

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 3 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K13491

研究課題名（和文）5d電子系における多極子物性の開拓

研究課題名（英文）Material research and physics of multipole in 5d electron systems

研究代表者

平井 大悟郎 (Hirai, Daigorou)

東京大学・物性研究所・助教

研究者番号：80734780

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：5d遷移金属化合物では、電子間の相互作用と強いスピン軌道相互作用の両方が働き、電子は多極子自由度を獲得することが期待される。本研究では、5d電子を1つもつ一連のダブルペロブスカイト化合物を合成し、磁化測定と比熱測定によって、これらの化合物が実際に多極子自由度をもつ電子状態であることを明らかにした。さらに、これらの物質のうち二段転移を示すBa₂MgReO₆の単結晶を育成し、より詳細な物性を調べた。放射光X線回折実験をおこなった結果、d電子系の示す四極子秩序の観測に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、重い原子で重要となるスピン軌道相互作用に関連した物性や機能が数多く発見され、盛んに研究されている。多極子の秩序もスピン軌道相互作用によって現れる特徴的な電子状態であるが、実験的な難しさから検証されていなかった。本研究で明らかになった5d電子系の特徴的な電子状態と多極子の秩序は、5d電子系におけるスピン軌道相互作用のはたらきの理解を深めるものである。この成果は、今後、スピン軌道相互作用により引き起こされる新たな物性や機能性の発見に寄与する成果である。

研究成果の概要（英文）：In 5d transition metal compounds, electrons are expected to acquire multipolar degree of freedom due to the combined effect of electron correlations and strong spin-orbit interactions. In this work, we synthesized a series of double perovskite-type compounds containing 5d transition metal ion with 5d¹ electronic configuration, and experimentally revealed spin-orbit entangled electronic state in these compounds by magnetic susceptibility and heat capacity measurements. Then, we grew high-quality single crystals of Ba₂MgReO₆, which shows successive phase transitions at low temperatures, for detailed measurements. We successfully observed quadrupolar ordering of 5d electrons by synchrotron x-ray diffraction measurements.

研究分野：固体物理

キーワード：スピン軌道相互作用 多極子秩序 四極子秩序 5d電子系 ダブルペロブスカイト レニウム化合物
放射光X線 電子相関

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

5d 遷移金属化合物は、重い元素で顕著となるスピン軌道結合(SOC)と電子相関の複合効果により多彩な量子相の発現が期待される。この顕著な例は、2009年にイリジウムの化合物で観測された、SOCによって実現されたモット絶縁体状態 [1]である。この電子状態を利用した新しいタイプのスピン液体が提案されるなど [2]、5d 電子系に対して実験・理論の両面から精力的な研究が行われている。しかし、研究の多くは、化学的に安定であるため比較的簡単に合成することのできる、イリジウムの関連化合物に集中しており、他の 5d 化合物の物性の理解は進んでいない。イリジウム以外の化合物では、イリジウムとは異なる電子数をとることができ、特に、SOCが強い場合に特有な多極子自由度という性質を持つ。

[1] B. J. Kim *et al.*, Science **323**, 1329 (2009).

[2] G. Jackeli and G. Khaliullin, Phys. Rev. Lett. **102**, 017205 (2009).

2. 研究の目的

本研究では、多くの研究が行われているイリジウム化合物では実現できない、SOCと電子相関の複合効果によって現れる物性の開拓を目的とした。特に、5d 電子を 1 つ持つ Re^{6+} や Os^{7+} イオンにおいて期待される多極子自由度に関連した物性に着目した。これらのイオンを含む化合物を系統的に合成・評価することで、現実の物質でどの程度多極子描像が適用できるのかを明らかにし、期待される多極子秩序や特異な磁気秩序を観測することで、未開拓の 5d 電子系における多極子物性を明らかにすることを目指した。

