

令和 5 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H01835

研究課題名（和文）X線磁気イメージングと物性の同時測定による微小磁気構造体の外場応答の研究

研究課題名（英文）Measurements of Magnetic X-ray Scattering and Physical Properties of Nanometric Magnetic Objects

研究代表者

有馬 孝尚（Arima, Taka-hisa）

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授

研究者番号：90232066

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,100,000円

研究成果の概要（和文）：種々の希土類金属間化合物を対象として、放射光X線を用いて温度と磁場を変化させながら放射光X線散乱実験を行った。その結果、三角格子、正方格子、菱形格子といった磁気スキルミオンの多様な凝集状態、スキルミオン・反スキルミオン格子、磁気ファンなどさまざまなナノメートルスケールの周期を有する磁気秩序状態を同定し、磁気相図を解明することに成功した。さらに、精密な輸送現象測定と組み合わせることで、これらの微小磁気構造体と伝導電子との相互作用についての知見を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

平行でも反平行でもなく傾いた状態にある複数の電子スピンは、特異な電磁応答を創出する鍵を握っていることが明らかになりつつあり、エネルギーや情報の高効率な変換に資する基礎技術となることが期待されている。今回の研究によって得られた微小磁気構造体は、いずれもこのような電子スピンの状態を取るが、構造体ごとに伝導電子との相互作用の特徴が異なることが明確に示された。このような微小磁気構造体と伝導電子の相互作用に関する知見は、電子スピンの集合体を用いた磁気・熱・電気間の相互変換の科学技術の発展を加速する意義を有する。

研究成果の概要（英文）：Synchrotron x-ray scattering measurements were performed on several lanthanide-based intermetallic compounds with sweeping temperature and magnetic field. Various types of magnetic order such as triangular skyrmion lattice, square skyrmion lattice, rhombic skyrmion lattices, skyrmion-antiskyrmion lattice, and magnetic fan were successfully observed, which is essential to determine the magnetic phase diagram. The x-ray scattering data combined with the results of transport measurements provide useful information about the interaction between the magnetic objects and conduction electrons.

研究分野：物性物理学

キーワード：共鳴X線散乱 X線磁気散乱 中性子 異常ホール効果 異常ネルンスト効果 熱ホール効果

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、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

スピントロニクス分野では、強磁性体の磁壁の電流駆動の実用化に向けた研究が進んでいる。一方、研究開始当初、基礎研究の側では、磁気ソリトンや磁気スキルミオンと称される(粒子的な)磁気欠陥(図1)のトポロジカルな性質が注目を集めはじめていた。例えば、磁性強誘電体(マルチフェロイクス)において最も期待される電場誘起磁化反転現象には、強誘電分域壁と磁壁が結合した複合ドメイン壁の電場応答が鍵を握っていることが明らかになっている[1]。さらに、中辻らが発見した反強磁性体における室温巨大異常ホール効果[2]は、熱発電への応用が考えられているが、そのために、反強磁性ドメインの外場駆動技術の確立が必要となっていた。

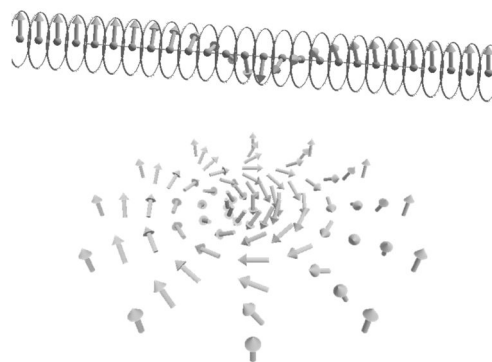


図1 磁気ソリトン(上)と磁気スキルミオン(下)

そのため、強磁性や反強磁といった単純な磁気相における磁壁、あるいは、強磁性体中の欠陥的な粒子として位置付けられる磁気ソリトンや磁気スキルミオンなどのさまざまな微小な磁気構造体について、外場との相互作用を理解し、外場応答や外場駆動の創出につなげる要請が高まっていた。

微小磁気構造体の観測には、ローレンツ透過電子顕微鏡法が用いられることが多く、現在も、磁壁、磁気ソリトン、磁気スキルミオンの研究に広く用いられている[3,4]。しかし、この方法にも弱点がある。第一に、局所磁化ベクトルのうち電子線と垂直な成分の rotation の情報が得られるのみであり、そのほかの成分の情報の取得が難しい。第二に、外部磁場は、電子ビームに平行な方向にしか印加できない。第三に、測定できる試料も 100 nm 程度の薄いものに限られる。

そこで、本研究では、放射光 X 線あるいは中性子の散乱を用いる。

参考文献

- [1] Y. Tokunaga, T. Arima et al., Nature Materials **8**, 558 (2009).
 [2] S. Nakatsuji et al., Nature **527**, 212 (2015).

