

令和 5 年 6 月 5 日現在

機関番号：15401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2022

課題番号：17K14333

研究課題名(和文) 電子の軌道運動に関する理論的研究

研究課題名(英文) Theoretical study of electron orbital motion

研究代表者

多田 靖啓 (Tada, Yasuhiro)

広島大学・先進理工系科学研究科(先)・准教授

研究者番号：20609937

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：本課題では、電子が空間的に運動することに付随する量子力学的効果について理論的研究を行った。期間中に行った研究を箇条書き的に列挙すると、「超流動体・超伝導体における軌道運動効果」、「磁場中Dirac系の量子臨界性」、「光渦による軌道運動効果」、「近似的な磁気並進対称性」などである。

まず、中性超流動体における軌道角運動量パラドックスを議論した。特に、軌道角運動量の振る舞いがパラドックス的に振る舞う原因として、この物理量の非熱力学性を指摘した。また本課題では、相互作用するDirac系の磁場中物性を理解するために、数値計算を用いて量子相転移の様子を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

カイラル超流動体の軌道角運動量パラドックスについては、それまで40年間の研究の歴史の中で、そもそも軌道角運動量の値が何かしら定まっており、問題はその値を明らかにすることであると考えられてきた。研究代表者が示したことは、そもそも軌道角運動量はバルクに定まった値をもたず、表面条件などの普段は無視してしまう条件に非常に敏感に依存する、ということである。これはこの問題を根本から問い直すものであり、問題の解決に向けた重要な一歩であるといえることができる。

研究成果の概要(英文)：We have theoretically studied quantum effects of electrons' spatial motion in a system. Concrete subjects include "orbital effects in superfluids and superconductors", "quantum criticality in Dirac systems under magnetic fields", "orbital effects by an optical vortex", "approximate magnetic translation".

First, we discussed the orbital angular momentum paradox in chiral superfluids. Especially, we pointed out that the angular momentum is not a thermodynamic quantity and therefore it causes a paradox. This very elementary property has been missed in the long history of this problem. Also, this implies that one should carefully think whether or not the longstanding paradox is a well-defined problem which has a definite answer.

We also studied interacting Dirac systems under magnetic fields especially focusing on the quantum critical phenomena. We performed numerical calculations and clarified their behaviors near a quantum critical point and discussed the so-called magnetic catalysis.

研究分野：量子多体系の理論

キーワード：軌道角運動量 軌道効果 磁場 量子臨界現象 カイラル超流動体 Diracフェルミオン

1. 研究開始当初の背景

粒子は系全体を動き回ることができるが、そのような大域的な運動による量子効果については、実は理解されていないことが多い。例えば、中性フェルミオンがクーパー対を組んでいる状態であるカイラル超流動体においては、フェルミオンの運動によって軌道角運動量が生じると考えられているが、その具体的な大きさについては40年以上にわたって議論が続いてきた。この問題は軌道角運動量パラドックスとして知られている。実際、Cooper対の結合が弱い極限から計算する場合と強い極限から計算する場合とで、軌道角運動量の計算値は1000~10000倍ほど異なることが報告されていた。また、軌道角運動量は電荷のある系における軌道磁化に対応しており、軌道磁化に関してはトポロジカル絶縁体の文脈で大きな理論的発展があった。しかし、そのような先行研究のほとんどはゼロ磁場の場合に限られており、磁場中での相互作用系についての理解は不十分であった。これに関して、磁場の軌道効果が顕著な系としてDirac系が知られている。Dirac系においては、磁場によって相互作用の効果が増幅されるmagnetic catalysisという現象が生じるが、量子臨界点近傍での振る舞いについては先行研究がほとんどなく、その詳細はよく理解されていなかった。しかし、Dirac系の量子臨界現象はgaplessフェルミオン励起とgaplessボソン励起が強く結合している臨界系の雛型であり、金属的な系の量子臨界現象を理解するための基礎として極めて重要である。ゼロ磁場でのDirac系における量子臨界現象については、研究開始の数年前からとくに活発に世界中で研究が行われており、磁場中での振る舞いを研究する下地ができつつある状況であった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、粒子の軌道運動に由来する量子効果を明らかにすることである。具体的な課題として、まず、カイラル超流動体における軌道角運動量パラドックスを解決することを目指した。この問題について研究代表者らは先行研究を通して、Cooper対が系の境界で破壊される現象を理論的に発見しており、軌道角運動量パラドックスを解決するためにはこれまで知られていなかった表面効果などを理解する必要性が示唆されていた。本研究では、これらの知見をより広い視点から見直し、このパラドックス問題について本質的な理解を深化させる。また、上述のように、軌道角運動量は軌道磁性や磁場中物性と深い関係がある。本研究では、Dirac電子系における磁場の効果を量子臨界現象の立場から明らかにすることを目的とした。とくに、先行研究で行われていた平均場近似を越えた計算を行い、量子臨界系における普遍性の観点から問題を議論する。