3. 研究の方法

上記の多極子物性を明らかにするために、以下の 2 点を行った。

(1) 多極子描像の妥当性を検討するために、5d 電子を 1 つ持つ Re^{6+} イオンを含むダブルペロブスカイト化合物を系統的に合成した。そして、磁化および比熱測定から SOC の効果を評価・比較した。ダブルペロブスカイト化合物は、 $\text{A}_2\text{BB}'\text{O}_6$ の組成式で表され、B と B' が岩塩型の秩序を形成し、 $\text{B}(\text{B}')\text{O}_6$ 八面体がそれぞれの頂点酸素を共有する構造を持つ (図 1)。本研究では、A、B サイトに 2 価の陽イオンが、B' サイトに Re^{6+} イオンが入る化合物を対象とした。構造の柔軟性から、A、B サイトに様々な元素を選択することができ、イオン間の距離や構造の歪を系統的に変化させた化合物を比較することができる。合成した物質における SOC の影響は、磁気モーメントと秩序形成に伴い放出されるエントロピーを測定することで評価できる。多極子自由度を持つ電子状態が実現している場合、スピンと軌道角運動量の打ち消しあいが起こり、磁気モーメントの減少として観測される。また、より多くの自由度を持っているため、比熱によって測定される、電子系の秩序化に伴って放出されるエントロピーは倍増することが期待される。

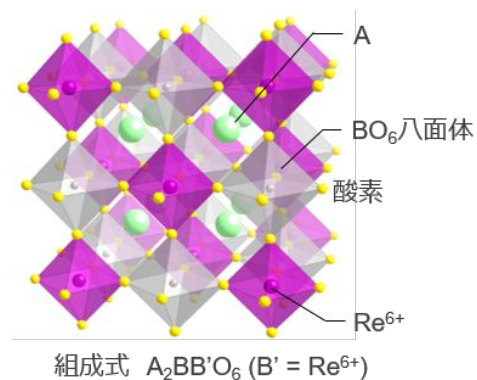


図 1. ダブルペロブスカイトの結晶構造。

(2) (1)において多極子自由度を有することが明らかになった物質の単結晶を育成し、精密な物性測定を行うことで、多極子秩序の観測を行った。多極子自由度をもつ電子状態が実現している場合、スピンの秩序(磁気秩序)よりも高次の秩序が形成される可能性がある。5d 電子を 1 つ持つダブルペロブスカイトに対しては、理論研究により八極子と四極子の秩序が予想されていた [3]。本研究では、四極子秩序と四極子秩序によって安定化される特異な傾角反強磁性相の観測を目指した。四極子の秩序は局所的な電荷分布の偏りなので、結晶構造に微小な変形を誘起する。このため、高精度の回折実験により結晶構造を精密に測定することによって観測を試みた。また、特異な磁気秩序の観測には、微小な結晶でも測定が可能な共鳴 X 線散乱という手法を用いた。X 線のエネルギーを、対象とする元素の軌道間の励起エネルギーに合わせることで、通常は観測できない磁気反射の観測を目指した。

[3] G. Chen *et al.*, Phys. Rev. B **82**, 174440 (2010).

4. 研究成果

(1) 5d 遷移金属の多極子自由度をもつ電子状態の解明

5d 電子を1つ有する遷移金属化合物においてスピン軌道相互作用はどの程度作用しており、また、多極子自由度をもつ電子状態がどの程度実現しているのかを明らかにするために、A サイトに Ba または Sr、B サイトに Mg、Cd、Zn、Ca、B' サイトに Re^{6+} イオンを含むダブルペロブスカイト化合物の粉末試料を合成した。これらの物質は、 Re^{6+} イオン以外の磁性元素を含まないため、 Re^{6+} イオンの持つ 5d 電子の振る舞いを調べるのに適した物質である。A サイトと B サイトに入るイオンの大きさによって、 Re^{6+} イオン間の距離や結晶構造の歪を系統的に変化させることができる。原料の精製などで純良な試料の合成に成功し、これらの物質の電子物性を明らかにした。

合成した物質の磁化を測定すると、格子定数や格子の歪によらず、ほとんどの物質でスピンと軌道角運動量の打ち消しあい観測された。SOC の効果を考えない場合、 $1.73 \mu_B$ の磁気モーメントが期待されるが、例えば、 $\text{Ba}_2\text{MgReO}_6$ という物質では、 $0.68 \mu_B$ まで磁気モーメントが減少していることが分かった [4]。さらにこの物質では、相転移に伴って放出されるエントロピーが、SOC の効果を考慮しなければ説明できないことを明らかにした (図 2)。また、一連の物質に対して物性の評価を行うなかで、 $\text{Ba}_2\text{MgReO}_6$ では理論的に予想されていた 2 段の相転移が観測され、四極子の秩序が形成されている可能性が高いことを見出した。

