

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 11 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2023

課題番号：19K03744

研究課題名(和文)スピントロニクス現象における相互作用効果

研究課題名(英文) Interaction effects in spintronics

研究代表者

河野 浩 (Hiroshi, Kohno)

名古屋大学・理学研究科・教授

研究者番号：10234709

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)：(1) ベリー位相描像の前提(断熱過程)が破綻して非断熱過程が重要になる状況(コリニアまたは傾角反強磁性体)におけるトポロジカル・(スピン)ホール効果およびスピン起電力を微視的に計算し、反強磁性体における創発電磁場(創発ベクトルポテンシャル)を同定した。(2)反強磁性体におけるスピン移行トルクの微視的計算を行った。(3)トポロジカルな磁化構造が存在する下でのマグノン・ドラッグ過程を調べた。(4)スピン軌道相互作用の強いバンド電子が媒介するジャロシンスキー・守谷相互作用の微視的理論を構築した。(5)力学的スピン流生成に対するスピン軌道相互作用の効果、多軌道強束縛模型から出発して微視的に調べた。

研究成果の学術的意義や社会的意義
スピントロニクスの基礎理論を、強磁性体から反強磁性体へ、電気的摂動から力学的摂動へ、一様磁化下のマグノン・ドラッグから磁化構造下のマグノン・ドラッグへ、といった方向へ進展させた。また、ジャロシンスキー・守谷相互作用の微視的理論を構築した。

研究成果の概要(英文)：(1) Microscopic calculations have been performed on the topological Hall effect, topological spin Hall effect, and spin-motive forces for collinear and/or canted antiferromagnets, where the Berry phase picture (which assumes adiabatic process) breaks down and non-adiabatic processes become important. The emergent electromagnetic (or spin-motive) field and emergent spin vector potential in antiferromagnets have been identified. (2) Microscopic calculations of spin-transfer torque in antiferromagnets have been performed. (3) Magnon-drag processes in the presence of topological spin structure have been studied. (4) Microscopic theory of Dzyaloshinskii-Moriya interaction mediated by band electrons with strong spin-orbit interaction have been developed. (5) Effects of spin-orbit interaction on mechanical spin-current generation have been investigated microscopically starting from a multi-orbital tight-binding model.

研究分野：スピントロニクス

キーワード：スピントロニクス トポロジカルホール効果 ジャロシンスキー・守谷相互作用 動的格子変形 マグノン・ドラッグ効果 スピン起電力 スピントルク 反強磁性体

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

スピン流の関与する新物理現象を開拓し工学的応用を図るスピントロニクス分野では、これまでに、スピン移行効果、スピン起電力、スピンゼーベック効果、トポロジカル・ホール効果など多くの現象が発見・創出されてきた。しかし、応用のためには、そのような効果を増強することが必要で、この分野における新たな挑戦課題となっている。

2. 研究の目的

本研究では、多体相互作用の観点からスピントロニクス効果を増強する方法を探る。まず、そのような増強の実例として、マンガン酸化物薄膜で発見された巨大なトポロジカル・ホール効果の原因を探る。また、スピンゼーベック効果を増強させるフォノンドラッグにヒントを得て、各種スピン輸送における種々のドラッグ効果（相互作用し合う素励起の流れが互いに引きずり合う効果）を調べる。とくに、スピントロニクスのパラダイムに従って、素励起間の角運動量転換の観点からドラッグ効果を調べる。

3. 研究の方法

微視的モデルを設定して、量子統計力学の方法（グリーン関数法）で虚心坦懐に計算する。

4. 研究成果

●傾角反強磁性体におけるトポロジカルホール効果

有限の立体角を張る磁化構造により引き起こされるホール効果(トポロジカルホール効果)を、傾角反強磁性体に対して解析的に調べた。磁化のネール成分の空間変化はスピングージ場により、一様成分は摂動的に扱い、ホール伝導度の解析的な表式を導出した。一体近似の範囲であるが、反強磁性が発達している(反強磁性によるギャップが大きい)場合には、ホール抵抗が電子の有効質量の2乗に比例して増大することを見出した。これは、強磁性体の場合には有効質量の1乗に比例していたことと対照的で、実験結果をより自然に説明できる可能性に近づいたことに相当する。また、得られた結果から、反強磁性体における創発磁場および創発ベクトルポテンシャルの表式を見出した。(興味深いことに、反強磁性体の磁化ダイナミクスを記述するラグランジアン運動項と、空間・時間成分の対応がある。)これは、以前、反強磁性体の磁化ダイナミクスで誘起される電流を調べた際に見出した創発電場と合わせて、反強磁性体の創発電磁気現象の基礎となると思われる。さらに、傾角反強磁性体においてトポロジカル・ホール効果を生じさせる磁化構造(スカーミオン、磁壁)を具体的に構成した。結果は Phys. Rev. B 誌に掲載された。

