

(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。今回の実験で、架橋7%でシアノ基の濃度が50%、70%、100%の試料でスメクチック相層厚の温度係数がシアノ基濃度の増加によって正から負に変わることが分かった。

(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 phase transition behaviors in 50%, 70% 100% cyano groups concentration at 7% cross-linking density. From temperature change of SAXS profiles, we found that the sign of temperature coefficient of the layer thickness in smectic phase changed from positive to negative.

2. 背景と研究目的：

液晶エラストマーは高分子網目に液晶分子を組み込んだゴム状のもので、液晶分子の方向を揃えて合成する方法が開発されてから注目を集めている。この様な液晶エラストマーに電圧を加えると液晶分子が回転し、体積変化なしに形状が変形する。電圧を取り除くと、元の形に戻る(図1)。体積変化が無いので繰り返し使用に強く、液晶分子の一斉回転なので応答速度が速いので、人工筋肉から極小サイズのアクチュエータまで幅広い分野への応用が期待されている。我々は電界応答性がよいと考えられるシアノ基を導入した液晶エラストマーを新たに合成し、その特性解析を行おうとしている。

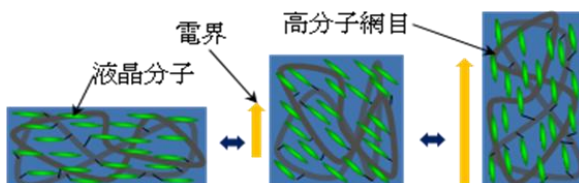


図1. 液晶エラストマーの電界応答

本課題の目的は、X線源の特性が優れた放射光による実験を行ってその構造の詳細を調べる

ことで、さらにその温度変化による相転移挙動から、その特性を明らかにすることである。

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50%、70%、100%架橋剤濃度7%の液晶エラストマーで、散乱プロファイルの温度変化を連続して測定した。

4. 結果、および、考察：

シアノ基 100%の試料の小角側のスメクチック相の層厚由来の散乱の方位角プロファイルを図2に示す。室温では二つのピークが見られることからスメクチックC相をとっていると考えられる(図3)。しかし、40°C以上の温度で二つのピークが識別できなくなり、単一のピークとなった。したがって、この温度で液晶分子の傾きが無くなりスメクチックC相からスメクチックA相へ相転移したと考えられる。一方、シアノ基が70%(図4)や50%になると、ピークは一つしか識別できず、室温からスメクチックA相をとっているように見える。

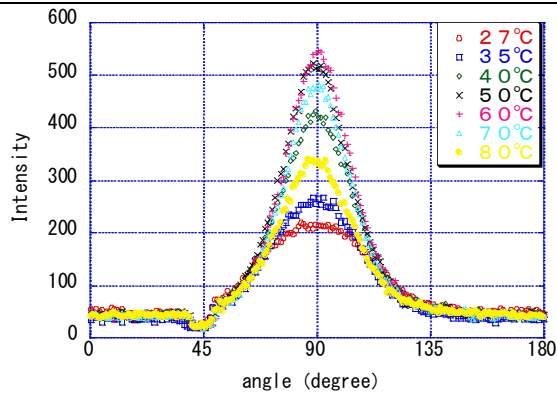


図 2. シアノ基 100%試料の方位角プロファイルの温度変化

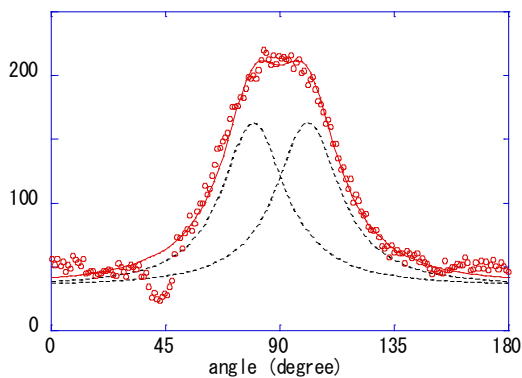


図 3. シアノ基 100%試料の室温方位角プロファイルと 2 ピークフィッティング曲線

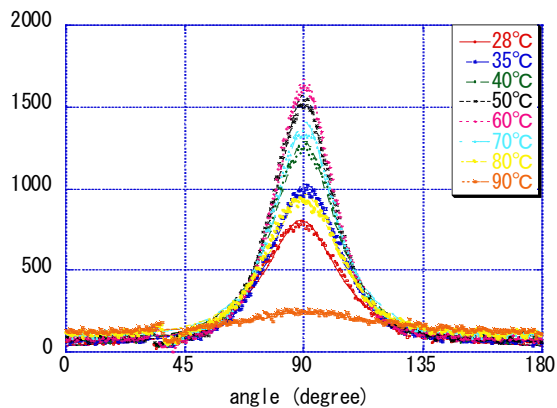


図 4. シアノ基 70%試料の方位角プロファイルの温度変化

一方、散乱プロファイルから求めたスメクチック相の層厚の温度変化を図 5 に示した。一般に、スメクチック C 相の層厚は温度上昇とともに大きくなる。これは液晶分子の運動が激しくなり、液晶分子長軸の層平面の垂線に対する傾きが小さくなってゆくためである。そして相転移が起こりスメクチック A 相になると、液晶分子は層平面に垂直となり、一定の値となる。しかしながら、シアノ基 100%の試料でスメクチック C から A への相転移が起こっているにも関わらず、層厚は温度の上昇とともに減少している。層厚の現象は、70%でも同じである。一方シアノ基 50%の試料においては、温度を上げてゆくと層厚が増加しており、スメクチック C から A への相転移が確認されない

にしても、液晶分子の運動が激しくなることと容易に結びつけることが出来る結果である。以上の結果から、シアノ基の割合と層厚の変化が密接に関係しており、シアノ基の大きな双極子モーメントがなんらかの働きをしているものと考えられるが、そのメカニズムについては、さらに詳細な分析や他の物性測定との比較検討が必要である。

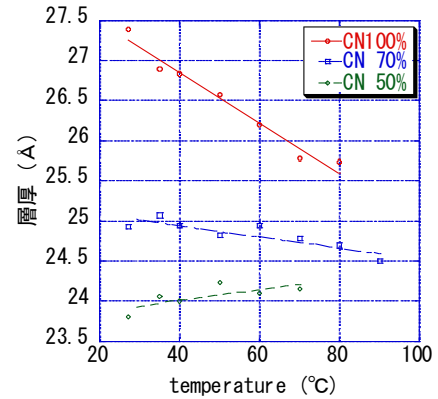


図 5. スメクチック相層厚の温度変化

5. 今後の課題：

今後より詳細な議論を進めるためにさらに多数の試料で測定を行うことが必要であり、さらに膨潤試料や力学変形時についても研究を進める必要がある。

6. 論文発表状況・特許状況

今回の結果を 2009 年日本液晶学会討論会で発表した。また結果の一部を含んだ論文を Japanese Journal of Applied Physics 誌に投稿中である。

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、電圧印加で液晶分子の配向変化が起き変形するので、アクチュエータとして期待されている。