

コレステリック液晶における Planar-Finger Print 構造変化及び Homeotropic-Finger Print 緩和の観察

那 波 信 彦*

Observations of Planar-Finger Print Texture Transformation and Homeotropic-Finger Print Relaxation in Cholesteric Liquid Crystals

by Nobuhiko NAWA

The planar-finger print texture transformation in a wedge shaped cell is investigated. The finger print is nucleated from the Cano disclinations with the application of electric fields parallel to the helix axis of the planar texture. The finger print thus nucleated propagates into the planar without accompanying a disturbance. When the fields are removed, the finger print contracts to the Cano disclinations. From the observations, a plausible model for the nucleation of finger print is proposed. In addition, the relaxation from electric field-induced homeotropic to finger print is also investigated. Such relaxation is observed under orthogonal electric and magnetic fields. The finger print is nucleated from micro-defects in a homeotropic texture. When the magnetic field is increased the linear finger print texture is formed. This indicates that the orthogonal fields fix the helix axis direction of the finger print texture.

1. 緒 言

コレステリック液晶 (Ch 液晶) の構造におよぼす外部場の効果は幅広く研究されている。Ch 液晶のラセン軸に平行な外部場を印加すると、ラセン軸の 90° 回転を伴う planar-finger print 構造変化 (P-F 構造変化) が生じる^{1,2)}。一方、平行配向処理を施したくさび型セルに Ch 液晶を注入すると、Cano-Grandjean disclination (Cano ディスクリネーション) により区分された P-構造が形成される³⁾。しかしながら、Cano ディスクリネーションが P-構造に存在するとき、どのような機構で P-F 構造変化が生じるのかは未だ調べられていない。本報告では、Cano ディスクリネーション近傍における F-構造の形成、消滅過程を詳細に観察した結果得られた、P-F 構造変化のモデルを提案する⁴⁾。

P-F 構造変化が生じた後、更に外部場を増大させるとコレステリック-ネマチック相転移が生じ、ネマチック相のホメオトロピック構造 (H-構造) が形成される⁵⁾。外部場を相転移の域値よりわずかに減少させると、H-構造から F-構造への緩和 (H-F 緩和) が生じる⁶⁾。しかしながら、この緩和過程における外部場の効果は未だ報告されていない。本報

* 理工学部物理学科助教授 応用光学

告では、H 構造を誘起している電界に直角な磁界が、F-構造の成長に及ぼす効果についても考察する⁷⁾。

2. 実験

観察に用いた試料はネマチック液晶 (Np-3, 東京応化製) に cholesteryl chloride を 1 wt% 混入した混合 Ch 液晶である。この混合液晶の誘電率異方性および磁気感受率異方性は共に正であり、ピッチは $16\ \mu\text{m}$ である。透明電極 (ネサガラス) に SiO_2 を斜蒸着し、セル厚が $6\ \mu\text{m}$ – $50\ \mu\text{m}$ の平行配向処理くさび型セルを作成した。このセルに試料を注入し、交流 1 kHz の電界のもとで、Cano ディスクリネーション近傍での P-F 構造変化を偏光顕微鏡を用いて観察した。また透明電極のレシチン処理により、セル厚 $50\ \mu\text{m}$ の垂直配向処理セルを作成した。このセルに試料を注入し、電界に直角な磁界のもとで、電界誘起 H 構造から F-構造への緩和過程を観察した。観察光学系は磁界を乱さぬよう考慮されている。

