

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

2022 年度
年次報告書

2020 年度採択研究代表者

山本 潤

京都大学 大学院理学研究科
教授・副研究科長

階層的時空構造と動的不均一性から紡ぐナノ力学機構の理解と制御

主たる共同研究者:

齋藤 真器名 (東北大学 大学院理学研究科 准教授)

中 裕美子 (東京理科大学 理学部第二部 准教授)

研究成果の概要

研究代表者が観測原理を自ら考案した世界初の「揺らぎ顕微鏡」を開発・試作して、物質に内在する動的不均一性を2次元像として可視化し、その時間変化を動画として記録可能とする。顕微鏡の時空間分解能としては、空間1 μm 、時間1 ms を目標としていたが、すでに空間分解能は目標値1 μm を達成し、時間分解能も数 ms と目標達成が目前となっている。また、複数の異なる研究対象を迅速に観測・解析するため、異なるオプションを搭載した実機が2基稼働状態にあり、3基目も稼働が近い。さらに、さまざまな高機能材料の粘弾性物性を、マイクロな分子から巨視的な粘弾性に接続するナノ力学機構を基礎から理解するため、一軸延伸、Young 弾性、流動の3つの異なる粘弾性測定装置のその場観察系の開発を進めており、すでに一軸延伸は稼働状態、他の2つも揺らぎ顕微鏡に簡便に脱着可能なオプション装置として開発中である。

揺らぎ顕微鏡を用いた動的不均一性の測定例として、光重合性の液晶材料にUV光を照射した直後から動画撮影を開始し、配向揺らぎの緩和時間と強度がUV照射経過時間とともに、それぞれ大きく減速・減少することを示すことができた。さらに、揺らぎ顕微鏡の2次元像には、重合過程で動的不均一性が自発的に現れることも記録された。特に、完成した3種の粘弾性その場観察装置を活かして、印加力学場による動的階層構造変化との関連性を観察・整理して、基礎科学的な視点からの材料の力学物性の設計・開発に役立てるとともに、最終的には病理検査や医療応用、また製品開発や不良品検査が可能な、汎用顕微鏡としてのポータビリティ・簡易操作にも研究期間の後半にチャレンジする。

他方、分子スケールのダイナミクスを観測できる稀少な装置である γ 線潤弾性散乱装置も、予定の装置改良が順調に進んでおり、ガラス転移の基本的な機構を明らかにする新しい実験結果が収集されてきている。

【代表的な原著論文情報】

- 1) R. Mashita, M. Saito, Y. Yoda, H. Kishimoto, M. Seto and T. Kanaya, Microscopic observation of the effects of elongation on the polymer chain dynamics of crosslinked polybutadiene using quasi-elastic γ -ray scattering, *J. Synchrotron Rad.* (2022), 29
- 2) Ruth A. Crothers, Nicholas H. P. Orr, Berend van der Meer, Roel P. A. Dullens, and Taiki Yanagishima*, Characterization and Optimization of Fluorescent Organosilica Colloids for 3D Confocal Microscopy Prepared Under “Zero-Flow” Conditions, 2023, *Langmuir*, 39, 15, 5306–5314.