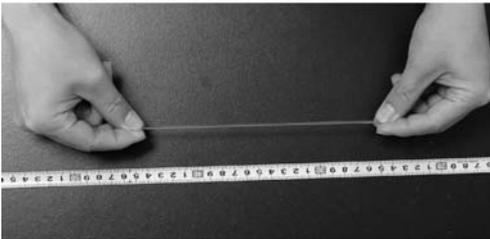


ディビジョン番号	15
ディビジョン名	コロイド・界面化学

大項目	3. 分子集合体
中項目	3-2. 液晶・ゲル
小項目	3-2-4. 高機能ヒドロゲル

概要（200字以内）	
<p>最近、従来の化学ゲルの常識とは異なり、きわめて高い強度や伸長性を示す高機能ヒドロゲルが、様々な新しい概念を利用して誕生している。具体的には、2つのゲル網目を組み合わせたダブルネットワークゲル、クレイと高分子を組み合わせたナノコンポジットゲル、超分子構造の一種であるポリロタキサンを応用したスライドリングゲルなどが挙げられる。高機能ヒドロゲルは、生体代替材料を初めとして様々な応用が期待されている。</p>	<p>高機能ヒドロゲル</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— 高強度、高伸長、高膨潤</li> <li>・ダブルネットワークゲル（DNゲル）</li> <li>・ナノコンポジットゲル（NCゲル）</li> <li>・スライドリングゲル（SRゲル）</li> </ul> <p>（トポロジカルゲルまたは環動ゲル）</p> 

現状と最前線	
<p>高分子がネットワークを形成し液体を含んだ材料、いわゆる高分子ゲルは、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種多様である。生体も60%程度が水分から構成されており、もし力学特性の面で生体組織に匹敵するゲル材料が人工的に作成できれば、生体代替材料としての恩恵は計り知れないものがある。しかし一般に従来の化学的に架橋された高分子ゲルでは、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ケースが多い。その結果、ゲルを用いた医療機器としては、ソフトコンタクトレンズなど一部の医療分野に限られてきた。</p> <p>最近、様々な新しい概念を用いて、従来のゲル材料に比べ格段に高い強度、伸長性、膨潤性を示す高機能ヒドロゲル（液体として水分を含むゲル材料）が登場してきた。まず第1の例としては、2つのゲル網目を組み合わせたダブルネットワークゲル（DNゲル）が挙げられる。DNゲルでは、比較的剛直な高分子網目（poly(2-acrylamido-2-methylpropanesulfonic acid), PAMPS）がさらにサイズの大きなネットワーク構造を形成し、その隙間の中に柔らかい高分子網目（poly(acrylamide), PAAm）が入り込んだユニークな構造をとっている。このような剛組織と柔組織の組み合わせは生体でよく見られる特徴的な構造であり、その結果、20 MPaにも及ぶヒドロゲルとしては驚異的な高弾性率や長さを1/10に圧縮しても破壊されないという強靱</p>	

な特性が実現した。これは生体軟骨にも匹敵するほどの丈夫さであることから、人工軟骨などへの応用が期待されている。

その他の例としては、クレイと高分子を組み合わせたナノコンポジットゲル（NCゲル）がある。NCゲルでは、クレイが2次元の物理架橋面として働き、クレイ間を高分子鎖

（Poly(N-isopropyl acrylamide), PNIPAM）が橋渡しをすることにより、従来の化学ゲルには見られない高い伸長性が実現している。NCゲルは、2次元架橋面であるクレイの分散溶液中で高分子のラジカル重合を行うことによって得られるが、クレイはイオン性であるため、重合前の水溶液中では比較的等間隔に分散している。その結果、架橋点間の距離が比較的均一になるとともに、2次元架橋面であるクレイ表面上で架橋点の移動がある程度起こり得ることから、従来の化学ゲルに比べ格段に高い伸長性が発現したと考えられる。

最後の例として、従来の物理ゲルや化学ゲルとは異なる第3のゲル、スライドリングゲル（SRゲル）またはトポロジカルゲルを挙げたい。詳しい説明は、ディビジョン番号13「高分子」の項でトポロジカルゲルとして紹介されているので割愛するが、図1のように、ポリエチレングリコールと $\alpha$ -シクロデキストリンからポリロタキサンと呼ばれる超分子構造を形成し、次に環状分子どうしを架橋することにより、従来の化学ゲルとは異なり架橋点が自由に動くSRゲルが作成された。SRゲルは、高伸長性や高膨潤性も含め、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。

以上のように、最近登場した様々な高機能ヒドロゲルは、ゲルの分野のこれまでの常識を大きく塗り替え、ブレークスルーをもたらしつつあるとともに、生体代替材料を初めとして様々な応用が期待されている。

（参考文献）Y. Tanaka et al., Prog Polym. Sci., **30**, 1 (2005)

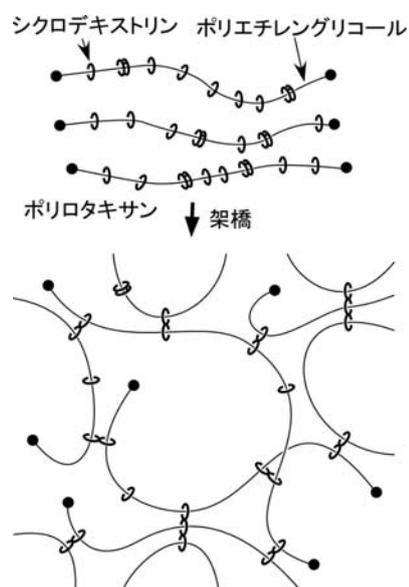


図1 SRゲルの作成法と模式図

#### 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
  - 高機能ヒドロゲルの特性の機構解明
  - 高機能ヒドロゲルの長期生体安全性・適合性の確認
- ・ 10年後までに解決・実現が望まれる課題
  - 高機能ヒドロ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

ヒドロゲル、ダブルネットワークゲル、ナノコンポジットゲル、スライドリングゲル、トポロジカルゲル、環動ゲル、生体代替材料、クレイ、シクロデキストリン

（執筆者：伊藤耕三）