

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 21 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K05537

研究課題名(和文) 柔軟なプロトン - 電子状態をもつ低次元金属錯体における外場応答性と動的機能

研究課題名(英文) External Field Responsiveness and Dynamic Function in Low-Dimensional Metal Complexes with Flexible Proton-Electron States

研究代表者

志賀 拓也 (SHIGA, Takuya)

筑波大学・数理解析系・准教授

研究者番号：00375411

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：複数の安定状態を持つ双安定性金属錯体は、配位子の修飾や分子集合構造の制御によって、多彩な電子状態を精密に設計することができる。本研究では、双安定性金属錯体の電子状態をプロトンの動的挙動と関連させた新しい物性変換機構をもつ分子性化合物を開発することを目的として研究を行った。多段階のプロトン脱離が可能な鉄単核スピントスオーバー錯体の分子修飾について検討し、水素結合相互作用によって、溶媒分子の脱離に伴う多段階のスピントスオーバー挙動変化や、巨大圧力応答性を見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

熱や光による物性変換は数多く報告されているが、プロトンに起因した双安定性の発現や電場応答性の研究は皆無であり、本研究の成果をもとに適切な分子選択・分子修飾を行うことで、プロトンに関連した相互作用に連動する新しい外場応答性を持つ機能性分子材料を開発できると考えられる。これらの分子材料は、多重双安定性物質や圧力熱効果材料などへの応用が期待でき、分子性機能性材料研究において重要な知見を与えるものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：Bistable metal complexes with multiple stable states can be precisely designed to have a variety of electronic states by modifying the ligands and controlling the molecular assembly structure. The objective of this study is to develop functional molecular compounds with a new physical property conversion mechanism in which the electronic states of bistable metal complexes are correlated with the dynamic behavior of protons. Molecular modification of mononuclear iron spin-crossover complexes with multi-step proton desorption was investigated, and multi-step spin-crossover behavior changes with desorption of solvent molecules and giant pressure response were found through hydrogen bonding interactions.

研究分野：錯体化学

キーワード：双安定性 磁性 プロトン 電子 鉄錯体 水素結合 脱溶媒 圧力熱効果

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

スピントロニクス(SCO)錯体などの双安定性金属錯体は、熱・光・圧力などの外場に応答し、複数の安定な電子状態間を可逆に変換できるため、新しいエレクトロニクス材料等への応用が期待されている。このような双安定性金属錯体は配位子場や構造を制御することで合理的に構築され、これまでに様々な化合物が報告されている。高スピン(HS)-低スピン(LS)の双安定性を示す鉄(II)SCO 錯体は、分子設計・合成が容易であり、顕著な色調・磁性・構造変化を示すため古くから研究が行われ、近年では、この双安定性を電気伝導性などの他の物性と相関させる研究や、分子エレクトロニクスを目指し、基板上で単分子の物性変換を行う研究が進められている。このような分子は記録材料や表示素子などの機能性分子としての応用が期待されているが、電場に対する応答性の検討や誘電性の観点から物性探索した研究はほとんどなく、精密な分子設計によって新しい物性変換を行うことは、分子機能材料としての可能性を広げると考えられる。

これまでに当研究グループでは、プロトンに着目した動的物性をもつ機能性分子の開発を目指して研究を進めてきた。プロトンが関与する機能・物性は様々な分野において研究されており、生化学や材料科学など幅広い領域において基礎・応用の観点から注目されている。プロトンは軽く、電荷を持ち、容易に物質中を移動できるため、電子と同様に動的な性質を化合物に付与することができる。生体内の電子伝達系におけるプロトン共役電子移動 PCET ではプロトンと電子の移動が協奏的に起こり、温和な条件で化学反応が進む。また、堀内らが報告した純粋有機強誘電体 [H-55DMBP][Hia] (55DMBP = 5,5'-dimethyl-2,2'-bipyridine, Hia = iodanilic acid) においては、電場印加によってプロトン移動が引き起こされ、水素結合の組み換えが起こり、強誘電性が発現している (S. Horiuchi, Y. Tokura, *Nat. Mat.*, **2008**, *7*, 357-366.)。このように、柔軟なプロトンの状態によって様々な魅力ある機能・物性が発現するため、プロトンを利用した周到な分子設計による機能性材料の開発が様々な分野において盛んに行われている。しかしながら、スピントロニクス錯体の中でも、配位子に解離性プロトンをもつ錯体の報告例はあまり多くなく、解離性プロトン部位を利用した物性変換機能は未だ十分に開拓されていない。

