

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 9 日現在

機関番号：13301

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2023

課題番号：19K15525

研究課題名（和文）ナノ分子磁石における水素結合相互作用と磁気緩和ダイナミクスの解明

研究課題名（英文）Hydrogen-bonding Interactions and Magnetic Relaxation Dynamics of Molecular-based Nanomagnets

研究代表者

三橋 了爾 (Mitsuhashi, Ryoji)

金沢大学・GS教育系・准教授

研究者番号：60756667

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）：本研究は、単分子磁石化合物における量子トンネリング現象の制御を目指して、単分子磁石間の分子間相互作用と磁気緩和ダイナミクスの解明に取り組んだ。水素結合相互作用によって結晶中で単分子磁石を二次元シートまたは一次元鎖状に配列化させることで分子間相互作用を導入した。通常、コバルト(II)イオンを用いた単分子磁石では外部磁場無しでは量子トンネリングにより迅速な磁気緩和を示すが、一次元鎖状に配列した例ではゼロ磁場で遅い磁気緩和挙動を示すことがわかった。また、一次元鎖内の隣接する分子間の距離が0.7 nm未満かつその差が0.02 nm以上の場合に最も効果的に量子トンネリングを抑制できることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

単分子磁石化合物は、高密度情報記憶媒体や量子情報処理への応用の観点から注目を浴びている。しかし、第一遷移系イオンを用いた例のほとんどの例では量子トンネリングによる迅速な磁気緩和のために磁気情報を維持できない。本研究では、水素結合によって結晶中で単分子磁石間に磁氣的相互作用を誘起することで基底状態の縮重を解き、量子トンネリングを抑制することに成功した。本研究成果は、単分子磁石化合物の応用を妨げる量子トンネリングの制御のための指針となるため、磁気化学の分野での意義は大きい。また、既存の記録媒体の情報記録密度の飛躍的に向上させることに繋がるため社会的な意義も大きい。

研究成果の概要（英文）：Relationship between intermolecular interactions and magnetic relaxation dynamics of single-molecule magnets have been evaluated to control the quantum tunneling phenomenon.

Intermolecular magnetic interactions were induced between single-molecule magnets by constructing one-dimensional chain or two-dimensional sheet hydrogen-bonding networks. Although single-molecule magnets based on cobalt(II) ion generally exhibit slow magnetic relaxation only in the presence of an external field, all of the examples with one-dimensional networks exhibit the slow relaxation under zero field. Furthermore, it is indicated that the quantum tunneling can be effectively suppressed when the two intrachain distances below 0.7 nm with the difference over 0.02 nm.

研究分野：無機・錯体化学

キーワード：単イオン磁石 分子間水素結合 磁気緩和ダイナミクス

1. 研究開始当初の背景

鉄(II)、コバルト(II)またはニッケル(II)イオンなどの不対電子を有する遷移金属イオンは電子スピンの基づく磁気モーメントを示す。このスピンを有するイオンが近距離に存在するとき、スピン間に磁氣的な相互作用が生じる。電子スピンの磁気モーメントを強め合う作用を強磁性相互作用、弱め合うものを反強磁性相互作用と呼ぶ。バルク物質において金属イオン間に強磁性相互作用が 3 次元的に生じることで各イオンの磁気モーメントの向きが自発的に揃い、室温でも自発磁化を示すバルク磁石となる。この自発磁化の向きによって 0 と 1 の二進数として情報を記録できることから、バルク磁性材料は情報記録媒体として古くから利用されてきた。

バルク磁石内部では同じ方向に自発磁化をもつ小さな磁石といえる磁区に分けられる。この磁区が二進数の 1 bit に相当するため、自発磁化を保ったままどこまで磁区を小さくできるかによって、磁気記録密度の限界値が決まる。そのため、磁区の微小化は磁気記録媒体の高密度化における最も重要な課題である。しかし、バルク磁石は多数の金属イオンが集合することで自発磁化を示すため、磁区の微小化には限界がある。例えば、代表的なバルク磁石である磁鉄鉱は単一の磁区を形成するためには鉄イオン 15 万個程度必要であり、ナノサイズ以下の磁区を実現することはできない。

