

片持ち梁カーボンナノチューブを用いた動的分子間力分光法 による一分子力計測

Dynamic force spectroscopy using a carbon nanotube cantilever for single-molecule force measurement

大阪府大院工, 寺田有希, 畔柳俊紀, 竹井邦晴, 秋田成司, [○]有江隆之
Osaka Pref. Univ., Y. Terada, T. Kuroyanagi, K. Takei, S. Akita, [○]T. Arie
E-mail: arie@pe.osakafu-u.ac.jp

はじめに カーボンナノチューブ(CNT)は高いアスペクト比、弾性力、超軽量という特性から、超高感度な質量・力計測器としての応用が期待されている。我々はこれまで生体一分子質量計測に向けて、水中での片持ち梁 CNT の共振を報告した[1]。また片持ち梁 CNT を用いた力計測も提案した[2]。この方法は原子間力顕微鏡(AFM)を用いる一般的な方法と比較して、光学顕微鏡下でリアルタイム観測が可能であり、基板に固定する必要がないため、一分子間の相互作用をより自然な状態で計測可能な点が最大の特徴である。今回、片持ち梁 CNT を用いて動的分子間力分光法(DFS)により生体分子間の相互作用力を詳細に測定し、AFM を用いた結果と比較、検討を行った。

実験 大気中において、CNTの先端を半導体レーザー(波長 660nm、出力 約10mW)で照射し酸化することで先端を開端し、カルボキシル基を生成した。次にCNT先端をEDC (1-ethyl-3-(3-dimethylaminopropyl) carbodi-imide HCl)と sulfo-NHS (sulfo-N-hydroxysuccinimide)を用いてストレプトアビジンを共有結合させた。一方、ガラス針の先端にはビオチンを固定した。光学顕微鏡下で観察しながらCNT先端とガラス針を相互作用させ(図1(a))、ガラス針を様々な速度で移動(図1(c))させることで分子間の破断力を測定した。用いたCNTのばね定数は、 $1.4 \times 10^{-4} \sim 2.0 \times 10^{-3} \text{ N/m}$ である。

結果と検討 ストレプトアビジンとビオチンが解離するときの片持ち梁CNTの撓み(図1中 Δx)から、加重速度に対する分子間の相互作用力を測定すると図2(a)のようになった。AFMを用いた場合(図2(b))と比較して、CNTを用いた結果では一本の直線でフィッティングすることができる。直線の傾きから、結合状態から解離状態へのポテンシャル障壁の位置を見積もることができ、CNTの場合は0.23nm、AFMでは0.14nmと0.54nmであった。CNTとAFMを用いたときの障壁の数の違いは、相互作用力測定においてCNTを用いた方が、基板等からの影響がより小さいことに起因すると考えられる。このようにCNTを用いたDFSでは、より自然に近い状態での分子間の解離が計測可能であることを見出した。

[1] S. Sawano, T. Arie, and S. Akita, Nano Lett. **10**, 3395 (2010).

[2] T. Arie, S. Sawano, and S. Akita, AIP Advances **2**, 012144 (2012).

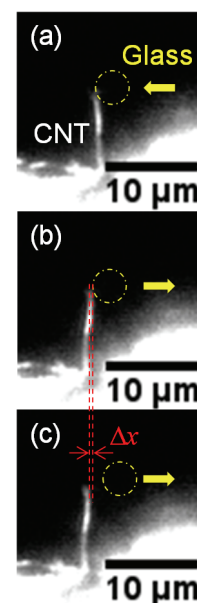


Fig. 1 Force measurement using optical microscopy: (a) contact, (b) retract, and (c) rupture.

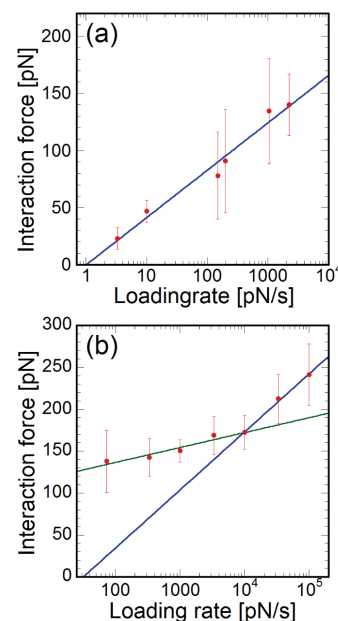


Fig. 2 Measured rupture forces using (a) CNTs and (b) AFM as a function of loading rate.