

## 架橋構造の制御による新規透明強靱ポリマーの開発

### Development of Novel Transparent Tough Polymers Based on Controlled Cross-linkages

千葉 一生、松村 吉将、落合 文吾

キーワード：透明材料、折り曲げ性、ラジカル重合、強靱性、架橋

Keywords: Transparent material, Foldable, Radical polymerization, Toughness, Cross-linkage

#### 1. 緒 言

透明ポリマー材料は、ガラス代替用途のみならず、電子機器をはじめとする身のまわりを支える製品の光学部品、コーティング材料、包装などに幅広く用いられている。代表例は、アクリル系ポリマーやポリスチレンなどの非晶性樹脂であるが、ポリエチレンテレフタレートなどの結晶性ポリマーの結晶性を抑えて成形したものもある。これらの透明ポリマーは、トップコートなど表面に利用されることも多く、光学特性に加えて、傷をつけないための硬さや、衝撃や変形などに耐えるための強靱さへの要求も大きい。樹脂を硬くする方法としては、化学的または物理的な架橋構造、ないしは剛直な構造を導入するのが一般的である。しかしながら、架橋構造は脆さに、剛直な構造は結晶化による透明性の著しい低下に結びつきやすく、透明、硬質、強靱の全てを満たす材料への期待は大きいものの、その設計は困難である。

一般に架橋構造によって材料が脆くなるのは、架橋の不均一性が架橋点間距離の不均一性を生み、応力が短鎖に集中して破壊されるためである。これを克服するために、ここ十数年の

間に様々な新規架橋構造が提案されている<sup>1)</sup>。例えば龔らが報告したダブルネットワーク(DN)ゲルは犠牲結合の概念を取り入れることでポリマーネットワークの強度を飛躍的に高めた<sup>2)</sup>。DNゲルは、希薄で高架橋密度の剛直な第一のネットワークと濃厚で低架橋密度の柔軟な第二のネットワークからなる相互侵入型ゲルである。応力に従って第一ネットワークが局部的に破壊されてエネルギーを散逸する。すなわち、第一ネットワークが犠牲的に破壊される。続いて柔軟な部分が微小な破壊箇所を修復することで強靱さを担保している。酒井らが報告したテトラPEGネットワークゲルは架橋点間距離を精密に均等にすることでポリマーネットワークの不均一性を解消したものであり、理想網目構造とみなせる材料の設計を可能にした<sup>3)</sup>。合成にあたっては、擬リビング重合で合成した鎖長が均一な四本腕ポリエチレングリコール(PEG)を架橋しており、これにより網目間の距離はほぼ均等となるために、応力が一部の短鎖に集中することがない。また、伊藤らはポリロタキサンを自由架橋点とする環状架橋マテリアルを報告している<sup>4)</sup>。架橋点が移動できるために、移動の限界まで応力の不均一性を解消することができ、ポリマー材料が本来持つ強度を引き出すことに成功している。これらの制御されたネットワーク構造を有する材料は、主にポリマー鎖が運動しやすいゲル、もしくは

2018年8月8日受付  
CHIBA Kazuki, MATSUMURA Yoshimasa,  
OCHIAI Bungo  
山形大学 大学院理工学研究科