一方、一軸性の強い磁気異方性を有する分子性の金属錯体は、スピン反転の際にゼロ磁場分裂に由来する活性化障壁をもつため、単一の分子が 1 つの磁石かのように振る舞い、単分子磁石と呼ばれる。単分子磁石は文字通り単一分子が 1 つの磁区となるため、磁気記録密度を飛躍的に高める材料として期待されている。特に常磁性イオンを 1 つしか含まない化合物は、単一イオン磁石(SIM)と呼ばれ、磁気異方性の制御が多核錯体と比べて容易なため活発に研究されている。SIM のスピン反転障壁エネルギー(U)は図 1 に示すように $S^2|D|-1/4$ (S が半整数のとき)で見積もられる(S : スピン量子数、 D : アクシシャルゼロ磁場分裂パラメータ)。スピン反転障壁がゼロ磁場分裂パラメータに比例するため、強い磁気異方性を示すランタノイド錯体やコバルト(II)、鉄(II)錯体などの 3d 金属錯体における SIM 挙動が多数報告されている。しかし、SIM のほとんどの例では、スピン反転障壁をすり抜けて緩和する磁化の量子トンネリング(QTM)のために、ゼロ磁場環境においては磁石として振る舞わない。そのため、反転障壁エネルギーの向上だけでなく効果的に QTM を抑制する方法が求められている。

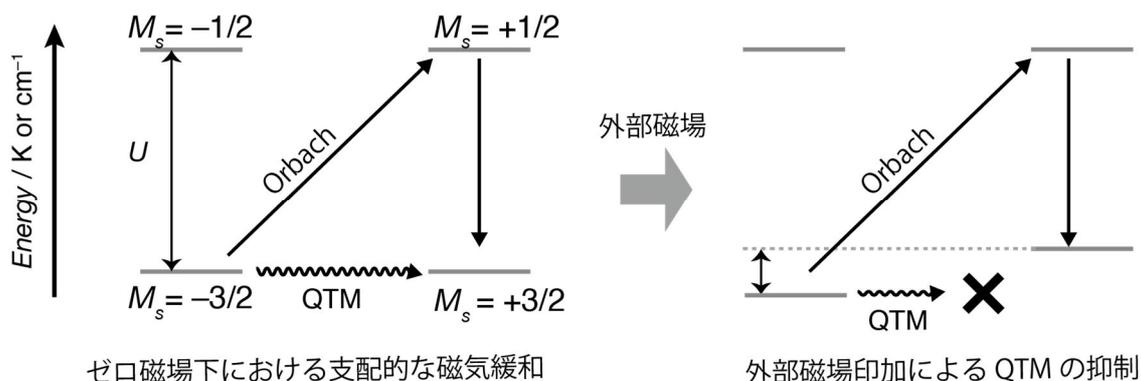


図 1 コバルト(II)単分子磁石における理想的な Orbach 緩和過程(実践)と量子トンネリング(波線)

2. 研究の目的

SIM おける QTM は、結晶中で磁気中心が核スピンや外部環境からの磁氣的摂動を受け、スピン準位同士が混成することによって生じる。一方で、外部直流磁場存在化では SIM のスピン基底準位の縮退が解けるため原理的に QTM は発生せず、遅い磁気緩和挙動を観測することは可能である(図 1 右)。このような化合物は磁場誘起型の単分子磁石と呼ばれるが、ゼロ磁場下では QTM によって緩和されるために自発磁化は示さず、記録素子として用いることはできない。その一方、このような非対称な磁気環境は、結晶中の磁気中心の配列を制御することで実現できると考えられる。すなわち、結晶中の SIM 同士を近づけ、隣接する SIM 分子間に弱い磁氣的相互作用を誘起することによって基底スピン準位の縮退を解くことで QTM を抑制できる。このためには、大きなスピン反転障壁を示す分子設計だけでなく、結晶中での SIM 分子の 3 次元的な配列の制御が求められる。本研究では、結晶中の分子の 3 次元的な配列を制御し、分子間の磁氣的相互作用を誘起することで単分子磁石化合物における QTM を抑制する方法の開発を目指した。

3. 研究の方法

本研究では、強い一軸性ゼロ磁場分裂を示す四面体型コバルト(II)錯体([CoL₂])に分子間水素結合を導入し結晶中の分子の 3 次元的な配列を制御した。図 2 に示した 5 種の二座配位子を用いて類縁コバルト(II)錯体を合成した。これらの配位子は、水素結合ドナーであるヘテロ環部分の

