

令和 5 年 6 月 7 日現在

機関番号：17501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H01374

研究課題名(和文) 電気対流が誘起する液晶の負の粘性

研究課題名(英文) Negative viscosity induced by electroconvection in a nematic liquid crystal

研究代表者

長屋 智之(Nagaya, Tomoyuki)

大分大学・理工学部・教授

研究者番号：00228058

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：MBBA液晶の電気乱流状態において、自発的に流れが出現し、見かけの粘性値が負になる現象を発見した。せん断応力を制御してせん断速度を測定すると、両者の関係に履歴が生じる。この現象は、強誘電体などの相転移と類似している。粘性測定においては、せん断応力は、粘性応力と、電気的応力があり、この実験系の場合には電気的応力が負になることが負の粘性の原因と考えられる。液晶の粘性理論に基づき、これらの応力の大きさを見積もった結果は実験結果と定性的に一致した。MBBAの同族液晶であるEBBA, PBBA, BBBAにおいて粘性測定を行ったところ、これらの液晶でも負の粘性現象が発現することがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

負の粘性を示す流体の開発は様々な実験系で行われ、2015年に大腸菌分散溶液において初めて約-0.1 mPa・sの負の粘度を実現した。我々は液晶という均一な非生物系で初めて約-25 mPa・sの負の粘度を達成した。負の粘性の発現と消滅に関わる分岐現象が、強誘電体などの相転移と類似することを明らかにした。これらが学術的に重要な点である。負の粘性を示す液晶を利用すると、非常に小さいモーターを作成することが可能である。電場を印加するだけで回転を起こすことが可能なため、応用的な観点から社会的意義がある発見といえる。

研究成果の概要(英文)：We found that in the electro-turbulent state of MBBA liquid crystals, spontaneous flow arises and the apparent viscosity value becomes negative. When shear stress is controlled and shear rate is measured, a hysteresis is generated in the relationship between the two. This phenomenon is similar to phase transitions in ferroelectrics. In viscosity measurement, shear stress consists of viscous stress and electrical stress, and in the case of this experimental system, the negative electrical stress is considered to be the cause of the negative viscosity. Based on the viscosity theory of liquid crystals, the magnitudes of these stresses were estimated in qualitative agreement with the experimental results. Viscosity measurements were performed for EBBA, PBBA, and BBBA, which are homologous liquid crystals of MBBA, and it was found that the negative viscosity phenomenon also occurs in these liquid crystals.

研究分野：ソフトマター物理学

キーワード：液晶電気対流 レオロジー 負の粘性

1. 研究開始当初の背景

一般に液晶分子は棒状の形状をしており、誘電率と導電率は棒の長さ方向の値と長さ方向に垂直な方向の値に違いがある。棒の長さ方向とそれに垂直な方向の誘電率を、それぞれ $\epsilon_{//}$ 、 ϵ_{\perp} とし、それらの差(誘電異方性)を $\Delta\epsilon = \epsilon_{//} - \epsilon_{\perp}$ とする。同様に、棒の長さ方向とそれに垂直な方向の導電率をそれぞれ $\sigma_{//}$ 、 σ_{\perp} とし、それらの差(導電率異方性)を $\Delta\sigma = \sigma_{//} - \sigma_{\perp}$ とする。 $\Delta\sigma$ が正、 $\Delta\epsilon$ が負のネマチック液晶に交流電場を印加すると、液晶内にロール状の対流が生じる事が Williams によって発見された⁽¹⁾。この液晶電気対流は、非平衡散逸系における散逸構造の格好の実験系として 1980 年代から統計力学の分野で活発に研究が行われてきた。それらの研究では、出現するパターンとそのメカニズムの解明が主な課題であり、液晶の粘性率が電気対流の存在によってどの様になるかに関しては興味を持たれていなかった。

