

令和元年6月13日現在

機関番号：17501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2018

課題番号：15K13553

研究課題名(和文) 剪断流動場における液晶電気対流の乱流 - 乱流転移とレオロジー

研究課題名(英文) Rheological properties of turbulence transition in a liquid crystal under electric field.

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) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：ある種の液晶に電圧を印加すると対流が発生する。電圧が高いと対流は乱流状態になるが、液晶には乱流状態が2つある。disclinationと呼ばれる配向欠陥をもつ動的散乱モード(Dynamic Scattering Mode 2:DSM2)と、それを持たない動的散乱モード(DSM1)である。この2種類の乱流状態の粘性の違いを研究した。粘度計の性能限界のために両者の粘性に著しい違いは観測されなかったが、DSM2状態で見かけの粘性が負になる現象を発見した。負の粘性とは液体が自発的に流れることを意味する。負の粘性の発見は通常物質では初めてであり、学問的に非常に価値の高い発見といえる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で最も学術的に意義がある成果は、液晶電気対流の乱流状態において見かけの粘性が負になる事を見つけたことである。粘性が負になる現象は、大腸菌溶液において大腸菌がほぼ一方向に泳ぐ事によって起きることがわかっているが、通常の物質で粘性が負になることは初めての発見である。粘性が負になるという事は、自発的な流れが起きることであるので、液晶電気対流を例えば平行平板に入れて発生させると、一方の板が勝手に移動するのでモーターとして利用できることになる。複雑な仕掛けなしで電場を印加させるだけでモーターを作ることが可能になるので、マイクロマシンへの応用が期待できる。

研究成果の概要(英文)：An electrical convection occurs in a nematic liquid crystal under an electric field. By increasing the electric voltage, the convection becomes turbulent states. There are two kinds of turbulent states, so called Dynamic Scattering Mode 1 (DSM1) and DSM2. Only in the DSM2 state, there are a great number of disclinations that are singularity of director field. In order to clarify the differences in rheological properties between the two states, we measured the viscosity of the liquid crystal in the both turbulent states. Unfortunately, we could not find the differences due to the limitation of rheometer. However, we found a very interesting phenomenon that the apparent viscosity in the DSM2 state becomes negative and a spontaneous flow arises. This is a first experimental report for the negative viscosity in normal materials. The discovery of the negative viscosity is quite valuable in the field of material sciences.

研究分野：物性物理学

キーワード：レオロジー 液晶

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

誘電異方性 $\Delta\epsilon$ が負のネマチック液晶(MBBA)を平行配向セルに入れて低周波の交流電圧 V を印加すると、ある電圧で縞状の電気対流(Electro Convection:EC)が出現する。電圧を増加させると、欠陥乱流、グリッドパターンと変化し、高電圧下では動的散乱モード(Dynamic Scattering Mode:DSM)と呼ばれる乱流状態になる。DSM 状態には2種類有り、ある電圧 $V_{\text{dsm1-2}}$ 以下の DSM1 状態ではディレクターと呼ばれる液晶分子の配向 $n(\mathbf{r})$ が空間的に不連続にならないが、 $V_{\text{dsm1-2}}$ 以上では糸状の配向欠陥(転傾:disclination)が出現して $n(\mathbf{r})$ が部分的に不連続になる。この DSM2 乱流の中の転傾は、超流動 He 中の量子渦糸と類似性がある事がわかっている(図1)。

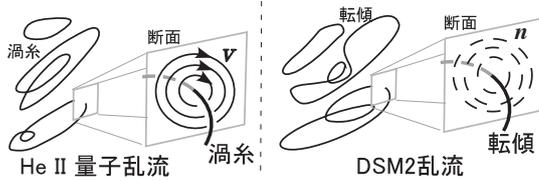


図1 He II の渦糸(左)と DSM2 の転傾(右)

