

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18K03504

研究課題名（和文）2次元三角格子を持つ新規イッテルビウム化合物で発現する量子スピン液体の研究

研究課題名（英文）Study of quantum spin liquid in two-dimensional triangular-lattice ytterbium compounds

研究代表者

小坂 昌史（Kosaka, Masashi）

埼玉大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：20302507

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）：スピン同士がお互いに強い相関を持ちながら、絶対零度まで秩序化を示さない量子スピン液体状態は磁性の新たな状態と考えられている。量子スピンの有効的な実現が期待できるYb³⁺イオンが2次元三角格子を形成する絶縁体化合物KYbS₂を作製し、極低温までの物性測定を行うことにより、量子スピン液体状態を示す候補物質であることを示した。また、Yb³⁺イオンの1次元鎖構造を持つYbAgS₂は磁気秩序化を示すものの、秩序化に至る過程において短距離磁気相関の発達に伴う現象が磁化、比熱の温度依存性に現れることを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

量子スピン液体状態に関する実験的なアプローチはこれまで主にd電子系の遷移金属化合物で行われてきた。本研究により、対象をf電子系の希土類化合物へ拡張する重要性を示すことができた。現在、f電子系化合物における2次元三角格子以外のフラストレーション格子系への展開が進みつつある。量子スピン液体状態の特徴である強い量子揺らぎや量子もつれ、特異な励起状態は低消費電力の情報処理に活かせる可能性を持っており、現象に対する多くの知見を得ることは社会的な意義がある。

研究成果の概要（英文）：A quantum spin liquid state, which shows the strong correlation among the spins but does not order magnetically even at absolute zero temperature, is regarded as a new magnetic state. We synthesized the insulating compound KYbS₂, where Yb³⁺ ions with the effective spin-1/2 form a two-dimensional triangular lattice. From our measurements in the low temperature region, we have demonstrated that KYbS₂ is the spin liquid candidate. Furthermore, we also found that YbAgS₂ shows the development of short-range magnetic correlations, which arises from one-dimensional chains of Yb³⁺ ions.

研究分野：物性実験

キーワード：量子スピン液体 フラストレーション 希土類化合物 磁性 低温物性

1. 研究開始当初の背景

量子スピン系の研究はこれまで、 Cu^{2+} (スピン角運動量 $S=1/2$) に代表される、小さく等方的な原子磁気モーメントを持つ d 電子系の遷移金属化合物が担ってきた。これらに加えて、近年更なる注目を浴びているのが f 電子系のイットルビウム (Yb) 化合物である。数は少ないものの、Yb 化合物がこれまでに量子スピン系の研究対象物質として取り上げられて来た理由は、 Yb^{3+} の磁気モーメントが有効的に $S=1/2$ として振る舞うケースが存在するからである。これは、 Yb^{3+} が $4f$ 軌道に奇数個の電子を持つがゆえ、立方晶より低い対称性の結晶構造では必ず結晶場基底状態がクラマース二重項となり、また希土類イオンの中では小さい磁気モーメントを持つことに由来する。極低温までスピンの量子力学的に揺らいだ状態を保ち、秩序化を示さない量子スピン液体は、従来型の基底状態と関連する対称性の破れでは記述できない物質の新しい状態を表しており、多くの理論的、実験的アプローチが成されている。

近年、無機化合物絶縁体の YbMgGaO_4 において、ブリルアンゾーンの広い領域に渡る幅広いスピン励起が観測された[1]。この金属中の電子を彷彿とさせるようなスピン励起スペクトルは、スピン同士の異常な「量子もつれ」を示しており大きな注目を集めた。量子スピン液体状態を安定化させるためには、スピンを低次元的な環境下に置く、幾何学的フラストレーション効果によりスピンの秩序化を抑制するなどの方針のもと物質開発が行われて来た。2次元三角格子を持つ YbMgGaO_4 もその延長線上の物質といえる。しかしながら、量子スピン液体の理想的な研究舞台として考えられていた YbMgGaO_4 に問題点があることが判明してきた。結晶中でランダムにサイトを占有するものと従来は考えられていた Mg^{2+} および Ga^{3+} に数種類のスタッキングの存在が示されたのである。この事実は Yb^{3+} イオンが感じる結晶場に分布が生じていることを示しており、全ての Yb^{3+} の基底状態の波動関数が同一である前提が崩れたことになる。

