

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 31 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2011～2014

課題番号：23245030

研究課題名(和文)電子機能を有する液晶/分子集合ナノファイバー複合体の構築

研究課題名(英文)Development of Electro-Active Liquid Crystal/Molecular Self-Assembled Nanofibers Composites

研究代表者

加藤 隆史(Kato, Takashi)

東京大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：70214377

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 25,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究プロジェクトでは、新しい電荷輸送性液晶物理ゲルの開発に焦点をあて、次に示す電子活性自己組織化材料を構築した：(1)スルホニル基の双極子相互作用による一次元組織化を活用した電場配向性カラムナー液晶の開発、X字分子構造を有するピレンオリゴチオフェン共役カラムナー液晶/水素結合性自己組織化ファイバーからなるホール伝導性液晶物理ゲルの創製およびメカノクロミック発光材料の構築、(3)磁性およびレドックス活性を示す安定有機ラジカル部位を有するアミノ酸誘導体の自己組織化ファイバーの開発と配向制御。

研究成果の概要(英文)：This research project focused on development of new charge-transporting liquid-crystalline physical gels. We successfully developed the following electro-active self-assembled materials: (1) electric field-alignable columnar liquid crystals using dipole-driven one-dimensional self-assembly of sulfonyl groups; (2) hole-transporting liquid-crystalline physical gels and mechanochromic materials based on X-shaped pyrene-oligothiophene conjugated columnar liquid crystals and their complexes with hydrogen-bonded self-assembled fibers; (3) amino acid-based hydrogen bonded self-assembled fibers containing magneto-active and redox-active stable organic radical moieties.

研究分野：材料化学

キーワード：構造・機能材料 液晶 自己組織化 超分子化学 ナノ材料 電子・電気材料

## 1. 研究開始当初の背景

機能性分子の自己組織化を利用して、ナノからマイクロメートルレベルで階層的秩序構造を有する高機能有機材料を構築していくことは重要である。特に、有機半導体は、すでに実用化されている有機ELディスプレイをはじめとして、現在、開発段階にある有機電界効果トランジスタや有機薄膜太陽電池としての応用が期待されている。その中で、パイ共役分子構造を有する液晶をエレクトロニクス材料として応用するアプローチが注目を集めている。

液晶は、組織化された動的な秩序構造を有する分子集合体であり、電場・光・機械的応力などの外部刺激により、分子の配向をマクロに制御することができる。この特徴の活用は、有機エレクトロニクスデバイスの高性能化に極めて有望と考えられる。

著者は、液晶の機能材料としての高いポテンシャルに着目して研究を展開してきており、ピリジンと芳香族カルボン酸といった異種分子が水素結合などの非共有結合によりメソゲン構造を形成する超分子液晶や液晶と分子集合ナノファイバーを複合化させた液晶物理ゲルなど全く新しい概念の液晶材料を開発してきた。中でも、液晶物理ゲルにおいては、液晶とその中で形成する分子集合ファイバーの協調効果により、高速電場応答性・異方的分子集合・高速光伝導性という、液晶のみ、あるいは分子集合ファイバーのみでは得られない新しい特徴・効果を見出した。半導体特性を示す液晶物理ゲルの開発においては、ホール輸送性のトリフェニレン誘導体液晶と水素結合性分子集合ファイバーを複合化することにより、液晶単独よりも移動度を24倍高速化することに成功した(T. Kato et al., *Chem. Commun.*, **2002**, 428-429; *Adv. Funct. Mater.*, **2008**, 18, 1668-1675)。しかし、まだ主として液晶の配向がランダムな複合体についてホール輸送の高速化に成功したことにとどまっており、応用という観点からもキャリア移動度の更なる向上が求められている。

今後は、さらに、より高速に電子とホールを輸送する有機半導体材料を構築するために、電荷輸送性液晶と分子集合ファイバーを形成する自己組織化分子の精密な分子設計、複合体のナノからマイクロメートルレベルの相分離集合構造の制御とマクロ配向制御が必要と考えられる。

## 2. 研究の目的

本研究における目的は、液晶物理ゲルの動的特性を生かして高性能・高機能の電荷輸送材料を構築することである。そのために、電荷輸送性液晶およびナノファイバー形成分子の精密な分子設計・ミクロ相分離構造制御・マクロ配向制御を行う。具体的には、(1) 電場配向機能を有する新しい極性カラムナー液晶およびファイバー形成分子の合成、

