

ナノテクが支える未来

● 座談会

ナノテクが社会を変革させる

● ナノの世界を観る・操作する

● 産総研のナノテク

製造・医療・情報・環境・エネルギー



ナノの世界を 観る・操作する

● ナノって何だろっ?

テレビや新聞、雑誌などで「ナノテク」という言葉を見聞きすることが増えてきました。「ナノ」というのは10億分の1を示す言葉で、10億分の1メートルが1ナノメートル。さまざまな物質のサイズを比較した図を見てください。アリのヒトの千分の1の大きさです(ミリメートル)。アリの千分の1がバクテリアのサイズ(マイクロメートル)になります。バクテリアをさらに千分の1にするとカーボンナノチューブなどのサイズ(ナノメートル)に到達します。おおよその比率でいえば、ヒトから見たナノチューブは、人工衛星から見たパチンコ玉に相当します。

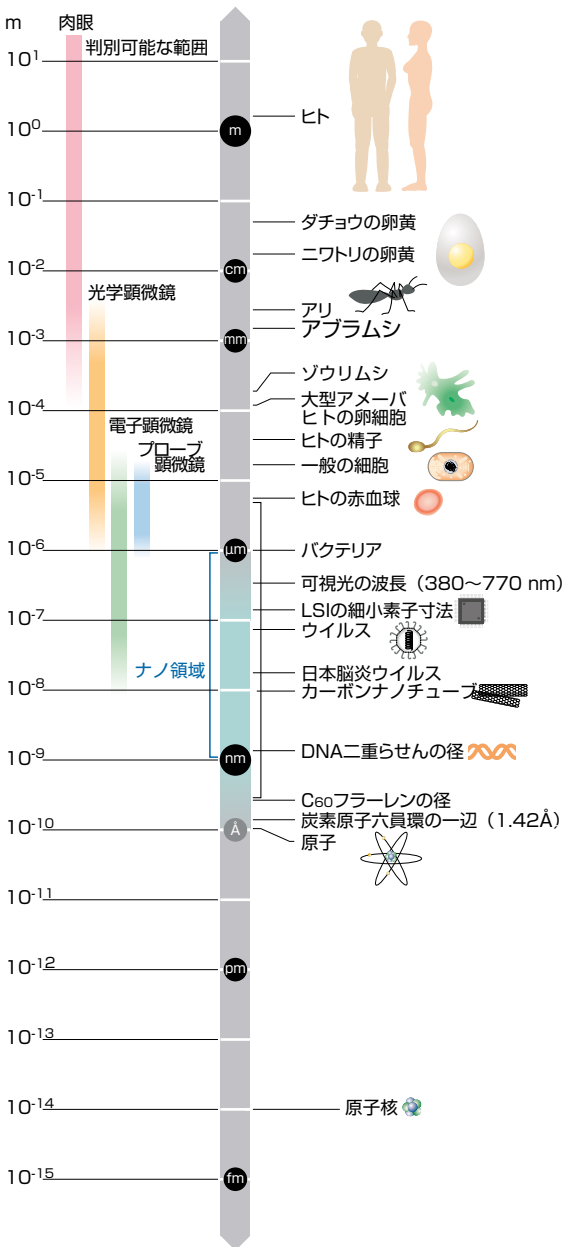
ナノテクノロジー(ナノテク)は、新しい特性や優れた性能を実現するために、直径が1ナノメートル以下の原子や原子が組み合わさってできる分子を操作・制御し、微細構造を評価・作製する技術です。材料の分野でもナノスケールの微粒子を作ったり、材料の内部にある微細な粒塊などを制御することによって優れた性能・機能を出すために、

さまざまな形でナノテクが使われるようになっていきます。

● ナノサイズのサッカーボール発見

1985年、イギリスの科学者らによって新しい炭素材料「フラーレン」が発見されました。これは60個の炭素原子でできたサッカーボールのような構造をもつ分子です。このフラーレンを研究していた飯島澄男博士(現産総研ナノカーボン研究センター長)が

様々な物質のサイズ比較

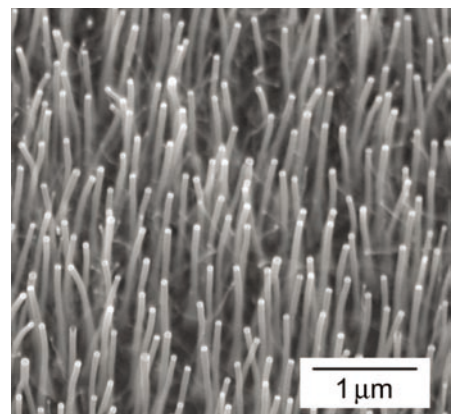


1991年、新しい構造を持つ炭素材料「カーボンナノチューブ」を見つけた。直径0.4〜50ナノメートル、長さが数マイクロメートル以上になるトンネル状の物質で、自然界で最も細いチューブと言えます。

カーボンナノチューブは、同じ重さでは鉄よりも強く、銅よりも電気を伝えやすく、ダイヤモンドよりも熱を伝えやすいなど多くの優れた性質を持ち、無数の応用が考えられる夢の素材です。現在では大量に合成できるようになり、産業に応用するための技術研究が世界中で盛んに行われています。

● 原子を操作する

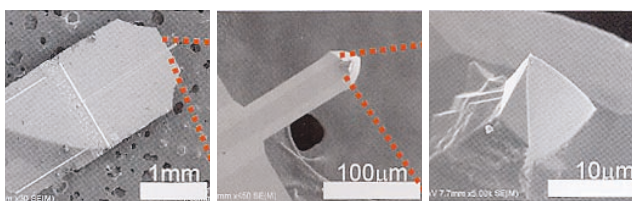
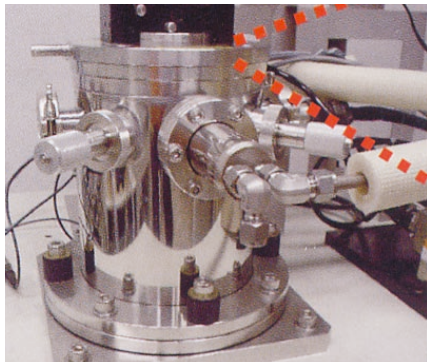
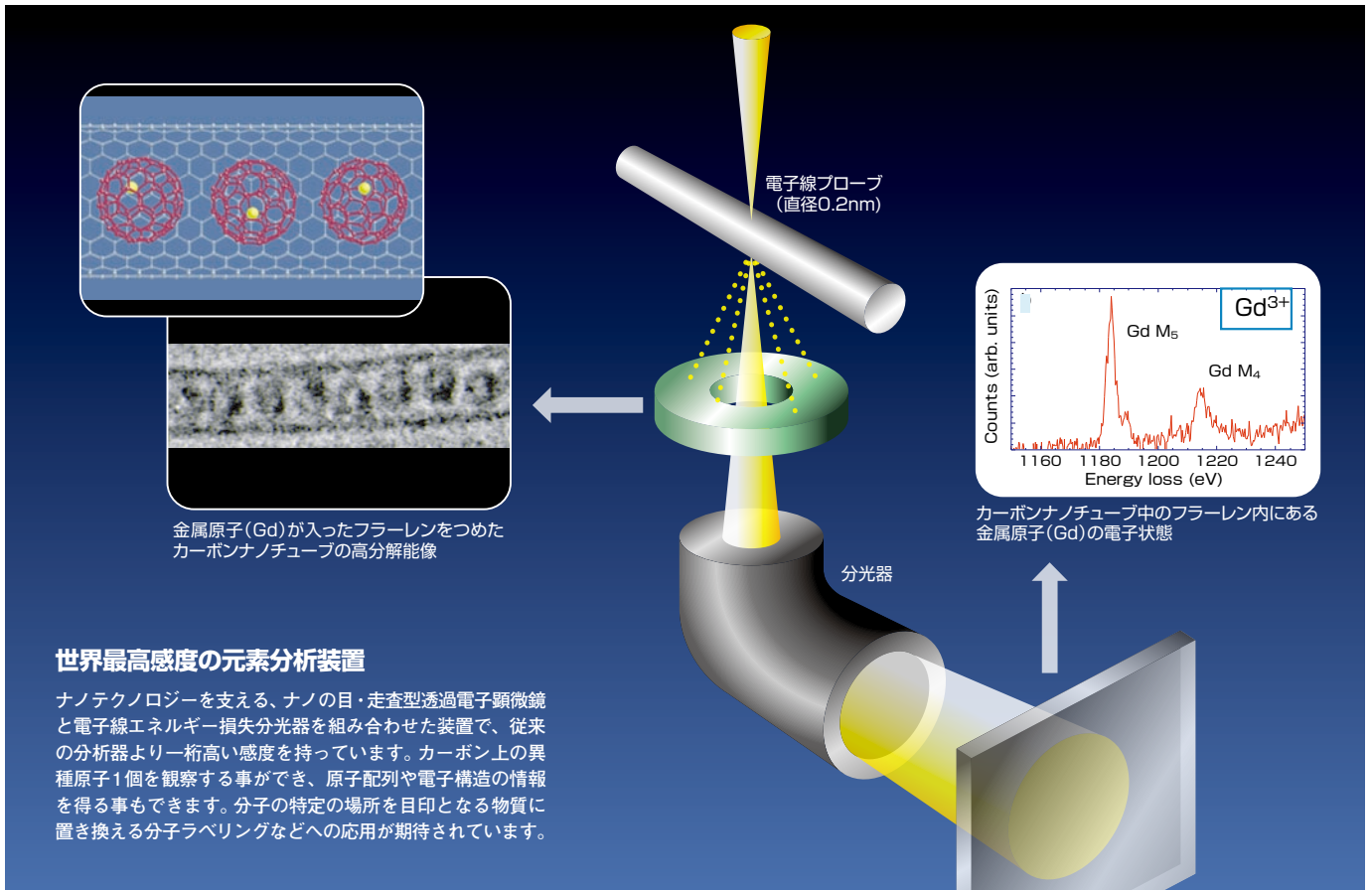
電子顕微鏡は、光ではなく電子を使ってナノスケールの構造を観察する装置です。電子顕微鏡で原子を見るに