骨格や水素結合アクセプターであるフェノール部位の置換基が異なるため、結晶中における分子配列が異なると期待できる。単結晶構造解析により、これらの錯体の分子構造および水素結合ネットワークを明らかにした。静的な磁気的性質は直流磁化率測定によって評価した後に、交流磁化率測定により単分子磁石挙動について調査した。また、結晶中の分子間配列の対称性と単分子磁石挙動の関係について評価するために少量の非磁性の亜鉛(II)イオンをドーピングした結晶の磁気緩和挙動についても調査し、SIMの配列と磁気緩和挙動について評価した。

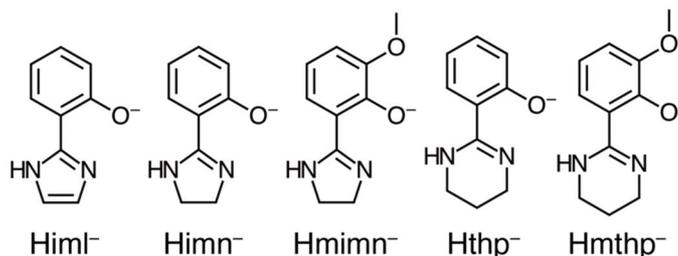


図2 水素結合部位を有する二座配位子

4. 研究成果

結晶構造解析の結果、各化合物の基本的な分子構造については大きな違いは見られなかった一方、2次元シートおよび1次元鎖状の2種類の水素結合ネットワークが得られた(表1)。また、磁化率測定の解析の結果、各化合物の g 値およびゼロ磁場分裂パラメータには大きな違いは観測されなかった。交流磁化率測定から1次元鎖状のネットワークを有する全ての例において外部直流磁場無しで遅い磁気緩和挙動が観測された。すなわち、コバルト(II)錯体を水素結合によって1次元に配列することでQTMを抑制できることがわかった。一方、2次元シート構造を有する $[\text{Co}(\text{Himl})_2]$ においてはゼロ磁場では遅い磁気緩和挙動を示さなかった。これは、 $[\text{Co}(\text{Himl})_2]$ における最短分子間距離が7 Å以上あるため、分子間の磁気的相互作用が弱く、基底スピン準位の縮退を解くことができなかつたためと考えられる。

表1 $[\text{CoL}_2]$ の結晶中における水素結合パラメータとゼロ磁場におけるSIM挙動(ZF-SIM)と磁場誘起SIM挙動(FI-SIM)

	$[\text{Co}(\text{Himl})_2]$	$[\text{Co}(\text{Himn})_2]$	$[\text{Co}(\text{Hmimn})_2]$	$[\text{Co}(\text{Hthp})_2]$	$[\text{Co}(\text{Hmthp})_2]$
水素結合	2Dシート状	1D鎖状	1D鎖状	1D鎖状	1D鎖状
鎖内分子間距離1		6.05 Å	6.12 Å	6.36 Å	5.98 Å
鎖内分子間距離2		6.25 Å	8.68 Å	6.36 Å	6.11 Å
1, 2の差		0.20 Å	2.56 Å	0 Å	0.13 Å
ZF-SIM	No	Yes	Yes	Yes	Yes
FI-SIM	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

直流磁場下の交流磁化率測定によりQTMの影響を除外した各分子固有の磁気緩和挙動を調査することで1次元鎖状ネットワーク内の分子配列とQTMの抑制効果を詳細に検証した。その結果、鎖内の両隣の分子との距離が0.26 Å異なる $[\text{Co}(\text{Himn})_2]$ において最も効果的にQTMが抑制された。一方、鎖内の両隣の分子との距離が結晶学的に等しい $[\text{Co}(\text{Hthp})_2]$ および分子間距離の差が小さい $[\text{Co}(\text{Hmthp})_2]$ においては、QTMの抑制効果は限定的であることが分かった。これは、鎖内の両隣の分子からの磁気的摂動が部分的に打ち消し合うことで、基底準位の縮退を解く効果が弱まってしまったと予想された。そこで、 $[\text{Co}(\text{Hthp})_2]$ に非磁性の亜鉛(III)イオンを部分的にドーピング($\text{Co}:\text{Zn} = 0.67:0.33$)することで、錯体分子の磁気的環境を非対称にしたところ、QTMが完全に抑制された。このことから、SIMを分子間距離6 Åかつ非対称に1次元鎖状に配列することでQTMを効果的に抑制できることが明らかになった。

