

令和 5 年 6 月 3 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2022

課題番号：17K05533

研究課題名(和文)ダイマー構造に基づく創発量子相の設計・開拓の理論的研究

研究課題名(英文) Designing emergent phases based on dimer structure in solids

研究代表者

堀田 知佐 (Hotta, Chisa)

東京大学・大学院総合文化研究科・教授

研究者番号：50372909

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：2サイトが強く結合したダイマーを単位とする格子模型において、ダイマー内部自由度の存在が、ダイマー間の相関と物性にどのような影響を及ぼすのかを理論的に解明する研究を行った。具体的には(1)  $S=1/2$ のスピンの系および  $S=1$ のスピンの系のダイマーをユニットとした三角格子モデルにおける量子揺らぎの増大に伴うネマティック相の出現、(2) 三角格子上の横磁場イジングモデル(有機ダイマー系のモデル)の量子臨界的なダイナミクスの特徴的な振る舞い、および、(3)スピンのクロスオーバー錯体の2つの状態(高スピン、低スピン)と弾性相互作用を導入したモデルにおけるエンタルピー効果による2段階転移、を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

Ba<sub>3</sub>MRu<sub>2</sub>O<sub>9</sub>や  $\kappa$ -ET<sub>2</sub>Xでみられるスピン液体や誘電異常といった、学術的にも注目されている実験結果に対して、理論的な解釈を与えることができた。またこれまでほとんど有意なアプローチが知られていなかった、バルク系(サイズが大ききな系)の量子多体ダイナミクスの計算手法をこれらの研究を通して新たに開発することができた。

研究成果の概要(英文)：The project focuses on the role of dimerized structure in low dimensional correlated systems. Three kinds of systems are studied from different aspects; (1) spin-1/2 dimer based triangular lattice and spin-1 dimer based triangular lattice quantum magnets are studied numerically, both showing quantum nematic orders. The enhancement of quantum fluctuation is a key to have such states and for spin-1/2 the inter-dimer ring exchange interaction plays a crucial role, while for spin-1 system, the increased dimer degrees of freedom turned out to be important. (2) Quantum critical dynamics of transverse Ising model on a triangular lattice is obtained by the quantum Monte Carlo method using our newly developed framework. This gives the low energy description of the dielectrics of the organic dimer-Mott insulating state. (3) Two-step spin crossover transition in the classical high/low spin states is found to occur due to enthalpic effect,

研究分野：物性理論

キーワード：強相関 量子磁性 量子ダイナミクス ネマティック

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

Ru が 2 層構造を持ち、層間にダイマーをユニットに三角格子を組む物質系  $\text{Ba}_3\text{MRu}_2\text{O}_9$  ( $M=\text{Ca, Sr, Zn, Co, Ni, Cu}$ ) は M イオンが Ca, Sr のときは低温でシングレット非磁性相、Co, Ni, Cu は相転移して反強磁性相をもつが、Zn は極低温まで磁化率が小さな一定値をとるだけで何ら変化を示さない特異な振る舞いが実験的に名古屋大学の寺崎グループの報告されていた。また 2010 年ごろ、同じく寺崎らが行った有機  $\kappa$ ET 系の誘電率の温度依存性に、低温で周波数に強く依存するピーク構造が出るのが報告され、ET 系の持つダイマー構造が重要であることが我々の理論でも示唆されていた。これらの実験に触発され、ダイマー構造が量子物性にどのような役割を果たすのかを明らかにすることを目標に研究を始めた。

### 2. 研究の目的

格子がダイマーを組むと、一般に内部自由度が生じる。一番単純な内部自由度は反結合状態と結合状態の 2 準位であり、ダイマー内の結合が強ければエネルギーが低い反結合状態だけを取り出して記述することが許される。しかし一般にはダイマー間の相互作用が、ダイマー内のものと拮抗したり、ダイマーがより多くの内部自由度を含んだりすることにより、ダイマー内外のパラメタを制御することで多彩な物性が得られる可能性がある。特に実験と比較できる系でこれらの問題を理論的に取り扱うことによって、実験で理解できていなかった相の性質を明らかにすると同時に、理論側で系統的な比較研究を展開することができる。

### 3. 研究の方法

3 つの系を取り組むにあたり、複数の手法を使った多彩な研究を展開した。量子ダイマースピン系では厳密対角化と摂動論により基底状態の相図を明らかにし、有限温度の物理量は変分型の半古典的なモンテカルロ法を用いた。有機ダイマー系を対象とする横磁場イジング模型では量子モンテカルロ法を実装した。錯体の 2 段転移の研究では古典モンテカルロ法を用いた。