3. 研究の方法

カイラル超流動体に関しては、軌道角運動量の表面効果を統一的な観点から理解するために、回転する容器内のカイラル超流動体を熱力学系として議論する。また、表面効果を具体的にモデル計算するとともに、数値計算を用いて確認する。Dirac系に関しては、2+1次元の標準的なモデルとして-flux正方格子上的最近接相互作用するスピンレスフェルミオンを考える。この系ではゼロ磁場で、相互作用によって半金属状態から電荷密度波状態への量子相転移が起こることが知られている。本研究では、磁場下において、密度行列繰り込み群をも用いた平均場近似を越えた計算を行う。

4. 研究成果

(1) カイラル超流動体における軌道角運動量について：

研究代表者らの先行研究などにより、軌道角運動量の値は系の表面に大きく依存しうることが示されていた。このことは、この系における軌道角運動量が通常の意味での熱力学量ではないことを示唆している。本研究において我々は、回転容器中のカイラル超流動体は通常の意味で熱力学極限を持たず、それゆえに軌道角運動量は熱力学量ではないことを示した。ここで通常の意味での熱力学極限というのは、外部から与える角速度を示強変数として扱う枠組みのことであるが、そのような場合には基底状態エネルギーはsuper-extensiveになってしまい熱力学的安定性を持たない。これに関して、粒子数U(1)対称性に関する自発的対称性の破れや長距離秩序がない場合には、角速度の代わりに一様磁場を外部変数として与えることで、軌道角運動量あるいは軌道磁化を熱力学量として定式化することが可能である。一方、U(1)対称性に関する自発的対称性の破れや長距離秩序がある場合には、Meissner効果によって一様磁場を系の内部に実現させることはできず、軌道角運動量・磁化を熱力学量として定式化する術がない。以上は一般論

としてカイラル超流動体における軌道角運動量が熱力学量ではなく系の表面条件などに依存していることを示しているが、具体的にどれくらい強く依存するのかについては別の議論が必要である。そこで我々は、具体的モデルとして BdG ハミルトニアンで記述される簡単な系を考え、容器壁ポテンシャルの詳細によって軌道角運動量が何桁も変化することを示した。この現象は容器表面付近においてトポロジカルな理由によって Cooper 対が壊され、Cooper 対を組まない「不対フェルミオン」が生じることにより理解される。さらに、この計算が BdG モデルというモデルの単純性によるものではないことを示すために、相互作用により安定化するカイラル超流動体のモデルハミルトニアンを考え、密度行列繰り込み群により解析を行った。具体的には、解析を容易にするために、カイラリティの異なるドメイン境界において流れる質量流がドメイン壁の詳細により向きを反転させるという平均場近似の範囲内で知られていた結果が、平均場近似を越えても成り立つことを示した。これらの議論を通して、40 年以上にわたって研究されてきた軌道角運動量パラドックスにおいては、「バルクな軌道角運動量がよく定義されている」という大前提が満たされていないことを明らかにした。