●反強磁性金属におけるトポロジカル・スピンホール効果の理論

反強磁性の秩序変数であるネールベクトルの空間変化に起因するスピンホール効果の理論を提唱した。ネールベクトルで作られるスカラー・カイラリティは物理的意味を持たないことに注意して解析した結果、ベクトルカイラリティによる巻きつき数で表される(したがって、トポロジカル・スピンホール効果と称してよい)ことを見出した。また、反強磁性体の特徴として、非断熱成分が重要になること、弱結合領域で増大することを見出した。これは、(相互作用効果でなく)一体問題レベルの結果であるが、本研究の目的に合致するものであり、今後さらに詰めていく価値があると考えている。

●トポロジカルネルンスト効果に対するマグノンドラッグ効果

トポロジカルホール効果の熱電版であるトポロジカルネルンスト効果に着目して、マグノンドラッグ効果(マグノンの流れに引きずられて電子の流れが生じる効果)を調べた。具体的には、磁化構造の下で温度勾配に誘起される横電流を計算した。横方向の流れが生じる過程(M:マグノンのトポロジカルホール効果、E:電子のトポロジカルホール効果)とマグノン流が電子流を誘起する過程(S:スピン移行効果、P:運動量移行効果)との4通りの組み合わせのうち、(M,S)を除く他の3つの過程に対応する表式を解析的に得た。(M,S)が存在しない物理的理由として、マグノンドラッグにおけるスピン移行効果は準平衡過程であるためであると議論した。東邦大学の大江研究室で行われた数値シミュレーションの結果を、上で得られた表式で解析することにより、上記諸過程のうち(M,P)の組み合わせが支配的であることを見出した。また、トポロジカルネルンスト効果の大きさが、磁化と伝導電子のs-d交換相互作用の符号に依存することを見出した。具体的には、伝導電子が負のスピン分極をもつ場合には、正の場合に比べて増大することを見出した。これは、スピン角運動量の移行によるドラッグ効果と、運動量のドラッグ効果の相

対的な符号が s-d 交換相互作用に依存することによる。数値シミュレーションとその解析結果については Appl. Phys. Lett. 誌に掲載された。

●反強磁性体におけるスピントルクの微視的計算

反強磁性体におけるスピン移行トルクとその散逸補正 (β 項)、減衰トルク (α 項) の微視的計算を行った。 β 項と α 項は強磁性体の表式と類似しているが、スピン移行トルクは強磁性体とは逆符号、すなわち電流で磁壁が駆動される方向は強磁性体とは逆であること、を見出した。この結果は角運動補償点におけるフェリ磁性体 GdFeCo (反強磁性的な磁化ダイナミクスが期待される) の実験結果を説明できることを指摘した。さらに、反強磁性体では2種類のスピン移行トルクが存在すること、スピン波のドップラーシフトには両方が同じ程度寄与することを示した。伝導電子のホッピングを調節して、反強磁性のトルクと強磁性のトルクを連続的につなげて議論した。これらの結果は、Phys. Rev. B 誌および J. Phys. Soc. Japan 誌に掲載された。

●反強磁性体におけるスピン起電力の微視的理論

反強磁性体のスピン起電力を、スピン緩和による散逸補正 (β 項) および非断熱過程を含めて調べ、創発電場、創発スピン場、創発スピンポテンシャルを同定した。反強磁性ギャップ近傍では、横スピン伝導度が増大することを見出した。これらの結果は、反強磁性体におけるマグノン・ドラッグ効果の物理的解釈に役立つと期待される。論文投稿準備中。