そこで、当研究グループでは、解離性プロトンを持つ双安定性金属錯体に注目し、プロトンの状態に応じた配位子場強度の違いによって高スピン・低スピンおよび2価・3価などの電子状態をもつ錯体を構築し、これらの電子状態間を様々な外場によって変換できる分子材料を開発することを目的として研究を進め、これまでに、2種類の解離性プロトンをもつ非対称型の三座配位子 H₂L (2-[6-[5-(phenyl)-1H-pyrazol-3-yl]-2-pyridinyl]-1H-benzimidazole) をもちいて、プロトン化状態や電荷の異なる5種の単核鉄錯体を単離し、酸・塩基蒸気に応じて色調・磁性が変化することを見出している (図1、T. Shiga,* R. Saiki, L. Akiyama, R. Kumai, D. Natke, F. Renz, J. Cameron, G.N. Newton,* H. Oshio*, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2019**, *58*, 5659-5662 (Hot Article))。

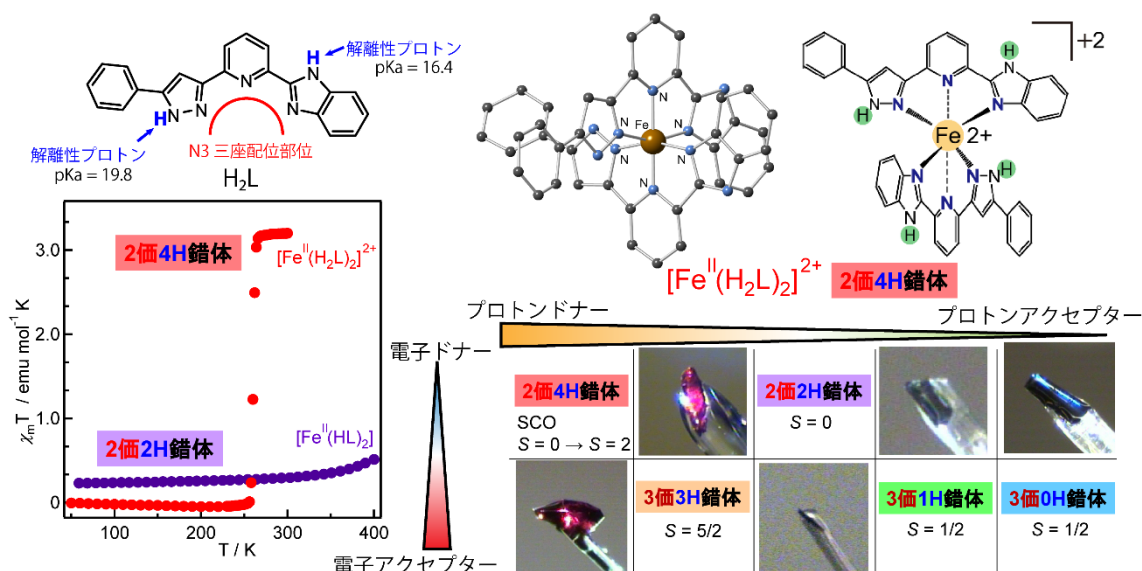


図1 解離性プロトンをもつ配位子をもちいたスピントロニクス錯体の電子状態変換

このような結果を踏まえ、本研究では、解離性プロトン部位をもつスピントロニクス錯体を標的分子とし、プロトン応答部位を持つ低次元金属錯体を構築し、プロトン移動と協奏的におこる金属イオンの電子状態変化をきっかけとして、金属イオン間の電子的・磁氣的相互作用の顕著な変化や分子の集合構造の変化を誘起することで、分子集合体の電子的・構造的協同効果や、分子の集積状態、マクロな物性・機能を操作することを目指して研究を進めた。