(2) 磁場下の相互作用する Dirac フェルミオン系について：

数々の先行研究により、磁場のない場合における Dirac フェルミオン系の量子臨界性の詳細、及び磁場のある場合の近似的振る舞いについては、様々な知見がある。本研究では、磁場のある場合の詳細な様子を明らかにするために、 $-flux$ 正方格子上のスピンレスフェルミオンについて密度行列繰り込み群による解析を行った。その結果、磁気長が系の臨界性をコントロールし、量子相転移の秩序変数は磁気長によってスケールされることを見出した。対応する臨界指数は、磁場のないときの通常の有限サイズスケーリングで得られた臨界指数とコンシステントであった。このことは一旦分かっただけでなく当然のことのようにも思われるが、研究代表者の知る限り、実際に精度の高い数値計算によって示されたのは、Dirac 系以外を含めても初めてである。注意すべきは、この現象は磁場の軌道効果から生じているものであり、ゼーマン効果とは別物であるという点である。臨界現象の統計力学的観点からは、有限の磁気長は実空間の有限サイズ性や有限温度性と類似したものであり、系の有効的なサイズを定めている。これまで、量子臨界現象においては、熱力学的に大きな系における臨界性の制御には、相互作用の大きさ（相関長）が有限温度の制御が用いられるのがスタンダードであった。本研究の結果は、Dirac フェルミオン系の量子臨界現象のコントロールには、これらに加えて磁場（磁気長）を活用できることを示している。

以下では、上記以外の研究成果について述べる。

(3) 強磁性超伝導体における Fulde-Ferrell 状態について：

上述のように、研究代表者らは、カイラル超流動体の軌道角運動量において不対フェルミオンが重要であることを示した。実は同様の現象は電荷をもつ超伝導体においても起こり得る。本研究で考えたのは、磁気ドメインをもつような強磁性超伝導体であり、重い電子系物質 UCoGe を念頭においている。我々は、そのような系をモデル化する単純なハミルトニアンを考え、超伝導ギャップ方程式と Maxwell 方程式を同時に解いて、系の振る舞いを議論した。その結果、磁気ドメインに対応して超伝導のカイラルドメインが出現し、不対電子のために、そのドメインウォールにそって直感とは逆向きに電流が流れることが見られた。さらに、この電流をキャンセルするためにバルク領域でも電流が流れる Fulde-Ferrell 状態が安定化する。最終的には、Meissner 効果によってバルク状態の電流はスクリーンされてゼロになるが、特徴的な磁場配位が実現される。この系では、磁気的な空間構造が超伝導ドメインを作り、それが波数空間のトポロジーと関係しあっている。不対電子は、それが生じる源である超伝導構造そのものを Fulde-Ferrell 状態へと変形させており、重要な役割を演じている。

(4) 近藤絶縁体におけるサイクロトロン共鳴について：

近藤絶縁体 SmB_6 , YbB_{12} は長い間にわたって文字通り絶縁体だと思われてきたが、近年、金属系の特徴であると考えられてきた磁場中での磁化や熱伝導の量子振動が観測され、改めて注目を集めている。本研究では、静的な物理量の量子振動の動的な対応物として、近藤絶縁体におけるサイクロトロン共鳴を議論した。まず、近藤絶縁体における静的物理量に対する量子振動の基本的機構を概観し、性質の異なる 2 つの軌道（軽い軌道と重い軌道）が混成することによって、準粒子の Landau level がそれらの軌道間で磁場によってクロスオーバーを起こすことが、量子振動にとって重要であると指摘した。このような Landau level の磁場によるクロスオーバーは、サイクロトロン共鳴においても見ることができる。本研究で行ったモデル計算によると、磁場がある程度強ければ、低温であってもバンドギャップ以下の振動数でサイクロトロン共鳴が起こる。このような低エネルギーでの共鳴は、バンド反転がないような絶縁体では起こらず、近藤温度以下で顕著になる。これらの結果は、半導体ヘテロ構造系にも応用できるものであり、実験結果の理解に役立つと期待される。

