

講座 マイクロマシンシステムの医療応用〔第2回〕

政策研究大学院大学 教授 藤正 巖

マクロからマイクロへ

すでにいまから10年以上も前に始まったマイクロマシン技術の開発の当初から、医療はそのもっとも重要でしかも具体的な需要のあり得る領域と考えられてきた。しかも当時から医療はマイクロサージャリーに代表されるように、マクロからマイクロ即ち顕微鏡下の世界へと実用技術が移り始めていた。その最大の理由は医療が治療重視となってきたことに拠っている。医療はこの10数年薬の全身への投与とか不要になった臓器の切除といったマクロな古典的な医療から、対象とする相手を細胞や組織或いは臓器という少なくともセンチ以下の寸法の世界にし始めたからである。生命の基本素子は細胞であり、操作対象が小さくなればなるほどより生命に対する本質的な医療行為が可能になるということがわかりはじめ、いくつものマイクロの世界での治療技術が開発使用されるようになってきた。

例えばマイクロサージャリーに代表される外科では5割を越える領域が拡大鏡や顕微鏡下の操作となり、そこで扱われる機械は顕微鏡下のマイクロ鉗子やマイクロメスとなった。この10年で外科の領域をすっかり変えてしまった直達鏡下の手術も直径1cm以下の外套管(トリアカール)を通して行われる微小遠隔手術であった。最初は手工業的手法から始まったこれらの技術は、急速に発展した画像情報技術と組み合わせられ、さらに人工現実感の世界を取り入れて大きく変わりはじめた。微小の世界で具体的な体内操作をする機器や用具としては既にメスや注射針や微小なカテーテルのように多くのものが一度限りの使い捨てのものとして供給され、そのためにこれらに関係する多くの技術は工業技術を用いた量産過程を必要とするようになった。マイクロマシン技術に初めて産業の需要が生じたと言ってよい。

マイクロからナノへ

治療対象がマクロからマイクロに変わり始めたのとほぼ軌を一にして、検査対象も顕微鏡下の細胞やある程度の濃度のある代謝産物から細胞内のオルガネラや遺伝子や微量の免疫物質へと、より生命制御に必要な本質的对象を相手にする検査へと変化が始まった。細胞内の物質の寸法がナノ領域にあり濃度もナノモルといった超低濃度を取り扱わなければならないことから、検査対象はマイクロからナノへと変化を始めたと言えるだろう。この10数年ゲムプロジェクトをはじめとするバイオメディカルの科学はすでにナノの世界を相手にしてきた経緯も無視できない。

これまでのマイクロマシン・プロジェクトでは生物医学系の検査素子や装置の開発は無視され続けてきたが、次世代のマイクロマシン技術としてバイオ素子やチップの技術が取り上げられるのは当然で、工業的に作られるDNAチップやタンパク・免疫チップ、さらにはベッドサイドで用いられる液体検査素子としてオンチップラボに代表される微小検査素子の急速な開発が数年前から始まったのは当然のことといえよう。バイオメディカルの領域ではポストゲム技術として、すでに1997年

のDNAチップの発表にみられるように、ナノの世界のターゲットとして技術開発が進められており、バイオインダストリーは21世紀の巨大な産業基盤を作ろうとし始めている。当然のことながら治療技術も組織や細胞を対象としはじめた。ことに遺伝子治療では数ミクロンから数百ナノの寸法の物質の細胞内投与手法が検討され始めたのは注目に値する。遠隔操作により標的となる細胞に所定のDNAプローブを送り込むことが出来れば、多くの病気の本質的な治療が可能となるからである。

ナノ量子システムの登場

ナノの物質や物体を相手にするには、それ相応のハンドリング技術が必要で、それらの多くはマイクロマシン技術の対象となった。しかし、この世界には、マイクロマシンがすでに内包しているナノの領域の問題が潜んでいる。バイオチップが対象としているDNAの塩基対の寸法は数ナノメートルであり、オンチップラボが相手にする物質量はナノモル(10^{-9} 乗)以下となる。最近多くの研究者たちが指摘しているように、マイクロ化に伴う寸法の減少は、物質単位からみると数分子の世界で、量子の領域に入らざるを得なくなるという。多くの医化学検査が対象としているのは、ナノモルの物質の世界である。1リットルの中に 6×10^{23} 乗個の分子数が入っている溶液が1モルであるから、1ナノモルの溶液1ミリ立方の中には 6×10^5 乗個の分子数が入っていることになる。したがって10ミクロンの寸法の素子を用いたナノモルの検査の世界では、1ナノモルの溶液が入る検査チャンパーの中にはその10の6乗分の1、すなわち0.6個の分子数しか入っていないことになる。最近開発が進められているマイクロTAS(トータル分析システム)などの技術はこの動的な開放系の世界を含んでいて、そこでは物理法則が古典論や確定論から不確定性を含む量子波動力学の世界に入ることが指摘されている。

一方すでに1ミクロンの壁を破ったマイクロ加工技術は、その作り上げる検査素子の大きさを1マイクロ立方の単位にまでサイズを下けている。1ミクロン近辺の寸法で作られたマイクロマシンでは、その構造の中で物質を取り扱い化学反応を引き起こさせるには、マクロの世界で取り扱う大数の法則が使えないことになる。現在最も普通に行われているマイクロモル領域の分析でも、タンパク構造などのある程度の大きさの物質を対象とする場合を除いて、通常行われている電気化学的な電子反応によって検査を行うシステムでは、電子系の持つ不確定性の問題を解決しなければならなくなるだろう。操作対象がナノモルになれば、この領域が現在普通に作られているマイクロマシンの一辺100ミクロンの世界にまで拡大することになるので、検査法や物質同定法に新しい技術が必要となる可能性も含んでいる。すなわちマイクロエレクトロメカニカルシステムズの世界は、一旦水溶液を含む生体の世界に入るとマイクロの世界ではなくナノの世界を生み始めるという意味であり、ここで言いたいのはバイオメディカルマイクロマシンがすでにナノマシンの領域を含んでいて、ナノ量子システムの世界へと変わらざるを得なくなるということである。