

令和 3 年 6 月 28 日現在

機関番号：14602

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2020

課題番号：16K05442

研究課題名(和文) 汎関数くりこみ群法によるスピン・電荷・軌道結合系の電子状態の解明

研究課題名(英文) Functional-renormalization-group analysis on strongly correlated spin, charge, and orbital systems

研究代表者

土射津 昌久 (Tsuchiizu, Masahisa)

奈良女子大学・自然科学系・准教授

研究者番号：70362225

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：強相関電子系において、多体相関効果である「バーテックス補正効果」は、スピン・電荷・軌道自由度を結合させ、多彩な電子状態を出現させる。近年、従来の標準的理論では理解不可能な新規現象が多数報告され、「バーテックス補正」を適切に考慮できる新しい多体電子系の理論を構築することが求められていた。本研究課題では「バーテックス補正効果」を系統的に取り込むことのできる理論手法である「汎関数くりこみ群法」を発展させ、銅酸化物高温超伝導体の電荷ネマチック状態、遷移金属カルコゲナイドのエキシトニック相隣傍のギャップ状態等を解析し、「バーテックス補正」によるスピン・電荷・軌道自由度結合のメカニズムの解明に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題では、「バーテックス補正効果」を系統的に考慮することのできる新しい理論手法である「汎関数くりこみ群法」を発展させ、種々の未解明問題に「汎関数くりこみ群法」を適用した。これにより、「バーテックス補正」を通して、スピン・電荷・軌道自由度がどのように結合するのかを明らかにすることに成功した。これまで難問とされてきた強相関電子系に対し、信頼性のある解析が可能な新たな理論手法のひとつとして「汎関数くりこみ群法」を確立することができた点で非常に有益である。

研究成果の概要(英文)：In the strongly correlated electron systems, the vertex corrections, the high-order many-body correlation effects, combine the spin, charge, and orbital degrees of freedom. As a result, it induces various interesting electronic properties. In recent years, many nontrivial phenomena, which cannot be explained by standard theoretical approaches, had been observed experimentally, and the development of a new theoretical approach focusing on vertex corrections was highly desired. In the present research project, we developed and extended the functional renormalization group method, by which the vertex corrections can be treated in an unbiased way. We utilized this method to analyze the electronic nematic state in cuprates, the pseudo-gapped state in transition metal chalcogenides, etc. We unveiled new mechanisms of the coupling between the spin, charge, and orbital degree of freedom through the vertex corrections.

研究分野：物性理論

キーワード：汎関数くりこみ群 強相関電子系 バーテックス補正効果 銅酸化物高温超伝導体 エキシトニック絶縁体 ダイマーマット絶縁体 電荷密度波

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

鉄系超伝導体、銅酸化物高温超伝導体において軌道秩序、電荷密度波状態、電子ネマティック状態等、新奇な電子状態が多数報告された。これらは従来の標準理論である乱雑位相近似(RPA)や揺らぎ交換近似(FLEX)では再現することができず、多体相関効果である「バーテックス補正効果」が重要な役割を果たしていることが示唆されていた。「バーテックス補正効果」は、強相関電子系において多彩な電子物性を発現させる鍵として、近年の最重要テーマのひとつであり、「バーテックス補正効果」を適切に考慮できる新しい多体電子系の理論構築が求められていた。

「バーテックス補正効果」をバイアスなく系統的に取り込むことのできる優れた理論体系として、「汎関数くりこみ群法」が知られている。しかしながら、「汎関数くりこみ群法」によるそれまでの2次元強相関電子系の解析においては、安定性や数値計算精度の問題があり、信頼性が得られておらず普及が遅れていた。我々は、この「汎関数くりこみ群法」において、カットオフをバンド幅よりも小さくとり、くりこみ群方程式の初期値を制限 RPA 法で評価することにより、計算の安定性が大幅に改善されることを見出していた。我々はこの新しい汎関数くりこみ群法の枠組みを「RG+cRPA 法」と名づけ、この手法を2次元強相関電子系に適用することで、スピン揺らぎを正確に記述するだけでなく、スピンと軌道の複合的な揺らぎに起因するトリプレット超伝導の新しい発現メカニズムを提唱することに成功し、汎関数くりこみ群法のメリットを最大限に利用した強相関電子系の解析が可能であることを確信していた。

