

令和 5 年 5 月 30 日現在

機関番号：32612

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K14644

研究課題名（和文）励起子量子凝縮相の励起状態ダイナミクス

研究課題名（英文）Excitation dynamics in excitonic condensation phase

研究代表者

杉本 高大 (Sugimoto, Koudai)

慶應義塾大学・理工学部（矢上）・講師

研究者番号：70756072

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：半金属または半導体において励起子が自発的に形成され、ボース凝縮を起こした相を励起子相と呼ぶ。近年になっていくつもの候補物質が提案され、励起子相研究の新しい展開を迎えている。本研究では励起子相に対する物性研究を念頭に置き、広く強相関電子系の有限温度状態ならびに光誘起非平衡状態の理論的・数値的研究を行った。有限温度計算においては変分クラスター法の有限温度への拡張や、クラスター平均場近似の励起子相への適用を行った。また、非平衡状態に関する研究では、引力および斥力ハバード模型の光誘起相転移の提案や、拡張ハバード模型の高次高調波における励起子の効果を解明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、有限温度計算により励起子相や反強磁性相といった自発的対称性の破れを伴う強相関電子系物質への理解が深まった。有限サイズ効果の問題により変分クラスター法を励起子相へ適用するには至らなかったものの、今後改善すればこの分野の大きな進展が期待される。加えて、非平衡ダイナミクスの研究を進め、数値シミュレーションを用いて強相関電子系に特有の光誘起相転移現象や高次高調波発生スペクトルを提唱した。これらは実験と直結する成果であり、その学術的意義は大きなものであると考えられる。

研究成果の概要（英文）：The phase in which excitons spontaneously form in a semimetal or semiconductor and subsequently undergo Bose condensation is referred to as an excitonic phase. In recent years, some potential materials have been proposed, and the study of excitonic phases has revealed novel perspectives. In this research, I conducted both theoretical and numerical analyses of finite-temperature states and photo-induced nonequilibrium states in strongly correlated electron systems, with particular attention to the physical properties of excitonic phases. For the finite-temperature calculations, we expanded the variational cluster approach to include finite temperatures and applied the cluster mean-field approximation to the excitonic phase. In the examination of nonequilibrium states, we proposed light-induced phase transitions within the attractive and repulsive Hubbard models, and elucidated the effect of excitons on higher-harmonic generations in the extended Hubbard model.

研究分野：物性物理学

キーワード：励起子相 強相関電子系 数値計算 有限温度 光誘起相転移 非平衡ダイナミクス

1. 研究開始当初の背景

半金属あるいはナローギャップ半導体において、十分に遮蔽されないクーロン引力により形成された励起子（電子・正孔対）が低温でボース・アインシュタイン凝縮を起こすことが半世紀以上前に理論的に予想されている[1]。この状態は**励起子相**として知られ、外部から光などで電子を励起させなくても物質内部で自発的に励起子が形成されているのが特徴である。励起子相に転移するとバンドギャップが開く（あるいは大きくなる）ため、この相にある物質のことを励起子絶縁体と呼ぶ。1957年にバーディーンらによって、電子間の引力相互作用によって形成されるクーパー対の量子凝縮に基づく超伝導理論（BCS理論）が確立したが、その類推から励起子相実現の可能性が盛んに議論された。一方、励起子が基底状態に安定して存在していること、そして電荷中性のために電磁場の応答からは観測できないことからその検出は困難であり、実際に励起子相に転移する物質は未発見であった。

しかしながら、近年になっていくつかの候補物質が実験的に提案されるようになった。中でも層状遷移金属カルコゲナイドの Ta_2NiSe_5 [2] や $1T'TiSe_2$ [3] が大きな注目を集めている。これら物質では低温において構造相転移が観測されているが、その起源が励起子対形成によるものと期待されている。角度分解光電子分光などの実験はこの予想を支持する一方で、未だこれら物質が励起子相であるという直接的な証拠は得られていない。

本研究課題に先立つ研究で、我々は Ta_2NiSe_5 の光学応答の研究を通して強い電子・正孔間の相互作用がこの物質の励起子相形成における本質であることを指摘した[4]。この強い軌道間の電子相関によって、相転移以上の温度においても励起子対を形成しているが量子凝縮を起こしていないプリフォームド励起子が現れ、系が絶縁化する。これは強い軌道内相互作用によって絶縁性が生まれるモット絶縁体とよい対比になっている。平均場による解釈を超えた量子揺らぎと熱揺らぎの競合こそがこの物質の本質であるとも言える。

