

# Cholesteric 液晶組織の屈折率分布の観察

道 諾\*・那波信彦\*\*

## Observation of Refractive Index Distribution of Focal-Conic Texture in Cholesteric Liquid Crystals

by *Dau Nuo and Nobuhiko NAWA*

The focal-conic texture in cholesteric liquid crystals is formed under the magnetic field perpendicularly superposed to the electric field. These orthogonal fields cause the straight focal-conic texture. The distribution of the refractive index across the texture is obtained by means of the holographic interference method. From the experimental result, the molecular alignment in the focal-conic texture is investigated.

### 1. 緒 言

Cholesteric 液晶を2枚のガラス板に挟むと様々な組織が形成される。ラセン軸が壁面に平行な組織は focal-conic 組織と呼ばれている。<sup>1)</sup> この組織を顕微鏡で観察すると、複雑な模様が認められる。液晶分子は屈折率異方性を持つため、分子配向の変化に伴う屈折率変化が複雑な模様を形成する。液晶組織の分子配向やそれに伴う光学的性質を詳細に調べるためには、組織の屈折率分布を直接観測することが望まれる。

T. Akahane 等<sup>2)</sup>はピッチとセル厚がほぼ等しいときに形成される striped domain の屈折率分布を微分干渉顕微鏡を用いて測定し、focal-conic 組織の理論的屈折率分布と比較している。しかしながら、M. J. Press 等<sup>3)</sup>はこの domain は focal-conic 組織とは異なる分子配向を有すると指摘している。S. Satoh 等<sup>4)</sup>は誘電率異方性が負の nematic 液晶に生じる Williams domain の屈折率分布をホログラフィック干渉顕微鏡を用いて観察している。空間周波数の高い位相変化を測定するには干渉法が適しているが、干渉法に適するような focal-conic 組織を形成する試みはまだなされていない。我々は、focal-conic 組織のラセン軸を外部場で制御し、ホログラフィックな手法で組織の屈折率を測定し、組織の分子配向を検討したので報告する。

### 2. 実験方法および装置

誘電率異方性、磁気感受率異方性が共に正の nematic 液晶 N<sub>p</sub>-3 (東京応化製)に微量

\* 中国内蒙古師範大学 光 学

\*\* 理工学部物理学科教授 応用光学

の光活性物質 CB-15 (BDH chemical 製) を混入したものを試料とした。レジチンにより垂直配向処理を施した透明電極 ( $\text{In}_2\text{O}_3$ ) と, Mylar フィルムのスペーサーを用いてセルを作成した。CB-15 の混入量 (重量比), 液晶ピッチ ( $p$ ), セル厚 ( $d$ ),  $d/p$  の値を Table 1 に示す。くさび型セルを用いて測定した  $N_p$ -3 の複屈折も Table 1 に記す,  $\Delta n$  は屈折率差,  $n_o$  は常光に対する屈折率である。

Table 1

Concentration (%)	Pitch ( $\mu\text{m}$ )	Thickness ( $\mu\text{m}$ )	$d/p$
0.3	55	100	1.8
0.5	33	50	1.5
1.0	15	25	1.7
0.0	—	0—100	—
$\Delta n=0.17$		$n_o=1.53$	

セル (L・C) は電極と磁界 ( $y$  軸方向) が平行になる配置で電磁石 (0~7 kG) の極の間に設置された (Fig. 1)。電界 (1 kHz:  $z$  軸方向) 磁界のもとでの組織変化は白色光を用いて偏光顕微鏡により観察された。

屈折率分布の観測に用いたホログラフィック干渉顕微鏡の構成を Fig. 1 に示す。He-Ne レーザー (波長  $\lambda=6328 \text{ \AA}$ ) のビームは半透鏡で物体光と参照光に分けられる。物体光の振動方向は  $y$  方向である。物体光と参照光を乾板上で干渉させたあと, 乾板を現像・定着し再生参照光で照明すると物体光が再生される。電磁石を含む光学系には防振対策が施されていない。

