

# 非相溶混合流体の構造とレオロジー

(北大院工) 折原 宏、羅 亮皓、會田 航平  
(大分大工) 長屋智之、氏家誠司

## 【はじめに】

互いに相溶しない液体のブレンドは、単一の流体とは異なるレオロジー的性質を持つことが知られている。ほとんどの場合、一方の流体がドロプレットとなり、もう一方の流体中に分散しているが、外場を印加すると容易にモルホロジー変化が起こる。このような構造変化とレオロジーの関係を明らかにするために、我々は本特定領域研究により共焦点レーザー顕微鏡 (CLSM) とレオメーターを用いて 3 次元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た。本講演ではそれにより得られた結果を紹介する。

## 【実験方法】

試料としては蛍光色素で染色した側鎖型液晶性高分子(LCP)とポリイソブチレン(PIB)を混合した流体を用いた。なお、LCP には微量の蛍光色素を添加している。この混合流体をレオメーターの上部円板と下部の透明電極付ガラス板で挟み、その下から CLSM による観察を行った(Fig.1)。ガラス面に平行な面を  $xy$  面、それに垂直な方向を  $z$  軸とする。通常は  $xy$  面の観察に限られるが、本研究では対物レンズにピエゾアクチュエータを取り付け  $z$  軸方向に一定の速さで上下させることで、3次元画像を構築した。今回作製したシステムでは、最高毎秒 1000 コマの画像を取り込むことができるので、例えば、ピエゾアクチュエータを 10Hz の三角波で駆動すると、半周期で 50 枚の画像が記録できる。この 50 枚の画像を使って 3次元画像を構築すると、1秒間に 10 フレームの 3次元動画が得られることになる。以下、ドロプレットが分散した状態に電場のみを印加したときおよびせん断と電場の両方を印加したときの構造変化を示す。

## 【結果と考察】

実験に用いたブレンドでは LCP が PIB 中にドロプレットとして分散している。Fig.2(a)は、最初に高せん断を印加し、微小なドロプレットができた後、せん断を止めたものである。これに 512Hz の交流電場を印加すると、(b)~(e)に示すような構造変化が観測された。(b)~(c) および(d)~(e)は、それぞれ振幅電圧 2 および 5kV<sub>amp</sub>/mm を印加したものである。2kV<sub>amp</sub>/mm ではドロプレットは電場方向に伸びるとともに、ドロプレットに誘起された双極子間の相互作用により合体が起こり、構造が粗大化する。5kV<sub>amp</sub>/mm になると、ドロプレットの合体だけでなく、カラム形成が起きていることがわかる。このような構造の粗大化速度は電場の大きさに依存しているが、空間相関関数から求めた構造の特徴的長さ、時間、電場の間に

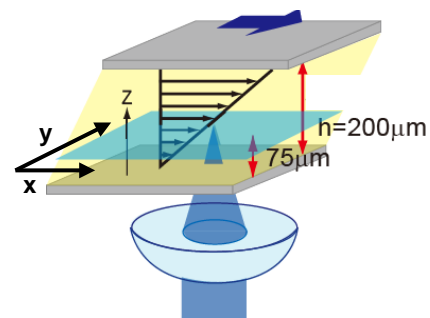


Fig. 1. Schematic illustration of our system combining CLSM and rheometer.

次元解析から予言されるスケーリング関係がドロプレットの合体が起きている初期状態では成立していることを示した。また、カラム構造が大きな貯蔵弾性率を持ち、それがマクスウェル応力と界面張力に起因することを明らかにし、その理論的表式も導出した。

一方、一定せん断を加えた状態で直流電場を印加すると、LCP が流動方向、電場方向にともに伸びて、LCP が絡み合った複雑な構造を形成する。このときのせん断応力の過渡応答を Fig.3 に示す。せん断応力は電場を印加する( $t=0$ )と急激に増大し、極大と極小を取った後、再び増大し一定になっている。電場が大きいほど応力が大きく、変化が速い。Fig.4 に 2 kV/mm の電場を印加したときのブレンドの構造変化を示す。無電場下においてドロプレット分散構造として存在していたものが、電場を印加することでドロプレットが電場方向に伸びはじめ、これに対応して Fig. 3 の応力も増大する。ドロプレットが完全に伸びきったところで応力が最大になることがわかる(a)。その後、伸びたドロプレットが切れはじめると、応力が減少している。さらに時間が経つと、千切れた LCP が絡み合い、ネットワーク的な構造を形成する (b)。ドロプレットが伸びきるまでの応力は、前述のカラム構造の貯蔵弾性率の理論で説明することができる。ネットワーク構造における界面張力の応力への寄与に関しては、界面テンソルによる解析が必要である。講演では、3次元画像から求めた界面テンソルを基に応力との関係を議論する。

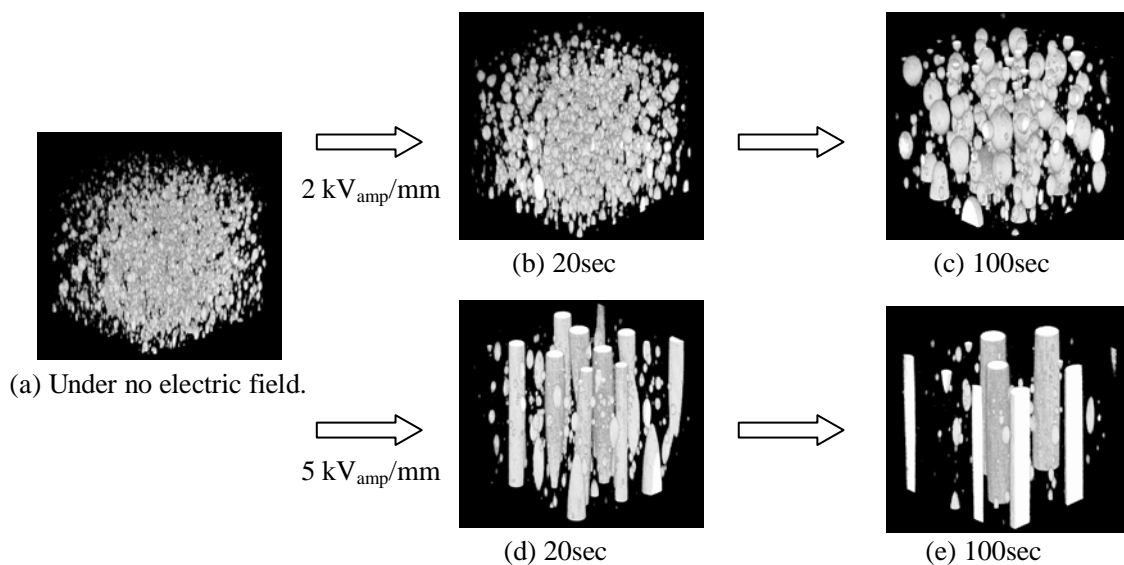


Fig. 2. Morphological changes under electric fields.

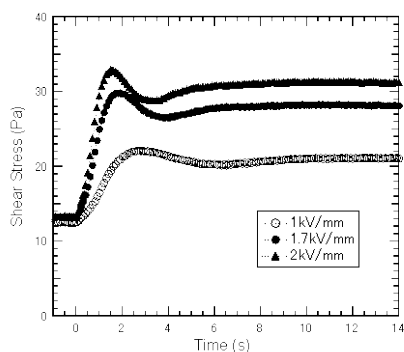


Fig. 3. Transient shear stress after applying step fields.



Fig. 4. Morphological change under shear flow and electric field after applying an electric field of 2 kV/mm.