2. 研究の目的

励起子絶縁体の研究において、何らかの相転移が確認されたとしても、上述したように励起子が電荷的に中性であるために実際に励起子が形成されているかを直接確認することは難しいと予想される。特に現在提案されている励起子絶縁体の候補物質においては、観測されている相転移現象が結晶の構造変化を伴っているため、この相転移がクーロン相互作用を起源とする励起子相転移に由来するのか、あるいは単に電子・格子相互作用による結晶構造の不安定化が原因なのか、数多くの議論がある。そこで、電子・格子相互作用とクーロン相互作用の自由度を分離するために、熱および光によって励起された状態を調べる。これにより励起子絶縁体候補物質の相転移の起源を解明できるのではないかと考えた。

本研究課題では次の2点、すなわち励起子相への転移温度よりも高い温度で形成されたプリフォームド励起子に関連する物性、およびポンプ・プローブ分光を念頭に置いた光誘起での励起子相のふるまいを調べることを当初の目標とした。また、研究対象として励起子絶縁体の有効模型にとどまらず、さまざまな強相関電子系の理論模型の有限温度や非平衡ダイナミクスもあわせて調べることで、広く強相関系における励起状態の振る舞いの理解を深化させることも目指した。

3. 研究の方法

本研究では、強相関電子系の有効模型として幅広く使用されているハバード模型を主に使用した。この模型は、相互作用の入り方や軌道・スピン・格子の自由度を考慮することによって、幅広い物性現象を取り扱うことができる。また、スピン自由度が重要とならない場面では、多軌道スピinless模型の一つである拡張 **Falicov-Kimball** 模型も使用した。

強相関模型の数値計算にあたっては、厳密対角化法の一種であるランチョス法や、テンソルネットワークで表される行列積状態を用いることで、少数サイト系あるいは無限系の基底状態および非平衡ダイナミクスの計算と解析を行った。有限温度の計算においては、厳密対角化と変分クラスター法およびクラスター平均場近似を組み合わせることで研究を進めた。また、周期外場による非平衡ダイナミクスの研究では、強結合展開とフロケ理論による有効模型を導出し、数値計算結果との比較も行った。

研究対象によっては平均場近似と乱雑位相近似による摂動論的な解析や、実際の物質と比較のため密度汎関数理論による第一原理電子状態計算も行った。

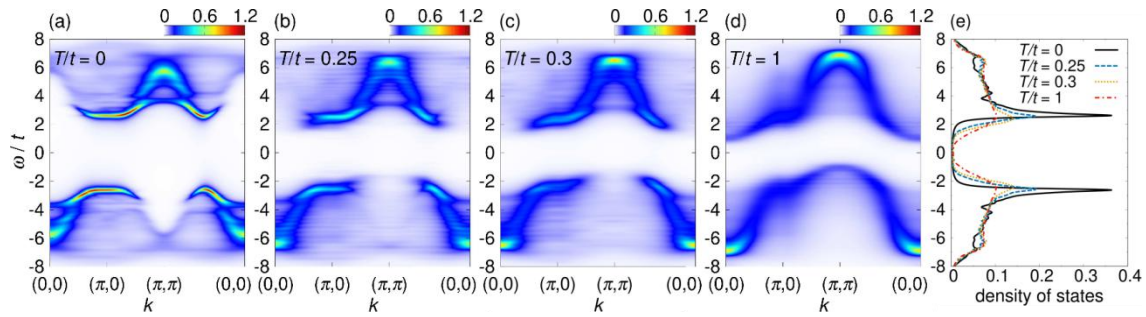


図1 有限温度の変分クラスター法に基づく二次元正方格子ハバード模型の単粒子励起スペクトル。温度 T の上昇によってモットギャップが小さくなっていくことがわかる。

4. 研究成果

(1) 有限温度状態に関する研究

① 統計力学の典型性を利用した有限温度変分クラスター法の開発とハバード模型への適用

有限温度における強相関電子系の計算手法の枠組みとして、有限温度変分クラスター法の開発を行った。変分クラスター法では、有限のサイズの孤立したクラスターにおける状態を使って無限系の状態を近似的に求めることができる。この手法では、平均場を導入することで反強磁性秩序や励起子凝縮などの自発的対称性の破れを取り入れることができる。クラスター内の有限温度の性質を求めるためには、通常は各固有状態から得られた物理量にボルツマン因子をつけて足し合わせる必要があるが、本研究では熱的純粋量子状態を用いた手法により数値計算コストを下げることが目的とした。