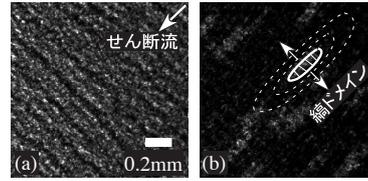


図2 乱流の縞構造

液晶電気対流は、散逸構造の格好の実験系として 1980 年代から長年研究されてきた。多くの研究者はパターンダイナミクスを研究対象にしていたが、我々は散逸構造の下での輸送係数に興味を持ち、EC 状態下の粘性の研究を行い、DSM 状態で粘性率が電場の増加に伴って著しく減少することを発見した。これは、液晶自体の粘性が減少するのではなく、配向場と電場の相互作用により粘度計センサーに負の電気的応力が働くためと推定した。これを確かめるために、MBBA に $\Delta\epsilon$ が正の液晶(EBCA)を適量混合し、 $\Delta\epsilon$ が異なる混合液晶で電場下の粘性測定を行ったところ、予想通り $\Delta\epsilon$ が負の場合のみ高電圧での粘性減少が確認された。また、この実験において、 $\Delta\epsilon$ が 0 に近い試料では乱流状態でありながら縞状乱流パターンが出現する事を発見した(図2 (a))。激しい乱流から縞状乱流ドメインが核生成・成長(図2 (b))して全体が縞状乱流パターンになるので、乱流-乱流転移が起きていると考えている。ドメインの成長途中で電圧を切ると、ドメインは周囲の乱流領域よりも、転傾の数が著しく少ない。剪断が無い場合は、 $V_{\text{dsm1-2}}$ 近傍で DSM1 領域から DSM2 のドメインが核生成して成長する乱流-乱流転移が起きる可能性がある。もし縞状乱流ドメインが DSM1 ならば、剪断によって DSM2 から DSM1 に逆に転移したことになる。そうでない場合は、未知の乱流状態に転移したことになる。どちらの場合も新規現象であり、転傾が転移に重要な役割を担っている。転傾の中心の周囲では液晶の配向が大きく歪んでいるために転傾は張力を持ち、弾性エネルギーが高い状態になっているので、DSM1-2 転移の近傍で粘性が変化する可能性がある。

2. 研究の目的

上記の過去の研究実績の下、本研究では高電圧下の乱流状態における粘性の減少のメカニズムを明確にする目的で、DSM1-DSM2 転移に関わる粘性の変化、誘電異方性と縞状乱流構造の関係を実験的に調べることを行った。また、DSM1-DSM2 転移はトポロジカル欠陥の生成が関係する転移であるので、DSM1 と DSM2 の転移において粘性に特徴的な変化が現れる場合は、他のトポロジカル欠陥が関係する転移とのアナロジーの存在があるかを調べる予定であった。

3. 研究の方法

(1)本研究は、実験を主とする研究である。市販の高性能レオメーターの平行平板型試料センサー部分を、図3 (a)に示す様に液晶試料の組織が高速カメラ付き顕微鏡で観察できるように改造し、粘度測定と組織観測を同時に行った。当初計画では、図3 (b)に示す様に液晶試料の高さ方向に中央部分で流れ場が 0 になるように下部プレートを上部プレートと逆回転する装置を作成して(a)の場合よりもより正確に観測できるようにする予定であったが、研究途中でレオメーターのモーターが故障し、その修理に多額の費用がかかったために、残念ながら(b)の装置を作成することはできなかった。