以上の結果をまとめると、本研究では、SIM挙動を示す錯体の結晶中の分子配列を制御し、SIM分子の磁気的環境を非対称にすることでQTMを効果的に抑制できることを明らかにした。単分子磁石化合物におけるQTMの完全な制御には至っていないが、単分子磁石の磁気記録媒体としての応用における重大な課題を解決する貴重な指針となった。本研究期間内にその成果を学会にて発表するとともに、学術論文として多数公表した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計36件（うち査読付論文 34件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 21件）

1. 著者名 Mitsuhashi Ryoji, Sakiyama Hiroshi, Hayashi Yoshihito	4. 巻 9
2. 論文標題 Slow Magnetic Relaxation in Cobalt(II) Complexes with One-Dimensional Hydrogen-Bonded Networks	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Magnetochemistry	6. 最初と最後の頁 17~17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/magnetochemistry9010017	査読の有無 無
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 Sakiyama Hiroshi, Yamamoto Yuya, Hoshikawa Ryusei, Mitsuhashi Ryoji	4. 巻 9
2. 論文標題 Crystal Structures and Magnetic Properties of Diaquatetrapyridinenickel(II) and Diaquatetrapyridinecobalt(II) Complexes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Magnetochemistry	6. 最初と最後の頁 14~14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/magnetochemistry9010014	査読の有無 無
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 R. Mitsuhashi	4. 巻 37
2. 論文標題 Synthesis and Crystal Structure of Bis[2-(2-imidazoliny)-6-methoxyphenolato]zinc(II)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 X-ray Struct. Anal. Online	6. 最初と最後の頁 25-26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/xraystruct.37.25	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 M. Mikuriya, C. Yamakawa, K. Tanabe, R. Nukita, D. Yoshioka, R. Mitsuhashi, H. Tanaka, M. Handa, M. Tsuboi	4. 巻 37
2. 論文標題 Preparation and Crystal Structure of Tetrakis(μ -2,4,5-trimethoxybenzoato- O: O)bis[(methanol)copper(II)]-N,N-dimethylformamide (1/2) in Relation to Adsorption Property	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 X-ray Struct. Anal. Online	6. 最初と最後の頁 35-37
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/xraystruct.37.35	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 M. Mikuriya, S. Ono, Y. Koyama, R. Mitsuhashi, M. Tsuboi	4. 巻 37
2. 論文標題 Crystal Structure of a Mixed-valent Hexanuclear Manganese Complex Made-up from Two Oxido-centered Triangular MnIIIMnII2 Cores	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 X-ray Struct. Anal. Online	6. 最初と最後の頁 41-;43
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/xraystruct.37.41	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 M. Hodorowicz, J. Szklarzewicz, A. Jurowska, M. Mikuriya, R. Mitsuhashi, D. Yoshioka	4. 巻 62
2. 論文標題 Anion-Cation Versus Weak Intermolecular Interactions in the Structures of Et4N+, Pr4N+, and Bu4N+ Cation Salts with the [W(CN)6(bpy)]2- Anion	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Struct. Chem.	6. 最初と最後の頁 905-917
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1134/s002247662106010x	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 M. Mikuriya, C. Yamakawa, K. Tanabe, R. Nukita, D. Yoshioka, R. Mitsuhashi, M. Handa, M. Tsuboi	4. 巻 37
2. 論文標題 Crystal Structure of Tetrakis(μ -2,3,6-trimethoxybenzoato- O: O)bis[(methanol)copper(II)]: Largely Rotated Benzoate Ring to the Carboxylato Bridge	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 X-ray Struct. Anal. Online	6. 最初と最後の頁 49-51
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/xraystruct.37.49	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 R. Mitsuhashi, S. Hosoya, T. Suzuki, Y. Sunatsuki, M. Mikuriya	4. 巻 529
2. 論文標題 Field-induced Single-ion Magnet Behaviors in 1-Dimensionally Assembled Tetrahedral Cobalt(II) Complexes with Halide Donors	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Inorganica Chim. Acta	6. 最初と最後の頁 120667(1-6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ica.2021.120667	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 M. Mikuriya, N. Tsuchimoto, Y. Koyama, R. Mitsuhashi, M. Tuboi	4. 巻 38