この手法の具体的な適用例として、二次元の単軌道ハバード模型を使用した。有限温度における反強磁性モーメントと比熱のふるまいを調べた。また、単粒子励起スペクトルがどのような温度依存性を示すかの計算を行った (図 1)。

[H. Nishida, R. Fujiuchi, K. Sugimoto, and Y. Ohta, J. Phys. Soc. Jpn. **89**, 023702 (2020).]

② クラスター平均場近似を用いた有限温度での励起子相の研究

励起子絶縁体を説明する簡単な格子模型として、拡張 Falicov-Kimball 模型がある。自発的対称性の破れを取り入れることができるクラスター平均場近似を用いることで、この模型の有限温度における単粒子スペクトルおよび光学伝導度の振る舞いを明らかにした。この結果、実験で予想されていた励起子相転移の転移温度以上に見られるプリフォームド励起子の出現を再現することができ、有限温度における励起子相の理解が深まった。

[M. Kadosawa, S. Nishimoto, K. Sugimoto, and Y. Ohta, J. Phys. Soc. Jpn. **89**, 053706 (2020).]

(2) 光誘起のダイナミクスに関する研究

① 周期外場による引力ハバード模型の超伝導相と電荷密度波相の制御

ハーフ・フィリングの引力ハバード模型では超伝導相と電荷密度波相が基底状態において縮退している。光による周期外場を系に印加したものを時間発展ランチョス法によってシミュレーションすることで、光の周波数や強度を調整することで相をコントロールできることを示した。さらにこれらの相制御は、強結合極限とフロケ理論を用いた有効模型によってよく記述されることを示した。

[R. Fujiuchi, T. Kaneko, K. Sugimoto, S. Yunoki, and Y. Ohta, Phys. Rev. B **101**, 235122 (2020).]

② 周期外場による異方的三角格子模型のスピン秩序の制御

ハーフ・フィリングにおける二次元異方的三角格子上での

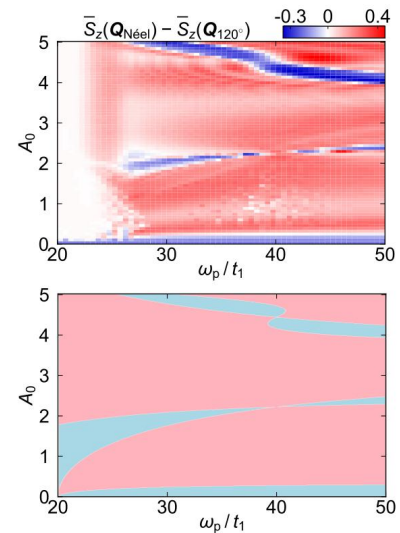


図2 異方的三角格子に光による周期外場を印加したときの (上) 時間発展ランチョス法から得られた相図と (下) 強結合展開とフロケ理論による有効模型から予想される相図。初期状態は 120° 秩序を示すパラメータを使用し、赤い領域でスピン秩序が変化する。

ハバード模型における光誘起スピン秩序転移の研究を行った。この模型の基底状態では、ハイゼンベルグ相互作用の大きさを変化させることでネール秩序からスパイラル秩序へとスピン配置が移り変わる。この系に光による周期外場を導入し、光の周波数及び強度を変化させた時のスピン秩序の振る舞いを、時間発展ランチョス法を用いて調べた。また、フロケ理論による有効模型と、以上による非平衡状態の数値計算結果との比較から、周期外場によって有効的なハイゼンベルグ相互作用の大きさを変化させられることがわかった (図2)。すなわち、スピン配置のパターンを光により制御できることを明らかにした。

[H. Kobayashi, R. Fujiuchi, K. Sugimoto, and Y. Ohta, Phys. Rev. B **103**, L161106 (2021).]