基板上に垂直に成長した配向多層ナノチューブ

は、真空中で非常に薄く加工した結晶を用意するなど、特殊なテクニックが必要でした。

走査型プローブ顕微鏡は、針先で試料の表面をなぞるといって新しい原理で表面にある個々の原子や分子まで画像化する高い分解能を実現しました。プローブ法では、表面を傷つけることなく



プローブ先端の構造
とがった先端部分で表面をなぞる

●ミクロの世界が暮らしを変える

2000年1月、当時のクリントン米大統領は、ナノテクを国家戦略として推進していくことを宣言。「国会図書館の全データを、角砂糖の大きさのメモリに収める」という夢を掲げました。もし1つの原子で1ビット記録できる

く観察したり、逆に表面の原子や分子に力を加えて取り去ったり動かししたりすることを可能にし、ナノテクを大きく前進させる原動力となりました。プローブは探針と呼ばれる細い針で、分解能は先端の形状に依存します。分解能を上げるためカーボンナノチューブをつけたプローブも使われています。産総研では、電子顕微鏡を使った世界最高の分解能を誇る「元素分析装置」を開発。原子ひとつひとつの検出に成功しました。今後、強力な研究ツールとして活用されていくことは間違いありません。

ようになれば、この夢のような超高密度メモリも現実のものとなります。

ナノテクによって不可能を可能に、夢を現実にしていけば、私たちの暮らしも大きく変わっていくでしょう。例えば、病気の人の患部にだけ薬を集中させるデリバリー・システム。これは分子の結合力を制御して、薬が不要な部位に悪影響を与える副作用を減らすことで、身体にやさしい医療を実現するものです。また、カーボンナノチューブを使えば、鉄の100倍も強い材料や、それを使った超高層建築が可能になります。

このようにナノテクは、情報、材料、バイオ、環境、エネルギーなどさまざまな分野を発展させる基盤となり、また問題解決のカギを握る技術なのです。



みずたに わたる
水谷 亘
総括企画主幹(司会)

ナノテクが社会を 変革させる

ナノテクノロジーは
10億分の1メートルという
極めて小さい領域を扱う技術です。

夢の新素材を生み
究極の生産技術を実現するものとして
大きな期待が寄せられる一方
実際に私たちの暮らしに
どのように関わってくるのか
ははっきりと見えにくいのも事実です。
そこで産業技術総合研究所の
ナノテク研究者に
ナノテクの今と将来を
分かりやすく語ってもらいました。

ナノテクとは人工衛星からパチンコ玉を
見るようなものだと説明しています

バイオ・情報・材料… 多彩な研究テーマに挑む

水谷 今日はナノテクとは何か、ナノテクで一体何ができるのかについて話し合いたいと思います。最初に、皆さんの研究テーマなどをお聞かせください。

清水 私は、分子が水の中で自発的に集まって有機のナノチューブを作るための、分子の設計について研究をしています。分子の形を変えるだけで集合してくる形が決まり、チューブの穴の大きさもいろいろつくりわけることができます。また、このチューブは水によく溶けますので、水の中で何か役に立つてくれないか検討しています。

秋永 スピンエレクトロニクスという研究分野で、電子がコマのように回ることによって生じる特性を使い、たくさん情報を小さなおとこに保存したり、安全に写し取ったりする技術などを研究しています。また、ナノプロセス施設の運営も担当しており、産学官の研究者に産総研の施設を公開してアイデアを実現するお手伝いをするほか、ナノテク部門の人材育成に力を入れていきます。

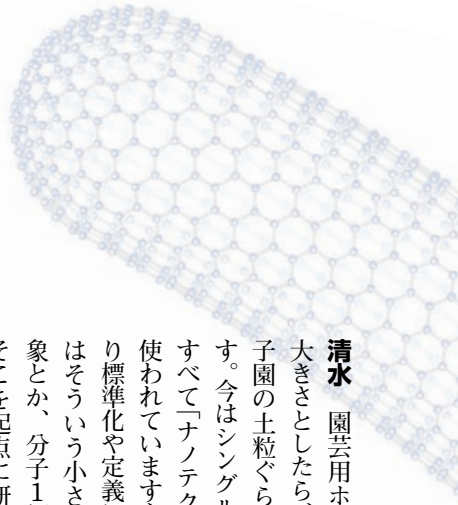
畠 カーボンナノチューブの合成と応用について研究をしています。これは1991年、現在ナノカーボンセンター長を務める飯島澄男博士が発見された物質で、驚くべきさまざまな特性を持ち、ナノテクを支える新しい材料の1つとして世

界中の注目を集めました。その飯島博士の指導のもと、2004年11月にスーパードロースという非常に効率的な合成方法を完成し、カーボンナノチューブの世界を一新するのではないかと期待されています。

根上 私どもは2004年8月から「ナノテクノロジーと社会」という討論会を開催し、ナノテクが社会にどのような影響を与えるのか考えています。ナノテクは情報技術から始まって、エネルギー問題や環境問題の解決、医療技術の革新などさまざまな分野で期待されていますが、一方で健康や安全の問題が持ち上がってきています。これらの情報を共有する場が今までなかったため、情報ネットワークの構築を一番の目的としています。

トップダウンとボトムアップ 極微の世界で何が起る??

