

令和 2 年 6 月 5 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2019

課題番号：15K17726

研究課題名（和文）スピン軌道結合によるトポロジカル構造と輸送現象

研究課題名（英文）Topological structures and transport phenomena in a spin-orbit coupled system

研究代表者

川口 由紀（Kawaguchi, Yuki）

名古屋大学・工学研究科・准教授

研究者番号：00456261

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）：スピン軌道相互作用によりもたらされるトポロジカル量子現象について研究を行った。冷却原子気体のボース・アインシュタイン凝縮体に対しては、磁気的双極子相互作用や光により作られるスピン軌道結合に由来して起こる、スピンホール効果、非可換ゲージ場の下での凝縮体のダイナミクス、非エルミート系でのトポロジカル数を明らかにした。固体電子系に対しては、相対論的效果を起源とするスピン軌道相互作用により生じる磁気スキルミオン構造や輸送現象を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

冷却原子気体および固体電子系においてスピン軌道相互作用によりもたらされる新奇現象を明らかにした。特に、磁気的双極子相互作用がスピン軌道結合として働いてスピンホール効果を起こすこと、および、非エルミート系において、例外点が存在する場合においてもトポロジカル数が定義できることを示したのは我々の研究が初めてである。

研究成果の概要（英文）：We studied topological quantum phenomena caused by spin-orbit coupling. For Bose-Einstein condensates (BECs) of cold atomic gases, we have discussed the spin Hall effect, BEC dynamics under a non-Abelian gauge field, and topological invariants defined in a non-Hermitian system, which arise from the magnetic dipole-dipole interaction or Laser-induced spin-orbital coupling. For solid-state systems, we have investigated transport phenomena and magnetic skyrmion structure caused by spin-orbit interaction originating from relativistic effects.

研究分野：物性理論

キーワード：冷却原子気体 トポロジカル構造 スピン軌道相互作用 トポロジカル超伝導 磁気スキルミオン

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、研究者個人に帰属されます。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年の冷却原子気体研究における注目すべき発展として、双極子相互作用するスピノール・ボース・アインシュタイン凝縮体(BEC)の実現と、ラマン光や高周波で振動するポテンシャルを用いたスピン軌道相互作用の実現が挙げられる。これらの系は、スピンと軌道の自由度が結合することで、磁性と超流動が複雑に絡み合った現象を研究できる舞台となっている。一方、スピン軌道相互作用は固体電子系においてトポロジカルな効果を引き起こすものとして数多くの研究がなされており、カイラル磁性体における実空間トポロジカル構造(磁気スキルミオン)や、波数空間におけるトポロジカル構造に由来した表面状態やスピン・ホール効果などが例として挙げられる。これらの系を比較しつつ研究することで、スピン軌道相互作用に由来する物理現象を広く理解するのが本研究のねらいである。

2. 研究の目的

本研究は、スピン軌道相互作用する固体電子系とスピン自由度をもった冷却原子気体 BEC との類似性に着目し、双方を照らし合わせて研究を進めることで、スピンの空間構造と粒子流(電流)・スピン流の統計性に依らない普遍的な関係を理解することを目的とした理論研究である。これらの系では、スピンの実空間や運動量空間での構造がベリー位相を通じて粒子に実効的な電磁場を作り、粒子流やスピン流を生じさせるという共通点がある。本研究では特に、スピン渦やスカーミオンといったトポロジカルな構造がもたらすホール効果などの輸送現象に焦点をおいて研究する。

3. 研究の方法

研究開始当初の計画では、ボース粒子系の Bogoliubov 理論を用いたトポロジカルバンドの解析、extended Landau-Lifshitz-Gilbert(eLLG)方程式を用いた3次元スピン構造の解析、流体方程式、ボルツマン方程式を用いたスピンドイナミクス of the 記述、を行う予定であった。については予定通り行ったが、については十分に研究が進まなかった。一方で、トポロジカル絶縁体(TI)表面に s 波超伝導体を接合することで作られるトポロジカル超伝導体を新たに研究対象に加え、Bogoliubov 準粒子状態の数値計算、および McMillan の方法によるグリーン関数の計算を行い、表面状態に由来する輸送現象などの研究を行った。

