

令和 6 年 6 月 8 日現在

機関番号：32682

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2023

課題番号：19K03752

研究課題名(和文) 微視的多極子の秩序による創発スピン軌道物性の開拓

研究課題名(英文) Study for emergent spin-orbit phenomena based on atomic-scale multipole ordering

研究代表者

楠瀬 博明 (Kusunose, Hiroaki)

明治大学・理工学部・専任教授

研究者番号：00292201

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、物質固有のスピン軌道相互作用ではなく、ある結晶構造と磁気秩序によって生じる創発スピン軌道相互作用の発現機構と条件を明らかにし、新たな交差相関物性を開拓するものである。コリニア磁気秩序、ノンコリニア磁気秩序のそれぞれの場合について、スピン分裂が生じるクラスターユニットの対称性を明らかにし、スピン流生成、異常量子ホール効果に不可欠な微視的要素等を同定した。また、あらゆる電子ハミルトニアンを対称性に基づいて基底分解するアプリケーションを開発し、線形・非線形応答関数の発現に不可欠な微視的パラメータを抽出する方法を考案した。本研究の成果は「交替磁性」と呼ばれる世界的な新潮流に波及している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

軽元素を含む化合物においてもスピン軌道相互作用に由来する多彩な交差相関応答が期待できることを示した。また、その系統的な分析方法を整備した本研究の成果は、物質の機能性と結晶構造の対称性を系統的に結びつけており、マテリアルデザインの分野に新しい方法論を提供するという意義がある。また、強磁性体に比べて応用的視点の乏しかった反強磁性体が、特徴的な結晶構造と結びつくだけで、多機能性を有することを知らしめたという社会的意義がある。

研究成果の概要(英文)：In this project, we have investigated the emergent spin-orbit coupling, which arises from the coupling between a proper crystal structure and antiferro magnetism. We have elucidated the mechanism and the conditions for emergent spin-orbit coupling in cases of collinear and non-collinear spin structure, and have summarized the symmetry of cluster units, and the essential gradients for spin-current generation, anomalous Hall effect, etc. We have also developed the software that can perform symmetry decomposition of the model Hamiltonian by means of symmetry-adapted multipole basis. We have also formulated to extract essential model parameters from linear and nonlinear response functions. These results have led to the world-wide trend in antiferromagnetism that is called "altermagnetism".

研究分野：物性理論

キーワード：多極子基底 スピン軌道物性 交差相関応答 マテリアルデザイン 反強磁性

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。

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、スピン軌道相互作用を介した物質の磁氣的性質と電氣的性質の結合を利用した異常ホール効果、スピンホール効果、電流誘起磁化(エーデルシュタイン効果)等の輸送現象が活発に研究されており、初期の群論を用いた定性的な研究だけでなく、物質の個性を取り入れて、より実効性の高い発現機構の提案やこれまでにない新しいタイプの物性応答を多角的かつ微視的な視点から開拓する機運が高まっていた。

(2) このような多彩なスピン・軌道物性は物質にビルトインされたスピン軌道相互作用に由来したものであり、高い実効性を得るためには 4f, 5f, 5d 電子を含む元素を含む物質がターゲットとなり、また、スピンと軌道が絡み合うために電子状態の解析や機能性の予測は非常に複雑になる状況であった。一方、p 電子系の有機結晶や 3d 遷移金属化合物などではスピン軌道相互作用は通常小さく、スピン軌道相互作用に由来する物性現象は期待できない状況にあった。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、物質にビルトインされた本来のスピン軌道相互作用ではなく、結晶構造と反強磁性秩序の組み合わせ等によって、有効的に生じるスピン軌道相互作用を創出し、強いスピン軌道を必要としない創発スピン軌道物性を切り拓くことを目的とする。具体的には、

