

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23350025

研究課題名(和文) 動的秩序を基盤とする発光性クロミック金属錯体の創製

研究課題名(英文) Construction of Luminescent Chromic Metal Complexes with Dynamic Ordering

研究代表者

加藤 昌子 (KATO, Masako)

北海道大学・理学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：80214401

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,700,000円、(間接経費) 4,710,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、集積・配列・クラスター化することにより特異な発光を示す白金(Ⅱ)や銅(Ⅰ)錯体等の“集積発光性金属錯体”に注目し、金属間相互作用、 π - π 相互作用、疎水性相互作用、水素結合等の分子間相互作用を自在に制御することによって、より高度な動的秩序系の構築に取り組んだ。その結果、1) 構造復元機能を持つ蒸気応答性クロミック配位高分子および超分子、2) 光と蒸気により発光色変化を示す八ロゲン架橋銅(Ⅰ)複核錯体、3) 白金間相互作用をスイッチとする蒸気応答性Pt-M型複核錯体等、外部刺激に応答して鋭敏な色変化や発光色変化を示す様々な環境応答型発光性クロミック金属錯体を開発した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this project is to construct novel assembled metal complex systems with dynamical ordering by using various intermolecular interactions such as metal-metal, π - π , hydrophobic, and hydrogen bonding interactions. In this concept, we have developed luminescent metal complexes which exhibit unique chromic behaviors in response to the various environmental stimuli such as vapor, light, and heat: 1) Vapochromic coordination polymers and supramolecular restorable systems based on luminescent platinum(II) or ruthenium(II) complexes; 2) Luminescent dinuclear copper(I) complexes which exhibit luminescence changes induced by light and vapor; 3) Vapor and mechanically induced chromic behavior of platinum(II) complexes with a dimer-of-dimer motif and the effect of hetero metal ions.

研究分野：化学

科研費の分科・細目：基礎化学・無機化学

キーワード：金属錯体 発光 クロミズム 動的秩序 環境応答

1. 研究開始当初の背景

発光性・光機能性金属錯体の研究は、近年、太陽電池、光触媒、エレクトロルミネッセンス(EL)素子、化学センサー等への応用を含めてますます活発に行われている。従来のポリピリジンルテニウム錯体や金属ポルフィリン類に加えて、高効率発光材料として注目のシクロメタレート型イリジウム(III)錯体や白金(II)錯体、レニウム(I)錯体、金(I)錯体など、物質群も急速に拡大している。また、VOCs (Volatile Organic Compounds) センサーをはじめとする化学センシングにも発光性金属錯体の利用が注目され、報告例も年々増大している。しかし、発光性、光機能性金属錯体の理論的基盤や設計指針はまだ確立されておらず、未開拓の物質系が多く潜在していると考えられる。特に、貴金属錯体以外の光機能性錯体の探索は、元素の幅広い活用の観点から不可欠であり、取り組むべき重要な課題である。

本申請者は、これまでに、集積、配列することにより特有の発光を示す白金(II)錯体に注目し、外部刺激に応答して発光変化を示す集積発光性錯体の構築に成果を挙げてきた。これまでに、特定の有機ベーパーに感応して著しい発色・発光変化(ベイポクロミズム)を示す白金複核錯体(Kato *et al.* *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2002**, *41*, 3183.)や空孔のある三次元ネットワーク構造を形成することにより、無色～黄色～赤色～紫色と多彩なベイポクロミズムを示す白金錯体や溶媒環境に応じてフレキシブルに集積状態を変えて発光が変わるエキシマー発光性白金錯体等を見出している。この種の平面四配位型の白金(II)錯体は、積層することで白金間に電子的相互作用を生じ、単核錯体にはない特有の発光が現れる。実際、シクロメタレート型白金複核錯体では、高効率のEL発光も観測した(Saito *et al.* *Jpn. J. Appl. Phys.*, **2005**, *44*, L500.)。

