

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K21839

研究課題名（和文）量子スカーミオンの探索

研究課題名（英文）Search for quantum skyrmions

研究代表者

佐藤 卓（Sato, Taku）

東北大学・多元物質科学研究所・教授

研究者番号：70354214

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：スカーミオンとは連続場中のトポロジカル欠陥であり、2009年にカイラル磁性体MnSiのスピンテクスチャーとして観測され磁性物理学の中心的課題となった。磁気スカーミオンはトポロジカルに保護された構造であり、基礎物理学から情報伝達応用まで広い範囲で注目を集め精力的に研究が進められている。本研究で我々は量子スカーミオンの探索を提案し絶対零度でスカーミオン相を形成する量子磁性体の探索を行った。Ce<sup>3+</sup>やYb<sup>3+</sup>を含む遍歴量子磁性体を中心に多数の物質の合成・バルク磁性測定から中性子散乱測定までを系統的に行い、六方晶Yb金属間化合物中に絶対零度近傍でのtriple-q構造形成を発見する等の成果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

磁気スカーミオンは磁性物理学からデバイス応用までの広い観点から精力的に研究されている。当初磁気スカーミオンは反転対称性の破れた系で観測されてきたが、最近では反転対称な系でも観測されるなどますます普遍的に見られている。一方で、それらのほとんどは有限温度で観測される熱揺らぎ起源と考えられている。本研究で我々が発見した絶対零度近傍でのtriple-q構造形成は、過去に観測された例が少なく新規なものと考えられる上に、これまで知られている熱揺らぎ起源の磁気スカーミオンとは本質的に異なる可能性があり、この発見の学術的意義は大きいと考えられる。

研究成果の概要（英文）：Skyrmions are originally proposed as topological defects in a continuum field. Magnetic skyrmions, skyrmion-like defects in magnetization field, were observed as spin textures in the chiral magnet MnSi in 2009, and have become a central issue in condensed matter physics. Because of inherent topological protection of the magnetic skyrmions, they have attracted wide attention and been intensively studied from fundamental physics viewpoint to technological application as information carriers. In this study, we proposed to search for quantum skyrmions. We have systematically synthesized a large number of materials, mainly itinerant quantum magnets including Ce<sup>3+</sup> and Yb<sup>3+</sup>, and measured their bulk magnetism and neutron scattering. As a representative result, we found a triple-q structure in a hexagonal Yb intermetallic compound near absolute zero temperature. We have also obtained various other results.

研究分野：磁性・中性子散乱

キーワード：quantm skyrmion neutron scattering high energy resolution inelastic scattering

### 1. 研究開始当初の背景

スカーミオンとは連続場中のトポロジカル欠陥であり、歴史的には核子を記述するため導入された非線形場の理論にその端を発する。その後、スカーミオンと理解されるトポロジカル欠陥は凝縮系においても数多く発見されたが、2009年にカイラル磁性体  $\text{MnSi}$  のスピントクスチャーとして観測されるに至り磁性物理学の中心的課題の一つとなった。磁気スカーミオン構造はトポロジカルに保護された構造であり (図 1)、その生成や消滅といった基礎物理学的興味から情報伝達応用までの広い範囲で大きな注目を集め、現在に至るまで精力的に研究が進められている。これまでの研究から磁気スカーミオンは長周期磁気構造を基底状態にもつ種々の磁性体において有限磁場・有限温度で形成されることがわかっており、熱揺らぎにより形成するトポロジカルスピン構造であると理解されている。一方で、研究開始当初においては量子力学的な準粒子励起としての量子スカーミオンが理論的に提案され、種々の量子磁性体におけるスカーミオン形成の可能性に大きな興味を持たれていた。量子スカーミオンの理論提案は色々あるが、当初の提案においては絶対零度でスカーミオン相を形成する系における磁場中での出現が予想されていた[1]。一方で、実験的には同時期に  $\text{Cu}_2\text{OSeO}_3$  において (有限温度スカーミオン相に加えて) 絶対零度付近でスカーミオン相を形成するとの報告がなされていた[2]。

