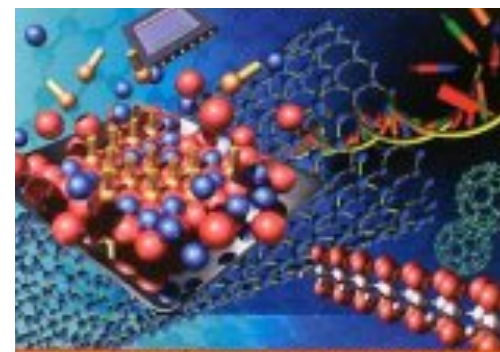


# ナノテクノロジー



ナノテクノロジー／小林直哉 表紙より

光和商事(株) 荒木 巍

H19.6.8

# ナノテクの世界

本テキストでは、ナノテクノロジーを「NT」と表記する

**ナノテクノロジー** (nanotechnology) : 物質をナノメートル (nm= 10<sup>-9</sup>m)の領域において、自在に制御する技術。20世紀のIT革命に続く21世紀の社会の革命の目玉。

2001年にアメリカのクリントン大統領がNTを国家的戦略研究目標(予算5億\$／年)としたことから、世界が注目。日本でも多くの予算が配分されるようになった。

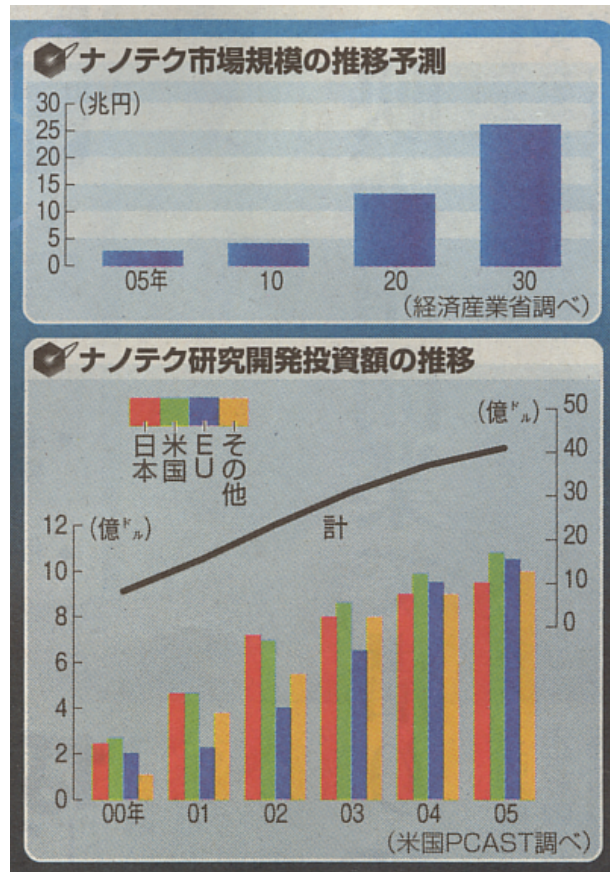


図22-1 NTの市場規模予測と研究投資

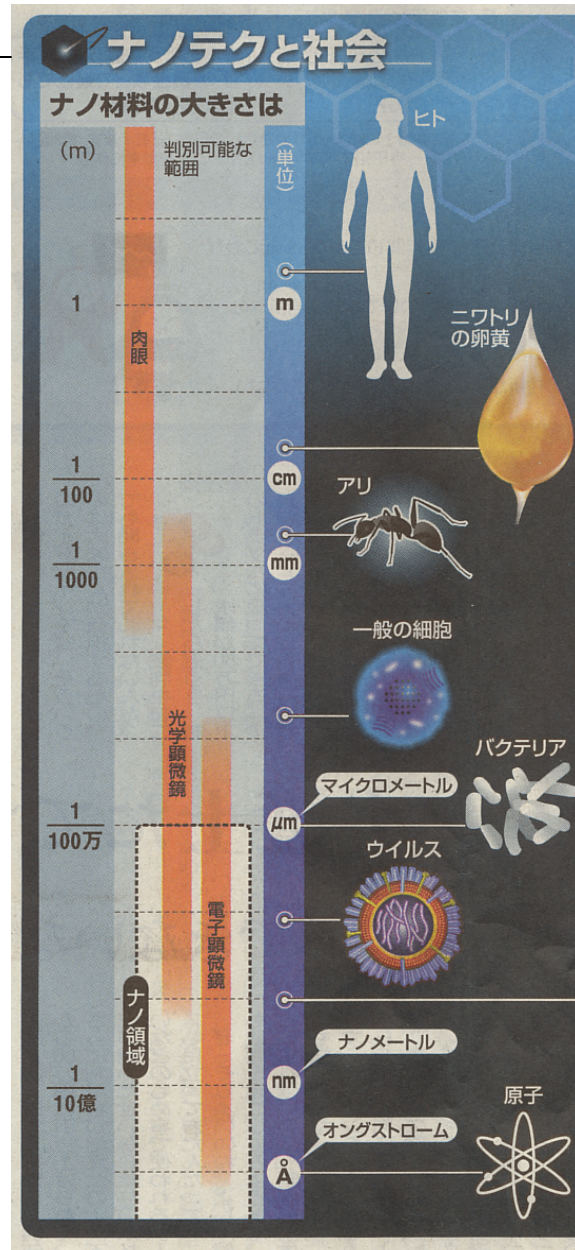


図22-2 ナノメートルの長さ

(朝日新聞/2007.4.28 & 文部科学省-ナノテクノロジーネットワークセンター より)

CNT:カーボンナノチューブ

# ナノテクの技術

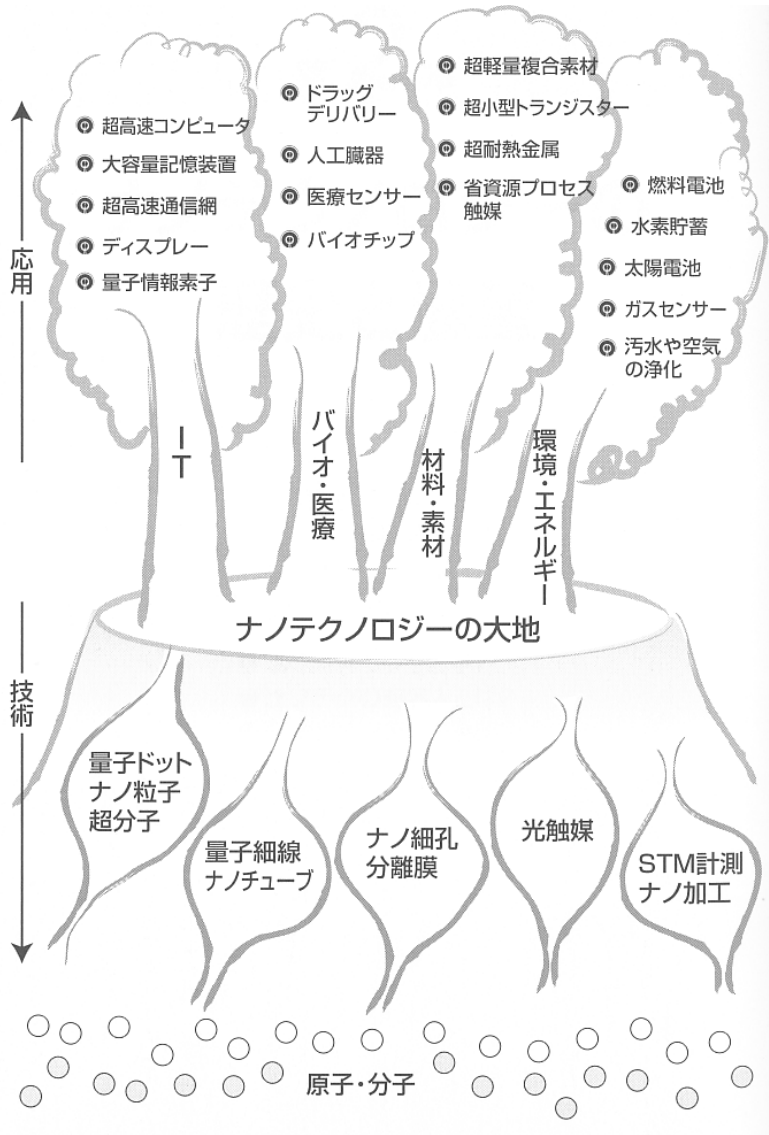
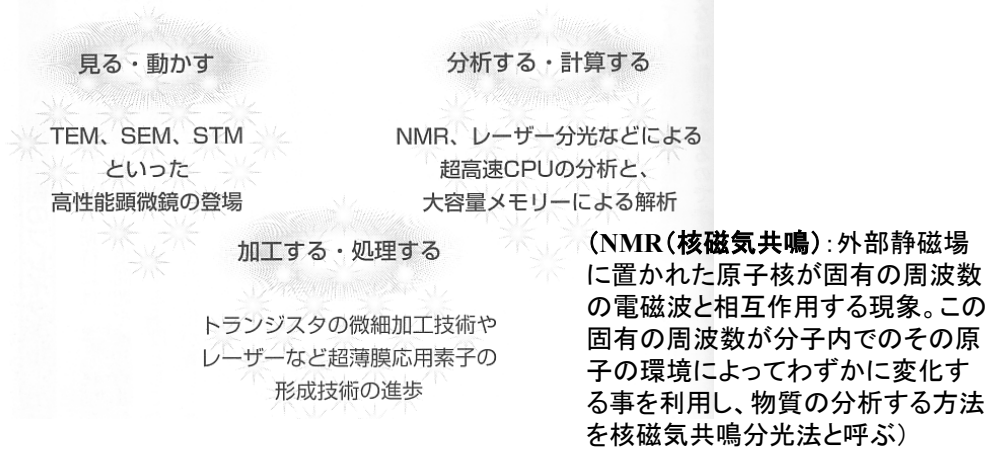


