

ディビジョン番号	15
ディビジョン名	コロイド・界面化学

大項目	5. 固体表面・界面
中項目	5-5. マイクロファブリケーション
小項目	5-5-4. DNAの配列制御とナノ構造体作製

概要（200字以内）

自己組織化・自己集合によって原子・分子の配列制御を行うためには、内在的に位置情報を持った鑄型、すなわち原子・分子をあらかじめ決まった位置に化学的もしくは物理的な力で固定できるような鑄型が必要である（図1）。そのような鑄型分子としてDNAが注目されている。ハイブリダイゼーションを利用することでナノ粒子を自在に配置することができ、また、二次元、三次元ナノ構造体を設計通りに作製することも可能になる（図2）。

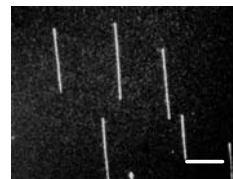


図1 伸長固定化したDNAの蛍光イメージ(スケールバーは10μm)

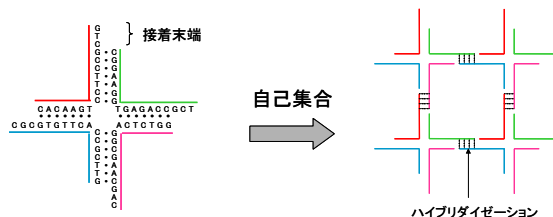


図2 DNAによるナノ構造体

現状と最前線

【DNAの配列制御】

DNAは高分子の一種であり、水溶液中ではそのクーロン長（約500nm）以上ではランダムコイル状態を取る。DNAを鑄型として使う場合には、一直線に伸長した構造を固体基板に固定化することが望まれる。表面処理したガラス基板をDNAの水溶液から引き上げることで、引き上げ方向にDNAを伸長して固定化できる（Molecular Combing法）。水溶液中でDNAの末端がガラス基板に選択的に結合し、基板の引き上げ時のメニスカスの移動によってDNAが引き伸ばされるからである。また、ラングミュアープロジェクト(LB)法を用いることで、孤立したDNA1分子を基板に伸長固定化できる（図3）。DNA水溶液上にカチオン性の両親媒性化合物を展開し、両親媒性化合物とDNAが静電的に結合したポリイオンコンプレックス単分子膜を基板を垂直に引き上げて移し取ると、DNA分子をまっすぐに引き伸ばして固定化できる（図1）。伸長固定化したDNAを足場にして、ナノ粒子を配列させたり、メッキによって金属細線を作製できる。

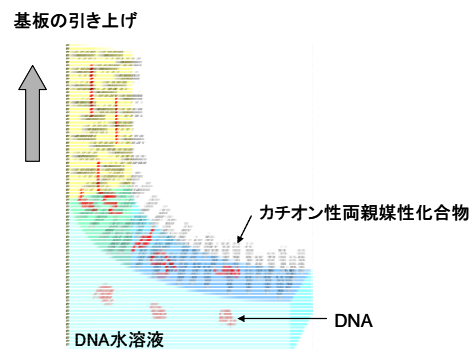


図3 ラングミュアープロジェクト(LB)法による伸長したDNAの配列固定化

【ナノ構造体作製】

STM の登場によって一原子を扱うことが可能になり、ボトムアップ型ナノテクノロジーの実現が期待されている。しかし、これらの技術は高真空、超低温が要求されるため、新たなアプローチが求められており、安価、マイルドな条件下でナノ構造の並列合成が可能な自己集合をベースとした方法が注目されている。このような取り組みは、ポルフィリンやウイルス粒子などで試みられているが、複雑な構造を構築したり、自己集合構造の特定の位置に特異的な相互作用を行わせることは非常に困難である。

DNA は、Watson-Crick 型の塩基対形成を作るため、塩基配列をデザインすることによって任意の構造を構築することができ、複雑な構造の構築が可能な分子として期待されている。これらの技術は DNA ナノテクノロジーと呼ばれている。現在までに、複数のオリゴヌクレオチドを組み合わせた二次元アレイ、三次元構造体が実現されている（図2）。また、これらの構造は多段階の反応ステップと精製そして低収率であるという問題があったが、one-pot で高収率な DNA ナノ構造体の構築が M13 ウィルスを経型にすることで可能になった（図4）。この手法は、原料である M13 DNA を従来の PCR 法で容易に複製することができる、直径が約 100 nm 以下で空間分解能が 6 nm という非常に微細な構造を作れる、また任意の構造をデザインできる、などの特徴を有する。

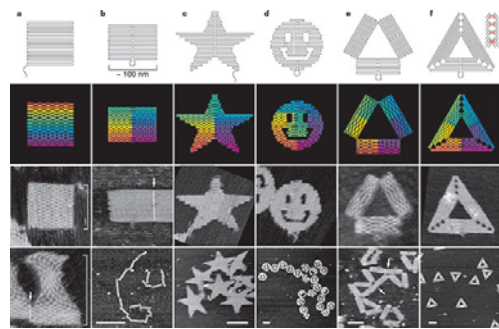


図4 M13 DNA の折りたたみにより作製したナノ構造体(参考文献から抜粋) 第1段目:折りたたみ経路, 第2段目:塩基対形成の順番, 第3段:AFM 拡大像, 第4段:AFM 像

【参考文献】 P. W. K. Rothmund, *Nature*, **440**, 297-302 (2006).

将来予測と方向性

・ 5年後までに解決・実現が望まれる課題

これらの DNA 構造体上にタンパク質を配列させることによる生体分子の組織化や、金属微粒子等の高機能な分子の配列等による分子デバイスの作製への応用が望まれる。特にトップダウン法によって作製されるシリコンデバイスとの融合によって、高機能な電子デバイス、高感度なセンサーの構築が期待される。

・ 10年後までに解決・実現が望まれる課題

DNA でナノ構造という静的なオブジェクトを作るだけでなく、筋肉組織のような化学エネルギーを運動エネルギーに変換できるような動的デバイスへと発展することが期待される。

キーワード

核酸, DNA ナノテクノロジー, 自己集合, ハイブリダイゼーション, 分子認識

(執筆者: 田中あや・居城邦治)