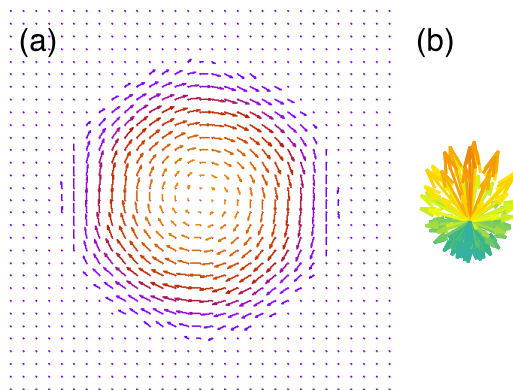


図 1: (a)トポロジカルスピントクスチャーとしての磁気スカーミオン構造と(b)スカーミオンスピンを原点から示した図。 $4\pi$ 全体を覆い尽くす構造となっている。

### 2. 研究の目的

量子磁性体中に絶対零度で形成するスカーミオン励起の探索という非常に挑戦的な課題が最終目的である。これを達成するためにはまず絶対零度付近でスカーミオンを形成する量子磁性体を見つけ出す必要がある。さらに量子スカーミオンの観測には中性子散乱が可能な巨大単結晶の育成、さらに極低温磁場環境の整備も必要になる。これらを達成することが本研究の具体的な目的である。

### 3. 研究の方法

量子スカーミオンの有力候補物質と考えられた  $\text{Cu}_2\text{OSeO}_3$  に関して気相成長法による巨大単結晶育成を試みた。一方で、 $\text{Cu}_2\text{OSeO}_3$  に関してはその磁場スケールから実験が極めて挑戦的となることが当初から予想されていたため、同時に他の量子磁性体における絶対零度スカーミオン形成の可能性探索を進めた。指針として、六方晶系の物質であり、磁気モーメントが低温で擬スピン  $1/2$  と考えられ、かつ磁気相互作用のもとら  $\chi(Q)$  が面内非整合位置にピークを持つと予想される物質を有力候補と考えた。この指針のもと、その他の晶系の物質群も含め種々の磁性体を実際に作製しその物性を帯磁率測定等から検討した。有力候補となった物質に関して中性子粉末回折、中性子非弾性散乱および中性子小角散乱実験を実施した。

### 4. 研究成果

研究期間初期においては、当初量子スカーミオン候補と考えた  $\text{Cu}_2\text{OSeO}$  の精密磁場中スカーミオン構造研究、並びに単結晶育成研究を行なった。前者から(1)  $\text{Cu}_2\text{OSeO}_3$  のスカーミオン相中に興味深い高調波変調が確認されたものの、後者の単結晶育成研究から量子スカーミオン実験に必要なサイズの単結晶を得ることが難しいことが判明した。これは研究計画時にも予想されていたことであるが、実験的に明らかにできたことは一つの成果と考えられる。この結果を踏まえ、実験計画における第二の道である金属量子磁性体における絶対零度スカーミオン相の探索へと大きく舵を切った。金属磁性体における絶対零度スカーミオン相の探索に関しては、(2)カイラル磁性体  $\text{MnSi}$  のドーピングによる低温スカーミオン安定化の可能性探索、(3)六方晶における絶対零度スカーミオン相形成の可能性探索を行なった。

#### (1) $\text{Cu}_2\text{OSeO}_3$ スカーミオン相中の高調波変

熱的な揺らぎによる形成する磁気スカーミオン格子は、大きさが等しく向きが  $120$  度異なる  $3$  つの磁気変調ベクトルの組み合わせさせた **triple- $q$**  構造として理解されている。しかしながら、異方性やそもそもの磁気モーメントの大きさに関する制限等の起源で理想的な **triple- $q$**  構造は歪み、磁気変調に高調波成分が生じることが知られていた。この高調波成分は実験的に常につき

