

細胞とナノ加工の接点

星野 隆行

東京農工大学 大学院工学府機械システム工学専攻

私は細胞とナノパーツの機能的な組立てを細胞運動に行なわせるナノマシンの構築を目指して研究を行なっている。ナノ加工は原子レベルで制御できる時代になっている。ナノ加工によりつくられた微細な部品が機能性を持つように組み立てられ、マイクロ・ナノマシンを構成する試みはファイマンがマイクロマシンを提唱して以来数多く試みられている。そのような研究のほんの一部として、3次元ナノ構造をつくり機能性のあるナノマシンを構築することを目指していたが、どうもトップダウン的なナノ構造だけでは出来そうにない。同時に神経工学として神経再生電極を作っていたが、ボトムアップだけでは神経軸索はどうも設計どおりに伸びていかない。それでは、材料学的にすべての機能性追求するのではなく、生物的に再構築を任せきるのでもなく、両者の“良いとこ取り”を試みようとはじめた研究である。動きと環境認識を細胞にすべて任せ、構造設計とインターフェースはトップダウンで構築することで、独立・自立した“マシン”が出来ないだろうかと考えている。細胞をナノ構造に対してアプローチさせて、機能的な構造をつくりあげてくれるかどうか良く分からなかったが、良い実験結果も出てきつつあるので本講演で紹介する。

最初にナノ加工である3次元ナノ構造造形法について述べ、ナノ加工の出来ることとまだ出来ていないことを紹介していく。ここでは集束イオンビームによる化学気相成長法による3次元ナノ構造の加工を紹介する。直径3-7nmまで集束させたイオンビームを照射することによる物理的・化学的反応で起こる基板表面の昇華、堆積による加工方法で、複数種類の材料をナノ領域の構造に構築できる能力を持っている。サブナノメートルのスキャン精度と表面吸着分子の制御により、堆積形状の制御に成功している。入射したイオンのエネルギーの一部が堆積した構造物を透過することで、入射位置以外においても堆積が発生する物理モデルが考えられ、オーバーハングなどの空中構造の堆積が可能となっている。このナノ加工法では、数十 μm の構造物をナノスケールで構築でき、C, W, Pt, SiO_xなどが材料として使うことができる。すなわち細胞レベルのサイズの構造物をカーボンや金属などで3次的にナノ精度で構築できる。

次にこのナノ加工で作製されたモノと生物はどのような接点を持つことができるかを、現在進行している研究を中心に紹介する。細胞や生体分子の生物学的な再設計・改造から細胞や分子モータを操作している細胞をマイクロマシンとして用い、マイクロマシンの基本構造のみを人工物で構築し一部の機能・要素を細胞で代替させ、生体と機械を融合させることにより、生体の有する高い機能性を微小な機械に付与する可能性があり、微生物や体細胞を用

いた研究がなされている。本講演では、生物を模倣した人工物でシステムを組むのではなくまさに生体そのものを原動力として用いシステムの素材にするものである。細胞内の反応回路を利用してナノマシンを構築するということは、センシング、動作、化学エネルギー変換機構を内在、あるいは周囲から獲得することで外部環境によって変化する動的な自己組織化ナノマシンを構築することである。ナノマシンの原動力を生体から取得し、構造を細胞によってくみ上げ仕事をさせる挑戦である。

図1に示す概念図は、細胞外基質と非特異的吸着を抑制する物質のパターニングを施したマイクロウェルに細胞を接着させ、マイクロウェル内のナノニードルに細胞を突き刺すことで、細胞内インターフェースを細胞自身に構築させることを目的とした実験である。通常細胞内に刺入する実験ではマニピュレータを使うなどして成されることが多いが、マニピュレータを使わずに逆に細胞のほうを運動させて刺入しようと考えたのがこの研究の始まりである。実験してみると、細胞は自らの細胞運動で図2に示すマイクロウェル内に進入していき、ナノニードルに刺さりにいく。このとき驚くべきことにナノニードルが刺さった後も細胞は生存しており、ナノニードルは細胞膜の中に貫通した状態を保っていることを示すことが出来た。

このような細胞膜を通過したナノ構造による細胞の運動性や機能へ与える影響を調査して、ナノ構造が細胞内の化学的機械的システムを直接操作することが可能になれば、自己組織化要素の集合体である生体膜と細胞内器官を利用したナノマシンを探索することができるのではないかと考えている。

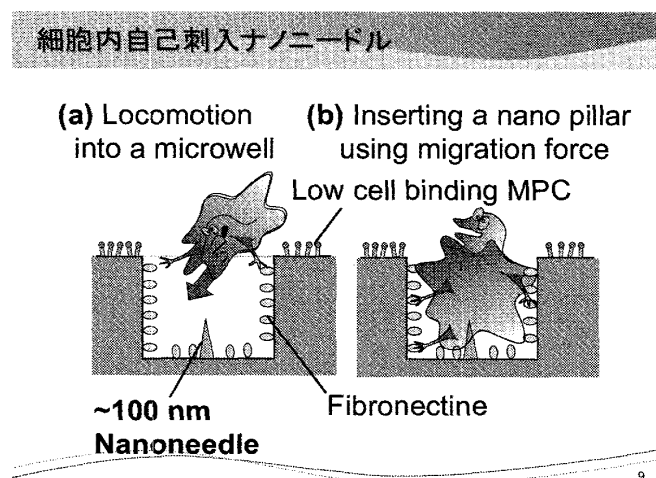


図1 細胞内自己刺入ナノニードル

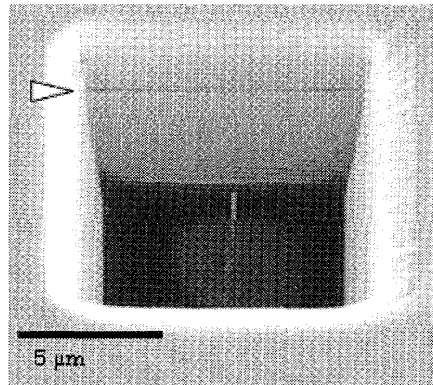


図2 タングステンナノニードルとマイクロウェル