



夢はバラ色

分子ミニチュア

入江正浩*

鉄道模型には、大きさに応じて（線路の幅による）、O、HO、Nゲージなどがあり、最近では更に小型のZゲージがメルクリンから発売されている。よく出来た模型には、本物に負けない魅力があり、走っているのをながめていると、子供でなくとも時間を忘れてしまう。小さくつくること（ミニチュア化、miniaturization）には、それ自体の面白さとともに、小さくすることによる新しい価値の生まれてくることがある。1つの例が高規模集積回路（LSI）である。素子、回路のミニチュア化の達成により、高集積化が可能になり質的変化がもたらされている。コンピュータの小型化による恩恵は、はかりしれない。記録の分野においても、コンパクトディスク、光ディスクに代表されるように、記録部の微小化により、驚くべき高密度記録が可能になってきている。

電子工学の分野におけるこの流れを、有機化学の目で見ていると、ミニチュア化を、いっそのこと分子のレベルにまで、押し推められないかということになる。分子1つ1つは目で見えない対象であるが、有機化学者は、多くの機器を駆使することにより、分子そのものをあたかも見てきたように描き出し、取り扱っている。現在の有機化学の知識を用いれば、さまざまな事物のミニチュアを分子レベルで組みあげることが出来そうである。ここでは動く機械部品、装置をその対象としてとりあげ、考えてみる。

機械部品、装置の分子ミニチュアとみなしていようないくつかの器管が生物界には存在する。車輪を持った生物はこの世には存在していないが、分子モーターを持つ生物は存在する。細菌のペン毛は、回転運動する分子モーターに

より動いていることが明らかにされている¹⁾。この器管を模倣し、そのまま人工的に組みあげることが現状では不可能であるが、その機能の本質をひろいあげ、単純化し、組み立てれば、人工分子モーターにたどりつくことも可能である。更には、もっと単純に、日常使いなれている機械部品、装置の動く機構を模倣することによっても、動く分子ミニチュアの組み立ては可能である。いくつかの部品を分子レベルでつくりあげ、それらを組み立てれば、1つの機械をつくりあげることも夢ではなさそうに思われる。

しかし、これを実現するのはそれ程、簡単ではない。目的とする分子ミニチュアは、形が似ているだけでなく（例えば、オリンピックの五輪の形をした分子をつくるといった形だけの模倣はすでに試みられている）、動くという機能を持っていることが必須の条件となるからである。すでに試みられているもの、つくれそうなものをいくつかとりあげてみる。

最も単純な「はさむ」という機能をもった「クランプ」を考えてみる。分子のレベルにおいて、開いたり、閉じたりするクランプ（あるいはピンセット）が出来れば、分子1つ1つを区別して、つかみあげることが可能になるかもしれない。この試みの1つとして、筆者のグループでは、図1の分子を合成した。この分子は特定の波長（～550 nm）の光の照射により図2 bに示す形に変る。光照射以前（図1 a）は、物をつかむことのできる部分は、はなれているが光照射後は接近し、はさむ機能が生まれる。この分子クランプを用いて、銀イオンを選択的に液膜を通して輸送することに成功している²⁾。

歯車の組み合さった「ギヤー」の分子ミニチュアが検討されている³⁾、図2に示す分子は、両側に歯車として働くトリプチセン分子がつい

*入江正浩（Masahiro IRIE）、大阪大学、産業科学研究所、助教授、工学博士、高分子光化学、放射線化学

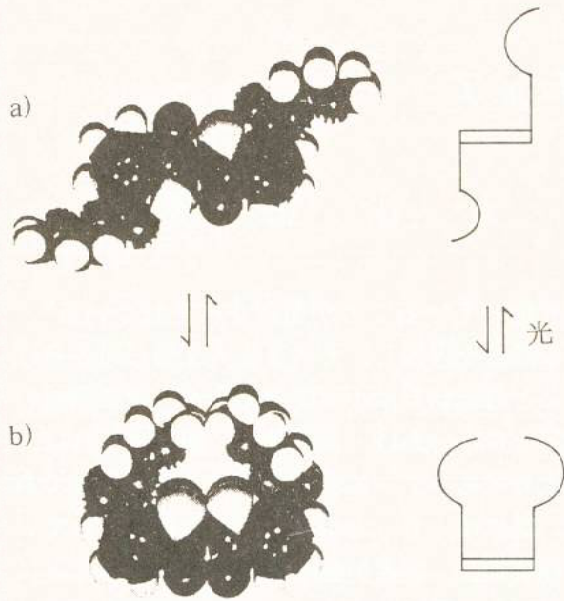


図1 分子クランプの分子模型 (左側) と概念図 (右側)

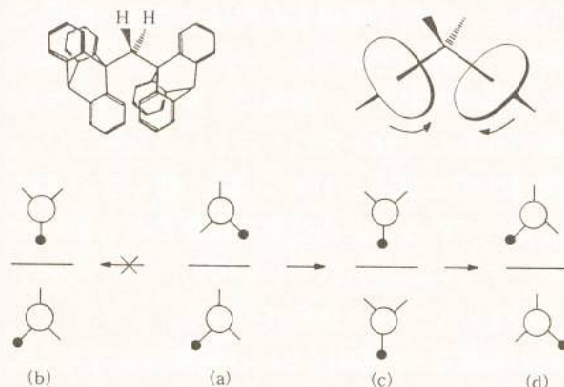


図2 分子ギヤーの分子図 (左側) と概念図 (右側)

