

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 3 月 27 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2010 ~ 2012

課題番号：22540394

研究課題名（和文） 液晶対流系における散逸構造のノイズ応答性

研究課題名（英文） Response of dissipative structures to noise using electroconvection in nematic liquid crystals

研究代表者

許 宗焄 (HUH JONG-HOON)

九州工業大学・大学院情報工学研究院・准教授

研究者番号：50325578

研究成果の概要（和文）：液晶電気対流で生じる様々な散逸構造における外部ノイズ応答性を調べた。その構造の固有発生メカニズムによって、各々の発生閾値電圧や構造特性長のノイズ応答性が異なることが分かった。特にノイズの特性（カラー及びホワイトノイズ）によってその応答性は著しく変化することが明らかになった。さらに、高周波数領域で現れる構造においてその特性長のノイズ依存性が明らかになり、電気対流を利用した高分子微細加工への可能性を示した。

研究成果の概要（英文）：

We investigated the response of dissipative structures of electroconvections (ECs) to external noise. Due to the intrinsic mechanisms of ECs, noise-induced thresholds and wavelengths were completely different from one another. The response strongly depended on the characteristic of noise (e.g., white or colored noises). In particular, our results of the wavelength variations (of chevrons in high frequency region) are quite useful for fabricating modulated polymer surfaces by means of ECs.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	600,000	180,000	780,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
2012年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度	0	0	0
年度	0	0	0
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・物性基礎

キーワード：非平衡・非線形物理学

## 1. 研究開始当初の背景

近年、「自発・自律性、階層性、自己組織化」などの特異な性質を生み出す**非平衡散逸系**の研究が急速に発展している。物理・化学系をはじめ、生物・医学及び経済学・情報科

学にいるまで、その関連分野は多種多様であり、これらの非平衡散逸系から生まれた新しい概念と原理なくしては、その複雑な現象・性質を理解することはできない。

一方、これまでの基礎・応用科学の中で言われる「ノイズ」は、排除すべきものとして主に、その発生原因や処理手法などが研究されてきた。しかし、近年の研究でノイズは自然現象の中で必然的な存在で、ある条件下では**生産的な効果**を引き起こすことが分かった。例えば、普通は認知できない微弱な信号に適切なノイズを加えることによって、その微弱信号が検出できる。これは**確率共鳴現象**として広く知られている。

本研究で取り上げる**液晶対流系**は、上述した非平衡散逸系の研究対象として国内外で多くの研究がなされてきた。さらにこの系は、散逸構造における**ノイズ応答性を調べる格好の対象**として考えられる。しかしながら、これまでの研究では液晶系のある典型的な散逸構造 (Williams Domain: 図1) における対流発生閾値のノイズ依存性 (構造の安定性問題) が主な結果であり、その閾値の単純なシフトが実験と理論で確認できた。

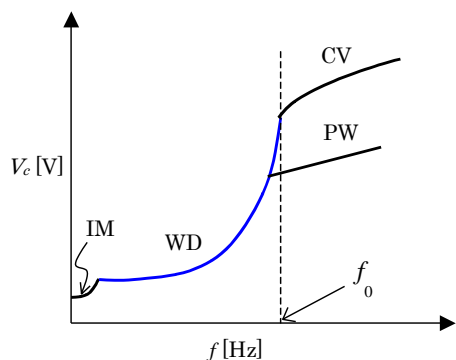


図1. 液晶対流系に現れる様々な散逸構造の相図

そこで、本研究は今まで見過ごしていたいくつかの液晶系散逸構造 (図1) において、それぞれの**固有メカニズムと特性**がノイズにどのように応答するかを明らかにする。本研究では、例えば確率共鳴現象のようなノイズ応答性が液晶系でも発見できる可能性がある。さらに、ノイズによる散逸構造の特性

長が制御できれば、最近の液晶対流系における**高分子薄膜の微細加工技術への応用**も期待できる。

## 2. 研究の目的

これまでの研究で明らかになった典型的な散逸構造 (Williams Domain) のノイズ依存性の結果を踏まえて、本研究では以下の具体的な実験研究項目を取り上げる。

(1) 様々な散逸構造 (WD, CV, PW及びIM) における発生閾値のノイズの依存性を体系的に調べる。それらの結果をもとに、それぞれの**固有メカニズムと特性**における**外部ノイズに対する安定性問題**を究明する。

(2) 様々な散逸構造の**特性波長に対するノイズ依存性**を調べる。特に誘電領域 ( $f > f_0$ ) のChevronパターン (CV) は、上述した応用上の理由でその**微細構造の変化**を様々な条件 (液晶の種類, 印加電界及びノイズの特性) で調べる。