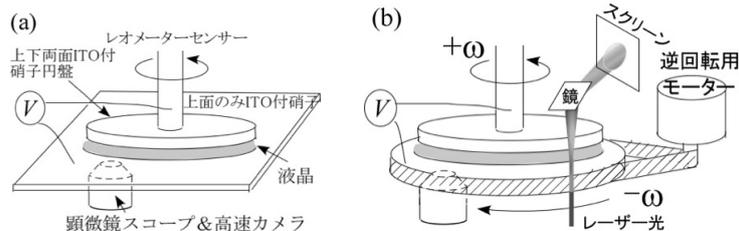


図3 実験系 (a) 観測可能パラレルプレート, (b) 正逆回転型

(2) 試料として用いるのは、液晶電気対流の標準試料である *p*-methoxybenzylidene-*p'*-*n*-butylaniline (MBBA) とした。MBBA は負の誘電異方性 $\Delta\epsilon$ を持つ。 $\Delta\epsilon$ の値を制御して粘性を調べるために、 $\Delta\epsilon$ が正の *p*-etoxy benzylidene *p'*-cyano aniline (EBCA) を混合した。試料の温度は 30°C、上下のガラス板の間隔は 0.1mm と固定した。

4. 研究成果

(1) MBBA と EBCA の混合率を変化させ、電気対流が起きる誘電異方性 $\Delta\epsilon$ の範囲で粘性の電圧変化を測定した結果を図4に示す。 $\Delta\epsilon$ が正の場合、粘性は電圧増加と共に単調増加するが、 $\Delta\epsilon$ が

負の試料では、約 60V 付近から粘性の減少が観測される。また、一般に DSM1-2 の転移電圧とされる 30V 付近では、粘性の特徴的変化は観測できなかった。EBCA の混合率が 1.0%以上、 $\Delta \varepsilon$ が-0.18 以上では、90V 付近から縞状構造が現れた (図 5)。誘電異方性の正、負に関わらず縞は存在するので、粘性の減少と縞構造の関連はないと考えられる。縞の間隔の電圧及び誘電異方性依存性を図 6 に示す。このデータからは、明確な電圧依存性は確認できなかった。ただし、この液晶の粘性は水の粘性の数十倍程度の低い値であり、市販の最高級レオメーターでも測定限界に低い粘性値である。現有のレオメーターは最高級のレオメーターでは無いために、DSM1-2 に伴う粘性変化が小さいものであれば、検知できない可能性はある。従って、現有のレオメーターよりも高性能なレオメーターを用いて再実験を試みたいと考えている。

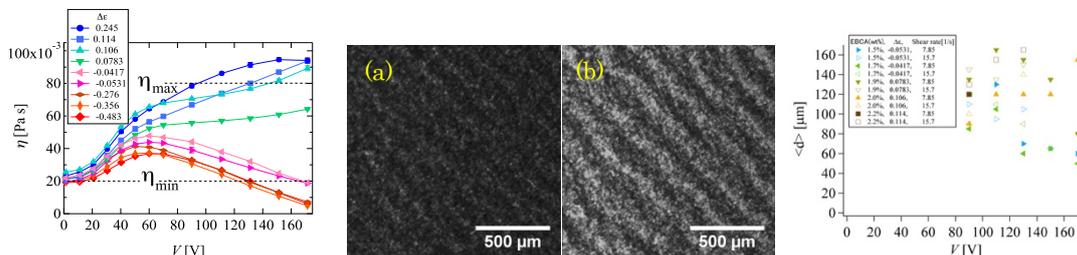


図 4 粘性の電圧変化 図 5 縞状構造 (a) $\Delta \varepsilon = -0.72$, (b) 0.040 図 6 縞間隔の $\Delta \varepsilon, V$ 依存性

(2) 縞の発生過程を調べるために、せん断がある状態で縞が発生する範囲の電圧を印加し、発生する過程を観察した。図 7 (a) は、せん断場がある状態で 170V の電圧を印加した直後、(b), (c) と黒い領域が減っていき、逆にストライプの領域が広がっていく様子が確認出来る。この成長の途中で電圧を切った直後の様子が (d) である。電圧を切った直後にストライプは消滅し、黒い領域ではディスクリネーションが確認できる。電圧を切った直後の黒い領域は DSM2 で、ストライプの領域は DSM1 であるとするならば、せん断によって DSM2 から DSM1 への逆転移が起こったことになる。実験結果からせん断場では、DSM2 領域のディスクリネーションはすぐに消滅し、逆に DSM1 領域のディスクリネーションはせん断によって発生するということになる。この事実から、図 7 (b), (c), (d) の黒い領域と (e) のディスクリネーションがある領域は DSM2 ではなく DSM1 領域であり、ストライプパターンは DSM2 領域と推定される。従って、せん断によって DSM2-DSM1 の逆転移が起きたというわけではなかった。ストライプパターンは、核生成後に成長することによって全領域が広がっていく。液晶は光学的異方性を持つ物質のため、光の伝播方向が配向に依存して曲がる。この為、画像から配向を予測することは極めて難しく、この縞構造をもたらす液晶の配向に関する情報を観測画像から得ることはできなかった。

