

令和 3 年 8 月 18 日現在

機関番号：12102

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2016～2020

課題番号：16H06521

研究課題名(和文)アシンメトリック配位磁性化合物の創出

研究課題名(英文)Creation of Asymmetric Coordination Magnetic Compounds

研究代表者

所 裕子(Tokoro, Hiroko)

筑波大学・数理工質系・教授

研究者番号：50500534

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 27,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、種々の固体物性学のなかでも特に磁性学の観点からアシンメトリーに着目し、磁性配位化合物におけるアシンメトリーに由来する相関効果や物性現象を見出すことを目的とした。本研究期間において、キラル構造をもつ超イオン伝導強磁性金属錯体の開発、反転対称性の破れにもとづく第二高調波活性な磁性酸化物の開発、非対称性配列構造磁性体におけるテラヘルツ吸収、反転対称性の破れた構造体における相転移の理論予測、対称性の破れを伴う相転移ひずみの伝搬過程の観測、分子磁性体における非調和フォノンと磁気秩序の相関効果の観測、などを行い、アシンメトリーに由来する様々な相関効果や物性現象を報告した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で報告した、磁性化合物におけるアシンメトリーに由来した様々な相関効果や物性現象は、アシンメトリーとスピンや磁気秩序が種々の固体物性に及ぼす影響を具体的な物性現象として観測したものであり、固体科学分野における物性開発の研究に大きく貢献するものである。

研究成果の概要(英文)：In this work, we focused on asymmetry from the viewpoint of magnetism among various solid-state properties, and aimed to find the correlation effect and physical properties derived from asymmetry in magnetic coordination compounds. During this research period, we report various research results, i.e., a development of a superionic conductive ferromagnetic metal complex with a chiral structure, development of a magnetic oxide with second harmonic generation based on asymmetric crystal structure, observation of a terahertz absorption in an asymmetric structure of magnetic metal complex, theoretical prediction of phase transition in an asymmetric structure, observation of the propagation of phase transition accompanied by symmetry breaking, and observation of the correlation effect between unharmonic phonon and long-range magnetic ordering in a molecule-based magnet, etc.

研究分野：固体物性科学、物理化学

キーワード：固体物性 磁性 相転移

1. 研究開始当初の背景

集積型磁性金属錯体は、磁性金属イオンや有機配位子を適切に選択することにより目的に沿った物質設計が可能という特徴をもち、種々の先端的機能性をデモンストレーションする有力な物質群として注目されている。このような観点から、集積型磁性金属錯体に関する研究が世界中で盛んに行われており、例えば、零次元や一次元などの低次元磁性錯体は理論物理とのコラボレーションを通じて固体磁性学に多大な貢献をしてきた。また、光や圧力、電場などの外部刺激でスイッチング特性を示す刺激応答型磁性金属錯体は、世の中への新規物性の提供という観点から、固体物性や物理化学などの学術分野に限らず、産業界を含む応用分野にも大きなインパクトを与えている。

2. 研究の目的

本研究では、種々の固体物性学のなかでも特に磁性学の観点からアシンメトリーに着目し、配位構造や骨格がアシンメトリーを持つネットワーク構造体・金属錯体磁性材料を構築し、その結晶構造の決定や磁気測定を通してアシンメトリックな構造がスピンの及ぼす効果を検討し、アシンメトリック配位磁性化合物を創出することを目指した。また、そのアシンメトリー構造に由来する種々の物性に着目し、新規な機能性に関して探索を行うことを目的とした。

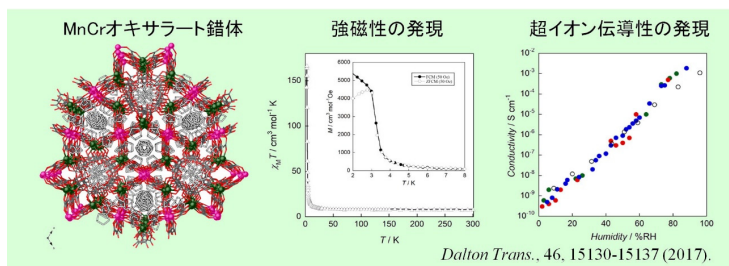
3. 研究の方法

本研究では、主に集積型磁性金属錯体に焦点をあて、スピン源となる磁性金属イオンや配位子を適切に選択して多様なネットワーク構造体を構築することにより、アシンメトリックな配位磁性化合物の開発を行った。また、本研究にて開発した配位磁性化合物はもちろん、金属酸化物など既存の配位磁性化合物も視野にいれ、アシンメトリー構造に由来する光学物性、磁気物性、電気物性などの物理物性に着目し、新規な機能性や相関効果の探索を行った。

4. 研究成果

本研究期間において、キラル構造をもつ超イオン伝導強磁性金属錯体の開発、反転対称性の破れにもとづく第二高調波活性な磁性酸化物の開発、第三高調波活性な磁性錯体の開発、非対称性配列構造磁性体におけるテラヘルツ吸収、反転対称性の破れた構造体における相転移の理論予測、対称性の破れを伴う相転移ひずみの伝搬過程の観測、分子磁性体における非調和フォノンと磁気秩序の相関効果の観測、などを行い、アシンメトリーに由来する様々な相関効果や物性現象を報告した。以下に、主な研究内容の詳細を記す。

キラリティと強磁性と伝導性が共存する物質：磁気物性と電気物性が共存するマルチ機能性物質にキラリティを付与した、新規な3次元ネットワーク構造体である MnCr オキサラート金属錯体強磁性体を開発した。この物質は、-Mn-ox-Cr-骨格内の空孔にイミダゾールカチオンや水を取り込んだ空間群 P6522 のキラルな結晶構造を有しており、Mn(S=5/2)と Cr(S=3/2)のスピンの強磁性相互作用が働き、温度 3 K 以下で自発磁化が生じるフェロ磁性体であった。今回新しく構築した温度湿度可変型の電気伝導度測定系を用いてこの物質のイオン伝導度を測定したところ、湿度 80%以上で $10^{-3} \text{ S cm}^{-1}$ 以上の超イオン伝導性が観測された。このように、キラリティと強磁性と伝導性が共存する、極めて特異な機能性を持つ物質を開発した。