(2) 新規の電荷輸送性カラムナー液晶物理ゲルの構築、(3) 磁気および次元電子輸送機能の発現を指向した有機ラジカル分子ファイバーの開発を行う。

## 3. 研究の方法

(1) 電場配向機能を有する極性カラムナー液晶およびファイバー形成分子を開発することを目的として、スルホン基の双極子相互作用を活用する次元分子自己組織化に着目した。屈曲した分子構造をもち、電子求引性部位として機能するビスフェニルスルホンを基本骨格に有し、そのフェニル基の4,4'位にアルコキシベンジル基やベンゾエート基、アルコキシフェニルエチニル基、ジアルキルアミノ基などの様々な電子ドナー性部位を導入した分子を設計し、これらの合成・物性・構造特性を調べた。

(2) 電荷輸送性カラムナー液晶物理ゲルの構築を目指して、ピレンの1,3,6,8位にジまたはトリドデシルオキシフェニルビチオフェン部位を導入した新しいディスコチック分子を設計・合成し、種々の水素結合性ゲル化剤分子(アミノ酸誘導体やヒドラジド誘導体など)との複合化を検討した。これらの複合体の熱相転移挙動、分子集合構造、機械的刺激に対する応答性について偏光顕微鏡観察、示差走査熱量測定、エックス線回折測定、走査型電子顕微鏡観察、紫外可視吸収スペクトル測定、蛍光スペクトル測定により調べた。液晶単独およびファイバー複合体の電荷輸送特性に関して、Nd-YAGレーザー、直流電源、オシロスコープを用いてTime-of-Flight法により電荷移動度を評価した。

(3) 分子集合ファイバーを形成する新しい有機ラジカル分子の開発を目指して、安定ラジカルであるテトラメチルピペリジン1-オキシラジカル基およびニトロニトロキシドラジカル基を有する水素結合性アミノ酸誘導体を設計・合成した。これらの分子の有機溶媒中および液晶溶媒中におけるファイバー形成について調べた。

## 4. 研究成果

(1) スルホン基の双極子モーメントによる次元分子集積化を活用した電場応答性カラムナー液晶および分子集合ファイバーを創製した。ビスフェニルスルホンをコアとするヘキサカテナル分子**1a,b**と**2a,b**(図1)を合成した。これらの熱相転移挙動を表1にまとめた。エーテル化合物**1a,b**は、室温でサーモトロピックヘキサゴナルカラムナー液晶相を発現した。アルキル鎖長を伸ばした化合物**2b**では、狭い温度範囲でカラムナー液晶相が形成されることが分かった。化合物**1a**の透過型X線回折パターンは、六方晶の回折スポットを示し、カラム間距離37Åのヘキサ

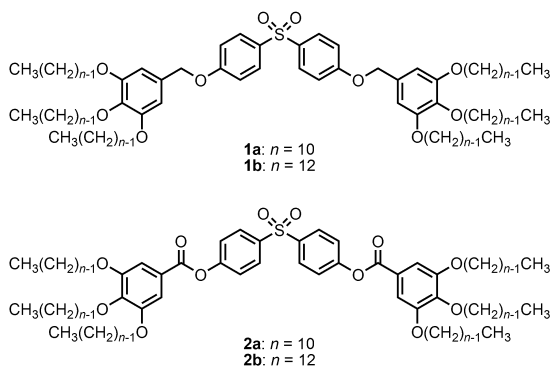


図 1 ビスフェニルスルホン誘導体の分子構造

表 1 化合物 **1a,b** および **2a,b** の熱物性

| 化合物                    | 熱相転移挙動 |    |                  |    |    |
|------------------------|--------|----|------------------|----|----|
| <b>1a</b> ( $n = 10$ ) | Iso    | 31 | Col <sub>h</sub> | -  |    |
| <b>1b</b> ( $n = 12$ ) | Iso    | 37 | Col <sub>h</sub> | 0  | Cr |
| <b>2a</b> ( $n = 10$ ) | Iso    | -  |                  | 21 | Cr |
| <b>2b</b> ( $n = 12$ ) | Iso    | 30 | Col <sub>h</sub> | 28 | Cr |

