

令和 5 年 6 月 20 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H01829

研究課題名（和文）相関電子系に対する時間分解共鳴非弾性X線散乱の理論

研究課題名（英文）Theory of Time-Resolved Inelastic X-Ray Scattering in Correlated Electron Systems

研究代表者

遠山 貴巳（Tohyama, Takami）

東京理科大学・理学部第一部応用物理学科・教授

研究者番号：70237056

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,300,000円

研究成果の概要（和文）：電子間相互作用が強い物質に対して励起光を照射したのちに、光励起された物質内の電荷やスピンのダイナミクスを共鳴非弾性X線散乱という手法で調べる実験が世界各地で行われ始めている。このような実験に先立って、理論からの提案を行うことを本研究の目的とした。強相関系の典型である二次元正方格子モット絶縁体に対して、ポンプ光照射後の磁気励起ダイナミクスを大規模数値計算で調べ、時間分解共鳴非弾性X線散乱実験に対する新しい提案を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

時間分解共鳴非弾性X線散乱実験を用いた光励起された相関電子物質の研究は始まったばかりであり、今後大きな発展が期待される。残念ながら日本には相関電子物質に対する時間分解共鳴非弾性X線散乱実験のプロジェクトはないが、本理論研究において提案した実験が今後計画されれば、この分野の発展に寄与できると考えられる。

研究成果の概要（英文）：Resonant inelastic x-ray scattering experiments after irradiation of excitation light to materials with strong electron-electron interactions have begun to be performed around the world to investigate the dynamics of charge and spin in photoexcited materials. The purpose of this study is to make a theoretical proposal prior to such experiments. We investigate the magnetic excitation dynamics after pump light irradiation for a two-dimensional Mott insulator on a square lattice, which is typical of strongly correlated systems, using large-scale numerical calculations, and present a new proposal for the time-resolved resonant inelastic x-ray scattering experiments.

研究分野：物性理論

キーワード：時間分解共鳴非弾性X線散乱 相関電子系 数値計算

1. 研究開始当初の背景

レーザーなどの外場を物質系に照射し、非平衡状態を経由することで新しい状態を作ろうという試みや、定常状態だけではわからない未知の性質を非平衡状態を通じて明らかにしようという研究が精力的に行われている。ポンプ・プローブ型の時間分解可能な測定手段(時間分解角度分解光電子分光、時間分解ラマン散乱、超高速ポンプ・プローブ分光など)の発展により、これまでは観測不可能であった非平衡状態のダイナミクスが解明されつつあり、物性研究の一大潮流となっている。

この流れの中で、X線分光もまた時間分解による実験が自由電子レーザーの発展と歩調を合わせて大きく発展している。とりわけ運動量空間とエネルギー空間によって電子状態の全体像を明らかにすることができる共鳴非弾性X線散乱(Resonant Inelastic X-ray Scattering; RIXS)に時間分解機能を付加しようという実験研究が、世界各地で開始されている。ポンプ光により電子系の励起状態を作り、時間差をおいてプローブX線を入射して散乱X線を観測するという実験である。時間分解 RIXS (trRIXS)の第一報は、イリジウム酸化物 Sr_2IrO_4 に対して SLAC(米国)の自由電子レーザーを用いた硬X線実験であった。そこではモット絶縁体における緩和時間と磁気相関の次元性の関係が見出されている。3d遷移金属のL吸収端 RIXS に対しては軟X線が必要だが、ドイツの DESY やスイスの PSI でその計画が進んでいる。今後、様々な物質系に対して trRIXS 実験が行われるであろう。時間分解実験手法の強力な手段の一つとして認識されるのは時間の問題であり、エネルギー空間と運動量空間の両方を同時に見ることができる RIXS の特徴を生かした非平衡状態の物性研究が大きく進展することは間違いない。このような状況のもと、実験が行われる前に、trRIXS で得られる情報を理論から予測しておくことは、X線分光科学の発展のためにも欠かせない。

研究代表者のグループは平衡状態における RIXS の理論をこれまで研究してきた。RIXS の理論研究を突き詰めようとする、必然的に非平衡状態における RIXS という問題に行き着く。trRIXS には運動量空間とエネルギー空間における電荷・スピン・軌道の非平衡ダイナミクスに関するほぼ全ての情報が含まれている。なぜなら、trRIXS には非平衡二粒子グリーン関数が含まれており、非平衡一粒子グリーン関数を観測する時間分解角度分解光電子分光に比べて含まれる情報量が多いからである。したがって、trRIXS の研究は、相関電子系での非平衡ダイナミクスの全貌がどのようになっているかという根本的な「問い」に答えることになる。

