

## 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5月31日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22350057

研究課題名（和文） 光 - スピン - 電荷の相乗効果による新規連鎖物性を発現させる有機無機複合錯体の開拓

研究課題名（英文） Progress of Organic-Inorganic Hybrid Complexes Having Novel Successive Physical Properties Coupled with Photon-Spin-Charge

研究代表者

小島 憲道 (KOJIMA NORIMICHI)

東京大学・大学院総合文化研究科・教授

研究者番号：60149656

研究成果の概要（和文）：

遷移金属錯体を対象に光・スピン・電荷の相乗効果による連鎖物性の研究を行い、下記に示す特筆すべき成果を得た。(1)  $\text{Ph}_4\text{P}[\text{M}^{\text{II}}\text{Fe}^{\text{III}}(\text{C}_2\text{O}_3\text{S})_3]$  ( $\text{M} = \text{Mn}, \text{Fe}$ )を開発し、 $\text{Fe}^{\text{III}}$ のスピンクロスオーバー現象およびこれと連動した原子価揺動、多段階磁気相転移などの連鎖物性現象を見出した。(2) pH 応答スピンクロスオーバー錯体膜を開発し、この膜に電圧を印加することによりプロトンの濃度勾配を発現させ、スピン転移による膜の色変化を利用してイオン交換膜中のプロトンの流れを直接観測することに成功した。

研究成果の概要（英文）：

We have developed various organic-inorganic hybrid complexes having successive physical properties coupled with photon-spin-charge. The topics are as follows. (1) We synthesized  $\text{Ph}_4\text{N}[\text{Mn}^{\text{II}}\text{Fe}^{\text{III}}(\text{C}_2\text{O}_3\text{S})_3]$  exhibiting a rapid spin equilibrium ( $\tau < 10^{-7}$  s) between the high-spin and low-spin states at the  $\text{Fe}^{\text{III}}\text{O}_3\text{S}_3$  site. Owing to the fluctuation of internal magnetic field caused by the rapid spin equilibrium,  $\text{Ph}_4\text{N}[\text{Mn}^{\text{II}}\text{Fe}^{\text{III}}(\text{mto})_3]$  undergoes the successive magnetic phase transitions at 30 K and 23 K. (2) We synthesized a pH-sensitive spin-crossover complex film consisting of  $[\text{Fe}^{\text{II}}(\text{diAMsar})]$  (diAMsar = 1,8-diaminosarcophagine) and ion-exchange polymer, Nafion. By using this pH-sensitive spin-crossover complex film, we succeeded in visually detecting the proton flow in Nafion

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	10,300,000	3,090,000	13,390,000
2011年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2012年度	2,100,000	630,000	2,730,000
年度			
年度			
総計	14,400,000	4,320,000	18,720,000

研究分野：化学

科研費の分科・細目：複合化学、機能物質化学

キーワード：光物性、電気・磁氣的機能、分子素子、膜・集合体

## 1. 研究開始当初の背景

多様な特性を持つ異種分子の集団系であるヘテロ分子集合体においては、構成要素がそれぞれの働きを行うことにより、分子間相互作用を通して集団系として初めて高次機

能性が発現することが期待できる。近年、光異性化分子を導入したヘテロ分子集合系が示す多重機能性に関して、固体中でフォトリミック分子の異性化により磁性を制御する研究が試みられているが、構成要素がそれ

ぞれの働きを行うことにより、集団系として初めて発現する高次機能性の開発研究は端緒についた段階である。

このような背景の中で、著者らは、絶縁体にもかかわらず電子が  $\text{Fe}^{\text{II}}$  から  $\text{Fe}^{\text{III}}$  に集団移動する電荷移動相転移を  $(\text{C}_n\text{H}_{2n+1})_4\text{N}[\text{Fe}^{\text{II}}\text{Fe}^{\text{III}}(\text{dto})_3]$  ( $\text{dto} = \text{C}_2\text{O}_2\text{S}_2$ ) で発見したが、この現象が対イオンのサイズに著しく依存することから、光異性化分子であるスピロピラン(SP)を対イオンとする鉄混合原子価錯体(SP)  $[\text{Fe}^{\text{II}}\text{Fe}^{\text{III}}(\text{dto})_3]$ を開発し、スピロピランの光異性化を発火点として金属錯体層  $[\text{Fe}^{\text{II}}\text{Fe}^{\text{III}}(\text{dto})_3]$ において  $\text{Fe}^{\text{II}}$  から  $\text{Fe}^{\text{III}}$  に電子が一斉に集団移動する協奏的多重機能性を見出した。