ゴナル構造を形成していることが明らかとなった。分子動力学計算により見積もられる分子長が  $45\text{\AA}$  であることから、アルキル鎖がかみ合っており、一次元に分子が集積していることが示唆された (図 2)。液晶相を示す化合物 **1a** について電場配向性を調べた。二枚の ITO 透明ガラス電極に試料を挟み、液晶状態で交流および直流電場を印加した。図 2 の偏光顕微鏡写真に示すように、電場印加部ではカラム構造が基板に垂直配向することにより暗視野を示した。また、電場を切ってもカラムの垂直配向は維持されることが分かった。

化合物 **1a,b** と **2a,b** の有機溶媒中での会合挙動を調べた。化合物 **1b** はドデシルベンゼン溶媒中で分子集合ナノファイバーを形成し、溶媒をゲル化することが分かった (図 3)。ファイバーの太さは約  $200\text{--}800\text{ nm}$  であり、長さは  $70\text{ }\mu\text{m}$  以上であった。このファイバー状態の X 線回折測定を行った結果、カラムナール液晶相と類似した回折パターンが得られた。

ビスフェニルスルホンの 4,4' 位に 3,4,5-トリリス (ドデシルオキシベンジル) フェニルエチニル基を導入した分子においても室温でヘキサゴナルカラムナール液晶相を発現し、電場配向することが明らかとなった。二枚の ITO 透明ガラス電極に試料を挟み、三角波の交流電場を印加し、電流電圧測定を行った。スルホニル基の分極反転に起因すると考えられる電流が計測され、 $2\text{ }\mu\text{C}/\text{cm}^2$  程度の自発分極を有することが分かった。また、液晶状態において青色の蛍光発光が観察された。

本研究では、これまでに分子組織化に全く用いられてこなかったスルホニル基の双極子モメントを活用して、電場配向性を示すカラムナール液晶、分子集合ファイバーおよび発光性と誘電

応答性を示すパイ共役カラムナール液晶を初めて構築することに成功した。

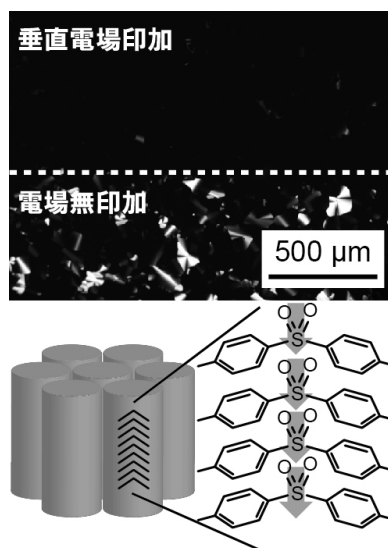


図 2 化合物 **1a** のカラムナール液晶相の偏光顕微鏡写真 (上部：電場印加、下部：電場無印加) およびカラムナール構造の内部での屈曲分子の一次元集積化のイラスト

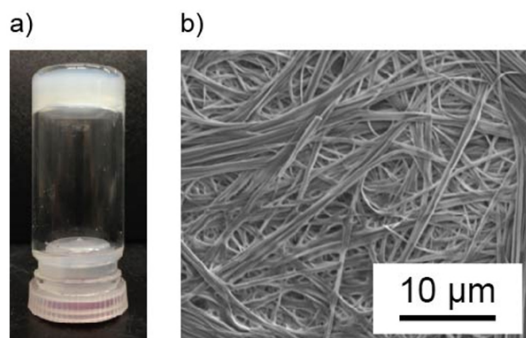


図 3 a) 化合物 **1b** のドデシルベンゼンゲル (5 wt%) の写真および b) キセロゲルの走査型電子顕微鏡像

(2) X 字構造を有するピレン-オリゴチオフェン共役ホール輸送性カラムナール液晶 (図 4) を創製した。分子集合ファイバー形成能を有する水素結合性ヒドラジド誘導体 (図 4) と液晶分子との複合化により、新しいカラムナール液晶物理ゲルを構築した。液晶とファイバーの複合化によってホール移動度を向上することに成功した。また、新たな知見として、新規に合成したカラムナール液晶が機械的応力刺激に応答して、分子の集合構造が変化して発光色が変化するメカノクロミック機能を示すことを見出した。

