

## 研究課題別 中間評価結果

### 1. 研究課題名: 液晶ナノシステム

### 2. 総括責任者: 横山 浩 (産業技術総合研究所 ナノテクノロジー研究部門長)

### 3. 研究概要

本研究は、ナノ構造液晶を基本的な構成要素として、分子秩序に基づいて動的機能を果たす分子ナノシステムの実現を目指す。実用化(メモリー効果液晶デバイスの開発等)を意識した表面配向マイクロパターン研究から、自己組織的分子ナノシステムの構築、ナノシステムの理論・シミュレーション技術の確立といった、基礎的なものまでを包含し、学際的な体制を構築することで研究を推進している。本研究では、上記研究理念のもと、3つの研究テーマ(「表面配向マイクロパターン」、「液晶コロイド」、「分子ダイナミカルシステム」)が遂行されており、以下これらの研究概要について述べる。

表面配向マイクロパターン研究では、ERATO 研究で実証された液晶のメモリー効果について実用デバイスのプロトタイプを実現することを目標とし、光配向技術とナノインプリント技術によるマイクロパターンニングに取り組んだ。金属クロム膜のフォトマスクを用い紫外直線偏光を照射する方法で、最大 40mm 四方の領域に表面配向マイクロパターンを作成することを可能にした。液晶配向性およびナノインプリント性の両方を有する新しいポリイミド・ナノインプリント材料を用い、より高温下でも安定したナノインプリンティングを可能とした。同時に、表面凹凸パターンによる双安定性に関して研究を行い、面内に4回対称性を有するナノインプリントパターンを用いることで、二方向の面内電界でスイッチングが可能な新規双安定ネマチック素子を作製した。これらの実験に理論的指針を与えるためにシミュレーション技術を用いることにより、セルごとに水平・垂直配向混合とした時の機能について検討を行い、従来の基板面内電界ではなく、より一般的な垂直方向の電界で双安定スイッチングする機能の可能性を見出した。また、ナノインプリンティング技術に関して多次元でかつ表面の形状が平坦ではない系についての計算を可能とするスキーム構築を行った。さらに表面パターンに由来するアンカリングを解析的に考察する上で、Berreman の理論に本質的な見直しが必要であること、およびアンカリングのエネルギーの方位角依存性も Berreman が導いたものとは異なることを示唆する結果を得た。

液晶コロイド研究では、多体効果を考慮した粒子間相互作用の解明を目標とし、実験的・理論的側面から研究を行った。光応答性分子からなる薄膜を用いて、固体微粒子が鎖状に連結した1次元コロイドの創製と配向方位の制御が可能であることを明らかにした。また、光応答性分子を液晶に混合した系では、アゾベンゼン誘導体の光異性化反応を用いて液晶相転移温度を空間的に変調させることによって、コロイド粒子の凝集を光で空間制御することを可能にした。液晶-気体コロイド系では、液晶に気泡を注入し規則的な配列構造を作ることが可能になり、また応用面が期待されるスメクティックフォームの製作も可能となった。理論的研究からは、ヘッジホッグ構造に

ついでの数値的解析を行った。

分子ダイナミカルシステム研究では、液体中のキラル液晶薄膜をプロトンが移動した際に、分子が集団で一方向に歳差運動する様子の観察を行い、計測をしたところタンパク質モーターのエネルギー変換効率に比べて2桁ほど低い効率で回転が生じることが分かった。キラル液晶は物質を透過させる際にその種類によって回転運動の方向も速度も変えることがわかり、回転によって分子種を選択透過させる機能が応用面で期待される。

## 4. 中間評価結果

### 4-1. 研究の進捗状況と今後の見込み

原子間力顕微鏡(AFM)ナノラビングに代わって光配向技術を用いることで、最大 40mm 四方のマイクロパターンの作成を可能とした等、表面配向マイクロパターン研究は、特に良く進捗していると評価出来る。また、より配向安定性の高いナノインプリンティング技術も順調に進捗しており、今後より大きなサイズでの配向が可能になると期待出来る。

理論面では、液晶科学での従来の指導的理論であった Berreman 理論に本質的な見直しが必要であることを示す結果を得ている。例えば、Berreman モデルでは予測不可能な正方格子状に配向処理した基板を用いて自由エネルギーが二安定値を示すことを発見する等、当初想定しなかった研究展開が得られている点も特筆すべきである。今後さらに精緻な検討を進めれば、表面配向や表面アンカリング等、「液晶の表面科学」に新たな展開や原理をもたらすと思われる。

液晶コロイド研究では、スメクティック液晶に気泡を注入して規則格子構造を作り出す等、いくつかの興味深い知見が得られている。その一方で今後は、このスメクティックフォームが応用面から見てどのようなアドバンテージがあるのかを、実験事実を基に示す必要がある。研究代表者は、当該研究分野において世界的に見ても先導的立場にあるため、分子ダイナミカル研究と併せて応用面での具体的展望についても検討を進めてもらいたい。

### 4-2. 研究成果の現状と今後の見込

表面配向マイクロパターン研究における、光配向およびナノインプリントによる液晶配向技術は高い技術的インパクトを有している。一方で、光配向技術は実用的安定性が得られない等の問題が指摘されており、実用性が今後の課題であろう。その観点から言えば、ナノインプリント技術は大いに期待出来るものであり、実際に新規双安定ネマチック素子の作製を可能にした点は評価出来る。また、研究においては、Berreman 理論の見直しを指摘したことが基礎的知見として強いインパクトを有している。

液晶コロイド研究に関連した技術では、液晶に気泡を分散した規則格子構造の構築等は、新素材開発の基礎として期待出来る。また、分子ダイナミカルシステム研究では、キラル液晶分子の回転運動の直接観察から、集団運動との相関を解明する等、興味ある成果が得られているが、既に前節で述べたように、これらの成果をどのような分野での展開へと導くのが課題となるであろう。

なお全般を通じて、論文発表等においても、質・量の両面からかなりの成果が上がっていると言え、特にインパクトファクターの高いジャーナルへ4報の論文を投稿していることは注目に値する。

#### 4-3. 総合的評価

独創的な発想の下に研究が進められており、これまでの成果をさらに発展させようとする姿勢は高く評価出来る。実験と理論を常に連携させて研究を推進していることが、Berreman 理論の見直しを指摘することに結びつく等、その研究体制ならではの成果が生み出されている。

本研究は、「科学」と「技術」の両面から推進されている。パターン配向した大面積メモリー性液晶デバイスの開発や、気泡格子構造を持つスメティックフォーム等の新素材開発は応用面で期待され、今後はこれまでに得られている「科学」的成果を「技術」に展開する方向性を一層強めてもらいたい。

研究代表者は、本研究分野において世界を主導する研究者である。我が国の得意とする液晶ディスプレイの基礎技術を融合し、全く新しい液晶デバイスを構築する戦略的基礎研究という視点から、引き続き世界を主導して研究を展開することを期待したい。