

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2008

課題番号：19560187

研究課題名（和文） 液晶メカニクスを用いた液晶材料の新規応用分野の開拓

研究課題名（英文） Development of New Liquid Crystalline Devices Utilizing Mechanics of Liquid Crystal

研究代表者

辻 知宏(TSUJI TOMOHIRO)

高知工科大学・工学部・准教授

研究者番号：60309721

研究成果の概要：

本研究では入力あるいは出力に流動を含む場合にターゲットを絞り、液晶材料を用いたこれまでに無い全く新しいデバイスの開発を目指す。具体的には、流動 液晶分子配向場の変化 電磁場 熱エネルギー 液晶分子配向場の変化 流動の2つについて理論計算および実験の両面からアプローチを行い、液晶材料を用いた高精度力学センサーおよび熱エネルギーを用いた液晶アクチュエータの開発可能性を示した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2008 年度	1,600,000	480,000	2,080,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・流体工学

キーワード：非ニュートン流

## 1. 研究開始当初の背景

液晶材料の表示素子への応用が発見されて以来、液晶材料の光学的性質や電気的性質について盛んに研究が行われてきた。その結果、液晶ディスプレイは従来のブラウン管型ディスプレイにとって代わり、フラットパネルディスプレイ（FPD）という新規産業分野が創出された。一方、ELディスプレイやプラズマディスプレイなどより優れた FPD の開発が進んでおり、液晶産業にとって脅威となっている。しかし、液晶ディスプレイ技術はほぼ成熟しきっており、後発の FPD にそのシェアを徐々に奪われていくことは容易に予測がつく。そこで、液晶産業の活性化のためには、液晶材料の新規応用分野の開拓が急務で

あると考えられる。近年、申請者らは液晶材料を利用したマイクロアクチュエータに関する提案（平成13年10月特許出願，平成16年8月登録，現在国際特許出願中）を行ったが、固体、液体、気体に次ぐ第4の状態と言われる液晶の利用用途は他にも多岐にわたって存在するはずである。図1は液晶材料への外部からの入力因子とそれともなう外部への出力因子を表す。例えば、液晶ディスプレイの場合には液晶に電場を与え、液晶分子の配向方向の変化を引き起こすことにより、光の変化を得ている（電場 液晶分子配向場の変化 光の変化）。また、液晶駆動型アクチュエータの場合には、液晶に電場あるいは磁場を入力し、流動を出力する仕組

みである（電場・磁場 液晶分子配向場の変化 流動）。一方で，図 1 に示すように 3 つの入力因子と 3 つの出力因子が存在すれば，単純に  $3 \times 3 = 9$  通りの組み合わせがあり，上述の 2 つ（ディスプレイとアクチュエータ）を除いても 7 通りもの液晶利用法の可能性がある．そこで本研究では，これまでに行われていない入力因子と出力因子の組み合わせについて理論および実験の両面からアプローチすることによって，全く新しい液晶デバイスの開発を目指す．

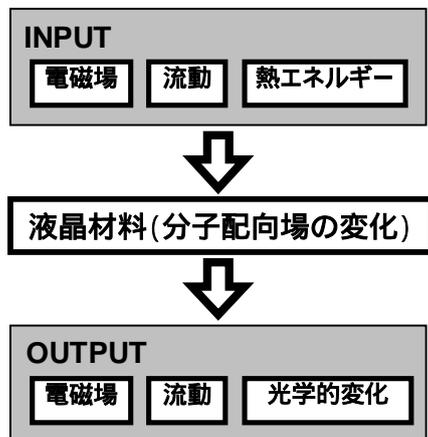


図 1 液晶材料への入力および出力因子

## 2. 研究の目的

上述した液晶材料への入力因子および出力因子の組み合わせは，ディスプレイと電場および磁場を用いた液晶アクチュエータを除いても 7 通り存在する．その全てを本科研費交付期間内に遂行・完結することは不可能である．

そこで，本研究では入力あるいは出力に流動を含む場合にターゲットを絞り，液晶材料を用いたこれまでに無い全く新しいデバイスの開発を目指す．具体的には，本科研費交付期間内に

流動 液晶分子配向場の変化 電磁場  
熱エネルギー 液晶分子配向場の変化  
流動

の 2 つについて理論計算および実験の両面からアプローチを行い，液晶材料を用いた高精度力学センサーおよび熱エネルギーを用いた液晶アクチュエータを開発する．具体的には，

