

(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の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ので、その相を決定するため小角散乱実験を行った。その結果、シアノ基 100%の試料でスメクチック C 相から A 相への相変化が示唆された。

(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 by changing the ratio of cyano group and methoxy group, and the cross-linking density. From SAXS profiles, we found the phase change of CN 100 % LCE from smectic C to A.

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。今回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を目的とした。

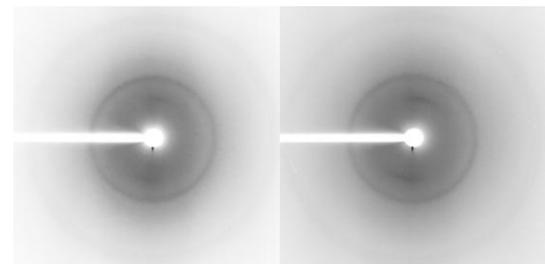
3. 実験内容：

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300mmである。

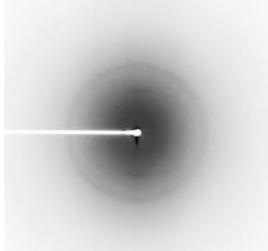
試料はシアノ基とメトキシ基の濃度と、架橋密度を変えた数種類の液晶エラストマーで、各試料について主に室温と70℃で散乱プロファイルの測定を行った。

4. 結果、および、考察：

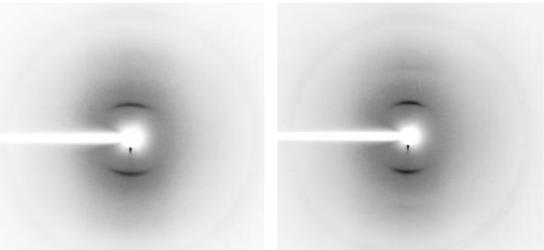
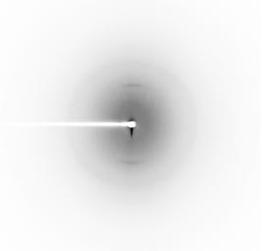
以下の図のように一連の試料で測定を行って散乱像を得た。



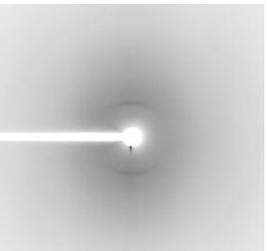
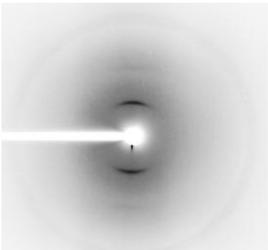
架橋濃度 7%、シアノ基型メソゲン 50%試料の回折像 (左：室温、右：70℃)



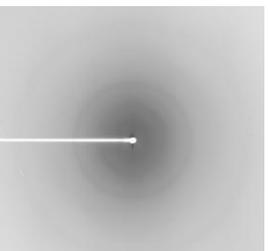
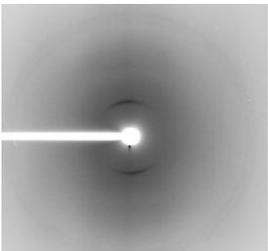
架橋濃度 7%、シアノ基型メソゲン 70%試料の回折像 (左：室温、右：70°C)



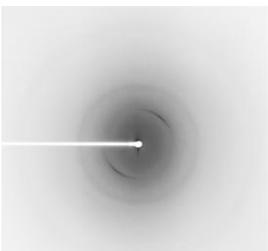
架橋濃度 7%、シアノ基型メソゲン 100%の試料の回折像 (左：室温、右：70°C)



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



架橋濃度 4%、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と考えられる。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。

何れの試料でも室温より 70°C での散乱像の

ほうが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る。

各散乱像のピークのプロファイルを単一ローレンツ関数でフィッティングしたところ、シアノ基型メソゲン占有率 100% の試料の室温以外ではよくフィッティングした。シアノ基型メソゲン占有率 100% の試料の室温でのプロファイルは散乱プロファイルが扁平になっており、明らかに単一ローレンツ関数ではフィッティングしない。これは二つのピークが重なっているためではないかと推測される。今回の結果では 2 つのピークを明確に判別できていないので、結論することはできないが、シアノ基 100% 試料は室温でスメクチック C 相を、他はスメクチック A 相を取っ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。