

令和 6 年 6 月 3 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01793

研究課題名（和文）キタエフ量子スピン液体物質におけるトポロジカル量子数の決定と新奇電子相の探索

研究課題名（英文）Determination of topological quantum numbers and search for novel electronic phases in Kitaev quantum spin liquid materials

研究代表者

橋本 顕一郎 (Hashimoto, Kenichiro)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・准教授

研究者番号：00634982

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、キタエフ量子スピン液体の候補物質である  $-RuCl_3$  において、比熱測定を通じて、マヨラナ粒子の存在を徹底的に検証し、さらに不純物に対してその安定性を明らかにすることを目的とする。そのために、マヨラナギャップの有無を規定するチャーン数(トポロジカル不変量)を比熱を通じて実験的に検出する手法を確立し、また、電子線照射により人工的な点欠陥を導入した試料において、比熱測定を行う。本研究により、キタエフ量子スピン液体におけるマヨラナ粒子の理解を飛躍的に向上させる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

マヨラナ粒子は、「粒子」と「反粒子」が同一という性質をもった中性のフェルミ粒子であり、近年になって、トポロジカル超伝導体のエッジや超伝導渦糸などにおいて、物質中の準粒子として存在しうることが分かり、トポロジカル量子計算への応用の可能性を秘めていることから、大きな注目を集めている。本研究では、キタエフ量子スピン液体の候補物質である  $-RuCl_3$  に対して磁場角度比熱測定を行い、マヨラナ粒子の存在を示す強い熱力学的証拠を得た。本研究成果により、今後、キタエフ量子スピン液体におけるマヨラナ粒子の理解が飛躍的に向上することが期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, we aim to thoroughly verify the existence of Majorana fermions in  $-RuCl_3$ , a prime candidate for Kitaev quantum spin liquids, through specific heat measurements, and to clarify its stability against impurities. For this purpose, we will establish a method to experimentally detect the Chahn number (topological invariant), which determines the presence or absence of the Majorana gap, through specific heat measurements. We will also perform specific heat measurements on samples in which artificial point defects have been introduced by electron irradiation. This study will dramatically improve our understanding of the Mayorana fermions in Kitaev quantum spin liquids.

研究分野：低温物性

キーワード：量子スピン液体 キタエフスピン液体 マヨラナ粒子 マヨラナギャップ 比熱

### 1. 研究開始当初の背景

マヨラナ粒子は、「粒子」と「反粒子」が同一であるという性質をもった中性のフェルミ粒子であり、もともとは素粒子の分野でその存在が予言され、ニュートリノがマヨラナ粒子の候補と考えられている。ところが近年になって、マヨラナ粒子がトポロジカル超伝導体のエッジや超伝導渦糸などにおいて、物質中の準粒子として存在しうる可能性が指摘され、さらにトポロジカル量子計算への応用の可能性を秘めていることから、大きな注目を集めている。これまでにマヨラナ粒子を観測したという報告例は超伝導体/半導体ナノワイヤの接合系やトポロジカル超伝導体の渦糸などではあるものの、決定的な証拠は得られておらず、大きな論争が続いている。

このような背景の中、近年、キタエフ量子スピン液体が大きな注目を集めている。アレクセイ・キタエフが2006年に提案した二次元ハニカム格子上に置かれ  $S = 1/2$  スピン系では、互いに直交した3つのイジング相互作用(キタエフ相互作用)が存在するときに、基底状態が厳密解として量子スピン液体状態(キタエフ量子スピン液体状態)になる。このとき、電子スピンは2つのマヨラナ粒子に分数化する。実際に最近、キタエフ量子スピン液体の候補物質である  $\alpha$ - $\text{RuCl}_3$  において、半整数熱量子ホール効果が観測され、通常のフェルミオンの半分の自由度を持ったマヨラナ粒子の存在を示唆する実験結果として大きな注目を集めている[Y. Kasahara *et al.*, *Nature* **559**, 227 (2018)]。

しかしながら、 $\alpha$ - $\text{RuCl}_3$  において観測された半整数熱量子ホール効果は試料依存性が大きく、さらにトポロジカルマグノンによって実験結果を説明できるという提案[P. Czajka *et al.*, *Nat. Mater.* **22**, 36- (2023)]もなされており、 $\alpha$ - $\text{RuCl}_3$  において、本当にマヨラナ粒子が存在しているのか? という点が大きな論争となっていた。

