

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 11 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K14327

研究課題名(和文)非平衡定常状態及び外場下における磁気スキルミオンの駆動機構解明

研究課題名(英文) Study to elucidate a driving mechanism of moving magnetic skyrmions in a nonequilibrium steady state and under an external field

研究代表者

奥山 大輔 (Daisuke, Okuyama)

東北大学・多元物質科学研究所・助教

研究者番号：30525390

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)：外部からのエネルギー供給があり非平衡定常状態にある磁気スキルミオン格子の駆動状態を明らかにすべく、電流下での中性子小角散乱を使った研究を開始した。電流中による試料からのジュール熱を起源とした熱勾配が十分小さい条件下で小角中性子散乱が可能となるセッティングを構築し、磁気スキルミオンの電流効果を調べた。その結果、磁気スキルミオン格子は閾電流密度1 MA/m<sup>2</sup> という低電流密度を超えると三角格子を保ったまま駆動し、さらに試料端でのピンニング効果により摩擦のような力を受け塑性変形を起こしつつ流動していると考えられる結果が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今回得られた研究結果より、外力によって駆動している磁気スキルミオン格子は試料端でのピンニング効果により摩擦のような力を受け塑性変形を起こすことが分かった。駆動中の塑性変形はこれまで行われてきた磁気スキルミオン研究では考慮されず、薄膜や細線等のデバイスとして磁気スキルミオンを利用する際にバルク試料と異なった性質を示す一因になっているのではと予想する。本研究成果は磁気スキルミオンを使った記憶媒体などを実現するのに必要不可欠な新しい知見を示したため、本研究の波及効果は大きいと考えている。

研究成果の概要(英文)：To elucidate a nonequilibrium steady state of a magnetic skyrmion lattice under an external force, we study a small angle neutron diffraction experiment of typical chiral magnet MnSi under an electric current flow. In our study, the deformation of the moving magnetic skyrmion lattice in MnSi under electric current flow observed. A spatially inhomogeneous rotation of the skyrmion lattice, with an inverse rotation sense for opposite sample edges, is observed for current densities greater than a threshold value  $j_t \sim 1$  MA/m<sup>2</sup>. Our result show that skyrmion lattices under current flow experience significant friction near the sample edges due to pinning and locally deforms like plastic matter when driven under electric current. This plastic deformation of the magnetic skyrmion lattice is a critical effect that must be considered for anticipated skyrmion-based applications at the nanoscale.

研究分野：磁性、固体物理

キーワード：非平衡定常状態の物理 中性子散乱 磁気スキルミオン

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

位相幾何学的な欠陥は、結晶中の螺旋欠陥や第二種超伝導体におけるボルテックスなど、物理現象の中に広く存在している。最近、位相幾何学的欠陥の一種であるスキルミオンが、カイラル磁性体 MnSi において三角格子を組んだ磁気スキルミオン格子として存在することが海外のグループにより発見され注目を集めている[1]。また、同じ海外のグループにより、電流により MnSi で観測される磁気スキルミオン格子に外力を加わえた時、閾電流密度  $j_t \sim 1 \text{ MA/m}^2$  という非常に小さい電流密度以上の電流を加えると磁気スキルミオンが駆動することを、電流に垂直な方向に熱勾配をかけてトルクの成分にし、その結果生じる磁気スキルミオン格子の回転を中性子小角散乱を用いて観測することで証明した[2]。また、MnSi で観測される磁気スキルミオンの駆動中は、磁気スキルミオン由来のトポロジカルホール効果が減少することも示されており、磁気スキルミオンが閾電流密度  $j_t$  以上の電流下では駆動していることは確かなものとなりつつあった[3]。これまで上記の海外での先行研究により、MnSi での磁気スキルミオンは通常の磁性体のドメイン壁駆動に必要な電流密度の3桁程度小さい閾電流密度で駆動を開始するため、将来的に消費電力の少ないスピントロニクス材料としての応用に有望であることが示されていた。しかし、これまでの先行研究では、駆動中の磁気スキルミオンを観測するために熱勾配を印加していることにより、純粋な電流下で駆動中の磁気スキルミオンの状態の情報は失われていた。磁気スキルミオンの外力中(非平衡定常)での駆動状態(ダイナミクス)を解明することは、磁気スキルミオンを使ったデバイス開発のためにも必要不可欠であり、そのような研究がこれまで望まれていた。