2. 研究の目的

本研究では、今後大きな発展が期待される相関電子系に対する trRIXS に着目し、実験に先立って理論からの提案を行うことを目的とする。特に、ポンプ光で照射した後の電子励起ダイナミクスが、RIXS を通じてどのように観測されるか明らかにすることで、相関電子系の電荷・スピンなどの多自由度ダイナミクスの運動量空間とエネルギー空間全体にわたる全貌を明らかにする。そのため、ポンプ光照射後の、スピン励起、電荷励起などの運動量とエネルギー依存性の詳細を明らかにして、それらの特徴が RIXS スペクトルのどの部分に現れるか予測する。

3. 研究の方法

平衡状態の RIXS の歴史にならって、まずはモット絶縁体に対する trRIXS の理論を構築することを課題の中心とした。実験がすでに行われている二次元正方格子系に焦点を当てるとともに、次元の低い梯子系へと拡張した。RIXS では動的スピン・電荷相関関数を測定可能なことから、これらの物理量を大規模数値計算によって調べる。これまで我々のグループで精力的に開発してきたランチョス法に基づく時間に依存する厳密対角化法(tED)、時間に依存する動的密度行列繰り込み群法(tDMRG)を用いた [1]。特に、tDMRG による計算は、2021 年度「富岳」一般課題として行った。

4. 研究成果

以下、trRIXS に関わる重要な成果を記載する。trRIXS や相関系に関連するほかの成果については業績リストを参照いただきたい。

(1) ポンプ光照射後の二次元モット絶縁体のスピンドイナミクス I

RIXS で観測されるスピン励起に着目し、ポンプ光照射後の二次元正方格子半充填(ハーフフィールド)拡張ハバード模型の動的スピン相関関数と静的スピン造因子の時間変化について、 $4 \times 4 = 16$ 格子点に対する tED による計算を行った。その結果、静的スピン構造因子において、ポンプ光の入射方向に平行な運動量と垂直な運動量で強度の時間変化が逆位相になることが明らかとなった。その起源として、ポンプ光照射中の振動電場によるフロケ的な状態の生成とともに、2 マグノン過程に現れる B_{1g} 状態と光励起状態が結合してそのエネルギーに対応する振動が生じていることを突き止めた。また、ポンプ光照射後の動的スピン・電荷相関関数の計算も行い、それらの結果をまとめることで、trRIXS を用いた二次元モット絶縁体に対する新たな実験提案として Physical Review Letters に出版した [2]。tDMRG を用いポンプ光照射後の二次元ハー

フールド・ハバード模型に対して同様な計算を「富岳」で行った。6×6=36 格子点という tED よりも大きなシステムサイズでの計算に成功した。ただし、ポンプ光のエネルギー領域は実吸収が起こらない範囲にとどまった。これは計算時間の制限のため tDMRG で採用する状態数に対して上限があるためである。しかし、計算可能な範囲では tED と同様な結果が得られた。これは、ポンプ光の入射方向に平行な運動量と垂直な運動量で強度の時間変化が逆位相になるという我々の見出した現象が、サイズ効果には寄らないものであることを示している。

図 1 にはポンプ光を照射したときのスピン構造因子の時間依存性を示す。黄色の時間領域がポンプ光照射時間である。波数 \mathbf{q} として等価な 2 点である $\mathbf{q}=(6/7,1/7)\pi$ と $\mathbf{q}=(1/7,6/7)\pi$ の結果を示している。挿入図は振動をフーリエ変換してパワースペクトルとして表したものである。その形状は確かに B_{1g} 対称性の 2 マグノン散乱スペクトルによく対応している。二本脚梯子系でも同様な振動を見出し、その振動プロファイルが 2 マグノン散乱スペクトルに対応していることも確認した [3]。

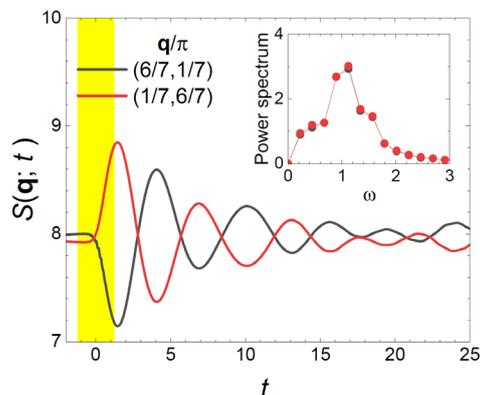


図 1 tDMRG による 6×6 格子点のハーフフィールド・ハバード模型のポンプ光照射に伴う静的スピン構造因子の時間変化。黄色の領域はポンプ光照射時間。挿入図はパワースペクトル。赤色と黒色は異なる波数を表す。

