

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 8 日現在

機関番号：32641

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01161

研究課題名(和文) 磁場角度分解エントロピー測定装置の開発とフラストレート磁性体への応用

研究課題名(英文) Development of apparatus for measuring field-angle-resolved entropy and its application to frustrated magnetic materials

研究代表者

橋高 俊一郎 (Kittaka, Shunichiro)

中央大学・理工学部・准教授

研究者番号：80579805

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)：磁場回転や磁場掃引に伴う磁気熱量効果を極低温・準断熱環境下で精密測定できる熱量計を開発し、エントロピーの磁場角度依存性を従来よりも高速かつ高分解能に測定することに成功した。この装置を用いて、スピンアイス物質 $\text{Dy}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ の磁場角度分解エントロピー測定を行い、スピンフリップ転移の角度依存性の可視化に成功した。また、擬カゴメ近藤格子 CeRhSn の磁場角度分解エントロピー測定を行い、擬カゴメ格子面からごく狭い磁場角度範囲で高磁場まで非フェルミ液体的性質が保たれることを見出した。開発した装置は、強い異方性を持つ多極子伝導体や非従来型超伝導体など、他の研究にも応用し、新たな研究課題の開拓にも繋がった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

エントロピーは系の縮重度を反映する基礎的な熱力学量である。本研究では、準断熱環境下で磁場回転に伴う試料の温度変化を精密に測定できる装置を開発し、従来の手法に比べて高速かつ精密にエントロピーの磁場角度変化を調べることが可能にした。これにより、異方性の大きな系で発現する新奇物性機構に迫る新たな実験手法を確立することができた。本装置を用いればエントロピーの温度-磁場-磁場角度マップを作成することができ、特定の磁場方位で観測される新奇現象の探究と解明に取り組むことが可能である。実際に、フラストレート磁性体や多極子伝導系の研究に応用し、物性機構の解明に貢献した。

研究成果の概要(英文)：We have developed an innovative experimental method to measure the field-angle dependence of the entropy by taking advantage of the field-rotational magnetocaloric effect. By using this technique, we made the field-angle-resolved entropy landscape and succeeded in detecting the well-known spin-flip transition in the spin-ice compound $\text{Dy}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ under a rotating magnetic field within the (1-10) plane. We also studied the quasi-kagome Kondo lattice CeRhSn and revealed that the high-entropy state survives up to a relatively high magnetic field when the field is applied precisely along the quasi-kagome plane. Thus, we have established a new experimental technique which is useful to investigate various phenomena in anisotropic systems.

研究分野：物性物理

キーワード：エントロピー 比熱 磁気熱量効果 磁場回転 フラストレート磁性体

1. 研究開始当初の背景

結晶構造の幾何学的特徴のためにスピンの安定配置を系全体では満たせないフラストレートした磁性体では、しばしば新奇な基底状態が実現する。中でも、スピンアイスの状態を示すパイロクロア格子磁性体 $A_2B_2O_7$ は、磁気モノポールや Kasteleyn 転移の実験的検証を行える数少ない舞台の一つである。基底状態である 2-in,2-out のスピンアイス状態は巨視的な残留エントロピーを持ち、その縮退度を利用した位相欠陥が磁気モノポールとして振る舞う可能性が指摘されている。さらに、磁場下では方位によって異なるスピン配置をとりながら巨視的な縮退が解かれ、111 軸方向では部分的に縮退を解いたカゴメアイス状態が実現する。また、111 軸方向から僅かに磁場を傾けることで線欠陥による低縮退度のスピンアイス状態に相転移することが予言されている (Kasteleyn 転移)。以上のように、磁場方位はフラストレート磁性体の基底状態を有効に制御するパラメータである。一方で、基底状態の縮退度を直接反映するエントロピーや準粒子励起に敏感なプローブである比熱の磁場角度依存性を詳細に調べた前例は少なく、磁場方位精密制御下での測定技術の発展が必要であった。

2. 研究の目的

本研究では、準断熱環境下で磁場回転に伴う試料の温度変化を精密に測定できる装置を開発し、高速かつ精密に磁場角度分解エントロピー測定を行える技術を確認することを目的とする。さらに、開発した装置を用いて磁場方位を精密制御しながらフラストレート磁性体や強相関電子系の比熱・エントロピー測定を行い、新奇な基底状態の観測と解明を目指す。