③ 一次元拡張ハバード模型の高次高調波発生に与える励起子の影響

ハーフ・フィリングの一次元拡張ハバード模型に対する高次高調波発生の研究を行った。拡張ハバード模型では、非局所なサイト間相互作用が存在するために、光照射によって生成されたダブロン (二重占有サイト) とホロン (空サイト) の間で励起子が形成される。テンソルネットワーク法を用いた無限系の時間発展計算を行うことでこの模型に対する高次高調波スペクトルを調べ、励起子の形成が高調波スペクトルの構造に大きく影響を与えることを見出した (図3)。また、時間発展ランチョス法による有限系のシミュレーションとサブサイクル解析を行うことで、光照射時における励起子準位のダイナミクスについても明らかにした。

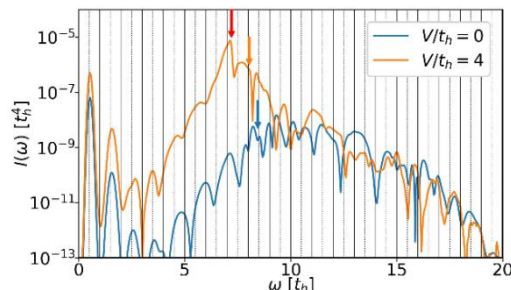


図3 一次元拡張ハバード模型における高次高調波スペクトル。オレンジ線はサイト間相互作用がある場合、青線はない場合のスペクトルを表す。

[M. Udono, K. Sugimoto, T. Kaneko, and Y. Ohta, Phys. Rev. B **105**, L241108 (2022).]

(3) 励起子相に関連したその他の成果

① ドープされた2軌道ハバード模型における波数空間スピントクスチャと純スピン流生成

クロスホッピング (軌道間のホッピング) を有する2軌道正方格子ハバード模型におけるスピン三重項型の励起子絶縁体にキャリアをドープすると、フェルミ面がクロスホッピングの対称性に対応した波数空間スピントクスチャを示すことが知られている。本研究では d 波対称性のクロスホッピングを持った系にキャリアドープによってスピントクスチャを発現させ、適切な方向に外部電場を印加することで純スピン流が生成可能であることを示した (図4)。

[S. Yamamoto, K. Sugimoto, and Y. Ohta, Phys. Rev. B **101**, 174428 (2020).]

② 層状ルテニウム酸化物 Ca_2RuO_4 の反強磁性相における低エネルギー集団励起と共鳴非弾性 X 線散乱スペクトル

層状ルテニウム酸化物 Ca_2RuO_4 の反強磁性相における中性子と X 線の非弾性散乱スペクトルの理論解析を行った。この物質はスピン軌道相互作用により励起子磁性が発現している可能性が一部で指摘されている。第一原理計算で得られた電子状態から有効模型を作成し、平均場近似を用いることで反強磁性基底状態を得た。そして、乱雑位相近似を用いることでこの物質における低エネルギー励起構造を調べた。得られたスペクトルのうち、ゴールドストーンモードに対応するものは中性子非弾性散乱で得られているものをよく再現することができた。また、低エネルギー領域における共鳴非弾性 X 線散乱スペクトルの計算を行い、どのような偏光依存性を持つかを予想した。今後の実験観測が期待される。

[S. Yamamoto, Y. Ohta, and K. Sugimoto, Phys. Rev. B **106**, 045136 (2022).]

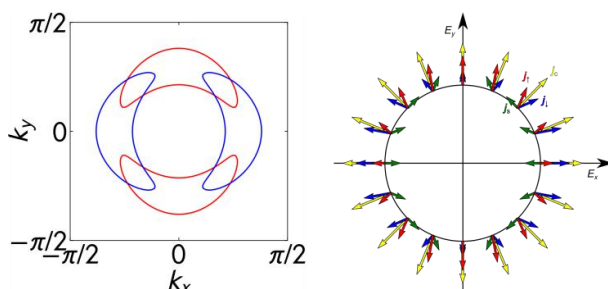


図4 (左) d 波のクロスホッピングを含む励起子絶縁体にキャリアドープしたときの波数空間スピントクスチャ。赤がアップスピン、青がダウンスピンのフェルミ面に対応する。(右) この系に電場をかけたときに生じるカレントの向き。対角線方向に電場をかけたとき、電流とスピン流の向きが直行して純スピン流が得られる。

