

ナノ粒子とナノ材料 Nanoparticles and Nanomaterials

竹原真紀 太田裕治
Maki TAKEHARA, Yuji OHTA

1. はじめに

21世紀の新技术としてナノテクノロジーは大きく注目を浴びている。ナノテクノロジーとは、ナノスケール(1 nmは10億分の1 m)で微細加工、評価、活用するもので、物質をナノメートルレベルで、また原子や分子レベルで空間的に操作・制御することにより、ナノサイズならではの特性を利用し、新しい機能や性質を作り上げる技術である。これらの技術は、ライフサイエンス、IT、環境分野、医療分野への適用が期待される。

ナノテクノロジーの発展は、少ない量で資源を有効に活用する環境調和型社会の実現のヒントになるだろう。

2. ナノ粒子¹⁾

ナノとは10のマイナス9乗(10億分の1)を表す言葉だが、ナノテクノロジー分野ではナノメートルサイズ(10^{-9} m)のように、主に大きさに対して用いられる。(Fig.1)

最小の原子である水素原子の直径は0.07 nm、比較的大きな鉛原子では0.35 nmであり、1 nmの粒子は数十個から数千個の原子で構成される計算になる。ナノ粒子は、シングルナノ(1 nm以上10 nm以下)から100 nm程度までとされる場合が多い。ナノ粒子はバルク体に比べ比表面積と粒子活性度が大きく、同じ物質でありながら大きく異なった反応性や溶解性を示し、電磁氣的、光学的、機械的特性など、特異な特性を持っている。また、ナノレベルの特定の形状や構造を有することで、新規

な特性を持つ材料も生み出されている。

ナノ粒子の作製方法は、大きな粒子を砕いていくブレイクダウン法(トップダウン方式)と、原子・分子を組み立てて粒子を作るビルドアップ法(ボトムアップ方式)がある。ブレイクダウン法は機械的粉碎法が主流で、ビルドアップ法は走査型トンネル顕微鏡を用いて原子を1個ずつ操作する方法や、原子・分子の自己集合能力や生体分子に見られる自己組織化を利用した方法も研究されている。原子を操作するには非常に時間がかかるため生産性が低いが、自己組織化をうまく利用した手間や時間をかけない方法の研究や、両方法を組み合わせた技術の開発がなされている。

3. ナノ材料の代表例

3-1 フラーレン³⁾

フラーレン(fullerene)とは球殻状炭素クラスターの総称である。最初に発見された C_{60} は、直径が約0.7 nmで、炭素原子60個から形成され、五角形と六角形の組み合わせから成るサッカーボールと同じ構造を持つ(Fig.2)。 C_{60} の他にも、構成原子数により C_{70} 、 C_{76} なども存在するが極めて微量しか合成されないため、研究されているのは主に C_{60} である。

C_{60} は生成の結晶構造をとる。この結晶構造の隙間に金属を介して特異な特性を持たせたり、中空の部分に金属原子などを内包させることもできる。

C_{60} は生体には無毒であり、生体分子と結合しやすい大きさを持ち、原子や分子との結合性に優れているため、エイズや癌の治療への応用も期待されている。

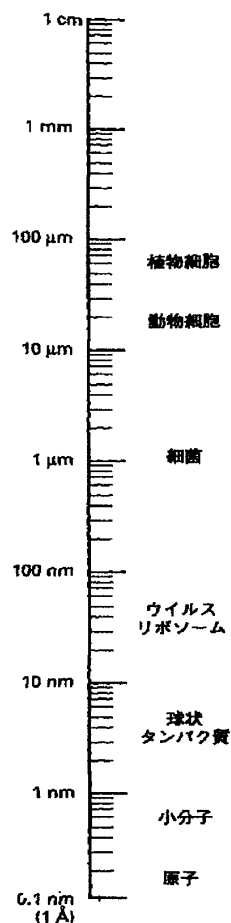


Fig.1 物質のサイズ²⁾

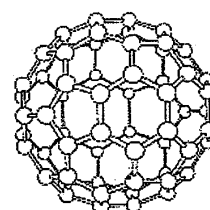


Fig.2 C_{60} フラーレン³⁾

3-2 カーボンナノチューブ³⁾

カーボンナノチューブ(Carbon Nanotube: CNT)は、炭素原子のみでできた蜂の巣構造のネットが円筒状に丸まったシームレスチューブである(Fig.3)。単層あるいは多層の同軸管状をした構造を持ち、単層のものは直径 1-2 nm、多層のもので外形が 5-50 nm で中心空洞の内径が 3-10 nm である。

