

## ナノテクノロジーについて

ナノテクノロジーは、非常に小さなスケールでの材料またはデバイスの作成と使用です。これらの材料またはデバイスは、1~100 ナノメートル(nm)の範囲内にある。1nm は 10 億分の 1 メートル(1000000001m)に等しく、これは人間の毛の直径より約 50,000 倍小さい。科学者は、ナノスケールとして 1~100nm の寸法範囲を指し、このスケールの材料はナノクリスタルまたはナノ材料と呼ばれる。

ナノスケールは、固体を何も小さくすることができないため、ユニークです。生物学的および物理的な世界の機構の多くが 0.1~100nm の長さスケールで作用するので、これもまたユニークなものである。これらの寸法では、材料は異なる物理的性質を示す。したがって、科学者は、ナノスケールでの多くの新規効果が発見され、画期的な技術に使用されることを期待しています。

重要なブレークスルーはナノテクノロジーですでに起こっています。これらの開発は、世界中で使用されている製品に見られます。例を挙げると、大気汚染物質の除去に役立つ触媒コンバータ、ハードディスクから読み書きするコンピュータのデバイス、太陽からの有害な放射線を透過的に遮断する特定の日焼け止めおよび化粧品、ならびにスポーツ衣服および歯車のための特殊コーティングおそらくアスリートのパフォーマンスを向上させます。それでも、多くの科学者、技術者、技術者は、ナノテクノロジーの可能性の表面だけを傷つけていると信じています。

ナノテクノロジー支出:

日本は 1994 年までに 10 億ドル以上を費やしていた

米国 - 2004 年 - 847 百万ドル、 2005 年予算 -

次の 4 年間で 12 億ユーロ - 英国、ドイツ、フランス、オランダ

NY 州立大学、ニューヨークのナノセンターを作るために 5000 万ドルを拠出

エドモントン、U の連邦政府のお金を注ぐ

三菱自動車は、1 億 2000 万ドルのベンチャーファンドを発表しました。三井物産 - ナノテクノロジー研究 3 ユニット 8100 万ドル

世界全体の見積り: 2010 年までに 1,500 億ドル

2015 年までにナノテク製品 1 兆ドルの価値

ナノテクノロジーはまだ始まっておらず、今後数十年に渡ってフィールドの完全開花に起因するものを正確に予測することはできません。しかし、多くの科学者は、ナノテクノロジーが医療

と医療に大きな影響を与えると自信を持って言えると信じている。エネルギー生産と保全; 環境クリーンアップと保護; 電子機器、コンピュータ、およびセンサ; 世界の安全保障と防衛。

ナノテクノロジーとは？

ナノスケールの大きさを把握するには、物質の基本的な構成要素である原子の直径を考慮する。最小の自然発生原子の1つである水素原子は、わずか0.1 nmの直径である。実際、ほぼすべての原子は、およそ0.1nmの大きさであり、人間の目には見えないほど小さい。原子は一緒に結合して化学化合物の最小部分である分子を形成する。約30個の原子からなる分子は、直径がわずか約1nmである。分子は、生命の基本単位である細胞を構成する。ヒト細胞の大きさは5,000~200,000nmであり、ナノスケールよりも大きいことを意味する。しかしながら、細胞の内部操作を行うタンパク質は、わずか3~20nmの大きさであり、したがってナノスケールの寸法を有する。ヒト細胞を攻撃するウイルスは約10~200nmであり、ウイルスと戦うために使用される薬物の分子は5nm未満である。

自然の基本機能と同じ規模で動作する新しい材料やデバイスを構築する可能性は、なぜ100nm以下の世界に注力しているのかを説明しています。しかし、100nmは何らかの分割線ではありません。これはナノスケールで大きく異なる材料特性の特性が観察された長さです。