まとう多重散乱成分との区別が難しく、詳しい研究はなされていなかった。我々は  $\text{Cu}_2\text{OSeO}_3$  のスカーミオン相中にて長時間中性子小角散乱観測を行い、統計精度の高いデータを取得すること（図 2）、および、この系の 2 種類の磁気スカーミオン格子の存在を最大限活用することで高調波成分の分離に成功し、数値計算と組み合わせることで磁場印加に伴う磁気スカーミオン格子の変形を説明することに成功した。

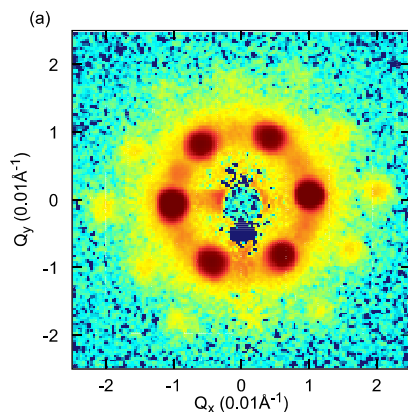


図 2:  $\text{Cu}_2\text{OSeO}_3$  スカーミオン相における中性子小角散乱パターン。散乱強度はログスケールで示されている。中心の 6 回対称反射のみならず、外側に高調波成分が明らかに観測されている。[3]より引用。

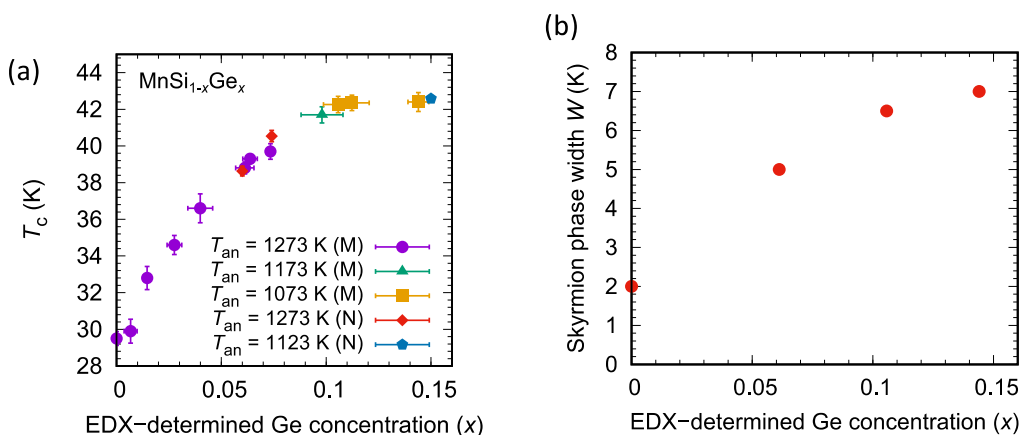


図 3:  $\text{MnSi}_{1-x}\text{Ge}_x$  における (a) 転移温度  $T_c$  の Ge 濃度  $x$  依存性、および (b)  $H$ - $T$  相図中のスカーミオン相幅の  $x$  依存性。[4]より引用。

### (2) カイラル磁性体 $\text{MnSi}$ のドーピングによる低温スカーミオン安定化の可能性

$\text{MnSi}$  は磁気スカーミオン相が初めて報告された物質であり、典型的なスカーミオン形成物質であると考えられている。我々は  $\text{Si}$  を  $\text{Ge}$  に置換することでスカーミオン形成範囲を低温領域に広げる可能性を調べた。図 3 に  $\text{MnSi}_{1-x}\text{Ge}_x$  における磁気転移温度、および、有限磁場で現れるスカーミオン相温度幅の  $\text{Ge}$  濃度  $x$  依存性を示す。図よりわかる通り  $\text{Ge}$  ドーピングにより転移温度が上昇すると同時にスカーミオン相の幅も広がり、スカーミオンの安定領域が広がっていることがわかる。しかしながら、単結晶試料が育成できる  $\text{Ge}$  濃度範囲においてはスカーミオン相が絶対零度まで広がることはないことが明らかとなった。

