

可逆的犠牲結合の原理による 新規高靱性・自己修復性ゲルの創製

北海道大学 大学院先端生命科学研究所 教授
くん 龔 ちんぴん 劍萍



研究の背景

ハイドロゲルは、その生体組織に類似したソフトでウェットな性質により生体材料として大きな注目を集めています。2003年に筆者らのグループが発明した高靱性ダブルネットワークゲル(DNゲル)は、人工軟骨などの構造生体材料としてハイドロゲルの高いポテンシャルを示しました。しかし、任意の特定の応用を実現するには、生体適合性ととも剛性、強度、靱性、減衰、耐疲労性、自己修復性など、複数の力学特性の組み合わせが必要です。筆者らは最近、世界で初めてこれらの特性を備え持つハイドロゲル材料の開発に成功し、この成果を2013年7月のNature Materials誌で発表しました。

研究の成果

筆者らはDNゲルの異常に高い靱性の発現機構を研究し、内部に壊れやすい構造を導入すると材料全体が強靱になるという、犠牲結合原理を確立しました(図1)。今回の新ゲル材料は、この犠牲結合原理に基づき、広い結合強度分布の、イオン結合を形成する両性高分子電解質(polyampholyte, PAと略す)を利用することで実現しました(図2)。強い結合部分が恒久的な架橋としての役割を果たし、材料に伸縮性を与え、弱い結合が効率的に壊れることによりエネルギーを吸収し、応力集中を避けることにより、

材料に靱性、衝撃吸収を与えます。つまり、弱い結合が犠牲結合としての役割を果たすのです。一旦壊れたイオン結合が再結合できることにより、この可逆的な性質が材料に高耐疲労性と自己修復性を与えます。このようにPAを使って可逆的に破壊・回復できる内部構造を実現することで、材料は高靱性だけではなく、壊れても自己修復する機能を持つのです。

今後の展望

この可逆的な犠牲結合は、多様なイオン性分子への適用が可能であるため、生体適応性を持ちながら、多様な力学機能を併せ持つハイドロゲルの選択肢が大幅に増えました。この材料は人工軟骨や人工血管などの構造生体材料として高いポテンシャルを有しています。さらに、この「犠牲結合による高靱性化原理」は、将来的にプラスチック等の固体材料にも応用可能な新規指導原理としてのポテンシャルを秘めており、新たな材料イノベーションをもたらす可能性があると考えています。

関連する科研費

平成24-28年度 基盤研究(S)「[犠牲結合原理]の普遍性の証明と多様な犠牲結合による高靱性・高機能ゲルの創製」

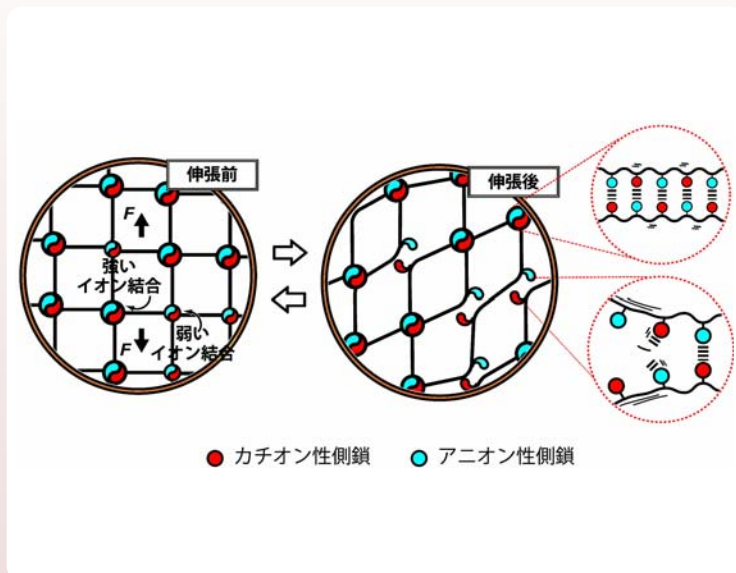
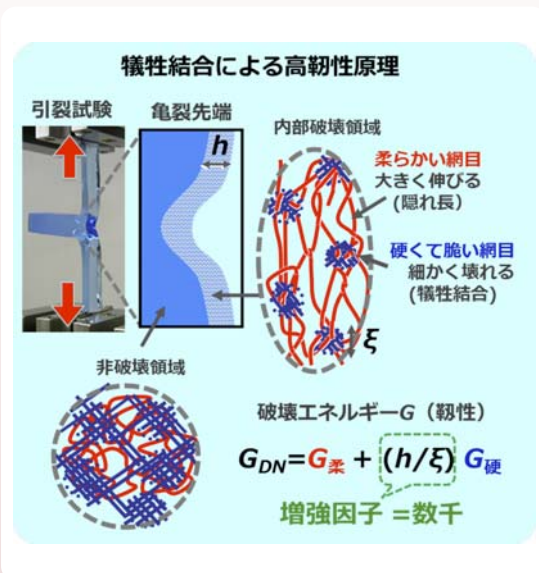


図1 ダブルネットワークの犠牲結合による高靱性原理。

図2 イオン結合による可逆的な犠牲結合のイメージ図。