

ソフトマターのミクロ力学物性

(九州大学大学院理学研究院) 木村康之

【はじめに】

生体をはじめとしたソフトマター複合系には、さまざまなスケールでの階層的な構造が存在するとともに、異種のソフトマターが接するメソスコピックスケールの界面が存在する典型的な複雑系である。我々は、このようなソフトマター界面の構造やダイナミクスに焦点をあて、それらを解明するための研究手法の開発とそれを用いた物性研究ならびに応用を視野に入れた研究を本研究課題において進めようとしている。本講演では異種のソフトマター複合系の例として、(1)ネマチック液晶中に高分子液滴が分散した系、(2)ネマチック液晶中にコロイド粒子が分散した系、ならびに(3)界面活性剤2分子膜ラメラ構造中にコロイド粒子が分散した系を取り上げ、分散粒子間の相互作用と構造形成ならびにそのダイナミクスについて現在までに得られた結果を報告する。

【高分子液滴分散液晶系における構造形成】 [1]

等方液体混合系の相分離は従来研究が行われてきたが、液晶に高分子を微量混合した系の相分離に関する研究は多くない。ネマチック(N)相を示す液晶に数%程度の高分子を混合した系では、等方相の低温側に安定なN相が出現し、N相から混合系を急冷すると高分子液滴がN液晶中に相分離して析出してくる。この際、液晶が配向秩序を有するために、相分離した高分子液滴が凝集し、図1に示すような特異な構造を自己組織的に形成する。

一般に、数ミクロン程度の微粒子を液晶中に分散させると、微粒子が液晶の配向を乱し、粒子自身が配向欠陥(トポロジカル欠陥)となる。例えば、粒子表面で液晶が界面に対して垂直に配列する場合(図2)には、粒子そのものが radial hedgehog と呼ばれる3次元点欠陥となる。さらにこの歪みを緩和するために粒子近傍には新たに例えば hyperbolic hedgehog と呼ばれる欠陥が誘起される。従って、粒子の導入により1対の粒子-欠陥対が自発的に形成される。さらに、液晶の弾性理論と静電気学とのアナロジーから、1対の粒子-欠陥対は“双極子”と見なすことができることが知られている。従って、図2のようなネマチック液晶中におけるコロイド粒子間には液晶の弾性歪みに起因した双極子 双極子型の長距離相互作用が働くために、図1のような鎖状構造が自己組織的に形成されると考えられる。図1(左)で

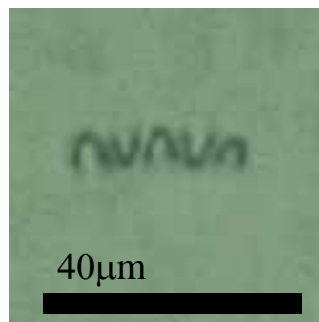
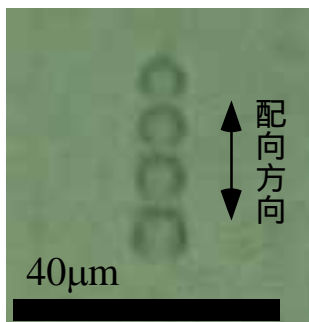


図1 N液晶中で高分子液滴が形成する鎖状構造。(左)平行配列、(右)反平行配列。

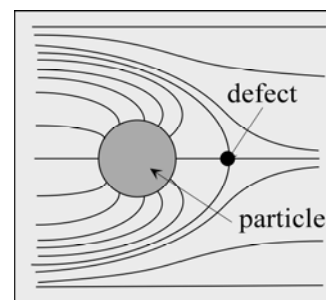


図2 N液晶中の粒子-欠陥対(双極子型)。

は液滴 - 欠陥対が液晶の配向方向と平行に配列して鎖状構造を形成しており、図 1 (右)では反平行に配列することで液晶の配向方向と垂直に伸びた鎖状構造が形成されている。

【コロイド粒子分散液晶系における粒子間相互作用】 [2]

上述のようにN相における粒子間には液晶の配向ひずみに起因した長距離相互作用が働いている。我々は光ピンセットを用いて、液晶中におけるコロイド粒子間相互作用を直接測定することを試みた。具体的には、コロイド粒子表面で液晶分子が表面に垂直に並ぶよう配向処理をした粒子を2本のレーザーを用いてそれぞれトラップし、両者間の距離を変化させつつ、光ポテンシャルを用いて粒子間に働く力を直接測定した(図3)。その結果、2つの粒子 - 欠陥対(双極子)が平行かつ同じ方向を向く場合には、粒子間に働く力 F は粒子間距離 R が大きいときには $F(R) \propto R^{-4}$ で与えられる。一方、 R が小さい場合には粒子の間に欠陥が存在するために粒子は近づかず、斥力成分が発生することがわかった。

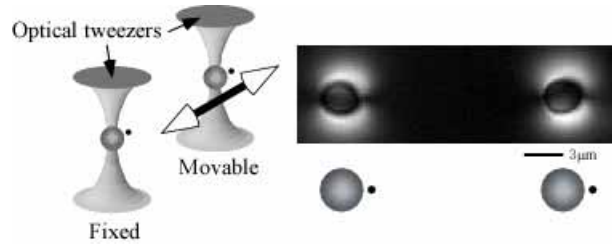


図3 2ビームレーザートラップを用いた粒子間相互作用の直接測定。

【ラメラ構造中でのナノ粒子のダイナミクス】 [3]

メソスコピックスケールの界面が作る構造の例として界面活性剤2分子膜と水層が交互に1次元配列したラメラ構造がある(図4)。類似した膜構造は生体中でしばしば見られ、このような構造中でのタンパク質やDNAなどのナノ粒子の受動的輸送現象は生体機能の理解という観点からも興味深い。我々はこれまでにラメラ構造中のナノ粒子の輸送現象に階層的空間構造に起因した時間的階層構造が存在することを報告してきた[4]。特に、長時間スケールでのダイナミクスには構造欠陥が深く関わっていると予想され、図5に示すようなガラス系で特徴的に観測されるトラップ - ジャンプ型の運動が観測された。



図4 ラメラ構造中のコロイド粒子。

さらに、このような能動的測定に加えて、光ピンセットを用いた粘性測定を行ったところ、欠陥構造の緩和に起因すると思われる非線形挙動 (shear thinning および降伏応力の存在) が観測された。

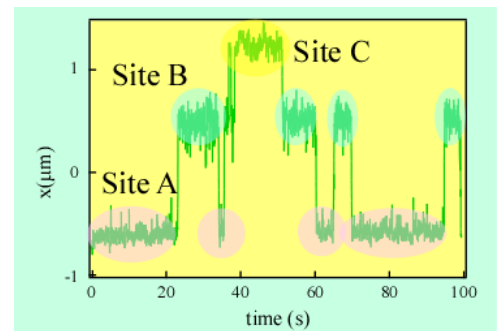


図5 ラメラ中のナノ粒子の運動。

【参考文献】

- [1] K. Kita, M. Ichikawa and Y. Kimura, *Bussei Kenkyu* **87**(1) (2006).
- [2] K. Takahashi, M. Ichikawa and Y. Kimura, *Liq. Cryst.*, to be accepted.
- [3] Y. Kimura and D. Mizuno, *Liq. Cryst.*, to be accepted.
- [4] Y. Kimura, D. Mizuno, A. Yamamoto and T. Mori, *J. Phys. Cond. Matter*, **17**, S2937 (2005).