カーボンナノチューブは、原子間力顕微鏡のプローブや高性能の導電性樹脂の充填剤などに使われており、燃料電池などへの応用開発が盛んに進められている。

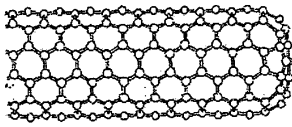


Fig.3 カーボンナノチューブ³⁾

4. 計測・操作技術の向上

1986年に発表された走査型プローブ顕微鏡(Scanning Probe Microscopy: SPM)は、表面の構造や物性をナノスケールの分解能で測定することができる。ナノスケールの先端を有するプローブがついたカンチレバーを観察表面に近づけ、走査しながら物理量を測定する(Fig.4)。SPMの一種である原子間力顕微鏡(Atomic Force Microscopy: AFM)は、プローブ-試料表面間にはたらく原子間力を一定に保ちながら形状を計測する顕微鏡である。AFMでは、走査時のカンチレバーのたわみから、プローブ-表面間にはたらく力を測定することもできる。この特徴を利用し、ナノサイエンス・ナノテクノロジーは大きく発展した。

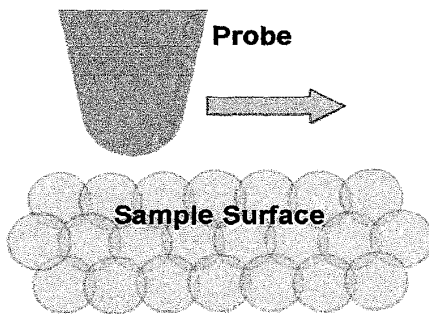


Fig.4 SPMプローブと試料

Fig.5 は IBM 社の研究者が走査型トンネル顕微鏡(Scanning Tunneling Microscopy:

STM)を用いて銅結晶上に鉄原子で文字を描いたものである。実用的ではないが、原子を1つずつ操作して構造物を作ることが可能である。

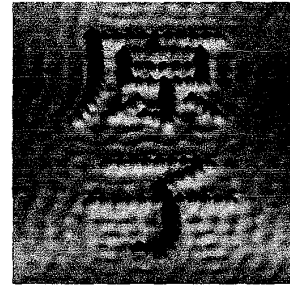


Fig.5 銅結晶上に鉄原子で描いた文字(約 3 nm x 6 nm)

出典 IBM Almaden 研究所 HP

<http://www.almaden.ibm.com/vis/stm/atomo.html>

5. 実用化に向けて

ナノ材料は興味深い特性と可能性を持つため注目を浴びてはいるが、サイエンスから生まれた要素が強い。そのため、実用化されているものはわずかで、必要性や応用分野の検討が十分に進んでいない。実用化への課題としては、安価で大量に生産すること、品質の安定性、機能に見合うニーズの開発が挙げられる。

また今日では、健康や生態、環境への影響も重視されるようになり、ナノ材料やナノ粒子の健康などに与える影響に関する研究も始まっている。科学者は、研究開発の発展とともに、一般の人々に無用な誤解や不安を与えないための説明責任を果たすことが求められる。

参考文献

- 1) 細川, 野城, ナノパーティクルテクノロジー, 日刊工業新聞社, 2003
- 2) B. Alberts, et al., 細胞の分子生物学 第3版, Newt n Press, 1995
- 3) 日本化学会編, 実験化学講座 28 ナノテクノロジーの化学, 丸善株式会社, 2005