

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 6月 9日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究（A）

研究期間：2010～2012

課題番号：22685014

研究課題名（和文）

超分子複合体の凝集変換に基づいたダイナミック発光素子の創製

研究課題名（英文）

Development of Dynamic Luminescent Materials based on Aggregation Conversion of Supramolecular Complexes

研究代表者

藤内 謙光（NORIMITSU TOHNAI）

大阪大学・工学研究科・准教授

研究者番号：30346184

研究成果の概要（和文）：

光機能性を有した多環式芳香族スルホン酸およびアミン化合物から形成される超分子複合体を階層的に組み上げることによって、ダイヤモンドネットワークを形成し、それぞれのネットワークが相互貫入することで刺激応答的かつ安定的な多孔性物質を構築することができた。この多孔性構造に様々な化学種を取り込ませることによって、その化学種の立体構造、電子構造を読み取り、その物質に応じた青色から赤色までの幅広い動的な発光変調を達成することができた。

研究成果の概要（英文）：

Porous materials using organic molecules have attracted much attention due to their potential application such as gas absorption and so on. During this period, we have proposed a novel hierarchical method to construct porous structures through diamond network. In this method, the first step is to build up molecular assemblies: supramolecular cluster. These assemblies act to sustain porous structures with larger inclusion spaces. Then, the assemblies are accumulated by intermolecular interactions between assemblies to achieve both robustness and dynamics of the porous structures. Balance between robustness and dynamics led to drastic luminescent color change according to chemical stimuli.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	14,800,000	4,440,000	19,240,000
2011年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2012年度	2,400,000	720,000	3,120,000
年度			
年度			
総計	19,600,000	5,880,000	25,480,000

研究分野：超分子化学、包接化学、有機結晶

科研費の分科・細目：複合化学・機能性物質科学

キーワード：超分子化学、結晶工学、発光材料、多孔質物質、有機結晶、超分子クラスター、スルホン酸アミン塩、包接現象

1. 研究開始当初の背景

機能性固体材料の物性は、材料を構成する分子の構造だけでなく分子の集合様式にも大きく依存する。すなわち、分子運動が極め

て制限されている固体状態・結晶状態では分子の集合、配列を制御することによって、物理物性を大きく変調することが可能である。電荷移動錯体は有機金属と考えられ、1960

年代より分子配列と導電性、光特性の相関について広く研究されてきた。また 1970 年代より、結晶工学の概念が唱えられ、結晶中における分子の配列制御が重要な研究対象として認知されるようになった。

一方、結晶状態で発光材料では、一般に希薄溶液中では強い蛍光を示す蛍光分子も、固相状態では消光することがよくあり (Aggregation Induced Quenching: AIQ)、強発光物質の報告は多くはなかった。また分子の凝集変換を作用機序としたし、静的または動的な発光挙動変化の報告はほとんどない。これは静的変化においては、多様な分子配列をもつ結晶の作成を、多形結晶という偶発的な現象に依存していたため、発光分子を用いた体系的な研究が行えなかったからである。また動的変化では、固相状態が不均一であるため定量的な測定が難しく研究対象とするのは非常に困難である。

現在、地政学的な問題によって、レアメタル、レアースの安定供給が脅かされており、これらを用いない発光材料を開発する必要に迫られている。本研究はユビキタス元素からなる固体発光材料の発光特性 (色彩や強度) を、静的、動的変換するものであり、強く望まれている分野である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、大きく分けて以下の 2 つである。第一には、炭素、窒素、酸素、およびケイ素などのユビキタス元素だけを用い、固相中で分子の自己組織化、凝集様式を変化させることにより、レアメタルフリーの超分子発光素子を創成することである。液相と違って、固相では物質の安定性、システムの安定性、取り扱いの容易さなど、実用化に近いという観点から非常に有意ではあるが、固相中では期待したほどの機能・性質が発揮されないことが多く、これまで有機分子が持つ可能性を十分引き出せているとは言い難い。この原因の多くは、分子が機能を発現するための理想的な分子配列を思い通りに構築できないためである。本研究では、分子の自己組織化を利用することによって、分子が本来もつ機能性を引き出し、外的刺激によって動的に発光挙動を制御することを目指した。