新規に合成した化合物 **3a,b** は、室温を含む幅広い温度範囲でカラムナール液晶相を発現した。化合物 **3a** は、 $20\text{ }^\circ\text{C}$  にガラス転移を示し、 $132\text{ }^\circ\text{C}$  までヘキサゴナルカラムナール液晶相を形成した。一方、化合物 **3b** は室温から  $100\text{ }^\circ\text{C}$  までレクタングュラーカラムナール液晶相を示し、 $135\text{ }^\circ\text{C}$  までテトラゴナルカラムナール液晶相を発現した。Time-of-Flight 法により

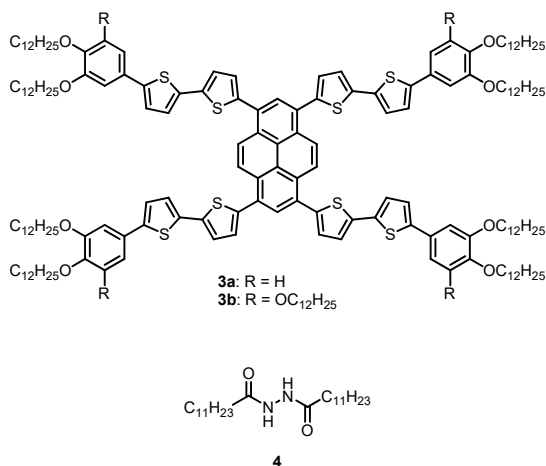


図 4 ピレン-オリゴチオフェン共役カラムナー液晶および水素結合性ヒドラジド誘導体の分子構造

電荷移動度の測定を行った。化合物 **3a** のヘキサゴナルカラムナー相および化合物 **3b** のテトラゴナルカラムナー相において、 $10^4 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$  のホール移動度を示すことがわかった。垂直配向したヘキサアルコキシトリフェニレンのカラムナー液晶相では、約  $10^5 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$  のホール移動度 (T. Kato et al., *Adv. Funct. Mater.*, **2008**, *18*, 1668-1675) を示す。本研究では、ピレン-オリゴチオフェン共役によるパイ共役拡張によって、ホール移動度の 10 倍向上を達成した。さらに、カラムナー液晶 **3a** と化合物 **4** の分子集合ファイバーからなる液晶物理ゲルにおいては、液晶単独に比べてホール移動度を 2 倍に向上することができた。著者らは、以前にトリフェニレン系液晶物理ゲルにおいて、分子集合ファイバーのネットワーク構造が液晶分子の電荷移動度を高める機能があることを実証した。本研究では、新たなパイ共役カラムナー液晶物理ゲルへと展開した場合においても、液晶と分子集合ファイバーの複合化が電荷移動度を向上させる有用なアプローチであることを明示できた。

さらに本研究では、従来の電荷輸送性液晶では見られない新しい機能として、メカノクロミック機能を発現させることに成功した。著者は、これまでに機械的応力刺激にตอบสนองして発光色が変わるメカノクロミック液晶を報告している (Y. Sagara, T. Kato, *Nature Chem.*, **2009**, *1*, 605-610)。本研究では、電荷輸送機能とメカノクロミック機能を併せ持つ液晶材料を創製することができた。カラムナー液晶相を示す化合物 **3a** に対して、室温で機械的せん断応力を加えたところ、発光色が変わることを見出した。紫外可視吸収スペクトル測定、蛍光測定、エックス線回折測定、示差走査熱量測定の結果より、機械的刺激に応じて、らせん状に集積したパイ共役コアの重なりに変化が生じて発光色の変化が誘起されることが分かった。

(3) 磁気機能およびレドックス機能を示す有機ラジカル部位を有する分子集合ファイバーを創製した。

安定ラジカルであるテトラメチルピペリジン 1-オキシラジカル基およびニトロニルニトロキシドラジカル基を有する水素結合性アミノ酸誘導体 **5** と **6** を合成した (図 5)。