人間は実際にこれらの特殊な特性について実際に知っていましたが、なぜそれらが発生したのか理解できませんでした。例えば、中世のガラス労働者は、金を非常に小さな粒子に分解し、これらの微粒子をガラスに散布することによって、粒子の大きさに応じて金色が黄色から青色または緑色または赤色に変化することを知っていました。彼らは、パリ、フランスのノートルダム大聖堂のようなヨーロッパの大聖堂で見られる美しいステンドグラスの窓を作るのを助けるためにこれらの粒子を使いました。これらのガラス加工業者は当時それを理解していませんでしたが、金ナノクリスタルを作成しました。100nmを超えるスケールでは黄色に見えるが、100nm未満では他の色を示す。

ナノテクノロジーは分子レベルでナノメートルレベルの人工デバイスを作り出す可能性に興味を持っています。そのため、この分野は分子ナノテクノロジーと呼ばれることがあります。一部のナノテクノロジー学者は、これらのデバイスが自己複製することを目指しています。つまり、生きている生物と同じように、機能を同時に実行して数を増やすことです。現場の初期の支持者の中には、ナノテクノロジーのこの側面が最も重要です。小さな機能ユニットが分子レベルで組み立てられ、制御された条件下で自己複製することができれば、驚異的な効率を実現することができます。しかし、多くの科学者は、自己複製するナノ構造の可能性を疑う。

---

## ナノテクノロジーへのアプローチ

科学者は現在、1~100nmのスケールで構造物またはデバイスを作製するための2つのアプローチを実験している。これらの方法は、トップダウンアプローチおよびボトムアップアプローチと呼ばれている。

---

### トップダウンアプローチ

トップダウンプロセスでは、技術者はバルク材料で始まり、より小さな構造を作り出します。これは今日、コンピューターを動作させる集積回路とも呼ばれる、小さなメモリとロジックユニットであるコンピュータチップの作成に一般に使用されているプロセスです。コンピュータチップを製造するために、マスクとして知られる材料の薄膜がシリコンウェハ上に堆積され、不要な部分がエッチングにより除去される。今日の商業用コンピュータチップのほとんどすべてが100nmより大きい。しかし、ますます小さくて高速のコンピュータチップを作る技術はすでに100nm以下になっています。より小型で高速なチップは、コンピューターをさらに小型化し、より多くの機能をより迅速に実行することを可能にする。

マイクロ製作またはナノ製作と呼ばれることもあるトップダウンアプローチは、最新の市販のコンピュータチップよりも小さいまたはそれより小さいサイズの構造を作成するために高度なリソグラフィ技術を使用する。これら高度なリソグラフィ技術には、光学リソグラフィおよび電子ビーム(eビーム)リソグラフィが含まれる。光リソグラフィは、現在、100nm程度の小さい構造を生成するために使用され、この技術を使用してさらに小さなフィーチャを作成する努力がなされている。Eビームリソグラフィは、20nmほどの小さい構造を作り出すことができる。しかし、電子ビームリソグラフィは高価すぎるため大規模生産には適していない。光学リソグラフィを使用してコンピュータチップを製造するための製造設備を構築するコストは、すでに数十億ドルに達する。

結局のところ、ナノ構造を製造するためのトップダウンアプローチは、コストがかかるだけでなく、技術的に不可能である可能性が高い。コンピュータ・チップまたは他の材料をナノスケールで組み立てることは、基本的な理由のために不可能である。具体的に設計された方法で材料を減らすには、作業に使用される工具は、縮小する部品よりも細かい寸法または精度を持っていなければなりません。したがって、工作機械は、切削される最も細かいディテールよりも細かい切刃を有しなければならない。同様に、シリコンウェハ上の位置をエッチング除去するために使用されるリソグラフィマスクは、除去される材料よりも微細な構造の精度を有していなければならない。除去すべき材料が単一の分子または原子であるナノスケールでは、この条件を満たすことは不可能である。