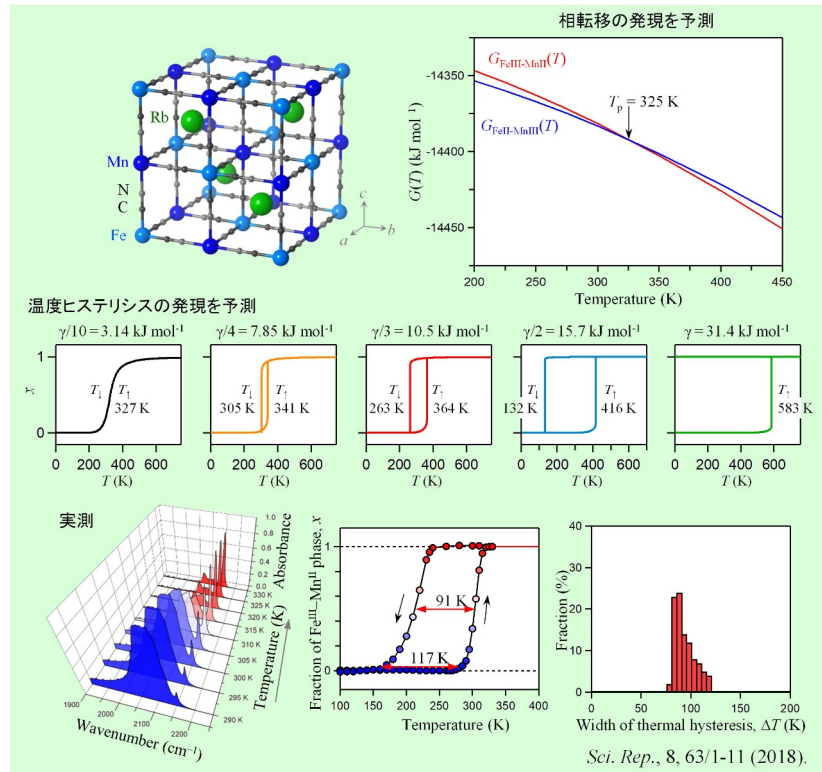
第三高調波発生：電荷移動相転移を示すルビジウム・マンガン・鉄シアノ錯体における特異な機能性として、第三高調波発生を観測した。高温相において入射光の波長を 1400, 1600, 1900 nm と変化させることにより、青・緑・赤色と異なる色彩の出射光としての第三高調波を観測した。また、高温相と低温相間の光電荷移動スイッチングに伴う第三高調波の強度スイッチングも観測した。本成果は、電荷移動型スイッチング材料における非線形光学効果の応用に道筋を与えた。

光電荷移動相転移のダイナミクス：電荷移動錯体強磁性体であるルビジウム・マンガン・鉄シアノ錯体を対象に、時間分解 X 線吸収微細構造分光測定、時間分解 X 線回折分光測定、時間分解赤外分光測定を行い、対称性の破れを伴う光誘起電荷移動相転移のダイナミクスを調べた。その結果、この物質で発現する Mn-Fe 間の光誘起金属間電荷移動がピコ秒オーダーで起こること、ま

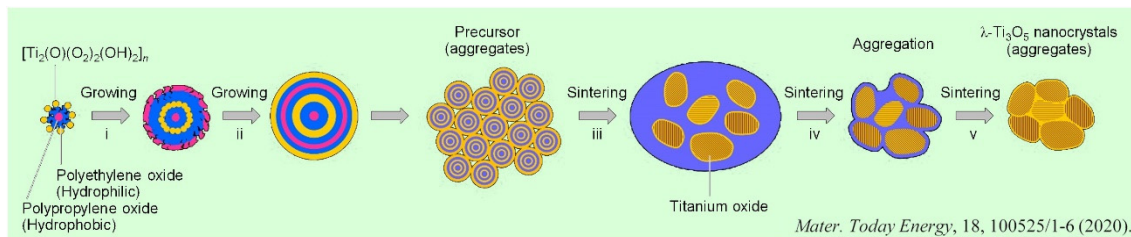
た、 $\text{Mn}^{\text{II}}\text{-Fe}^{\text{III}}$ 状態に光を照射して発現する光誘起電荷移動相 $\text{Mn}^{\text{III}}\text{-Fe}^{\text{II}}$ 状態の寿命が 200 – 300 K の温度領域では数マイクロオーダーであることを明らかにした。本結果は、電荷移動型スイッチングの起源の学術的探求に重要な知見を与えると同時に、スイッチング機構の応用展開を検討するうえで必要なスイッチング速度についての情報を得ることができた。

相転移の理論予測：固体物質において相転移現象が発現するか否かを、理論計算により予測可能であることを明らかにした。具体的には、ルビジウムの非対称な配置により反転対称性の破れが生じたルビジウム・マンガノ鉄シアノ錯体をモデル物質として、既知の結晶構造情報を初期値とし、第一原理フォノンモード計算を行い、電荷移動相転移が起こるかどうかを検討した。基準状態である $\text{Mn}^{\text{III}}\text{-Fe}^{\text{II}}$ 相と仮想的電荷移動相である $\text{Mn}^{\text{II}}\text{-Fe}^{\text{III}}$ 相についてギブスエネルギーの温度依存性を計算し比較すると、ある温度でエネルギー的な安定相が入れ替わり、相転移の発現が予測された。次いで、中間相 ($-\text{Fe}^{\text{II}}\text{-Mn}^{\text{III}}\text{-Fe}^{\text{III}}\text{-Mn}^{\text{II}}$ -相) を仮想し、このギブスエネルギーを使って相転移モデル計算