4. 研究成果

研究成果は大別して[A]冷却原子気体に関するものと、[B]固体電子系に関するものに分けられる。[A]については、スピン軌道相互作用として、内在的な磁気的雙極子-雙極子相互作用、ラゲール・ガウスビームを用いたスピンと軌道角運動量の結合、および、速く振動する光格子ポテンシャルによる実効的なスピン・軌道相互作用を扱った。[B]では、スピン・軌道相互作用の由来はすべて相対論的效果であるが、その効果が顕著に現れるカイラル磁性体の磁化構造、およびトポロジカル絶縁体(TI)や遷移金属ダイカルコゲナイド(TMD)における輸送現象、を扱った。以下で各々の成果を順に挙げる。

[A1] 双極子相互作用する BEC におけるスピン・ホール効果

双極子相互作用するスピン自由度を持った BEC では、実空間で一様な凝縮体であっても、励起モードは運動量空間でスピン渦状態となる。これは、相互作用がスピンと軌道の合成角運動量を保存する相互作用となっているためである。そこで、本研究では、スピン 1 のポーラー相に対して具体的に Bogoliubov 励起モードを求め、これをもとに粒子流(電流)とスピン応答関数を計算して、磁場勾配を印加したときのホール伝導を求めた。具体的にナトリウムおよびクロムの BEC に対してホールカレントを定量的に評価し、実験で観測する方法を提案した。[Phys. Rev. A **93**, 053605 (2016)]

[A2] スピン・軌道角運動量相互作用する BEC のダイナミクス

ラゲール・ガウスビームを用いると、原子のスピン自由度と軌道角運動量を結合させることができ、原子の磁気副準位に応じた角運動量を与えることができる。この方法によりスピン渦状態が実験で生成されたため、そのダイナミクスを理論的に調べた。その結果、スピン渦は非常に長時間安定であること、およびスピン・軌道角運動量結合を消すと渦が 2 つの半整数量子渦に分裂することがわかった。

この系では基底状態にスキルミオンのようなスピン構造が出現するが、波動関数の位相部分は渦状態にもなりうる。全系の運動エネルギーを考慮すると detuning が小さいときには、静止系であっても基底状態に渦が出現することを示し、常流動状態から温度を下げることで自発的に渦が出現することを明らかにした。

スピン・軌道角運動量の結合が小さいときには、粒子数密度が空間的に変調するストライプ相

が出現することが予言されている。高次のラゲール・ガウスビームを用いたときに、変分計算および数値シミュレーションによりストライプ相が出現するパラメータの最適化を行い、密度変動が原子気体顕微鏡で観測可能なパラメータ設定を提案した。

上記の研究は台湾の中央研究院の実験グループとの国際共同研究である。[Phys. Rev. Lett. **121**, 113204 (2018), Phys. Rev. Lett. **121**, 250401 (2018), arXiv:2005.12007]

[A3] 例外点をもつ非エルミートハミルトニアンへのトポロジカル数

BEC からの励起スペクトルのトポロジーについて調べた。この系は特徴として、励起スペクトルが非エルミートハミルトニアンにより記述されるという特徴を持ち、固有値にしばしば複素数が出る。固有値が実数から複素数になる点は例外点と呼ばれハミルトニアンは対角化不能になり、例外点を含む系ではトポロジカル数が定義できないとされていた。それに対し本研究では、1次元 BEC の励起スペクトルに関して、例外点を回避して空間反転対称性に由来するトポロジカル数が定義できることを示し、スピン軌道相互作用する 2 つのモデルに対してトポロジカルに非自明な相が出現し、バルクエッジ対応が成り立つことを数値的に示した。[Phys. Rev. A **101**, 013625 (2020)]