### (3) 六方晶金属量子磁性体における絶対零度スカーミオン安定化の可能性

六方晶金属磁性体においては伝導電子を介した磁気モーメント間相互作用により磁気秩序が形成するが、その高次効果により  $\text{multi-}q$  構造が安定化することが理論的に提案されていた[5]。このスカーミオン形成は絶対零度において生じるものであり、本研究の対象物質としての可能性が考えられた。そこで、結晶構造データベース等から種々の六方晶金属磁性体を探し出し、実際に作製・物性測定することで候補物質を探した。特に量子揺らぎの観点から低温で擬スピン  $1/2$  を形成する  $4f$  磁性イオン  $\text{Ce}^{3+}$  や  $\text{Yb}^{3+}$  を候補と考え集中的に探索した。かなりの数の物質に関してバルク物性評価およびその粉末中性子回折による磁気基底状態評価を行なったが、この中で

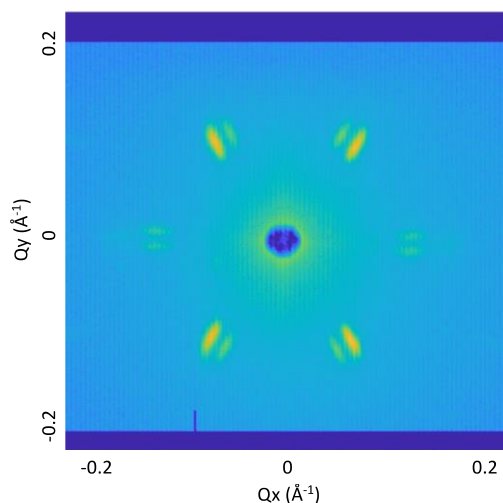


図 4:  $\text{Yb}_3\text{Ru}_4\text{Al}_{12}$  の  $T = 0.3 \text{ K}$ ,  $H = 0 \text{ Oe}$  における中性子小角散乱パターン。

$\text{Yb}_3\text{Ru}_4\text{Al}_{12}$  に関して、低温で格子非整合な磁気秩序が生じる可能性が粉末中性子回折から示唆された。この結果を元に、極低温における冷中性子三軸分光器を用いた精密な単結晶散乱実験を行ったところ、最低温において  $q \sim (0.12 + \delta, 0.12 - \delta, 0)$  の変調ベクトルで特徴づけられる非整合長周期磁気秩序が起きていることが確認された。 $ab$  面内に変調ベクトルを持つ長周期磁気構造の形成は伝導電子起源スカーミオン相形成の必要条件を満たしている。そこで、本物質の磁場中中性子小角散乱実験を実施し、multi- $q$  磁気構造の可能性を追求した。

図 4 に  $T = 0.3 \text{ K}$  (最低温) およびゼロ磁場における中性子小角散乱パターンを示す。興味深いことに磁気反射が 12 個見られることがわかった。詳細な面内磁場依存性測定から、4 つの磁気反射が組みをなしていること、その組みの 120 度回転により小角散乱パターンが説明できることが明らかとなった。このことはゼロ磁場においてすでに double- $q$  磁気構造が形成されていることを示しており、その起源に大きな興味を持たれる。面内磁場の印加に伴い磁気反射は 6 回の対称性を失うが、中間磁場 ( $H = 3 \text{ kOe}$ ) においては triple- $q$  構造が安定化することも確認された。このことは面内磁場においてスカーミオン相を形成していることを強く示唆している。さらに磁場を印加することで最終的に強制強磁性へと移行する。

本研究実施期間のほとんどがコロナ禍と重なり中性子散乱実験のための出張が極めて難しい状況であった。このため研究期間を一年延長し、コロナ禍がある程度収まりを見せた 2022 年から集中的に中性子実験を実施した。このため、スカーミオン相崩壊直後の状態での磁気励起測定を行うことはできなかったが、量子磁性体中に絶対零度で形成する triple- $q$  構造を初めて確認したことは非常に大きな成果であると考えられる。

