

わが国のマイクロマシン技術

マイクロマシンを作るマイクロマシン



遭難防止マシーン

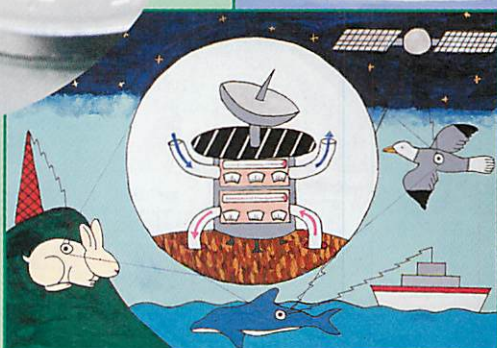


立体コピーロボットありんこ

スネークレスキュー



ボールになっちゃた



地球環境観測ロボット GE-nomi (ジェノミ)

I マイクロマシンとは

1.1 はじめに

マイクロマシンとは、大きさが数mm以下の機能要素部品を高密度に集積化した機械で、全体の大きさが数cmから数 μ m（マイクロメートル、1mmの千分の1）くらいの範囲に入る微小な機械のことです。

このマイクロマシンが実現すると、医療、情報通信、エネルギー・環境、生産・流通などの様々な分野に、大きな技術革新がもたらされるとして、世界的な規模で実用化に向けた研究開発が活発に行われています。

マイクロマシンを実現するためには、様々な種類の新しい技術が必要になりますが、これらの技

術を総称してマイクロマシン技術と呼んでいます。このマイクロマシン技術には、どのような技術が含まれているのかを図1に示します。

これには、小さな部品を作ったり組み立てたりするための作製技術をはじめとする基盤技術が含まれます。また、これらの基盤技術を使ってマイクロ部品（微小機能要素）を結合し、駆動やセンシングなどの特定の機能を持たせた小さなデバイスを作るデバイス技術があります。さらに、このようなデバイスを組み合わせてマイクロマシンを作り上げるためのシステム化技術も必要になります。

マイクロマシン技術は10年程前に研究が始まった技術ですが、これを使って開発され、すでに商品化されたものも出ています。その例として、自動車

のエアバッグに使われている加速度センサやインクジェットプリンターの印字ヘッドなどを挙げることができます。また、医療用の内視鏡にもマイクロマシン技術が使われています。これらの製品の機能や構造とマイクロマシン技術との関連については、あとで詳しく説明します。

マイクロマシンは、これまでの機械と異なり、大きさが非常に小さいので、消費するエネルギーが少なく済みます。また、わずかな量の材料で作ることができます。近年、大きな問題になっている地球環境を考えると、マイクロマシンはこの問題の解決に大きく貢献する可能性がある機械であるといえます。このように、マイクロマシン技術は人類の将来にとって、極めて重要な技術であると考えられますが、現在は未だその技術開発の初期段階にあるにすぎません。

現在私たちの身の回りにあり、生活を豊かにしている家庭電器製品や情報通信機器、さらに自動車

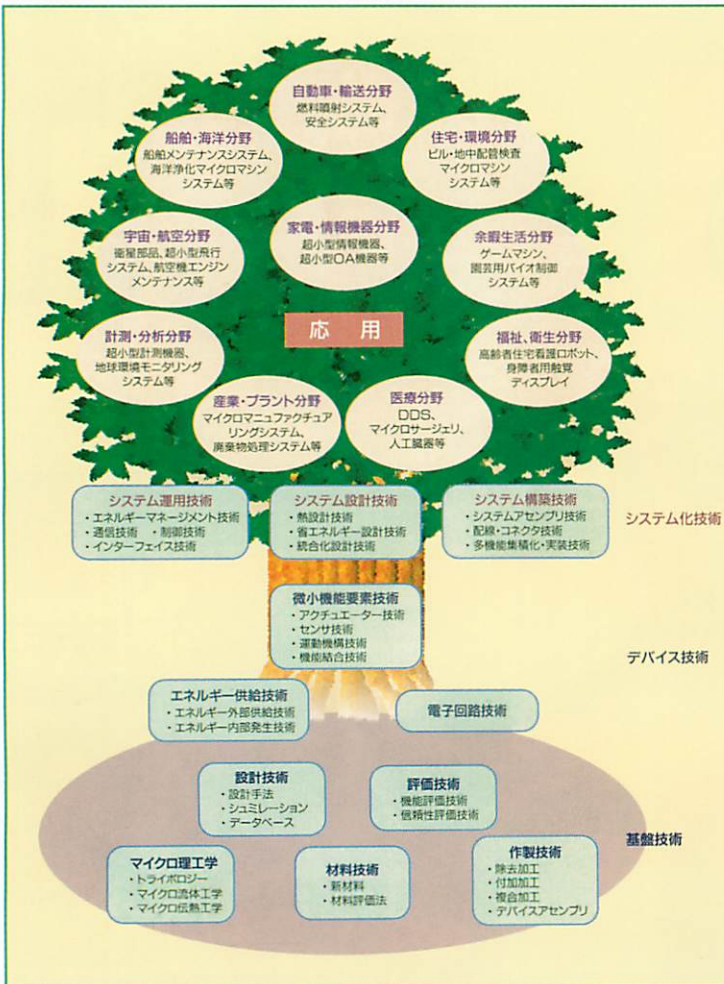


図1 マイクロマシン技術のテクノツリー

や航空機などに使われてきた技術は、18世紀の産業革命から数えて200年間もの歳月をかけて作り上げてきたものです。これに対して、生まれて間もないマイクロマシン技術を多くの技術分野で活用し、その効果を私たちが広く享受できるようにするためには、まだまだ多くの時間を必要とするでしょう。そしてこの過程では、若い皆さんがこの技術に興味をもち、さらに発展させていく主役になることが強く求められています。

1.2 マイクロマシンの特徴

つぎにマイクロマシンのおよその大きさを考えて見ましょう。図2は機械の大きさの区分とともに、様々な物の大きさを示しています。ハエやアリなどの昆虫は、おおよそ1~10mm、ノミやダニは1mm以下の大きさです。ハエの目は複眼ですが、その大きさはおおよそ500 μ mであり、一つ一つの目は10 μ mです。人間の髪の毛の直径は50~100 μ mの太さです。1 μ m以下の生物としては、バクテリアやウイルスが挙げられます。そしてnm（ナノメートル、1 μ mの千分の1）の大きさになると、分子の大きさのレベルになります。これでマイクロマシンの大きさがイメージできたと思います。

マイクロマシンのように微小なサイズの機械では、これまでの機械では考える必要がなかった（無視してもよかった）ような、ミクロな世界に特有な様々な物理現象が現れてきます。したがっ

て、マイクロマシンはその特殊環境の中で十分に機能を果たす必要があるわけですが、そこで大いに参考になるのが、大きさがマイクロマシンに近い生物、たとえば昆虫やバクテリアです。すなわち、マイクロマシンを作る場合には、このような小さな生物の機能と構造の関係を模倣することが重要であるといえます。

私たちが暮らしている世界では、重力の影響を強く受けています。人間は水の上を歩くことはできないし、空を飛ぶこともできません。しかし、アメンボウは池の水面をスイスイと歩かし、ハエやカは航空機のアクロバット飛行をはるかに超える飛行性能でブンブン飛んでいます。これは一つには、小さくなると重力の影響が小さくなるからです。

板などに付着した小さなごみは、その面を下側にしても落下しないことは誰もが経験していると思います。これは、物が小さくなると、それに働く重力よりも表面張力や静電気力などの付着力が大きくなるために起こる現象です。そしてこれも、ミクロな世界で顕著になる物理現象の一つです。

