

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 25 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25410084

研究課題名(和文) 折り畳み構造を有する芳香族フォルダマーを用いた結晶配列制御、発光制御

研究課題名(英文) Crystal Engineering Using Folding Building blocks and Stimuli-responsive Organic Crystals

研究代表者

幸本 重男 (KOHMOTO, SHIGEO)

千葉大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：90195686

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：超分子的な手法により折りたたまれた結晶配列を有する有機結晶を作製するために、コノ字型とS-字型の分子形状を持つ芳香族ウレアジカルボン酸をビルディングブロックとして開発した。このビルディングブロックを用いて水素結合受容体と共結晶を作成し種々の折れ曲がり結晶配列を構築した。S-字型分子を用いた場合、特異なメラミンの水素結合ネットワークが発現した。また、屈曲した分子形状を持つ蛍光性分子の塩や包接結晶を利用して、刺激応答性の有機結晶の開発を行った。結晶の摩砕により結晶配列が乱れ、蛍光発光波長の長波長化をもたらした。蛍光色は摩砕結晶への溶媒蒸気の暴露により元の蛍光色へと戻り、可逆性を示すことができた。

研究成果の概要(英文)：In order to construct folding structures in organic crystals via supramolecular way, U-shaped and S-shaped aromatic ureas possessing carboxy groups at both ends of the molecules were developed. Various cocrystals with hydrogen-bonding acceptor molecules were prepared and their crystal structures were examined by single crystal X-ray analysis. A Unique hydrogen bonding network of melamine was created in the cocrystal with the S-shaped molecule. Folded molecules were applied to the creation of stimuli-responsive organic crystals. Grinding of the salts or solvates of the folded molecules caused changes of their fluorescence color. Exposure of the ground crystals resulted in the re-generation of the original color of fluorescence. The relation between the crystal structures and the responsiveness toward grinding were investigated by the inspection of their crystal structures.

研究分野：化学

キーワード：有機結晶 結晶配列制御 共結晶 水素結合 フォルダマー 蛍光 刺激応答性発光

1. 研究開始当初の背景

折れ曲がりやラセン構造を有するフォルダマー構造は、広くアミド部位を持つ生体分子に多く見出される。この折れ曲がり構造の形成には水素結合の関与が重要な役割を果たしている。フォルダマー分子は、医薬品や生体分子の機能理解の観点から近年注目を集め、これらを模倣した人工型フォルダマーも多岐にわたり研究されてきた。本研究ではウレア基を折れ曲がったリンカーのひとつとしてフォルダマーの構築に採用することにしたが、このウレア型フォルダマーに関する研究に関しては、国内では棚谷ら (*J. Org. Chem.* **2009**, *74*, 8154; *Tetrahedron*, **2012**, *68*, 4455) によるジグザグ型オリゴウレアの積層化の研究や、また、国外では Guichard ら (*Angew. Chem. Int. Ed.* **2010**, *49*, 1067) や Wu ら (*Org. Lett.* **2012**, *14*, 684) によるラセン状フォルダマーの研究がある。しかしながら、本研究で行おうとした折りたたまれた構造ブロックを基本構成単位としてフォルダマーを超分子的に構築する試みや、折りたたまれた構造ブロックを利用して結晶配列制御を行った例はほとんどない。

我々は本研究に先立ち、ウレア系芳香族ジカルボン酸がそのコノ字型構造の特性を活かし、つづら折り状に折れ曲がったフォルダマー構造を超分子的に形成するのに役立つことを見出している (*Cryst. Growth Des.* **2011**, *11*, 1453 & 5387; *Tetrahedron Lett.* **2012**, *53*, 3903)。本研究ではこの折りたたまれた構造ブロックの結晶工学へのさらなる応用や、新しいタイプの芳香族フォルダマーを構築することを考えた。本研究は構造的にシンプルな基本構成単位を用いてフォルダマー構造を構築する点で方法論的にも斬新で、フォルダマーの分子設計・化学、機能化に貢献できるものと期待できる。

2. 研究の目的

広く自然界に存在する折りたたまれたフォルダマー構造はブロック構造を積み上げるといった観点から見ると、結晶工学への応用が期待でき魅力的である。つづら折り状構造を利用すれば芳香環の積層化が可能であり、これにより特異な光学特性の発現が期待できる。本研究は、水素結合を利用して多様な芳香族フォルダマーの形成を行い、結晶配列制御や発光制御を行うことを目的とする。また、研究の過程で屈曲した構造を有する蛍光性分子が摩砕により蛍光色を変化させることを見出したので、有機結晶の刺激応答性発光のデザインも目的として加えた。