3. 結果と考察

3.1 Cano ディスクリネーション近傍での P-F 構造変化

平行配向処理を施した平行型セルに Ch 液晶を注入すると、ラセン軸が壁面に垂直な P-構造が形成される。P-構造に対応する分子配向を Fig. 1(a) に示す。平行配向処理を施したくさび型セルに Ch 液晶を注入すると Cano ディスクリネーションが形成される (Fig. 2(a))^{8,9)}。ディスクリネーションの両側では P-構造に $1/2$ ピッチの跳びがある。ここで m は P-構造に含まれる $1/2$ ピッチの数である。このセルに電圧を印加すると m の小さな P-構造から順次周期的ドメインが形成された (Fig. 2(a))^{8,9)}。更に電圧を増加させると、 $m=2$ の P-構造の先端部から新たなストライプ・ドメインが形成された (Fig. 2(b))。ストライプを形成する核と考えられる構造を Fig. 2(a) に矢印で示してある。ストライプは $m=3$ の P-構造の方向に成長し、F-構造固有の模様を呈した。電圧を除去してもこのストライプは残存した (Fig. 2(c))。これ等の結果からストライプはラセン軸が壁面に平行な F-構造であることが解る¹⁾。F-構造は除々に $m=2$ の p-構造の方へ収縮した (Fig. 2(d))。Fig. 2(d) は Cano ディスクリネーションが F-構造に変化することを示しているが、F-構造の形成時には複雑な分子配向の変化が生じるため、構造変化の過程を推察することはできない¹⁰⁾。

$m=3$ の P-構造に残存した F-構造が収縮するとき、Fig. 3(a) に見られるような構造が認められた。P および F-構造のラセン軸の方向および液晶分子配向の連続性を考慮すると F-構造と P-構造の接する部分には、Fig. 4(a) に示されるようなディスクリネーションが存在すると考えられる。Fig. 4(a) は Fig. 3(a) の矢印部分における分子配向の断面図で

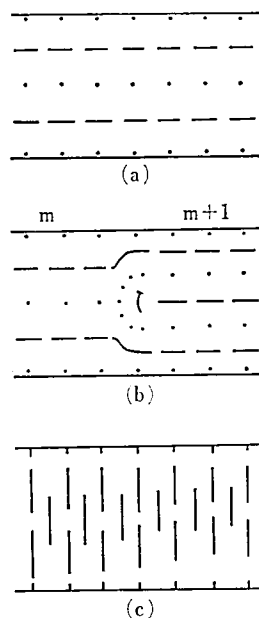


Fig. 1. Molecular alignment of a planar texture (a), Cano disclination (b) and field-induced homeotropic texture (c), where m is the number of a half pitch across a planar.

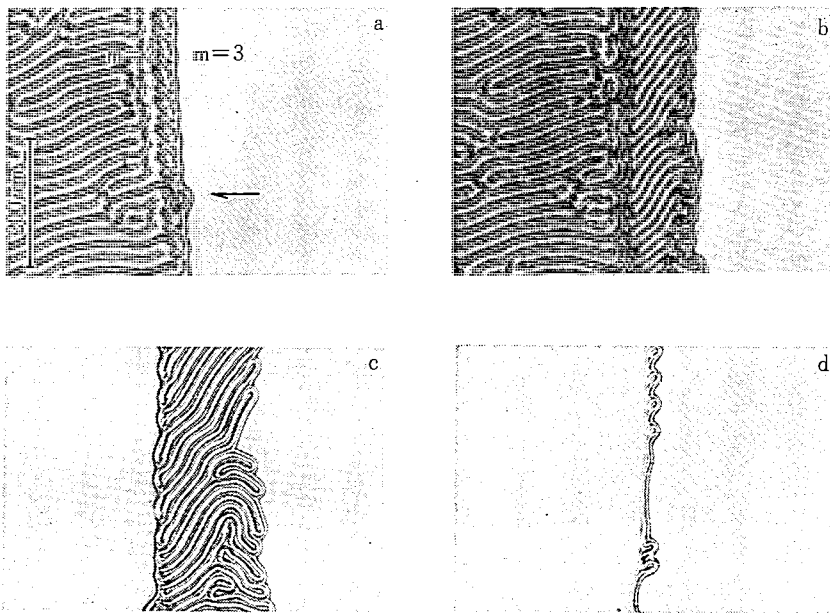


Fig. 2. Nucleation of finger print texture at 7V (a) and at 8V (b); finger prints remaining after removal of fields (c); contraction of finger prints (d) 3min after of (c). The sample thickness increases towards the right-hand side.