2. 研究の目的

本研究では、双安定性金属錯体の電子状態をプロトンの動的挙動と相関させた新しい物性変換機構をもつ分子性化合物を開発することを目的として研究を行った。具体的には、水素結合可能なプロトンをもつ双安定性錯体を設計・合成し、別の適切な水素結合可能な適切な分子と組み合わせ水素結合ドナー/アクセプター対を形成させることで、結晶状態で顕著な外場応答性をもつ錯体分子システムを構築することを最終目的として研究を進めた。

3. 研究の方法

本研究課題では、以下の2つの内容について研究を進めた。

- (1) 水素結合部位を持つスピントスオーバー錯体の構築と物性測定
- (2) アルキル鎖をもつスピントスオーバー錯体の合成と圧力依存性の評価

(1) については、これまでに合成してきたいくつかの錯体の構造・磁性のデータをもとに、適度な温度領域で明確にスピン転移する水素結合部位を持つスピントスオーバー錯体を選択し、様々な分子との水素結合複合体の構築を行い、分子構造を決定し、磁気特性について調べた。

(2) については、柔軟な構造として適切な長さのアルキル鎖をもつスピントスオーバー錯体を構築し、アルキル鎖間の相互作用や圧力依存性に関して調べた。

4. 研究成果

本研究では、これまでに合成に成功している対称型の解離性プロトンをもつ3座配位子 2,6-bis(5-phenyl-1*H*-pyrazol-3-yl)pyridine (H_2LA) をもちいた鉄錯体について詳細に物性測定を行った。さまざまな溶媒をもちいて単結晶を作成し、構造解析および磁気測定を行った(図2)。溶媒として、アセトニトリル(AN)をもちいた場合、 $\{[Fe(H_2LA)_2](BF_4)_2\}_2 \cdot 6(CH_3CN)$ (**1·AN**)の組成を持つ結晶を得た。磁気測定の結果、150 K 付近で不完全でなだらかなスピントスオーバー(25%HS, 75%LS \approx 100%HS)を示すことが明らかとなった。また、プロピオニトリル(PrN)をもちいた場合、 $\{[Fe(H_2LA)_2](BF_4)_2\}_2 \cdot 5(C_2H_5CN) \cdot BuOMe$ (**1·PrN**)の組成を持つ結晶を得た。磁気測定の結果、128 K 付近で不完全なスピントスオーバーを示すことが明らかとなった(50%HS, 50%LS \approx 100%HS)。また、ブチロニトリル(BuN)をもちいた場合、 $\{[Fe(H_2LA)_2](BF_4)_2\}_2 \cdot 4(C_3H_7CN) \cdot BuOMe$ (**1·BuN**)の組成を持つ結晶を得た。磁気測定の結果、122 K 付近で不完全なスピントスオーバーを示すことが明らかとなった(50%HS, 50%LS \approx 100%HS)。一方、バレロニトリル(VaN)をもちいた場合は、 $[Fe(H_2LA)_2](BF_4)_2 \cdot 3(C_4H_9CN)$ (**1·VaN**)の組成を持つ結晶を得た(図2左)。磁気測定の結果、212 K で急峻で完全なスピントスオーバーを示すことが明らかとなった。これらの磁気挙動の違いは、錯体の解離性プロトン部位と相互作用している溶媒分子によるものであり、構造に依存して配位子場強度が変化しているためであると考えられる。