(2) ポンプ光照射後の二次元モット絶縁体のスピンダイナミクス II

(1)の研究に引き続き、二次元正方格子モット絶縁体におけるポンプ光照射後のスピン励起構造を詳細に検討した。その結果、ポンプ光が吸収スペクトルの吸収端 (エキシトンピーク) に対応するエネルギーのときにモットギャップ内の低エネルギー側に新しいスピン励起構造が現れることを発見した。ポンプ光の電場を x 方向に印加したとき、動的スピン相関関数では $\mathbf{q}=(1,0)\pi$ に新たな低エネルギースピン励起構造が現れた。図 2(a)には $\mathbf{q}=(1,0)\pi$ の、ある時刻での動的スピン相関関数のポンプ光エネルギー ω_p 依存性を示す。吸収端のエネルギー $\omega_p=6$ のとき、エネルギー $\omega_p \sim 0.2$ 付近に構造が現れていることがわかる。一方、図 2(b)からわかるように、 $\mathbf{q}=(0,1)\pi$ にはそのような構造は現れない。その起源を詳細に調べたところ、ポンプ光照射後の波動関数を正方格子の C_{4v} 対称性表現で分類すると、一光子吸収状態に対応する E 表現の状態がこの低エネルギー励起に関わっていること、そしてこの励起強度の増加に対して、ホロン・ダブロンエキシトンのような状態である吸収端の状態が重要な役割を果たしていることが分かった。また、同様な新しい低エネルギースピン励起は、2 マグノン励起スペクトルにも表れることを見出した。これは、時間分解 2 マグノンラマン散乱スペクトルで観測されるべきものであり、実際、 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.1}$ の実験で観測されている、主ピーク位置よりも低いエネルギーのスペクトル強度の増加を説明すると考えられる。以上の結果から、二次元正方格子モット絶縁体ではエキシトン状態をポンプ光で励起することにより、エキシトンにアシストされた新たなスピン励起が低エネルギー領域に現れることを指摘した論文を Communications Physics に出版した [4]。

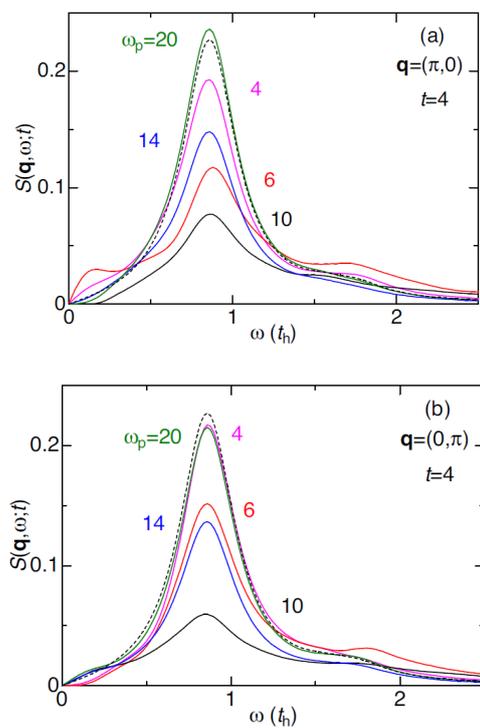


図 2 tED による 4×4 格子点のハーフフィールド・ハバード模型のポンプ光照射に伴うある時刻における動的スピン相関関数のポンプ光エネルギー ω_p 依存性。(a) $\mathbf{q}=(1,0)\pi$ 、(b) $\mathbf{q}=(0,1)\pi$ 。

