



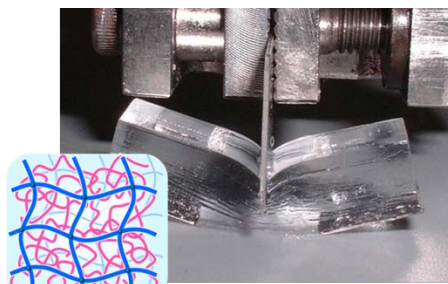
「犠牲結合によるソフトマテリアルの高靱性化原理の確立」
 (平成 18～22 年度 特別推進研究 (課題番号: 18002002)
 「生命科学の時代が求める新材料-ソフト&ウェットマテリアル
 の創製」)

所属 (当時)・氏名: 北海道大学・先端生命科学研究院・
 教授・グン 剣萍

1. 研究期間中の研究成果

・背景

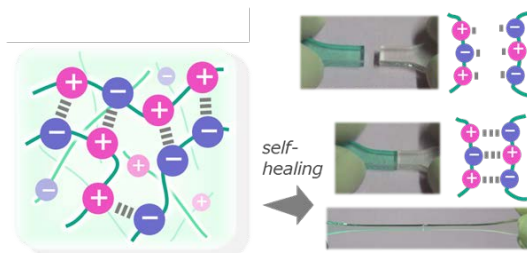
生体軟組織は 50–85wt%が水分で構成されているソフト&ウェットマテリアルである。豊かな福祉社会の実現のためには、生体軟組織と同じような優れた機能を持つソフト&ウェットマテリアルの創製が不可欠である。そのような生体軟組織代替材料として、含水高分子ゲルはかねてより高く期待されてきた。しかし、従来の合成高分子ゲルはゼリーのような脆い素材であり、軟骨や腱など激しい運動に耐える強靱な代替材料にはなれなかった。



切れないダブルネットワークゲル。

・研究内容及び成果の概要

研究代表者らは、軟骨やゴムに匹敵する驚異的な強度と靱性を示すダブルネットワークゲル (DN ゲル) を世界で初めて開発し、「ゲルはゼリーのような脆い素材である」という常識を覆した。DN ゲルは、硬くて脆い電解質網目と柔らかく伸縮性の高い中性網目の相互浸入によって構成されている。特別推進研究では、DN ゲルの破壊機構を精力的に研究した結果、【DN ゲルの高靱性化は、脆い網目の内部破壊によって起こる】というメカニズムを解明した。DN ゲル中の脆い成分の破壊が、亀裂先端の応力集中を緩和するとともに、大きな破壊エネルギーを散逸し、結果として高靱性をもたらすという、斬新な機構を発見した。これは、従来の材料の高強度化戦略とは全く異なるものである。



イオン結合が可逆的な犠牲結合として導入したゲルが高靱性と自己修復性を併せ持つ。

2. 研究期間終了後の効果・効用

・研究期間終了後の取組及び現状

研究期間終了後、研究代表者らは DN ゲルの高靱性化機構をより普遍的な原理に拡張し、「犠牲結合によるソフトマテリアルの高靱性化原理」を考案した。具体的には、DN ゲルにおける脆い電解質網目に限らず、多様な種類の壊れやすい内部構造 (犠牲結合と総称) をゲルに導入することで、DN ゲル同様の内部破壊によるエネルギー散逸と高靱性化の実現を目指した。これまでに、化学結合のみならず、イオン結合、水素結合、疎水結合などの物理結合を犠牲結合として導入したゲルが高靱性化することを証明した。さらに、脂質のラメラ構造や μm スケールの相分離構造などの超構造・階層構造も破壊時にエネルギーを散逸し、広い意味で一種の「超構造犠牲結合」とみなすことができることを解明した。これらの複数の系においての結果から、「犠牲結合によるゲルの高靱性化」が普遍原理として成り立つことを証明した。研究代表者らは、犠牲結合原理に基づき、高靱性、自己修復性、生体適応性などの種々の高機能を併せ持つゲルを創製した。

・波及効果

上述の犠牲結合原理は、高分子ゲルに限らず、他の高靱性ソフトマテリアルを設計する上での普遍原則となる。実際、この原理はすでに国内外の学界や工業界で活用されはじめている。また、本研究で創製した様々なゲルは人類が初めて手に入れた高弾性・高靱性人工含水材料であり、軟骨・腱、血管などの生体軟組織の代替材料として応用することが期待されている。