(4) 本研究課題から派生して得られた成果

① 層状ペロブスカイト α - Sr_2CrO_4 の高圧下における相転移

層状ペロブスカイト α - Sr_2CrO_4 の圧力下における電子状態の第一原理計算を行った。この物質では常圧化においては降温によって軌道の秩序化とスピンの秩序化の二段階の転移があるが、圧力を印加することによって転移が一段階のみとなることが実験的に観測されていた。常圧化では配位子場理論で予測される軌道準位の逆転が起きていることに起因して二段階となるが、圧力下ではこの準位の逆転が元に戻ることで転移も一度だけとなることを理論的に示した。

[R. Takahashi, T. Yamaguchi, K. Sugimoto, T. Yamauchi, H. Sakurai, and Y. Ohta, JPS Conf. Proc. **30**, 011026 (2020).]

② 長距離相互作用フェルミオン系における観測誘起相転移

長距離相互作用を有するスピンレスフェルミオン模型における量子測定誘起相転移の研究を行った。時間が経つと系の量子もつれは増大するが、測定を行うと量子もつれは減少する。測定の頻度を変えると、ある測定頻度で系が相転移が起こることが指摘されており、近年盛んに研究が行われている。本研究では長距離相互作用が及ぶ範囲と測定誘起相転移の関係について検証し、二体相互作用がある場合とない場合のそれぞれについて、測定誘起相転移が起こるための新たな条件を発見した。

研究にあたっては、本研究課題で開発したテンソルネットワーク法による次元系の量子ダイナミクスの数値計算プログラムを使用した。

[T. Minato, K. Sugimoto, T. Kuwahara, and K. Saito, Phys. Rev. Lett. **128**, 010603 (2022).]

<引用文献>

[1] D. Jérôme, T. M. Rice, and W. Kohn, Phys. Rev. **158**, 462 (1967).

[2] Y. Wakisaka *et al.*, Phys. Rev. Lett. **103**, 026402 (2009).

[3] H. Cercellier *et al.*, Phys. Rev. Lett. **99**, 146403 (2007).

[4] K. Sugimoto, S. Nishimoto, T. Kaneko, and Y. Ohta, Phys. Rev. Lett. **120**, 247602 (2018).