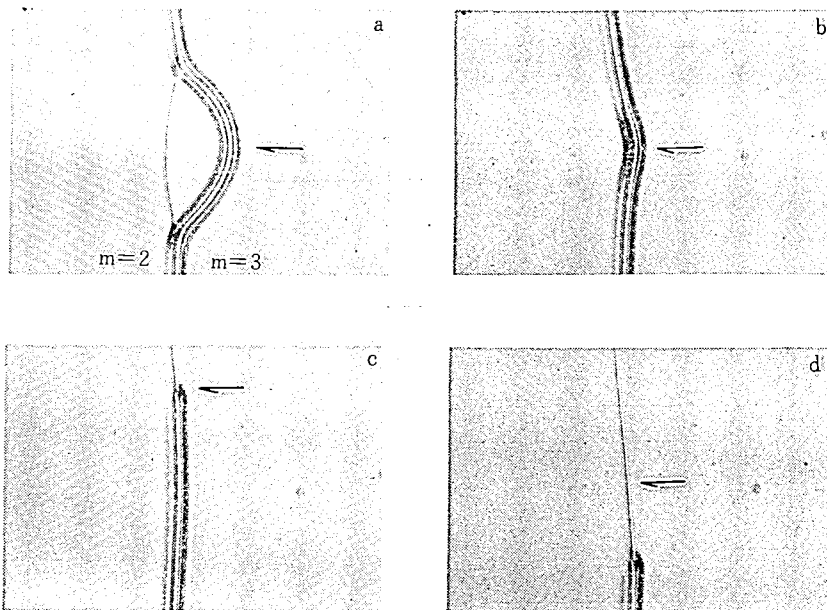


Fig. 3. Finger prints remaining in planar of $m=3$ apart from Cano disclination (a); contact of finger prints with disclination (b); recovery of disclination (c) and (d).

ある。F-構造はゆっくりと移動し、Cano ディスクリネーションに接した Fig. 3(b)。この時、Cano ディスクリネーションは消滅した。この変化に対応する分子配向の変化は Fig. 4(b) のようになる。その後 F-構造は消滅し、Cano ディスクリネーションが回復した (Fig. 3(c) および 3(d))。F-構造は Cano ディスクリネーションに沿って消滅した。この過程は、F-構造に存在するディスクリネーション (Fig. 4(b)・印) がセルの中心部へ移動し、連続な P-構造が回復した後、ディスクリネーションが更に移動収縮し、一点に収束するために Cano ディスクリネーションが再形成されることを示している (Fig. 4(c) および 4(d))。以上の結果から、F-構造を形成しているディスクリネーションは容易に移動し得ることが解る。

一方、F-構造が消滅する直前に再び電圧を印加すると、F-構造は Cano ディスクリネーションに沿って伸びた。この結果は、Fig. 4(c) の構造が核となり、Fig. 4(b) の F-構造が形成されることを示している。従って Cano ディスクリネーションから F-構造が形成されるときも Fig. 4(c) のような核が形成されると推察される。Cano ディスクリネーション部には、ラセン軸が壁面に平行な部分が存在する (Fig. 1(b) 及び 4(d))。この部分は電界に対して都合の良い構造である。従って、P-構造のラセン軸を回転させるには不足であるが、Cano ディスクリネーション近傍の分子を回転させるには充分な電圧が印加されると、Cano ディスクリネーションから、F-構造の核、或は、新たなディスクリネーションが形成されると考えられる。このディスクリネーションから Fig. 2(b) に見られるよう

