

1. 緒言

液晶とは棒状の分子が、位置に関しては秩序を持たず、向き(配向)に関してのみ秩序を有する状態を指す。そのため、液晶は流動性を持ちながら、一方で結晶の性質である光学異方性や誘電異方性を示す。液晶特有の性質を利用した製品として液晶ディスプレイが知られているが、近年、液晶をアクチュエータに応用する新たな試みも行われている。

先に述べたように、液晶中で分子は互いの長距離秩序効果によって配向した状態にあり、液晶の新規応用を考える上で分子配向場に関する情報が不可欠である。液晶分子の局所的平均配向方向は、一般的にディレクタと呼ばれる単位ベクトルで表される。分子配向場(ディレクタ場)は、場の歪エネルギーが最小となるように平衡状態を形成する。本研究では、この分子配向場のエネルギーに着目する。表面上に垂直配向処理を施した同心二重円筒の間隔に液晶材料を充填した場合、図1(a)に示すように円筒表面で棒状分子が表面に対して垂直に配向し、また、液晶内部の分子配向場は歪エネルギーを最小にするように放射状の分布を示す。内円筒を外円筒の中心からずらした場合(図1(b))、分子配向場の歪エネルギーは内円筒が外円筒中心にある場合と比べて大きくなり、内円筒を中心方向へ押す力が発生すると考えられる。このことより、例えば、微小な力を検出するセンサとして液晶を利用できると考えられる。

そこで、本研究では、偏心二重円筒間における液晶分子の配向状態の数値解析を行い、分子配向場の歪エネルギーの増加によって発生する力を評価するとともに、液晶の新たな応用について提案する。

2. 基礎式及び数値計算

ディレクタ \mathbf{n} の角運動方程式は次式で表わされる。

$$\mathbf{0} = \mathbf{n} \times \left\{ -\frac{\partial F}{\partial \mathbf{n}} + \nabla \cdot \frac{\partial F}{\partial \nabla \mathbf{n}} \right\} \quad (1)$$

配向場の弾性歪みに基づく単位体積当たりの自由エネルギー密度 F は次式で与えられる。(1)

$$2F = K_1(\nabla \cdot \mathbf{n})^2 + K_2(\mathbf{n} \cdot \nabla \times \mathbf{n})^2 + K_3|\mathbf{n} \times \nabla \times \mathbf{n}|^2 \quad (2)$$

ここで $K_1 \sim K_3$ はそれぞれディレクタの空間的な広がり、ねじれ、曲がりを表すフランク弾性定数である。偏差応力テンソル $\boldsymbol{\tau}$ は次式で与えられる。

$$\boldsymbol{\tau} = -\frac{\partial F}{\partial \nabla \mathbf{n}} \cdot (\nabla \mathbf{n})^T \quad (3)$$

図2に座標系および計算領域を示す。内円筒半径 r_{in} 、外円筒半径 r_{out} の二重円筒間にネマティック液晶を充填し、計算には一般座標を用い、空間方向には2次精度中心差分法を用いて数値計算を行った。 $r_{out}=2.5\text{mm}$ 、 $r_{in}=0.5\text{mm}$ 、中心 y 座標はともに0に固定した。そして液晶分子を内外円筒の表面に対して垂直に配向させたとして、内円筒の偏心量 L を0, 0.5, 0.75, 1, 1.25, 1.5mmと変化させ内円筒に与える影響を調べた。

3. 計算結果及び考察

図3は内円筒の偏心量 $L=1.5\text{mm}$ の場合の配向分布を示す。図中の線分はディレクタを表す。内円筒が中心からずれることで、内円筒近傍(とくに内円筒の左側の領域)では配向場が大きく歪んでいることが分かる。先に述べたように内外円筒表面上でディレクタは固定されており、内部のディレクタ

は内外円筒表面での固定配向を満たすのと同時に、歪エネルギーが最小となるような分布を示す。したがって、内外円筒間の距離が小さい内円筒左側の領域では、内円筒表面での固定配向から外円筒表面での固定配向へ短距離で変化しなければならないため、分子場の歪が大きくなる。図4は内筒表面にかかる x 軸方向の力を表す。図の縦軸は単位長さ当たりの x 方向の力 F_x 、横軸は内円筒の偏心量 L である。偏心量 L が増加するにしたがって、内円筒を中心へと押す力が指数関数的に増加することが分かる。

以上より、液晶配向場の歪みエネルギーを利用した新たなデバイスの開発可能性を示した。

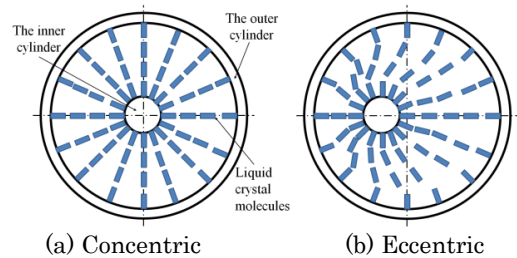


Fig.1 Molecular orientation configurations between cylinders

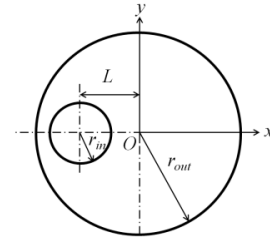


Fig.2 Computation geometry and coordinate system

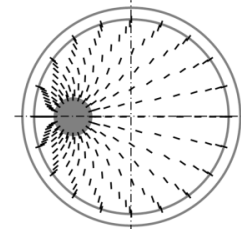


Fig.3 Orientation distribution

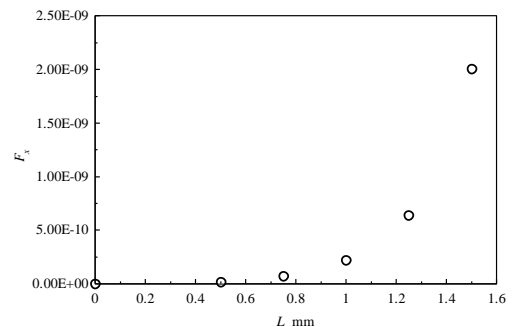


Fig.4 Force in x-direction exerted on an inner cylinder

参考文献

(1) Chandrasekhar, S.; 木村初男・山下護共訳, 液晶の物理学原書第2版, 吉岡書店, (1995)