をすることで、温度ヒステリシスの発現が予測された。次に、実際に錯体を合成して実験を行い、ほぼ理論予測の温度で相転移が起こること、温度ヒステリシスが生じることを確認した。この相転移の理論予測アプローチは他の系にも適応可能なものであり、未だ発見されていない新しい相転移材料を発掘できる可能性を示唆したものである。

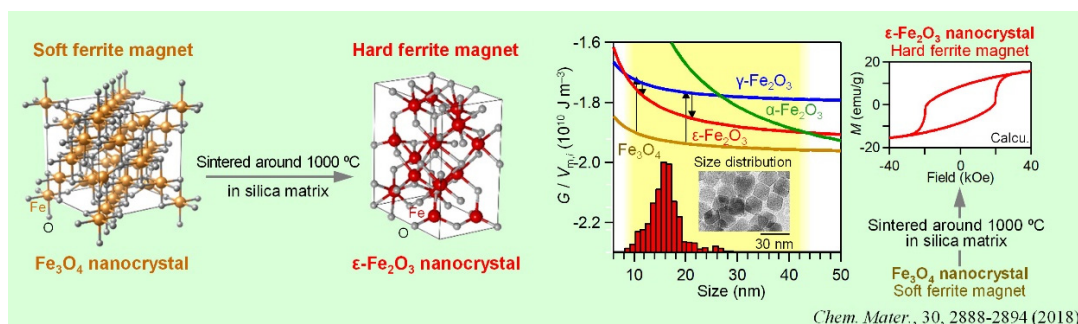


五酸化三チタンの新規合成法の開発：ラムダ型五酸化三チタン($\lambda\text{-Ti}_3\text{O}_5$)は、2010年にナノ微粒子として発見された比較的新しい物質で、光や圧力、熱などの外部刺激により、半導体相の $\beta\text{-Ti}_3\text{O}_5$ と可逆的な相転移を示し、蓄熱特性も併せ持つ。本研究では、この機能性制御が期待されている $\lambda\text{-Ti}_3\text{O}_5$ に対して、金属置換が可能となるような新規合成法の開発を行った。その結果、ブロックコポリマーを用いて粒成長を抑制する方法で、結晶子サイズ約 22 nm のナノ微粒子からなる凝集体を得、この合成した試料が圧力誘起相転移および蓄熱特性を示すことを確認した。この合成法により、今後、金属置換により特性を制御した $\lambda\text{-Ti}_3\text{O}_5$ の合成が可能になることが期待される。

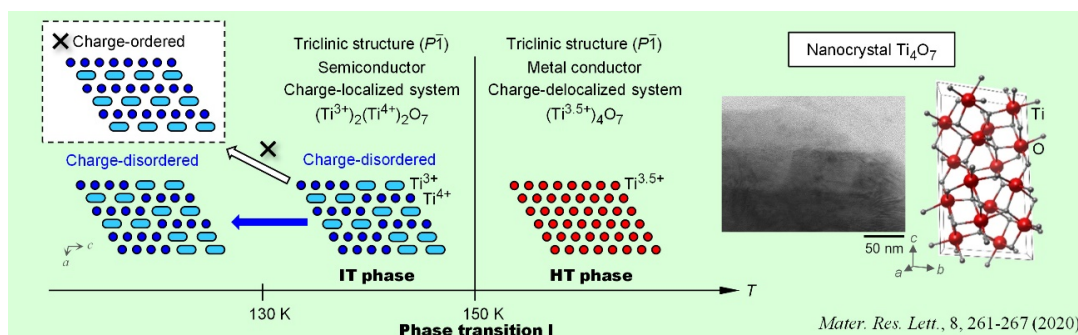


第二高調波活性な磁性酸化物の合成と異方的結晶成長のメカニズム解明：反転対称性の破れにより第二高調波活性なイプシロン酸化鉄($\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$)は、高密度磁気記録など次世代デバイスの観点から注目されている。本研究ではマグネタイト Fe_3O_4 から $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ へ湿式プロセスで直接的に変換する化学合成法を開発した。 Fe_3O_4 から $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ へ直接変換させる化学合成プロセスは、高機能なハードフェライト $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ の開発を加速させるものであった。一方、バリウムイオン存在下でロッド型に結晶成長する $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ において、焼成温度が異方的結晶成長プロセスに及ぼす影響や、異方的結晶成長のメカニズムの解明を行った。875 – 1000 °C の間で焼成温度を変化させた 7 つの $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ を合成し、結晶構造や粒子形状を調べたところ、ロッド型 $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ のアスペクト比(結晶長軸/短軸)は

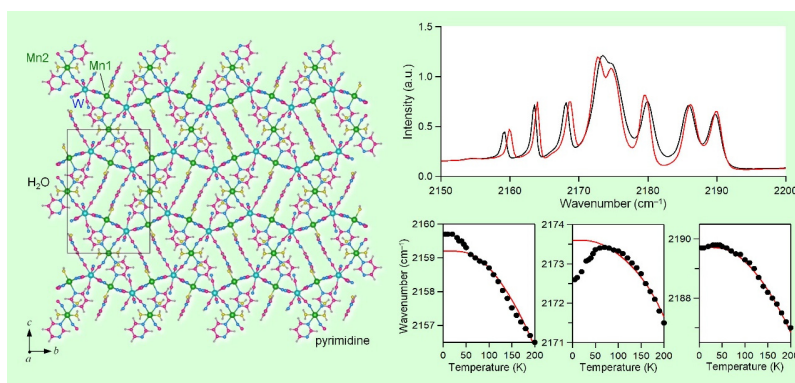
が 1.9–3.3 と、焼成温度が高くなるほど大きな値となった。次に、 $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ の各(hkl)面の表面エネルギー： α_{hkl} を計算して検討したところ、表面エネルギーの大きさと、結晶表面へのバリウムイオン吸着が、 $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ の異方的結晶成長を促進していることが示唆された。この結果は、様々な物質系における結晶成長の制御にとって重要な知見と考えられる。