第二の目的は、固体状態における発光挙動とその分子集合・分子配列の相関を明らかとし、固体状態における発光化学を体系づけることである。これまで、溶液中での発光挙動は広く議論されてきているが、固体中での発光の機序については十分に理解されていない。そこで本研究では、分子の配列を体系的に変化させることができる系を構築し、その原理を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、ホストゲスト化学を取り入れた超分子複合体を利用することによって先述の目的の達成を目指した。具体的には、第一成分 (機能性部位) と第二成分 (構造制御部位) により超分子複合体を構築し、その組み合わせにより静的な分子凝集変換を達成した。さらには、第三成分 (機能モジュレーター) としてさまざまな化学種を、気体あるいは溶液として超分子複合体結晶に暴露させることにより複合体の構造あるいはその配列の可逆的・動的な変換を試みた。さらに、熱による分子配列の転移も行った。

(1) 有機塩の作成

機能性部位には、スルホン酸、ホスホン酸、カルボン酸などの酸性置換基を導入した多環式芳香族 (アントラセン) などのパイ共役分子を用いた。構造制御部位には、トリフェニルメチルアミン (TPMA) を用いた。機能モジュレーターには、機能性部位と相互作用するような電子アクセプター性の芳香族や、結晶格子の深くまで浸透できる揮発性の高い有機小分子を用いた。本方法は、2 つの酸・塩基成分を混ぜ合わせるだけで、煩雑な有機合成を伴わずに無数の超分子複合体を有機塩として構築できるため、高速かつ大量に有用な発光物質の探索が可能であった。

(2) 結晶の作成と構造同定

作成した有機塩をさまざまな有機溶媒から結晶化させ、得られた単結晶の X 線構造解析によってその構造を明らかにした。さらに、構造データを詳細に検討することによって、発光機能団の集合様式、発光機能団に作用する種々の分子間相互作用 (水素結合、 π/π 相互作用、 CH/π 相互作用など) について考察した。

(3) 動的構造変化の追跡

第三成分の有機塩結晶への吸着・脱離、有機塩結晶の相転移は、単結晶 X 線解析あるいは粉末 X 線回折測定によって追跡した。また、DSC、TG-DTA を用いた熱分析によって、包接現象のダイナミクスに関する知見を得た。

(4) 発光特性の評価

単結晶あるいは結晶性の粉末固体を用いて、固体蛍光スペクトル測定、蛍光量子効率測定、および蛍光寿命測定をおこない、発光特性を明らかにした。

4. 研究成果

以下に研究成果について示す。

(1) スルホン酸トリフェニルメチルアミン塩による超分子集合体を基本単位とした多孔質構造の階層的な設計および構築

3 種類の多環式芳香族モノスルホン酸 (ナフタレン-2-スルホン酸 (2-NS, **1**)、アントラセン-2-スルホン酸 (2-AS, **2**)、ピレン-1-スルホン酸 (1-PyS, **3**)) を TPMA と組み合わせることで有機塩を作製した。エタノールと種々の芳香族系炭化水素を溶媒とした再結晶で得られた単結晶の X 線構造解析