図22-3 NTの技術と応用

# ナノテクノロジーの研究・開発には「トップダウン方式」と「ボトムアップ方式」とがある

## ナノテクを後押しする技術的シーズ

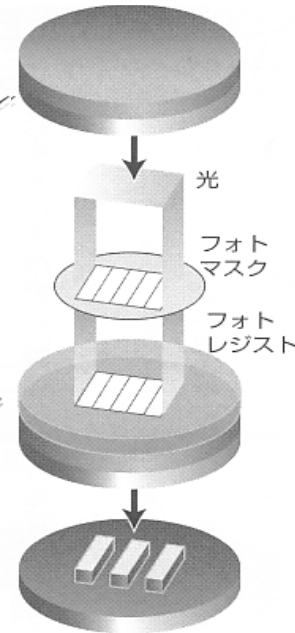


## トップダウン

大きなものから  
小さなものを創る

加工したい材料の膜を  
基板上に形成

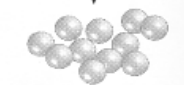
フォトマスクに描かれた  
所望のパターンをリソグラフィ  
技術でウエハー上に転写、その  
後フォトレジストの不要な部分  
を除去し、残ったフォトレジスト  
のパターンを使って加工したい  
材料の膜をエッチングにより削り  
取る



## ボトムアップ

原子・分子を積み上げて  
微小な構造体を創る

分子・原子



自己集合により  
微細構造体を形成  
(これを自己組織化という)

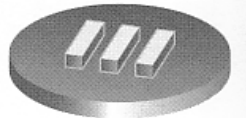


図22-4 トップダウンとボトムアップ



**CNT:** グラファイトのシートがチューブ状に丸まった円筒状の物質で、直径が数nm、長さが約1 $\mu$ m

**特性:** 高い伝導性 — 銅の約1000倍(ディスプレイの省電力)  
 機械的強度 — 鉄鋼の数十倍(車体、建物の素材)  
 熱伝導性 — (放熱性のよい電子デバイス)

**応用:** 超微細半導体デバイス(伝導性)、(東レなど事業化検討)  
 傷つきにくい・硬い樹脂(機械的強度/スポーツ用品)  
 コーティング剤、金属複合材、吸着剤など  
 ルギー密度のキャパシタ電極材  
 樹脂(タキロン) — IC工場(炭素飛散低減)、  
 ンスタンド、鞋底など(07.5.16 日経産業新聞)

超高エネ  
 帯電防止  
 ガソリ

1層(SWNT)	
2層(DWNT)	1~数十nm
多層(MWNT)	
カーボンナノファイバー(CNF)	数十nm以上

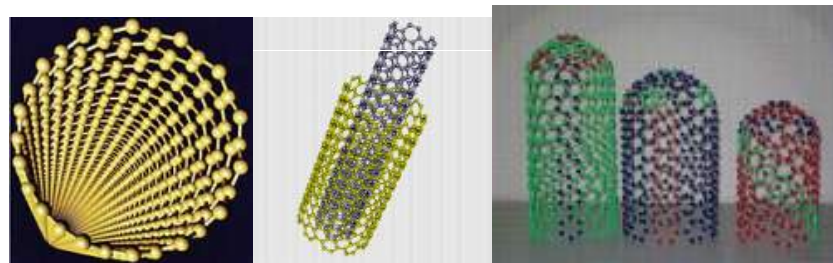


図22-5 CNTの構造

**欠点:** 高価(現状では金よりも高い)

**製法原理:** 炭素棒を高温、高圧で蒸発させて煤を作る

**フラーレン:** 炭素の原子が結合した新機能性材料でサッカーボールのような球状構造をもつ。炭素原子の数によってC<sub>60</sub>、C<sub>70</sub>、C<sub>82</sub>などの種類がある。代表的なC<sub>60</sub>分子の直径は0.71nm。

**特性:** 有機溶剤に溶けること、昇華、超電導製、ガス貯蔵能力、光吸収性、不活性で無毒、細胞・タンパク質、ウイルスなどと相互作用を起こしやすい

中空構造をしているため内部に薬品を挿入することが可能

**応用分野の可能性:** バイオ・医療分野(抗がん剤、抗エイズ剤、骨粗鬆症(骨形成促進薬の搬送)など)、化粧品への応用、半導体材料、ガス貯蔵能力を利用した燃料電池材料、超電導材料、吸着剤、液晶素子、潤滑剤、スポーツ用品(マルマン/ゴルフクラブヘッド)

