

(1 九大院工、2 九大 I2CNER) ○松野寿生^{1,2}、盛満裕真¹、田中敬二^{1,2}

【緒言】高分子/無機フィラー複合材料は、優れた力学強度を示すことから様々な分野で利用されている。複合材料の力学特性は、フィラー界面に吸着した高分子鎖の凝集状態および熱運動性に強く依存すると考えられているが、高分子鎖の界面吸着機構の理解はいまだ十分ではない。本研究では、形態観察が容易なデオキシリボ核酸(DNA)をモデルに用いることで、固体上における高分子鎖の吸着形態ならびに吸着過程を視覚的に理解することを目的とした。得られる知見は、高分子/無機複合材料の力学特性に及ぼす界面効果の理解に繋がると期待する。

【実験】試料として、 λ ファージ DNA を用いた。 λ ファージ DNA の伸びきり鎖長は約 16.5 μm であり、溶液中において、ランダムコイルコンフォメーションをとることが知られている。また、小角 X 線散乱測定に基づき評価した回転半径(R_g)および持続長は、それぞれ、284 nm および 14.6 nm である。固体上における DNA 分子鎖の吸着形態は、原子間力顕微鏡(AFM)観察に基づき評価した。DNA 溶液は、所定濃度の NiCl_2 を含む 40 mM 4-(2-hydroxyethyl)-1-piperazineethanesulfonic acid (HEPES)緩衝液に溶解することで調製した。基板としてマイカを用い、DNA 溶液を所定時間マウントし洗浄した後、観察に供した。

【結果および考察】Figure 1 は、マイカ上に吸着した DNA 鎖の典型的な AFM 形状像である。吸着鎖は、半径約 460 nm のランダムコイル状態であり、持続長は約 80 nm であった。Figure 2 は、吸着時間 5 min における DNA の AFM 高さ像である。得られた AFM 高さ像に二次元高速フーリエ変換(2D-FFT)処理を行い、得られた像を円環平均することでパワースペクトルを得た。Figure 2 の挿入図は、吸着時間 5 min における FFT パワースペクトルであり、 L は周期長である。パワースペクトルの傾きは、図中、矢印で示した $L^{-1}=L_1^{-1}$ および $L^{-1}=L_2^{-1}$ において変化し、低い側から L の 0 乗、-2 乗、-1 乗に比例した。これは、長さ α の針状粒子からなる回転半径 R_g のガウス鎖から求められる FFT パワースペクトルの特徴と一致した。 L_1^{-1} 、 L_2^{-1} は、それぞれ、 $2\pi L_1^{-1} = (R_g)^{-1}$ および $2\pi L_2^{-1} = \sqrt{12/\alpha^2}$ の関係がある。また、高分子ガウス鎖において、 α は持続長と捉えられる。パワースペクトルより算出した回転半径および持続長は、それぞれ、402 nm および 138 nm であった。すなわち、固体界面における DNA 吸着鎖の回転半径および持続長は、溶液中におけるそれらと比較して大きかった。これは、DNA とマイカの相互作用が非常に強いため、両者の接触点が多くなるようなコンフォメーションをとると考えることで説明できる。Figure 3 は、吸着時間 10 min における DNA 鎖の AFM 像とその模式図であり、視野に 3 本の DNA 鎖が観察されている。挿入図は、四角で示した領域の拡大図であり、異なる吸着鎖が絡んだ様子が確認できる。このことは、固体界面における DNA 鎖の吸着は、先行して吸着した鎖との絡み合いを起点として、さらなる吸着が進行することを示唆している。発表では、最界面の吸着鎖の上方に形成される DNA 層についてもあわせて議論する。

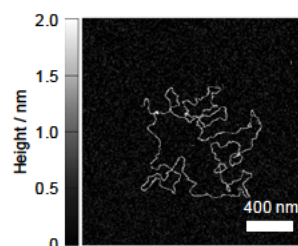


Figure 1. AFM height image for a DNA chain adsorbed on a mica surface acquired in a HEPES buffer solution.

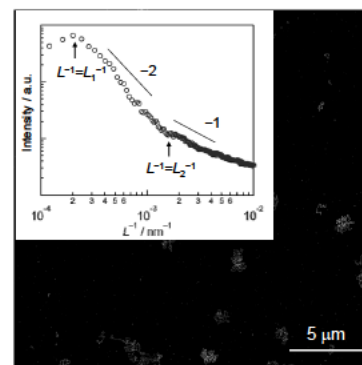


Figure 2. AFM height image for DNA adsorbed chains on mica. (Inset) FFT power spectrum of the height image.

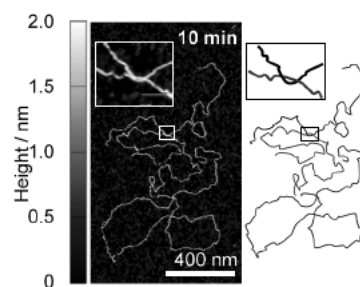


Figure 3. AFM height image for DNA chains adsorbed on a mica. (Inset) An enlarged image for the area shown with a white square. For clarity, traces are also shown in the right-handed side.