1990 年代には、電場を印加すると粘性率が著しく変化する流体(ER 流体)が工学分野で興味を持たれるようになった。当初は、粒子分散型 ER 流体が研究の中心であったが、均一物質として液晶が興味を持たれるようになり、様々な液晶で電場による粘性率の変化を調べられるようになった。ただし、電場の印加によって粘性率を増加する液晶が必要とされていたため、研究が行われた液晶試料は、誘電異方性が正の高分子液晶が中心であった。そのため、電気対流が発現する低分子液晶の粘性率に関しては殆ど研究が行われてこなかった。

この様な状況の中、代表者は電気対流の存在が液晶の粘性にどの様に影響を及ぼすかに興味を持ち、液晶電気対流の代表的な試料である *p*-methoxybenzylidene-*p'*-*n*-butylaniline(MBBA)を用いて電場下の粘性測定の実験を始めた。液晶電気対流が発生するしきい値電圧は印加電場の周波数に依存し、周波数がある値 $f_{\text{cut-off}}$ 以上では系全体に渡る対流は発生しなくなる。せん断速度が 7.85s^{-1} 、印加周波数が 60Hz の場合、粘性率は印加電圧の増加につれて増加し、約 60V でピークを取り、それ以上では粘性率が減少する特異な現象を発見した⁽²⁾。ピーク電圧は周波数の増加につれて増加し、 $f_{\text{cut-off}}$ 以上の周波数では、粘性率の電圧依存性は電圧に対して単調に減少した。 $f_{\text{cut-off}}$ 以下の高電圧下での粘性率減少の考察を行い、 $\Delta\epsilon < 0$ が関与していると予測した。そこで、 $\Delta\epsilon$ が正のネマチック液晶 *p*-ethoxybenzylidene-*p'*-cyanoaniline(EBCA)を MBBA に僅かに混合し、 $\Delta\epsilon$ が -0.483 から $+0.245$ までの 9 種類の混合液晶を準備し、これらに 60Hz の交流電場を印加した場合の粘性率を測定した⁽³⁾。粘性率の減少は $\Delta\epsilon$ が負の場合のみに発現することがわかった。

上記の研究の中で、粘性率の測定は電場を印加するために平行平板型のセンサーを用いているが、もし、センサーにトルクを与えないで自由に回転できるようにすると何が起きるかを確かめる実験を行った。その結果、低周波電場を液晶に印加すると、円板型センサーは自発的に回転することがわかった。電場を印加しただけで液晶内に流れが起き、その結果センサーが回転したことになる。一般に粘性とは流れに対する抵抗であるため、勝手に流れが起きることは見かけ上粘性が負になることを意味する。負の粘性を示す流体の開発は様々な実験系で行われ、López らは 2015 年に大腸菌分散溶液において初めて約 $-0.1\text{ mPa}\cdot\text{s}$ の負の粘度を実現した⁽⁴⁾。一方、我々は液晶という均一な非生物系で初めて約 $-25\text{ mPa}\cdot\text{s}$ の負の粘度を達成した。

2. 研究の目的

負の粘性状態を発見したが、如何なる機構で負の粘性が発現するかは未解明であった。そこで、本研究の目的を負の粘性の発現機構の解明とした。粘性測定、顕微鏡観察により液晶分子の平均の向きと流れを求め、負の粘性の理論モデルの構築を試みることにした。本研究の開始前までは、負の粘性を調べた液晶は、純粋液晶の MBBA とディスプレイ用の混合液晶である MLC2038 の 2 種類のみであった。MLC2038 では負の粘性は確認できていない。そこで、MBBA と同じシッフ塩基系液晶である *p*-ethoxybenzylidene-*p'*-*n*-butylaniline (EBBA)、*p*-*n*-propoxybenzylidene-*p'*-*n*-butylaniline (PBBA)、*p*-*n*-butoxybenzylidene-*p'*-*n*-butylaniline (BBBA)についても、負の粘性が発現する可能性があると考えた。そのため、これらの液晶においても電場下の粘性測定を行うことにした。また、安定なディスプレイ用の負の誘電性液晶においても負の粘性を調べることにした。