また、ベイポクロミック機構についても吸着特性や構造化学特性の観点から解明し、カルボキシピリジン白金錯体系では論文表紙に掲載される成果を挙げている。このような集積発光系では、積層構造のわずかな変化により、著しい発光変化や励起状態の変化を引き出すことが可能であり、気体分子、媒体、光などの外的な刺激に対する鋭敏なセンサーになりうる。この特徴は、高密度状態では通常、発光励起状態が速やかに失活してしまう有機分子や、構造の柔軟性が少ない無機化合物にはない有機・無機複合系の金属錯体ならではものといえる。しかし、この特徴を生かすためには、今後より選択性のある系の構築が必要であり、クラスタリングや配位高分子化、あるいは液晶化により、高度な動的秩序系を構築すれば、より鋭敏で選択的なクロミック現象を引き出すことが可能であるという考えに至った。電子状態変化に加えて、電子やプロトン移動を積極的に誘起することにより、さらなる機能付加も期待できる。

2. 研究の目的

本研究で目指す動的秩序を持つ発光性クロミック金属錯体を構築するために、これまでに実績のある白金に加えて、銅、金、亜鉛などの様々な金属の特性を生かし、金属間相互作用、金属-配位子相互作用、配位子間の種々の相互作用($\pi\pi$ 相互作用、疎水性相互作用、水素結合)を巧みに織り込んだ分子設計を行う。具体的に以下の3つの課題を設定した。

(1) クラスタリングにより制御されたクロミック錯体の構築

条件により多彩なクラスター形成が期待される金(I, III)や銅(I)の d^{10} および d^8 系に注目して、クラスタリングにより発光性の発現や多様な混合原子価状態による色変化が起こる錯体を構築する。

(2) 配位高分子化による構造復元クロミック系の構築

前述の白金錯体は水素結合ネットワークを形成することにより多彩なベイポクロミズムを示す。これを土台に、カルボキシ基を配位子として種々の金属イオンに配位結合で連結した配位高分子を構築し、ベーパーの配位能や極性に依存して選択的に応答する構造復元自在なクロミック系を実現する。

(3) 柔軟集積構造体の構築とセンシング機能の導出

分子に応答する化学センシング機能を付与するためには、相互作用する分子に対する選択性をもつ系を構築する必要がある。このために、 $\pi\pi$ 相互作用、アルキル基の疎水性相互作用などの分子間相互作用を駆使した集積構造を構築する。例えば、前述の長鎖アルキル基を有する白金錯体は、トルエン中では特異的にエキシマーを生成するが、アルキル鎖を持たない系では逆にトルエンは集積を妨げる作用をするなど選択性の向上と発色・発光変化の向上が期待できる。そこで集積構造をさらに発展させた柔軟構造体の構築も狙う。

3. 研究の方法

(1) クラスタリングにより制御されたクロミック錯体の構築

銅(I)錯体は種々のクラスターを形成し、しばしば高発光性を示すことが知られている。申請者らはプロトン脱着により大きく色変化を起こしうるPNN型ヒドラゾン誘導体(HL)を用いて、銅(I)錯体、[Cu(HL)]を合成したところ、この錯体が溶媒や液性に依存してクラスタリングを起こし、発光性多核錯体を生成することを見出した。そこで、種々のキレートおよび架橋可能な配位子を用いて、単核から複核、四核、六核等の銅(I)クラスターのクラスタリングの条件を検討するとともにそのメカニズムを明らかにする。次に、錯体の発光特性を調べ明らかにする。構造変換は単結晶X線構造解析のほか、粉末X線回折法を用いて追跡する。

(2) 配位高分子化による構造復元クロミック系の構築

[Pt(CN)₂(H₂dcbpy)] (図1: R¹ = COOH, R², R³ = H) が示す著しいベイポクロミズムは、カルボキシル基とシアノ基が隣接する錯体間で水素結合して隙間の大きいネットワーク構造を形成することによる。この錯体に、ナトリウムエトキシドを作用させると発光エネルギーが変化するとともに著しい発光強度の増大が観測された。カルボキシル基のプロトンがナトリウムイオンにイオン交換し