2. 研究の目的

本研究では結晶学的にサイトの混成が無い 2次元三角格子系の物質開発を進め、量子スピン液体の研究を推進することを目的とする。 YbMgGaO_4 において、サイトの混成が生じた理由は Mg^{2+} と Ga^{3+} のイオン半径が同程度であったことによる。本研究で取り上げる $A\text{YbX}_2$ (A : アルカリ金属, $T=S, \text{Se}$) は YbMgGaO_4 と同じ三方晶系に属し、 $A^+\text{Yb}^{3+}(\text{S}^{2-} \text{ or } \text{Se}^{2-})_2$ の形式電荷で表される三元無機化合物絶縁体である。この物質系は 3 元素が占めるサイトに混成が無いと考えられ、 YbMgGaO_4 で問題とされた Yb^{3+} の感じる結晶場に分布が生じないことが期待される。また、この系はアルカリ金属とカルコゲン元素の組合せによる豊富な物質群を有し、 Yb^{3+} 層間の距離を調整することができ、次元性の強弱が物性に与える影響について調査できる可能性も秘めている。この系は結晶作製と構造に関する報告が成されているのみで物性研究は本研究が新規となる。また、2次元三角格子系にとどまらず、磁気揺らぎの顕在化が期待できる低次元的な Yb^{3+} イオンのネットワークを有する系の探索も同時に進める。

3. 研究の方法

(1) 固相反応法、フラックス法、密閉金属るつぼを用いた高周波溶解法等の種々の作製手法を用い、目的物質の結晶作製を行った。Yb は融解時の蒸発が激しい元素であり、通常の融解法では Yb 化合物の合成は困難であるため、上記のような手法を取る必要があった。

(2) 基礎物性である、磁化および比熱の測定を行った。量子スピン液体に関する研究では極低温での実験が必須となる。今回、比熱測定に関しては 0.4K までの温度変化を調査した。

(3) 秩序状態の同定や電子状態の詳細を明らかにするために、マイクロな実験手法である、中性子回折実験、ミュオンスピン回転緩和法実験、電子スピン共鳴実験、硬 X 線光電子分光法実験を行った。

4. 研究成果

(1) 様々な作製手法を試み最終的には KCl を溶媒としたフラックス法によって、図 1 に示したような薄緑色をした半透明の約 0.6mm 四方の KYbS_2 単結晶の育成に成功した。得られた単結晶試料を用いて、4 軸 X 線回折実験による結晶構造の精密化を行い、結晶学的なサイト混成は生じておらず、Yb 原子の 2次元三角格子が結晶中で形成されていることを確認した。磁化測定の結果から、Yb のイオン価数は結晶中で 3 価として存在していることを明らかにした。この実験結果に加えて、本物質は絶縁体であることから当初の予測通り、形式電荷は $(\text{K}^+)(\text{Yb}^{3+})(\text{S}^{2-})_2$ と表せる電荷バランスのとれた物質で

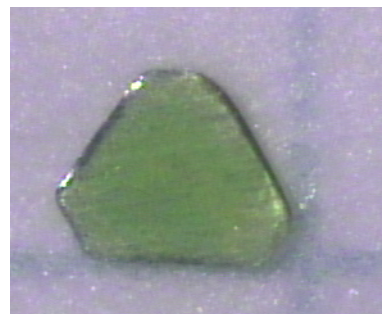


図 1. KYbS_2 単結晶試料の写真

あると考えられる。また、常磁性キュリー温度は -90K 程の大きな値を持っており、反強磁性相関の強い系であることがわかった。低温領域での帯磁率の温度依存性の解析から、平均の g 因子は 3.2 と求まり、この値は類縁物質の NaYbO_2 と同程度であった。比熱測定の結果からは 0.4K まで磁気秩序に伴う λ 型の比熱異常は観測されず、図 2 に示したブロードなダブルピーク構造が観測された[2]。挿入図は室温までの測定結果とデバイ・アインシュタインモデルによる解析結果を示しており、それによって見積もられた格子比熱を差し引き、算出した磁気比熱を白抜き丸の青丸で示している。このような比熱の温度依存性は、2 次元三角格子の理論模型において出現する特徴的な振る舞いであり、 KYbS_2 において理想的な 2 次元三角格子が実現していることを示唆するものである。また、このダブルピーク構造を含めた 30K 付近で磁気エントロピーがおおよそ $R \ln 2$ に達していることから、結晶場基底状態はクラマース二重項であることがわかった。