2. 論文標題 Crystal Structure of 1,3-Bis(3,5-dibromosalicylideneamino)-2-propanol	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 X-ray Struct. Anal. Online	6. 最初と最後の頁 3-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/xraystruct.38.3	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 M. Mikuriya, N. Tsuchimoto, Y. Koyama, R. Mitsuhashi, M. Tuboi	4. 巻 38
2. 論文標題 Crystal Structure of a Hydrolyzed Product of the Cobalt(III) Complex with 1-(3,5-Dichlorosalicylideneamino)-3-amino-2-propanol	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 X-ray Struct. Anal. Online	6. 最初と最後の頁 9-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/xraystruct.38.9	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 R. Hoshikawa, R. Mitsuhashi, E. Asato, J. Liu, H. Sakiyama	4. 巻 27
2. 論文標題 Structures of Dimer-of-Dimers Type Defect Cubane Tetranuclear Copper(II) Complexes with Novel Dinucleating Ligands	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Molecules	6. 最初と最後の頁 576(1-14)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/molecules27020576	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 M. Handa, H. Yairi, Y. Koyama, R. Mitsuhashi, M. Mikuriya	4. 巻 38
2. 論文標題 Polynuclear Chain Compound of Tetrakis(μ -n-butyrate-0,0)diruthenium Bromide	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 X-ray Struct. Anal. Online	6. 最初と最後の頁 21-23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/xraystruct.38.21	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 M. Mikuriya, Y. Koyama, C. Kamioka, R. Mitsuhashi, M. Tsuboi	4. 巻 38
2. 論文標題 Mixed-valent Manganese Complex with a Schiff-base Having a Di- μ 4-oxido-di- μ 3-oxido-di- μ 3-carboxylato-hexa- μ -carboxylato-bridged MnII2MnIII6 Core	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 X-ray Struct. Anal. Online	6. 最初と最後の頁 33-35
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/xraystruct.38.33	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 R. Mitsuhashi, S. Hosoya, T. Suzuki, M. Mikuriya	4. 巻 38
2. 論文標題 High-spin iron(III) complex with 2-(2-imidazolyl)phenolate	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 X-ray Struct. Anal. Online	6. 最初と最後の頁 37-39
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/xraystruct.38.37	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 Y. Kokubun, R. Hoshikawa, R. Mitsuhashi, H. Sakiyama	4. 巻 38
2. 論文標題 Crystal Structure of a Mononuclear Iron(III) Complex, Hexakis(dimethylformamide- O)iron(III) Tris(hexafluoridophosphate)	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 X-ray Struct. Anal. Online	6. 最初と最後の頁 41-43
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/xraystruct.38.41	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 R. Mitsuhashi, Y. Imai, T. Suzuki, Y. Hayashi	4. 巻 27
2. 論文標題 Selective Formation of Intramolecular Hydrogen-Bonding Palladium(II) Complexes with Nucleosides Using Unsymmetrical Tridentate Ligands	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Molecules	6. 最初と最後の頁 2098(1-13)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ molecules27072098	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 Mikata Yuji, Murakami Kana, Ochi Ayaka, Nakagaki Fumie, Naito Kyoko, Matsumoto Arimasa, Mitsuhashi Ryoji, Mikuriya Masahiro	4. 巻 509
2. 論文標題 Conversion of (μ -OH) $2\text{Mn}_2(\text{II}, \text{II})$ complex to (μ -O) $2\text{Mn}_2(\text{III}, \text{III})$ core supported by a quinoxaline-based tetranitrogen ligand	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Inorganica Chimica Acta	6. 最初と最後の頁 119688 ~ 119688
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ica.2020.119688	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 MIKURIYA Masahiro, WATANABE Nanami, KOYAMA Yoshiki, YOSHIOKA Daisuke, OGAWA Junya, MITSUHASHI Ryoji, HANDA Makoto	4. 巻 36
2. 論文標題 Crystal Structure and Magnetic Property of Manganese(II) Hexafluorosilicate Hexahydrate	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 X-ray Structure Analysis Online	6. 最初と最後の頁 17 ~ 19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/xraystruct.36.17	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 MIKURIYA Masahiro, WATANABE Nanami, KOYAMA Yoshiki, YOSHIOKA Daisuke, OGAWA Junya, MITSUHASHI Ryoji, HANDA Makoto	4. 巻 36