ノミよりも小さな生物は、その形が球状に近づいていきます。何故でしょう。球は、同じ体積に対して、最も表面積が小さい形状です。つまり、体が小さくなるにつれて、表面積に比例した表面張力の影響が増してくるために、その影響を少しでも小さくするように、球形になると考えられています。

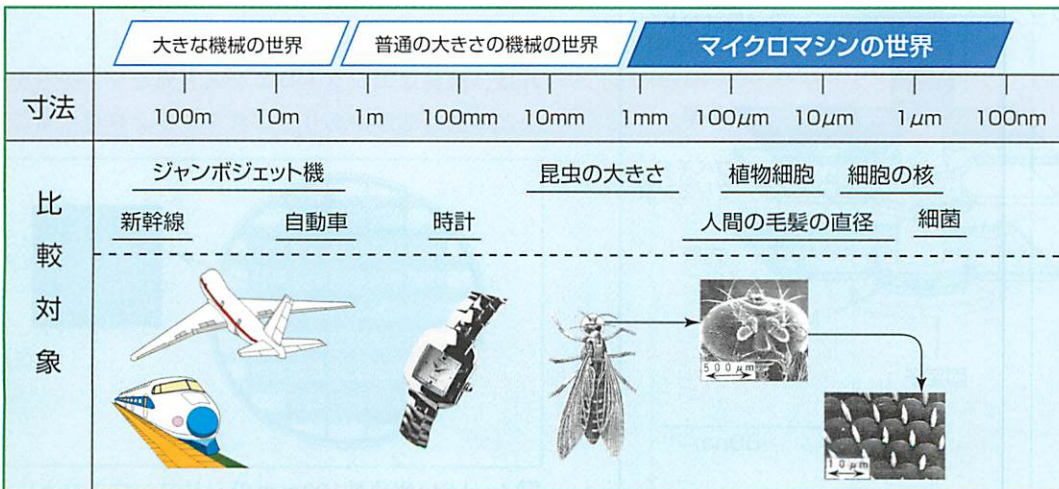


図2 マイクロマシンの大きさ

小さなカは、空を飛ぶことができる小さな生物です。彼らは、私たち人間にとっては殆ど無視できる空気の粘性や空気との摩擦をうまく利用して飛び回っていると言われています。さらに体格が小さい生物、例えばウイルスはべん毛と呼ばれる長い糸をらせん状にして回転させ（べん毛モータの直径：数10nm、最高回転数：250回転/秒：家庭用扇風機の10倍以上）運動しています（図3）。人間は液体中の推進方法として流体力を利用するプロペラを発明しましたが、ウイルスはミクロな世界で顕著になる液体の粘性抵抗力をうまく利用し、効率的な推進力を得ているといえます。

自然界には、人間も含めてクジラからバクテリアまでおびただしい種類の生物が生活しています。これらの生物は長い進化の歴史の中で、それぞれの生活環境に最も適した構造を作り上げてきました。そこには、私たちが現在持っている技術ではとても作れないような精密で高性能なメカニズムが隠されています。マイクロマシンを実現させるためには、小さな生物が獲得している様々な機能の実現方法を、最高の見本とする必要があります。

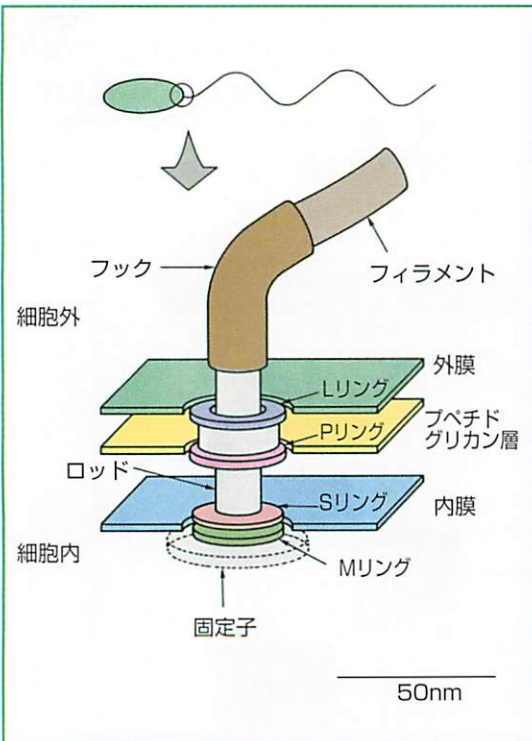


図3 べん毛モータの構造

1.3 マイクロマシンの歴史

ここでマイクロマシン技術の歴史を見てみましょう。マイクロマシンという小さな機械のアイデア、コンセプトが世の中に始めて現れたのは、1996年に公開されたSF映画「ミクロの決死圏」といってよいでしょう。この映画は、超空間投影法という方法によって縮小化された潜行艇プロメテウス号が人間の血管の中に入っていく、脳にある患部をレーザー光線で治療して、作業終了後に目から涙と一緒に出て来るというお話です。あくまでもSFであり、夢物語であったわけですが、小さな機械の可能性、夢が描かれており、当時大きな注目を集めました。マイクロマシンのルーツは、この「ミクロの決死圏」だけではありません。

日本では1970年代後半に、林輝先生（当時：東京工業大学教授）が微小機械の概念を提案しました。そして、マイクロ化に適した単純な構造の移動機構の研究などを行いました。これは世界で最初のマイクロマシンの提案でしたが、当時はまだこれを実際に作る技術が未熟だったために、大きな関心を得るには至りませんでした。

一方、エレクトロニクスの世界では、それ以前にマイクロ化が急速に進展し、LSI（メモリ）の集積度などが大変に向上しました（図4）。現在、1個のLSIで新聞200ページ以上の情報が記憶できるようになっており、そこで使われている配線の幅は0.3 μ mという肉眼では見ることができない寸法になっています。

一方、機械のマイクロ化は遅れていました。これは、機械はエレクトロニクスと異なり、モータなどの動く部分があり、これをマイクロ化するこ

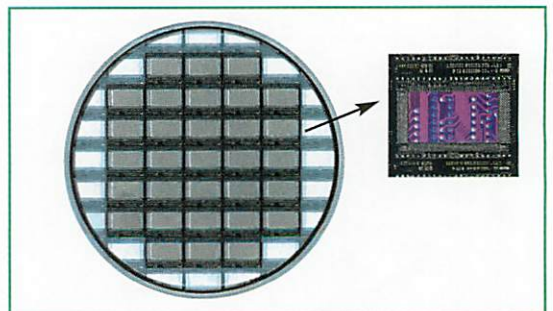


図4 LSI（直径約100mmのシリコンウエハ上に31個のLSIを作った例）

とが大変難しかったからです。1980年代後半に至って、集積回路（IC）を作る技術（シリコンプロセス、図5）を利用して、シリコンウエハの上に寸法が $100\mu\text{m}$ 程の非常に小さな歯車列（図6）やそのモーターなどを作った例がアメリカのベル研究所や大学によって相次いで発表されました。そして、これが契機になって、マイクロマシンが注目され、様々な分野の研究者や技術者がその研究開発に参加するようになりました。

