非平衡条件下におけるメゾスコピック スケール機能性会合体の集積

カートハウス オラフ

ここ 30~40 年あまりの間にも、新規な化学物質を合成する方法は革命的な変化を遂げてきたが、現在では、有機溶媒中における自然界に存在しない酵素触媒反応の発見、Merrifield のペプチドとオリゴヌクレオチドの固相合成、または反応容器を小さくする Lab-on-Chip の開発など、これまでにはなかった多種多様な合成方法が生み出されている。

後者の二つの技術は、いわゆる one-pot 合成の中で多くの異なる反応物による段階的な化学反応によって、複雑な化合物の最終生成物の合成を可能にした。将来においては、必要とされる異種要素（既存例として Merrifield ビーズや反応容器）をマイクロメートルサイズまで小型化することやまったく異なる自動反応プロセスによって、さらなる改良がなされるだろう。ところで自動化とはトップダウン方式の工業用機器のさらなるロボット化ではない。真の自動化プロセス（つまり自己組織化である）とは、細分化された反応容器のなかで反応物が何と、どこで反応するか自ら「知っている」ことである。このような多目的かつマルチコンパートメント反応容器となる有力な候補は、高分子または両親媒性化合物の集合体である。それらは、多機能で柔軟性に富み、なおかつ安定した構造をも兼ね備えた特徴をもっている。例えば、Ringsdorf の多層ミセル、いくつかの異なる酵素が組み込まれたイオン性高分子積層フィルム (LbL フィルム) やドラッグデリバリーシステムなどが、その可能性を秘めている。

しかし、私のビジョンを達成するためには、自然界が多様な合成の問題をどう解決しているか、そこから学ぶ必要があると考えている。自然界における生合成が化学合成と何よりも違っているのは、細胞はコンスタントなエネルギーと物質の流れがある非平衡状態にあることである。われわれが非平衡状態、複雑なフィードバック機構、散逸構造、化学エネルギーを利用する能力について解明していくほど、多機能集合体による複雑な化学物質の効果的な one-pot 合成が身近になると考えられる。そのために必要なエネルギー輸送現象および非平衡プロセスのいくつかは既に存在している。例えば：膜中のゲート孔を通じた輸送現象、ATP 駆動の分子モーター、アクチン/ミオシン系を用いた分子の直進運動、ディウエッティングによるポリマー会合体の可逆的形狀変化、などである。これらのプロセスをミセル、リポソーム、ブロックコポリマーのマイクロおよびナノ構造に融合させ、輸送・反応・分離機能を付与することが、私のビジョンの実現につながるであろう。

KARTHAUS, Olaf 千歳科学技術大学・教授、理学博士 (Dr. rer. nat.). 専門は界面科学、フォトニクス、自己組織化。
Integration of Mesoscopic Functional Aggregates under Non-equilibrium Conditions

これから的高分子科学

梶 弘典

2007 年。1987 年に Tang 氏が有機 EL 素子の論文を発表してからちょうど 20 年が経つ。当時は、有機材料に電気を流し、さらに発光させる実用デバイスをつくるなど考えられないことであっただろう。しかし現在、高分子系を含めて、有機 EL は実用化され始めている。今後、高分子はアクティブ材料として大きく活躍するであろう。もちろん、パッシブな利用も重要である。導電部、絶縁部を含めて、すべてを高分子でつくってしまう。基板、封止用保護膜も高分子、電極も高分子でつくってしまう。ただ、ガスバリアー性など、克服すべきものがあるが。その後には、分子素子。デバイス基板上でモノマー一つ一つを制御しながら、目的の場所に、目的の高次構造をもたせながら直接重合していくことが可能になるであろうか？

高分子は、無機材料と比べて製造コストを低く抑えられるはずである。また、高分子がフレキシビリティを有していることは、これからの時代の方向に合致している。これらの特徴に加えて、やはり品質が優れていなければならないし、環境にもやさしくなければならない。品質の向上には、高分子をさらに精密につくる必要がある。立体規則性、分岐構造、末端構造、共重合連鎖など。また、有機 EL 素子で低分子材料はきわめて純度の高いものを使っている。高分子も純度を飛躍的に高められないであろうか？

上述の精密制御を可能にするためには、これらを精密に解析する手法が必要である。やはり NMR であろうか。まだまだ感度と分解能を向上させる必要があるが、高磁場化など従来の方法に加えて、クライオプローブ、dynamic nuclear polarization (DNP)、magnetic resonance force microscopy (MRFM) などの新たな方向が見え始めている。非晶状態でのコンホメーション、パッキングなどの解明も有機 EL では重要。固体 NMR でその精密な解析が可能となりつつある。

精密な合成と精製、精密なプロセッシング、精密な解析。これらの基礎は学問的にも実用面でも重要である。これらの技術があいまって進展すれば、高分子の未来は明るい。そして、自然との融合。自然と相反する方向にいかねばできないことではない。自然は自然に高分子をつくっている。

KAJI, Hironori 京都大学化学研究所・助教授、博士(工学)。専門は高分子材料化学、有機 EL、固体 NMR。
Polymer Science in Future