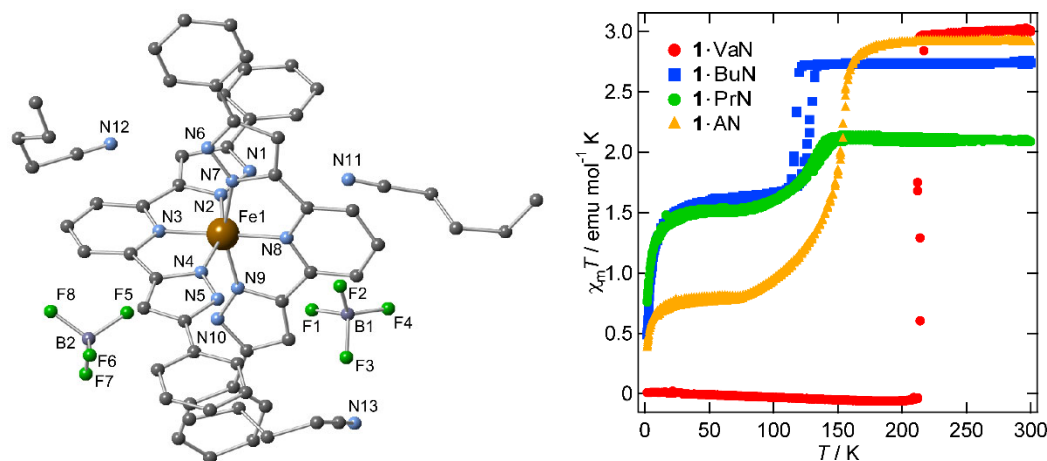


図2 1·VaN の分子構造(左)とそれぞれの錯体の磁化率の温度依存性(右)

また、1·VaN 錯体においては、脱溶媒の過程で特異な磁気挙動変化を示すことが分かった。この錯体は、鉄錯体1分子当たり結晶溶媒としてバレロニトリルを3分子含んでいるが、加熱処理によって結晶溶媒が段階的に1分子ずつ脱離し、それぞれの組成で異なるSCO挙動を示す三つの状態(State 1~3)が生じることが明らかとなった(図3)。326 K の加熱による State 1 から State 2 の変化では、 $T_{1/2}$ が250 K へと上昇しヒステリシス幅はわずかに増大した。一方、360 K の加熱では State 2 から State 3 に変化し、 $T_{1/2}$ が150 K へと大きく減少するとともにヒステリシスが增大し、50%のスピン転移挙動へと変化した。各種測定の結果、この特異なSCO挙動変換は結晶溶媒分子であるバレロニトリル分子の3段階の脱離によって、水素結合部位への溶媒分子の電子的影響が変化することで鉄イオン周りの配位子場強度が変わり、スピン転移温度が劇的に変化することを明らかにした。脱溶媒によって、スピン転移温度が上昇した後($T_{1/2}$ =

$T_{1/2\downarrow} = 214 \text{ K} \rightarrow T_{1/2\uparrow} = 258 \text{ K}$, $T_{1/2\downarrow} = 253 \text{ K}$ 、減少する挙動($T_{1/2\uparrow} = 258 \text{ K}$, $T_{1/2\downarrow} = 253 \text{ K}$
 $\rightarrow T_{1/2\uparrow} = 152 \text{ K}$, $T_{1/2\downarrow} = 133 \text{ K}$)は珍しく、錯体の解離性プロトン部位と溶媒分子の水素結合
 相互作用に由来する、特異な双安定性の変化を示す金属錯体であるといえる。

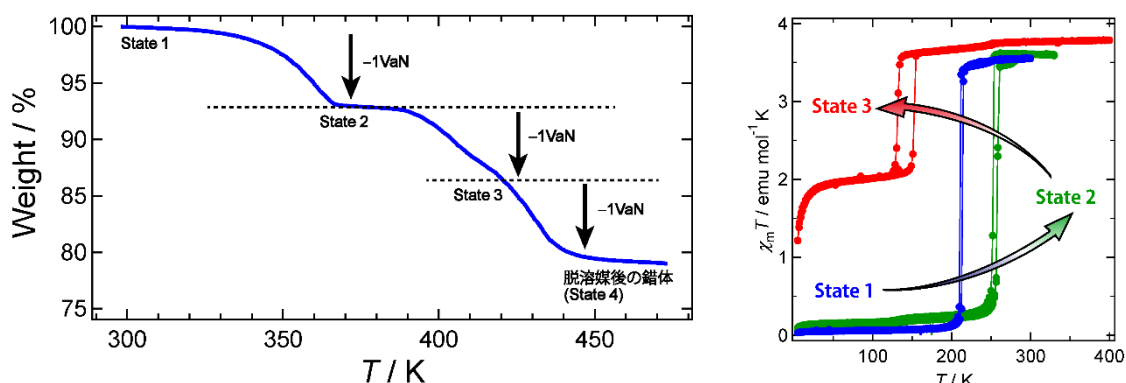


図3 1·VaN の熱重量分析の結果(左)、および溶媒脱離による段階的磁気挙動の変化(右)

