

# ボトムアップ型ナノテクノロジー

## ボトムアップ型ナノテクノロジーの持つ可能性

### トップダウン型製品加工の限界？

インテルの創業者の一人、ゴードン・ムーアが1965年に提唱した、半導体チップの微細化トレンドに関するムーアの法則「チップに集積されるトランジスタの数は2年毎に2倍になる」は、その後40年にわたる半導体微細加工技術の進展を見事に特徴づけてきました。現在、量産レベルでトランジスタのサイズは50nm付近にまで達し、既にナノテクノロジーの領域に突入していますが、ムーアの法則はまだしばらくは健在だろうと言われています。

素材を加工して微細な目的物を作るトップダウン型技術はこの先、どこまで進歩していくのでしょうか。今後10年で加工精度は20nmに達すると予測されているものの、技術的にも経済的にも、その実用化には超えるべき高い

壁があると見られています。高度な半導体生産ラインの新設コストが数千億円にもなり、企業の投資体力を極端に消耗するという経済の壁は、半導体だけではなく、液晶ディスプレイなど、先端技術産業に共通する厳しい構造問題になっています。

### ボトムアップ型ナノテクノロジーの持つ可能性

ナノテクノロジーは、ここまでのどって来たトップダウン型技術の道を、究極まで突き進む先鋭化の方向性と、それが内包する問題を根本的に解決するもう1つの道、すなわちボトムアップ型技術への指向性を兼ね備えています。原子や分子が本来持つ化学結合や分子間力に基づいて、加工という人工的な操作によらずに、半導体チッ

プに匹敵する複雑な構造体を自発的に組み上げていく技術、これがボトムアップ型ナノテクノロジーです。

生物が、DNAからタンパクや脂質分子を合成し、自律的に細胞や器官を作り上げていくように、必要な材料を混ぜておくだけで、トランジスタであれパソコンであれ、目的の物が自然にでき上がるのが、ボトムアップ技術の理想の姿です。大きな工場も必要とせず、必要な所に、必要な物を、必要なときに積み上げていく、しかも、誰かが設計図を見ながらではなく、物質自身が色々な所で平行して、自律的にこれを実行する究極のオンデマンドテクノロジーです。

これはまだ遠い夢にしても、自然界は、生物をはじめとして、このようなボトムアップの営みに満ち溢れています。自然の創世原理を理解し、模倣したボトムアップ型ナノテクノロジーは、微細化と高機能性を追究しつつ、極限的な省資源・省エネルギーを実現し、トップダウン型技術の経済の壁をも迂回する、持続可能な社会の主役となることが期待されています。

産総研のナノテクノロジーが目指すミニマルマニファクチャリングはその一つの具現化に他なりません。

ナノテクノロジー研究部門  
横山 浩

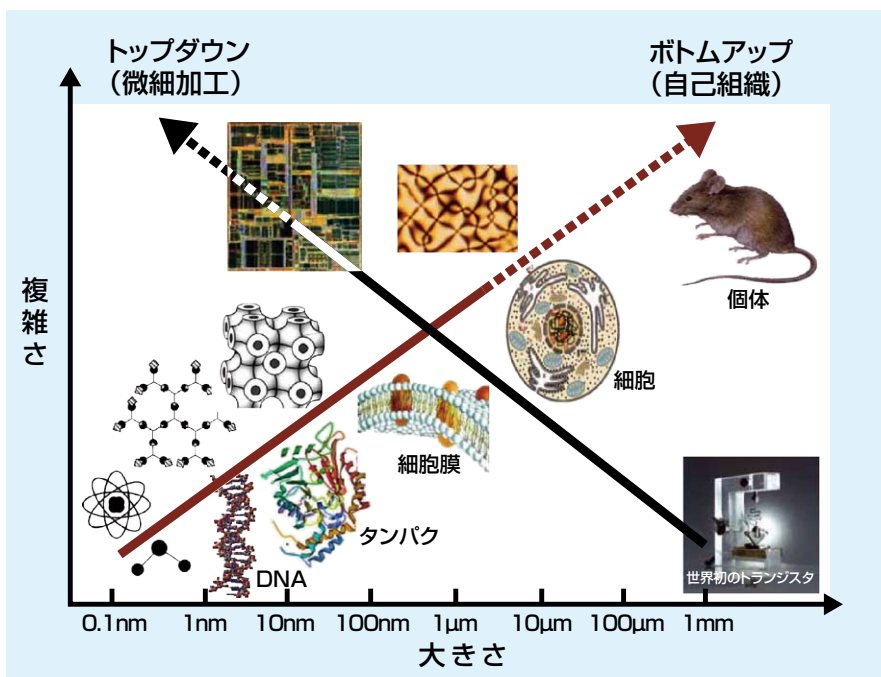


図 トップダウン型製品加工の限界とボトムアップ型ナノテクノロジーの持つ可能性

## オーガニックナノチューブの合成とナノバイオ応用

### マイクロチップからナノチップへ

半導体微細加工技術の進歩により、コンピュータチップの集積度は年を経るごとに増加の一途をたどっています。

同様に、化学物質などの分離分析に欠かせない中空シリンダー構造をもつ分離装置やデバイスも微小化が進んでいます。最近では、約100 $\mu\text{m}$ 径のチャンネル構造をもつマイクロチップを用いて、フェムトモルレベルの高感度分析(分子数で換算すると $10^8 \sim 10^{10}$ 個レベル)が可能になっています(図左)。