●ジャロシンスキー・守谷相互作用の微視的理論

交換相互作用を通じてバンド電子に媒介されるジャロシンスキー・守谷相互作用について理論的に解析した。まず、スピン軌道相互作用が強いバンド電子に対しても適用できる一般式をファインマン図形を用いて導出した。バンド電子に媒介されるジャロシンスキー・守谷相互作用“定数”は、一般に磁化の大きさや方向に依存するため、自由エネルギーにおけるものとスピン波に対するものでは、一般に異なることを見出した。強磁性トポロジカル絶縁体とラシュバ強磁性体に対して具体的に計算し、これを確認した。一方、ワイル強磁性体、およびスピン軌道相互作用の弱い系では、そのような違いは無いことを見出した。ワイル強磁性体については、ジャロシンスキー・守谷相互作用はカイラル量子異常に起因するといった特殊性によるものであることを議論した。また、面直磁化のラシュバ系のように、磁化とスピン軌道磁場が直交する場合は、ジャロシンスキー・守谷相互作用は平衡スピン流と厳密に関係づけられることを見出した。これは、以前から (スピン軌道相互作用が弱い場合に) 知られていたジャロシンスキー・守谷相互作用と平衡スピン流の関係を、スピン軌道相互作用が強い場合に拡張したものと見ることができると見出した。結果は Phys. Rev. B 誌に掲載された。

●力学的スピン流生成の理論

固体の動的格子歪に駆動されて伝導電子系にスピン流が生じる現象 (力学的スピン流生成) を、sp 電子系の強束縛モデルから出発して有効ハミルトニアンを導くことにより調べた。これは、従来用いられている座標変換の方法の正当化あるいは批判的検討を目指したものである。空間反転対称性が破れた系で、有効ハミルトニアンとしてラシュバ・モデルが導かれる場合に、動的格子歪の効果がどのように現れるかを調べ、有効摂動ハミルトニアンを導出し、(運動エネルギーに加えて) ラシュバ型スピン軌道相互作用の変調として表現できることを示した。つぎに、このようにして導かれた有効摂動ハミルトニアンに基づいて、動的格子変形が誘起するスピン流を、線形応答理論を用いて計算した。その結果、四重極スピン流・垂直スピン流・ヘリシティ流といった多彩なスピン流が誘起されることを見出した。結果は J. Phys. Soc. Japan 誌に掲載され、Hot topics に取り上げられた。

さらに、空間反転対称性をもつ系における力学的スピン流生成を同様の手法で調べ、空間反転対称性の破れた系におけるスピン流と比べて、空間微分の次数がひとつ多いスピン流が誘起されることを見出した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yuuki Ogawa, Takumi Funato, and Hiroshi Kohno	4. 巻 92
2. 論文標題 Microscopic Analysis of Lattice Distortion Effects in Rashba Systems	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 J. Phys. Soc. Japan	6. 最初と最後の頁 113702 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.92.113702	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 Yuto Hayakawa, Yusuke Imai, and Hiroshi Kohno	4. 巻 108
2. 論文標題 Dzyaloshinskii-Moriya interaction in strongly spin-orbit coupled systems: General formula and application to topological and Rashba materials	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 064409 1-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.108.064409	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 Y. Kobayashi, M. Kimata, D. Kan, T. Ikebuchi, Y. Shiota, H. Kohno, Y. Shimakawa, T. Ono, and T. Moriyama	4. 巻 61
2. 論文標題 Extrinsic contribution to anomalous Hall effect in chiral antiferromagnetic (111)-oriented L1 ₂ -Mn ₃ Ir films	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Jpn. J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 070912 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac7625	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 Yusuke Imai, Ai Yamakage, and Hiroshi Kohno	4. 巻 103
2. 論文標題 Spin-orbit torques and magnetotransport of two-dimensional Dirac electrons without particle-hole symmetry	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 144416 1-19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.103.144416	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 Jotaro J. Nakane and Hiroshi Kohno	4. 巻 103
2. 論文標題 Microscopic calculation of spin torques in textured antiferromagnets	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 L180405 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.L180405	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 Jotaro J. Nakane, and Hiroshi Kohno	4. 巻 90
2. 論文標題 Current-Induced Spin-Wave Doppler Shift in Antiferromagnets	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 103705 1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.90.103705	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 Nam-Hui Kim, Qurat-ul-ain, Joonwoo Kim, Eunchong Baek, June-Seo Kim, Hyeon-Jong Park, Hiroshi Kohno, Kyung-Jin Lee, Sonny H. Rhim, Hyun-Woo Lee, and Chun-Yeol You	4. 巻 105
2. 論文標題 Slater-Pauling behavior of interfacial magnetic properties of 3d transition metal alloy/Pt structures	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 064403 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.105.064403	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 Jotaro J. Nakane, Kazuki Nakazawa, and Hiroshi Kohno	4. 巻 101
2. 論文標題 Topological Hall effect in weakly canted antiferromagnets	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 174432 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.101.174432	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 Koujiro Hoshi, Terufumi Yamaguchi, Akihito Takeuchi, Hiroshi Kohno, and Jun-ichiro Ohe	4. 巻 117
2. 論文標題 Magnon-drag thermoelectric transport with skyrmion structure	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 062404 1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0017272	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 Takumi Funato and Hiroshi Kohno	4. 巻 102
2. 論文標題 Extrinsic spin Hall effect in inhomogeneous systems	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 094426 1-19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.102.094426	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 Takuya Kawada, Masashi Kawaguchi, Takumi Funato, Hiroshi Kohno, and Masamitsu Hayashi	4. 巻 7
2. 論文標題 Acoustic spin Hall effect in strong spin-orbit metals	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eabd9697 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.abd9697	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 Yusuke Imai, Terufumi Yamaguchi, Ai Yamakage, and Hiroshi Kohno	4. 巻 103
2. 論文標題 Spintronic properties of topological surface Dirac electrons with hexagonal warping	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 054402 1-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.103.054402	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 Jotaro Nakane and Hiroshi Kohno	4. 巻 90
2. 論文標題 Magnetic-Field-Driven Antiferromagnetic Domain Wall Motion	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Phys. Soc. Japan	6. 最初と最後の頁 034702 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.90.034702	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 Nakazawa Kazuki, Kohno Hiroshi	4. 巻 99
2. 論文標題 Weak coupling theory of topological Hall effect	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 174425-1-28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.99.174425	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 Nakane Jotaro J., Nakazawa Kazuki, Kohno Hiroshi	4. 巻 101
2. 論文標題 Topological Hall effect in weakly canted antiferromagnets	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 174432-1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.101.174432	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40件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 11件)