### 2. 研究の目的

本研究では、キタエフ量子スピン液体の候補物質である  $\alpha$ - $\text{RuCl}_3$  において、比熱測定を通じて、マヨラナ粒子の存在を徹底的に検証し、さらに不純物に対してその安定性を明らかにすることを目的とする。本研究により、キタエフ量子スピン液体におけるマヨラナ粒子の理解を飛躍的に向上させる。

### 3. 研究の方法

本研究では、キタエフ量子スピン液体物質  $\alpha$ - $\text{RuCl}_3$  におけるマヨラナ粒子の存在の徹底的な検証とその安定性の解明を試みる。そのために、マヨラナギャップの有無を規定するチャーン数(トポロジカル不変量)を比熱などの熱力学量測定を通じて実験的に検出する手法を確立する。

### 4. 研究成果

(1) キタエフスピン液体相では、磁場を二次ハニカム格子面内で回転させると、チャーン数が3回振動を示す(図1(a))。それに伴い、マヨラナギャップも特徴的な6回振動を示す(図1(b))。そこで、 $\alpha$ - $\text{RuCl}_3$  において、ヘリウム3冷凍機と一軸回転機構を組み合わせ、磁場印加方向を二次ハニカム格子面内で回転させながら比熱測定を行い、比熱がキタエフモデルに特徴的な6回振動を示すことを明らかにした(図1(c))[O. Tanaka *et al.*, *Nat. Phys.* **18**, 429 (2022)]。このとき、磁場を  $a$  軸方向に印加すると、マヨラナギャップにより、比熱が熱活性型になる一方で、磁場を  $b$  軸方向に印加すると、ディラック分散により、ギャップレスな温度依存性を示すことを明らかにした(図1(d))。

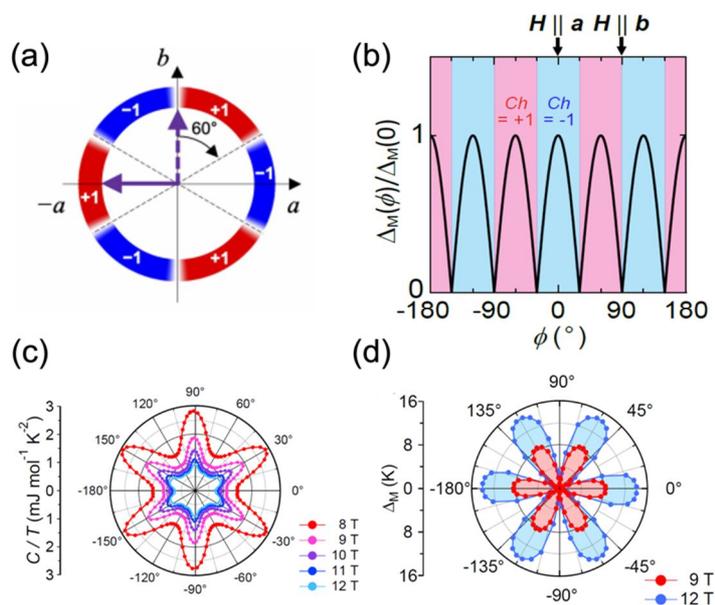


図 1

(2) 無冷媒希釈冷凍機と二軸回転機構を組み合わせ、磁場を  $b$  軸方向に  $0.1$  度の精度で合わせて、 $0.2$  K まで  $-\text{RuCl}_3$  の比熱測定を行い、磁場を  $b$  軸に印加すると、Kitaefモデルで期待される通り、ギャップレスな分散が実現していることを明らかにした(図 2(c))[K. Imamura *et al.*, *Sci. Adv.* **10**, eadk3539 (2024)]。トポロジカルマグノンの場合、ボゾン励起であるため、 $b$  軸方向での励起はギャップを持つことになる(図 2(b))。したがって、本結果は、 $-\text{RuCl}_3$  において、マヨラナフェルミオンによる励起(図 2(a))が存在していることを示している。

