

2024 年度年次報告書

トランススケールな理解で切り拓く革新的な材料

2023 年度採択研究代表者

新井 達也

北海道大学 大学院先端生命科学研究院

助教

X 線回折で見る高分子複合材料のリアルタイム内部運動

研究成果の概要

高分子にナノ粒子を添加した高分子複合材料(Polymer Nanocomposite: PNC)は、高分子単体では得られない優れた材料物性を示すことが知られている。PNC においては、分子や粒子のナノスケールのダイナミクスが、材料のマクロな物性と密接に関係していることが広く認識されている。そのため、そのようなダイナミクスを簡便かつ汎用的に測定する手法の開発が望まれている。研究代表者が考案した Diffracted X-ray Blinking (DXB)法は、無数の結晶性粒子から生じた回折 X 線の強度揺らぎを時分割で測定し、その自己相関関数を解析することで、粒子の回転ダイナミクスを可視化する手法である。

本研究の第一の目的は、DXB 法を用いて PNC 内部のフィラー粒子のダイナミクスを測定する技術を確立することである。そのために、ゲル、ゴム、プラスチックなど複数の PNC 試料に対して DXB 解析を実施し、粒子の回転ダイナミクスにおける温度依存性や粘性・濃度依存性を明瞭に捉えることに成功した。さらに、任意の二枚の画像の相関を算出しヒートマップ化する手法である Two-time correlation (TTC)解析を適用することで、高分子の結晶化過程における中間相中の粒子ダイナミクスの経時変化を抽出することにも成功しており、現在これらの結果を論文化中である。

また、加硫天然ゴムに対して引張試験を行いながら DXB 測定を行うことで、伸長誘起結晶化過程における粒子のダイナミクスを追跡することにも成功した。さらに、DXB で通常用いる単色 X 線に代えて波長幅を持つ準白色 X 線を用いることで、回折輝点の動きから粒子 1 個の回転を直接検出可能な Diffracted X-ray Tracking (DXT)法も導入した。この DXT 法を用いることで、ゴムの引張過程における粒子の回転速度や回転方向を直接可視化することに成功した。

加えて、広角回折領域のみならず小角散乱領域においても同様の"blinking"現象が観測され、これが自己相関関数を用いて解析可能であることを見出した。現在、この知見を基に高分子材料内部のダイナミクスを測定する新たな手法の開発を進めている。