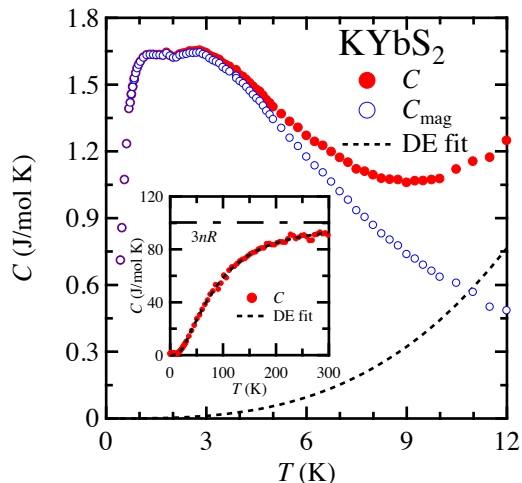


図 2. KYbS_2 の比熱の温度依存性

同時期に海外でも AYbX_2 系の研究が始まり、加速度的に同型の結晶構造を持つ物質の研究報告が続いた。その中で、大型の単結晶試料作製に成功した NaYbO_2 では広い波数領域でのブロード且つギャップレスな連続磁気励起の観測報告が成された[3]。この磁気励起スペクトルの様子は量子スピン液体で生じるスピノンの特徴によく似ている。 NaYbO_2 と本研究で取り扱った KYbS_2 は多くの共通した基礎物性を示すことから、 KYbS_2 は有力な量子スピン液体候補物質と位置付けることができる。

(2) KYbS_2 と同じ組成比と形式電荷をもつ絶縁体の YbAgS_2 [$(\text{Yb}^{3+})(\text{Ag}^+)(\text{S}^{2-})_2$] において、磁性イオンである Yb^{3+} ネットワークの低次元性から来る短距離磁気相関の発達に伴う磁気揺らぎを観測した。純良な多結晶試料を固相反応法により合成し、J-PARC 加速器施設で実施した中性子回折実験より、単斜晶系に属する結晶構造を持つことを明らかにした。結晶中では、 Yb^{3+} イオンは 1 次元ジグザク鎖構造を取っている。磁化測定から、 $T_N = 6.6$ K の反強磁性体であることを明らかにした[4]。この転移温度は Yb 化合物としては比較的高い部類に属する。帯磁率に現れる T_N での変化は小さいものの、ミュオンスピン回転緩和法により観測した、スピン偏極の非対称性の温度変化から反強磁性転移であることが確かめられた。また、粉末中性子回折実験で観測された、格子に対して不整合な弱い磁気反射の存在も反強磁性体であることを裏付けている。

YbAgS_2 が通常反強磁性体と大きく異なる点は T_N 直上の温度領域においてブロードな異常が現れることである(図 3)。この異常に対応する変化は、比熱測定の結果にも T_N での λ 型の比熱異常に続くショルダー型の比熱の温度依存性として観測されている。このショルダー型の異常を含めた磁気エントロピーが $R \ln 2$ と見積もられることより、結晶場基底状態はクラマース二重項であると結論付けられる。さらに、 Yb^{3+} イオン周囲の S 原子の配置が八面体配位に近いことから、立方晶近似を用いた結晶場解析を行った。基底状態は Γ_7 タイプの波動関数に近いクラマース二重項であり、励起状態は十分に離れていることを明らかにした。よって、結晶場基底のクラマース二重項が有効的に $S = 1/2$ として振る舞うことが期待される。