[A4] 2成分 BEC の相分離ダイナミクス

2成分 BEC の相分離過程において、2成分の粒子数比が1から大きくずれる場合のスケールングを調べた。2成分の細かいドメインが混ざり合った状態は、エネルギーを保存するユニタリー時間発展であってもドメインが成長するふるまいを見せる。ドメインの成長則を数値的に調べた結果、2成分の粒子数が大きく異なる場合には成長の初期と後期で指数が異なることが分かった。このダイナミクスには、古典系の2成分流体のような成分間の拡散的な流れの効果はほとんど効かず、ドメインのランダムな運動により起こる衝突が支配的であることを明らかにした。[Phys. Rev. A **101**, 023608 (2020)]

[B1] カイラル磁性体/強磁性体接合系における非一様磁化構造

カイラル磁性体の薄膜では、スピン軌道相互作用を由来とするジャロチンスキー・守屋相互作用により、スキルミオン格子やスピンヘリックスといった非一様な磁化構造が出現する。本研究ではカイラル磁性体薄膜に強磁性体を接合し、安定な磁化構造を変分計算により求めた。その結果、強磁性体の膜厚が十分に薄い場合にはカイラル磁性体における磁化構造がそのまま強磁性体中へとしみこむが、強磁性体の膜厚が厚くなると、非一様な磁化構造は有限の深さまでしか浸透せず、強磁性体の十分内部では一様な構造となることがわかった。このとき、カイラル磁性体にスキルミオン格子が生じる場合には、強磁性体中に磁気モノポールが出現すること、およびカイラル磁性体にスピンヘリックスが生じる場合には、強磁性体中でスキルミオンチャージが $1/2$ の構造が生じることがわかった。[Phys. Rev. B **93**, 064416 (2016)]

[B2] トポロジカル絶縁体表面における光渦照射への応答

トポロジカル絶縁体(TI)表面で光により誘起されるスピン密度、スピン流を非平衡グリーン関数法により計算した。TI 表面ではスピンと運動量が強く結合しているため、光の電場によって電流が誘起されると、それに伴ってスピン密度も誘起される。特に軌道角運動量を持ったラゲール・ガウスビーム(光渦)を照射した場合には、電場強度が空間的に大きく変化するため、特異な空間部運否をするスピン密度が誘起されることがわかった。[Phys. Rev. B **93**, 195415 (2016)]

[B3] 遷移金属ダイカルコゲナイトにおけるバレー・エデルシュタイン効果

単原子層の遷移金属ダイカルコゲナイト(TMD)において、バレー・エデルシュタイン効果が起こることを示した。スピン軌道相互作用する物質では、軌道とスピン自由度の結合により、電場をかけるとそれに垂直方向にスピン分極が起こるというエデルシュタイン効果が知られている。TMD ではイジングタイプのスピン軌道結合があるためにバレー依存したエデルシュタイン効果が起こることを示し、誘起されるスピンは電場に平行成分を持つことを明らかにした。一方、スピン自由度に着目すると、イジングタイプのスピン軌道結合に加え、ゲート電圧によりラッシュバ型のスピン軌道相互作用を誘起できる。このことは、副格子とスピンの双方の自由度がそれぞれ軌道の自由度と結合することによってホール効果を生み出すことを示唆している。本研究では、ラッシュバ型スピン軌道相互作用が強い場合には、スピン由来のバレーホール効果が副格子由来のものよりも支配的になることを明らかにした。これらの研究は香港科技大との国際共同研究である。[Phys. Rev. B **98**, 035435 (2018), Communications Physics **2**, 26 (2019)]