- ・有効的なスピン軌道相互作用を産み出す要素(結晶構造、秩序の種類)は何か。
- ・有効相互作用の性質(対称性)と期待される(交差相関)物性は何か。

という2つの問を系統的に明らかにすることを目的とする。

(2) 本研究では、特徴的な結晶構造(広義の軌道自由度)と磁氣的秩序(磁気自由度)の結合が有効的な軌道と磁気の結合を産み出す、というアイデアに基づき研究を展開する。以上の考え方を拡張して、磁気双極子より高次の磁気多極子自由度の秩序による新たな展開、および、電氣的な秩序による新しいタイプの有効相互作用についても、その実現性を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 我々はすでに多極子完全基底による物質記述法を発展させてきており、その方法を用いて物質構造と電子自由度を系統的に取り込むことで、上記の目的を達成する。本研究では、まず 230 の空間群のうち、157 のノンシンモルフィック空間群を対象として、創発スピン軌道物性を調べる。これらの対象を網羅的に調べ、創発スピン軌道相互作用の発現に必要な対称操作の要素、クラスター構造、および磁気秩序との結合を明らかにする。得られた創発スピン軌道相互作用を磁気多極子やクラスター多極子を用いて、対称性が明確になる形で系統的に整理する。

(2) 磁気秩序物質データベースを活用し、(1)で明らかにした対称性とマッチする磁気秩序をピックアップし、磁気秩序によって創発されるスピン軌道相互作用によるスピン分裂の解析を行う。

(3) 上記の対象物質に関する交差相関物性を明らかにする。具体的には、対称スピン分裂による縦スピン流の生成機構、磁気弾性応答やスピントルク、スピン伝導度や光学伝導度、異常ホール効果等々の有無を調べる。

(4) 有効的な電荷軌道相互作用の発現機構への展開を行う。その発現機構を多極子基底を用いて整理し、データベース検索を行って、典型対象物質を絞り、その交差相関物性を調べる。

4. 研究成果

(1) 多極子基底を用いて副格子自由度を分類し、コリニア磁気秩序とノンコリニア磁気秩序の場合に分けて、創発スピン軌道相互作用の発現機構とその条件を明らかにした。コリニア磁気秩序の場合は、偶数次の電気多極子と磁気秩序が結合することで有効的なスピン軌道相互作用が

生じるため、波数空間で対称なスピン分裂を産み出す(図1左)。この分裂はスピンホール効果と異なり、スピンの縦伝導の起源となることを明らかにした。一方、ノンコリニア磁気秩序の場合は、副格子クラスターの多極子は磁気秩序と線形ではなく高次で結合する。特に、変調したカゴメ格子の120度磁気構造のような空間反転対称性を破る磁気秩序の場合、反対称なスピン軌道相互作用が有効的に生み出され(図1右、図3)、ビルトインされた反対称スピン軌道相互作用をもつ物質と類似の現象、例えば非相反輸送現象やスピンホール効果等が生じる。以上の創発スピン軌道相互作用を生み出すクラスターユニットの対称性を分類した(図2)。

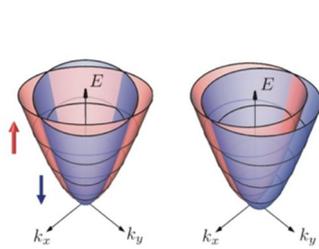


図1 スピン分裂

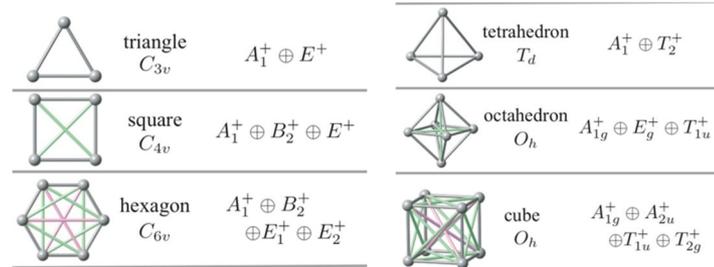


図2 クラスターユニットの対称性

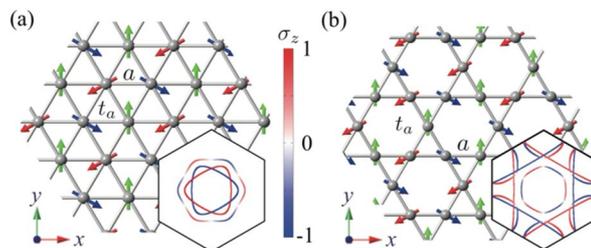


図3 磁気秩序による反対称スピン分裂

(2) 多極子基底の定式化を再考し、スピン自由度を含めた多極子完全基底の定式化に成功した。これを用いて、電子ハミルトニアンを系統的に既約分解する手法を発展させ、創発スピン軌道物性の候補物質を含むあらゆる物質を基底分解するアプリケーションを開発した。これにより、第一原理計算の結果を基底分解することで、電子状態を対称性に基づいて見通しよく解析することが可能となり、電子物性・フォノン物性のマテリアルデザインへの新展開が可能になった。

