

令和 6 年 6 月 21 日現在

機関番号：20106

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01756

研究課題名(和文)炭化鉄クラスターの精密合成法開発と異常磁性の解明

研究課題名(英文)Development of precision synthesis method for iron carbide clusters and elucidation of anomalous magnetism

研究代表者

脇坂 聖憲(Wakizaka, Masanori)

公立千歳科学技術大学・理工学部・准教授

研究者番号：00786840

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は強磁性体となる炭化鉄クラスターの精密合成法の確立と磁気メカニズムの解明を目的とする。さらに、この様な極めて小さな磁石の性質を理解する上で不可欠である量子の磁石として、単分子磁石、単イオン磁石、スピン量子ビットに関しても合成と磁気解明を行い、主に次の4つの成果を得た。(1) グラファイト性カーボン担体に担持した炭化鉄クラスターの磁気解明、(2) クエン酸配位子を用いたアニオン性多核錯体合成と磁気解明、(3) Co(II)及びCu(II)ドーピング型金属有機構造体の合成と量子磁性解明、(4) Cu(II)一次元鎖化合物の合成と量子磁性解明。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ハードディスクの心臓部である磁気記憶素子にはナノサイズの磁石が使われている。ナノ磁石1つ1つに0または1の情報保存されるため、磁石をより小さくすれば記憶密度と容量が向上する。しかしやっかいなことに、磁石をナノレベルまで小さくすると超常磁性と呼ばれる磁気現象が現れ、室温ではもはや磁石として働かなくなってしまう。従来のナノ磁石よりもさらに小さいクラスター磁石を作ることができれば、次世代の超高密度磁気記憶素子として社会の発展に大きく貢献できる。本成果により炭化鉄とグラファイト担体の相互作用が磁力を増強する効果があることがわかり、今後のナノ磁石やクラスター磁石開発に資すると期待される。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to establish a precise synthesis method for iron carbide clusters having ferromagnetism and to elucidate the magnetic mechanism. Furthermore, to understand such extremely small magnet properties, this work synthesized and elucidated the quantum magnetic properties of single molecule magnets, single ion magnets, and spin qubits. This work achieved the following four main results: (1) Elucidation of magnetism of iron carbide clusters supported on the graphitic carbon support, (2) Synthesis and elucidation of magnetic of anionic polynuclear complexes using citric acid ligands, (3) Synthesis and elucidation of quantum magnetisms of Co(II)- and Cu(II)-doped metal-organic frameworks (4) Synthesis and elucidation of quantum magnetism of Cu(II) one-dimensional chain compounds.

研究分野：錯体化学・材料科学

キーワード：炭化鉄 クラスター 金属錯体 磁性

## 1. 研究開始当初の背景

炭化鉄は製鉄の過程で発生するごくありふれた物質である。古くから磁石になることも知られていた。最近、申請者はサブナノサイズの炭化鉄クラスターの合成に世界で初めて成功した。興味深いことに、何の変哲もない物質と考えられてきた炭化鉄が、サブナノ領域で異常な磁性を示した。小さくなるごとに磁石としての性能「保磁力」が向上したのだ。通常、磁性体はサブナノサイズに近づくと保磁力が低下する。異方的に固定されていたスピンの向きがサイズ減少により熱エネルギーの影響を受け等方的になるためである。このようなサブナノ領域における保磁力の消失は超常磁性とよばれ、極小磁石開発の壁となっている。したがって、炭化鉄クラスターの異常磁性のメカニズムを解明すれば超常磁性限界を突破するブレイクスルーになる可能性がある。