3. 研究の方法

次の4項目について研究を行った。以下にそれぞれの研究項目についての研究方法を記す。測定は主に単結晶X線回折、粉末X線回折、蛍光分光光度計を用いて行った。

(1) コノ字型ウレアジカルボン酸を用いた結晶配列制御

芳香族ウレアの両末端にカルボキシ基を

導入し、コノ字型の分子形状の特性を活かして、水素受容体と共結晶化し、フォールディングした結晶配列を持つ有機結晶を構築した。

(2) S-字型ウレアジカルボン酸による結晶配列制御

S-字型の分子形状を持つ芳香族ウレアの分子両末端にカルボキシ基を導入し、共結晶化を図り、特異な折れ曲がり構造の構築に役立てた。

(3) コノ字型アントラセンカルバメート誘導体を用いた結晶配列制御によるダイマー発光

発光効率の悪いダイマー発光を結晶構造の制御により発光効率を向上させる手法の開発を行った。

(4) 屈曲構造を有するアントラセン誘導体利用したメカノフルオロクロミズム

屈曲した分子形状のアントラセン誘導体の塩や包接結晶を用いて摩砕などの機械的刺激にตอบสนองして結晶構造が変化し、その蛍光色に変化する有機結晶の結晶構造デザインを行った。

4. 研究成果

(1) コノ字型ウレアジカルボン酸を用いた結晶配列制御

メタ位にカルボキシ基を有するウレアジカルボン酸 **1** は立体配座の違いにより、ふたつのカルボキシ基の採りうる水素結合の方向の組み合わせが数多く存在する。したがって水素結合受容体との組み合わせにより多様な結晶構造の構築が可能である。ピリジン

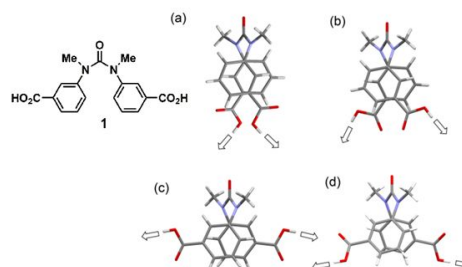


図1. ウレアジカルボン酸 **1** の結晶構造で見られた4つの立体配座。矢印は水素結合の方向を示す。

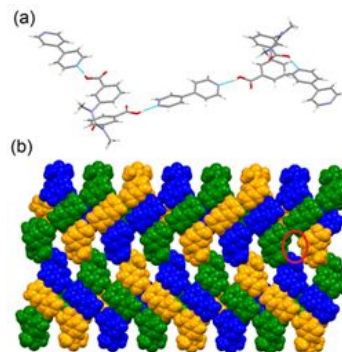


図2. ウレア **1** と 4,4'-ピリジンとの共結晶の結晶構造。赤丸は水分子チャンネルを示す。誘導体との共結晶中では **1** の4つの立体配座に基づいた結晶構造を見出した。いずれの場合

合も二つのベンゼン環は向き合った配置をとってコノ字型構造になっている。図 2 に 4,4'-ピピリジンとの共結晶の結晶構造(三重らせん構造)を示す。ピピリジン誘導体との共結晶化により様々な折れ曲がった配列を有する結晶構造を構築することができた。(2) S-字型ウレアジカルボン酸による結晶配列制御

折れ曲がり構造をコノ字型よりも伸長させた S-字型ウレアジカルボン酸 **2** を合成し、その結晶構造およびメラミンとの共結晶について調査した。カルボキシ基のパラおよびメタ置換体, N-エチルおよびプロピル体についても検討した。図 3 にパラ置換 N-メチル体の DMF 溶媒和物の結晶構造を示す。S-字型分