2. 研究の目的

磁気スキルミオンに代表される微小磁気構造体について放射光 X 線あるいは中性子を用いて同定を行い、輸送現象、磁化、誘電率などの物質応答と比較する。これらの複合的な実験によって、微小な磁気構造体と外場との相互作用を理解し、外場応答や外場駆動の創出につながる知見を得ることを目的とした。

3. 研究の方法

種々の希土類化合物を対象とした共鳴 X 線散乱実験を行った。高エネルギー加速器研究機構フotonファクトリーのビームライン 3A に設置された超伝導磁石つき冷凍機に単結晶試料を設置し、温度と磁場を変化させながら、希土類元素の L_2 あるいは L_3 吸収端近傍での回折プロファイルを取得した。磁気変調信号が得られた場合には、パイログラファイトを偏光解析用の結晶として用いて散乱 X 線の偏光解析を行い、変調している磁気モーメントのベクトル成分を明らかにした。

いくつかの物質については、J-PARC 物質生命科学研究施設において、中性子弾性散乱実験を行い、さらに詳細に磁気構造の研究を行った。

4. 研究成果

Gd_2PdSi_3 は、Gd 原子の三角格子層が積層した構造を有する希土類化合物である。共鳴 X 線散乱法によって、一つの磁気相が磁気スキルミオンの三角格子相であることを確認した。ホール効果の測定との比較から、磁気スキルミオン三角格子が、伝導電子に対して、強い磁場のように働くことが分かった(図1)。

同様に Eu 原子の三角格子相が積層した構造を有する $EuZnGe$ についても共鳴 X 線散乱を行

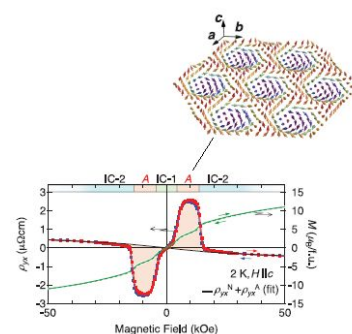


図1: Gd_2PdSi_3 におけるホール抵抗率の磁場依存性と磁気スキルミオン相。

ったところ、c 軸方向に伝搬するらせん磁性が検出された。この場合は、ホール抵抗率には大きな以上は見られず、磁気スキルミオンの特殊性が改めて示された。

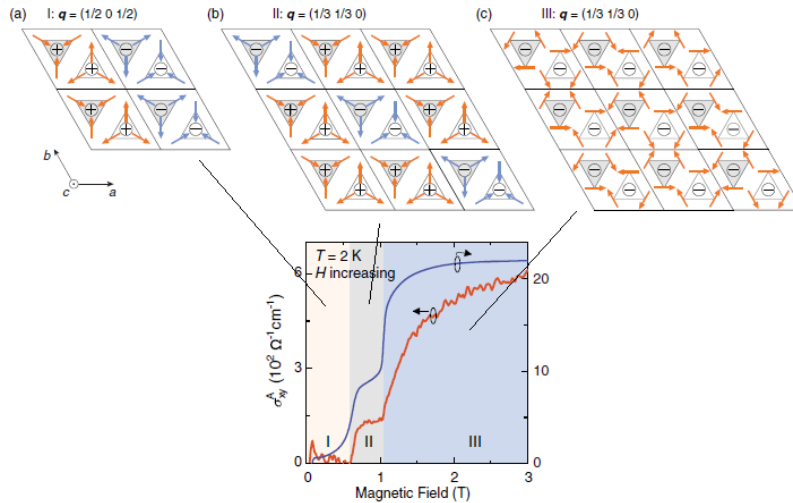


図 2 : $\text{Dy}_3\text{Ru}_4\text{Al}_{12}$ におけるホール抵抗率の磁場依存性と中性子回折法によって得られた各相の磁気構造。