磁化測定結果のモデル解析を行う上で必要な g 因子を決定するために、電子スピン共鳴実験を行った。共鳴磁場の周波数依存性を測定し、 $g=3.39$ と決定した。この値を用い、鎖内の磁気相互作用に加え、鎖間の磁気相互作用を取り入れたハイゼンベルグ反強磁性模型による解析から、図 3 の青線で示すように帯磁率の温度依存性を説明することに成功した。以上の結果は、 YbAgS_2 において 1 次元ジグザク鎖構造に由来する低次元磁性が発現することを示すものである。

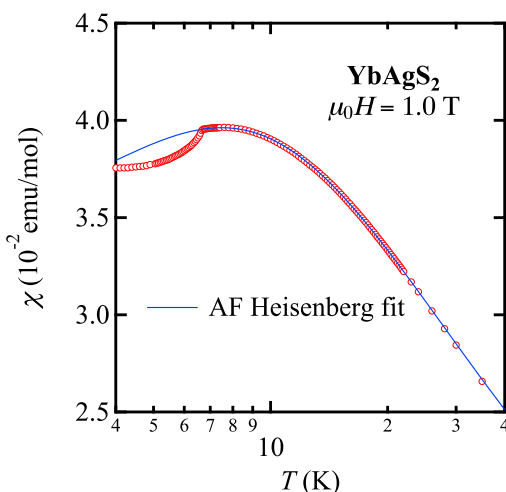


図 3. YbAgS_2 の帯磁率の温度依存性

(3) Yb_5Ge_4 は YbAgS_2 と同様に T_N 直上に帯磁率と比熱にブロードな異常が存在する。これまでに、放射光 X 線を用いた回折吸収スペクトル法である DAFS 法によって、磁性イオンである Yb^{3+} と非磁性イオンである Yb^{2+} の電荷秩序が生じていることを明らかにしている。帯磁率と比熱の

温度変化に現れる異常はこの Yb^{3+} イオンの低次元的な配列が起源となっている。本研究で実施した硬 X 線光電子分光法により、結晶中の Yb イオンの価数比を明らかにし、基礎物性の測定結果や上記 DAFS 法で得られた解析結果と矛盾のないことを示した[5]。