特に興味深いのが四核クラスター（粒子サイズ約0.6 nmと推定）で、合成した中で最も強い保磁力を示した（図1上）。これらのクラスターが酸化物ではなく炭化物の特徴をもつことはXAFS（X線吸収微細構造）から明らかとなった（図1下）。高温下の空気酸化により磁化が消失したので炭化鉄由来の磁性であることは確認済みである。また、極低温（1.9 K）の磁気モーメントから見積もられるFe存在量と実際のFe存在量が一致したため不純物由来のスピンではない。しかし担持量が少ないことからEXAFS領域までは観測されずFe-Fe結合距離などの構造は未だ明らかになっていない。これまでの合成法では溶液中で置換活性な高分子錯体を鋳型に用いたため、少核数クラスターの原子数制御と高密度担持の両立が困難であった。したがって担持量の大幅な向上と核数の精密制御を可能にする新しい合成法の開発が必要である。

## 2. 研究の目的

本研究は、強磁性体となる炭化鉄クラスターの精密合成法の確立と磁気メカニズムの解明を目的とした。また、この様な極めて小さな磁石の性質を理解する上で不可欠である、量子の磁石である単分子磁石、単イオン磁石、スピン量子ビットに関しても合成と磁気解明を行った。

## 3. 研究の方法

### (1) 炭化鉄クラスターの磁気解明

オープン付きの磁気測定装置を利用した高温測定と、磁場冷却（FC）及びゼロ磁場冷却（ZFC）曲線を測定することで、キュリー点と磁石として保磁力を示す温度であるブロッキング温度を明らかにし、粒子サイズ依存性を解明する。

### (2) アニオン性多核錯体合成と磁気解明

炭化鉄クラスターの新しい前駆体となるアニオン性多核錯体の合成法を確立する。3d遷移金属のクエン酸錯体は単核から四核までアニオン性の錯体が報告されているのでこれを活用し、磁気特性を明らかにする。

### (3) ドーピング型金属有機構造体の量子磁性解明

S = 3/2のスピンの持つCo(II)やS = 1/2のスピンの持つCu(II)を反磁性Zn(II)金属有機構造体(MOF)にドーピングし、磁気特性のドーピング濃度依存性を明らかにする。