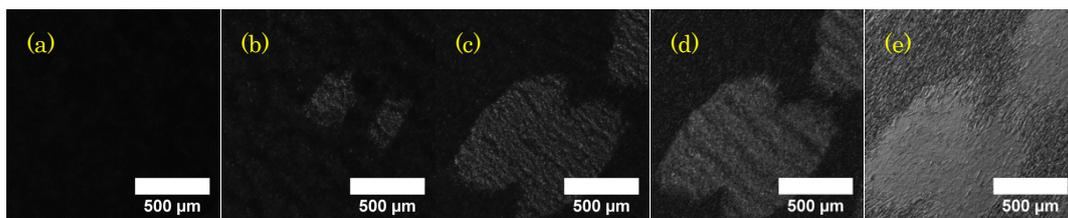


図 7 縞の発生過程

(3) 誘電異方性が負の液晶が高電圧下で粘性が減少するのは、液晶分子と電場との相互作用によって電気的応力 σ_e が働くと予想されていた。粘度計で測定するせん断応力 σ は液晶本来の粘性に由来する応力 σ_v と σ_e との合力 ($\sigma = \sigma_v + \sigma_e$) である。 σ_e は電場が存在する時のみ発生するので、電場を除去した直後の σ の値から σ_v と σ_e の電場依存性を測定した。その結果を図 8 に示す。せん断速度 $\dot{\gamma}$ は 3.93s^{-1} とその倍の 7.85s^{-1} である。青い Δ , \blacktriangle で示す σ_v は常に正であり、その値は Δ が \blacktriangle の約 2 倍になっていることから、 σ_v は $\dot{\gamma}$ に比例するという合理的な結果である。一方、赤い ∇ , \blacktriangledown で示す σ_e は $\dot{\gamma}$ に比例せず、常に負になっている。これは、後に述べる理論的考察と一致する。この実験結果から、負の電気的応力が存在することが証明できた。さらに、驚くべき事に、 $\dot{\gamma} = 3.93\text{s}^{-1}$ の場合の合計のせん断応力は 130V 以上で負になることがわかった。あくまでも電気的応力を含んだ見かけのせん断応力であるが、せん断応力 σ とせん断速度 $\dot{\gamma}$ の関係式 $\sigma = \eta \dot{\gamma}$ から求める見かけの粘性率 η は負になる。我々が知る限り、一般物質で粘性が負になることはこの実験系が初めてである。粘性が負になるという事は、自発的な流れが発生することを意味する。そこで、粘度計の円板センサーにかかるトルクを 0 にして自由にセンサーが回転できるようにして電場を印加し、センサーの回転速度 ω を測定した。 ω を円板の端での $\dot{\gamma}$ として電場 E 依存性を測った結果を図 9 に示す。 $\dot{\gamma}$ は E^2 に比例するのは、液晶と電場の相互作用が誘起分極によるためである。この $\dot{\gamma} \propto E^2$ の結果も理論的考察と一致する。