ナノサイズ化による相転移特性の制御：七酸化四チタン(Ti_4O_7)のマイクロ結晶(バルク体)は、冷却すると、室温で安定な高温相と呼ばれる金属相から、中間相と呼ばれる半導体相へ 150 K で転移し、さらに、130 K で中間相から低温相と呼ばれる半導体相へ転移する(中間相は電荷無秩序配列相、低温相は電荷秩序配列相といわれている)。本研究では、この Ti_4O_7 における二段階相転移に着目し、ナノ結晶化すると、二段階相転移が一段階相転移に変化することを見出した。具体的には、50 nm 程度の Ti_4O_7 ナノ結晶を合成したところ、“高温相から中間相への相転移は起こるが、中間相から低温相への転移は起こらない”という、一段階の相転移を示すことを見出した。この現象は、平均場近似の相転移モデル計算により、表面エネルギーがギブスエネルギーに影響を与えて双安定性が変化したため、一段階相転移に変化したと理解することができた。本研究は、ナノサイズ化により相転移特性が制御できることを示した実例であった。



非調和フォノンと磁気秩序の相関効果の観測：分子磁性体である MnW シアノ錯体($\text{Mn}_3[\text{W}(\text{CN})_8]_2(\text{pyrimidine})_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) に着目し、磁気秩序と非調和フォノンの相関効果として、磁気相転移以下の温度でフォノンモードの周波数シフトを観測した。この錯体の結晶構造は、 ab 面内の Mn1-NC-W からなるレイヤーが、 Mn2-NC-W によって c 軸方向に連結した 3 次元ネットワーク構造体(単斜晶系)であった。また、磁気相転移温度(T_c)が 47 K の、 Mn^{II} ($S = 5/2$) と W^V ($S = 1/2$) のスピンの反平行に整列したフェリ磁性体であった。この錯体の強磁性温度領域の赤外(IR)スペクトルを調べると、CN 伸縮振動にもとづく 8 本のピークが 2200–2150 cm^{-1} の周波数領域に観測され、これらのピークは、 T_c 以下で、高エネルギー側にシフトするピーク(i)、シフトしないピーク(ii)、低エネルギー側にシフトするピーク(iii)の 3 種に分類された。第一原理計算フォノンモード計算にもとづき、(i)は NC-W の CN 伸縮振動、(ii)は Mn1-NC-W の CN 伸縮振動、(iii)は Mn2-NC-W の CN 伸縮振動と帰属された。一般的に、CN 伸縮振動の周波数シフトは、CN が介する結合長の伸縮に由来すると考えられる。今回観測された T_c 温度以下での周波数シフトは、CN が介する超交換相互作用の強磁性相互作用と、磁気エネルギーと弾性エネルギーの拮抗の結果、発現したものと考えられる。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計24件（うち査読付論文 24件／うち国際共著 9件／うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 H. Tokoro, Y. Araki, I. Nagata, T. Kondo, K. Imoto, S. Ohkoshi	4. 巻 8
2. 論文標題 Synthesis of nanosize tetratitanium heptoxide and its anomalous phase transition	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Mater. Res. Lett.	6. 最初と最後の頁 261-267
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/21663831.2020.1743788	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 S. Ohkoshi, K. Nakagawa, K. Imoto, H. Tokoro, Y. Shibata, K. Okamoto, Y. Miyamoto, M. Komine, M. Yoshikiyo, A. Namai	4. 巻 12
2. 論文標題 A photoswitchable polar crystal that exhibits superionic conduction	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Chem.	6. 最初と最後の頁 338-344
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41557-020-0427-2	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 D. Maskowicz, M. Sawczak, R. Jendrzewski, M. Gazda, H. Tokoro, S. Ohkoshi, Y. Garcia, G. Sliwinski	4. 巻 183
2. 論文標題 Functional phase bistability in a nanocrystalline RbMn[Fe(CN)6] thin film fabricated by matrix-assisted laser evaporation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scr. Mater.	6. 最初と最後の頁 50-54
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.scriptamat.2020.03.019	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 S. Ohkoshi, H. Tokoro, K. Nakagawa, M. Yoshikiyo, F. Jia, A. Namai	4. 巻 9
2. 論文標題 Low-pressure-responsive heatstorage ceramics for automobiles	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Rep.	6. 最初と最後の頁 13203
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-49690-0	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 S. Ohkoshi, H. Tokoro, E. Collet	4. 巻 22
2. 論文標題 Thermally- and photo-induced phase transitions in rubidium manganese hexacyanoferrate combining charge-transfer and structural reorganization	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Comptes Rendus Chimie	6. 最初と最後の頁 498-507
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.scriptamat.2020.03.019	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 大越慎一、生井飛鳥、所裕子	4. 巻 83
2. 論文標題 固体-固体相転移を利用した蓄熱セラミックスの開発	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 化学工学会誌 特集：蓄熱技術の最前線と社会実装への挑戦	6. 最初と最後の頁 506-509
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 H. Tokoro, W. Tarora, A. Namai, M. Yoshikiyo, S. Ohkoshi	4. 巻 30
2. 論文標題 Direct Observation of Chemical Conversion from Fe ₃ O ₄ to γ -Fe ₂ O ₃ by a Nanosize Wet Process	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chem. Mater.	6. 最初と最後の頁 2888-2894
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemmater.7b03708	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 G. Azzolina, E. Collet, C. Mariette, M. Cammarata, E. Trzop, M. Sander, M. Levantino, K. Nakagawa, H. Tokoro, S. Ohkoshi, R. Bertoni	4. 巻 -
2. 論文標題 Single laser shot photoinduced phase transition of rubidium manganese hexacyanoferrate investigated by X-ray diffractio	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Eur. J. Inorg. Chem.	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ejic.201801478	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 S. Ohkoshi, A. Namai, H. Tokoro	4. 巻 380
2. 論文標題 Humidity sensitivity, organic molecule sensitivity, and superionic conductivity on porous magnets based on cyano-bridged bimetal assemblies	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Coord. Chem. Rev.	6. 最初と最後の頁 572-583
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ccr.2018.10.004	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 S. Zerdane, M. Cammarata, L. Balducci, R. Bertoni, L. Catala, S. Mazerat, T. Mallah, M. N. Pedersen, M. Wulff, K. Nakagawa, H. Tokoro, S. Ohkoshi, E. Collet	4. 巻 3-4
2. 論文標題 Probing Transient Photoinduced Charge Transfer in Prussian Blue Analogues with Time-Resolved XANES and Optical Spectroscopy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Eur. J. Inorg. Chem.,	6. 最初と最後の頁 272-277
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ejic.201700657 (2018).	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 該当する

