

ナノ細孔に包接した高分子の AFM フォースカーブ測定による一本鎖構造解析

(東大院工) ○河野悠生・細野暢彦・植村卓史

Single-Chain Structure Analysis of Polymers Encapsulated in Nanopores by AFM Force Curve Measurements (*Graduate School of Engineering, The University of Tokyo*) ○Yu Kono, Nobuhiko Hosono, Takashi Uemura

Although sequencing of biopolymers such as DNA and proteins has become common technology in recent years, monomer sequencing of synthetic copolymers remains a formidable challenge because of the lack of fundamental technique available for accessing the local monomer array structures in a long and coiled polymer chain.¹⁾ In this study, we have developed a new approach of polymer sequencing that exploit atomic force microscope (AFM) and nanoporous metal-organic frameworks (MOFs). A single polymer chain encapsulated and isolated in the nanopores of MOF is mechanically pulled out by AFM in solution phase. The AFM force curves measured during the pulling process showed characteristic saw-tooth patterns which might reflect the local chemical structures of the polymer chain. To verify the pattern/structure relationship, we performed control experiments using sequence-defined polymers, and investigated the molecular scale behavior in the pull-out event by molecular dynamics simulations. The application of this technique is expected to provide a new trend in polymer analysis technology by enabling direct readout of primary structure information, that includes not only monomer sequence but also minute structural errors in synthetic polymers.

Keywords : Metal-Organic Framework; Atomic Force Microscope; Single Molecule Force Spectroscopy; Force Curve; Sequencing

近年、DNA やタンパク質などの生体高分子における核酸/アミノ酸配列決定法が確立され、一般的に利用されるようになった。一方、合成高分子のモノマー配列決定は、モノマー配列を直接的に読み出す合理的かつ汎用性の高い方法が無く、依然として困難な課題として残されていた¹⁾。本研究では、原子間力顕微鏡 (AFM) と多孔性金属錯体 (MOF) のナノ細孔を利用した新しい高分子構造解析手法の開発を行った。MOF の一次元ナノ細孔に包接された 1 本の高分子鎖を、AFM の探針を用いて機械的に引き抜くことでフォースカーブを得た。引き抜き時に測定された本フォースカーブには、高分子一本鎖の局所的な化学構造を反映していると考えられる特徴的なパターンが観測された。このパターンと高分子構造との関係を検証するため、周期的に官能基を導入したモデル高分子を用いた対照実験を行い、得られたフォースカーブパターンの統計解析を行ったところ、シグナルパターンと高分子構造には優位な相関が認められた。更に分子動力学シミュレーションにより引き抜き時の挙動を詳細に調査し、シグナルパターンの起源についても検討した。本手法の応用により、これまで知ることのできなかった合成高分子のモノマー配列や構造エラーといった一次構造情報を直接的に読み出すことが可能となり、高分子分析技術に新しい潮流が生まれると期待される。

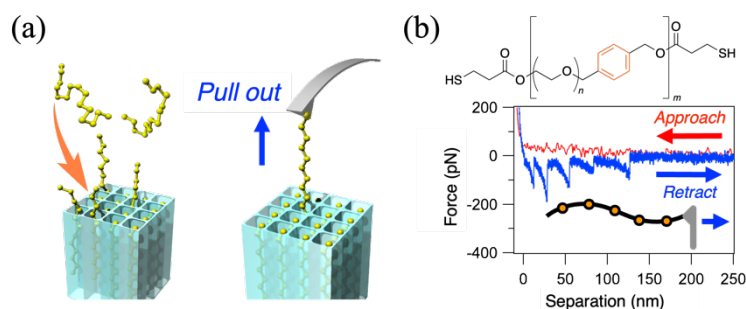


Figure 1. (a) Schematic of the pulling-out measurement. (b) Typical force curve patterns and structures of the analyte model polymers.

1) H. Mutlu, J.-F. Lutz, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2014**, 53, 13010–13019.