[B4] トポロジカル超伝導体におけるカイラルマヨラナ状態の外部磁場依存性

TI 表面では強いスピン軌道結合を反映して、スピンと軌道の自由度が完全にロックしている。そこに s 波超伝導体を接合するとトポロジカルに非自明な超伝導状態となり、系の端に特異なギャップ内状態が出現することが知られている。本研究では、その端状態が外部磁場により系の内部へと入り込む様子を数値的に調べ、局所状態密度から端状態の移動が検出できることを明らかにした。[Phys. Rev. B **97**, 144516 (2018)]

[B5] カイラルマヨラナ状態を介したジョセフソン接合

磁化した TI 上の超伝導接合について調べた。磁化ドープにより時間反転対称性を破った TI 表面上に超伝導体を配置するとトポロジカル超伝導となり、超伝導体の外周を一方向に回転運動するカイラルマヨラナ状態が出現する。本研究では、このような状況下でのジョセフソン接合について調べ、カイラルマヨラナ状態が出現するとジョセフソン電流が低温で急激に増大することを見出し、その温度依存性によりカイラルマヨラナ状態の有無が検出できることを指摘した。[Phys. Rev. B **100**, 104518 (2019)]

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 17件 / うち国際共著 5件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Toki Tsubasa, Nakosai Sho, Tanaka Yukio, Kawaguchi Yuki	4. 巻 100
2. 論文標題 Theory of the Josephson current on a magnetically doped topological insulator	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 104518
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.100.104518	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 Nagase T., Komatsu M., So Y.?G., Ishida T., Yoshida H., Kawaguchi Y., Tanaka Y., Saitoh K., Ikarashi N., Kuwahara M., Nagao M.	4. 巻 123
2. 論文標題 Smectic Liquid-Crystalline Structure of Skyrmions in Chiral Magnet Co _{8.5} Zn _{7.5} Mn ₄ (110) Thin Film	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 137203
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.123.137203	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 Ohashi Terumichi, Kobayashi Shingo, Kawaguchi Yuki	4. 巻 101
2. 論文標題 Generalized Berry phase for a bosonic Bogoliubov system with exceptional points	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 13625
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.101.013625	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 Fujimoto Kazuya, Haneda Kazunori, Kudo Kazue, Kawaguchi Yuki	4. 巻 101
2. 論文標題 Scale-invariant relaxation dynamics in two-component Bose-Einstein condensates with large particle-number imbalance	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 23608
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.101.023608	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 Fujimoto Kazuya, Hamazaki Ryusuke, Kawaguchi Yuki	4. 巻 124
2. 論文標題 Family-Vicsek Scaling of Roughness Growth in a Strongly Interacting Bose Gas	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 210604
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.124.210604	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 N.-C. Chiu, Y. Kawaguchi, S.-K. Yip, Y.-J. Lin	4. 巻 2005
2. 論文標題 Visible stripe phases in spin-orbital-angular-momentum coupled Bose-Einstein condensates	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 arXiv	6. 最初と最後の頁 12007
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Suzuki Shu-Ichiro, Kawaguchi Yuki, Tanaka Yukio	4. 巻 97
2. 論文標題 Local density of states in two-dimensional topological superconductors under a magnetic field: Signature of an exterior Majorana bound state	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 144516
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.97.144516	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 Taguchi K., Zhou B. T., Kawaguchi Y., Tanaka Y., Law K. T.	4. 巻 98
2. 論文標題 Valley Edelstein effect in monolayer transition-metal dichalcogenides	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 35435
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.98.035435	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 Chen H.-R., Lin K.-Y., Chen P.-K., Chiu N.-C., Wang J.-B., Chen C.-A., Huang P.-P., Yip S.-K., Kawaguchi Yuki, Lin Y.-J.	4. 巻 121
2. 論文標題 Spin-Orbital-Angular-Momentum Coupled Bose-Einstein Condensates	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 113204
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.121.113204	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 Chen P.-K., Liu L.-R., Tsai M.-J., Chiu N.-C., Kawaguchi Y., Yip S.-K., Chang M.-S., Lin Y.-J.	4. 巻 121
2. 論文標題 Rotating Atomic Quantum Gases with Light-Induced Azimuthal Gauge Potentials and the Observation of the Hess-Fairbank Effect	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 250401
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.121.250401	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 Imaeda Tatsushi, Kawaguchi Yuki, Tanaka Yukio, Sato Masatoshi	4. 巻 88
2. 論文標題 Axion Instability and Nonlinear Electromagnetic Effect	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 24402
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.88.024402	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 Zhou Benjamin T., Taguchi Katsuhisa, Kawaguchi Yuki, Tanaka Yukio, Law K. T.	4. 巻 2
2. 論文標題 Spin-orbit coupling induced valley Hall effects in transition-metal dichalcogenides	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Communications Physics	6. 最初と最後の頁 26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42005-019-0127-7	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 該当する

