

3. マイクロマシンの発展と医学分野に対する貢献

福 田 敏 男 (名古屋大学大学院工学研究科マイクロシステム工学専攻)

機械をマイクロ化することにより、小型である事を活かした使い方をしたり、マイクロメカニズムや御制システムを高度に集積化し、一括構造化して大量生産したり、協調機能を有した各個体群よりなる自律分散システムを構築することなどが可能となると考えられる。マイクロマシンは産業、バイオ、医療、保守点検等の用途として今後の発展が期待されている。マイクロ化にあたってハードウェア的に(i)センシング・機能、(ii)判断・計画機能、(iii)動作・制御機能は少なからず必要である。これに加えて、通信、エネルギー源、タスクに応じたインターフェイス、エフェクター等はシステム化する際には、デバイスレベルでも必要となってくる。ソフトウェア的には上記機能に対応するインテリジェントシステム用のものが必要であり、自律分散システム概念から協調のためのソフトウェア、さらにシステムがエボリューションするためのジェネリックソフトウェアが必要である。

マイクロマシンを実現するためには、マイクロアクチュエータ、微細構成要素の加工・組立技術、エネルギー供給技術、制御通信技術等の研究課題が数多く残されている。このなかで、マイクロアクチュエータの選定・開発やマイクロメカニズムの設計及びセンシングを含めた制御システム設計の占める役割は大きい。ことにマイクロアクチュエータはシステムの動力源となるため、エネルギー供給方法も考慮した上で、その特徴を十分に理解しておく必要がある。本講演では近年話題となっているマイクロマシンの概要、代表的なマイクロアクチュエータとそれらの医学への応用例を中心に紹介し、今後の動向について述べる。主な講演内容を以下に示す。

- (1) マイクロマシンの概要
- (2) マイクロアクチュエータ
- (3) 医用応用例の紹介
- (4) 遠隔医療とマイクロマシン

マイクロアクチュエータに関しては多種多様なタイプが提案されており、如何にして力エネルギーを得るかが課題となる。アクチュエータの駆動形式としては、静電モーターに代表されるよう、電気エネルギーを力エネルギーに変換するタイプに限らず、様々な形式が存在する。従来より提案されている主なマイクロアクチュエータを列挙してみると、静電アクチュエータ、電磁アクチュエータ、圧電素子、超磁歪素子、光アクチュエータ、形状記憶合金、高分子アクチュエータ、油空圧アクチュエータ等がある。以上はそれぞれが一長一短を有しており、マイクロマシンの実現に関しては、各特徴を活かした様々な応用例が検討されている。

医学応用としては SMA が比較的多用されている。SMA は温度に依存した形状記憶効果を有する。小型化により熱容量が減る反面、表面からの放熱量が相対的に増えるため、小さくすることで応答速度の向上が期待できる。SMA の応用の一例として、SMA ワイヤを用いた多自由度能動カテーテルを紹介する。SMA ワイヤをカテーテルのルーメン内に埋蔵したものを複数連結し、シリアル・パラレル構造とする事により、多自由度化した。このカテーテルは低侵襲脳外科手術における作業性の向上を目的として開発した。SMA は薄膜化等によりマイクロマシンとの一体化で、今後とも発展が見込まれる。カテーテルを用いた血管内手術は、レントゲン画像を見ながら行うが、この作業には多くの経験と血管構造についての知識が要求される。このため、カテーテルを用いた手術時間の短縮化や医師の熟練により患者への負担を軽減することを念頭に置き、若手医師の訓練や治療前のリハーサルのための手術シミュレータを試作した。また、実際に治療するときの医師の負担を軽減するための医療支援手法を提案し、試作したシミュレータによる力覚提示の有効性と、視覚支援手法の有効性

を紹介する。更に、マルチメディア技術を用いた遠隔医療システムについて述べる。

その他、高分子アクチュエータは高分子の有する可とう性から、衝撃、屈曲等に強く、成形加工が容易で、軽量といった特徴を有している。高分子アクチュエータの応用例としては、ICPFを用いた能動ガイドワイヤーや、人体への薬剤の投薬等を目的とした熱感応性の高分子ゲルを用いたマイクロ・ポンプや、浸透圧による徐放性カプセル型マイクロポンプを紹介する。

4. 走査プローブ顕微鏡による高分解能観察

宮 本 宏 (生命工学工業技術研究所)

走査プローブ顕微鏡 (SPM) は原子オーダーの空間分解能で観察できる新しいタイプの走査型顕微鏡ファミリーである。これを用いて表面の原子像を捉える研究は数多く報告されている。すなわち走査型プローブ顕微鏡は比較的小さな装置で簡単に原子が見えるというところに一つの大きな特徴がある。

そこで生体物質に対してもこの手法を適用して同様の分解能で構造を観察することができれば、生体の構造解析に飛躍的な前進をもたらすと考えられる。例えばタンパク質の構造をいっさいの結晶化や配列化等の操作を行わなくとも、その表面のトポグラフィーに関しては解析できる可能性がある。

しかし現状では生体分子に適用した場合においては0.1ナノメートルの分解能を実現した例はない。その原因としては装置のハードウェアに依存する問題と試料の調製に依存する問題および試料の本質に関わる問題が複合的に関係している。現在これらの問題のそれぞれを克服する努力が幅広く行われており、ハードウェアの面でも試料のハンドリングの面でも進歩が著しい。最終的に原子オーダーの分解能に到達するか否かは別として、走査プローブ顕微鏡の持つポテンシャルが生体物質の構造解析に今後非常に重要な役割を果たすと考えられる。

ここでは原子間力顕微鏡を用いて生体物質あるいは生体膜などの生体分子集合体や細胞を観察した例について、当研究室で得られた結果と世界中で報告されている例を合わせて紹介する。

AFMを用いることによりバクテリアの細胞の形態を生に近い状態で観察することが可能である。ガラス基板上に載せた大腸菌を、自然乾燥させた後空気中室温条件下においてAFMで観察した。菌体は分裂の最終段階にあり分裂溝が深く入っている。側面には2本の短いべん毛も観察される。べん毛の太さは20nmである。菌体の表面はやや凸凹した形状を示しているが、菌体の全体としての形状はよく保存されており、AFMのカンチレバーで大きく変形してはいないことを示している。

生体膜の別の例として赤血球のゴースト膜を大気中自然乾燥した状態で観察したところ、赤血球膜の裏打ち構造であるスペクトリンのネットワークを膜の外側から観察することに成功した。赤血球膜の裏打ち構造は膜を人為的に引き伸ばした状態で初めて電子顕微鏡によりそのネットワーク構造が観察されている。しかし生の形態を保った状態で裏打ち構造を観察した例はこれまで皆無であった。ところがAFMを用いると膜の外側からなぞるだけで内側に存在するスペクトリンのネットワークが浮かび上がってくる。赤血球膜の試料は何の固定操作も施していないため、細胞膜は柔らかいものに対して裏打ちの骨格構造は比較的rigidな構造であることからこのようなことが可能になったと考えられる。

また最近では動物由来の培養細胞を培養液中で生きたままAFM観察することによりアクチンバンドルに由来すると考えられる繊維構造(ストレスファイバー)や細胞表面のラフリングと呼ばれる波打ち状態を観察したことが報告されている。これらの画像の分解能は光学顕微鏡のそれをわずかにうわまわった程度であるが、さらに高い分解能を実現しうる潜在力を持っていると考えられる。