

令和 2 年 5 月 26 日現在

機関番号：12701

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K17747

研究課題名(和文) 可解模型を起点とした強いスピン軌道相互作用がもたらす特異な量子状態の探求

研究課題名(英文) Study of exotic quantum states emergent from strong spin-orbit coupling on the basis of exactly solvable models

研究代表者

那須 譲治 (Nasu, Joji)

横浜国立大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：40610639

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、強いスピン軌道相互作用をもつ強相関電子系が示す新奇な量子現象を解明及び予言することを目的として研究を行った。電子相関とスピン軌道相互作用、そして軌道自由度のもつ異方性を等価に取り入れるため、本研究では、強相関極限の量子模型を出発点として、系統的な理論を展開した。その結果、以下の研究成果が得られた。

- 1) スピン・軌道の自由度を記述するKugel-Khomskii模型を考え、それにスピン軌道相互作用を導入したときの秩序状態の安定性を調べた。
- 2) 3軌道ハバード模型をもちいて、軌道が自発的に選択される超伝導状態の可能性を議論した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題では、強相関電子系における軌道自由度の果たす役割を明らかにするため、強相関極限を起点として、蜂の巣格子上の多軌道模型における量子スピン液体や3軌道ハバード模型における超伝導状態などの性質を明らかにした。有限温度における静的・動的性質に対して包括的かつ詳細な解析を行った。量子スピン液体や多軌道ハバード模型における超伝導は量子多体効果が顕著であり、解析することが困難であることが多いが、ここでは強相関極限の局在電子系の計算を平行して行うことで、その妥当性も議論していることに学術的な意義があると考えられる。

研究成果の概要(英文)：We studied strongly correlated electron systems with strong spin-orbit coupling to clarify exotic quantum phenomena emergent in these systems. It is generally difficult to take account of electron correlations, spin-orbit coupling, and anisotropy intrinsic in the orbital degree of freedom, on an equal footing. To overcome this difficulty, we started from the strong coupling limit and systematic calculations were performed. As the results, we obtained the following outcomes.

- 1) We consider the Kugel-Khomskii model describing the spin and orbital degrees of freedom and analyze the stability of ordered states in the presence of the spin-orbit coupling.
- 2) We discussed the possibility of a superconducting state with spontaneously orbital selection. In addition, we clarified the phase diagram including symmetry-broken states. We also discussed the validity of the results by introducing the effective model in the strong coupling limit.

研究分野：物性理論

キーワード：強相関電子系 スピン軌道相互作用

## 1. 研究開始当初の背景

物質における磁氣的性質を理解することは物性研究の基本課題のひとつであり、そのためには、電子スピンの代表される低エネルギー自由度とその間の相互作用を解明することが肝要である。

その舞台として、これまで電子間相互作用の強い 3d 電子系及び 4f・5f 電子を持つ重い電子系が、精力的に研究されてきた。一方で、年発展が著しいのがいわゆる 4d 及び 5d 電子系と呼ばれる物質群である。これらは、電子相関とスピン軌道相互作用の両方が強いという 3d 電子系と f 電子系の両方の性質を併せ持っている。

スピン軌道相互作用は、クラマース二重項や非クラマース一重項といった多彩な局在状態を提供する一方で、電子間相互作用はそれらの間の相互作用を生み出す。これらの協奏により、スピン液体や多極子状態、ワイル半金属など 4d 及び 5d 電子系特有の新奇な量子状態が、特に絶縁体相や金属絶縁体転移近傍において実現すると考えられている。このように多彩な量子状態が予想されているが、これまでの 4d 及び 5d 電子系の理論研究は、電子間相互作用やスピン軌道相互作用、軌道の異方性など複数の効果を同時に扱わなければならないという特性上、厳密な扱いが困難であり、個々の状態に応じた大胆な近似に頼らざるをえないのが現状であった。