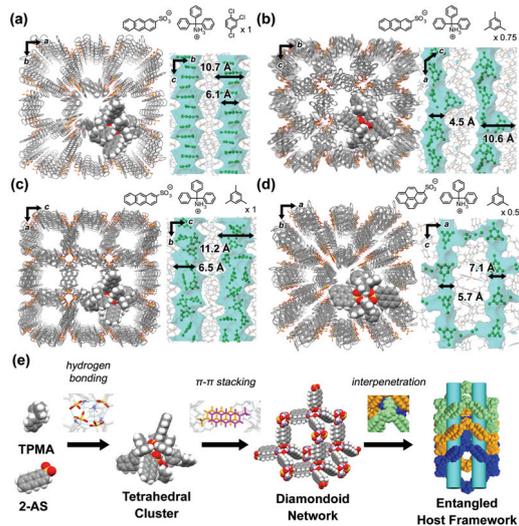


図 1 スルホン酸トリフェニルメチルアミン塩による超分子集合体を基本単位とした多孔性有機塩の結晶構造

を行った結果、2-AS あるいは 1-PyS を組み合わせた有機塩からは狙い通りダイヤモンド状多孔質有機塩 (Diamondoid Porous Organic Salt, **d-POS-2a**, **d-POS-3**) が得られた (図 1a,d)。いずれの多孔質有機塩の構造においても、スルホン酸とアミンのキューブ状電荷補助型水素結合ネットワークを核とした四面体形状の超分子クラスターが、芳香族部位の π - π 相互作用によって連結されることでダイヤモンド状のネットワークを形成している (図 1e)。このダイヤモンドネットワークが適度に相互貫入することで構造安定化し、多孔質構造を階層的に形成している。構造内の空間はそれぞれナノサイズに近い細孔径を有しており、空間内には溶媒分子をゲストとして包接していた。興味深いことに、連結部位であるスルホン酸の芳香族部位の長さや嵩高さの違いによってダイヤモンドネットワークの相互貫入数が異なっていた。分子長に比べ小さな分子幅を有した 2-AS から構築される d-POS-2a では、3 本の独立したダイヤモンドネットワークが相互貫入していたのに対し、分子長に比べ大きな分子幅を有したより嵩高い 1-PyS によって構築される d-POS-3 では相互貫入数が 2 本となっていた。その結果、形成される空間も d-POS-2a では一次元であったのに対し、d-POS-3 では二次元空間となっていた。以上のような結果から、スルホン酸トリフェニルメチルアミン塩からなる超分子クラスターを基本単位とした階層的な設計は、目的の多孔質構造を系統的に設計、構築する手法として非常に有用であることを実証した。

(2) ゲスト分子依存的な幅広い構造と蛍光特性を示す多孔質有機塩の階層的な構築

多様な分子にตอบสนองして蛍光色調を変化させる多孔質構造は、色制御が可能な固体発光材料として非常に有用であり、センシング材料としての応用も期待できる。超分子クラスターに導入

するモノスルホン酸として、9,10-ジクロロアントラセン-2-スルホン酸(2-DCAS)を用いた(図 2 上)。ハロゲン元素の導入による π 共役系部位の適度な拡張と、ハロゲン結合を介した溶媒分子と構造の効果的な相互作用によって、クラスター同士のより幅広い積層様式が可能となると考えられ、結果多彩な多孔質構造とそれに応じた蛍光特性が包接分子依存的に得られると考えた。2-DCAS と TPMA からなる有機塩を種々の有機溶媒で再結晶することで得られた単結晶は、発光色調を青から黄色まで大きく変化させた(図 2 下)。固体蛍光スペクトル測定の結果においても、極大発光波長は 449 nm から 555 nm まで 100 nm 以上変化しており、非常に幅広い蛍光変調を達成している(図 2 下)。粉末 X 線回折測定からは、再結晶で得られた 26 種類の包接結晶は大別して 6 種類(d-POS-4a-f)に分類でき、異なった蛍光色調を有する結晶は異なる構造を有していることが明らかとなった。意外なことに、同じ構造を有した結晶はゲスト分子によらずほぼ同一の発光を示した。単結晶 X 線構造解析の結果、いずれの構造も溶媒分子を包接した多孔質有機塩であることが分かった。これらの多孔質有機塩はすべて同様の四面体状超分子クラスターを核構造としたダイヤモンドネットワークを有している。しかし、包接する溶媒分子の体積に応じてクラスター自身のコンホメーションや集積様式、ダイヤモンドネットワークの相互貫入数が柔軟に変化しており、アントラセン部位の多様な積層様式と多孔

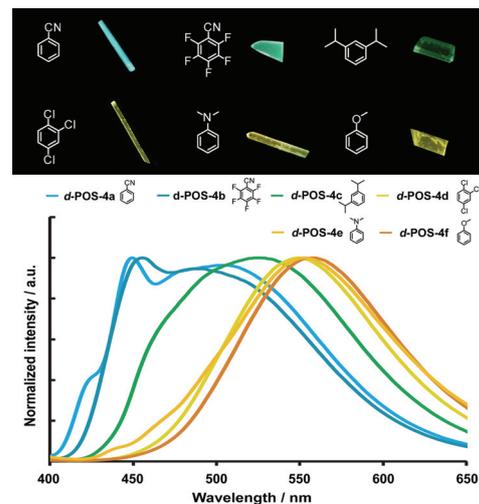
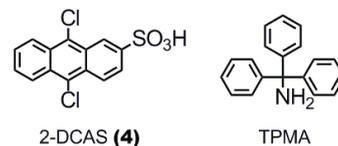