さらに本研究では、柔軟な構造をスピנקロスオーバー錯体に導入するために、各種アルキル鎖をもつ3座配位子の合成を行った。上述の対称型配位子の 2,6-bis(5-phenyl-1*H*-pyrazol-3-yl)pyridine (H_2LA)の末端に炭素鎖4、6、8のアルキル基を導入した配位子を新規に合成した。これらの配位子をもちい、鉄単核錯体を得、磁気的性質を調べたところ、どれも200 K付近でスピנקロスオーバーを示すことを明らかにした(図4)。これらの錯体においては、解離性プロトン部位に溶媒分子のアルコール等が水素結合相互作用していることが、単結晶 X 線構造解析から明らかとなった。また、これらの錯体について、磁気挙動の圧力応答性を調べたところ、大きな圧力効果を示すことが明らかとなった。これまでに報告されている既存のスピנקロスオーバー錯体では、一般的に100~200 K GPa⁻¹程度の圧力応答性しか示さないが、本研究で得られたアルキル鎖をもつ錯体では、低圧力領域(< 0.4 GPa)において、1000 K GPa⁻¹程度の非常に敏感な圧力応答性を示すことが明らかになった。これは、分子が柔軟な骨格を持つことに由来していると考えている。これらの圧力に敏感な錯体は、圧力熱量効果材料への応用が期待できる。

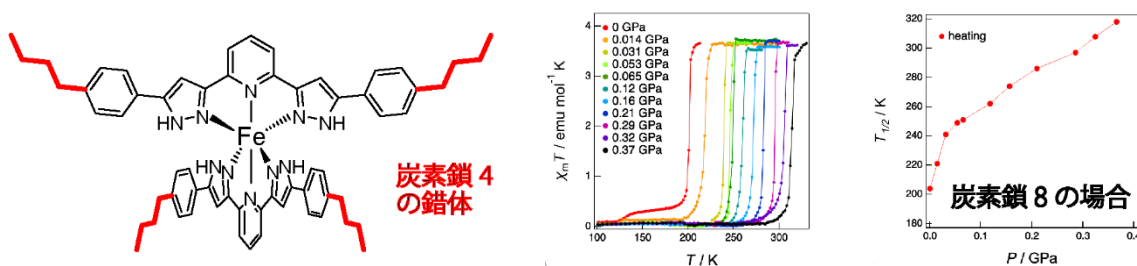


図4 大きな圧力効果を示すアルキル鎖をもつ鉄錯体(左)と圧力依存磁化率データ(右)

本研究では、解離性プロトンをもつスピנקロスオーバー錯体に着目して、分子構造および磁気的性質に関して研究を進めてきた。解離性プロトン部位には様々な分子が水素結合相互作用を示し、スピנקロスオーバー挙動に大きな影響を与えることが明らかとなった。本研究で得られた知見をもとに、分子設計を行うことで、新規な外場応答性を示す機能性分子材料の開発が可能となると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 0件）

| | |
|--|-------------------------------|
| 1. 著者名 Shiga Takuya, Mihara Nozomi, Nihei Masayuki | 4. 巻 472 |
| 2. 論文標題 Cyanide-bridged assemblies with tricyanometalates | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Coordination Chemistry Reviews | 6. 最初と最後の頁 214763 ~ 214763 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ccr.2022.214763 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|---------------------------|
| 1. 著者名 Shiga Takuya, Miyamoto Haruka, Okamoto Yukiko, Oshio Hiroki, Mihara Nozomi, Nihei Masayuki | 4. 巻 52 |
| 2. 論文標題 Tetranuclear [Cu ₃ Ln] complexes derived from a tetraketone-type ligand | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Dalton Transactions | 6. 最初と最後の頁 3947 ~ 3953 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2DT03892G | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|---------------------------|
| 1. 著者名 Tauchi Daiki, Koida Taiki, Nojima Yuki, Hasegawa Masahi, Mazaki Yasuhiro, Inagaki Akiko, Sugiura Ken-ichi, Nagaya Yuki, Tsubaki Kazunori, Shiga Takuya, Nagata Yuuya, Nishikawa Hiroyuki | 4. 巻 59 |
| 2. 論文標題 Aggregation-induced circularly polarized phosphorescence of Pt(II) complexes with an axially chiral BINOL ligand | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Chemical Communications | 6. 最初と最後の頁 4004 ~ 4007 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2CC06198H | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|-----------------------------|
| 1. 著者名 Shiga Takuya, Tachibana Minami, Sagayama Hajime, Kumai Reiji, Newton Graham N., Oshio Hiroki, Nihei Masayuki | 4. 巻 57 |
| 2. 論文標題 A ring of grids: a giant spin-crossover cluster | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Chemical Communications | 6. 最初と最後の頁 10162 ~ 10165 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1CC04346C | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名 Shiga Takuya, Ito Honami, Mihara Nozomi, Nihei Masayuki | 4. 巻 51 |
| 2. 論文標題 Syntheses, structures, and magnetic properties of a series of Mn-M-Mn trinuclear complexes with different spin configurations | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Dalton Transactions | 6. 最初と最後の頁 562 ~ 569 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d1dt03030b | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|---------------------------|
| 1. 著者名 Shiga Takuya, Kumamaru Rina, Newton Graham N., Oshio Hiroki | 4. 巻 49 |
| 2. 論文標題 Heteroleptic iron(ii) complexes with naphthoquinone-type ligands | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Dalton Transactions | 6. 最初と最後の頁 1485 ~ 1491 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9dt03946e | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

