

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19H01848

研究課題名(和文)熱ホール測定による量子スピン液体相のスピンカイラリティ研究

研究課題名(英文)Study of spin chirality in quantum spin liquids by thermal-Hall measurement

研究代表者

山下 穰 (Yamashita, Minoru)

東京大学・物性研究所・准教授

研究者番号：10464207

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では絶縁体である量子スピン液体相の素励起を明らかにするため、磁性絶縁体における熱ホール効果の研究から、これまで直接測定が難しかったスピン素励起の持つスピンカイラリティの効果などを明らかにすることを目的とした。

研究期間中にカゴメ格子反強磁性体のCdカペラサイト、磁気スカームオンが発現する強磁性絶縁体GaV4Se8、Kitaev磁性体の新しい候補物質であるNa2Co2TeO6、反強磁性スカームオン相が実現する反強磁性体MnSc2S4における熱ホール測定に成功し、絶縁体における熱ホール効果とスピン素励起の持つスピンカイラリティの関係について新しい知見を得ることに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

磁場によって金属中を流れる電流が曲げられるホール効果と同様の現象が、金属の流れない絶縁体中の熱流に対する熱ホール効果として現れることを系統的に研究し、そのメカニズムの一端を明らかにした。特に、磁気スキルミオンのような磁気構造がうみだす創発磁場が電流だけでなく、熱流にも作用することを明らかにした。これらの成果は固体中のスピン構造が生み出す創発磁場の理解と応用を大きく進展させる結果であると考えている。

研究成果の概要(英文)：In this study, in order to clarify the elementary excitations in the quantum spin liquid phase, we investigated the thermal Hall effect in magnetic insulators to clarify the effect of spin chirality of elementary spin excitations, which has been difficult to measure directly so far.

During the research period, we succeeded in performing thermal Hall measurements in the kagome antiferromagnet Cd-Capellasite, the skyrmion-host ferromagnetic insulator GaV4Se8, the new Kitaev-spin-liquid candidate Na2Co2TeO6, and the antiferro-skyrmion material MnSc2S4. Our successful measurements on these materials provide new knowledge on the relationship between the thermal Hall effect and the spin chirality in magnetic insulators.

研究分野：低温物理学

キーワード：量子スピン液体 熱ホール測定 熱輸送測定

1. 研究開始当初の背景

スピнкаイラリティはスピンの振じれを表す量であり、様々な新奇現象の起源として近年大きな注目を集めている。例えば、伝導電子の波動関数はスピнкаイラリティによるベリー位相を獲得することで仮想磁場を感じ、その影響が強磁性金属やワイル半金属における異常ホール効果の起源として議論されている。局在電子系におけるスピンにおいても、スピнкаイラリティがマグノンなどのスピン素励起に非自明なトポロジーの性質を与える場合や、スピнкаイラリティが秩序した量子スピン液体状態が現れる場合がある事などが理論的に示されてきた。このようにスピнкаイラリティはスピン励起のトポロジーや量子スピン液体の基底状態を明らかにするための重要な物理量である。

一方、そのスピнкаイラリティを実験的に検出する方法は限られる。偏極中性子による磁気構造の研究や、電気磁気効果の測定などがあるが、こうした方法は磁気秩序した物質に対してしか使えず、常磁性状態におけるスピнкаイラリティの研究はできない。また、中性子散乱実験では、非常に大きな単結晶が入手可能で、中性子を吸収しない元素で構成される物質に研究対象が限定されてしまう。

2. 研究の目的

そこで本研究ではスピнкаイラリティを直接検出できる可能性のある方法として熱ホール効果に着目した。電気が流れない絶縁体ではローレンツ力に起因する通常のホール効果は観測されないが、スピン励起や格子励起などの中性励起も、スピнкаイラリティによるベリー位相を獲得することで仮想的な磁場を感じ、ホール効果を示すことが可能である。電流の代わりに熱流としてこれらの素励起を励起すれば、ホール電圧の代わりに熱流に垂直方向の温度差として熱ホール効果が現れる。こうしたスピンや格子の熱ホール効果は理論的な提案はあったものの、その実験的観測は一部の強磁性絶縁体における観測に限られており、磁気秩序の無い量子スピン液体相での観測例はなかった。それに対し、最近の自身の実験からカゴメ反強磁性体の常磁性相で、スピンによる有限の熱ホール効果が存在することが発見された。この結果からカゴメ格子の持つ Dzyaloshinskii-Moriya (DM)相互作用によるスピнкаイラリティを熱ホール効果によって測定できるのではないかという着想を得た。