---

## B ボトムアップアプローチ

結果として、科学者は、ボトムアップアプローチとして知られている、ナノスケールで構造を作り出すための別の大きく異なるアプローチに興味を持っている。ボトムアップアプローチは、ナノ構造を形成する原子および分子の操作を含む。ボトムアップアプローチは、ナノスケールのサイズに材料を減少させる絶え間なく微細な方法を作り出さなければならないという問題を回避する。代わりに、ナノ構造は、自然界で起こるように、原子レベルから原子ごと、分子ごとに組み立てられます。しかし、この規模のアセンブリには独自の課題があります。

学校では、水などの液体に浮遊している粒子に見られるランダムなブラウン運動を研究するとき、子供たちはこれらの課題のいくつかについて学びます。粒子自体は動いていません。むしろ、粒子を取り囲む水分子は絶えず動いており、この運動によって分子はランダムに粒子に衝突する。原子はその運動エネルギーのためにそのようなランダム運動を示す。原子と原子の位置を保持する結合の温度と強さは、原子の移動の程度を決定する。あなたが座っているかもしれない室温の固体でさえ、原子は拡散と呼ばれる過程で動きます。物質が固体から液体、気体に変化するにつれて移動するこの原子の能力は増加する。科学者やエンジニアが原子スケールでうまく組み立てるには、この種の行動を克服する手段が必要です。

このような挑戦の明確な例は、International Business Machines Corporation (IBM) の科学者がスキャニングプローブ顕微鏡チップを使用して個々のキセノン原子を組み立て、ニッケル表面に文字 IBM を形成させた 1990 年に発生しました。原子が割り当てられた場所から離れるのを防ぐために、ニッケル表面は理論的に可能な最低温度で絶対温度に近い温度に冷却され、完全に熱がないことによって特徴付けられた。(絶対ゼロは約  $-273.16^{\circ}\text{C}$  [ $-459.69^{\circ}\text{F}$ ] である。)この低温では、原子は運動エネルギーをほとんど持たず、本質的に凍結した。

しかしながら、この温度を達成することは、商業的装置の操作にとって実用的でなく、経済的でない。それにもかかわらず、原子を操作する科学者の能力は、ボトムアップアプローチが働く可能性のある最初の兆候の 1 つでした。それはまた、実験科学としてのナノテクノロジーの出現を示した。

---

## ナノテクノロジーの出現

ナノテクノロジーの概念は、アメリカの物理学者 Richard P. Feynman に由来していました。Feynman 氏は、1959 年 12 月のアメリカ物理学会との会談で、「底にたくさんの部屋があります: 物理の新しい分野に参入するための招待状」と題して、超小型構造を作ることによって得られる利点の例を示しました。Feynman は、百科事典 Britannica の全内容がピンの頭に合う

ように縮小できると計算し、印刷された人間の知識はすべて 35 ページの標準サイズのページに収まると推定しました。

先進的な顕微鏡の重要性や新しい製造方法の開発など、ナノテクという用語をコインにはしませんでした。ファインマン氏は今日のナノテクノロジーの重要な側面を予測しました。また、物理学者、化学者、生物学者が使用した知識、ツール、手法を組み合わせることの重要性を強調しました。彼は、どのくらい多くの情報や機能を小さなボリュームにまとめることができるかという例として、自然界を指摘していました。例えば、単一細胞は、移動し、生化学的プロセスを行い、その DNA 分子内に、それが含まれる複雑な生物の設計および機能の完全な知識を含む。

Feynman は、物理学の法則によって定められた境界内でナノスケールのデバイスの作成が可能であると信じていました。彼は具体的に原子ごとの組み立ての可能性を挙げています。つまり、化学力によって正確に結合された個々の原子から構造(分子またはデバイス)を構築することです。この可能性は、自動的に原子を組み立てて所望の化学化合物の分子を生成することができるナノスケール寸法のロボット装置「ユニバーサルアSEMBラー」の概念を導いた。このようなデバイスは、例えば、炭素原子を集めて、現在、鉱業および合成の高コストのために限定された量でのみ使用される、潜在的に重要な工業材料である低コストの大きなダイヤモンドを形成することができる。このような合成ダイヤモンドは、軽量でしかも非常に硬く、電気絶縁性であるが優れた熱伝導性を有するため、多くの工業用および民生用の用途を有することができる。このようなデバイスが化学、物理、および熱力学の既知の法則の中で実際に可能かどうかについてはかなりの議論があるものの、ナノスケールロボットアSEMBラーの考え方は一部の研究者によって引き続き推進されています。