図 2 多孔性有機塩のゲスト依存的発光挙動

質構造を形成していた。同時に、空隙率や細孔幅も幅広く変化しており、空隙率は最も大きいもので d-POS-4e の 43.7%、細孔幅は d-POS-4c の 16.1 Å となっていた。包接する溶媒分子と多孔質構造間には CH-C1 相互作用もみられたことから、階層的に構築された多孔質有機塩の高い構造柔軟性と効率的なホスト-ゲスト間相互作用が、多様な溶媒分子を包接とアントラセン部位の積層様式の変化を可能としたと考えられる。

(3) 安定な細孔構造と分子応答的な蛍光特性を有する多孔質有機塩の構築

安定な細孔構造を有する多孔質構造は、構造の剛直性に起因して極めて可逆性の高い気体吸着挙動やサイズ選択的吸着特性を示すことから、分離・貯蔵材料として幅広く利用されている。機能性有機分子からなる剛直な多孔質構造は、これらの機能に光電子特性などの機能を融合させることが可能であるため、発光・センシング材料などさらに幅広い応用が期待できる。剛直な多孔質構造を構築するため、今回はジスルホン酸と TPMA を組み合わせた設計を行った。これまでの設計では、モノスルホン酸と TPMA を組み合わせることで独立した超分子クラスターを形成し、それらを非共有結合によって連結することで多様性と柔軟性を有した多孔質構造の構築を行ってきた。一方ジスルホン酸を用いることで、分子骨格をリンカーとしたネットワーク形成が可能な超分子クラスターを構築することができ、超分子クラスターがより強固に連結された剛直な多孔質構造を構築できると考えた。

以上のような設計をもとに、スチルベン-4,4'-ジスルホン酸(SBDS, 7)を TPMA と組み合わせて有機塩を作製した。SBDS はリンカー分子としてだけではなく機能団としても働くため、多孔質構造への蛍光特性の導入を期待して用いた。作製した有機塩を種々の有機溶媒で再結晶し、得られた結晶の粉末 X 線回折測定や単結晶 X 線構造解析を行った結果、いずれの溶媒からも π -クロトルエンを包

接した多孔質有機塩(d-POS-7·CT)と同一の構造が得られていることが分かった(図3)。d-POS-7·CT はこれまでの多孔質有機塩と同様に超分子クラスターを基本単位として階層的に構造構築がなされており、超分子クラスター同士は狙い通りジスルホン酸をリンカーとして強固なダイヤモンドネットワークを形成していた。その結果、d-POS-7·CT は包接分子を脱離しても構造変化することなくきわめて安定に細孔構造を維持していた。この安定な細孔構造は、可逆的かつ選択的な CO₂ 吸着を小さなヒステリシスで示した(図4a)。このような選択性が生じた理由として、明確に定まった細孔が相対的に小さな分子半径を有する気体分子のみを構造内に取り込むことによる分子ふるい効果が考えられる。同時に多孔質構造と CO₂ 分子間で強い相互作用が働くことで、高い吸着量(86.5 cm³ g⁻¹ (STP) at P/P₀ = 0.99)を示したと考えられる。また細孔構造は有機溶媒に対しても安定であり、揮発性有機溶媒(VOC)に対してもサイズ選択的な吸着特性を示した。このような構造的安定性に起因した機能に加え、d-POS-7 は分子応答的な蛍光特性も示した(図4b)。420 nm 付近に極大波長を有した青色の d-POS-7 の発光は、ドナー性の高い N,N-ジメチルアニリン誘導体を吸着することで 430~500 nm に幅広い蛍光発光を示す青緑色へと変化した。また種々のジメチルアミノトルイジン誘導体を吸着させた結果、色調変化の割合は、吸着分子のイオン化ポテンシャルを反映して変化しており、蛍光寿命測定や時間分解蛍光スペクトル測定などの結果からホスト-ゲスト間での励起錯体の形成が関与していることが分かった。一方で、ニトロベンゼンなどの電子受容性の高い分子を吸着した場合は、発光が消光する挙動がみられた。以上のように機能性ジスルホン酸と TPMA を用いて超分子クラスターを基本単位とした階層的な構造設計を行うことで、高い気体吸着特性と蛍光特性を兼ね備えた多機能性多孔質構造を設計通りに構築することができると実証した。