### 4. 研究成果

3 つの系に関する結果を以下、かいつまんで述べる。

#### (1) 三角格子量子ダイマースピン系のネマティック相

まず  $S=1/2$  反強磁性ダイマーをユニットとする三角格子系で、ダイマー間の相互作用に反強磁性ハイゼンベルグおよび 4 体リング交換相互作用を取り入れたモデルを考えた。ダイマー内のシングレット状態からのトリプレット励起を  $S=1$  ハードコアボソンとして扱うことにより、厳密対角化と解析計算を組み合わせ、基底状態の全貌を明らかにした。その結果、ダイマーシングレット相と隣接してネマティック (四極子) 相が実現することが明らかになった。この両者はともに非磁性絶縁相だが、非磁性となる由来が、スピンの 1 次のゆらぎと 2 次のゆらぎという質的に異なったものであり、これまで知られる多くのモデルで片方ずつは実現したものの、通常は隣りあわせには実現しない。ところが、我々のモデルでは、三角格子の幾何学的フラストレーションと 4 体相互作用による高次の揺らぎが連動して、両者が隣り合った状態が理論的に自然に実現しうることが解析的にも明らかになった。なお、ここで得られた結果は  $\text{Ba}_3\text{MRu}_2\text{O}_9$  の Ca から Zn への化学置換によってシングレット相が非磁性相へと転移する状況を説明しうる。

ここでネマティック相実現のためには 4 体相互作用がある程度大きいことが要請される。そこで、あらためて摂動論をダイマー構造を考慮しながら行い、これらの相互作用をハバード模型のモット絶縁体相において摂動論を用いてマイクロに導出した。その結果、一般にはハイゼンベルグ相互作用に比べ、1 桁落ちするといわれる 4 体相互作用も、4 スピンが二つのダイマーを組む場合には、同じオーダー程度の値をとりうることを示すことができた。

その後、実際には  $\text{Ba}_3\text{MRu}_2\text{O}_9$  の Ru は  $S=1/2$  ではなく  $S=1$  である可能性が実験側から指摘されたことを受け、 $S=1$  の反強磁性ダイマーをユニットとする三角格子系を新たに調べることにした。このモデルの場合、1 ダイマーあたり 9 種類の基底を保持するため、これを全部取り入れた量子多体計算が困難だが、我々はその低エネルギー励起が、 $S=1/2$  の場合と同様にハードコアボソンモデルで扱えることに着目して、摂動論を用いた解析を行った。得られたハードコアボソンモデルをアンダーソンタワー解析などの数値手法を用いて詳細に検討した結果、基底状態に 3 種類の四極子相が現れることを明らかにした。

とくにスピン-1 のボソン数が少ないポーズインシュタイン凝縮とネマティック相関が共存した相が広い範囲で見いだされた。そのうちの一つの相は、四極子が長距離秩序を作りかけながらも完全には長距離秩序にならず複数の相関が共存した新しい種類の液体相である可能性があり、現在、 $\text{Ba}_3\text{ZnRu}_2\text{O}_9$  でこれを検証するための実験が検討されている。

そのほか、 $S=1$  のネマティック状態を実験と比較するための基本的な物理量として比熱や磁化率の温度依存性を調べたところ、 $S=1$  の三角格子系の強制的四極子相において磁場をかけ始めのところではわずかに転移温度がいったん上昇してさらに高磁場で下降するリエントラント現象が見

られた。このような現象は反強磁的極子相においてはみられなかった。この結果は四極子相に関する基本的な結果である。

### (2) 三角格子横磁場イジング模型の量子臨界ダイナミクス

有機  $\kappa$ - $\text{ET}_2\text{Cu}_2(\text{CN})_3$  をはじめとするダイマー系では、温度を下げていくと絶縁体相へのクロスオーバーがみられ、低温ではダイマーモット絶縁体という、ET 分子のダイマー当たり 1 ホールが局在した状態が実現することが知られている。このような相の誘電測定で、6 K 異常とよばれる、6 K にむけて誘電率が Curie 的な発散を示しながらもある温度で極大値をとって低温で減少する振る舞いが観測された。この極大値をとる温度は周波数の数桁の変化にわたって大きく場所を変化させており、最初に見つかった系以外の多くの有機ダイマー系で同様の結果が観測されたものの、その原因は長年謎とされてきた。

