 5 wt%以下であればポリオレフィン系の多層フィルムのリサイクルが可能であると定められているが、ソアレジン™を配合することでソアノール™とポリオレフィンと相溶性が高まり、ソアノール™の含有率が 15 wt%以下のポリエチレン系多層フィルムにおいてもリサイクルが可能との結果が得られ、リサイクル性 100 %の包装材料として認証を受けた^⑤。



図 5 ソアノール™多層構成における cyclos-HTP リサイクル認証



また、米国の The Association of Plastic Recyclers (以下、APR) の PE Critical Guidance criteria FPE-CG-01 に基づいた試験でも、当社のソアノール™の含有率が 10 wt%のポリエチレンベース多層フィルムにおいてもリサイクルが可能との結果が得られた。また、リサイクル助剤であるソアレジン™についても併用することが可能であると認証された(図6)⑥。



図6 ソアノール™多層構成におけるAPRからのリサイクル認定書

これらのリサイクル認証は、ソアノール™が食品ロス削減のみならず、資源循環にも貢献出来る素材であることを改めて証明した。そして、ソアレジン™を用いることでソアノール™の配合上限を上げることが可能となり、様々な包装における高品質なリサイクル樹脂の提供が可能となると期待している。

4-2 リサイクル助剤 ソアレジン™

当社ではポリオレフィンリサイクルにおいてEVOHの分散性を向上させるためのリサイクル助剤、ソアレジン™を開発した。EVOHを含むポリオレフィンの多層フィルムやシートのリサイクル材にソアレジン™を添加することでEVOHを微分散させ(図7)、機械強度や透明性を改善し、高品質なリサイクル樹脂を提供できる。

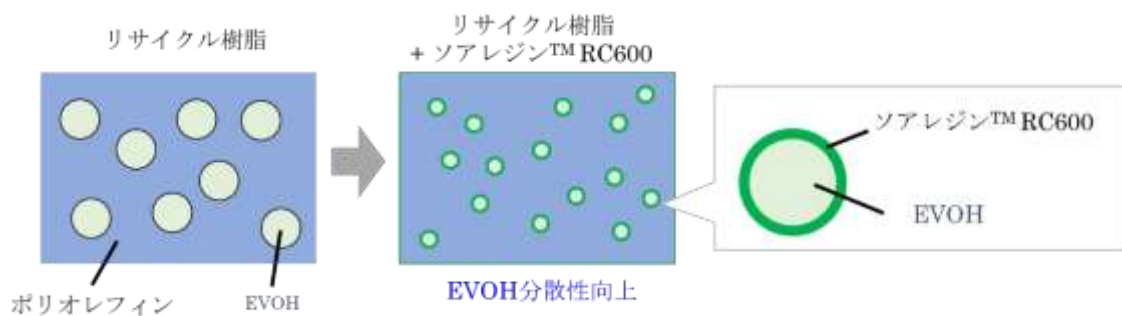


図7 新規リサイクル助剤における効果模式図

新規に開発したソアレジン™ RC600を用いたリサイクル実験として、エチレン組成 32 mol の EVOH を 15 wt%を含む厚さ 1 mm の PE 多層シートを粉砕し、フレークを作製した。その後、リペレット時に新規リサイクル助剤を添加して、リサイクルペレットを作成後、リサイクルフィルムを製膜した。