参考文献

- [1] T. Tohyama, K. Shinjo, S. Sota, and K. Tsutsui, J. Phys.: Conf. Ser. **2207**, 012028 (2022).
- [2] K. Tsutsui, K. Shinjo, and T. Tohyama, Phys. Rev. Lett. **126**, 127404 (2021).
- [3] Y. Yoshida, K. Shinjo, S. Sota, and T. Tohyama, unpublished.
- [4] K. Tsutsui, K. Shinjo, S. Sota and T. Tohyama, Commun. Phys. **6**, 41 (2023).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Shinjo Kazuya, Sota Shigetoshi, Tohyama Takami	4. 巻 4
2. 論文標題 Glassy dynamics of the one-dimensional Mott insulator excited by a strong terahertz pulse	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 L201113 (1-6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.4.L032019	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 Tsutsui Kenji, Shinjo Kazuya, Sota Shigetoshi, Tohyama Takami	4. 巻 6
2. 論文標題 Exciton-assisted low-energy magnetic excitations in a photoexcited Mott insulator on a square lattice	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Communications Physics	6. 最初と最後の頁 41 (1-7)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42005-023-01158-4	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 Morita Katsuhiro, Sota Shigetoshi, Tohyama Takami	4. 巻 4
2. 論文標題 Resonating dimer-monomer liquid state in a magnetization plateau of a spin-1/2 kagome-strip Heisenberg chain	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Communications Physics	6. 最初と最後の頁 161 (1-7)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42005-021-00665-6	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 Shinjo Kazuya, Tamaki Yoshiki, Sota Shigetoshi, Tohyama Takami	4. 巻 104
2. 論文標題 Density-matrix renormalization group study of optical conductivity of the Mott insulator for two-dimensional clusters	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 205123 (1-9)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.104.205123	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 Morita Katsuhiko, Sota Shigetoshi, Tohyama Takami	4. 巻 104
2. 論文標題 Magnetic phase diagrams of the spin-1/2 Heisenberg model on a kagome-strip chain: Emergence of a Haldane phase	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 224417 (1-8)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.104.224417	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 Tohyama Takami, Shinjo Kazuya, Tsutsui Kenji	4. 巻 2164
2. 論文標題 Antiphase oscillations in the time-resolved spin structure factor of a photoexcited Mott insulator on a square lattice	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012049 (1-4)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/2164/1/012049	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 Tohyama Takami, Shinjo Kazuya, Sota Shigetoshi, Tsutsui Kenji	4. 巻 2207
2. 論文標題 Numerical simulations of spectroscopic properties in two-dimensional Mott insulator	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012028 (1-6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/2207/1/012028	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 T. Tohyama, S. Sota, and S. Yunoki	4. 巻 89
2. 論文標題 Spin dynamics in the t-t'-J model: Dynamical density-matrix renormalization group study	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 124709 (1-7).
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.89.124709	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. Shinjo, S. Sota, and T. Tohyama	4. 巻 103
2. 論文標題 Effect of phase string on single-hole dynamics in the two-leg Hubbard ladder	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 035141 (1-12).
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.103.035141	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. Tsutsui, K. Shinjo, and T. Tohyama	4. 巻 126
2. 論文標題 Antiphase Oscillation in Time-Resolved Spin Structure Factor of a Photoexcited Mott Insulator	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 127404 (1-5).
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.126.127404	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 遠山貴巳	4. 巻 55
2. 論文標題 軟X線領域のL吸収端共鳴非弾性X線散乱の理論	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 固体物理	6. 最初と最後の頁 369-378
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28件 (うち招待講演 12件 / うち国際学会 14件)

