

(様式第4号)

## 液晶エラストマーの構造解析 Structure Analyses of Liquid Crystal Elastomers

岡部 弘高  
Hirotaka Okabe

九州大学大学院工学研究院エネルギー量子工学部門  
Department of Applied Quantum Physics and Nuclear Engineering, Faculty of Engineering,  
Kyushu University

### 1. 概要

液晶エラストマー(Liquid Crystal Elastomer)は高分子液晶を架橋したもので、異方的性質とゴム弾性を併せ持っている。電圧印加により形状変形を引き起こすので、アクチュエーターとして期待されている。電界応答性がよいシアノ基を持つ液晶分子からなる液晶エラストマーの相変化を調べている。今回は架橋濃度5%の試料のスメクチックC相の小角と広角散乱から層構造と液晶分子の配列が明らかになった。

### (English)

The liquid crystal elastomer (LCE) is one of the electric-field responsive polymers, and expected to apply to artificial muscles and soft actuators. In this study, we introduce a cyano group to the mesogenic unit to control the electric properties and structure of LCE, and investigate their structure of smectic C phase in 5% cross-linking density. From SAXS profiles, we clarified the structure of layers, and alignment of molecules.

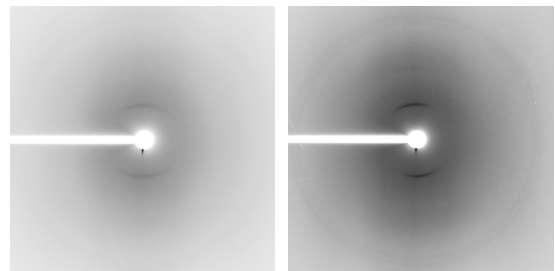
### 2. 背景と研究目的：

液晶エラストマーは液晶の異方的性質とゴム弾性を併せ持った物質で、電気刺激により形状変形を引き起こすので、アクチュエーターとして期待されている。他の等方性アクチュエーターが体積変化によって駆動されるために、繰り返し使用に対し破壊しやすいのに対し、液晶エラストマーは体積変化を伴わない形状変形であるため繰り返し使用に強いという利点がある。また、形状変形が液晶エラストマー内の液晶性分子の配向変化に起因していることから駆動時の応答速度が速いのも優れた点である。

我々は液晶エラストマーを低分子液晶で膨潤させることで乾燥時の約 1/1000 程度の低い電界で高速応答させることに成功した。さらに、より電界応答性がよいと考えられるシアノ基を、濃度を変えて導入した液晶エラストマーを新たに合成したが、その膨潤、電界応答などにこれまでの傾向とは違う特性が現れ、より詳細な分析を行うために、その相構造を明らかにする必要が生じた。

本研究の目的は、X線源の特性が優れた放射光による実験を行ってその層構造を決定することである。現在の目標は、まず膨潤していない液晶エラストマーの層構造を決定することであ

る。前回の実験において以下の図のような散乱像を得た。



架橋濃度5%、シアノ基型メソゲン100%試料の回折像(左：室温、右：70°C)

2重の円はカプトンとカプトンテープに由来するもので、内側の円のさらに内側にある三日月状の散乱ピークが液晶のスメクチック相の層間距離に対応する。

理想的なスメクチックA相であればピークは点となり、スメクチックC相であれば、液晶の傾斜にともなって2点のピークが観測される。液晶エラストマーでは、架橋によって層構造に乱れが生じると考えられるので、ピークが広がっていると考えられる。室温より70°Cでの散乱像の方でピークが明確であり、70°Cで液晶分子が運動しやすい方が明確な層構造を取りやすい

ことが分かった。

室温の散乱像のピークのプロファイルは単一ローレンツ関数ではフィットしない。これは二つのピークが重なっているためで、室温でスメクチック C 相を、70 はスメクチック A 相を取っていると考えられる。今回は相転移の温度や液晶分子の配列を調べるため、広角散乱も同時に測定した。