そこで本研究では、スピнкаイラリティと熱ホール効果の関係を明らかにするために、様々な系における熱ホール測定を行い、その起源に関する研究を行うことを目的とした。特に、磁気構造から大きなスピнкаイラリティの効果が現れることが知られている磁気スキルミオン相をもつ磁性絶縁体が研究期間中に複数発見され、そこでの熱ホール測定の結果と理論計算を比較する研究を、強磁性スキルミオン格子と反強磁性スキルミオン格子の両方に対して行った。

3. 研究の方法

本研究では様々な磁性絶縁体に対する熱ホール測定を極低温・高磁場まで行う。測定は図1(b)に示されているように、単結晶試料に対して3つの温度計をつけて熱流を印加し、熱流と並行方向と垂直方向の温度勾配を測定する方法で行う。通常の縦熱伝導率測定と比べて、横方向の温度差は熱流方向の温度差と比べて2桁ほど小さいため、非常に高精度の温度計測を必要とする。常磁性相における熱ホール効果の観測は困難を極めたが、様々な改良によりカゴメ磁性体やキタエフ磁性体の常磁性相における熱ホール効果の観測に我々の研究室では成功してきた。

熱ホール伝導率(κ_{xy})と素励起の持つベリー曲率($\Omega(E)$)の間には

$$\frac{\kappa_{xy}}{T} = \frac{k_B^2}{\hbar} \int \Omega(E) f(E) dE$$

の関係があるため、観測した κ_{xy} から素励起の持つベリー曲率の情報を直接得ることができる。これを

用いて、二次元カゴメ反強磁性体における熱ホール測定、キタエフ量子スピン液体の候補物質における熱ホール測定を行った。さらに、磁気スキルミオン相が発現する強磁性絶縁体 GaV_4Se_8 と反強磁性体 MnSc_2S_4 において磁気スキルミオン相が生み出す創発磁場と熱流の関係について研究を行った。

4. 研究成果

(I) 二次元カゴメ反強磁性体 Cd カペラサイトにおける熱ホール測定

カゴメ格子反強磁性体ではカゴメ格子の持つ幾何学的フラストレーションの効果が非常に大きいため、量子スピン液体をはじめとする非自明な量子状態が発現することが期待されている。その量子状態の解明のためにはその素励起の性質を詳しく調べることが重要である。そこで、東大物性研の廣井研で発見されたカゴメ反強磁性体 Cd カペラサイト石(図1)に対して、素励起の持つスピカイラリティなどの情報が検出できる熱ホール測定を用いた研究を行った。

その結果、このカゴメ反強磁性体 Cd カペラサイト石で非常に大きな熱ホール効果が現れることを発見した(図2(a))。以前に研究した類似の Ca カペラサイト石よりも熱ホール効果が明瞭に観測されたために、その磁場依存性を詳細に解析することが可能になった(図2(b))。その詳しい解析から、磁場の大きさが15 Tの高磁場領域ではフォノンによる熱ホール効果が支配的である一方、6 T付近ではスピンによる熱ホール効果が大きくなっていることを明らかにすることができた。さらに、このスピンによる熱ホール効果について複数の試料における結果を比較したところ、スピンによる熱ホール効果は縦の熱伝導率の大きさと正の相関を持つことが分かった(図2(c))。これらの結果は強磁性金属の異常ホール効果の結果と類似しており、カゴメ反強磁性における熱ホール効果の起源が熱伝導率の大きさによって内因性のメカニズムから外因性のものに移り変わっている可能性を示唆する重要な結果であると考えられる。