2. 論文標題 Crystal Structure and Magnetic Property of Manganese(II) Hexafluorosilicate Hexahydrate	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 X-ray Structure Analysis Online	6. 最初と最後の頁 17 ~ 19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/xraystruct.36.17	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 Mitsuhashi Ryoji, Hosoya Satoshi, Suzuki Takayoshi, Sunatsuki Yukinari, Sakiyama Hiroshi, Mikuriya Masahiro	4. 巻 10
2. 論文標題 Zero-field slow relaxation of magnetization in cobalt(ii) single-ion magnets: suppression of quantum tunneling of magnetization by tailoring the intermolecular magnetic coupling	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 43472 ~ 43479
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0RA08286D	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 MIKURIYA Masahiro, ONO Sayuri, KOYAMA Yoshiki, MITSUHASHI Ryoji, TSUBOI Motohiro	4. 巻 37
2. 論文標題 Crystal Structure of a μ -Phenolato- μ -oxido-bridged Dinuclear Manganese(III) Complex with Dinucleating Schiff-base Ligand Having Three Phenolate Groups	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 X-ray Structure Analysis Online	6. 最初と最後の頁 3~5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/xraystruct.37.3	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 Hoshikawa Ryusei, Yoshida Kosuke, Mitsuhashi Ryoji, Mikuriya Masahiro, Okuno Takashi, Sakiyama Hiroshi	4. 巻 26
2. 論文標題 Structure Controlling Factors of Oxido-Bridged Dinuclear Iron(III) Complexes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Molecules	6. 最初と最後の頁 897 ~ 897
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/molecules26040897	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 Yamamoto Shohei, Mitsuhashi Ryoji, Mikuriya Masahiro, Koikawa Masayuki, Sakiyama Hiroshi	4. 巻 0
2. 論文標題 Crystal structure, magnetic properties, and structural prediction for an oxidovanadium(IV) complex $[VO(dmf)_5][PF_6]_2$	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Coordination Chemistry	6. 最初と最後の頁 1~11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00958972.2021.1890049	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 MIKURIYA Masahiro, ONO Sayuri, KOYAMA Yoshiki, MITSUHASHI Ryoji, TSUBOI Motohiro	4. 巻 37
2. 論文標題 Crystal Structure of μ -Oxido- μ -phenolato-bridged Dinuclear Manganese(III) Complex of Schiff-base Ligand with Bromido Coordination	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 X-ray Structure Analysis Online	6. 最初と最後の頁 9~11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/xraystruct.37.9	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 Mikuriya Masahiro, Yamakawa Chihiro, Tanabe Kensuke, Nukita Raigo, Amabe Yuki, Yoshioka Daisuke, Mitsuhashi Ryoji, Tatehata Ryota, Tanaka Hidekazu, Handa Makoto, Tsuboi Motohiro	4. 巻 7
2. 論文標題 Copper(II) Carboxylates with 2,3,4-Trimethoxybenzoate and 2,4,6-Trimethoxybenzoate: Dinuclear Cu(II) Cluster and μ -Aqua-Bridged Cu(II) Chain Molecule	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Magnetochemistry	6. 最初と最後の頁 35 ~ 35
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/magnetochemistry7030035	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 Janelle Castillo-Lora, Ryoji Mitsuhashi, James M. Mayer	4. 巻 123
2. 論文標題 Revealing the Relative Electronic Landscape of Colloidal ZnO and TiO ₂ Nanoparticles via Equilibration Studies	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. C	6. 最初と最後の頁 10262-10271
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.9b00829	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 Masahiro Mikuriya, Shun Kawachi, Daisuke Yoshioka, Ryoji Mitsuhashi, Hidekazu Tanaka, Makoto Handa	4. 巻 135
2. 論文標題 Two-Dimensional Mixed-Metal Complexes Composed of Mixed-Valent Dinuclear Ruthenium(II,III) Carboxylate and Tetracyanidopalladate(II) Units	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Acta Phys. Pol. A	6. 最初と最後の頁 837-840