1. 発表者名 T. Tohyama
2. 発表標題 Theory of Time-Resolved Resonant-Inelastic X-Ray Scattering in a Photoexcited Mott insulator
3. 学会等名 The 12th International Conference on Inelastic X-ray Scattering (IXS2022) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Tohyama
2. 発表標題 Time-resolved RIXS and Raman scattering in a photoexcited Mott insulator on a square lattice
3. 学会等名 The 13th TOYOTA RIKEN International Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Tohyama
2. 発表標題 Electric-pulse-driven spin and charge dynamics in Mott insulators
3. 学会等名 Ultrafast Dynamics and Metastability 2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Tohyama
2. 発表標題 Electric-pulse-driven spin and charge dynamics in Mott insulators
3. 学会等名 Nonequilibrium and Ultrafast Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Tohyama
2. 発表標題 Glassy dynamics and symmetry control of the 1D Mott insulator excited by a strong terahertz pulse
3. 学会等名 11th Nonequilibrium Quantum Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 遠山貴巳
2. 発表標題 光励起モット絶縁体のスピンドYNAMIX
3. 学会等名 研究会 相関電子の軌道自由度から生まれる多様性と普遍性 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 遠山貴巳
2. 発表標題 量子物性理論からNanoTerasuへの期待
3. 学会等名 第36回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Tohyama
2. 発表標題 Photoinduced Magnetic Excitations in a Pumped Mott Insulator on a Square Lattice
3. 学会等名 International Workshop on Strong Correlations and Angle-Resolved Photoemission Spectroscopy (CORPES22) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 筒井健二, 新城一矢, 曾田繁利, 遠山貴巳
2. 発表標題 光励起されたモット絶縁体の2マグノン励起スペクトル
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 筒井健二, 遠山貴巳
2. 発表標題 光励起されたモット絶縁体の2マグノン励起に対するクラスター計算
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 T. Tohyama
2. 発表標題 Possible application of time-resolved resonant-inelastic x-ray scattering to photoexcited Mott insulators
3. 学会等名 Hybrid Workshop on Resonant Inelastic and Elastic X-ray Scattering 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Tohyama
2. 発表標題 Electric-pulse-driven spin and charge dynamics in Mott insulators
3. 学会等名 The 2021 Europe Materials Society Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 遠山貴巳
2. 発表標題 量子ビームの非弾性散乱実験と連携した強相関電子系の理論研究
3. 学会等名 第7回 大型実験施設とスーパーコンピュータとの連携利用シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Tohyama
2. 発表標題 Antiphase oscillations in the time-resolved spin structure factor of photoexcited two-dimensional Mott Insulator
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES2020) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Tohyama
2. 発表標題 Antiphase Oscillations in Spin Structure Factor of a Photoexcited Mott insulator: Possibility of Observation by Time-Resolved Resonant-Inelastic X-Ray Scattering
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2021 (MMM2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 筒井健二, 新城一矢, 遠山貴巳
2. 発表標題 ハバード模型の光励起状態に対する時間分解スペクトルのクラスター計算III
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 筒井健二, 新城一矢, 遠山貴巳
2. 発表標題 ハバード模型の光励起状態に対する時間分解スペクトルのクラスター計算IV
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 遠山貴巳
2. 発表標題 銅酸化物高温超伝導体の磁気励起：動的密度行列繰り込み群法による $t-t'-J$ モデルの動的スピン構造因子の計算
3. 学会等名 「京」第7回成果報告会(オンライン)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 遠山貴巳
2. 発表標題 光励起された二次元モット絶縁体の異方的スピンダイナミクス
3. 学会等名 新学術領域研究「量子液晶の物性科学」領域研究会(オンライン)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 筒井健二, 遠山貴巳
2. 発表標題 ハバード模型の光励起状態に対する時間分解スペクトルのクラスター計算II
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 新城一矢, 曾田繁利, 遠山貴巳
2. 発表標題 時間依存密度行列繰り込み群法による梯子格子拡張ハバード模型の光学応答の研究
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 筒井健二, 新城一矢, 遠山貴巳
2. 発表標題 モット絶縁体の光励起状態における時間分解スペクトルの反位相振動
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 新城一矢, 玉城善貴, 曾田繁利, 遠山貴巳
2. 発表標題 二次元拡張ハバード模型の光学伝導度の時間依存密度行列繰り込み群法による研究
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 筒井健二, 遠山貴巳
2. 発表標題 ハバード模型の光励起状態に対する 時間分解スペクトルのクラスター計算
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 Takami Tohyama
2. 発表標題 Spin and Charge Excitations in Stripe-Ordered Cuprates
3. 学会等名 The 11th International Conference on Inelastic X-ray Scattering (IXS2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takami Tohyama
2. 発表標題 Dynamical spin and charge structure factors in cuprate superconductors
3. 学会等名 International Conference on Electron Correlation in Superconductors and Nanostructures (ECSN-2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takami Tohyama
2. 発表標題 Spin Excitations in Doped Mott insulators
3. 学会等名 The 60th REIMEI International Workshop "New excitations for spintronics seen with quantum beams" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takami Tohyama
2. 発表標題 Spin and Charge Excitations along the Direction Perpendicular to Charge Stripes in Cuprates
3. 学会等名 The 11th International Conference on Magnetic and Superconducting Materials (MSM19) (国際学会)
4. 発表年 2019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
研究分担者	曾田 繁利 (Sota Shigetoshi) (60466414)	国立研究開発法人理化学研究所・計算科学研究センター・技師 (82401)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究分担者	兼下 英司 (Kaneshita Eiji) (60548212)	仙台高等専門学校・総合工学科・准教授 (51303)	
研究分担者	筒井 健二 (Tsutsui Kenji) (80291011)	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・関西光科学研究 所 放射光科学研究センター・上席研究員 (82502)	

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