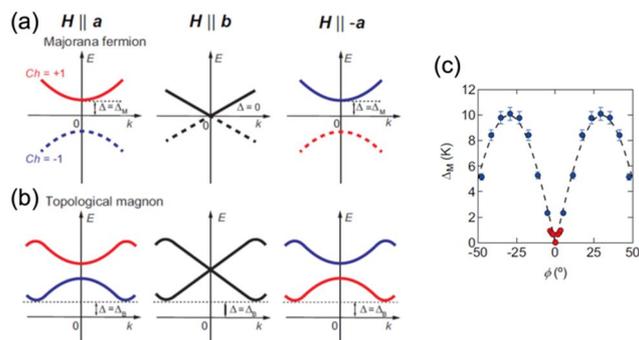


図 2

(3)  $-\text{RuCl}_3$  では、半整数熱量子ホール効果の観測に、大きな試料依存性があることが知られている。そこで、 $\alpha\text{-RuCl}_3$  に対して、電子線照射により人工的な点欠陥を導入した試料において、比熱測定を行なった[K. Imamura *et al.*, *Phys. Rev. X* **14**, 011045 (2024)]。まず、電子線照射によって、反強磁性転移温度が  $5$  K 程度まで抑制されることが分かった。さらに、 $a$  軸方向に磁場を印加して比熱測定を行なった結果、元々未照射試料では、マヨラナギャップが存在するため熱活性化型の温度依存性を示していたが、電子線照射によって、ギャップレスな励起が付加的に加わることが明らかになった。このギャップレスな励起はボンド乱れによって、マヨラナ粒子のアンダーソン局在が生じるという理論計算の結果とコンシステントである[M. G. Yamada, *npjQuantum* **5**, 82 (2022)]。また、比熱のスケールリングからサイト欠陥がある場合に期待されるマヨラナギャップの磁場依存性[W-H. Kao *et al.*, *PRX* **11**, 011034 (2021)]が実験でも観測されることがわかった。これらの結果は、 $\alpha\text{-RuCl}_3$  において、不純物効果の観点から、マヨラナ粒子が存在していることを強く示唆する結果である。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 6件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Ishida Kousuke, Onishi Yugo, Tsujii Masaya, Mukasa Kiyotaka, Qiu Mingwei, Saito Mikihiro, Sugimura Yuichi, Matsuura Kohei, Mizukami Yuta, Hashimoto Kenichiro, Shibauchi Takasada	4. 巻 119
2. 論文標題 Pure nematic quantum critical point accompanied by a superconducting dome	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences	6. 最初と最後の頁 e2110501119-1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1073/pnas.2110501119	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 Thomas Tatjana, Thyzel Tim, Sun Hungwei, Muller Jens, Hashimoto Kenichiro, Sasaki Takahiko, Yamamoto Hiroshi M.	4. 巻 105
2. 論文標題 Comparison of the charge-crystal and charge-glass state in geometrically frustrated organic conductors studied by fluctuation spectroscopy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 205111-1-12
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevB.105.205111	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 Hashimoto Kenichiro, Kobayashi Ryota, Ohkura Satoshi, Sasaki Satoru, Yoneyama Naoki, Suda Masayuki, Yamamoto Hiroshi M., Sasaki Takahiko	4. 巻 12
2. 論文標題 Optical Conductivity Spectra of Charge-Crystal and Charge-Glass States in a Series of -Type BEDT-TTF Compounds	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Crystals	6. 最初と最後の頁 831-1-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/cryst12060831	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 Roppongi M., Ishihara K., Tanaka Y., Ogawa K., Okada K., Liu S., Mukasa K., Mizukami Y., Uwatoko Y., Grasset R., Konczykowski M., Ortiz B. R., Wilson S. D., Hashimoto K., Shibauchi T.	4. 巻 14
2. 論文標題 Bulk evidence of anisotropic s-wave pairing with no sign change in the kagome superconductor CsV <sub>3</sub> Sb <sub>5</sub>	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 667-1-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41467-023-36273-x	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 Watanabe Yoshito, Miyake Atsushi, Gen Masaki, Mizukami Yuta, Hashimoto Kenichiro, Shibauchi Takasada, Ikeda Akihiko, Tokunaga Masashi, Kurumaji Takashi, Tokunaga Yusuke, Arima Taka-hisa	4. 巻 14
2. 論文標題 Double dome structure of the Bose-Einstein condensation in diluted S=3/2 quantum magnets	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 1260-1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-023-36725-4	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 Uji Shinya, Terashima Taichi, Sugiura Shiori, Iguchi Satoshi, Sasaki Takahiko, Hashimoto Kenichiro, Shimozawa Masaaki, Yoneyama Naoki, Kato Reizo	4. 巻 90
2. 論文標題 Magnetic Torque due to Anisotropic Diamagnetism in Neutral BEDT-TTF Crystals	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 113708
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.90.113708	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 Ishihara K., Takenaka T., Miao Y., Mizukami Y., Hashimoto K., Yamashita M., Konczykowski M., Masuki R., Hirayama M., Nomoto T., Arita R., Pavlosiuk O., Wisniewski P., Kaczorowski D., Shibauchi T.	4. 巻 11
2. 論文標題 Tuning the Parity Mixing of Singlet-Septet Pairing in a Half-Heusler Superconductor	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review X	6. 最初と最後の頁 41048
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevX.11.041048	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 Thomas Tatjana, Saito Yohei, Agarmani Yassine, Thyzel Tim, Lonsky Martin, Hashimoto Kenichiro, Sasaki Takahiko, Lang Michael, Muller Jens	4. 巻 105
2. 論文標題 Involvement of structural dynamics in charge-glass formation in strongly frustrated molecular metals	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 41114
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.105.L041114	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 Tanaka O., Mizukami Y., Harasawa R., Hashimoto K., Hwang K., Kurita N., Tanaka H., Fujimoto S., Matsuda Y., Moon E.-G., Shibauchi T.	4. 巻 18
2. 論文標題 Thermodynamic evidence for a field-angle-dependent Majorana gap in a Kitaev spin liquid	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature Physics	6. 最初と最後の頁 429 ~ 435
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41567-021-01488-6	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