1. 著者名 Toshiyuki Oshima, Yuki Kawaguchi	4. 巻 93
2. 論文標題 Spin Hall Effect in a Spinor Dipolar Bose-Einstein Condensate	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 53605
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.93.053605	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 Kunitaka Shintani, Katsuhisa Taguchi, Yukio Tanaka, Yuki Kawaguchi	4. 巻 93
2. 論文標題 Spin and charge transport induced by a twisted light beam on the surface of a topological insulator	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 195415
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.93.195415	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 Nguyen Thanh Phuc, Tsutomu Momoi, Shunsuke Furukawa, Yuki Kawaguchi, Takeshi Fukuhara, Masahito Ueda	4. 巻 95
2. 論文標題 Geometrically frustrated coarsening dynamics in spinor Bose-Fermi mixtures	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 13620
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.95.013620	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 K. Kudo and Y. Kawaguchi	4. 巻 91
2. 論文標題 Coarsening dynamics driven by vortex-antivortex annihilation in ferromagnetic Bose-Einstein condensates	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 53609
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi:10.1103/PhysRevA.91.053609	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 N. T. Phuc, G. Tatara, Y. Kawaguchi, and M. Ueda	4. 巻 6
2. 論文標題 Controlling and probing non-abelian emergent gauge potentials in spinor Bose-Fermi mixtures	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 8135
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi:10.1038/ncomms9135	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 Y. Kawaguchi, Y. Tanaka, and N. Nagaosa	4. 巻 93
2. 論文標題 Skyrmionic magnetization configurations at chiral magnet/ferromagnet heterostructures	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 64416
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi:10.1103/PhysRevB.93.064416	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44件 (うち招待講演 15件 / うち国際学会 19件)