1. 著者名 H. Tokoro, A. Namai, M. Yoshikiyo, R. Fujiwara, K. Chiba, S. Ohkoshi	4. 巻 8
2. 論文標題 Theoretical prediction of a charge-transfer phase transition	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Sci. Rep.	6. 最初と最後の頁 63/1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-017-18213-0	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. Mon, J. Vallejo, J. Pascaun, O. Fabelo, C. Train, M. Verdaguer, S. Ohkoshi, H. Tokoro, K. Nakagawa, E. Pardo	4. 巻 46
2. 論文標題 A novel oxalate-based three-dimensional coordination polymer showing magnetic ordering and high proton conductivity	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Dalton Trans.	6. 最初と最後の頁 15130-15137
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C7DT03415F	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 S. Ohkoshi, M. Yoshikiyo, A. Namai, K. Nakagawa, K. Chiba, R. Fujiwara, H. Tokoro	4. 巻 7
2. 論文標題 Cesium ion detection by terahertz light	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Sci. Rep.	6. 最初と最後の頁 8088/1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-017-08551-4	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 F. Hakoe, H. Tokoro, S. Ohkoshi	4. 巻 188
2. 論文標題 Dielectric and optical constants of -Ti305 film measured by spectroscopic ellipsometry	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Mater. Lett.	6. 最初と最後の頁 8-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.matlet.2016.09.084	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 A. Ould-Hamouda, A. Iazzolino, H. Tokoro, S. Ohkoshi, E. Freysz	4. 巻 7
2. 論文標題 Large optical third-order nonlinearities in a switchable Prussian blue analogue	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Opt. Mater. Express	6. 最初と最後の頁 444-453
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OME.7.000444	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 K. Kobayashi, M. Taguchi, M. Kobata, K. Tanaka, H. Tokoro, H. Daimon, T. Okane, H. Yamagami, E. Ikenaga, S. Ohkoshi	4. 巻 95
2. 論文標題 Electronic structure and correlation in -Ti305 and -Ti305 studied by Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 085133/1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.95.085133	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 C. Mariette, M. Lorenc, et al., H. Tokoro, V. Esposito, Y. Deng, G. Ingold, M. Chergui, G. F. Mancini, R. Mankowsky, C. Svetina, S. Zerdane, A. Mozzanica, A. Bosak, M. Wulff, M. Levantino, H. Lemke, M. Cammarata	4. 巻 12
2. 論文標題 Strain wave pathway to semiconductor-to-metal transition revealed by time-resolved X-ray powder diffraction	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature. Commun.	6. 最初と最後の頁 1239
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-021-21316-y	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 該当する

1. 著者名 H. Tokoro, A. Namai, S. Ohkoshi	4. 巻 50
2. 論文標題 Advances in magnetic films of epsilon-iron oxide toward next-generation high-density recording media	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Dalton Trans.	6. 最初と最後の頁 452-459
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d0dt03460f	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 S. Ohkoshi, M. Yoshikiyo, K. Imoto, K. Nakagawa, A. Namai, H. Tokoro, Y. Yahagi, K. Takeuchi, F. Jia, S. Miyashita, M. Nakajima, H. Qiu, K. Kato, T. Yamaoka, M. Shirata, K. Naoi, K. Yagishita, H. Doshita	4. 巻 32
2. 論文標題 Magnetic pole flip by millimeter wave	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Adv. Mater.	6. 最初と最後の頁 2004897
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adma.202004897	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 G. Azzolina, R. Bertoni, C. Ecolivet, H. Tokoro, S. Ohkoshi, E. Collet	4. 巻 102, 134104
2. 論文標題 Landau Theory for Non-Symmetry-Breaking Electronic Instability Coupled to Symmetry-Breaking Applied to Prussian Blue Analogue	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.102.134104	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 H. Yamagishi, S. Nakajima, J. Yoo, M. Okazaki, Y. Takeda, S. Minakata, K. Albrecht, K. Yamamoto, I. Badia-Dominguez, M. Moreno Oliva, M. Carmen Ruiz Delgado, Y. Ikemoto, H. Sato, K. Imoto, K. Nakagawa, H. Tokoro, S. Ohkoshi, Y. Yamamoto	4. 巻 3, 118
2. 論文標題 Sigmoidally hydrochromic molecular porous crystal with rotatable dendrons	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Commun. Chem.	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42004-020-00364-3	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 該当する

