

SFの世界に近づけるか？ 「触媒モータ」の仕組みとその応用

吉積 義隆

現代では、ナノテクノロジー研究の嚆矢（こうし）としてしばしば引用されるFeynmanによる1959年の講演“*There’s Plenty of Room at the Bottom*”において紹介された、「服用医師（swallowing the doctor）」という考え方をご存知だろうか。これは、マイクロスケールのロボットを薬のように服用するだけで、このロボットが体内で勝手に外科手術を行ってくれるというアイデアである。また、1966年に公開されたSF映画「ミクロの決死圏（原題：Fantastic Voyage）」では、主人公らが、微細手術を行うための装備を積み込んだ潜水艇ごと縮小されて患者の体内に送り込まれ治療任務を遂行する姿が描かれた。それから半世紀以上が経った現代、このようなアイデアを実現する試みはどこまで進んでいるのだろうか。いまだ夢物語の域を出ないとお思いの方も居られるかもしれないが、実現するための研究は着実に進展している。その例の一つが「触媒モータ」である。本稿では触媒モータの駆動の仕組みや応用例を紹介する。

ここでいう触媒モータとは、「モータ」という言葉から連想されるようなギアなどの回転機構を有する機械とは異なるものであり、化学反応によって溶液中を自発的に泳ぐことができるマイクロスケールあるいはナノスケールの構造体のことである。気泡を噴出しながらあたかもロケットのように動くもの、あるいは、まるで大腸菌のような運動性を示すロッド形状（棒状）のモータが報告されている。前者の例として、Wangらによって報告されたチューブ状触媒モータがあげられる¹⁾。チューブの内側には白金が露出しており、この触媒モータを過酸化水素水溶液に混ぜ入れると、内側の白金によって過酸化水素が分解され酸素の気泡が発生する。このチューブ両端の開口部は大きさが異なっているため、内部で生じた気泡は、成長するにつれ、より広い場所へ移動しようとして最終的にはより大きい方の開口部から飛び出す。この気泡がモータから離れる時の反作用によってモータが運動する。後者の例としては、Malloukらによって報告された白金/金からなるロッド型触媒モータがあげられる²⁾。これは白金と金が連結した構造を有する（赤青鉛筆の赤と青がそれぞれ白金と金になったような形状を思い浮かべていただきたい）。このロッドを過酸化水素水

溶液中に混ぜ入れると、白金と金の表面で過酸化水素がそれぞれ酸化、還元される。この反応がなぜモータの駆動に寄与するのかは少々複雑であるため本稿では深追いはしないが、ロッド周囲の溶液中に形成されるイオンのアンバランスさが重要な役割を果たしている。

このような触媒モータを医療分析に利用する試みが数多く行われており、たとえば、Wangらは抗原抗体反応を利用したがん細胞の分離を行った³⁾。チューブ型モータにがん細胞に特異的に結合する抗体を修飾することで、正常細胞とがん細胞の混在サンプルからがん細胞のみを取り出すデモンストレーションを行った。さらに、ドラッグデリバリーシステムにおける薬剤キャリアとしての触媒モータの可能性についても検討が行われている。触媒モータはそれ自身が運動性を有するので、能動的な薬剤輸送ができるのではないかと期待されている。強磁性体であるニッケルロッドが組み込まれた白金/金ロッド触媒モータによる薬剤送達の実験⁴⁾。また、チューブ型触媒モータの構造に非対称性を導入し、ドリルのような運動をさせることで、基板に固定された細胞へ突き刺さる様子が報告されている⁵⁾。以上のような、細胞などを望みの場所に運搬し、細胞に物理的に攻撃する技術は生物工学上も重要な意味を持つのではないだろうか。

生体適合性など多くの課題から、触媒モータに関する以上の実験は*in vitro*環境（生体外の環境）の条件にほぼ限られており、「服用医師」や「ミクロの決死圏の潜水艇」の実現にはまだ時間を要すると思われる。しかし、学際的な研究の中から生まれる斬新なアイデア次第では、SFの世界も夢ではないかもしれない。

- 1) Manesh, K. M. *et al.*: *ACS Nano*, **4**, 1799 (2010).
- 2) Paxton, W. F. *et al.*: *J. Am. Chem. Soc.*, **126**, 13424 (2004).
- 3) Balasubramanian, S. *et al.*: *Angew. Chem., Int. Ed.*, **50**, 4161 (2011).
- 4) Kagan, D. *et al.*: *Small*, **6**, 2741 (2010).
- 5) Solovev, A. A. *et al.*: *ACS Nano*, **6**, 1751 (2012).