### 2. 研究の目的

本研究課題は磁気スキルミオンの外力下での駆動状態を明らかにすることが目的である。そのため、熱勾配を加えることで発生する磁気スキルミオン格子に対するトルクを無くし、純粋な電流下にある磁気スキルミオンの観測を可能とする研究を開始した。そのような研究を行うには、まず試料のジュール熱から生じる試料内部の熱勾配を可能な限り抑え、さらに低温磁場中で中性子小角散乱実験が可能なセッティングを構築する必要がある。構築した実験セッティングを使用して、純粋な電流のみを MnSi の磁気スキルミオンに与えて非平衡定常状態にし、その状態における磁気スキルミオンのダイナミクスを明らかにすることで本研究課題の目的は達成されると考える。

### 3. 研究の方法

カイラル磁性体 MnSi で観測される磁気スキルミオンは約 10 nm 程度の渦状の磁気構造が三角格子をなしており[1]、磁気スキルミオンの大きさ程度の繰り返し構造が観測可能な中性子小角散乱を用いた。中性子回折では、三角格子を形成する磁気スキルミオンは六回対称の回折線として観測される。以降はこの六回対称の回折線を磁気スキルミオン反射と呼ぶ。また、純粋な電流のみによって磁気スキルミオンに現れる効果を観測するため、本研究ではまずは電流印加下で試料や配線のジュール熱により発生する試料内の熱勾配を可能な限り小さくしつつ、中性子小角散乱実験が可能なセッティングの構築を目指した。スイス PSI と米国 NIST での数回の予備実験および本実験を重ねてそのセッティングを改良することで、最終的には我々の実験で印加可能な最大電流下でも試料内の熱勾配は  $0.03 \text{ K/mm}$  以下に抑えることに成功した。先行研究[2]の熱勾配中での中性子散乱実験に比べて、この試料内の熱勾配の値は1桁程度小さく、我々の実験セッティングでは電流で駆動中の磁気スキルミオンへの熱勾配が与える効果は十分小さいと考えられる。実際に我々の電流下での実験で観測された磁気スキルミオン反射の変化は、先行研究[2]で観測された電流および熱勾配による磁気スキルミオン反射の変化とは全く異なる現象が観測された。

### 4. 研究成果

本研究のために構築した熱勾配が十分小さい条件で実験可能なセッティングを使用して、磁気スキルミオン格子が観測されるカイラル磁性体 MnSi を用

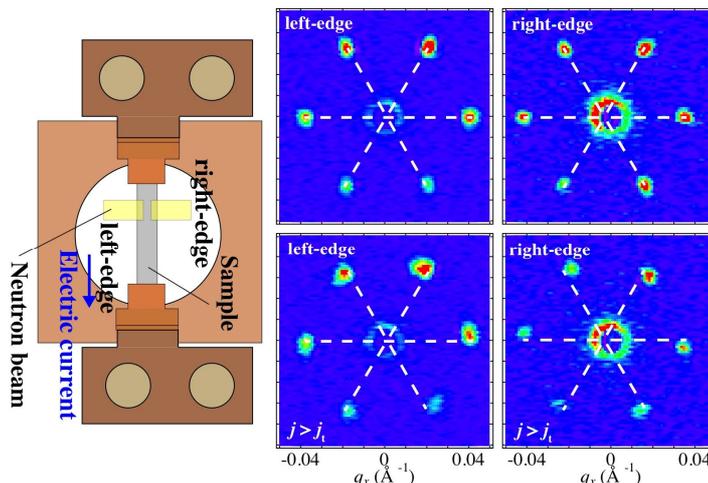


図 1: カイラル磁性体 MnSi で観測された磁気スキルミオン反射。(左)電流下で試料の左端と右端を測定するための中性子実験のセッティング。図中の黄色の四角は入射中性子の照射領域を表し、灰色は MnSi 試料を表す。(右)上図は電流なしで試料の左端と右端に入射中性子を照射時に得られた磁気スキルミオン反射。下図は閾電流密度  $j_t$  以上の電流密度下で観測された磁気スキルミオン反射。試料の左端と右端照射時には磁気スキルミオンの回転方向が反転している。

