

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

2022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

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)

増淵 雄一 (名古屋大学 大学院工学研究科 教授)

眞弓 皓一 (東京大学 物性研究所 准教授)

研究成果の概要

我々の身体を支える運動器を維持することは、「健康寿命」を伸ばすためには重要です。そこで本課題では、運動の中でも最も過酷な力学刺激を受ける部位である靭帯や腱を再建するための材料開発を目指しています。人工靭帯は、この厳しい環境でも一定の力を保ち、さらに高い生体親和性を示す必要があります。

今年度は、強靭化の原理解明、靭帯の強靭性理解、人工腱・靭帯の開発と実証実験を行いました。その結果、強靭性ゲルの詳細な比較や、原理の解明、そしてその試作と生体安全性の確認に成功しました。さらに、ロバスト強靭性メカニズムの解明、液浸状態での X 線散乱実験、NMR による構造解析など、さまざまな実験と解析により、靭帯の挙動とそのメカニズムについての深い理解を得ることができました。

具体的には、酒井 G と眞弓 G が開発した強靭性モデルゲルを試験・解析し、増淵 G がシミュレーションを行うことで、強靭化メカニズムを明らかにしました。そして、佐藤 G の協力を受け、分子設計を行うことで、強靭性ゲルを合成しました。このゲルは、靭帯を凌ぐ弾性と破壊強度を持ち、ジョギングを模した 100 万回に及ぶ疲労試験にも耐えることが可能でした。今後は、動物モデルを用いた人工靭帯としての実証試験を行うと同時に、ゲルをさらに強靭化し、高強度ゲル繊維としての開発を目指します。また、我々の研究チームは、佐藤 G が開発した分岐ポリビニルアルコールの大規模な合成に成功しました。これにより、ゲル化に必要な末端官能基を保護し、その反応経路を設計することが可能となりました。これは、ゲル化物質の製造プロセスの効率化と、より高品質な製品の製造を実現する大きな一歩となりました。

来年度以降も、これらの成果をもとに、さらなる学理解明や人工腱・靭帯の開発を進めていきます。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Takeshi Fujiyabu, Naoyuki Sakumichi, Takuya Katashima, Chang Liu, Koichi Mayumi, Ung-il Chung, Takamasa Sakai, “Tri-branched gels: Rubbery materials with the lowest branching factor approach the ideal elastic limit”, *Science Advances* 8, eabk0010, (2022)
- 2) Masashi Ohira, Takuya Katashima, Mitsuru Naito, Daisuke Aoki, Yusuke Yoshikawa, Hiroki Iwase, Shin-ichi Takata, Kanjiro Miyata, Ung-il Chung, Takamasa Sakai, Mitsuhiro Shibayama, Xiang Li, “Star-Polymer-DNA Gels Showing Highly Predictable and Tunable Mechanical Responses”, *Advanced Materials* 34, 2108818 (2022)
- 3) Yuichi Masubuchi, Ryohei Yamazaki, Yuya Doi, Takashi Uneyama, Naoyuki Sakumichi, and Takamasa Sakai, “Brownian simulations for tetra-gel-type phantom networks composed of prepolymers with bidisperse arm length”, *Soft Matter* 18, 4715-1724, (2022)
- 4) Yuichi Masubuchi, Yuya Doi, Takato Ishida, Naoyuki Sakumichi, Takamasa Sakai, Koichi Mayumi, and Takashi Uneyama, “Phantom Chain Simulations for the Fracture of Energy-Minimized Tetra- and Tri-Branched Networks”, *Macromolecules* 56, 2217-2223, (2023)