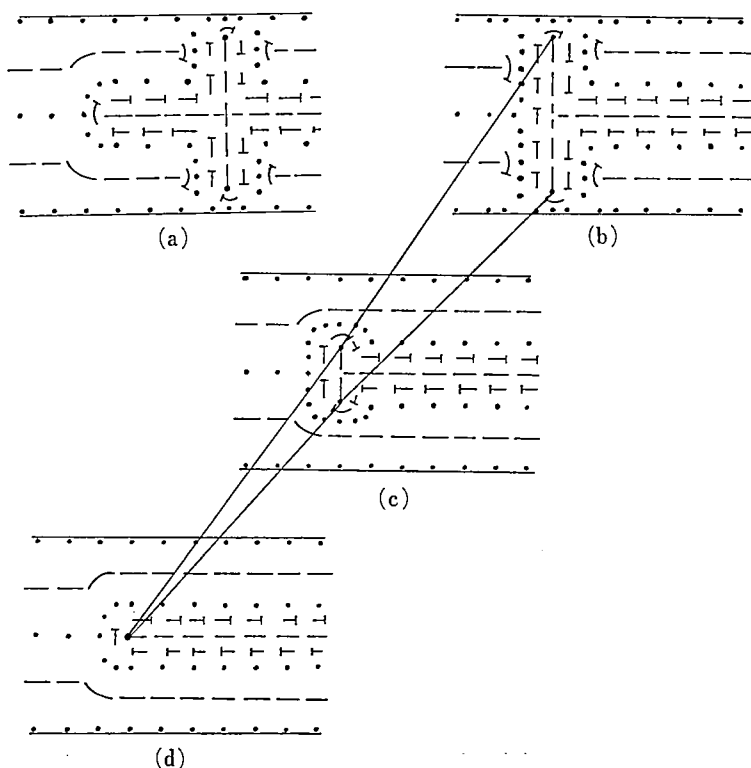


Fig. 4. Plausible texture models corresponding to the cross section of the arrow part in Fig. 3, respectively.⁴⁾

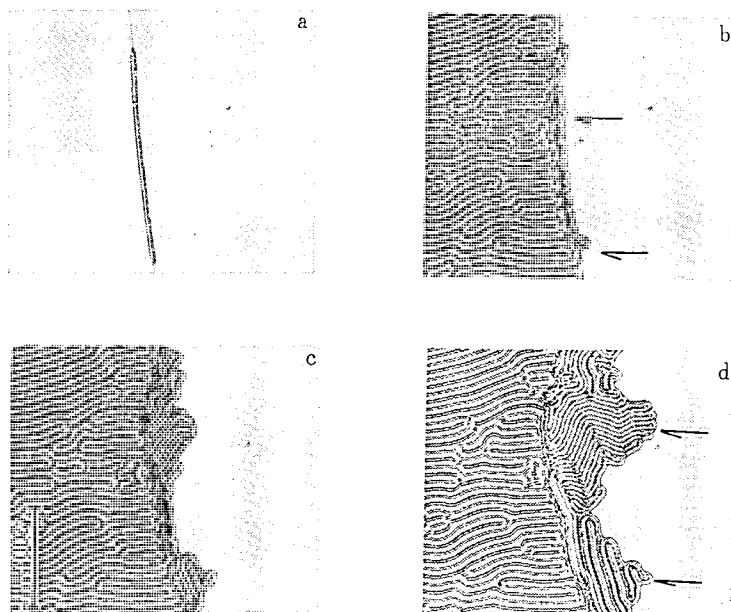


Fig. 5. Finger prints remaining after removal of fields (a); propagation of finger prints at 6V (b); 3min after (c) and 5min after (d) of (b).⁴⁾

な F-構造が形成されるのであろう⁴⁾。

一度 Cano ディスクリネーションが F-構造に変化すると、 $m=3$ の P-構造に乱れを生じさせない P-F 構造変化が生じる。このような構造変化は、ラセン軸の 90° 回転を伴う平行型セルでは観察することが出来ない。F-構造が消滅する前に、 $m=2$ の P-構造に周期的ドメインを形成する程度の電圧を印加すると、F-構造は $m=3$ の P-構造の中へ擾乱を伴わずに成長した (Fig. 5(a)~5(d))。この成長過程において、すでに述べたものとは別の新しいディスクリネーションが F-構造から形成された (Fig. 5(b) の矢印)。このディスクリネーションは Fig. 4 におけるディスクリネーションとは対照的に、壁面に垂直なディスクリネーション線を有している。新たに形成されたディスクリネーションの移動が F-構造の成長をもたらした。電圧を減少させるとこのディスクリネーションは後退し、F-構造は収縮した。この結果は、P-F 構造変化が競合する 2 つの効果により支配されていることを示している。液晶分子を回転させる電界の効果が上回れば、F-構造は成長し、P-構造を保持する壁面の効果が上回れば、F-構造は収縮する。この P-F 構造変化においては、ディスクリネーション部のみで液晶分子の配向が変化することになり、P-構造に擾乱は生じない。ディスクリネーションの移動は、Ch 液晶が、優勢な効果のもとで、より有利な構造を形成する過程で生じる。