その一方で、実験的には、元素置換によるスピン軌道相互作用や電子数の制御、ダブルペロブスカイトをはじめとする新しい物質合成が近年飛躍的に発展しており、それらを背景として、スピン軌道結合モット絶縁体で実現する新奇物性開拓が精力的になされている。その指針となる系統的な理論を早急に構築することが求められるが、そのためには近似に頼らない理論を出発点として研究を展開する必要がある。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、4d 及び 5d 電子系などの多軌道強相関電子系を舞台として、それらを記述する微視的模型を構築し、実現する量子状態を系統的に解明することである。

特に本研究では、3d 電子系において成功を収めている強相関極限からの摂動理論を用いることで、電子相関や軌道自由度とその異方性、及びスピン軌道相互作用を系統的に解析し、他の計算方法と並列して議論することで、その妥当性を担保した理論を展開する。

## 3. 研究の方法

本研究では、以下の 2 つについて主に研究を行った。1) 蜂の巣格子上の多軌道模型における量子スピン液体の安定性、2) 3 軌道ハバード模型における超伝導と新規秩序相の探索。1) においては、蜂の巣格子上において、スピン・軌道の自由度を記述する Kugel-Khomskii 模型にスピン軌道相互作用を導入した模型に対して、有限サイズクラスターにおける厳密対角化法を適用することで、そのスピン軌道状態を調べる。さらにスピン軌道相互作用の強い極限で実現するキタエフ模型との関係を調べる。2) においては、3 軌道ハバード

ド模型に対して、動的平均場理論を適用し、軌道自由度の存在に由来した新規な量子状態の探索を行う。また、強相関極限の有効模型を導出し、それを平均場理論によって解析することで、その妥当性を評価する。

#### 4. 研究成果

本研究では、強いスピン軌道相互作用をもつ強相関電子系が示す新奇な量子現象を解明及び予言することを目的として研究を行った。電子相関とスピン軌道相互作用、そして軌道自由度のもつ異方性を等価に取り入れることは、一般に困難であるが、本研究では、強相関極限の量子模型を出発点として、系統的な理論を展開した。

