

原子間力顕微鏡による高分子ナノメカニクスの研究

○中嶋 健^{1, 2*}¹東京工業大学物質理工学院, ²東京大学大学院工学系研究科

Research on Polymer Nanomechanics Using Atomic Force Microscopy

○Ken Nakajima^{1, 2*}¹Tokyo Institute of Technology, ²The University of Tokyo

1. はじめに

本講演では演者がこれまで行ってきた原子間力顕微鏡 (AFM) をベースにしたナノメカニカル計測、特にその高分子材料表面への応用に関する研究について紹介する。AFM は究極的には原子分解能を有する走査プローブ顕微鏡 (SPM) の一種であるが、そこで用いられる探針を材料表面に押し込む過程で得られる力学応答から、材料表面の力学物性をナノからもう少し大きいスケールの分解能で調べることができる。演者は ISO 標準化のステージでも TC201/SC9 Scanning Probe Microscopy WG7 Mechanical Properties of Materials の主査として活動し、AFM ナノメカニクスとして知られるこの手法を SPM 業界に広めている。特に Johnson、Kendall、Roberts らによって構築された JKR 接触理論を AFM フォースカーブ測定に適用し、柔軟な材料の弾性率を決定する手続きについては ISO 21222 として国際標準化されるに至っている¹⁾。現在では多くの AFM ベンダーの解析ソフトにこの手法が採用されている。

講演では上記の AFM ナノメカニクスを「高分子材料科学」、「高分子物理学」に関するさまざまな課題に適用した事例について紹介する。例えば、Fig. 1 にカーボンブラック (CB) を 30 phr 配合した架橋イソブレンゴム (IR) の JKR 弾性率像を示す²⁾。走査範囲は 1.0 μm である。弾性率の高い CB 領域および弾性率 2 MPa 程度のゴムマトリックス領域に加え、中間的な弾性率をもつ界面領域が可視化されている。この界面の可視化は学術的興味に止まらず、その制御がゴムコンパウンドの物性を制御する鍵であるとして、工業的にも意義深い。ここに示した例以外にもいくつかの話題について限られた時間の中で紹介する予定である。

高分子は完全な弾性体ではない。いわゆる「粘弾性体」である。上記の接触理論は弾性体を仮定した理論

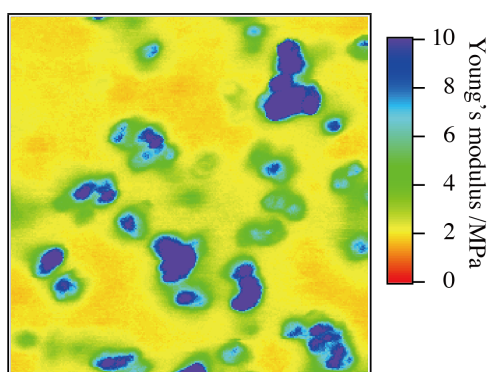


Fig. 1. CB 充填 (30 phr) 架橋 IR の JKR 弾性率像 (1.0 μm)

であるため、そのままでは活用できない。現時点で粘弾性体を対象にした接触理論で、AFM ナノメカニクスの標準となっているものは存在しない。ここではその現状といくつかの可能性も論じる予定である³⁾。また巨視的な粘弾性評価手法にヒントを得て、ナノレオロジー-AFM と呼ばれる新規の装置も開発し⁴⁾、いくつかの応用を行っている。そこでは 6 桁に及ぶ幅広い周波数で試料の貯蔵弾性率・損失弾性率などを画像として可視化し、材料の粘弾性をマッピングすることができる。その最新の話題についても紹介を行いたいと考えている⁵⁾。

文 献

- 1) <https://www.iso.org/standard/70110.html> (最終アクセス 2021 年 8 月 28 日)
- 2) 中嶋 健, 伊藤万喜子, 梁 曉斌: 接着の技術 **35**, 13 (2016).
- 3) 中嶋 健, 関根 慧, 茂木 楓, 伊藤万喜子, 梁 曉斌: 色材協会誌 **93**, 321 (2020).
- 4) T. Igarashi, S. Fujinami, T. Nishi, N. Asao, K. Nakajima: *Macromolecules* **46**, 1916 (2013).
- 5) E. Ueda, K. Nakajima: *J. Soc. Rheol., Jpn.* **48**, 91 (2020).

*E-mail: knakaji@mac.titech.ac.jp