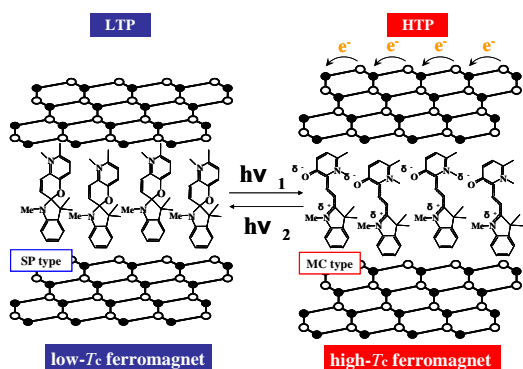


Fig. 1. N. Kida, M. Enomoto, N. Kojima, et al., *J. Am. Chem. Soc.*, **131** 212-220 (2009).

この研究を発展させるため、様々な外場に応答する有機・無機複合錯体を構築し、構成要素の外場応答性を発火点として連鎖する協奏的物性現象の開拓する計画に至った。

## 2. 研究の目的

本研究では、様々な金属錯体に光異性化分子など外場応答性分子を組み込んだ有機・無機複合錯体を開発し、構成要素の外場応答性を発火点に集合体全体として初めて発現する光・スピン・電荷の相乗効果による様々な協奏的物性現象の開拓的研究を体系的に行うことを目的とした。

## 3. 研究の方法

上記の目的を遂行するため、下記の方針に沿って研究を行った。

(1) 「光異性化分子である様々なスピロピラン(SP-R:  $\text{R} = (\text{C}_n\text{H}_{2n+1})$ )を対イオンとする鉄混合原子価錯体(SP)  $[\text{Fe}^{\text{II}}\text{Fe}^{\text{III}}(\text{dto})_3]$ を開発し、SP-Rの光異性化を発火点として金属錯体層  $[\text{Fe}^{\text{II}}\text{Fe}^{\text{III}}(\text{dto})_3]$ において  $\text{Fe}^{\text{II}}$  から  $\text{Fe}^{\text{III}}$  に電子が一斉に集団移動する協奏的多重機能性を発展させる。

(2) 配位子場がスピנקロスオーバー領域にある配位子 mto ( $= \text{C}_2\text{O}_3\text{S}$ )で架橋した種々の磁性金属錯体  $\text{A}[\text{M}^{\text{II}}\text{Fe}^{\text{III}}(\text{mto})_3]$  ( $\text{A} =$  対イオ

ン,  $\text{M} = \text{Mn}, \text{Fe}, \text{etc.}$ )を開発し、 $\text{Fe}^{\text{III}}$ サイトのスピנקロスオーバー現象が磁性金属イオン ( $\text{M}^{\text{II}}$ )に及ぼす効果と連鎖物性の研究を行う。

(3) 強磁性を示す金属水酸化物  $\text{M}_2(\text{OH})_3\text{A}_x \cdot n\text{H}_2\text{O}$  ( $\text{M} = \text{Co}, \text{Cu}, \text{etc.}$ ;  $\text{A} =$  対アニオン)において、様々な光異性化分子を対イオンとして組み込んだ有機・無機複合錯体を構築し、対イオンの光異性化を光磁気カップラーとして働かせ、強磁性転移温度の光制御を行う。

## 4. 研究成果

(1) 光異性化分子スピロピラン(SP-R:  $\text{R} = \text{C}_n\text{H}_{2n+1}$ )を対イオンとする鉄混合原子価錯体(SP-R)  $[\text{Fe}^{\text{II}}\text{Fe}^{\text{III}}(\text{dto})_3]$ の開発と物性研究

(SP-R)  $[\text{Fe}^{\text{II}}\text{Fe}^{\text{III}}(\text{dto})_3]$  ( $\text{R} = \text{Me}, \text{Et}, \text{Pr}$ )を合成し、その構造解析および物性研究を行った。この系は  $[\text{Fe}^{\text{II}}\text{Fe}^{\text{III}}(\text{dto})_3]$ の2次元ハニカム構造を有し、SP-Rは層間にインターカレーとされた構造をとっている。室温では、鉄イオンは  $\text{O}_6$ 配位環境の高スピン  $\text{Fe}^{\text{II}}$  ( $S = 2$ )と  $\text{S}_6$ 配位環境の低スピン  $\text{Fe}^{\text{III}}$  ( $S = 1/2$ )の状態にある。