水谷 ナノテクは基盤技術の寄せ集めで、どんな技術なのか、どういう場面で使われるのか、説明するのは難しいです。例えば10億分の1メートルというスケールイメージについては、私は人工衛星からパチンコ玉を見るようなものだと説明していますが、皆さんはどのように説明しているのでしょうか。また、ナノテクには「従来技術の延長」と「革新的技術」の2つがあり、それを同時にナノテクと呼んでいるのが混乱のもとだと感じています。どうでしょうか。



清水 園芸用ホースの穴が甲子園球場の大きさとしたら、分子のナノチューブは甲子園の土粒ぐらい小さいと説明しています。今はシングルナノから1ミクロンまですべて「ナノテク」と表現され、非常に広く使われていますよね。でも、研究者はあまり標準化や定義にこだわっていないくて、要はそういう小さい領域で起こっている現象とか、分子1個1個の個性を見つけて、そこを起点に研究を進めていくことが大事です。私たちは「ボトムアップ」と言って、石をつみ上げていくと、使われた石は全部ピラミッドになるというように、小さな単位から大きくしていく研究をしています。原料そのものが全部組み上がっていくわけですから、ほんの少しの無駄も出ません。反対にトップダウンは彫刻のように削っていくので、必ず削り粉、つまり無駄が出てしまいます。

水谷 エネルギーや資源を無駄にしない製造技術というのは、メリットが大きいですね。しかも高機能のものが低コストでできる。そちらの方向に研究を進めていくのが、産総研におけるナノテク分野の戦略にもなっています。

清水 誤解されるといけないのは、ナノテクは小さなものを作ったり、操作したりするだけではないということ。大きなものを作るとき、エネルギーを必要としない技術とか無駄を出さない技術もナノテクなのです。

秋永 ナノプロセッシング施設には、よく中

ナノテクという旗をたてることで 異分野融合が図れるというイメージです

学生・高校生が見学に来ます。彼らに話をするときには、例えばテニスボールを地球だとすると、その上に立つ自分が握っているテニスボール、それが原子の大きさですよと説明します。私が思うにナノテクの定義はなくて、ナノテクという旗を立てることによって異分野の研究者がお互いの研究を見たり、製造現場でナノテクをどう使うか考えたりする。そういう分野融合を図る上で、ナノテクという言葉ができてきたというイメージを持っています。

畠 スケールを小さくすると、ものには新しい機能が備わります。それを発現させて利用しようというのが、私のナノテクの考え方です。1990年代に、ナノスケールのもので作る技術と、それを計測・評価する技術が生まれました。私たちは、90年以前に存在しなかったものは「革新的技術」、90年以前にあったもののサイズを小さくするのは「従来技術の延長」と定義しています。ナノテクは、物理、化学、電気といういろいろな知識が必要とされる融合的な学問ですから、それらを広く学んでナノテクの達人を育てるような「ナノテク学部」ができるのではないかと考えています。

根上 日本では、ナノテクに対する関心と期待が高いのと同時に、不安も高いと言えます。ナノテクの社会的影響を考えている人たちは今、標準化について議論しています。例えば、ナノ粒子の定義がない状態では、仮にどこかでナノ粒子が問題だという話が出て、「このナノ粒子は違います」

とうまく説明できません。また、いろいろな分野の方がナノテクに関わっていますので、用語をある程度統一することも非常に重要です。

サイエンスの時代から テクノロジーの時代へ

水谷 以前はナノテクとナノサイエンスは一体だと言われていましたが、最近はかなり違った捉え方をされています。両者の境界について、どのように考えていますか？



あきなが ひろゆき
秋永 広幸

ナノテクノロジー研究部門
先進ナノ構造グループ長



しみず とし み 清水 敏美

界面ナノアーキテクトニクス
研究センター センター長

異分野に挑戦すると何か新しく生まれる この雰囲気は活性化に役立つています

畠 ナノテクであつてナノサイエンスではないというのは、すごく大事なことだと思ひます。20世紀はサイエンスの時代で、自然をありのままの姿で調べてきました。21世紀はテクノロジの時代で、自分たちで物を作つてその性質を調べていきます。これは大きなパラダイムシフトだと個人的には思つています。

秋永 ナノテクで小さいものを見ることによつて初めて新しい現象が出てきたのなら、そこに新しいサイエンスが発生することもあり得ますよね。ナノテクと盛んに言われているのは、テクノロジの方が一般の人には近づきやすいからではないでしょうか。

根上 私は、ナノサイエンスは真理の追究で、ナノテクノロジは社会に應用されるものとイメージしています。かつて遺伝子組み換え作物は、リスクが顕在化しないうちから何か分からないことが起こり得るのではという不安感が広がっていました。その例がナノテクに大きく影響していて、サイエンスではなくテクノロジだから世の中に関係してくるといふことで、危惧も生まれています。

ナノテクを使って ビジネスが花開く条件は？

水谷 経済産業省にはナノテクの産業化を目指す部署があり、ナノテクノロジ政策研究会では改善・代替・應用・創造の4

つに分類しています。ビジネス化に関して皆さんのご意見は？

清水 私の個人的な意見としては、もうナノテクはビジネスにとつぷり漬かつています。けれども中小企業やベンチャーの方々は、自分たちの抱えている課題にナノテクをどう適用するのか分かつていない。ですからナノテクがより広く使われるためには、「こういう技術を適用すれば必ず新しいビジネス展開ができますよ」と橋渡しする人材が必要です。

水谷 確かに周辺技術が非常にたくさんあつて、少しだけナノテクが入つていゝものはかなり出ていますね。ただ本当に新しい市場ができていくかという点、疑問があります。ナノテク化粧品とか、ナノテク繊維とかは、改善であつて創造ではありませんから。

秋永 ・ロードマップを一生懸命作つても、その意味が全然無くなつてしまうようなものがナノテクの本当の面白さですね。ロードマップで10年後ぐらいに設定していたものが、ナノテクのおかげで3年になつたというような例はたくさんあります。それはある意味、ロードマップをブレイクしたことになると思ひますね。

水谷 カーボンナノチューブは、一番ビジネス化が進んでいゝような気がしますが。

畠 私自身の率直な感想としては、まだビジネスとしては成立していません。実はリチウムイオン電池、ゴルフヘッド、消防服や子供服など、カーボンナノチューブ入り

の商品は結構出ています。しかし、どこにでもカーボンナノチューブがあるという状況になつて、私たちの生活を目に見える形で変えないと、本当にビジネスとして一本立ちしたとは言えないと思ひています。例えばカーボンナノチューブを鉄に埋め込んで鉄の強度を2倍に上げることができれば、極端なことを言うと自動車の重さは半分に、燃費は倍になります。そういう夢のような時代が来るとは思つていますが、まだ何十年もかかるでしょう。

清水 私はビジネスチャンスが必ずあると思つています。とくに私たちがテーマとしている分子のナノチューブは、世界でもほとんど研究されていません。10ナノメートルという大きさは水が凍らないぎりぎりのところで、そのサイズにぴったりなのがタンパク質やDNAなんです。そこでバイオ分野の人と一緒に、さまざまな試みをしているところです。カギは、異分野の人との融合。今までの専門とは関係なしに、素人として異分野に挑戦すると何か新しいものが生まれる。この雰囲気は、国全体の研究開発や産業の活性化に役立つているのは間違いありません。

大きな期待が寄せられる ナノテクの将来

水谷 ナノテクは「無限の可能性を秘めている」という言い方をされ、過大な期待がかかっています。ある種、錬金術的なところをえ方をされているのが心配でもあります。

畠 最終的に何が出てくるかは、誰にも分からないと思うんです。分からないものが出て初めて大きなインパクトと、大きな

*ロードマップ：技術開発の目標と道すじを明確にするため、将来どの時点で何ができるようになるかを予測した図



はた けんじ 富 賢治

ナノカーボン研究センター
ナノカーボンチーム長

情報を発信し、何を期待されてるかも聞きつつ 社会と対話していくことが重要です

驚きと、大きな生活改善があるのではないのでしょうか。

根上 今はまだナノテクの黎明期ですから、社会にどんな情報を発信し、社会がナノテクに何を期待しているのかも聞きつつ、社会と対話することが重要だと考えています。急に何か出てきたと驚くのではなく、そこへ至る道のお互いに納得している状況をつくる。漠然とした不安を、少しでも解消できるような体制を整える必要があります。