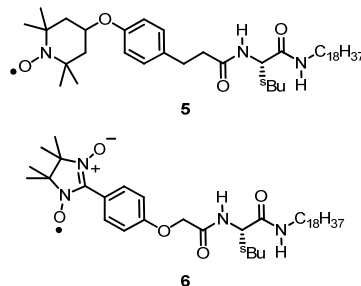


図 5 安定有機ラジカル部位を有するイソロイシン誘導体の分子構造

化合物 **5** は、メタノール、アセトン、酢酸エチル、ドデカンなどの様々な有機溶媒中で平行  $\beta$  シート構造の分子間水素結合により分子集合ファイバーを形成し、溶媒をゲル化することが分かった。アルキル鎖長の異なる 4-アルコキシ-4'-シアノビフェニルを混合して得られる室温スメクチック液晶を溶媒として用いた場合には、ラビング処理したポリイミド配向膜基板上において、化合物 **5** はマクロスコピックに配向した分子集合ファイバーを形成した。また、8T の強磁場で分子自己組織化させた場合においても、磁場配向液晶した液晶中で分子 **5** の配向ファイバーが得られた (図 6)。

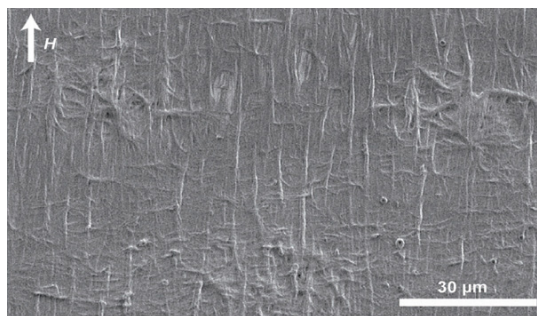


図 6 磁場配向したスメクチック液晶中で形成された化合物 **5** の配向した分子集合ファイバーの走査型電子顕微鏡像

この配向した液晶ゲルの磁気機能を超伝導量子干渉計により測定した。 $-0.89 \text{ cm}^{-1}$  の交換積分値を示し、ピペリジンオキシラジカルの一次元集積に伴う超交換相互作用によって反強磁性的相互作用が働くことが明らかとなった。

ニトロニルニトロキシドラジカル基を有する化合物 **6** に関して、化合物 **5** と同様に様々な有機溶媒中で分子間水素結合形成を駆動力として分子集合ファイバーを形成し、溶媒をゲル化することが分かった。サイクリ

ックボルタンメトリーにより、ラジカル部位のレドックス反応性を調べた。溶液中では、可逆的な一電子酸化反応によってオキソアンモニウムカチオン（ジカチオン）の生成に対応する電流および一電子還元反応によるアミノキシルアニオン（ジアニオン）の生成に対応する電流を検出した。また、分子集合ファイバーを形成した固体状態においても、可逆的な一電子酸化反応を検出することができた。一方、ファイバー中におけるラジカル部位の還元反応については、測定に用いた電解液である水の還元によって、検出することができなかった。可逆的なレドックス活性を示す分子集合ファイバーは、一次元導電ワイヤーとして機能することが期待でき、今後、パイ共役半導体液晶と複合化することで新たな電子機能デバイスへの展開に興味もたれる。

5. 主な発表論文等  
〔雑誌論文〕（計4件）

①Masafumi Yoshio, Reiku Konishi, Takeshi Sakamoto and Takashi Kato, Bisphenylsulfone-Based Molecular Assemblies: Polar Columnar Liquid Crystals Aligned in Electric Fields and Fibrous Aggregates in Organic Solvents, *New Journal of Chemistry*, 査読有, 37, 2013, 143-147, DOI: 10.1039/c2nj40681k.

②Kian Ping Gan, Masafumi Yoshio, Takashi Kato, Columnar Liquid-Crystalline Assemblies of X-Shaped Pyrene-Oligothiophene Conjugates: Photoconductivities and Mechanochromic Functions, 査読有, *Journal of Materials Chemistry C*, 2016, in press, DOI: 10.1039/C6TC00808A.

③Hiroki Eimura, Yoshikazu Umeta, Hiroko Tokoro, Masafumi Yoshio, Shinichi Ohkoshi, Takashi Kato, Self-Assembled Fibers Containing Stable Organic Radical Moieties: Alignment and Magnetic Properties in Liquid Crystals, *Chemistry A European Journal*, 査読有, 2016, in press, DOI: 10.1002/chem.201505213.