その結果、以下の研究成果が得られた。

- 1) 蜂の巣格子上において、スピンと軌道の自由度を記述する Kugel-Khomskii 模型を考え、それにスピン軌道相互作用を導入したときの秩序状態の安定性を調べ、量子スピン液体への変化を議論した。その結果、スピン軌道相互作用がないときに現れていた磁気秩序状態は、スピン軌道相互作用の導入に伴い消失していくことを見いだした。
- 2) 3 軌道ハバード模型をもちいて、軌道が自発的に選択される超伝導状態の可能性を議論した。また、その系における対称性の破れた状態を、動的平均場理論と連続時間量子モンテカルロ法を適用することで安定する量子状態を探索し、その相図を完成させた。さらに、強相関極限の有効模型を導出し、それに平均場近似を適用することで、秩序状態の安定性を議論した。その結果と動的平均場理論の結果とを比較することで、それらの妥当性を議論した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計25件（うち査読付論文 25件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Minakawa Tetsuya, Nasu Joji, Koga Akihisa	4. 巻 99
2. 論文標題 Quantum and classical behavior of spin-S Kitaev models in the anisotropic limit	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 104408
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1103/PhysRevB.99.104408">https://doi.org/10.1103/PhysRevB.99.104408</a>	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 Ishigaki Kosuke, Nasu Joji, Koga Akihisa, Hoshino Shintaro, Werner Philipp	4. 巻 99
2. 論文標題 Staggered ordered phases in the three-orbital Hubbard model	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 85131
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1103/PhysRevB.99.085131">https://doi.org/10.1103/PhysRevB.99.085131</a>	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 Ishigaki Kosuke, Nasu Joji, Koga Akihisa	4. 巻 88
2. 論文標題 Symmetry Breaking States in the Half-Filled Two-Orbital Hubbard Model with Crystalline Electric Field	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 024702 ~ 024702
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.7566/JPSJ.88.024702">https://doi.org/10.7566/JPSJ.88.024702</a>	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 Ishigaki Kosuke, Nasu Joji, Koga Akihisa, Hoshino Shintaro, Werner Philipp	4. 巻 98
2. 論文標題 Spontaneously orbital-selective superconductivity in a three-orbital Hubbard model	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 235120
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1103/PhysRevB.98.235120">https://doi.org/10.1103/PhysRevB.98.235120</a>	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 Nasu Joji, Kato Yasuyuki, Kamiya Yoshitomo, Motome Yukitoshi	4. 巻 98
2. 論文標題 Successive Majorana topological transitions driven by a magnetic field in the Kitaev model	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 60416
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1103/PhysRevB.98.060416">https://doi.org/10.1103/PhysRevB.98.060416</a>	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 Kasahara Y., Ohnishi T., Mizukami Y., Tanaka O., Ma Sixiao, Sugii K., Kurita N., Tanaka H., Nasu J., Motome Y., Shibauchi T., Matsuda Y.	4. 巻 559
2. 論文標題 Majorana quantization and half-integer thermal quantum Hall effect in a Kitaev spin liquid	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nature	6. 最初と最後の頁 227 ~ 231
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1038/s41586-018-0274-0">https://doi.org/10.1038/s41586-018-0274-0</a>	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 Naka Makoto, Mizoguchi Eriko, Nasu Joji, Ishihara Sumio	4. 巻 87
2. 論文標題 Magnetoelectric Effect in a Spin-State Transition System	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 063709 ~ 063709
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.7566/JPSJ.87.063709">https://doi.org/10.7566/JPSJ.87.063709</a>	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 Kasahara Y., Sugii K., Ohnishi T., Shimozawa M., Yamashita M., Kurita N., Tanaka H., Nasu J., Motome Y., Shibauchi T., Matsuda Y.	4. 巻 120
2. 論文標題 Unusual Thermal Hall Effect in a Kitaev Spin Liquid Candidate $\alpha$ -RuCl <sub>3</sub>	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 217205
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.120.217205">https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.120.217205</a>	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 Koga Akihisa, Tomishige Hiroyuki, Nasu Joji	4. 巻 87
2. 論文標題 Ground-state and Thermodynamic Properties of an S = 1 Kitaev Model	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 063703 ~ 063703
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="http://dx.doi.org/10.7566/JPSJ.87.063703">http://dx.doi.org/10.7566/JPSJ.87.063703</a>	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 Koga Akihisa, Nakauchi Shiryu, Nasu Joji	4. 巻 97
2. 論文標題 Role of spin-orbit coupling in the Kugel-Khomskii model on the honeycomb lattice	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 094427-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.97.094427	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 Shinzaki Ryu, Nasu Joji, Koga Akihisa	4. 巻 97