1. 発表者名 T. Ohashi, S. Kobayashi, and Y. Kawaguchi
2. 発表標題 Topological phases in 1D bosonic Bogoliubov bands with dynamical instability
3. 学会等名 28th Annual International Laser Physics Workshop (LPHYS'19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Kawaguchi
2. 発表標題 Generalized Berry phase for a bosonic Bogoliubov system with exceptional points
3. 学会等名 Mathematical approach for topological physics (II) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Maeno, S. Kobayashi, and Y. Kawaguchi
2. 発表標題 Anisotropic spin relaxation rate of three-dimensional chiral superconductors
3. 学会等名 International Conference on Topological Materials Science 2021 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Iida and Y. Kawaguchi
2. 発表標題 Spin-wave spectrum of a skyrmion-string structure in a spin-orbit coupled Bose-Einstein condensate
3. 学会等名 International Conference on Topological Materials Science 2021 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川口由紀
2. 発表標題 秩序は混沌からどのように生まれるか？
3. 学会等名 第6回 名古屋大学の卓越・先端・次世代研究シンポジウム『専門性と学際性の狭間で』（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Y. Kawaguchi
2. 発表標題 Bose-Einstein Condensates with Spin-orbit Interactions
3. 学会等名 REIMEI Workshop on "Universal Features of Quantum Flows with Spin, Orbital and Tensor Correlations" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤本和也, 濱崎立資, 川口由紀
2. 発表標題 強く相互作用するBose気体におけるFamily-Vicsekスケーリング
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大橋輝道, 小林伸吾, 川口由紀
2. 発表標題 One-dimensional topological phases in Bose-Einstein condensates
3. 学会等名 物性研短期研究会「量子情報・物性の新潮流」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大橋輝道, 小林伸吾, 川口由紀
2. 発表標題 2次元ボース・アインシュタイン凝縮体のトポロジカル相
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 鈴木修, 川口由紀, 田仲由喜夫
2. 発表標題 2次元トポロジカル超伝導体における外部磁場で制御されるマヨラナフェルミオンの理論
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 中島拓朗, 小山莉央, 川口由紀
2. 発表標題 横磁場によるスキルミオン格子の変形
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 川口由紀
2. 発表標題 原子気体BECにおけるトポロジ-
3. 学会等名 第23回久保記念シンポジウム「物理学におけるトポロジ-」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大橋輝道, 小林伸吾, 川口由紀
2. 発表標題 1次元ボース・アインシュタイン凝縮体におけるトポロジカル相
3. 学会等名 第10回トポロジ-連携研究会「非平衡系・非エルミート系の新奇量子現象」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuki Kawaguchi
2. 発表標題 Topological excitation bands from a 1D Bose-Einstein condensate
3. 学会等名 The 5th Workshop on Quantum Vortices and Nonlinear Waves (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中島拓朗, 小山莉央, 川口由紀
2. 発表標題 横磁場下のカイラル磁性体薄膜における1次元スキルミオン列
3. 学会等名 第4回「トポロジジーが紡ぐ物質科学のフロンティア」領域研究会(TMS2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大橋輝道, 小林伸吾, 川口由紀
2. 発表標題 Symmetry constraints on a winding number in topological phase of Bose-Einstein condensate
3. 学会等名 第4回「トポロジジーが紡ぐ物質科学のフロンティア」領域研究会(TMS2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Ohashi, S. Kobayashi, Y. Kawaguchi
2. 発表標題 Topological phases in 1D bosonic Bogoliubov bands with dynamical instability
3. 学会等名 American Physical Society (APS) March Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中河西翔, Pablo Burset, 田仲由喜夫, 川口由紀
2. 発表標題 トポロジカル絶縁体上のギャップレス超伝導状態の理論
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 川口由紀
2. 発表標題 ボース・アインシュタイン凝縮体における トポロジカル励起バンド
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会 (シンポジウム) (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Kawaguchi, K. Haneda, K. Kudo
2. 発表標題 Coarsening dynamics of a binary Bose-Einstein condensate
3. 学会等名 International Conference on Topological Materials Science 2017 (TopoMat2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. Kawaguchi, K. Haneda, K. Kudo
2. 発表標題 Coarsening dynamics in spinor Bose-Einstein condensates
3. 学会等名 International workshop on Topological structures in Quantum Matter (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Haneda, K. Kudo, Y. Kawaguchi