その後、このシリコンプロセスだけではなく、マイクロ機械部品を作るための様々な加工技術の研究が世界中で行われるようになりました。そし

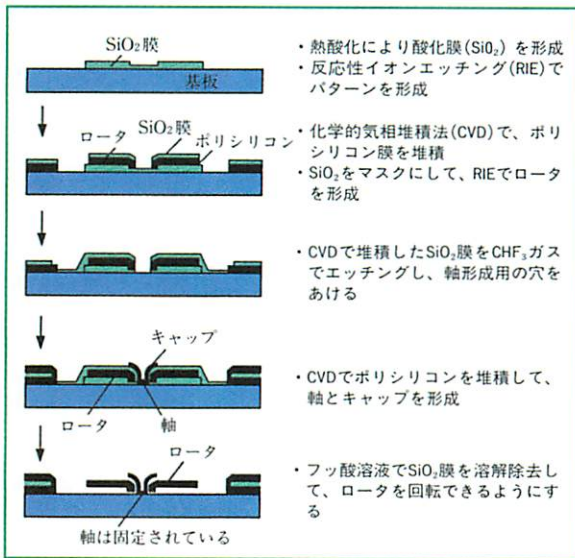


図5 シリコンプロセスの例

て現在では、LIGAプロセス、マイクロ放電加工、イオンビーム加工、マイクロ光造形法などにより、多様なマイクロ部品の製作が可能になっています。これらの加工技術により様々なマイクロデバイスの製作が行われるようになりました。さらに、これらのマイクロ部品などを観察する技術として、光学顕微鏡や走査型電子顕微鏡に加えて、原子レベルまで測定できる走査型プローブ顕微鏡が利用できるようになり、部品の微細形状が大きな拡大倍率で容易に観察できるようになりました。

これらの加工技術、デバイス技術、測定技術をはじめとする様々な技術の進歩で、約30年前の映画「ミクロの決死圏」が単なるSF映画の中での夢物語ではなくなりつつあります。このこともまた、マイクロマシンの研究開発を一層活発化させています。

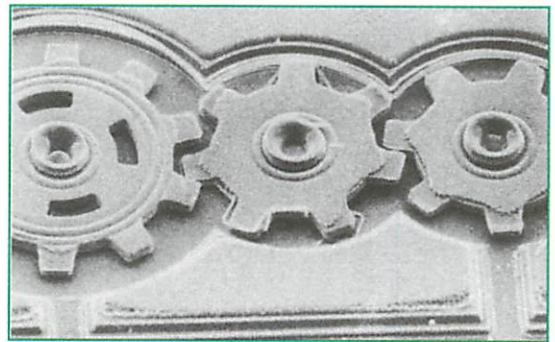


図6 マイクロ歯車列
(多結晶シリコンで作った直径 $125\mu\text{m}$ 、厚さ数 μm のギアトレイン)
(藤田博之：マイクロマシンの世界,p14,(株)工業調査会)

II マイクロマシン産業の現状

2.1 身の回りのマイクロマシン

マイクロマシンには、まだ研究開発しなければならない項目がたくさんあり、21世紀に入ってから大きく発展する技術であると言われています。しかし、すでに私たちの身の回りにはマイクロマシンがあるのです。ここでは、その中のいくつかを紹介しましょう。

1) プリンター

コンピュータで作成したデータを紙に印刷するプリンターには、様々な方式のものが 있습니다。最近では、カラープリンターも価格が安くなり、広く使われるようになってきました。例えば、家庭で年賀状を印刷したり、店で広告を印刷したり、デジタルカメラで撮った写真を印刷したりするのに使われています。この家庭用のカラープリンターは、微小なインクを紙に吹き付けるインクジェット方式が一般的であり、インクの液滴をとばす方式には、ピエゾ式とバブル式に大別されます。

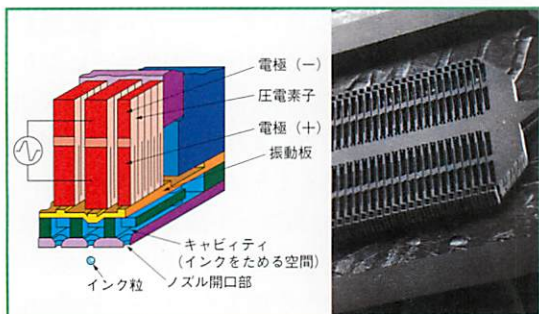


図7 インクジェットプリンタのヘッド部
(提供：セイコーエプソン(株))

図7はピエゾ式のプリンターヘッドの構造を示しています。ピエゾ式は電圧を加えると伸びる性質があるピエゾ素子（写真で表面に付いているウロコ状のもの）を使う方式で、この素子でインクが入っているキャビティに圧力を加えます。そして、ノズル（直径数 μm の小さな穴）から非常に小さなインクの粒を吐き出させ、紙の上に吹き付けて印字します。

どちらの方式のプリンターヘッドの製作でも、最も難しい部分が微小穴ノズルの加工でしたが、マイクロマシン技術を応用することによって、容易に作れるようになりました。その結果、最近ではカラー写真と同等な画質の印刷や、ポスターのような大きな面積への印刷も可能になってきています。

2) 内視鏡、カテーテル

内視鏡は、病院で使われる診断・治療機器の一つです。代表的なものに胃カメラと呼ばれている消化器用内視鏡（図8）があります。この胃カメラは写真に示すように、先端部分の直径が9mmで、自由に曲げることができます。その先端にはCCD



図8 消化器用の内視鏡
(外径約9mm)

カメラがついています。これを口から挿入して胃などの内部の観察や検査をするのととも、患部を切り取るような手術をすることもできます。このような内視鏡がない頃は、開腹手術を行っていましたが、最近ではそれを必要とするケースが減少しました。その結果、患者の苦痛が低減され、さらに入院期間が短縮されたり、入院が不要となりました。

内視鏡はこのほか、ジェットエンジンの内部を観察するためにも使われています。さらに最近では、地震などで倒壊した家屋内の調査などにも利用されるようになってきました。その他、直径が2mmに満たないカテーテル（可とう性の中空パイプ）を血管に挿入して、心臓を取り巻く血管の治療などにも使われています。マイクロマシン技術はこのような内視鏡やカテーテルを細くしたり、その機能を向上させたりするために使われてきました。

3) マイクロセンサ

センサは、人が感じることでできないものを人間に知らせたり、人の代わりに感じたりする道具です。世の中には、非常にたくさんのセンサがあります。身近なものでは、体温計があります。風邪に罹ったときに「熱がある」とか言いますが、どれくらい体温が高くなっているのかは、体温計がないと正確に計ることができません。また、プロ野球でピッチャーの投げたボールの速度を測るスピードガンにもセンサが組み込まれています。もっと身近には、冷蔵庫の扉をあけて冷気が逃げると、中の温度が上がったことをセンサが検知し、冷却用モーターのスイッチを入れるための信号を出します。

さらに、最近の自動車には、エアバッグという部品が取り付けられています。このエアバッグは、衝突から人間をまもる装備品です。運悪く事故を起こしてしまった時、あるいは衝突したときに、エアバッグを作動させる指令を送るために、加速度センサが使われています。これらのセンサは、状態を感じることが役目ですから、できるだけ小さいことが望ましく、マイクロマシン技術を用いて、小さくしかも正確な動きをするようにつくられています。

4) メガネディスプレイ

ディスプレイとは、テレビのようなもので、電気信号を人が見える形にするものです。コンピュータのモニターや、カーナビの画面などもディスプレイです。大きなディスプレイを作るのは難しいので、当然、価格は高くなります。そこで考えられたのがメガネディスプレイです。これは、図9の写真に示すように、メガネ（ゴーグル）に小さな画面が組み込んであります。しかし、身につけると目の前に画面がきますので、実際には大きな画面で見ているように見えるのです。また、このメガネディスプレイを用いれば、頭を動かしてもいつも目の前に画面があります。頭の動きを感じるセンサと連動させれば、頭の動きに合わせた画像を見ることも可能です。ディスプレイが小さくなくてもきちんと見えるようにしたり、センサを組み付けたりするのにマイクロマシン技術が使われています。



図9 メガネ型ディスプレイ
(提供：オリンパス光学工業(株))

