

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 31 日現在

機関番号：14602

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2011～2015

課題番号：23350067

研究課題名(和文)希土類量子磁石の磁気特性向上と量子ダイナミクスの解明

研究課題名(英文)Detailed study of the slow magnetic relaxation phenomena of lanthanide-based single molecule magnets

研究代表者

梶原 孝志 (Kajiwara, Takashi)

奈良女子大学・自然科学系・教授

研究者番号：80272003

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,900,000円

研究成果の概要(和文)：希土類錯体を基盤とし、ミリ秒程度の遅い磁化緩和過程を示す「単分子磁石」を対象に、遅い磁化緩和発現の機構解明と分子設計に基づく希土類錯体合成を行った。希土類金属イオンであるCe(III)、Nd(III)、Tb(III)、Dy(III)、Er(III)、Yb(III)を中心金属として用い、それぞれの電子構造に最適な分子構造を提案し、それらの錯体が単分子磁石として振る舞うことを実験的に証明した。特にCe(III)を基盤とする単分子磁石の合成は世界初のものである。

研究成果の概要(英文)：Paramagnetic complexes which show slow magnetic relaxation phenomena are known as single-molecule magnets (SMMs). In this work, we have proposed the mechanism of the slow relaxation of the magnetization for each lanthanide(III) ion, and synthesized several single-molecular magnets including Ce(III), Nd(III), Tb(III), Dy(III), Er(III), or Yb(III). Due to the characteristic 4f electrons, lanthanide(III) ions have large total angular momentum J and magnetic anisotropy. In the anisotropic ligand field, J ground state splits into Jz sub-states and in some cases, the Jz sub-states which direct along the z-axis were stabilized compared with other sub-state. This situation is known as Ising-type magnetic anisotropy. We have proposed how to design such an Ising-type anisotropy for each Ln(III) ion, and investigated the detail of slow magnetic relaxation features of the synthesized Ln(III) complexes.

研究分野：錯体化学

キーワード：希土類錯体 分子磁性 単分子磁石 分子設計 磁気異方性 配位子場

## 1. 研究開始当初の背景

私たちの身の回りには磁石は、磁化の要因となるスピンなどの角運動量を持った金属原子、金属イオンなどの集合体であり、そのスピンの向きがそろった「磁区」を形成することで磁化を保持する。このため、磁石をナノサイズまで細断していくと磁石としての性質を失う。一方、少数の金属イオンにより構成された金属錯体において、ミリ秒～秒単位の時間をかけてゆっくりとスピンの向きが反転する分子磁性体が20世紀末に発見された。個々の分子が磁石として振る舞うことからこのような錯体は「単分子磁石」と命名された。2004年には、たった一つの金属イオンを含む錯体であっても単分子磁石として振る舞うことが見出され、それ以降、合成化学的、理論化学的にそのような単分子磁石の磁気特性を解明する研究が盛んに展開されてきた。

常磁性の金属イオンは個々の金属イオンが軌道角運動量やスピン角運動量を持つため、それらの角運動量に応じて磁化される性質を持つ。通常の遷移金属イオンでは配位子場の影響により軌道角運動量がクエンチされて消失しているのに対し、4f電子を持つ希土類金属イオンは軌道角運動量が保持されているため、遷移金属イオンに比べて大きな磁化を示す。また、特定の方向に磁化されやすい性質を磁気異方性と呼ぶが、希土類金属イオンは軌道角運動量の特性として大きな磁気異方性をもちやすいことが知られている。単分子磁石を合目的的に合成するためには、錯体の構造を入念に設計し、容易軸型と呼ばれる磁気異方性を発現する必要がある。

## 2. 研究の目的

(1) このように単分子磁石を設計することは、磁気異方性を設計することにほかならない。本研究においては、希土類金属イオンを1個だけ含む錯体を対象に、希土類金属イオンを取り囲む結晶場の異方性に着目し、分子設計の視点から磁気異方性を設計するための指針作成を最初の目的とした。常磁性の希土類金属イオンはCe(III)、Pr(III)などに始まり、Yb(III)までの11種類存在する。これらの金属イオンの反応性や形成される錯体の構造は全てよく似ているものの、基底状態の電子構造は各金属イオンに固有であり、磁気異方性の設計は金属イオンに依存する。基底状態における電子雲の空間的な広がり(形状)は金属イオン毎に異なり、異方的な結晶場に置かれた時の安定性の度合いも金属イオン毎に異なる。希土類金属イオンの電子状態は軌道角運動量 $L$ とスピン角運動量 $S$ のベクトル和である総角運動量 $J$ により特色づけられるが、総角運動量 $J$ をもつ基底状態は異方的な結晶場に置かれた時に磁気量子数 $J_z$ の違いにより分裂し、量子化された状態を取る。主軸( $z$ 軸)に沿って磁化された時、 $|J_z|$ が最大となるのに対し、 $|J_z|$ が0ないし $1/2$ の時、

$z$ 軸に垂直な $xy$ 面内で磁化されることとなる。ここで、主軸にそって磁化された状態を安定化することで磁化はより長時間保持されることになるので、それぞれの希土類金属イオンに対し適切な結晶場を提案し、それに沿った錯体を合成することが第一の目的となる。

(2) このように合成された錯体について、交流磁化率の測定を基に磁気的な特性の評価をするのが二つ目の目的である。遅い磁化緩和が観測されるのは液体ヘリウム温度でミリ秒～秒程度と短時間であり、通常の磁気ヒステリシスを測定するのは難しい。そこで、0.01~10000 Hzの範囲で交流磁場を発生可能な装置を組み合わせ、交流磁場に対する動的な磁化挙動を測定することとした。

(3) 三つ目の目的として単分子磁石における磁化反転の機構の解明を目指した。希土類単分子磁石の磁化反転の機構として「トンネル緩和」が最も重要である。つまり、磁気量子数 $J_z$ が2以上異なる状態間を一度にジャンプするような状態変化が頻りに観測されている。このようなトンネル緩和の機構を理解することが、希土類単分子磁石の磁気特性を理解する上で最も重要性が高いためである。

## 3. 研究の方法

(1) 本研究は新規化合物群の探索を中心に展開した。研究開始時はTb(III)やDy(III)を中心とする希土類単分子磁石が知られていた。初めにTb(III)やDy(III)における磁化緩和の機構を考察し、その仮説をもとに重希土類のEr(III)やYb(III)錯体、さらに軽希土類のCe(III)やNd(III)錯体まで研究の対象を拡大し、それぞれについて単分子磁石として振る舞う錯体の設計、合成と磁気特性の解明を行った。

(2) 希土類錯体の特徴的な物性として特異な磁気特性とともに強発光性があげられる。強発光と単分子磁石特性の共存する錯体を合成し、発光をプローブとして磁気微細構造の観測を行った。

(3) 磁気特性の類似するCe(III)、Nd(III)、Tb(III)、Dy(III)錯体を対象に分子構造と磁気異方性の相関について詳細な解明を行った。これらの錯体は結晶学的に等価な構造を取りうる。全く同じ構造を持つ結晶場中においてCe(III)、Nd(III)、Tb(III)、Dy(III)イオンの振る舞いの違いを種々の条件下で検討を行い、角運動量の大小やパリティの違いが磁化反転の動的挙動とどのように相関するのかを考察した。またその過程において、磁化反転の温度依存性、バイアス磁場依存性をどのように評価すればよいかについて一連の手順を提案した。

## 4. 研究成果

(1) ① Tb(III)やDy(III)など従来から単分子磁石の合成に用いられていた金属イオンの電子雲形は $xy$ 平面に扁平に広がるoblate型と呼ばれるものであるのに対し、同じ重希土類

でも周期の後半に現れる Er(III)や Yb(III)は縦に伸長した prolate 型と呼ばれる形状を持つ。磁気異方性の発現はこのような電子雲形状と相関するであろうと仮説を立て、それをもとに Tb(III)錯体における単分子磁石挙動の発現と結晶場形状との関係について説明を試みた (発表論文⑩)。この考察をもとに、それまで報告が 1 例しかなかった Er(III)錯体 (発表論文⑮) や Yb(III)錯体 (発表論文⑩) を対象に分子設計を元にした単分子磁石の合成を行い、その磁気特性について解明を行った。

(1) ② Dy(III)錯体を対象に、当時としては 3 位に相当する高いエネルギー障壁を持つ Dy(III)-Zn(II)錯体を合成し、その磁化反転に際し複数の反転過程が共存することを見出した (発表論文⑫)。

(1) ③ 小さな軌道角運動量のため軽希土類金属イオンは単分子磁石の合成に不適と考えられてきた。適切な分子設計に基づく世界初の Ce(III)単分子磁石 (投稿論文⑥、⑦) を合成し、その磁気特性について詳細を解明した。

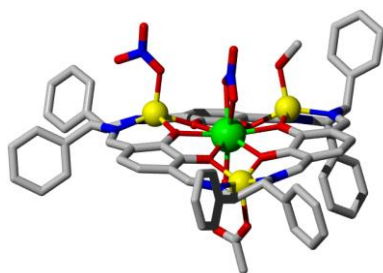


図 1 四核錯体 Er(III)Zn(II)<sub>3</sub> の結晶構造。緑：Er、黄：Zn、赤：O、青：N、灰：C

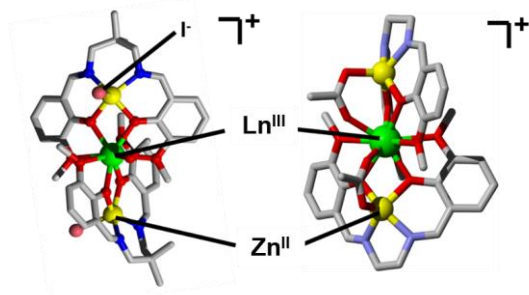


図 2 Ce(III)Zn(II)<sub>2</sub> (左)、Yb(III)Zn(II)<sub>2</sub> (右) 単分子磁石の結晶構造。

(1) ④ Tb(III)Cu(II)二核の単分子磁石を対象に中性子非弾性散乱法を適応し、錯体の電子構造と、磁化反転のエネルギー障壁の形成の様子を分光学的に観測することに成功した (投稿論文④、⑤)。

(2) 希土類錯体の特性として長寿命の強発光性があげられる。吸収スペクトルからは励起状態の情報が得られるのに対し、発光スペクトルからは基底状態の電子状態についての情報が得られるはずである。強発光と単分子

磁石特性が共存する Tb(III)-Zn(II)<sub>2</sub> 三核錯体を合成し、その発光特性と磁気特性の詳細を解明した。発光スペクトルには基底状態における電子状態の微細構造を反映した細かな分裂が観測されたので、これをもとに磁気挙動の詳細の説明を試み、発光をプローブとする磁気微細構造の観測に成功した (投稿論文⑧)。

(3) 軽希土類の Ce(III)、Nd(III)と重希土類の Tb(III)、Dy(III)には磁気特性の類似性がみられる。そこで Pr(III)や Sm(III)も含めた 6 種類の金属イオンについて結晶学的に等構造な錯体を合成し、その磁気特性について詳細を比較検討した。(投稿論文①、②)

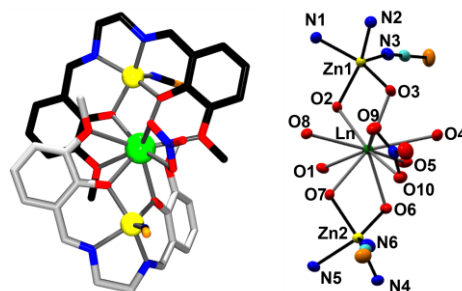


図 3 三核錯体 Ln(III)Zn(II)<sub>2</sub> の結晶構造。緑：Ln、黄：Zn、赤：O、青：N、灰、黒：C

これらの錯体は結晶学的に等構造であるため、金属イオンの置かれた結晶場の環境は等しい。そのため、それぞれの電子構造の違いが磁気特性の違いに反映されるはずである。それぞれの磁気特性の詳細を比較し、以下の結果を得た。

表 1 希土類金属イオンの電子構造と、単分子磁石特性発現の様子. SMM≡単分子磁石

Ln(III)	Oblate-type		Prolate-type		Oblate-type		Prolate-type						
	Ce	Pr	Nd (Pm)	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy					
Electronic term	<sup>2</sup> F <sub>5/2</sub>	<sup>3</sup> H <sub>5</sub>	<sup>4</sup> I <sub>9/2</sub>	-	<sup>6</sup> H <sub>5/2</sub>	<sup>7</sup> F <sub>0</sub>	<sup>8</sup> S <sub>7/2</sub>	<sup>7</sup> F <sub>6</sub>	<sup>6</sup> H <sub>15/2</sub>	<sup>9</sup> I <sub>8</sub>	<sup>4</sup> I <sub>15/2</sub>	<sup>3</sup> H <sub>8</sub>	<sup>2</sup> F <sub>7/2</sub>
J	5/2	5	9/2	-	5/2	0	7/2	6	15/2	8	15/2	6	7/2
field-induced SMM	field-induced SMM	field-induced SMM	field-induced SMM	field-induced SMM	field-induced SMM	field-induced SMM	field-induced SMM	SMM	field-induced SMM	field-induced SMM	field-induced SMM	field-induced SMM	SMM
ΔE/k <sub>B</sub>	35.7 K			38.5 K			41.2 K				133 K		
τ <sub>0</sub>	0.22 μs			0.21 μs			0.73 μs				0.031 μs		
(H <sub>max</sub> = 1000 Oe)				(H <sub>max</sub> = 1000 Oe)			(H <sub>max</sub> = 1000 Oe)				(H <sub>max</sub> = 0 Oe)		

a. oblate 型の Ce(III)、Nd(III)、Tb(III)、Dy(III) 錯体は単分子磁石となったが、prolate 型の Sm(III)では遅い磁化緩和が観測されなかった。これは、結晶場の異方性設計が oblate 型金属イオンに対して適切なものであることを示している。

b. 総角運動量 J の大きさを反映し、重希土類 Tb(III)、Dy(III)錯体の方が軽希土類 Ce(III)、Nd(III)錯体に比べて優れた磁気特性を示した。

c. Dy(III)錯体の方が Tb(III)錯体に比べて磁気特性に優れるが、これは全角運動量の偶奇性を反映しているものと考えられる。Dy(III)は J=15/2 で多重度が 16 と偶数であるが、Tb(III)

は  $J=6$  で多重度が 13 と奇数である。単分子磁石に見られるような双安定性を実現するためには、多重度が偶数の方がよい。

d. oblate 型であるにもかかわらず Pr(III)錯体は単分子磁石にならなかった。これは Ce(III)、Nd(III)錯体の  $J$  が  $5/2$ 、 $9/2$  と半整数なのに対し、Pr(III)錯体の  $J$  が 4 と整数であることが原因であると結論付けた。

e. 単分子磁石の磁化反転の機構として「トンネル過程」「直接過程」「熱的過程 (Orbach 過程)」「Raman 過程」の 4 つの過程の共存が提唱されている。それぞれの過程はバイアス磁場依存性、温度依存性が異なる。交流磁化率の外部磁場依存性、温度依存性について詳細な比較検討を行い、これらの 4 つの過程をどのように仮定して解釈するのが正しいかについて一連の手順を提唱した。

## 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 17 件) 全て査読あり

① C. Takehara, P.-L. Then, Y. Kataoka, M. Nakano, T. Yamamura, T. Kajiwara\*

“Slow magnetic relaxation of light lanthanide-based linear  $\text{LnZn}_2$  trinuclear complexes”  
*Dalton Trans.*, **2015**, *44*, 18276–18283. DOI: 10.1039/c5dt03148f

② P.-L. Then, C. Takehara, Y. Kataoka, M. Nakano, T. Yamamura, T. Kajiwara\*

“Structural switching from paramagnetic to single-molecule magnet behaviour of  $\text{LnZn}_2$  trinuclear complexes”  
*Dalton Trans.*, **2015**, *44*, 18038–18048. DOI: 10.1039/c5dt02965a

③ E. Goto, R. A. Begum, C. Ueno, A. Hosokawa, C. Yamamoto, K. Nakamae, B. Kure, T. Nakajima, T. Kajiwara, T. Tanase\*  
“Electron-Deficient  $\text{Pt}_2\text{M}_2\text{Pt}_2$  Hexanuclear Metal Strings (M = Pt, Pd) Supported by Triphosphine Ligands”

*Organometallics*, **2014**, *33*, 1893–1904. DOI: 10.1021/om401211d, Publication Date (Web): March 3, 2014

④ M. Kofu, T. Kajiwara, J. S. Gardner, G. G. Simeoni, M. Tyagi, A. Faraone, K. Nakajima, S. Ohira-Kawamura, M. Nakano, O. Yamamuro  
“Magnetic relaxations in a Tb-based single molecule magnet studied by quasielastic neutron scattering”

*Chemical Physics*, **2013**, *427*, 147–152. DOI: 10.1016/j.chemphys.2013.10.004

⑤ M. Kofu, O. Yamamuro, T. Kajiwara, Y. Yoshimura, M. Nakano, K. Nakajima, S. Ohira-Kawamura, T. Kikuchi, Y. Inamura

“Hyperfine structure of magnetic excitations in a Tb-based single-molecule magnet studied by high-resolution neutron spectroscopy”

*Phys. Rev. B*, **2013**, *88*, 064405. DOI:

10.1103/PhysRevB.88.064405

⑥ S. Hino, M. Maeda, Y. Kataoka, M. Nakano, T. Yamamura, T. Kajiwara

“An SMM behavior observed in Ce(III)Zn(II)<sub>2</sub> linear tri-nuclear complex”  
*Chem. Lett.*, **2013**, *42*, 1276–1278. DOI:10.1246/cl.130602.

⑦ S. Hino, M. Maeda, K. Yamashita, Y. Kataoka, M. Nakano, T. Yamamura, H. Nojiri, M. Kofu, O. Yamamuro, T. Kajiwara\*

“Linear Trinuclear Zn(II)–Ce(III)–Zn(II) Complex which Behaves as Single-molecule Magnet”

*Dalton Trans.*, **2013**, *42*, 2683–2686. DOI: 10.1039/c2dt32812g

⑧ K. Yamashita, R. Miyazaki, Y. Kataoka, T. Nakanishi, Y. Hasegawa,\* M. Nakano, T. Yamamura, T. Kajiwara\*

“Luminescent Single-molecule Magnet: Observation of Magnetic Anisotropy Using Emission as Probe”

*Dalton Trans.*, **2013**, *42*, 1987–1990. DOI: 10.1039/c2dt32785f,

⑨ T. Nakajima,\* K. Seto, F. Horikawa, I. Shimizu, A. Scheurer, B. Kure, T. Kajiwara, T. Tanase,\* Masahiro Mikuriya,

“Wheel-Shaped Icosanuclear Homo- and Heterometallic Complexes of Ni<sup>II</sup>, Co<sup>II</sup>, and Cu<sup>II</sup> Ions Supported by Unsymmetrical Aminoalcohol Ligands”

*Inorg. Chem.*, **2012**, *51*, 12503–12510. DOI: 10.1021/ic3019106

⑩ M. Maeda, S. Hino, K. Yamashita, Y. Kataoka, M. Nakano, T. Yamamura, T. Kajiwara\*

“Correlation between slow magnetic relaxation and coordination structures of family of linear trinuclear Zn(II)-Ln(III)-Zn(II) complexes (Ln = Tb, Dy, Ho, Er, Tm, and Yb)”

*Dalton Trans.* **2012**, *41*, 13640–13648. DOI: 10.1039/C2DT31399E

⑪ T. Kajiwara, R. Wagner, E. Bill, T. Weyhermüller, P. Chaudhuri\*

“Nonoxo 5-coordinate and 6-coordinate Vanadium(IV) Complexes with Their Precursor [LV<sup>III</sup>(CH<sub>3</sub>OH)]<sup>0</sup>, where L = A Trianionic Aminetris(phenolate)-[N,O,O,O] Donor Ligand. A Magnetostructural and EPR Study.”

*Dalton Trans.*, **2011**, *47*, 12719–12726. DOI: 10.1039/C1DT11277E

⑫ A. Watanabe, A. Yamashita, M. Nakano,\* T. Yamamura, T. Kajiwara\*

“Multi-Path Magnetic Relaxation of Mono-Dysprosium(III) Single-Molecule Magnet with Extremely High Barrier”

*Chem. Eur. J.*, **2011**, *17*, 7428–7432. DOI: 10.1002/chem.201003538

⑬ K. Katoh, K. Yamamoto, T. Kajiwara, J. Takeya, B. K. Breedlove, M. Yamashita

“Magnetic Properties of Lanthanoid(III) Phthalocyaninato Triple-Decker Complexes in an

External Magnetic Field and Electronic Transport Properties for Molecular Spintronics.”

*J. Phys. Conf. Ser.*, **2011**, *303*, 012035-012044  
DOI:10.1088/1742-6596/303/1/012035

⑭ H. Kim, Y. Sun, Y. Kim, T. Kajiwara, M. Yamashita,\* K. Kim\*

“Metal-organic frameworks with rare topologies: lonsdaleite-typed metal formates and their 1 magnetic properties”

*CrystEngComm*, **2011**, *13*, 2197-2200. DOI: 10.1039/C1CE05031A

⑮ A. Yamashita, A. Watanabe, S. Akine, T. Nabeshima,\* M. Nakano, T. Yamamura, T. Kajiwara\*

“Wheel-shaped  $\text{Er}^{\text{III}}\text{Zn}^{\text{II}}_3$  Single-Molecule Magnet: A Macrocyclic Approach to Designing Magnetic Anisotropy”

*Angew. Chem. Int. Ed.*, **2011**, *50*, 4016-4019. DOI: 10.1002/anie.201008180

⑯ T. Kajiwara,\* M. Nakano,\* K. Takahashi, S. Takaishi, M. Yamashita

“Structural Design of Easy-axis Magnetic Anisotropy and Determination of Anisotropic Parameters of Ln(III)-Cu(II) Single-Molecule Magnets.”

*Chem. Eur. J.*, **2011**, *17*, 196-205. DOI: 10.1002/chem.201002434

⑰ K. Katoh,\* T. Kajiwara, M. Nakano, Y. Nakazawa, W. Wernsdorfer, N. Ishikawa, B. K. Breedlove, M. Yamashita\*

“Magnetic Relaxation of Single-Molecule Magnets in an External Magnetic Field: An Ising Dimer of a Terbium(III)-Phthalocyaninate Triple-Decker Complex”

*Chem. Eur. J.*, **2011**, *17*, 117-122. DOI: 10.1002/chem.201002026

[学会発表] (計 3 1 件)

① 梶原孝志 「擬似的な三回対称を持つ直線状 Zn(II)-Ln(III)-Zn(II)三核錯体の合成と SMM 特性 (Ln = Tb, Dy)」, 日本化学会第 96 春季年会、2016/03/27、同志社大学 (京都)

② 梶原孝志 「点群  $D_3$  の対称性を持つ Ln(III) 単核錯体における遅い磁化緩和の発見」、日本化学会第 96 春季年会、2016/03/26、同志社大学 (京都)

③ 梶原孝志 「Syntheses and SMM behaviors of lanthanide(III) azacrown-ether complexes; correlation between magnetic behaviors and crystal structures」、The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2015、2015/12/17、Honolulu (USA)

④ 梶原孝志 「Syntheses and SMM behaviors of

linear  $\text{Zn}^{\text{II}} - \text{Ln}^{\text{III}} - \text{Zn}^{\text{II}}$  trinuclear complexes with pseudo threefold symmetry (Ln = Pr, Nd)」, The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2015、2015/12/17、Honolulu (USA)

⑤ 梶原孝志 「SMM behaviors of isostructural Zn(II)-Ln(III)-Zn(II) tri-nuclear complexes (Ln = Ce, Nd, Tb, and Dy)」, The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2015、2015/12/17、Honolulu (USA)

⑥ 梶原孝志 「Ln(III) azacrown-ether 錯体の合成と単分子磁石特性; 磁気特性と結晶構造の相関」、日本化学会第 95 春季年会、日本大学 (船橋)

⑦ 梶原孝志 「擬似的な三回対称を持つ直線状 Zn(II)-Ln(III)-Zn(II) 三核錯体の合成と SMM 特性 (Ln = Pr, Nd)」, 日本化学会第 95 春季年会、2015/03/26、日本大学 (船橋)

⑧ 梶原孝志 「軽希土類単分子磁石の合成と磁気特性の比較」、錯体化学会第 64 回討論会、2014/09/19、中央大学 (東京)

⑨ 梶原孝志 「Syntheses and SMM Behaviours of Linear Zn(II)-Dy(III)-Zn(II) Trinuclear Complexes」、41st International Conference on Coordination Chemistry、2014/07/22、Singapore (Singapore)

⑩ 梶原孝志 「Syntheses and Magnetic Properties of Cerium(III)-SMMs」、41st International Conference on Coordination Chemistry、2014/07/22、Singapore (Singapore)

⑪ 梶原孝志 「Syntheses and SMM Behaviors of Ln(III) Crown-ether Complexes」、41st International Conference on Coordination Chemistry、2014/07/22、Singapore (Singapore)

⑫ 梶原孝志 「Ce(III) crown-ether 錯体の合成と SMM 特性」、日本化学会第 94 春季年会、2014/03/28、名古屋大学 (名古屋)

⑬ 梶原孝志 「Ln(III) crown-ether 錯体の合成と SMM 特性」、日本化学会第 94 春季年会、2014/03/28、名古屋大学 (名古屋)

⑭ 梶原孝志 「Syntheses and SMM Behaviours

of Linear Zn(II)-Dy(III)-Zn(II) Trinuclear Complexes」、The 2nd Japan-France Coordination Chemistry Symposium 2013、2013/11/26、Nara (Japan)

⑮ 梶原孝志「Syntheses and magnetic properties of Ce(III)-SMMs」、The 2nd Japan-France Coordination Chemistry Symposium 2013、2013/11/26、Nara (Japan)

⑯ 梶原孝志「直線状 Zn(II)-Dy(III)-Zn(II)三核錯体の合成と SMM 特性の比較」、錯体化学会第 63 回討論会、2013/11/03、琉球大学 (那覇)

⑰ 梶原孝志「Ce(III)単分子磁石の合成と磁気特性の詳細」、錯体化学会第 63 回討論会、2013/11/02、琉球大学 (那覇)

⑱ 梶原孝志「単分子磁石 Zn(II)-Dy(III)-Zn(II)直線状三核錯体における非常に遅い磁化緩和」、錯体化学会第 63 回討論会、2013/11/02、琉球大学 (那覇)

⑲ 梶原孝志「中性子散乱による希土類単分子磁石のスピンダイナミクスの研究 III」、日本物理学会 第 68 回年次大会、2013/03/29、広島大学 (東広島)

⑳ 梶原孝志「直線状 Zn(II)-Ce(III)-Zn(II)三核錯体の合成、構造と SMM 挙動の発現」、日本化学会第 93 春季年会、2013/03/24、立命館大学 (草津)

㉑ 梶原孝志「直線状 Zn(II)-Ln(III)-Zn(II)三核骨格を基盤とする単分子磁石合成の軽希土類への展開」、第 62 回錯体化学討論会、2012/09/23、富山大学 (富山)

㉒ 梶原孝志「直線状 Zn(II)-Tb(III)-Zn(II)三核錯体の磁気特性の詳細の解明」、第 62 回錯体化学討論会、2012/09/21、富山大学 (富山)

㉓ 梶原孝志「Molecular Design of Zn(II)<sub>n</sub>-Ln(III) Multinuclear Complexes and Their Luminescence Properties」、40th International Conference on Coordination Chemistry、2012/09/09、Valencia (Spain)

㉔ 梶原孝志「Single-Molecule-Magnet behaviors of linear Zn(II)-Ln(III)-Zn(II)

complexes」、40th International Conference on Coordination Chemistry、2012/09/09、Valencia (Spain)

㉕ 梶原孝志「LnZn, LnZn<sub>2</sub>, and LnZn<sub>3</sub> Complexes as Single-Molecule Magnets」、40th International Conference on Coordination Chemistry、2012/09/09、Valencia (Spain)

㉖ 梶原孝志「Structural Control of the Magnetic Anisotropy of Lanthanide-based SMMs」、62nd Fujihara Seminar、The Fujihara Foundation of Science、2012/05/08、Sendai (Japan)

㉗ 梶原孝志「発光特性と SMM 挙動の共存する直線状 Zn(II)-Tb(III)-Zn(II)三核錯体」、第 92 日本化学会春季年会、2012/03/27、慶応大学 (横浜)

㉘ 梶原孝志「直線状 YbZn<sub>2</sub>、ホイール状 YbZn<sub>3</sub> 多核錯体における磁気異方性と遅い磁化緩和」、第 92 日本化学会春季年会、2012/03/27、慶応大学 (横浜)

㉙ 梶原孝志「ホイール状 LnZn<sub>3</sub> 四核錯体における単分子磁石特性発現の希土類金属依存性」、錯体化学会第 61 回討論会、2011/09/18、岡山理科大学 (岡山)

㉚ 梶原孝志「Dy(III)-Zn(II)二核錯体において Zn(II)上の軸配位子が SMM 挙動に及ぼす効果」、錯体化学会第 61 回討論会、2011/09/18、岡山理科大学 (岡山)

㉛ 梶原孝志「直線状 Zn(II)-Ln(III)-Zn(II)三核錯体における SMM 挙動と磁気異方性の定量化」、錯体化学会第 61 回討論会、2011/09/18、岡山理科大学 (岡山)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

梶原 孝志 (KAJIWARA, Takashi)  
奈良女子大学・自然科学系・教授  
研究者番号 80272003

### (2) 研究分担者

片岡 悠美子 (KATAOKA, Yumiko)  
奈良女子大学・自然科学系・助教  
研究者番号 00532194