2. 発表標題 Domain Growth Dynamics in a Population Imbalanced Binary BEC
3. 学会等名 28th International Conference on Low Temperature Physics (LT28) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Ohashi, S. Kobayashi, Y. Kawaguchi
2. 発表標題 Bulk-edge correspondence for Bose Einstein condensate
3. 学会等名 Coherente Quantum Dynamics 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 今枝立至, 川口由紀
2. 発表標題 アキシオンドメインによる電磁場応答
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Ohashi, S. Kobayashi, Y. Kawaguchi
2. 発表標題 Bulk-edge correspondence for Bogoliubov band in Bose Einstein condensate
3. 学会等名 International Symposium on Fluctuation and Structure out of Equilibrium 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 R. Koyama, Y. Kawaguchi
2. 発表標題 Interaction between Magnetic Skyrmions
3. 学会等名 TMS-EPiQS 2nd Alliance Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大橋輝道, 小林伸吾, 川口由紀
2. 発表標題 ボース凝縮体における励起スペクトルの トポロジカルな分類
3. 学会等名 量子渦と非線形波動 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大橋輝道, 小林伸吾, 川口由紀
2. 発表標題 ボース・アインシュタイン凝縮体のトポロジカル相におけるバルク・エッジ対応
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 土岐翼, Bo Lu, Pablo Burset, 川口由紀, 田仲由喜夫
2. 発表標題 磁化したトポロジカル絶縁体表面におけるジョセフソン接合
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuki Kawaguchi, Toshiyuki Oshima
2. 発表標題 Spin Hall Effect in a Spinor-Dipolar Bose-Einstein Condensate
3. 学会等名 CEMS Topical Meeting on Cold Atoms (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Yuki Kawaguchi, Toshiyuki Oshima
2. 発表標題 Spin Hall Effect in a Spinor-Dipolar Bose-Einstein Condensate
3. 学会等名 TOPO MAT Meeting 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 川口由紀、工藤和恵
2. 発表標題 スピン自由度を持ったボース・アインシュタイン凝縮体における量子渦
3. 学会等名 日本流体力学会 年会2016
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Yuki Kawaguchi
2. 発表標題 Coherent Quantum Dynamics in Bose-Einstein Condensates with Spin Degrees of Freedom
3. 学会等名 Okinawa School in Physics: Coherent Quantum Dynamics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 川口由紀
2. 発表標題 スピノール・ダイポールBECにおけるスピホール効果
3. 学会等名 第3回量子渦と非線形波動 (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Yuki Kawaguchi
2. 発表標題 Dynamic Property of Spinor and Dipolar Bose-Einstein Condensates
3. 学会等名 Quantum Simulations and Numerical Studies in Many-body Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 小山莉央、川口由紀
2. 発表標題 磁気スキルミオン間に働く相互作用ポテンシャルの解明
3. 学会等名 日本物理学会 第72回年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. Kawaguchi, T. Tanaka, and N. Nagaosa
2. 発表標題 Skyrmionic spin textures at chiral magnet/ferromagnet heterostructures
3. 学会等名 Workshop on "Topological Magnets" (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 川口 由紀
2. 発表標題 内部自由度を持ったBECにおける量子渦
3. 学会等名 数理解析所共同研究「非線形現象のモデルに潜む未踏査数理構造の探求 - 基礎数理と応用の協働 - 」(招待講演)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 T. Oshima, Y. Kawaguchi
2. 発表標題 Bosonic Inverse Spin Hall Effect in a Spinor Dipolar BEC
3. 学会等名 International Symposium on Fluctuation and Structure out of Equilibrium 2015 (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 大嶋俊之、川口由紀
2. 発表標題 spinor-dipolarボース・アインシュタイン凝縮体における逆スピホール効果
3. 学会等名 日本物理学会 2015年秋季大会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 川口 由紀、田仲 由喜夫、永長 直人
2. 発表標題 カイラル磁性体/強磁性体接合におけるスキルミオン構造
3. 学会等名 日本物理学会 2015年秋季大会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 川口 由紀、大嶋俊之
2. 発表標題 スピノール・ダイポールBECにおけるスピホール効果
3. 学会等名 新学術領域「トポロジーが紡ぐ物質科学のフロンティア」 第一回領域研究会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 川口 由紀
2. 発表標題 スピノール・ダイポールBECにおけるスピンホール効果
3. 学会等名 物性研短期研究会「量子乱流と古典乱流の邂逅」
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 川口 由紀
2. 発表標題 内部自由度を持ったBECにおける磁化ダイナミクス
3. 学会等名 日本物理学会 第71回年次大会（招待講演）
4. 発表年 2016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