

2023 年度年次報告書

原子・分子の自在配列・配向技術と分子システム機能

2022 年度採択研究代表者

石田 康博

理化学研究所 創発物性科学研究センター

チームリーダー

エントロピー増大に逆らう革新材料「力学極性ゲル」による物質・エネルギー・生物の整流化

主たる共同研究者:

奥村 大 (名古屋大学 大学院工学研究科 教授)

木戸秋 悟 (九州大学 先導物質化学研究所 教授)

坂井 伸行 (物質・材料研究機構 ナノアーキテクトニクス材料研究センター 主任研究員)

武石 明佳 (理化学研究所 脳神経科学研究センター 理研白眉研究チームリーダー)

研究成果の概要

エントロピー増大に逆らう機能は、時代や分野を超えて科学や社会の中心命題であり、それを具現化する材料は極めて重要である。この機能を具現化するには、材料が外部刺激に対して方向特異的に応答する、すなわち極性である必要がある。電場・磁場・光などに対し極性な材料は既に知られ、基礎と応用の両面において盛んに研究されている一方、機械的な力に対し極性を示す材料「力学極性ゲル」は今回、我々により初めて実現された。力学極性ゲルの学理を樹立するとともに、機能を実証することが本課題の骨子である。

2022年度は、プロトタイプとなる力学極性ゲルの合成法を確立し、その基本的な力学物性を明らかにした。すなわち、ヒドロゲル前駆体となる水溶液中に酸化グラフェンナノシートを分散し、ナノシートを斜め方向に磁場配向させた状態にてゲルを形成した。得られるゲルに左剪断と右剪断を加えたところ、両者は幾何学的に非等価なため、弾性率に 67 倍の差が生じた。この顕著な力学極性の根源は、斜めに配向固定されたナノシートが左剪断時にのみ座屈してフィラー効果を失うためであることを、種々の構造解析により明らかとした。加えて、この剪断変形はほぼ完全に弾性的かつ可逆的であり、左右の剪断を 100 回繰り返しても材料が全く劣化しないことを実証した。

加えて、本ゲルの数理モデルの構築、構成要素の最適化、細胞操作への応用を目指した検討も開始した。すなわち、典型的な力学極性ゲルについて、線形弾性体の拡張・力学試験の実測値導入により、数理モデルの構築を行なった。また、種々の無機ナノシートの合成を開始するとともに、力学極性ゲルへ導入できる有機ポリマーを探索した。加えて、現行の力学極性ゲル(ポリアクリルアミドより構成)について、ゲル表面をコラーゲンで修飾し、細胞接着性の向上を図った。

【代表的な原著論文情報】

1) “Mechanical Nonreciprocity in a Uniform Composite Material”, Science, vol. 380, No. 6641, pp.192-198, 2023