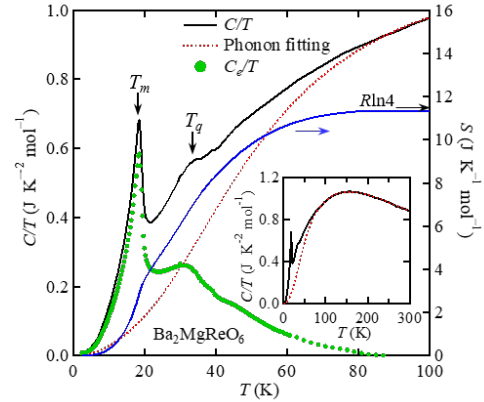


図 2. $\text{Ba}_2\text{MgReO}_6$ の比熱測定で観測された 2 段の転移とエントロピーの放出。文献[4]より引用。

[4] D. Hirai and Z. Hiroi, J. Phys. Soc. Japan **88**, 064712 (2019).

(2) d 電子の示す多極子秩序の観測

$\text{Ba}_2\text{MgReO}_6$ の 2 段転移におけるエントロピーの放出過程を考えると、四極子秩序転移が起き、その後、磁気転移が起こっていることが推測された。そこで、より詳細に相転移を調べるために、単結晶の育成を行った。密閉空間中でフラックス法により単結晶育成を行うことで、 $\text{Ba}_2\text{MgReO}_6$ の単結晶を育成することに成功した (図 3)。単結晶が得られたことにより、この物質の磁化容易軸が結晶の $[110]$ 方向という、特異な方向であることが明らかになった。 $[110]$ 方向に磁化容易軸を持つ磁気秩序は、過去の理論研究で予言されており、四極子秩序によって安定化されることが指摘されている。

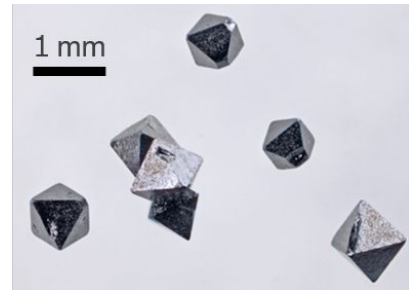


図 3. 育成した $\text{Ba}_2\text{MgReO}_6$ ダブルペロブスカイトの単結晶。

$\text{Ba}_2\text{MgReO}_6$ において実現している可能性が高い、四極子秩序と四極子秩序によって安定化される特異な磁気秩序を観測するために、放射光 X 線を用いた回折実験を行った。Re イオンの共鳴エネルギーにおいて行った回折実験では、磁気秩序由来