### (1) 高精度力学センサー

液晶の分子配向場にある種の歪みを生じさせることにより，液晶材料に巨視的な分極が生じることが知られている．本研究では，液晶の分子配向場に歪みを発生させる要因として流動を考える．液晶材料に加えられた力に応じて発生する液晶流動による分極値を読み取ることにより，加えられた力を測定することを試みる．

### (2) 熱をエネルギー源とする液晶アクチュエータ

液晶材料に熱を加えると材料は液晶相から等方相へと相転移する．等方相にある材料を再び液晶相へと転移させると液晶材料中に分子配向場の特異構造が生じることが知られている．この特異構造が消滅する際に液晶材料中に流動が発生することが予想される．特異構造の発生と消滅をコントロールすることによって，液晶流動を制御し，液晶アクチュエータとしての利用を試みる．

## 3. 研究の方法

### (1) “流動 液晶分子配向場の変化 電磁場”に関する数値シミュレーションおよび実験

液晶材料の物性値，平板間距離，せん断速度および平板面での配向処理強度をパラメータとして，平行平板間せん断流れによる巨視的分極についての数値シミュレーションを系統的に行い，流動によって誘起される液晶の巨視的分極を最適に利用できるパラメータの組み合わせを探る．シミュレーションには Leslie-Ericksen 連続体理論を用い，非定常解析を行う．その後，シミュレーション結果を基にして，実験装置および液晶材料の仕様を決定し，実験を行う．

### (2) “熱エネルギー 液晶分子配向場の変化 流動”に関する数値シミュレーションおよび実験

液体相から液晶相まで連続したシミュレーションを行うには，液晶分子の配向方向のみならず分子の配向秩序度を同時に，かつ高精度で計算する必要がある．そこで，本研究では，長距離分子間秩序作用を考慮した Marrucci-Greco ポテンシャルを土井理論に適用した理論を用いた．計算を高精度に行うために，配向分布関数を球面調和関数を用いて展開した式を使用した．実験方法として，ネマティック液晶である 5CB を 2 枚のガラス間に注入し，その後，一旦，ネマティック等方相転移温度以上に加熱する．そして，5CB を相転移温度以下に急冷することにより，液晶中に欠陥構造を作り出し，その挙動を偏光顕微鏡により観察する．また，液晶中にあらかじめ混入したポリスチレン微粒子の移動より，欠陥構造の対消滅過程によって生じる液晶流動を測定する．

## 4. 研究成果

### (1) タンプリング液晶流動における触れクソエレクトリック効果に関する研究

液晶を流体力学的に分類すると，せん断流動中で液晶分子の配向方向が静止するアライニング液晶と液晶分子の配向方向が回転し続けるタンプリング液晶に分けることが

できる。また、液晶分子の配向場に歪みが生じると、分子の対称性の破れにより、液晶が巨視的分極を発現することが知られており、一般にフレクソエレクトリック効果と呼ばれている。本研究では、タンブリング液晶である 4-n-Octyl-4-cyanobiphenyl (8CB) にせん断流動を与え、分子の回転による分子配向場の歪みを発生させることにより、フレクソエレクトリック効果を誘発し、流動を利用した全く新しい液晶デバイスの開発可能性について吟味した。2枚の平板間に液晶を注入し、一方の平板を動かすことにより、液晶にせん断流動を与えた場合、平板間で発生する巨視的分極値は2枚の平板面での分子配向角度の差に依存することを予備解析により明らかにした。そこで、平板面での分子配向条件をそれぞれ強固定配向条件および弱固定配向条件とし、配向強度をパラメータ  $A_e$  として解析を行った。解析結果の一例を図2および図3に示す。図2の横軸はせん断流れ印加後の無次元経過時間  $t^*$ 、縦軸は平板面間の配向角の差  $\phi$  である。 $A_e$  が大きい場合は、せん断流動の影響をほとんど受けず、 $0^\circ$  を維持する。 $A_e$  が小さい場合には、せん断流動の影響を強く受け、階段状に減少し続ける現象が見られる。一方、図3は平板間での巨視的分極値  $P_{iy}^*$  の時間変化である。 $A_e$  が大きい場合には、平板間での配向角度差がほとんど現れないため、巨視的分極値もほとんど生じない。しかし、 $A_e$  が小さくなると、巨視的分極値は鋭いピークを繰り返しながら減衰する。さらに、 $A_e$  がある臨界値以下になると、巨視的分極値は鋭いピークを繰り返す周期的挙動を示すことを明らかにした。この流動による周期的巨視的分極挙動を応用することにより、高精度な歪センサーや水準器といった全く新しい液晶デバイスを開発可能であり、液晶産業の活性化につながると考えられる。