水谷 簡単な原理を使って科学の面白さを授業してくれる人がよくテレビに出ています。そんな感じで新しい技術についても一種おもちゃ的な扱いで、みんなに驚いてもらう。そういうサイエンスコミュニケーションが必要だと思います。

秋永 私たちナノテクの分野の研究者が夢を語らなければ、社会の人たちはついてきてくれません。量子効果を使った情報通信が本当にできるんだとか、完全セキユリティとか。医療の分野でも、病院を移ったときに検査を受け直さなくてすむというように、そういうことがナノテクの将来としてあり得るのだと言えます。

世界をリードする技術を 社会に浸透させるために

水谷 最後に、皆さんの今後の目標を聞かせてください。

清水 分子のナノチューブをたくさん作って、皆さんに使っていただけようようにすることです。それと併行して、分子のナノチューブがタンパク質やDNAをきちんと分離できるような研究を進めます。私たちのナノチューブは勝手に分子が水路を組み上げてくれますから、さらに小さいサイズにしようとしています。まだナノテクではボトムアップで華やかな成果が出ていないので、「これこそボトムアップ」と言われる技術を作りたいですね。

秋永 私たちのスピントロニクスの研究成果によって、2015年から2020年頃には、簡単にいえば温かくならないパソコンが作れると考えています。それから人材育成に関しては、ナノプロセッシング施設を一つの交差点として、産総研に来て、産学官のお見合いが上手にできて、1+1=3になるような場を生み出していければと思っています。

富 私の目標は2つあります。1つはカーボンナノチューブ研究の主導権をアメリカ

私たちが開発したCNT入りの製品を 私の母に持ってもらうことが夢です



ねがみ ゆみ 根上 友美

技術情報部門

カから日本に取り返し、私たちが開発したスーパーグロースナノチューブを世界のダイファクトスタンダードにすること。もう1つは私の母に、私の作ったカーボンナノチューブ入りの製品を持つてもらおうことです。母が製品を持つ頃には、一般に普及しているでしょうね。

根上 私たちはナノテクが社会に受け入れてもらえるよう、ビジネスにつながるようなルールづくりを考えて、研究開発が広がっていくお手伝いをしていきたいと考えています。

水谷 皆さん、今日はどうもありがとうございます。

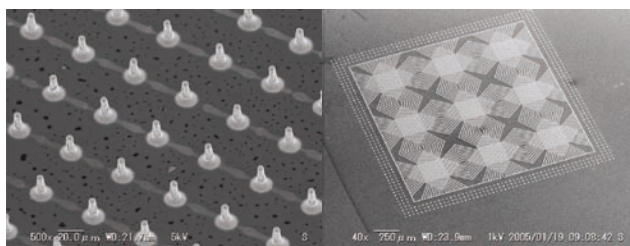
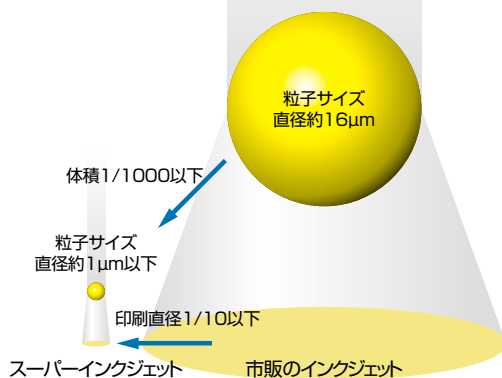
製造

スーパーインクジェット

家庭用プリンタでお馴染みのインクジェットが 微細加工技術に革命を起こす

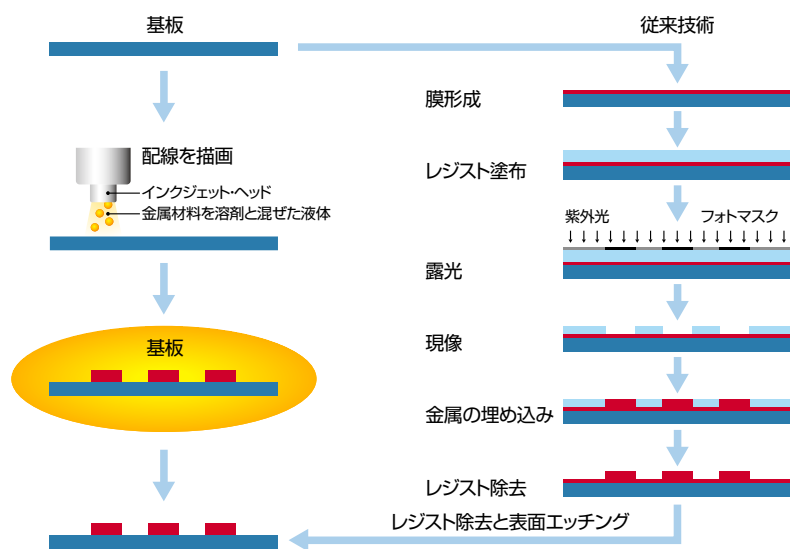
家庭用のインクジェットプリンタは、ここ数年で性能が飛躍的にアップし、年賀状や写真がより鮮明に、より早く印刷できるようになりました。インクジェットとは、インクを微小ノズルから吹き出し、写真や文字などをプリントする方式です。産総研では、家庭用プリンタの4分の1以下という小さな液滴を吹き出して正確に配列する「超微細インクジェット技術」を開発。不可能とされてきた直径1マイクロメートル以下のドットが印刷できるようになりました。これは「必要な部分にだけ必要な資源を配置する」省資源・省エネルギーの技術で、バイオ、光、超微細加工などさまざまな分野への応用が期待されています。

パソコンや携帯電話などの電子回路は、これまで写真の現像法を応用したフォトリソグラフィ法が用いられてきました。しかしスーパーインクジェットなら高価な設備は不要で、しかも工程が簡単のため回路設計から試作までの時間を大幅に短縮することができます。この技術を使えば、机の上で書類を印刷するように、自分だけの電子回路をプリントアウトできる日が来るかもしれません。



スーパーインクジェットで金属ナノ粒子ペーストでシリコン基板上に直接形成したバンプ構造(左)と、直接描画した微細配線(右)

インクジェット技術と従来技術の配線基板製造のちがい



従来のフォトリソグラフィと呼ばれる技術では、図のような工程を何度も繰り返して複雑なものをつくります。一方、インクジェット方式では、異種材料を用いる場合でも、マルチノズルの役割を変えることで、並列化が可能で、原理的には図のようなわずかな工程で済んでしまいます。

ユビキタスネットワーク社会の鍵となる セラミックスを使った新しい基盤技術

* モバイル型パソコンや携帯電話にはGPSや無線LANなどさまざまな機能が搭載され、機器の内部を見てみると基板表面には実にたくさんの部品が並んでいます。高機能でありながら回路基板を大きくしないためには、コンデンサなどの電子部品を小さくまとめることが必要です。今後は小さくて軽い、多機能で早い、しかも安い携帯端末が一層求められるようになりますが、容量密度の高いセラミックコンデンサを基板に組み込めば、それも可能となります。

一般に普及しているプリント基板はエポキシ系の樹脂材料で作られ、耐熱温度は300℃ほどしかありません。一方で、高性能コンデンサの構成要素であるセラミックスを焼き固めるには、1000℃以上の高温が必要なので、従来はプリント基板とは別に作製し、部品として基板表面に取り付ける必要がありました。

