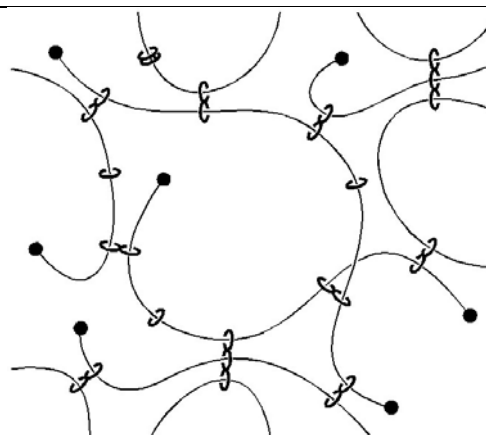


ディビジョン番号	13
ディビジョン名	高分子

大項目	2. 高分子の構造と物性
中項目	2-6. ゲル
小項目	2-6-2. トポロジカルゲル

概要（200字以内）

最近、超分子構造の一種であるポリロタキサンを応用し、従来の物理ゲルや化学ゲルと異なる第3のゲル、いわゆるトポロジカルゲルが登場した。架橋点が自由に動くトポロジカルゲルでは、滑車効果により、ゲル全体の構造および応力の不均一性を分散することが可能である。トポロジカルゲルは驚異的な膨潤性と伸長性、生体組織に類似した応力伸長特性を示すことから、生体代替材料としての応用が期待されている。



現状と最前線

ゲルは、食品、医療品、工業製品等に幅広く利用されており、用いられる高分子の種類も多様である。しかし架橋構造という視点から眺めてみると、物理ゲルと化学ゲルのわずか2種類しかない。一般に化学的に架橋された高分子材料では、架橋に伴う不均一性の増大のために、外部からの張力が最も短い高分子鎖に集中し、高分子の潜在強度を十分に活かすことなく破断することが多い。

このような物理ゲルや化学ゲルとは異なり、分子の幾何学的拘束すなわちトポロジカルな超分子構造を用いてネットワークが形成されているゲルをトポロジカルゲル (Topological Gel) と呼ぶ。分子の幾何学的拘束を利用した分子集合体いわゆるトポロジカル超分子としては、紐状分子をたくさんの環状分子に通してその両端を脱けないように留めたポリロタキサン、環状分子が知恵の輪のようにつながったカテナンなどがよく知られている。ポリロタキサンはネックレス状の超分子であり、1990年に原田明教授によってポリエチレングリコール (PEG) と α -シクロデキストリン (α -CD) から構成されるポリロタキサンが世界で初めて作成された。最近、環状分子がポリロタキサン中を移動できるように、このポリロタキサン上の環状分子の数を抑制し、環状分子どうしを架橋して8の字型の架橋点を形成することにより、従来の化学ゲルとは異なり架橋点が自由に動くトポロジカルゲル (スライドリングゲルまたは環動ゲルとも呼ばれている) が誕生した。トポロジカルゲルは、従来の物理ゲルや化学ゲルとは大きく異なる力学物性を示す点で基礎・応用両面から注目されている。

図1に化学ゲルとトポロジカルゲルを伸長させたときの比較の模式図を示す。化学ゲルでは、動かない化学架橋点により本来1本だった高分子が力学的には別々で長さが異なる高分子に分割されている。その結果、外部からの張力が最も短い高分子に集中してしまい順々に切断される。一方、環動ゲルに含まれる線状高分子は、架橋点を大量に導入しても架橋点を自由に通り抜けることができるため、力学的には高分子は1本のままとして振る舞うことができる。この協調効果は1本の高分子内にとどまらず、架橋点を介して繋がっている隣り合った高分子同士でも有効なため、ゲル全体の構造および応力の不均一を分散し、高分子の潜在的強度を最大限に発揮することが可能だと考えられる。架橋点が滑車のように振る舞っていることから、この協調効果は滑車効果（Pulley Effect）と呼ばれている。

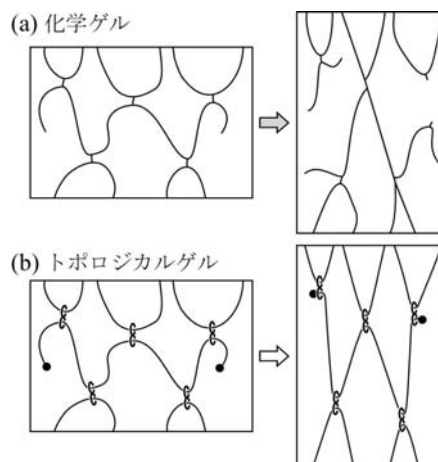


図1 化学ゲルとトポロジカルゲルの伸長の比較

通常の化学ゲルは架橋点が固定されているので、架橋ゴムと同様にS字型の応力伸長特性を示す。これに対してトポロジカルゲルは、滑車効果によりJ字型の応力伸長特性を示す。J字型の応力伸長曲線は、哺乳類の皮膚や筋肉、血管などの生体組織でよく見られる力学特性である。このような特性は、皮膚などの場合には亀裂を防いだり、血管の場合には動脈瘤を作りにくくするなど、生体機能の上で重要な意味を持っている。特に、PEGと α -CDからなる環動ゲルは生体に対する安全性・適合性が高いことが期待されるので、ソフトコンタクトレンズ、眼内レンズ、人工血管、人工関節など生体適合材料・医療材料分野への応用が期待されている。また、滑車効果の概念は、液体を含まない繊維、塗料、フィルムなど他の高分子材料へも適用可能である。本技術については、構造に関する基本特許が日米中ですでに成立しており、ベンチャー企業も設立され、現在応用が急速に進展している。

(参考文献) ポリロタキサゲル 伊藤耕三 環状・筒状超分子新素材の応用技術 シーエムシー出版 90-97(2006)

将来予測と方向性

- ・ 5年後までに解決・実現が望まれる課題
 ポリエチレングリコール以外的高分子を用いたトポロジカルゲル
 液体を含まない繊維、塗料、フィルムなど他の高分子材料への展開
- ・ 10年後までに解決・実現が望まれる課題
 トポロジカルゲルを用いた人工軟骨や人工血管など生体代替材料の実現

キーワード

超分子化学、架橋、ポリロタキサン、生体適合材料、シクロデキストリン、環動ゲル

(執筆者：伊藤 耕三)