3. 研究の方法

一般に、エントロピー S は比熱 C の温度依存性を積分する方法で求めることができる。しかしながら、磁場角度 ϕ_H に対する変化まで高分解能に調べるためには複数の磁場方位で比熱の温度依存性を測定する必要があり、測定に膨大な時間を要するため効率的でない。そこで本研究では、新たな手法で $S(\phi_H)$ を精密測定する。具体的には、 $C(\phi_H)$ に加えて、磁場回転時に生じる試料の吸熱・放熱を精密測定し、熱力学関係式から導いた以下の式(1)に代入してエントロピーの磁場角度変化を求める。

$$\left(\frac{\partial S}{\partial \phi_H} \right)_{T,H} = -\frac{C}{T} \left(\frac{\partial T}{\partial \phi_H} \right)_{S,H} \quad (1)$$

磁場掃引時の磁気熱量効果 (dT/dH) も測定して、 $S(H, \phi_H)$ 相図を作成する。本手法では、磁場回転・掃引時の試料温度の精密測定が鍵となる。冷凍機内部で試料を回転させると機械的な発熱が避けられないため、磁場回転はスプリット型マグネットに対して冷凍機

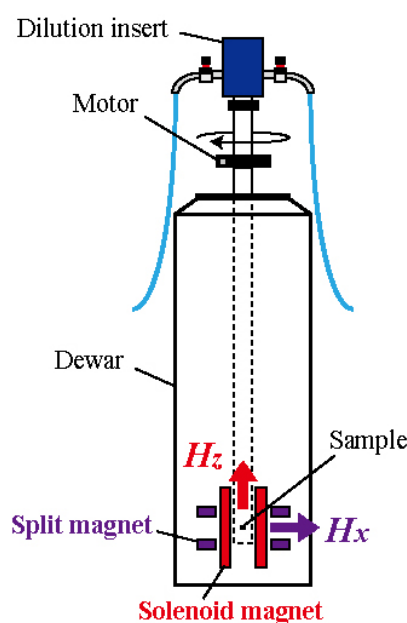


図 1: 磁場角度回転装置の模式図。

を回転させる方法で行う(図 1)。Maxwell の関係式より、式(1)の左辺は磁場回転面内で試料に発生する磁気トルク τ_ϕ と $(\partial S / \partial \phi_H)_T = (\partial \tau_\phi / \partial T)_{\phi_H}$ の関係にある。すなわち、回転磁場下でエントロピーが大きく変化する際にはトルクの温度変化も大きいことを意味する。そこで、磁気トルクが発生する中でも低温・準断熱環境下で磁場回転・掃引時の磁気熱量効果を精密測定できる試料ステージを強固に固定した熱量計を新たに開発し(図 2)、図 1 に示す磁場角度回転装置と組み合わせ、比熱とエントロピーの磁場角度変化を測定する。

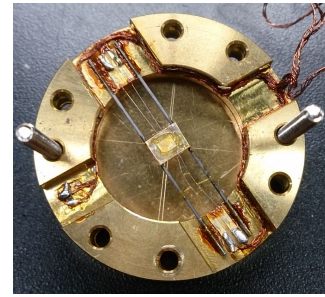


図 2: 本研究で開発した熱量計の一例。

4. 研究成果

本研究課題の主要な成果を以下に述べる。

I. 磁場回転に伴う磁気熱量効果を利用した磁場角度分解エントロピー測定法の開発

準断熱環境下で磁場回転や磁場掃引に伴う磁気熱量効果を精密測定できる熱量計を開発し、エントロピーの磁場角度依存性を従来よりも高速かつ高分解能に測定できる手法を確立した。ベンチマークとしてスピナイス物質 $Dy_2Ti_2O_7$ の磁場角度分解エントロピー測定を行った。その結果、高磁場領域において基底状態が 2-in,2-out から 3-in,1-out (1-in,3-out) に移り変わる磁場角度でエントロピーの増大を観測し、スピントリップ転移の角度依存性を高精度に検出することに成功した。測定結果がモンテカルロ数値計算結果とも良く一致する