産総研ではセラミックス粉末が衝突するだけで常温で固まる現象を発見し、これをエアロゾルデポジション法と呼ばれるコーティング手法として応用しました。この手法を用いてセラミックコンデンサをプラスチック基板に直接コーティングにより形成、内蔵させ、電子回路の大幅な集積化を実現する技術を開発しています。

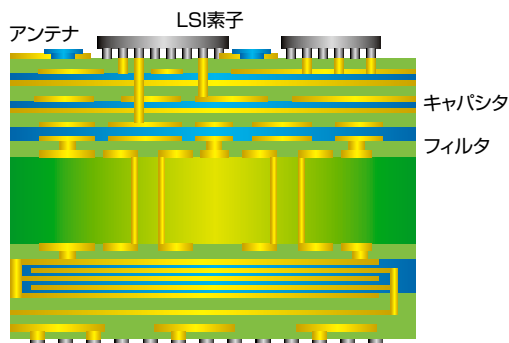
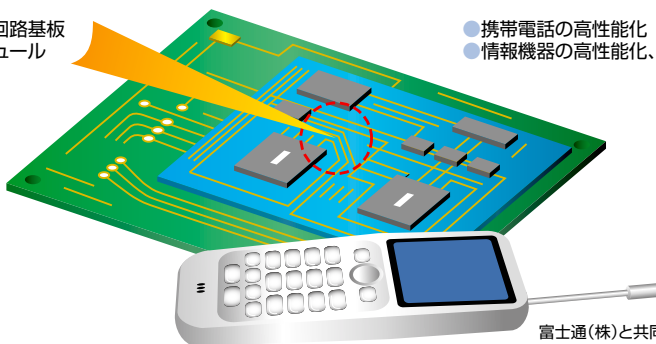
*GPS: Global Positioning System 位置測定システム

高周波集積化モジュールと基板内蔵コンデンサの製作例

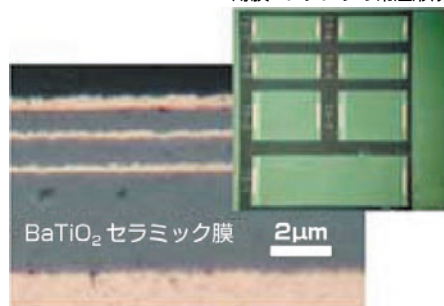
(プラスチック材料+誘電体セラミックス材料+金属材料の積層一体化)

GHz帯回路基板
RFモジュール

- 携帯電話の高性能化
- 情報機器の高性能化、小型化



薄膜コンデンサの常温形成



ガラス・エポキシ樹脂(FR4)基板上にAD法で
常温積層形成したコンデンサ
比誘電率:400(Max)、容量密度:300nF/cm²

製造

エアロゾルデポジション

医療

ドラッグ・デリバリー・システム

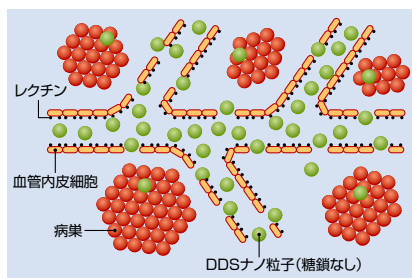
必要な場所に必要な量だけの薬 ガン細胞だけを狙い撃ちするミサイルドラッグ

病気のとき頼りになるのは薬です。体内に薬が入ると、患部以外の健康な部分へも広がるため、薬の濃度を保つために投薬量は多く、副作用の原因となります。もし患部に狙いを定めて薬を届けることができれば、副作用の心配も少なくなり、効率的な投薬が実現します。

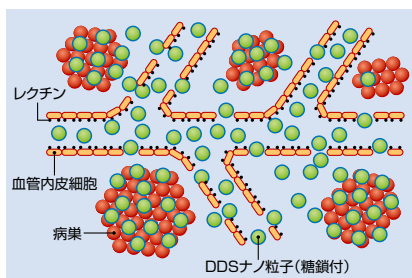
薬を運ぶナノレベルの乗り物を作り、患部の細胞に届けるのが「ドラッグ・デリバリー・システム（DDS）」。

まるで、医療チームをマイクロ化して患者の体内に送り込むSF映画『ミクロの決死圏』の世界です。

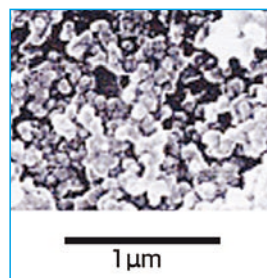
DDSは2種類あり、すでに実用化されているパッシブ・ターゲティングDDSは患部の認識作用をほとんど持たない受動的なものでした。それに比べ産総研で開発した「アクティブ・ターゲティングDDS」は、患部の細胞を認識して自らそこへ向かいます。これは糖鎖の持つ細胞認識機能を利用したもので、薬の量が格段に少なくて済み、しかも短時間で到達できます。アクティブ・ターゲティングDDSはさまざまな炎症性疾患が標的ですが、今後はガン克服の切り札となる可能性もあることから、開発に力を注いでいます。



