

平成 30 年 6 月 6 日現在

機関番号：12501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K13971

研究課題名(和文) スパイラル同期による柱状液晶相における自発的不斉誘起

研究課題名(英文) Spontaneous chiral induction in columnar liquid crystal phases by spiral-synchronization

研究代表者

岸川 圭希 (Kishiikawa, Keiki)

千葉大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：40241939

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：自発的不斉誘起が生じにくい液晶相において、スパイラル形状を有するカラム間の立体的相互作用を利用して、アキラルな分子からキラルな超構造をドメイン全体に伝播させることに成功した。アルキル鎖の長さを変えた種々の誘導体を合成し、それらの相転移挙動と分子充填構造の決定を行い、CDスペクトルを測定した。その結果、不斉誘起は、主に矩形柱状相で確認されることや矩形柱状相発現にはアルキル鎖が短い方が有利であることが確認された。分子設計としては、カラム状分子集合体となったときに、カラム周辺部に周期的な凹凸を形成し、噛み合う仕組みができることが柱状相の不斉誘起発現には必要であることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：We succeeded to self-organize achiral molecules to helical chiral molecular aggregates, and to achieve their chirality communication in the entire domain in columnar liquid crystal phases by their intercolumnar steric interaction. Several ester derivatives with different alkyl chain length were synthesized, and their phase transition behaviors, molecular packing structures, and CD spectra were measured. As a result, it was confirmed that the chiral induction mainly occurs in the rectangular columnar phases, and that the shorter alkyl chains are more advantageous for generation of the rectangular columnar phase. We found that it is necessary for chirality communication in columnar phases to have the columnar structure in which periodic concavities and convexities are formed on the peripheral part in each of the columns to occur the intercolumnar interlocking.

研究分野：液晶化学

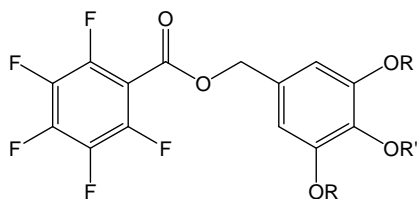
キーワード：液晶 柱状相 不斉誘起 自然分晶 CDスペクトル 分子重充填構造 対称性の破れ ナノ構造

1. 研究開始当初の背景

有機結晶では、アキラルな分子がキラルな結晶を生ずる「不斉誘起現象」は数多く知られているが、液晶という流体における「自発的不斉誘起」は不可能であると考えられていた。しかし、近年、バナナ型液晶分子において、ネマチック相 (A. Belaisaoui ら, *Liquid Crystals*, 40, 822 (2013)) やスメクチック C 相 (D. R. Link ら, *Science*, 278, 1924 (1997)) で自発的不斉誘起が報告された。当研究室でも、アキラル分子からキラルなキュービック液晶相(面心立方)を発現させることに世界に先駆けて成功した(岸川ら, *Chem. Mater.*, 17, 3812 (2005))。

しかしながら、柱状液晶相における自発的不斉誘起の成功例はこれまでに 2 例のみであり、剛直で特殊な分子に限られている。キラル剤添加による「キラル増幅」は多数報告されているので、右ねじれと左ねじれのカラムを 1 : 1 の混在状態として発現させることは比較的容易であると思われる。しかし、巨視的なレベルの自発的不斉誘起が観測されないのは、カラム状分子集合体の周囲を取り囲んでいる多数のアルキル基が、カラム間の相互作用を弱め、キラリティーの伝播を妨げていることが主因であると考えられる。

我々は、図 1 に示す化合物 **1** (3,4,5-trialkoxybenzyl pentafluorobenzoate ($C_6F_5CO-OCH_2-C_6H_2(OC_nH_{2n+1})_3$)) が強い分子間力でカラム状分子集合体になり、柱状液晶相を発現し、不斉増幅現象を示すことを見出した。(岸川ら, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 46, 764 (2007))。更に、最近、この分子において、キラル剤なしで、同一波長の CD スペクトルが正負ランダムに観測されることを見出した(未発表)。従って、詳細に調査すれば、この系が、柱状液晶相における不斉誘起の希少な例であることを示せるとともに、その機構を解明することで、柱状液晶相における不斉誘起の方法論を確立できる、という着想に至った。



1: R = (CH₂)_mH, R' = (CH₂)_nH

図 1 化合物 **1** の分子構造

2. 研究の目的

本研究では、(1) 化合物 **1** において、自発的不斉誘起を確認する、(2) その不斉伝播メカニズムとして、スパイラル形状を有するカラム間における立体的なスパイラル形状の相互作用(スパイラル同期)がかかわっていることを確認する、(3) 化合物 **1** の誘導

体を多数合成し、自発的不斉誘起を示す化合物群に共通する分子構造を特定し、「スパイラル同期による柱状液晶相の不斉誘起法」を確立する。また、(4) 本研究では、垂直配向した液晶サンプルの微小領域の CD スペクトルを測定できる「顕微 CD スペクトル測定装置」を新しく開発し、微小領域ごとの CD シグナルの反転を観測する。

3. 研究の方法

(1) 「スパイラル型カラム」を形成する化合物 **1** 及びその誘導体を合成し、偏光顕微鏡観察、示差走査熱量分析、一次元 X 線回折測定から、柱状液晶相の確認及びカラムのパッキング様式の調査を行う。

(2) 顕微 CD スペクトル測定装置を(株)ラムダビジョンと共同開発する。本装置を購入し、液晶状態で微量のサンプルを垂直配向させ、微小領域(=0.1mm)ごとの 250nm~400nm の CD シグナルを測定する。

(3) (1)(2)で「ネガポジ反転」や「CD シグナル」を示した化合物の分子構造から、不斉誘起を示す構造を抽出して新しい分子を設計・合成し、液晶性・不斉誘起を調査し、二次元 X 線回折で超構造を調べる。

(4) (1)~(3)の結果より、「スパイラル型カラム」による不斉誘起・不斉伝播メカニズムを考案し、その妥当性を確認する。研究成果として発表するため、十分にデータを検証し不足データの追加測定を行う。

【平成 28 年度】(研究の方法の(1)(2)(3)を行う)

(1) 化合物 **1** およびその誘導体の合成・・・不斉誘起がどのような分子構造で起こるかを確認するため、化合物 **1** とその誘導体を多数合成する。

(2) 分子集合状態の調査・・・(1)で合成された化合物の液晶性を確認するため、偏光顕微鏡と示差走査熱量計(DSC)で調査する。典型的な柱状液晶相の模様を示すものについては、一次元 X 線回折測定から、柱状液晶相であることの確認およびカラムのパッキング様式の調査を行う。

(3) 顕微 CD スペクトル測定装置の開発・・・本研究においては、顕微 CD スペクトル測定装置を(株)ラムダビジョンと共同開発し、本装置を購入し、垂直配向している微小領域(=0.1mm)ごとの CD スペクトルを測定する。現在市販の CD 測定装置では、偏光顕微鏡観察しながら微小領域を狙っての CD スペクトル測定ができない、100 以上の温度に対応できない、などの欠点があり、これらの問題を解決するのが、この顕微 CD スペクトル測定装置である。

(4) 偏光顕微鏡(ネガポジ反転)による不斉誘起の確認・・・偏光顕微鏡では、光源から接眼レンズまでの間に、サンプルを挟んで 2 つの偏光板(順に、偏光子と検光子)があり、通常は偏光方向が互いに 90 度にセットされ

ている。このうち検光子のみを正負の同角度（例えば +10 度と -10 度）に合わせると、左右両方のキラリティーを有していれば、それぞれの模様の明暗が互いに反転するネガポジの関係になる。この明暗の反転により、不斉誘起の可能性のある化合物を選別する。（5）顕微 CD スペクトルによる不斉誘起の確認・・・まず、サンプルを垂直配向し、水平方向に異方性がない状態をつくり、配向からくる CD シグナルの影響を極力抑える。（3）で開発した顕微 CD スペクトル測定装置を用いて、垂直配向サンプルの微小領域ごとの CD シグナルを測定する。同一の波形が正負の符号を変えて観測される化合物を確定する。それぞれの測定においては、回転ステージで角度を変えても波長や波形の変化が生じないことを確認する。また、少量のキラル化合物を添加し、CD の符号がどちらかに統一されることを観測する。

【平成 29 年度】(研究の方法の(4)を行う)
(6) 不斉誘起する分子の特徴に基づいた新分子の設計・合成・・・不斉誘起が確認された分子の構造的な特徴に基づいて、新しい分子を設計し合成する。これらの化合物についても、(2)(4)(5)を繰り返して、不斉誘起が起こる分子構造範囲を特定する。

(7) 二次元 X 線回折による分子パッキング構造の調査・・・不斉誘起が確認されたものについては、液晶状態でシア (shear) することにより水平配向させたサンプルに X 線ビームをあてることで、二次元の X 線回折パターンを測定する。このパターンの解析により、カラム配列とカラム軸方向の繰り返し構造を解析し、不斉誘起を示す化合物と分子のパッキング構造との関連について考察する。

(8) 不斉誘起メカニズム解明と妥当性の確認・・・(7)の結果を踏まえ、柱状液晶相の分子パッキング構造と矛盾のない不斉誘起のメカニズムを考案する。このメカニズムを、合成したすべての分子に当てはめ、不斉誘起の有無と矛盾なく対応していることを確認する。

4. 研究成果

【平成 28 年度の研究成果】

(1) 顕微 CD システムの開発・・・平成 28 年度は、株式会社ラムダビジョンと共同で顕微 CD 測定システムを製作し、研究室への設置を行った。市販の液晶物質にキラルドーパントを添加することで基準物質を用意し、予想通りの誘起 CD シグナルが観測できることを確認した。温度制御装置を自作し、液晶の観測ができるように改良した。

(2) 化合物の合成・・・ペンタフルオロ安息香酸と 3, 4, 5 - トリアルコキシベンジルアルコールの縮合反応により、液晶化合物であるペンタフルオロ安息香酸 3, 4, 5 - トリ

アルコキシベンジル (化合物 1) を、 $m=n=8, 10, 12$ について合成した。この化合物の精製をカラムクロマトグラフィーおよび再結晶によりを行った。NMR で本化合物以外のピークがないことより、これらの化合物が単体であることを確認した。

(3) 液晶の分子充填構造の調査・・・偏光顕微鏡観察において、加熱溶解させて、等方液体から温度を下げていくと、柱状液晶相特有のフォーカリック模様が出現した。示差走査熱量計による測定からも、 $1(m=n=8)$ では 2 つの柱状相、 $1(m=n=10), 1(m=n=12)$ では、1 つの柱状相を示すことが判明した。温度可変の X 線回折装置による測定の結果、 $1(m=n=8)$ は、六方柱状相と矩形柱状相を有していることが判り、 $1(m=n=10), 1(m=n=12)$ は、六方柱状相のみを発現することを確認した。

(4) 顕微 CD による液晶相の測定・・・上述の顕微 CD を用いた測定により、 $1(m=n=8)$ の矩形柱状相のみが、310nm 付近に正または負の誘起 CD シグナルをランダムに与え、 $1(m=n=8), 1(m=n=10), 1(m=n=12)$ の六方柱状相では、いずれも CD シグナルが観測されなかった(あるいは強度が小さい)。確認のため、 $1(m=n=8)$ において、矩形相の温度で CD シグナルが出ているものを加熱により六方相にすると CD シグナルは減少し、等方液体では完全に消失した。このように、誘起 CD が主に矩形柱状相に由来するものであり、六方柱状相ではほとんど観測されない(もしくは非常に小さい)ことを突き止めることに成功した。

【平成 29 年度の研究成果】

(1) 化合物 1 の誘導体の合成・・・アキラルな化合物 3,4,5-trialkoxybenzyl pentafluorobenzoate のベンジル基のアルコキシ鎖の 4 位のみを heptyloxy とし、3 位と 5 位の両方に hexyloxy, octyloxy, nonyloxy のいずれかを導入した誘導体 $1(m=6, n=7), 1(m=8, n=7), 1(m=9, n=7)$ について合成を行った。また、 $1(m=n=6), 1(m=n=7), 1(m=n=9)$ についても合成した。

(2) 誘導体の液晶相確認と分子充填構造の調査・・・化合物の相転移挙動について偏光顕微鏡観察により調査したところ、4 位が heptyloxy 基の $1(m=6, n=7), 1(m=8, n=7), 1(m=9, n=7)$ は、いずれも二種類の柱状液晶相を示した。高温には、構造未定の柱状相が現れ、その低温側には矩形柱状相が観測された。矩形相は直線的な模様が強く、組織が堅い様子が見られたが、X 線回折においては、広角においてアルキル基の幅広いピークが現れるなど、液晶であることが確認された。したがって、分子内の 3 つのアルキル基の長さが同一でなくとも、アルキル基の体積がある範

囲であれば、この分子骨格であれば柱状液晶相を示すことが確認された。二次元X線回折も試みたが試料の配向が難しく、三次元的な分子充填構造を決定できなかった。

(3) 顕微 CD 装置による液晶相の測定・・・これら 3 つの新規化合物について、顕微 CD スペクトル測定を行ったところ、いずれも矩形柱状相において、310nm 付近の CD シグナルが確認された。なお、高温部の構造未定の柱状相では、CD シグナルが観測されないことから、この相は六方柱状相である可能性が高い。(4) 原子間力顕微鏡による表面形状観察・・・スピコートで成形した薄膜試料において、約 400nm の周期で、高さ 20-40nm の縞模様が観察されるなど、光学活性な柱状相に特有な構造が発見された。

(5) 結論・・・3,4,5-trialkoxybenzyl penta fluorobenzoate の誘導体 **1** を種々合成し、 $m=n=7\sim 8$ である場合(あるいは n のみが $7\sim 8$ である場合)に、カラム間で矩形柱状相が出現する。 $m=n=9\sim 12$ のアルキル基が 3,4,5 位にある場合は、六方柱状相のみが出現するようになる。このうち、矩形柱状相が強度の大きな CD シグナルを示すことが見出された。この半円盤状分子では、アルキル鎖が分子の片方にあり、 C_6F_5 基と $C_6H_3(OR)_3$ 基のファンデルワールス力が強いので、半円盤分子の二量体化(円盤化)と積層化によるカラム形成により、柱状構造の周囲に周期的な凹凸が出来上がる。このカラム間での凹凸の入り込みがキラリティーの伝播の仕組みであると考えられる。以上のように、カラム状分子集合体に凹凸を形成するような分子を設計することが、柱状相の不斉誘起を発現させるための重要な方法論の一つであると考えられる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 9 件)

M. Kohri, K. Yanagimoto, A. Kawamura, K. Hamada, Y. Imai, T. Watanabe, T. Ono, T. Taniguchi, K. Kishikawa, Polydopamine-Based 3D Colloidal Photonic Materials: Structural Color Balls and Fibers from Melanin-Like Particles with Polydopamine Shell Layers, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 査読有, 10, 2018, 7640-7648.
DOI:10.1021/acsami.7b03453

S. Hisamatsu, S. Suzuki, S. Kohmoto, K. Kishikawa, Y. Yamamoto, R. Motokawa, T. Yaita, A chemiluminescence sensor with signal amplification based on a self-immolative reaction for the

detection of fluoride ion at low concentrations, *Tetrahedron*, 査読有, 2017, 73, 3993-3998.
DOI:10.1016/j.tet.2017.05.084

A. Kawamura, M. Kohri, S. Yoshioka, T. Taniguchi, K. Kishikawa, Structural Color Tuning: Mixing Melanin-Like Particles with Different Diameters to Create Neutral Colors, *Langmuir*, 査読有, 33, 2017, 3824-3830
DOI:10.1021/acs.langmuir.7b00707

M. Kohri, S. Yamazaki, A. Kawamura, T. Taniguchi, K. Kishikawa, Bright structural color films independent of background prepared by the dip-coating of biomimetic melanin-like particles having polydopamine shell layers, *Colloids and Surfaces, A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 査読有, 532, 2017, 564-569.
DOI:10.1016/j.colsurfa.2017.03.035

A Kawamura, M. Kohri, H. Oku, K. Hamada, K. Nakagawa, T. Taniguchi, K. Kishikawa, ポリドーパミン;無機複合薄膜を用いる鳩の羽毛を模倣した構造発色, *Kobunshi Ronbunshu*, 査読有, 74, 2017, 54-58
DOI:10.1295/koron.2016-0044

K. Kishikawa, Y. Furukawa, T. Watanabe, M. Kohri, T. Taniguchi, S. Kohmoto, Why chiral tartaric imide derivatives give large helical twisting powers in nematic liquid crystal phases: substituent-effect approach to investigate intermolecular interactions between dopant and liquid crystalline molecules, *Liquid Crystals*, 査読有, 44, 2017, 956-968.
doi.org/10.1080/02678292.2016.1255361

K. Kishikawa, Y. Furukawa, T. Watanabe, M. Kohri, T. Taniguchi, S. Kohmoto, Hydrogen bond network-stabilization of blue phases by addition of a chiral N-(10-hydroxydecyl)succinimide derivative and alkane diols, *Liquid Crystals*, 査読有, 44, 2017, 1332-1339.
doi.org/10.1080/02678292.2017.1295477

K. Kishikawa, Y. Yamamoto, G. Watanabe, A. Kawamura, M. Kohri, T. Taniguchi, Shape-assisted self-organization in highly disordered liquid crystal phases, *Angewandte Chemie International Edition*, 査読有, 56, 2017, 4598-4602. doi:10.1002/anie.201700809

K. Hamada, M. Kohri, T. Taniguchi, K. Kishikawa, In-situ assembly of diblock copolymers onto submicron-sized particles for preparation of core-shell and ellipsoidal particles, *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects*, 査読有, 512, 2016, 80-86. doi.org/10.1016/j.colsurfa.2016.10.035

[学会発表](計 31 件)

K. Kishikawa, Stabilization of blue phases by addition of chiral dopants, 6th TOYOTA RIKEN International Workshop on Chirality in Soft Matter 2017 年 11 月 24~25 日, 名古屋(招待講演)(国際学会)

須貝加奈・桑折道済・谷口竜王・岸川圭希, キラルネマチック相を反応場に用いた自発的不斉誘起, 第 7 回 CSJ 化学フェスタ 2017, 2017 年 11 月 17~19 日, 東京

慈道圭太・桑折道済・谷口竜王・岸川圭希, キラリティーの導入による強誘電性カラムナー液晶の実現, 第 7 回 CSJ 化学フェスタ 2017, 2017 年 11 月 17~19 日, 東京

大野貴也・岸川圭希・谷口竜王・桑折道済, 液晶性ウレアの光架橋による強誘電性カラムナー液晶相の実現, 第 7 回 CSJ 化学フェスタ 2017, 2017 年 11 月 17~19 日, 東京

古賀千晴・谷口竜王・桑折道済・岸川圭希, 強誘電性二軸性ネマチック相・スメクチック A 相の実現と低温化, 第 7 回 CSJ 化学フェスタ 2017, 2017 年 11 月 17~19 日, 東京

中込央資・岸川圭希・谷口竜王・桑折道済, カラムナー液晶相における自発的不斉誘起, 第 7 回 CSJ 化学フェスタ 2017, 2017 年 11 月 17~19 日, 東京

岸川圭希・山本雄介・渡辺豪・河村彩香・桑折道済・谷口竜王, 分子形状アシストによる 2 つのネマチック相間におけるミルフィーユ構造の発現, 2017 年日本液晶学会討論会, 2017 年 9 月 13~15 日, 青森

須貝加奈・桑折道済・谷口竜王・岸川圭希, キラルネマチック相を反応場に用いた自発的不斉誘起, 2017 年日本液晶学会討論会, 2017 年 9 月 13~15 日, 青森

慈道圭太・桑折道済・谷口竜王・岸川圭希, キラリティーの導入による強誘電性カラムナー液晶の実現, 2017 年日本液晶学会討論会, 2017 年 9 月 13~15 日, 青森

大野貴也・岸川圭希・谷口竜王・桑折道済, 液晶性ウレアの光架橋による強誘電性カラムナー液晶相の実現, 2017 年日本液晶学会討論会, 2017 年 9 月 13~15 日, 青森

古賀千晴・谷口竜王・桑折道済・岸川圭希, 強誘電性二軸性ネマチック相・スメクチック A 相の実現と低温化, 2017 年日本液晶学会討論会, 2017 年 9 月 13~15 日, 青森

中込央資・岸川圭希・谷口竜王・桑折道済, カラムナー液晶相における自発的不斉誘起, 2017 年日本液晶学会討論会, 2017 年 9 月 13~15 日, 青森

慈道圭太・桑折道済・谷口竜王・岸川圭希, キラリティーの導入による強誘電性カラムナー液晶の実現, 第 21 回液晶化学研究会シンポジウム, 2017 年 7 月 8 日, 大分

大野貴也・岸川圭希・谷口竜王・桑折道済, 液晶性ウレアの光架橋による強誘電性カラムナー液晶相の実現, 第 21 回液晶化学研究会シンポジウム, 2017 年 2017 年 7 月 8 日, 大分

中込央資・岸川圭希・谷口竜王・桑折道済, カラムナー液晶相における自発的不斉誘起, 第 21 回液晶化学研究会シンポジウム, 2017 年 2017 年 7 月 8 日, 大分

岸川圭希, ネマチック液晶を強くねじる

コンパクトな分子，信州大学来訪学者講演会，2016年11月24日，長野県上田市（招待講演）

大野貴也・野々下奨・桑折道済・谷口竜王・岸川圭希，強誘電性カラムナー液晶相の高分子安定化，第6回CSJ化学フェスタ2016，2016年11月14～16日，東京

慈道圭太・桑折道済・谷口竜王・岸川圭希，キラリティーの導入による強誘電性カラムナー液晶の実現，第6回CSJ化学フェスタ2016，2016年11月14～16日，東京

須貝加奈・桑折道済・谷口竜王・岸川圭希，キラルネマチック相における自発的不斉誘起，第6回CSJ化学フェスタ2016，2016年11月14～16日，東京

山本雄介・大澤有紀・桑折道済・谷口竜王・岸川圭希，相系列に反する新規液晶相の発現，第6回CSJ化学フェスタ2016，2016年11月14～16日，東京

②① 永岡望・谷口竜王・桑折道済・岸川圭希，ウレア誘導体を用いた強誘電性カラムナー液晶相の実現，第6回CSJ化学フェスタ2016，2016年11月14～16日，東京

②② 齋藤響平・桑折道済・谷口竜王・岸川圭希，超分子会合体による強誘電性カラムナー液晶相の実現，第6回CSJ化学フェスタ2016，2016年11月14～16日，東京

②③ 岸川圭希，らせん超構造を生み出すコンパクトな有機分子，第47回中部化学関係学協会支部連合秋季大会，2016年11月5～6日，愛知県（招待講演）

②④ 慈道圭太・桑折道済・谷口竜王・岸川圭希，キラリティー導入による強誘電性の実現，2016年日本液晶学会討論会，2016年9月5～7日，大阪

②⑤ 須貝加奈・桑折道済・谷口竜王・岸川圭希，キラルネマチック相における自発的不斉誘起，2016年日本液晶学会討論会，2016年9月5～7日，大阪

②⑥ 山本雄介・大澤有紀・桑折道済・谷口竜王・岸川圭希，アキラルな無極性分子からなる新規ネマチック液晶相，2016年日本液晶学会討論会，2016年9月5～7日，大阪

②⑦ 永岡望・岸川圭希・谷口竜王・桑折道済，ウレア誘導体を用いた強誘電性カラムナー液晶相の実現，2016年日本液晶学会討論会，2016年9月5～7日，大阪

②⑧ 慈道圭太・桑折道済・谷口竜王・岸川圭希，キラリティー導入による強誘電性の実現，第20回液晶化学研究会シンポジウム，2016年7月4～5日，東京

②⑨ 須貝加奈・桑折道済・谷口竜王・岸川圭希，キラルネマチック相における自発的不斉誘起，第20回液晶化学研究会シンポジウム，2016年7月4～5日，東京

③⑩ 山本雄介・大澤有紀・桑折道済・谷口竜王・岸川圭希，アキラルな無極性分子からなる新規ネマチック液晶相，第20回液晶化学研究会シンポジウム，2016年7月4～5日，東京

③⑪ 永岡望・岸川圭希・谷口竜王・桑折道済，ウレア誘導体を用いた強誘電性カラムナー液晶相の実現，第20回液晶化学研究会シンポジウム，2016年7月4～5日，東京

〔産業財産権〕

出願状況（計1件）

名称：Liquid crystal compound, liquid crystal composition and liquid crystal display

device using same

発明者：K. Kishikawa, S. H. Lee, Y. Sasada, T. Masukawa

権利者：千葉大学，JNC 株式会社，JNC 石油化学株式会社

種類：特許

番号：EP 3246376 A1

出願年月日：2017年11月22日

国内外の別：国外

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岸川 圭希 (KISHIKAWA, Keiki)

千葉大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：40241939