3. 研究の方法

主たる研究方法は、レオメーター(Anton Paar MCR 402 WESP)による粘度測定である。本研究では、電場を印加した状態での粘性測定と、液晶試料の顕微鏡観察が同時にできるように、透明電極(ITO)付きガラス製の粘度計センサーを作成した。液晶電気対流は、誘電異方性と導電率異方性に依存する。そこで、LCR メーター(Keysight E4980AL)と電磁石を利用して液晶の配向方向をかえながら LCR メーターでインピーダンスと位相を測定する実験系を構築した。

4. 研究成果

(1) MBBA 液晶の負の粘性の実験結果

せん断速度 $\dot{\gamma}$ を変えてせん断応力 σ の 50Hz の交流電場 E 依存性を調べた。どのせん断速度に

においても、せん断応力は電場の増加につれて一旦増加し、ピークを取った後に減少する。 $\dot{\gamma} = 1$ の場合には、 E が $0.9 \text{ V}/\mu\text{m}$ 付近で σ は 0 になり、 E の増加につれてせん断応力が減少した。粘度計センサーの上部円板にトルクを加えずに円板の回転速度 ω を測定したところ、 ω は E の 2 乗に比例した。これは、電場と配向の相互作用は電場の 2 乗に依存するためである。

図 1 に、50Hz の交流電場を印加したときの負の粘性を示す電場領域におけるせん断速度 $\dot{\gamma}$ とせん断応力 σ の関係を示す。(a) はせん断応力制御測定、(b) はせん断速度制御測定の結果である。どちらの結果も、電場の 2 乗を一定間隔で増加させた。(a) は強誘電体の分極 vs 電場 と類似の履歴曲線を示す。強誘電体の自発分極に相当する量は、せん断応力が 0 の時のせん断速度に対応する。この量を“自発せん断速度”と命名した。