(3) (2)で得られた多極子完全基底を用いた分析から、創発スピン軌道物性における弱いが有限のスピン軌道相互作用の役割、とくに異常ホール効果への寄与を明らかにした。また、反強磁性体で生じる異常ホール効果において、異方的な磁気双極子の重要性を明らかにした。

(4) 線形および非線形の応答関数を、ケルディッシュグリーン関数法とチェビシェフ多項式分解を用いて一般的に分析し、応答関数をモデルパラメータ依存部分と非依存部分に分解することに成功した。これにより、モデルパラメータ依存部分を解析することで、応答関数発現に不可欠な微視的パラメータを同定することが可能となった。すなわち、応答関数の定量性をコントロールする微視的パラメータをシステムティックに抽出することができるため、マテリアルデザインにおいて重要な方法になると期待される。

(5) 以上の解析をさらに電氣的な自由度に推し進める過程で、カイラリティを記述する秩序変数を発見した。カイラリティを制御するミクロな電子自由度が明らかになったことにより、カイラリティと外場応答の関係が微視的な観点から明らかになりつつある。この成果は、カイラル物質科学に新しい展開をもたらすと期待される。

以上の創発スピン軌道物性は、ドイツグループにより「交替磁性(altermagnetism)」と名付けられたことにより、現在、爆発的に研究が進められ、世界的な新潮流となっている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計26件（うち査読付論文 26件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Yatsushiro Megumi, Oiwa Rikuto, Kusunose Hiroaki, Hayami Satoru	4. 巻 105
2. 論文標題 Analysis of model-parameter dependences on the second-order nonlinear conductivity in PT-symmetric collinear antiferromagnetic metals with magnetic toroidal moment	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 155157
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.105.155157	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 Hayami Satoru, Yatsushiro Megumi, Kusunose Hiroaki	4. 巻 106
2. 論文標題 Nonlinear spin Hall effect in PT-symmetric collinear magnets	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 24405
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.106.024405	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 Oiwa Rikuto, Kusunose Hiroaki	4. 巻 129
2. 論文標題 Rotation, Electric-Field Responses, and Absolute Enantioselection in Chiral Crystals	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 116401
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.129.116401	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 Kusunose Hiroaki, Hayami Satoru	4. 巻 34
2. 論文標題 Generalization of microscopic multipoles and cross-correlated phenomena by their orderings	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Condensed Matter	6. 最初と最後の頁 464002 ~ 464002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-648X/ac9209	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 Hayami Satoru, Oiwa Rikuto, Kusunose Hiroaki	4. 巻 91
2. 論文標題 Electric Ferro-Axial Moment as Nanometric Rotator and Source of Longitudinal Spin Current	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 113702
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.91.113702	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 Kishine Jun ichiro, Kusunose Hiroaki, Yamamoto Hiroshi M.	4. 巻 62
2. 論文標題 On the Definition of Chirality and Enantioselective Fields	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Israel Journal of Chemistry	6. 最初と最後の頁 e202200049
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ijch.202200049	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 Hayami Satoru, Kusunose Hiroaki	4. 巻 91
2. 論文標題 Magnetic Toroidal Moment under Partial Magnetic Order in Hexagonal Zigzag-Chain Compound Ce ₃ TiBi ₅	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 123701
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.91.123701	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 Yanagi Yuki, Kusunose Hiroaki, Nomoto Takuya, Arita Ryotaro, Suzuki Michi-To	4. 巻 107
2. 論文標題 Generation of modulated magnetic structures based on cluster multipole expansion: Application to -Mn and CoM ₃ S ₆	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 14407
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.107.014407	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 Tsunetsugu Hirokazu, Kusunose Hiroaki	4. 巻 92
2. 論文標題 Theory of Energy Dispersion of Chiral Phonons	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 23601
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.92.023601	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 Ishito Kyosuke, Mao Huiling, Kobayashi Kaya, Kousaka Yusuke, Togawa Yoshihiko, Kusunose Hiroaki, Kishine Jun ichiro, Satoh Takuya	4. 巻 2023
2. 論文標題 Chiral phonons: circularly polarized Raman spectroscopy and ab initio calculations in a chiral crystal tellurium	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Chirality	6. 最初と最後の頁 23544
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chir.23544	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 Satoru Hayami, Hiroaki Kusunose	4. 巻 103
2. 論文標題 Essential role of the anisotropic magnetic dipole in the anomalous Hall effect	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 L180407-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.103.L180407	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 Satoru Hayami, Hiroaki Kusunose	4. 巻 104
2. 論文標題 Spin-orbital-momentum locking under odd-parity magnetic quadrupole ordering	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 045117-1-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.104.045117	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 Megumi Yatsushiro, Hiroaki Kusunose, Satoru Hayami	4. 巻 104