### (4) Cu(II)一次元鎖化合物の量子磁性解明

S = 1/2のスピンの持つCu(II)を一次元状に繋げた錯体化合物を合成し、磁気特性を明らかにする。

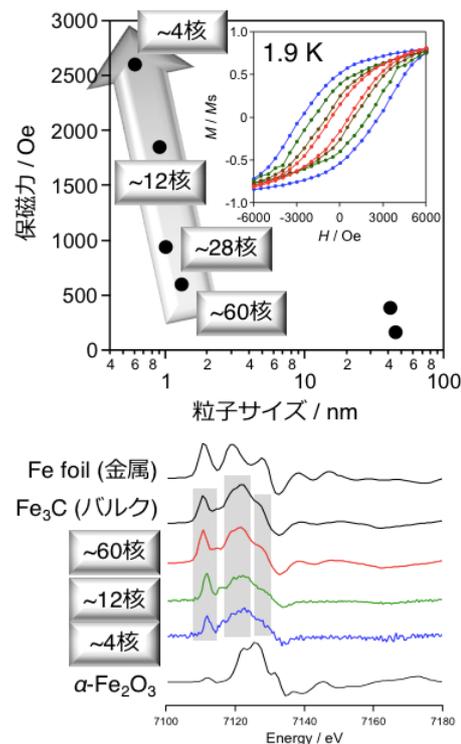


図1. 炭化鉄クラスターの1.9 Kの保磁力とMH曲線（上）. Fe-K XANESスペクトル（下）. 12核と4核は蛍光法。

## 4. 研究成果

### (1) 炭化鉄クラスターの磁気解明

カーボン担体に担持した炭化鉄クラスター（鉄の核数：約4核、約12核、約28核、約60核）の磁化曲線と比較としてバルク炭化鉄（セメントイト、 $\text{Fe}_3\text{C}$ ）の磁化曲線を測定した。バルク炭化鉄のキュリー点 ( $T_C$ ) は483 Kであるが、炭化鉄クラスターのキュリー点も粒子サイズによらずほぼ同じ値であった。これは炭化鉄の磁気相互作用は原子間距離だけに依存する直接交換が主であるためと考えられる。つまり、バルクとクラスターでは結晶性は異なるはずだが、Fe-Fe 間距離は同程度と考えられるため、磁気相互作用の強さに変化はなく、同程度のキュリー温度を示したと考えられる。一方 FC-ZFC 測定では、ブロッキング温度 ( $T_B$ ) はバルクでは467 Kであったのに対し、60核クラスターでは385 Kに低下した。これはナノ粒子化による超常磁性の傾向と考えられる。しかし、より小さくした28核クラスターでは473 Kと上昇する異常な挙動が見られる。また、さらに小さい12核クラスターや4核クラスターでも測定ノイズによる幅はあるが  $T_B$  は同程度の温度域であった。この不規則な変化はクラスターに特有のものと考えられ、担体カーボンであるグラファイトとの相互作用が強く磁性に影響を与えていると考えられる。つまり、60核程度のクラスターでは担体と接する原子の割合が限られるため相互作用による恩恵をあまり受けられず、より核数の少ないクラスターでは担体と接する原子の割合が多くなるため相互作用による恩恵が強く現れる。超常磁性の効果と担体との相互作用による効果が拮抗する領域が観測されたのではないかと考えられる（表1：RSC Advances, 2022, 12, 3238–3242.）。

表1. 炭化鉄クラスターの磁気特性のまとめ

Sample	$d$ [nm]	Fe loading <sup>c)</sup> [wt%]	$m^d$ [ $\mu_B \text{ atom}_{\text{Fe}}^{-1}$ ]	$H_c^e$ (1.9 K) [Oe]	$H_c$ (300 K) [Oe]	$T_B^f$ [K]	$T_C^g$ [K]
$\text{Fe}_3\text{C}$	39 <sup>a)</sup>	–	1.5	166	21	467	483
$\text{Fe}_{60}/\text{C}$	1.3±0.3 <sup>b)</sup>	0.20	2.3	603	140	ca. 385	483±5
$\text{Fe}_{28}/\text{C}$	1.0±0.3 <sup>b)</sup>	0.13	1.5	939	163	473	483±5
$\text{Fe}_{12}/\text{C}$	0.9±0.2 <sup>b)</sup>	0.056	1.6	1856	367	410–470 <sup>h)</sup>	ca. 488
$\text{Fe}_4/\text{C}$	–	0.013	1.0	2697	666	350–470 <sup>h)</sup>	ca. 488

<sup>a)</sup> Crystal diameter estimated based on PXRD data. <sup>b)</sup> Particle diameter estimated based on TEM data. <sup>c)</sup> Loading amount of Fe in the sample after CHR as measured using ICP-AES; the experimental error was estimated to be ca. 10%. <sup>d)</sup> Magnetic moment per Fe atom estimated based on the saturation magnetization at 1.9 K. <sup>e)</sup> Coercivity. <sup>f)</sup> Blocking temperature. <sup>g)</sup> Curie temperature.  $T_B$  and  $T_C$  were calibrated using  $T_C = 483 \text{ K}$  ( $\text{Fe}_3\text{C}$  as a standard),<sup>9</sup> and were determined from the maximum of the second derivative of the  $M-T$  curve. <sup>h)</sup> Uncertainty is due to the measurement sensitivity limit and noise.