(3) 液晶系に現れる奇妙な乱流 (ソフトモード乱流: ホメオトロピック配向系に現れるWilliams Domain) におけるノイズ応答性を調べる。これは、一般的に言われている自発的な対称性の破れによって生じる**南部-ゴールドストーン・モード** (Nambu-Goldstone mode) におけるノイズの影響を究明することになる。

## 3. 研究の方法

図2に示す実験系を用意する。正弦波及びノイズ発生器 (G) から発生した電界をアンプ (Am) で増幅してから液晶サンプルセル (S) に印加する。その時、発生する様々な散逸構造のパターン (WD, CV, PW 及び IM) を偏光顕微鏡 (M) で観測する。観測されたパターンをPCに取り込み、その構造 (特性波長等) を定量的に測定する。ここで、磁場発生器 (H) は PW パターンやソフトモード乱流の調査に

において液晶配向の制御などに使用される。

本研究で使用するノイズは、典型的なホワイトノイズをはじめ、ローパスあるいはハイパス・フィルターを通したカラーノイズである。ノイズ強度の制御だけでなく、ノイズ・フィルターを体系的に変えることによって、液晶対流系における（ノイズの）**相関時間依存性**を調べることができる。また、必要に応じて波形作成ソフト（H-7990, Hioki 社製）を用いて**様々なノイズ**（バイナリノイズ等）を作成し、ノイズ信号として使用する。具体的には、以下のような実験を行う。

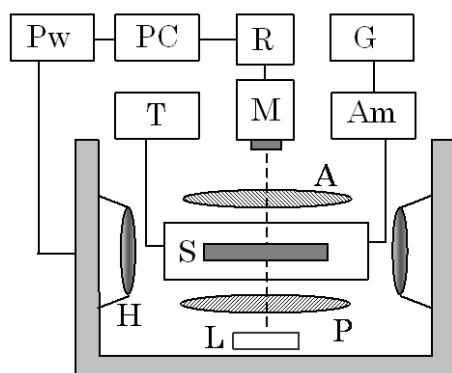


図 2. 実験系. Pw: power supplier, PC: personal computer, R: recorder, M: CCD camera-mounted microscope, T: thermo-controller, S: sample, A: analyzer, P: polarizer, L: light, H: Electromagnet, G: wave generator, Am: Amplifier.

(1) 様々な散逸構造のパターン (WD, CV, PW 及び IM) の発生閾値における**ノイズ強度及び相関時間依存性**を調査する。

(2) 上記パターン<sup>(1)</sup>の閾値近傍において空間特性長を定量的に測定し、**空間特性長のノイズ強度及び相関時間依存性**を調査する。

(3) 誘電領域の **Chevron** パターンにおいては、いくつかの異なる液晶を用いて、**その空間特性長のノイズ依存性**を調査する。

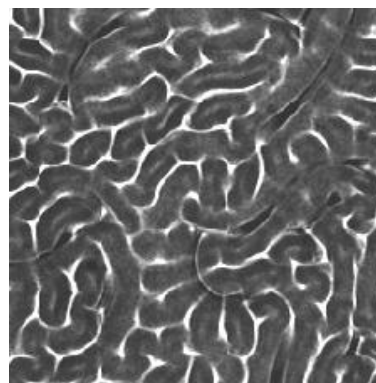


図 3. ソフトモード乱流（正弦波電界のみ印加）。

次に、研究目的で取り上げた具体的な研究目標(3)「液晶系に現れる奇妙な乱流（ソフトモード乱流：図 3）におけるノイズ効果」を調べる。この乱流には、前述したように自発的な対称性の破れによって生じる**南部-ゴールドストーン・モード**が存在する。その長波長のモードが**内部及び外部ノイズ**にどのような応答を示すかを調査する。

ソフトモード乱流は図 4 (a)のようなホメオトロピック配向セルで実現できる。その液晶系に、ある閾値以上の電界を印加すると、図 4 (b)のように棒状の液晶（厳密には平均的な液晶配向を表すディレクター）が一斉に傾く。しかし、 $xy$  面内でディレクターの傾く方向は任意であり、その**連続的な回転対称性の破れ**による長波長の南部-ゴールドストーン・モード（ここではディレクターの  $xy$  面内での一斉回転の自由度）が誘起される。図 4 (b)を**フレデリックス状態**と呼ぶ。この**長波長モード及びソフトモード乱流のノイズ応答性**を調べるために、以下の実験を行う。