2. 論文標題 Multipole classification in 122 magnetic point groups for unified understanding of multiferroic responses and transport phenomena	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 054412-1-41
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.104.054412	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 Rikuto Oiwa, Hiroaki Kusunose	4. 巻 91
2. 論文標題 Systematic analysis method for nonlinear response tensors	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 J. Phys. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 014701-1-19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.91.014701	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 Hayami Satoru, Yanagi Yuki, Kusunose Hiroaki	4. 巻 101
2. 論文標題 Spontaneous antisymmetric spin splitting in noncollinear antiferromagnets without spin-orbit coupling	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 220403
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.101.220403	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 Naka Makoto, Hayami Satoru, Kusunose Hiroaki, Yanagi Yuki, Motome Yukitoshi, Seo Hitoshi	4. 巻 102
2. 論文標題 Anomalous Hall effect in d -type organic antiferromagnets	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 75112
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.102.075112	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 Kusunose Hiroaki, Oiwa Rikuto, Hayami Satoru	4. 巻 89
2. 論文標題 Complete Multipole Basis Set for Single-Centered Electron Systems	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 104704
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.89.104704	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 Hayami Satoru, Yanagi Yuki, Kusunose Hiroaki	4. 巻 102
2. 論文標題 Bottom-up design of spin-split and reshaped electronic band structures in antiferromagnets without spin-orbit coupling: Procedure on the basis of augmented multipoles	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 144441
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.102.144441	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 Hayami Satoru, Yanagi Yuki, Kusunose Hiroaki	4. 巻 88
2. 論文標題 Momentum-Dependent Spin Splitting by Collinear Antiferromagnetic Ordering	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 123702 ~ 123702
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.88.123702	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 Naka Makoto, Hayami Satoru, Kusunose Hiroaki, Yanagi Yuki, Motome Yukitoshi, Seo Hitoshi	4. 巻 10
2. 論文標題 Spin current generation in organic antiferromagnets	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 4305 ~ 4305
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-019-12229-y	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 Oiwa Rikuto, Yanagi Yuki, Kusunose Hiroaki	4. 巻 88
2. 論文標題 Time-reversal Symmetry Breaking Superconductivity in Hole-doped Monolayer MoS 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 063703 ~ 063703
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.88.063703	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 Hayami Satoru, Kusunose Hiroaki, Motome Yukitoshi	4. 巻 88
2. 論文標題 Magnetic Vortex Induced by Nonmagnetic Impurity in Ferromagnets: Magnetic Multipole and Toroidal around the Vacancy	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 063702 ~ 063702
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.88.063702	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 Suzuki M.-T., Nomoto T., Arita R., Yanagi Y., Hayami S., Kusunose H.	4. 巻 99
2. 論文標題 Multipole expansion for magnetic structures: A generation scheme for a symmetry-adapted orthonormal basis set in the crystallographic point group	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 174407 ~ 174407
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.99.174407	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 Hayami Satoru, Yanagi Yuki, Kusunose Hiroaki, Motome Yukitoshi	4. 巻 122
2. 論文標題 Electric Toroidal Quadrupoles in the Spin-Orbit-Coupled Metal Cd ₂ Re ₂ O ₇	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 147602 ~ 147602
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.122.147602	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 Hayami Satoru, Yanagi Yuki, Naka Makoto, Seo Hitoshi, Motome Yukitoshi, Kusunose Hiroaki	4. 巻 30
2. 論文標題 Multipole Description of Emergent Spin-Orbit Interaction in Organic Antiferromagnet κ -(BEDT-TTF) $_2$ Cu[N(CN) $_2$]Cl	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JPS Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 011149 ~ 011149
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.30.011149	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 Oiwa Rikuto, Yanagi Yuki, Kusunose Hiroaki	4. 巻 30
2. 論文標題 Spin and Orbital Susceptibilities in Hole-Doped Monolayer Superconductor MoS $_2$ with Ising-Type Spin-Orbit Coupling	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JPS Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 011042 ~ 011042
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.30.011042	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 -