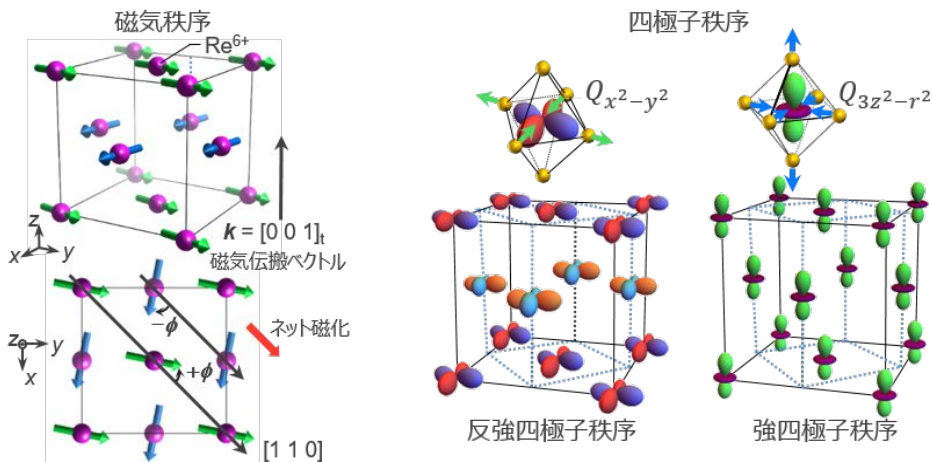


図 4. 放射光 X 線回折実験によって明らかにした 5d 電子の示す (右) 四極子秩序と、それに伴う (左) 特異な傾角反強磁性磁気秩序。

の回折ピークが観測され、低温での強磁性的な振る舞いは傾角反強磁性に由来することが分かった。スピンの同じ方向にそろった層が積層しており、上下の層のスピンの互いに大きく傾くことでネットの磁化を生じている（図 4）。磁気秩序よりも高温の相転移では、四極子秩序の形成によって生じた極めて小さい結晶構造の変化が観測された。構造の変化は、特定の四極子に対応する変形のモードに分解され、反強的な秩序と強的な秩序が共存している四極子の秩序パターン（図 4）を初めて明らかにした。

