

バイオメディカル・マイクロマシン



東京女子医科大学名誉教授
桜井 靖久

Bio-medical Engineering (BME) には理工学の知恵を医学・医療に応用する面と、生物の知恵を工学に応用する面の二つがある。ここで、生体系の階層的構築と人工的装置のそれとを比べてみると図のようになる。この図からわかるように、生体系の代表的な特長は次のような点である。

①分子器械であること。DNA、たんぱく、酵素、多糖類、脂肪などの生体構成分子は、それぞれが特異的機能を持った機能性分子であり、情報、センサー、効果器、アクチュエーター等、多種多様な役割を分子それ自体が一つの器械として分担している。

②細胞装置であること。ヒトのからだは60兆個の細胞からできているというが、数十ミクロンの細胞一個一個は、それ自体で代謝し、機能し、外界に適応し、さらに増殖さえもする自立性をもっている。マイクロマシンについてのさまざまな設計原理の手本がここにあるように思われる。

③情報内在系であること。生体系に基本的に必要な情報は外から与えられるものではなくて、系の中にビルトインされており、その情報が必要に応じて発現されて生命が継続されるのである。

④バイオホロニクス系であること。数十兆個、200種類以上のさまざまなタイプの細胞が、生命体の維持という一つの目標に向けて統合されて協同作業を続けているのが生体系である。これらの細胞たちは、けっしてよそからの指令や、一つの最高権力者（大統領細胞）の指揮に従って動いているのではなくて、それぞれが一見バラバラに働いていても、全体としては調和した自律分散制御系として統合的に機能している。それをバイオホロニクスといい、道元は正法眼蔵の中で「生は全機の現れなり」と称している。マイクロマシンの多数並列ユニット制御の際の一つの手本と考えられよう。

⑤ホメオスタシス（動的恒常性）。生命とは、まさにエントロピー零ともいえる高い秩序性を自己形成し、かつそれを維持する能力であるともいえよう。その秩序維持は静的なものではなくて、新陳代謝を伴う動的なものである。損傷を受けた時でさえも自己修復作用を発揮して、構造的機能的秩序を回復しようとする。ホメオスタシスは元来は体温、血圧、ホルモン等々の生理的状態の動的均衡を意味する言葉であるが、広義に考えればエネルギーや物質の絶

えざる流れの中で、機能、構造、形態などの秩序が安定に維持されている状態ということもできよう。

⑥クロック内在。時間生理学とか概日周期（Circadian rhythm）という言葉が示すように、生体系には時計が内在されていて、おもに24時間を周期とする可逆的繰り返し現象と、老化 aging という不可逆現象のために時を刻んでいる。ヒトの赤血球の寿命は平均120日だが、それを補うために、血液幹細胞は毎秒200万個以上のスピードで赤血球を産生している。この例でみるように、生体系では多くのユニット間の作業タイミングを合わせる標準時計が必要なのである。生命の流れは無常の時の流れのまにまにあるが、時宜をはかることが生命の知恵には不可欠なのであろう。

さて、BMEにおいて真に役立つ技術を開発するためには、B・M・E間の密接な連携、融合、イメージの一致がなければならない。このたび、通産省、NEDOからの委託により、私たちは日本におけるBME技術、装置の実効ある開発・評価を実施するために「ME連携ラボシステム」を構築することになった。このような場におけるB・M・Eの整合性ある融合が、21世紀のBME、そしてBMEマイクロマシンを生む母体となることを期待するのである。

生体系の構築と人工装置の構造