樹脂組成：LLDPE / Tie / EVOH = 75 / 10 / 15 wt% + ソアレジン™ RC600

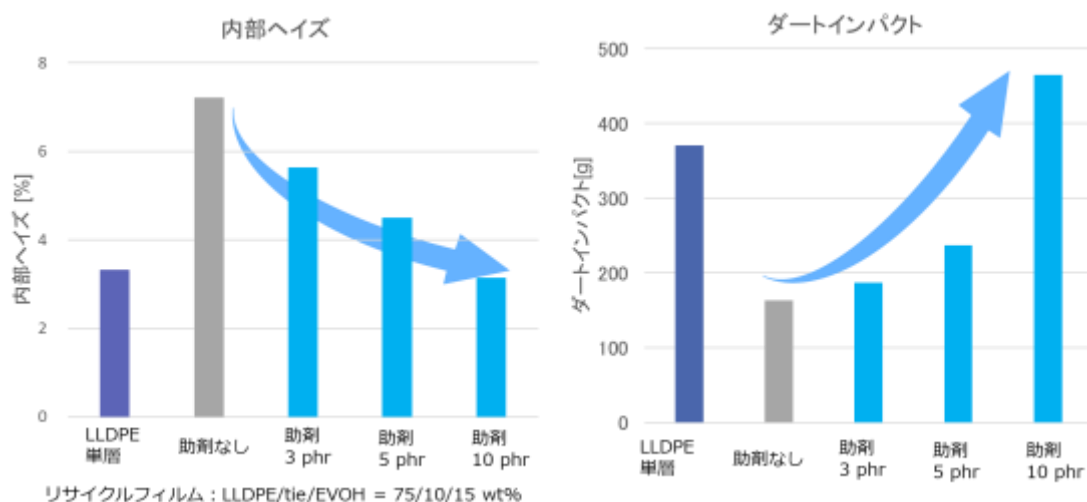


図8 ソアレジン™ RC600 を配合したリサイクルフィルムの透明性と機械強度の変化

ソアレジン™を添加していないリサイクルフィルムではリサイクル前の LLDPE 単層フィルムと比較して内部ヘイズが高くなり、衝撃強度（ダートインパクト）が低下している（図8）。これは EVOH がポリエチレン中に十分相溶せず粗大粒子として存在しているためである。透明性と衝撃強度はリサイクル品の品質を考える上で重要な要素であり、リサイクル前のフィルムにできる限り近い品質が望ましい。ソアレジン™ RC600 を添加することで、内部ヘイズおよびダートインパクトが大幅に改善され、添加量を 10 phr とすることでバージン樹脂とほぼ同等の透明性と機械強度を得ることが確認された。

4-3 リサイクル助剤ソアレジン™と PCR モデル実験

ソアレジン™ RC600 を用いた当社での Post-consumer recycle の実証実験結果を紹介する。リサイクル原料として EVOH を含む PE 系の多層ケチャップボトルを用いた。

まず、使用後のケチャップボトル 300 本の中身を洗浄した後、粉砕機を用いてフレーク作製した（図9）。フレークを水洗し、オーブンで乾燥させた後、二軸押出機で造粒した。その後、単軸押出機で 50 μm の単層リサイクルフィルムを得た。