(5) 光渦による物性観測・制御について：

本研究課題では主に空間的に一様な磁場の効果を考察してきたが、光学の分野では光渦と呼ばれる、電磁場配位が空間構造とそれに対応した軌道角運動量をもつものがある。光渦の性質自体は色々と知られているが、物性系への応用はほとんどないのが現状である。そこで本研究では、光渦の物性系への応用として、磁性体や電子系の光渦による観測や制御について議論した。我々は、光渦が空間構造をもつために、通常の平面波に比べて有効的に伝導率が低下することを指摘した。この性質を用いれば、通常は半導体とみなされる物質の電磁場応答が絶縁体的になり、テラヘルツの電子スピン共鳴が可能となりうる。また、光渦には電場成分も存在しており、面内回転する成分をもっている。例えば、これをトポロジカル絶縁体や軌道磁化を有する系に照射すれば、回転電場とエッジモードが結合し、エッジモードの可視化や軌道磁場の制御などに応用できる可能性もある。光渦の物性系への応用は始まったばかりであり、本研究はそのような新しい可能性を提案するものである。

(6) 水素結合系におけるハイブリッド量子液体について：

有機化合物 H-Cat においては、スピン液体性と量子常誘電性が共存することが期待されている。本研究では、この物質を理解するための足掛かりとして、解析的に解くことのできる近似的モデルを用いて、具体的にスピン液体とプロトン液体が非自明に結合して共存する状態を構成した。具体的には、ダイマーモット絶縁体から着想を得た四面体をユニットとする電子系がプロトン結合しているモデルを考えた。このモデルの古典極限は基底状態が多重縮退しており、量子効果によって縮退が解けハイブリッド量子液体が実現する。この状態では電子とプロトンの間には非自明なエンタングルメントがあり、計算されたエンタングルメントエントロピーの振る舞いは、解析計算から予想される相図の振る舞いとコンシステントである。これらの結果は、ハイブリッド量子液体という新しいタイプの量子液体の具体例を与えており、今後の研究の基礎とすることができるだろう。