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.12693/aphyspola.135.837	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 Al Azzani Mariam A., Al Mjeni Faizah, Mitsuhashi Ryoji, Mikuriya Masahiro, Al Omari Imaddin A., Robertson Craig C., Bill Eckhard, Shongwe Musa S.	4. 巻 26
2. 論文標題 Unusual Magneto Structural Features of the Halo Substituted Materials [Fe ^{III} (5 X salMeen) ₂]Y: a Cooperative [HS HS]-[HS LS] Spin Transition	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chem. Eur. J.	6. 最初と最後の頁 4766 ~ 4779
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.201904744	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 Sakiyama Hiroshi, Abiko Takaaki, Yoshida Kosuke, Shomura Kaoru, Mitsuhashi Ryoji, Koyama Yoshiki, Mikuriya Masahiro, Koikawa Masayuki, Mitsumi Minoru	4. 巻 10
2. 論文標題 Detailed magnetic analysis and successful deep-neural-network-based conformational prediction for [VO(dmsO)5][BPh4]2	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 9678 ~ 9685
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0RA00854K	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 Kaoru Shomura, Ryoji Mitsuhashi, Masahiro Mikuriya, Yusuke Kataoka, Makoto Handa, Hiroshi Sakiyama	4. 巻 35
2. 論文標題 Crystal Structure of a Mononuclear Iron(III) Complex, Hexakis(dimethylsulfoxide- O)iron(III) Tris(hexafluoridophosphate)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 X-ray Struct. Anal. Online	6. 最初と最後の頁 31-32
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/xraystruct.35.31	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 MIKURIYA Masahiro, KOYAMA Yoshiki, MITSUHASHI Ryoji	4. 巻 35
2. 論文標題 Synthesis and Crystal Structure of 1,3-Bis(5-chloro-3-methoxysalicylideneamino)-2-propanol Trihydrate	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 X-ray Structure Analysis Online	6. 最初と最後の頁 33 ~ 34
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/xraystruct.35.33	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 MITSUHASHI Ryoji, MIKURIYA Masahiro	4. 巻 35
2. 論文標題 Synthesis and Crystal Structure of Bis[2-(1,4,5,6-tetrahydropyrimidin-2-yl)phenolato]zinc(II)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 X-ray Structure Analysis Online	6. 最初と最後の頁 37 ~ 38
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/xraystruct.35.37	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 HOSHIKAWA Ryusei, MITSUHASHI Ryoji, MIKURIYA Masahiro, SAKIYAMA Hiroshi	4. 巻 35
2. 論文標題 Crystal Structure of a Mononuclear Iron(II) Complex, Tris(1,10-phenanthroline- 2N,N)iron(II) Bis(hexafluoridophosphate)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 X-ray Structure Analysis Online	6. 最初と最後の頁 67～68
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/xraystruct.35.67	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 MIKURIYA Masahiro, TANIGUCHI Kazuki, KOYAMA Yoshiki, WATANABE Hiroaki, YOSHIOKA Daisuke, MITSUHASHI Ryoji, ASATO Eiji	4. 巻 36
2. 論文標題 Crystal Structure of S8 Molecule from Thiourea	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 X-ray Structure Analysis Online	6. 最初と最後の頁 1～2
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/xraystruct.36.1	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 MIKURIYA Masahiro, HIROSHIMA Shuichi, KOYAMA Yoshiki, TERADA Keisuke, YOSHIOKA Daisuke, MITSUHASHI Ryoji	4. 巻 36
2. 論文標題 Preparation and Crystal Structure of Sodium Tetraperoxidochromate(V)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 X-ray Structure Analysis Online	6. 最初と最後の頁 3～5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/xraystruct.36.3	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 MIKURIYA Masahiro, KOYAMA Yoshiki, YOSHIOKA Daisuke, MITSUHASHI Ryoji	4. 巻 36
2. 論文標題 Dinuclear Manganese(III) Complex with a Schiff-base Having a Di- μ -acetato- μ -alkoxido-bridged Core	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 X-ray Structure Analysis Online	6. 最初と最後の頁 7～9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/xraystruct.36.7	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18件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 三橋了爾, 今井裕也, 鈴木孝義, 林宜仁