④Daisuke Yamaguchi, Hiroki Eimura, Masafumi Yoshio, Takashi Kato, Redox-Active Supramolecular Fibers of a Nitronyl Nitroxide-Based Gelator, *Chemistry Letters*, 査読有, 2016, in press, DOI: 10.1246/cl.160441.

〔学会発表〕（計50件）

①Takashi Kato, Supramolecular Functional Liquid-Crystalline Materials, MANA International Symposium 2016, 2016年3月9日, Tsukuba International Congress Center EPOCHAL TSUKUBA, 茨城県つくば市,

②Takashi Kato, Nanostructured Functional Liquid Crystals for Energy and Environment, 25<sup>th</sup> IINTERNATIONAL LIQUID CRYSTAL CONFERENCE, 2014年7月4日, Dublin,

Ireland

③Takashi Kato, Nanostructured Liquid-Crystalline Assemblies Exhibiting Photonic, Electronic, and Ionic Functions, Asian European Symposium on Organic Optoelectronics, 2013年12月9日, 中国科学院, 北京, 中国

④加藤隆史, 液晶の超分子化と機能化, 2013年度若手社員のための高分子基礎講座, 2013年10月25日, 横浜ゴム湘南セミナーハウス, 神奈川県平塚市

⑤Takashi Kato, Nanostructured Functional Liquid-Crystalline Assemblies Exhibiting Ionic, and Photonic, Environmental Functions, 長田義仁先生古希記念国際シンポジウム 2013年10月19日, 札幌京王プラザホテル, 北海道札幌市

⑥Takashi Kato, Nanostructured Functional Liquid-Crystalline Materials, The Second International Conference on the Frontier Research in Organic Synthesis and Materials, 2013年9月22日, 国立清華大学 台湾

⑦加藤隆史, 液晶の異方的構造の活用による機能材料構築, 第13回日本磁気学会研究会・第2回界面磁気科学シンポジウム, 2013年7月22日, 首都大学東京南大沢キャンパス 交際交流会館内大会議室, 東京都八王子市

⑧加藤隆史, 分子集合体の構造制御と機能化, 高分子講演会(東海), 2013年7月12日, 高分子学会東海支部, 岐阜大学, 岐阜県岐阜市

⑨加藤隆史, 自己組織化による分子を基礎とする機能材料の創製, 第25回万有札幌シンポジウム, 2013年7月6日, 北海道大学工学部オープンホール, 北海道札幌市

⑩Takashi Kato, Nanostructured Functional Liquid Crystalline Assemblies, Korea-Japan Joint Symposium: Frontier Molecular Assembly and Liquid Crystal Technology, 2013年4月12日 Daejeon Convention Center, Korea Daejeon

⑪加藤隆史, 自己組織化ソフトマテリアルの高機能化へのアプローチ, 社団法人日本ゴム協会 第26回公開フォーラム, 2013年3月28日, 東京工業大学大岡山キャンパス百年記念会館 フェライト記念会議室, 東京都目黒区

⑫加藤隆史, 分子を集めて並べて働かせる: 機能性分子組織体の構築, 日本薬学会第133年会, 2013年3月28日, パシフィコ横浜, 神奈川県横浜市

⑬Takashi Kato, Nanostructured Functional Liquid Crystals Formed by Supramolecular Assembly, The 1st Asian Conference on Liquid Crystals (ACL2012), 2012年12月17日, 富士カーム,



山梨県富士吉田市

⑭ Takashi Kato, Nanostructured Functional Liquid-Crystalline Materials, 2012 USA-Japan Seminar on Polymer Synthesis, 2012 年 12 月 1 日, Hyatt Santa Barbara, Santa Barbara, USA,

⑮ Takashi Kato, Development of Functional Self-Assembled Materials, 学都岡山・化学系研究交流講演会, 2012 年 11 月 7 日, 岡山国際交流センター, 岡山県岡山市

⑯ 加藤隆史, 分子の自己組織化による光・イオン・電子機能材料の構築, 日本化学会「低次元光機能材料研究会」, 2012 年 11 月 2 日, (独)物質・材料研究機構 国際ナノアーキテクトニクス研究拠点, 茨城県つくば市

⑰ Takashi Kato, Nanostructured Functional Liquid Crystalline Materials, The 5th UT-UDS Joint Symposium on Frontiers of Chemical Sciences, 2012 年 10 月 25 日, Sanjo Conference Hall, Hongo Campus The University of Tokyo, 東京都文京区