3.2. H-F 緩和への磁界の効果

前節で述べた平行配向処理くさび型セルでは、一般に Cano ディスクリネーションから多数のストライプ状 F-構造が形成されるため、孤立した F-構造の成長の様子を観察することができない。以下の実験では、孤立した F-構造を形成するために、垂直配向処理を施した平行型セルにおける、電界誘起 H-構造の緩和過程を用いた。この緩和過程では、異なった条件のもとで、同じ欠陥から、孤立した F-構造を繰返し形成させることができる。

電界誘起 H-構造はコレステリック-ネマチック相転移に要する域値電圧 ($V_c=12\text{V}$) をセルに印加することにより得られる (Fig. 1(c))。印加電圧をわずかに減少させると ($V/V_c=0.9$)、微小欠陥から F-構造が形成された (Fig. 6(a))。F-構造は、先ず、先端部に存在するディスクリネーションの移動を伴い様々な方向へ直線状に伸びるが、次いで、すでに伸びた部分に蛇行現象¹¹⁾が生じた。このような複雑な過程を経て F-構造は成長した (Fig. 7(a))。H-構造は除々に F-構造に緩和し、F-構造は電圧除去後安定に存在した。

相転移の域値電界に直角な磁界 (H) を印加し、電圧をわずかに減少させても ($V/V_c=0.9$)、同じ欠陥から F-構造が形成されるが、この F-構造の成長過程は印加磁界の強度により変化した。磁界が 1.5 kG を越えないときは、F-構造の成長過程に変化は生じなかった。磁界が $1.5\text{ kG} \leq H < 4.8\text{ kG}$ の範囲では、形成された F-構造は磁界に平行に伸びるが、中央部では蛇行現象が生じた (Fig. 6(b))。この条件のもとでは、磁界方向に引伸ばされた模様を有する F-構造が形成された。F-構造は磁界、電界除去後安定に存在した。蛇行現象は磁界が増大すると生じにくくなった。印加磁界が 4.8 kG に達すると、欠陥から形成される F-構造の蛇行現象は完全に抑制された (Fig. 6(c))。この場合、H-構造は除々に磁界に平行な直線状 F-構造に緩和した (Fig. 7(b))。Fig. 7(b) は外部場により配列を制御された F-構造の最初の観察例である。Fig. 7(b) の右端に見られる密集した F-構造は電極終端から形成されたものである。直線状 F-構造が密集した後、磁界を除去しても蛇行現象は生じない。

電界のもとでの緩和現象の観察は、ディスクリネーションの移動と蛇行現象が、F-構造の成長過程において重要な役割を果たすことを示している。ディスクリネーションの移動はラセン軸に直角に F-構造を伸ばし、蛇行現象は F-構造の複雑な模様を形成する。電界

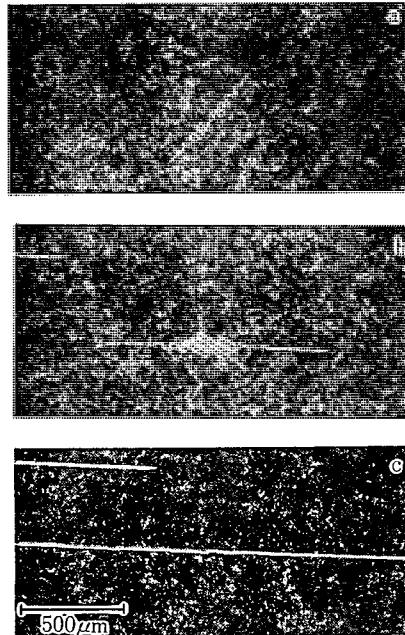


Fig. 6. Isolated finger print observed 2.5 min after of nucleation under electric fields (a) and under orthogonal fields (b) $H=2.8\text{kG}$ and (c) $H=4.8\text{kG}$.