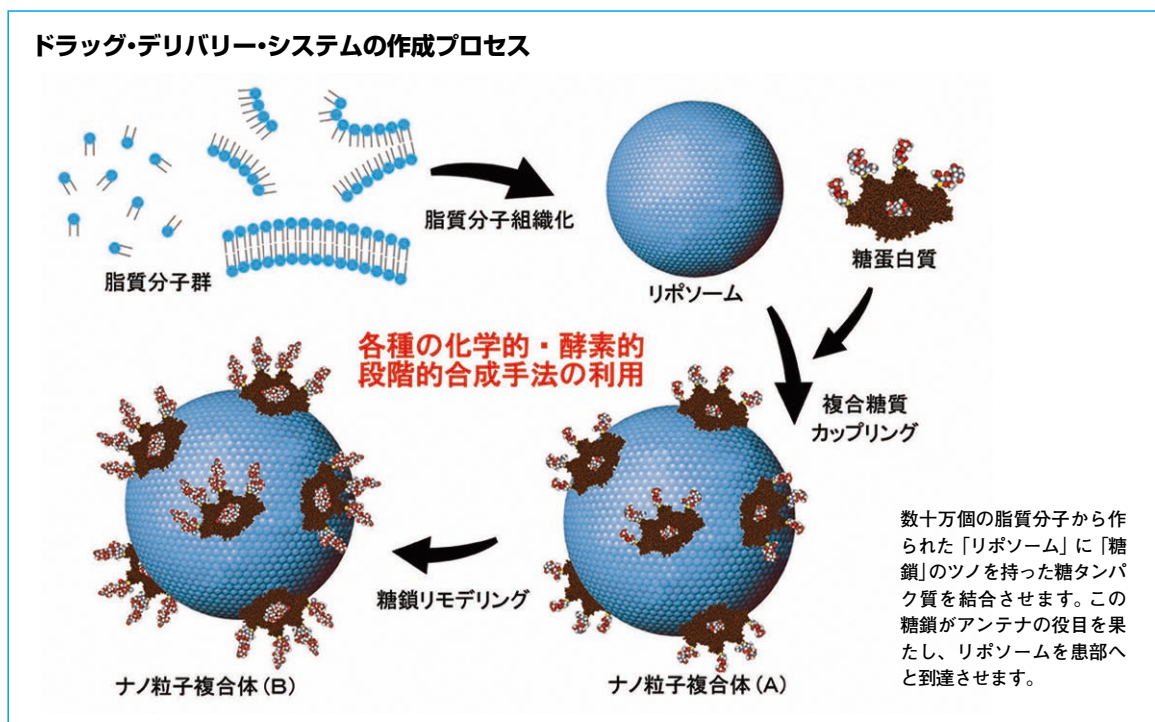
パッシブ・ターゲティングDDS

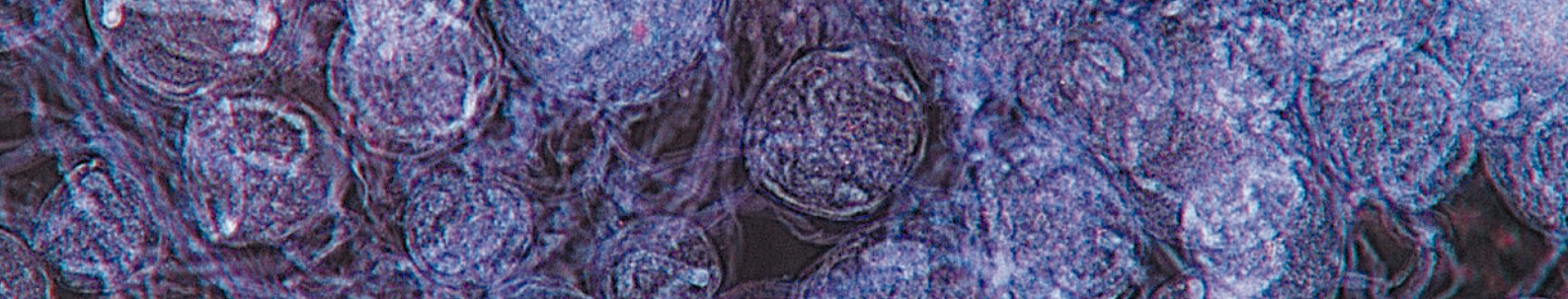


アクティブ・ターゲティングDDS



リポソーム群





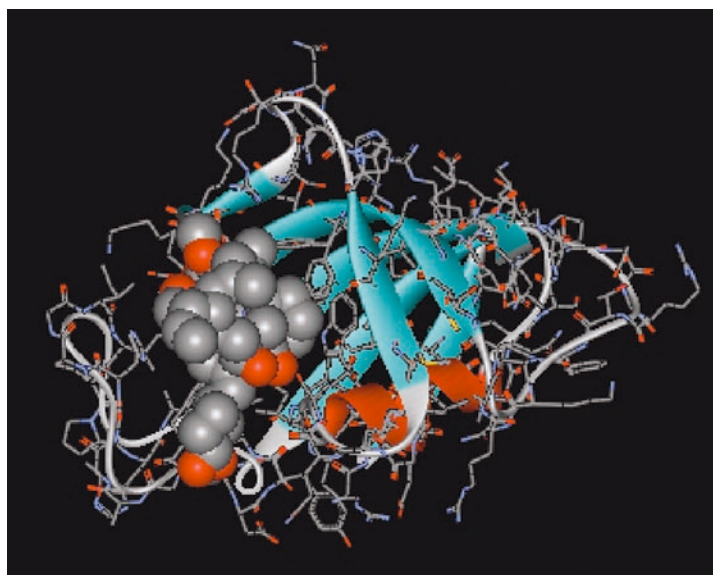
さまざまな可能性を探って新薬を創出 目に見えない世界をコンピュータ内で操る

ナノテク分野の研究開発は日進月歩ですが、新しい物質を自由自在に作り出すのはまだまだ先の話です。ナノレベルのものを操作するのは、人工衛星からパチンコ玉を触るようなもので、非常に難しく手間もかかるからです。そこで産総研では、実際に原子や分子を操作して試すのではなく、コンピュータに情報を入れて環境をさまざまに変化させ、どのような物質ができるかをシミュレーションしています。

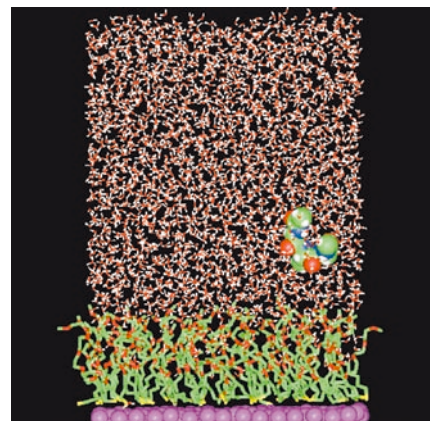
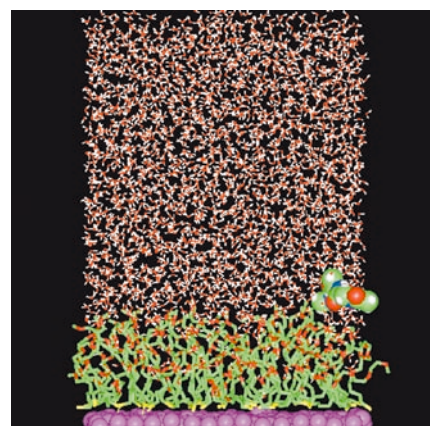
分子の世界では、自然に集まってある構造を作り出す「自己集合化」という現象が見られます。つまり分子の中には初めから設計図があるわけで、ナノシミュレーションによりその設計図を把握することから始まります。仮に同じ機能を持つ物質を作るとしても、その組み合わせ方や合成方法は何千通りもあるため、コンピュータによるシミュレーション技術はナノテクの発展に欠かせません。産総研では蛋白質と医薬品の分子認識機構の精密解析や自己集合化膜によるペプチド分子の吸着エネルギーの計算などのシミュレーションにも取り組んでいます。これらのシミュレーション技術を発展させることで、医療分野への応用の道が開かれます。

医療

コンピュータで見る分子の構造と運動



フラグメント分子軌道法による免疫抑制剤とその結合蛋白質の複合体の構造の計算。スタック表示は蛋白質分子、球表示は免疫抑制剤です。この成果は創薬に活かされます。



分子動力学法による自己集合化膜によるペプチド分子の吸着シミュレーション。上図は疎水性ペプチド分子の結果で分子膜表面に吸着し、下図は親水性ペプチド分子の結果で、分子膜には吸着しません。この成果はドラッグデリバリーシステム設計などに活かされます。

ナノシミュレーション

情報

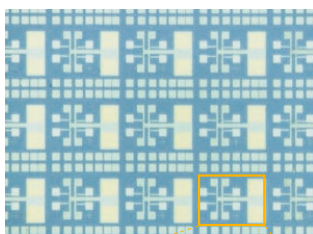
単一電子トランジスタ

超高密度メモリへの道を拓く カーボンナノチューブを使ったトランジスタ

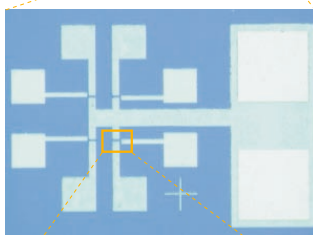
ものの大きさをナノメートルまで小さくすると、新しい特性が現れます。デバイスもナノメートル領域に入ると電子の波としての性質が現れますが、非常に高度なナノ加工技術が要求されるため、量子効果を利用したナノデバイスの大量生産は不可能でした。

産総研ではカーボンナノチューブを使い、従来の集積回路技術だけで単一電子トランジスタを量産できる技術を開発。単一電子トランジスタは、電子を1つずつ移動させる究極のデバイスです。今までは電流がわずかすぎて検出しにくいのが難点だったため、電流密度を従来比1000倍に向上させています。また、電子の通り道であるカーボンナノチューブの直径を1〜2ナノメートルと極めて細くしたため、室温でも大気中や溶液中から単一の電荷を検出できるようになりました。室温で動くということは、実社会における単一電子トランジスタの利用が、一気に加速するということです。