我々は 2010 年にこの物質のダイマーモット相の電荷の自由度を記述する低エネルギー有効模型が横磁場イジングモデルであることを振動論によって報告している。このモデルではダイマー内で 2 分子の片方に電荷が偏った状態をダイポール自由度とすることにより、電荷が飛び移って 2 分子を行き来する効果がダイポールに対する横磁場であらわされる。またダイマー間の電荷のクーロン相互作用はダイポール間のイジング相互作用となる。

今回、上述の実験を念頭に、横磁場イジングモデルが強磁的秩序（電荷の言葉では電荷秩序）と無秩序（ダイマーモット相）の間で相転移を起こすことに着目し、転移点直上および近傍のパラメタ域において、量子モンテカルロ計算をもとに、そのダイナミクスの振る舞いを明らかにした。

一般に量子多体模型ではダイナミクスの計算は困難であり、特に 2 次元以上の系では有意な手法は知られていない。これに対して、今回我々は大規模計算に耐えうる新しい手法を開発した。具体的には、量子モンテカルロ法の連続時間アルゴリズムが、横磁場イジング模型に適用した際にグラウバーダイナミクスの要請する局所エネルギー構造を持つことに着目し、グラウバー型のダイナミクスの計算手法を開発した。この計算手法では、虚時間方向でスピンのそろったセグメントを一つの塊のスピンのみならずそのモンテカルロアップデートの過程を実時間とみなすことができる。この考え方をもとに、保公式で実時間を居時間と独立ととらえることで量子モンテカルロ法によってイジングスピン（ダイポール）の緩和時間を見積もることに成功した。

実際、大規模計算と有限サイズスケリングを行った結果、量子臨界点近傍での緩和時間は、モデルの性質から予想される 3 次元イジングモデルの動的臨界指数をよく再現することが明らかになり、手法の正当性が確認された。

実験との比較のため、感受率を上記の計算を用いて評価したところ、量子臨界点近傍で緩和時間がべき的に増大し、静的感受率もべき的に増大することによって、感受率が周波数の関数としてローレンツ型となりそのピークは臨界点に近づくほど先鋭化することが分かった。この先鋭化のために、各周波数ごとに感受率の温度依存性はピークを持ち、そのピーク位置は周波数に依存して激しくシフトする。このことは 10 年来謎であった誘電異常の実験の振る舞いをよく説明する。

### (3) 2 層スピントロスオーバー系における二段相転移

2 層系の  $\text{FeII}$  (ethyl nicotinate) $_2$  [AuI(CN) $_2$ ] $_2$  などのスピントロスオーバー錯体では、錯体ユニットで Au イオンのまわりの八面体の配位子の状態の変化に伴い 2 つの状態（高スピン、低スピン）をとり、高温から低温にかけて高スピンから低スピンへのスピントロスオーバーが起こることが知られているが、この物質特有の現象として特に 2 段あるいは多段のクロスオーバー現象が起こることがあり、その原因はわかっていなかった。これに対し、我々は錯体の歪みが弾性相互作用として働くモデルを考え、さらに錯体が状態に応じて大きな体積変化を起こすことに着目し、連続系に大きさの違う（高スピンと低スピン）錯体のボールが並んだモデルを考え、古典モンテカルロ計算を行った。その結果、2 層系ならではの体積のフレキシブルな変化が起こりうることに由来して、圧力下においてエンタルピー（体積効果）、エントロピー、エネルギーの兼ね合いから、ごく自然な形でこのような 2 段転移が起こることを数値的に示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計22件（うち査読付論文 21件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 C Hotta, T Nakamaniwa, T Nakamura	4. 巻 104
2. 論文標題 Sine-square deformation applied to classical Ising models	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Phys. Rev. E	6. 最初と最後の頁 34133
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.104.034133	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. Yamashita, S. Sugiura, A. Ueda, S. Dekura, T. Terashima, S. Uji, Y. Sunairi, H. Mori, E. I. Zhilyaeva, S. A. Torunova, R. N. Lyubovskaya, Natalia Drichko, C. Hotta	4. 巻 6
2. 論文標題 Ferromagnetism out of charge fluctuation of strongly correlated electrons in $\text{-(BEDT-TTF)}_2\text{Hg(SCN)}_2\text{Br}$	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 npj Quantum Materials	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41535-021-00387-6	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 該当する

