

## MBBP 開発プラットフォーム

### ～海洋プラスチックごみ問題の解決を目指して～



企業レポート

宇山 浩\*, 徐 于懿\*\*

Marine-Biodegradable Biomass Plastics (MBBP) Development Platform

Key Words : Marine-Biodegradable Plastics, Biomass Plastics, Starch, Thermoplastics

#### はじめに

ポリエチレン (PE) やポリプロピレン (PP) をはじめとする汎用プラスチックは安価、軽量、自在な成形性による高い意匠性・デザイン応用性などの特性で、我々の日々の生活を豊かにしてきた。丈夫で腐らないという特徴を活かして幅広い分野で利用されてきたが、自然環境中で分解されにくい様々な環境問題を引き起こしている。近年、マクロプラスチック (サイズの大きいプラスチックごみ: レジ袋、PET ボトルなどの成形品) とマイクロプラスチック (サイズの小さいプラスチックごみ: プラスチックの破片や研磨材等といわれている) の海洋汚染が深刻になっている。また、フリース等に利用されるポリエステル、ナイロンといった化学繊維のマイクロファイバー (長さ5ミリ以下) が洗濯で抜け落ち、川・海に流出することで汚染の原因となっている。現状、海洋に漂流するプラスチックの正確な量は把

握されていないが、世界で毎年 900 万トンを超えるプラスチックごみが陸上から海洋へ流出すると報告されている<sup>1)</sup>。この量は 500mL の PET ボトル 5000 億本に相当する。また、プラスチックごみの発生量の半分以上がアジアである。発生源は陸上由来のものが、海上に直接投棄されるものより多い。不適切な処理による海洋プラスチックごみの主たる排出源がアジアである。

プラスチックごみの中でも、とりわけ海洋へ流出する可能性が高いワンウェイ用途のプラスチックについては、海洋へ流出しても環境への負荷が小さい新素材 (海洋生分解性プラスチック) へ代替することが社会的に切望されている。経済産業省からは 2019 年 5 月に海洋プラスチックごみ問題の解決に向け、イノベーションを通じた取組みとして、海洋生分解性プラスチックの開発・導入普及を図るための主な課題と対策を取りまとめた「海洋生分解性プラスチック開発・導入普及ロードマップ」が発表された。これには①海洋生分解性プラの種類を増やすことで製品の適用範囲を増やす、②複合素材の技術開発による多用途化、③革新的技術・素材の研究開発の三つのフェーズが示されている。

プラスチックに関わる資源循環としてリサイクルが重要である。世界のプラスチックごみの発生量は年間 3 億トンを超え、環境中に流出して観光や漁業にもたらす悪影響などの損害が年間約 130 億ドル (約 1 兆 4 千億円) に上ると推定される。日本は廃プラスチックのリサイクル率は高いが (86%)、サーマルリサイクルが約 30% であり、直接的な資源循環は達成されていない。また、光合成により取り入れた炭素源を用いて生産されるバイオマスプラスチックの導入は地球温暖化ガス (CO<sub>2</sub>) 削減に寄与し、地球規模の資源循環の観点から重要であるが、日本のバイオマスプラスチックの出荷量は 35 千トンに



\* Hiroshi UYAMA

1962年5月生まれ  
京都大学 大学院工学研究科 合成化学専攻博士前期課程 (1987年)  
現在、大阪大学 大学院工学研究科 応用化学専攻 教授 博士 (工学)  
専門/高分子材料化学  
TEL : 06-6879-7364  
FAX : 06-6879-7367  
E-mail : uyama@chem.eng.osaka-u.ac.jp



\*\* Yu-I HSU

1986年3月生まれ  
京都工芸繊維大学 大学院工芸科学研究科 バイオベースマテリアル学専攻博士後期課程 (2012年)  
現在、大阪大学 大学院工学研究科 応用化学専攻 助教 博士 (工学)  
専門/高分子材料化学  
TEL : 06-6879-7365  
FAX : 06-6879-7367  
E-mail : yuihsu@chem.eng.osaka-u.ac.jp

過ぎない。

現在、実用化されている海洋生分解性プラは微生物産生ポリエステルをはじめとする一部の脂肪族ポリエステルに限定される。カネカが近年、工業化した微生物産生ポリエステル (PHBH、ポリヒドロキシシアルカン酸の一種) は5千トン/年の生産であるが、全世界のプラスチックの生産 (4億トン/年) 規模と比してあまりに少量である。汎用プラスチックと比して、価格、物性、成形性に課題があり、日用品をはじめとして適用範囲が狭い。脂肪族ポリエステルであり、土壌での生分解性を有するポリブチレンスクリネート (PBS) は三菱ケミカルが工業生産し、海洋での生分解が期待されるが、PHBHと同様の課題が指摘されている。