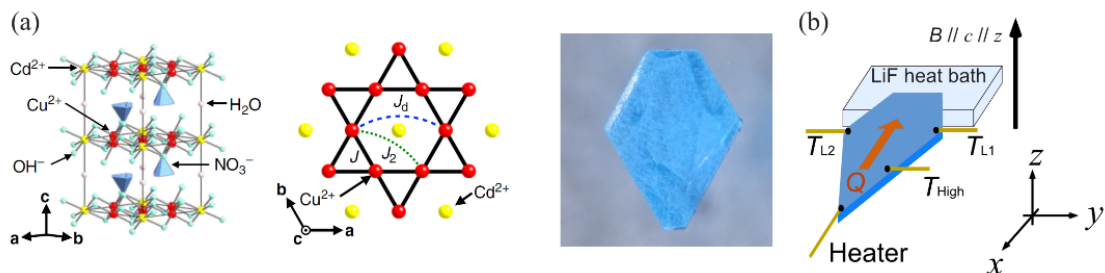


図1 (a)Cd カペラサイト石($\text{CdCu}_3(\text{OH})_6(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)の結晶構造と試料の写真。(b)熱ホール測定の様式図。熱流(Q)に対して垂直方向に磁場(B)を印可して、 T_{L1} と T_{L2} 間の横方向温度差を計測する。

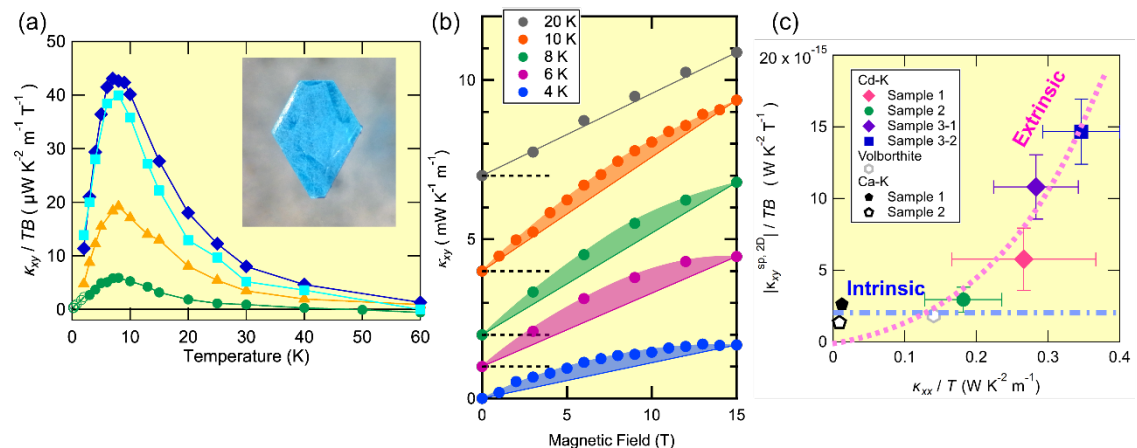


図2(a)熱ホール伝導率の温度依存性。異なる資料の結果を違う色で表している。(b)熱ホール伝導率の磁場依存性。色掛けで示した領域がスピンの寄与を表している。(c)スピンによる熱ホール伝導率($\kappa_{xy}^{sp, 2D}$)の縦熱伝導率(κ_{xx})依存性。 κ_{xx} の小さいところでは一定値に留まっているのに対して、 κ_{xx} が

大きくなると正の相関をもって上昇していて、熱ホール効果の起源が内因性(“Intrinsic”)機構による熱ホール効果から外因性(“Extrinsic”)機構へと移り変わっていることを示唆している。