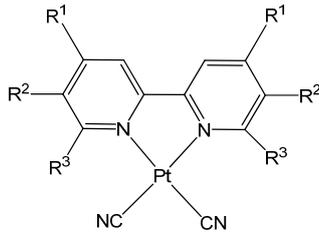


図1

たとえられ、対イオンにより発光エネルギーや強度が制御可能であることがわかった。そこで連結部位の位置の異なる一連の白金錯体を、イオンの大きさや電子的な効果が異なる種々の金属陽イオン (Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Zn²⁺, Cd²⁺等) に連結し、配位高分子化した柔軟かつ安定な三次元構造体を構築することにより、自己集積系での限界を超えたクロミック挙動の発現を狙う。配位高分子系は単結晶化がしばしば困難となるが、いくつかの系では結晶化に成功し手がかりを得ている。配位高分子化のメリットは、導入陽イオンの配位構造制御により、配位性ベイパー分子を保持、コントロールできることである。ベイポクロミズムと三次元ネットワーク空間の制御によるベイパー選択性の可能性を追求するためには、一連の白金錯体配位高分子の構造解明が重要である。X線構造解析によりこれらの結晶構造を明らかにするとともに、種々のベイパーに対するベイポクロミズム挙動を発光スペクトルで追跡する。

(3) 柔軟集積構造体の構築とセンシング機能の導出

長鎖アルキル基を有するポリピリジン配位子を含む白金錯体、[Pt(CN)₂(dC_nbpy)] (dC_nbpy = 4,4'-dialkyl-2,2'-bipyridine)は、集積性とフレキシビリティを併せ持つため、結晶中や溶液中で配列に依存した発光を示す。予備的実験では、図2のように層状構造を形成している結晶にベイパー分子が作用すると、結晶表面で配列構造が乱されて著しい発光変化を示すことが見出された。このような興味深いベイポクロミズム挙動を解明するために、より制御された柔軟構造の構築が必要である。そこで、鎖長の異なるアルキル鎖や分岐状アルキル鎖を導入した系を構築し、その集積発光挙動を明らかにする。金属中心は白金のほか期待できる金(I, III)系も試み

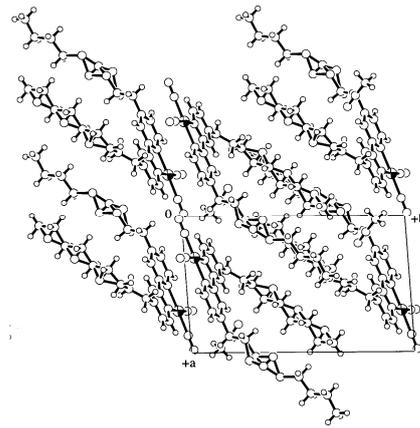


図2. [Pt(CN)₂(dC₉bpy)]の結晶構造

る。

(1)~(3)で得られた錯体の分光学的な性質及び構造を現有設備(核磁気共鳴装置、可視・紫外分光光度計、赤外分光光度計、単結晶X線構造解析装置、粉末X線回折計、蛍光分光光度計、蛍光寿命測定装置、量子収率測定装置等)により調べる。また、熱測定および気体の吸脱着測定により、気体分子の結晶格子への出入りを構造変化と連動させて明らかにする。

4. 研究成果

(1) 配位高分子化による構造復元クロミック系の構築

三次元ネットワーク空間の形成可能な置換基を有する配位子、4,4'- or 5,5'-dicarboxy-bipyridine (H₂dcbpy)を含む白金(II)錯体、[Pt(CN)₂(dcbpy)]²⁺ (H₂dcbpy = 4,4'-dicarboxy-2,2'-bipyridine)と種々の金属陽イオン(Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Zn²⁺)との配位高分子形成に成功した。カチオンの性質に依存した選択的ベイポクロミック特性が見出され、X線構造と発光スペクトルに基づいて蒸気応答メカニズムを明らかにした。また、両座配位子NCS⁻を含む錯体[Pt(NCS)₂(H₂dcbpy)]では、光と蒸気により結合異性化を制御することでユニークなクロミック挙動を示すことを明らかにした(図3)。