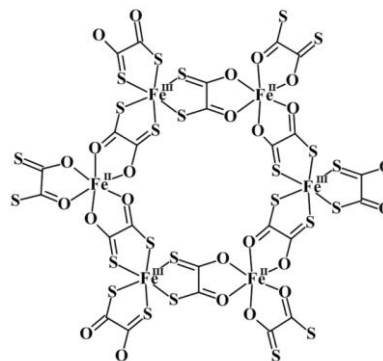


Fig.1. Schematic representation of  $[\text{Fe}^{\text{II}}\text{Fe}^{\text{III}}(\text{dto})_3]$ .

$\text{R} = \text{Me}$ の場合、120 Kで、 $\text{Fe}^{\text{II}}$ から  $\text{Fe}^{\text{III}}$ に電子が集団移動する電荷移動相転移を起こし、7 Kで強磁性体となる。しかしながら、 $\text{R} = \text{Et}$ では、電荷移動相転移を示さず、8 Kと25 Kで2段階の強磁相転移を起こすことが分かった。また、 $\text{R} = \text{Pr}$ の場合も電荷移動相転移を示さず、11 Kに1段階の強磁性転移を示すことが分かった。また、高圧下では、電荷移動相転移が誘起されることが分かり、その磁化挙動の変化から常圧下での磁気転移点はすべて高温相由来であることが明らかとなった。この成果は、*Polyhedron* (2013)に掲載される。

(2) 配位子場がスピנקロスオーバー領域にある配位子 mto ( $= \text{C}_2\text{O}_3\text{S}$ )で架橋した磁性金属錯体  $\text{A}[\text{M}^{\text{II}}\text{Fe}^{\text{III}}(\text{mto})_3]$  ( $\text{A} =$  対イオン,  $\text{M} = \text{Mn}, \text{Fe}, \text{etc.}$ )の開発と物性研究

①  $(n\text{-C}_4\text{H}_9)_4\text{N}[\text{Fe}^{\text{II}}\text{Fe}^{\text{III}}(\text{mto})_3]$ に関しては、磁気測定から、この錯体が  $T_N = 38$  Kのフェリ磁

性体であること、また、室温における  $\chi_{MT}$  の実測値が、 $\text{Fe}^{\text{III}} (S = 5/2) - \text{Fe}^{\text{II}} (S = 2)$  と  $\text{Fe}^{\text{III}} (S = 1/2) - \text{Fe}^{\text{II}} (S = 2)$  の中間の値であることから、 $\text{Fe}^{\text{III}}\text{O}_3\text{S}_3$  サイトにおいて、 $S = 5/2$  と  $S = 1/2$  のスピンの平衡が起きていることが分かった。実際、ESR スペクトルから、 $\text{Fe}^{\text{III}}$  の高スピン状態と低スピン状態の共存が、広い温度領域に亘って確認されている。さらに、 $\text{Fe}^{\text{III}}$  および  $\text{Fe}^{\text{II}}$  のみを  $^{57}\text{Fe}$  同位体に置換した錯体

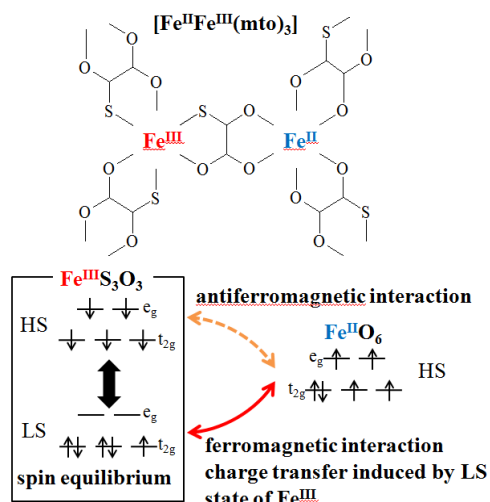


Fig.2. Schematic feature of the rapid spin equilibrium and its effect on the iron valence fluctuation. [N. Kojima, M. Enomoto, N. Kida, K. Kagesawa, *Materials* **3**, 3141-3187 (2010).]