(7) 近似的磁気並進対称性と Lieb-Schultz-Mattis の定理について：

本研究課題では、電子の軌道運動が重要となる系として磁場中電子系に着目してきた。実は磁場中電子系の基本的性質には、未だに十分に理解されていない部分が多い。実際、系の大きさと磁気長が同程度になるような磁場領域は、弱磁場極限からも強磁場極限からも遠く、その解析には困難が伴う。本研究では、そのような磁場領域にある系の数理的な構造を研究することで、Lieb-Schultz-Mattis の定理と呼ばれる量子多体系における基本的定理を拡張した。我々の証明は、磁場を適切に扱うことによって長距離相互作用する高次元系に適用可能となっており、とくに Coulomb 相互作用系にも用いることができる。実はこの点は超伝導の基本的理解にとって重要であり、Anderson-Higgs 機構についての再考を通して、クーロン相互作用する超伝導体では一般的に並進対称性の破れが付随することを示唆するものである。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Yasuhiro Tada	4. 巻 24
2. 論文標題 Orbital diamagnetism in correlated Dirac fermions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 New Journal of Physics	6. 最初と最後の頁 93018
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1367-2630/ac8e8e	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 Yuichiro Hidaka, Shunsuke C. Furuya, Atsushi Ueda, and Yasuhiro Tada	4. 巻 106
2. 論文標題 Gapless symmetry-protected topological phase of quantum antiferromagnets on anisotropic triangular strip	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 144436
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.106.144436	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 Yasuhiro Tada	4. 巻 127
2. 論文標題 Lieb-Schultz-Mattis theorem in higher dimensions from approximate magnetic translation symmetry	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 237204
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.127.237204	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 Yasuhiro Tada	4. 巻 2164
2. 論文標題 Revisiting Anderson-Higgs mechanism: application of Lieb-Schultz-Mattis theorem	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 12020
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/2164/1/012020	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 Yasuhiro Tada	4. 巻 2
2. 論文標題 Quantum criticality of magnetic catalysis in two-dimensional correlated Dirac fermions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 33363
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.2.033363	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 Yasuhiro Tada	4. 巻 2
2. 論文標題 Cyclotron resonance in Kondo insulator	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 23194
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.2.023194	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 Masahiko G. Yamada and Yasuhiro Tada	4. 巻 2
2. 論文標題 Quantum valence bond ice theory for proton-driven quantum spin-dipole liquids	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 43077
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.2.043077	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 Tada Yasuhiro	4. 巻 100
2. 論文標題 Quantum phase transition and criticality in quasi-one-dimensional spinless Dirac fermions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 125145
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.100.125145	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 Fujita Hiroyuki, Tada Yasuhiro, Sato Masahiro	4. 巻 21
2. 論文標題 Accessing electromagnetic properties of matter with cylindrical vector beams	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 New Journal of Physics	6. 最初と最後の頁 073010 ~ 073010
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1367-2630/ab26d1	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 Yasuhiro Tada	4. 巻 97
2. 論文標題 Nonthermodynamic nature of the orbital angular momentum in neutral fermionic superfluids	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 214523
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.97.214523	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 Yasuhiro Tada	4. 巻 97
2. 論文標題 Fulde-Ferrell state in a ferromagnetic chiral superconductor with magnetic domain walls	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 14519
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.97.014519	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 Yasuhiro Tada and Toru Koma	4. 巻 59
2. 論文標題 Decay of superconducting correlations for gauged electrons in dimensions $D \geq 4$	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Mathematical Physics	6. 最初と最後の頁 31905
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5029282	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35件(うち招待講演 6件/うち国際学会 10件)