<参考文献>

- [1] R. Takashima, H. Ishizuka, and L. Balents, Phys. Rev. B 94, 134415 (2016).
- [2] A. Chacon et al., Nature Phys. 14, 936 (2018).
- [3] J. D. Reim, S. Matsuzaka, K. Makino, S. Aji, R. Murasaki, D. Higashi, D. Okuyama, Y. Nambu, E. P. Gilbert, N. Booth, S. Seki, Y. Tokura and T. J. Sato, Phys. Rev. B 106, 104406 (2022).
- [4] S. Aji, H. Ishida, D. Okuyama, K. Nawa, T. Hong and T. J. Sato, Phys. Rev. Mater. 3, 104408 (2019).
- [5] R. Ozawa, S. Hayami and Y. Motome, Phys. Rev. Lett. 118, 147205 (2017).

## 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 4件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Nawa Kazuhiro, Imai Yoshinori, Yamaji Youhei, Fujihara Hideyuki, Yamada Wakana, Takahashi Ryotaro, Hiraoka Takumi, Hagihara Masato, Torii Shuki, Aoyama Takuya, Ohashi Takamasa, Shimizu Yasuhiro, Gotou Hirotada, Itoh Masayuki, Ohgushi Kenya, Sato Taku J.	4. 巻 90
2. 論文標題 Strongly Electron-Correlated Semimetal Ru13 with a Layered Honeycomb Structure	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 123703(1-5)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/jpsj.90.123703	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 Farid Labib, Daisuke Okuyama, Nobuhisa Fujita, Tsunetomo Yamada, Satoshi Ohhashi, Taku J Sato, An-Pang Tsai	4. 巻 32
2. 論文標題 Magnetic properties of icosahedral quasicrystals and their cubic approximants in the Cd-Mg-RE (RE = Gd, Tb, Dy, Ho, Er, and Tm) systems	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Condensed Matter	6. 最初と最後の頁 415801-415801
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-648x/ab9343	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 Takanobu Hiroto, Taku J Sato, Huibo Cao, Takafumi Hawaii, Tetsuya Yokoo, Shinichi Itoh, Ryuji Tamura	4. 巻 32
2. 論文標題 Noncoplanar ferrimagnetism and local crystalline-electric-field anisotropy in the quasicrystal approximant Au70Si17Tb13	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Condensed Matter	6. 最初と最後の頁 415802-415802
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-648x/ab997d	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 Mitsuru Takahashi, Kazuhiro Nawa, Daisuke Okuyama, Hiroyuki Nojiri, Matthias D. Frontzek, Maxim Avdeev, Masahiro Yoshida, Daichi Ueta, Hideki Yoshizawa, Taku J. Sato	4. 巻 89
2. 論文標題 Crystal Structure and Magnetic Properties of the Breathing Kagome Ising Antiferromagnet Yb3Ni11Ge4.63	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 094704-094704
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/jpsj.89.094704	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 Farid Labib,Daisuke Okuyama,Nobuhisa Fujita,Tsunetomo Yamada,Satoshi Ohhashi,Daisuke Morikawa,Kenji Tsuda,Taku J Sato,An-Pang Tsai	4. 巻 32
2. 論文標題 Structural-transition-driven antiferromagnetic to spin-glass transition in Cd-Mg-Tb 1/1 approximants	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Condensed Matter	6. 最初と最後の頁 485801-485801
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-648x/aba921	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 Kazuhiro Nawa, Daigorou Hirai, Maiko Kofu, Kenji Nakajima, Ryo Murasaki, Satoshi Kogane, Motoi Kimata, Hiroyuki Nojiri, Zenji Hiroi, Taku J. Sato	4. 巻 2
2. 論文標題 Bound spinon excitations in the spin-12 anisotropic triangular antiferromagnet Ca <sub>3</sub> ReO <sub>5</sub> Cl <sub>2</sub>	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 043121-1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/physrevresearch.2.043121	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 Pharit Piyawongwatthana, Daisuke Okuyama, Kazuhiro Nawa, Kittiwit Matan, Taku J. Sato	4. 巻 90
2. 論文標題 Formation of Single Polar Domain in -Cu <sub>2</sub> V <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	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 025003-1-2
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/jpsj.90.025003	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 Aji Seno, Ishida Hidesato, Okuyama Daisuke, Nawa Kazuhiro, Hong Tao, Sato Taku J.	4. 巻 3
2. 論文標題 Effect of Ge substitution on magnetic properties in the itinerant chiral magnet MnSi	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 104408-1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.3.104408	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