## 2. 研究の目的

「バーテックス補正効果」は、強相関電子系において、スピン・電荷・軌道自由度を結合させ、多彩な電子状態を出現させる。本研究課題では、「バーテックス補正効果」を系統的に考慮することのできる新しい理論手法である「汎関数くりこみ群法」を発展させ、強相関電子系に適用することにより、「バーテックス補正効果」がどのようにスピン・電荷・軌道自由度を結合させるのかを理論的に解明することを目的とした。

## 3. 研究の方法

本研究課題では、スピン・電荷・軌道結合系の電子状態の解明を目指し、これまで我々が開発した新しいくりこみ群法の枠組みをさらに発展させ、銅酸化物高温超伝導体の擬ギャップ領域における多段階の相転移現象、遷移金属カルコゲナイドのエキシトニック相隣傍でのギャップ的振る舞いの解析に適用した。特に、後者の解析では、Wick-ordered 汎関数くりこみ群法のさらなる拡張を行い、自己エネルギー部分のくりこみ群方程式を導出し解析することで、1粒子スペクトル関数におけるギャップ構造を明確に示した。くりこみ群法に基づいて1粒子スペクトル関数の解析に成功したのは、本研究が初めてである。

本研究のさらなる発展として、2次元強相関電子系の自由度を効率よく解析する特異モード汎関数くりこみ群法の発展や、相互作用の波数依存性を取り込む改良にも着手した。従来の汎関数くりこみ群法による2次元電子系の解析では、フェルミ面にそってパッチ分解し、パッチ内では波数依存性を無視して、くりこみ群方程式を導出するが、特異モード汎関数くりこみ群法では、4点バーテックスを2次元の既約表現に展開して各モードについてのくりこみ群方程式を導出する。これにより、2次元電子系の自由度を効率よく取り込むことができるだけでなく、どの揺らぎが増強されるのかの物理的解釈が非常に明確となる。また、相互作用の波数依存性をあらわに取り込む改良を行うことにより、長距離クーロン斥力に由来する電荷揺らぎの解析を可能にする。

## 4. 研究成果

### (1) 銅酸化物高温超伝導体における電子ネマティック状態と電荷密度波状態の解明

近年の銅酸化物高温超伝導体における実験研究の進展により、長年未解明であったアンダードープ領域での電子状態が再び注目されている。STM および X 線散乱実験による「電荷密度波状態」の直接観測に加えて、最近の磁気トルクの角度依存性の研究から、2次元電子系の4回対

称性が破れた「電子ネマティック状態」の実現が電荷密度波状態よりも高温で実現することが見出され、擬ギャップ領域の電子状態の解明に向けて大きな注目を集めた。

本研究では、銅酸化物高温超伝導体の「電荷密度波状態」と「電子ネマティック状態」に着目し、我々が開発してきた新しいくりこみ群法である **RG+cRPA** 法を用いて電荷感受率を詳細に解析した。その結果、 $q=0$  と  $Q_a \sim (\pi/2, 0)$  の波数において、酸素  $p$  軌道の電荷感受率の増大が得られた。 $q=0$  での電荷感受率の発達は、磁気トルクの実験で示唆されている電子ネマティック状態の実現とコンシステントであり、また  $q=Q_a$  での発達は電荷密度波状態の特徴を説明することが可能である。 $q=0$  の電子ネマティック状態の感受率が最も強い増強を示すが、この電子ネマティック状態の実現下においては、電荷密度波状態の2つの波数の縮退が解け、一方の電荷密度波状態が増強される。このシナリオにより、銅酸化物高温超伝導体のアンダードープ領域の状態が説明されることを提案した。

