特集 SPECIAL ISSUE

未来を拓く次世代高分子材料

知れば面白い！高分子化学の無限の可能性

東京理科大学 創域理工学部 先端化学科 教授
有光（ありみつ） 晃二（こうじ）

私たちの身の回りを見渡すと，プラスチック，ゴム，繊維，接着剤，塗料など，実に多くのものが「高分子」でできています．高分子とは，その名の通り非常に大きな分子で，小さな分子（モノマー）が多数つながってできています．高校の化学では，ポリエチレンやナイロンなどの構造や重合反応を学びますが，高分子化学の面白さは，単に「小さな分子（モノマー）をつないで大きな分子をつくる」ことだけではありません．

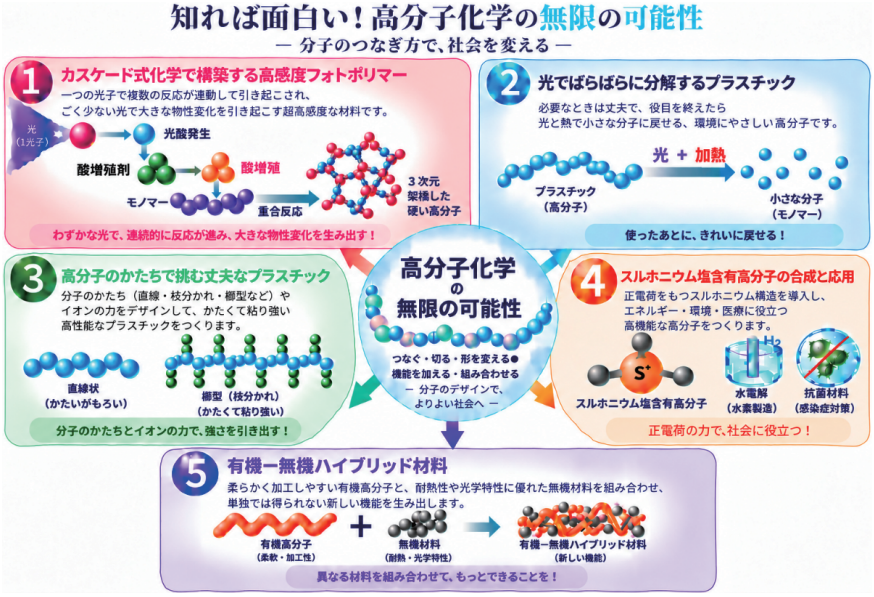
どのような分子をつなぐのか，どのような順番でつなぐのか，枝分かれをどうするのか，さらには有機物と無機物をどのように組み合わせるのか．こうした分子レベルの工夫によって，高分子に驚くほど多彩な性質や機能を与えることができます．本特集では，そのような高分子化学の魅力を，五つの研究から紹介します．

一つ目は，「カスケード式化学で構築する高感度フォトポリマー」です【図①】．フォトポリマーとは，光を当てることで性質が変化する高分子材料です．半導体の微細な回路をつくるフォトレジストや，紫外線で液体が瞬時に固まるUV硬化材料などに利用されています．このフォトポリマーを産業利用するためには，より少ない光エネルギー（高感度）で大きな物性変化を起こすことが求められます．高感度であれば，単位時間あたりに多くの製品を作ることができ低価格化につながります．

そこで，一つの光反応をきっかけに酸や塩基触媒を増やし，これらが次の化学反応を触媒する「カスケード式化学」という考え方が生まれました．階段状に水が落ちる滝のごとく，複数の化学反応が連動して引き起こされることで最初の反応が増幅され，最終的に大きな物性変化をもたらします．実際にこの考え方は，高感度なフォトレジストだけでなく，光が届きにくい黒色樹脂や厚い樹脂を硬化させる技術にも展開されています．

二つ目は，「光でばらばらに分解するプラスチック」です【図②】．プラスチックは丈夫で分解しにくいからこそ便利ですが，その丈夫さが廃棄やリサイクルでは問題になることがあります．そこで発想を逆転させ，「必要なときには丈夫で，役目を終えたら分解できる」高分子をつくろうという研究が進められています．

ポリオレフィンスルホンという高分子では，光によって塩基を発生させ，その後加熱することで高分子を元の小さな分子（モノマー）へと解重合できます．この性質を接着剤に利用すると，普段は強力に接着しているのに，光と熱を与えたときだけ剥がすことのできる「解体性接着剤」になります．つくるだけでなく，「どう壊すか」まで分子の段階で設計することも，これからの高分子化学の重要な役割です．



【図】　様々な機能をもつ高分子材料

三つ目は，「高分子のかたちで挑む丈夫なプラスチック」です【図③】．同じ種類の高分子でも，分子が直線状なのか，たくさんの枝を持っているのかによって，材料の性質は大きく変わります．研究では，主鎖から多数の側鎖が伸びた「櫛型」の構造などを利用し，プラスチックの「かたさ」と「よく伸びる粘り強さ」という，一見両立が難しい性質を同時に高めることに挑戦しています．さらにイオン同士の引き合う力を上手に調整すると，硬さを保ちながらよく伸びる粘り強い材料をつくることもできます．高分子の「かたち」をデザインすることが，材料の性能をデザインすることにつながるのです．

四つ目は，「スルホニウム塩含有高分子の合成と応用」です【図④】．高分子に正電荷をもつ「スルホニウム」という構造を導入すると，新しい機能が生まれます．その一つが，再生可能エネルギーを利用して水から水素をつくるアニオン交換膜型水電解への応用です．また，分子構造を工夫したスルホニウム含有高分子は，細菌に作用する抗菌材料としての可能性も秘めています．わずかな分子構造の違いによって耐久性や抗菌性が大きく変わることは，必要な機能から逆算して分子を設計する高分子化学の醍醐味をよく表しています．

五つ目は，「有機―無機ハイブリッド材料」です【図⑤】．柔軟で加工しやすい有機高分子と，耐熱性や光学特性などに優れた無機材料のそれぞれの長所を分子レベルで組み合わせれば，単独の材料では得られない性質をもつ新しい高分子材料を生み出すことができます．実際に，コンタクトレンズや食品包装など身近なところにもこの考え方は利用されています．さらに，柔軟性と耐久性を備えた光触媒セルフクリーニングフィルムなど，新しい機能材料へも研究が広がっています．

この五つの研究は，一見するとまったく異なるように見えます．しかし，そこには共通する考え方があります．それは，分子をつなぐ，切る，形を変える，異種材料を組み合わせるなど，その工夫によって，小さな分子では実現できない高分子ならではの性質を引き出すという考え方です．

高分子は，私たちの生活を支える身近な材料であると同時に，半導体，エネルギー，環境，医療など，これからの社会を支える先端材料でもあります．目には見えない分子の世界を少し変えることで，目に見える材料の性質が大きく変わります．そこに高分子化学の面白さがあります．本特集を通じて，身近なプラスチックの向こう側に広がる高分子化学の無限の可能性を感じていただければ幸いです．