

# レーザーピンセットによるネマチック液晶中の欠陥構造の操作：多重リング状 wall 構造の形成

京都大学大学院理学研究科 小島正寛、山本潤、吉川研一

**【はじめに】** 液晶相にはその対称性に応じた種々の配向欠陥が存在しており、それらの間には液晶弾性場を介した相互作用が働く。近年コロイド液晶分散系において、コロイド粒子間に働く長距離相互作用が大きな注目を集めているが、これもコロイド粒子周りの配向欠陥誘起の相互作用である<sup>(1)</sup>。またこの系では、液晶分散媒に比べて低屈折率のコロイド粒子がレーザーピンセットによって補足されるという、一見常識と反する現象が報告されている<sup>(2)</sup>。これはコロイド粒子周りの配向欠陥構造とレーザー誘起の配向ひずみとの弾性相互作用による自由エネルギー利得が、低屈折率の物体がレーザー焦点に位置することによる静電的エネルギー損失を上回るからである。この様に液晶の欠陥構造を介した種々の相互作用は興味深い様々な現象をもたらす一方、まだまだ未解明な点も多い。

本研究では直線偏光レーザーピンセットによってシュリーレン組織状のネマチック液晶中に配向ひずみを作り出し、そのひずみと欠陥構造を相互作用させることを試みた。その結果レーザー焦点を中心とする多重リング状 wall 構造を作り出すことに成功した。直線偏光レーザーを用いる事で、照射領域内の液晶分子がレーザーの偏光方向と平行となるようなトルクを与えることが出来る<sup>(3)</sup>。

**【結果と考察】** 図 1 にレーザー焦点を $-1/2$  転傾欠陥周りに約一周連続的に移動させた際の偏光顕微鏡像をあげる。(以後図(A)中の緑線は液晶分子の長軸の平均方向(ダイレクタ)をあらわしており、この線の交点を転傾と呼ぶ。(B)の偏光顕微鏡像ではブラシ(図中の黒い筋)が細くなって交わる点に相当する) 本実験において、レーザーは紙面垂直奥方向にむかって照射されており、その偏光方向は横方向としている。レーザーの偏光方向とブラシ上のダイレクタが平行なときには、特に変化は観察されなかった(図 1.(a))。しかしレーザー焦点を移動させ、ダイレクタが偏光方向と垂直であるブラシに近づけた際には、レーザー焦点からブラシがはじかれる様子が観察された(図 1.(b))。これはブラシとレーザー焦点上のダイレクタが垂直であることに由来する弾性反発である。さらに焦点をブラシに食い込むように移動させると、変形したブラシの一部が千切れてリング状の構造が形成された(図 1.(c)、(d))。生成されたリング状は、レーザー焦点の移動に追従する(図 1.(e))。またリングを纏った状態では、先ほど

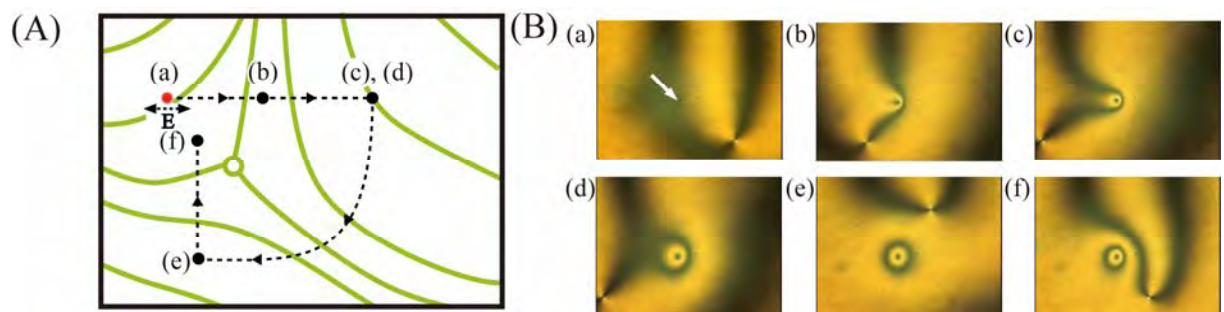


Fig. 1 リングが生成される過程. (A) レーザースポット軌跡の模式図. スポットは $-1/2$ の転傾周りに一周させた。(B) (A)中の各地点でのスナップショット. 白矢印は焦点の位置を示す。また右下の十字はクロスニコルの方向を、スケールバーは $10 \mu\text{m}$ を示す。

