

2022年度 中国本部 化学／繊維／金属部会講演会 講演要旨

今、海洋で起っているプラゴミ問題と海洋生分解性プラスチックの開発

講師：群馬大学 学長特別補佐 大学院理工学府 分子科学部門 環境調和型材料科学研究室
群馬大学食健康科学教育研究センター センター長 教授 粕谷 健一 氏



化学／繊維／金属部会
部会長 焼本数利
(化学・総合技術監理部門)

1. 海洋環境におけるプラスチックゴミの問題

プラスチックは、我々の生活の利便性を向上させてきた。その一方、海に流出すると分解せずに滞留し、海ゴミとして大きな問題となる。そこで本講演会は、海洋生分解性プラスチックの研究開発をリードされている群馬大学の粕谷健一教授¹⁾に講演をお願いした。最初に、海洋環境のプラゴミ問題の現状を解説頂いた。次に、「ムーンショット型研究開発」のプロジェクトマネージャーとして取り組まれている「海洋生分解性プラスチックの開発」のコンセプトと成果の一部を紹介頂いた²⁾。



図-1 群馬大学 粕谷 健一 教授¹⁾

2. プラゴミ問題の現状と問題点

海表面では、プラゴミの約50%を逸失漁具、海底では、約90%をパッケージングが占める。粕谷教授は「しんかい6500」にて三崎沖深海底（水深757m）のプラゴミを観察された。海洋プラゴミの問題点は、①汚染物質や毒性物質のキャリアとなる、②海洋中に蓄積されることである。マイクロプラスチックは年間95万トン発生し、タイヤブレーキダスト、樹脂ペレット、衣類繊維及び塗料が大半を占める。

これらより、海洋中で分解消失する海洋生分解性プラスチックへの期待が高まっている。

3. 海洋生分解性プラスチック

海洋中で微生物が生成する酵素の働きにより水とCO₂に分解されるプラスチックである。

3.1 海洋生分解性プラスチックの課題

- ① 海洋は微生物数が少ないため分解し難い
- ② 海洋生分解性プラスチックは種類が少
- ③ 機械特性と生分解性とは排他的な関係

3.2 排他的な関係にある特性への対応策

基盤材料に生分解開始スイッチの機能を持たせる。これにより、使用中は生分解性を抑えて機械強度を発現させ、使用後は生分解速度を制御しながら、速やかに分解を進める。

3.3 材料の生分解性発現機構

材料の生分解性は以下のように発現する。

- ① 生物及び非生物因子により細かく断片化
- ② 微生物が生産する触媒作用物質（酵素等）による高分子主鎖切断と低分子量化
- ③ 分子の完全酸化による二酸化炭素、硝酸、硫酸、メタン、塩の排出

多くの天然高分子には分解酵素が存在する。化学結合の種類により分解酵素は変わる。完全にアモルファスな構造は酵素で分解できない。しかし、単結晶を含むものは分解される。海洋生分解性プラスチックの種数は少ないが、PHAs (polyhydroxyalkanoates) は生分解する。また、P(3HB)分解酵素はフィルム表面に結合するためのSBD(基質結合ドメイン)を持ち、SBDがP(3HB)単結晶に結合して酵素分解する。

3.4 海洋生分解性に対する高次構造の影響

プラスチックの結晶化度は、酵素分解速度に大きく影響する。結晶部の酵素分解速度は非晶部の1/20と遅くなる(PHBの場合)。

ガラス転移点(Tg)が反応温度より低い材料では、酵素の足場となる結晶部は必須となる。非晶部のみでは酵素分解しない。一方、Tgが反応温度より高い材料では、非晶部も凍結して酵素の足場となるので、酵素分解する。

3.5 海洋生分解性プラスチックの種類

生分解性プラスチックを分解する微生物は、様々な環境に棲んでいる。しかし、海洋に棲む分解菌の数は土壌、堆肥、淡水と比べて少ない。水中では分解菌がバイオフィーム(細菌をプラスチック表面に強固に付着させる粘着物質)を形成することにより、分解する。

化学合成系の海洋生分解性プラスチックとしては、PCL(Polycaprolacton)とPGA(Poly-glycolic acid)が挙げられる。生化学合成系では、PHAの他、Cellulose Acetate、マタービー、シルクフィブロインが挙げられる。P(3HB)は、ポイントとなる材料である。

PHAは深い海で分解し、PCLは浅い海で分解する。この事実は開発のヒントになる。

3.6 海洋中でのPHA, PCLの生物炭素循環

PHA分解細菌及びPHA合成細菌は、海洋のあらゆる環境に存在する。すなわち海洋で生産されるPHAは海洋で分解され、生物炭素サイクルに取り込まれていく。つまり海洋で生産される高分子は、海洋分解性高分子の候補となる。PCLはクチンのアナログとして微生物が認識する。PHAと同様、PCLは海洋で分解され、生物炭素サイクルに取り込まれていく。

4. ムーンショット研究開発事業「生分解開始スイッチ機能を有する海洋生分解性プラスチックの研究開発」

ムーンショット型研究開発事業においては、2050年までに、「地球環境再生に向けた持続可能な資源環境を実現すること」が目標に設定されている。

4.1 海洋生分解性基盤材料(ポリエステル)

新規PHAの効率的合成手法の確立、新規PHA基材の開発及び多糖類からの生分解性基盤材料の開発が行われた。

4.2 生分解性スイッチ機能の開発

塩濃度スイッチ、酸化還元スイッチ及び摩耗スイッチが開発された。摩耗スイッチでは、ポリ乳酸を分解するプロティナーゼ-Kを高分子ゲルに固定化し、高耐熱性固定化酵素の作製に成功している。さらに、溶融混練とプレスフィルム作製に成功し、工業的に興味深い摩耗スイッチが実現されている。

4.3 生分解速度制御技術の開発

材料科学的観点からの生分解性速度因子の解明が行われた。PHA製の高強度・高弾性率繊維が得られている。延伸倍率及び延伸/未延伸の違いにより、分解速度が制御された。無延伸の分解が遅い点に質問があったが、延伸による結晶形態の違いが原因と推察された。

4.4 生分解検証および評価

海洋現場での生分解性検証試験が行われ、海洋分解性プラスチックに付着した微生物のゲノム情報や酵素の同定が可能となっている。

5. 海洋生分解性の重要性(まとめ)

本研究開発は、海洋環境における海洋生分解性プラスチックの生物炭素循環まで想定された壮大な研究開発であると考えられる。また、マイクロプラスチックは深海まで分布し回収が容易でないため、海洋生分解性はより重要な特性になると考える。様々な技術分野で海洋生分解性の重要性を認識していくと共に、本研究の益々のご発展を期待する次第である。

・参加者数 69名 (20都道府県, 18技術部門)

<出展・参考資料>

- 1) [第10回 目標4 粕谷プロジェクト - 科学技術政策 - 内閣府 \(cao.go.jp\)](#) より引用
- 2) 粕谷健一「今、海洋で起っているプラごみ問題と海洋生分解性プラスチックの開発」, 2022年度 中国本部化学/繊維/金属部会講演会配布資料, (2022. 7. 30)