ている。一方側のトリプチセン分子が回転すると、他の側のトリプチセン分子が丁度反対回りに回転し、あたかも、回転運動が伝達されるギヤーのように動く。そのしくみを少し詳しく説明すると次のようになる。

おのおののトリプチセン分子は、3つの切れ込みを持っている。両トリプチセン歯車を組みあわせている炭素原子についた2つの水素原子が、一方のトリプチセン歯車の1つの凸部をはさみ込み、他方のトリプチセン歯車の2つの凸部と重なり合った状態がこの分子の最も安定な形態となる。この形態は、図2の(a)のよう

に書ける。一方のトリプチセンが回転し、他方のトリプチセンがそのままの状態(b)は、トリプチセンの凸部同志の立体障害により存在しえない。一方がまわれれば、他方が逆回転する経路(c, d)のみがエネルギー的にゆるされ、その結果、両歯車は逆回転することになる。

“ファスナー”, あるいは“ジッパー”機能を持つ分子も存在する。最も有名なのは、2重らせん構造を持つDNAである。2つのDNAが、相補的水素結合により結合し、らせん構造をとっている。遺伝子複製の基本過程はこのファスナー構造にあるとされている。合成高分子においても、ポリメタクリル酸メチルのアイソタクチック体と、シンジオタクチック体とを比較的極性の低い溶媒中で混合すると、両者がファスナーのようによりそって、ステレオコンプレックスの形成されることが知られている。この分子ファスナーは、ほどける機能をもたないため、現在の所、有用とは言えないが、将来、何らかのしかけを組み込むことにより、開閉自在の機能をもった“分子ファスナー”をつくり

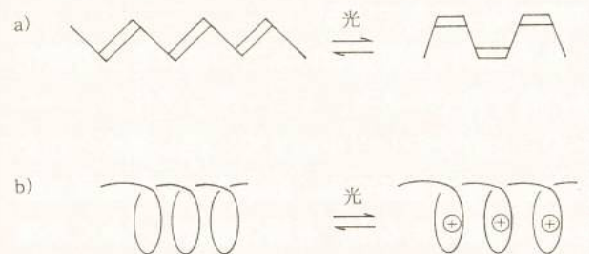


図3 分子スプリングの概念図

あげることは可能と思われる⁴⁾。

伸び縮みする“スプリング”あるいは“アクチュエーター”の分子ミニアチュアとなる高分子の合成も試みられている⁵⁾。光で伸び縮みの構造異性化する分子をつなげて、高分子にすると、その高分子の両末端距離は光照射により伸び縮みすることになる(図3. a)。30~40%変形することが確かめられている。高分子鎖に沿って光照射によりイオンを発生させることによっても、伸び縮みする分子スプリングをつくりあげることができる。(図3 b) 電荷を持たない高分子鎖は収縮した状態が安定であるが、高

分子鎖にそって、例えば正電荷を光生成させると、その静電反発により、伸びることになる。

この分子スプリングを一定方向に配列させることができれば、目に見えるレベルで光変形する材料ができそうである。このことを最初に試みたのは、スイスのメリアンである⁶⁾。光変形する色素で染色したナトロンフナラメントが、光照射により0.1%収縮すると報告している。以来20年間、多くの試みが報告されてきているが、実測された変形量は2%以下と非常に小さく、分子レベルでの変形が、直接材料の変形に結びついているかは、はっきりしていない。

筆者らのグループでは、光照射により可逆的に正電荷を発生させる仕組みを用いて、分子レベルでの変形を、目で見える材料の変形にまで拡大することに最近成功した⁷⁾。この材料は、光照射によりイオン解離する感応基として、トリフェニルメタンのロイコシアニドを約4 mole %含むアクリルアミドゲルである。光照射により可逆的に100~200%光変形する。この材料に重りをつけ、光発生する力を測定した所、約50 g/cm²が得られた。アクチュエーターとしては力不足であるが光変形を応用した他の用い方もいくつか考えられている。薬物をこのゲルに包括すると、薬物の放出速度の光制御（光徐放剤）が可能になる。またこの材料により被覆された多孔質を用いて、水透過の光制御（光駆動バルブ）も実現している。

この材料は電場にも応答して変形する。棒状に成形した材料を平行平板電極間におき、電場（~10V/cm）をかける。光照射すると、屈曲運動をはじめ、まるまった形となる。電場をとりのぞくか、光照射を止めると元の形状のもどる。外液環境を最適化した状態で交流電場をかけると、水中で泳ぎはじめる。動かない、いわば“死んだ”材料を考えられてきた合成高分子に光で動くという新しい機能が与えられたことになる。

これからの有機材料の1つの夢として、“分子ミニチュア”の可能性をのべた。現在は限られた数少ない対象しかとりあげられていないが、今後、多くの機械部品、装置の“分子ミニチュア”が作製可能になれば、それらを組みあわせることにより、分子装置、分子ファクトリーの建設も夢でなくなるかもしれない。

文 献

- 1) 相沢. 現代化学, No 8, 261(1985)
- 2) M. Irie, M. Kato, J. Am. Chem. Soc., 107, 1024 (1985)
- 3) W. D. Hounshell et. al. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 77, 6961(1980)
- 4) K. E. Drexler, Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 78, 5275(1981).
- 5) M. Irie, "Photophysical and Photochemical Tools in Polymer Science", M. A. Winnik ed., Reidel Pub., Dordrecht, 1986, p 269
- 6) E. Merian, Text. Res. J., 36, 612(1966)
- 7) M. Irie, Macromolecules, 19, 2890(1986)