## (2) 遷移金属カルコゲナイドのエキシトニック相近傍のギャップ的振る舞いの解明

遷移金属カルコゲナイド  $Ta_2NiSe_5$  においてエキシトニック絶縁体を実現することが指摘され、近年注目を集めている。エキシトニック絶縁相は、価電子バンドと伝導バンドが近接した際に、半金属領域では **Bardeen-Cooper-Schrieffer(BCS)** 的な状態が、半導体領域では **Bose-Einstein凝縮(BEC)** 的な状態が実現することが予測されている。BEC 的な状態では、エキシトニック絶縁相よりも高温側から粒子ホール対を形成することが予測されていた。この系ではエキシトニック相よりも高温から擬ギャップ的振る舞いが見られているにもかかわらず、最近の光電子分光の実験的からは、価電子バンドと伝導バンドが重なった半金属側に位置することが指摘された。

我々は、この半金属側の高温相で実現するギャップ的振る舞いの起源を明らかにするため、1次元揺らぎの効果に注目し、汎関数くりこみ群法を用いた解析を行った。1次元揺らぎの効果を取り込む手法として汎関数くりこみ群法は優れた理論であるが、従来の手法では1粒子スペクトル関数の解析は困難であった。本研究では、**Wick-ordered** 汎関数くりこみ群の手法を発展させることにより、自己エネルギー部分のくりこみ群方程式を導出し、1粒子スペクトル関数の解析を可能にした。その結果、スペクトル関数において、朝永-Luttinger 液体としての擬ギャップ的振る舞いから、1次元揺らぎに起因する **relevant** な摂動によるギャップ的振る舞いへのクロスオーバーの振る舞いを明らかにした。

さらに、 $Ta_2NiSe_5$  のエキシトニック絶縁相の近傍で発見された超伝導状態について理論的考察を行なった。 $Ta_2NiSe_5$  の3鎖模型に対して、ボソン化法に基づいてスピン自由度と軌道自由度の基底を適切に取り替え、その基底に基づいてくりこみ群法による解析を行なった。その結果、伝導帯間でシングレット **Cooper** ペアを形成した超伝導相関が最も優勢となることを明らかにした。この結果は、先行研究の励起子ゆらぎの理論で指摘された **FFLO** 超伝導とは異なり、 $Ta_2NiSe_5$  で見られた超伝導の新しい発現機構を提案するものである。

## (3) 新規ダイマー型分子性結晶におけるスピン液体状態の発見

立体的な  $\pi$  共役系をもつ三角形ラジカルアニオン **NDI- $\Delta$**  を構成要素とする分子性結晶が、ラジカル系として初の  $K_4$  結晶構造とよばれる特異な構造をもつことが示された。電子物性については、極低温まで相転移を伴わないことが示された。本研究では、この系の電子状態を解明するため、分子軌道を三角形分子の各辺のフラグメント軌道に分割したモデルを提案した。さらに、分子間での強い  $\pi$ - $\pi$  相互作用により、分子間の2つのフラグメントで結合・反結合性軌道を形成し、そこに不対電子が局在することによるダイマーモット絶縁体を実現することを明らかにした。さらに、この局在した不対電子がハイゼンベルグスピンとして結晶中で3次元ハイパーカゴメ格子を形成することで、3次元スピン液体が実現することを理論的・実験的に明らかにした。