(2) 強磁性絶縁体 GaV_4Se_8 磁気スキルミオン相におけるトポロジカル熱ホール効果

固体中のスピン構造などがつくる創発磁場の熱流に対する影響を明らかにするために強磁性絶縁体 GaV_4Se_8 の熱ホール効果の研究を行った。創発磁場は電子の波動関数に直接作用するため、固体の外から加える電場・磁場よりもはるかに大きな効果を物性にもたらすことが知られており、その最も顕著な例の一つが「磁気スキルミオン」と呼ばれる固体中のスピンがつくる渦構造のつくる創発磁場の効果である(図3(a))。磁気スキルミオンは物質によっては数百テスラという大きな創発磁場を作ることによって知られており、それによる「トポロジカルホール効果」が様々な金属強磁性体で観測されている。一方、電子が流れない絶縁体における研究は、それを研究するための磁気スキルミオン相が発現する磁性絶縁体が多かったために研究されてこなかった。

本研究では、東大新領域の有馬研で新しく磁気スキルミオンが発現することが発見された強磁性絶縁体の GaV_4Se_8 における熱輸送特性を詳しく調べた。熱ホール測定の結果、磁気スキルミオンが発現する温度—磁場領域だけで大きな熱ホール効果が観測されることを見出した(図3(b))。この熱ホール伝導率の大きさをカラープロットしたのが図3(c)であるが、磁気スキルミオン相が発現している温度・磁場領域が明瞭に示されている。この磁気スキルミオン中の熱ホール効果を詳しく調べるために、磁気スキルミオン格子中のマグノンバンドの理論計算を行った。この理論計算から求めた熱ホール伝導率の温度依存性は実験結果を非常によく再現し(図3(d))、磁気スキルミオン格子中のマグノンによる「トポロジカル熱ホール効果」がこの物質で現れていることがわかった。これらの結果は、電気の流れない絶縁体で、電荷をもたないマグノン流にも磁気スキルミオンの創発磁場が作用することを明らかにした研究成果で、固体中のスピン構造が生み出す創発磁場の理解と応用を大きく進展させる結果である。