ナノテクノロジーは 1970 年代後半に、将来の技術の重要な要素として促進され始めました。ナノテクという言葉は、1974 年に日本の科学者、谷口則夫が「ナノテクノロジーの基本概念について」という論文で初めて使用されたものですが、アメリカのエンジニア、K. Eric Drexler も、Engines of Creation(1986)これは大きなインパクトをもたらし、フィールドの成長を促進しました。この時点で、自動車に見られる触媒コンバータに使用される非反応性金属でできたナノ粒子触媒の形成など、業界で大きな進歩が達成されました。これらの触媒は、有毒な窒素酸化物を化学的に還元して良性の窒素にし、同時に酸化した有毒な一酸化炭素を二酸化炭素にする。

## ナノテクノロジーのツール

科学界は、1970年代後半から1980年代初めにツールが利用可能になったときにナノスケールで深刻な作業を始めました。まず、ナノスケールで材料やシステムを調査し、後で操作し、制御します。これらのツールには、透過型電子顕微鏡(TEM)、原子間力顕微鏡(AFM)、および走査型トンネル顕微鏡(STM)が含まれる。Microscope も参照してください。

### A1 透過型電子顕微鏡(TEM)

TEMは、高エネルギー電子ビームを用いて、100nm未満の試料厚さの材料をプローブする。電子ビームは、拡大される物体に向けられる。電子の一部は物体に吸収されるか、物体からはね返り、他の物体は物体を通過して材料の拡大像を形成する。材料の背後に配置された写真板、蛍光スクリーン、またはデジタルカメラは、拡大画像を記録する。TEMは、3000万回まで物体を拡大することができます。対照的に、従来の光学顕微鏡は、物体を最大1000倍に拡大することができる。TEMは、100nm未満の寸法を有する物体を画像化するのに適しており、ナノ構造のサイズ、その組成およびその結晶構造に関する情報をもたらす。

TEMは、ナノサイエンスのコミュニティ内で一般的で強力な機器です。半導体に見られるナノ結晶に関する科学雑誌に掲載された画像のほとんどは、この機器で記録された。TEMは、半導体ナノ結晶内の個々の原子を容易に視覚化することができる。

### A2 原子間力顕微鏡(AFM)

AFMは、直径が100nm未満の小さなシリコンチップをプローブとして使用し、サンプル材料の画像を作成します。シリコンプローブが試料表面に沿って移動すると、試料中の原子の電子がプローブ内の電子をはじく。AFMは、サンプルの力を一定に保つためにプローブの高さを調整します。検出機構は、プローブの上下運動を記録し、データをコンピュータに供給し、コンピュータの中に試料の表面の3次元画像を生成する。したがって、正確な表面トポグラフィを正確な高さ情報とともに記録することができ、表面の個々の原子を画像化することができる。しかし、この手法の横方向の解像度は時々貧弱です。

### A3 走査トンネル顕微鏡(STM)

STMは、その先端が単一の原子と同じくらい小さいことができる小さなプローブを使用して、物体を走査する。STMは、トンネリングと呼ばれる波のような電子の性質を利用する。トンネリングは、顕微鏡のプローブから放出された電子が、検査されている物体の表面に浸透する、またはトンネルすることを可能にする。電子がプローブから表面にトンネルする速度は、プローブと表面との間の距離に関係する。これらの移動する電子は、STMが測定する小さな電流を生成する。STMはプローブの高さを常に調整して電流を一定に保ちます。プローブが表面上を移動する際にプローブの高さがどのように変化するかを追跡することにより、科学者は