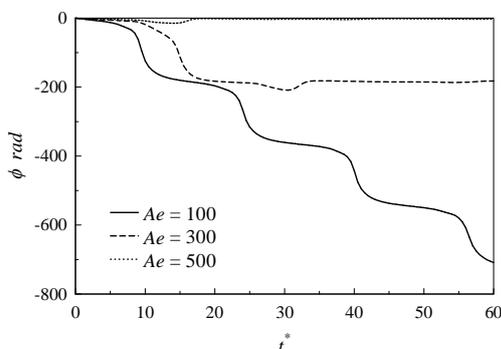


図2 平板間配向角度差の時間変化

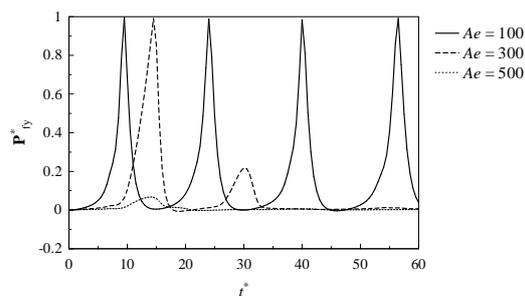


図3 平板間巨視的分極値の時間変化

## (2) ネマティック液晶の分子配向欠陥の対消滅が誘起する流れの解析

本研究では液晶欠陥と呼ばれる分子配向場の空間的歪みが対消滅する過程において誘起する液晶流動を応用して、熱を用いた新しいタイプの液晶アクチュエータを開発することを目的とする。その基礎研究として、欠陥対消滅過程において誘起される液晶流動を理論的に予測するとともに実験的に確認する。ネマティック液晶を偏光顕微鏡下で観察すると、液晶分子が偏光方向に対して平行または垂直に配向している領域では暗視野に、 $\pm 45^\circ$  方向に配向している領域では明視野となり、他の方向に配向している領域ではグレーとなる。図4は代表的な低分子液晶である *N*-(*p*-methoxybenzylidene)-*p*-butyl-aniline (MBBA) の等方相から液晶相への相転移直後の写真であり、液晶特有のシュリーレン組織が観察されている。図中に帯状組織が交差する箇所(図中の  $\square$  で示す箇所)がいくつか存在する。これらは液晶欠陥または単に欠陥と呼ばれ、ここを中心に分子配向場の空間的歪みが発生している。液晶欠陥同士は互いに引き付け合い、最終的に消滅することが実験的に確認されている。この欠陥対消滅過程では、分子配向状態が変化するため流動の誘起が予測される。この流動を解析するために、まず、一対の欠陥消滅過程における分子配向場と速度場の連立解析を Marrucci - Greco ポテンシャルを適用した土井理論を用いて行った。計算にあたり、配向分布関数を球面調和関数を用いて近似することにより、計算精度の維持と計算速度の向上を図った。図5に計算結果の一例として無次元時間  $t^* = 0.55$  における速度分布を示す。速度ベクトルの基準となるベクトルを図の下に示す。また図中の  $\square$  は欠陥核の位置を示す。図から液晶流動が誘起されていることが確認できる。また液晶欠陥構造は計算領域内において上下対称であるため速度分布も上下対称となっている。一方、左右欠陥核近傍の速度ベクトルを比較した場合明らかに左側の欠陥核近傍の速度ベクトルが大きい。このことから液晶欠陥構造の違いにより欠陥核の周りに誘

起される速度分布に違いが生じることが分かる。また欠陥核の周りの液晶流動は渦状であり、計算領域内に合計6個の渦が誘起されていることが分かる。計算結果を確認する目的で、等方状態のMBBAを液晶状態にまで冷却し液晶欠陥を発生させ、MBBA中に混入された微粒子の運動を観測することにより液晶欠陥が対消滅する過程において誘起される液晶流動を測定した。図7に5秒間隔で撮影した2枚の顕微鏡映像を示す。この図より、液晶中に混入した微粒子(図中の○)が欠陥の消滅にともなって移動しており、欠陥対消滅過程が流動を誘起することが確認された。この流れを利用して、液晶を利用した熱駆動型アクチュエータの開発が可能であることを明らかにした。

