

研究種目：特定領域研究

研究期間：2006～2010

課題番号：18068001

研究課題名（和文） 非相溶高分子ブレンドのトポロジー転移と電気粘性効果

研究課題名（英文） Topological transition and electrorheological effect
in immiscible polymer blends

研究代表者

折原 宏 (ORIHARA HIROSHI)

北海道大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：30177307

研究分野：ソフトマター物理

科研費の分科・細目：物理学・生物物理・物理化学

キーワード：レオロジー、トポロジー、電気粘性、高分子ブレンド、共焦点レーザー顕微鏡、
液晶、モルロジー、界面

1. 研究計画の概要

ソフトマターはその柔軟性のために外場（電場、磁場、流動場）により容易に大変形が起こり、その結果として粘弾性等に劇的な物性変化が生じるため、応用上も重要である。例えば、互いに相溶しない2種類の流体を混合すると単一の流体には無い新たなレオロジー的性質が現れることが古くから知られている。本研究では、流動および電場下においてソフトマター（主に非相溶高分子ブレンドと液晶）の3次元動的構造観察とレオロジー測定が同時にできるシステムを構築し、非平衡系における構造とレオロジーの関係、さらに転移機構を明らかにする。

2. 研究の進捗状況

初年度に、共焦点レーザー顕微鏡とレオメーターを合体した装置を構築し、せん断流および電場下において非相溶高分子ブレンドの構造変化を観察できるようになった。この装置を用いてソフトマターの外場応答を調べたところこれまでに以下の成果が得られた。

(1) 液晶性高分子とオイルのブレンドにせん断および電場を印加したところ、カラム、ウォール等の構造およびその形成過程が4D（3次元空間+時間）で鮮明に観測することができた。カラム構造に関しては電場による弾性の増大を見出し、その起源を理論的に明らかにした。

(2) 非相溶高分子ブレンドにせん断流下でステップ電場を印加したときのせん断応力測定および構造観察を行なった。次元解析により電場が時間に依存する場合のスケーリ

ング関係を導出し実験結果と比較したところ、良く一致していた。無電場下でせん断速度をステップ的に変化させたときのスケーリング関係は実験的に検証されていたが、電場については本研究により初めて導出され、実証された。

(3) せん断流下で分散したドロブレットの交流電場に対する応答を調べた。その結果、応力が印加電場の周波数の2倍の周波数を持って振動し、周波数依存性にドロブレットの変形に由来する特徴的な緩和が見られた。MM(Maffettone-Minale)モデルを用いてこの結果を解析したところ、ドロブレットの変形モードに対する固有値が複素数になることが判明した。実際、応答関数には実部が負になるところがあり、単純な緩和でなく、減衰振動であることが明らかとなった。この結果は、MMモデルによれば、ポテンシャルを持たない速度勾配テンソルの反対称部分に起因するものであり、非平衡定常系の顕著な特徴の一つであることがわかった。

(4) 電場下におけるネマチック液晶の粘弾性特性を調べた。液晶の構成方程式であるエリクセン-レスリーの方程式を解くことによって、複素粘度の表式を導出するとともに、粘性係数が知られている液晶を用いてこの表式が正しいことを実証した。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

本研究では、流動および電場下においてソフトマターの構造変化を3次元的に観察する装置の構築が大きな目的の一つであったが、初年度にほぼ完成し、2年目以降は個々

の測定試料に合わせて装置の改良を行なっている。この装置を用いた非相溶高分子ブレンドの研究では、当初3年目までに計画していた定常状態および過渡状態の観測はほぼ一通り終え、現在はその解析およびこれまでの研究で新たに発見した構造の研究に着手している。また、当初予定になかった低分子液晶の研究にも本装置が有効であることが分かり、低分子液晶における電気粘性効果の研究も始まった。ただ一つ遅れているのが、高分子の合成であるが、次の「今後の研究の推進方策」に述べるように打開策がある。