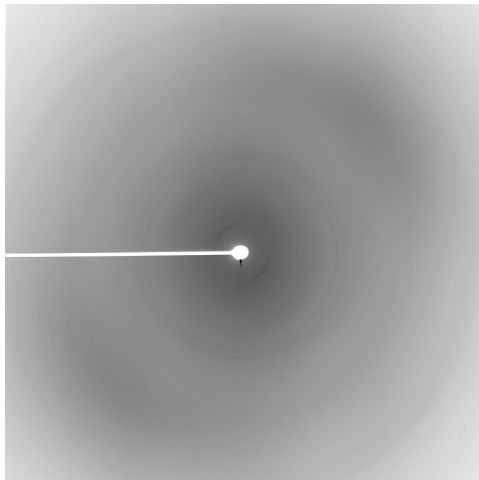
### 3. 実験内容：

測定は、BL15の小角X線散乱装置を用いた。X線のエネルギーは8keVで、イメージングプレートまでのカメラ長は200mmである。

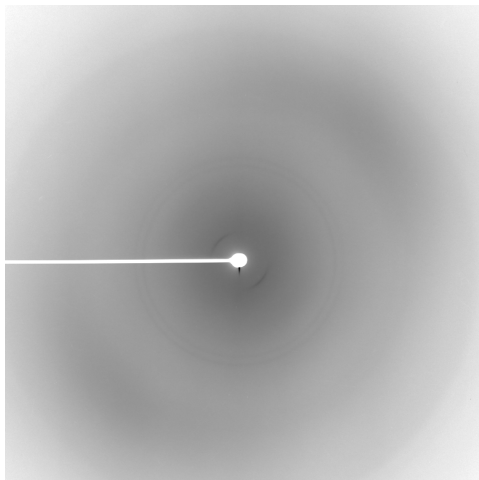
試料はシアノ基100%架橋剤濃度5%の液晶エラストマーで、前回測定した間の温度40, 60 で散乱プロファイルの測定を行った。広角散乱も同時測定するため試料を斜めにセットした。

### 4. 結果、および、考察：

以下に散乱像を示す。



架橋濃度 5 %、シアノ基型メソゲン 100%試料の回折像 (40°C)



架橋濃度 5 %、シアノ基型メソゲン 100%試料の回折像 (60°C)

小角側にある三日月状の散乱ピークが液晶のスメクチック相の層間距離に対応し、それから約 90 度回転した広角側の薄くて広い散乱ピークが液晶分子の間隔に対応している。小角のピークは約 2.5nm、広角のピークは約 0.45nm に対応しているが温度の変化に対する値の明確な変化の傾向は見られなかった。また、温度によってピークの現れる方位角が動いたが、これについても試料の変形や層の変形などが考えられるが、現在のデータだけでは結論を得ることは出来ていない。

一方、スメクチック C 相に由来すると考えられるダブルピークは小角側にのみ現れるようなので、液晶分子の配向は同じ方向に起こり、層の向きが 2 方向に分かれていると考えられる。

### 5. 今後の課題：

今回は膨潤していない試料に関して温度 2 点の測定しか行っていない。より詳細な議論を進めるためにさらに多数の温度で測定を行うことが必要であり、さらに膨潤試料についても研究を進めなければならない。

### 6. 論文発表状況・特許状況

今回の結果にさらにデータを蓄積した上で、まとめ次第論文投稿を予定している。

### 7. 参考文献

1. Liquid Crystal Elastomers (International Series of Monographs on Physics), Mark Warner, Eugene Michael Terentjev, Oxford University Press, USA
2. Multifunctional liquid crystal elastomers: Large electromechanical and electro-optical effects, S. Hashimoto, Y. Yusuf, S. Krause, H. Finkelmann, P. E. Cladis, H. R. Brand, S. Kai, Appl. Phys. Lett. 92, 181902 2008
3. Trifunctionally Cross-Linked Liquid Single Crystal Elastomers: Swelling Dynamics and Electromechanical Effects, D. U. Cho, Y. Yusuf, P. E. Cladis, H. R. Brand, H. Finkelmann, S. Kai, Jpn. J. Appl. Phys., 46, pp.1106-1113, 2007
4. Temperature Dependence of Electromechanical Effects in a Swollen Polydomain Liquid Crystalline Elastomer, J. H. Huh, J. Xin, Y. Yusuf, S. Kai, J. Phys. Soc. Jpn., 74 pp.242-245, 2005

### 8. キーワード

・液晶エラストマー

高分子液晶を架橋したもので、ある温度域で液晶としての異方的性質を示しながら通常の液晶のように液体として流れることがなく、ゴム弾性を併せ持っている。電圧印加で液晶分子の配向変化が起き変形するので、アクチュエーターとして期待されている。