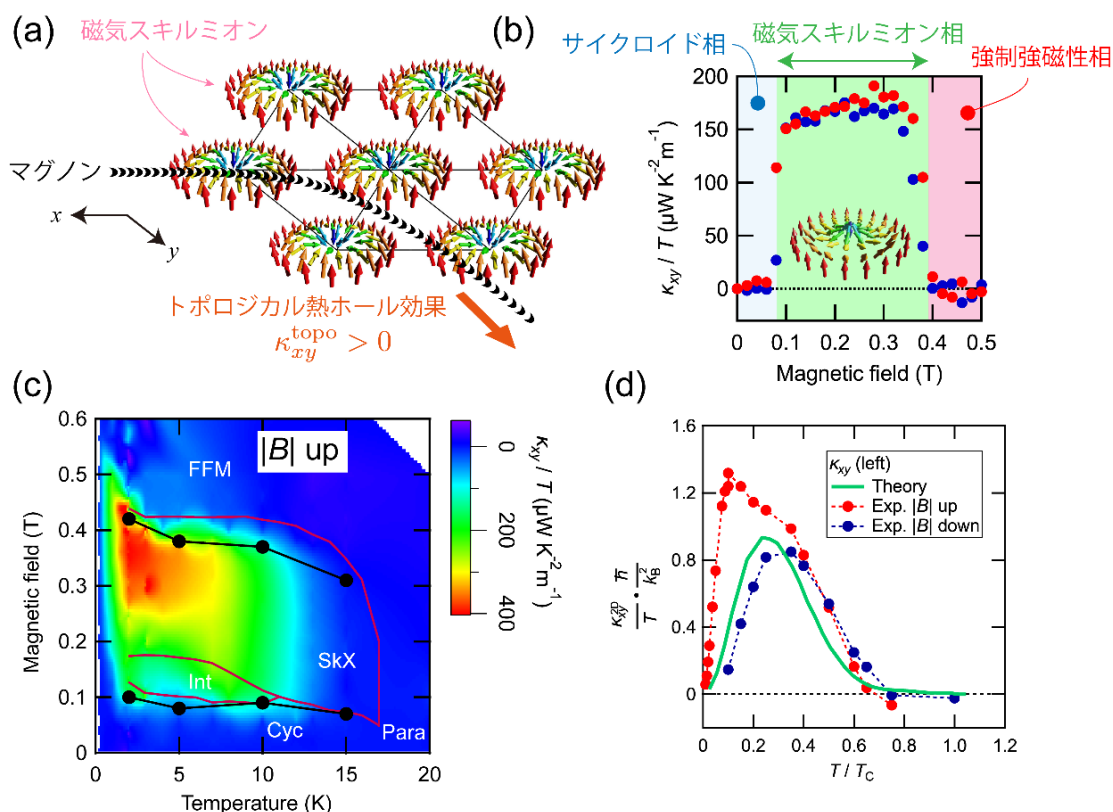


図3(a) 磁気スキルミオン格子中におけるマグノンのトポロジカル熱ホール効果の模式図。(b)熱ホール伝導率(κ_{xy})の 10 K における磁場依存性。(c)励磁過程で観測された熱ホール伝導率の温度—

磁場領域でのカラープロット。(d)熱ホール伝導率の温度依存性(赤丸と青丸)と理論計算(実線)。

(3) キタエフ磁性体候補物質 $\text{Na}_2\text{Co}_2\text{TeO}_6$ における熱ホール測定

2次元ハチの巢格子上的スピンのボンド方向依存性のあるイジング相互作用で結合したキタエフ模型は、絶対零度までスピンの秩序化しない量子スピン液体が現れることが数学的に厳密に示される、非常に稀有な物理モデルである。スピン軌道相互作用の強い物質群でこのスピン模型が実際に実現する可能性が示され、 $\alpha\text{-RuCl}_3$ などの 4d, 5d 元素による候補物質が盛んに研究されている。一方、多くの磁性絶縁体が合成可能な 3d 元素を用いる理論提案もあり、その実験検証が求められていた。

本研究では、Co スピンが2次元ハチの巢格子構造を形成する $\text{Na}_2\text{Co}_2\text{TeO}_6$ について、台湾の Raman Sankar 研究グループから試料提供をうけ、その熱輸送研究をおこなった。その結果、磁気転移磁場(図4中の点線)において κ_{xx} と κ_{xy} の両方に特徴的な変化が観測されることが分かった。特に、 κ_{xy} の符号変化は素励起のもつベリー曲率が磁気転移によって変化していることを示している。一定磁場における κ_{xy}/T の温度依存性(図4(c))から κ_{xy}/T はどの磁場領域においても量子化値よりも一桁近く小さく、また低温で0にむかう温度依存性が観測された。これはキタエフ量子スピン液体で現れるマヨラナフェルミオンではなく、ボゾンの素励起による熱ホール効果が現れていることを示しており、反強磁性相マグノンによる熱ホール効果が現れていると結論することができた。