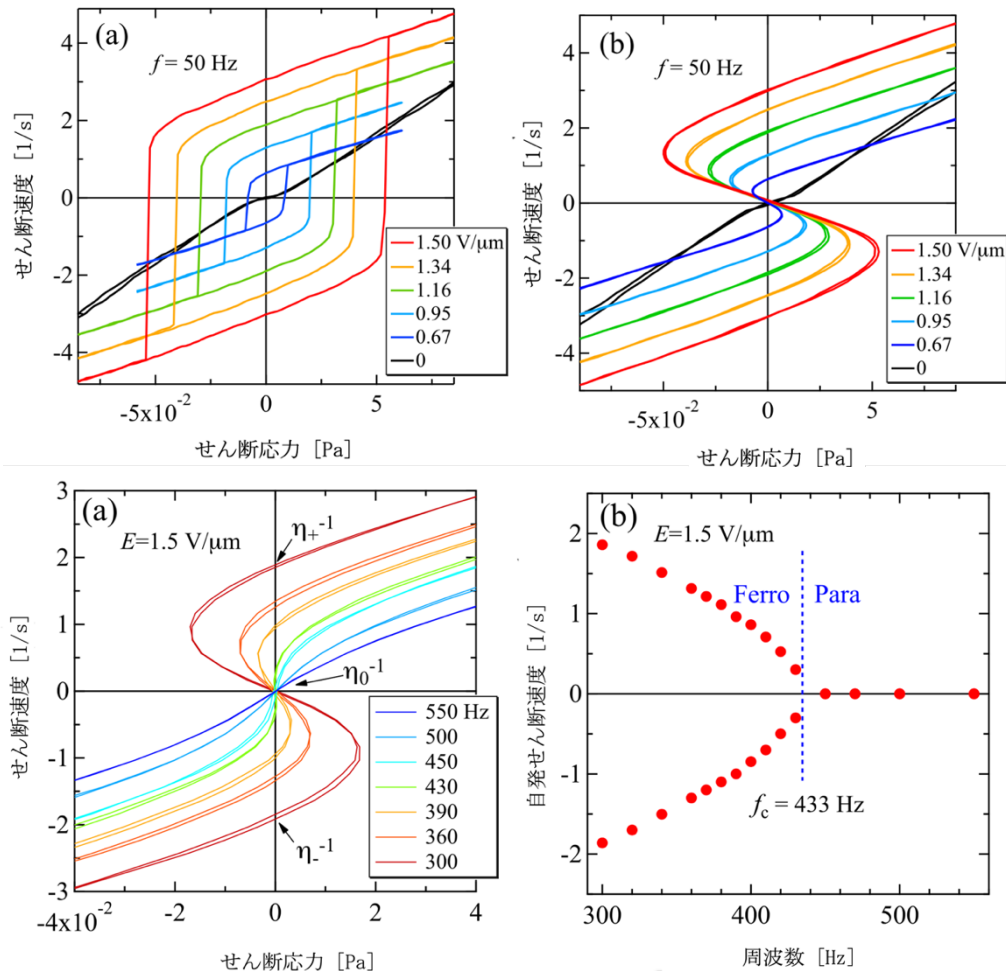


図 2 (a) 応力と速度の周波数依存性, (b) 自発せん断速度の周波数依存性

この系では、せん断応力の次元を持つ物理量が 3 つ存在する。1 つは、せん断応力 σ そのもの、もう一つは、せん断速度に粘性定数を掛けた量 $\gamma_1 \dot{\gamma}$ 、そして最後の 1 つは電場と配向の相互作用に関わる量 $\epsilon_0 \Delta \epsilon E^2$ である。ただし、 γ_1 は液晶の回転粘性率、 ϵ_0 は真空の誘電率を表す。これらの 3 つの物理量からせん断応力とせん断速度に関わる無次元の物理量として、 $\tilde{\sigma} = \sigma / \epsilon_0 \Delta \epsilon E^2$ と $\tilde{\gamma} = \gamma_1 \dot{\gamma} / \epsilon_0 \Delta \epsilon E^2$ を考えると、次のこれらの間にはスケーリング関係が成立することがわかった。

印加する交流の周波数を変化させたときのせん断応力とせん断速度の関係を図 2(a) に示す。低周波数の場合には、この曲線は S 字型のカーブを描くが、周波数が高くなるにつれて S 字の横幅が狭くなると共に自発せん断速度の値は 0 に近づき、曲線は第 2 と第 4 象限に入らなくなる。自発せん断速度の周波数依存性を図 2(b) に示す。周波数が 433Hz のときに自発せん断速度は 0 になり、分岐現象が起きていることがわかる。この現象は強誘電体や強磁性体の相転移に類似しており、自発せん断速度がこの系の分岐現象の秩序変数になっていることがわかる。そこで、自発せん断速度の位置での S 字曲線の傾きの逆数からせん断応力が 0 での微分粘性率を求めた。自発せん断速度が正の場合と負の場合の微分粘性率を η_+ 、 η_- とし、原点での接線の逆数を η_0 とし、 η_+ 、 η_- と平均と η_0 の周波数変化の傾きを調べたところ、これらの傾きの比が 1.8:1 となった。これは、Curie-Weiss の法則の 2:1 に近い値であり、強誘電体相転移と類似していた。この類似性から、負の粘性状態の液晶を ferroviscous fluid と命名した。

(2) MBBA 液晶の負の粘性の起源の考察

負の粘性が発現する理由を考えるために、液晶の流体力学の理論であるエリクセン・レスリー理論に基づく考察を行った。負の粘性状態では、液晶は複雑な対流状態にある。この乱流状態における系全体の液晶分子の平均配向を考える。粘度計で測定するずり粘度は、液晶を挟む板の一方を一定の速さで動かすために必要なトルクから算出する。このトルクによるせん断応力は、液晶本来の粘性に起因する正の粘性応力 σ_v と、液晶と電場との相互作用によって誘起される電氣的応力 σ_e との合力 $\sigma_v + \sigma_e$ とつり合い、 σ_e は液晶の誘電異方性 $\Delta\epsilon$ によって発生すると考えた。そこで、乱流状態での液晶分子の平均的な向き（配向の確率分布関数）を仮定し、 σ_v と σ_e を実験と EL 理論の両方から求めた。 $\Delta\epsilon < 0$ の液晶では、配向分布によっては $\sigma_e < 0$ となる事があり、 $\sigma_v + \sigma_e$ が負になると自発流れが発生する。 σ_v は常に存在し、 σ_e は電場が印加された時のみに発生する。一定のせん断速度と電場をかけた状態において、せん断応力は $\sigma_v + \sigma_e$ であり、電場を切ると σ_v のみになる。 σ_v と σ_e を求めたところ、実験を再現することができた。