5d 電子の多極子自由度に着目した研究は、国内ではほとんど行われていないが、国外ではアメリカを中心として盛んに研究されている。海外のグループでは、四極子秩序転移を示す有力な候補物質である $\text{Ba}_2\text{NaOsO}_6$ という物質に対して様々な測定が行われてきた。複数のグループが様々な手法で四極子秩序の観測に挑んできたが、秩序の形成に伴う変化が非常に小さいため、これまで明確な観測には至っていなかった。海外の先行研究が単一の物質に集中して研究がおこなわれてきたことと対照的に、本研究は複数の化合物に対して系統的な合成と評価を行ったことで、より四極子秩序の観測に適した $\text{Ba}_2\text{MgReO}_6$ を見出した。この発見は、単に新しいモデル物質を見出したというだけでなく、5d 電子の示す多極子物性の普遍性を示し物質間の比較を可能にしたという意義がある。独自の化合物 $\text{Ba}_2\text{MgReO}_6$ を提案し、さらに純良な結晶を育成したことで、5d 電子系の示す多極子秩序を初めて観測することにも成功した。観測結果は共同研究者の一人が 2010 年に提案したモデルとおおむね一致していたことから、この理論が現実の物質をよく表わしていることが明かになった。一方で、理論と異なる部分も存在し、今後、実験結果を再現するような理論を構築することで、5d 電子系の多極子物性の理解が進むと期待される。多極子自由度をもった d 電子がどのように相互作用するのかが明らかになれば、多極子自由度に由来した新しい現象や電子相が見いだされることが期待される。今回の成果は、今後の発展が期待される 5d 電子系の多極子物性の礎となる成果である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Hirai Daigorou, Hiroi Zenji	4. 巻 88
2. 論文標題 Successive Symmetry Breaking in a Jeff = 3/2 Quartet in the Spin-Orbit Coupled Insulator Ba ₂ MgReO ₆	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 064712 ~ 064712
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.7566/JPSJ.88.064712	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 Hirai Daigorou, Nawa Kazuhiro, Kawamura Mitsuki, Misawa Takahiro, Hiroi Zenji	4. 巻 88
2. 論文標題 One-dimensionalization by Geometrical Frustration in the Anisotropic Triangular Lattice of the 5d Quantum Antiferromagnet Ca ₃ ReO ₅ Cl ₂	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 044708 ~ 044708
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.7566/JPSJ.88.044708	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 Hirai Daigorou, Koda Akihiko, Matsuo Akira, Kindo Koichi, Yajima Takeshi, Hiroi Zenji	4. 巻 30
2. 論文標題 Muon Spin Rotation, High-Field Magnetization, and Structural Study on a Spin-Orbit-Entangled Mott Insulator Ba ₂ MgReO ₆	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JPS Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 011143-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.7566/JPSCP.30.011143	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 Tajima Satoshi, Hirai Daigorou, Yajima Takeshi, Nishio-Hamane Daisuke, Matsubayashi Yasuhito, Hiroi Zenji	4. 巻 288
2. 論文標題 Spin-orbit-coupled metal candidate PbRe ₂ O ₆	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Solid State Chemistry	6. 最初と最後の頁 121359 ~ 121359
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1016/j.jssc.2020.121359	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 Matsubayashi Y., Sugii K., Hirai D., Hiroi Z., Hasegawa T., Sugiura S., Hirose H. T., Terashima T., Uji S.	4. 巻 101
2. 論文標題 Coexistence of odd-parity and even-parity order parameters in the multipole order phase of the spin-orbit coupled metal Cd ₂ Re ₂ O ₇	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 205133-1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.101.205133	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 Hirai Daigorou, Nawa Kazuhiro, Kawamura Mitsuki, Misawa Takahiro, Hiroi Zenji	4. 巻 88
2. 論文標題 One-dimensionalization by Geometrical Frustration in the Anisotropic Triangular Lattice of the 5d Quantum Antiferromagnet Ca ₃ ReO ₅ Cl ₂	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 044708 ~ 044708
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.88.044708	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30件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 K. Kataoka, D. Hirai, T. Yajima, D. Hamane, S. Kittaka, T. Sakakibara and Z. Hiroi
2. 発表標題 New Kitaev spin liquid candidate OsCl ₃
3. 学会等名 CEMS Symposium on Emergent Quantum Materials (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 D. Hirai, H. Sagayama, G Shang, H. Ohsumi, T. Arima, and Z. Hiroi
2. 発表標題 Quadrupole order in a spin-orbit entangled 5d oxide
3. 学会等名 CEMS Symposium on Emergent Quantum Materials (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 D. Hirai, H. Sagayama, G Shang, H. Ohsumi, T. Arima, and Z. Hiroi
2. 発表標題 Successive symmetry breaking in a spin-orbit entangled Mott insulator Ba ₂ MgReO ₆
3. 学会等名 International Conference on strongly correlated electron systems 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Tajima, D. Hirai, T. Yajima, D. Nishio-Hamane, and Z. Hiroi
2. 発表標題 Domain control by stress in the pyrochlore oxide Cd ₂ Re ₂ O ₇
3. 学会等名 International Conference on strongly correlated electron systems 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Kataoka, D. Hirai, T. Yajima, D. Hamane, S. Kittaka, T. Sakakibara and Z. Hiroi
2. 発表標題 New Kitaev spin liquid candidate OsCl ₃