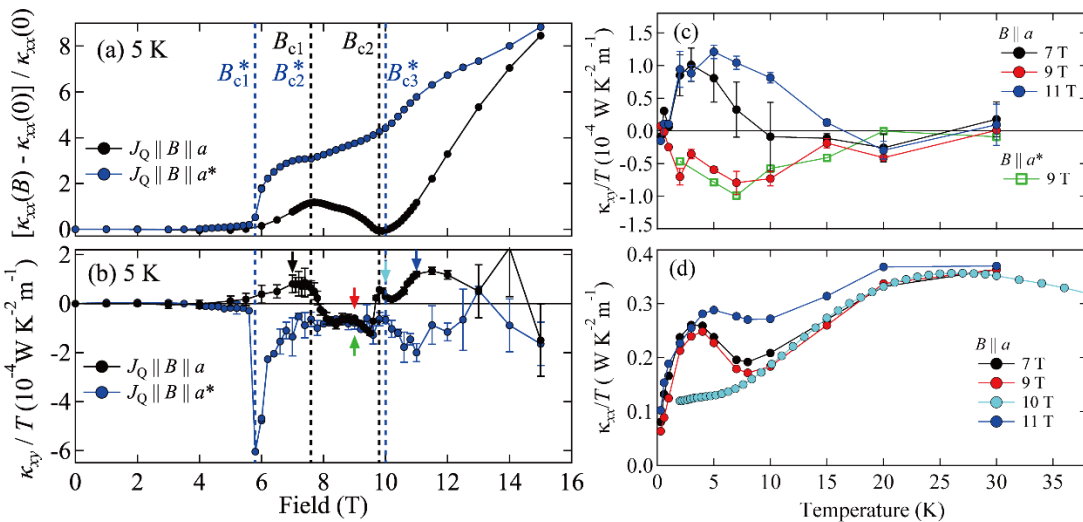


図4(a,b) 5 Kにおける縦熱伝導率(κ_{xx} , a)と熱ホール伝導率(κ_{xy} , b)の磁場依存性。(c, d) 一定磁場における κ_{xy}/T (c)と κ_{xx}/T (d)の温度依存性。磁場の値は(b)における矢印で示された磁場。

(4) 反強磁性体 MnSc_2S_4 の反強磁性スキルミオン相における熱ホール測定

強磁性絶縁体である GaV_4Se_8 における熱ホール測定の成功を受け、我々は反強磁性磁気スキルミオン相が実現することが最近報告された反強磁性絶縁体 MnSc_2S_4 の熱ホール測定を試みた。この物質では 2 K より低温で反強磁性ヘリカル相が現れるが、そこに磁場を印加することで反強磁性スキルミオン相が発現することが先行研究から示されている。