$(n\text{-C}_4\text{H}_9)_4\text{N}[^{57}\text{Fe}^{\text{II}}\text{Fe}^{\text{III}}(\text{mto})_3]$  および  $(n\text{-C}_4\text{H}_9)_4\text{N}[\text{Fe}^{\text{II}}\ ^{57}\text{Fe}^{\text{III}}(\text{mto})_3]$  の  $^{57}\text{Fe}$  メスバウアースペクトルの解析から、常磁性相において  $\text{Fe}^{\text{II}}$  と  $\text{Fe}^{\text{III}}$  の間で電荷移動が確認された。即ち、 $(n\text{-C}_4\text{H}_9)_4\text{N}[\text{Fe}^{\text{II}}\text{Fe}^{\text{III}}(\text{mto})_3]$  は、 $\text{Fe}^{\text{III}}\text{O}_3\text{S}_3$  サイトの低スピン状態を媒介とすることで速いスピン平衡と価数揺動の協奏現象が起きていることが明らかとなった。この成果は、*Materials* **3**, 3141-3187 (2010). (Invited) に掲載された。

②  $(\text{C}_6\text{H}_5)_4\text{P}[\text{Mn}^{\text{II}}\text{Fe}^{\text{III}}(\text{mto})_3]$  に関しては、 $^{57}\text{Fe}$  メスバウアー分光法により  $\text{Fe}^{\text{III}}\text{O}_3\text{S}_3$  サイトで速いスピン平衡が起こることを見出し、また、磁気測定の結果から 30 K 以下で磁気秩序化が起こることを見出した。一方、 $^{57}\text{Fe}$  メスバウアースペクトルでは 23 K 以下で  $\text{Fe}^{\text{III}}$  の磁気秩序化が観測された。これは 30 K において  $\text{Fe}$  スピンは速いスピン平衡によるフラストレーションのため長距離秩序が発生せず  $\text{Mn}$  スピンのみが整列し、23 K で初めて  $\text{Fe}$  スピンが整列すると考えられる。即ち、この系においては、 $\text{Fe}$  スピンの速いスピン平衡に連鎖して特異な 2 段階の磁気相転移が起こることがわかった。

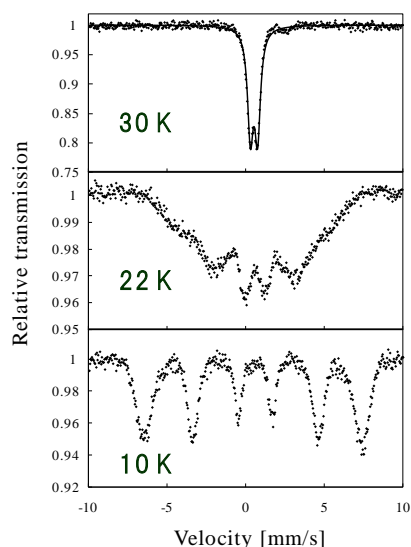


Fig.3.  $^{57}\text{Fe}$  Mössbauer spectra of  $(\text{C}_6\text{H}_5)_4\text{P}[\text{Mn}^{\text{II}}\text{Fe}^{\text{III}}(\text{mto})_3]$  at 30 K, 22 K, and 10 K.

この成果は、The XXIV International Conference on Coordination and Bioinorganic Chemistry, (Smolenice, Slovakia, 2-7 June, 2013)において、招待講演で発表することになった。

(3) 光応答性強磁性金属水酸化物  $\text{M}_2(\text{OH})_3\text{A}_x \cdot n\text{H}_2\text{O}$  ( $\text{M} = \text{Co}, \text{Cu}$ , etc.;  $\text{A} =$  光異性化分子) の構築と物性研究

強磁性金属水酸化物は層状構造を有し、その層間に様々な対アニオンをアニオン交換反応によりインターカレーとすることができる。そこで、固体中で光異性化を起こす新しいアニオン性スピロピランの開発に取り組み、新規アニオン性スピロピランを合成することに成功し、このスピロピランが溶液中及び  $\text{KBr}$  希釈した固体中でも光異性化することを実証した。