用

い、電流下での中性子小角散乱実験を行った。実験の結果、先行研究 [2, 3] で磁気スキルミオンの駆動が観測されている閾電流密度  $j_t \sim 1 \text{ MA/m}^2$  以上の電流密度では、磁気スキルミオン反射の反射幅増大が観測された。この幅増大は、磁気スキルミオン格子が電流によって何らかの歪みを受けていることを意味していると考えられる。この歪みの起源を明らかにするため、図 1(左)で見られるように MnSi 試料の左端と右端から 0.2 mm 程度の領域のみに入射中性子を照射し、それ

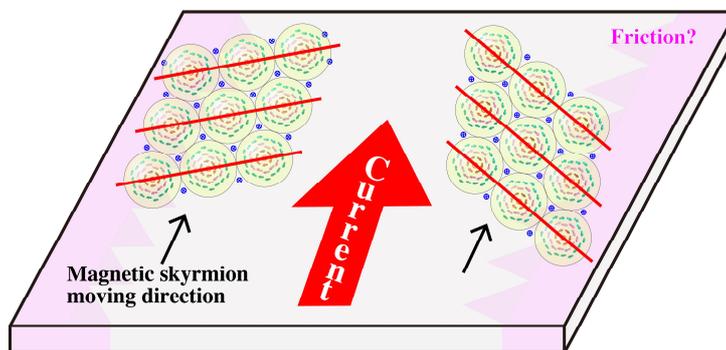


図 2: 閾電流密度を超えた電流密度下で駆動中の磁気スキルミオン格子が試料端付近から摩擦のような力を受け塑性流動することを説明する概念図。

ぞれの磁気スキルミオン反射を観測した。電流印加前は図 1(右)の上図のように、左端または右端のみに中性子を照射すると、ともに六回対称な磁気スキルミオン反射が観測された(白線は目印である)。一方、閾電流密度  $j_t$  以上の電流を印加して実験を行うと、磁気スキルミオン反射の位置は電流印加前の白線位置から回転していることが観測された。回転方向は左端では反時計回り、右端では時計回りであり、印加電流の方向を反転するとそれぞれの端での回転方向も反転した。一方、磁場の反転に対しては磁気スキルミオンの回転方向は変化せず、先行研究 [2] で観測されている温度勾配下で観測された現象とは本質的に異なるものを観測しているようである。この試料の端付近での磁気スキルミオン反射の回転は、駆動中の磁気スキルミオン格子が試料端から摩擦のような力を受け、図 2 のように磁気スキルミオン格子が電流印加によって駆動する方向に対してシア(ずり)変形をしていると考えらうまく説明できる。このような変形は塑性変形と呼ばれる。磁気スキルミオンは閾電流密度以上の電流下で駆動し始めると、その三角格子構造を保ったまま駆動し、かつ端付近の影響を受けて格子が塑性変形を起こしながら流れていく塑性流動的な振る舞いをしていることが分かった[4, 5]。磁気スキルミオンの塑性流動の存在は、磁気スキルミオンの駆動状態は試料の場所や、試料のサイズ、その形状に大きく依存することを表していると考えられる。これは、デバイスとして磁気スキルミオンを使用する時に必要不可欠な情報であり、本研究の成果の波及効果は大きいと考えている。

#### <引用文献>

1. S. Muhlbauer, B. Binz, F. Jonietz, C. Pfleiderer, A. Rosch, A. Neubauer, R. Georgii, P. Boni, Skyrmion Lattice in a Chiral Magnet., *Science* **323**, 915 (2009).
2. F. Jonietz, S. Muhlbauer, C. Pfleiderer, A. Neubauer, W. Munzer, A. Bauer, T. Adams, R. Georgii, P. Boni, R. A. Duine, K. Everschor, M. Garst, A. Rosch, Spin Transfer Torques in MnSi at Ultralow Current Densities., *Science* **330**, 1648 (2010).
3. T. Schulz, R. Ritz, A. Bauer, M. Halder, M. Wagner, C. Franz, C. Pfleiderer, K. Everschor, M. Garst, and A. Rosch, Emergent electrodynamics of skyrmions in a chiral magnet., *Nature Physics* **8**, 301 (2012).
4. 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, Deformation of the moving magnetic skyrmion lattice in MnSi under electric current flow., *Communications Physics* **2**, 79 (2019).
5. 奥山大輔, 東大樹, 南部雄亮, 佐藤卓, 電流下における磁気スキルミオン格子の塑性変形, *波紋* **29**, 171 (2019).

