E2-02　サーキュラーマテリアルの開発とその環境評価法

齋藤敬（京大院・総合生存学館）

近年、カーボンニュートラル社会の実現に向けて、材料自体の性能だけでなく、そのライフサイクル全体を考慮したサーキュラーマテリアルの開発が強く求められている。従来の高分子材料は、モノマー間が不可逆的な共有結合によって連結されているため、使用後に元の原料へ戻すことが困難であり、リサイクル性に大きな制約があった。一方、近年では可逆的な共有結合あるいは非共有結合を利用したダイナミックポリマーが注目されており、材料の再利用・再資源化を可能とする新たな材料設計として期待されている。

本講演の前半では、可逆的な $2\pi+2\pi$ 光環化付加反応を利用したサーキュラーポリマーの設計について紹介する。$2\pi+2\pi$ 環化付加反応を示す分子系は、シンナメート、スチルベン、チミン、クマリン、スチリルピレンなど限られた化合物に限定される。本研究では、これらの光可逆反応を利用し、トポケミカル制御に基づくモノマーからポリマーへの重合と、その逆反応による解重合を体系的に検討した。その結果、自己修復材料や再利用可能な接着剤など、光刺激によって結合と解離を繰り返す新しいサーキュラーポリマーの創製に成功した。続いて、リグニン由来化合物を利用したバイオベースサーキュラーポリマーについて紹介する（図１）。リグニン分解によって得られるバニリンおよびシリンガアルデヒドを出発原料とし、グリセロール由来の多官能性シンナメートモノマーを持続可能なプロセスで合成した。これらのモノマーを用いることで、光照射による架橋と解架橋を繰り返すバイオベース高分子材料を開発した。

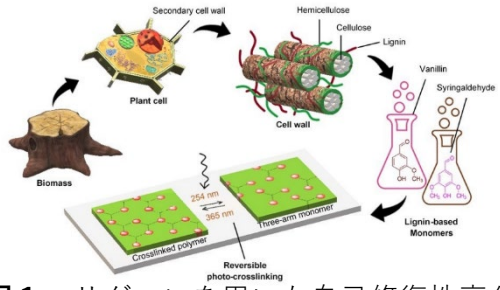

図１　リグニンを用いた自己修復性高分

講演の後半では、このようなサーキュラーマテリアルを適切に評価するための新しい環境評価法について紹介する。従来広く用いられている E-factor は化学プロセスから排出される廃棄物量を評価する優れた指標であるが、製品寿命や繰り返し使用、さらには循環利用による環境負荷低減効果を十分に反映することはできない。そこで本研究では、従来の E-factor を拡張し、製品の循環性やサービスライフを考慮可能な新しい評価指標を提案する。この指標により、サーキュラーマテリアルが有する環境的価値を、従来よりも包括的かつ実用的に評価できることを示す。

さらに、本講演では持続可能な未来に向けた化学の役割について 2025 年に開催されたノーベルシンポジウム「Chemistry for Sustainability」において採択されたストックホルム宣言（Stockholm Declaration on Chemistry for the Future）を紹介する。こちらの宣言では、循環型材料の設計、資源効率、長寿命化、国際連携、人材育成などを柱として、化学が持続可能な社会の実現に果たすべき方向性が示された。本講演では、この宣言の概要を紹介するとともに、サーキュラーマテリアル研究が国際的な潮流の中でどのような位置付けにあり、今後どのような研究・産学連携が求められるのかについて展望する。

PROFILE

齋藤敬（京都大学大学院総合生存学館　教授）
①2004 年早稲田大学理工学研究科から博士を授与（応用化学専攻　西出博之教授に師事）。その後米国に渡り、2005 から 2007 年までマサチューセッツ大学のグリーンケミストリー研究所でグリーンケミストリーの創始者(Prof. John Warner)の下、研究に従事。2007 年、Principal Investigator(PI)、研究室の主宰者として豪州モナッシュ大学に赴任する。2020 年 9 月まで tenured Associate Professor として、モナッシュ大学でのグリーンケミストリー、環境調和型ポリマー、プラスチック研究を牽引。2015 年 10 月から 2019 年 3 月まで JST　さきがけ研究員（兼任）に従事。2020 年 10 月より現職。②高分子化学・グリーンケミストリー。③英国王立化学会フェロー。

Copyright(c); 2026, The Chemical Society of Japan