

# 液晶ゲルの電場応答のダイナミクス

(京大院工) 浦山健治

## [緒言]

柔軟な架橋高分子網目にメソゲン基が導入された液晶エラストマー(LCE)は、ゴム弾性と液晶配向のカップリングのために、マクロ変形(マクロ形状)と分子配向が強く相関している[1]。低分子液晶溶媒で膨潤したLCE(液晶ゲル)に電場を印加すると、電場方向へのダイレクターの再配向と同時に同方向への伸長変形が生じる[2]。この現象は、「マクロ変形を伴った電気光学効果」として観察され、ダイレクターの回転角とひずみの関係などの定常状態の特性が明らかにされてきた。本研究はこの現象における複屈折とひずみの応答時間を調べ、ダイナミクスにおける液晶配向とマクロ変形の相関について考察した。

## [測定]

ホモジニアス配向をもつ側鎖型LCEを作製し、低分子液晶溶媒5CBで平衡に至るまで膨潤させ、液晶ゲルを得た。LCEおよび5CBの誘電異方性はともに正である。液晶ゲルを膜厚(約40 $\mu\text{m}$ )よりも大きなギャップ(50 $\mu\text{m}$ )をもつ透明電極セルに入れ、周囲を非溶媒であるシリコンオイルで満たした。液晶ゲルの初期配向に対して垂直方向に交流電場(矩形波; 1kHz)を印加し、印加後および電場除去後の複屈折およびひずみの時間依存性を調べた。複屈折の時間変化はHe-Neレーザの透過光強度を測定して求めた。ひずみの時間変化は、変形過程をハイスピードカメラで録画することにより評価した。

## [結果と考察]

Fig. 1 に、各試料の電場印加(ON)後の複屈折およびひずみの応答時間( $\tau_{\text{ON}}^{\Delta n}$  および  $\tau_{\text{ON}}^{\gamma}$ )の電場強度( $E_g$ )依存性を示す。各応答時間は、全変化の70%が生じるのに要した時間とした。 $E_g$ はゲルに対する実効的な電場強度である。両応答時間ともに、 $E_g$ の増加とともに小さくなり、高い $E_g$ における $\tau_{\text{ON}}^{\Delta n}$ は低分子液晶と同程度(数ms)にまで小さくなる。また、各 $E_g$ において $\tau_{\text{ON}}^{\gamma}$ の方が $\tau_{\text{ON}}^{\Delta n}$ より10倍程度大きい。 $E_g$ 依存性は低分子液晶と同じように $\tau_{\text{ON}} \sim (E_g^2 - E_{g,c}^2)^{-1}$  ( $E_{g,c}$ はゲルが応答し始める $E_g$ の閾値)と表せることがわかった。

Fig. 2 に電場除去(OFF)に対する複屈折およびひずみの応答時間 $\tau_{\text{OFF}}^{\Delta n}$  および  $\tau_{\text{OFF}}^{\gamma}$ の $E_g$ 依存性を示す。両者ともに $E_g$ に依存せずほぼ一定であり( $\tau_{\text{OFF}}^{\Delta n} \approx 5\text{ms}$ ,  $\tau_{\text{OFF}}^{\gamma} \approx 50\text{ms}$ )、 $\tau_{\text{ON}}$ と同様にひずみの応答時間の方が光学応答時間よりも10倍程度大きい。

ON および OFF 時の各 $E_g$ におけるひずみと複屈折の $\tau_{\text{ON}}$  および  $\tau_{\text{OFF}}$ の比を調べたところ、データのばらつきはあるものの、 $\tau^{\gamma}/\tau^{\Delta n}$ はON, OFFにかかわらず約10であった。両応答時間の差異の理由は明らかではないが、その比が一定であることはマクロ変形と液晶配向が定常状態と同様にダイナミクスにおいても強く相関していることを示している。

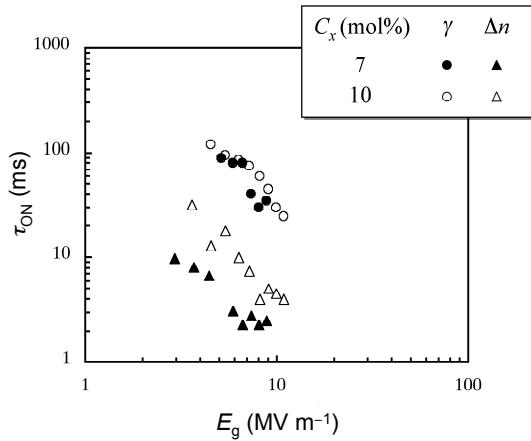


Fig. 1.  $E_g$  dependence of  $\tau_{\text{ON}}$ .