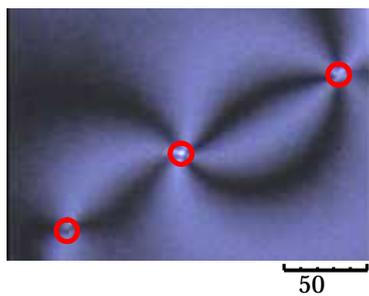


図4 ネマティック液晶の配向欠陥構造

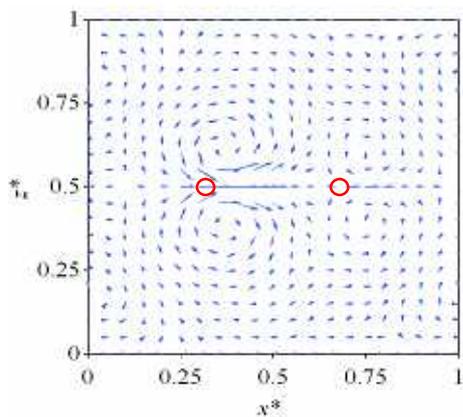


図5 欠陥対消滅による速度分布

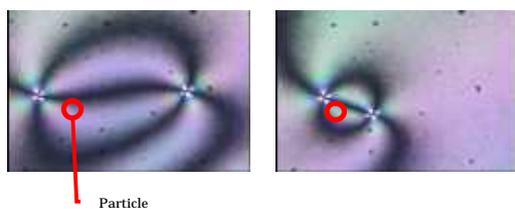


図7 欠陥消滅過程における微粒子の移動

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 4件)

T. Nagae, T. Tsuji and S. Chono, Numerical simulation of flow-induced flexoelectric effect in liquid crystals, Journal of Fluid Science and Technology, 2, 258-269, 2007, 査読有

S. Chono and T. Tsuji, Proposal of mechanics of liquid crystals and development of liquid crystalline microactuators, Applied Physics Letters, 92, 051905-051907, 2008, 査読有

S. Fu, T. Tsuji and S. Chono, Effect of magnetic field on molecular orientation of nematic liquid crystalline polymers under simple shear flow, Journal of Rheology, 52, 451-468, 2008, 査読有

A. Sunarso, T. Tsuji and S. Chono, Molecular dynamics simulation of backflow generation in nematic liquid crystals, Applied Physics Letters, 93, 244106-244108, 2008, 査読有

[学会発表](計 4件)

田村和之, 松見隆紀, 三枝嘉孝, Alfeus Sunarso, 辻 知宏, 蝶野成臣, ハイブリッドセルを用いた液晶アクチュエータの提案, 日本機械学会流体工学部門講演会, 2007年11月17日, 東広島市

M. Kuroiwa, T. Tsuji and S. Chono, Numerical and Experimental Studies of Liquid Crystalline Flows Induced by Annihilation of Paired Defects, 5th Joint ASME/JSME Fluids Engineering Conference, 2007年8月1日, San Diego, USA

H. Yamasaki, T. Tsuji, and S. Chono, Numerical simulation of azimuthal flow of nematic liquid crystal between concentric cylinders, 22nd International Liquid Crystal Conference, 2008年7月4日, 韓国済州島

S. Chono and T. Tsuji, On liquid crystalline microactuators, 22nd International Liquid Crystal Conference, 2008年7月4日, 韓国済州島

S. Chono and T. Tsuji, Back-flow of ne

matic liquid crystals and its application  
to liquid crystalline microactuators, 15th  
International Congress on Rheology, 2008年  
8月5日, アメリカ, カリフォルニア州  
モントレー

〔産業財産権〕

出願状況(計 1件)

名称: 液体 - 液晶間相転移を利用した物体移動機構および物体移動方法

発明者: 辻 知宏, 蝶野成臣

権利者: 学校法人高知工科大学

種類: 特許権

番号: 特願 2009-42163

出願年月日: 2009年2月25日

国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

辻 知宏 (TSUJI TOMOHIRO)

高知工科大学・工学部・准教授

研究者番号: 60309721

(2) 研究分担者

蝶野成臣

高知工科大学・工学部・教授

研究者番号: 20155328