図3

さらに、上記の配位子を用いて、銅(I)、コバルト(III)、及びルテニウム(II)錯体配位子を用いて、四面体ベース、八面体ベースの多孔性配位高分子の構築を行った。粉末X線回折により、配位高分子 {Sr₂[Ru(4,4'-dcbpy)₃]·nH₂O}等において、可逆的な構造変換を伴う

水蒸気応答性が見いだされた (図4)。

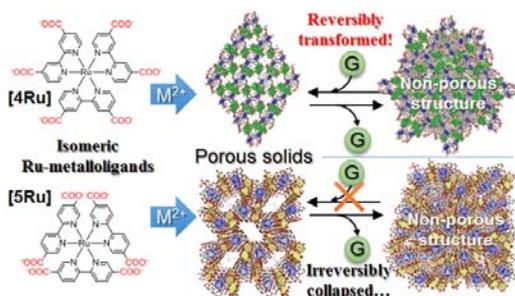


図4

(2) クラスタリングにより制御されたクロミック錯体の構築。

PS型の架橋配位子、2-(diphenylphosphino)-benzenethiolを用いて一連の新規銅(I)錯体の構築を行い、2核、4核、6核クラスターの単離、同定に成功した。クラスターは、いずれも強発光性(量子収率0.2-0.5)を示し、それぞれ、青、赤、黄色の異なる発光色を示すことが見いだされた。また、ハロゲン架橋銅(I)複核および4核の強発光性コアをベースに、これらを三方向に架橋しうる配位子、2,2',2''-cyclohexane-1,3,5- tripyrimidineを用いて配位高分子化に成功した。X線構造解析に結晶構造を明らかにするとともに発光特性を検討し、明瞭な発光の温度依存性(低温で長波長シフト)を示すことを見出した。

(3) 異種金属イオンを組み込んだ白金-M複核錯体のクロミック挙動。

ピリジンチオラト架橋ジイミン白金(II)複核錯体は *syn* 型構造の異性体において特有の二量体構造形成することにより、有機物蒸気に応答して発光の ON-OFF を示す。二つの白金イオンの一つを他の金属イオンで置き換えた一連の複核錯体 *syn*-[Pt-M]が選択的に合成できることを見出し本系のユニークなクロミズム機構を明らかにした (図5)。次に系をさらに拡張し、3d 金属イオン (M = Cu²⁺, Ni²⁺等)を組み込んだ錯体系の構築を行った。これらはゲスト吸着サイトとして軸配位子をとることが可能であり、新たな特性として、*syn*-[Pt-Cu]ではクロミック挙動の履歴現象を見出した (図6)。

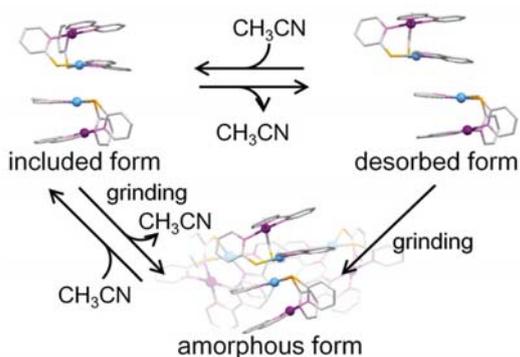


図5

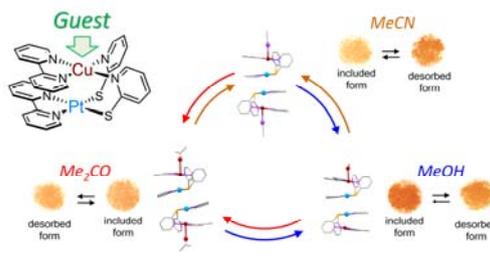


図6

(4) シクロメタレート型白金複核錯体のフォト&エレクトロクロミック制御。

アミダト架橋シクロメタレート型白金複核錯体がアセトン中で混合原子価状態の変化に基づくフォトクロミック応答性を示すことを見出した。X線構造解析により混合原子価状態では白金複核錯体が三量体構造を形成することも明らかになった。さらに、溶液中での混合原子価状態の詳細な解明を行い、光および電氣的刺激による混合原子価状態の精密制御を試みた。塩化物イオンの役割やアセトンとの反応を解明し、本系におけるクロミック制御の基盤を構築した。

