液中 FM-AFM による DNA ナノワイヤの 3 次元固液界面構造計測 3D force mapping at solid-liquid interfaces of DNA nanowires by FM-AFM 京大エ¹, ⁰熊谷 隼太郎¹, 木南 裕陽¹, 小林 圭¹, 山田 啓文¹

Dept. of Electronic Sci. & Eng., Kyoto Univ., °S. Kumagai, H. Kominami, K. Kobayashi, H. Yamada E-mail: shuntaro.kumagai@piezo.kuee.kyoto-u.ac.jp

DNA は液中で2重らせん構造(B-form)を形成することで知られるが、グアニン(G: Guanine) を豊富に含む塩基配列においては、G-tetrad (Fig. 1(a))と呼ばれる通常と異なる構造を形成す る。G-tetrad は 3-4 枚ほど連なることで、グアニン4 重鎖構造(G4: G-quadruplex)を形成する。 さらに自己組織的に G-tetrad を連続して形成することで周期的にチミン(T: Thymine)が外側 に突出する、直径 3 nm 程度のナノワイヤ (G-wire, Fig. 1(b)) が形成される。G-wire には多 様な構造があることから、DNA ナノテクノロジーの観点でも注目を集めている[1]。われわ れは、d(G₄T₂G₄)と d(G₄T₄G₄)の塩基配列を持つそれぞれの DNA から作製した 2 種類の Gwire の構造を、周波数変調原子間力顕微鏡(FM-AFM)を用いて測定することで、上記多様な 構造の一部について評価を行ってきた [2]。本研究では、3 次元(3D)フォースカーブ測定に よって、G-wire の水和構造や表面電荷密度などを評価した。

試料として、d(G₄T₂G₄)の塩基配列を有する一本鎖 DNA を用いた。50 mM KCl、10 mM MgCl₂を含む 20 mM HEPES 溶液を用いて DNA の濃度が 50 µM となるよう希釈した。その 溶液を 99.9℃まで加熱し、-1℃/min の勾配で 4℃まで冷却することで G-wire を作製した。 Fig. 2 に典型的な G-wire の表面形状像を示す。G-wire の軸に沿った約 5 nm 周期の輝点(青矢 印)と、軸に直交する約 1.2 nm 周期の輝線(緑矢印)が見られる。前者が G-wire の外側に突出

したチミンに、後者が糖-リン酸鎖に 対応する。Fig. 3(a)に 3D 周波数シフト マップから抽出した G-wire 上の 2D 周 波数シフトマップを、Fig. 3(b)に Fig. 3(a)内の破線 A-B に沿った周波数シ フトカーブを示す。Fig. 3(a)、3(b)より、 水平方向に約 1.2 nm、垂直方向に約 0.4 nm の周期的な周波数シフトの振 動が見られるが、これは G-wire の糖-リン酸鎖上に構造化した水分子によ る水和構造を示唆していると考えら れる。

K. Bose et al. Nat. Commun. 9, 1959
(2018). [2] 熊谷ら,第81回応用物理
学会秋季学術講演会 10p-Z12-3.



Fig. 1 Structural models of (a) G-tetrad and (b) G-wire.



Fig. 2 Typical FM-AFM image of G-wire.





line A–B in (a).