原料：カゴメ（株）社製 カゴメトマトケチャップボトル 500 g を 300 本

粉砕：粉砕機を用いてフレークを作製。メッシュサイズは 4 mm。

洗浄：10 °C での水を用いて洗浄

造粒：二軸押出機を用いて造粒。加工温度：210 °C（造粒時にソアレジン™ RC600 を 5 phr 添加。）

製膜：単軸押出機を用いてリサイクルフィルム単層を製膜。加工温度：210 °C

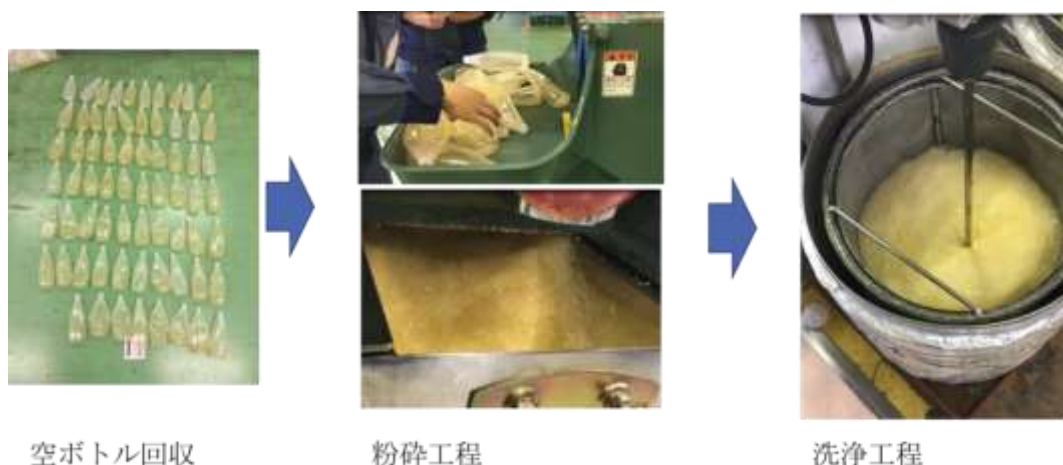


図9 リサイクル工程の様子

水洗後のフレークにはケチャップ由来の成分が残存しておりケチャップの臭気を確認されたが、造粒および製膜時に加工トラブルはなく、安定してリサイクルペレット及びフィルムが得られた。

SEM 観察によりリサイクルペレット中の EVOH 樹脂の分散性を観察した。リサイクル助剤を添加していないペレットでは EVOH が $2\sim3\ \mu\text{m}$ 程度の粒子として存在しているが、ソアレジンTM RC600 を添加したペレットでは EVOH がポリエチレン樹脂に粒子径 $1\ \mu\text{m}$ 以下の状態で微分散していることを確認した。(図10)。

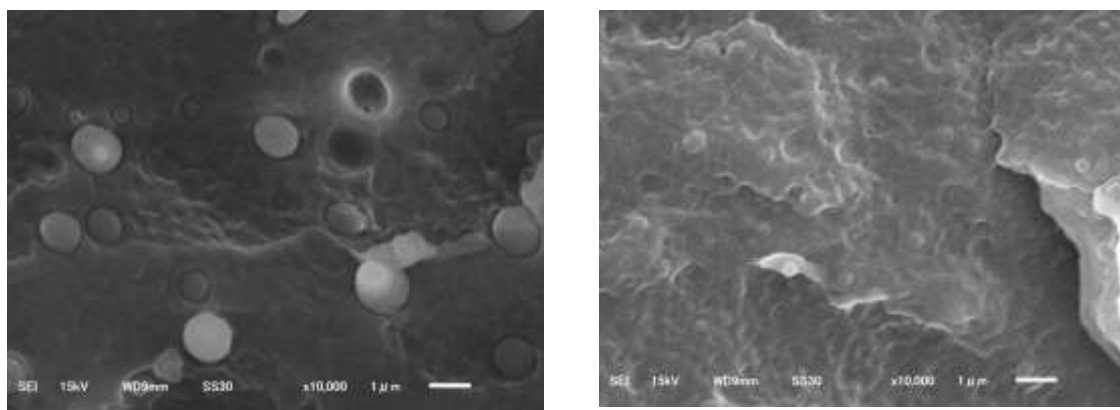


図10 (左) ソアレジンTMを添加していないリサイクルペレットの SEM 写真結果、(右) ソアレジンTMを添加した SEM 写真結果 (10000 倍)

得られたリサイクルフィルムの評価でも、ソアレジンTM RC600 の配合による外観、表面粗さ、破断強度、機械強度、衝撃強度の大幅な改善を確認した (図11)。一方、このソアレジンTM RC600 を添加していないフィルムでは、EVOH 由来と思われるゲルが確認された。



※ 単体のポリエチレンフィルムの性能をスコア 5 として、それぞれの値を算出。

図 11 ソアレジン™を添加したリサイクルフィルムと添加していないリサイクルフィルムの性能

Post-consumer Recycle の普及が期待されるなか、EVOH を含むリサイクル材料にソアレジン™を相溶化剤として用いることでリサイクル材成形物の品質向上と用途拡大が期待される。そして、このソアレジン™ RC600 の衝撃強度や機械強度を改良したソアレジン™ RC700 も開発されている。

5. 延伸技術

これまでに EVOH における高いガスバリア性による消費期限延長、環境対応適合性およびリサイクル性について述べてきたが、包装材料としてのガスバリア性に関しては課題もある。特に、EVOH のガスバリア性は湿度に依存しており、高湿度下では酸素バリアが低下する。相対湿度に対してエチレン組成 29 mol EVOH の酸素透過度（以下、OTR）をプロットすると、30 %RH から 100 %RH にかけて OTR が大きくなる（図 12）。