5) ハード磁気ディスクドライブ

コンピュータ（パソコンなど）は私たちの暮らしを大変便利にしてくれました。しかし、コンピュータは、テレビやラジオのように電気を通すだけで働く家電製品とは、ちょっと違います。どこが違うかというと、コンピュータには、プログラムというものがなくて、このプログラムを書き込んでおく装置が必要なのです。また、デジカメで撮った写真を記録しておく装置も必要です。これらの記録用装置の一つがハード磁気ディスクドライブ（HDD）です。簡単にいえば、磁石の原理を用いて記録する仕組みなのですが、できるだけたくさんの記録ができるようにするためには、精

密で、細かな部品とそれを作る技術が必要です。そこにマイクロマシン技術が用いられています。

6) 腕時計

腕時計は、小さな部品がたくさん使われている機械の代表です。針が動くタイプの腕時計の中には1mm程度の歯車も組み込まれています。これ自体がマイクロマシンであるともいえます。最近の腕時計は、ほとんどが、クォーツという部品を電気で作動させて正確な時間を計ります。そのために、腕時計にはバッテリーが必要でした。しかし、最近では、太陽電池を取り付けた腕時計や、腕時計の中に発電の機構を組み込んだものも作られるようになりました。図10は新しいタイプの腕時計の構造を示しています。

AGS（自動発電システム）と呼ばれているもので、人間が腕にはめて腕を振ると、振り子が回転し、発電機を回します。この発電機から発生した電気をバッテリーに充電します。このバッテリーによりステップモーターを回転させ、針を動かす仕組みになっています。内蔵発電機でバッテリーを充電することができるため、これまでの腕時計のようにバッテリーを交換する必要がなく、原理的には永久に使える優れた腕時計です。図10をみてもわかるように、腕時計という小さな機械の中に数多くの小さな部品がぎっしりと詰め込まれています。その中にはマイクロマシン技術で作られた部品もたくさん含まれています。

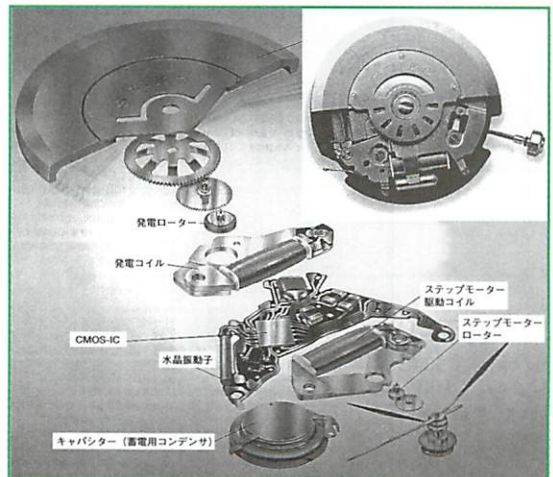


図10 腕時計のAGS（自動発電システム）
(THE SEIKO BOOK, Good Press Special, P150,徳間書店)

2.2 今後のマイクロマシン

私たちの身の回りに既にあるマイクロマシンとマイクロマシン技術を使っている代表的なものを紹介してきました。マイクロマシン技術がさらに発展すると、これまで私たちが見たこともないような新しい製品も生まれる可能性があります。

そこでつぎに、マイクロマシン技術のポテンシャルを飛躍的に高めるために進められてきた通商産業省（現 経済産業省）のプロジェクトについて、その中で取り上げた4つの試作システムを紹介しましょう。試作システムの1)～3)は、発電所で使用することを想定して開発を行ってきたシステムです。発電所には細い配管がたくさんあり、それらに異常がないことを定期的に調べ、もしも傷などがあつた場合には、交換するか、修理をする必要があります。その場合、配管を分解して検査修理を行いますが、マイクロマシンが使えるようになれば、分解せずに検査できたり、修理できたりできるでしょう。実際に使用できるようになるには、まだ、解決すべき課題もありますが、順にそれらのシステムを紹介します。また、試作

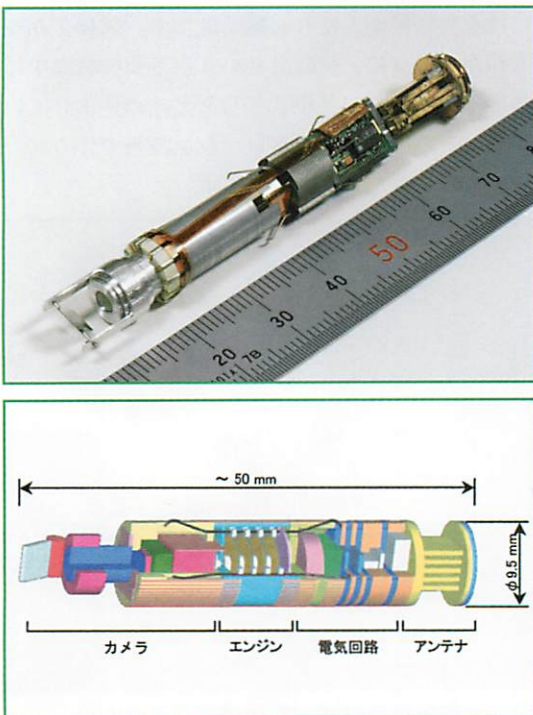


図11 管内自走環境認識試作システム

システム4)は小さな工業製品を製作するための超小型工場（マイクロファクトリ）を目指したものです。

1) 管内自走環境認識試作システム

このシステムは、配管内をその配管の形状に沿って水平に進んだり、垂直に進んだりして配管内の異物や傷を見つけます。特徴的なのは、無線で動くということです。操縦するための信号はもちろんのこと、動くためのエネルギーも無線で供給します。このシステムのイメージと試作品の写真を図11に示します。

無線で送った信号を受けるアンテナや、エネルギーを電気に換える素子が入っています。また、写真は試作システムです。大きさは太さが9.5mm、長さが50mmです。

このシステムの重さは約50gです。水平な方向を進むだけならモータを利用した車輪でも進むこともできますが、垂直にのぼることも必要となりますので、慣性力を利用してシステムを進ませる方法を開発しました。その原理を示したのが図12です。

システムは4本のクランプで配管の内側につばって止まっています。この状態で、圧電体を急激に変形させると慣性体に慣性力が発生し、この力がクランプの摩擦力より大きいとクランプが配管内をすべってシステムが移動します。この動作を繰り返してシステムは進んでいきます。

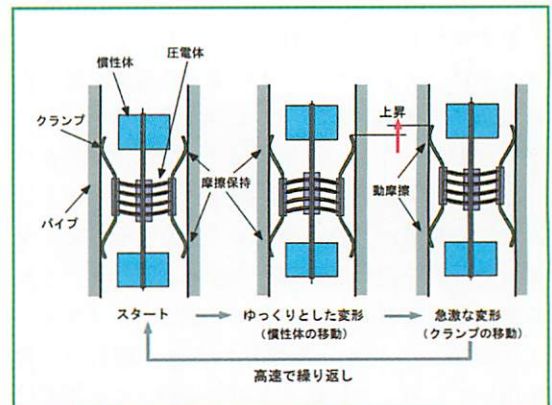


図12 慣性力による推進の原理

2) 細管群外部検査試作システム

このシステムは、配管の外側の異常を検査することを目的としています。発電所にある配管は、一本だけではなく複数の配管が小さな隙間をもって設置されています。そこで、複数のマイクロマシンが、別々にこの隙間を通過して目的の配管まで行き、配管を取り囲むようにして連結して配管を登っていきます。その様子を示したのが図13です。