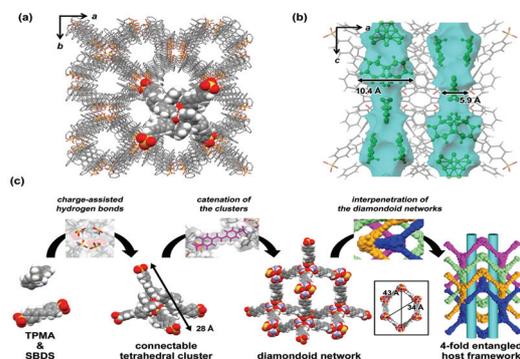


図3. ジスルホン酸を用いた連続ダイヤモンドネットワークの構築と多孔性有機塩の結晶構造

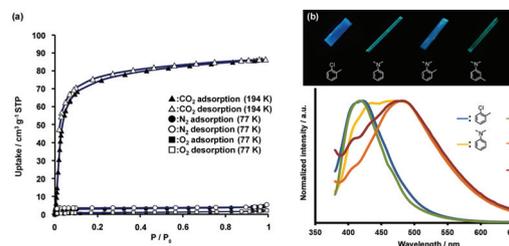


図4 多孔性有機塩のガス吸着挙動と、ゲスト依存的発光挙動

5. 主な発表論文等

(雑誌論文) (計 20 件)