$\text{Dy}_3\text{Ru}_4\text{Al}_{12}$ は、正三角形が頂点を共有して繋がってできたブリージングカゴメと呼ばれる二次元図形状に Dy 原子が配置した層が積み重なった構造を有する。中性子散乱法によって、低温における複雑な逐次磁気転移を明らかにするとともに、ホール係数と正三角形に配置した Dy の磁気モーメントのスカラー三重積との対応を示唆する結果を得た (図 2)。

同構造の $\text{Gd}_3\text{Ru}_4\text{Al}_{12}$ に関する研究では、共鳴 X 線散乱法により磁気相図を決定し、ホール抵抗率との比較を行った。 Gd_2PdSi_3 と同様に、磁気スキルミオン三角格子相で大きなホール抵抗率の増大が見られた (図 3)。さらに、ゼロ磁場では磁気メロン - 反メロン三角格子という磁気構造を取る可能性も示唆された。

希土類を Nd にした $\text{Nd}_3\text{Ru}_4\text{Al}_{12}$ では、強磁性的な磁気構造が安定であるが、温度の上昇に伴って、スピン揺らぎで生じるスカラー三重積がホール係数の増大を起こしていることを明らかにした。

ペロブスカイト型構造を有する SrFeO_3 は多段の磁気転移を示すことが分かっていた。これについてスピン偏極中性子回折実験を行い、4 つの磁気変調ベクトルが共存するトポロジカルな磁気構造相を発見した。

Eu 原子の二次元正方格子層を含む層状構造をとる EuMnBi_2 は低温で磁場を印加すると 2 段階の逐次転移が生じ、1 段階目の転移で積層方向の電気抵抗が急激に変化することが知られていた。この相転移に伴う磁気構造変化を共鳴 X 線散乱および中性子散乱で調べ、Eu の磁気モーメントの向きが 90 度変化するスピンドロップ型の転移であることを明らかにした。

正方格子を有する GdRu_2Si_2 に関する研究では、共鳴 X 線散乱法により磁気スキルミオンの正方格子状態を新たに確認するとともに、磁気ファン相などスキルミオン相以外の相の磁気構造についても明らかにした。同型の結晶構造を有する EuAl_4 に対しても X 線および中性子の小角散乱を行い、低温磁場印加下においてより複雑な逐次磁気転移を示すことが発見された。特に、磁気スキルミオンが菱形格子を形成する相と正方格子を形成する相

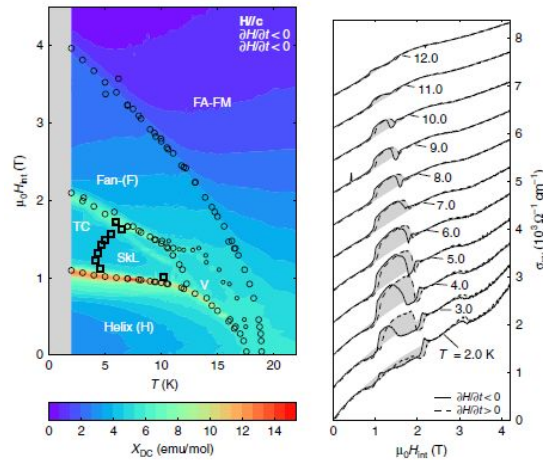


図 3 : $\text{Gd}_3\text{Ru}_4\text{Al}_{12}$ における磁気相図とホール抵抗率の温度・磁場変化。

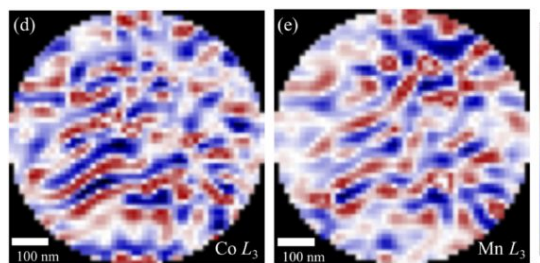


図 4 : $\text{Co}_8\text{Zn}_8\text{Mn}_4$ の $\text{Co}L_3$ 端および $\text{Mn}L_3$ 端での軟 X 線ホログラフィーによる磁気イメージング。