この物質における熱ホール測定をおこなったところ、ヘリカル相から反強磁性スキルミオン相に入る磁場から有限の熱ホール伝導度が現れ始めることがわかった。熱ホール伝導率は磁場とともに増大し、磁気スキルミオン相より高磁場側の FAN 相へと相転移する磁場付近で極大を示し、その後緩やかに減少することが分かった。これは反強磁性スキルミオン相における3つの磁気副格子間の縮退が磁場によってとけることによって熱ホール効果が現れていることを示唆すると考えられる。以上の結果について理論計算とともに解析した結果を論文執筆し、現在投稿・審査中である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 16件 / うち国際共著 9件 / うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Yamashita Minoru, Sato Yuki, Kasahara Yuichi, Kasahara Shigeru, Shibauchi Takasada, Matsuda Yuji	4. 巻 12
2. 論文標題 Resistivity and thermal conductivity of an organic insulator $-EtMe_3Sb[Pd(dmit)_2]_2$	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 9187
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-022-13155-8	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 Drichko Natalia, Sugiura Shiori, Yamashita Minoru, Ueda Akira, Uji Shinya, Hassan Nora, Sunairi Yoshiya, Mori Hatsumi, Zhilyaeva Elena I., Torunova Svetlana, Lyubovskaya Rimma N.	4. 巻 106
2. 論文標題 Charge and spin interplay in a molecular-dimer-based organic Mott insulator	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 64202
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevB.106.064202	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 Akazawa Masatoshi, Lee Hyun-Yong, Takeda Hikaru, Fujima Yuri, Tokunaga Yusuke, Arima Takahisa, Han Jung Hoon, Yamashita Minoru	4. 巻 4
2. 論文標題 Topological thermal Hall effect of magnons in magnetic skyrmion lattice	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 43085
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevResearch.4.043085	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 Takeda Hikaru, Mai Jiancong, Akazawa Masatoshi, Tamura Kyo, Yan Jian, Moovendaran Kalimuthu, Raju Kalaivanan, Sankar Raman, Choi Kwang-Yong, Yamashita Minoru	4. 巻 4
2. 論文標題 Planar thermal Hall effects in the Kitaev spin liquid candidate $Na_2Co_2TeO_6$	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 L042035
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevResearch.4.L042035	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 Shimizu Yusei, Kittaka Shunichiro, Kono Yohei, Sakakibara Toshiro, Machida Kazushige, Nakamura Ai, Li Dexin, Homma Yoshiya, Sato Yoshiki J., Miyake Atsushi, Yamashita Minoru, Aoki Dai	4. 巻 106
2. 論文標題 Anomalous electromagnetic response in the spin-triplet superconductor UTe2	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 214525
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.106.214525	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 Yamashita Minoru, Sugiura Shiori, Ueda Akira, Dekura Shun, Terashima Taichi, Uji Shinya, Sunairi Yoshiya, Mori Hatsumi, Zhilyaeva Elena I., Torunova Svetlana A., Lyubovskaya Rimma N., Drichko Natalia, Hotta Chisa	4. 巻 6
2. 論文標題 Ferromagnetism out of charge fluctuation of strongly correlated electrons in $(\text{BEDT-TTF})_2\text{Hg}(\text{SCN})_2\text{Br}$	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 npj Quantum Materials	6. 最初と最後の頁 87
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 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 Yan J., Jiang Z. Z., Xiao R. C., Lu W. J., Song W. H., Zhu X. B., Luo X., Sun Y. P., Yamashita M.	4. 巻 4
2. 論文標題 Field-induced topological Hall effect in antiferromagnetic axion insulator candidate EuIn_2As_2	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 13163
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.4.013163	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 Yamashita M., Tashiro M., Saiki K., Yamada S., Akazawa M., Shimozawa M., Taniguchi T., Takeda H., Takigawa M., Shishido H.	4. 巻 102
2. 論文標題 Ultralow temperature NMR of CeCoIn5	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 165154
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.102.165154	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 Yamashita M., Gouchi J., Uwatoko Y., Kurita N., Tanaka H.	4. 巻 102
2. 論文標題 Sample dependence of half-integer quantized thermal Hall effect in the Kitaev spin-liquid candidate -RuCl3	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 220404(R)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.102.220404	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 Akazawa Masatoshi, Shimozawa Masaaki, Kittaka Shunichiro, Sakakibara Toshiro, Okuma Ryutaro, Hiroi Zenji, Lee Hyun-Yong, Kawashima Naoki, Han Jung Hoon, Yamashita Minoru	4. 巻 10
2. 論文標題 Thermal Hall Effects of Spins and Phonons in Kagome Antiferromagnet Cd-Kapellasite	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review X	6. 最初と最後の頁 41059
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevX.10.041059	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 Takenaka T., Ishihara K., Roppongi M., Miao Y., Mizukami Y., Makita T., Tsurumi J., Watanabe S., Takeya J., Yamashita M., Torizuka K., Uwatoko Y., Sasaki T., Huang X., Xu W., Zhu D., Su N., Cheng J.-G., Shibauchi T., Hashimoto K.	4. 巻 7
2. 論文標題 Strongly correlated superconductivity in a copper-based metal-organic framework with a perfect kagome lattice	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eabf3996
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.abf3996	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 Yamashita Minoru	4. 巻 88
2. 論文標題 Boundary-limited and Glassy-like Phonon Thermal Conduction in EtMe3Sb[Pd(dmit)2]2	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 083702 ~ 083702
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.88.083702	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 Yamashita Minoru, Akazawa Masatoshi, Shimozawa Masaaki, Shibauchi Takasada, Matsuda Yuji, Ishikawa Hajime, Yajima Takeshi, Hiroi Zenji, Oda Migaku, Yoshida Hiroyuki, Lee Hyun-Yong, Han Jung Hoon, Kawashima Naoki	4. 巻 32
2. 論文標題 Thermal-transport studies of kagome antiferromagnets	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Condensed Matter	6. 最初と最後の頁 074001 ~ 074001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-648X/ab50e9	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 Yamashita M., Sato Y., Tominaga T., Kasahara Y., Kasahara S., Cui H., Kato R., Shibauchi T., Matsuda Y.	4. 巻 101
2. 論文標題 Presence and absence of itinerant gapless excitations in the quantum spin liquid candidate EtMe3Sb[Pd(dmit)2]2	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 140407 ~ 140407
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.101.140407	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 Nakamura Shota, Hyodo Kazushi, Matsumoto Yuji, Haga Yoshinori, Sato Hitoshi, Ueda Shigenori, Mimura Kojiro, Saiki Katsuyoshi, Iso Kosei, Yamashita Minoru, Kittaka Shunichiro, Sakakibara Toshiro, Ohara Shigeo	4. 巻 89
2. 論文標題 Heavy Fermion State of YbNi2Si3 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 ~ 024705
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 -