2. 論文標題 Charge Kondo effect and superconductivity in the Falikov-Kimball model with pair hopping	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 125130-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.97.125130	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 Tomishige Hiroyuki, Nasu Joji, Koga Akihisa	4. 巻 97
2. 論文標題 Interlayer coupling effect on a bilayer Kitaev model	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 094403-1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.97.094403	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 Kato Yasuyuki, Kamiya Yoshitomo, Nasu Joji, Motome Yukitoshi	4. 巻 96
2. 論文標題 Chiral spin liquids at finite temperature in a three-dimensional Kitaev model	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 174409-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.96.174409	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 Nasu Joji, Yoshitake Junki, Motome Yukitoshi	4. 巻 119
2. 論文標題 Thermal Transport in the Kitaev Model	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 127204-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.119.127204	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 Do Seung-Hwan, Park Sang-Youn, Yoshitake Junki, Nasu Joji, Motome Yukitoshi, Kwon Yong Seung, Adroja D. T., Voneshen D. J., Kim Kyoo, Jang T.-H., Park J.-H., Choi Kwang-Yong, Ji Sungdae	4. 巻 13
2. 論文標題 Majorana fermions in the Kitaev quantum spin system -RuCl <sub>3</sub>	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nature Physics	6. 最初と最後の頁 1079-1084
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/nphys4264	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 Yoshitake Junki, Nasu Joji, Motome Yukitoshi	4. 巻 96
2. 論文標題 Temperature evolution of spin dynamics in two- and three-dimensional Kitaev models: Influence of fluctuating Z <sub>2</sub> flux	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 064433-1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.96.064433	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 Yoshitake Junki, Nasu Joji, Kato Yasuyuki, Motome Yukitoshi	4. 巻 96
2. 論文標題 Majorana dynamical mean-field study of spin dynamics at finite temperatures in the honeycomb Kitaev model	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 024438-1-21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.96.024438	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 J. Nasu, T. Watanabe, M. Naka, and S. Ishihara	4. 巻 93
2. 論文標題 Phase diagram and collective excitation in excitonic insulator: from the orbital physics viewpoint	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 205136-1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.93.205136	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 J. Nasu, J. Knolle, D. L. Kovrizhin, Y. Motome, R. Moessner	4. 巻 12
2. 論文標題 Fermionic response from fractionalization in an insulating two-dimensional magnet	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Nature Physics	6. 最初と最後の頁 912-915
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/nphys3809	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 S. Kojima, J. Nasu, and A. Koga	4. 巻 94
2. 論文標題 Phase transitions in the Hubbard model for the bismuth nickelate	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 045103-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.94.045103	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. Tatsuno, E. Mizoguchi, J. Nasu, M. Naka, S. Ishihara	4. 巻 85
2. 論文標題 Magnetic Field Effects in a Correlated Electron System with Spin-State Degree of Freedom - Implication of an Excitonic Insulator-	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 083706-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.85.083706	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 J. Yoshitake, J. Nasu, and Y. Motome	4. 巻 117
2. 論文標題 Fractional Spin Fluctuation as a Precursor of Quantum Spin Liquids: Majorana Dynamical Mean-Field Study for the Kitaev Model	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 157203-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.117.157203	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. Shinzaki, J. Nasu, and A. Koga	4. 巻 85
2. 論文標題 Magnetic Response and Valence Fluctuations in the Extended Anderson Lattice Model with Quasiperiodicity	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 114706-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.85.114706	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 J. Nasu, Y. Kato, J. Yoshitake, Y. Kamiya, Y. Motome	4. 巻 118
2. 論文標題 Spin-Liquid-to-Spin-Liquid Transition in Kitaev Magnets Driven by Fractionalization	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 137203-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.118.137203	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. Shinzaki, J. Nasu, and A. Koga	4. 巻 809
