

2024 年度年次報告書

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

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

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

山本Tは前年度完成した「揺らぎ顕微鏡」を用いて、光学顕微鏡では観察不可能な等方・透明・液体状態の物質の観察を幅広く試行した。揺らぎ顕微鏡では、物質中の自由度の協同運動を捉えるため、1つ1つは1分子程度の小さな散乱体であっても、物質内の運動状態を2次元静止画または動画イメージとして検出・記録可能となる。顕微鏡としての空間分解能は、種々の光学顕微鏡と同じ $\sim 0.5\mu\text{m}$ 、また運動性の時間変化を $\sim$ 数 ms の動画としても観察・記録できる。これまで、醸造酒中のアルコールクラスター、分子量 500 程度の高分子溶液、直径数 nm の界面活性剤ミセルなどの分子会合体の運動性の観察に成功した。揺らぎ顕微鏡像では、視野内にある物質内部の運動が一樣な場合は一樣なイメージとして取得されるが運動速度そのものについての情報は検出される。他方、固化・反応・乾燥・ゲル化などの過程において、物質内に生成される動的不均一性の時空構造を直接可視化し、時間経過や外場印加によるその変化を静止/動画像として取得できる。これまで光硬化性樹脂や光官能性物質、相転移点や相分離領域近傍での過渡的な揺らぎの可視化なども実証した。揺らぎ顕微鏡はこのように多くの製品の開発・製造・検査に活用できる。また、非接触観測法のため、観測対象に直接近接できない場合でも、観測経路が透明であれば、密閉容器内、高温・真空、反応・醸造・製造・臨床など、多岐にわたる応用が可能である。これまで有効な観測手段に乏しかった、等方・透明・液体状態の物質の汎用性の高い新たな実験観測ファシリティとしての活躍が期待できる。一方、ガンマ線準弾性散乱法では広帯域な検出器の導入により、ガラス状態のJG緩和や、ゴム中の高分子鎖の挙動について基礎的な知見を与えることに成功した。ガンマ線準弾性散乱法も測定対象の制限が少なく内部まで非破壊で観測でき、材料開発、生命現象の理解が大きく加速できる。

【代表的な原著論文情報】

- 1) M. Saito, M. Kobayashi, H. Nishino, T. Nishiyama, Y. Hiraki, K. Honjo, Y. J. Kobayashi, K. Ozaki, Y. Imai, M. Yamaga, T. Abe, N. Nagasawa, Y. Yoda, R. Mashita, T. Hatsui, Y. Wakabayashi, Broadband Quasielastic Scattering Spectroscopy Using a Multiline Frequency Comblike Spectrum in the Hard X-Ray Region, *Phys. Rev Lett.*, 132, 56901 (2024).
- 2) K. Hirata and T. Araki, Formation dynamics of branching structure in the slippery DLCA model, *J. Chem. Phys.*, 160, 234901 (2024).
- 3) M. Saito, T. Araki, Y. Onodera, K. Ohara, M. Seto, Y. Yoda, Y. Wakabayashi, Discovery of collective nonjumping motions leading to Johari-Goldstein process of stress relaxation in model ionic glass, *Acta Materialia* 284, 120536 (2024).