表面の詳細なマップを得ることができます。マップは、表面上の個々の原子が可視であるように詳細にすることができます。

---

## B 原子を操作する

イメージングに加えて、AFM および STM は、ナノ構造を操作するためにも有用である。これに関して、ヒントは個々の原子を操作するために使用できる「腕」に似ています。例えば、IBM の科学者は、個々の原子を平面上に移動させ、原子が IBM の縷りを覚えるようにしただけでなく、STM を使用して 48 個の鉄原子を環状構造に配置しました。この操作は極めて低い温度でのみ可能でした。

AFM と STM は原子や個々のナノ構造を移動させることができますが、プロセスは非常に遅く時間がかかります。科学者は、この技術をさらに開発するために、1 つのスキャンチップを使用するのではなく、多数のスキャンチップを使用することを望んでいます。このようなアレイは、原子の操作を高速化するのに役立つことができるが、それはまた、広範囲のマイクロおよびナノ加工を必要とする。

---

## C 炭素分子の合成とその他の展開

1980 年代と 1990 年代のいくつかの開発は、ナノテクノロジーの可能性への関心を刺激した。Richard E. Smalley が率いるテキサス州ヒューストンの Rice University の 1985 年の化学者は、60 個の炭素原子からなる完全に丸い炭素分子を作ることができることを発見しました。科学者らは、R. Buckminster Fuller 氏が設計した測地線と類似しているため、これらの合成分子のバッキーボールまたはフラレンにニックネームを付けました。合成炭素を作ることができることは、いくつかの理由から刺激的でした。炭素は、生物の中の物質の基本的なビルディングブロックです。炭素原子は他の原子と容易に結合し、他のどの元素よりも多くの化合物を形成することができます。炭素原子も強い結合を形成し、強いが比較的軽い物質を形成するのに役立つ。しかし、合成バッキーボールの特殊な特性はさらにエキサイティングでした。他の物質と組み合わせると、バッキーボールは様々な方法で作用することができる。それらは、電気、絶縁体、半導体、または超伝導体の導体であり得る。彼らの可能性のあるアプリケーションは膨大に見えました。

その後、1991 年に日本の物理学者飯島澄夫が、バッキーボール発見を基盤にして広く注目されている報告書を発表しました。飯島氏は、フラレンを研究している間に、「最強の材料」と言われている、薄くてきわめて硬い炭素の形のカーボンナノチューブを発見したと報告しています。1993 年に、カリフォルニアの IBM Almaden Research Center の米国物理学者 Donald S. Bethune は、単一の原子だけの厚さのナノチューブを開発しました。突破口には大きな意

味があった。例えば、電子回路としてのこれらのいわゆる単層ナノチューブの使用は、現在のチップに適合する 4200 万個のトランジスタと比較して、数十億個のトランジスタを含むコンピュータチップにつながる可能性がある。コンピュータはますます小さく、速く、より強力になります。そして、それは可能な様々なアプリケーションのうちの 1 つに過ぎませんでした。

科学界のナノスケールへの関心が高まっていることから、1999 年に米国政府は研究の優先事項としてナノテクノロジーを特定しました。2000 年、ビルクリントン大統領は、442 百万ドルの予算で国立ナノテクノロジーイニシアチブ (NNI) を発表しました。その後まもなく、世界の先進工業国が米国をリードした。2003 年までに、米国、欧州連合 (EU)、および日本は、ワールドの開発を促進するために、毎年 10 億ドルに近い資金調達レベルでナノテクノロジーの主要イニシアチブを実施しました。さらに、世界の他の国々は、3 つの主要な政府イニシアチブと同様の水準で総資金を投入してナノテクノロジーイニシアチブを開始した。2003 年度に承認された米国の予算では、今後 4 年間に 37 億ドルがナノテクノロジー研究のために承認された。

州政府は、連邦政府の支援に加えて、ナノテクノロジーの支援に積極的に取り組みました。米国の例としては、ニューヨークナノテクノロジーイニシアチブ、カリフォルニアナノシステム研究所、ペンシルバニア州ナノテクノロジー研究所、テキサスナノテクノロジーイニシアチブなどがあります。国際的な例は、ドイツザールランド州の NanoBioNet です。

