有機フォトクロミック材料を用いた光並列情報処理 —材料にものを憶え考えさせる には—

Optical Parallel Data Processing Using Organic Photochromic Materials

須丸 公雄

機能分子デバイスの概念がはじめて提案されてからすでに20年余、この分野の研究は現在「ナノテクノロジー」の要素技術として以前に増して活発に行われ、さまざまな機能を備えるデバイス分子の開発が年々数多く報告されている。その一方で、こうして続々と生みだされる分子デバイスの実用化に向け、それぞれの分子デバイスを独立に、あるいは有機的に機能させるシステム化技術の確立が急務となっている。その一端として筆者らは、光照射によって異性化し(情報記憶機能)、その光吸収特性を変化させる(情報処理機能)有機フォトクロミック色素に注目、これを分子デバイスとして用いた光ニューラルネットワーク¹⁾の開発を進めている。

生物の中樞神経系(脳)を模倣した光並列情報処理のアーキテクチャーである光ニューラルネットワークは、光の特性を利用することで、多数の情報処理単位(ニューロン)間に互いに干渉しない膨大な可塑的相互結合(シナプス)を実現、並列・分散的に高速演算を行うものである。この分野における研究では従来、情報処理機能を担う光メモリ型の空間光変調素子として、高感度・高コントラストの無機系デバイスがおもに用いられてきたが、記憶情報を長時間保持できない、高電圧による駆動を必要とするなど、これらデバイスのデメリットが実用上の問題となってきた。

一方、有機フォトクロミック色素には無電源駆動・シンプルなデバイス構造といった実用上の大きなメリットがあるが、宿命的に感度やコントラストが低く、そのうえ従来のものは情報保持特性や繰り返し耐久性に致命的な問題があり、このような情報処理システムへの応用が具体的に検討されることはこれまでほとんどなかった。しかし近年のジアリールエテン系色素の開発によってその特性が飛躍的に向上し、とくにごく最近では、製膜後においても1万回を超えるデータの書き込み/消去の繰り返しに劣化することなく、記録された情報を数年にわたって安定に保持するものが開発されるに至っている¹⁾。また、分子一つひとつが光機能を担っているため、バルク特性によって光機能を発現する従来の無機系材料に比べ、デバイスの高集積化・高効率化も期待できる。

そこで筆者らは、優れた光機能を備える有機フォトクロミック材料を用いて、新しい光ニューラルネットワークの設計を行った。これは、これまでにも受動的な光記憶媒体の用途が検討されてきた有機フォトクロミック薄膜の光機能をより積極活用することで、「経験」として蓄積された情報を直接用いて2次元情報を超高速で並列処理し、その結果に基づいて記憶内容を有機的に更新、さらにそれを長期間安定に保持することを目指すものである。計算機シミュレーションによる検討の結果、筆者ら提案のアーキテクチャーが高い情報処理特性と汎用性を有することが強く示唆された²⁾。そしてその結果を受けて、実際にプロトタイプシステムを試作し、作製したジアリールエテン系フォトクロミック薄膜をシステムに実装して予備実験を行った。これまでに可逆的な光書き込み/消去と解像度70 μm の条件における光パターンマッチング機能を実験的に確認している(表紙参照)³⁾。

このように本研究によって、有機フォトクロミック材料を新しい光情報処理に応用するスキームが具体的なかたちで示されたが、現状では依然、材料をバルク的なレベルでしか活用できておらず、分子デバイスの独立制御に程遠い。しかし昨今、自己集積・自己組織化に基づく新たなプロセス技術、計算機科学の手法を駆使した分子設計技術、AFM・STMに代表されるマイクロコピーの技術など、ナノスケールのシステム化に資する要素技術が、日々目覚ましい進歩を遂げている。システム設計の発想に基づいてこれらの技術が応用されれば、分子デバイスの機能に基づく夢のナノシステム実現が夢でなくなる日は、そう遠くないかもしれない。

文献および注

- 1) 入江正浩: 応用物理, 66, 3 (1997)
 - 2) K. Sumaru, *et al.*: *Opt. Eng.*, 38(2), 274 (1999)
 - 3) K. Sumaru, *et al.*: *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 345, 263 (2000)
- 注a) 人工ニューラルネットワークモデル(ニューラルネットワーク): 生物の中樞神経系(たとえば人の脳)を模倣した情報処理系のモデル。多数の情報処理単位(ニューロン)とそれらを相互につなぐ膨大な可塑的な結合(シナプス)による並列のアナログ情報処理を特徴とする。従来の逐次処理型(ノイマン型)デジタルコンピュータが苦手とする、曖昧な情報を含んでいる問題や多くの要素が複雑にからみ合うような問題を、「経験」としてシナプスに蓄積された記憶に基づいて柔軟に処理することができる。おもにプログラムの形で実現され、すでにさまざまな情報処理分野において広く応用されているが、大規模なシナプス相互配線をハードウェアとして実現するには至っていない。光の特性を利用した光ニューラルネットワークは、これをインプリメントするもっとも有力なアーキテクチャーのひとつであり、映像やパターンのリアルタイム認識などへの応用に向けて現在盛んに研究されている。シナプス結合強度を局所透過率の2次元分布として記憶するメモリ型の空間光変調素子(Spatial Light Modulator, SLM)に、2次元強度分布を有する光を照射し、その透過光強度の分布を検出することにより、数多くの入力変数と膨大なシナプス結合強度の間の積和(内積)演算が並列的・瞬間的に行われる。