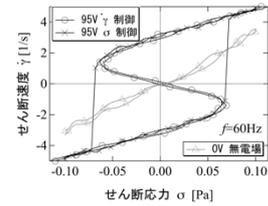
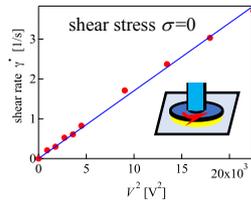
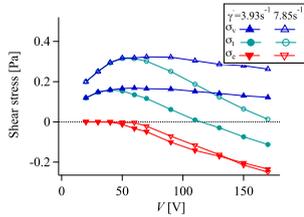


図8 応力 vs. 電圧 図9 回転速度の E^2 依存性 図10 せん断応力 vs. せん断速度

(4) 上記の実験で発見した負の粘性は、学問上極めて重要な発見と判断したため、研究計画には挙げていなかったが、これについて詳しく調べることにした。まず、95Vにおいてせん断速度とせん断応力の関係を調べる実験を行った。せん断応力 σ を制御してせん断速度 $\dot{\gamma}$ を測定すると図10の×印で示す履歴（ヒステリシス）曲線が得られた。これは、強磁性体の磁場と磁束密度、強誘電体の電場と電束密度の関係とよく似ているので非常に興味深い。強磁性体、強弾性体などのアナロジーから、せん断応力 vs. せん断速度に履歴をもつレオロジー特性を示す液晶電気対流系を”ferroviscous fluid”と命名した。一方、 $\dot{\gamma}$ を制御して σ を測定すると、○で示すS字曲線が得られた。強磁性体、強誘電体では、磁束密度、電束密度を制御する実験は行えないので、我々の知る限り、強磁性体、強誘電体、強弾性体物質でこのようなS字曲線は得られていない。このS字特性が観測できることもferroviscous fluidの興味深い事である。電場を除去すると、△で示す様に、 $\dot{\gamma}$ と σ は単調増加関数を示す通常物質と同じ関係になった。

次に、電圧を変えながら $\dot{\gamma}$ と σ の関係を測定した。電気的応力は電場の2乗に比例するため、電圧の2乗が一定の割合で増加するように電圧を印加したところ、図11(a), (b)に示す様に履歴およびS字関係が一定の割合で大きくなる結果が得られた。この一定の割合で大きくなる関係より、スケール則の存在が期待できる。この実験系でせん断応力の次元を持つ物理量は、せん断応力 σ 、せん断速度×粘性、真空の誘電率×電場の2乗 E^2 など、無次元の物理量として $\gamma_1 \dot{\gamma} / \epsilon_0 |\Delta \epsilon| E^2$ と $\sigma / \epsilon_0 |\Delta \epsilon| E^2$ が作れるので、図11(a), (b)横軸を $\epsilon_0 |\Delta \epsilon| E^2$ 縦軸を $\epsilon_0 |\Delta \epsilon| E^2 / \gamma_1$ でスケールした。ここで、 γ_1 と ϵ_0 はそれぞれ液晶の回転粘性率、真空の誘電率である。このスケールリングにより、図11(c), (d)に示す様に、各電圧での $\dot{\gamma}$ と σ の関係が1つのユニバーサルな曲線になる。この結果から以下のスケールリング関係が存在することが明らかになった。ただし、 $f(x)$ は無次元スケールリング関数である。

$$\frac{\gamma_1 \dot{\gamma}}{\epsilon_0 |\Delta \epsilon| E^2} = f\left(\frac{\sigma}{\epsilon_0 |\Delta \epsilon| E^2}\right)$$

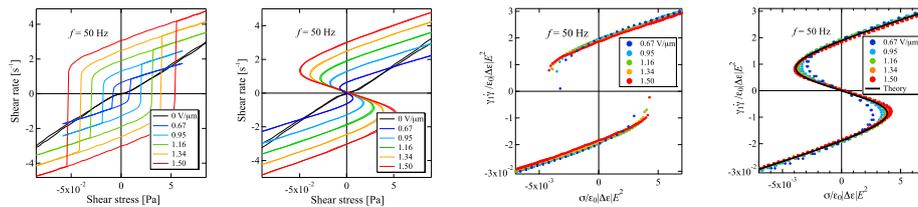


図11 せん断応力 vs. せん断速度 (a) σ 制御, (b) $\dot{\gamma}$ 制御 (c) σ 制御, (d) $\dot{\gamma}$ 制御