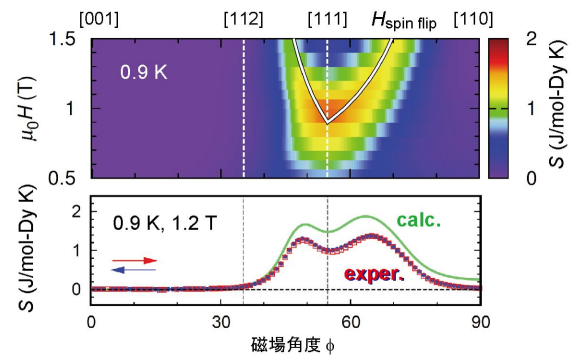


図 3: $Dy_2Ti_2O_7$ のエントロピー S の磁場 H - 磁場角度 ϕ 平面における等高線図(上)と 1.2 T における $S(\phi)$ (下)。実線は理論計算結果。

ことを示し(図 3)、装置開発および測定結果の詳細をまとめた論文は J. Phys. Soc. Jpn. 誌に公表した。

低磁場のスピナイス状態においては、磁場を 111 軸方向から 001 方向に向けて僅かに傾けると線欠陥タイプの励起に付随する相転移 (Kasteleyn 転移) が起こり、臨界角度 ϕ_c においてエントロピーが $S \propto (\phi - \phi_c)^{1/2}$ に従って消失することが予言されている。そこで、Kasteleyn 転移の観測を目指してスピナイス状態での磁場回転実験も行った。しかしながら、極低温・低磁場では $Dy_2Ti_2O_7$ が強い非平衡状態にあり、履歴現象に伴う発熱の影響でエントロピーの角度変化の測定および Kasteleyn 転移の検出は困難であることが判明した。

II. $PrTi_2Al_{20}$ の強四極子秩序における磁場方位効果

$PrTi_2Al_{20}$ は立方晶の非磁性 Γ_3 結晶場基底状態を持ち、 $T_Q = 2$ K で強四極子秩序状態に相転移する。最近、NMR 測定から [001] と [110] 方向において磁場誘起の 1 次相転移が発見され、高磁場で別の四極子秩序相が実現している可能性が指摘された。一方、[111] 方向の磁場下では磁場誘起の相転移は観測されず、 $PrTi_2Al_{20}$ の温度磁場相図は強い異方的を持つことが分かっている。本研究では、 $PrTi_2Al_{20}$ の異方的な四極子秩序相について磁場角度の効果を明確にするために、理論計算可能な熱

力学量である比熱とエントロピーの磁場角度変化を詳しく測定した。立方晶の[001], [111], [110]軸を含む(1-10)面内で磁場を回転させながら測定を行った結果、1 T 以上の磁場を[111]方向から僅かに傾けると T_Q での相転移がクロスオーバーに変化すること、[001]方向とは対照的に[110]方向では励起状態とのエネルギーギャップが低磁場領域では大きく変化しないことが分かった(図 4)。これらの特徴は、先行研究で提案された四極子間相互作用が異方的に磁場依存する模型を用いて理論計算から定性的に再現することができる。すなわち、異方的四極子間相互作用とゼーマン効果の拮抗が秩序変数の不連続な変化を生み出している可能性が高いことを示している。本研究成果をまとめた論文は J. Phys. Soc. Jpn.誌に公表した。