1. 著者名 R. Makuta, C. Hotta	4. 巻 104
2. 論文標題 Dimensional reduction in quantum spin-1/2 system on a 1/7-depleted triangular lattice	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 224415
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.104.224415	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 H. Nakai, C. Hotta	4. 巻 13
2. 論文標題 Perfect flat band with chirality and charge ordering out of strong spin-orbit interaction	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 579
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-022-28132-y	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 A. Iwaki, C. Hotta	4. 巻 2207
2. 論文標題 Thermal pure quantum matrix product states: a simple numerical protocol for finite temperature	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 J. Phys.: Conference Series	6. 最初と最後の頁 12031
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 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 M Kawano, C Hotta	4. 巻 4
2. 論文標題 Sine-square deformed mean-field theory	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Phys. Rev. Research	6. 最初と最後の頁 L012033
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.4.L012033	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 Katsuhiko Tanaka, Chisa Hotta	4. 巻 102
2. 論文標題 Finite temperature thermodynamic properties of the spin-1 nematics in an applied magnetic field	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 140401(R)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.102.140401	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 Xavier Plat, Chisa Hotta	4. 巻 102
2. 論文標題 Entanglement spectrum as a marker for phase transitions in the density embedding theory for interacting spinless fermionic models	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 140410(R)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.102.140410	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 Masataka Kawano, Chisa Hotta	4. 巻 102
2. 論文標題 Comparative study of the density matrix embedding theory for the Hubbard models	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 235111
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.102.235111	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 Katsuhiko Tanaka, Chisa Hotta,	4. 巻 101
2. 論文標題 Multiple quadrupolar or nematic phases driven by the Heisenberg interactions in a spin-1 dimer system forming a bilayer	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 094422, 1 - 15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.101.094422	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 Kouta Mitsumoto, Chisa Hotta, and Hajime Yoshino	4. 巻 124
2. 論文標題 Spin-orbital glass transition in a model of frustrated pyrochlore magnet without quenched disorder	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Phys. Rev. Lett.	6. 最初と最後の頁 087201, 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.124.087201	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 Masataka Kawano, Chisa Hotta	4. 巻 100
2. 論文標題 Discovering momentum-dependent magnon spin texture in insulating antiferromagnets: Role of the Kitaev interaction	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 174402, 1-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.100.174402	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 川野 雅敬, 堀田 知佐	4. 巻 55
2. 論文標題 反強磁性絶縁体のマグノン励起にみられるスピントクスチャと異常熱ホール効果	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 固体物理	6. 最初と最後の頁 41-50
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 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 Masataka Kawano, Yoshinori Onose and Chisa Hotta	4. 巻 2
2. 論文標題 Designing Rashba-Dresselhaus effect in magnetic insulators	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Communications Physics,	6. 最初と最後の頁 27(1-8)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42005-019-0128-6	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 Masataka Kawano and Chisa Hotta	4. 巻 99
2. 論文標題 Thermal Hall effect and topological edge states in a square-lattice antiferromagnet	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 54422
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.99.054422	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 Hiroyuki Endo, Chisa Hotta, and Akira Shimizu	4. 巻 121
2. 論文標題 From Linear to Nonlinear Responses of Thermal Pure Quantum States	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Phys. Rev. Lett.	6. 最初と最後の頁 220601(1-5)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.121.220601	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 Chisa Hotta and Kenichi Asano	4. 巻 98
2. 論文標題 Magnetic susceptibility of quantum spin systems calculated by sine square deformation: One-dimensional, square lattice, and kagome lattice Heisenberg antiferromagnets	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 140405R(1-5)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.98.140405	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 Xavier Plat, Tsutomu Momoi and Chisa Hotta	4. 巻 98
2. 論文標題 Kinetic frustration induced supersolid in the $S=1/2$ kagome lattice antiferromagnet in a magnetic field	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 014415(1-15)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.98.014415	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 Yuto Yokoyama and Chisa Hotta	4. 巻 97
2. 論文標題 Spin nematics next to spin singlets	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 180404R(1-5)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.97.180404	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 Tanaka Katsuhiro, Yokoyama Yuto, Hotta Chisa	4. 巻 87
2. 論文標題 Origin of Biquadratic Exchange Interactions in a Mott Insulator as a Driving Force of Spin Nematic Order	5. 発行年 2018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.87.023702	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 Taniguchi Daisuke, Okabayashi Jun, Hotta Chisa	4. 巻 96
2. 論文標題 Pressure-induced two-step spin crossover in a double-layered elastic model	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 174104,1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.96.174104	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 堀田 知佐	4. 巻 6
2. 論文標題 フラストレートした量子多体系	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 物性研究	6. 最初と最後の頁 164213,1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14989/229035	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 -

