

小さな機械が創る大きな機会

京都大学が東京・品川の「京大東京オフィス」で開く連続講座「東京で学ぶ京大の知」(朝日新聞社後援)のシリーズ9「身近なナノテクノロジーの世界」。2012年12月20日に第4回の講演があり、工学研究科の田畑修教授が「小さな機械が創る大きな機会」と題して、「極小の機械」が切り開く未来について語った。

●坂を上る水のナゾ



田畑修教授。身近な実例から説き起こして「極小の機械」の未来を語り、わかりやすかった

「斜めに立てかけたシリコンの板の上に、ぽたぽたと水滴を垂らすと、どうなると思いますか？」

田畑教授のこんな問いかけとともに、実験映像が映し出された。

水は粒のまま、するすると数センチの板を上がっていった。

仕掛けは、水が伝うシリコンの板にある。水をはじきやすい疎水性の強い素材と、水にぬれやすい親水性の強い素材が、水滴より

小さなパターンで互い違いに配置されている。

疎水性の強い素材には、水滴を親水性の強い素材の方に押し出す力がある。この板では、下方に疎水性の強い素材が多く配置されているので、水滴は、重力に逆らうように上方に進むというわけだ。

田畑教授はこの原理を応用して、次のような問題を出す。

「同じ仕掛けを施した板を『C』の形に作れば、『C』の内側に垂らした水滴は、坂を上って『C』の先端で下に落ちて、また『C』の坂を上る、というように永久に回り続けることができると思いますか？ もしできるなら、ここに発電装置の付いた水車を取り付ければ、無限のエネルギーを生み出す夢の装置になります」

答えは否。水滴は上まで進んでいくが、板に張り付いて下には落ちてこない。後から上がってきた水滴とくっついて大きな粒になり、重力に逆らえず下に落ちる。ところが大きくなった水滴は重力に引っ張られ、もう上がれない――。

しかし、無限のエネルギーは無理でも、こうした特性をうまく制御すれば、液体を上手に操作できるという。田畑教授は「このように、小さな物体に顕著に働く力をうまく使えば、いろんな面白いことが可能になるのです」と話した。

●ミサイル搭載の「極小の機械」がスマホに

講演のテーマ「小さな機械が創る大きな機会」は、田畑教授の研究室のスローガンだ。

「小さな機械」とは、メートルの100万分の1のマイクロメートルサイズや、さらにその1千分の1のナノメートルサイズの「極小の機械」を指す。前者はマイクロマシン、後者はナノマシンと呼ばれる。

マイクロマシンは、パソコンはもちろん、炊飯器やテレビゲームのコントローラー、乗用車、空港の爆発物検査装置、環境計測器などありとあらゆるものに採り入れられている。

例えばスマートフォンの基板には「かつては飛行機やミサイルくらいにしか搭載されていなかった装置が入っている」という。

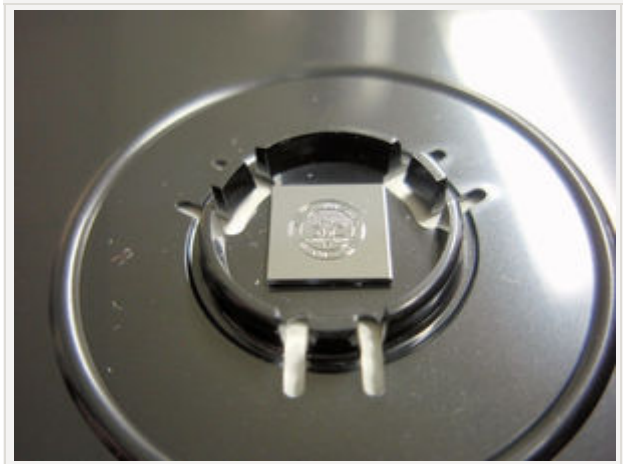
回転スピードを測るジャイロという装置で、スマホの動きを感知し、画面表示の切り替えやナビゲーションなどに使われている。

こうした仕組みはマイクロメートルやナノメートルの微細な構造を加工する技術によって、数ミリ角のシリコンチップに収められている。田畑教授は「世界的な市場規模は3年後には現在の1.5倍になると言われています」と強調した。