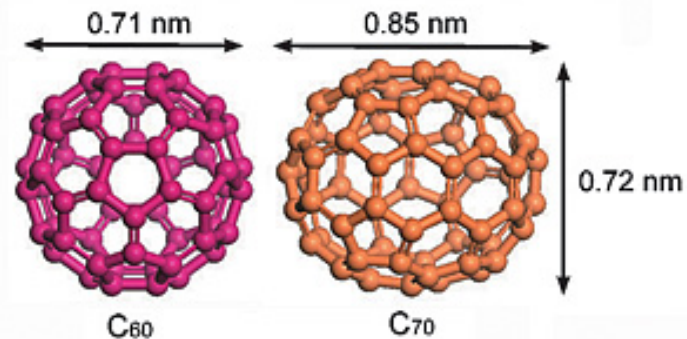


図22-6 フラーレンC<sub>60</sub>/C<sub>70</sub>の構造



**半導体微細化**: PCの処理速度・記憶容量の向上。半導体メモリー、ハードディスク、液晶ディスプレイ 製造のためナノレベルの微細加工技術。分子スイッチ、分子メモリーなどコンピュータの要素部品のサイズが大幅に縮小される。

回路線幅 90nm/2005年、次世代 65nm 予測 → 45→32 →22nm

記録媒体の大容量化、小型化→高密度化 90nmレベル  
DRAM、フラッシュメモリー、HDD、DVD

**超高速コンピュータ**: NTにより集積度を高めて電子回路、トランジスタを大幅に小型化し、計算処理速度を高めるとともに、電力、発熱を抑えることが可能。また、量子コンピュータを使えば並列演算が可能となり、超高速演算が可能となる。

**電子ペーパー**: 書き換え自由。正の電荷を帯びた白い粉と負の電荷を帯びた黒い粉を封じ込めた微小なカプセルを敷き詰めたもの。日立、ソニー、富士通、凸版印刷、ブリジストンなどが開発中。2010年にはカラー化が可能(?)。

**各種センサー**: デジカメの手ぶれ補正、PCの墜落状態を検出したHDD保護装置。

**ディスプレイ**: FED(フィールド・エミッション・ディスプレイ=液晶ディスプレイを凌ぐ超薄型)の電子銃(エミッション)と電気を通す仕組みにCNTを使用。

**ナノ蛍光体**: 隣の蛍光体との影響防止、ガラス等の透明度が不変。

**光を使ったメモリー**: DVD/波長650nm→光ディスク/100nmの分解能。

**通信のナノ構造デバイス**: 1本の回線で1000万の通話が可能な光通信素子。

超小型、超低消費電力、超大容量メモリデバイスが実現すると



図22-7 超小型・超高速コンピュータ



図22-8 電子ペーパー

NTによる計測機器の性能向上(小型化、高感度化、測定迅速化)  
 ー分析、計測、診断、治療、細胞・ゲノム処理の向上。

**ナノバイオ**: 生体内で各種の働きをもつ生体分子の機能を取り出して無駄のない生体分子機能を作る。生体関連物質や合成超分子の作るナノ構造とその機能発現、自己組織するインテリジェントセンサー、分子デバイスへの展開。

**ドラッグデリバリー(DDS)**: 病変部にのみ作用する薬物伝達支持システム。キャリアは数十nmサイズ。副作用のない効率的ながん治療を期待。

**ナノシェル**: 直径数nm～数百nm二酸化ケイ素の中空球体を金で覆ったもの。がんになノシェルを埋め込み赤外線照射で温度を上げ、がん組織を破壊。

**人工器官・人工臓器**: 医学、電子工学、バイオテクノロジー、NTが協力して生体機能を維持する新しい人工器官を開発。ー骨、網膜チップ、心臓人工弁、心臓ペースメーカ、すい臓、肝臓。人工の神経、感覚器、脳などの可能性もある。

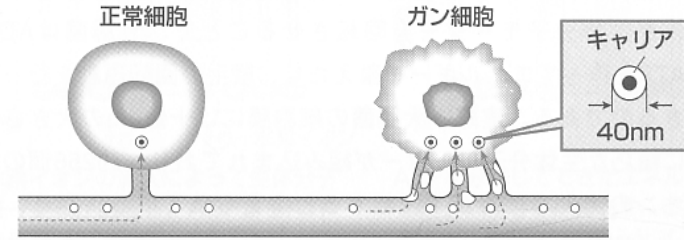
**ゲノム創薬**: ゲノム解析により多くの疾患発生のメカニズムが遺伝子レベルで明らかになってきており、ゲノム情報を利用して医薬品を開発すること。従来の創薬の方法より迅速に医薬品開発が可能。

**バイオセンサー**: バイオセンサーで疾患の原因遺伝子や酵素・タンパク質を解析して病気を予防。

**マイクロカテーテル**: カテーテルを微小化することにより、より細い血管への挿入が可能となり、血管内治療などより多くの課題に対応可能(例、頭蓋内の動脈治療)。

**ナノ化粧品**: 化粧品粒子のナノ化により基礎化粧品、パウダー、日焼け止めなど美肌効果。

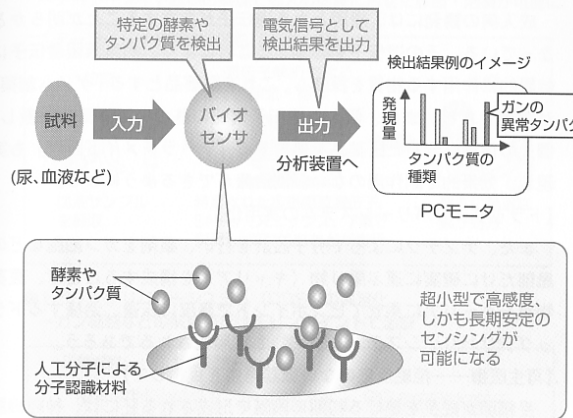
DDSを用いた抗ガン剤投与 …ガン細胞のみが死滅



抗ガン剤分子を包んだキャリアはガン細胞周辺の、大きな穴のある血管部分からガン細胞だけに届く  
 (正常細胞にも血管を通ってわずかに届くが、ほとんど問題にならない)

図22-9 DDSを用いた抗がん剤投与

…バイオセンサで疾患の原因遺伝子や酵素、タンパク質を解析する



体内埋め込み型バイオセンサの実用化  
 →インスリン等の人工代謝調整や血液等の在宅検査が可能に  
 →患者の負担を軽減、早期診断や予防医療の進展に寄与

図22-10 バイオセンサー

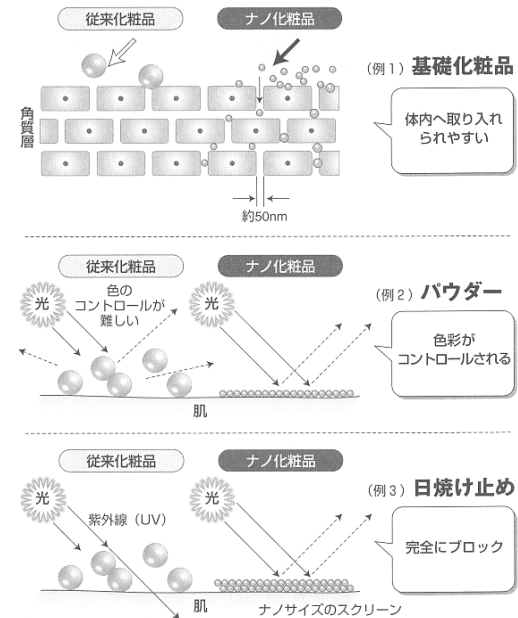


図22-10a ナノ化粧品の特性 6

# ナノ材料

**ナノメタル**：組織や構造を100nm以下の大きさを制御した金属で機械的・電氣的・化学的性質に特色が生じる。野球のバットなどスポーツ用品などで実用化されている。

**ナノセラミックス**：結晶粒子の大きさを数nmにしたり、結晶粒内にナノサイズの粒子を入れ複合体にしたセラミックス。強度の向上や電氣的・磁氣的機能の向上、耐熱性が期待される。

**ナノシミュレーション**：スーパーコンピュータは高性能で超大規模の情報処理が可能となり、ナノサイズの新材料設計が実現化 →原子・分子レベルからシミュレーションと実験の協働によりナノ材料を創成。

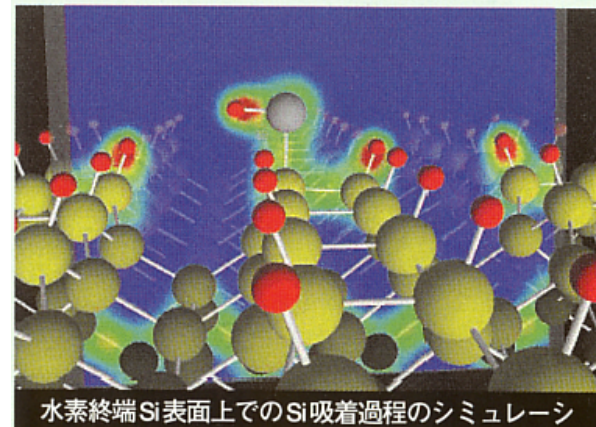


図22-11 ナノシミュレーション

## 実用化の例(一部 開発中)

1. **新しいナノガラス** —フェムト秒(千兆分の1秒)レーザでナノレベル構造を変えて、屈折率、電子構造が局所的に変化。光デバイス(光スイッチ)、バイオガラス(DNAチップ)、超軽量・高強度ガラス(ディスプレイ用基板)、X線光学分野(レンズ)などへの応用が期待される。