[学会発表] 計15件(うち招待講演 2件/うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Minoru Yamashita
2. 発表標題 Topological Thermal Hall Effects of Magnons in Ferro- and Antiferromagnetic Skyrmions
3. 学会等名 Highly Frustrated Magnetism 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Minoru Yamashita
2. 発表標題 Thermal Hall Effects of Spins and Phonons in Kagome Antiferromagnets
3. 学会等名 Gordon Research Conference, Topology and Correlations (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Minoru Yamashita
2. 発表標題 Topological Thermal Hall Effect of Magnons in Magnetic Skyrmion Lattice
3. 学会等名 APS March meeting 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Jian Yan
2. 発表標題 Field-induced topological Hall effect in antiferromagnetic axion insulator candidate EuIn_2As_2
3. 学会等名 APS March meeting 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hikaru Takeda
2. 発表標題 Planar Thermal Hall Effects in Kitaev Spin Liquid Candidate Na ₂ Co ₂ TeO ₆
3. 学会等名 APS March meeting 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Jian Yan
2. 発表標題 Evidence for phonon and magnon Hall effect in Kitaev candidate Na ₂ Co ₂ TeO ₆
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 武田晃
2. 発表標題 トポロジカル反強磁性体EuIn ₂ As ₂ のNMR測定
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 吉田大希
2. 発表標題 カゴメ格子超伝導体CsV ₃ Sb ₅ の自発的熱ホール測定に向けた取り組み
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 赤澤仁寿, 武田晃, 山下穰, 藤間友理, 徳永祐介, 有馬孝尚, Hyun-Yong Lee, Jung Hoon Han
2. 発表標題 磁気スキルミオンホスト物質GaV4Se8の熱ホール効果における磁場中冷却の影響
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 田村響, 武田晃, 赤澤仁寿, Jian Yan, 山下穰, 鳴海康雄, 佐藤和樹, 萩原政幸, 和氣剛, 中村裕之
2. 発表標題 ダイヤモンド格子反強磁性体MnSc2S4の熱輸送測定
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 麦健聡, 武田晃, 赤澤仁寿, 田村響, Jian Yan, 山下穰, R. Kalaivanan, R. Sankar, K. Y. Choi
2. 発表標題 キタエフスピン液体候補物質Na2Co2TeO6の熱輸送測定
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 赤澤仁寿, 武田晃, 山下穰, 藤間友理, 有馬孝尚
2. 発表標題 磁気スキルミオンホスト物質 GaV4Se8の熱輸送特性
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 赤澤仁寿, 下澤雅明, 山下 穰, 高阪勇輔, 秋光 純, 土屋直人, 井上克也, J. Zaccaro, I. Gautier-Luneau, D. Luneau
2. 発表標題 キラル反強磁性体CsCuCl ₃ のc軸熱輸送特性II
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 齋木克祥, 山下穰, 下澤雅明, 武田晃, 瀧川仁, 宍戸寛明
2. 発表標題 CeCoIn ₅ における超低温下NMR測定 IV
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 Minoru Yamashita
2. 発表標題 Anomalous Thermal Hall Effect in Chiral Antiferromagnet Mn ₃ Sn
3. 学会等名 2019 KPS Fall Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>有機モット絶縁体中で電荷揺らぎによる強磁性相互作用の発見 https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/news2.html?pid=14020 従来のスピン一重項・三重項の枠組みを超えた超伝導クーバー対状態の発見、その制御も可能に https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/news2.html?pid=14164 カゴメ反強磁性体でスピンとフォノンの両方による熱ホール効果の観測に成功 http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/news2.html?pid=11773 磁気スキルミオンによるトポロジカル熱ホール効果の観測に成功 https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/news2.html?pid=16751</p>
--

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			
韓国	Sungkyunkwan University	Korea University		
米国	John Hopkins University			