⑱ Takashi Kato, Nanostructured Ordered Molecular Assemblies Ionic, Photonic, and Electronic Functions, OIST 2012, 2012 年 10 月 4 日, OIST Seaside House, 沖縄県国頭群

⑲ 加藤隆史, 自己組織化ソフトマテリアルへのアプローチ, 関東高分子若手研究会 2012 春の講演会, 2012 年 6 月 16 日, 東京大学本郷キャンパス 工学部 2 号館, 東京都文京区

⑳ 加藤隆史, 分子技術による新機能材料創製, 産総研第 3 回ナノシステム研究部門研究交流会, 2012 年 6 月 4 日, 産業技術総合研究所 中央第 1 共用講堂, 茨城県つくば市

㉑ Takashi Kato, Nanostructured Functional Liquid Crystalline Materials, 2012 NJC Symposium: New Directions in Chemistry, 2012 年 4 月 23 日, The University of Hong Kong, Hong Kong

〔図書〕(計 7 件)

① Takashi Kato and Yuko Kamikawa, Hydrogen-Bonded Systems: Discrete Defined Aggregates by Intermolecular H-Bonding, Amides, Carboxylic Acids, and Heterocycles, *Handbook of Liquid Crystals: 8 Volume Set, Second Edition*, J. W. Goodby, P. J. Collings, T. Kato, C. Tschierske, H. F. Gleeson, and P. Raynes, Wiley-VCH, p.513-540, 2014

② Kazuhiro Yabuuchi and Takashi Kato, Liquid-Crystalline Gels, *Handbook of Liquid Crystals: 8 Volume Set, Second Edition*. J. W. Goodby, P. J. Collings, T. Kato, C. Tschierske, H. F. Gleeson, and P. Raynes, Wiley-VCH, p.3-25, 2014

③ Masahiro Funahashi, Takuma Yasuda, and Takashi Kato, Liquid Crystal Semiconductors:

Oligothiophene and Related Materials, *Handbook of Liquid Crystals: 8 Volume Set, Second Edition*, J. W. Goodby, P. J. Collings, T. Kato, C. Tschierske, H. F. Gleeson, and P. Raynes, Wiley-VCH, p.675-708, 2014

④ Kyosuke Isoda, Takuma Yasuda, Masahiro Funahashi, and Takashi Kato, Redox-Active (Electrochromic) Liquid Crystals, *Handbook of Liquid Crystals: 8 Volume Set, Second Edition*, J. W. Goodby, P. J. Collings, T. Kato, C. Tschierske, H. F. Gleeson, and P. Raynes, Wiley-VCH, p.709-725, 2014

⑤ Masafumi Yoshio and Takashi Kato, Liquid Crystals as Ion Conductors, *Handbook of Liquid Crystals: 8 Volume Set, Second Edition*, J. W. Goodby, P. J. Collings, T. Kato, C. Tschierske, H. F. Gleeson, and P. Raynes, Wiley-VCH, p.727-749, 2014

⑥ 菊池裕嗣、加藤隆史、自己組織化と機能材料 (第 1 章、“最先端材料システム One Point 3 自己組織化と機能材料”(高分子学会編集)、共立出版株式会社、p. 29-37、2012

⑦ 吉尾正史、一川尚広、加藤隆史 (分担執筆) 液晶 (第 2 章 2.2 節) “最先端材料システム One Point 3 自己組織化と機能材料”(高分子学会編集) 共立出版株式会社、p. 21-31、2012

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)  
該当なし

○取得状況 (計 0 件)  
該当なし

〔その他〕

ホームページ等  
<http://kato.t.u-tokyo.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者  
加藤 隆史 (KATO, Takashi)  
東京大学・大学院工学系研究科・教授  
研究者番号: 7 0 2 1 4 3 7 7

(2) 研究分担者  
該当なし

(3) 連携研究者  
吉尾 正史 (YOSHIO, Masafumi)  
東京大学・大学院工学系研究科・准教授  
研究者番号: 6 0 3 4 5 0 9 8

西村 達也 (NISHIMURA, Tatsuya)  
東京大学・大学院工学系研究科・助教  
研究者番号: 0 0 4 3 6 5 2 8