上記の実験結果を理論的に考察するために、液晶の流体力学であるエリクセン・レスリー理論に基づく解析を行い、粘性応力と、電気的応力の表式として以下の式を得た。

$$\sigma_v = \frac{\dot{\gamma}}{2} \left[\alpha_4 + 2 \left\{ \alpha_1 + \frac{\gamma_2^2}{\gamma_1} \right\} \langle n_x n_z^2 \rangle + \left(\alpha_5 - \frac{\gamma_2}{\gamma_1} \alpha_2 \right) \langle n_z^2 \rangle + \left(\alpha_6 - \frac{\gamma_2}{\gamma_1} \alpha_3 \right) \langle n_x^2 \rangle \right],$$

$$\sigma_e = \epsilon_0 \Delta \epsilon E^2 \frac{1}{\gamma_1} \left\{ \alpha_3 \langle n_x n_z \rangle - (\alpha_2 + \alpha_3) \langle n_x n_z^3 \rangle \right\}.$$

ただし、 $\alpha_1 \sim \alpha_6$ はレスリー係数と呼ばれる液晶の粘性を表す係数、 $\gamma_1 = \alpha_3 - \alpha_2, \gamma_2 = \alpha_2 + \alpha_3$ であり、 $\langle \dots \rangle$ は液晶の配向分布についての平均を表す。上記のスケール則を考慮して液晶の配向密度分布を仮定し、S字特性の再現を試みた。図11(d)にその結果を黒の実線で示す。

負の粘性を示す先行研究について調べたところ、実験で報告されているのは参考文献(1)のみであった。この実験系は、大腸菌溶液であり、その中の大腸菌が協調的に泳ぐ事によって約0.1mPa·sの負の粘性を実現している。一方、本実験系の場合は、その値の数百倍の約25mPa·sである。大腸菌溶液系の場合は、せん断応力とせん断速度の履歴&S字特性は報告されていない。本研究で発見した液晶電気対流の負の粘性は、学問上非常に意味のある発見と自負している。

本研究での負の粘性の発見は、現在受領している基盤研究Bの研究として研究を継続している。負の粘性の詳細な機構解明と、液晶モーターへの応用研究に展開したいと考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

