

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

2020 年度 年次報告書

浦山健治

京都工芸繊維大学 材料化学系
教授

ひずみ誘起結晶化機構の解明と最大化によるエラストマーの革新的強靱化

§ 1. 研究成果の概要

変形によって高配向した高分子鎖の「ひずみ誘起結晶化(SIC)」は、ナノスケールで生じるエラストマーのマクロな強靱化機構である。本研究は、(1) SIC のナノダイナミクスとマクロな高強度化機構の相関を解明する多角的かつ精密な解析、(2)分子シミュレーションを併用した SIC の動的分子機構の解明、(3)現状で最も優れた SIC 性能をもつ天然ゴム(NR)と代替 NR の SIC 性能を向上させる新戦略の確立、を目的としている。研究開始年度の成果として(I)～(V)を挙げる。

(I) イソプレンゴムの SIC が生じる上限温度が、一軸伸長よりも(一方向の試料長を固定したまま伸長する)平面伸長の方が約 30℃も低いことを見出した。このひずみ場の SIC に対する大きな効果は、一軸伸長での SIC を専ら調べてきた既往研究とは対照的に、トリガーとして多様なひずみ場を用いた SIC の研究の重要性を明確に示している。

(II) 伸長ひずみが SIC 開始ひずみを超えると、自走するき裂の速度とき裂先端の局所ひずみ場が著しく変化することを見出し、SIC による強靱化効果をき裂進展のダイナミクスという新しい観点から捉えることに成功した。

(III) 初期き裂長さを変数とした引張試験によって、観測される力学強度を SIC 由来強度と粘性散逸由来強度に定量的に分離できる評価法を確立した。この評価法によって、SIC が追従できる上限温度と上限ひずみ速度を明確に求めることが可能になった。

(IV) エラストマーの二軸ひずみ場でのき裂特性を評価する測定系および方法論を確立した。

(V) NR 中の非ゴム成分であるタンパク質成分を同定することに成功した。粒子を介して鎖末端で相互作用する高分子鎖の伸長流動場での配向挙動を検討できる分子動力学シミュレーションの系を確立した。これらの成果は、NR の SIC における非ゴム成分の役割と分子作用機構の解明の基礎となる。

§ 2. 研究実施体制

(1)「浦山」グループ

- ① 研究代表者: 浦山 健治 (京都工芸繊維大学材料化学系、教授)
- ② 研究項目
 - ・多軸ひずみ場の SIC 挙動および強靱化効果の解明

(2)「櫻井」グループ

- ① 主たる共同研究者: 櫻井 伸一 (京都工芸繊維大学大学繊維学系、教授)
- ② 研究項目
 - ・多軸変形場でのひずみ誘起結晶化(SIC)のナノダイナミクスの解明
 - ・多軸変形場での亀裂近傍での SIC 挙動の解明

(3)「沼田」グループ

① 主たる共同研究者:沼田 圭司 (京都大学大学院工学研究科、教授)

② 研究項目

- ・(NR における)非ゴム成分とその物性への影響の解明

(4)「谷口」グループ

① 主たる共同研究者:谷口 貴志 (京都大学大学院工学研究科、准教授)

② 研究項目

- ・会合性高分子鎖の伸長場での配向挙動の解明

(5)「角田」グループ

① 主たる共同研究者:角田 克彦 ((株)ブリヂストン先端材料部門、首席研究主幹)

② 研究項目

- ・引裂強度の計測値から SIC 由来強度を抽出する評価法の開発
- ・非ゴム成分と DS 有効成分の SIC での動的分子作用の解明