が菱形格子を形成する相と正方格子を形成する相

が磁場の変化で入れ替わる様子が確認された。

軟X線を用いた実空間磁気イメージングについては、細長いスリット型の参照光を用いたホログラフィーの開発に成功した。実際にサブミクロンの迷路的な磁気ドメインを有するフェリ磁性体 $\text{Co}_8\text{Zn}_8\text{Mn}_4$ について Co の L_3 吸収端および Mn の L_3 吸収端でホログラフィーを行い、Co および Mn の磁気モーメントの空間配列を実空間で観測することに成功した (図 4)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計34件（うち査読付論文 34件／うち国際共著 15件／うちオープンアクセス 14件）

1. 著者名 Ukleev V., Karube K., Derlet P. M., Wang C. N., Luetkens H., Morikawa D., Kikkawa A., Mangin-Thro L., Wildes A. R., Yamasaki Y., Yokoyama Y., Yu L., Piamonteze C., Jaouen N., Tokunaga Y., Ronnow H. M., Arima T., Tokura Y., Taguchi Y., White J. S.	4. 巻 6
2. 論文標題 Frustration-driven magnetic fluctuations as the origin of the low-temperature skyrmion phase in Co ₇ Zn ₇ Mn ₆	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 npj Quantum Materials	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) 10.1038/s41535-021-00342-5	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 Toyoda Shingo, Fiebig Manfred, Arima Taka-hisa, Tokura Yoshinori, Ogawa Naoki	4. 巻 7
2. 論文標題 Nonreciprocal second harmonic generation in a magnetoelectric material	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Science Advances	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) 10.1126/sciadv.abe2793	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 Taniguchi Kouji, Nishio Masaki, Abe Nobuyuki, Huang Po Jung, Kimura Shojiro, Arima Taka hisa, Miyasaka Hitoshi	4. 巻 60
2. 論文標題 Magnetoelectric Directional Anisotropy in Polar Soft Ferromagnets of Two Dimensional Organic-Inorganic Hybrid Perovskites	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 14350 ~ 14354
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202103121	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 Omi Tsuyoshi, Watanabe Yoshito, Abe Nobuyuki, Sagayama Hajime, Nakao Akiko, Munakata Koji, Tokunaga Yusuke, Arima Taka-hisa	4. 巻 103
2. 論文標題 Antiferromagnetic-to-ferrimagnetic phase transition with large electric-polarization change in a frustrated polar magnet CaBaCo ₄ O ₇	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 184412~184412
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.103.184412	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 Kolincio Kamil K., Hirschberger Max, Masell Jan, Gao Shang, Kikkawa Akiko, Taguchi Yasujiro, Arima Taka-hisa, Nagaosa Naoto, Tokura Yoshinori	4. 巻 118
2. 論文標題 Large Hall and Nernst responses from thermally induced spin chirality in a spin-trimer ferromagnet	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences	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) 10.1073/pnas.2023588118	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 Kimata Motoi, Sasabe Norimasa, Kurita Kensuke, Yamasaki Yuichi, Tabata Chihiro, Yokoyama Yuichi, Kotani Yoshinori, Ikhlas Muhammad, Tomita Takahiro, Amemiya Kenta, Nojiri Hiroyuki, Nakatsuji Satoru, Koretsune Takashi, Nakao Hironori, Arima Taka-hisa, Nakamura Tetsuya	4. 巻 12
2. 論文標題 X-ray study of ferroic octupole order producing anomalous Hall effect	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Communications	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) 10.1038/s41467-021-25834-7	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 Toyoda Shingo, Fiebig Manfred, Forster Lea, Arima Taka-hisa, Tokura Yoshinori, Ogawa Naoki	4. 巻 12
2. 論文標題 Writing of strain-controlled multiferroic ribbons into MnWO ₄	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Communications	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) 10.1038/s41467-021-26451-0	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 該当する