### (2) アニオン性多核錯体合成と磁気解明

クエン酸二核錯体である  $[\text{CH}_6\text{N}_3]_2[\text{M}_2(\text{citH})_2(\text{H}_2\text{O})_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ( $\text{citH}_4 =$  クエン酸;  $\text{M} = \text{Fe}^{\text{II}}$  (Fe-2),  $\text{Co}^{\text{II}}$  (Co-2),  $\text{Ni}^{\text{II}}$  (Ni-2)), を新規合成した。既報のクエン酸錯体は強塩基を用いることで3つのカルボキシ基と1つの水酸基を脱プロトン化した  $\text{cit}^{4-}$  配位子を有する4核錯体であったが、今回クエン酸を脱プロトン化するための塩基として塩基性度の弱いアンモニアを用いることで、クエン酸の3つのカルボキシ基のプロトンが外れた  $\text{citH}^{3-}$  を有する二核錯体を合成できた。磁気測定により、これらの二核錯体は  $J = \sim 0 \text{ cm}^{-1}$  (Ni-2)、 $0.02 \text{ cm}^{-1}$  (Co-2)、 $0.9 \text{ cm}^{-1}$  (Fe-2) の分子内強磁性を持っていることが明らかになった。特に Co-2 と Fe-2 は遅い磁気緩和を示し、スピン反転  $U_{\text{eff}} = 27 \text{ cm}^{-1}$  (Co-2) と  $4.2 \text{ cm}^{-1}$  (Fe-2) の活性化エネルギーを持つ磁場誘起型単分子磁石であることが明らかになった。さらに密度汎関数理論計算によって、各金属イオン中心の  $z$  軸に沿った一軸異方性が擬直列スピ配置を形成し、磁気双極子相互作用を介して分子内強磁性を引き起こすことが示された（図2：Chemistry – A European Journal, 2023, 2023, e202203421.）。

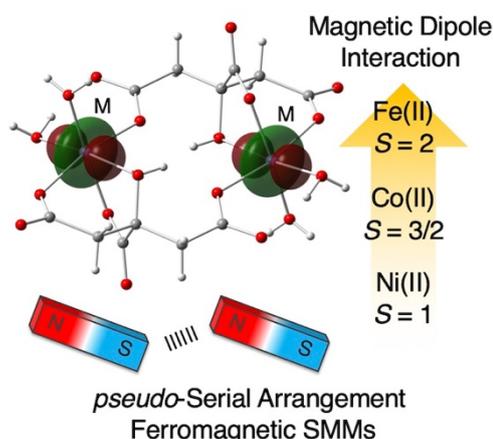


図2. 新規クエン酸二核錯体の分子内強磁性。

### (3) ドーピング型金属有機構造体の量子磁性解明

単一イオン磁石 (SIM) やスピン量子ビットは、分子設計性に富み剛直な有機金属フレームワーク (MOF) と組み合わせることにより、新しい量子材料として活用が見込まれると期待される。この点で解決すべき問題は、そのような材料を合成するための新しい戦略を開発することである。本研究では、SIM サイトとスピン量子ビットサイトがドーピングされるフレームワークとして反磁性 MOF を使用し、SIM-MOF とスピン量子ビット MOF を合成するための新しい簡単な戦略を示した。

1, 0.5, 0.2 mol% の Co(II) イオンを  $[\text{CH}_6\text{N}_3][\text{Zn}(\text{HCOO})_3]$  の Zn(II) サイトにドーピングした。MOF 内のドーピングされた Co(II) サイトは、磁気測定、電子スピン共鳴 (ESR) 測定、CASSCF 計算によって明らかにした。磁気測定により、最長の磁気緩和時間は、0.1 T の静磁場下 1.8 K で 150 ms (0.2 mol% Co) であることが明らかになった (図 3: *Small*, **2023**, *19*, 2301966.)。

また、5, 2, 1, 0.1 mol% の Cu(II) イオンを  $[\text{CH}_6\text{N}_3][\text{Zn}(\text{HCOO})_3]$  の Zn(II) サイトにドーピングした。これらの Cu(II) ドープ MOF は、磁場下で遅い磁気緩和を示すことがわかった。これは、 $M_s = \pm 1/2$  状態間の緩和と考えられる。最長の磁気緩和時間は、0.4 T の静磁場下 1.8 K で 15 ms (1 mol% Cu) であった。さらにパルス ESR 測定により、 $T_1$  および  $T_2$  緩和を測定し、マイクロ秒スケールの  $T_2$  緩和を示すことが明らかになった。さらに、 $M_s = \pm 1/2$  状態間のラビ振動を 10 K で観測することに成功した (図 4: *Chemistry – A European Journal*, **2024**, *30*, e202304202.)。

