

透明機能材料のための超分子ゲル・ポリマー複合システムの基礎と応用

Supramolecular Gel-Based Polymer Systems and Their Multifaceted Applications as Transparent Functional Materials



いはらひろたか
伊原博隆

熊本大学大学院自然科学研究科・教授（工学博士）

透明材料は、光を源とする物質変換やエネルギー変換プロセスにおいて普遍的に必要な機能材料であり、無機ガラスに替わる、軽く柔軟かつ特殊機能が付与された高機能材料の開発が望まれている。この目的に叶うベース材料候補がポリマーであり、中でも汎用ポリマーにフィラーを複合化した材料が注目されている。伊原氏は、独自の視点から超分子ゲルの科学を30年にわたって発展と深化に貢献した第一人者であり、近年は超分子ゲルをボトムアップ型ナノフィラーとして適用した汎用ポリマーの高次機能化に関する研究を展開し、ナノフィラーの分野に新たな概念と手法を導入してきた。

1. 超分子ゲルによるボトムアップ型ナノ相分離

近年、高分子材料の機能化研究においてナノフィラーの重要性が高まっている。ポリマーにナノサイズの無機酸化物などをブレンドするだけで、原材料にはない特性、たとえば高強度化や耐熱性・耐燃性の向上、光学特性の変換などの効果を期待することができる。一方、ナノフィラーには重大な欠点も存在する。高い比表面積により、粒子間の自己凝集を抑制することが難しく、分散性の向上が必要不可欠な開発要素となっており、しばしばこれが開発研究の障壁となっている。このような背景の下、伊原氏が確立した超分子ゲルをナノフィラーとして用いるアプローチは、機能設計された低分子を用い、これをポリマー中でナノサイズの構造体として相分離させることによりポリマー材の性質変換や機能付与を行う手法である。同アプローチの長所は明確であり応用性も高い。具体的には、(1) 超分子ゲルを形成する分子材料は、溶媒やモノマー、ポリマーと適度な相溶性があるため、分散剤フリープロセスが適用できる。(2) この分子材料は、モノマーやポリマー中で自己組織化（相分離）することにより、直径がナノサイズの会合体を形成するため透明性の維持が容易であり、(3) 分子設計や製膜条件等によって、らせん状や中空状など相分離形態を多様に制御可能となる。さらには(4) 分子配向により超機能が発現する。たとえば、蛍光性官能基を導入することにより、優先的なエキシマー形成や円偏光発光などが観察される。

2. 超分子ゲル機能の封入とナノ相分離状態の検出

超分子ゲルの機能をポリマー中に封入・反映させる

ことは比較的容易である。とくに伊原氏が開発したグルタミド系誘導体は、スチレンやメチルメタクリレート等の汎用モノマー中で超分子ゲルを形成する。この複合ゲルを重合すると、透明性を維持したままポリマー化できる。また、超分子ゲルを含むポリマー溶液からのキャスト法によっても透明なポリマー複合体を作製することができる。同法では、ポリビニルアルコールや、ポリスチレン、ポリエチレンビニルアセテートなどさまざまなポリマーに適用可能である。なお同法から超薄膜を作製すると、透過型電子顕微鏡観察によってポリマー中でのナノ繊維状相分離ネットワーク構造が直接観察できる。

3. 超分子ゲル・ポリマー複合体の光学フィルムとしての応用

伊原氏はさまざまな光官能基を導入した超分子ゲルを開発している。たとえばビレニル基やアントラセニル基を導入したグルタミド誘導体は、ポリマー中で優先的にエキシマーを形成し、最大200 nm程度の高ストークスシフトを実現する。また、官能基間のキラリな配向によって二次キラリティが生成し、高強度のコットン効果や円偏光発光が観察される。このような機能を活用した光学フィルムとしての応用研究も実施している。たとえば、波長変換フィルムとして化合物系太陽電池に適用すると、変換効率の低いUV-A領域の光を吸収し可視光領域で発光して発電効率が向上する。またストークスシフト度の調節やほかの色素との組み合わせによるエネルギー移動系を構築することにより、さまざまな発光帯を有する透明フィルムの作製も可能となっている。

以上のように、伊原氏は系統的な分子設計に基づいた超分子ゲルに関する基礎研究をベースに、超分子ゲルのナノ構造を利用したポリマーとの複合材料化に展開し、汎用ポリマーを高次機能化するための新技術を開発してきた。同手法は、ナノコンポジット化の障壁であった二次凝集の問題を解決するだけでなく、光質変調能を有する光学材料として適用できることも実証しており、超分子工学としての新たな潮流を見出したことでインパクトは大きく、同氏の業績は高分子学会賞受賞に値すると認められた。