1. 著者名 H. Tokoro, J. Fukui, K. Watanabe, M. Yoshikiyo, A. Namai, S. Ohkoshi	4. 巻 10
2. 論文標題 Crystal growth control of rod-shaped γ -Fe ₂ O ₃ nanocrystals	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 RSC Adv.	6. 最初と最後の頁 39611-39616
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d0ra07256g	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 Y. Araki, S. Ohkoshi, H. Tokoro	4. 巻 18, 100525
2. 論文標題 Synthesis of γ -Ti ₃ O ₅ nanocrystals using a block copolymer	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Mater. Today Energy	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.renene.2021.01.144	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 所裕子、大越慎一	4. 巻 2(2)
2. 論文標題 ヘキサシアノ金属錯体における電荷移動型構造相転移の理論的予測	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 理論化学会誌：フロンティア	6. 最初と最後の頁 46-52
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-017-18213-0	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65件（うち招待講演 13件 / うち国際学会 15件）

1. 発表者名 H. Tokoro
2. 発表標題 Phonon mode study for manganese hexacyanoferrate Prussian blue analog
3. 学会等名 IUPAC PARIS 2019 (47th IUPAC CHEMISTRY CONGRESS) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Tokoro
2. 発表標題 Theoretical Study for Charge transfer induced Phase Transition on Bistable Cyanide bridged Coordination Polymer
3. 学会等名 Phase Transition and Dynamical Properties of Spin Transition Materials (PDSTM 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 所裕子
2. 発表標題 フォノンモード計算を用いた電荷移動型相転移錯体の設計開発
3. 学会等名 第4回 固体化学フォーラム (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 所裕子
2. 発表標題 熱特性を利用した未来型機能性材料の開発
3. 学会等名 野口遵研究助成金10周年記念講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 所裕子
2. 発表標題 双安定性物質における熱機能性
3. 学会等名 関東光科学若手研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Araki, I. Nagata, S. Ohkoshi, H. Tokoro
2. 発表標題 Control of metal-semiconductor phase transition in tetratitanium heptoxide
3. 学会等名 IUPAC PARIS 2019 (47th IUPAC CHEMISTRY CONGRESS) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N. Maeda, R. Fujiwara, S. Ohkoshi, H. Tokoro
2. 発表標題 Far-infrared spectroscopy in manganese hexacyanoferrate coordination polymer
3. 学会等名 IUPAC PARIS 2019 (47th IUPAC CHEMISTRY CONGRESS) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Yahagi, S. Ohkoshi, H. Tokoro
2. 発表標題 Surface observation of magnetic thin films of iron chromate hexacyanochromate
3. 学会等名 IUPAC PARIS 2019 (47th IUPAC CHEMISTRY CONGRESS) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Watanabe, Y. Araki, S. Ohkoshi and H. Tokoro
2. 発表標題 Synthesis of rod-type nanoparticle of epsilon-iron oxide by sol-gel method using block copolymer
3. 学会等名 IUPAC PARIS 2019 (47th IUPAC CHEMISTRY CONGRESS) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 荒木優介、大越慎一、所裕子
2. 発表標題 ブロックコポリマーを用いたラムダ型五酸化三チタンの合成
3. 学会等名 第9回CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 前田直孝、藤原礼衣、梅田喜一、松永拓也、宮本靖人、大越慎一、所裕子
2. 発表標題 MnFe系ヘキサシアノ金属錯体の遠赤外分光スペクトル
3. 学会等名 第9回CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 矢作祐士、大越慎一、所裕子
2. 発表標題 鉄クロム磁性錯体薄膜材料における表面観察および磁気特性の評価
3. 学会等名 第9回CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡辺 浩気、荒木 優介、塚本 聖哉、大越 慎一、所 裕子
2. 発表標題 ブロックコポリマーを用いたイプシロン型酸化鉄磁性体の合成
3. 学会等名 第9回CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 荒木優介, 永田伊織, 大越慎一, 所裕子
2. 発表標題 Ti407ナノ粒子における金属-半導体転移
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会(2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 前田直孝, 井元健太, 大越慎一, 所裕子
2. 発表標題 タングステン系オクタシアノ磁性金属錯体における熱膨張特性
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会(2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 矢作祐士、大越慎一、所裕子
2. 発表標題 鉄クロム系ヘキサシアノ錯体磁性薄膜における表面形状と磁気特性
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会(2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡辺浩気、福井純平、大越慎一、所裕子
2. 発表標題 ゾルゲル法をもちいたロッド型イプシロン酸化鉄ナノ微粒子の形状制御と磁気特性
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会(2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 C. Viravaux, N. Maeda, K. Imoto, S. Ohkoshi, H. Tokoro
2. 発表標題 Magnetic properties of octacyano M-W (M = Ni or Zn) bimetal assemblies
3. 学会等名 日本化学会 第100春季年会(2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 矢作祐土、大越慎一、所裕子
2. 発表標題 Study of surface morphology and magnetic properties on magnetic thin films of iron chromate hexacyanochromate
3. 学会等名 日本化学会 第100春季年会(2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Watanabe, J. Fukui, S. Ohkoshi, H. Tokoro
2. 発表標題 Sintering temperature effect on synthesis of rod-type γ -Fe ₂ O ₃ by sol-gel method
3. 学会等名 日本化学会 第100春季年会(2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 村上周平、王駿豪、大越慎一、所裕子
2. 発表標題 Photoluminescent property on gadolinium-chromium cyano- bridged bimetal assemblies
3. 学会等名 日本化学会 第100春季年会(2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 M. Tanaka, S. Ohkoshi, H. Tokoro
2. 発表標題 Preparation of composite magnetic material based on iron oxide magnet
3. 学会等名 日本化学会 第100春季年会(2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 H. Tokoro
2. 発表標題 Phonon mode study of charge-transfer phase transition material of manganese hexacyanoferrate
3. 学会等名 43rd International Conference on Coordination Chemistry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Tokoro
2. 発表標題 Development of advanced functional materials by using bistability
3. 学会等名 The 2nd International Symposium on Coordination Asymmetry (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Tokoro
2. 発表標題 Thermal functionality on bistable material
3. 学会等名 The 50th Reimei workshop, Universal Physics in Many-Body Quantum Systems -- From Atoms to Quarks -- (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Tokoro
2. 発表標題 Thermal Functionality on Phase Transition Material
3. 学会等名 The 8th TOYOTA RIKEN International Workshop on Organic semiconductors, conductors, and electronics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 所裕子
2. 発表標題 ありふれた元素からなる機能性物質
3. 学会等名 国際周期表年2019記念シンポジウム -周期表が拓く科学と技術 国際周期表年を迎えて- (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N. Maeda, R. Fujiwara, S. Ohkoshi, H. Tokoro
2. 発表標題 Far-infrared spectroscopy in cesium manganese hexacyanoferrate