〔学会発表〕 計55件 (うち招待講演 12件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 Chisa Hotta
2. 発表標題 Perfect flat band and trimerized charge ordering out of strong spin-orbit interaction
3. 学会等名 QLC 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Chisa Hotta
2. 発表標題 Perfect flat band and chiral-charge ordering out of strong spin-orbit interaction
3. 学会等名 Seminar of IBS Center for Theoretical Physics of Complex Systems (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Chisa Hotta
2. 発表標題 Perfect flat band and trimerized charge ordering out of strong spin-orbit interaction
3. 学会等名 IBS Workshop "Progress in Flatband physics: symmetries, disorder, many-body interactions and thermalisation" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 堀田知佐
2. 発表標題 Glasses in crystalline solids
3. 学会等名 KEK IPNS-IMSS-QUP Joint workshop (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 堀田知佐
2. 発表標題 Ferromagnetism in kappa-ET2X
3. 学会等名 物性研短期研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 堀田知佐
2. 発表標題 固体結晶中の電荷やスピンの量子グラス
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中井宏紀, 堀田知佐
2. 発表標題 5dパイロクロア酸化物CsW <sub>2</sub> O <sub>6</sub> の理論
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 中井宏紀, 堀田知佐
2. 発表標題 強いスピン軌道相互作用が創出する完全フラットバンドの理論
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 幕田涼, 堀田知佐
2. 発表標題 メイブルリーフ格子上のs=1/2-Heisenbergモデルの熱力学特性
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 堀田知佐, 中村統太
2. 発表標題 イジングモデルに対するサイン二乗変形の効果
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 幕田涼, 堀田知佐
2. 発表標題 メイブルリーフ格子上の $s=1/2$ -Heisenberg模型における磁気励起
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 川野雅敬, 堀田知佐
2. 発表標題 サイン二乗変形平均場理論を用いたスピン軌道結合Mott絶縁体の基底状態解析
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 中井宏紀, 川野雅敬, 堀田知佐
2. 発表標題 バンド構造に対するSU(2)ゲージ場の効果
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 中村統太, 堀田知佐
2. 発表標題 サイン二乗温度変調を用いたモンテカルロシミュレーション
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 岩木惇司, 堀田知佐
2. 発表標題 ランダムサンプリング法における熱平衡状態の純粋度の定式化
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 幕田涼, 堀田知佐
2. 発表標題 メイプルリーフ格子上の $s=1/2$ Heisenbergモデルの磁性
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 田中克大, 戸塚圭介, 堀田知佐
2. 発表標題 ダイマー基底によるスピンネマティック相の記述と 2 マグノン束縛状態
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 森田克洋, 池田昌司, 堀田知佐
2. 発表標題 電荷ガラスの生成機構
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 浦上啓太, 堀田知佐
2. 発表標題 ピンボール液体に対する乱れの効果
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 川野雅敬, 堀田知佐
2. 発表標題 サイン二乗変形平均場理論
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 岩木惇司, 堀田知佐
2. 発表標題 TPQ-MPSの種類と効率
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 田中克大, 堀田知佐
2. 発表標題 スピン 1 ネマティック相の熱力学量に対する外部磁場の効果
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 堀田知佐
2. 発表標題 -ET <sub>2</sub> Hg(SCN) <sub>2</sub> Brの強磁性
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 光元亨汰, 堀田知佐, 吉野元
2. 発表標題 A <sub>2</sub> Mo <sub>2</sub> O <sub>7</sub> におけるアイスのヤーン-テラー歪みの機構
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 川野雅敬, 堀田知佐
2. 発表標題 密度行列埋め込み理論を用いた三角格子Hubbard模型のMott転移の解析
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 岩木惇司, 清水明, 堀田知佐
2. 発表標題 熱的量子純粹行列積状態
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 堀田知佐
2. 発表標題 Designing spin textures and topological transports in insulating antiferromagnets
3. 学会等名 第44回日本磁気学会シンポジウム(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Chisa Hotta
2. 発表標題 Origin of exotic trimerized charge order in 5d pyrochlore electronic system with strong spin-orbit coupling
3. 学会等名 Quantum Magnets in Extreme Conditions (QMEC) (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Chisa Hotta
