

酒井崇匡

東京大学大学院工学系研究科
教授

ゲルのロバスト強靭化機構の解明と人工腱・靭帯の開発

§ 1. 研究成果の概要

本研究は、動的・静的結晶の制御による強靭化メカニズムを確立し、そのコンセプトのもと、ロバスト性と強靭性を両立する人工腱・靭帯を開発することを目的とする。研究達成のために、以下に示す3つの研究テーマを設定した。

1. 動的・静的結晶によるロバスト強靭化の学理解明
2. 腱・靭帯におけるロバスト強靭性の理解
3. ロバスト強靭性ゲルによる人工腱・靭帯の開発と実証実験

初年度は、研究テーマ1と2に焦点を絞り研究を行い、各サブテーマに対して次の成果を得た。

1. 動的・静的結晶によるロバスト強靭化の学理解明

酒井 G と眞弓 G は共同で脆性モデルゲルの破壊特性と結晶性の関連性を調査した。研究開始時に得られていた強靭性モデルゲルの結果と比較すると、脆性モデルゲルでは、同一条件においては、延伸配向結晶化や強靭化は観察されなかった。また、酒井 G では脆性モデルゲルの微小変形挙動に対して、温度や高分子と溶媒の相互作用の影響について調査し、高分子ゲルの弾性には負のエネルギー弾性が大きく関与していることを明らかにした。

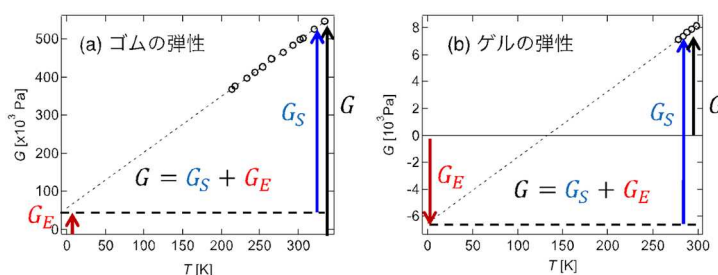


図 (a) ゴムの弾性 G において、エネルギー弾性の寄与 G_E は小さいが、(b) ゲルでは、 G_E は大きな負の値をとる。 G_E は溶媒と高分子の親和性を示す。

この結果は、従来のエントロピー弾性が支配的であるという予測に反するものであり、本結果は論文投稿中である。

増淵 G では、モデルゲルのゲル構造をシミュレーション上で構築し、力学実験のシミュレーションを行った。従来のシミュレーションでは、このサイズ・時間スケールの再現は極めて困難であるため、増淵らの開発した多体スリップスプリング (MCSS) モデルを拡張し、良好に実験結果を再現できるモデル構築に成功した。

佐藤 G では、ロバスト強靱性ゲルの前駆体(ベースポリマー)の精密合成の検討に着手した。今年度は、まず、ゲル化に有用であると期待されるアミンとマレイミドとを組み合わせた官能化開始剤を用いた重合を検討するとともに、リビングカチオン重合に最適な多官能性の設計を検討し、サンプル提供可能なスケールアップ試験を行った。今後、得られたサンプルについて、熱物性など詳細な検討を行うとともに、原理検証・計測グループにて動的・静的結晶の一般原理の確立に用いる。

2. 腱・靭帯におけるロバスト強靱性の理解

本研究のターゲットである腱・靭帯の物性を再現する上で、腱・靭帯の力学特性と延伸時の構造・ダイナミクス変化を知ることは重要である。酒井 G では、ラットの腱・靭帯を採材し、一軸伸長試験を行った。その結果、再現性良く実験ができる採材・試験方法を明らかにした。得られた結果をモデルゲルや既存研究などと比較することで、次年度以降の動的・静的結晶の学理解明、人工腱・靭帯の開発に役立てる。

§ 2. 研究実施体制

(1)「酒井」グループ

- ① 研究代表者:酒井 崇匡 (東京大学大学院工学系研究科、教授)
- ② 研究項目
 - A-1. 動的・静的結晶による強靱化の学理解明
 - A-2. 腱・靭帯の強靱化メカニズムのモデル化
 - A-3. 人工腱・靭帯プロトタイプ破壊実験と実証実験

(2)「眞弓」グループ

- ① 主たる共同研究者:眞弓 皓一 (東京大学新領域創成科学研究科、特任講師)
- ② 研究項目
 - B-1. モデルゲルの構造・ダイナミクス解明
 - B-2. 腱・靭帯の構造・ダイナミクス解明
 - B-3. 人工腱・靭帯プロトタイプ腱・靭帯の構造・ダイナミクス解明

(3)「増淵」グループ

- ① 主たる共同研究者:増淵 雄一 (名古屋大学大学院工学研究科、教授)
- ② 研究項目
 - C-1. 拡張した多体スリップスプリングモデルによる動的・静的結晶の再現
 - C-3. シミュレーション駆動設計指針の提案

(4)「佐藤」グループ

- ① 主たる共同研究者:佐藤 浩太郎 (東京工業大学物質理工学院、教授)
- ② 研究項目
 - D-1. 動的・静的結晶化を示すゲルの探索的合成
 - D-3. シミュレーション駆動設計指針に基づく合理的な高分子合成