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 5件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Udono Mina, Sugimoto Koudai, Kaneko Tatsuya, Ohta Yukinori	4. 巻 105
2. 論文標題 Excitonic effects on high-harmonic generation in Mott insulators	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 L241108 ~ L241108
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.105.L241108	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 Yamamoto Shunsuke, Ohta Yukinori, Sugimoto Koudai	4. 巻 106
2. 論文標題 Collective mode excitations and simulated L-edge resonant inelastic x-ray scattering spectra in antiferromagnetic Ca ₂ RuO ₄	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 045136 ~ 045136
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.106.045136	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 Kobayashi Hayato, Fujiuchi Ryo, Sugimoto Koudai, Ohta Yukinori	4. 巻 103
2. 論文標題 Light-induced switching of magnetic order in the anisotropic triangular-lattice Hubbard model	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 L161106 ~ L161106
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.103.L161106	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 Shioda Naoki, Kumeda Kazuki, Fukazawa Hideto, Ohama Tetsuo, Kohori Yoh, Das Debarchan, Blawat Joanna, Kaczorowski Dariusz, Sugimoto Koudai	4. 巻 104
2. 論文標題 Determination of the magnetic q vectors in the heavy fermion superconductor Ce ₃ PtIn ₁₁	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 245119 ~ 245119
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.104.245119	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 Minato Takaaki, Sugimoto Koudai, Kuwahara Tomotaka, Saito Keiji	4. 巻 128
2. 論文標題 Fate of Measurement-Induced Phase Transition in Long-Range Interactions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 010603 ~ 010603
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/physrevlett.128.010603	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 Shiomi M., Kojima K., Katayama N., Maeda S., Schneeloch J. A., Yamamoto S., Sugimoto K., Ohta Y., Louca D., Okamoto Y., Sawa H.	4. 巻 105
2. 論文標題 Charge-ordered state satisfying the Anderson condition in LiRh2O4 arising from local dimer order	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 L041103 ~ L041103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/physrevb.105.1041103	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 Ueda Yutaka, Murase Mina, Kobayashi Yoshiaki, Itoh Masayuki, Yajima Takeshi, Yamaguchi Tomoki, Takahashi Ryo, Sugimoto Koudai, Ohta Yukinori	4. 巻 89
2. 論文標題 Observation of a Novel Phase Transition in Sr7Re4O19	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 054703 ~ 054703
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.89.054703	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 Kadosawa Masahiro, Nishimoto Satoshi, Sugimoto Koudai, Ohta Yukinori	4. 巻 89
2. 論文標題 Finite-Temperature Properties of Excitonic Condensation in the Extended Falicov-Kimball Model: Cluster Mean-Field-Theory Approach	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 053706 ~ 053706
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.89.053706	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 Yamamoto Shunsuke, Sugimoto Koudai, Ohta Yukinori	4. 巻 101
2. 論文標題 Emergence of pure spin current in doped excitonic magnets	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 174428 ~ 174428
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.101.174428	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 Fujiuchi Ryo, Kaneko Tatsuya, Sugimoto Koudai, Yunoki Seiji, Ohta Yukinori	4. 巻 101
2. 論文標題 Superconductivity and charge density wave under a time-dependent periodic field in the one-dimensional attractive Hubbard model	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 235122 ~ 235122
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/physrevb.101.235122	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 Fukazawa Hideto, Kumeda Kazuki, Shioda Naoki, Lee Yongsun, Kohori Yoh, Sugimoto Koudai, Das Debarchan, Blawat Joanna, Kaczorowski Dariusz	4. 巻 102
2. 論文標題 Successive magnetic transitions in the heavy-fermion superconductor Ce3PtIn11 studied by In115 nuclear quadrupole resonance	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 165124 ~ 165124
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.102.165124	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 Katayama Naoyuki, Kojima Keita, Yamaguchi Tomoki, Hattori Sosuke, Tamura Shinya, Ohara Koji, Kobayashi Shintaro, Sugimoto Koudai, Ohta Yukinori, Saitoh Koh, Sawa Hiroshi	4. 巻 6
2. 論文標題 Slow dynamics of disordered zigzag chain molecules in layered LiVS2 under electron irradiation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 npj Quantum Materials	6. 最初と最後の頁 16 ~ 16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41535-021-00313-w	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 Hisao Nishida, Ryo Fujiuchi, Koudai Sugimoto, Yukinori Ohta	4. 巻 89
2. 論文標題 Typicality-Based Variational Cluster Approach to Thermodynamic Properties of the Hubbard Model	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 023702 ~ 023702
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.89.023702	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 Ryo Takahashi, Tomoki Yamaguchi, Koudai Sugimoto, Touru Yamauchi, Hiroya Sakurai, Yukinori Ohta	4. 巻 30
2. 論文標題 Pressure-Induced Restoration of the Reversed Crystal-Field Splitting in $\text{-Sr}_2\text{CrO}_4$	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JPS Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 011026 ~ 011026
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.30.011026	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 Shioda Naoki, Kazuki, Kumeda, Fukazawa Hideto, Ohama Tetsuo, Kohori Yoh, Das Debarchan, Blawat Joanna, Kaczorowski Dariusz, Sugimoto Koudai	4. 巻 2164
2. 論文標題 Determination of the magnetic structures in the heavy fermion superconductor $\text{Ce}_3\text{PtIn}_{11}$	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012032 ~ 012032
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/2164/1/012032	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

〔学会発表〕 計42件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 18件)