本稿では地球と共生できる海洋生分解性プラスチックを開発し、普及させることを目的として、筆者が2020年9月に発足させた海洋生分解性バイオマスプラスチック (Marine-Biodegradable Biomass Plastics, MBBP) 開発プラットフォームの取組みを紹介する<sup>2)</sup>。

### デンプン配合海洋生分解性プラスチック

筆者は安価かつ海洋生分解性を有するデンプンに着目している。セルロースをはじめとした多くの多糖類の材料用途への利用が検討されている中で、デンプンは自然界に豊富に存在し、精製度の高いデンプンを大量かつ安価に入手できることから、プラスチックの代替材料構成要素として適している。デンプンや加工デンプンは食品素材として幅広く用いられてきたことから安全性が担保されているうえ、価格は数十円~百数十円/kgと汎用プラスチックと同程度以下と安い (参考: 生分解性ポリエステルの価格 >500~700円/kg)。食用以外にも一部の加工デンプンは接着剤等として工業的に幅広く利用されている。一方でデンプンはプラスチックとの混和性、耐久性、耐水性が低いため、プラスチック製品への利用 (配合) が限定される。数少ない実用化例としてノバモント社 (イタリア) 製「マタービー」が挙げられる。デンプンと生分解性熱可塑性ポリマーとのブレンドであるマタービーは、生分解性を活かした農業用マルチフィルムのみならず、レジ袋、コンポストバッグ、紙ラミネート、食器・容器類、射出成形品等に加工できる。マタービーは法規制の厳し

いヨーロッパでは、すでに様々な用途で使用されているが、高価格に加え、限定的な物性から日本では幅広く流通するに至っていない。

筆者らは加工デンプンと TEMPO 酸化セルロースナノファイバー (TOCN) の複合化による海洋生分解性プラスチックシートを開発した。この成果はデンプンとセルロースといった身近な材料から海洋生分解性プラスチックが開発されたと社会的に高く評価され、テレビや新聞で大きく報道された。加工デンプンと TOCN を独自技術で複合化するとデンプンの耐水性が大幅に向上し、水中でも溶解 (崩壊) しないことを見出した<sup>3,4)</sup>。得られたシートは透明で強度はPE、PPといった汎用プラスチックの二倍であり、実用レベルの物性を獲得できている。さらに海水中に一月浸漬すると分解が進み、シートには多数の穴が開き、穴付近に菌類を含む微生物の存在が確認できた (図1)。一方、対象実験として行った TOCN シートは同条件で海洋生分解性を示さなかったことから、デンプン含有複合シート表面

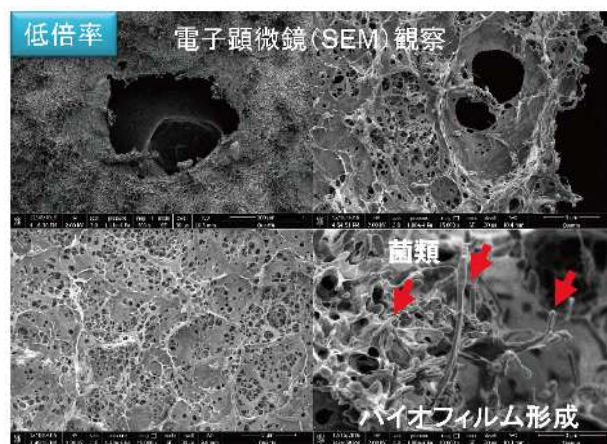


図1 デンプン/セルロース複合シートの海洋生分解性を示すSEM写真

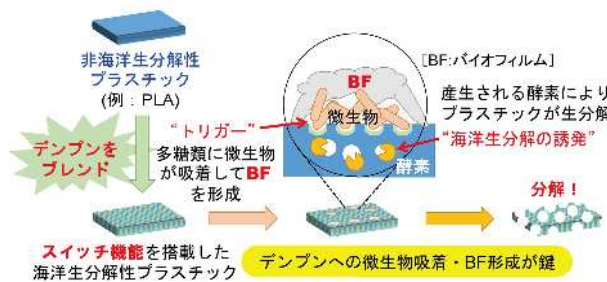


図2 多糖類をトリガーとするスイッチ機能を有する海洋生分解性プラスチックの設計指針

にバイオフィームが形成し、バイオフィーム（微生物）から産生した酵素によりシートが生分解したと考えられる。すなわち、デンプンをプラスチックに配合することで海洋生分解機能が発現する可能性を強く示唆する。デンプンは海洋微生物にとっては格好の栄養源であり、デンプン配合プラスチック上に微生物が容易に繁殖することでバイオフィームを形成し、難海洋生分解性プラスチックであってもバイオフィーム中の微生物が産生する酵素により分解が進行することが推測される（図2）。