1. 著者名 Gao Shang, Kocsis Vilmos, Soda Minoru, Ye Feng, Liu Yaohua, May Andrew F., Taguchi Yasujiro, Tokura Yoshinori, Arima Taka-hisa, Schweika Werner, Christianson Andrew D., Stone Matthew B.	4. 巻 104
2. 論文標題 Suppressed incommensurate order in swedenborgite Ca _{0.5} Y _{0.5} BaCo ₄ O ₇	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 L140408-L140408
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.104.L140408	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 Uchida Masaki, Sato Shin, Ishizuka Hiroaki, Kurihara Ryosuke, Nakajima Taro, Nakazawa Yusuke, Ohno Mizuki, Kriener Markus, Miyake Atsushi, Ohishi Kazuki, Morikawa Toshiaki, Bahramy Mohammad Saeed, Arima Taka-hisa, Tokunaga Masashi, Nagaosa Naoto, Kawasaki Masashi	4. 巻 7
2. 論文標題 Above-ordering-temperature large anomalous Hall effect in a triangular-lattice magnetic semiconductor	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Science Advances	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) 10.1126/sciadv.abl5381	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 Ishii Yuta, Nakao Hironori, Mizumaki Masaichiro, Wakabayashi Yusuke, Arima Taka-hisa, Yamasaki Yuichi	4. 巻 12
2. 論文標題 Topological charge of soft X-ray vortex beam determined by inline holography	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	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) 10.1038/s41598-022-04933-5	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 Khanh Nguyen Duy, Nakajima Taro, Hayami Satoru, Gao Shang, Yamasaki Yuichi, Sagayama Hajime, Nakao Hironori, Takagi Rina, Motome Yukitoshi, Tokura Yoshinori, Arima Taka hisa, Seki Shinichiro	4. 巻 9
2. 論文標題 Zoology of Multiple Q Spin Textures in a Centrosymmetric Tetragonal Magnet with Itinerant Electrons	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advanced Science	6. 最初と最後の頁 2105452 ~ 2105452
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/advs.202105452	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 Sato Tatsuki, Abe Nobuyuki, Tokunaga Yusuke, Arima Taka-hisa	4. 巻 105
2. 論文標題 Antiferromagnetic domain wall dynamics in magnetoelectric MnTiO ₃ studied by optical imaging	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 094417-094417
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.105.094417	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 Takagi Rina, Matsuyama Naofumi, Ukleev Victor, Yu Le, White Jonathan S., Francoual Sonia, Mardegan Jose R. L., Hayami Satoru, Saito Hiraku, Kaneko Koji, Ohishi Kazuki, Onuki Yoshichika, Arima Taka-hisa, Tokura Yoshinori, Nakajima Taro, Seki Shinichiro	4. 巻 13
2. 論文標題 Square and rhombic lattices of magnetic skyrmions in a centrosymmetric binary compound	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature Communications	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) 10.1038/s41467-022-29131-9	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 Ishiwata S., Nakajima T., Kim J.-H., Inosov D. S., Kanazawa N., White J. S., Gavilano J. L., Georgii R., Seemann K. M., Brandl G., Manuel P., Khalyavin D. D., Seki S., Tokunaga Y., Kinoshita M., Long Y. W., Kaneko Y., Taguchi Y., Arima T., Keimer B., Tokura Y.	4. 巻 101
2. 論文標題 Emergent topological spin structures in the centrosymmetric cubic perovskite SrFeO3	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 134406-134406
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.101.134406	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 Masuda H., Sakai H., Takahashi H., Yamasaki Y., Nakao A., Moyoshi T., Nakao H., Murakami Y., Arima T., Ishiwata S.	4. 巻 101
2. 論文標題 Field-induced spin reorientation in the antiferromagnetic Dirac material EuMnBi2 revealed by neutron and resonant x-ray diffraction	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 174411-174411
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.101.174411	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 Abe N., Shiozawa S., Matsuura K., Sagayama H., Nakao A., Ohhara T., Tokunaga Y., Arima T.	4. 巻 101
2. 論文標題 Magnetically induced electric polarization in Ba3Fe205Cl2 with tunable direction in three dimensions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 180407-180407
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.101.180407	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 Sato Tatsuki, Abe Nobuyuki, Kimura Shojiro, Tokunaga Yusuke, Arima Taka-hisa	4. 巻 124
2. 論文標題 Magnetochiral Dichroism in a Collinear Antiferromagnet with No Magnetization	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 217402-217402
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.124.217402	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 Khanh Nguyen Duy, Nakajima Taro, Yu Xiuzhen, Gao Shang, Shibata Kiyou, Hirschberger Max, Yamasaki Yuichi, Sagayama Hajime, Nakao Hironori, Peng Licong, Nakajima Kiyomi, Takagi Rina, Arima Taka-hisa, Tokura Yoshinori, Seki Shinichiro	4. 巻 15
2. 論文標題 Nanometric square skyrmion lattice in a centrosymmetric tetragonal magnet	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 444 ~ 449