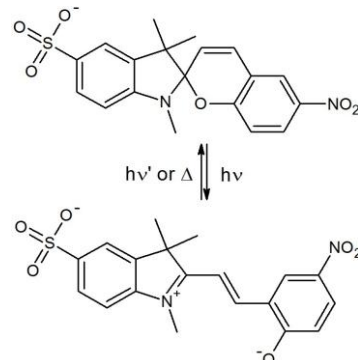


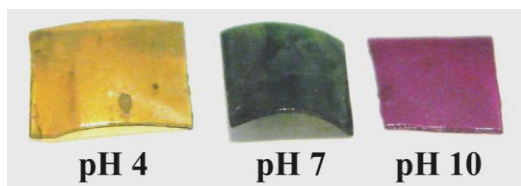
Fig.2. Scheme of the anionic spiroopyran, 1',3',3'-trimethyl-6-nitro-piro[2H-1-benzopyran-2,2'-indoline]-5'-sulfonate, and its photoisomerization.

この新たに開発したアニオン性スピロピ

ランを対イオンに用いることで、光応答性強磁性コバルト水酸化物  $\text{Co}_2(\text{OH})_3(\text{SP-SO}_3)_x \cdot n\text{H}_2\text{O}$  の構築に成功した。この成果は、2013年3月23日の日本化学会年会(立命館大学、草津市・滋賀県)で発表した(2PA-001)。

(4) pH 応答スピクロスオーバー錯体膜の開発と電場によるスピン状態の時空間制御

かご型の6座配位子である diAMsar が配位した  $\text{Fe(II)}$  錯体、 $[\text{Fe}^{\text{II}}(\text{diAMsar})]$  は酸性側では両端にあるアミノ基にプロトンが付加することで  $\text{Fe(II)}$  配位子間距離が膨張し高スピン状態をとるが、塩基性側では脱プロトンにより  $\text{Fe(II)}$  配位子間距離が縮み低スピン状態をとるものと推定される。そこで、スピン転移温度が pH に依存する室温スピクロスオーバー鉄錯体  $[\text{Fe}^{\text{II}}\{(\text{NH}_2)_2\text{sarH}\}]$  (sar = 1,8-diamino-3,6,10,13,16,19-hexaazabicyclo[6,6,6]icosane) をイオン交換膜 Nafion のナノ空間反応場で合成することに成功した。この成果は *Chem. Lett.*, **40**, 888-889 (2011) に掲載された。



pH dependence of the color change for  $[\text{Fe}^{\text{II}}(\text{diAMsar})]$ @Nafion

つぎに、この透明スピクロスオーバー鉄錯体膜に電圧を印加することによりプロトンの濃度勾配を発現させ、低スピン状態と高スピン状態の時空間制御を行った。pH = 4.5 で作製した pH 応答透明スピクロスオーバー錯体膜に電圧を 20 V 印加したところ、膜の色が黄緑色から深い緑色に変化し、電極の極性を入れ替えると膜の色が深い緑色から黄色に変化する現象を捉えることに成功し、低スピン状態と高スピン状態の膜の色の変化を利用してイオン交換膜中のプロトンの流れを可視化することに初めて成功した。この成果は 4<sup>th</sup> International Conference on Photoinduced Phase Transitions and Dynamical Properties of Spin Transition Materials (PDSTM2012), 2012年5月23日, Meudon France の招待講演となった。

$[\text{Fe}^{\text{II}}(\text{diAMsar})]$  は、酸性側では両端にあるアミノ基にプロトンが付加することで  $\text{Fe(II)}$  配位子間距離が膨張し高スピン状態をとるが、塩基性側では脱プロトンにより  $\text{Fe(II)}$  配位子間距離が縮み低スピン状態をとるものと推定される。このことを実証するため、

高エネルギー加速器研究機構・放射光施設において EXAFS の実験を行い、pH 応答スピクロスオーバー錯体膜のスピクロスオーバー転移に伴う Fe 周りの局所構造変化を調べ、pH = 4.5 で作製した錯体膜では  $[\text{Fe}^{\text{II}}(\text{diAMsar})]$  の両端にあるアミノ基にプロトンが付加することで  $\text{Fe(II)}$  配位子間距離が膨張し高スピン状態をとること、pH = 10 で作製した錯体膜では脱プロトンにより  $\text{Fe(II)}$  配位子間距離が縮み低スピン状態をとることを実証することができた。この成果は、第1回物構研サイエンスフェスタ(2013年3月14日、つくば国際会議場・つくば市)で発表した(20120006)。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 29 件)