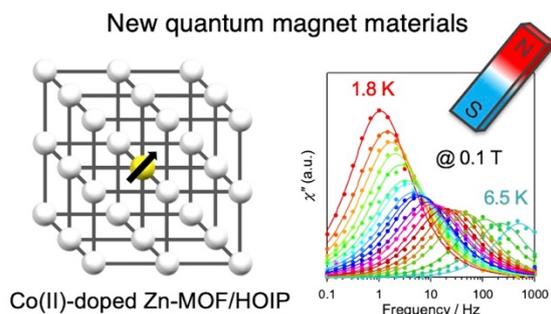


図3. Co(II) ドープMOFの単イオン磁性.

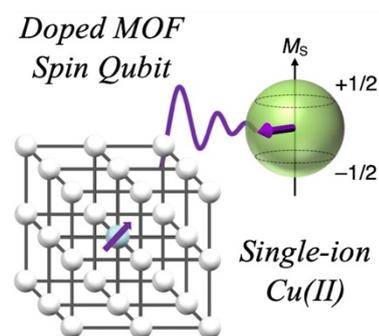


図4. Cu(II) ドープMOFのスピン量子ビット.

### (4) Cu(II)一次元鎖化合物の量子磁性解明

CuI、1R,2R-ジアミノシクロヘキサン (chxn)、ヨウ素をエタノール中で加熱環流することで反応を行い、目的物である  $[\text{Cu}^{\text{II}}(\text{chxn})_2]\text{I}$  を紫色結晶として収率 65% で得た。単結晶 X線構造解析により、Cu 周りに chxn 二分子が平面位から配位し、軸位をヨウ化物イオンが架橋した一次元鎖構造を形成していることがわかった。chxn のキラリティにより、一次元鎖は一方向に巻いた螺旋構造を取り、対称心を持たない三方晶系 ( $P3_221$ ) の結晶構造を有する。直流法の磁化率測定によって、弱い反強磁性が確認された。理論フィッティングから、鎖内の Cu(II) 間の磁気相互作用は  $J = -0.3 \text{ cm}^{-1}$  と見積もられた。スピンは鎖軸にほぼ直交した  $d_{x^2-y^2}$  軌道に局在するため超交換相互作用は生じず、磁気双極子相互作用によるものと考えられる。また、固体状態における電子スピン共鳴法によって、Cu(II) スピンの異方性 ( $g_{\parallel} = 2.17, g_{\perp} = 2.06$ ) が確認された。更に交流法の磁化率測定を行い、ゼロ磁場では緩和を示すシグナルが観測されなかったが、静磁場を印加することでそのシグナルが観測された。交流磁化率の虚数成分のピークをデバイ緩和式でフィッティングし、1.8 K で 43 ms の遅い緩和を示すことが明らかになった。この磁気緩和は、静磁場によってゼーマン分裂した  $M_s = \pm 1/2$  スピン副準位間の緩和に相当すると考えられる。更に温度依存性を測定し、ラマン過程 ( $\tau = CT^{-m}$ ) で磁気緩和することがわかった。フィッティングから指数  $m$  は 4 であり、振動モードとカップリングした磁気緩和が生じていることが明らかになった (図 5: *Dalton Transactions*, **2023**, *52*, 10294–10297.)。

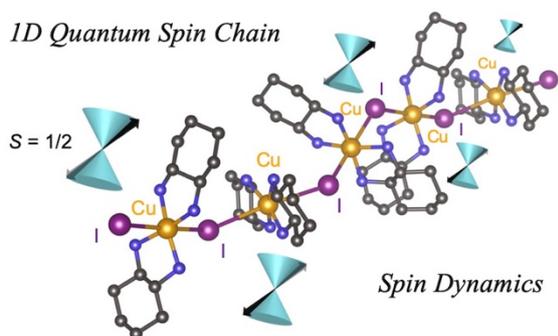


図5. Cu(II) 錯体一次元鎖の量子磁性.