- ①Hiroshi Orihara, Yuko Harada, Fumiaki Kobayashi, Yuji Sasaki, Shuji Fujii, Yuki Satou, Yoshitomo Goto and Tomoyuki Nagaya, Negative viscosity of a liquid crystal in the presence of turbulence, *Physical Review E* **99**(2019)012701-1-10 査読あり, DOI:10.1103/PhysRevE.99.01270
 - ②Hiroshi Orihara, Nobutaka Sakurai, Yuji Sasaki and Tomoyuki Nagaya, Direct observation of coupling between orientation and flow fluctuations in a nematic liquid crystal at equilibrium, *Physical Review E* **95**(2017)042705-1-6 査読あり, DOI:10.1103/PhysRevE.95.042705
 - ③Takayuki Narumi, Yosuke Mikami, Tomoyuki Nagaya, Hirotaka Okabe, Kazuhiro Hara and Yoshiki Hidaka, Relaxation with long-period oscillation in defect turbulence of planar nematic liquid crystals, *Physical Review E* **94**(2016)042701-1-6 査読あり, DOI:10.1103/PhysRevE.94.042701
 - ④Tomoyuki Nagaya, Yuki Satou, Yoshitomo Goto, Yoshiki Hidaka and Hiroshi Orihara Viscosity of Liquid Crystal Mixtures in the Presence of Electroconvection, *J. Phys. Soc. Jpn.* **85**(2016) 074002-1-4 査読あり, DOI:10.7566/JPSJ.85.074002
- 〔学会発表〕(計 21 件) *印:発表者
- ①Yoshitomo Goto*, Tomoyuki Nagaya and Hiroshi Orihara, Observation of Stochastic Resonance Induced by Dichotomous Noise in a Liquid Crystal Light Valve with Optical Feedback, American Physical Society March Meeting 2019(国際学会), 2019年3月4-8日, Boston Convention and Exhibition Center
 - ②Tomoyuki Nagaya*, Hiroshi Orihara, Negative Viscosity of a Liquid Crystal in the Presence of Electroconvection, 4th International Mini-Symposium on Surface Forces(招待講演)(国際学会), 2019年2月23日, 東北大学片平キャンパス
 - ③後藤善友*, 猪部篤矢, 折原 宏, 長屋智之, 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, 2018年液晶学会討論会, 2018年9月4-6日, 岐阜大学
 - ④Fumiaki Kobayashi*, Yuji Sasaki, Yoshiki Hidaka, Tomoyuki Nagaya and Hiroshi Orihara, Observation of Orientational Fluctuations below a Bifurcation to Electroconvection in a Chiral Nematic Liquid Crystal, 27th International Liquid Crystal Conference(国際学会), 2018年7月23-27日, 京都国際会館
 - ⑤Yoshitomo Goto*, Tomoyuki Nagaya and Hiroshi Orihara, Stochastic Resonance induced by Dichotomous Noise in a Liquid Crystal Light Valve with Optical Feedback, 27th International Liquid Crystal Conference(国際学会), 2018年7月23-27日, 京都国際会館
 - ⑥Tomoyuki Nagaya*, Yuko Harada, Yuji Sasaki, Shuji Fujii, Yousuke Tsuda, Yoshitomo Goto and Hiroshi Orihara, Negative Viscosity Induced by Electroconvection in MBBA, 27th International Liquid Crystal Conference(国際学会), 2018年7月23-27日, 京都国際会館
 - ⑦長屋智之*, 折原 宏, 電気対流によって誘起された液晶の負の粘性, 日本物理学会 第73回年次大会(招待講演), 2018年3月22-25日, 東京理科大学野田キャンパス
 - ⑧Yoshitomo Goto*, Masaya Mizota, Tomoyuki Nagaya, Stochastic Resonance in a Liquid Crystal Light Valve with Optical Feedback, International Symposium on Fluctuation and Structure out of Equilibrium 2017(国際学会), 2017年11月20-23日, 仙台国際センター
 - ⑨Tomoyuki Nagaya*, Yuki Satou, Yoshitomo Goto, Yoshiki Hidaka, and Hiroshi Orihara, Negative electrorheological effect of MBBA in the presence of electro-convection, Nice Optics 2016(国際学会), 2016年10月26-28日, ネグレスコホテル(フランス・ニース)
 - ⑩Yoshitomo Goto*, Shugo Nukita, Stefania Residori, Hiroshi Orihara, and Tomoyuki Nagaya, Observation of Stochastic Resonance in a Liquid Crystal Light Valve with Optical Feedback, Nice Optics 2016(国際学会), 2016年10月26-28日, ネグレスコホテル(フランス・ニース)
 - ⑪長屋智之*, 佐藤裕樹, 後藤善友, 日高芳樹, 原田祐子, 折原 宏, MBBAの電気対流状態における特異なレオロジー特性, 2016年日本液晶学会討論会, 2016年09月5-7日, 大阪工業大学大宮キャンパス
 - ⑫原田祐子*, 佐々木裕司, 折原 宏, 佐藤裕樹, 長屋智之, 後藤善友, 日高芳樹, 液晶電気対流により誘起された自発せん断流れと履歴曲線, 2016年日本液晶学会討論会, 2016年09月5-7日, 大阪工業大学大宮キャンパス
 - ⑬後藤善友*, 貫田周吾, 折原宏, 長屋智之, 光フィードバック下の液晶光バルブにおける確率共鳴現象の観測, 西日本非線形研究会 2016, 2016年6月25日, 九州大学伊都キャンパス
 - ⑭鳴海孝之*, 三上洋輔, 長屋智之, 岡部弘高, 原一広, 日高芳樹, 欠陥乱流の輸送特性に関する統計物理学的解析, 西日本非線形研究会 2016, 2016年6月25日, 九州大学伊都キャンパス
 - ⑮佐藤裕樹*, 後藤善友, 長屋智之, 折原宏, 剪断場における MBBA-EBCA 混合液晶の電気対流とレオロジーII, 第121回日本物理学会九州支部例会, 2015年12月5日, 九州工業大学 戸畑キャンパス