2. 発表標題 Spin-orbital glass transition in a model of frustrated pyrochlore magnet without quenched disorder
3. 学会等名 Correlated Disorder workshop (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川野雅敬, 堀田知佐
2. 発表標題 反強磁性マグノンの擬スピン描像を用いたKitaev-Heisenberg- 模型のスピンテクスチャの解析
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 田中克大, 堀田知佐
2. 発表標題 2次元系のスピンネマティック相における熱力学的性質
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 田中克大, 堀田知佐
2. 発表標題 スピン 1 ダイマー三角格子におけるスピンネマティック相
3. 学会等名 日本物理学会 2020年年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩木惇司, 清水明, 堀田知佐
2. 発表標題 MPSを用いた熱的量子純粋状態の記述
3. 学会等名 日本物理学会 2020年年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Chisa Hotta
2. 発表標題 Sine square deformation to quantum spin systems
3. 学会等名 Trends in Theory of Correlated Materials Workshop - TTCM 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Chisa Hotta
2. 発表標題 Spin nematics next to spin singlets
3. 学会等名 Kavli ITS Workshop: Quantum Magnetism: Frustration, Low-dimensionality, Topology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Chisa Hotta
2. 発表標題 Quantum Critical Dynamics
3. 学会等名 Gordon Research Conference on conductivity and Magnetism in Molecular Materials, (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Chisa Hotta
2. 発表標題 Thermodynamic properties of quantum spin systems
3. 学会等名 WE-Heraeus-Seminar on TRENDS IN QUANTUM MAGNETISM (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 堀田 知佐, 遠藤 寛之, 清水 明
2. 発表標題 カゴメハイゼンベルグモデルの線形・非線形応答
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 川野雅敬, 小野瀬佳文, 堀田知佐
2. 発表標題 空間反転対称性の破れた反強磁性体におけるマグノンスピン運動量ロッキング
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 川野 雅敬, 堀田 知佐
2. 発表標題 正方格子反強磁性体における熱Hall効果とトポロジカル相転移
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 田中 克大, 桃井 勉, 堀田 知佐
2. 発表標題 幾何学的フラストレーションを持つ SU(4) 対称 Mott 絶縁体における電気分極の理論
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 堀田 知佐, 吉田 紘行
2. 発表標題 S=3/2 breathing kagomeにおける quantum-classical spin liquid状態
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 田中 克大, 堀田 知佐
2. 発表標題 2次元S = 1ダイマーダンベル模型の磁気状態の解析, 日本物理学会第74回年次大会
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 光元 亨次, 堀田 知佐, 吉野 元
2. 発表標題 パイロクロア格子上反強磁性Heisenberg模型における動的Jahn-Teller歪みの効果
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 川野 雅敬, 堀田 知佐
2. 発表標題 二次元反強磁性体の対称性とBerry曲率
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 堀田 知佐
2. 発表標題 Spin singlet相と隣接するspin nematicsの実現
3. 学会等名 物性研短期研究会「量子多体効果が生み出す液晶的電子状態」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Xavier Plat, 桃井勉, 堀田知佐
2. 発表標題 Magnetization plateau and supersolidity in the Heisenberg Kagome model
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 田中克大, 横山祐人, 堀田知佐
2. 発表標題 モット絶縁体における $S = 1$ biquadratic 相互作用の摂動論による評価
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 横山祐人, 堀田知佐
2. 発表標題 ダイマー系における多スピン交換に起因するネマティック固体・液体相
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 上田和正, 堀田知佐, 今田正俊
2. 発表標題 ボンドランダムネスのある三角格子上の横磁場イジングモデルの解析
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 井元隆史, Frank Pollmann, 堀田知佐,
2. 発表標題 ハミルトニアン <sup>1</sup> の空間変調を用いたMPSの最適化
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 堀田知佐, 浅野建一
2. 発表標題 フラストレートした量子スピン系の磁化率と比熱
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 川野雅敬, 小野瀬佳文, 堀田知佐
2. 発表標題 反転対称性の破れた反強磁性体のマグノン励起
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 遠藤寛之, 堀田知佐, 清水明
2. 発表標題 熱的量子純粋状態の外場応答を用いた量子多体状態の解析
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 Chisa Hotta
2. 発表標題 Spin nematics out of spin singlets
3. 学会等名 Novel Quantum States in Condensed Matter 2017 (国際学会)
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
---------	---------