### 3. 結果と考察

#### 3.1. 直線状 focal-conic 組織の形成

セルに試料を注入すると scroll domain あるいは striped domain が形成された。模様

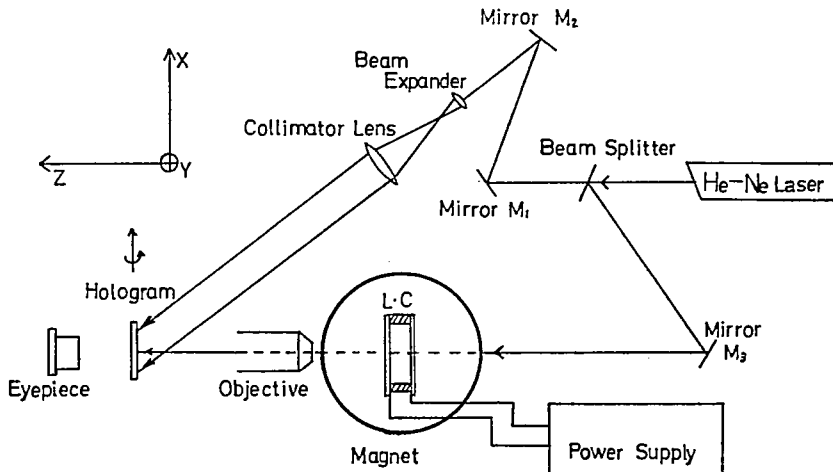


Fig. 1. Schematic diagram of the holographic interference microscope.

は  $d/p$  に依存した。cholesteric-nematic 相転移に要する域値電界  $E_c \cong 1.7 \times 10^3$  V/cm より低い電界 ( $E \cong 0.2E_c$ ) を印加すると focal-conic 組織が形成された (Fig. 2a)。また,  $E_c$  以上の電界を印加し nematic 相 homeotropic 組織を形成したあとで, 電界をわずかに減少させると ( $E \cong 0.9E_c$ ), cholesteric 相への緩和が生じ focal-conic 組織が形成された (Fig. 2b)。<sup>1)</sup> 干渉測定においては, 直線状に配列した組織が観測に適するので, 上記の focal-conic 組織はいずれも測定対象として適当なものではない。

液晶分子は磁気感受率異方性を持つため, 分子配向は磁界の影響を受ける。Fig. 2a の組織に 4kG の磁界を印加すると, 組織は磁界と平行に配列する傾向を示したが, 直線状組織の形成には至らなかった。 $E_c$  以上の電界を印加し相転移を生じさせたあと, 電界を  $E_c$  近傍 ( $0.9E_c \leq E \leq 1.1E_c$ ) に設定し, 4.5kG の磁界を印加すると, focal-conic 組織が形成され磁界と平行に成長した (Fig. 2c)。homeotropic 組織は徐々に直線状 focal-conic 組織に変化した (Fig. 2d)。Fig. 2c と Fig. 2d の組織のラセン軸は紙面内に存在し,  $x$  軸に平行である。

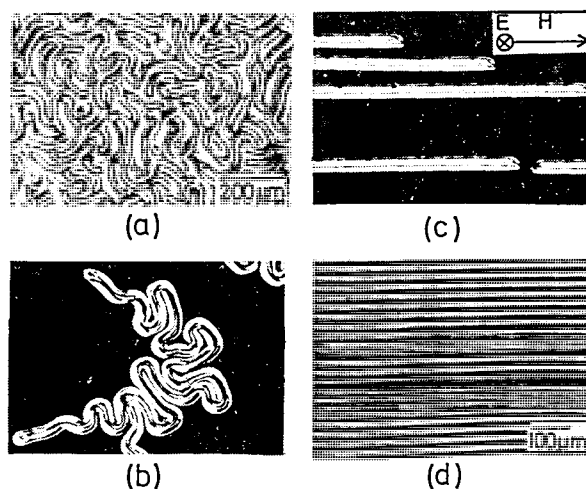


Fig. 2. Micrographs of texture; (a) focal-conic texture at  $E=0.2E_c$ , (b) nucleation of focal-conic texture at  $E=0.9E_c$ , (c) induced focal-conic texture at  $E=1.1E_c$  and  $H=4.5$  kG, (d) densely packed focal-conic texture at  $E=E_c$  and  $H=6.7$  kG. Sample thickness: (a)-(c) 100  $\mu\text{m}$  and (d) 25  $\mu\text{m}$ .