鎖内の Cu(II) 間の磁気相互作用は  $J = -0.3 \text{ cm}^{-1}$  と見積もられた。スピンは鎖軸にほぼ直交した  $d_{x^2-y^2}$  軌道に局在するため超交換相互作用は生じず、磁気双極子相互作用によるものと考えられる。また、固体状態における電子スピン共鳴法によって、Cu(II) スピンの異方性 ( $g_{\parallel} = 2.17, g_{\perp} = 2.06$ ) が確認された。更に交流法の磁化率測定を行い、ゼロ磁場では緩和を示すシグナルが観測されなかったが、静磁場を印加することでそのシグナルが観測された。交流磁化率の虚数成分のピークをデバイ緩和式でフィッティングし、1.8 K で 43 ms の遅い緩和を示すことが明らかになった。この磁気緩和は、静磁場によってゼーマン分裂した  $M_s = \pm 1/2$  スピン副準位間の緩和に相当すると考えられる。更に温度依存性を測定し、ラマン過程 ( $\tau = CT^{-m}$ ) で磁気緩和することがわかった。フィッティングから指数  $m$  は 4 であり、振動モードとカップリングした磁気緩和が生じていることが明らかになった (図 5: *Dalton Transactions*, **2023**, *52*, 10294–10297.)。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Wakizaka Masanori, Matsumoto Takeshi, Chang Ho-Chol	4. 巻 52
2. 論文標題 Switching of the redox centers of a tris-2-mercaptophenolato chromium(III) metalloligand by a guest metal ion	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Dalton Transactions	6. 最初と最後の頁 1538 ~ 1542
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d2dt03502b	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 Wakizaka Masanori, Sato Tetsu, Yoshino Yuko, Takaishi Shinya, Yamashita Masahiro	4. 巻 29
2. 論文標題 Intramolecular Ferromagnetism in Di Nuclear 3d Transition Metal Single Molecule Magnets by Pseudo Serial Arrangement	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Chemistry - A European Journal	6. 最初と最後の頁 e202203421~
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.202203421	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 Wakizaka Masanori, Chun Wang-Jae, Imaoka Takane, Yamamoto Kimihisa	4. 巻 12
2. 論文標題 Synthesis and magnetic properties of sub-nanosized iron carbides on a carbon support	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 3238 ~ 3242
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d1ra09191c	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 Wakizaka Masanori, Kumagai Shohei, Wu Hashen, Sonobe Takuya, Iguchi Hiroaki, Yoshida Takefumi, Yamashita Masahiro, Takaishi Shinya	4. 巻 13
2. 論文標題 Macro- and atomic-scale observations of a one-dimensional heterojunction in a nickel and palladium nanowire complex	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 1188~
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-022-28875-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Wakizaka Masanori, Mian Mohammad Rasel, Yoshida Takefumi, Sato Tetsu, Tanaka Hisaaki, Miyamoto Tatsuya, Okamoto Hiroshi, Takaishi Shinya, Iguchi Hiroaki, Yamashita Masahiro	4. 巻 61
2. 論文標題 Ni(III) Mott-Hubbard-like State Containing High-Spin Ni(II) in a Semiconductive Bromide-Bridged Ni-Chain Compound	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 9504 ~ 9513
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.2c00473	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 Wakizaka Masanori, Wu Hashen, Li Zhao-Yang, Iguchi Hiroaki, Takaishi Shinya, Yamashita Masahiro	4. 巻 95
2. 論文標題 Trimetallic Mixture of Ni(III), Pd(III) and Au(III) Ions in a Molecule-Based Bromide-Bridged MX-Chain Compound	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 1032 ~ 1038
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20220137	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 Wakizaka Masanori, Iguchi Hiroaki, Takaishi Shinya, Yamashita Masahiro	4. 巻 16
2. 論文標題 Surface Ohmic Conductivity on a Mott Insulator Based on a One dimensional Bromide bridged Nickel(III) Complex	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry - An Asian Journal	6. 最初と最後の頁 2947 ~ 2951
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/asia.202100637	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 Wakizaka Masanori, Ishikawa Ryuta, Tanaka Hisaaki, Gupta Shraddha, Takaishi Shinya, Yamashita Masahiro	4. 巻 19
2. 論文標題 Creation of a Field Induced Co(II) Single Ion Magnet by Doping into a Zn(II) Diamagnetic Metal-Organic Framework	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Small	6. 最初と最後の頁 2301966~
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/smll.202301966	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 Wakizaka Masanori, Gupta Shraddha, Wan Qingyun, Takaishi Shinya, Noro Honoka, Sato Kazunobu, Yamashita Masahiro	4. 巻 30
2. 論文標題 Spin qubits of Cu(II) doped in Zn(II) metal-organic frameworks above microsecond phase memory time	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Chemistry - A European Journal	6. 最初と最後の頁 e202304202 ~
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.202304202	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 Wakizaka Masanori, Arczynski Mirosław, Gupta Shraddha, Takaishi Shinya, Yamashita Masahiro	4. 巻 52
2. 論文標題 Spin dynamics in a Heisenberg weak antiferromagnetic chain of an iodide-bridged Cu(II) complex	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Dalton Transactions	6. 最初と最後の頁 10294 ~ 10297
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d3dt01840g	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 -