[学会発表] 計26件(うち招待講演 9件/うち国際学会 15件)

1. 発表者名 Taku J Sato
2. 発表標題 Nonreciprocal and topological magnetic excitations
3. 学会等名 PACIFICHEM 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Taku J Sato
2. 発表標題 Magnetism of quasicrystal approximants
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kazuhiro Nawa, Akihito Ebina, Daisuke Okuyama, Asuka Ishikawa, Ryuji Tamura, Taku J Sato
2. 発表標題 Magnetic and Electron Transport Properties of the magnetic quasicrystal approximant Au70Al16Tb14
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 那波 和宏, 奥山 大輔, 海老名 慧一, 村崎遼, Maxim Avdeev, Chin-Wei Wang, 高倉 洋礼, 石川 明日香, 田村 隆治, 佐藤 卓
2. 発表標題 近似結晶Au65Ga21Tb14及びAu70Al16Tb14の磁性
3. 学会等名 日本中性子科学会第21回年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松坂信之介, 那波和宏, 奥山大輔, 佐藤卓
2. 発表標題 量子三角格子磁性体Ba <sub>3</sub> Yb(BO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> の単結晶育成および結晶場
3. 学会等名 日本中性子科学会第21回年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 H. C. Wu, D. Okuyama, K. Nawa, A. Nakamura, D. Aoki, T. J. Sato
2. 発表標題 Neutron diffraction study for the magnetic ordering in YbNiSn single crystal
3. 学会等名 日本中性子科学会第21回年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Taku Sato
2. 発表標題 Neutron diffraction study on the magnetic approximants, periodic crystalline compounds approximating quasicrystals
3. 学会等名 7th Conference on Neutron Scattering (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤 卓
2. 発表標題 Topological magnetic textures and topological magnetic excitations
3. 学会等名 The 20th Korea-Taiwan-Japan Symposium on Strongly Correlated Electron Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 Seno Aji, Daisuke Okuyama, Kazuhiro Nawa, Shinichiro Yano, Taku J. Sato
2. 発表標題 Low-energy magnetic excitations in the Skyrmion lattice phase of MnSi
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会 (2020年) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 奥山大輔, 牧野晃也, 佐賀山基, 佐藤卓
2. 発表標題 反転対称性の破れたCe5Ru3Al2の高温の構造相転移と低温磁性
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤卓
2. 発表標題 JRR-3の固体物理分野における展開と装置の将来計画
3. 学会等名 拡大装置担当者会議 (東京大学物性研究所 (柏)) (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤卓
2. 発表標題 4G-GPTASを用いた物性研究の今後の展望
3. 学会等名 物性研短期研究会「中性子散乱研究の現状とJRR-3再稼働後の展望」(オンライン開催)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Taku J Sato
2. 発表標題 Recent Aspects of Incommensurate/Noncoplanar Magnetic Order
3. 学会等名 International Research Network: IRN-APERIODIC Open Space Between Aperiodic Order and Physics & Chemistry of Materials Kick off Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 奥山大輔, 山内邦彦, 小口多美夫, 佐藤卓
2. 発表標題 カイラル磁性体の電流効果に関する研究
3. 学会等名 物質・デバイス領域共同研究拠点第9回活動報告会/平成30年度ダイナミック・アライアンス成果報告会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奥山大輔, 那波和宏, 佐藤卓
2. 発表標題 中性子散乱によるトポロジカル磁性の研究
