

研究種目：特定領域研究

研究期間：2006～2010

課題番号：18068011

研究課題名（和文） ソフトマターにおける構造と輸送の動的結合

研究課題名（英文） Coupling Between Structure and Transportation in Soft Matter

研究代表者 太田 隆夫 (OHTA TAKAO)

京都大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：50127990

研究分野：相転移理論・実験

科研費の分科・細目：物理学、化学物理・生物物理

キーワード：マイクロ相分離、動的結合、共連結構造、マニピレーション、トポロジー

1. 研究計画の概要

本研究課題では、内部自由度の運動や輸送によって階層構造を発現するソフトマターにおいて、非平衡性としての“運動”と“構造”の動的な結合のメカニズムを、理論・実験の両面から明らかにする。すなわち、外場によるメソスコピック構造の非線形応答、非線形粘弾性や、メソ構造とゲスト粒子との相互作用を調べることにより、新しい構造の探求、階層性をもつダイナミクスの普遍性を解明することを目的としている。

2. 研究の進捗状況

これまで、メソスコピック構造の変形ダイナミクスとその上に局在する運動に着目して研究を進めた。

理論的には(1)特異なトポロジー構造をもつジャイロイドの粘弾性理論を発展させた。この結果、ドメインの変形とそれに伴う濃度の緩和によるレオロジーを明らかにした。また、それと関連して、(2)半剛直な高分子の複素弾性率を解析的に計算した結果、高振動数ではこれまで知られていない興味深い新しい振る舞いを予言し、スケーリングの解釈に成功した。さらに、(3)ベシクルの形状不安定性を、ベシクル脂質分子と環境との化学反応キネティクスを議論することで理論的に説明した。また、(4)メソスケールでの非線形非マルコフ過程のゆらぎの定理を導出した。特に、記憶関数が時間のべき関数のときのゆらぎの定理の成立条件を明らかにした。

実験的には、(5)液晶秩序を用いた分子マニピレータの新しい原理を考案した。光官能性アゾ液晶を用いたプロトタイプ試作し、

蛍光性の高分子を凝集させることに成功した。(6)全フッ素化液晶をフッ素油で膨潤させた系で、初めて超膨潤サーモトロピックスメクチックAおよびC相を発見した。マイクロ相分離が作る液晶系での、超膨潤状態の安定化と層間での分子の傾きを伝達する機構を研究中である。(7)全フッ素化液晶と炭化水素液晶混合系で、ネマティック秩序中にマイクロ相分離の膜状会合体が層状に積み重なったネマティックラメラ相を発見した。マイクロ相分離のトポロジーと液晶秩序の競合による、さらなる新しい相の発見が期待できる。(8)高分子安定化ブルー相において、欠陥凍結による新しいタイプの非平衡過冷却相のダイナミクスを明らかにした。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

理由：理論研究では、非線形粘弾性理論を発展させ、ジャイロイド構造や剛直高分子鎖のダイナミクスを理論的に解析することに成功した。また、ベシクルの形状不安定性を、脂質分子と環境の化学反応キネティクスで説明した。このように、構造と物質内の分子の運動・輸送に関わる現象を、理論面から統一的に論じることに成功してきた。

実験的には、まさに液晶の秩序構造によって高分子などの溶質分子の輸送を駆動する新しい原理を考案し、プロトタイプを試作して、モデル的な蛍光高分子を集めることに成功している。また、全フッ素液晶混合系では、マイクロ相分離構造と液晶分子のダイナミクス（運動）の競合による新しいタイプの秩序を持つ新しい液晶相を見いだした。

4. 今後の研究の推進方策

理論的には、外場によるソフトマターの非平衡ダイナミクスの研究を行う。メゾ構造の安定性や物性特性を調べるための計算機シミュレーションを行い、特に、共連結構造に対する非線形粘弾性理論を発展させる。ソフトマターのガラスダイナミクスでは記憶効果をもつ非平衡確率過程の理論を発展させなければならない。最近、進展しているいわゆる「揺らぎ定理」に関係するさまざまな関係式をソフトマターのメソスケール定常系に定式化し実験と比べられるように適用する。

