共鳴軟X線散乱を用いた液晶相構造の精密構造解析の試み

Structure analysis of liquid crystalline phases using resonant soft X-ray scattering

京大院理 [1]，理研 [2]，分子研 [3]　°高西陽一 [1]，荒岡史人 [2], 岩山洋士 [3],
Kyoto Univ. [1], RIKEN. [2], IMS [3],
°Yoichi Takanishi[1,3], Fumito Araoka[2], Hiroshi Iwayama[3]
E-mail: ytakanis@scphys.kyoto-u.ac.jp

液晶や高分子などと言ったソフトマターの特徴の1つは自発的組織形成による階層構造にあり、その空間スケールは数nm～100nm程度のいわゆるメゾスコピック領域で、自然界および人工的なシステム双方に存在し、後者は様々な機能性材料などに広く利用されている。その特性まさに系のもつ多彩な階層構造に起因しており、メゾスコピックな空間スケールの構造やその発現機構を理解できればこれまでにない性能を備えた材料・構造を創生できる可能性がある。このスケールの構造解析としてはX線散乱・回折があるが、通常の非共鳴X線散乱では系の電子密度に敏感なものの一般にスカラー量で考えるので、例えば図1のような層構造をもつスメクチック液晶の構造は、左右の傾き角が同等の場合層法線方向の電子密度に差がないため区別がつかない。しかし共鳴X線散乱は特定元素の電子の結合エネルギー（吸収端エネルギー）に入射X線エネルギーを合わせることで、周囲の環境による電子雲のわずかな異方的な変化に敏感になり散乱を感受率テンソルで表現する必要があり、結果系の対称性を反映して、通常の散乱では禁制であった散乱（回折）ピークが出現し、より精密な構造を議論することができる。これまで我々は大気下で高エネルギーによる共鳴散乱を行ってきた[1,2]が、そのためBrやSeといった特定の共鳴元素を持った化合物に測定試料は限られていた。

我々はこの測定手法をより多くのソフトマター材料へ適用できるようにするため、その多くに含まれる炭素原子のK-edge吸収端エネルギーの軟X線で共鳴散乱を行い始めたので、その成果の一端を報告する。今回報告するのは、屈曲型液晶ー棒状液晶混合ナノ相分離系[3]における、ナノフィラメント構造の解析である。屈曲型液晶はスメクチック層数層からなるヘリカルフィラメント構造を示すことが知られているが、そうしたヘリカル構造の情報は通常のX線回折では上述の理由により得られない。しかしながら共鳴軟X線散乱により、その構造周期を見ることができた（図2）。このらせん構造周期の棒状液晶混合濃度依存性などについて報告する。

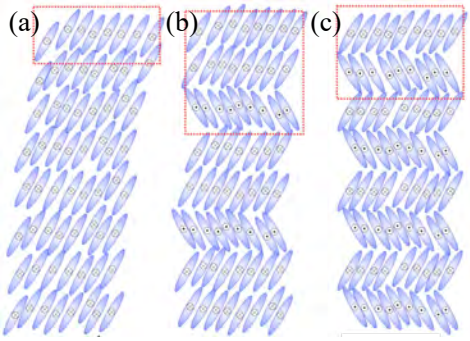

図 1:(a)強誘電相, (b)フェリ誘電相　(3 層周期),(c)反強誘電相(2 層周期)の層間分子秩序構造

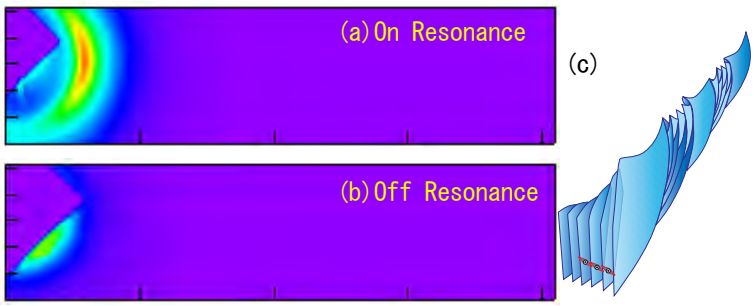

図 2:屈曲型液晶 B4 相の軟 X 線小角散乱. (a)284eV (ON Res) 270eV(OFF Res). (c)は B4 相のナノヘリカルフィラメント構造の模式図で(a)はこのらせん周期に対応する.

【謝辞】本研究は科研費基盤研究（C）(21K12523）の助成を受けて実施された。

参考文献　[1] Z. Feng et al. Phys. Rev. E, **96**, 012701 (2017).
[2] Y.Takanishi et al., Phys. Rev. E(Rapid com.), **100**, 010701 (2019).
[3] Y.Takanishi, Soft Matter, **17,** 563 (2021).