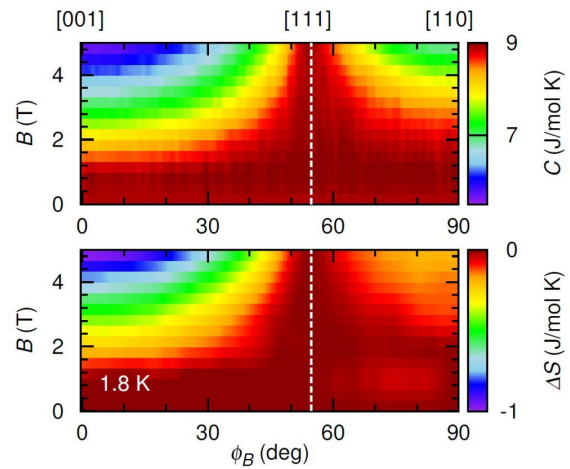


図 4: PrTi₂Al₂₀ の比熱 C (上)とエントロピーの相対変化 ΔS (下)の磁場 - 磁場角度等高線図。

III. 非フェルミ液体的性質を示す CeRhSn の磁場角度分解エントロピー相図

CeRhSn は Ce 原子が擬カゴメ格子を形成し、スピンの幾何学的フラストレーションが重要な役割を担う可能性が指摘されている。先行研究では、ゼロ磁場で非フェルミ液体的性質が報告されており、一般的な金属とは異なる電子状態にあることが判明している。この非フェルミ液体的性質は方位によらず磁場に対して敏感に抑制され、磁気フラストレーションによる量子臨界性に起因する可能性が提案されていた。

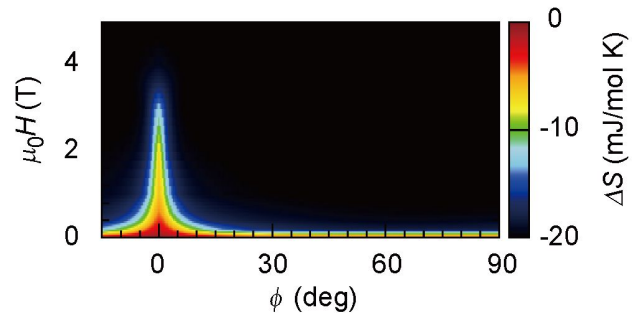


図 5: CeRhSn のエントロピー ΔS の磁場 - 磁場角度等高線図(0.1 K)。 ϕ はカゴメ格子面と磁場の間の角度。

本研究では、CeRhSn が強いイジング異方性を示すことに着目し、非フェルミ液体的性質の磁場角度に対する応答を詳しく調べた。その結果、擬カゴメ格子面近傍のごく狭い角度範囲に磁場をかけると非フェルミ液体的性質(高エントロピー状態)が高磁場まで保持されることを見出した。さらに、その磁場方位では、低磁場領域でエントロピープラトーが現れることやメタ磁性転移磁場に達すると非フェルミ液体的性質が消失することを明らかにした。本結果は、 c 軸方向のイジングスピンゆらぎが異常金属状態の起源となっていることを示唆している。エントロピーの急峻な磁場角度変化(図 5)は結晶場計算で比較的良く再現できることから、磁気フラストレーションよりもむしろ Ce の価数変化が物性を制御する鍵となっている可能性を指摘した。本研究成果をまとめた論文は J. Phys. Soc. Jpn.誌に公表した。