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 7件/うちオープンアクセス 1件）

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 ~ 104408
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
1. 著者名 Okuyama D., Bleuel M., White J. S., Ye Q., Krzywon J., Nagy G., Im Z. Q., Zivkovic I., Bartkowiak M., Ronnow H. M., Hoshino S., Iwasaki J., Nagaosa N., Kikkawa A., Taguchi Y., Tokura Y., Higashi D., Reim J. D., Nambu Y., Sato T. J.	4. 巻 2
2. 論文標題 Deformation of the moving magnetic skyrmion lattice in MnSi under electric current flow	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Communications Physics	6. 最初と最後の頁 79-1 ~ 79-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42005-019-0175-z	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 Sandvik Kim E., Okuyama Daisuke, Nawa Kazuhiro, Avdeev Maxim, Sato Taku J.	4. 巻 271
2. 論文標題 Controlling the stoichiometry of the triangular lattice antiferromagnet $\text{Li}_{1+x}\text{Zn}_2\text{-yMo}_3\text{O}_8$	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Solid State Chemistry	6. 最初と最後の頁 216 ~ 221
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jssc.2018.12.064	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 Okuyama Daisuke, Tsujimoto Masaki, Sagayama Hajime, Shimura Yasuyuki, Sakai Akito, Magata Atsushi, Nakatsuji Satoru, Sato Taku J	4. 巻 88
2. 論文標題 Crystal Structure in Quadrupolar Kondo Candidate $\text{PrTr}_2\text{Al}_{20}$ (Tr = Ti and V)	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 015001 ~ 015001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.88.015001	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 Nawa Kazuhiro, Okuyama Daisuke, Avdeev Maxim, Nojiri Hiroyuki, Yoshida Masahiro, Ueta Daichi, Yoshizawa Hideki, Sato Taku J.	4. 巻 98
2. 論文標題 Degenerate ground state in the classical pyrochlore antiferromagnet Na <sub>3</sub> Mn(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Cl	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 144426(1)-(8)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.98.144426	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 Y. Shiomi, R. Takashima, D. Okuyama, G. Giteatpong, P. Piyawongwatthana, K. Matan, T. J. Sato, E. Saitoh	4. 巻 96
2. 論文標題 Spin Seebeck effect in the polar antiferromagnet -Cu <sub>2</sub> V <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 180414-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.96.180414	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. Makino, J. D. Reim, D. Higashi, D. Okuyama, T. J. Sato, Y. Nambu, E. P. Gilbert, N. Booth, S. Seki, Y. Tokura	4. 巻 95
2. 論文標題 Thermal stability and irreversibility of skyrmion-lattice phases in Cu <sub>2</sub> OSeO <sub>3</sub>	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 134412-1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.95.134412	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 J. D. Reim, K. Makino, D. Higashi, Y. Nambu, D. Okuyama, T. J. Sato, E. P. Gilbert, N. Booth, S. Seki	4. 巻 828
2. 論文標題 Impact of minute-time-scale kinetics on the stabilization of the skyrmion-lattice in Cu <sub>2</sub> OSeO <sub>3</sub>	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Phys.: Conf. Ser.	6. 最初と最後の頁 012004-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/828/1/012004	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 R. Yamagishi, T. Kojima, S. Kameoka, D. Okuyama, T. J. Sato, C.i Nishimura, A. P. Tsai	4. 巻 42
2. 論文標題 Creating the hydrogen absorption capability of CeNi5 through the addition of Al	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 International J. Hydrogen Energy	6. 最初と最後の頁 21832-21840
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijhydene.2017.07.072	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26件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 8件)