[学会発表] 計19件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 R. Oiwa, H. Kusunose
2. 発表標題 Microscopic origin of chirality in elemental Tellurium
3. 学会等名 The 12th International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 H. Kusunose
2. 発表標題 Microscopic investigation of chiral crystals and their cross-correlated responses
3. 学会等名 The 13th APCTP Workshop on Multiferroics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 H. Kusunose, R. Oiwa
2. 発表標題 Rotation and electric-field responses in chiral crystal of elemental Tellurium
3. 学会等名 The 12th International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 R. Oiwa, H. Kusunose
2. 発表標題 Phonon-Mediated Spin-Triplet Superconductivity in Chiral Crystals
3. 学会等名 Trends in the Theory of Quantum Materials 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 H. Kusunose
2. 発表標題 Microscopic investigation of chiral crystals
3. 学会等名 Trends in the Theory of Quantum Materials 2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 楠瀬博明
2. 発表標題 空間反転対称性のない系が示す風変わりな物性応答
3. 学会等名 日本物理学会 第77回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大岩陸人・楠瀬博明
2. 発表標題 カイラル結晶における電場・回転場応答の微視的理論
3. 学会等名 日本物理学会 第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroaki Kusunose
2. 発表標題 Cross-Correlated Phenomena Viewed from Electronic Multipoles
3. 学会等名 Asia-Pacific Conference on Condensed Matter Physics 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大岩陸人・楠瀬博明
2. 発表標題 Te系カルコゲナイドの強誘電秩序下で生じる非線形応答の理論
3. 学会等名 日本物理学会 第76回秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 楠瀬博明、大岩陸人、柳有起
2. 発表標題 遷移金属ダイカルコゲナイドにおける超伝導ペア対称性について
3. 学会等名 高温超伝導・非従来型超伝導研究の最前線:多様性と普遍性 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大岩陸人、楠瀬博明
2. 発表標題 非線形電気伝導テンソルにおける主要モデルパラメータ抽出手法の提案
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 速水賢、楠瀬博明
2. 発表標題 磁気四極子秩序下における隠れたスピン-軌道結合
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 八城愛美、楠瀬博明、速水賢
2. 発表標題 磁性体中における多極子の分類論
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹谷航平、柳有起、楠瀬博明
2. 発表標題 螺旋対称性を有する結晶構造における秩序と交差相関応答
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中惇、速水賢、楠瀬博明、柳有起、求幸年、妹尾仁嗣
2. 発表標題 型分子性導体における異常ホール効果
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大岩陸人、柳有起、楠瀬博明
2. 発表標題 遷移金属ダイカルコゲナイドのホールドープ超伝導の性質
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 R. Oiwa, Y. Yanagi, H. Kusunose
2. 発表標題 Time-Reversal Symmetry Breaking Superconductivity in Hole-Doped Monolayer MoS ₂
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Naka, S. Hayami, H. Kusunose, Y. Yanagi, Y. Motome, H. Seo
2. 発表標題 Organic antiferromagnet as a spin current generator
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M.-T. Suzuki, T. Nomoto, R. Arita, Y. Yanagi, S. Hayami, H. Kusunose, V. T. N. Huyen, K. Yamauchi, T. Oguchi,
2. 発表標題 Multipole expansion for magnetic structures and its application to the study of anomalous Hall effect in antiferromagnets
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 楠瀬 博明	4. 発行年 2022年
2. 出版社 講談社	5. 総ページ数 208
3. 書名 基礎からの超伝導 風変わりなペアを求めて	

1. 著者名 楠瀬 博明	4. 発行年 2019年
2. 出版社 講談社	5. 総ページ数 272
3. 書名 スピンと軌道の電子論	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 物質生成方法、及び物質生成装置	発明者 楠瀬博明、大岩陸人	権利者 学校法人明治大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-027958	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

明治大学工学部物理学科物性理論研究室-Activity
<https://www.isc.meiji.ac.jp/~hk/activity.html>
明治大学 工学部 物理学科 物性理論研究室 - Activity
<http://www.isc.meiji.ac.jp/~hk/activity.html>

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	速水 賢 (Hayami Satoru) (20776546)	東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・講師 (12601)	現在、北海道大学理学研究院 准教授

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