1. 発表者名 Yasuhiro Tada and Masaki Oshikawa
2. 発表標題 Multipole index and Lieb-Schultz-Mattis operator
3. 学会等名 Novel Quantum States in Condensed Matter 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yasuhiro Tada and Masaki Oshikawa
2. 発表標題 Many-body index for quadrupole insulators
3. 学会等名 American Physical Society March Meeting 2023 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yasuhiro Tada
2. 発表標題 Projective spatial symmetry and Lieb-Schultz-Mattis theorem
3. 学会等名 2nd International Symposium on Trans-Scale Quantum Science 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuichiro Hidaka, Shunsuke C. Furuya, Atsushi Ueda, and Yasuhiro Tada
2. 発表標題 Phase diagram in anisotropic triangular strip spin model
3. 学会等名 2nd International Symposium on Trans-Scale Quantum Science 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuichiro Hidaka, Shunsuke C. Furuya, Atsushi Ueda, and Yasuhiro Tada
2. 発表標題 Gapless SPT phase in anisotropic triangular strip model
3. 学会等名 29th International Conference on Low Temperature Physics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 多田靖啓
2. 発表標題 量子臨界的なDirac電子系における反磁性
3. 学会等名 物性研究所ワークショップ：1000T超強磁場科学の開拓
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yasuhiro Tada
2. 発表標題 Lieb-Schultz-Mattis theorem for long-range interactions
3. 学会等名 Quantum Information Entropy in Physics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 多田靖啓
2. 発表標題 Lieb-Schultz-Mattisの定理から再考するAnderson-Higgs機構
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 日高裕一郎, 古谷俊介, 上田篤, 多田靖啓
2. 発表標題 異方的三角strip模型におけるgapless SPT相
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 多田靖啓
2. 発表標題 磁場中Dirac 半金属における量子臨界現象
3. 学会等名 物性研究所短期研究会：分子性固体研究の拡がり
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yasuhiro Tada
2. 発表標題 Quantum criticality and spatial symmetry in interacting Dirac electrons under magnetic fields
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2020/2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 多田靖啓
2. 発表標題 強相関Dirac 電子系における量子臨界的な軌道反磁性
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 多田靖啓
2. 発表標題 近似的磁気並進対称性からの 高次元 Lieb-Schultz-Mattis の定理
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 多田靖啓
2. 発表標題 近似的空間対称性とLieb-Schultz-Mattisの定理
3. 学会等名 基礎物理学研究所セミナー（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 多田靖啓
2. 発表標題 強相関ディラック電子系における磁場誘起量子臨界現象と反磁性
3. 学会等名 新学術領域「量子液晶の物性科学」QLCセミナー（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 多田靖啓
2. 発表標題 カイラル超流動体におけるエッジカレントと軌道角運動量の理論的研究
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会（2021年）（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 多田靖啓
2. 発表標題 強相関Dirac電子系における軌道磁場の効果
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会 (2021年)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 多田靖啓
2. 発表標題 近藤絶縁体におけるサイクロトロン共鳴
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 多田靖啓
2. 発表標題 強相関Dirac電子系における軌道磁場の効果
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yasuhiro Tada
2. 発表標題 Quantum criticality of magnetic field induced order in a correlated Dirac semimetal
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES) 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 多田靖啓
2. 発表標題 カイラル超流動体における全軌道角運動量の非バルク性
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会(2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 多田靖啓
2. 発表標題 擬1次元ディラック系におけるmagnetic catalysis
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 Yasuhiro Tada
2. 発表標題 Proton-driven quantum spin-dipole liquid
3. 学会等名 Trends in Theory of Correlated Materials TTCM2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 多田靖啓
2. 発表標題 磁場中電子についての研究
3. 学会等名 第9回 凝縮系理論の最前線
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 多田靖啓
2. 発表標題 疑1次元ディラック系における臨界現象の数値的研究
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会(2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤田浩之, 多田靖啓, 佐藤正寛
2. 発表標題 Cylindrical vector beamによる光物性
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会(2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 多田靖啓
2. 発表標題 Theory of proton-driven quantum spin-dipole liquid
3. 学会等名 Topological Phases and Functionality of Correlated Electron Systems 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 多田靖啓
2. 発表標題 DMRG study of magnetic catalysis in Dirac system
3. 学会等名 第八回「強相関電子系理論の最前線」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 多田靖啓
2. 発表標題 磁場中の短距離相互作用するディラック系の数値的研究
3. 学会等名 日本物理学会 秋季大会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山田昌彦, 多田靖啓
2. 発表標題 量子バレンスボンドアイスと、その $-H_3(\text{Cat-EDT-TTF})_2$ との関係
3. 学会等名 日本物理学会 秋季大会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 多田靖啓
2. 発表標題 Giant magnetoresistance in Kondo superlattice
3. 学会等名 Novel Phenomena in Quantum Materials driven by Multipoles and Topology (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 多田靖啓
2. 発表標題 超流動体における軌道角運動量について
3. 学会等名 第七回 強相関電子系理論の最前線
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 多田靖啓、Frank Pollmann
2. 発表標題 カイラル超流動体におけるエッジ流と軌道角運動量
3. 学会等名 日本物理学会 秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 多田靖啓、高麗徹
2. 発表標題 ゲージ場と結合する超伝導体におけるクーパー対相関の減衰
3. 学会等名 日本物理学会 秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 向笠清隆, 下澤雅明, 鈴木喜貴, 杉井かおり, 近藤潤, 山下穰, 多田靖啓, 中村壮智, 勝本信吾, Muhammad Ikhlas, 富田崇弘, 肥後友也, 中辻知, Marcin Konczykowski, 松田祐司, 松浦康平, 水上雄太, 芝内孝禎
2. 発表標題 カイラル反強磁性体Mn ₃ Snにおける表面状態の観測
3. 学会等名 日本物理学会 秋季大会
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
---------	---------------------------	-----------------------	----

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