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 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 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 カイラル磁性体 Pr5Ru3Al2 単結晶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年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 P. Piyawongwatthana, D. Okuyama, K. Nawa, K. Mattan, T. J. Sato
2. 発表標題 Absolute structure of $\text{Cu}_2\text{V}_2\text{O}_7$
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 奥山大輔
2. 発表標題 カイラル磁性体 $\text{Pr}_5\text{Ru}_3\text{Al}_2$ の中性子小角散乱
3. 学会等名 東北大金研-CROSSワークショップ「J-PARCとJRR-3の相補利用による偏極中性子科学の新展開」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奥山大輔
2. 発表標題 電流中の磁気スキルミオン格子のダイナミクス
3. 学会等名 東北大金研-CROSSワークショップ「J-PARCとJRR-3の相補利用による偏極中性子科学の新展開」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奥山大輔, 辻本真規, 佐賀山基, 志村恭通, 酒井明人, 眞方篤史, O. Garlea, B. Weing, 中辻知, 佐藤卓
2. 発表標題 中性子非弾性散乱と放射光精密構造解析による $\text{PrTr}_2\text{Al}_2\text{O}_{12}$ ( $\text{Tr} = \text{Ti}, \text{V}$ )の結晶構造特性と結晶場解析
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 Seno Aji, Hidesato Ishida, Daisuke Okuyama, Kazuhiro Nawa, Tao Hong, and Taku 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 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奥山大輔, 辻本真規, 佐賀山基, 志村恭通, 酒井明人, 眞方篤史, 中辻知, 佐藤卓
2. 発表標題 PrTr <sub>2</sub> Al <sub>20</sub> (Tr = Ti, V)の精密結晶構造と結晶場の解析
3. 学会等名 2018年度量子ビームサイエンスフェスタ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 D. Okuyama, M. Bleuel, Q. Ye, N. Nagaosa, A. Kikkawa, Y. Taguchi, Y. Tokura, J. D. Reim, Y. Nambu and T. J. Sato
2. 発表標題 Kinetics of the magnetic skyrmion lattice in MnSi under direct/alternating electric current
3. 学会等名 The 2nd Symposium for World Leading Research Centers Materials Science and Spintronics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奥山大輔, M. Bleuel, 永長直人, 吉川明子, 田口康二郎, 十倉好紀, 東大樹, J. D. Reim, 南部雄亮, 佐藤卓
2. 発表標題 MnSi の定常/変動電流中の磁気スキルミオン格子ダイナミクス
3. 学会等名 日本中性子科学会 第18回年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名	奥山大輔, M. Bleuel, Q. Ye, P. Butler, 永長直人, 吉川明子, 田口康二郎, 十倉好紀, 東大樹, 南部雄亮, 佐藤卓
2. 発表標題	MnSiにおける変動電流中の磁気スキルミオン格子のダイナミクス
3. 学会等名	日本物理学会2018年度秋季大会
4. 発表年	2018年

1. 発表者名	奥山大輔, M. Bleuel, Q. Ye, P. Butler, 永長直人, 吉川明子, 田口康二郎, 十倉好紀, 東大樹, 南部雄亮, 佐藤卓
2. 発表標題	MnSiにおける電流中の磁気スキルミオン格子の塑性流動的な振る舞い
3. 学会等名	日本物理学会2018年度秋季大会
4. 発表年	2018年

1. 発表者名	高橋滴, 那波和宏, Matthias Frontzek, 奥山大輔, 吉田雅洋, 植田大地, 吉沢英樹, 野尻浩之, 佐藤卓, Maxim Avdeev
2. 発表標題	歪んだカゴメ格子反強磁性体Yb3Ni11Ge4の磁気散漫散乱
3. 学会等名	日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年	2018年

1. 発表者名	Johannes D. Reim, Koya Makino, Daiki Higashi, Daisuke Okuyama, Taku J Sato, Yusuke Nambu, Elliot P. Gilbert, Norman Booth, Shinichiro Seki, Yoshinori Tokura
2. 発表標題	Stabilizing the Skyrmion Phase in Cu <sub>20</sub> SeO <sub>3</sub> : The Influence of Field, Temperature and Time
3. 学会等名	International Conference on Magnetism 2018 (国際学会)
4. 発表年	2018年