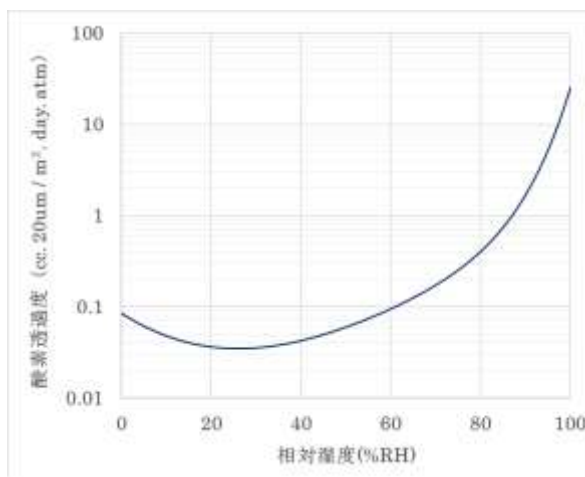


図 12 エチレン組成 29 mol EVOH の OTR の湿度依存性

当社では延伸技術により EVOH の結晶化度をコントロールすることで、高いバリア性が発現することを確認した。一軸延伸 (Machine Direction Orientation。以下 MDO) は二軸延伸と比べて大規模な装置を必要としないため注目されている技術である。図 1 3 に MDO の概略図を示す。フィルム製膜後、①加熱部でフィルムを延伸温度まで加熱させる。基材によりその温度は決定されるが、一般的にガラス転移温

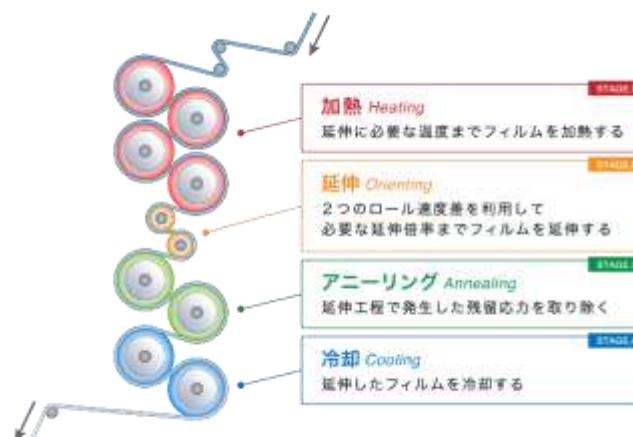


図 1 3 MDO の概略図

度より高く融点以下で行われる。②延伸部分でロールの速度差によりフィルムを延伸させる。一般的に 5~7 倍程度の延伸が行われることがある。その後、③アニーリング部分でフィルムの残留応力を緩和させ、④フィルムを冷却させる。

この MDO 技術により、フィルムの高透明化や機械強度が改善することが知られている。EVOH 多層フィルムにおいては、MDO を行うことで、OTR が劇的に改善されることを確認した。特に、7 倍以上の延伸を行うことで、ガスバリア性に課題があると思われる高湿度下でのガスバリア性が 10 倍以上改善されることが確認されている。

原反フィルム : HDPE/tie/EVOH/tie/HDPE (EVOH: 20 μ m, Total: 200 μ m)

EVOH: エチレン組成 29 mol EVOH

(※ 評価結果での未延伸フィルムは HDPE/tie/EVOH/tie/HDPE (EVOH: 3 μ m, Total: 30 μ m)