1. Yamamoto, A.; Hamada, T.; Hisaki, I.; Miyata, M.; Tohnai, N., Dynamically Deformable Cube-like Hydrogen-Bonding Networks in Water-Responsive Diamondoid Porous Organic Salts. *Angewandte Chemie, International Edition* **2013**, *52*, 1709-1712. (査読有)
2. Yamamoto, A.; Hasegawa, T.; Hamada, T.; Hirukawa, T.; Hisaki, I.; Miyata, M.; Tohnai, N., Role-Allocated Combination of Two Types of Hydrogen Bonds towards Constructing a Breathing Diamondoid Porous Organic Salt. *Chemistry--A European Journal* **2013**, *19*, 3006-3016(査読有)
3. Yamamoto, A.; Hirukawa, T.; Hisaki, I.; Miyata, M.; Tohnai, N., Multifunctionalized porosity in zeolitic diamondoid porous organic salt: selective adsorption and guest-responsive fluorescent properties. *Tetrahedron Lett.* **2013**, *54*, 1268-1273. (査読有)
4. Chen, C.-C.; Hinoue, T.; Hisaki, I.; Miyata, M.; Tohnai, N., A tunable photoluminescence system consisting of liquid-crystalline trans-alkoxy-nitrostilbenes with n-alkyl chains. *Tetrahedron Lett.* **2013**, *54*, 1649-1653. (査読有)
5. Yamamoto, A.; Uehara, S.; Hamada, T.; Miyata, M.; Hisaki, I.; Tohnai, N., Diamondoid Porous Organic Salts toward Applicable Strategy for Construction of Versatile Porous Structures. *Crystal Growth & Design* **2012**, *12*, 4600-4606. (査読有)
6. Shigemitsu, H.; Hisaki, I.; Kometani, E.; Tohnai, N.; Miyata, M., Guest-Dependent Structural Transformation of Dehydrobenzoannulene Inclusion Crystals Composed of π -Stacked Parallelogram Columnar Motifs. *Chemistry Letters* **2012**, *41*, 1535-1537. (査読有)
7. Sasaki, T.; Hisaki, I.; Tsuzuki, S.; Tohnai, N.; Miyata, M., Halogen bond effect on bundling of hydrogen bonded 2-fold helical columns. *CrystEngComm* **2012**, *14*, 5749-5752. (査読有)
8. Liu, W.-T.; Tohnai, N.; Hisaki, I.; Miyata, M.; Steven, D.; Chiu, Y.-H.; Liu, J.-H., Photo-tunable morphologies of beta-cyclodextrin-threaded inclusion complexes containing a terminal cholesteryl group. *Science of Advanced Materials* **2012**, *4*, 1031-1038. (査読有)
9. Hisaki, I.; Yasumiya, D.; Shigemitsu, H.; Tsuzuki, S.; Tohnai, N.; Miyata, M., Interactions between dehydrobenzo[12]annulene (DBA) and gas molecules: do the preorganized acetylenes work cooperatively? *Physical Chemistry Chemical Physics* **2012**, *14*, 13918-13921. (査読有)
10. Hisaki, I.; Hiraishi, E.; Sasaki, T.; Orita, H.; Tsuzuki, S.; Tohnai, N.; Miyata, M., Crystal Structure of Quinine: The Effects of Vinyl and Methoxy Groups on Molecular Assemblies of Cinchona Alkaloids Cannot Be Ignored. *Chemistry--An Asian Journal* **2012**, *7*, 2607-2614. (査読有)
11. Ichiro Hisaki, Toshiyuki Sasaki, Norimitsu Tohnai and Mikiji Miyata, "Supramolecular-Tilt-Chirality on Two-Fold Helical Assemblies" *Chem. Eur. J.* **2012**, *18*, 10066-10073.(査読有)
12. Toshiyuki Sasaki, Norie Shizuki, Eri Hiraishi, Ichiro Hisaki, Norimitsu Tohnai, and Mikiji Miyata, "Construction of Multi-Component Supramolecular Architectures of Bile Acids and Cinchona Alkaloids Through Helical-Pitch-Synchronized Crystallization " *Org. Biomol. Chem.* **2012**, *10*, 5985-5992.(査読有)
13. Ichiro Hisaki, Toshiyuki Sasaki, Kazuaki Sakaguchi, Wen-Tzu Liu, Norimitsu Tohnai, and Mikiji Miyata, "Right- and Left-Handedness of 2_1 Symmetrical Herringbone Assemblies of Benzene" *ChemComm*, **2012**, *48*, 2219-2221. (査読有)
14. Tomoaki Hinoue, Mikiji Miyata, Ichiro Hisaki, and Norimitsu Tohnai, "Guest-responsive Fluorescence of Inclusion Crystals with π -stacked Supramolecular Beads" *Angew. Chem. Int. Ed.* **2012**, *51*, 155-158. (査読有)
15. Tomoaki Hinoue, Shigenoi Doi, Misa Sugino, Yuji Mizobe, Ichiro Hisaki, Mikiji Miyata, and Norimitsu Tohnai, "Regulation of π -Stacked Anthracene Arrangement for Fluorescence Modulation of Organic Solid from Monomer to Excited Oligomer Emission" *Chem. Eur. J.* **2012**, *18*, 4634-4643. (査読有)
16. Ichiro Hisaki, Hirofumi Senga, Hajime Shigemitsu, Norimitsu Tohnai, and Mikiji Miyata, "Construction of 1D π -Stacked Superstructures with Inclusion Channels through Symmetry-Decreasing Crystallization of Discotic Molecules of C_3 Symmetry " *Chem. Eur. J.* **2011**, *17*, 14348-14353. (査読有)
17. Ichiro Hisaki, Eriko Kometani, Hajime Shigemitsu, Norimitsu Tohnai, and Mikiji Miyata, "Polymorphism of Dehydrobenzo [14]annulene Possessing Two Methyl Ester Groups in Noncentrosymmetric Positions"

