研究助成研究成果報告書

令和　8 年　9 月　30 日

公益財団法人江野科学振興財団
理 事 長　　江 野 眞 一 郎　　殿

貴財団より助成のありました研究の成果について下記のとおり報告します。

申請者名
木田　拓充　　印

記

1.研究課題名

和 文 Rheo-Raman 分光法を用いた熱可塑性エラストマー材料の微視的構造・力学挙動の可視化技術開発
英 文 Visualization of Microscopic Deformation Behavior of Thermoplastic Elastomers Using Rheo-Raman Microscopy

2.申請者名(代表研究者)

氏 名 木田 拓充	ローマ字表記 Kida Takumitsu
所属大学・機関名 滋賀県立大学	英訳表記 The University of Shiga Prefecture
学部・部課名 工学部	英訳表記 Faculty of Engineering
役職名 講師	英訳表記 Lecturer

3.共同研究者（下段　英訳表記）

氏　　名	所属機関名・学部名・役職
(氏　名) (英訳表記)	(英訳表記)
(氏　名) (英訳表記)	(英訳表記)
(氏　名) (英訳表記)	(英訳表記)
(氏　名) (英訳表記)	(英訳表記)

4.英文抄録（300 語以内）

Thermoplastic elastomers (TPEs) exhibit excellent mechanical properties and recyclability, making them widely applicable in various industrial fields. Their mechanical properties strongly depend on their microscopic structural state. Conventional studies evaluating these materials often implicitly assume that structural changes during deformation occur homogeneously across the sample. However, because internal microscopic structures inherently possess spatial distributions, the microscopic deformation behavior is expected to be spatially inhomogeneous. This study aims to visualize the spatial inhomogeneity of microscopic structural states and stress distributions during the uniaxial deformation of TPEs utilizing in situ micro-Raman spectroscopy. By mapping these properties, the research seeks to elucidate the fracture mechanism of elastomers from the perspective of spatial inhomogeneity. Blended samples (B-PAE30) were carefully prepared by melt-mixing a rigid polyamide elastomer (PAE10) and a highly flexible polyamide elastomer (PAE50). Transmission electron microscopy revealed that the B-PAE30 sample formed a sea-island microphase-separated structure, with PAE10 domains dispersed within a PAE50 matrix. Rheo-Raman spectroscopy, combining a Raman spectrometer with a tensile testing machine, was performed to systematically map the orientation parameter during the deformation process. Tensile tests revealed that B-PAE30 exhibited unique deformation behavior characterized by significant stress whitening without distinct yielding or localized necking. Scanning electron microscopy confirmed that this prominent whitening was directly caused by void formation due to interfacial debonding between the rigid PAE10 domains and the flexible PAE50 matrix. Furthermore, Raman mapping at a macroscopic strain of 3.0 demonstrated a highly heterogeneous orientation state: the PAE50 matrix became highly oriented along the stretching direction, whereas the PAE10 domains maintained a low orientation state. Ultimately, this study successfully visualized the spatial distribution of deformation behavior using a non-destructive approach, demonstrating how structural heterogeneity induces non-uniform deformation and interfacial debonding in phase-separated polymeric materials.

5.研究目的

熱可塑性エラストマー(TPE)は優れた強度と延伸性を併せ持ち，かつ高温で溶融状態となるためリサイクル性に優れるといった性質を有するため，スポーツ用品や医療材料など，さまざまな用途に利用されている．また，TEP は物理架橋を形成するハードセグメント(HS)と柔軟な非晶分子鎖であるソフトセグメント(SS)で構成され，HS・SS 分率によって物性が変化する．特に，HS が結晶性セグメントで構成される結晶性 TPE の場合，結晶構造の性質や分散状態，また，HS と SS の相分離状態に力学物性が依存するため，内部構造を変化させることで力学物性を非常に幅広く制御することが可能である．

従来の研究の多くは，X 線散乱・回折測定を駆使して評価しているが，構造変化が試料内部で空間的に均一に進行していると暗に仮定しており，変形挙動の空間不均一性に着目した研究は非常に少ない．しかし，結晶構造や相分離構造を有する材料の場合，これらの構造は必ず空間的に分布を有する(部分的に結晶が薄い，相分離構造のサイズに偏りがある，など)ため，結果として変形挙動も空間的に不均一になることは容易に予想できる．

申請者は以前より，ラマン分光法を用いて分子鎖の構造(配向状態や凝集状態)だけでなく，分子鎖の応力負荷状態といった力学挙動を直接観察する手法を開発し，結晶性高分子の微視的な変形挙動の解明に取り組んできた．上記のようなラマン分光測定の技術を顕微測定に発展させることによって，構造状態(配向や凝集状態)と力学応答(応力負荷状態)の両方をマッピングすることが可能となり，TPE の微視的変形挙動の空間的な不均一性を解明できると考えた．

本研究では，in situ 顕微ラマン分光測定を実施することにより，TPE の一軸変形過程における微視的な構造状態や応力分布の空間分布可視化に挑戦する．得られた空間不均一性と力学物性を比較し，熱可塑性エラストマーの破壊メカニズムを変形の空間不均一性の観点から解明する．

6.研究内容及び成果の本文

別紙に作成添付してください。（冒頭に所属、氏名、研究課題を記載ください）

7.今後の研究の見通し

本研究により，エラストマー材料の変形過程における in situ Raman マッピング技術を確立し，試料内部における相分離構造および変形挙動(分子配向や応力負荷状態)の空間分布を可視化することに成功した．このような可視化技術を用いることにより，本研究で用いたポリアミドエラストマー(PAE)以外にも，不均一構造を有するさまざまなエラストマーおよびプラスチック材料の不均一変形挙動を可視化し，変形メカニズムの解明が期待できる．特に，微視的スケールにおける構造不均一性と変形挙動の不均一性の関係は単純な力学モデルや，静的な顕微鏡観察による構造評価からの予測しか行われていない．例として，海島構造のように球状ドメインが分散している系では，ドメインの赤道部(変形方向に対して垂直の位置)において最も応力集中が生じると考えられているが，実験的な評価は不十分である．本研究で用いた in situ Raman マッピングを用いれば，ドメイン周辺の応力状態を可視化できるため，上記のような不均一変形モデルの検証や新しいモデルの提唱が期待できる．

上記のように不均一な構造を有する材料の変形挙動を正確に観察することができれば，相分離構造の制御や，エラストマー・ゴム材料に添加するフィラーの分率・粒径・分散状態の最適化が可能となり，従来と比較して各種物性をより向上した高機能材料の開発が期待できる．

8.本助成金による主な発表論文、著書名

投稿論文

Visualization of Inhomogeneous Microscopic Deformation Behavior of Polyamide Elastomer under Tensile Deformation using Rheo-Raman Spectroscopy, in preparation.

学会発表

レオロジー年次大会，プラスチック成形加工学会など多数

［注１］本報告書は、助成金を受けた翌年９月末までに必ず提出してください。

［注２］**（お願い）印刷物の郵送と電子媒体の添付ご提供をお願いします。インターネットメールでの送付を歓迎します。**〈E-Mail：enozaidan@kokoku-intech.com〉

［注３］**この報告書を当財団のホームページに掲載させていただきますので、予めご了承ください。**

※当財団へのご意見・ご要望がございましたら、下記へご記入ください。
お寄せいただいたご意見・ご要望は今後の参考にさせていただきます。

アンケートへのご協力ありがとうございました。

以 上