開発した装置は、新奇超伝導体 UTe₂ やネマティック超伝導体 Sr_xBi₂Se₃, PbTaSe₂ などの研究にも応用し、磁場角度変化というアプローチから物性機構の解明に幅広く貢献した。代表者はこれまでの一連の研究成果が評価され、本研究期間中に「第 14 回凝縮系科学賞」、「令和 2 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰若手科学者賞」を受賞した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計22件（うち査読付論文 22件／うち国際共著 6件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Shunichiro Kittaka, Yohei Kono, Suguru Tsuda, Toshiro Takabatake, and Toshiro Sakakibara	4. 巻 90
2. 論文標題 Field-angle-resolved Landscape of Non-Fermi-liquid Behavior in the Quasi-kagome Kondo Lattice CeRhSn	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 064703(1-6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.90.064703	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 Toshiro Sakakibara, Shota Nakamura, Shunichiro Kittaka, Masashi Kakihana, Masato Hedo, Takao Nakama, and Yoshichika Onuki	4. 巻 90
2. 論文標題 Magnetic Phase Transitions of the 4f Skyrmion Compound EuPtSi Studied by Magnetization Measurements	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 064701(1-8)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.90.064701	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 Shunichiro Kittaka, Yusei Shimizu, Toshiro Sakakibara, Ai Nakamura, Dexin Li, Yoshiya Homma, Fuminori Honda, Dai Aoki, and Kazushige Machida	4. 巻 2
2. 論文標題 Orientation of point nodes and nonunitary triplet pairing tuned by the easy-axis magnetization in UTe2	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 032014(R)(1-6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.2.032014	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 Tian Le, Yue Sun, Hui-Ke Jin, Liqiang Che, Lichang Yin, Jie Li, G. M. Pang, C. Q. Xu, L. X. Zhao, S. Kittaka, T. Sakakibara, K. Machida, R. Sankar, H. Q. Yuan, G. F. Chen, Xiaofeng Xu, Shiyang Li, Yi Zhou, and Xin Lu	4. 巻 65
2. 論文標題 Evidence for nematic superconductivity of topological surface states in PbTaSe2	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Science Bulletin	6. 最初と最後の頁 1349-1355
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.scib.2020.04.039	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 Yue Sun, Shunichiro Kittaka, Toshiro Sakakibara, Kazushige Machida, R. Sankar, Xiaofeng Xu, Nan Zhou, Xiangzhuo Xing, Zhixiang Shi, Suneng Pyon, and Tsuyoshi Tamegai	4. 巻 102
2. 論文標題 Fully gapped superconductivity without sign reversal in the topological superconductor PbTaSe2	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 024517(1-7)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.102.024517	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 K. Kataoka, D. Hirai, T. Yajima, D. Nishio-Hamane, R. Ishii, K.-Y. Choi, D. Wulferding, P. Lemmens, S. Kittaka, T. Sakakibara, H. Ishikawa, A. Matsuo, K. Kindo, and Z. Hiroi	4. 巻 89
2. 論文標題 Kitaev Spin Liquid Candidate OsxCl3 Comprised of Honeycomb Nano-Domains	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 114709(1-9)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.89.114709	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 Shunichiro Kittaka, Takanori Taniguchi, Kazumasa Hattori, Shota Nakamura, Toshiro Sakakibara, Masashi Takigawa, Masaki Tsujimoto, Akito Sakai, Yosuke Matsumoto, Satoru Nakatsuji	4. 巻 89
2. 論文標題 Field-Orientation Effect on Ferro-Quadrupole Order in PrTi2Al2O	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 043701(1-5)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.89.043701	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 Y. Kono, T. Okabe, N. Uemoto, Y. Iwasaki, Y. Hosokoshi, S. Kittaka, T. Sakakibara, H. Yamaguchi	4. 巻 101
2. 論文標題 Magnetic properties of a spin-1/2 honeycomb lattice antiferromagnet	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 014437(1-6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.101.014437	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 Shota Nakamura, Kazushi Hyodo, Yuji Matsumoto, Yoshinori Haga, Hitoshi Sato, Shigenori Ueda, Kojiro Mimura, Katsuyoshi Saiki, Kosei Iso, Minoru Yamashita, Shunichiro Kittaka, Toshiro Sakakibara, Shigeo Ohara	4. 巻 89
2. 論文標題 Heavy Fermion State of YbNi ₂ Si ₃ without Local Inversion Symmetry	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 024705(1-5)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.89.024705	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 Yohei Kono, Shunichiro Kittaka, H. Yamaguchi, Y. Hosokoshi, Toshiro Sakakibara	4. 巻 100
2. 論文標題 Emergent critical phenomenon in spin-1/2 ferromagnetic-leg ladders: Quasi-one-dimensional Bose-Einstein condensate	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 054442(1-8)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.100.054442	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 Toshiro Sakakibara, Shota Nakamura, Shunichiro Kittaka, Masashi Kakihana, Masato Hedo, Takao Nakama, Yoshichika Onuki	4. 巻 88