| | |
|--|---------------------------|
| 1. 著者名 Shiga Takuya, Nojiri Hiroyuki, Oshio Hiroki | 4. 巻 59 |
| 2. 論文標題 A Ferromagnetically Coupled Octanuclear Manganese(III) Cluster: A Single-Molecule Magnet with a Spin Ground State of $S = 16$ | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Inorganic Chemistry | 6. 最初と最後の頁 4163 ~ 4166 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.9b03343 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|---------------------------------|
| 1. 著者名 Zhai Yuan Qi, Deng Yi Fei, Fu Zhendong, Feng Erxi, Su Yixi, Shiga Takuya, Oshio Hiroki, Zheng Yan Zhen | 4. 巻 31 |
| 2. 論文標題 Reentrant Spin Glass and Large Coercive Field Observed in a Spin Integer Dimerized Honeycomb Lattice | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Advanced Functional Materials | 6. 最初と最後の頁 2004744 ~ 2004744 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adfm.202004744 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

| | |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名 Shiga Takuya, Tachibana Minami, Oshio Hiroki, Nihei Masayuki | 4. 巻 9 |
| 2. 論文標題 Synthesis of a Ru(II) Complex with a Naphthoquinone-Annulated Imidazole Ligand Exhibiting Proton-Responsive Redox and Luminescent Behavior | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Inorganics | 6. 最初と最後の頁 24 ~ 24 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/inorganics9040024 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