$E > E_c$  のとき磁界を印加すると電界誘起 nematic 相は不安定になる。固有の nematic 液晶では磁界方向への分子の倒れ込みが生じ不安定性を解消するが, cholesteric 液晶では潜在するラセン力が局所的にラセン構造を再形成して不安定性を解消すると考えられる。液晶分子の誘電率, 磁気感受率異方性を考慮すると, ラセン軸方向よりもラセン軸に直交する方向が誘電率, 磁気感受率ともに大きくなる。従って, 外部場とラセン軸が直交する構造が最も安定な構造となる。 $E < E_c$  のときは, この外部場の配列効果と蛇行現象<sup>1)</sup>が競合するが,  $E_c$  の近傍では外部場により蛇行現象は抑制される。<sup>5)</sup> 均一な直線状 focal-conic 組織が屈折率分布の測定に用いられた。

### 3.2. 屈折率分布の観測

第1露光のあと、乾板をわずかに回転させて第2露光を行い二重露光プログラムを作成し、再生参照光で照明すると、進行方向の異なる2つの物体波が同時に再生される。試料に変化がないとき、縞間隔が1波長分の光路差に相当する等間隔直線状の干渉縞（フーズー縞）が形成される。我々の実験においては、均一な focal-conic 組織を形成して第1露光を行い、次いで、hemeotropic 組織を形成して第2露光を行った。Fig. 3 にプログラムからの再生像を示す。干渉縞が変化しているのがわかる。

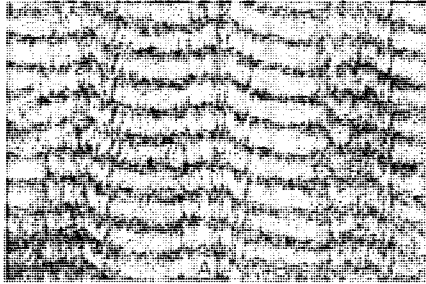


Fig. 3. Interferograms showing optical path difference distribution of the liquid crystal cell. Sample thickness:  $50 \mu\text{m}$ ,  $E = E_c$  and  $H = 4.0 \text{kG}$ .

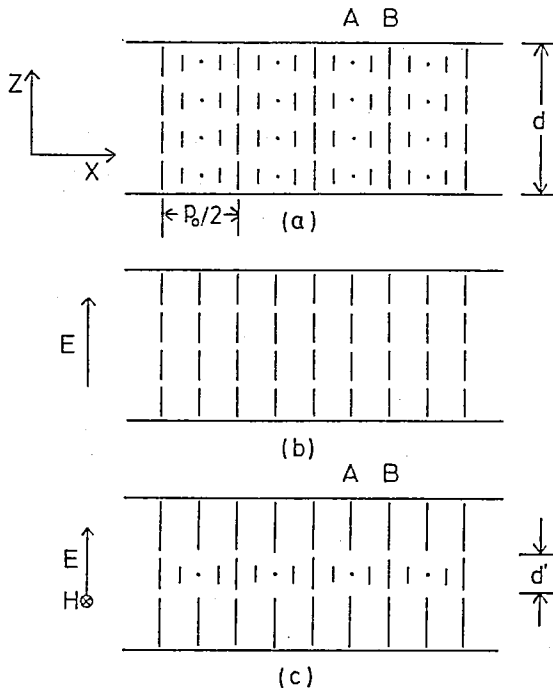


Fig. 4. Schematic illustration of director arrangement in texture; (a) focal-conic texture, (b) homeotropic texture, (c) focal-conic texture nucleated at  $E \cong E_c$ .

直線状に配列した focal-conic 組織の  $xz$  面における分子配向のモデルを Fig. 4a に示す。液晶分子の光軸は分子長軸に一致しているので、 $y$  軸方向に振動する入射光に対する  $x$  方向の屈折率は異常光に対する屈折率となる。Fig. 4a の  $p_0$  は観察される組織の周期的構造のピッチである。homeotropic 組織 (Fig. 4b) では、異常光に対する屈折率と常光に対する屈折率は等しい。

再生像に生じる干涉縞の変化は、入射光線が homeotropic 組織を通過したときと focal-conic 組織を通過したときの光路差に対応している。Fig. 3 の A, B 部は Fig. 4a の A, B 部にそれぞれ対応している。干涉縞間隔を  $D$ 、縞の変位量を  $R(x)$  とすると、光路差  $\Delta l$  は