ひとつひとつのマイクロマシンの大きさは、縦5mm、横5mm、奥行き5mmです。このサイズの中に車輪を動かすモータ、モータの回転を車輪に伝えながら回転の速度を変える減速デバイス、自動で連結する機構（コネクタ）が組み込まれています。また、傷を見つけるデバイスも組み込まれています。図14に示したのが、今までにできている単体走行マイクロマシンの仕組みを示したものです。

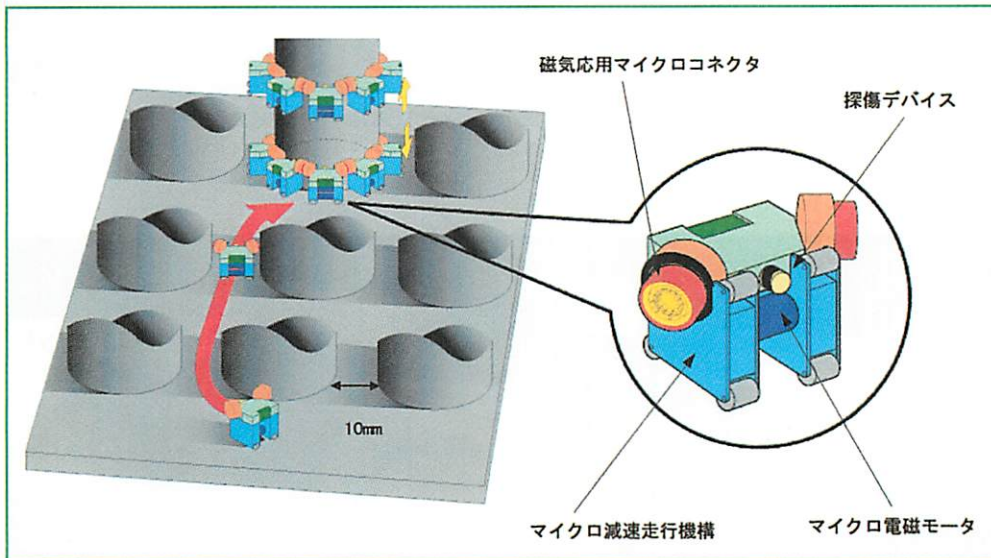


図13 細管群外部検査試作システム

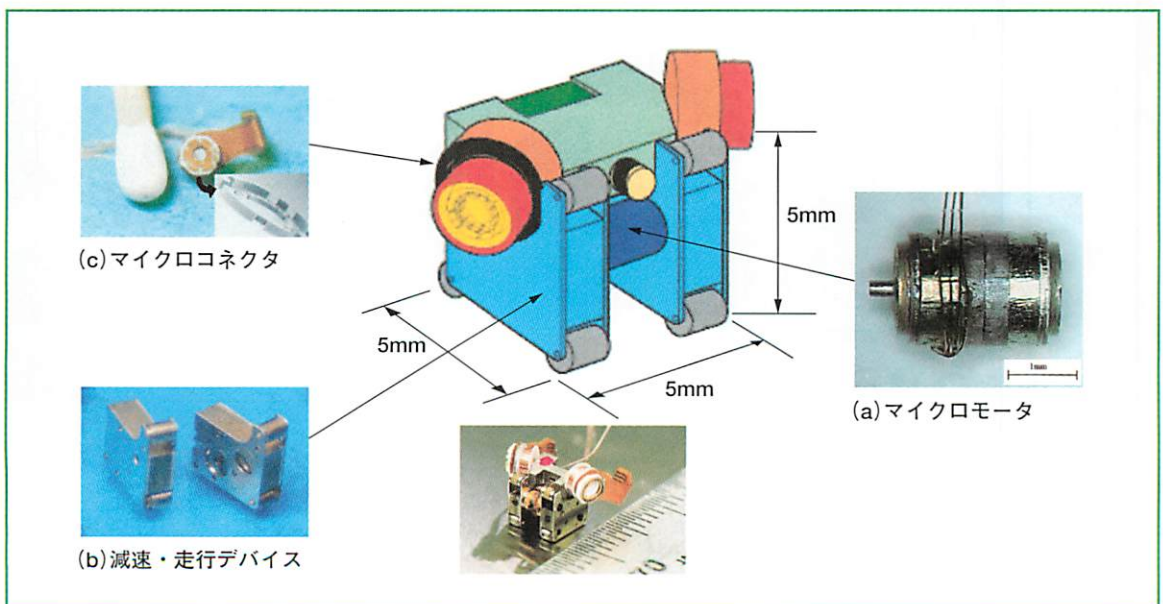


図14 単体走行マイクロマシンの仕組み

3) 機器内部作業試作システム

機器内部作業試作システムは、見つけた傷を修理するために使われます。修理をするためには大きなエネルギーが必要なため、このシステムは無線で動かすのではなく、配線をつなげてあります。すなわち、図15に示すように、管状になっています。

ただし、複雑に曲がったところも進んでいく必要があるため、先端部分には湾曲ユニットという曲ることができる機構を設けてあります。修理をする道具は、レーザーです。傷の部分にレーザーを当てて、溶かします。なお、レーザーを傷だけに正確に当てるためにマイクロロボットハンドを用います。また、傷の状態を観察する素子、システムがどちらを向いているか検出するセンサも