〔学会発表〕 計25件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 K. Hashimoto
2. 発表標題 Randomness effect on charge glass formation in -type BEDT-TTF compounds
3. 学会等名 SPICE Workshop “New Spin on Molecular Quantum Materials” (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 橋本顕一郎
2. 発表標題 新規力ゴメ格子超伝導体CsV3Sb5における符号反転のないIs波超伝導
3. 学会等名 京都大学基礎物理学研究所研究会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 橋本顕一郎
2. 発表標題 Superconductivity in copper-based MOFs
3. 学会等名 日本物理学会2023年春季大会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 橋本顕一郎
2. 発表標題 二次元カゴメ格子をもつ配位高分子における強相関超伝導
3. 学会等名 分子性固体オンラインセミナー(オンライン)(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 橋本顕一郎
2. 発表標題 二次元配位高分子における強相関超伝導
3. 学会等名 日本学術振興会181委員会 第37回研究会(オンライン)(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 橋本顕一郎
2. 発表標題 カゴメ格子系超伝導の超伝導ギャップ構造
3. 学会等名 京都大学基礎物理学研究所研究会「非自明な電子状態が生み出す超伝導現象の最前線：新たな挑戦と展望」(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡辺義人, 三宅厚志, 巖正輝, 池田暁彦, 徳永将史, 水上雄太, 橋本顕一郎, 芝内孝禎, 車地崇, 徳永祐介, 有馬孝尚
2. 発表標題 S=3/2希釈量子スピン系Ba <sub>2</sub> Co <sub>1-x</sub> Zn <sub>x</sub> Ge <sub>2</sub> O <sub>7</sub> における二つのポーズアインシュタイン凝縮相
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 北山元晴, 出倉駿, 藤野智子, 上田顕, 郷地順, 上床美也, 今城周作, 金道浩一, 浅井晋一郎, 益田隆嗣, 橋本顕一郎, 田嶋尚也, 森初果
2. 発表標題 電子-プロトン相関型分子性導体 $\text{-H}_3(\text{Cat-EDT-ST})_2$ における静水圧力および一軸性圧縮下電気抵抗測定
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川村泰喜, 橋本顕一郎, 吉見一慶, 石川学, 中野義明, 大塚晃弘, 矢持秀起, 春木理恵, 熊井玲児, 足立伸一, 小林晃人
2. 発表標題 第一原理計算による有機導体(ED0-TTF-I)2ClO4の電子状態の解析
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 今村薫平, 水上雄太, 吉田悠生, 橋本顕一郎, 田中桜平, 原澤龍平, 栗田伸之, 田中秀数, 藤本聡, 山田昌彦, 村山陽奈子, 笠原裕一, 松田祐司, E. G. Moon, 芝内孝禎
2. 発表標題 極低温下でのキタエフ候補物質 $\text{-RuCl}_3$ の磁場角度分解比熱測定
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 S. Fang, 水上雄太, 橋本顕一郎, 石井梨恵子, 矢島健, 廣井善二, 芝内孝禎
2. 発表標題 Kitaev候補物質 $\text{Na}_2\text{Co}_2\text{TeO}_6$ の単結晶作製と磁場中比熱測定
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大西朝登, 影山遥一, Cedric Bareille, 谷内敏之, 石田茂之, 水上雄太, 橋本顕一郎, 永崎洋, 辛埴, 芝内孝禎
2. 発表標題 レーザー励起光電子顕微鏡によるBaFe <sub>2</sub> As <sub>2</sub> およびFe(Se, S)のネマティックドメインの観察
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石原滉大, 六本木雅生, 小林雅之, 水上雄太, 酒井宏典, 芳賀芳範, 橋本顕一郎, 芝内孝禎
2. 発表標題 UTe <sub>2</sub> における異方的準粒子励起とカイラル超伝導状態の検証
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 劉蘇鵬, 六本木雅生, 田中優之介, 向笠清隆, M. Konczykowski, Brenden R. Ortiz, Stephen D. Wilson, 水上雄太, 上床美也, 橋本顕一郎, 芝内孝禎