筆者らの海洋生分解性プラスチックの材料設計の重要な特徴として、海洋生分解を誘発するトリガーとしてデンプンを用いる点が挙げられる。通常使用では分解せず、海洋中に浸漬されることで分解が開始するスイッチ機能をプラスチックに搭載する。この材料設計発想の源として、BASF社（ドイツ）で開発された芳香族含有生分解性ポリエステル（PBAT、ポリブチレンアジペートテレフタレート）の土壤中での生分解機能が挙げられる。BASF社は農業用マルチフィルム用途で、ポリ乳酸（PLA）とPBATのブレンド（商品名：エコバイオ）を事業化している。PLAは土壤中で生分解性を示さないが、エコバイオはEU域で土壌生分解性の認証を受けている。この結果は単独では土壤中で難生分解性プラ（例：PLA）であっても、土壌生分解性を示すプラスチック（例：PBAT）とブレンドすることで土壤中で生分解することを示している。

### MBBP 開発プラットフォーム

従来、安価なパルプやデンプンなどの多糖類をプラスチックに添加する試みが多く行われてきたが、多糖類そのものは熱可塑性を示さないために多糖類だけでプラスチックは製造できない。プラスチックの熱可塑性は自在な成形に必須であり、プラスチックに不可欠な性質である。汎用プラスチックの大半を占めるPE、PPをはじめとする現行の熱可塑性プラスチック製品に対して、上述の加工デンプン/TOCN複合シートは熱可塑性を示さないことから、汎用プラスチックの置換えを目指すには不適格である。デンプンをPEに配合したデンプン樹脂が知られているが、物性は既存汎用プラスチックとの差別化が十分でなく、生分解性を有さないことから、幅広く流通するに至っていない。

デンプンは適切な可塑剤の添加により熱可塑性できる。MBBP開発プラットフォームでは熱可塑性デンプンペレットを元に、生分解性プラスチックをブレンドして自在な成形を可能とするMBBPを開発する。広範なプラスチック製品の置換えを目指して、MBBPの物性をチューニングし、同時にMBBPに対する押出成形（インフレーション法、Tダイ法等）、射出成形、ブロー成形の技術開発を行う。生分解性プラとしてはPBS、PLA、PBATを主に用いる。また、製品に求められる物性へのチューニングや強度向上のために、必要に応じて炭酸カルシウム、セルロース等のフィラーを添加する。

MBBP開発プラットフォームでは、原料メーカーのデンプンペレットに生分解性プラスチックをブレンドしたコンパウンドの成形試作によるモデル製品の開発に取り組んでいる。図3にはデンプンペレット、MBBPコンパウンドのペレット、射出成形によるダンベル片、ブロー成形によるボトル、インフレーション成形によるフィルムを示す。今後、製品に求められる物性・機能を搭載したMBBPコンパウンドとその成形技術を開発することでMBBP製品の実用化・社会普及を目指す。



図3 デンプンペレット、MBBPコンパウンド、ダンベル片（左）、ボトル（中）、フィルム（右）

### おわりに

筆者らが立ち上げたプラットフォームで開発・実用化を目指すMBBPは①生分解性、②汎用プラスチック並みの物性、③価格面での競争力、④広範なプラスチック成形を可能とする熱可塑性を有し、次世代プラスチックとして有望である。MBBPの社会普及により、バイオマスの積極的な利用による資源循環・サーキュラーエコノミーへの貢献、プラスチック製品への海洋生分解機能の搭載による海洋ブ

プラスチックごみ問題の解決が期待される。

このような社会的な使命に基づき、MBBP 開発プラットフォームには2021年1月現在で約30社(松谷化学工業、白石カルシウム、サラヤ、UHA 味覚糖、ユニ・チャーム、ニッポー、アスカカンパニー、星光PMC、積水化成品工業、荒川化学工業、興和、パナソニック、イノアックコーポレーション、スタープラスチック工業、利昌工業、味の素、ユングブントラワー・ジャパン、大丸松坂屋百貨店、三菱ケミカル、東洋紡、キレスト、トーヨーカラー、双日プラネット、三和化工、タイキ、馬野化学容器、木戸紙業、リンテック他)が加入している。原料メーカー、化学メーカー、成形メーカー、エンドユーザー企業、商社、小売業と多様な産業分野の企業で構成され、分野の垣根を超えてMBBPの実用化、社会実装に向けて取り組んでいる(図4)。皆様からの支援を得て、MBBP製品の早期社会普及に向けた開発に取り組む所存である。



図4 MBBP開発プラットフォームにおける企業間連携

## 参考文献

- 1) 堅達京子、脱プラスチックへの挑戦、山と溪谷社(2020).
- 2) <http://www.chem.eng.osaka-u.ac.jp/mbbp>.
- 3) R. Soni, T. Asoh, H. Uyama, *Carbohydrate Polym.*, **238**, 116203 (2020).
- 4) 麻生隆彬、徐于懿、宇山浩、TECHNO NET、**589**, 6 (2020).