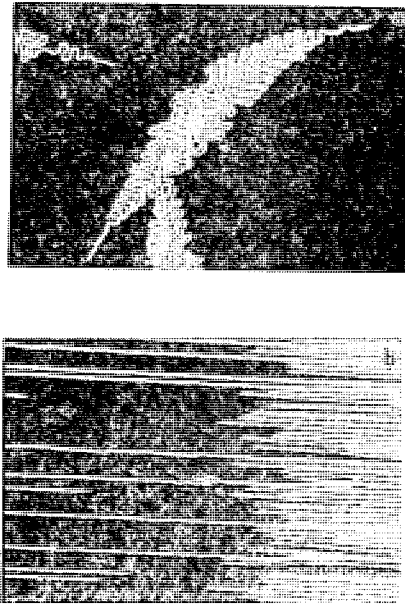


Fig. 7. Complicated finger print texture (a) and linear finger print texture (b) formed 10min after of Fig.6 (a) and 6 (c), respectively.

に直角な磁界のもとでは、域値磁界を越えると先ず、ディスクリネーションの移動方向が制限され、次いで、更に磁界が増大すると蛇行現象が抑制された。磁気感受率異方性が正の液晶分子からなる F-構造においては、磁界に垂直な方向が、ラセン軸にとり都合の良い方向である。従って、磁界に平行な F-構造が伸び易くなるために、ディスクリネーションの移動方向が制限されるのであろう。蛇行現象の起源は明らかではないが、磁界が増大すると、F-構造のラセン軸は、蛇行現象を抑制するに十分な程、強固に固定されると考えられる。また、直線状 F-構造は、それ自身の密集効果により、磁界を除去した後でも、安定に存在し得ることが解った。Fig. 6 は、F-構造が同一欠陥から形成された後、2.5 分後に撮影されたものであり、磁界が増大すると、F-構造の伸びる速度もまた増加することが解る。この結果は、直交する電磁界のもとでは、H-構造が不安定になり、F-構造への緩和が促進されることを示している。

4. 結 論

3.1 の観察結果から、平行配向処理を施した、くさび型セルにおいては、平行型セルに見られるラセン軸の 90° 回転を伴う P-F 構造変化とは異なる機構で、構造変化が生じることが明らかとなった。

3.2 の観察結果から、電界に直角な磁界のもとでは、H-F 緩和により形成される、孤立した F-構造のラセン軸は、液晶分子の磁気感受率異方性のために、磁界に直角に整列することが解った。

文 献

- 1) J. P. Hulin: Appl. Phys. Lett., 21 (1972) 455.
- 2) H. U. Rega and E. Sackmann: Ber. Bunsenges. Phys. Chem., 78 (1974) 915.
- 3) P. Kassubek and G. Meier: Mol. Cryst & Liq. Cryst., 8 (1969) 305.
- 4) N. Nawa and K. Nakamura: Jpn. J. Appl. Phys., 18 (1979) 2041.
- 5) P. de Gennes: Solid State Commnu., 6 (1968) 163.
- 6) W. Greubel: Appl. Phys. Lett., 25 (1974) 5.
- 7) 那波, 小倉, 中村: 第5回液晶討論会予稿集, (1979) 66.
- 8) S. V. Belyaev and L. M. Bilnov: Sov. Phys.-JETP., 43 (1976) 96.
- 9) N. Eber and I. Janossy: Mol. Cryst. & Liq. Cryst. Lett., 49 (1979) 137.
- 10) 那波, 千坂, 小倉, 中村: 第39回応用物理学会予稿集, (1978) 536.
- 11) M. Kawachi, O. Kogure and K. Kato: Jpn. J. Appl. Phys., 17 (1978) 391.