(3) EBBA 液晶における負の粘性

MBBA の EBBA 液晶についても粘性測定を行った。EBBA (P)はイオン性結晶を混合しない場合の試料、EBBA (H)はイオン結晶の tetrabutylammonium benzoate を混合した試料である。EBBA (P)、EBBA (H)の 1kHz での導電率はそれぞれ 5.67×10^{-9} , $1.28 \times 10^{-7} \Omega^{-1}m^{-1}$ である。EBBA (P)は 20Hz, 50Hz の場合にせん断応力は負にならないが、EBBA (H)は 100Hz の場合に約 $1.2V/\mu m$ 以上の電場で負の粘性を示した(図 3(a))。また、EBBA においても、MBBA の場合と同様なスケリングの関係が存在した(図 3(b))。

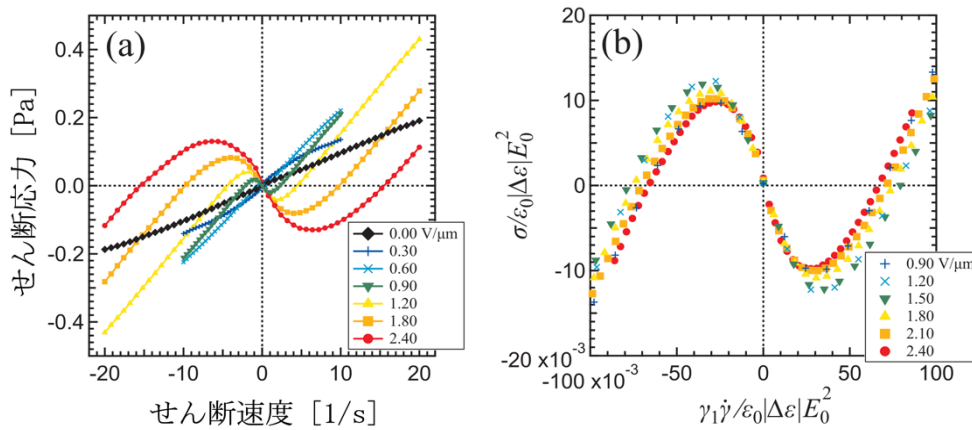


図 3 (a)EBBA(H)におけるせん断応力とせん断速度の関係、
(b) EBBA(H)におけるスケールされたせん断応力とせん断速度の関係

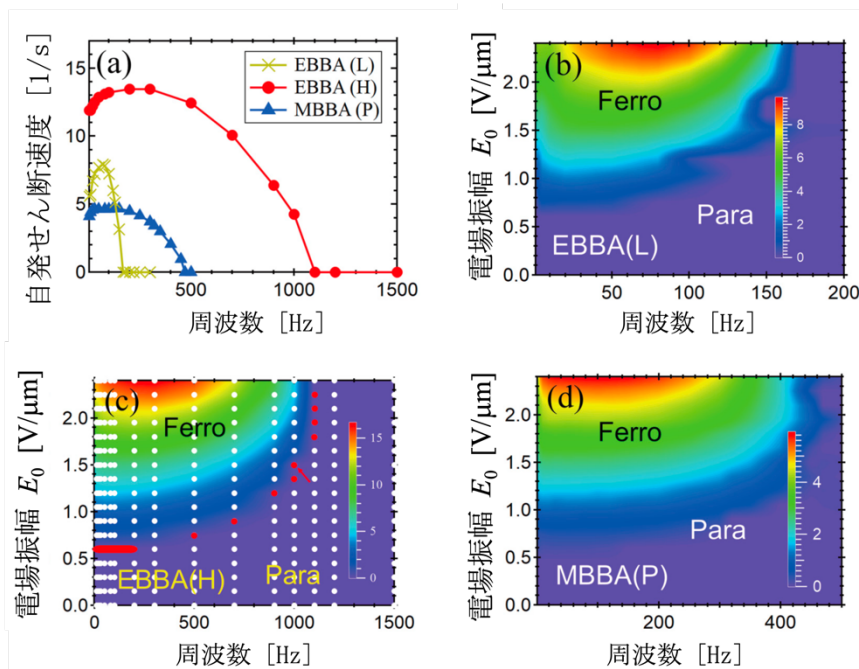


図 4 (a) EBBA と MBBA の自発せん断速度の周波数依存性、(b)EBBA の低導電率試料、(c)EBBA の高導電率試料、(d) MBBA の pure 試料

MBBA の時と同様に、EBBA は周波数が高くなると負の粘性を示さなくなる。EBBA の場合は、1200Hz 以上でこの関係が単調増加になる。 $f = 50 \text{ Hz}$ における EBBA の自発せん断速度は電場の 2 乗に比例した。EBBA(L) は 1kHz における導電率は $2.50 \times 10^{-8} \Omega^{-1}\text{m}^{-1}$ である。導電率が高いほど、自発せん断速度の大きさが大きい。すなわち、負の粘性が顕著になると言える。