## (4) 1次元分子性固体 TTF-TA の中性・イオン性転移系の電荷・スピン結合トポロジカル励起

分子性固体 TTF-CA 等の中性・イオン性転移系でみられている電気抵抗の異常な振る舞いを解明するため、相競合と低エネルギー励起を理論的に考察した。くりこみ群法による考察に基づいて低エネルギーで誘起される高次の多体相互作用を考慮することにより、中性相、強誘電イオン性相、常誘電イオン性相の相境界が1次転移となることを明らかにした。また、この影響により、相境界付近での低エネルギー励起として、特異なトポロジカル電荷/スピンをもつドメイン・ウォールが出現することを明らかにした。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 14件／うち国際共著 4件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 A. Otsuka, Y. Shimizu, G. Saito, M. Maesato, A. Kiswandhi, T. Hiramatsu, Y. Yoshida, H. Yamochi, M. Tsuchiizu, Y. Nakamura, H. Kishida, and H. Ito	4. 巻 93
2. 論文標題 Canting Antiferromagnetic Spin-Order (TN = 102 K) in a Monomer Mott Insulator (ET)Ag <sub>4</sub> (CN) <sub>5</sub> with a Diamond Spin-Lattice	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Bull. Chem. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 260-272
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20190279	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. Shimizu, A. Otsuka, M. Maesato, M. Tsuchiizu, A. Nakao, H. Yamochi, T. Hiramatsu, Y. Yoshida, and G. Saito	4. 巻 99
2. 論文標題 Molecular diamond lattice antiferromagnet as a Dirac semimetal candidate	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 174417
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.99.174417	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 M. Tsuchiizu, K. Kawaguchi, Y. Yamakawa, and H. Kontani	4. 巻 97
2. 論文標題 Multistage electronic nematic transitions in cuprate superconductors: A functional-renormalization-group analysis	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 165131
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.97.165131	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 B. Senjean, N. Nakatani, M. Tsuchiizu, and E. Fromager	4. 巻 97
2. 論文標題 Site-occupation embedding theory using Bethe ansatz local density approximations	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 235105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.97.235105	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 B. Senjean, N. Nakatani, M. Tsuchiizu, and E. Fromager	4. 巻 137
2. 論文標題 Multiple impurities and combined local density approximations in site-occupation embedding theory	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Theoretical Chemistry Accounts	6. 最初と最後の頁 169
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00214-018-2368-z	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 K. Kawaguchi, Y. Yamakawa, M. Tsuchiizu, and H. Kontani	4. 巻 86
2. 論文標題 Competing Unconventional Charge-Density-Wave States in Cuprate Superconductors: Spin-Fluctuation-Driven Mechanism	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Phys. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 63707
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.86.063707	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 R. Tazai, Y. Yamakawa, M. Tsuchiizu, and H. Kontani	4. 巻 86
2. 論文標題 Plain s-Wave Superconductivity near Magnetic Criticality: Enhancement of Attractive Electron-Boson Coupling Vertex Corrections	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Phys. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 73703
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.86.073703	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 A. Mizuno, Y. Shuku, M.M. Matsushita, M. Tsuchiizu, Y. Hara, N. Wada, Y. Shimizu, and K. Awaga	4. 巻 119
2. 論文標題 3D Spin-Liquid State in an Organic Hyperkagome Lattice of Mott Dimers	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Phys. Rev. Lett.	6. 最初と最後の頁 57201
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.119.057201	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. Shuku, A. Mizuno, R. Ushiroguchi, C.S. Hyun, Y.J. Ryu, B.-W. An, J.E. Kwon, S.Y. Park, M. Tsuchiizu, and K. Awaga	4. 巻 54