<引用文献>

- (1) Y. Shen, Y. D. Li, H. Wo, Y. Li, S. Shen, B. Pan, Q. Wang, H. C. Walker, P. Steffens, M. Boehm, Y. Hao, D. L. Quintero-Castro, L. W. Harriger, M. D. Frontzek, L. Hao, S. Meng, Q. Zhang, G. Chen, and J. Zhao, Evidence for a Spinon Fermi Surface in a Triangular-Lattice Quantum-Spin-Liquid Candidate, *Nature* **540**, 559 (2016).
- (2) R. Iizuka, S. Michimura, R. Numakura, Y. Uwatoko, and M. Kosaka, Single Crystal Growth and Physical Properties of Ytterbium Sulfide KYbS_2 with Triangular Lattice, *J. Phys. Soc. Jpn.: Conf. Proc.* **30**, 011097 (2020).
- (3) L. Ding, P. Manuel, S. Bachus, F. Grusler, P. Gegenwart, J. Singleton, R. D. Johnson, H. C. Walker, D. T. Adroja, A. D. Hillier, and A. A. Tsirlin, Gapless Spin-Liquid State in the Structurally Disorder-Free Triangular Antiferromagnet NaYbO_2 , *Phys. Rev. B* **100**, 144432 (2019).
- (4) R. Iizuka, R. Numakura, S. Michimura, S. Katano, and M. Kosaka, Magnetic Properties of Rare-Earth Sulfide YbAgS_2 , *Physica B* **536**, 314 (2018).
- (5) S. Michimura, M. Kosaka, A. Machida, R. Numakura, R. Iizuka, S. Katano, Y. Imai, N. Shirakawa, Y. Yamasaki, H. Nakao, H. Sato, S. Ueda, and K. Mimura, Charge-Ordered State and Low-Dimensional Magnetic Fluctuations in Yb_5Ge_4 Single Crystal, *J. Phys. Soc. Jpn.* **90**, 044703 (2021).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Kosaka Masashi, Michimura Shinji, Hirabayashi Hikaru, Numakura Ryosuke, Iizuka Ryosuke, Kuwahara Keitaro, Uwatoko Yoshiya	4. 巻 89
2. 論文標題 Single-Crystal Growth and Physical Properties of EuZn ₂ Ge ₂	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 054704 ~ 054704
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.89.054704	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 Michimura Shinji, Kosaka Masashi, Machida Ayumi, Numakura Ryosuke, Iizuka Ryosuke, Katano Susumu, Imai Yoshiki, Shirakawa Naoki, Yamasaki Yuichi, Nakao Hironori, Sato Hitoshi, Ueda Shigenori, Mimura Kojiro	4. 巻 90
2. 論文標題 Charge-Ordered State and Low-Dimensional Magnetic Fluctuations in Yb ₅ Ge ₄ Single Crystal	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 044703 ~ 044703
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.90.044703	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 Iizuka Ryosuke, Michimura Shinji, Numakura Ryosuke, Uwatoko Yoshiya, Kosaka Masashi	4. 巻 30
2. 論文標題 Single Crystal Growth and Physical Properties of Ytterbium Sulfide KYbS ₂ with Triangular Lattice	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Phys. Soc. Jpn.: Conf. Proc.	6. 最初と最後の頁 011097 (6pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.30.011097	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 Kosaka Masashi, Kasuya Shunsuke, Michimura Shinji, Iizuka Ryosuke, Uwatoko Yoshiya	4. 巻 30
2. 論文標題 Magnetic and Transport Properties of Rare Earth Zintl Compound Yb ₈ Ge ₃ Sb ₅	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Phys. Soc. Jpn.: Conf. Proc.	6. 最初と最後の頁 011138 (6pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.30.011138	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 Block Theresa, Numakura Ryosuke, Kosaka Masashi, Michimura Shinji, Pottgen Rainer	4. 巻 74
2. 論文標題 Magnetic hyperfine field splitting in the Zintl phase Eu ₂ Mg ₄ Si ₃	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Zeitschrift fur Naturforschung B	6. 最初と最後の頁 451 ~ 454
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1515/znb-2019-0055	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 Iizuka Ryosuke, Numakura Ryosuke, Michimura Shinji, Katano Susumu, Kosaka Masashi	4. 巻 536
2. 論文標題 Magnetic properties of rare-earth sulfide YbAgS ₂	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physica B: Condensed Matter	6. 最初と最後の頁 314 ~ 316
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physb.2017.09.049	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 Numakura Ryosuke, Iizuka Ryosuke, Michimura Shinji, Katano Susumu, Kosaka Masashi	4. 巻 536