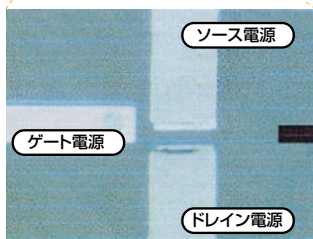
この単一電子トランジスタは、超高密度メモリへの応用や、DNAや蛋白質などを高感度検知するバイオ分野への応用など、将来に向けて大きな貢献が期待されています。



全体の顕微鏡写真



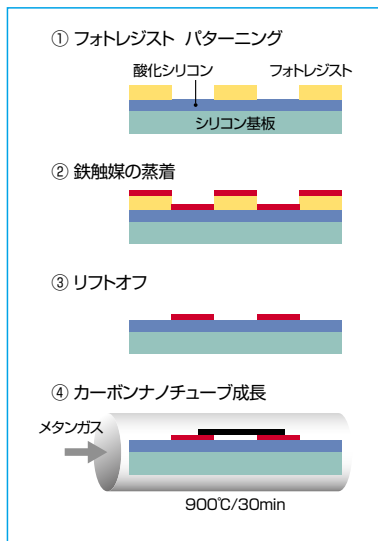
1ユニットの拡大



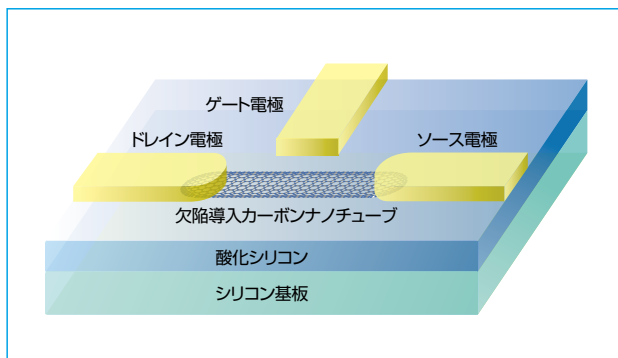
電極部分の拡大



単一電子トランジスタ計測装置



カーボンナノチューブの位置制御成長法



単一電子トランジスタの構造

明日のモバイル／ブロードバンド時代を支える産総研の新技术

情報

光スイッチ／メモリー液晶

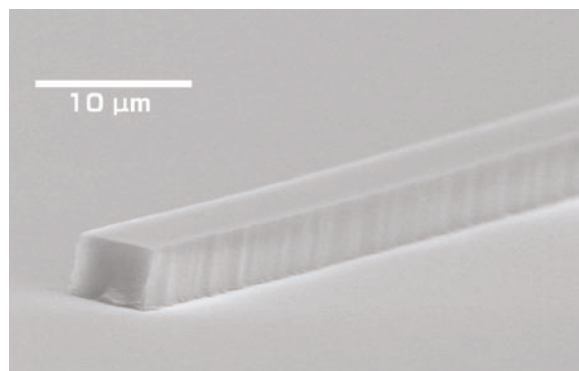
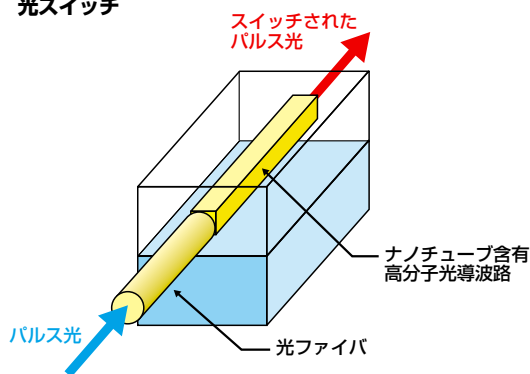
●光スイッチ

ブロードバンドネットワークでは、超大量の光通信が主流となります。そこで強く求められているのが、光信号を電気信号に変換せずそのまま処理できる光スイッチ。コンパクトなうえ、データ伝送速度や伝送フォーマットを選ばないというメリットもあります。産総研では、カーボンナノチューブが光スイッチの材料として有望であることを発見。光通信で利用される波長付近で、カーボンナノチューブに強い光を当てた瞬間だけ物質が透明になる現象を利用し、光スイッチの開発を進めています。

●メモリー液晶

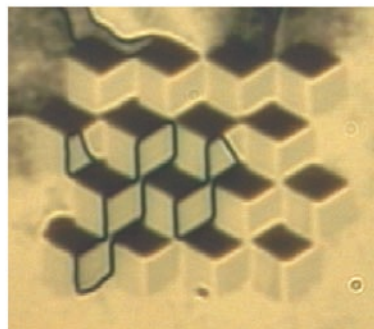
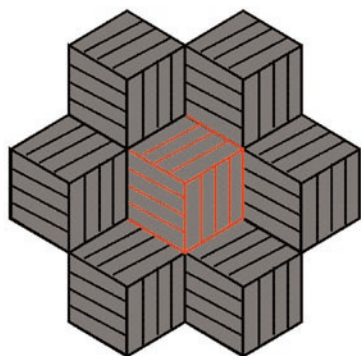
消費電力の少ないディスプレイとして液晶が広く使われていますが、電気がなくなれば表示は消えてしまいます。従来は100万個の薄膜トランジスタを基板に集積化して、液晶を駆動し続けなければなりません。しかし、特定のミクロな構造を基板表面に与えて液晶自体にメモリー性能を持たせると、電池がなくなっても表示が消えません。携帯電話や電子ブックなどに応用することで、モバイル時代の目玉となることが期待されます。

光スイッチ



ナノチューブを均一に分散した高分子を微細加工して光導波路を形成し、その中に光を閉じ込め伝搬させて光スイッチします。
右：反応性イオンエッチングプロセスにより形成した光導波路コア構造の電子顕微鏡写真。

メモリー液晶



左：メモリー性を液晶に持たせるミクロな基板表面の配向パターン
右：原子間力顕微鏡で実際に作製した配列パターンによって配向した液晶の顕微鏡写真。パターンの対称性から、この場合には3つの異なる配向状態が安定化されます。

環境

光触媒

「光」のエネルギーで環境を浄化 私たちの生活を守る暮らしの見張り役

建材や家具から有害な化学物質が発生し、体調を崩してしまうシックハウス症候群。一歩外へ出れば、車の排気ガスによる大気汚染。文明の発達をもたらした負の遺産の中でも、これら、環境汚染は健康や命にかかわる切迫した問題です。そんな中、環境浄化の有力な技術として注目されているのが光触媒。産総研では、酸化チタンを触媒として光エネルギーで環境を浄化する方法を開発しました。

酸化チタンに光を当てると、窒素酸化物を大気から取り除き、猛毒のダイオキシンを含め、ほぼすべての有機化合物を水や二酸化炭素に分解します。この光触媒作用を利用すれば、防臭、抗菌、防かび、排ガスの浄化、防汚、セルフクリーニング、水処理など幅広い分野に役立てることができます。

従来の酸化チタンは紫外線でのしか機能しませんが、室内光でも働く光触媒を開発。また、骨や歯の成分として知られるアパタイトを被せた結果、環境を浄化する機能が飛躍的に向上しました。今後は屋内、外壁、道路、医療、電子部品など、光触媒の応用範囲はますます広がっていくでしょう。



アパタイト被覆光触媒による殺菌・環境浄化



酸化チタンをコーティングした多機能複合材料

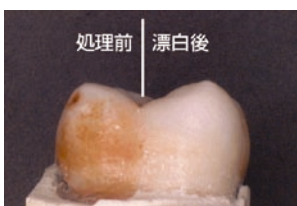


歩道に敷かれた光触媒材料とアパタイト被覆酸化チタンをコーティングした透水性ブロック(右)