理論研究ではその他に、マイクロ相分離構造のダイナミクスを理解するため、構成する高分子鎖の粘弾性理論を発展させる。得られた結果をATM法等による実験と比較する。二つ以上の外場のもとでのソフトマターの応答と輸送の問題は非平衡統計物理学の見地から重要である。この定式化を試みる。さらに、自己推進するソフトマターと関係したモデルの導入と理論解析を行なう。

実験的には、(1)全フッ素液晶との混合系では、①ずり粘弾性測定、流動複屈折、流動誘起相転移など、力学物性・力学応答の測定と、②蛍光退色回復法による拡散の異方性を測定から、膜のトポロジーを明らかにして、これらの相の内部構造とダイナミクスを研究する。そして、局所的な配向秩序とマイクロ相分離構造との結合から生まれる、新しいタイプのマイクロ相分離系を体系的に理解する。

(2)分子マニピュレータによる分子輸送
今後、紫外レーザー光を高開口数の対物レンズで絞って制御空間精度を向上させ、マニピュレーション時間の短縮を行う。この際、アゾ液晶分子の拡散が問題となると考えられるので、高分子アゾ液晶を用いて解決する。脂質2分子膜上で蛍光修飾した生体分子を用い、改良型のマニピュレータで、生体膜上のタンパク質の輸送機構を模倣するモデル系を構築し研究する。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 16 件)

(1) T. Hiraiwa and T. Ohta, Viscoelastic behavior of a single semi-flexible polymer chain, J. Phys. Soc. Jpn., 77 023001-023005 (2008) (査読有)

(2) T. Ohta and Takahiro Ohkuma, Fluctuations and response in non-equilibrium steady state, J. Phys. Soc. Jpn., Vol. 77, 074004-1 - 074004-5 (2008)

(査読有)

(3) R. Tamate, K. Yamada, J. Vinals, and T. Ohta, Structural rheology of microphase separated diblock copolymers, J. Phys. Soc. Jpn., 77, 034802-1 - 034802-7 (2008) (査読有)

(4) T. Sakaue and T. Ohta, Probing Nonequilibrium Fluctuations through Linear Response, Phys. Rev. E 77, 050102R (2008) (査読有)

(5) J. Yamamoto and I. Nishiyama, Prog. Theor. Phys. Supple., 175, 114-122 (2008). (査読有)

(6) M. Nishihara, Y. Murakami, T. Shinoda, J. Yamamoto and M. Yokoyama, Chem. Letters, 37, 1214-1215 (2008). (査読有)

(7) M. Kojima, J. Yamamoto, K. Sadakane, K. Yoshikawa, Chem. Phys. Lett. 457, 130-133 (2008) (査読有) .

[学会発表] (計 18 件) 国際会議発表・研究代表者・分担者が筆頭の発表のみ

(1) T. Ohta, Structural Rheology of Microphase Separated Diblock Copolymers, Juelich soft matter days 2008 (11/11-14, 2008), Bonn, Germany

(2) T. Ohta, External Forcing and Feedback Control of Nonlinear Dissipative Waves, The 5th International Conference on Nonlinear Science, Dynamics Days Asia Pacific (9/9-12, 2008), Nara, Japan

(3) Jun Yamamoto, Light Induced Structural Color Change and Dynamics of Isotropic Smectic Blue Phase, LC2CAM, 8/7, 2008, Boulder

(4) T. Ohta, Fluctuations and response in non-equilibrium steady states, International Workshop on Bio-soft Matter 2008 (6/9-10, 2008), Tokyo, Japan

(5) Jun Yamamoto, Structure and Dynamics of Isotropic Order, International Symposium on Non-equilibrium Softmatter, 6/3, 2008, Kyoto.

[図書] (計 1 件)

山本 潤 (共著)、ブッカーズ、トポロジーデザインング、95-107 (2009)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

なし