

力学機能のナノエンジニアリング
2020年度採択研究代表者

2022年度
年次報告書

中島 祐

北海道大学 大学院先端生命科学研究院
准教授

未踏高分子材料群「極限伸長網目」の学理構築

研究成果の概要

ゲル・エラストマーなどの柔軟高分子材料は、その構成要素である高分子鎖が揺らいでいる点で特徴的である。本研究では、内部の高分子鎖を大きく伸長させ、その揺らぎをあえて制限したゲル・エラストマー「極限伸長網目」を開発する。本材料は、高分子主鎖の化学結合変形に由来する力学特性を発現することが分かっており、本研究ではこの結合の変形に由来する極限伸長網目の各種力学機能を開拓することを目指す。

本年度は、過年度に実験的に報告した、極限伸長した高分子網目が示す力学-膨潤カップリングの逆転現象について、昨年度に得られていたモデルを改良し、実験結果をより高い精度で再現出来る高分子網目の力学モデルを構築した。また既存の高分子網目モデルでは、得られた実験結果の特徴の全てを再現することが出来ないことも明らかにした。すなわち、今回構築した力学モデルは、極限伸長した高分子網目の力学的特徴を正確に捉えた初めてのモデルであると言える(文献1)。

また透過型電子顕微鏡(TEM)によって、高分子ゲルのネットワーク構造を可視化することに成功した(文献2)。ゲル中の高分子鎖は、太さが1分子スケールと細く、さらに有機分子であることから電子密度が低いため、その sub μm スケールのネットワーク構造を TEM で観察することは困難である。そこで本研究では、ゲル内部の高分子鎖上の官能基を核として(電子密度の高い)酸化鉄を析出させ、高分子鎖を酸化鉄の微粒子で太く被覆することで、TEM によってそのネットワーク構造を観察することに成功した。観察されたネットワーク構造から抽出された網目鎖の数密度は、ゲルの弾性率からゴム弾性の理論によって推定された網目鎖の数密度と概ね一致していた。本結果は、統計力学的視点から構築されてきたゴム弾性理論の妥当性を補強するものである。本手法を基に、極限伸長された高分子網目の構造を実空間観察し、解析していく予定である。

【代表的な原著論文情報】

- 1) “Inverse mechanical-swelling coupling of a highly deformed double-network gel”, *Sciences Advances*, vol. 9, Art. No. eabp8351, 2023
- 2) “Nanoscale TEM Imaging of Hydrogel Network Architecture”, *Advanced Materials*, vol. 35, No. 1, Art. No. 2208902, 2023