2. 論文標題 Cluster Size Effects on Electronic Reconstruction in Quasiperiodic System	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012022-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/809/1/012022	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31件 (うち招待講演 12件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 那須讓治, 求幸年
2. 発表標題 Kitaev模型における磁場中スピンドYNAMICS
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 J. Nasu, Y. Motome
2. 発表標題 Non-equilibrium dynamics by field quench in Kitaev model
3. 学会等名 Symposium: Topological Phases and Functionality of Correlated Electron Systems
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 那須讓治
2. 発表標題 Kitaev模型における磁場効果
3. 学会等名 第4回TMS領域研究会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 那須謙治
2. 発表標題 Kitaev量子スピン液体におけるマヨラナ準粒子
3. 学会等名 那須謙治 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 那須謙治, 中惇, 石原純夫
2. 発表標題 励起子絶縁体におけるスピンネマティック揺らぎの効果
3. 学会等名 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 那須謙治
2. 発表標題 Kitaevスピン液体の有限温度ダイナミクスと輸送現象
3. 学会等名 基研研究会「スピン系物理の最前線」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Joji Nasu
2. 発表標題 Majorana topological transition driven by a magnetic field in the Kitaev model
3. 学会等名 TMS-PKU 2nd Alliance Workshop: "Topological Materials and Quantum Materials" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 那須謙治
2. 発表標題 Dynamical and transport properties in Kitaev spin liquids
3. 学会等名 TMS-EPiQS 2nd Alliance Workshop: Topological magnets and topological superconductors (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 那須謙治
2. 発表標題 Thermal transport in the Kitaev model
3. 学会等名 Novel Quantum States in Condensed Matter 2017 (NQS2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 那須謙治
2. 発表標題 Thermal transport by emergent Majorana fermions in the Kitaev model
3. 学会等名 Junjiro Kanamori, Memorial International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 那須謙治
2. 発表標題 Thermal transport in the Kitaev model
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 那須謙治
2. 発表標題 Thermal transport in the Kitaev model
3. 学会等名 International Conference on Topological Materials Science (TopoMat2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 那須謙治
2. 発表標題 スピン軌道相互作用のある強相関励起子絶縁体に対する磁場効果
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 那須謙治
2. 発表標題 Kitaev模型における熱伝導現象
3. 学会等名 第二回 量子スピン液体研究の新展開 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 那須謙治
2. 発表標題 Kitaevスピン液体は本当に存在するのか?
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 那須謙治
2. 発表標題 スピン状態自由度を有する強相関励起子相におけるスピン軌道相互作用の効果
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 那須謙治
2. 発表標題 Kitaevスピン液体に対する磁場効果
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 那須謙治
2. 発表標題 Kitaevスピン液体の熱的性質とそのダイナミクス
3. 学会等名 京都大学基礎物理学研究所・研究会「熱場の量子論とその応用」(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 J. Nasu, J. Yoshitake, Y. Motome
2. 発表標題 Thermal transport in the Kitaev model
3. 学会等名 Correlated Electron Systems (TPFC2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 J. Nasu, J. Knolle, D. L. Kovrizhin, Y. Motome, R. Moessner
2. 発表標題 Finite-temperature dynamics of emergent Majorana fermions in quantum spin liquids
3. 学会等名 EPIQS-TMS Trans-Pacific Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 J. Nasu, J. Knolle, D. L. Kovrizhin, Y. Motome, R. Moessner
2. 発表標題 Fermionic response from fractionalization in quantum spin liquids
3. 学会等名 8th International Conference on Highly Frustrated Magnetism 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 那須謙治, 吉竹純基, 求幸年
2. 発表標題 キタエフ模型における熱輸送現象
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 那須謙治
2. 発表標題 量子スピン液体の熱力学的性質とダイナミクスの理論的解明
3. 学会等名 日本物理学会, 第72回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 那須謙治, 吉竹純基, 求幸年
2. 発表標題 キタエフ模型における磁場下での熱ホール効果
3. 学会等名 第2回TMS領域研究会(TMS2016) (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 那須謙治, Johannes Knolle, Dmitry Kovrizhin, 求幸年, Roderich Moessner
2. 発表標題 キタエフ模型における分数化に由来したフェルミ励起: $-RuCl_3$ におけるラマン散乱実験との比較
3. 学会等名 日本物理学会, 2016年秋季大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 那須謙治, 求幸年
2. 発表標題 キタエフ模型の磁場下での熱ホール効果
3. 学会等名 日本物理学会, 2016年秋季大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 那須謙治, 中惇, 石原純夫
2. 発表標題 スピン状態自由度を持つ強相関模型における励起子絶縁体相とフラストレーション
3. 学会等名 日本物理学会, 2016年秋季大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 那須謙治
2. 発表標題 量子スピン液体の有限温度ダイナミクスと分数励起
3. 学会等名 平成28年度物性研究所短期研究会 パイ電子系物性科学の最前線（招待講演）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 那須謙治
2. 発表標題 キタエフ模型の有限温度ダイナミクスと分数励起
3. 学会等名 第一回 量子スピン液体研究の新展開（招待講演）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 那須謙治, 辰野太郎, 中惇, 石原純夫
2. 発表標題 スピン状態自由度を持つ強相関模型における磁場誘起励起子絶縁体状態
3. 学会等名 物性研究所短期研究会「強磁場コラボラトリー、国際協力と強磁場科学の将来」
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 那須謙治
2. 発表標題 量子スピン系に内在するマヨラナダイナミクスとそのトポロジー
3. 学会等名 新学術領域「トポロジーが紡ぐ物質科学のフロンティア」公募班キックオフミーティング
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
--	---------------------------	-----------------------	----