組み込まれています。なお、このシステムの太さは8mmです。図16に示したのは、レーザー溶接デバイスとマイクロロボットハンドの写真です。

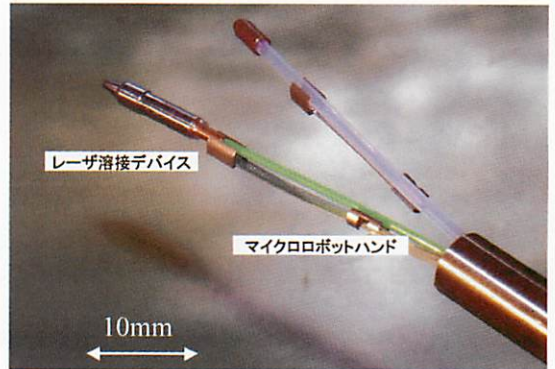


図16 レーザ溶接デバイスとマイクロロボットハンド

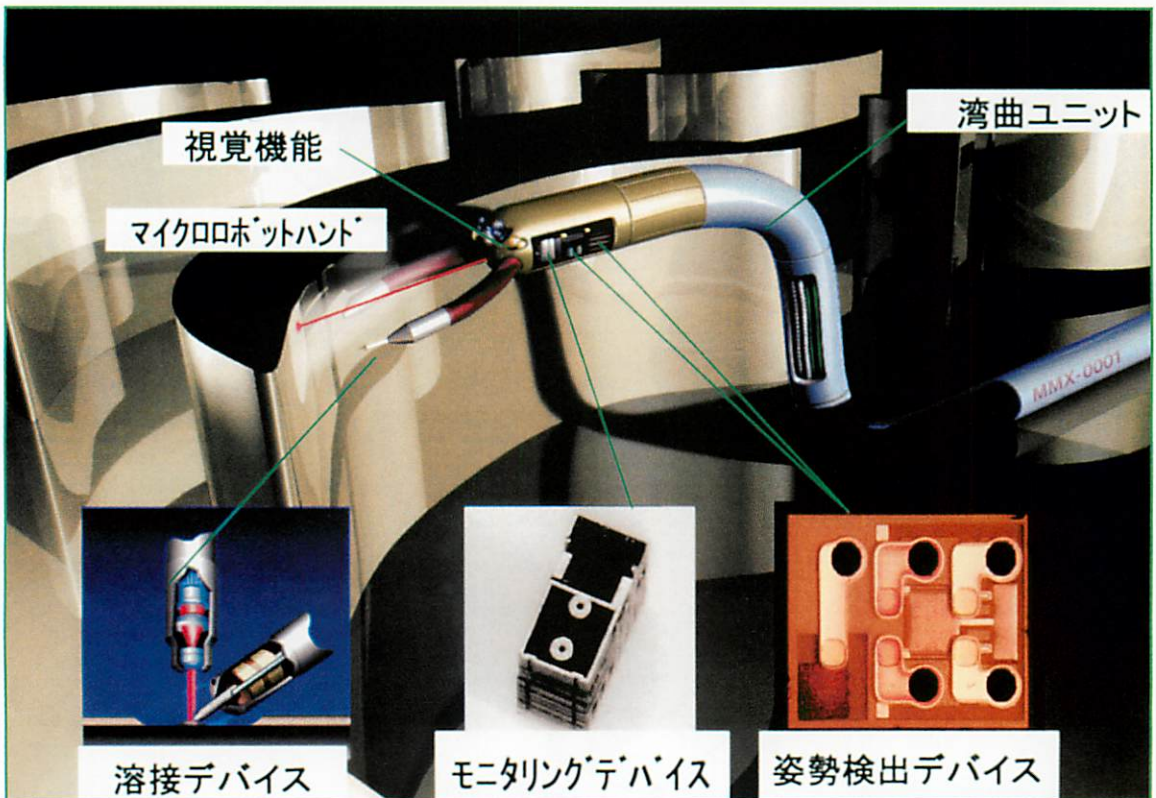


図15 複雑な機械の内部に入って作業するマイクロマシン

4) マイクロ加工・組立用試作システム

マイクロマシン技術を用いて部品を小さくできれば、装置全体の大きさを小さくできる可能性が出てきます。さらには、工場にあるいろいろな装置をひとつにまとめて小さくしてしまうことも夢ではありません。この小さくなった工場のことをマイクロファクトリといいます。マイクロファクトリが実現すれば、工場で製品を作るばかりではなく、例えば、店とか自宅でも必要な分だけを作れるようになります。そうなれば、皆さんの欲しいと思うものをその場で作ってもらうことも可能になるわけです。このマイクロファクトリを実現するための研究としてマイクロ加工・組立試作システムを製作してきました。

このシステムには工場の中で一般的に行われる加工、組立、搬送、検査の機能を組み込んであります。

図17は、このシステムのイメージと現在までに製作されている部品の写真です。ただし、工場で使われている装置の部品をそのまま小さくしても使える機械はできません。なぜなら、小さくなると力を出せなかったり、他の部品に悪影響を及ぼしたりする可能性があるからです。そこで、このシステムでは、加工に電気化学的な方法を用い、搬送を2次元でおこなえるような工夫をしました。また、2本のマイクロアームで複雑な作業を行います。このマイクロアームの先端に、部品をつかむ道具や、接着剤を塗布する道具を付け替えて、様々な作業を行います。また、加工や組立の状態を見るための検査デバイスも取り付けられています。

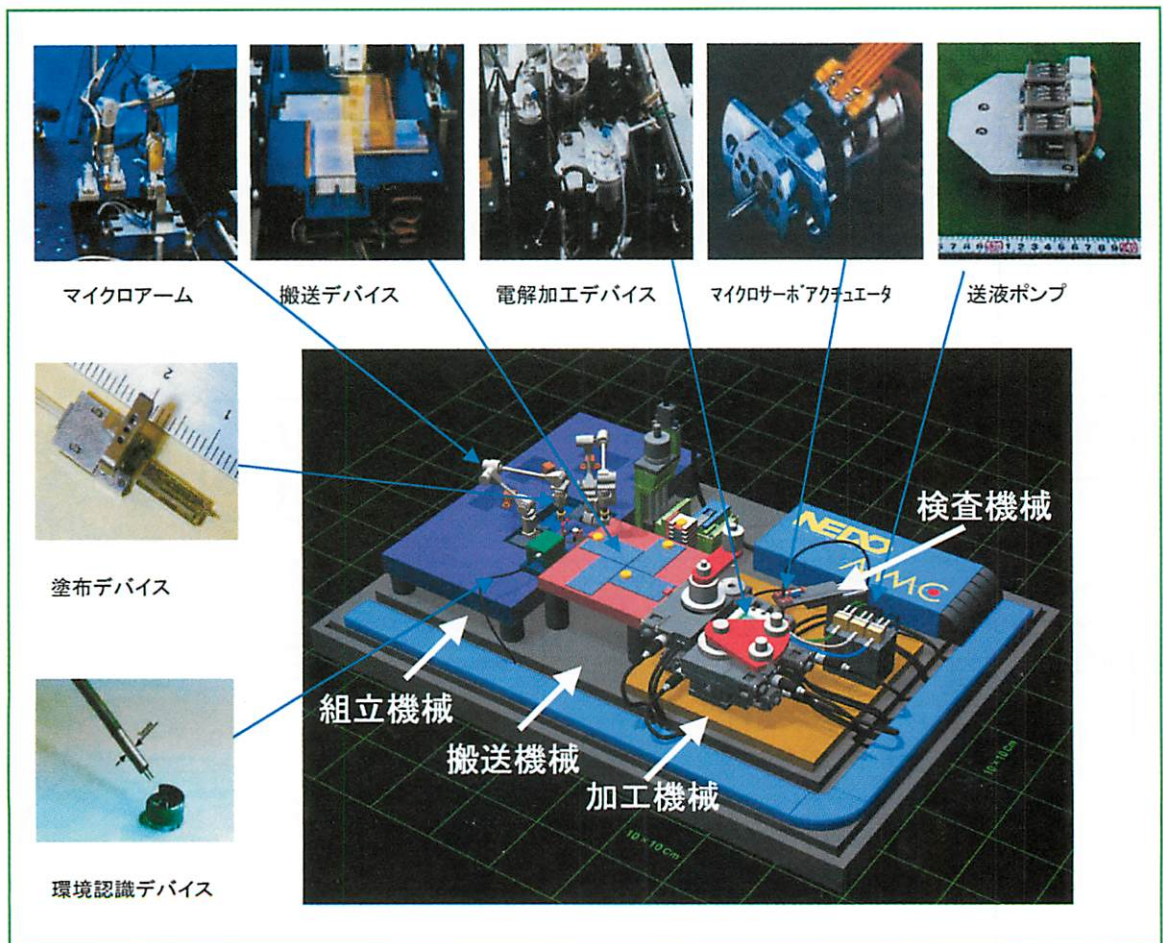


図17 マイクロ加工・組立用試作システムの完成予想図と主なデバイス

Ⅲ マイクロマシン産業の将来

マイクロマシン技術は様々な産業で活用できる新しい基盤的な技術です。したがって、この技術はそれぞれの産業分野で、工業製品の性能の向上と用途の拡大に役立つと期待されています。また一方では、いくつかの産業を融合させた新しい産業形態を生み出す可能性があるととも考えられています。

3.1 マイクロマシンの応用分野

ここでは、マイクロマシン技術が様々な産業分野でどのように利用されていくと考えられているかということ、いくつかの具体例を挙げて説明します。

1) 医療分野

消化器系の病気の診断や治療で内視鏡が使われるケースが増えています。これによって、開腹手術をしなくても胃壁のポリープや胆のうや胆管内の結石の除去ができるようになりました。図18は、このような内視鏡をマイクロマシンで高度化させた医療システムを示しています。腹部に直径5mmほどの小さな穴をあけるだけで、様々な臓器の高度な治療を行うことができます。