真っ白な歯が蘇る

可視光線に反応する酸化チタンと低濃度過酸化水素水からなる全く新しい漂白剤が開発されました。これを歯に塗り、可視光線を照射すると、短時間でしかも安全に歯を漂白することができます。また、アパタイトを被覆した酸化チタン粉末を添加した入れ歯洗浄剤は、メチレンブルーの脱色テストで、数分でほとんど脱色しました。これを使うとヤニや歯石、臭いのついた入れ歯を6時間で完全にきれいにすることができます。



ハイブリッド自動車の電源に使われる リチウム2次電池を大幅にパワーアップ

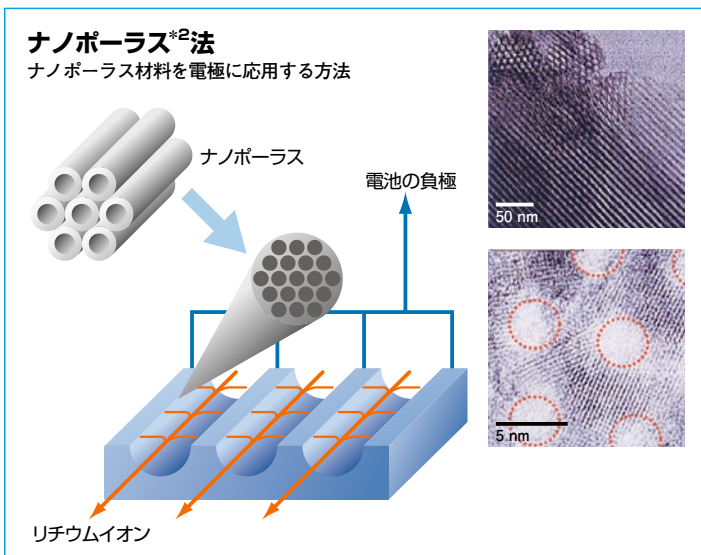
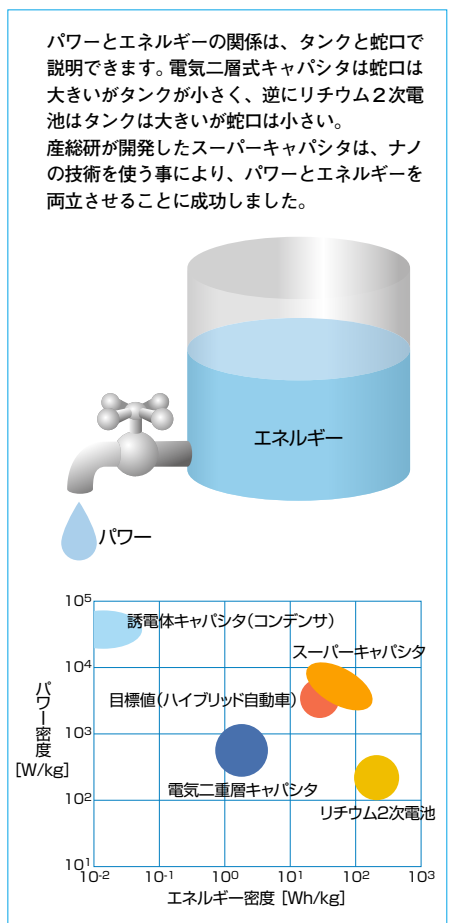
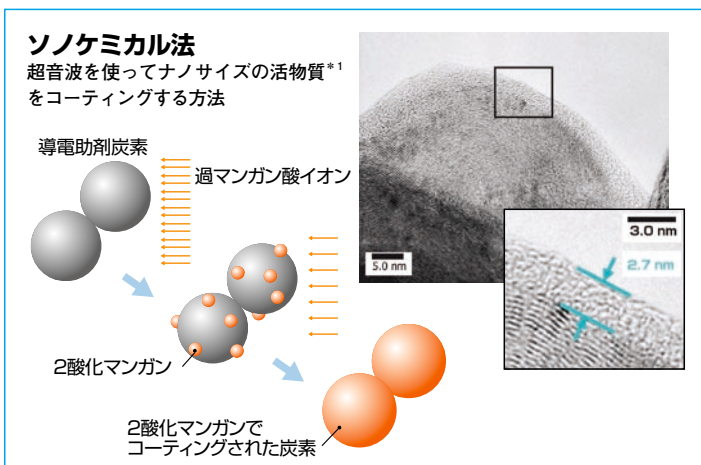
地球温暖化を考えたとき、二酸化炭素の排出量を低減する必要があるが、そこで注目されているのがハイブリッド型自動車。産総研では高出力型の電源技術を開発し、ナノ技術を温暖化対策に役立てることを目指しています。

従来のリチウム電池は容量は大きいが瞬発力は小さく、一方、電気二重層キャパシタは瞬発力は大きいですが容量は小さい電池で、容量とパワー（瞬発力に対応）の両方を兼ね備えた電源が求められていました。産総研ではナノ材料を使い、約30秒間で充電できる、すなわち従来より100倍程度速く充電できる電池（スーパーキャパシタ）を開発しました。炭素表面にナノサイズの活物質をコーティングする方法、ナノポーラスを電極に応用する方法の、2通りのアプローチで研究を進めています。

この技術により、例えばハイブリッド車は減速時や停車時にエネルギーを充電し、発進時に効率よく使えるようになります。また、分散型エネルギーシステムについても、電力負荷を均一にならすのに役立ちます。さらに、ロボットやITなど、あらゆる産業に貢献できる技術として期待されています。

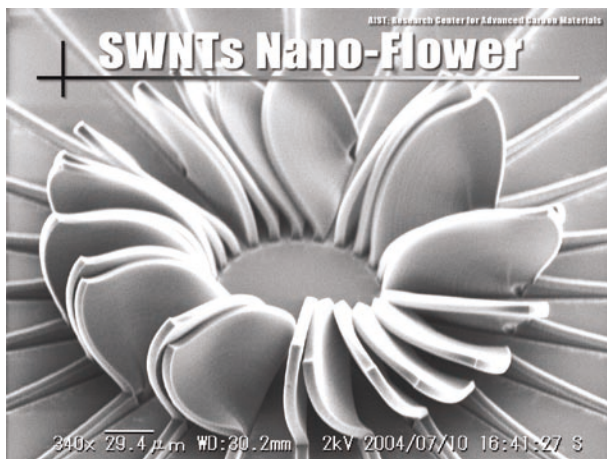
エネルギー

スーパーキャパシタ



^{*1}活物質：電解質との化学反応によって、電子を放出したり取り込んだりする物質。

^{*2}ナノポーラス：規則正しく配列したナノサイズの微細管構造。



ナノカーボンチューブ で咲かせた ちい～っちゃん花？！

スーパーグロース CVD を用いて合成した
カーボンナノチューブの配向構造体の“花”です。

産総研で 2004 年度に開発されたスーパーグロース技術は、カーボンナノチューブの世界最高の合成技術です。不純物、配向性、量産性といった従来のカーボンナノチューブが抱えていた複数の技術課題を同時に解決することができました。

スーパーグロース技術の特徴は、超高効率（従来の 3000 倍）、超活性（従来の数十倍）というものです。この技術を使って成長させた垂直配向単層ナノチューブ構造体は、非常に高い純度（99.98%、従来の 2000 倍）、超配向性、超長尺（従来の 500 倍）、超高密度、といった数々の優れた特徴を持っています。また容易に複雑な構造体をパターンニング成長させることができます。

スーパーグロースカーボンナノチューブの量産技術を確立されれば、その優れた特性を活かした、電子デバイス、エネルギー貯蔵材料、電池、超強度ファイバー、MEMS などの応用商品が開発され、全く新たなカーボンナノチューブ産業の創造が期待されます。



独立行政法人 **産業技術総合研究所**

広報部 出版室 〒305-8568 つくば市梅園 1-1-1 中央第2
Tel : 029-862-6217 Fax : 029-862-6212 E-mail : prpub@m.aist.go.jp