2003 年までに、ナノテクノロジーに基づいて、重要な商品が既に開発されていました。コンピュータのハードディスクからデータを読み取り、データをディスクに書き込む読み書きヘッドと呼ばれるコンピュータ上のデバイスは、多層のナノメートルの厚さのフィルムで構築されました。これらのフィルムは、より多くのビットのデータをハードディスクの表面に詰めることができるように、読み書きヘッドの感度を高めました。その結果、現代のパーソナルコンピュータに見られる記憶容量が劇的に増加し、競争価格のコンピュータでは比較的安価な 60 ギガバイトのハードディスクが利用可能となった。

別のナノテクノロジー製品ラインは、太陽からの有害な紫外線を吸収するが、目に見えない亜鉛または酸化チタンのナノ粒子製剤であった。この技術により、化粧品企業は外観を損なうことなく製品の皮膚保護を提供することができました。通常、白色のスキンクリームは、ナノ粒子が小さすぎて光を散乱させることができないため、適用時に透明になる。衣服のナノコーティング技術は、これまでに生産された最も汚れにくい衣類をもたらしました。オリンピック水泳選手は、衣料繊維を疎水性 (水に適合しない) 分子に結合させた水着を使用して、多くの新しい世界記録を設定する助けとなっている。これらのナノコーティングされた水着は、水との摩擦が少なく水泳者はより速く泳ぐことができます。

21世紀初頭、企業は、ナノサイエンスとナノテクノロジーを、複数の製品ラインに幅広く影響を及ぼしうる多くの共通のコンセプトとアプローチを用いて開発の分野として特定し始めました。主要なハイテク企業は、企業のナノテクノロジーの戦略、研究、開発の開発に割り当てられた特定のマネージャーまたは主要な科学者を持つことが一般的になりました。大企業に加えて、この分野はまた、多くの小規模な新興企業を生みだし始めました。2003年現在、これらの企業のほとんどは、ナノマテリアルの製造、単純なナノデバイスの製造、およびナノスケールでの研究および製造に使用されるツールの製造に携わっていました。投資コミュニティでは、ますます多くのベンチャーキャピタル企業がナノテクノロジーに密接に従事し始め、ナノテクノロジー企業への投資に専念した最初の資金が創出されました。

---

## Vの ナノテクノロジーに伴う課題

ナノテクノロジーが直面している大きな課題は、所望のナノ構造を作り、それを人間の目に見える完全に機能するシステムに統合する方法です。これには、ナノメートルスケールで構築された構造とマイクロメートルスケールで構築された構造との間のインターフェースを作成することが必要です。一般的な戦略は、いわゆる「トップダウンがボトムアップになる」アプローチを使用することです。このアプローチは、ナノスケールで動作するツールを用いてナノ構造を作製し、特定のアセンブリ技術を用いてナノ構造を編成し、次にトップダウンナノ製造プロセスを用いてマイクロメートルスケールで世界とインターフェースすることを含む。

しかし、ナノテクノロジーのこの聖杯に向けて道には技術的な障壁が存在します。例えば、ボトムアップ手法は、一般に、現在のナノ製造技術が相互作用するには小さすぎる1nmのナノクリスタルを生成する。その結果、ナノクリスタルと外部とのインターフェースは、非常に複雑で高価なプロセスである。多くの合成ナノ構造が主流の工業的応用の一部になる前に、この障壁を克服するための新規手順を開発しなければならない。

また、ナノ構造のサイズがますます薄くなるにつれて、材料の表面積は構造体の全体積に対して劇的に増加する。これは、大きな表面積を必要とする用途に有効であるが、他の用途ではこれはあまり望ましくない。例えば、カーボンナノチューブがトランジスタなどの電気デバイスとして使用される場合、比較的大きな表面積を有することは望ましくない。この大きな表面積は、分子の他の望ましくない層が表面に付着し、ナノチューブデバイスの電気的性能を損なう可能性を高める傾向がある。科学者たちは、多くのナノ構造ベースの電子デバイスの信頼性を向上させるために、この問題に取り組んでいます。