2. 論文標題 An exotic band structure of a supramolecular honeycomb lattice formed by a pancake - interaction between triradical trianions of triptycene tribenzoquinone	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 3815--3818
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c8cc00753e	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 B. Senjean, M. Tsuchiizu, V. Robert, and E. Fromager	4. 巻 115
2. 論文標題 Local density approximation in site-occupation embedding theory	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Molecular Physics	6. 最初と最後の頁 48- -62
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00268976.2016.1182224	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 M. Tsuchiizu	4. 巻 94
2. 論文標題 Three-dimensional higher-spin Dirac and Weyl dispersions in the strongly isotropic K4 crystal	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 195426
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.94.195426	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 R. Tazai, Y. Yamakawa, M. Tsuchiizu, and H. Kontani	4. 巻 94
2. 論文標題 Functional renormalization group study of orbital fluctuation mediated superconductivity: Impact of the electron-boson coupling vertex corrections	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 115155
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.94.115155	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 M. Tsuchiizu, H. Yoshioka, and H. Seo	4. 巻 85
2. 論文標題 Phase Competition, Solitons, and Domain Walls in Neutral-Ionic Transition Systems	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 J. Phys. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 104705
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.85.104705	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 M. Tsuchiizu, Y. Yamakawa, and H. Kontani	4. 巻 93
2. 論文標題 p-orbital density wave with d symmetry in high-Tc cuprate superconductors predicted by renormalization-group + constrained RPA theory	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 155148
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.93.155148	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33件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 三角勇氣, 張中岳, 阿波賀邦夫, 山口明, 土射津昌久, 松下琢, 和田信雄
2. 発表標題 カゴメ格子磁性体 Cu-CAT-1 の超低温物性 (II)
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 丸本涼太, 松下琢, 清水康弘, 伊藤正行, 三角勇氣, 張中岳, 阿波賀邦夫, 山口明, 土射津昌久, 和田信雄
2. 発表標題 カゴメ格子磁性体 Cu-CAT-1 の 1H NMR
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 上平美紗稀, 土射津昌久, 吉岡英生
2. 発表標題 1次元交互積層型電荷移動錯体の比熱に関する理論的研究
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 西本真侑, 土射津昌久
2. 発表標題 2次元特異モード展開汎関数くりこみ群法によるスピン・電荷感受率の解析
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 金子萌, 土射津昌久
2. 発表標題 Ta <sub>2</sub> NiSe <sub>5</sub> における 1 粒子スペクトル関数 -汎関数くりこみ群法による解析-
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 土射津昌久
2. 発表標題 マイクロジャイロイドの電子物性(理論)
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 三角勇気, 張中岳, 阿波賀邦夫, 山口明, 土射津昌久, 松下琢, 和田信雄
2. 発表標題 導電性2次元 MOF Cu-CAT-1 の超低温物性
3. 学会等名 第13回分子科学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金子萌, 土射津昌久
2. 発表標題 電荷秩序に対する多体相互作用の効果 -汎関数くりこみ群法による解析-
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 三角勇気, 張中岳, 阿波賀邦夫, 山口明, 土射津昌久, 松下琢, 和田信雄
2. 発表標題 カゴメ格子磁性体 Cu-CAT-1 の超低温物性
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 正川みのり, 土射津昌久
2. 発表標題 Ta <sub>2</sub> NiSe <sub>5</sub> の3鎖模型における励起子ゆらぎ: ボソン化による解析
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 金子萌, 土射津昌久
2. 発表標題 汎関数くりこみ群法による電荷秩序の解析: 自己エネルギー補正効果
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 深井佑希子, 土射津昌久