しかし、超微量分析用にたった1個の分子を内部に閉じ込めることが可能な空間を作製することは非常に困難です。分析デバイスの微小化と集積化のためには全く違った観点からの技術革新が必要です。

### 分子の組織化を利用

私たちは、1つの分子中に水に溶けやすい部分と油に溶けやすい部分を併せ持つ両親媒性分子が水中で自発的に集合する現象(分子組織化)を利用した中空シリンダー構造(オーガニックナノチューブ)の開発を推進しています。

最近、分子組織化に必要な溶媒量を従来の1,000分の1以下に抑えたオーガニックナノチューブの量産化に成功しました。また、大きさが異なる2つの親水部をもつ“くさび形脂質分子”を新たに設計し、合成しました(図右上)。水中での分子組織化によって、約20nm径と約80nm径の2種類のナノチューブを創り分けることができます。

このナノチューブを詳細に構造解析した結果、外表面は水酸基、内表面は

アミノ基で覆われた非対称な内外表面をもつオーガニックナノチャンネルであることがわかりました。

さらに水溶液中でオーガニックナノチューブのアミノ基に部分的に正電荷を持たせ、負電荷をもつ球状タンパク質(直径12nm)や高分子ナノ粒子(直径20nm)をその中空シリンダー内に包接できることを世界で初めて実証しました(図右下)。

このように私たちは、分子のボトムアップ技術を利用して10~100nm径の中空シリンダー構造を使った分析デバイスの微小化と集積化、あるいは包接・分離・徐放・センシング機能を利用したナノバイオ応用の研究を推進しています。

界面ナノアーキテクトニクス研究センター  
清水 敏美

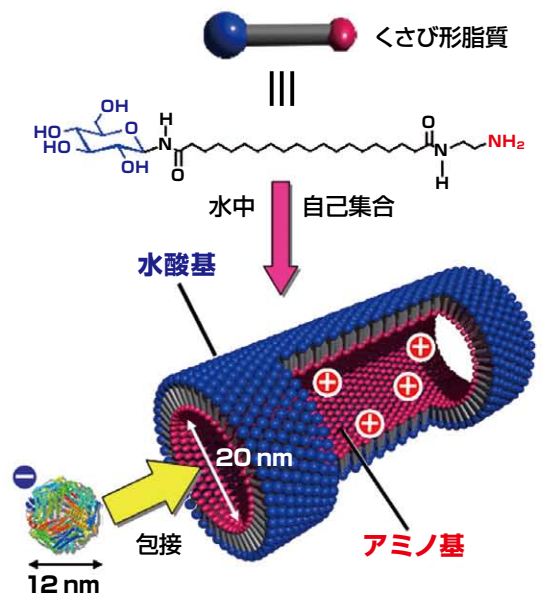
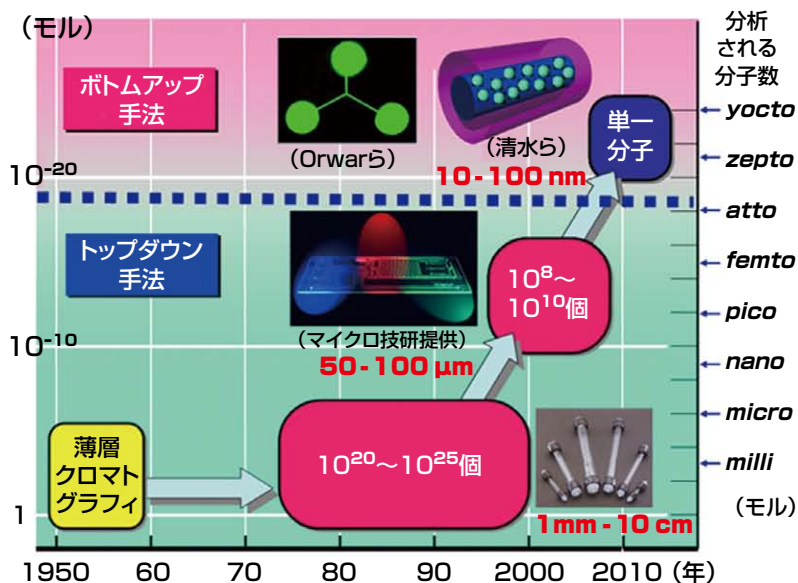


図 中空シリンダー空間の微細化年代推移と分子からなるオーガニックナノチャンネル