⑯小林史明*, 佐々木裕司, 日高芳樹, 長屋智之, 折原宏, 液晶電気対流のしきい値近傍における配向ゆらぎの観察, 2015年液晶学会討論会, 2015年9月7-9日東京工業大学すずかけ台キャンパス

⑰Yuki Satou*, Tomoyuki Nagaya, Yoshitomo Goto, Yoshiki Hidaka and Hiroshi Orihara, Rheology and Patterns of Electro-Hydrodynamic Convection in Liquid Crystal Mixtures, International Symposium on Fluctuation and Structure out of Equilibrium 2015, 2015年8月20-23日, 京都大学紫蘭会館

⑱Hiroshi Orihara*, Nobutaka Sakura, Yuji Sasaki, Tomoyuki Nagaya, Direct observation of the coupling between orientation and flow fluctuations at equilibrium, 26th International Liquid Crystal Conference(招待講演)(国際学会), 2015年08月1-5日, ケント州立大学(米国オハイオ州ケント市)

⑲Yoshitomo Goto*, Shugo Nukita, Stefania Residori, Tomoyuki Nagaya, Stochastic Resonance in a Liquid Crystal Light Valve with Optical Feedback, 26th International Liquid Crystal Conference(国際学会), 2015年08月1-5日, ケント州立大学(米国オハイオ州ケント市)

⑳Tomoyuki Nagaya*, Sato Yuki, Yoshitomo Goto and Orihara Hiroshi, Negative electrorheological effect of MBBA due to Maxwell stress in the presence of electro-convection, 26th International Liquid Crystal Conference(国際学会), 2015年08月1-5日, ケント州立大学(米国オハイオ州ケント市)

㉑Tomoyuki Nagaya*, Sato Yuki, Goto Yoshitomo, Yoshiki Hidaka and Orihara Hiroshi, Negative electrorheological effect of a nematic liquid crystal with negative dielectric anisotropy in the presence of electro-convection, 新学術領域「ゆらぎと構造の協奏」第3回領域研究会, 2015年06月17-19日, 九州大学伊都キャンパス
〔その他〕

アウトリーチ活動情報 ひらめきときめきサイエンスの活動報告

①<http://zairyu.susi.oita-u.ac.jp/nagayalab/hirameki2018HP/index.html>

②<http://zairyu.susi.oita-u.ac.jp/nagayalab/hirameki2017HP/index.html>

③<http://zairyu.susi.oita-u.ac.jp/nagayalab/hirameki2016HP/index.html>

④<http://zairyu.susi.oita-u.ac.jp/nagayalab/hirameki2015HP/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：後藤 善友

ローマ字氏名： **Goto Yoshitomo**

所属研究機関名：別府大学

部局名： 短期大学部

職名： 教授

研究者番号： **60290657**

(2) 連携研究者

研究協力者氏名：折原 宏

ローマ字氏名： Orihara Hiroshi

所属研究機関名：北海道大学大学院

部局名： 工学研究科

職名： 教授

研究者番号： **30177307**

(3) 連携協力者

研究協力者氏名：日高 芳樹

ローマ字氏名： Yoshiki Hidaka

所属研究機関名：九州大学大学院

部局名： 工学研究院

職名： 教授

研究者番号： **70274511**