2. 論文標題 Fluctuation-Induced First-Order Transition and Tricritical Point in EuPtSi	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 093701(1-4)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.88.093701	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 Yue Sun, Shunichiro Kittaka, Toshiro Sakakibara, Kazushige Machida, Jinghui Wang, Jinsheng Wen, XiangZhuo Xing, Zhixiang Shi, Tsuyoshi Tamegai	4. 巻 123
2. 論文標題 Quasiparticle Evidence for the Nematic State above T _c in Sr _x Bi ₂ Se ₃	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 027002(1-6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.123.027002	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 N. Uemoto, Y. Kono, S. Kittaka, T. Sakakibara, T. Yajima, Y. Iwasaki, S. Miyamoto, Y. Hosokoshi, H. Yamaguchi	4. 巻 99
2. 論文標題 S=1/2 ferromagnetic Heisenberg chain in a verdazyl-based complex	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 094418(1-6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.99.094418	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 Makoto Yokoyama, Kohei Suzuki, Shota Nakamura, Yohei Kono, Shunichiro Kittaka, and Toshiro Sakakibara	4. 巻 99
2. 論文標題 Anisotropic magnetic-field response of quantum critical fluctuations in Ni-doped CeCoIn5	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 054506(1-6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.99.054506	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. Liu, S. Kittaka, R. D. Johnson, T. Lancaster, J. Singleton, T. Sakakibara, Y. Kohama, J. van Tol, A. Ardavan, B. H. Williams, S. J. Blundell, Z. E. Manson, J. L. Manson, P. A. Goddard	4. 巻 122
2. 論文標題 Unconventional Field-Induced Spin Gap in an S=1/2 Chiral Staggered Chain	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 057207(1-6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.122.057207	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 Y. Iwasaki, T. Kida, M. Hagiwara, T. Kawakami, Y. Kono, S. Kittaka, T. Sakakibara, Y. Hosokoshi, H. Yamaguchi	4. 巻 98
2. 論文標題 Field-induced quantum magnetism in the verdazyl-based charge-transfer salt [o-MePy-V-(p-Br)2]FeCl4	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 224411(1-8)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.98.224411	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 S. Tsuda, C. L. Yang, Y. Shimura, K. Umeo, H. Fukuoka, Y. Yamane, T. Onimaru, T. Takabatake, N. Kikugawa, T. Terashima, H. T. Hirose, S. Uji, S. Kittaka, T. Sakakibara	4. 巻 98
2. 論文標題 Metamagnetic crossover in the quasikagome Ising Kondo-lattice compound CeIrSn	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 155147(1-7)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.98.155147	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 Shota Nakamura, Akira Kasahara, Shunichiro Kittaka, Yohei Kono, Yoshichika Onuki, Toshiro Sakakibara	4. 巻 87
2. 論文標題 Low-Temperature Magnetization Measurements with Precise Two-Axis Alignment of the Sample Orientation	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 114001(1-5)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.87.114001	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 H. Yamaguchi, Y. Sasaki, T. Okubo, M. Yoshida, T. Kida, M. Hagiwara, Y. Kono, S. Kittaka, T. Sakakibara, M. Takigawa, Y. Iwasaki, Y. Hosokoshi	4. 巻 98
2. 論文標題 Field-enhanced quantum fluctuation in an S=1/2 frustrated square lattice	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 094402(1-6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.98.094402	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 Yue Sun, Shunichiro Kittaka, Shota Nakamura, Toshiro Sakakibara, Peng Zhang, Shik Shin, Koki Irie, Takuya Nomoto, Kazushige Machida, Jingting Chen, Tsuyoshi Tamegai	4. 巻 98
2. 論文標題 Disorder-sensitive nodelike small gap in FeSe	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 064505(1-7)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.98.064505	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 Shunichiro Kittaka, Shota Nakamura, Toshiro Sakakibara, Naoki Kikugawa, Taichi Terashima, Shinya Uji, Dmitry A. Sokolov, Andrew P. Mackenzie, Koki Irie, Yasumasa Tsutsumi, Katsuhiro Suzuki, Kazushige Machida	4. 巻 87
2. 論文標題 Searching for Gap Zeros in Sr ₂ RuO ₄ via Field-Angle-Dependent Specific-Heat Measurement	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 093703(1-5)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.87.093703	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 Shunichiro Kittaka, Shota Nakamura, Hiroaki Kadowaki, Hiroshi Takatsu, Toshiro Sakakibara	4. 巻 87
2. 論文標題 Field-rotational Magnetocaloric Effect: A New Experimental Technique for Accurate Measurement of the Anisotropic Magnetic Entropy	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 073601(1-5)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.87.073601	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 -