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41565-020-0684-7	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 Hirai Daigorou, Sagayama Hajime, Gao Shang, Ohsumi Hiroyuki, Chen Gang, Arima Taka-hisa, Hiroi Zenji	4. 巻 2
2. 論文標題 Detection of multipolar orders in the spin-orbit-coupled 5d Mott insulator Ba ₂ MgReO ₆	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 022063-022063
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.2.022063	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 Hirschberger Max, Nakajima Taro, Kriener Markus, Kurumaji Takashi, Spitz Leonie, Gao Shang, Kikkawa Akiko, Yamasaki Yuichi, Sagayama Hajime, Nakao Hironori, Ohira-Kawamura Seiko, Taguchi Yasujiro, Arima Taka-hisa, Tokura Yoshinori	4. 巻 101
2. 論文標題 High-field depinned phase and planar Hall effect in the skyrmion host Gd ₂ PdSi ₃	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 220401-220401
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.101.220401	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 Gao Shang, Hirai Daigorou, Sagayama Hajime, Ohsumi Hiroyuki, Hiroi Zenji, Arima Taka-hisa	4. 巻 101
2. 論文標題 Antiferromagnetic long-range order in the 5d1 double-perovskite Sr2MgReO6	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 220412-220412
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.101.220412	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 Yu X. Z., Morikawa D., Nakajima K., Shibata K., Kanazawa N., Arima T., Nagaosa N., Tokura Y.	4. 巻 6
2. 論文標題 Motion tracking of 80-nm-size skyrmions upon directional current injections	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Science Advances	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) 10.1126/sciadv.aaz9744	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 Ukleev Victor, Yamasaki Yuichi, Utesov Oleg, Shibata Kiyou, Kanazawa Naoya, Jaouen Nicolas, Nakao Hironori, Tokura Yoshinori, Arima Taka-hisa	4. 巻 102
2. 論文標題 Metastable solitonic states in the strained itinerant helimagnet FeGe	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 014416-014416
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.102.014416	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 Yamasaki Yuichi, Nakao Hironori, Arima Taka-hisa	4. 巻 89
2. 論文標題 Augmented Magnetic Octupole in Kagom? 120-degree Antiferromagnets Detectable via X-ray Magnetic Circular Dichroism	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 083703 ~ 083703
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.89.083703	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 Araki Y., Sato T., Fujima Y., Abe N., Tokunaga M., Kimura S., Morikawa D., Ukleev V., Yamasaki Y., Tabata C., Nakao H., Murakami Y., Sagayama H., Ohishi K., Tokunaga Y., Arima T.	4. 巻 102
2. 論文標題 Metamagnetic transitions and magnetoelectric responses in the chiral polar helimagnet Ni ₂ InSbO ₆	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 054409-054409
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.102.054409	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 Hirschberger Max, Spitz Leonie, Nomoto Takuya, Kurumaji Takashi, Gao Shang, Masell Jan, Nakajima Taro, Kikkawa Akiko, Yamasaki Yuichi, Sagayama Hajime, Nakao Hironori, Taguchi Yasujiro, Arita Ryotaro, Arima Taka-hisa, Tokura Yoshinori	4. 巻 125
2. 論文標題 Topological Nernst Effect of the Two-Dimensional Skyrmion Lattice	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 076602-076602
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.125.076602	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 Sato Tatsuki, Abe Nobuyuki, Araki Yusuke, Kimura Shojiro, Tokunaga Yusuke, Arima Taka-hisa	4. 巻 102
2. 論文標題 Thermally driven commensurate-incommensurate transition tracked by magnetochromism in chiral polar Ni ₂ InO ₉ CrO _{1.5} SbO ₆	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 094418-094418
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.102.094418	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 Takagi R., Yamasaki Y., Yokouchi T., Ukleev V., Yokoyama Y., Nakao H., Arima T., Tokura Y., Seki S.	4. 巻 11
2. 論文標題 Particle-size dependent structural transformation of skyrmion lattice	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Communications	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) 10.1038/s41467-020-19480-8	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 Yasui Yuuki, Butler Christopher J., Khanh Nguyen Duy, Hayami Satoru, Nomoto Takuya, Hanaguri Tetsuo, Motome Yukitoshi, Arita Ryotaro, Arima Taka-hisa, Tokura Yoshinori, Seki Shinichiro	4. 巻 11
2. 論文標題 Imaging the coupling between itinerant electrons and localised moments in the centrosymmetric skyrmion magnet GdRu ₂ Si ₂	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Communications	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) 10.1038/s41467-020-19751-4	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 該当する