4. 今後の研究の推進方策

(1) 非相溶高分子ブレンドの構造とレオロジーの関係が明らかになるにつれ、構成流体の粘度のみならず界面張力、誘電率、導電率等の物性が当初の予想以上に重要であることが分かって来た。これらの影響を調べるためには、物性値の異なる高分子の合成が不可欠であるが、これまで原料の入手が困難であった。最近、ある企業から原料が提供されたので、今後は高分子の合成も進めることができる。

(2) 電場の下での構造の大変形は本研究の主テーマであるが、無電場および微小電場下におけるドロプレットの変形、合体もドロプレットサイズの制御という応用的観点からは重要である。今後は、これまでの研究を継続するとともに、構築した装置を用いて弱電場下での研究も行なう。

(3) 低分子液晶では外場下で種々の不安定性が現われる。本研究で開発した手法を用いてせん断流および電場下における低分子液晶の不安定性を調べる。

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 25 件)

- ① Y. H. Na, T Shibuya, S. Ujiie, T. Nagaya, and H. Orihara
“Stripe Formation in an Immiscible Polymer Blend under Electric and Shear-flow Fields”
Phys. Rev. E, Vol. 77, 041405-1 - 041405-4 (2008) (査読有)
- ② H. Orihara, K. Tanabu, and Y. H. Na
“Scaling Properties of Immiscible Fluid Blends in Electric and Shear Flow Fields”
J. Phys. Soc. Jpn., Vol. 77, 093802-1 - 093802-4 (2008) (査読有)
- ③ H. Orihara
“Phase Transitions in Ferroelectric

and Antiferroelectric Liquid Crystals”
Ferroelectrics, Vol. 355, 19-27 (2007)
(査読有)

- ④ H. Orihara, T. Shibuya, T. Nagaya, and S. Ujiie
“Topological Transition of an Immiscible Polymer Blend in Electric and Shear Flow Fields”
J. Phys. Soc. Jpn., Vol. 75, 063802-1 - 063802-4 (2006) (査読有)
- ⑤ M. Fujiwara, K. Satoh, S. Kondo, and S. Ujiie
“Liquid Crystalline Properties and Molecular Packing of Semifluorinated n-Alkanes F(CF₂)₁₀(CH₂)_mH”
Macromolecules, Vol. 39, 5836-5842 (2006) (査読有)

[学会発表] (計 48 件)

- ① Y. H. Na, K. Tanabu, K. Aida, R. Sakai, T. Kakuchi, S. Ujiie, and H. Orihara
“Structural Changes and Rheological Characteristics of Immiscible Polymer Blends under Shear Flow and Electric Fields”
42nd World Polymer Congress (Macro 2008) (Jun. 29-Jul. 4, 2008), Taipei, Taiwan
 - ② Y. Watanabe, T. Nonaka, H. Orihara, and S. Ujiie
“Chiral Liquid Crystalline Systems with Cholesteric and TGBA* Mesophases”
The 22nd International Liquid Crystal Conference (June 29-4, 2008), Korea, Jeju
 - ③ A. Fajar and H. Orihara
“Linear and Nonlinear Dielectric Responses in Low Temperature Region of MHPOCBC”
11th International Conference on Ferroelectric Liquid Crystals (Sep. 3-8, 2007), Sapporo, Japan
 - ④ H. Orihara
“Phase Transitions in Ferroelectric and Antiferroelectric Liquid Crystals”
The 5th Asian Meeting on Ferroelectrics (Sep. 3-7, 2006), Noda, Japan
 - ⑤ S. Ujiie
“Synthesis and Orientational Behavior of Liquid Crystalline Polymers having Hydrophilic Units”
2006 the 10th INTERNATIONAL SYMPOSIUM On Advanced Display Materials and Devices (Jun. 22-23, 2006), Kumamoto, Japan
- [その他]
URL: <http://softmatter.jp/index.htm>