2. 発表標題 ジャイロイドにおけるディラック線ノードと幾何学的位相
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 正川みのり, 土射津昌久
2. 発表標題 Ta <sub>2</sub> NiSe <sub>5</sub> における励起子ゆらぎと超伝導: ボソン化に基づく解析
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 金子萌, 土射津昌久
2. 発表標題 汎関数くりこみ群法による電荷秩序 -多体散乱の効果-
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 M. Tsuchiizu
2. 発表標題 Functional-Renormalization-Group Analysis on Electron Nematic State and Charge-Density-Wave State in Cuprate Superconductors
3. 学会等名 International Conference on Quantum Physics in Complex Matter: Superconductivity, Magnetism and Ferroelectricity (SUPERSTRIPES 2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 川口功起, 山川洋一, 土射津昌久, 紺谷浩
2. 発表標題 銅酸化物高温超伝導体における電荷密度波と超伝導の相関効果
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 水野麻人, 珠玖良昭, 松下未知雄, 土射津昌久, 原佑樹, 松下琢, 和田信雄, 清水康弘, 阿波賀邦夫
2. 発表標題 三角形型 ラジカルがつくる有機ハイパーカゴメ格子の量子スピン液体状態
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 清水康弘, 土射津昌久, 大塚晃弘, 前里光彦, 矢持秀起, 中尾朗子, 平松孝章, 吉田幸大, 齋藤軍治
2. 発表標題 三次元ディラック電子系 (ET)Ag <sub>4</sub> (CN) <sub>5</sub> のバンド構造と磁性
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 H. Kontani, M. Tsuchiizu, K. Kawaguchi, and Y. Yamakawa
2. 発表標題 Multistage CDW Transitions in Cuprate High-Tc Superconductors: Functional-Renormalization-Group Analysis
3. 学会等名 APS March Meeting 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Shimizu, M. Tsuchiizu, A. Otsuka, M. Maesato, Y. Yoshida, and G. Saito
2. 発表標題 Organic diamond lattice Mott insulator: three dimensional Dirac semimetal candidate
3. 学会等名 APS March Meeting 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川口功起, 山川洋一, 土射津昌久, 紺谷浩
2. 発表標題 銅酸化物高温超伝導体における dxy 波ネマティック電荷秩序の微視的発現機構
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 M. Tsuchiizu, K. Kawaguchi, Y. Yamakawa, and H. Kontani
2. 発表標題 Functional-Renormalization-Group Analysis on Electron Nematic State in Cuprate Superconductors
3. 学会等名 APS March Meeting 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M. Tsuchiizu
2. 発表標題 The RG+cRPA analysis of the charge-density-wave state in high-Tc cuprate superconductors
3. 学会等名 8th International Conference on the Exact Renormalization Group ERG2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 土射津昌久, 川口功起, 山川洋一, 紺谷浩
2. 発表標題 銅酸化物高温超伝導体における電子ネマティック状態と電荷密度波状態の理論的研究
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 田財里奈, 山川洋一, 土射津昌久, 紺谷浩
2. 発表標題 反強磁性相近傍で発現する s 波超伝導の理論; 多軌道ハバード・ホルシュタイン模型の解析
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 川口功起, 山川洋一, 土射津昌久, 紺谷浩
2. 発表標題 銅酸化物高温超伝導体におけるパーテックス補正を起源とするCDW電子状態の理論
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 水野麻人, 珠玖良昭, 松下未知雄, 土射津昌久, 和田信雄, 阿波賀邦夫
2. 発表標題 三角 ラジカルがつくるK4構造とハイパーカゴメ格子
3. 学会等名 第55回電子スピンサイエンス学会年会 (SEST2016)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 水野麻人, 珠玖良昭, 水津理恵, 松下未知雄, 土射津昌久, 和田信雄, 阿波賀邦夫
2. 発表標題 三角 ラジカルがつくる3次元結晶の低温物性
3. 学会等名 第10回分子科学討論会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 田財里奈, 山川洋一, 土射津昌久, 紺谷浩
2. 発表標題 結合定数バーテックス補正(U-VC)を考慮した多軌道超伝導の理論
3. 学会等名 日本物理学会2016年秋期大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 土射津昌久
2. 発表標題 強等方性をもつ3次元K4結晶における高スピンDirac/Weyl点
3. 学会等名 第二回ディラック電子系マルチフェロイクス研究会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 土射津昌久
2. 発表標題 銅酸化物高温超伝導体におけるネマティック状態と電荷密度波状態
3. 学会等名 京都大学基礎物理学研究所研究会「超伝導研究の最先端:多自由度, 非平衡, 電子相関, トポロジー」
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 土射津昌久
2. 発表標題 銅酸化物高温超伝導体におけるネマティック状態と電荷密度波状態: 汎関数くりこみ群法による解析
3. 学会等名 高温超伝導フォーラム第4回会合
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 土射津昌久, 吉岡英生, 妹尾仁嗣
2. 発表標題 中性イオン性転移系における相競合とソリトン・ドメインウォール励起
3. 学会等名 物性研短期研究会「電子系物性科学の最前線」
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

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			
フランス	ストラスブール大学 化学研究所			