3. 学会等名 物質・デバイス領域共同研究拠点第9回活動報告会/平成30年度ダイナミック・アライアンス成果報告会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 D. Okuyama, M. Bleuel, J.S. White, Q. Ye, J. Krzywon, G. Nagy, Z.Q. Im, I. Zivkovic, M. Bartkowiak, H.M. Ronnow, S. Hoshino, J. Iwasaki, N. Nagaosa, A. Kikkawa, Y. Taguchi, Y. Tokura, D. Higashi, J.D. Reim, Y. Nambu, T.J. Sato
2. 発表標題 Spatial Inhomogeneous Deformation of the Moving Magnetic Skyrmion Lattice in MnSi under Electric Current Flow
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. Aji, H. Ishida, D. Okuyama, K. Nawa, T. Hong, S. Yano, T. J. Sato
2. 発表標題 Magnetic properties in the itinerant chiral magnet MnSi <sub>1-x</sub> Gex
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 奥山大輔, 山内邦彦, 小口多美夫, 佐藤卓
2. 発表標題 中性子回折による磁気スキルミオン格子の電流駆動観測
3. 学会等名 第7回アライアンス若手研究交流会プログラム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 D. Okuyama, M. Bleuel, J.S. White, Q. Ye, J. Krzywon, G. Nagy, Z.Q. Im, I. Zivkovic, M. Bartkowiak, H. M. Ronnow, S. Hoshino, J. Iwasaki, N. Nagaosa, A. Kikkawa, Y. Taguchi, Y. Tokura, D. Higashi, J. D. Reim, Y. Nambu, T. J. Sato
2. 発表標題 Plastic deformation of the moving magnetic skyrmion lattice in MnSi under electric current flow
3. 学会等名 The 3rd Asia-Oceania Conference on Neutron Scattering 2019 (AOCNS 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奥山大輔, 東大樹, 南部雄亮, 佐藤卓
2. 発表標題 中性子回折による電流下の磁気スキルミオン格子の非平衡定常/非定常状態
3. 学会等名 第19回東北大学多元物質科学研究所研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奥山大輔, 牧野晃也, J. D. Reim, E. P. Gilbert, N. Booth, 大石一城, 山内邦彦, 小口多美夫, 佐藤卓
2. 発表標題 立方晶カイラル磁性体Pr <sub>5</sub> Ru <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> の磁気相図及び中性子小角散乱
3. 学会等名 日本物理学会2019秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤 卓
2. 発表標題 Topological magnetic textures and topological magnetic excitations
3. 学会等名 The 20th Korea-Taiwan-Japan Symposium on Strongly Correlated Electron Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤 卓
2. 発表標題 Topological Magnetic Textures and Excitations
3. 学会等名 INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED MATERIAL TECHNOLOGY IN CONJUNCTION WITH INTERNATIONAL CONFERENCE OF MULTIDISCIPLINARY RESEARCH 2019 (ICAMT-ICMR 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤 卓
2. 発表標題 Quantum condensed matter & WAND2 University users
3. 学会等名 WAND2「Complementarity and Synergy effects with the JRR3 Instrument Suite」(招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤 卓
2. 発表標題 Quantum magnetism and topological magnetic structures
3. 学会等名 International School of Crystallography 53rd Course: Magnetic Crystallography (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤卓, Maxim Avdeev, 高木強平, 肖英紀
2. 発表標題 Ga-Pd-Tb 2/1 近似結晶の粉末中性子回折
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会 (2020年), 名古屋
4. 発表年 2020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

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			
オーストラリア	オーストラリア原子力研究機構 (ANSTO)			
米国	オークリッジ国立研究所(ORNL)			