1. 発表者名 Sugimoto Koudai, Ejima Satoshi
2. 発表標題 Analysis of pump-probe spectroscopy in the extended-Hubbard model in the infinite-matrix-product-state representation
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Sugimoto Koudai、Ejima Satoshi
2. 発表標題 Analysis of pump-probe spectroscopy in the extended-Hubbard model in the infinite-matrix-product-state representation
3. 学会等名 International Workshop “New Trends in Nonequilibrium Many-Body Systems: Methods and Concepts” (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Sugimoto Koudai、Ejima Satoshi
2. 発表標題 Analysis of pump-probe spectroscopy in the extended-Hubbard model in the infinite-matrix-product-state representation
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 杉本高大、江島聡
2. 発表標題 一次元拡張ハバード模型の非平衡状態における光励起スペクトル
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 鶴殿美奈、杉本高大、金子竜也、太田幸則、佐藤正寛
2. 発表標題 モット絶縁体とバンド絶縁体の高次高調波発生における励起子効果の理論
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 山本峻介、太田幸則、杉本高大
2. 発表標題 Ca ₂ RuO ₄ における共鳴非弾性X線散乱の理論
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 鶴殿美奈、金子竜也、杉本高大
2. 発表標題 Mott絶縁体におけるWannier-Starkはしごと励起子分裂
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 小島慶太、片山尚幸、山本峻介、杉本高大、太田幸則、飯田一樹、松川健、澤博
2. 発表標題 層状Li _{0.5} V _{0.5} S ₂ の非従来結合形成を伴う多段階構造相転移
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 Udono Mina, Sugimoto Koudai, Kaneko Tatsuya, Ohta Yukinori
2. 発表標題 High-harmonic generation in the extended Hubbard model: Excitonic effects in Mott insulators
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 Fontaine Mateo、Sugimoto Koudai、Furukawa Shunsuke
2. 発表標題 Phase diagram of a spin-1/2 XXZ ladder with a four-spin ring exchange
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 Udono Mina、Sugimoto Koudai、Kaneko Tatsuya、Ohta Yukinori、Sato Masahiro
2. 発表標題 Theory of exciton effects on high-harmonic generation in Mott insulators and band insulators
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 Kobayashi Hayato、Fujiuchi Ryo、Sugimoto Koudai、Ohta Yukinori
2. 発表標題 Light-induced switching of magnetic order in the anisotropic triangular-lattice Hubbard model
3. 学会等名 New Generation in Strongly Correlated Electron Systems 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yamamoto Shunsuke、Sugimoto Koudai、Ohta Yukinori
2. 発表標題 Calculation of collective-mode excitations in excitonic magnet Ca ₂ RuO ₄
3. 学会等名 New Generation in Strongly Correlated Electron Systems 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Udono Mina、Sugimoto Koudai、Ohta Yukinori
2. 発表標題 Photoinduced d-wave superconducting correlation in the extended Hubbard model
3. 学会等名 New Generation in Strongly Correlated Electron Systems 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yamamoto Shunsuke、Sugimoto Koudai、Ohta Yukinori
2. 発表標題 Theory of collective-mode excitations in Ca ₂ RuO ₄
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Udono Mina、Sugimoto Koudai、Kaneko Tatsuya、Ohta Yukinori
2. 発表標題 High harmonic generation in Mott insulators: Effects of intersite interactions
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shioda Naoki、Kumeda Kazuki、Lee Yongsun、Fukazawa Hideto、Ohama Tetsuo、Kohori Yoh、Das Debarchan、Blawat Joanna、Kaczorowski Dariusz、Sugimoto Koudai
2. 発表標題 Magnetic-structure determination of heavy fermion superconductor Ce ₃ PtIn ₁₁
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林颯人、藤内亮、杉本高大、太田幸則
2. 発表標題 異方的三角格子ハバード型における磁気秩序の光誘起スイッチング
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 鶴殿美奈、杉本高大、金子竜也、太田幸則
2. 発表標題 モット絶縁体における高次高調波発生：サイト間相互作用の効果
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 湊崇晃、杉本高大、桑原知剛、齊藤圭司
2. 発表標題 量子測定誘起相転移における長距離相互作用の効果
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 杉本高大、江島聡
2. 発表標題 無限系における行列積状態を用いた一次元拡張ハバード型のポンプ・プローブ分光の解析
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会（2022年）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鶴殿美奈、杉本高大、金子竜也、太田幸則