2. 発表標題 電子線照射により不純物を導入した新奇カゴメ金属CsV <sub>3</sub> Sb <sub>5</sub> における輸送特性評価
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 六本木雅生, 石原滉大, 小河弘樹, M. Konczykowski, Brenden R. Ortiz, Stephen D. Wilson, 水上雄太, 橋本顕一郎, 芝内孝禎
2. 発表標題 不純物効果から見たカゴメ格子系超伝導体CsV <sub>3</sub> Sb <sub>5</sub> の超伝導対称性
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加藤啓輔, 松浦康平, 不破麻里亜, 六本木雅生, 橋本顕一郎, 芝内孝禎, 宇佐見康二, 中村泰信
2. 発表標題 高Q値誘電体マイクロ波共振器を用いた強磁性マグノンとマイクロ波光子の強結合の観測
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡辺義人, 水上雄太, 橋本顕一郎, 芝内孝禎, 車地崇, 徳永祐介, 有馬孝尚
2. 発表標題 希釈磁性体Ba <sub>2</sub> Co <sub>1-x</sub> Zn <sub>x</sub> Ge <sub>2</sub> O <sub>7</sub> の磁場誘起相転移と電気磁気効果
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林雅之, 石原滉大, 六本木雅生, 水上雄太, 山田高広, 平井大悟郎, 山根久典, 広井善二, 橋本顕一郎, 芝内孝禎
2. 発表標題 ノーダルライン半金属超伝導体NaAlSiの磁場侵入長測定
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 六本木雅生, 石原滉大, 水上雄太, 星和久, 水口佳一, 池田浩章, 橋本顕一郎, 芝内孝禎
2. 発表標題 La <sub>01-x</sub> FxBiSSeにおける超伝導ギャップ構造
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鶴飼柚希, 下邨真輝, 末次祥大, 笠原裕一, 浅場智也, 村山陽奈子, 栗田伸之, 田中秀数, 橋本顕一郎, 水上雄太, 芝内孝禎, 松田祐司
2. 発表標題 Kitaevスピン液体候補物質 -RuCl <sub>3</sub> における量子相転移の観測
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 下邨真輝, 鶴飼柚希, 末次祥大, 笠原裕一, 浅場智也, 村山陽奈子, 栗田伸之, 田中秀数, 橋本顕一郎, 水上雄太, 芝内孝禎, 松田祐司
2. 発表標題 Kitaevスピン液体候補物質 -RuCl <sub>3</sub> の磁場中熱伝導測定
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 水上雄太, 斎藤三樹彦, M. Qiu, 杉村優一, 松浦康平, 橋本顕一郎, 芝内孝禎
2. 発表標題 Fe(Se,Te)の微小単結晶における精密比熱測定
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 向笠清隆, 石田浩祐, 岡田昂, 松浦康平, 杉村優一, M. Qiu, 斎藤三樹彦, 水上雄太, 橋本顕一郎, 大塚匠, 渡辺孝夫, 郷地順, 上床美也, 芝内孝禎
2. 発表標題 鉄系超伝導体FeSe <sub>1-x</sub> Texにおける磁気輸送特性の圧力効果
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 影山遥一, 大西朝登, 石田浩介, Cedric Bareille, 水上雄太, 谷内敏之, 橋本顕一郎, 石田茂之, 永崎洋, 辛埴, 芝内孝禎
2. 発表標題 レーザー励起光電子顕微鏡による(Ba,Na)Fe <sub>2</sub> As <sub>2</sub> のネマティックドメインの観察
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡田昂, 向笠清隆, 石田浩祐, 辻井優哉, 松浦康平, 水上雄太, 橋本顕一郎, 石田茂之, 伊豫彰, 永崎洋, 郷地順, 上床美也, 芝内孝禎
2. 発表標題 鉄系超伝導体Ba <sub>1-x</sub> RbxFe <sub>2</sub> As <sub>2</sub> の圧力下電子相図
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

芝内・橋本研究室HP <a href="http://qpm.k.u-tokyo.ac.jp/index.html">http://qpm.k.u-tokyo.ac.jp/index.html</a>
---

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	須田 理行  (Suda Masayuki)  (80585159)	京都大学・工学研究科・准教授    (14301)	

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	エコール・ポリテクニーク			
韓国	KAIST, Korea			