は特に変化がおこらなかったブラシもレーザー焦点からはじかれるようになった。この様子からこのリングはレーザーの偏光方向とは垂直なダイレクタを持つと考えられ、この構造が wall 構造であると推測される。

次にレーザー焦点を+1/2 転傾特異点周りに一周半連続移動させた(図 2.)。この操作は一重リング状 wall 構造を作る操作の繰り返しに相当し、この操作によって三重のリング状 wall 構造が生成された(図 2.(d))。この多重リング状 wall 構造の輝度プロファイルの円環平均をとって解析を行った結果、その極大値、極小値が等比数列であらわされることがわかった(図 2.(d'))。またクロスニコルの状態からアナライザのみを回転させた際に、リングのサイズが縮むものと膨らむものの二種類が確認された。この実験結果は、構造の中心から動径方向にダイレクタが時計回り、反時計回りに回転している二種類の多重リング状 wall 構造が存在することを意味する。

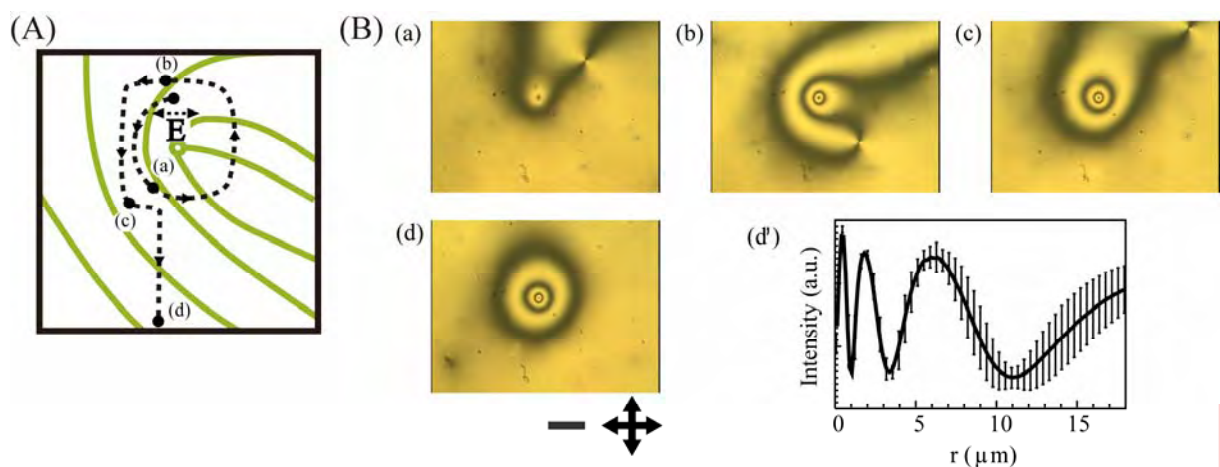


Fig.2 多重リング状 wall 構造が形成される過程. (A) レーザースポット軌跡の模式図. スポットは+1/2 特異点周りを一周半させた. (B) (A)中の各地点でのスナップショット. (a)一重、(b)二重、(c)三重リング状 wall の生成過程. 生成されたリング状 wall 構造(d)の黒環の半径は、この構造を円環平均した輝度解析(d')により等比数列となっていることが分かった

このリング半径の等比性について考察した。まずこの構造の円柱対称を仮定し、ダイレクタの紙面に垂直な成分が 0 であるとする。次にフランク弾性自由エネルギーを最小化する事で、中心から半径  $r$  の位置でダイレクタの偏角  $\psi$  は

$$\psi(r) = (\psi_b - \psi_c) \frac{\log(r/r_c)}{\log(r_b/r_c)} + \psi_c$$

と求められる。ここで  $r_b$  はバルクの配向を回復する距離、 $\psi_b$  はその配向角をあらわす。また  $r_c$  はレーザースポットの半径を、 $\psi_c$  はレーザーの偏角とする。この式はリング半径の等比性を良く再現する。またダイレクタの時計回り、反時計回りの二種類の構造はそれぞれ  $\psi_b$  の符号が負、正とする事であらわされる。

#### 【参考文献】

- (1) H. Stark, Phys. Rep. **351**, 387 (2001).
- (2) M. Skarabot et al., Phys. Rev. Lett. **83**, 021705 (2006).
- (3) F. Simons and O. Francocangeli, J. Phys. Cond. Matt. **11**, R439 (1999).
- (4) P. G. de Gennes and J. Prost, *The Physics of Liquid Crystals*, 2nd ed. (Oxford, 1993).