現在、カプセル型などの飲み薬が数多く利用されています。このような薬は体内に吸収され、患部に達したほんの一部が治療に役立てられます。

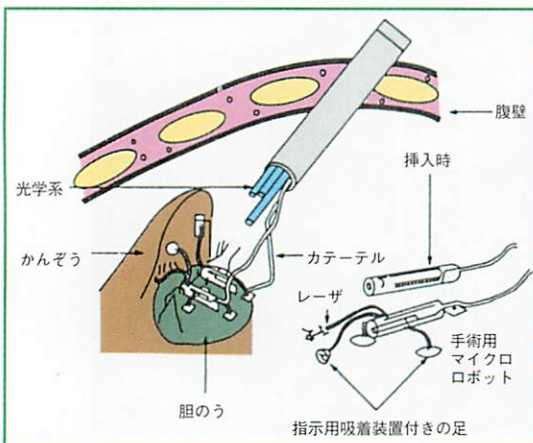


図18 痛みを出来るだけ与えない診断・治療システム (高山修一：日本の科学と技術,32,No.263,p77,1991)

図19は、消化器内で患部を調べたり、必要に応じてその部分に集中的に薬を投与するカプセル型のマイクロマシンのイメージを示しています。

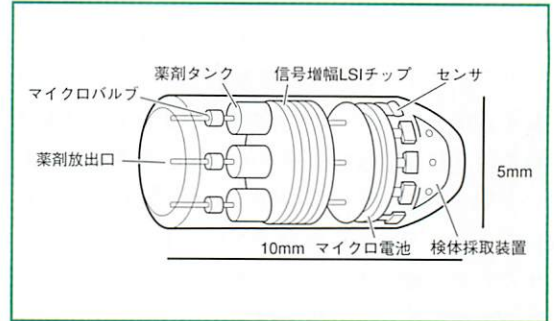


図19 カプセル型の診断・治療マイクロマシン (マイクロマシン技術による製品小型化・知能化辞典、産業調査会、P559(1992))

もっと小さい、白血球ほどの大きさのマイクロマシンの研究が進められています。これが開発されると、血管内に入って体内を循環しながら癌などの細胞を識別し、そこに限定して治療薬を放出することが可能になります。これはドラッグデリバリーシステム(DDS)と呼ばれるもので、非常に少量の薬で病気を治療できるとともに、健全な部分への薬の作用を最小限に押さえることもできます。

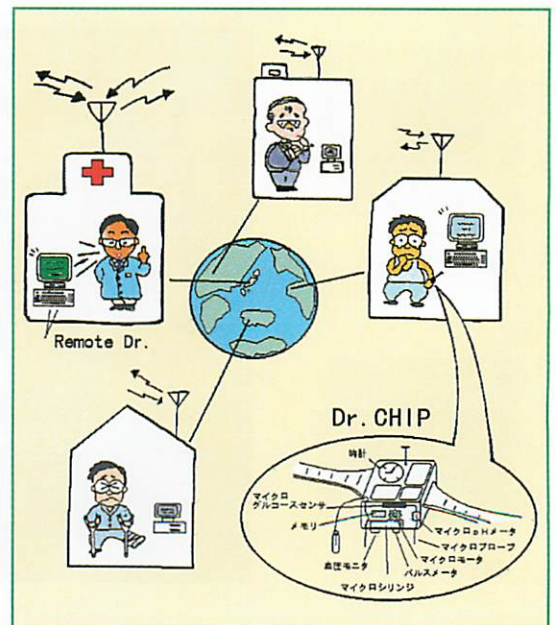


図20 自宅でできる健康管理システム

私たちは年に1～2回、健康診断を受けるなどして、病気の早期発見や治療に役立てています。腕時計をはめるような感覚で健康をチェックする機械を身につけて、測定データを頻繁に医療機関に送り、適切な助言を得ることができれば、重大な病気になるのを防ぐことができます。図20は、腕にはめた健康チェックマシンを医療ネットワークとつないだ健康管理システムを示しています。

重い病気になった場合には、現在は入院して治療を受けます。これは、病気の検査や治療にたくさんの医療機器が必要であり、また緊急時に医師が即座に診断・治療できるようにするためです。小型で多機能の医療機器が開発され、医療通信ネットワークが整備されると、そのような機器を自宅に設置することにより、入院した場合と変わらない治療が自宅で受けられるようになります。通院が困難な高齢者の在宅治療も可能になります。

このほかにも、マイクロマシン技術を応用した人工臓器やマイクロサージェリー(外科手術器具)などの研究が行われています。

2) 情報通信分野

携帯電話が急速に普及して、2010年頃にはほとんどの人が持ち歩くようになると予測されています。パソコンもモバイル型が多くなってきています。通信回線と接続できる携帯型ゲーム機も出始めています。このような情報通信機器の全機能を手帳程度のサイズの装置に収めることも、マイクロマシン技術により実現可能であると言われています。このハンディ型の多機能情報通信端末はインターネットと接続して、旅行のナビゲータ、健康チェック、留守宅の管理、双方向同時通訳なども可能にさせると考えられています。

(3) 生産・流通

携帯電話、時計・カメラなどの小型工業製品には、大きさが1mm、質量が1gに満たないような小さな部品が多数使われています。このような小さな部品は、現在は主として等身大の生産機械を使って製造しています。

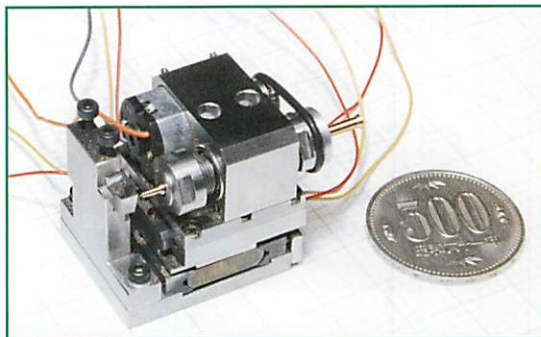


図21 マイクロ旋盤

この生産機械を大幅に小型化すれば(図21)、前章で紹介したようなデスクトップ型工場(マイクロファクトリ)が実現します。このマイクロファクトリは消費エネルギーが非常に少ないので、地球温暖化を防ぐ生産方式として注目されています。