1. 発表者名 Y. Ogawa and H. Kohno
2. 発表標題 Mechanical Spin Current Generation via Intrinsic Spin-Orbit Interaction with Spatial Inversion Symmetry
3. 学会等名 Intermag2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Y. Hayakawa and H. Kohno
2. 発表標題 Microscopic Calculation of Dzyaloshinskii-Moriya Interaction in a Rashba Ferromagnet
3. 学会等名 Intermag2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 S. Hirata and H. Kohno
2. 発表標題 Microscopic Theory of Spin Motive Force in Antiferromagnets
3. 学会等名 Intermag2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小川祐巨、河野 浩
2. 発表標題 空間反転対称な内因性スピン軌道相互作用を介した力学的スピン流生成II
3. 学会等名 日本物理学会 第78回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小川祐巨、河野 浩
2. 発表標題 軌道流の力学的生成
3. 学会等名 日本物理学会2024年春季大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 早川雄人、河野 浩
2. 発表標題 電流誘起フェリ磁壁の加速・減速過程
3. 学会等名 日本物理学会2024年春季大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 平田晶瑚、河野 浩
2. 発表標題 反強磁性金属における外因性スピンホール効果の微視的計算
3. 学会等名 日本物理学会2024年春季大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 H. Kohno
2. 発表標題 A poor man 's approach to skyrmion mass
3. 学会等名 Japan-Korea Skyrmion workshop in Osaka “ Dynamical Control of Magnetic Skyrmions ” (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 平田晶瑚、戸田雄太、河野浩
2. 発表標題 反強磁性金属におけるスピン起電力の微視的理論II
3. 学会等名 日本物理学会 2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 早川雄人、今井悠介、河野浩
2. 発表標題 磁性ラッシュバ系におけるジャロシンスキー・守谷相互作用の面内磁化依存性
3. 学会等名 日本物理学会 2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小川祐巨、河野浩
2. 発表標題 空間反転対称な内因性スピン軌道相互作用を介した力学的スピン流生成
3. 学会等名 日本物理学会 2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 平田晶瑚、戸田雄太、河野浩
2. 発表標題 Microscopic Theory of Spin Motive Forces in Antiferromagnetic Metal
3. 学会等名 International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces (ICMFS-2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 早川雄人、今井悠介、河野浩
2. 発表標題 Microscopic theory of Dzyaloshinskii-Moriya interaction for strongly spin-orbit coupled systems
3. 学会等名 International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces (ICMFS-2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小川祐巨、船戸匠、河野浩
2. 発表標題 Spin Current Generation by Dynamical Lattice Distortion in Rashba Systems: Tight-binding Analysis
3. 学会等名 International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces (ICMFS-2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 早川雄人、今井悠介、河野浩
2. 発表標題 ジャロシンスキー・守谷相互作用とスピン流の関係：スピン軌道相互作用の強い場合への一般化
3. 学会等名 日本物理学会2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 早川雄人、今井悠介、河野浩
2. 発表標題 トポロジカル絶縁体表面におけるジャロシンスキー・守谷相互作用の微視的計算
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中根丈太郎、河野浩
2. 発表標題 Current-induced spin-wave Doppler shift in antiferromagnets
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小川祐巨, 船戸匠, 河野浩
2. 発表標題 ラシユバ系における格子歪みの効果の微視的解析IV
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平田晶瑚, 戸田雄太, 河野浩
2. 発表標題 反強磁性金属におけるスピン起電力の微視的理論