2. 発表標題 拡張ハバード模型における高次高調波発生：モット絶縁体における励起子効果
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会（2022年）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 塩田直輝、久米田和樹、Lee Yongsun、深澤英人、小堀洋、D. Das、J. Blawat、D. Kaczorowski、杉本高大
2. 発表標題 Ce ₃ PtIn ₁₁ の磁気構造に対する磁気双極子相互作用を基にした考察
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 久米田和樹、塩田直輝、Lee Yongsun、深澤英人、小堀洋、D. Das、J. Blawat、D. Kaczorowski、杉本高大
2. 発表標題 重い電子系超伝導体Ce ₃ PtIn ₁₁ のIn-NQRによる二段磁気転移の研究
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 川村啓太、佐藤晴輝、折尾響、杉本高大、太田幸則、大槻太毅、吉田鉄平、丸岡うらら、中埜彰俊、寺崎一郎、吉田弘幸
2. 発表標題 低エネルギー逆光電子分光によるTa ₂ NiSe ₅ の伝導帯の直接観測
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 廉澤誠大、西本理、杉本高大、太田幸則
2. 発表標題 拡張Falicov-Kimball模型における励起子凝縮の有限温度クラスター平均場理論
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 山本峻介、杉本高大、太田幸則
2. 発表標題 ドーブされた励起子磁性相における純スピン流生成
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 鵜殿美奈、藤内亮、杉本高大、太田幸則
2. 発表標題 拡張ハバード模型における光誘起d波超伝導相関
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 田辺哲寛、金子竜也、杉本高大、太田幸則
2. 発表標題 時間依存平均場近似を用いた励起子絶縁体における非線形光学応答の理論的研究
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会(2021年)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山本峻介、杉本高大、太田幸則
2. 発表標題 励起子磁性体Ca ₂ RuO ₄ の集団励起モードの理論
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 塩田直輝、久米田和樹、Lee Yongsun、深澤英人、小堀洋、D.Das、J. Blawat、D. Kaczorowski、杉本高大
2. 発表標題 重い電子系超伝導体Ce ₃ PtIn ₁₁ の二段磁気転移に対するNQRスペクトルの解析
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 Shunsuke Yamamoto、Koudai Sugimoto、Yukinori Ohta
2. 発表標題 Mean-field analysis of collective-mode excitations in excitonic magnet Ca ₂ RuO ₄
3. 学会等名 APS March Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Koudai Sugimoto、Satoshi Nishimoto、Tatsuya Kaneko、Yukinori Ohta
2. 発表標題 Strong Coupling Nature of the Excitonic Insulator State in Ta ₂ NiSe ₅
3. 学会等名 The 10th international Conference “New Generation in Strongly Correlated Electron Systems” (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小林颯人, 藤内亮, 杉本高大, 太田幸則
2. 発表標題 異方的三角格子ハバード模型におけるスピン秩序の光誘起相転移
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 藤内亮, 金子竜也, 杉本高大, 太田幸則
2. 発表標題 外場印加による引力Hubbard模型の超伝導-電荷密度波相制御の理論
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 Koudai Sugimoto, Satoshi Ejima, Florian Lange, Holger Fehske
2. 発表標題 Quantum phase transitions in the dimerized extended Bose-Hubbard model
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryo Takahashi, Tomoki Yamaguchi, Koudai Sugimoto, Touru Yamauchi, Hiroya Sakurai, Yukinori Ohta
2. 発表標題 Pressure-Induced Restoration of the Reversed Crystal-Field Splitting in $\text{-Sr}_2\text{CrO}_4$
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masahiro Kadosawa, Satoshi Nishimoto, Koudai Sugimoto, Yukinori Ohta
2. 発表標題 Cluster mean-field analysis of the finite-temperature properties of the one-dimensional extended Falicov-Kimball model
3. 学会等名 APS March Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shunsuke Yamamoto, Hisao Nishida, Koudai Sugimoto, Yukinori Ohta
2. 発表標題 Global Spin Current in Excitonic Phases of the Two-Band Hubbard Model
3. 学会等名 APS March Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杉本高大, 太田幸則
2. 発表標題 d-p模型によるTa ₂ NiSe ₅ の励起子絶縁体転移 II
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会 (2020年)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 廉澤誠大, 西本理, 杉本高大, 太田幸則
2. 発表標題 1次元拡張Falicov-Kimball模型の有限温度クラスター平均場理論
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会 (2020年)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山本峻介, 西田尚央, 杉本高大, 太田幸則
2. 発表標題 2軌道ハバード模型の励起子相におけるグローバルスピン流
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会 (2020年)
4. 発表年 2020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			
ドイツ	University of Greifswald			
ポーランド	Polish Academy of Science			
スイス	Paul Scherrer Institute			
米国	University of Virginia			
ドイツ	Technical University Dresden	IFW Dresden		
ポーランド	Polish Academy of Science			
スイス	Paul Scherrer Institute			