- Cryst. Growth Des.* **2011**, *11*, 5488-5497. (査読有)
18. Ichiro Hisaki, Taketoshi Murai, Hirohide Yabuguchi, Hajime Shigemitsu, Norimitsu Tohnai, and Mikiji Miyata, "Deoxycholamide Crystalline Frameworks as a Platform of High-Efficient Fluorescence Materials" *Cryst. Growth Des.* **2011**, *11*, 4652-4659. (査読有)
 19. Ichiro Hisaki, Norie Shizuki, Toshiyuki Sasaki, Yuka Ito, Norimitsu Tohnai, and Mikiji Miyata, "Handedness Determination of 2₁ Helical Motifs and Hierarchical Analysis of Crystal Structures Based on the Motifs: The Case of Cinchona Alkaloid Derivatives" *Cryst. Growth Des.*, **2010**, *10*, 5262-5269. (査読有)
 20. Kazunori Nakano, Shigendo Akita, Taketoshi Murai, Wen-Tzu Liu, Ichiro Hisaki, Norimitsu Tohnai, and Mikiji Miyata, "Selective Guest Retention in Thermal Guest-release Process in Sandwich-type Inclusion Crystal of Cholic Acid" *ChemEngComm*, **2010**, *12*, 1461-1466. (査読有)

[学会発表] (計 30 件)

1. 藤内謙光、“有機結晶のフォトルミネッセンスとその制御”、2013/3/25、草津
2. 重光孟・久木一朗・安宮大裕・小坂圭亮・藤内謙光・宮田幹二、“超音波による高結晶性超分子ナノファイバーの動的構造変換および電気的特性変化”、日本化学会第93春季年会、2013/3/24、草津
3. 畠中啓佑、杉野光彩、久木一朗、藤内謙光、宮田幹二、“9-アミノフェニルアントラセン包接結晶の外部刺激による凝集変換と発光変調”日本化学会第93春季年会、2013/3/25、草津
4. N. TOHNAI, M. SUGINO I. HISAKI, M. MIYATA、“Supramolecular assemblies and photophysical properties of 9,10-anthracene derivative in solid state”、第61回高分子年次大会、2012/5/29、横浜
5. 藤内謙光・樋上友亮・久木一朗・宮田幹二、“πスタック型ナノクラスターからなるビーズ状超分子の構築と外部刺激応答的固体発光”、第9回ホスト・ゲスト化学シンポジウム、2012/5/26、札幌
6. 山本淳志、藤内謙光、久木一朗、宮田幹二、“スルホン酸アミン塩を用いた蛍光性有機多孔質構造の階層的構築とそのゲスト応答的な構造および蛍光変化”、第9回ホスト・ゲスト化学シンポジウム、2012/5/26、札幌
7. N. Tohnai, I. Hisaki, M. Miyata, “Supramolecular Assemblies and Fluorescence Properties of 9,10-Anthracene Derivative in Inclusion Crystals”,

- Japan-Taiwan Bilateral Workshop on Nano-Science 2012, 2012/12/5, Osaka, Japan
8. N. Tohnai, I. Hisaki, M. Miyata, “Fluorescence Tuning System by using Organic Salts composed Anthracene Disulfonic Acid (ADS) and Primary Alkyl Amines in Crystalline State” XXIV IUPAC Photochemistry, 2012/7/17, Coimbra, Portugal
 9. 樋上友亮、宮田幹二、久木一朗、藤内謙光、“πスタック型ナノクラスターからなるビーズ状超分子の構築とそのゲスト応答的固体発光”、第92春季年会、2012年3月26日、東京慶応大学
 10. 藤内謙光、“Hierarchical Construction of Functional Organic Zeolite by Supramolecular Process”、第60回高分子学会年次大会、2011年5月25日、大阪
 11. 山本淳志、久木一朗、宮田幹二、藤内謙光、“スルホン酸アミン塩を用いた超分子集合体の非共有結合による蛍光性多孔質構造の階層的構築”、第60回高分子討論会、2011年9月28日、岡山
 12. 杉野光彩、久木一朗、宮田幹二、藤内謙光、“アントラセン誘導体硫酸塩結晶を用いた分子配列変化に伴う発光機序制御”、日本結晶学会平成23年度年会、2011年11月24日、北海道
 13. 樋上友亮、久木一朗、宮田幹二、藤内謙光、“アントラセン有機塩結晶における分子配列の発光機序へ及ぼす影響”、光化学討論会、2010年9月16日、千葉県千葉市

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ:

http://www.mls.eng.osaka-u.ac.jp/~mol_re/

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤内 謙光 (NORIMITSU TOHNAI)

大阪大学・工学研究科・准教授

研究者番号: 30346184

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし