

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 19 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26410064

研究課題名(和文) 超分子ローターによる金属錯体の相転移制御

研究課題名(英文) Tuning phase transitions of bistable metal complexes with supramolecular rotators

研究代表者

星野 哲久 (Hoshino, Norihisa)

東北大学・多元物質科学研究所・助教

研究者番号：30551973

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではスピントスオーバーや電荷移動スピン転移を、球状骨格をもつ固体分子ローターの回転運動によって制御することを目的として研究を行い、以下の成果を得た。(a) モデル錯体として、シンプルな単核錯体にローター配位子(キヌクリジンおよびその誘導体)が直接配位した錯体を合成し、およびその固体内分子運動の励起・緩和挙動について詳細な検討を行った。(b) モデル錯体(a)の検討で用いた合成法を応用して原子価互変位性を示すコバルト錯体に対してローター配位子(キヌクリジン)を導入し、結晶構造解析により常温でローターが回転運動していることを確認した。低温相の構造については引きつづき検討中である。

研究成果の概要(英文)：We herein report following results with the aim of establishing a new method to tune phase transition behaviors of bistable molecules such as spin crossover complexes and electron transfer induced spin state transitions using rotational motions of the molecule in the solid. a) Mononuclear complexes, coordinated by globular ligands such as quinuclidine derivatives directly as solid state rotators, were prepared as the model complexes. Rotational motions in the crystal were studied by means of single crystal X-ray analyses in detail. b) A valence tautomer of cobalt complex coordinated by quinuclidine rotator ligands was prepared. At the room temperature, cobalt ion was determined to be divalent high-spin state and two quinuclidine ligands were rotating. Phase transition properties were now under the investigation.

研究分野：錯体化学・分子磁性・分子科学

キーワード：固体内分子運動 原子価互変位性

1. 研究開始当初の背景

金属錯体はスピンクロスオーバー (SCO) や電荷移動誘起スピン転移 (ETCST) などの相転移により、電子状態が変化して色や磁性が大きく変化する。これまで光や温度変化に応答する様々な機能性錯体が報告されており、表示デバイスや記録素子への応用が期待されている。

これらの錯体結晶中では、金属イオンの電子状態と結晶中の格子振動が強くカップリングしていることが知られており、比熱測定やラマン散乱等によって研究されているものの、いまだ未解明な部分が数多く残されていた。SCO や ETCST 錯体の設計指針が確立しつつある現在において、結晶格子振動の制御を介した相転移挙動の制御は、次なる重要なステップの一つである。

申請者の研究グループでは以前より固体内回転運動の制御による機能発現について研究を行っており、特に超分子ローターの flip-flop 運動に起因する強誘電性の発現や (Akutagawa et al. *Nature Mater.* **2009**, *8*, 342)、分子ローターを単分子磁石に導入することで磁気緩和と電気分極の両方が凍結する錯体 (Hoshino et al. *Dalton Trans.* **2013**, *42*, 4231) を見出している。これらの研究をベースとして、SCO・ETCST 錯体の結晶内に分子ローターを組み込み、回転運動による結晶格子振動・相転移挙動・スピン状態の制御に関する研究を着想した。

2. 研究の目的

本研究では分子ローターを SCO/ETCST 錯体に導入することによって、その回転運動と SCO/ETCST 反応がカップリングした金属錯体結晶を合成することを目的として研究を行った。

3. 研究の方法

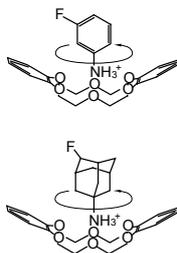
(1) SCO・ETCST 錯体に分子ローター対イオンを導入し、分子ローターのサイズを調節することで、order-disorder 転移と金属錯体のスピン転移をカップリングさせる。

(2) 分子ローターに大きな電気双極子を付与し、電場誘起相転移を目指すと同時に、(反)強誘電-常誘電転移と金属錯体の相転移をカップリングさせる。

以上の方法によって、新しい SCO/ETCST 相転移挙動のコントロール手法を開発することを目的として研究を行った。

4. 研究成果

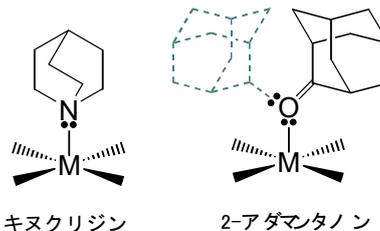
始めに、右図に示す超分子ローターを既報の SCO 錯体に導入する研究を行った。種々の SCO 錯体に対してカウンターイオン交換反応を試みたものの、概して結晶性が低く目的の錯体を得ることができなかった。次に球状で固体内回転運動



することが知られているキヌクリジニウムカチオン等とイオン性 SCO 錯体の組み合わせについてもスクリーニングを行ったものの、目的物を得ることは出来なかった。

本研究においてスクリーニングを行った限りにおいては、柔粘性結晶をつくる球状分子を金属錯体のカウンターイオンとして用いた場合、概して結晶性が芳しくない傾向がみられた。そこで計画を変更して、まず始めに (1) 金属錯体に対する分子ローター配位子の導入方法を確立し、(2) その設計指針を用いて SCO/ETCST 錯体の合成を行うこととし、その回転運動と相転移挙動について検討を行うこととした。

(1) 金属錯体に対する分子ローター配位子導入法の確立：固体内で回転運動を励起する配位子の設計として、特に回転運動に対して重心が変化しない配座を持つことを重視した。例えば以下の例において、キヌクリジンは配位子結合まわりの回転において重心が不変であるのに対し、2-アダマンタノンは分子ローター配位子として不適であるといえる。

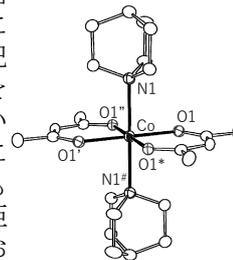


本研究ではキヌクリジン (以下 abco と呼称) とその誘導体の錯体を合成し、その回転運動について検討を行った。

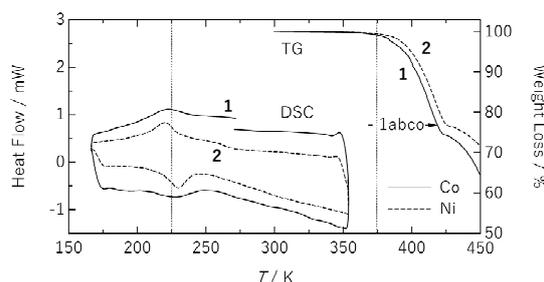
• $[M(abco)_2(acac)_2]$ (**1**; $M = Co^{2+}$, **2**; Ni^{2+})

アセチルアセトナト錯

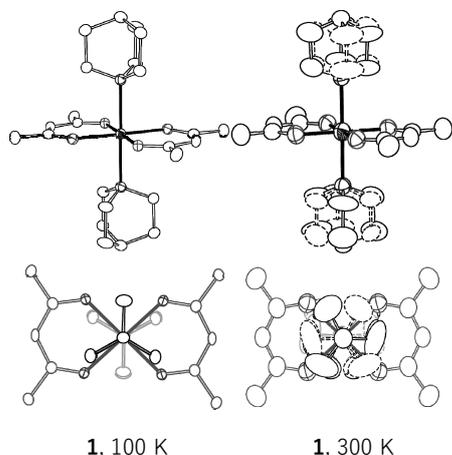
体との反応により、軸位に 2 つのキヌクリジンが配位した錯体 **1**, **2** の結晶を得た (**1**; 右図)。 **1**, **2** いずれもアキシアル方向に大きく伸張した構造をもち、100 K での配位結合距離はそれぞれ 2.322(3) および 2.273(3) Å である。



この錯体の TG および DSC 測定より (下図)、 **1**, **2** それぞれ 375 K まで空气中で安定であること、低温の 225 K 付近において共に可逆な状態変化を示すことが示された。

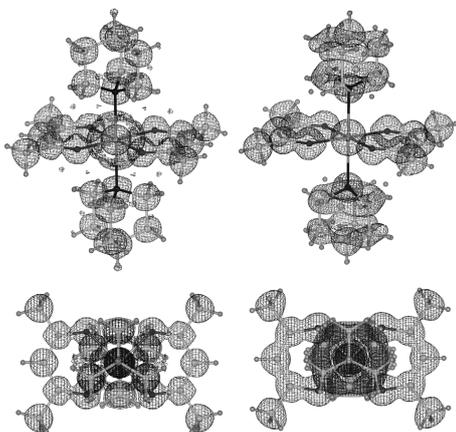


225 K 付近の状態変化について、単結晶構造解析および温度可変粉末X線を用いて詳細な検討を行った結果、この変化が分子ローター配位子の回転励起によるものであることが判明した。以下は同一結晶の単結晶構造解析を 100 K, 300 K において行った結果である。



100 K ではキヌクリジン部位に全くディスオーダーが見られないのに対して、300 K では配位結合軸に対して 180 度回転のディスオーダーが観測され、また温度因子の大きな伸張が見られた。

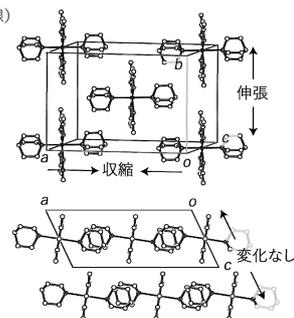
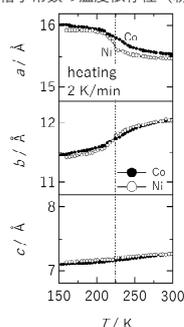
また電子密度マップ (F_o -map, isosurface = $0.75 \text{ e}/\text{\AA}^3$) を以下に示す。300 K において分子ローター部の電子はドーナツ状に分布しており、配位結合軸に対してローターの配向がランダムであることが判明した。この構造解析結果は 300 K において分子ローター部が回転していることを強く示唆している。



左 : 100 K, 右 : 300 K, $0.75 \text{ e}/\text{\AA}^3$

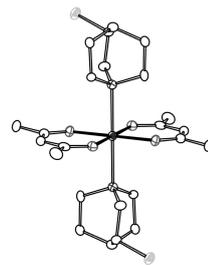
さらに粉末X線散乱実験より格子常数の温度依存性について調べたところ、225 K を境に b 軸方向への大きな伸張と、 a 軸方向への収縮が観測された。この単位格子の膨脹・収縮は、ローター部位の回転方向に対して互いに間隙をつくるように作用している。225 K 以上でローターの回転運動が励起されたため、ローター間の間隙が広がったと考えられる (図右上)。

格子常数の温度依存性 (粉末 X 線)



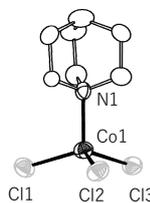
• $[\text{M}(\text{3-Cl-abco})_2(\text{acac})_2]$ (**3**; $\text{M} = \text{Co}^{2+}$, **4**; Ni^{2+})

キヌクリジン分子は配位結合軸に対して 3 回対称性を持ち非極性であるため、誘電率測定等でその回転運動を観測することが不可能である。そこで対称性が低く極性のある配位子 3-Cl-abco を用いて同様の錯体 (右図) を合成したが、回転運動は全く励起されなかった。単結晶構造解析の結果より、隣接分子間における Cl 原子同士の間隔が大きいこと、回転運動の活性化障壁が高く、熱的に励起されないものと考えられる。

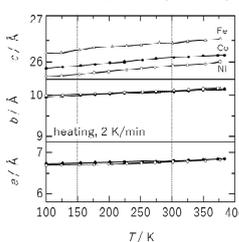


• $(\text{Habc})[\text{M}(\text{abco})\text{Cl}_3]$ (**5**; $\text{M} = \text{Fe}^{2+}$, **6**; Co^{2+} , **7**; Ni^{2+})

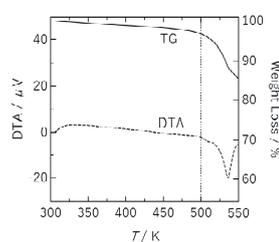
四面体型 4 配位構造をもつ分子ローター錯体として、右図に示すような錯体 **5**, **6**, **7** を合成した。M-N (rotor) 間の配位結合距離は、100 K においてそれぞれ 2.123(7), 2.072(9), 2.018(4) Å であった。これは 6 配位錯体 **1-4** と比較して (2.3 Å 前後) 明らかに短い値である。この錯体において、常温での単結晶構造解析に加えて、熱測定および粉末 X 線散乱による格子常数の変化を測定したところ、いずれにおいても回転運動の励起を示唆する変化は観測されなかった。



格子常数の温度依存性 (粉末 X 線)

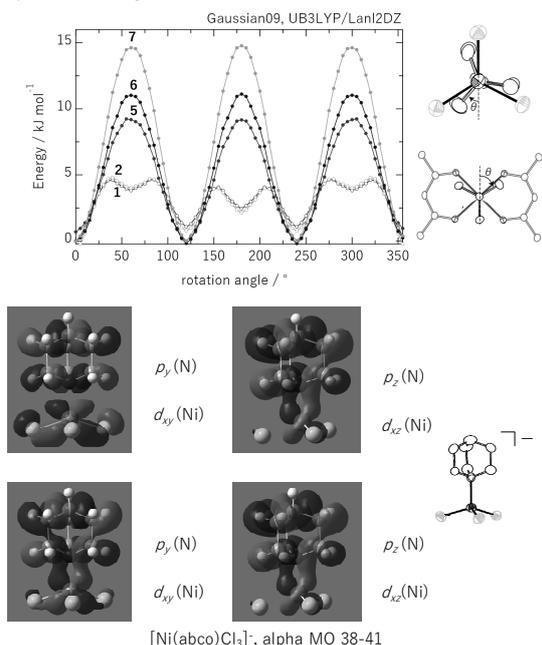


TG-DTA

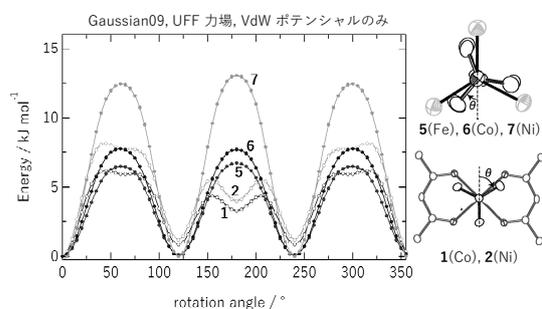


以上の結果より、錯体 **1, 2** のみが分子ローターの回転運動を発現し、**3-7** はいずれも回転運動の励起が起こらないことが明らかとなった。単一分子のみを考慮して回転運動に対するポテンシャルエネルギー計算を行ったところ、**1, 2** に対して **5, 6, 7** は倍以上の活性化障壁を示した。また 6 配位錯体では配位結

合において π 相互作用がほとんど観測されなかったのに対し、4 配位錯体では N 原子の p 軌道と金属イオンの d_{xy}, d_{zx} 間に大きな重なりが観測された。



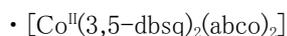
さらに d 軌道の寄与を無視した分子力場計算を行うと、分子 7 を除いて、と 6 配位錯体 (1, 2) と 4 配位錯体 (4-6) の活性化障壁は同程度となった。この結果は X 線散乱実験や熱測定と合致せず、4 配位錯体において配位結合の π 相互作用がローターの回転運動に影響していることを示唆している。



以上の検討により、金属イオンに対してキヌクリジンのような球状配位子を反応させることで、結晶内で回転運動する分子ローターが直接配位した金属錯体を得ることが示された。

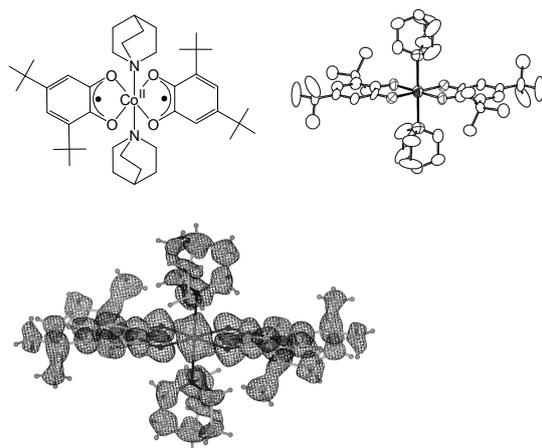
(2) SCO/ETCST 錯体の合成

上記の検討で得られた設計指針をもとに、SCO の一種である原子価互変位性 (VT) 錯体への応用について検討を行った。



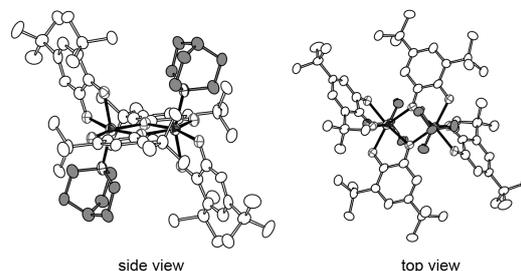
代表的な VT 錯体であるコバルトの 3,5-dbsq⁻ 錯体 (dbsq = dibutylsemiquinone) に配位子 abco を導入することで、以下に示す構造をもつ錯体を得た。この錯体は (1) で検討した abco 錯体とほぼ同様な構造をもつ。常温での単結晶構造解析より、コバルトの酸

化数は 2 価であり配位子はセミキノンであることが示唆された。また電子密度マップには不完全ながらドーナツ状の電子分布が観測され、分子ローターは常温で回転しているものと思われる。この結晶をゆっくりと低温まで冷却したところ、X 線散乱強度が急激に減少して構造解析を行うことは出来なかった。残念ながら研究期間中に物性測定可能な純度をもつサンプルを得ることが出来なかったが、VT 錯体はコバルトイオンの価数に応じて軸方向の配位結合距離が大きく変化することが知られている。そのため回転運動の活性化障壁が連動して大きく変化し、結果として回転運動と原子価互変位性が強く結びついた挙動を示すことが期待される。



[Co^{II}(3,5-dbsq)₂(abco)₂] の構造、ORTEP 図と電子密度マップ (F_o -map, 1.0 e/Å³)

また、2 つの分子ローターが 2 つのコバルトイオンに配位した多核錯体 [Co^{II}₂(μ_3 -O)₂(3,5-dbsq)₂] (下図、3,5-dbsq = 3,5-dibutyl-quinone) なども得られており、これらの錯体について、電子移動反応と回転運動の関連を今後も継続して検討を行う予定である。



5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 28 件)

- ① Sato, M.; Takeda, T.; Hoshino, N.; Akutagawa, T., Electronic and crystal structures of 1,2,3-triazolefused *p*-benzoquinone derivatives. *Crystengcomm* **2017**, *19*(6), 910-917. DOI:10.1039/c6ce02167k 査読有
- ② Kanetou, T.; Tsunashima, R.; Hoshino, N.; Akutagawa, T., Solid-state structure and electronic states of hydrogen-bonded dimer of

- pyridyl-substituted tetrathiafulvalene salted with PF₆⁻. *RSC Advances* **2017**, *7*(11), 6236–6241. DOI: 10.1039/c6ra27814k 査読有
- ③ Nishi, M.; Ikeda, M.; Kanda, A.; Hanasaki, N.; Hoshino, N.; Akutagawa, T.; Matsuda, M., A giant negative magnetoresistance effect in an iron tetrabenzoporphyrin complex. *Dalton Transactions* **2016**, *45*(42), 16604–16609. DOI: 10.1039/c6dt01911k 査読有
- ④ Sekine, Y.; Yokoyama, T.; Hoshino, N.; Ishizaki, M.; Kanaizuka, K.; Akutagawa, T.; Haga, M.-A.; Miyasaka, H., Stepwise fabrication of donor/acceptor thin films with a charge-transfer molecular wire motif. *Chemical Communications* **2016**, *52*(97), 13983–13986. DOI: 10.1039/c6cc08310b 査読有
- ⑤ Newton, G. N.; Hoshino, N.; Matsumoto, T.; Shiga, T.; Nakano, M.; Nojiri, H.; Wernsdorfer, W.; Furukawa, Y.; Oshio, H., Studies on the Magnetic Ground State of a Spin Möbius Strip. *Chemistry – A European Journal* **2016**, *22*(40), 14205–14212. DOI: 10.1002/chem.201602439 査読有
- ⑥ Cai, Z.-S.; Uchikawa, S.; Hoshino, N.; Takeda, T.; Zheng, L.-M.; Noro, S.; Nakamura, T.; Akutagawa, T., Successive Phase Transition, Dielectric Ordering, and Liquid Crystalline Behavior of Simple (Laurylammonium)(Phenyl Phosphates) Salts. *Journal of Physical Chemistry B* **2016**, *120*(27), 6761–6770. DOI: 10.1021/acs.jpcc.6b02213 査読有
- ⑦ Aoyagi, S.; Tokumitsu, A.; Sugimoto, K.; Okada, H.; Hoshino, N.; Akutagawa, T., Tunneling Motion and Antiferroelectric Ordering of Lithium Cations Trapped inside Carbon Cages. *Journal of the Physical Society of Japan* **2016**, *85*(9). DOI: 10.7566/JPSJ.85.094605 査読有
- ⑧ Takahashi, K.; Hoshino, N.; Takeda, T.; Satomi, K.; Suzuki, Y.; Noro, S.; Nakamura, T.; Kawamata, J.; Akutagawa, T., The crystal design of polar one-dimensional hydrogen-bonded copper coordination complexes. *Dalton Transactions* **2016**, *45*(8), 3398–3406. DOI: 10.1039/c5dt04865f 査読有
- ⑨ Funada, A.; Uchikawa, S.; Hoshino, N.; Takeda, T.; Akutagawa, T., Conformational Transformations of (C₁₂H₂₅NH₃⁺) (Pyridine sulfonate) in the Solid State. *Chemistry – An Asian Journal* **2016**, *11*(6), 915–925. DOI: 10.1002/asia.201501442 査読有
- ⑩ Nakane, Y.; Takeda, T.; Hoshino, N.; Sakai, K.; Akutagawa, T., Cation–Anion Dual Sensing of a Fluorescent Quinoxalinone Derivative Using Lactam–Lactim Tautomerism. *Journal of Physical Chemistry A* **2015**, *119*(24), 6223–6231. DOI: 10.1021/acs.jpca.5b02850 査読有
- ⑪ Ichikawa, J.; Hoshino, N.; Takeda, T.; Akutagawa, T., Collective In–Plane Molecular Rotator Based on Dibromiodomesitylene pi–Stacks. *Journal of the American Chemical Society* **2015**, *137*(40), 13155–13160. DOI: 10.1021/jacs.5b08215 査読有
- ⑫ Takahashi, K.; Hoshino, N.; Takeda, T.; Noro, S.; Nakamura, T.; Takeda, S.; Akutagawa, T., Structural Flexibilities and Gas Adsorption Properties of One–Dimensional Copper(II) Polymers with Paddle–Wheel Units by Modification of Benzoate Ligands. *Inorganic Chemistry* **2015**, *54*(19), 9423–9431. DOI: 10.1021/acs.inorgchem.5b01168 査読有
- ⑬ Zhang, Q.-C.; Takeda, T.; Hoshino, N.; Noro, S.; Nakamura, T.; Akutagawa, T., Liquid Crystalline Phase Induced by Molecular Rotator and Dipole Fluctuation. *Crystal Growth & Design* **2015**, *15*(12), 5705–5711. DOI: 10.1021/acs.cgd.5b00695 査読有
- ⑭ Anetai, H.; Wada, Y.; Takeda, T.; Hoshino, N.; Yamamoto, S.; Mitsuishi, M.; Takenobu, T.; Akutagawa, T., Fluorescent Ferroelectrics of Hydrogen–Bonded Pyrene Derivatives. *Journal of Physical Chemistry Letters* **2015**, *6*(10), 1813–1818. DOI: 10.1021/acs.jpcclett.5b00703 査読有
- ⑮ Yoshii, Y.; Sakai, K.; Hoshino, N.; Takeda, T.; Noro, S.; Nakamura, T.; Akutagawa, T., Crystal-to-crystal structural transformation of hydrogen-bonding molecular crystals of (imidazolium)(3-hydroxy-2-quinoxalinecarboxylate) through H₂O adsorption-desorption. *Crystengcomm* **2015**, *17*(31), 5962–5969. DOI: 10.1039/c4ce02519a 査読有
- ⑯ Yoshii, Y.; Hoshino, N.; Takeda, T.; Akutagawa, T., Protonic Conductivity and Hydrogen Bonds in (Haloanilinium)(H₂PO₄) Crystals. *Journal of Physical Chemistry C* **2015**, *119*(36), 20845–20854. DOI: 10.1021/acs.jpcc.5b06665 査読有
- ⑰ Nishi, M.; Matsuda, M.; Hoshino, N.; Akutagawa, T., Crystal structure of bis(tetraphenylphosphonium) bis(cyano-κ C)-(29H,31H-tetrabenzo[β, γ, λ, θ] porphinato-κ N-4(29), N-30, N-31, N-32)ferrate(II) acetone disolvate. *Acta Crystallographica Section E - Crystallographic Communications* **2015**, *71*, M48. DOI: 10.1107/S2056989015001735 査読有
- ⑱ Nishi, M.; Matsuda, M.; Hoshino, N.; Akutagawa, T., Comparison of Structural and Electrical Characteristics between Tetrabenzoporphyrin- and Phthalocyanine-based Charge-transfer Complexes. *Chemistry Letters* **2015**, *44*(3), 390–392. DOI: 10.1246/cl.141123 査読有
- ⑲ Endo, T.; Kubo, K.; Yoshitake, M.; Noro, S.;

- Hoshino, N.; Akutagawa, T.; Nakamura, T., Three-Dimensional Architectures of $[(\text{MnCr}^{\text{III}})-\text{Cr}^{\text{II}}(\text{oxalate})_3]^-$ Complexes with Cage-Type Networks Surrounding Supramolecular Cations. *Crystal Growth & Design* **2015**, *15* (3), 1186–1193. DOI: 10.1021/cg501560z 査読有
- ⑳ Kobayashi, T.; Nakane, Y.; Takeda, T.; Hoshino, N.; Kawai, H.; Akutagawa, T., Crystal Structures and Redox Responses Coupled with Ion Recognition of p-Benzoquinone- and Hydroquinone-Fused [18]crown-6. *Chemistry-an Asian Journal* **2015**, *10* (2), 390–396. DOI: 10.1002/asia.201403262 査読有
- ㉑ Endo, M.; Nakane, Y.; Takahashi, K.; Hoshino, N.; Takeda, T.; Noro, S.; Nakamura, T.; Akutagawa, T., Mesophases and Ionic Conductivities of Simple Organic Salts of $M(m\text{-iodobenzoate})$ ($M = \text{Li}^+, \text{Na}^+, \text{K}^+, \text{Rb}^+, \text{and Cs}^+$). *Journal of Physical Chemistry B* **2015**, *119* (4), 1768–1777. DOI: 10.1021/jp5112026 査読有
- ㉒ Yoshii, Y.; Hoshino, N.; Takeda, T.; Moritomo, H.; Kawamata, J.; Nakamura, T.; Akutagawa, T., The Formation of Organogels and Helical Nanofibers from Simple Organic Salts. *Chemistry - A European Journal* **2014**, *20* (49), 16279–16285. DOI: 10.1002/chem.201404043 査読有
- ㉓ Takahashi, K.; Hoshino, N.; Noro, S.; Nakamura, T.; Akutagawa, T., A Crystal Structures, Dielectric, and CO₂-Adsorption Properties of One-Dimensional $[\text{Cu}^{\text{II}}_2(\text{Adamantane-1-carboxylate})_4(\text{pyrazine})]_{\infty}$ Coordination Polymers with Polar Ligands. *Science of Advanced Materials* **2014**, *6* (7), 1417–1424. DOI: 10.1166/sam.2014.1831 査読有
- ㉔ Shishido, Y.; Anetai, H.; Takeda, T.; Hoshino, N.; Noro, S.; Nakamura, T.; Akutagawa, T., Molecular Assembly and Ferroelectric Response of Benzenecarboxamides Bearing Multiple-CONHC₁₄H₂₉ Chains. *Journal of Physical Chemistry C* **2014**, *118* (36), 21204–21214. DOI: 10.1039/c4dt00258j 査読有
- ㉕ Matsuda, M.; Nishi, M.; Koga, S.; Fujishima, M.; Hoshino, N.; Akutagawa, T.; Hasegawa, H., Novel Method for the Fabrication of a Charge-Transfer Complex Crystal by Photoirradiation. *Chemistry-a European Journal* **2014**, *20* (36), 11318–11321. DOI: 10.1002/chem.201402644 査読有
- ㉖ Shima, T.; Muraoka, T.; Hoshino, N.; Akutagawa, T.; Kobayashi, Y.; Kinbara, K., Thermally Driven Polymorphic Transition Prompting a Naked-Eye-Detectable Bending and Straightening Motion of Single Crystals. *Angewandte Chemie - International Edition* **2014**, *53* (28), 7173–7178. DOI: 10.1002/anie.201402560 査読有
- ㉗ Yang, X.-J.; Bao, S.-S.; Ren, M.; Hoshino, N.; Akutagawa, T.; Zheng, L.-M., Polar metal phosphonate containing unusual $\mu(4)\text{-OH}$ bridged double chains showing canted antiferromagnetism with large coercivity. *Chemical Communications* **2014**, *50* (30), 3979–3981. DOI: 10.1039/c3cc45976d 査読有
- ㉘ Takahashi, K.; Hoshino, N.; Takeda, T.; Noro, S.; Nakamura, T.; Takeda, S.; Akutagawa, T., Crystal structures, CO₂ adsorption, and dielectric properties of $[\text{Cu}^{\text{II}}_2(\text{R-benzoate})_4(\text{pyrazine})]_{\infty}$ polymers ($R = m\text{-F}, 2,3\text{-F}_2, m\text{-Cl}, \text{and } m\text{-CH}_3$). *Dalton Transactions* **2014**, *43* (24), 9081–9089. DOI: 10.1039/c4dt00258j 査読有
- [学会発表] (計 5 件)
- ① 星野哲久・芥川智行、酸化還元活性なトリフェニレン誘導体を配位子に持つ鉄三核錯体の合成、日本化学会第 97 春季年会、2017 年 3 月 9 日、慶應義塾大学(神奈川県・横浜市)
- ② 星野哲久、水素結合ネットワークをもつ有機強弾性結晶のプロトンダイナミクス、日本化学会中国四国大会、2016 年 11 月 3 日、香川大学(高知県高松市)
- ③ N. Hoshino, S. Uchikawa, T. Takeda, T. Akutagawa, Ferroelastic Domain Switching in Boric Acid Single Crystal, Melbourne-Tohoku Symposium on Advanced Materials, 2016 年 9 月 26 日、IMRAM, Tohoku Univ. (Sendai, Miyagi)
- ④ N. Hoshino, T. Akutagawa, Spin state of trinuclear Iron(III) complexes with triphenylene-based templates, Workshop for Young Investigators on Functional Molecular Materials and Molecular Related Magnetism (Rising Star Pre-ICMM), 2016 年 9 月 3 日、Institute of Material Research, Tohoku Univ. (Sendai, Miyagi)
- ⑤ 星野哲久・武田貴志・芥川智行、キヌクリジン型ローターが配位した金属錯体の合成と物性、第 64 錯体化学討論会、2014 年 9 月 19 日、中央大学後楽園キャンパス(東京都・文京区)

6. 研究組織

(1)研究代表者

星野 哲久 (HOSHINO, NORIHISA)
 東北大学・多元物質科学研究所・助教
 研究者番号：30551973

(3)連携研究者

芥川 智行 (AKUTAGAWA, TOMOYUKI)
 東北大学・多元物質科学研究所・教授
 研究者番号：60271631