$$\Delta l = \frac{R(x)}{D} \lambda \quad (1)$$

で与えられる。縦軸を  $R(x)/D$  とし、干涉縞の明線を  $p_0/2$  の範囲で書き直したものを Fig. 5 の実線で示す。

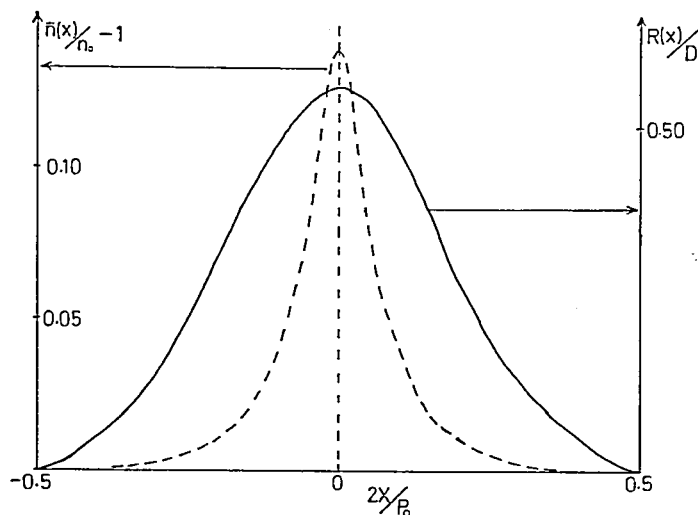


Fig. 5. Distribution of refractive index over a period of a focal-conic texture. The solid curve is obtained from the interferogram and the broken curve shows the result calculated by T. Akahane et al<sup>2)</sup>.

P. E. Cladis 等<sup>1)</sup>は、連続体理論を用いて、Fig. 4a に示された focal-conic 組織の分子配向を求めている。この結果を用いて、T. Akahane 等<sup>2)</sup>が計算した focal-conic 組織の屈折率分布を Fig. 5 の点線で示す。縦軸の  $\bar{n}(x)$  は  $y$  軸方向に振動し、 $x$  軸方向に進む光に対する平均的な屈折率であり、次式で与えられる。

$$\bar{n}(x) = \frac{1}{d} \int_{-d/2}^{+d/2} n(x, z) dz \quad (2)$$

ただし、 $n(x, z)$  は座標  $(x, z)$  における屈折率である。Fig. 5 における光路差は

$$\Delta l = \{\bar{n}(x) - n_0\} d \quad (3)$$

とも書けるので、Fig. 5 の実線は  $\bar{n}(x)$  の分布を表わしていると考えても良い。Fig. 5 から、実験値は  $x=0$  において理論値の  $1/20$  程度の値になることがわかる。また、実験結果と計算結果では分布が異なるように見える。これらの結果は、我々の実験における、

focal-conic 組織が Fig. 4a のモデルとは異なる分子配向を持つことを示唆している。

連続体理論においては、壁面が分子を  $z$  軸方向に配列させる効果（壁面効果）は考慮されていない。この効果は  $d \cong p$  程度の深さまで及ぶとされている。電界も分子を  $z$  軸方向に配列させるので、壁面効果は電界により見掛上強められると考えられる。我々の実験は、 $p \cong d$  の試料を用い、 $E_c$  近傍の電界を印加しながら行われている。このような条件のもとでは、壁面効果の弱まるセル中心部にのみ cholesteric 組織が形成されると考えられる。従って、我々が観察した focal-conic 組織は Fig. 4c のような分子配向を持つと推察される。このモデルでは、光路差は層  $d'$  の部分においてのみ生じ、セル厚  $d'$  で平均化された屈折率  $\bar{n}(x)$  は Fig. 4a のモデルに較べ減少する。また屈折率減少の割合は  $x$  に依存するので、Fig. 4c の分子配向が示す屈折率分布は Fig. 4a のモデルに基づく計算結果とは異なると考えられる。

実験値と理論値を定量的に比較するために、壁面および電界の効果が無視できる条件のもとで実験を行うことが今後の課題である。

#### 参考文献

- 1) M. Kawachi, O. Kogure and K. Kato: Jpn. J. Appl. Phys. **17** (1978) 391.
- 2) T. Akahane, M. Nakao and T. Tako: Jpn. J. Appl. Phys. **16** (1977) 241.
- 3) M. J. Press and A. S. Arrott: J. de. Phys. **37** (1976) 387.
- 4) 佐藤重忠・池上博章・大頭 仁: 応用物理 **48** (1979) 623.
- 5) N. Nawa, K. Ogura and K. Nakamura: The 8th International Liquid Crystal Conference (1980) 166.
- 6) P. E. Cladis and M. Kleman: Mol. Cryst. Liq. Cryst. **16** (1972) 1.