2. 発表標題 非対称三座配位子を有するパラジウム(II)錯体のヌクレオシド選択的結合形成
3. 学会等名 第19回ホストゲスト・超分子化学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 R. Mitsuhashi, H. Sakiyama, M. Mikuriya, Y. Hayashi
2. 発表標題 One-dimensional Hydrogen-bonded Networks and Slow Magnetic Relaxation Behaviors in Cobalt(II) Complexes with Unsymmetrical Bidentate Ligands
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 須田彩央里, 三橋了爾, 今井裕也, 菊川雄司, 林宜仁
2. 発表標題 Zr-Moクラスターを含む複塩結晶における銅(II)イオンの配位構造
3. 学会等名 日本化学会近畿支部2022年度北陸地区講演会と研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 H. Md Saddam, R. Mitsuhashi, Y. Kikukawa, Y. Hayashi
2. 発表標題 Synthesis and magnetic properties of lanthanide(III) complexes with tris-chelate cobalt(III) metalloligand
3. 学会等名 日本化学会近畿支部2022年度北陸地区講演会と研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Y. Hayashi, R. Mitsuhashi
2. 発表標題 Hexa-aqua Metal(II) Ion Confinement on a Three-fold Axis through Hydrogen Bonding in a Polyoxometal Cell
3. 学会等名 The 4th International Symposium of Ionic Coordination Compounds
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 R. Mitsuhashi, Y. Imai, S. Suda, Y. Kikukawa, Y. Hayashi
2. 発表標題 Fluctuating coordination geometry of copper(II) ion in trigonal hydrogen-bonded networks of Zr-Mo cluster
3. 学会等名 日本化学会第103回春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ryoji Mitsuhashi, Yuya Imai, Sugiarto, Yuji Kikukawa, Yoshihito Hayashi
2. 発表標題 Imposing trigonal symmetry in mononuclear hexa-monodentate complexes with 3d-metal ions
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 今井裕也, 三橋了爾, Sugiarto, 菊川雄司, 林宜仁
2. 発表標題 Zr-Moクラスターを有する複塩結晶における[Cu(H ₂ O) ₆] ²⁺ の配位構造変化
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 Masahiro Mikuriya, Yusuke Tanaka, Shun Kawauchi, Ryoji Mitsuhashi, Hidekazu Tanaka, Makoto Handa
2. 発表標題 Chain Compounds of Dinuclear Ruthenium(II,III) Carboxylate and Tetracyanidoaurate(III)
3. 学会等名 7th International Conference on Superconductivity and Magnetism (ICSM2020) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 R. Mitsuhashi, Y. Imai, Sugiarto, Y. Kikukawa, Y. Hayashi
2. 発表標題 Temperature-dependent Wiggling of a Cu(II) Ion in Hydrogen-bonded Networks of a Zr-Mo Cluster
3. 学会等名 日本化学会第102回春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 御厨正博, 大野早由莉, 香山祥輝, 三橋了爾, 壺井基裕
2. 発表標題 3個のフェのレート基を持つ二核形成配位子の μ -フェノレート- μ -オキシド-架橋二核マンガ(III)錯体の合成と結晶構造
3. 学会等名 2020年日本化学会中国四国支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 國本滉志郎, 鎌倉宗太郎, 川本圭祐, 三橋了爾, 菊川雄司, 林宜仁
2. 発表標題 特異的な光吸収特性を示すラダー構造モリブデンクラスターの同定
3. 学会等名 日本化学会近畿支部2020年度北陸地区講演会と研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三橋了爾, 細谷聡, 鈴木孝義, 砂月幸成, 崎山博史, 御厨正博
2. 発表標題 4配位コバルト(II)錯体における一次元水素結合鎖構造と磁気緩和ダイナミクス
3. 学会等名 第17回ホスト-ゲスト超分子化学シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryoji Mitsuhashi, Satoshi Hosoya, Takayoshi Suzuki, Yukinari Sunatsuki, Hiroshi Sakiyama, Masahiro Mikuriya
2. 発表標題 Slow Magnetic Relaxation in Tetracoordinated Cobalt(II) Complexes with One-Dimensional Hydrogen-Bonded Networks
3. 学会等名 錯体化学会第69回討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryoji Mitsuhashi, Satoshi Hosoya, Takayoshi Suzuki, Yukinari Sunatsuki, Masahiro Mikuriya
2. 発表標題 Field-induced Slow Magnetic Relaxation in Tetrahedral Cobalt(II) Complexes with Halide Donors
3. 学会等名 日本化学会第100回春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 御厨正博, 廣島秀一, 香山祥輝, 寺田圭佑, 吉岡大輔, 三橋了爾
2. 発表標題 クロムのペルオキシド化合物の合成と結晶構造
3. 学会等名 2019年度SPACC年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 御厨正博, 谷口和輝, 香山祥輝, 渡邊弘晃, 吉岡大輔, 三橋了爾, 安里英治
2. 発表標題 ビスマス塩が関与したチオ尿素からの硫黄析出反応
3. 学会等名 2019年度SPACC年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryusei Hoshikawa, Kosuke Yoshida, Ryoji Mitsuhashi, Masahiro Mikuriya, Hiroshi Sakiyama
2. 発表標題 Preparation of mononuclear and dinuclear iron(III) complexes with phenanthroline
3. 学会等名 日本化学会東北支部化学系学協会東北大会
4. 発表年 2019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
---------	---------