図 4(a) に EBBA(L) と EBBA(H) の自発せん断速度の周波数依存性を示す。参考のため、MBBA の値も示してある。この MBBA はイオン性結晶をドープしておらず、導電率は $0.90 \times 10^{-7} \Omega^{-1}\text{m}^{-1}$ である。このグラフから、負の粘性を失う周波数は、液晶の導電率に大きく依存することがわかる。

EBBA の負の粘性の全体的な特徴を調べるために、自発せん断速度の電場と周波数による変化を調べた。EBBA(L) に対する結果を図 4(b)、EBBA(H) に対する結果を図 4(c) に示す。MBBA との比較のため、MBBA の結果を図 4(d) に示す。(b) から (d) の図において、紫色の領域が通常粘性を示す領域であり、青色から赤色の領域が負の粘性を示す領域である。(b) と (c) の結果を比べると、EBBA の自発せん断速度は MBBA に比べて約 3 倍大きいことがわかる。

(4) PBBA, BBBA における負の粘性

MBBA, EBBA よりもアルキル基の長さが長い PBBA, BBBA 液晶を合成し、それらの試料に TBAB をドープして粘性測定を試みたところ、負の粘性が発現することがわかった。この実験では、せん断速度を制御してせん断応力を測定した。この関係が S 字型の曲線になることは負の粘性を示すことを意味するため、PBBA, BBBA が負の粘性を示す液晶であることが明確にわかる。ただし、負の粘性の大きさは MBBA, EBBA に比べて小さい。

自発せん断速度は周波数と電圧によって変化する。PBBA と BBBA における自発せん断応力の周波数と電場の依存性は、MBBA のものとほぼ同じであった (図 5, 6)。PBBA, BBBA においても MBBA, EBBA と同様に、負の粘性はドープするイオン物質の量に強く依存し、イオンの濃度が非常に少ない場合は、負の粘性の発現は見られなかった。しかし、負の粘性の絶対値は、MBBA, EBBA よりも小さく、実用という意味では有用なものではなかった。また、PBBA, BBBA もシッフ塩基系の液晶のため、加水分解によって試料の劣化が起こるので、負の粘性の応用を考えると安定なディスプレイ用の液晶で負の粘性を示す物質を探索する必要がある。