3. 学会等名 43rd International Conference on Coordination Chemistry (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 Y. Araki, I. Nagata, S. Ohkoshi and H.Tokoro,
2 . 発表標題 Relationship between particle size and phase transition properties on Ti407
3 . 学会等名 43rd International Conference on Coordination Chemistry (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Koki Watanabe, Yusuke Araki, Seiya Tsukamoto, Shin-ichi Ohkoshi, Hiroko Tokoro,
2 . 発表標題 Synthesis of γ -Fe ₂ O ₃ by sol-gel method
3 . 学会等名 Interdisciplinary Workshop on Science and Patents 2018,
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 N. Maeda, T. Matsunaga, K. Nakagawa, Y. Miyamoto, S. Ohkoshi, H. Tokoro
2 . 発表標題 Effect of magnetic ordering in crystal structure of manganese hexacyanochromate magnet
3 . 学会等名 Interdisciplinary Workshop on Science and Patents 2018,
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Y. Araki, S. Ohkoshi and H.Tokoro,
2 . 発表標題 New synthesis process of lambda-Ti305 by using block copolymers
3 . 学会等名 Interdisciplinary Workshop on Science and Patents 2018,
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Araki, S. Ohkoshi and H. Tokoro,
2. 発表標題 Synthesis of lambda-Ti3O5 by using block copolymers
3. 学会等名 Tsukuba Global Science Week 2018 Student Poster Presentation on Materials Research
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 N. Maeda, T. Matsunaga, K. Nakagawa, Y. Miyamoto, S. Ohkoshi, H. Tokoro
2. 発表標題 Temperature dependence of crystal structure of manganese hexacyanochromate magnet
3. 学会等名 Tsukuba Global Science Week 2018 Student Poster Presentation on Materials Research
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡辺浩気, 荒木優介, 塚本聖哉, 所裕子, 大越慎一
2. 発表標題 ゾルゲル法によるブロックコポリマーを用いたイプシロン酸化鉄の合成
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 矢作祐土, 池田侑典, 大越慎一, 所裕子
2. 発表標題 FeCrCr系ヘキサシアノ金属錯体薄膜における磁気特性
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 前田直孝, 松永拓也, 中川幸佑, 宮本靖人, 大越慎一, 所裕子
2. 発表標題 Cr系ヘキサシアノ磁性錯体における結晶構造の温度依存性
3. 学会等名 第8回CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 荒木優介, 永田伊織, 奈須義総, 大越慎一, 所裕子
2. 発表標題 七酸化四チタンにおける形状と双安定性特性の関係
3. 学会等名 第8回CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 前田直孝, 藤原礼衣, 大越慎一, 所裕子
2. 発表標題 CsMnFe プルシアンブルー類似体におけるフォノンモード観測
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 荒木優介, 永田伊織, 大越慎一, 所裕子
2. 発表標題 七酸化四チタン金属酸化物の粒子サイズと相転移物性の関係
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 所裕子
2. 発表標題 双安定性を示すマンガン鉄ヘキサシアノ相転移錯体におけるフォノンモード計算
3. 学会等名 第27回日本MRS年次大会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 I. Nagata, T. Nasu, S. Ohkoshi, H. Tokoro
2. 発表標題 Relationship between particle size and phase transition properties
3. 学会等名 Interdisciplinary Workshop on Science and Patents 2017（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大代紘己, 永田伊織, 奈須義総, 大越慎一, 所裕子
2. 発表標題 七酸化四チタン金属酸化物のナノ微粒子合成
3. 学会等名 日本化学会第98春季年会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 R. Fujiwara, Y. Umeta, T. Matsunaga, Y. Miyamoto, S. Ohkoshi, H. Tokoro
2. 発表標題 Far-IR spectroscopy in Mn-Fe hexacyanide bimetal assembly
3. 学会等名 Interdisciplinary Workshop on Science and Patent 2017（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 福井純平・太郎良和香・大越慎一・所裕子
2. 発表標題 ゾルゲル法を用いたロッド型イプシロン酸化鉄の合成
3. 学会等名 第7回化学フェスタ
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 藤原 礼衣, 梅田 喜一, 松永 拓也, 宮本 靖人, 大越 慎一, 所 裕子
2. 発表標題 MnFe系ヘキサシアノ金属錯体における遠赤外分光
3. 学会等名 第7回化学フェスタ
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 藤原 礼衣, 梅田 喜一, 大越 慎一, 所 裕子,
2. 発表標題 CsMnFe(CN) ₆ プルシアンブルー類似体におけるフォノンモードの観測
3. 学会等名 日本化学会第98春季年会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 所 裕子
2. 発表標題 Optical-switching of second harmonic light in chiral photomagnet
3. 学会等名 第40回 日本磁気学会学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 所裕子, 大越慎一
2. 発表標題 RbMnFeヘキサシアノ錯体における負熱膨張特性
3. 学会等名 第26回 日本MRS年次大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Jumpei Fukui, Shin-ichi Ohkoshi, Hiroko Tokoro
2. 発表標題 Synthesis of rod-type γ -Fe ₂ O ₃ by sol-gel method
3. 学会等名 Interdisciplinary Workshop on Science and Patents (IWP) 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 永田伊織, 奈須義総, 大越慎一, 所裕子
2. 発表標題 七酸化四チタンの相転移物性に形状制御が及ぼす影響
3. 学会等名 日本物理学会 2016年秋季大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 藤原礼衣, 梅田喜一, 松永拓也, 宮本靖人, 大越慎一, 所裕子
2. 発表標題 MnFe系ヘキサシアノ相転移金属錯体におけるフォノンモードの観測
3. 学会等名 日本物理学会 2016年秋季大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 矢作 祐士, 大越 慎一, 所 裕子
2. 発表標題 鉄クロム磁性錯体薄膜材料における磁気特性の評価および表面観察
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 矢作祐士, 大越慎一, 所裕子
2. 発表標題 CrCr系およびFeCrCr系ヘキサシアノ金属錯体薄膜の表面観察と磁気特性
3. 学会等名 第10回CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 矢作祐士, 中川幸祐, 大越慎一, 所裕子
2. 発表標題 FeCrCr系ヘキサシアノ金属錯体薄膜における表面磁化状態の観察
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡辺浩気, 福井純平, 大越慎一, 所裕子
2. 発表標題 ロッド型イプシロン酸化鉄の合成における形状およびサイズ制御
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡辺浩気, 福井純平, 大越慎一, 所裕子
2. 発表標題 イプシロン型酸化鉄磁性材料の異方的結晶成長
3. 学会等名 第10回CSJ化学フェスタ2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡辺浩気, 福井純平, 大越慎一, 所裕子
2. 発表標題 ロッド型イプシロン酸化鉄ナノクリスタルの異方的結晶成長
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 赤木慎太郎, Junhao Wang, 井元健太, 大越慎一, 所裕子
2. 発表標題 NiW系オクタシアノ金属錯体の結晶構造と磁気特性
3. 学会等名 日本化学会 第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長島俊太郎, 矢作祐土, 中川幸祐, 大越慎一, 所裕子
2. 発表標題 鉄クロム系ヘキサシアノ磁性錯体薄膜における磁気状態の表面観察
3. 学会等名 日本化学会 第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中万由子、大越慎一、所裕子
2. 発表標題 酸化鉄をベースとした複合磁性材料の合成と磁気特性
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中万由子、大越慎一、所裕子
2. 発表標題 金属錯体を利用した酸化鉄複合材料の合成
3. 学会等名 第10回CSJ化学フェスタ2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中万由子、大越慎一、所裕子
2. 発表標題 シアノ系金属錯体を利用した酸化鉄型複合磁性材料の合成
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 所裕子
2. 発表標題 相転移特性にもとづく新機能物性の開拓
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroko Tokoro
2. 発表標題 Development of pressure-sensitive heat storage materials using a bistable property
3. 学会等名 The 6th Southeast Asia Collaborative Symposium on Energy Materials (SACSEM 6th) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 所裕子、大越慎一 (分担執筆)	4. 発行年 2020年
2. 出版社 化学同人	5. 総ページ数 212
3. 書名 CSJ35有機・無機材料の相転移ダイナミクス	