●1台60億円の衝撃

田畑教授は次に、最先端の微細加工技術を駆使している例として、コンピュータの頭脳に当たるCPU(中央演算処理装置)に組み込まれているLSI(大規模集積回路)を挙げた。

LSIなどの半導体素子は、チップの中にいかに細い線を引けるかで複雑な回路を作れるかどうかが決まる。1995年には、線と線の間隔は350ナノメートルだったが、エックス線に近い紫外線を照射する最新の装置を使えば、この間隔は13・5ナノメートルにまで狭まる。



京大に導入された最新機械を使って、京大のエンブレムが彫られた7ミリ角のチップ。参加者にお土産として配られた

装置は1台60億円もするというが、「これからのLSIはこうした装置を駆使しないと加工できません」と田畑教授は言った。京大も2011年、約70種類の最先端の微細加工装置を備えた研究拠点「ナノテクノロジーハブ」をオープンさせた。

●医療分野での応用に期待

応用がもっとも期待されているのは医療分野だ。実はこの分野では、1966年に封切られたSF映画「ミクロの決死圏」の世界が現実になりつつある。脳に損傷を受けた患者の体内に、超小型の潜水艦に乗り組んだ医療チームが入り込み、腫瘍(しゅよう)を切除して戻ってくるというストーリーだ。

医療チームを乗せた潜水艦に相当するのが、2008年にオリンパスから販売されたカプセル内視鏡。外径11ミリ、長さ26ミリの大きさの中に、バッテリーと通信装置、カメラが組み込まれている。送られてきたカメラの映像を見て医師が診察。患者は錠剤のようにのみ込むだけなので、負担が大幅に減る。

田畑教授によると、この分野では、日本は世界のトップレベルだ。1991年

から10年間の国家プロジェクトとして「マイクロマシン・プロジェクト」が始動した。体内に入り込んで治療する機械の製作は大きなテーマの一つだったという。

一方、京大も、キヤノンと組んで、医療用の診断技術を向上させるナノマシンの開発に乗り出している。

このマシンは「分子プローブ」と呼ばれ、患部に直接作用して、患部の位置をあぶり出したり、直接治療したりする。マシンの素材は、ある病気にだけ反応するような特殊な仕掛けを施した「分子」だ。特定の分子同士が選択的に結びつくといった性質をもとに作られるという。

●DNAは優れた工業材料

分子のほかに注目されている素材が、生物の遺伝情報をつかさどるDNAだ。田畑教授は「DNAは、実は優れた工業材料なのです」と言い切った。

仕組みはDNAの二重らせんの働きを応用したものだ。



参加者は時折メモを取りながら、熱心に耳を傾けていた

DNAの四つの塩基は、それぞれ決まった塩基とだけ結びついて二重らせんを作る。DNAを加熱処理して、温度を90度まで上げればらせんが簡単にほぐれ、再び温度を下げれば結びつく。こうした性質を利用して、DNAを好きな形に加工することができるという。

この手法は1982年に最初に提案され、「DNA ナノテクノロジー」と言われる。さらに2006年に提案された「DNA Origami(折り紙)」という手法を使って、現在

はミリ単位にとどまっているカプセル内視鏡を、100ナノメートルくらいにまで小さくしてしまおうという研究もある。二枚貝のように加工されたDNAが、患部の周辺でちょうつがいを外し、DNA内に仕込んだ薬剤を散布する仕組みだ。

「材料がDNAなので人間の体ともなじみがよく、患部に直接、薬を注入できるので副作用も少ない。もっともホットな話題です」

●血液をドロドロに感じるナノマシン

大きな可能性を秘めた小さな機械には、難しい課題もある。

極小の世界では、我々の日常生活では無視できるような力の影響が大きくなり、日常生活からは想像できない状態が起こるからだ。ナノマシンは、例えば水のようなさらさらとした液体の中に入れられた場合でも、非常にネバネバした液体の中に入れられたのと同じ状態になるという。

「カプセル内視鏡の将来像」と田畑教授も期待するナノメートルサイズのDNAは、血液の中をスムーズに進めない。人間を感じる約1千万倍もドロドロした液体に入れられたのと同じ状態だという。

それでも田畑教授は「いろんな技術、新しい発想でこのような課題を乗り越えられると信じています」と述べ、講演を締めくくった。