マイクロファクトリの超小型という点を活かして店先に設置し、注文したものをその場で製造することもできるようになります(図22)。

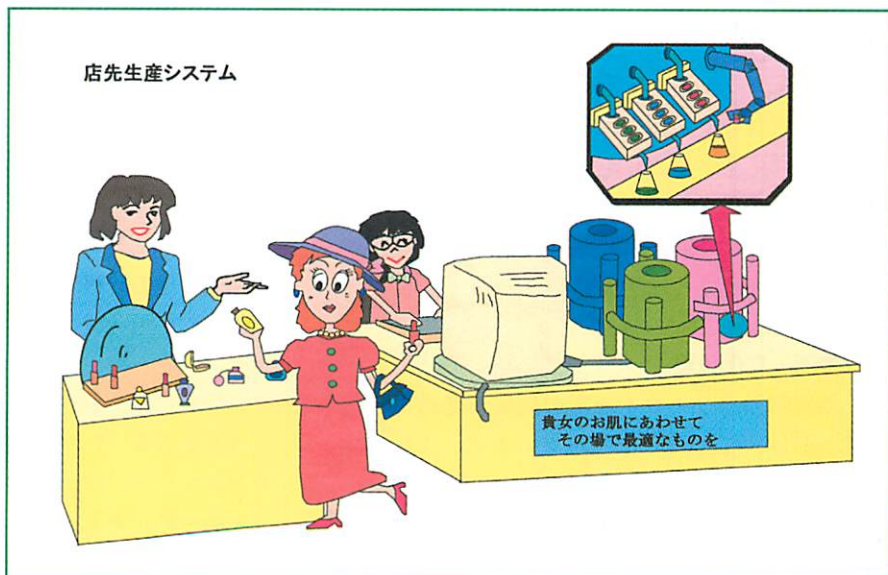


図22 店先生産システム

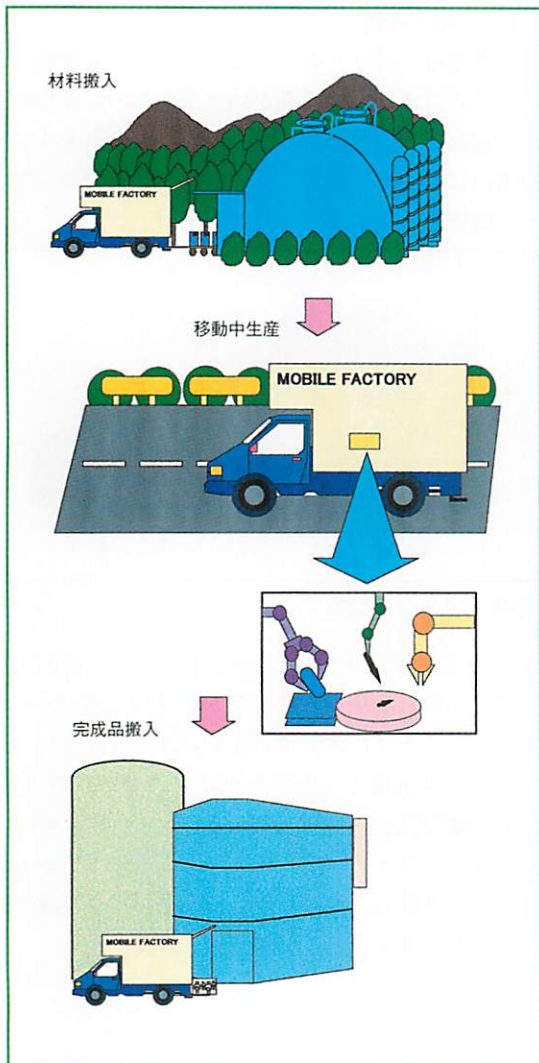


図23 移動生産システム

さらに、トラックの荷台に工場を設置することにより、原料を仕入れてから、製品の納入先までの走行中に生産することができるようになります(図23)。このような生産方式は、製造と物流の一体化や在宅勤務の拡大など、現在の産業や生活を変革させる可能性もあります。

4) 生活・文化分野

犬や猫型のペットロボットの開発が進められ、その一部はすでに商品化されています。これは、単に玩具ロボットという域を越え、生活に潤いや安らぎを与えることができます。核家族化や高齢化が進む中で、このようなロボットは家庭では欠かせないものになるとも言われています。人との

コミュニケーションを繊細な動きや表情で行わせるためには、高度のメカニズムや知能の付与が必要であり、その実用化ではマイクロマシン技術がキーテクノロジーとなります。

ホームセキュリティ(家庭内安全対策)も今後必要性が一層高まると考えられています。外出先から留守宅の状況を詳細にチェックしたり、必要な対応を即座に行うためには、多種多様のセンサやロボットが必要になります。これを既存技術で処理しようとする、人の住空間が著しく狭められてしまいます。このような機器の存在を意識させないようにするためには、マイクロマシン技術による超小型で高性能のセキュリティシステムの開発が必要になります。

5) エネルギー・環境分野

大規模発電施設などの大型プラントは、常時監視に加えて、定期的に大がかりなメンテナンスが行われ、とくに後者では大型機器の分解・補修・組立作業が必要になります。そして、この作業には危険が伴うことから、作業者の直接関与を伴わないメンテナンスシステムが求められています。前章で紹介した大規模発電施設メンテナンス(保全)技術開発はこれに応えるための研究開発です。

快適な日常生活の追求が、その反面において地球環境の悪化をもたらしています。これを改善するためには、広域の環境汚染監視システムや、交通網や上下水道を含めたエネルギーの効率の利用を目指した生活基盤整備が必要になります。そしてこれにも超小型・高性能で消費動力が極めて少ない多様なマイクロデバイス(部品)が必要になります。

6) その他の分野

上述の応用分野のほかにも、農林水産・バイオテクノロジーにおける動植物の品種改良や果樹園での受粉作業、航空宇宙関連のマイクロサテライト(人工衛星)やスペースファクトリ(宇宙工場)など、マイクロマシン技術を必要としているたくさんの分野があり、それぞれの分野で、また分野間にまたがる課題については複数分野の協同により研究開発が進められています。

3.2 マイクロマシン産業の規模予測応用分野

この技術はすでに様々な産業分野で利用されはじめています。またその利用は、(1) 既存製品への適用と(2) 新規製品の創出という二つの形態に分けることができます。例えば、(1) の具体例としては、ハードディスク装置の磁気ヘッドを挙げることができます。これは当初はセンチメートルオーダーの寸法でしたが、最近ではマイクロマシンングでミリメートル以下の大きさに作るができるようになり、単位面積に記録できるデータ量と読み書き速度が飛躍的に向上しました。自動車で使われているエアバッグ用の加速度センサや医療用内視鏡などもその例として挙げることができます。

また、(2) の例としてはペットロボットなどがあり、さらにまだ実用化されていませんが、全く新しいシステム概念のマイクロファクトリやドラッグデリバリーシステムなどを挙げることができます。

(財) マイクロマシンセンターは、マイクロマシン技術によって作り出される上述のような工業

製品とその応用が将来どの程度の産業規模になるか、現在も含めて試算しました。図24はその結果をグラフで示しています。この予測から、現在およそ1兆円のマイクロマシン産業は、2010年には4.2兆円、2015年には6兆円の規模に拡大することがわかります。

マイクロマシン産業が今後急速に拡大すると予測される大きな根拠は、人々が求める快適な生活へのステップアップとそれによって生じる地球環境の悪化という背反的な課題の解決方法を、この技術が持っていることにあります。



図24 将来のマイクロマシンに関する市場予測

IV おわりに

マイクロマシンは、私たちの便利で快適な暮らしを支える新しい概念を持った機械として、1980年代の後半に登場しました。このマイクロマシンを実現させる技術の特徴と歴史、すでに生活の中で使われているマイクロマシン、研究開発の状況、新産業としての期待などについて述べました。

21世紀は、豊かさの追求と地球環境の改善という二律背反的とも思われる課題を抱えてのスター

トとなります。超小型高機能で省エネルギー・省資源型を特徴とするマイクロマシンは、その課題の解決策を持っていると考えられます。

マイクロマシン技術が確立され、広く利用されるようになるまでには長い歳月を必要とします。しかし、その応用はすでに始まっており、また急速に拡大するとも予測されています。それを支援するための一層の研究開発が必要でしょう。

● 産業グラフ最近刊 ●

- | | | |
|---------------------|-----------------------|----------------------------|
| 180 わが国の情報サービス産業 | 183 わが国の自動販売機産業 | 186 わが国の鉄鋼産業 鉄:21世紀も人類を支える |
| 181 わが国の分析機器産業 | 184 マルチメディア産業の動向とその活用 | 187 素材材/ものづくりの原点 |
| 182 現代の機械産業に生きるエンジン | 185 わが国の環境装置産業 | 188 わが国の建設機械産業 |

編集・発行 財団法人 日本経済教育センター

〒105-0001 東京都港区虎ノ門2丁目6番4号(第11森ビル) 電話(03)3503-3757

協力 財団法人 マイクロマシンセンター

〒101-0048 東京都千代田区神田司町2丁目2番地(新倉ビル5階) 電話(03)5294-7131

URL: <http://www.ijjnet.or.jp/MMC/>

平成13年2月発行



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

印刷：アベイズム株式会社



マイクロちゃんおんぱルアー



地震予知マシーン



美術品の修復補助マシン



何か国語でもOK!小型日本語やく機



めざましフワット