〔学会発表〕 計19件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

| |
|---|
| 1. 発表者名 Nozomi Mihara, Ayaka Machida, Takuya Shiga, Ayumi Ishii, Masayuki Nihei |
| 2. 発表標題 Seed-Mediated Synthesis of Au Nanoparticles in the Nanospace of an Organic Cage Molecule |
| 3. 学会等名 錯体化学会第72回討論会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 伊藤大輝・三原のぞみ・志賀拓也・二瓶雅之 |
| 2. 発表標題 頂点に配位子サイトを有する有機ケージ分子の合成と錯形成反応 |
| 3. 学会等名 錯体化学会第72回討論会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 岡本有輝子・宮本晴佳・志賀拓也・三原のぞみ・二瓶雅之 |
| 2. 発表標題 新規Cu-Gd多核錯体における磁性と分子構造の相関 |
| 3. 学会等名 錯体化学会第72回討論会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|----------------------------------|
| 1. 発表者名 鈴木大成・志賀拓也・三原のぞみ・二瓶雅之 |
| 2. 発表標題 光誘起スピン転移挙動における結晶溶媒の影響 |
| 3. 学会等名 錯体化学会第72回討論会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 伊藤大輝・三原のぞみ・志賀拓也・二瓶雅之 |
| 2. 発表標題 4つの配位サイトを有する四面体型有機ケージ分子の内部空間における協同的なLaイオンの捕捉 |
| 3. 学会等名 日本化学会第103春季年会(2023) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 土岐 恵莉佳・志賀 拓也・三原 のぞみ・二瓶 雅之 |
| 2. 発表標題 アルキル基をもつ鉄(II)錯体のスピントスオーバー挙動における圧力効果 |
| 3. 学会等名 錯体化学会第71回討論会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 相良 圭吾・荒木 聡輔・三原 のぞみ・志賀 拓也・二瓶 雅之 |
| 2. 発表標題 有機ナノケージ分子に包接された超微小酸化亜鉛粒子の合成 |
| 3. 学会等名 錯体化学会第71回討論会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 伊藤 大輝・三原 のぞみ・志賀 拓也・二瓶 雅之 |
| 2. 発表標題 新規有機ケージ分子による酸化鉄クラスターのサイズ制御合成 |
| 3. 学会等名 錯体化学会第71回討論会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 伊藤 帆奈美・志賀 拓也・三原 のぞみ・二瓶 雅之 |
| 2. 発表標題 Mn(II)-M-Mn(II) (M = Mn, Y, Gd) 直線型三核錯体の合成と磁気熱量効果 |
| 3. 学会等名 錯体化学会第71回討論会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名 町田 彩香・三原 のぞみ・志賀 拓也・二瓶 雅之 |
| 2. 発表標題 有機ケージ分子を用いた金属ナノ粒子のサイズ制御合成 |
| 3. 学会等名 錯体化学会第71回討論会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 島村 知成・高山 怜・三原 のぞみ・志賀 拓也・二瓶 雅之 |
| 2. 発表標題 鉄・コバルト環状四核錯体の溶液中における集積構造制御 |
| 3. 学会等名 錯体化学会第71回討論会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 島村 知成・高山 怜・三原 のぞみ・志賀 拓也・二瓶 雅之 |
| 2. 発表標題 溶液中における鉄-コバルト環状四核錯体のスピン転移に伴う集積構造変化 |
| 3. 学会等名 日本化学会第102春季年会(2022) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 相良 圭吾・三原 のぞみ・志賀 拓也・二瓶 雅之 |
| 2. 発表標題 有機ナノケージ分子に包接された超微小酸化亜鉛粒子の合成と光学特性 |
| 3. 学会等名 日本化学会第102春季年会(2022) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 鈴木 大成・志賀 拓也・三原 のぞみ・二瓶 雅之 |
| 2. 発表標題 3段階の結晶溶媒脱離によるFe(II)スピנקロスオーバー挙動の多重変換 |
| 3. 学会等名 日本化学会第102春季年会(2022) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 伊藤 大輝・三原 のぞみ・志賀 拓也・二瓶 雅之 |
| 2. 発表標題 六配位サイトを有する新規四面体有機ケージ分子の合成と錯形成挙動 |
| 3. 学会等名 日本化学会第102春季年会(2022) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 伊藤 帆奈美・志賀 拓也・三原 のぞみ・二瓶 雅之 |
| 2. 発表標題 Gdイオンを含む3d-4f金属多核錯体の合成と磁気エントロピーに関する研究 |
| 3. 学会等名 日本化学会第102春季年会(2022) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 飯塚 そよか・三原 のぞみ・志賀 拓也・二瓶 雅之 |
| 2. 発表標題 鉄-コバルト環状4核錯体における化学的・機械的刺激によるスピン転移挙動 |
| 3. 学会等名 日本化学会第102春季年会(2022) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Takuya Shiga, Graham. N. Newton, Hiroki Oshio |
| 2. 発表標題 Self-assembly of polynuclear clusters with rigid multidentate bridging ligands |
| 3. 学会等名 The 1st Asian Conference on Molecular Magnetism (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 志賀拓也、宮本晴佳、伊藤帆奈美、大塩寛紀、二瓶雅之 |
| 2. 発表標題 大きな磁気冷凍効果を示す3d-4f 異種金属多核錯体の開発 |
| 3. 学会等名 日本化学会第101春季年会 |
| 4. 発表年 2021年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|--|---------------------------|-----------------------|----|
|--|---------------------------|-----------------------|----|

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 | | | |
|---------|-----------|--|--|--|
| ドイツ | ハノーファー大学 | | | |
| 英国 | ノッティンガム大学 | | | |