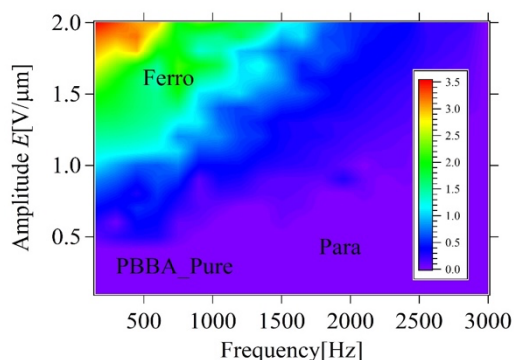


図 5 PBBA の自発せん断速度の周波数と電場依存性

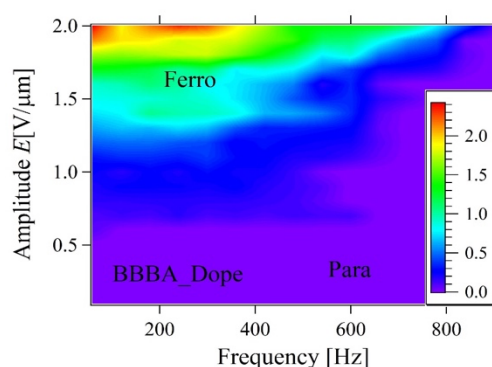


図 6 BBBA の自発せん断速度の周波数と電場依存性

(5) ディスプレイ用液晶における負の粘性

化学的に安定で負の誘電異方性を持つ液晶で負の粘性が発現するかを確認する為に、メルク社製のディスプレイ用のネマチック液晶 ZLI2452, MLC2038 に TBAB をドープして電場下の粘性を測定したが、負の粘性は発現しなかった。これらのディスプレイ用液晶は、ドープするイオン性結晶を変えても負の粘性は発現しなかった。その後、東京化成製の D-402 液晶にイオン性結晶 TBABTPB をドープした試料で電場下の粘性を測定したところ、負の粘性を確認することができた。