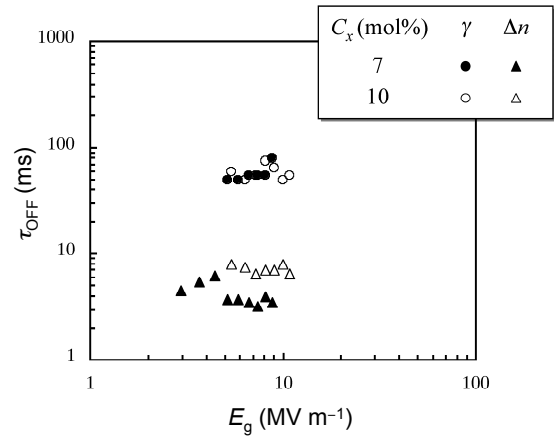


Fig. 2.  $E_g$  dependence of  $\tau_{\text{OFF}}$ .

低分子液晶の光学応答のダイナミクスのアナロジーを用いると、 $\tau_{\text{ON}}$  および  $\tau_{\text{OFF}}$  は系の粘性係数( $\eta$ )とフランク弾性定数( $K$ )と次式のような関係がある。

$$\tau_{\text{ON}} = \frac{\eta}{\epsilon_0 \Delta \epsilon (E_c^2 - E_{c,g}^2)} \quad (1)$$

$$\tau_{\text{OFF}} = \frac{d_g^2 \eta}{\pi^2 K} \quad (2)$$

ここで  $\Delta \epsilon$  と  $d_g$  は誘電異方性の大きさとゲルの膜厚である。  $C_x=7\text{mol\%}$  の試料の光学応答時間のデータを用いると、これらの式より  $K=3.6 \times 10^{-8} \text{N}$ 、 $\eta=9.5 \times 10^0 \text{Pas}$  が得られる。また、応答開始の閾値  $E_{g,c}$  について

$$E_{g,c} = \pi \sqrt{\frac{K}{\epsilon_0 \Delta \epsilon}} \quad (3)$$

の関係がある。(3)式と  $E_{g,c}$  のデータから  $K$  を計算すると、(1),(2)式から得た  $K$  の値と近い値 ( $3.9 \times 10^{-8} \text{N}$ ) となり、定常状態特性とダイナミクスの解析から得られる粘弾性パラメータに矛盾はみられない。得られた  $K$  と  $\eta$  は、試料中で 60vol% 以上を占める液晶溶媒の  $K$  ( $\sim 5 \times 10^{-12} \text{N}$ ) と  $\eta$  ( $\sim 0.1 \text{Pas}$ ) よりも顕著に大きいことから、電場応答に関する粘弾性にはゲルの特性が反映されていることがわかる。また、 $K$  を弾性率 ( $G = K/d_g^2$ ) に換算すると  $G = 19 \text{Pa}$  となる。この値は、通常のゲルの弾性率よりもかなり小さく、液晶ゲルのダイレクター回転におけるソフト弾性[3]の存在を示唆しているように見える。

[文献] (1) Urayama, K., *Macromolecules*, **40**, 2277 (2007). (2) Urayama, K., Honda, S., Takigawa, T., *Macromolecules*, **38**, 3574 (2005); *ibid*, **39**, 1943. (2006). (3) Golubovic, L., Lubensky, T. C., *Phys. Rev. Lett.*, **63**, 1082 (1989); Warner, M., Bladon, P., Terentjev, E. M., *J. Phys. II*, **4**, 91 (1994).