1. 発表者名 Kazuhiro Nawa, Daisuke Okuyama, Maxim Avdeev, Hiroyuki Nojiri, Masahiro Yoshida, Daichi Ueta, Hideki Yoshizawa, and Taku J Sato
2. 発表標題 Degenerate ground state in classical pyrochlore antiferromagnet $\text{Na}_3\text{Mn}(\text{CO}_3)_2\text{Cl}$
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 那波和宏, 野尻浩之, 奥山大輔, M. Avdeev, 吉田雅洋, 植田大地, 吉澤英樹, 佐藤卓
2. 発表標題 パイロクロア格子反強磁性体 $\text{Na}_3\text{T}(\text{CO}_3)_2\text{Cl}$ (T=Co, Mn)における磁化過程
3. 学会等名 日本物理学会第70回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 那波和宏, 奥山大輔, M. Avdeev, 野尻浩之, 吉田雅洋, 植田大地, 吉澤英樹, 佐藤卓
2. 発表標題 パイロクロア格子反強磁性体 $\text{Na}_3\text{T}(\text{CO}_3)_2\text{Cl}$ (T=Co, Mn)の磁性
3. 学会等名 日本中性子科学会第17回年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 奥山大輔, M. Bleuel, Q. Ye, P. Butler, 星野晋太郎, 岩崎惇一, 永長直人, 吉川明子, 田口康二郎, 十倉好紀, 東大樹, 南部雄亮, 佐藤卓
2. 発表標題 MnSiで観測される磁気スキルミオン反射の回転とブロードニングの特異な電流密度及び温度依存性
3. 学会等名 日本物理学会2017年度秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Sandvik, K. Nawa, D. Okuyama, J. Reim, M. Avdeev, M. Matsuda, T. J. Sato
2. 発表標題 Controlling the stoichiometry of the triangular lattice antiferromagnet $\text{Li}_{1+x}\text{Zn}_{2-y}\text{Mo}_3\text{O}_8$
3. 学会等名 日本物理学会2017年度秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 那波和宏, 奥山大輔, M. Avdeev, 野尻浩之, 佐藤卓
2. 発表標題 $S=5/2$ パイロクロア格子反強磁性体 $\text{Na}_3\text{Mn}(\text{CO}_3)_2\text{Cl}$ の構造と磁性
3. 学会等名 日本物理学会2017年度秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高橋滴, 那波和宏, 奥山大輔, 佐藤卓
2. 発表標題 歪んだ籠目格子系 $\text{Yb}_3\text{Ni}_{11}\text{Ge}_4$ の構造と低温物性
3. 学会等名 日本物理学会2017年度秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 J. D. Reim, K. Makino, D. Higashi, D. Okuyama, T. J. Sato, Y. Nambu, E. P. Gilbert, N. Booth, S. Seki, Y. Tokura
2. 発表標題 Influence of path and time on the stabilization of the skyrmion-lattice phases in $\text{Cu}_2\text{OSeO}_3$
3. 学会等名 日本物理学会2017年度秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Makino, D. Okuyama, M. Avdeev, K. Ohishi, K. Yamauchi, T. Oguchi, T. J. Sato
2. 発表標題 Magnetic structure determined by small angle neutron and powder neutron scatterings in cubic chiral crystal Pr5Ru3Al2
3. 学会等名 International Conference on Neutron Scattering 2017 (ICNS 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 J. D. Reim, K. Makino, D. Higashi, Y. Nambu, D. Okuyama, T. J. Sato, E. P. Gilbert, N. Booth, S. Seki, Y. Tokura
2. 発表標題 Phase stability and higher order peaks of the skyrmion lattice in Cu20Se03
3. 学会等名 International Conference on Neutron Scattering 2017 (ICNS 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Makino, D. Okuyama, M. Avdeev, K. Ohishi, K. Yamauchi, T. Oguchi, T. J. Sato
2. 発表標題 Helical magnetic structure in cubic chiral crystal Pr5Ru3Al2
3. 学会等名 24th Congress and General Assembly of the International Union of Crystallography (IUCR2017) (国際学会)
4. 発表年 2017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
研究協力者	佐藤 卓  (Sato Taku)		

## 6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	那波 和宏  (Nawa Kazuhiro)		
研究協力者	東 大樹  (Higashi Daiki)		
研究協力者	南部 雄亮  (Nambu Yusuke)		
研究協力者	大石 一城  (Ohishi Kazuki)		
研究協力者	バトラー ポール  (Batler Paul)		
研究協力者	ロノー ヘンリック  (Ronnow Henrik)		
研究協力者	田口 康二郎  (Taguchi Yasujiro)		
研究協力者	関 真一郎  (Seki Shinichiro)		