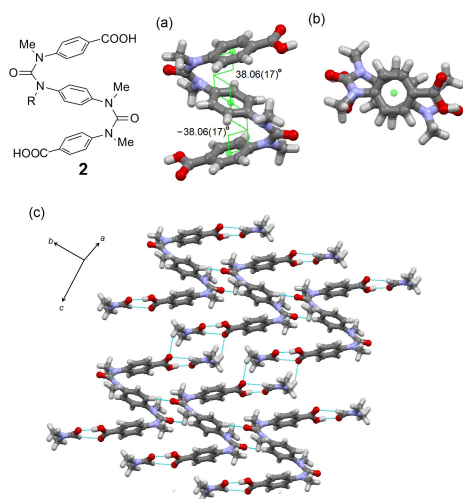


図 3. S-字型ウレアジカルボン酸 **2** の DMF 溶媒和物の結晶構造。

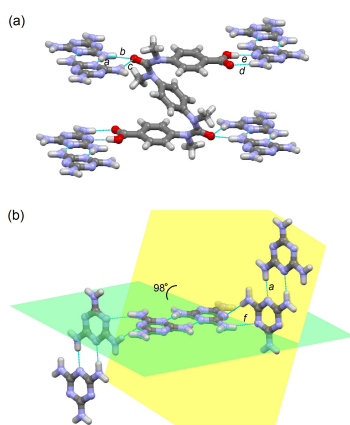


図 4. S-字型分子 **2** とメラミンの共結晶の結晶配列およびメラミンのねじれた水素結合ネットワーク

子が 2 分子の DMF 分子を挟んでカラム構造を構築していることが分かる。この S-字型分子を用いてメラミンとの共結晶化を行いメラミン分子同士の水素結合ネットワーク形成について調査した。その結果、メラミン 2 分子の水素結合体が直交するように水素結合ネットワークを形成するという極めて特異な結晶配列の構築が可能であることが判明

した。CSD(ケンブリッジ結晶構造データベース)でメラミンの水素結合ネットワークの報告例を精査し比較したところ、ほとんどの報告例で水素結合ネットワークがほぼ平面で形成されていることより、この系の特異性がわかる。図 4 に共結晶の結晶構造とメラミンの水素結合ネットワークを示す。

(3) コノ字型アントラセンカルバメート誘導体を用いた結晶配列制御によるダイマー発光

エキシマー発光はモノマー発光に比べて一般に発光効率が悪いが発光の長波長化が期待できる。また、固体発光は溶液中のそれにくべて自己消光により発光効率が劣る。効率よく固体でダイマー発光(エキシマー発光)させるためには発光部位となる芳香環同士を向き合わせたペアを作り、このペア同士が高い置換により結晶構造中で引き離されている配列を形成する必要がある。そこでペアリングの水素結合に高い置換基を有するカルバメート基を採用しコノ字型形状の分子を水素結合によりダイマー化しアントラセンにおける効率の良いダイマー発光を検討した。種々の置換基を有する **3** を合成

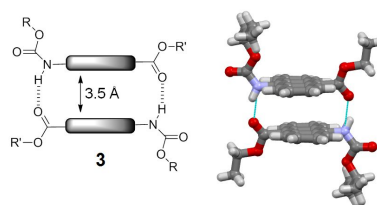


図 5. 水素結合によるアントラセンカルバメート **3** の結晶構造におけるペア型構造。

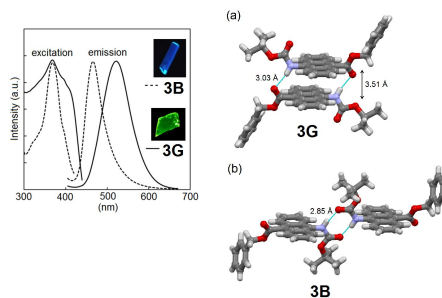


図 6. アントラセンカルバメートの結晶多形。蛍光スペクトルと結晶構造。

して検討した結果、最高で固体蛍光量子収率 0.44 のダイマー発光を達成した。

また、図 6 に示す結晶多形、**3B**、**3G** が得られそれぞれ青色、緑色の蛍光を示した。ペア型配列をした **3G** の固体蛍光量子収率は 0.38 と **3B** の約 5 倍であった。

以上のように固体ダイマー発光を効率よく行うための結晶デザインを明らかにした。(4) 曲がった構造を有するアントラセン誘導体の塩を利用したメカノフルオロクロミズム

近年、摩砕などの外的刺激により結晶構造に変化をきたし、それに伴い発光波長が変化

するメカノルミネセンスがセンサー分子開発の観点から盛んに研究されるようになってきている。本研究では中央に発光部位となる芳香族基を持ち、曲がった分子構造を有する有機塩を用いてメカノフルオロクロミズムを発現する有機結晶をデザインした。