- 1) N. Kojima, N. Kida, A. Okazawa, M. Enomoto, "Size Effect of intercalated cation on the charge transfer phase transition and ferromagnetism for iron mixed-valence system,  $\text{A}[\text{Fe}^{\text{II}}\text{Fe}^{\text{III}}(\text{C}_2\text{O}_2\text{S}_2)_3]$  (A =  $(\text{C}_n\text{H}_{2n+1})_4\text{N}$ ,  $(\text{C}_m\text{H}_{2m+1})_3(\text{C}_n\text{H}_{2n+1})\text{N}$ )", *Mössbauer Effect Reference and Data Journal*, **35**, 154-165 (2012). (Invited) 査読有  
<http://www.medc.dicp.ac.cn/journal.php>
- 2) M. Okubo, K. Kagesawa, Y. Mizuno, D. Asakura, E. Hosono, T. Kudo, H. Zhou, K. Fujii, H. Uekusa, S. Nishimura, A. Yamada, A. Okazawa, N. Kojima, "Reversible Solid State Redox of an Octacyanometallate-bridged Coordination Polymer by Electrochemical Ion Insertion/extraction", *Inorg. Chem.* **52**, 3772-3779 (2013). 査読有 DOI: 10.1021/ic302364d
- 3) Y. Mizuno, M. Okubo, K. Kagesawa, D. Asakura, T. Kudo, H.S. Zhou, K. Oh-ishi, A. Okazawa, N. Kojima, "Precise Electrochemical Control of Ferromagnetism in a Cyanide-Bridged Bimetallic Coordination Polymer", *Inorg. Chem.*, **51**, 10311-10316 (2012). 査読有 DOI: 10.1021/ic301361h
- 4) Asakura, M. Okubo, Y. Mizuno, T. Kudo, H. S. Zhou, K. Ikeda, T. Mizokawa, A. Okazawa, N. Kojima, Fabrication of Defectless Cyanide Bridged Perovskite Framework for Enhanced Electrochemical Ion Storage Ability, *J. Phys. Chem. C* **116**, 8364-8369 (2012). 査読有 DOI: 10.1021/jp2118949
- 5) Z.Z. He, C.S. Lin, W.D. Cheng, A. Okazawa, N. Kojima, J. Yamaura, Y. Ueda, "Unusually Large Magnetic Anisotropy in a CuO-Based Semiconductor  $\text{Cu}_5\text{V}_2\text{O}_{10}$ ", *J. Am. Chem. Soc.* **133**, 1298-1300 (2011). 査読有 DOI:10.1021/ja110394j
- 6) M. Okubo, D. Asakura, Y. Mizuno, T. Kudo, H.S. Zhou, A. Okazawa, N. Kojima, K. Ikeda, T. Mizokawa and I. Honma, "Ion-Induced



Transformation of Magnetism in a Bimetallic CuFe Prussian Blue Analogue.”, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **50**, 6269-6273 (2011). 査読有  
DOI: 10.1002/anie.201102048

- 7) H. Kamebuchi, T. Jo, H. Shimizu, A. Okazawa, M. Enomoto and N. Kojima, “Development of pH-Sensitive Spin-crossover Iron(II) Complex Films, [Fe<sup>II</sup>(diAMSar)]- Nafion: Manipulation of the Spin State by Proton Concentration.”, *Chem. Lett.*, **40**, 888-889 (2011). 査読有  
DOI:10.1246/cl.2011.888
- 8) K. Kagesawa, A. Okazawa, M. Enomoto and N. Kojima, “Study on the Rapid Spin Equilibrium in Ph<sub>4</sub>P[Zn<sup>II</sup>Fe<sup>III</sup>(mto)<sub>3</sub>] (mto = monothiooxalato).”, *Chem. Lett.* **39**, 872-873 (2010). 査読有 DOI: 10.1246/cl.2010.872
- 9) N. Kojima, M. Enomoto, N. Kida, and K. Kagesawa, “Progress of Multi Functional Properties of Organic-Inorganic Hybrid System, A[Fe<sup>II</sup>Fe<sup>III</sup>X<sub>3</sub>] (A = (n-C<sub>n</sub>H<sub>2n+1</sub>)<sub>4</sub>N, spiropyran; X = C<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>OS<sub>3</sub>, C<sub>2</sub>O<sub>3</sub>S)””, *Materials* **3**, 3141-3187 (2010). (Invited) 査読有 <http://www.mdpi.com/journal/materials>
- 10) E. Hosono, Y. Wang, N. Kida, M. Enomoto, N. Kojima, M. Okubo, H. Matsuda, Y. Saito, T. Kudo, I. Honma and H. Zhou, “Synthesis of Triaxial LiFePO<sub>4</sub> Nanowire with a VGCF Core Column and a Carbon Shell through the Electrospinning Method.”, *Appl. Mater. Interfaces*, **2**, 212-218 (2010). 査読有  
DOI:10.1021/am900656y