1. 著者名 Nakajima Taro, Oda Tatsuro, Hino Masahiro, Endo Hitoshi, Ohishi Kazuki, Kakurai Kazuhisa, Kikkawa Akiko, Taguchi Yasujiro, Tokura Yoshinori, Arima Taka-hisa	4. 巻 2
2. 論文標題 Crystallization of magnetic skyrmions in MnSi investigated by neutron spin echo spectroscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 043393-043393
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.2.043393	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 Ishii Yuta, Yamamoto Kohei, Yokoyama Yuichi, Mizumaki Masaichiro, Nakao Hironori, Arima Taka-hisa, Yamasaki Yuichi	4. 巻 14
2. 論文標題 Soft-X-Ray Vortex Beam Detected by Inline Holography	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Applied	6. 最初と最後の頁 064069-064069
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevApplied.14.064069	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 Ukleev Victor, Utesov Oleg, Yu Le, Luo Chen, Chen Kai, Radu Florin, Yamasaki Yuichi, Kanazawa Naoya, Tokura Yoshinori, Arima Taka-hisa, White Jonathan S.	4. 巻 3
2. 論文標題 Signature of anisotropic exchange interaction revealed by vector-field control of the helical order in a FeGe thin plate	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 013094-013094
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.3.013094	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 Kurumaji Takashi, Nakajima Taro, Feoktystov Artem, Babcock Earl, Salhi Zahir, Ukleev Victor, Arima Taka-hisa, Kakurai Kazuhisa, Tokura Yoshinori	4. 巻 90
2. 論文標題 Direct Observation of Cycloidal Spin Modulation and Field-induced Transition in Neel-type Skyrmion-hosting VOSe205	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 024705 ~ 024705
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.90.024705	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 Ukleev V., Yamasaki Y., Morikawa D., Karube K., Shibata K., Tokunaga Y., Okamura Y., Amemiya K., Valvidares M., Nakao H., Taguchi Y., Tokura Y., Arima T.	4. 巻 99
2. 論文標題 Element-specific soft x-ray spectroscopy, scattering, and imaging studies of the skyrmion-hosting compound Co8Zn8Mn4	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 144408/1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.99.144408	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6件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 T. Arima, Y. Fujima, Y. Tokunaga, M. Akazawa, H. Takeda, H.-Y. Lee, J. H. Han, M. Yamashita
2. 発表標題 Thermal Hall Effect Induced by Magnetic Skyrmions
3. 学会等名 International Conference on Frustration, Topology, and Spin Textures (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Arima
2. 発表標題 Thermal Hall effect induced by magnetic skyrmion lattice in GaV4Se8
3. 学会等名 International Conference on Quantum Liquid Crystals 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤間友理, 阿部伸行, 徳永祐介, 有馬孝尚
2. 発表標題 スキルミオンホスト物質GaV ₄ Se ₈ のGaサイト元素置換効果
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 荒木勇介, 中島多朗, 大石一城, 阿部伸行, 徳永祐介, 有馬孝尚
2. 発表標題 極性キラル磁性体Ni ₂ InSbO ₆ におけるらせん磁気秩序の電場制御
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山崎裕一, 中尾裕則, 有馬孝尚
2. 発表標題 時間反転対称性の破れた反強磁性体におけるX線磁気円二色性の理論的考察
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Arima
2. 発表標題 X-ray and Neutron Studies of Successive Magnetic Transitions in Lanthanide-Based Magnets
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

有馬徳永研究室
symm.k.u-tokyo.ac.jp

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
---------	---------