3. 学会等名 J-Physics 2019 International Conference & KINKEN-WAKATE 2019 Multipole Physics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 片岡 亨太, 平井 大悟郎, 矢島 健, 浜根 大輔, 橘高 俊一郎, 榊原 俊郎, 広井 善二
2. 発表標題 Kitaevスピ液体候補物質OsCl ₃
3. 学会等名 第13回物性科学領域横断研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Daigorou Hirai
2. 発表標題 Multipolar Order in a Spin-Orbit Entangled Mott Insulator Ba ₂ MgReO ₆
3. 学会等名 3rd Asia-Pacific workshop on Quantum Magnetism (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 片岡亨太, 平井大悟郎, 広井善二
2. 発表標題 Kitaevスピン液体候補物質OsCl ₃ の熱的特性
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平井大悟郎, 広井善二
2. 発表標題 スピン軌道結合絶縁体Ba ₂ CdReO ₆ における四極子秩序
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中村一翔, 工藤慎也, 中村光輝, 吉澤正人, 中西良樹, 平井大悟郎, 廣井善二
2. 発表標題 超音波測定による単結晶パイロクロア酸化物Cd ₂ Re ₂ O ₇ の弾性特性の研究
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Cd ₂ Re ₂ O ₇ における電気トロイダル四極子秩序
2. 発表標題 平井大悟郎, 田島聖土, 広井善二
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 橘高俊一郎, 平井大悟郎, 廣井善二, 町田一成, 榊原俊郎
2. 発表標題 比熱の磁場角度依存性から見たCd ₂ Re ₂ O ₇ の超伝導ギャップ構造とネマティック状態
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宇治進也, 杉浦栞理, 廣瀬陽代, 寺嶋太一, 長谷川巧, 松林康仁, 平井大悟郎, 広井善二
2. 発表標題 スピン軌道結合金属パイロクロアCd ₂ Re ₂ O ₇ における磁気トルク対称性
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木俣基, 須藤健太, 平井大悟郎, 松林康仁, 広井善二
2. 発表標題 Cd ₂ Re ₂ O ₇ における非相反磁気抵抗
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田島聖士, 平井大悟郎, 矢島健, 廣井善二
2. 発表標題 PbRe206におけるスピン軌道結合金属の可能性
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田島聖士, 平井大悟郎, 矢島健, 廣井善二
2. 発表標題 スピン軌道結合金属のバルク物性
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会 (2020年)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 米良伸義, 武田晃, 瀧川仁, 松林康仁, 平井大悟郎, 廣井善二, 長谷川巧
2. 発表標題 NMRから見た5d電子系Cd ₂ Re ₂ O ₇ の相転移と秩序相の対称性
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会 (2020年)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宇治進也, 杉浦栞理, 廣瀬陽代, 寺嶋太一, 長谷川巧, 松林康仁, 平井大悟郎, 廣井善二
2. 発表標題 スピン軌道結合金属パイロクロアCd ₂ Re ₂ O ₇ における対称性の低下
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会 (2020年)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 日高宏之, 金子佑真, 村田怜也, 柳澤達也, 網塚浩, 田島聖士, 平井大悟郎, 廣井善二
2. 発表標題 Cd ₂ Re ₂ O ₇ における熱膨張
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会 (2020年)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三上義人, 柳澤達也, 日比野瑠央, 日高宏之, 網塚浩, 平井大悟郎, 廣井善二
2. 発表標題 単結晶Cd ₂ Re ₂ O ₇ の横波超音波測定
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会 (2020年)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中村一翔, 工藤慎也, 川崎優介, 中村光輝, 吉澤正人, 中西良樹, 平井大悟郎, 廣井善二
2. 発表標題 スピン軌道結合金属Cd ₂ Re ₂ O ₇ の構造相転移と弾性異常
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会 (2020年)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 平井大悟郎
2. 発表標題 5d遷移金属化合物の物質開発と強相関電子物性の開拓
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会 (2020年) (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 武田晃, 渡辺亮, 瀧川仁, 平井大悟郎, 廣井善二
2. 発表標題 170核NMRで見たBa2MgReO6の二段相転移
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会 (2020年)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 D. Hirai, K. Nawa, T. Yajima, M. Kawamura, T. Misawa, and Z. Hiroi
2. 発表標題 One-dimensionalization by frustration in the anisotropic triangular lattice of the 5d quantum antiferromagnets A3ReO5Cl2 (A = Ca, Sr, and Ba).
3. 学会等名 International Conference on Highly Frustrated Magnetism 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 D. Hirai and Z. Hiroi
2. 発表標題 Spin-orbit coupled insulator Ba2MgReO6
3. 学会等名 Topological Phases and Functionality of Correlated Electron Systems (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 D. Hirai
2. 発表標題 Gapless spin liquid in the anisotropic triangular lattice antiferromagnet A3ReO5Cl2 (A = Ca, Sr, Ba)
3. 学会等名 Topological Phases and Functionality of Correlated Electron Systems (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小金聖史, 平井大悟郎, 木俣基, 野尻浩之, 広井善二
2. 発表標題 異方的三角格子反強磁性体 $A_3\text{ReO}_5\text{Cl}_2$ ($A=\text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba}, \text{Pb}$)の磁性
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 平井大悟郎, 矢島健, 広井善二
2. 発表標題 異方的三角格子5d磁性体 $A_3\text{ReO}_5\text{Cl}_2$ ($A = \text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba}$)における次元低下
3. 学会等名 2018年日本物理学会秋期大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小金聖史, 平井大悟郎, 矢島健, 広井善二
2. 発表標題 異方的三角格子5d量子磁性体の探索
3. 学会等名 2018年日本物理学会秋期大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 那波和宏, 平井大悟郎, 古府麻衣子, 中島健次, 広井善二, 佐藤卓
2. 発表標題 異方的三角格子反強磁性体 $\text{Ca}_3\text{ReO}_5\text{Cl}_2$ の磁気励起
3. 学会等名 2018年日本物理学会秋期大会
4. 発表年 2018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
--	---------------------------	-----------------------	----