<引用文献>

1. R. Williams, J. Chem. Phys., **39** (1963) 384.
2. T. Nagaya, M. Niu, S. Nara, Y. H. Na, and H. Orihara, Phys. Rev. E, **87** (2013) 012501.
3. T. Nagaya, Y. Satou, Y. Goto, Y. Hidaka and H. Orihara, J. Phys. Soc. Jpn., **85** (2016) 074002.
4. H. M. López, J. Gachelin, C. Douarche, H. Auradou, and E. Clément, Phys. Rev. Lett. **115**, 028301 (2015).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yoshitomo Goto, Atsuya Shishibe, Hiroshi Orihara, Stefania Residori and Tomoyuki Nagaya	4. 巻 102
2. 論文標題 Observation of stochastic resonance in a liquid-crystal light valve with optical feedback induced by colored noise in the driving voltage	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 062702-1-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevE.102.062702	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Fumiaki, Kobayashi, Yuji Sasaki, Shuji Fujii, Hiroshi Orihara and Tomoyuki Nagaya	4. 巻 101
2. 論文標題 Negative viscosity of liquid crystals in the presence of turbulence: Conductivity dependence, phase diagram, and self-oscillation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 022702/1-9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevE.101.022702	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Hiroshi Orihara, Yuko Harada, Fumiaki Kobayashi, Yuji Sasaki, Shuji Fujii, Yuki Satou, Yoshitomo Goto and Tomoyuki Nagaya	4. 巻 99
2. 論文標題 Negative viscosity of a liquid crystal in the presence of turbulence	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 012701-1/10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevE.99.012701	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Tomoyuki Yano, Yoshitomo Goto, Tomoyuki Nagaya, Ichiro Tsuda and Shigetoshi Nara	4. 巻 VI
2. 論文標題 A Pseudo-neuron Device and Firing Dynamics of Their Networks Similar to Neural Synchronizing Phenomena Between Far Local Fields in the Brain	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Advances in Cognitive Neurodynamics	6. 最初と最後の頁 109 ~ 117
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/978-981-10-8854-4_14	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計17件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Tomoyuki Nagaya and Hiroshi Orihara
2. 発表標題 Discovery of negative viscosity state in liquid crystals under an electric field
3. 学会等名 2nd International Conference on Optics and Photonics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小林史明, 氏家誠司, 折原宏, 長屋智之
2. 発表標題 電場誘起のMBBA同族液晶の負の粘性
3. 学会等名 日本物理学会第78回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長屋智之, 津田洋介, 氏家誠司, 後藤善友, 小林史明, 折原宏
2. 発表標題 電気対流によって誘起されるシッフ塩基液晶の負の粘性
3. 学会等名 西日本非線形研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 津田洋介, 後藤善友, 小林史明, 折原宏, 長屋智之
2. 発表標題 液晶電気対流下における液晶のレオロジー
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会 (物性)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小林史明, 佐々木裕司, 藤井修治, 折原 宏, 長屋智之
2. 発表標題 液晶 EBBA の負性粘度により誘起された自励振動
3. 学会等名 第 67 回レオロジー討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小林史明, 佐々木裕司, 藤井修治, 折原 宏, 長屋智之
2. 発表標題 イオンをドーブした液晶 EBBA における負の粘性
3. 学会等名 第 67 回レオロジー討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野中祐輝, 氏家誠司, 津田洋介, 小野澤晃, 後藤善友, 長屋智之, 小林史明, 折原宏
2. 発表標題 有色ノイズがMBBA 液晶の負の粘性発現に及ぼす効果
3. 学会等名 第 125 回日本物理学会九州支部例会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 津田洋介, 氏家誠司, 小野澤晃, 後藤善友, 長屋智之, 小林史明, 折原宏
2. 発表標題 液晶電気対流によって誘起される MBBA 同族液晶の負の粘性
3. 学会等名 第 125 回日本物理学会九州支部例会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小林史明, 佐々木裕 司, 藤井修治, 長屋智之, 折原 宏
2. 発表標題 イオンをドーブしたEBBAの電場下における自発流れの発生
3. 学会等名 2019年 日本液晶学会討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長屋智之, 折原宏
2. 発表標題 電気対流によって誘起される液晶の負の粘性
3. 学会等名 大阪府立大学ニュー・フロンティア材料研究会 第310回講演会(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomoyuki Nagaya, Yuko Harada, Yuji Sasaki, Shuji Fujii, Yousuke Tsuda, Yoshitomo Goto and Hiroshi Orihara
2. 発表標題 Negative Viscosity Induced by Electroconvection in MBBA
3. 学会等名 27th International Liquid Crystal Conference(ILCC2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshitomo Goto, Tomoyuki Nagaya and Hiroshi Orihara
2. 発表標題 Stochastic Resonance induced by Dichotomous Noise in a Liquid Crystal Light Valve with Optical Feedback
3. 学会等名 27th International Liquid Crystal Conference(ILCC2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Fumiaki Kobayashi, Yuji Sasaki, Yoshiki Hidaka, Tomoyuki Nagaya and Hiroshi Orihara
2. 発表標題 Observation of Orientational Fluctuations below a Bifurcation to Electroconvection in a Chiral Nematic Liquid Crystal
3. 学会等名 27th International Liquid Crystal Conference(ILCC2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 後藤善友, 猪部篤矢, 折原 宏, 長屋智之
2. 発表標題 光フィードバック下の液晶光バルブにおける2値ノイズによる確率共鳴
3. 学会等名 2018年液晶学会討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小林史明, 佐藤 耀, 佐々木裕司, 藤井修治, 折原 宏, 長屋智之
2. 発表標題 電場によって誘起された液晶乱流の性質
3. 学会等名 2018年液晶学会討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomoyuki Nagaya and Hiroshi Orihara
2. 発表標題 Negative Viscosity of a Liquid Crystal in the Presence of Electroconvection
3. 学会等名 4th International Mini-Symposium on Surface Forces (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshitomo Goto, Tomoyuki Nagaya and Hiroshi Orihara
2. 発表標題 Observation of Stochastic Resonance Induced by Dichotomous Noise in a Liquid Crystal Light Valve with Optical Feedback
3. 学会等名 American Physical Society March Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>ひらめきときめきサイエンス「実験を通じて学ぶ液晶の科学」を2019/11/10に実施 http://zairyo.susi.oita-u.ac.jp/nagayalab/hirameki2019HP/index.html 実験と工作で体験するカオスと液晶の科学 http://zairyo.susi.oita-u.ac.jp/nagayalab/hirameki2018HP/index.html</p>
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	岩下 拓哉 (Iwashita Takuya) (30789508)	大分大学・理工学部・准教授 (17501)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	折原 宏 (Orihara Hiroshi)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------