[学会発表] (計 85 件)

- 1) 小島憲道、「スピנקロスオーバー混合原子価錯体における光・スピン・電荷の相乗効果と特異な連鎖物性」日本結晶学会、2012年10月26日、東北大学、仙台市(招待講演)
- 2) N. Kojima, “Study on the Structure and Electronic State of Thiolate-protected Gold Clusters by Means of <sup>197</sup>Au Mössbauer Spectroscopy”, 8<sup>th</sup> Int. Symp. on the Industrial Applications of the Mössbauer Effect, 2012年9月6日 Dalian, China, (Invited)
- 3) N. Kojima, “Progress of extended spin-crossover phenomena based on ligand field theory”, XXI<sup>st</sup> Int. Symp. on the Jahn-Teller Effect (JT2012), 2012年8月28日, Tsukuba, Japan, (Invited)
- 4) N. Kojima, “Dynamical Spin Crossover Phenomena Based on Photon-Spin-Charge Coupled System”, 4<sup>th</sup> Int. Conf. on Photoinduced Phase Transitions and Dynamical Properties of Spin Transition Materials (PDSTM2012), 2012年5月23日, Meudon, France. (Invited)
- 5) 小島憲道、「金ナノクラスターの <sup>197</sup>Au メス

バウアー分光研究」、メスバウアー分光研究会、2012年3月24日、東京大学、東京(招待講演)

- 6) N. Kojima, “Study on the Structure and Electronic State of Thiolate-protected Gold Clusters by Means of <sup>197</sup>Au Mössbauer Spectroscopy”, 31<sup>th</sup> Int. Conf. on the Applications of the Mössbauer Effect (ICAME2011), 2011年9月29日, Kobe, Japan, (Oral)
- 7) 小島憲道、「スピン・光・電荷の相乗効果によるスピנקロスオーバー現象および連鎖する物性現象」、平成23年度飯綱サイエンスサマー道場「材料の世界を一変させるスピン物性の新展開」、未踏科学技術協会、2011年8月17日、飯綱高原ホテルアルカディア、長野市(招待講演)
- 8) N. Kojima, “Concerted Phenomena Coupled with Spin, Photon and Charge in Iron Mixed-Valence Complexes”, XVII<sup>th</sup> Int. Winter School on Coordination Chemistry, 2010年12月6日, Karpacz, Poland. (Invited)
- 9) 小島憲道、「鉄混合原子価錯体における速いスピン平衡と原子価揺動の協奏現象と特異な磁気特性」、日本磁気学会第174回研究会報告、2010年10月8日、中央大学、東京(依頼講演)
- 10) 小島憲道、「光・スピン・電荷の相乗効果による多重機能性金属錯体への応用」、日本物理学会2010年秋季大会、2010年9月25日、大阪府立大学、堺市(依頼講演)

[図書] (計 2 件)

- 1) M. Okubo and N. Kojima, “Photomagnetic Organic-Inorganic Hybrid Materials”, Chapter 3 in “Research Advances in Magnetic Materials,” C. Toulson and D. Marwick (Ed.) (Nova Science Publishers, 2013), p. 55-76 (Total pages: 106)  
ISBN:978-1-62417-913-6,
- 2) 小川桂一郎, 小島憲道 (共編)『新版 現代物性化学の基礎—化学結合論によるアプローチ』(講談社サイエンティフィク, 2010) (総頁数: 255) ISBN:978-4-06-154369-0

[その他]

ホームページ等

<http://maildbs.c.u-tokyo.ac.jp/~kojima>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

小島 憲道 (KOJIMA NORIMICHI)

東京大学・大学院総合文化研究科・教授

研究者番号: 60149656

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

岡澤 厚 (OKOZAWA ATSUSHI)

東京大学・大学院総合文化研究科・助教

研究者番号：30568275