バリア測定条件 : Mocon 社製 Oxtran 2-21 20 $^{\circ}$ C, 90 %RH 環境下

各種延伸 : 一軸方向に 5 倍、7 倍、8 倍、延伸温度 : 120 $^{\circ}$ C

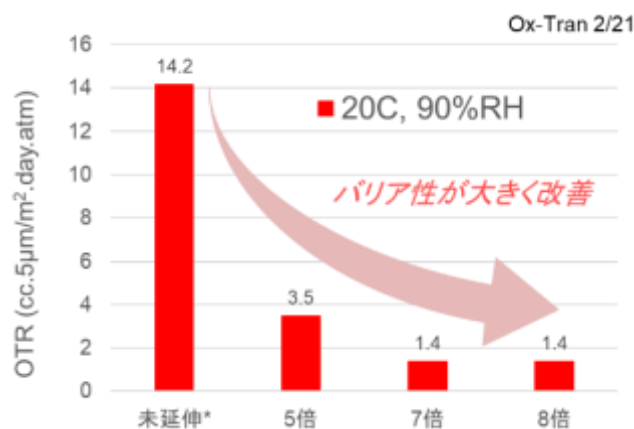


図 1 4 MDO の延伸倍率と OTR の関係



この MDO は EVOH の課題であった高湿度下でのガスバリア性を大きく改善させることが出来る技術として非常に期待されている。現在、海外を中心にその評価は進み、ポリオレフィンリサイクルとしてガイドラインに認められていないアルミニウム箔や、PET や PVDC などを含む多層フィルムから EVOH 多層フィルムへの切り替えがさらに加速している。

7. 今後の展望

食品ロス削減や環境配慮型の包装の機運が高まる中で、ポリオレフィンとのリサイクルにおいて適性が認められた EVOH の需要が増加している。当社では、その市場の需要に応じて供給を担保すべく、英国工場の生産能力を年間 21,000 トン増強することを決定した⁽⁷⁾。さらに、ソアノールTM は持続可能な製品の国際的な認証制度の一つである ISCC (International Sustainability and Carbon Certification、国際持続可能性カーボン認証) PLUS 認証を取得した⁽⁸⁾。本認証はリサイクル原料やバイオマス原料などが、製品製造を含むサプライチェーン上で適切に管理されていることを担保するものである。

消費者にとって満足して使用できる包装材の機能を欠かすことなく、環境配慮型の包装設計を両立させることは容易ではない。しかし、本稿で述べたソアノールTM およびソアレジンTM がこの課題解決の一助になれるように、今後も努めていきたい。

8. 参考文献

- (1) 吉田 友則, フードロス削減に貢献するパッケージ・包装・フィルム技術の最新動向 フードロス削減に貢献する EVOH バリア材料の開発 第二章, P57 (2022)
- (2) 一般社団法人プラスチック循環利用協会 報告資料, “プラスチック製食品容器包装の環境貢献に関する調査研究報告書 ~ライフスタイル考慮型 LCA(ハム包装) ~”, (2020)
- (3) European committee press release 30 November 2022
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_7155
- (4) Packaging design for recycling, WPO 発行 (2024)
- (5) 2022 年 7 月 20 日 当社 HP より「エチレン・ビニルアルコール共重合樹脂「ソアノールTM」にリサイクル助剤「ソアレジンTM」を添加した多層フィルムのリサイクル認証取得について」<https://www.soarnol.com/jpn/press/20220720.html>
- (6) 2023 年 12 月 26 日 当社 HP より「エチレン・ビニルアルコール共重合樹脂「ソアノールTM」およびリサイクル助剤「ソアレジンTM」を含む多層フィルムのリサイクル認証取得について」<https://www.soarnol.com/jpn/press/20231226.html>
- (7) 2022 年 7 月 28 日 当社 HP より「英国におけるエチレン・ビニルアルコール共重合樹脂「ソアノールTM」の能力増強について」
<https://www.soarnol.com/jpn/press/20220728.pdf>
- (8) 2023 年 2 月 20 日 当社 HP より「国際持続可能性カーボン認証「ISCC PLUS 認



一般社団法人 日本食品包装協会

証」の取得について」 <https://www.soarnol.com/jpn/press/20230220.pdf>

著者情報 -----



中西 伸次 (NAKANISHI, Shinji)

2010 年 凸版印刷(株) へ入社し、包装関連業務に従事。2016 年 日本合成化学工業(株) (現、三菱ケミカル(株)) に入社。新規 EVOH 開発業務を行った後、2020 年 三菱化学(中国)管理有限公司に駐在。2023 年から現職。包装専士。

<趣味> 中国料理店巡り

〒712-8054 岡山県倉敷市潮通 3-10 (松江東)

E-mail: shinji.nakanishi.ma@mcgc.com