正弦波電界で生じたフレデリックス状態を内部ノイズ(熱ゆらぎ)及び外部ノイズ(ノイズ電界)で制御しながら観測する。そのフレデリックス転移の**閾値変化及び相の時空間変化**を電気光学的手法で測定する。この結果

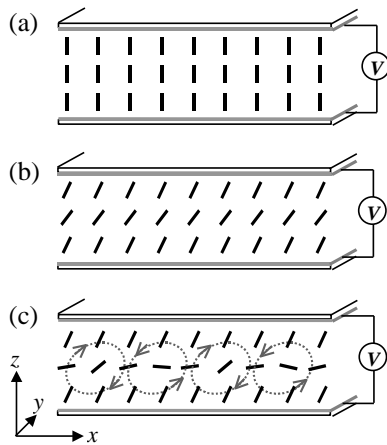


図4. ホメオトロピック配向系におけるソフト乱流.

により, 南部-ゴールドストーン・モードの内部及び外部ノイズによる影響が明らかになる.

一方, ソフトモード乱流の二つの**重要な特徴**(対流発生と同時に時空カオスへ転移する点と波数ベクトルの等方性)におけるノイズの影響を調べる. 上記と同様に内部及び外部ノイズを制御しながら, この乱流のダイナミクスを観測する. その際, 対流発生**の閾値**(あるいは時空カオス発生**の閾値**)変化の温度及びノイズ強度依存性を測定する. さらに, ソフトモード乱流の**波数ベクトル**の温度及びノイズ強度依存性を測定する.

上記の実験はノイズの特性(確率分布, 相関時間など)を変えながら詳細に調べる必要がある. さらに, その動的な挙動を高速・高分解能の光学システムで定量的に測定・解析することが求められる.

#### 4. 研究成果

(1) 様々な散逸構造(WD, CV, PW 及び IM)において, カラー及びホワイトノイズの発生閾値依存性を実験手法で示した. その個別性におけるノイズ応答性は明らかに異なる. しかし, 対流構造の相違性(固有メカニズム)からその応答を分類できることが分かった.

(2) また, その散逸構造の特性長におけるノイズ効果を初めて示した. 散逸構造の相違性(固有メカニズム)によって異なる結果が得られた. 特に CV に関してはその微細構造がノイズで制御可能であることを示した.

(3) ホメオトロピック配向系とプレーナー配向系での比較実験を通して, そのソフトモード乱流及び南部-ゴールドストーン・モードのノイズ依存性との関連性を見出した. 特に磁界による南部-ゴールドストーン・モードの制御下での実験結果は, 外部ノイズと非線形揺らぎの協力・競合現象における興味深い課題を提供する.

#### 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6件)

- ① Jong-Hoon Huh, **Influence of External Noise on Various Electrohydrodynamic Instabilities in a Nematic Liquid Crystal**, Journal of the Physical Society of Japan, 査読有, Vol.81, No. 10, pp. 104602, 2012.
- ② Jong-Hoon Huh, **Noise-induced threshold shift and pattern formation in electroconvection by controlling characteristic time scales**, Physical Review E, 査読有, Vol. 84, 025302(R) (2011).
- ③ Jong-Hoon Huh and Xiangwen Cui, **Response of electrohydrodynamic convection to external noise**, IEEE proceedings (ICNF2011) 査読有, pp. 258-261, 2011.  
DOI : 10.1109/ICNF.2011.5994316
- ④ Jong-Hoon Huh, **Electrohydrodynamic Pattern Formation in Nematic Liquid Crystals by External**

**Pure Noise**, Journal of the Physical Society of Japan, 査読有, Vol.79, No. 12, pp. 123602, 2010.

[学会発表] (計 4 件)

- ① Jong-Hoon Huh and Shoichi Kai, **Response of electrohydrodynamic convections to noise**, International Symposium for “Spatio-temporal Organization in Non-equilibrium Systems,” Feb. 23, 2013, Shokuin-Kaikan (Kyushu University), Fukuoka Japan.
- ② Jong-Hoon Huh, **Influence of Multiplicative Noise on Electroconvections in Liquid Crystals**, The 24th International Liquid Crystal Conference (ILCC2012) Aug. 19-24,2012 Mainz, Germany.
- ③ Jong-Hoon Huh and Xiangwen Cui, **Response of electrohydrodynamic convection to external noise**, The 21st International Conference on Noise and Fluctuation (ICNF2011), June 12-16,2011 Toronto, Canada.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

許 宗焄 (Jong-Hoon Huh)

九州工業大学・大学院情報工学研究院・  
准教授

研究者番号 : 50325578