

革新的力学機能材料の創出に向けたナノスケール動的挙動と力学特性機構の解明

2019年度採択研究代表者

2020年度 年次報告書
-----------------

酒井崇匡

東京大学 大学院工学系研究科  
教授

ゲルのロバスト強靱化機構の解明と人工腱・靱帯の開発

## § 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靱化メカニズムを確立し、そのコンセプトのもと、ロバスト性と強靱性を両立する人工腱・靱帯を開発することを目的とする。研究達成のため、以下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靱化の学理解明
- ②腱・靱帯におけるロバスト強靱性の理解
- ③ロバスト強靱性ゲルによる人工腱・靱帯の開発と実証実験

今年度はテーマ①、②、③の一部について実験を開始し、次の成果を得た。

酒井 G では、ロバスト強靱性ゲル、脆性ゲルのき裂進展挙動を偏光高速カメラにて観察した。その結果、ロバスト強靱性ゲルと脆性ゲルのき裂先端近傍の破壊挙動は、共に線形弾性破壊力学で記述できることを発見した。脆性ゲルの弾性率の温度依存性から、高分子ゲルの弾性には負のエネルギー弾性が関与していることを示し、原著論文が Physical Review X 誌に掲載された。ゲルの浸透圧を支配する普遍法則を明らかにし、原著論文が Physical Review Letters 誌に掲載された。ラットの腱・靱帯の一軸伸長試験・X 線散乱実験を行ない、伸長配向結晶化を観察した。

眞弓 G では、ロバスト強靱化ゲルの温調下における疲労試験システムを構築し、温度による疲労耐性の変化を測定することに成功した。

増淵 G では、過渡結合を導入することで高分子網目における動的結晶制御を再現することに成功した。また、結晶化モデルの理論的な基盤を整備するため、高分子網目系における基礎的な物理の検討を行い、5 報の原著論文を出版した。

佐藤 G では、分岐ポリビニルアルコールの合成を酢酸ビニルのリビングラジカル重合を用いて可能であることがわかった。特に、ビニルエーテル型の RAFT 試薬を設計することで加水分解性をもたないコアをもつ分岐ポリビニルアルコールを得た。

## § 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
  - ・動的・静的結晶による強靱化の学理解明
  - ・腱・靱帯の強靱化メカニズムのモデル化
  - ・人工腱・靱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 (東京大学物性研究所、准教授)
- ② 研究項目
  - ・モデルゲルの構造・ダイナミクスの解明

- ・腱・靭帯の構造・ダイナミクスの解明
- ・人工腱・靭帯プロトタイプ of 腱・靭帯の構造・ダイナミクスの解明

(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
  - ・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
  - ・シミュレーション駆動の設計指針の提案

(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
  - ・動的・静的結晶化を示すゲルの探索的合成
  - ・シミュレーション駆動の設計指針に基づく合理的な高分子合成

【代表的な原著論文情報】

- 1) Y. Yoshikawa, N. Sakumichi, U. Chung, and T. Sakai, “Negative Energy Elasticity in a Rubberlike Gel” *Physical Review X* **11**, 011045 (2021).
- 2) T. Yasuda, N. Sakumichi, U. Chung, T. Sakai, “Universal Equation of State Describes Osmotic Pressure throughout Gelation Process” *Physical Review Letters*, **125**, 267801 (2020).
- 3) J. Kim, T. Fujiyabu, N. Sakumichi, T. Katashima, Y. Yoshikawa, U. Chung, T. Sakai, “Mixing and Elastic Contributions to the Diffusion Coefficient of Polymer Networks” *Macromolecules*, **53**, 7717 (2020) . Selected as supplementary journal cover
- 4) J. Tang, T. Katashima, X. Li, Y. Mitsukami, Y. Yokoyama, N. Sakumichi, U. Chung, M. Shibayama, T. Sakai, “Swelling Behaviors of Hydrogels with Alternating Neutral/Highly Charged Sequences” *Macromolecules*, **53**, 8244 (2020).
- 5) Takashi Uneyama and Yuichi Masubuchi, “Plateau Moduli of Several Single-Chain Slip-Link and Slip-Spring Models” *Macromolecules* **54**, 1338-1353 (2021)