2. 論文標題 Single crystal growth and physical properties of the new ternary compound Eu ₂ Mg ₄ Si ₃	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physica B: Condensed Matter	6. 最初と最後の頁 262 ~ 266
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physb.2017.11.030	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 Michimura Shinji, Nishikawa Ushio, Shimizu Akihito, Kosaka Masashi, Numakura Ryosuke, Iizuka Ryosuke, Katano Susumu	4. 巻 536
2. 論文標題 Influence of Pt substitution on magnetic properties of multipolar ordering compounds Ce(Pd,Pt) ₃ S ₄	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physica B: Condensed Matter	6. 最初と最後の頁 1 ~ 5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physb.2017.10.120	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19件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 石崎嵩人, 菅野友哉, 高野元輝, 星翔太, 荒瀬将太郎, 野田新太, 大曲雄大, 鬼丸孝博, 飯塚亮介, 道村真司, 小坂昌史, 佐賀山基, 大山研司
2. 発表標題 希土類絶縁体 YbTS ₂ (T:Ag, Cu)の単結晶構造解析
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 久保田雅樹, 大竹麻祐子, 道村真司, 小坂昌史
2. 発表標題 CeLiGe ₂ の単結晶育成と物性
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 青木優樹, 渡辺咲季, 道村真司, 小坂昌史
2. 発表標題 混合原子価Euフッ化硫化物Eu ₃ F ₄ S ₂ の単結晶育成と物性
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 庄司直輝, 道村真司, 小坂昌史
2. 発表標題 Cd-P混合フラックスを用いたRCd ₃ P ₃ (R=La, Ce, Pr)の単結晶育成と物性
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤田一希, 道村真司, ユンハドン, 小坂昌史
2. 発表標題 オリビン型一次元三角格子系Yb ₂ ZnS ₄ の物性測定及び単結晶構造解析
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松田遥香, 道村真司, 小坂昌史
2. 発表標題 Erホウ化物ErNiB ₄ の試料作成と物性
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石崎嵩人, 荒瀬将太郎, 野田新太, 山本隆文, 松川健, 大曲雄大, 鬼丸孝博, 飯塚亮介, 道村真司, 小坂昌史, 大山研司
2. 発表標題 希土類絶縁体YbTS ₂ (T:Ag, Cu)の磁気秩序
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 飯塚亮介, 道村真司, 青木優樹, 石崎嵩人, 山本隆文, 大山研司, 佐藤一彦, 小林拓矢, 谷口弘三, 髭本亘, 赤木暢, 大久保晋, 太田仁, 小坂昌史
2. 発表標題 イッテルビウム絶縁体YbAgS ₂ の低次元磁性
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 青木優樹, 飯塚亮介, 道村真司, 小坂昌史
2. 発表標題 Ybジグザグ鎖をもつYbAgSe ₂ の単結晶構造解析及び物性測定
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 R. Iizuka, R. Numakura, S. Michimura, Y. Uwatoko, and M. Kosaka
2. 発表標題 Growth of Single Crystal and Physical Properties of Ytterbium Sulfide KYbS ₂ with Triangular Lattice
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Kosaka, S. Kasuya, S. Michimura, R. Iizuka, and Y. Uwatoko
2. 発表標題 Magnetic and Transport Properties of Rare Earth Zintl Compound Yb ₈ Ge ₃ Sb ₅
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Michimura, S. Sakai, K. Sekiya, R. Iizuka, R. Numakura, and M. Kosaka
2. 発表標題 Magnetic and Transport Properties of Ternary Pnictide Compound SmPtP
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 道村真司, 平林輝, 飯塚亮介, 酒井俊, 小坂昌史, 増田亮, 中尾裕則, 本元悟, 桑原慶太郎
2. 発表標題 正方晶EuZn ₂ Ge ₂ の逐次相転移と磁気構造
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 星野瑞希, 飯塚亮介, 道村真司, 小坂昌史
2. 発表標題 希土類硫化物GdAgS ₂ の物性
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 飯塚亮介, 沼倉凌介, 星野瑞希, 道村真司, 小坂昌史
2. 発表標題 希土類硫化物YbAgS ₂ の低温下での粉末X線回折
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 道村真司, 酒井俊, 飯塚亮介, 沼倉凌介, 小坂昌史
2. 発表標題 単結晶SmTP(T=Ni, Pt)の物性と結晶場の推定
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 飯塚亮介, 沼倉凌介, 道村真司, 小坂昌史
2. 発表標題 二次元三角格子Yb硫化物YbAS ₂ (A: アルカリ金属) の単結晶育成と物性
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本隆文, 杉本和哉, 大山研司, 飯塚亮介, 道村真司, 小坂昌史, 松川健, 星川晃範, 石垣徹
2. 発表標題 希土類絶縁体YbAgS ₂ の構造転移の研究
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 粕谷駿介, 沼倉凌介, 飯塚亮介, 道村真司, 小坂昌史
2. 発表標題 ジントル化合物Yb ₈ Ge ₃ Sb ₅ の単結晶育成と物性
3. 学会等名 日本物理学会
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
研究 分担者	道村 真司 (Michimura Shinji) (40552310)	埼玉大学・研究機構・助教 (12401)	

6. 研究組織（つづき）

	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
連携研究者	大山 研司 (Ohoyama Kenji) (60241569)	茨城大学・理工学研究科・教授 (12101)	
連携研究者	大久保 晋 (Okubo Susumu) (80283901)	神戸大学・分子フォトサイエンス研究センター・准教授 (14501)	
連携研究者	髭本 巨 (Higemoto Wataru) (90291103)	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・先端基礎研究センター・研究主幹 (82110)	

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		
ドイツ	ヴェストファーレン・ヴィルヘルム大学		