

力学機能のナノエンジニアリング
2020年度採択研究者

2020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

§ 1. 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、ナノスケールの高分子鎖が網目構造を形成したものであり、その力学特性は、構成単位である高分子網目鎖の力学特性を色濃く反映している。一般的なゲル・エラストマーは、その高分子網目鎖が自由エネルギー的に最安定なコイル鎖から成るため、コイル鎖の特性に由来する力学特性、例えば柔軟性を示す。一方で本研究では、極限伸長した高分子鎖からなるゲル・エラストマー「極限伸長網目」を実現させ、そのナノスケール極限伸長状態に由来する特異なマクロ力学特性を発現させることを目指す。本年度は主に、極限伸長網目の合成法の確立および、極限伸長網目が示す特異な力学物性の解明を行った。

合成法としては、高分子網目に高浸透圧成分(分子スメント)を導入することでゲルを大きく膨潤させ、ゲル網目鎖を極限伸長させる「引き伸ばし法」に関する研究を行った。例えば、分子スメントの導入量と、ゲルの浸透圧・弾性圧との関係を定量的に測定し、データを基に理論構築を行った。本法におけるゲルの膨潤には、ゲル内外の遊離イオンの活量差に由来するイオン浸透圧が主要な役割を果たしていること、また本活量差は微小電極法によるゲルのドナン電位測定から求められることが明らかとなった。

特異な力学物性としては、極限伸長網目ゲルにおける力学-膨潤カップリングの逆転を解明した。具体的には、一般的なゲルを良溶媒中で延伸すると膨潤するが、極限伸長網目を同条件で延伸すると逆に脱膨潤することが分かった。また、一般的なゲルの一軸長さを固定して乾燥させると軸方向の荷重が増大するが、極限伸長網目の場合は同様の実験により荷重が減少することが見出された。これらの特異な特性は、ゲルを構成する極限伸長鎖が示す極めて強い非線形弾性によって生み出されていることが理論的に解析された。

【代表的な原著論文情報】

- 1) “Experimental Verification of the Balance between Elastic Pressure and Ionic Osmotic Pressure of Highly Swollen Charged Gels”, *Gels*, vol. 7, No. 2, Art. No. 39, 2021