(5) 光と蒸気によるハライド架橋銅(I)複核錯体の発光制御。

先に、強発光性の固体であるハライド架橋銅(I)複核錯体、[Cu₂I₂(PPh₃)₂(dms_o)₂] (dms_o = ジメチルスルホキシド) が、光に応答して発光色変化を示すことを見出したが、反応機構を詳細に追跡し、光によるdms_o分子の結合異性化、熱による複核錯体の4核クラスター化 ([Cu₄I₄(PPh₃)₄])が起ることを構造と分光学的追跡により明らかにした (図7)。



図7

6) すり潰しで生成する強発光性単核銅(I)錯体。

原料のヨウ化銅(I)と配位子ノトリフェニルホスフィンおよびヘテロ芳香族化合物をすり潰すだけで、量子収率が0.6-0.9の強発光性単核銅(I)錯体、[CuI(PPh₃)₂L] (L = isoquinoline, 1,6-naphthyridine, pyridine)が高純度、高収率で容易に得られることを見出した。これは、溶媒を用いない環境負荷の少ない合成法で安価な強発光性化合物が得られる非常に興味深い例である (図8)。

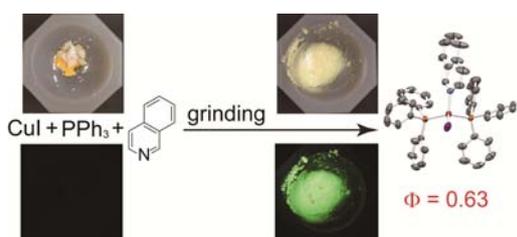


図 8

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 14 件) すべて査読有

- ① H. Ohara, A. Kobayashi, and M. Kato, "Simple Manual Grinding Synthesis of Highly Luminescent Mononuclear Cu(I)-Iodide Complexes", *Chem.Lett.* **2014**, in press.
- ② A. Kobayashi, A. Sugiyama, T. Ohba, Y. Suzuki, H.-C. Chang, and M. Kato, "Synthesis and Vapor-adsorption Behavior of a Flexible Porous Coordination Polymer Built from a Bis(bipyridyl)Cu(I) Metalloligand", *Chem.Lett.* **2014**, in press. DOI: 10.1246/cl.140249
- ③ A. Kobayashi, T. Ohba, E. Saitoh, Y. Suzuki, S. Noro, H.-C. Chang and M. Kato, "Flexible Coordination Polymers Composed of Luminescent Ru(II)-Metalloligands: Importance of Position of Coordination Site in Metalloligands", *Inorg. Chem.* **2014**, *53*, 2910-2921. DOI: 10.1021/ic402683j
- ④ A. Kobayashi, D. Yamamoto, H. Horiki, K. Sawaguchi, T. Matsumoto, K. Nakajima, H.-C. Chang and M. Kato, "Photoinduced Dimerization Reaction Coupled with Oxygenation of a Platinum(II)-Hydrazone Complex", *Inorg. Chem.* **2014**, *53*, 2573-2581. DOI: 10.1021/ic402879g
- ⑤ T. Ohba, A. Kobayashi, H.-C. Chang, T. Kouyama, T. Kato, and M. Kato, "Hysteretic vapour response of a heterodinuclear platinum(II)-copper(II) complex derived from the dimer-of-dimer motif and the guest-absorbing site", *Dalton. Trans.* **2014**, *43*, 7514-7521. DOI: 10.1039/C4DT00316K
- ⑥ A. Kobayashi, K. Komatsu, H. Ohara, W. Kamada, Y. Chishina, K. Tsuge, H.-C. Chang, and M. Kato, "Photo- and Vapor-Controlled Luminescence of Rhombic Dicopper(I) Complexes Containing Dimethyl Sulfoxide", *Inorg. Chem.* **2013**, *52*, 13188-13198. DOI: 10.1021/ic402104q
- ⑦ T. Matsumoto, H.-C. Chang, M. Wakizaka, S. Ueno, A. Kobayashi, A. Nakayama, T. Taketsugu and M. Kato, "Non precious-metal-assisted Photochemical Hydrogen Production from

ortho-Phenylenediamine", *J. Am. Chem. Soc.* **2013**, *135*, 8646-8654. DOI: 10.1021/ja4025116