もう1つの重要な問題は、ナノクリスタルの特性が、そのサイズ、組成および表面特性に非常に敏感であるという事実に関する。小さな変化があれば、物理的特性が大きく異なる可能性があります。そのような変化を防ぐことは、ナノ構造の合成および製造の開発において高い

精度を必要とする。これが達成されて初めて、ナノ構造ベースのデバイスの再現性を満足できるレベルに改善することができる。例えば、カーボンナノチューブを高性能トランジスタにすることは可能であるが、その組成および構造に関して重要な技術的ハードルが存在する。カーボンナノチューブは2つの「味」になる。一方は金属であり、他方は半導体である。半導体フレーバーは良好なトランジスタを作る。しかしながら、これらのカーボンナノチューブが製造されると、金属導電性チューブと半導体導電性チューブの混合物が互いに絡み合って良好なトランジスタを作製しない。この問題には2つの解決策があります。1つは、半導体ナノチューブのみを生成する精密な合成方法を開発することである。もう1つは、2種類のナノチューブを分離する方法を開発することです。両方の戦略は世界中の研究室で研究されています。

---

## VI ナノテクノロジーの将来の影響

ナノテクノロジーは、様々な経済的、社会的、環境的、国家的な安全保障上の影響を持つことが期待されています。2000年、国立科学財団は、ナノテクノロジーの可能性のある影響に対処し、望ましくない結果を最小限に抑える方法を提案するため、国立ナノテクノロジーイニシアチブ(NNI)と協力し始めました。

例えば、ナノテクノロジーのブレークスルーは、いくつかの仕事の喪失をもたらす可能性がある。自動車の開発により、馬に基づく輸送に関連する多くの製品の市場が破壊され、多くの雇用が失われたように、ナノテクノロジーに基づく変革製品は必然的にいくつかの現代産業において同様の結果につながるであろう。危険にさらされている職業の例は、従来のテレビを製造する仕事である。ナノテクノロジーベースの電界放出または液晶ディスプレイ(LCD)、フラットパネルTVは、これらの仕事を時代遅れにする可能性が高い。これらの新しいタイプのテレビでは画質を大幅に向上させることができます。例えば、電界放出TVでは、各画素(画素)は、小さな電位ギャップを横切って非常に高い電流で電子を赤色、緑色または青色の蛍光体に放出する尖った先端から構成されている。画素はより明るく、日光の明瞭性を失うLCDとは異なり、電界放出型テレビは明るい日差しで明瞭さを保ちます。電界放出型テレビは従来のテレビよりもはるかに少ないエネルギーを使用する。実際の商用デバイスは、おそらく構造安定性と耐久性のためにもう少し重くなっていますが、1ミリメートル以下の非常に細くすることができます。サムスンは、2004年初頭にカーボンナノチューブエミッタに基づく最初の商業モデルを発表すると主張している。

他の潜在的な雇用損失は、プラスチック製品の包装に收容されたナノテクノロジーベースの柔軟性のある薄膜コンピュータがオール・オン・アット・ワン・チェックアウトを可能にするならば、スーパーマーケットキャッシャーのものである可能性がある。スーパーマーケットの顧客は、現在の店舗の出口にある磁気防犯システムと同様の形状の検出ゲートウェイを介して、

カードを簡単に操作できます。しかし、あらゆる変革技術と同様に、ナノテクノロジーは多くの新しい雇用創出を期待することができます。

人間の健康管理におけるナノテクノロジーに基づく進歩による社会的影響も大きくなる可能性があります。ナノテクノロジーの進歩による米国人の平均余命の10年の増加は、社会保障と退職計画に重要な影響を与えるだろう。バイオテクノロジーやゲノミクスの分野と同様に、ナノテクノロジーにおける特定の開発経路は、倫理的な意味合いを持つ可能性が高い。

ナノマテリアルは環境に悪影響を与える可能性もあります。有害な影響を最小限に抑えるための適切な規制が講じられるべきである。ナノマテリアルは人間の目には見えないので、これらの粒子を環境に放出しないように注意する必要があります。いくつかの予備的研究は、カーボンナノチューブの発癌性(癌を引き起こす)可能性を指摘している。これらの研究は確認する必要があるが、多くの科学者は、これらのナノ構造が引き起こす可能性のある潜在的な危険を防ぐための対策を講じることを賢明に考えている。しかし、ナノテクノロジーに基づく製品の大部分は、自由に浮遊するナノサイズの物体ではなく、他の材料または成分と一緒に結合されたナノマテリアルを含むため、そのような危険性はありません。

同時に、ナノテクノロジーのブレークスルーには、大気汚染物質の排出量の削減や油流出の浄化など、多くの環境面でのメリットが期待されています。ナノ材料の広い表面積は、それらに様々な化学物質を吸収するための重要な能力を与える。既に米国エネルギー省のワシントン州リッチランドにあるパシフィック・ノースウェスタン国立研究所の研究者たちは、特別に官能化された表面を有する多孔質シリカ・マトリックスを使用して水道から鉛と水銀を除去しています。

最後に、ナノテクノロジーは、軍事力を向上させ、平和と検査契約のより良い監視を可能にする国家安全保障の使用を期待される。例えば、核兵器の拡散を防止したり、生物兵器や化学兵器の存在を検出しようとする努力は、ナノテク装置を用いて改善することができる。

---

## VII ナノテクノロジー研究

ナノサイエンスとナノテクノロジー研究の主要なセンターは、世界中の大学や国立研究所にあります。多くは、この分野の特定の側面に特化しています。ナノエレクトロニクスとフォトニクス(光の特性の研究)の中心は、アルバニー、ニューヨークのアルバニー研究所で見られています。ニューヨークのイサカにあるコーネル大学。カリフォルニア大学ロサンゼルス校(UCLA)。ニューヨーク市のコロンビア大学。さらに、コーネルはナノバイオテクノロジーセンターを主催しています。

ナノパターニングと組立に特化した部門を持つ大学には、イリノイ州エバンストンのノースウェスタン大学とケンブリッジのマサチューセッツ工科大学(MIT)があります。フィラデルフィアのペンシルベニア大学、ヒューストンのライス大学、アナーバーのミシガン大学には、ナノサイエンスに関する生物学および環境ベースの研究が存在する。ナノ材料の研究は、カリフォルニア大学バークレー校とアーバナシャンペーン校のイリノイ大学で行われています。ナノテクノロジー研究に従事する他の大学関連部門には、インディアナ州ウェストラファイエットのパデュー大学のナノテクノロジーセンター、コロンビアのサウスカロライナ大学 NanoCenter; マサチューセッツ州ボストンの Northeastern University の Nanomanufacturing Research Institute、インディアナ州サウスベンドのノートルダム大学でナノ科学技術センターが開かれました。2003年までに、100以上の米国の大学に、ナノテクノロジーに特化した学科や研究所がありました。

アルバカーキのサンディア国立研究所とニューメキシコのロスアラモス国立研究所の統合ナノテクノロジーセンターのような国立研究所では、他の主要な研究努力が行われています。テネシー州オークリッジ国立研究所のナノフェーズ材料科学センター、ニューヨーク州アップトンにある Brookhaven National Laboratory の機能性ナノ材料センター。イリノイ州シカゴ以外のアルゴンヌ国立研究所のナノスケール材料センター、カリフォルニア州バークレーにある Lawrence Berkeley National Laboratory の分子ファウンドリー (Molecular Foundry)

国際的には、ドイツのマックス・プランク研究所、フランスのセンター・デ・ラ・レシエーシュ・サイエンティフィック(CNRS)

産業技術総合研究所はすべてナノテクノロジー研究に従事しています。