アントラセン環を有するピリジニウム塩を用いたメカノフルオロクロミズム

ピリジニウム塩 **4** の結晶は再結晶溶媒を含む溶媒和物として得られた。塩化物イオンが水素結合によりアントラセン環同士の間に入り込み、溶媒分子を取り込んだチャンネルを形成している。摩砕により結晶構造が崩れ溶媒分子が放出され、結晶配列に変化が起き蛍光色の長波長化をもたらす。その後溶媒蒸気に暴露することにより元の蛍光色に戻り、これを繰り返すことが可能である。図7にジオキサン溶媒和物のチャンネル構造と摩砕による蛍光発光変化を示す。

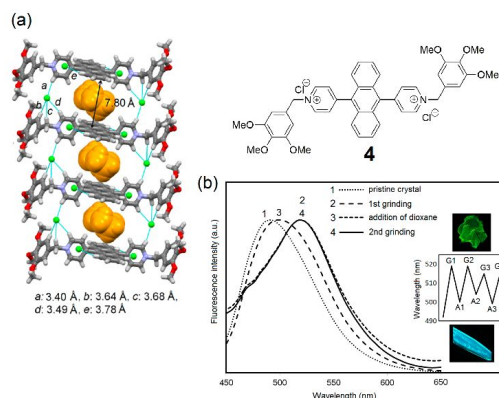


図7. ピリジニウム塩 **4** のジオキサン溶媒和物の結晶構造および摩砕による蛍光スペクトルの変化。

また、長鎖アルコキシ基を有するピリジニウム塩はカラムナー液晶相を示し、急冷により得られたフィルムは固体のものよりも長波長の蛍光を示した。

アントラセン環を有するベンゾイミダゾール塩を用いたメカノフルオロクロミズム

ベンゾイミダゾール環を有するアントラセン誘導体 **5** が安息香酸誘導体と共結晶を形

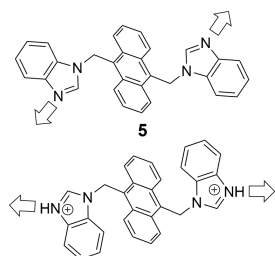


図8. アントラセン誘導体 **5** の共結晶と塩における水素結合方向の違い。成する場合とベンゼンスルホン酸誘導体と塩を形成する場合は **5** の立体配座が異なり、

この配座の違いにより異なった結晶配列を採ることが判明した。ベンゼンスルホン酸誘導体との塩の結晶は摩砕に対して蛍光色が変化するメカノフルオロクロミズムを示した。また、摩砕した結晶に水蒸気を暴露すると蛍光色が戻り、この変化を繰り返し行うことができた。

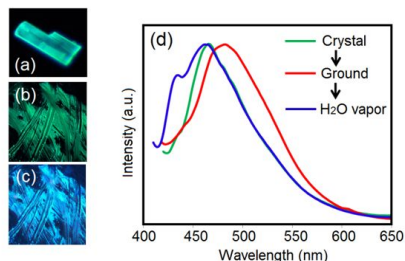


図9. アントラセン誘導体 **5** のベンゼンスルホン酸との塩の結晶のメカノフルオロクロミズム。摩砕前(a)、摩砕後(b)、水蒸気暴露後(c)の蛍光色変化

ピリドン基を有するアントラセン誘導体の結晶構造およびメカノフルオロクロミズム

ピリドンの強い双極子 双極子相互作用を利用してカラムを形成し、溶媒分子を包摂するチャンネル構造の構築を試みた。化合物 **6** はメチレン基により屈曲した分子構造を持つので、連続的な双極子 双極子相互作用に

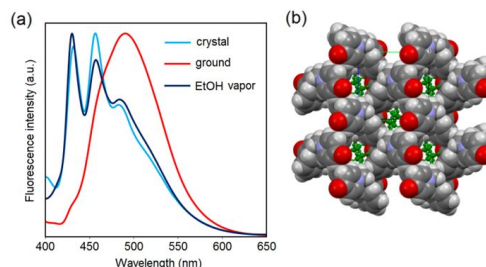
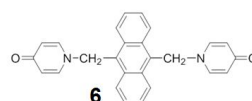


図10. ピリドン誘導体 **6** のエタノール包摂結晶の結晶構造とメカノフルオロクロミズム挙動(摩砕前後およびエタノール蒸気暴露後の蛍光スペクトル変化)

よりカラムの形成が可能である。図10にエタノール溶媒和結晶のチャンネル構造と摩砕による蛍光スペクトルの変化を示す。蛍光色は摩砕により青から緑色に変化する。エタノール蒸気の暴露により元の蛍光色に戻る。

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)

Shigeo Kohmoto, Tomotaka Chuko, Shugo Hisamatsu, Yasuhiro Okuda, Hyuma Masu, Masahiro Takahashi, Keiki Kishikawa,

Piezoluminescence and Liquid Crystallinity of 4,4'-(9,10-Anthracenediyl)bispyridinium Salts, 査読有, Crystal Growth & Design, 15, 2015, 2723 – 2731.

DOI: 10.1021/acs.cgd.5b00028

Shugo Hisamatsu, Hyuma Masu, Masahiro Takahashi, Keiki Kishikawa, Shigeo Kohmoto, Pair-wise Packing of Anthracene Fluorophore: Hydrogen-bonding Assisted Dimer Emission in Solid State, 査読有, Crystal Growth & Design, 15, 2015, 2291 – 2302, DOI: 10.1021/acs.cgd.5b00081

Keiki Kishikawa, Takahiro Inoue, Naoshi Hasegawa, Masahiro Takahashi, Michinari Kohri, Tatsuo Taniguchi, Shigeo Kohmoto, Achiral Straight-rod Liquid Crystals Indicating Local Biaxiality and Ferroelectric Switching Behavior in the Smectic A and Nematic Phase, 査読有, Journal of Materials Chemistry C, 3, 2015, 3574 – 3581, DOI: 10.1039/c5tc00389j

Shigeo Kohmoto, Shingo Sekizawa, Shugo Hisamatsu, Masahiro Takahashi, Keiki Kishikawa, Crystal Structures of S-shaped Phenylendurea Dibenzoic Acids and Cocrystals with melamine: Unusual zigzag tape of H-bonded Melamine Network, 査読有, Crystal Growth & Design, 14, 2014, 2209 – 2217, DOI: org/10.1021/cg401754q

Keiki Kishikawa, Tomohiro Watanabe, Michinari Kohri, Tasuto Taniguchi, Masahiro Takahashi, Shigeo Kohmoto, Effect of the Number of Chiral Mesogenic Units and Their Spatial Arrangement in Dopant Molecules on the Stabilisation of Blue Phase, 査読有, Liquid Crystals, 41, 2014, 839 – 849. DOI: 10.1080/02678292.2014.88559

Shugo Hisamatsu, Hyuma Masu, Masahiro Takahashi, Keiki Kishikawa, Shigeo Kohmoto, Conformation Directed Hydrogen-bonding in meta-Substituted Aromatic Ureidicarboxylic acid, 査読有, Crystal Growth & Design, 13, 2013, 2327 – 2334. DOI: 10.1021/cg301878r

[学会発表] (計 31 件)

Shigeo Kohmoto, Tomotaka Chuko, Yasuhiro Okuda, Shota Kosugi, Masahiro Takahashi, Keiki Kishikawa, Mechanoluminescence of Anthracene-based Organic Salts and Cocrystals, Pacificchem 2015, 2015 年 12 月 16 日, Honolulu (Hawaii)

Keiki Kishikawa, Takahiro Inoue, Naoshi Hasegawa, Masahiro Takahashi, Michinari Kohri, Tatsuo Taniguchi, Shigeo Kohmoto, Achiral Straight-rod Liquid Crystals Indicating Local Biaxiality and Ferroelectric Switching Behavior in the Smectic A and Nematic Phase,

Pacificchem 2015, 2015 年 12 月 20 日, Honolulu (Hawaii)

小杉翔太, 榎飛雄真, 高橋正洋, 岸川圭希, 幸本重男, ベンゾイミダゾール環を有するアントラセン誘導体の刺激応答性発光, 第 24 回有機結晶シンポジウム 2015 年 11 月 1 日, 広島大学(広島県・広島市) 奥田康裕, 幸本重男, 岸川圭希, 高橋正洋, 榎飛雄真, 4-(1H)-ピリドン誘導体の結晶配列制御と刺激応答性発光, 第 24 回有機結晶シンポジウム 2015 年 11 月 2 日, 広島大学(広島県・広島市)

角館暮子, 久松秀悟, 榎飛雄真, 高橋正洋, 岸川圭希, 幸本重男, アントラセン誘導体の束縛回転を利用した AIE 特性と結晶構造, 第 24 回有機結晶シンポジウム, 2015 年 11 月 2 日, 広島大学(広島県・広島市)

小杉翔太, 榎飛雄真, 高橋正洋, 岸川圭希, 幸本重男, アントラセン誘導体の刺激応答性発光, 第 5 回 CSJ フェスタ 2015, 2015 年 10 月 14 日, タワーホール船堀(東京都・江戸川区)

岸川圭希, 古川優樹, 幸本重男, 高橋正洋, 大きな HTP 及び広いブルー相温度範囲を与えるキラルドーパントの分子構造の解明, 第 5 回 CSJ フェスタ 2015, 2015 年 10 月 15 日, タワーホール船堀(東京都・江戸川区)

角館暮子, 久松秀悟, 榎飛雄真, 高橋正洋, 岸川圭希, 幸本重男, アントラセン誘導体の束縛回転を利用した AIE 特性と結晶構造, 第 5 回 CSJ フェスタ 2015, 2015 年 10 月 15 日, タワーホール船堀(東京都・江戸川区)

岸川圭希, 古川優樹, 幸本重男, 高橋正洋, 大きな HTP 及び広いブルー相温度範囲を与えるキラルドーパントの分子構造の解明, 2015 年日本液晶学会討論会, 2015 年 9 月 7 日, 東工大すずかけ台キャンパス(神奈川県・横浜市)

奥田康裕, 高橋正洋, 榎飛雄真, 岸川圭希, 幸本重男, 4-(1H)-ピリドン誘導体の刺激応答性発光, 第 23 回有機結晶シンポジウム, 2014 年 9 月 16 日, 東邦大学(千葉県・習志野市)

角館暮子, 久松秀悟, 榎飛雄真, 高橋正洋, 岸川圭希, 幸本重男, ねじれた分子構造を有するアントラセンカルボン酸誘導体の結晶構造と AIE 特性, 第 23 回有機結晶シンポジウム, 2014 年 9 月 16 日, 東邦大学(千葉県・習志野市)

中古知貴, 榎飛雄真, 高橋正洋, 岸川圭希, 幸本重男, アントラセン環をコアに有するピリジニウム塩の結晶構造と蛍光特性, 第 23 回有機結晶シンポジウム 2014 年 9 月 16 日, 東邦大学(千葉県・習志野市)

小杉翔太, 榎飛雄真, 高橋正洋, 岸川圭希, 幸本重男, 9,10-ビスベンゾイミダゾ

イルメチルアントラセンのメカノフルオロクロミズム, 第 23 回有機結晶シンポジウム, 2014 年 9 月 16 日, 東邦大学(千葉県・習志野市)

幸本重男, 奥田康裕, 高橋正洋, 榊飛雄真, 岸川圭希, 4-(1H)-ピリドン誘導体の刺激応答性発光, 第 4 回 CSJ 化学フェスタ 2014, 2014 年 10 月 14 日, タワーホール船堀(東京都・江戸川区)

岸川圭希, 古川優樹, 高橋正洋, 幸本重男, 中央に強い分極を有するペントコア分子のブルー相への影響, 第 4 回 CSJ 化学フェスタ 2014, 2014 年 10 月 14 日, タワーホール船堀(東京都・江戸川区)

佐川弥, 高橋正洋, 岸川圭希, 幸本重男, ベルト型 共役高分子の SWCTN のラッピングによる高度可溶化, 第 4 回 CSJ 化学フェスタ 2014, 2014 年 10 月 14 日, タワーホール船堀(東京都・江戸川区)

中古知貴, 榊飛雄真, 高橋正洋, 岸川圭希, 幸本重男, アントラセン環をコアに有するピリジニウム塩のメカノフルオロクロミズム, 第 4 回 CSJ 化学フェスタ 2014, 2014 年 10 月 14 日, タワーホール船堀(東京都・江戸川区)

角館暮子, 久松秀悟, 榊飛雄真, 高橋正洋, 岸川圭希, 幸本重男, ねじれた分子構造を有するアントラセンカルボン酸誘導体の結晶構造と AIE 特製, 第 4 回 CSJ 化学フェスタ 2014, 2014 年 10 月 14 日, タワーホール船堀(東京都・江戸川区)

青柳翔太, 高橋正洋, 幸本重男, 岸川圭希, アーチ状の分子配向制御部位を有する液晶材料, 2014 年日本液晶学会討論会, 2014 年 9 月 8 日, くにびきメッセ(島根県・松江市)

長谷川直史, 高橋正洋, 幸本重男, 岸川圭希, 含フッ素液晶分子層構造制御と高分子化, 2014 年日本液晶学会討論会, 2014 年 9 月 8 日, くにびきメッセ(島根県・松江市)

- ②① 古川優樹, 岸川圭希, 幸本重男, 中央に強い分極を有するペントコア分子のブルー相への影響, 2014 年日本液晶学会討論会, 2014 年 9 月 8 日, くにびきメッセ(島根県・松江市)

- ②② Shugo Hisamatsu, Hyuma Masu, Takahashi Masahiro, Keiki Kishikawa, Shigeo Kohmoto, Creation of Hydrogen-bonded Zigzag Architectures in Crystal Engineering, ICCOSSXXI The 21st International Conference on the Chemistry of the Organic Solid State, 2013 年 8 月 8 日, Oxford (UK)

- ②③ Shugo Hisamatsu, Hyuma Masu, Masahiro Takahashi, Keiki Kishikawa, Shigeo Kohmoto, Pair-wise-paired Anthracene Derivatives Inducing Solid-state Dimer Emission, ICCOSSXXI The 21st International Conference on the Chemistry of the Organic Solid State, 2013 年 8 月 5 日,

Oxford (UK)

- ②④ 幸本重男, 中古知貴, 高橋正洋, 岸川圭希, アントラセンピリジニウム塩のメカノフルオロクロミズム, 第 22 回有機結晶シンポジウム, 2013 年 10 月 30 日, 北海道大学(北海道・札幌市)

- ②⑤ 久松秀悟, 榊飛雄真, 高橋正洋, 岸川圭希, 幸本重男, 水素結合を利用したペア型結晶の発光特性, 第 22 回有機結晶シンポジウム, 2013 年 10 月 31 日, 北海道大学(北海道・札幌市)

- ②⑥ 幸本重男, 中古知貴, 高橋正洋, 岸川圭希, アントラセンピリジニウム塩の液晶性及び蛍光特性, 2013 年日本液晶学会討論会, 2013 年 9 月 8 日, 大阪大学(大阪府・豊中市)

- ②⑦ 岸川圭希, 青柳翔太, 高橋正洋, 幸本重男, 棒状とアーチ状の分子配向制御部位を有する高効率キラルドーパントの合成, 2013 年日本液晶学会討論会, 2013 年 9 月 8 日, 大阪大学(大阪府・豊中市)

- ②⑧ 岸川圭希, 斎藤昂秀, 高橋正洋, 幸本重男, 液晶性チオウレアが形成する超構造の解析, 2013 年日本液晶学会討論会, 2013 年 9 月 8 日, 大阪大学(大阪府・豊中市)

- ②⑨ 岸川圭希, 長谷川直史, 高橋正洋, 幸本重男, 種々の末端基導入による含フッ素棒状液晶分子の相構造制御, 2013 年日本液晶学会討論会, 2013 年 9 月 8 日, 大阪大学(大阪府・豊中市)

- ③⑩ 岸川圭希, 大坪亮一, 高橋正洋, 幸本重男, カラム周辺への芳香族置換基導入による強誘電性柱状液晶構造の安定化, 2013 年日本液晶学会討論会, 2013 年 9 月 8 日, 大阪大学(大阪府・豊中市)

- ③⑪ 岸川圭希, 渡邊友浩, 高橋正洋, 幸本重男, 酒石酸イミド誘導体キラルドーパントによるブルー相の発現, 2013 年日本液晶学会討論会, 2013 年 9 月 8 日, 大阪大学(大阪府・豊中市)

〔図書〕(計 1 件)

Shigeo Kohmoto, Construction of Aromatic Folding Architecture: Utilization of Ureylene and Iminodicarbonyl Linkers, Advances in Organic Crystal Chemistry, Chapter 11, p203 – p222, 総ページ数 706 ページ, Eds, R. Tamura, M. Miyata, Springer (2015)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

幸本 重男 (KOHMOTO SHIGEO)
千葉大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 90195686

(2) 連携研究者

岸川 圭希 (KISHIKAWA KEIKI)
千葉大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 40241939