- ⑧ T. Ohba, A. Kobayashi, H.-C. Chang and M. Kato, "Vapour and mechanically induced chromic behaviour of platinum complexes with a dimer-of-dimer motif and the effects of hetero metal ions", *Dalton. Trans.* **2013**, *42*, 5490-5499. DOI: 10.1039/c3dt33100h
 - ⑨ H.-X. Zhang, M. Kato, Y. Sasaki, T. Ohba, H. Ito, A. Kobayashi, H.-C. Chang, and K. Uosaki, "Terpyridine platinum(II) complexes containing triazine di- or tri-thiolate bridges: structures, luminescence, electrochemistry and aggregation", *Dalton Trans.* **2012**, *41*, 11497-11506. DOI: 10.1039/c2dt30997a
 - ⑩ A. Kobayashi, Y. Fukuzawa, H.-C. Chang, and M. Kato, "Vapor-Controlled Linkage Isomerization of a Vapochromic Bis(thiocyanato)platinum(II) Complex: New External Stimuli to Control Isomerization Behavior", *Inorg. Chem.* **2012**, *51*, 7508-7519. DOI: 10.1021/ic202734f
 - ⑪ T. Matsumoto, M. Wakizaka, H. Yano, A. Kobayashi, H.-C. Chang, and M. Kato, "Coordination site-Dependent Cation Binding and Multi-responsible Redox Properties of Janus-Head Metalloligand, [Mo^V(1,2-mercaptophenolato)₃]"', *Dalton Trans.*, **2012**, *41*, 8201-8478. DOI: 10.1039/c2dt30178d
 - ⑫ A. Kobayashi, H. Hara, T. Yonemura, H.-C. Chang, M. Kato, "Systematic Structural Control of Multichromic Platinum(II)-Diimine Complexes Ranging from Ionic Solid to Coordination Polymer", *Dalton Trans.*, **2012**, *41*, 1878-1888. DOI: 10.1039/C1DT11155H
 - ⑬ M. Chang, A. Kobayashi, H.-C. Chang, K. Nakajima, and M. Kato, "ON-OFF Switching of the Solvatochromic Behavior of a Copper(II)-Hydrazone Complex Induced by Protonation/Deprotonation", *Chem. Lett.*, **2011**, *40*, 1335-1337. DOI: 10.1246/cl.2011.1335
 - ⑭ M. Chang, A. Kobayashi, K. Nakajima, H.-C. Chang, and M. Kato, "Dimensionality Control of Vapochromic Hydrogen-Bonded Proton-Transfer Assemblies Composed of a Bis(hydrazone)iron(II) Complex", *Inorg. Chem.*, **2011**, *50*, 8308-8317. DOI: 10.1021/ic2008396
- [学会発表] (計 49 件) 主要 18 件を記載
- ① Masako Kato, Vapor and Mechanically Induced Chromic Behaviour of Platinum Complexes with a Dimer-of-dimer Motif and the Effects of Hetero Metal Ions, The 2nd Japan-France Coordination Chemistry Symposium, 2013/11/24-28, 東大寺総合文化