2. **ナノポーラス物質** —ナノオーダーの均一サイズ孔が規則的に並んだ材料。活性炭素繊維多孔質ガラス、ナノポーラスシリコン、超細孔ゼロライト、ナノポーラス有機樹脂、ナノポーラス酸化チタンなどがある。機能分離膜(分子ふるい)、環境浄化、半導体デバイスなどに適用。

3. **ナノ繊維** —ナノレベルでそれぞれ水、油をはじく成分をコーティングし、油汚れが付きにくい(東レ医療用)。

4. **金属内包フラーレン** —名古屋大(篠原教授)は20種以上の金属原子を内包させることに成功。三菱商事、東レ、三井物産が名大と実用化の共同研究。

5. **超軽量複合素材** —スポーツ用品(ボウリングのボール、テニスラケット、ゴルフクラブヘッド・シャフト(ヘッドにチタン・フラーレン材(硬さ・疲労強度向上)ーマルマン、ヨネックス等)、ロボット部材。

6. **ナノ粒子** —化粧品、電子デバイス、発光素子。

7. **セラミックス/金属ナノコンポジットの新材料** —ナノサイズの金属粒子をセラミックス内部に均一分散し、超軽量、超耐熱の材料を得る。将来の航空機、ロケットの構造材料として期待。

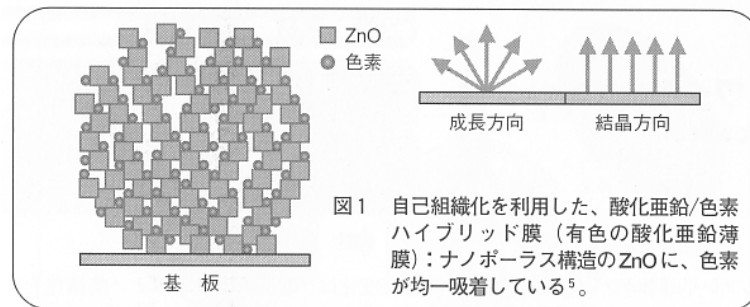


図22-12 ナノポーラス材料



**燃料電池:** CNTを使った大容量携帯用小型燃料電池。リチウム電池の約10倍のエネルギーをもつダイレクトメタノール型燃料電池で燃料・空気の供給、水の排出、反応など物質移動の促進に役立つ(セパレータ、拡散、触媒反応など)。携帯機器用として日本ではCNT、フラーレンなどの新素材を用いる開発が進められている(NEC、ソニーなど)。

**水素貯蔵:** 燃料電池・将来の水素燃料自動車では水素をコンパクトに貯蔵することが必須。このための水素吸蔵材料としてCNTが期待されている。大阪瓦斯では高い水素吸蔵能力を持つアモルファスCNT(炭素がランダムに配列されている)を開発している。

**太陽電池:** (独)物質・材料研究機構では、NTを活用して充電機能を兼ね備えた高効率薄膜太陽電池を開発中。太陽エネルギー → 電気への変換効率25%を目指す(現在のSi単結晶型は十数%)

**環境モニタリング半導体ガスセンサー:** 電気抵抗式センサーではセンシング材料をナノサイズにすることにより大きな感度上昇が見られる。

**汚水・空気の浄化:** 細孔ナノ構造で制御された高い強酸度を持った固体触媒。再利用(ゼロライト)で硫酸の再使用を可能とする。ダイオキシンを除去するナノフィルターが開発中

**光触媒:** 環境浄化に役立つ光触媒機材にNTを応用、界面構造制御、空間的異方性制御により高機能、高性能化。

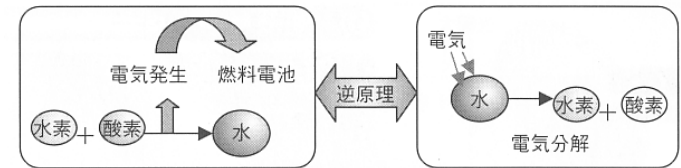


図1 燃料電池の原理

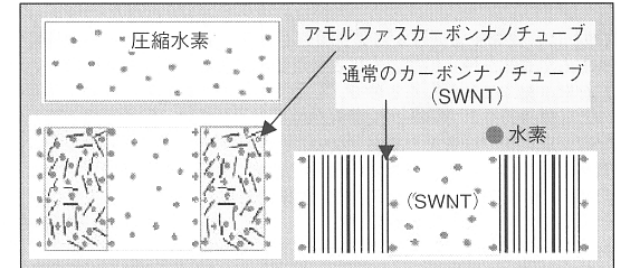


図2 水素貯蔵のイメージ図

図22-13 アモルファスCNT水素吸蔵

太陽電池の高効率化の研究

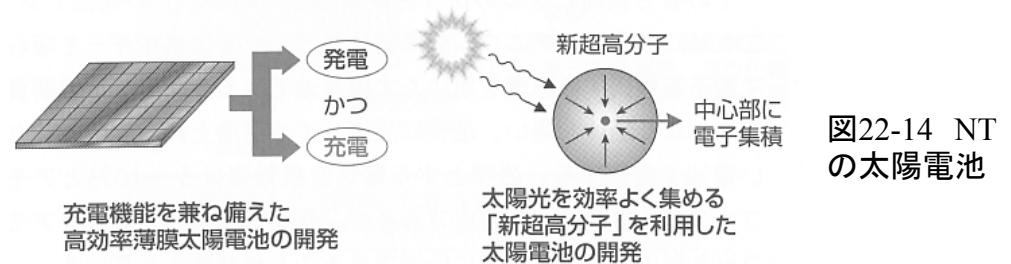


図22-14 NTの太陽電池

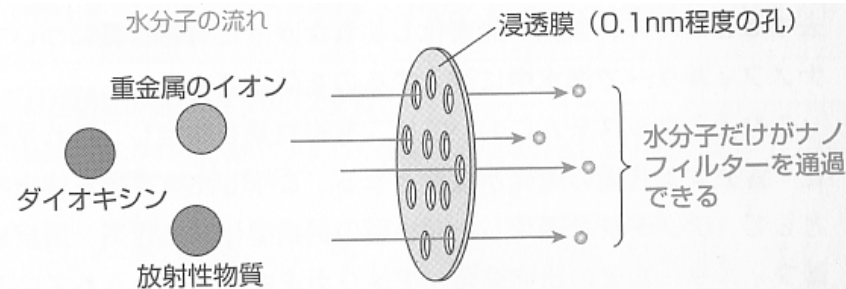


図22-15 ナノフィルター

## ナノ加工・表面処理

### MEMS: 現在主流の加工技術 (トップダウン)

#### 現在の主要なMEMS製品:

インクジェットプリンターのヘッド  
 バーコード・スキャナー  
 自動車のプレッシャー・センサー、アクセルロメーターズ(エアバッグ用)  
 DNAの塩基配列解析装置  
 ラボラトリーオンチップ(化学・バイオ実験で計測・成分抽出・分離・解析結果の自動処理等を行う)  
 光ファイバーネットワークの光スイッチ

「ナノ加工分野」として開発すべき技術(経済産業省の技術戦略マップ):