1. 著者名 分担執筆： 大越慎一、所裕子	4. 発行年 2017年
2. 出版社 株式会社エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 10
3. 書名 フォノンエンジニアリング -マイクロ・ナノスケールの次世代熱制御技術-, 第3章 第5節 : 長期的に熱エネルギー保存できる蓄熱セラミックス	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>(受賞)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 所裕子: 第1回 日本物理学会米沢富美子記念賞 受賞 (2020年3月) ・ 所裕子: 2017年度 野口遵賞 受賞 (2018年3月) ・ 所裕子: 2017年度 慶應義塾大学 矢上賞 受賞 (2017年9月) ・ 所裕子: ドイツイノベーションアワード; ゴットフリートワグネル賞 2016 受賞 (2016年7月) ・ 矢作祐士 (修士学生): 筑波大学大学院 数理物質科学研究科 物性・分子工学専攻 修士論文発表優秀賞2021 受賞 (2021年3月) ・ 矢作祐士 (修士学生): 第10回 CSJ化学フェスタ 2020 優秀ポスター発表賞 受賞 (2020年11月) ・ 前田直孝 (修士学生): 筑波大学大学院 数理物質科学研究科 物性・分子工学専攻 修士論文発表優秀賞2020 受賞 (2020年3月) ・ 藤原礼衣 (修士学生): 筑波大学大学院 数理物質科学研究科 物性・分子工学専攻 修士論文発表優秀賞2019 受賞 (2019年3月) ・ 渡辺浩気 (学類学生): Interdisciplinary Workshop on Science and Patents 2018 IWP Excellent Poster Award 受賞 (2018年9月) ・ 永田伊織 (修士学生): Interdisciplinary Workshop on Science and Patents 2017 メモリアル賞 受賞 (2017年9月) ・ 福井 純平 (修士学生): Interdisciplinary Workshop on Science and Patents 2016 IWP ポスター賞 受賞 (2016年9月)

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			
フランス	レンヌ大学	グルノーブル大学	パリ大学(第6)	他1機関
ポーランド	ヤゲロニア大学	ポーランド科学アカデミー	The Szewalski Institute	
スペイン	バレンシア大学			