- センター,奈良県
- ② Masako Kato, Chromic Metal Complexes with Photofunctionality, 4th Asian Conference on Coordination Chemistry, 2013/11/4-7, International Convention Center, Korea
- ③ Atsushi Kobayashi, Combination of metal-complex luminophores and linkage isomerization toward new intelligent chromic materials, The 9th Nanfing-Hokkaido-NIMS/MANA Joint Symposium on the Cutting Edge Chemistry, 2013/10/11-13, 新安山荘-黄山酒店, 中国
- ④ Masako Kato, Chromic Metal Complexes with Photofunctionality, International Symposium for the 70th Anniversary of the Tohoku Branch of the Chemical Society of Japan, 2013/9/28-30, 東北大学, 仙台市
- ⑤ Kotaro Shimada, Syntheses and Luminescence Properties of Thiolate-bridged Multinuclear Copper(I) Complexes, 20th International Symposium on the Photo-physics and Photochemistry of Coordination Compounds, 2013/7/7-11, Grand Traverse Resort and Spa, USA
- ⑥ Atsushi Kobayashi, Combination of metal-complex luminophores and linkage isomerization toward new intelligent chromic materials, 日本化学会第 93 春季年会, 2013/3/22-25, 立命館大学びわこ・くさつキャンパス, 草津市
- ⑦ Atsushi Kobayashi, Combination of metal-complex luminophores and linkage isomerization toward new intelligent chromic materials, 日本化学会第 93 春季年会, 2013/3/22-25, 立命館大学びわこ・くさつキャンパス, 草津市
- ⑧ Masako Kato, Construction of Photochemical Hydrogen Evolution Systems Based on the Effective Utilization of 3d Metals, The 5th International Conference of the OCU Advanced Research Institute for Natural Science and Technology (OCARINA), 2013/3/4-6, 大阪市立大学 学術総合情報センター, 大阪市
- ⑨ Masako Kato, Photochromic Response of Cyclometalated Dinuclear Platinum Complexes, 2012 HU-NU-SNU-NIMS/MANA Joint Symposium, 2012/12/6-8, 定山溪万世閣ホテルミリオネー, 札幌市
- ⑩ Masako Kato, Luminescence Properties and Photochromic Response of Cyclometalated Dinuclear Platinum Complexes, Cambodian Malaysian Chemical Conference (CMCC) 2012, 2012/10/19-21, Angkor Century Resort & Spa, Cambodia
- ⑪ 加藤 昌子, 動的構造秩序に基づく発光性北海道大学・K E K 連携シンポジウム, 2012/10/17, 北海道大学, 札幌市
- ⑫ Atsushi Kobayashi, Photo- and vapour-Induced Luminescence of Rhombic Dicopper(I) Complex with DMSO Ligand, 40th International Conference on Coordination Chemistry, 2012/9/9-13, Valencia Conference Centre, Spain
- ⑬ Masako Kato, Vapochromic luminescence of platinum complexes based on the linkage isomerization, Polish-Japanese Seminar, 2012/9/3-6, ポーランド A G H 科学技術大学, Poland
- ⑭ 加藤 昌子, 環境感応型発光性金属錯体の新展開, 日本化学会第 92 春季年会, 2012/3/25-28, 慶應義塾大学日吉 矢上キャンパス, 横浜市
- ⑮ Masako Kato, Photodimerization and Clusterization of Metal-Hydrazone Complexes Accompanied by Covalent Bond Formation, 3rd Asian Conference on Coordination Chemistry (ACCC-3), 2011/10/19, India Habitat Center, India
- ⑯ 加藤 昌子, 金属錯体の複合・集積化による新しい光機能性, 第 108 回触媒討論会 (招待講演), 2011/9/22, 北見工業大学, 北見市
- ⑰ Masako Kato, Photo- and Vapo-chromic Behavior of Luminescent Platinum Complexes Based on the Linkage Isomerization, the 14th Asian Chemical Congress (14ACC) (招待講演), 2011/9/7, Queen Sirikit National Convention Center, Thailand
- ⑱ Atsushi Kobayashi, Photo- and vapour-induced linkage isomerization of bithiocyanato platinum(II) complex, 19th International Symposium on the Photophysics and Photochemistry of Coordination Compounds, 2011/7/5, University of Strasbourg, France
- [その他]
ホームページ等
<http://wwwchem.sci.hokudai.ac.jp/~cc/>
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
加藤 昌子 (KATO Masako)
北海道大学・大学院理学研究院・教授
研究者番号: 8 0 2 1 4 4 0 1
- (2) 研究分担者
小林 厚志 (KOBAYASHI Atsushi)
北海道大学・大学院理学研究院・講師
研究者番号: 5 0 4 3 7 7 5 3
- (3) 研究分担者 (平成 2 4 年 3 月まで)
張 浩徹 (CHANG Ho-Chol)
北海道大学・大学院理学研究院・准教授
研究者番号: 6 0 3 3 5 1 9 8