ナノインプリント(二次元パターン形成)、自己組織化(微細加工プロセス)、薄膜形成技術(各種デバイスに対応)、リソグラフィー(光、電子ビーム利用)、原子・分子操作(STM、AFM等のプローブ顕微鏡を用いた微細加工)など。

**ナノ金型:** リソグラフィー技術を応用して微細な突起や球状など様々な形状の金型製造が可能となる一例: 突起状金型を樹脂膜に押し付けてナノサイズの穴を開け、人工臓器用の透過膜を安価に大量生産。(リソグラフィー=シリコン基板の表面に感光剤を塗り、工学的な処理によって集積回路を焼き付ける方法)

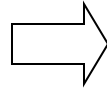
**コーティング:** nmレベルでの精密な材料構造制御によって耐熱性、熱遮蔽性、耐剥離性、耐食性、電極性能等を飛躍的に向上させたコーティング技術を確立する研究を実施中(エンジンやガスタービン用の熱遮蔽コーティング、高温電極や工具等に適用)。(NEDO)

**ナノ結晶ダイヤモンドコーティング:** ガラス基板上への密着性が大きく、可視光に対して90%以上の透過率。各種の光学的、機械的な応用が期待できる。

### 21世紀: MEMSからNEMSへ (ボトムアップ)

#### 21世紀で実現が期待されるNEMS製品:

バイオ/ケミカルセンサ、生体内埋め込みセンサ  
 生体監視ウェアラブル情報端末  
 人工知能、人工網膜、人工臓器、人工筋肉  
 介護用ロボット  
 微小マニピュレータの遠隔操作による局所手術



MEMS: Micro Electro-Mechanical Systems  
 NEMS: Nano Electro-Mechanical Systems

STM (走査型トンネル顕微鏡) やAFM (原子間力顕微鏡) などの走査型プローブ顕微鏡 (SPM) で超微細加工ができる

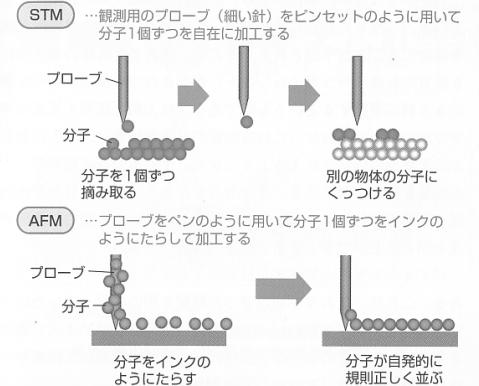
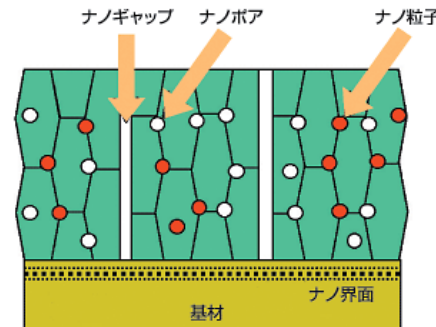


図22-16 顕微鏡を使用した微細加工



ナノギャップ: 熱応力緩和 ナノ粒子: 新規機能付与  
 ナノポア: 低熱伝導化 ナノ界面: 異種物質結合

図22-17 ナノコーティングの概念

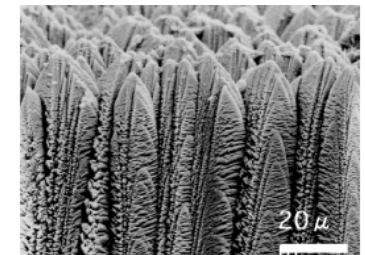


図22-17a ナノ構造を有するセラミックスコーティング 9

計測

ナノ構造の制御や微細加工の発達には原子分解能を持つ高感度、高精度、高速の計測技術が不可欠。半導体の生産ライン、化学・生化学分析、環境モニタリングなどへの活用を目指した電子顕微鏡の高性能化、走査プローブ顕微鏡(STM)の多機能化・集積化、ナノメータX線計測などが研究開発中。

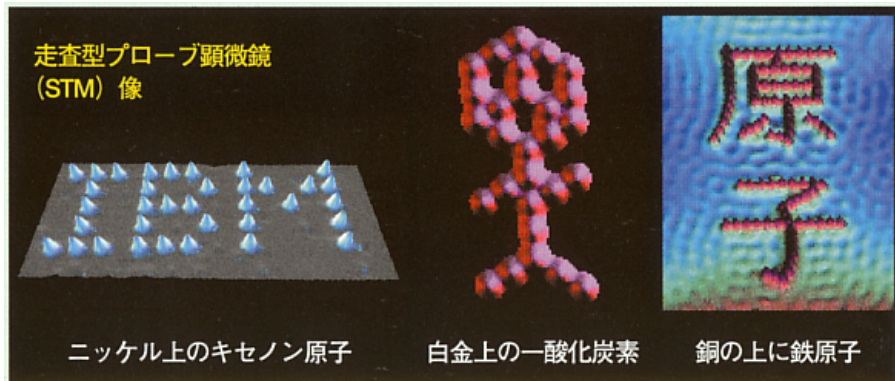


図22-18 STM像

ナノ計測で確立すべき技術基盤(経済産業省の技術戦略マップ);  
 構造計測—形状、微粒子、空孔の各計測  
 物性計測—電気、磁気、熱、光ナノ特性、機械的ナノ特性、塑性比の各計測  
 本技術基盤確立のための研究開発の推進は(独)NEDO、(独)産業技術総合研究所、(独)ファインセラミックセンターなどが担当。

**バイオセンサ:** 生体物質が特定の物質(ナノレベルの粒子)を認識したときの反応を検知し、これを電気信号に変換、特異性、耐久性の優れた分子を人工的に合成し、センサ素子に応用して高感度、長期間安定の次世代バイオセンサを実現。

**ヘルスケアセンサ:** 超小型のセンサを人体に常時装備、または体内に埋め込みにして、発汗、血液、悪玉コレステロール(LDL)、加速度(急に倒れたとき)などを分析、監視し、病院に自動通報する。

表22-1 顕微鏡の発達

	顕微鏡の変遷	科学技術のトピックス
19世紀まで 光学顕微鏡の発展	・オランダのヤンセンが2つのレンズを組み合わせたのが、最初の顕微鏡と言われる(1595)	・フック、顕微鏡観察で、細胞を発見(1665) ・レントゲン、X線の発見(1895) ・J.J.トムソン、電子の発見(1897)
20世紀前半 電子顕微鏡の登場・発展	・透過型電子顕微鏡TEMの発明(1932) ・走査型電子顕微鏡SEMの発明(1938)	・フLEMING、真空管発明(1904) ・アインシュタイン、相対性理論・光電子放出(1905) ・トランジスタ登場(1948)
20世紀後半 走査型プローブ顕微鏡の登場	・走査型トンネル顕微鏡STMの発明(1981) ・原子間力顕微鏡AFMの発明(1986)	・X線回折でDNAらせん構造確定(1952) ・メーザ、増幅器提唱(1954) ・LSIの登場(1958)と発展 ・エサキダイオード(1958) ・ファインマン、「底にはまだ十二分の余地がある」(1959)



産業	企業	事業化対象	具体例
電気通信	NEC 日立製作所 東芝 富士通 松下電器産業 NTT インテル	CNTの応用 NT・材料でグループ連携 ナノ材料・デバイス ハード・ソフトの両面展開 NT応用家電製品 次世代通信技術 半導体製造プロセス	燃料電池、半導体 CNTはNECの飯島博士の発明 ガラスほか各種材料 半導体技術を取込んだDNAチップー医療現場向け ボトムアップ半導体、ナノバイオ技術、量子情報技術 ナノ結晶技術を用いたバックライト不要の次世代ディスプレイ 単電子トランジスタ、CNT配線、分子デバイス 65nm技術の半導体、次世代45nmへの微細化
素材・化学	昭和電工 三菱化学 帝人 宇部興産 日本油脂 住友大阪セメント 大阪瓦斯	CNT量産 フラーレン量産技術確立 ナノ不織布 機能性付加有機・無機材料 DDS用素材 3nm超微細ナノ粒子 特殊CNTアモカーボ	リチウムイオン電池の80nm添加剤、20nm多層CNT量産計画 フラーレン製法、用途では三菱商事の国際特許活用 有機・無機化合物の融合、キメ細かいフィルターで再生医療 ダイレクトメタノール燃料電池の電解質膜、光触媒で水浄化 高純度ポリエチレングリコール修飾剤、リン脂質を世界製薬会社向け ナノジルコニア粒子ーめがねレンズ用、半導体実装基盤 水素吸蔵能力の高い燃料電池用材料
化粧品	シャンソン 資生堂	ナノ商標のライセンス供与 粉体・乳化のナノ化粧品	超高压でリポゾームを微粉化して50nmに微粒化 ファイバ状酸化亜鉛の羽毛のように被覆した機能性光学粉体
商社	三井物産 住友商事	研究開発型ベンチャー 米国製高級CNTの販売	吸着剤、触媒等の結晶性物質「ゼロライト」製膜等の研究開発 高純度、電気特性の優れた単層、2層の細繊維の販売
検査・測定・分析	日立ハイテクノロジー 島津製作所 日本電子	SEM(走査型電子顕微鏡) 各種の計測機器 医療・ライフサイエンス機器	卓上型、コンパクト型SEMの販売 SPM/LSM複合型顕微鏡、ナノ粒子の分級・観測システム SEM、プローブ顕微鏡、X線分析装置
光学機器	ニコン キャノン	半導体露光装置 ディスプレイ	EUV(極端紫外線)露光装置 次世代薄型高画質ディスプレイSED、半導体露光装置

# 国家ナノテク政策

(おもに公的機関のNT研究)

経済産業省－ NEDOナノテクノロジーPG (2001-2007)	ナノ機能合成技術、精密高分子技術、ナノ計測基盤技術、2Dナノ標準物質創成技術、ナノカーボン応用製品創成、ナノガラス技術、ナノコーティング技術、次世代半導体デバイス(MIRAI)など
第2期科学技術基本 計画/NT 2001年 (文部科学省)	ネットワーク・ナノデバイス産業(量子情報通信技術など)、ナノバイオニック産業(医療デバイスなど)、ナノ環境エネルギー産業(燃料電池など)、革新的材料産業(超微細粒鋼など)、ナノ計測・加工産業(MEMS関連)、で約10年間で実現を目指す。
NT総合支援プロジェク トセンター(文部科学省)	大学等各研究機関に対し研究施設や研究情報を総合的に支援－高度な計測機器(Supring8など)、微細加工機器、超高压電子顕微鏡、合成評価機器。
(独)理化学研究所	2002年12月ナノサイエンス棟発足。磁性体、金属ワイヤ、細胞生物、構造化学、高分子、新規材料、ナノバイオなどすべてのNT領域をカバーする研究を実施。その他生物遺伝資源、テーラード医療、再生医療の実現を目指す。
(独)産業技術総合研 究所	基礎研究から実用化への橋渡しの役割として材料技術、製造技術、加工技術などに注力
(独)物質・材料研究 機構	ナノ物質・材料の研究として次世代情報通信を確立するための材料開発、デバイス応用研究、新規超電導材料の開発など。
(独)科学技術振興機構	大学等の技術の民間への移転事業
技術戦略マップ/NT 2005年10月 (経済産 業省)	他分野とともにNTについての技術マップとロードマップを策定。対象として、電子・情報、ナノ計測、ナノ加工、燃料電池、ナノシミュレーションの5分野を取り上げている。
イノベーション25 2007年2月 (内閣府)	2025年達成目標の20例のうち：○マイクロカプセルで就寝中に健康診断、○遺伝子治療によるがん、心筋梗塞、脳卒中の克服、○折りたたみ式ディスプレイ などの実現を予測。
NTビジネス推進協議会 2003年7月	経済産業省主導で49企業が発起人で設立NTのビジネス化を支援することが目的。ロードマップの作成、最新技術動向に関するセミナーなど。

表22-1a 半導体立国復権をか  
けた3大プロジェクト

プロジェクト 名称	あすか	MIRAI	HALCA
主 導	民間主導 (富士通・NEC他)	政府主導 (経済産業省)	政府と産業界 共同プロジェクト
期 間	5年 (2001年4月 } ) (2006年3月)	7年 (2001年 } ) (2007年)	3年 (2001年 } ) (2004年)
予 算	840億円	300億円	65億円
目 的	半導体のパター ン線幅100nm ～70nmの達成。 (実用目的)	半導体のパター ン線幅70nm～ 50nmの達成。 (基盤技術の開発目的)	システムLSIの 量産に必要な多 品種少量の生産 技術の確立。

## 参考:

米国のNNI(全米ナノテク先導  
研究)－

- ①ナノ科学の研究教育推進
- ②ナノ科学の応用探索、
- ③ナノ・バイオの推進(医薬との橋渡し)、
- ④ナノテク機器の開発

# 課題

ナノ化粧品	細胞よりも小さい化粧品のナノ粒子が皮膚を通り抜けて体内に入る危険性があると指摘されている		
銀のナノ素材	銀ナノ粒子に除菌効果があるとして韓国サムスン電子が洗濯機、空気清浄機の製品に適用。しかしこの排水が自然界で有用な微生物を殺す恐れがあるとして、米環境保護局はメーカーに安全の科学的根拠を求める		
ナノ材料の毒性	人造ナノ材料の被爆と局所的、組織的毒性との相関が未確認であり、アメリカ環境省の研究開発部では材料の普及に遅れないよう研究を急ぐべきとの主張が見られる		
軍事利用・防災	有毒ガスや液体化学兵器から身体を守る膜素材、色調や光の反射を制御し、迷彩やステルス機能をもつ素材、耐熱性や耐放射線性に優れた軽量素材、防弾機能の秀でた高強度繊維素材などの開発		
自動車へNTの適用	<table border="0"> <tr> <td data-bbox="316 515 1025 701"> <ul style="list-style-type: none"> <li>①燃料タンクーナノ空間でのメタン、水素燃料の吸蔵</li> <li>③エンジン、駆動装置ー排ガスのPMの捕集(フラーレン、CNT)</li> <li>⑤生産技術ー塗装におけるVOC回収吸着剤の細孔制御</li> <li>⑦ナノアルミニウムによる超軽量ボディ</li> <li>⑨ナノ/マイクロ塗料ー顔料の構造粘性を低下させ外皮のクリア層の厚みを高める</li> <li>⑩タイヤー材料の分子構造制御によるブレーキ性能を高める</li> </ul> </td> <td data-bbox="1064 515 1835 701"> <ul style="list-style-type: none"> <li>②安全、予防安全のためのセンサ、情報通信機器の小型化</li> <li>④材料ーハイブリッド材料による軽量化</li> <li>⑥NT鋼板ー数nmの他の物質を均一に分散し、鋼板を高強度化</li> <li>⑧貴金属粒子を数nmに細かくしてエンジン排ガス浄化の触媒に活用</li> </ul> </td> </tr> </table>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①燃料タンクーナノ空間でのメタン、水素燃料の吸蔵</li> <li>③エンジン、駆動装置ー排ガスのPMの捕集(フラーレン、CNT)</li> <li>⑤生産技術ー塗装におけるVOC回収吸着剤の細孔制御</li> <li>⑦ナノアルミニウムによる超軽量ボディ</li> <li>⑨ナノ/マイクロ塗料ー顔料の構造粘性を低下させ外皮のクリア層の厚みを高める</li> <li>⑩タイヤー材料の分子構造制御によるブレーキ性能を高める</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>②安全、予防安全のためのセンサ、情報通信機器の小型化</li> <li>④材料ーハイブリッド材料による軽量化</li> <li>⑥NT鋼板ー数nmの他の物質を均一に分散し、鋼板を高強度化</li> <li>⑧貴金属粒子を数nmに細かくしてエンジン排ガス浄化の触媒に活用</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>①燃料タンクーナノ空間でのメタン、水素燃料の吸蔵</li> <li>③エンジン、駆動装置ー排ガスのPMの捕集(フラーレン、CNT)</li> <li>⑤生産技術ー塗装におけるVOC回収吸着剤の細孔制御</li> <li>⑦ナノアルミニウムによる超軽量ボディ</li> <li>⑨ナノ/マイクロ塗料ー顔料の構造粘性を低下させ外皮のクリア層の厚みを高める</li> <li>⑩タイヤー材料の分子構造制御によるブレーキ性能を高める</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>②安全、予防安全のためのセンサ、情報通信機器の小型化</li> <li>④材料ーハイブリッド材料による軽量化</li> <li>⑥NT鋼板ー数nmの他の物質を均一に分散し、鋼板を高強度化</li> <li>⑧貴金属粒子を数nmに細かくしてエンジン排ガス浄化の触媒に活用</li> </ul>		



電子顕微鏡	通常の光学顕微鏡では、観察対象に可視光線をあてて拡大するのに対し、光の代わりに電子（電子線）をあてて拡大する。物理学、化学、工学、生物学、医学（診断を含む）などの各分野で広く利用されている。大きく分けて、透過型と走査型がある
量子力学	電子、原子核などの間の微視的現象をも説明した物理学の理論。光や電子などが粒子と波動の性質を兼ね備えているというのが基本的な考え。NTにとって不可欠な学術基盤（古典物理学／ニュートンの力学から一歩前進したもの）。 量子コンピュータ：LSI集積度向上の限界を打破する未来のコンピュータ
量子	物質を構成しているのは分子、原子、原子を構成している陽子、中性子、電子、中間子などのニュートリノ素粒子、さらに素粒子を構成しているレプトンとハドロンという基本粒子、それらの1個ずつを量子と呼ぶ。NTで扱う中心的な物質
ナノ粒子、ナノクラスター	NTの有用な素材として注目。原子・分子が集合・反応・成長して、「クラスター」になり、さらにクラスターが成長すると、「ナノ粒子」になる（微粒子のうち100nm以下のもの）。ナノ粒子はそれ自身が示す量子効果の利用により、単電子デバイス、量子ドット、発光素子等への応用が期待される
分子ふるい	構造中に分子と同程度の大きさの孔が存在する物質では、孔のサイズより小さい分子のみを通すことができるため、大きさの異なる分子の篩い分けが可能

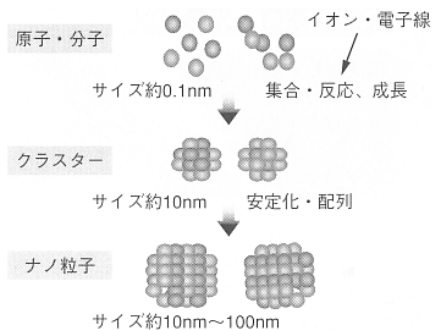
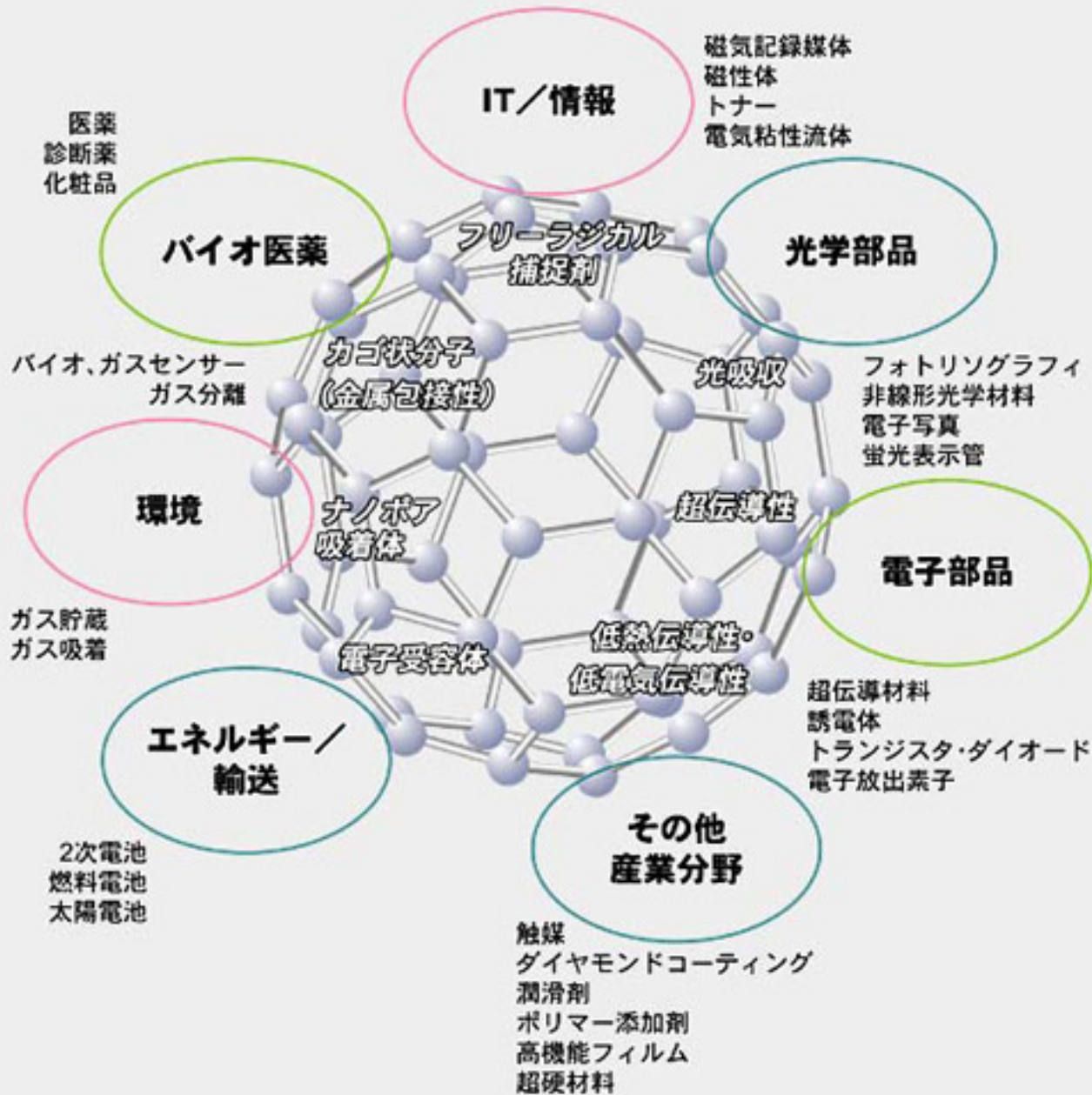


