

流動および電場下における非相溶混合流体の時空構造

名古屋大学・理工科学総合研究センター 折原 宏

名古屋大学・工学研究科 澁谷哲功

1 はじめに

ある種の非相溶高分子混合流体では電場を印加すると粘度が増大すること（電気粘性効果）が知られている。これまでの研究により、電気粘性効果の起源がせん断流および電場下における構造変化と関係することがわかっている[1,2]。最近、我々はこの構造変化を共焦点レーザー蛍光顕微鏡(CLSM)を用いて明瞭に観察することに成功した[3]。本講演ではせん断流および電場下におけるネットワーク構造形成について報告する。

2 実験方法

せん断流および電場下において構造を観察するために、平行平板型レオメータの下部の金属板を透明電極付きのガラス板に替え、これを通して CLSM による観測を行なった。本研究では液晶性高分子 (LCP) と石油系オイル (OIL) を用い、LCP を蛍光色素により染色した。これにより、LCP と OIL を明瞭に区別して観察できるようになった。この方法を用いてせん断流下でステップ電場を印加したときの構造変化と定常状態における構造を調べた。

3 結果と考察

重量比 LCP:OIL=3:1 の流体にせん断速度 40 s^{-1} の下で周波数 10Hz、振幅 $2\text{kV}_{\text{pp}}/\text{mm}$ の交流電場を時刻 $t=0(\text{sec})$ で印加したときの応力の過渡応答を図 1 に示す。電場印加直後に第 1 モードと呼ばれる応力の急速な立ち上がりが見られ、その後第 2 モードと呼ばれる緩やかな増大が観測された。図 2 にこのときの CLSM 像を示す。ただし、流体は右から左に流れており、レーザー顕微鏡の焦点面は下のガラス面から約 $30\mu\text{m}$ の位置にある。電場を印加する前は LCP のドロプレットが分散しているのがわかる(a)。ドロプレットが楕円状に伸びているのはせん断応力のためではなく、1枚の画像のスキャンにかかる時間が約 1 秒と長いためである。第 1 モードではドロプレットが流れ方向に伸びて繋がっているのがわかる。この結果より粘度の高い LCP が流れ方向に繋がることが第 1 モードの起源であることが明らかとなった。時間が経過して第 2 モードに入ると、流れに垂直な方向にも LCP が繋がり、3 次元的なネットワーク構造が形成されることがわかる(c)。さらに時間が経過すると、垂直方向の繋がりが強くなっていく(d)。これより第 2 モードの起源はネットワーク構造の形成であることが明らかとなった。

図 2 (b)では流れ方向に伸びた LCP がストライプ的な構造を作っているが、この構造は定常状態ではより顕著になる。せん断速度 80s^{-1} 、電場 $2\text{kV}_{\text{pp}}/\text{mm}$ を流体に印加し十分に時間が経過した後の定常状態において、下部ガラス面($z=0$)から試料内部 ($z=40\mu\text{m}$)まで x-y-z スキャンしたときの CLSM 像を図 3 に示す。ただし、(a)では $z=5\mu\text{m}$ でのスキャン像とその断面像も示した。(b)と(c)はそれぞれ $z=15, 30\mu\text{m}$ の像であり、断面像は(a)と同じである。こうして得られた像は、1回の x-y スキャンに要する時間が約 1 秒であることから、ある瞬間の構造を示している

のではなく、平均像である。しかし、図3(a)よりガラス面付近のLCPは、電場方向に垂直に引き伸ばされた壁状の構造を形成し、等間隔に存在することがわかる。この壁構造は試料内部で乱れ、ネットワーク構造へと変化している。さらに、電場依存性を観測し画像処理によりストライプの周期 λ を求めたところ、図4に示すように深さ z によらず電場が増大すると短くなることがわかった。

本研究で使った LCP を提供して頂いた旭化成の井上昭夫氏ならびに画像処理のソフトウェアを提供して頂いた岡山大学の長屋智之氏にお礼申し上げます。

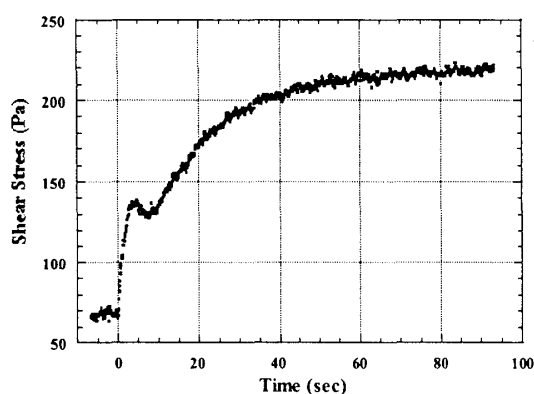


図1. ステップ電場に対する応力応答.

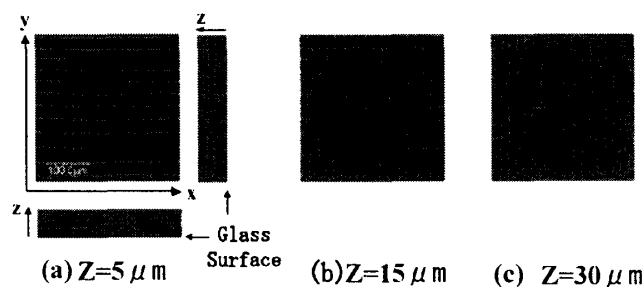


図3. 定常状態における構造の深さ依存性.

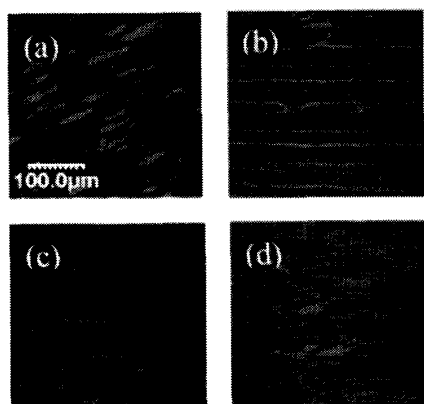


図2. ステップ電場に対する構造変化.

(a)電場印加前, (b) 3 sec, (c) 34 sec, (d) at 74 sec.

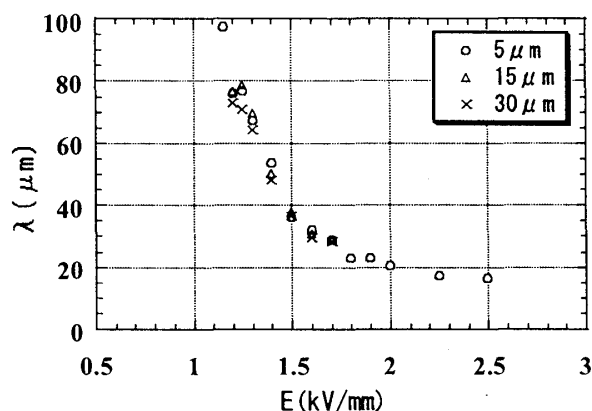


図4. ストライプの周期の電場依存性.

参考文献

- [1] K. Tajiri, K. Ohta, T. Nagaya, H. Orihara, Y. Ishibashi, M. Doi, A. Inoue, J. Rheol., **41**,335 (1997).
- [2] H. Kimura, K. Aikawa, Y. Masubuchi, J. Takimoto, K. Koyama, K. Minagawa, Rheol. Acta, **37**, 54 (1998).
- [3] H. Orihara, Y. Ikeyama, S. Ujiie, A. Inoue, J. Rheol., to be published.