〔学会発表〕 計16件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 橋高 俊一郎
2. 発表標題 (一般シンポジウム講演) 角度回転比熱測定からの超伝導ギャップ構造
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 S. Kittaka
2. 発表標題 Superconducting gap structure of UTe ₂ studied from field-angle-resolved measurements of its specific heat
3. 学会等名 UTe ₂ online workshop (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 橋高 俊一郎
2. 発表標題 Sr ₂ RuO ₄ における超伝導多重相の検証
3. 学会等名 J-Physics : 多極子伝導系の物理 令和元年度領域全体会議
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 橋高 俊一郎
2. 発表標題 極低温精密比熱測定による超伝導ギャップ構造の決定
3. 学会等名 第13回物性科学領域横断研究会 第14回「凝縮系科学賞」受賞講演(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Kittaka, Y. Kono, S. Tsuda, T. Takabatake, and T. Sakakibara
2. 発表標題 Thermodynamic Evidence for Two Distinct Non-Fermi-Liquid Regimes and a Quantum Critical Line in the Quasi-Kagome Kondo-Lattice CeRhSn
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2019 (SCES2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Kittaka
2. 発表標題 Thermodynamic study of the superconducting gap structure of Sr ₂ RuO ₄
3. 学会等名 J-Physics 2019 International Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 橘高 俊一郎、平井 大悟郎、廣井 善二、町田 一成、榊原 俊郎
2. 発表標題 比熱の磁場角度依存性から見たCd ₂ Re ₂ O ₇ の超伝導ギャップ構造とネマティック状態
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 橘高 俊一郎
2. 発表標題 磁場角度の効果から探るPrTi ₂ Al ₂ O ₇ とPrIr ₂ Zn ₂ O ₇ の多極子秩序相
3. 学会等名 J-Physics地域研究会・本郷
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Kittaka
2. 発表標題 Thermodynamic study of the pairing symmetry in Sr ₂ RuO ₄
3. 学会等名 Strontium Ruthenate - 25 years of a puzzling superconductor (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 橘高 俊一郎、河野 洋平、津田 研、高島 敏郎、榊原 俊郎
2. 発表標題 擬力ゴメ近藤格子CeRhSnにおける量子臨界性の磁場角度依存性
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 S. Kittaka
2. 発表標題 Field-orientation effect on the hidden-order transition in URu2Si2
3. 学会等名 Symposium:TPFC 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 橋高 俊一郎、中村 翔太、榊原 俊郎、菊川 直樹、寺嶋 太一、宇治 進也、Dmitry A. Sokolov、Andrew P. Mackenzie、入江 光輝、堤 康雅、鈴木 雄大、町田 一成
2. 発表標題 Sr2RuO4の超伝導ギャップ構造の検証：回転磁場下での比熱測定から
3. 学会等名 つくば-柏-本郷 超伝導かけはしプロジェクト ワークショップ(2) (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Kittaka
2. 発表標題 Multiband full-gap superconductivity in heavy-fermion superconductor CeCu2Si2 revealed by specific-heat measurements
3. 学会等名 Plasma 2019 Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Kittaka, S. Nakamura, T. Sakakibara, N. Kikugawa, T. Terashima, S. Uji, D. A. Sokolov, A. P. Mackenzie, K. Irie, Y. Tsutsumi, K. Suzuki, and K. Machida
2. 発表標題 Thermodynamic study of Sr2RuO4: identification of the superconducting gap structure
3. 学会等名 International Workshop on j-Fermion Physics and Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 橘高 俊一郎、谷口 貴紀、中村 翔太、榊原 俊郎、瀧川 仁、辻本 真規、酒井 明人、松本 洋介、中辻 知
2. 発表標題 磁場角度分解比熱・エントロピー測定からみたPrTi ₂ Al ₂₀ の四極子秩序
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 S. Kittaka, S. Nakamura, T. Sakakibara, N. Kikugawa, T. Terashima, S. Uji, D. A. Sokolov, A. P. Mackenzie, K. Irie, Y. Tsutsumi, K. Suzuki, and K. Machida
2. 発表標題 Towards identification of the superconducting gap structure of Sr ₂ RuO ₄ : evidence for a horizontal line node gap from field-angle dependence of its specific heat
3. 学会等名 International Conference on Magnetism 2018 (ICM2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

研究室のホームページ https://www.phys.chuo-u.ac.jp/labs/kittaka/index.html

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			
中国	Southeast University	Zhejiang University of Technology		
ドイツ	Max Planck Institute			
ドイツ	Max Planck Institute			
英国	University of Oxford	Durham University	University of Warwick	
米国	Los Alamos National Laboratory	Florida State University	Eastern Washington University	