

科学技術者フォーラム 2026 年2月度(第 269 回)セミナー報告  
【「壊れる化学」と「生まれ変わる化学」—高分子表面で何が起きているのか—】

日 時:2026 年 2 月 21 日(土)14:00~16:45

会 場:品川区立総合区民会館(きゅりあん)5F 第 4 講習室+ ZOOM オンライン

参加者:22 名(会場 18 名、WEB 1 名)

講演者:群馬大学 名誉教授 黒田 真一 氏

クレスール株式会社 CTO、マテリアルライフ学会会長

<講演要旨>

1. 高分子光劣化の基礎と反応機構

高分子(プラスチック)の劣化は、光、熱、機械的作用、水分などの要因が複雑に絡み合って進行します。その本質は、化学結合の切断による分子量の低下と、それに伴う物性の変化にあります。

- **結合解離エネルギーの重要性:** 劣化は基本的に「切れやすい場所」から起こります。炭素(C)同士の結合でも、枝分かれ構造やハロゲンが結合している部位はエネルギーが低く、わずか 5 kcal/mol の差が反応速度に 100 倍もの違いをもたらします。
- **2つの基本反応:** 黒田先生は、劣化機構を理解するキーワードとして以下の2点を強調されています。
  1. **水素引き抜き:** ラジカルが他の鎖や自らの鎖から水素を奪い、新たなラジカルを生成する。
  2. **ベータ切断 ( $\beta$ -scission):** ラジカルが存在する部位の隣の隣(ベータ位)の結合が切断される。
- **自動酸化メカニズム:** 酸素が存在する環境下では、生成したラジカルが酸素と結びつき、ペルオキシラジカルから過酸化水素型のヒドロパーオキシドを形成します。これが分解してさらにラジカルを増殖させる「ネズミ算式」の連鎖反応(自動酸化)により、劣化は加速度的に進行します。

2. アセトン/水系など光増感反応の特徴

劣化を「壊れる」という側面だけでなく、材料の改質や機能化に繋げる手法として紹介されています。

- **光増感剤の役割:** 通常のプラスチックは光を吸収しにくい場合がありますが、アセトンのような光増感剤を加えることで、光エネルギーを効率的に受け取り、ラジカル反応を誘発させることが可能になります。
- **酸化反応の制御:** アセトン/水系を用いた光増感反応では、特定の条件下で効率よく酸化反応を進行させることができます。これは、単なる「破壊」ではなく、高分子表面に特定

の官能基を導入するなどの「機能化」に向けた化学プロセスとして活用されます。

### 3. プラズマによる表面改質

プラズマは、高分子の表面を「生まれ変わらせる」ための強力なツールとして位置づけられています。

- **ガスバリア性の向上:** セミナーでは、ペットボトルの事例が挙げられました。ペットボトルは本来、微細なガス(二酸化炭素など)を通しやすい性質がありますが、プラズマを用いて内側に薄い炭素膜を形成することで、炭酸が抜けるのを防ぐ高いバリア性を付与しています。
- **反応のきっかけ作り:** プラズマ処理によって高分子表面の結合を強制的に切り、ラジカルを生成させることで、様々な官能基の導入や後述するグラフト重合など、次の反応への「足場」を作ることができます。

### 4. グラフト重合による表面改質

「壊れる(結合が切れる)」ことで生じるラジカルを逆手に取り、新しい機能を付け加える手法です。

- **接ぎ木の化学:** 劣化反応によって生じたラジカルを起点として、別のモノマーを重合させることを「グラフト(接ぎ木)重合」と呼びます。
- **機能の付与:** 元のプラスチックの特性(軽さや丈夫さ)を維持したまま、表面だけを「水に馴染みやすくする」「特定の物質を吸着させる」といった全く別の性質へ変貌させることができます。これが「生まれ変わる化学」の核心です。

### 5. 劣化と機能化をつなぐラジカルの化学

劣化と機能化は、\*\*「ラジカルの生成」\*\*という共通のプラットフォームの上に成り立っています。

- **ラジカルの二面性:**
  - **劣化:** 意図しないラジカル生成が連鎖的に進み、材料をボロボロにするプロセス。
  - **機能化:** プラズマや光増感反応で「意図的に」ラジカルを作り、そこに官能基を導入したり新しい分子の枝を生やしたりして材料をアップデートするプロセス。
- **安定化の工夫:** 実際の商品では、自動酸化を止めるために「酸化防止剤(業界用語で『酸防』)」が巧みに配合されています。一方で、リサイクルの現場では、塩化ビニルから発生する塩酸をアルカリ(水酸化カルシウムなど)で中和し、不純物を補強材に変えてしまおうといった、化学構造を理解した上での「知恵」が重要であると説かれています。

**結論:** 高分子の化学とは、結合の切断(劣化)のメカニズムを深く理解し、それを高度に制御することで、材料を新たな機能を持つものへと再生させる「壊しと再生の調和」の学問であると言えます。

### まとめ:劣化と機能化の分岐点

プロセス	ラジカルの役割	結果
劣化 (壊れる)	無制御な連鎖反応	分子切断、脆化、変色
機能化 (生まれる)	意図的な反応の起点	表面改質、グラフト重合、リサイクル

### <質疑応答>

#### 質問

今日のお話で高分子化合物の劣化の主因は光と熱であるとお聞きしました。それならば地下に埋める場合は劣化は無いのでしょうか。千葉県八潮市では地下の下水管の破損の為大規模な道路陥没が生じ大被害を生じています。

#### 回答

八潮市の災害の原因は硫化水素による鉄管の腐食でした。そこで今各地で鉄管からポリエチレン管等への置き換えが進んでいます。その場合は接手の部分に注意は必要ですが、非常に長持ちする対策になると言えます。

### <所感>

高分子材料は、光、酸素、熱などの作用によって“壊れる”ことで劣化が進み、一方で、常温常圧プラズマや UV 照射を用いた表面処理では、同じラジカル反応を“制御”することで材料表面に新たな機能を付与できます。

「壊れる化学」と「生まれ変わる化学」の共通構造は、Energy input(光/プラズマ/熱)が励起状態になり⇒ラジカル生成(R\*)⇒そして「壊れる化学」と「生まれ変わる化学」の分岐を決める因子は、酸素濃度、エネルギー密度照射時間、拡散距離、表面/バルク。これが制御の本質と。

本講演では、材料表面で生じる「壊れる化学」と「生まれ変わる化学」の共通性に着目し、高分子材料における光劣化機構からプラズマ表面改質、グラフト反応に至るまで、反応メカニズムを体系的に解説され、基礎から最新成果までご紹介頂きました。

あまり知らない分野であったにも関わらず、このたびの講演で認識を新たにすることができたことに対して、深く感謝申し上げます。

【報告者 後藤幸子】