図22-18a クラスター、ナノ粒子

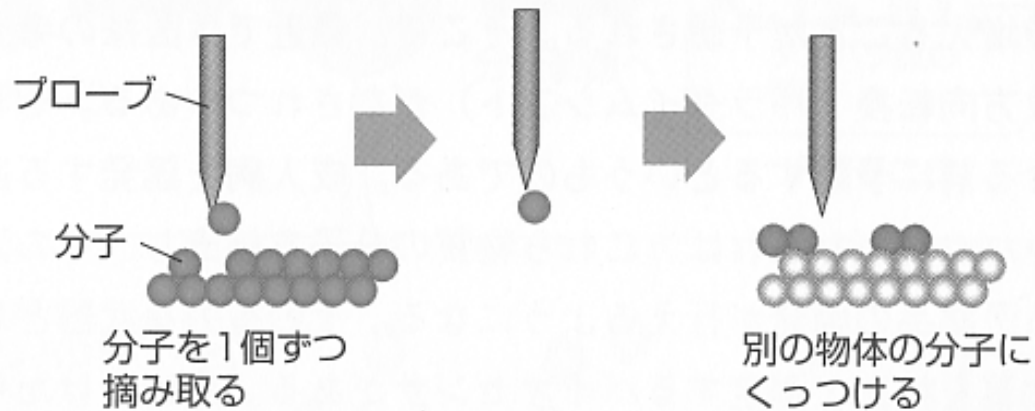


参考図22-1 NTの利用分野

STM（走査型トンネル顕微鏡）やAFM（原子間力顕微鏡）などの走査型プローブ顕微鏡（SPM）で超微細加工ができる

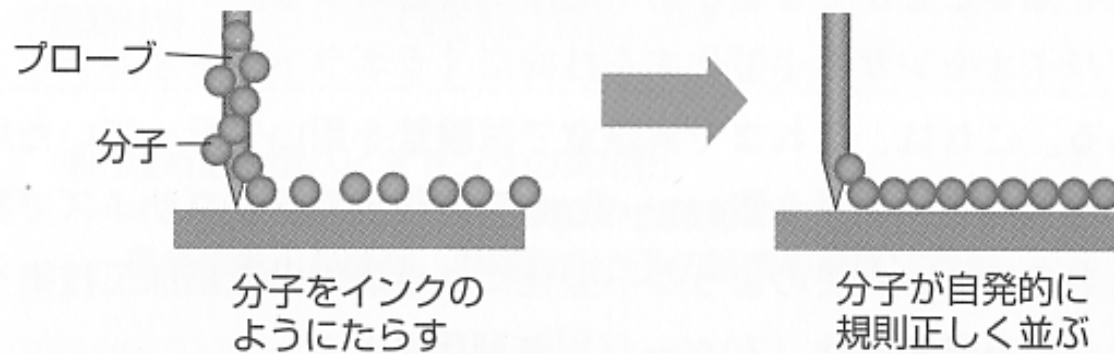
STM

…観測用のプローブ（細い針）をピンセットのように用いて分子1個ずつを自在に加工する



AFM

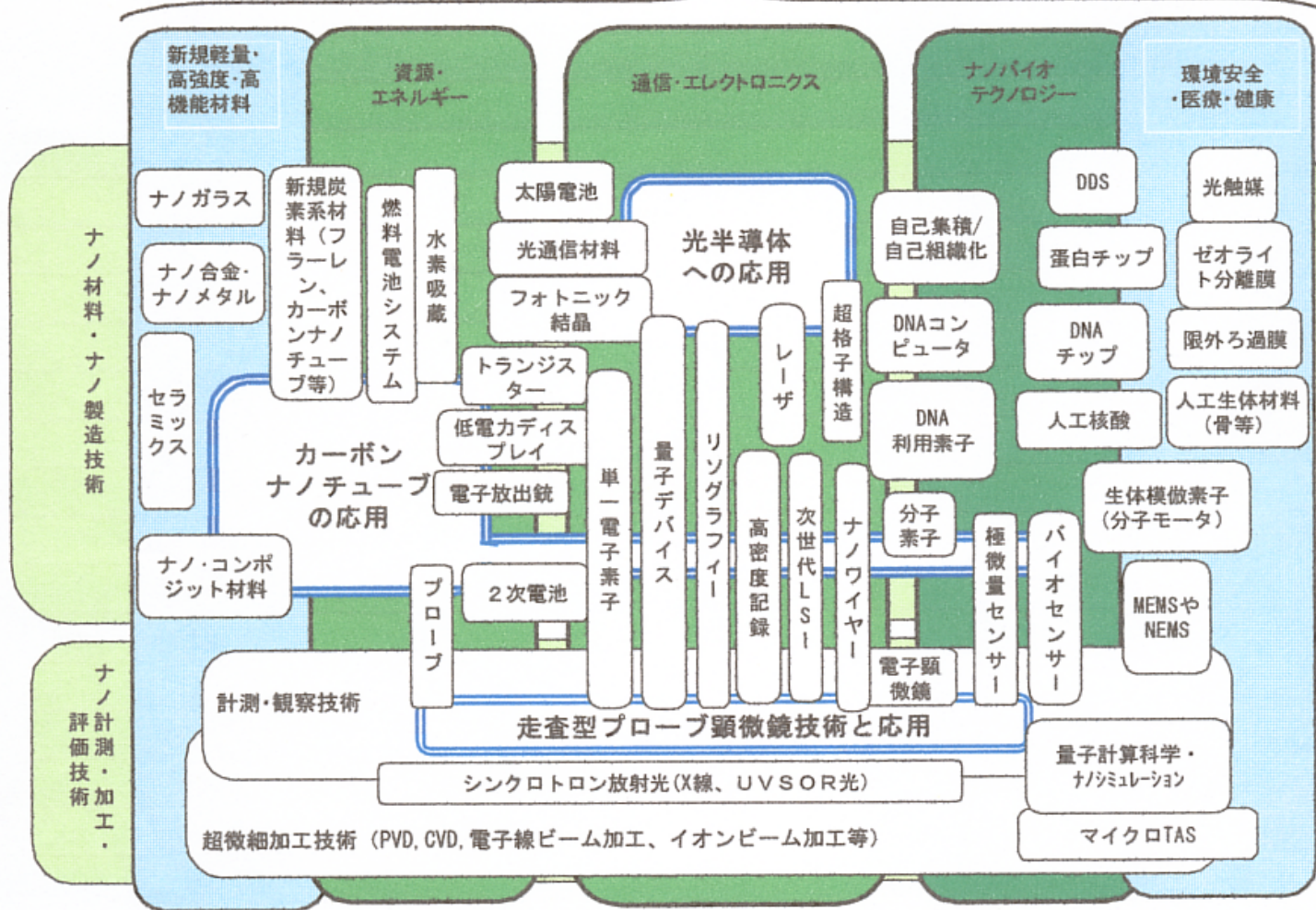
…プローブをペンのように用いて分子1個ずつをインクのようにたらし加工する



参考図22-2 分子レベルの超微細加工



ナノテクノロジー応用分野



出典：ダイヤリサーチマーテック作成

参考図22-3 NTの応用技術全体俯瞰図

## 革新的ナノテクノロジー

### ナノ加工技術

トップダウンアプローチ  
ナノインプリント技術等  
ボトムアップアプローチ  
自己組織化・自己集積化技術  
薄膜成長技術  
一原子分子操作等

### ナノ材料技術

ナノ空間技術  
ナノファイバー技術等

デバイス化と一体の材料開発

## 新産業5分野を支えるキーデバイス開発

情報家電

燃料電池

ロボット

健康・福祉・機器・サービス

環境・エネルギー・機器・サービス

## 参考資料

1. 総合科学技術会議配布資料(第2期計画)
2. 入門ナノテクビジネス 週刊ナノテク編集部 東洋経済新報社 2006.2.23
3. 全図解ナノテクノロジー 榑裕之 かんき出版 2004.2.9
4. 図解ナノテク活用技術のすべて 川合知二(監修) 工業調査会 2002.11.27
5. 図解雑学ナノテクノロジー 小林直哉 ナツメ社 2003.10.27
6. ナノテクノロジー・ハンドブック 産業技術総合研究所ナノテクノロジー知識研究会 日経BP 2003.2.24
7. ナノテク革命を勝ち抜く 桐畑哲也ほか 講談社 2005.4.1