〔学会発表〕 計8件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Masanori Wakizaka, Mohammad Raseel Mian, Hiroaki Iguchi, Shinya Takaishi, Masahiro Yamashita
2. 発表標題 Ni(III) Mott-Hubbard-like State Containing High-Spin Ni(II) in a Semiconductive Bromide-Bridged Ni-Chain Compound
3. 学会等名 錯体化学第72回討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masanori Wakizaka, Shinya Takaishi, Masahiro Yamashita
2. 発表標題 Latest progress on halogen-bridged metal complex chemistry
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Masanori Wakizaka, Hiroaki Iguchi, Masahiro Yamashita, Shinya Takaishi
2. 発表標題 Macro- and atomic-scale observations of a one-dimensional heterojunction in a nickel and palladium nanowire complex
3. 学会等名 8th Asian Conference on Coordination Chemistry (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masanori Wakizaka, Mohammad Raseel Mian, Hiroaki Iguchi, Shinya Takaishi, Masahiro Yamashita
2. 発表標題 Low-spin Ni(III) and high-spin Ni(II) mixed-valency in the bromide-bridged Ni-chain complex
3. 学会等名 2nd Asian Conference on Molecular Magnetism (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masanori Wakizaka
2. 発表標題 Particle-size-dependent transformation between Mo carbide and oxycarbide at 1.3 nm
3. 学会等名 The 2021 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masanori Wakizaka, Hiroaki Iguchi, Shinya Takaishi, Masahiro Yamashita
2. 発表標題 Macro- and atomic-scale observations for one-dimensional heterojunction in a nickel and palladium nanowire complex
3. 学会等名 錯体化学第71回討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masanori Wakizaka, Masahiro Yamashita
2. 発表標題 Creation of Co(II) Single-Ion Magnets by Doping into Zn(II) Diamagnetic Metal-Organic Frameworks
3. 学会等名 8th International Conference on Superconductivity and Magnetism (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Masanori Wakizaka
2. 発表標題 Creation of quantum spin system doped in metal-organic frameworks
3. 学会等名 The 18th International Conference on Molecule-Based Magnets Rising Star Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023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
---------	---------