

# 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

北大院工・教授 折原 宏

側鎖型液晶性高分子(LCP)と絶縁性オイル(OIL)の非相溶ブレンドでは、せん断流下で電場を印加すると粘度の増大（電気粘性効果）が見出され、すでに福祉機器のブレーキとして実用化されている。このようなブレンドでは無電場下においてドロプレットが分散した構造をとるが、LCPがドロプレットとなるブレンドをタイプ1、OILがドロプレットとなるブレンドをタイプ2ブレンドと呼んでいる。本研究では、共焦点レーザー顕微鏡（CLSM）を用いてせん断流および電場下におけるこれらブレンドの構造観察を行ない、構造と応力の関係を調べている。タイプ1ブレンドではドロプレット分散構造からネットワーク構造への変化が観察されているが<sup>1)</sup>、以下ではタイプ2ブレンドの結果を紹介する。

## 1. タイプ2ブレンドにおける層構造の形成・消滅過程<sup>2)</sup>

ブレンドの組成比は LCP:OIL=2:1 である。Fig.1 に実験系を示す。レオメータの下部回転盤には透明電極付きガラス板を用いており、これを通して CSLM による観察を行った。印加電場は周波数 10Hz の交流電場である。ガラス面に垂直な方向を z 軸、流れの方向を x 軸、これらに垂直な軸を y 軸とする。通常は xy 面の観察に限られるが、本研究では xz 面と yz 面も観察するため対物レンズにピエゾアクチュエータを取り付け、一定の速度（1mm/sec）で 100 $\mu$ m 上下させ、CLSM を 1 次元スキャンさせた。

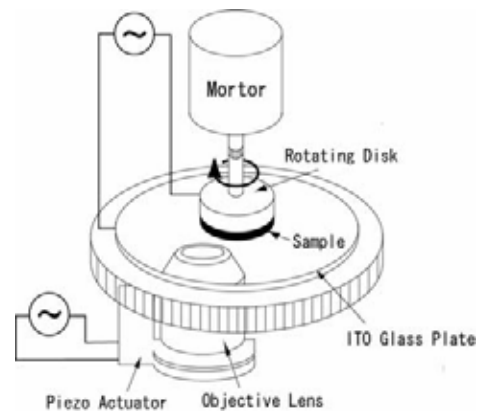


Fig.1 Schematic illustration of experimental system.

タイプ2ブレンドにせん断速度  $24\text{s}^{-1}$  の下で  $4\text{kV/mm}$  のステップ電場を印加し、さらに切ったときの応力と構造（y-z 面）の変化を Fig. 2 に示す。写真の明る

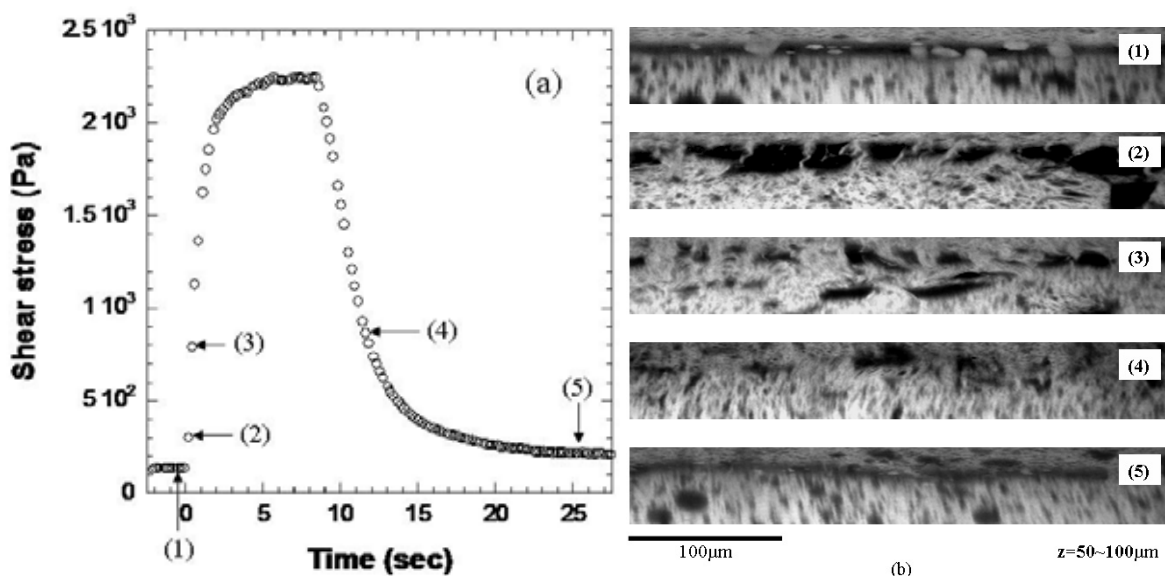


Fig.2 Annihilation and formation of a layer under shear flow in the type 2 blend when an electric field was applied and removed.

