

## ナノデバイスの超高密度実装に向けた

### 光操作による DNA Highwire の形成

香川大学工学部知能機械システム工学科

寺尾 京平

#### 要旨

本研究は、DNA 分子の非侵襲操作技術をベースに、DNA 分子をマイクロピラー電極間を橋渡りする状態で懸架し、溶液中に DNA Highwire と呼ぶ新たな 1 次元ナノ構造を形成する。これを塩基配列の相補性によりナノデバイスが結合する足場として利用することで、ナノデバイスの位置制御と超高密度な集積化に繋げることを目的とする。本研究期間内において、新たな DNA 1 分子の操作・加工手法の開発に取り組み、DNA 分子の効率的な伸長操作が可能なナノ構造体および、酵素修飾による機能付加技術を実現した。

#### 1. 研究背景と目的

本研究は、DNA 分子で構成される複数種のナノデバイスを、超高密度に配置・実装する技術を開発する。これまでに開発してきた独自技術である DNA 分子の非侵襲操作技術を利用することにより、DNA 分子をマイクロピラー電極間を橋渡りする状態で懸架し、溶液中に DNA Highwire と呼ぶ新たな 1 次元構造を形成する。これをナノデバイス実装の足場として利用することにより、従来は散在して機能していた DNA ナノデバイス同士を DNA の塩基配列の相補性を利用してナノメートルサイズのピッチで高密度かつ高精度に実装する(図1)。本提案原理を実証するため、金マイクロピラー電極間に DNA Highwire を形成し、塩基配列の相補性を利用した自己組織化による DNA ナノデバイスの配置を実証することを目標とする。本研究ではまず溶液中でランダムコイル状態の DNA 分子を効率的に直線状に伸長するための操作技術の開発を行った。さらに、DNA を加工・修飾するために必要な酵素処理技術の開発に取り組んだ。

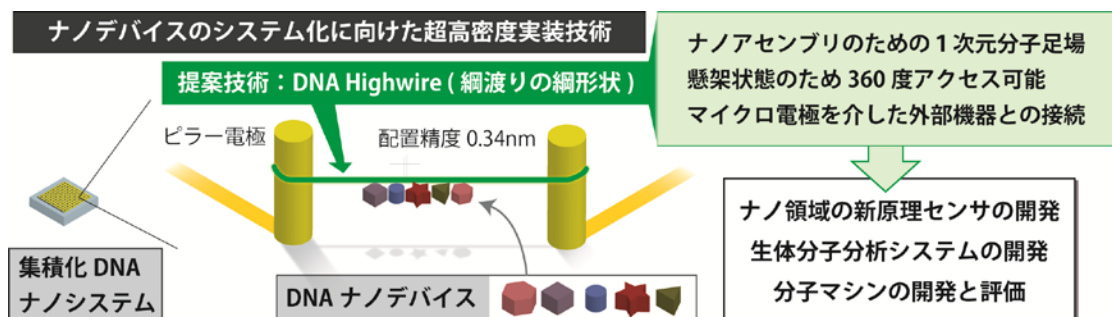


図1. DNA Highwire のコンセプト

## 2. 方法

直鎖状の DNA 分子を直接光トラップにより操作することは困難であるため、本研究は、フォトリソグラフィによって作製したナノ構造体を光トラップにより操作することで DNA 分子を把持し、非侵襲に任意操作する。金マイクロピラー電極は表面を正電荷に帯電するよう表面化学修飾を行うことで、負電荷を有する DNA 分子が接触したとき吸着・接合できるようにする。基板上で DNA 分子を操作し、ピラー電極間を橋渡しする。DNA ナノデバイスの配置精度は、塩基のピッチで決まり、0.34 ナノメートルと極めて高い精度が得られることが期待される。また、液中に浮かんだ状態であることから DNA の塩基配列に対して 360 度全方向からアクセスでき、ナノデバイスの配置に自由度が生まれるだけでなく、結合効率が向上することが見込まれる。目標達成に向け、DNA を効率的に伸長操作する方法およびナノ構造体について検討を行った。ナノ構造体には様々な形状を用意し、2 軸の光ピンセットで操作することにより、「箸」のように DNA を挟み込み操作する手法を考案した。実験において、ナノ構造体のサイズおよび形状が DNA 操作に与える影響について定量的な評価を行い、高効率な操作を実現するナノ構造体を決定した。また、Highwire 形成後の DNA に対してピンポイントな加工と修飾を実現するために、ナノ構造体表面に酵素を化学修飾するプロセスについて検討した。

## 3. 結果と考察

ナノ構造体のサイズについて検討を行った結果、サイズが小さいと、構造体で挟み込む際に周囲流体の流動により DNA を捕捉することが困難であることが明らかになった。一方で、 $10\ \mu\text{m} \times 5\ \mu\text{m} \times 5\ \mu\text{m}$  のサイズのとき、最も効率よく DNA を捕捉できたことから、本サイズ条件において円筒形から星型の様々なマイクロ・ナノ構造を付与した構造体を形成し、形状が操作に与える影響を評価した。その結果、直方体表面にマイクロメートルサイズの凹凸を設けた構造体で最も長く DNA の伸長操作が可能であった。これにより、本構造体を用いることで、DNA の Highwire 形成時に必要な伸長操作が実現されたと考えられる。また、ナノ構造体表面への酵素の修飾について複数の方法を試行した。蛍光標識抗体をモデルサンプルとして評価を行ったところ、プラズマ処理、グルタルアルデヒドによるクロスリンクによって修飾が可能であることが明らかになった。

## 4. まとめと今後の展望

本期間内において、光で駆動されたナノ構造体を「箸」のように利用して DNA を伸長する手法を考案し、高効率な伸長操作を達成する構造体のサイズ・形状を決定した。また、構造体表面に酵素を修飾する手法を考案し、モデルサンプルによって修飾を確認した。目標である、金電極への固定操作については達成できていないため、本操作技術を利用して今後 Highwire の形成実験に取り組む予定である。