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 小川祐巨, 河野浩
2. 発表標題 ワイル半金属における力学的スピン流生成
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 早川雄人, 今井悠介, 河野浩
2. 発表標題 スピン軌道相互作用の強い系におけるジャロシンスキー・守谷汎関数
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 今井悠介, 山影相, 河野浩
2. 発表標題 磁性トポロジカル絶縁体表面におけるスピントルクと輸送現象: ラッシュバ系との比較 II
3. 学会等名 日本物理学会 秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中根丈太郎, 河野浩
2. 発表標題 反強磁性体における磁壁の電流駆動の理論
3. 学会等名 日本物理学会 秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 船戸匠, 河野浩
2. 発表標題 Rashba スピン軌道相互作用を介した力学的スピン流生成機構 III
3. 学会等名 日本物理学会 秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小川祐巨, 船戸匠, 河野浩
2. 発表標題 ラッシュバ系における格子歪みの効果の微視的解析 II
3. 学会等名 日本物理学会 秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小川祐巨, 船戸匠, 河野浩
2. 発表標題 ラッシュバ系における格子歪みの効果の微視的解析III
3. 学会等名 日本物理学会 年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中根丈太郎, 河野浩
2. 発表標題 反強磁性体におけるスピントルクの微視的理論
3. 学会等名 日本物理学会 年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 船戸匠, 河野浩
2. 発表標題 外因性スピン軌道相互作用を介した力学的スピン流生成の理論
3. 学会等名 日本物理学会 年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 早川雄人, 今井悠介, 河野浩
2. 発表標題 トポロジカル絶縁体表面におけるジャロシンスキー・守谷相互作用の微視的計算
3. 学会等名 日本物理学会 年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroshi Kohno
2. 発表標題 Topological Hall Effect in Weak Ferromagnets
3. 学会等名 2019 MRS Spring Meeting, Phoenix, Arizona, USA (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今井悠介
2. 発表標題 磁性トポロジカル絶縁体表面におけるスピントルク : hexagonal warpingの効果 II
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 船戸 匠
2. 発表標題 Rashbaスピン軌道相互作用を介した力学的スピン流生成機構
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 中根丈太郎
2. 発表標題 反強磁性体スピントクスチャの集団座標について
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 Yusuke Imai
2. 発表標題 Spin torques on the surface of magnetic topological insulators with hexagonal warping
3. 学会等名 64th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takumi Funato
2. 発表標題 Extrinsic Spin Hall Effect in Inhomogeneous Systems
3. 学会等名 64th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jotaro J. Nakane
2. 発表標題 Topological Hall effect in weakly canted antiferromagnets
3. 学会等名 64th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今井悠介
2. 発表標題 磁性トポロジカル絶縁体表面におけるスピントルクと輸送現象：ラシュバ系との比較
3. 学会等名 日本物理学会2020年春季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 船戸 匠
2. 発表標題 Rashbaスピン軌道相互作用を介した力学的スピン流生成機構
3. 学会等名 日本物理学会2020年春季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中根丈太郎
2. 発表標題 反強磁性スピントクスチャに対する電流誘起スピントルク
3. 学会等名 日本物理学会2020年春季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小川祐巨
2. 発表標題 ラッシュバ系における格子歪みの効果の微視的解析
3. 学会等名 日本物理学会2020年春季大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Akinobu Yamaguchi, Atsufumi Hirohata, Bethanie Stadler (Eds.)	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Elsevier	5. 総ページ数 812
3. 書名 Nanomagnetic Materials: Fabrication, Characterization and Application	

〔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
---------	---------