い部分が LCP である。(1)電場を印加する前には OIL の層が形成されている。(2)電場を試料に印加した直後に層が部分的に破壊され、(3)電場を印加してから 0.2 秒後には層はほぼ消滅している。さらに、(4)電場を切って 3.2 秒後には層が部分的に形成され、(5)17 秒後にはほぼ完全に層は復元している。OIL の粘度は LCP に比べ小さいため、せん断下では OIL のドロレットは大きく伸ばされ、それらが合体して層が形成されると考えられる。また、電場により層が破壊されるのは、OIL と LCP の誘電率および導電率の差に起因するマックスウェルの応力によるものと思われる。

## 2. ドロレットサイズのせん断速度および電場依存性

前節のタイプ 2 ブレンドではせん断流下で OIL の層が形成されたが、異なる LCP と OIL の組み合わせでは層が形成されない場合がある。ここではそのようなブレンドにせん断に加えて電場も印加したときの構造を調べた。Fig.3 に撮影した画像を示す。画像中で白色の領域が LCP、黒色の領域が OIL である。それぞれの画像を比較すると、同じ電場下では  $\dot{\gamma} = 10, 20, 40 \text{ s}^{-1}$  の順にドロレットが小さくなっていくこと、また、同じせん断速度下では  $E = 1.0 \text{ kV/mm}$  よりも  $E = 3.0 \text{ kV/mm}$  の方がドロレットは小さいことがわかる。Fig.4(a)は画像解析で得られたドロレットの特徴的長さ  $\ell$  の電場およびせん断速度依存性である。せん断速度および電場が大きくなると特徴的長さが小さくなるのがわかる。

次に、次元解析を行った。グラフの横軸に無次元量  $\eta\dot{\gamma}/\epsilon E^2$ 、縦軸にも同じく無次元量  $\ell\epsilon E^2/\Gamma$  をとってプロットした (Fig.4(b))。ただし、粘度  $\eta$  および誘電率  $\epsilon$  は LCP のものを用いた。また、 $\Gamma$  は LCP と IMO の界面の表面張力である。プロットしたすべてのデータ点は、ほぼ 1本の曲線に乗っていることがわかる。

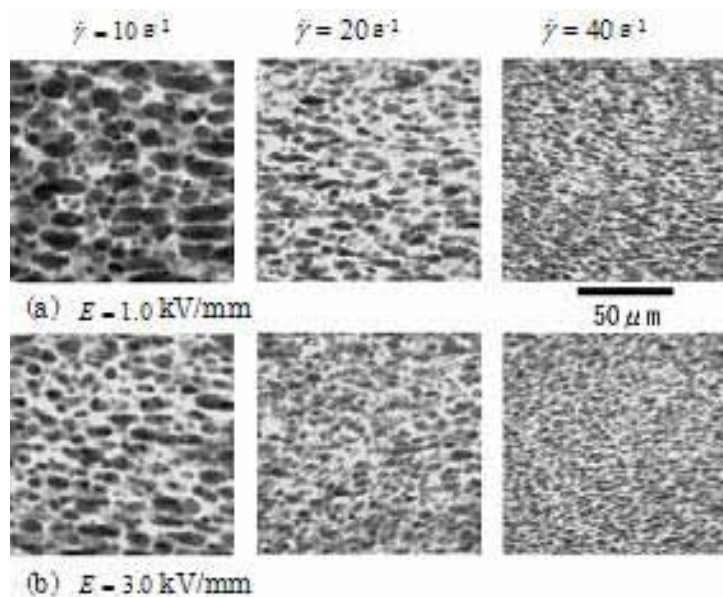


Fig. 3 Dependence of structure on shear rate and electric field.

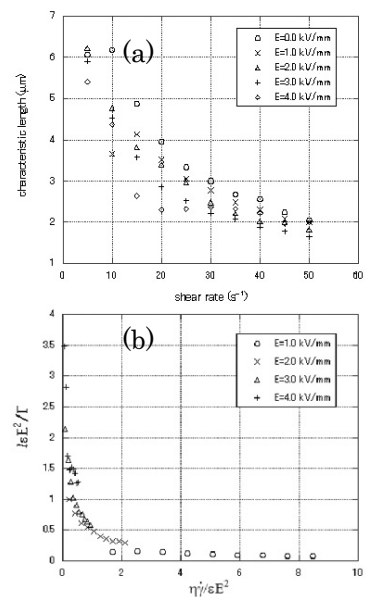


Fig. 4 (a) Shear rate dependence of characteristic length at several electric fields and (b) scaling property.

### < 参考文献 >

- 1) Hiroshi Orihara, Tetsunori Shibuya, Tomoyuki Nagaya, and Seiji Ujiie, J. Phys. Soc. Jpn. **75**, 063802-1 - 063802-4 (2006).
- 2) Yang-Ho Na, Ayaka Yoshino, Shinsuke Tominaga, Hiroshi Orihara, Seiji Ujiie, and Tomoyuki Nagaya, J. Soc. Rheol., Jpn. **34**, 199-203 (2006).