

令和 6 年 5 月 8 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2022～2023

課題番号：22K18686

研究課題名（和文）スピントロニクスを利用した革新的核磁気共鳴法の開拓

研究課題名（英文）Experimental investigation of nuclear magnetic resonance by means of spintronic technique

研究代表者

吉川 貴史（Kikkawa, Takashi）

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・助教

研究者番号：60828846

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、核スピンの持つ高コヒーレンス性に基づく核磁気共鳴（NMR）と高い操作性・機能性をもつスピントロニクス技術とを融合させた新しい分光学の開拓に取り組んだ。磁気異方性が小さく、電子スピンと核スピン（NMR）モードの結合効果が顕著な磁性体を対象に研究を行い、マイクロ波を入力として生じる核スピン歳差応答及び、スピンドायナミクスの整流効果に基づく信号の検出に成功し、新たなNMR分光の端緒を見出すことに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、情報記録や読み出しの根幹技術となっているスピントロニクス分野の手法を使って、原子核スピン（核スピン）の状態を電気的に制御したり、読み出す新しいタイプの物理現象及び分光学が開拓された。素子に高周波電流を流すだけで、実効的に核スピンに働く有効磁場（超微細磁場）を制御でき、核スピンと電子スピンの制御を実現したことは、基礎・応用の両面において意義深いと言える。今後本研究で見出した手法を利用することで、核スピントロニクス分野の発展及び学理構築が実現されていくと期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, we have explored a new spectroscopic approach that combines nuclear magnetic resonance (NMR), relying on the high coherence of nuclear spins, with spintronics technology, which offers high operability and functionality. Our research focused on magnetic materials with small magnetic anisotropy and significant coupling effects between electronic spins and nuclear spin (NMR) modes through hyperfine interaction. We successfully detected signals based on the nuclear spin precession induced by microwave input. The result obtained here may open the door of new type of NMR spectroscopy.

研究分野：スピントロニクス

キーワード：核スピン 核スピントロニクス 核磁気共鳴 スピン流

1. 研究開始当初の背景

原子核の持つスピン即ち「核スピン」は、その長いコヒーレンス特性に基づいて、核磁気共鳴 (NMR) や核磁気共鳴画像法 (MRI) の根幹要素となり、物質の微視的な情報を得るためのツールとして確固たる地位を築いた。また原子核は電子スピンと同程度のスピン角運動量を有しており、且つ電子スピンの凍結するような低温・強磁場域においても高いエントロピーを維持できる角運動量の媒体でもある[S. Maekawa *et al.*, *J. Appl. Phys.* **133**, 020902 (2023).]。このような優位性を持つにも関わらず、スピントロニクス分野における核スピンの利用はこれまで限定的な状況が続いていた。そのような中最近、核 - 電子スピン間の超微細相互作用が大きく、両者の混成状態が形成されるモデル反強磁性絶縁体 MnCO_3 バルクと Pt の接合系において、核スピンからスピン流を生み出す現象—核スピンポンピング[Y. Shiomi *et al.*, *Nat. Phys.* **15**, 22 (2019).]、核スピンゼーベック効果[T. Kikkawa *et al.*, *Nat. Commun.* **12**, 4356 (2021).]—が見出された。これらの研究により、磁性体中の核スピンと電子スピン間に働く強力な超微細相互作用を上手く活用することで、核にスピントロニクス機能を付与できることが明らかになった。

上述の核スピントロニクス研究では、核スピン - 電子スピン間の超微細相互作用が大きく、両者の混成状態が形成されるモデル物質である反強磁性体 MnCO_3 が用いられてきた。しかしながら、 MnCO_3 は絶縁体であり、電流でスピンを制御するなど、スピントロニクスで見られる遍歴電子を利用した豊富な物理現象はこれまで未開拓なままであった。ゆえに、核スピントロニクス現象の原理を深く掘り下げ、新たな機能創出を実現するべく金属薄膜系を舞台とした、核スピントロニクス現象の実験的開拓が強く望まれていた。

2. 研究の目的

本研究では、核スピンの持つ高コヒーレンス性に基づく核磁気共鳴 (NMR) と高い操作性・機能性をもつスピントロニクス技術とを融合させた新しい核スピントロニクス現象・NMR 分光学の開拓に取り組む。特に、電流を流すことができ、電流密度の観点からも有利な金属薄膜系を舞台として実験研究を進める。電子スピンと核スピン (NMR) モードの結合効果が期待される金属化合物薄膜を対象に、マイクロ波電流を入力として生じる核スピン歳差応答効果及びスピン流・電流変換に基づく電圧を出力とした電気測定を行う。本研究を通じて、電氣的に核スピン励起を制御・検出する新しい科学技術の創出を目指す。

3. 研究の方法

本研究では、スピントロニクス分野で最近注目を集めている「スピン軌道トルク」と呼ばれる現象に着目した。ここでスピン軌道トルクとは、スピン軌道相互作用により生じる磁気トルクであり、これを利用することで試料に流した高周波電流からスピンの歳差運動 (磁気共鳴) を引き起こすことができる。生じたスピンの運動は整流 DC 電圧として検出することが可能である (図 1)。

本研究では、大きな核スピン角運動量を持ち且つ、反転対称性を破った伝導体に注目した。このような系では、波数に対して奇関数的に振る舞うスピン軌道相互作用が発現し、図 2 に示したようなスピン構造が波数空間で生じている。この系に電流を流すと非平衡なスピン分極が生じ、これが局在磁化に対して有効磁場として作用することで、スピントルクが生じる。これにより、電子の磁化ダイナミクスが駆動され、磁化と核スピンの間の超微細結合を介して、核スピンにも動的効果が現れることが期待される。特にこの効果は電子スピン系の異方性が小さく、電子スピン波の励起ギャップが小さい場合、即ち核スピンと電子磁化ダイナミクスの周波数が近い場合に有意になることが期待される。物質案としては、スピントロニクスの機能材料である Mn 系のハーフホイスラー合金である。この物質群は反転対称性が破れており、低対称由来のスピン軌道相互作用による有意なスピントルク・スピン軌道トルクを示すことが知られている。更に、天然存在比 100% の ^{55}Mn 核が大きな核スピン $5/2$ を有しており、電子スピン系の異方性や歳差周波数が小さく、磁気ダンピングも小さいことが知られている。更に核電子スピン間の超微細相互作用は磁場換算で約 30 Tesla と巨大である。この薄膜試料を図 1 で示したようにマイクロバ

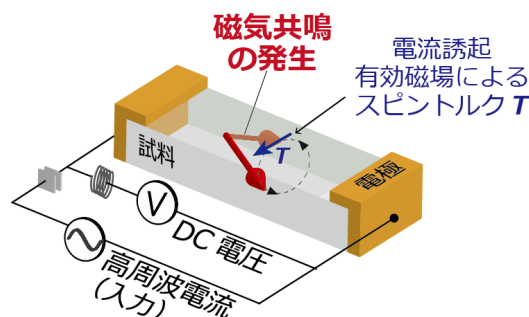


図 1 実験原理の模式図。

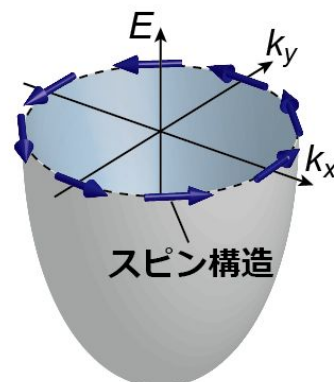


図 2 反転対称性が破れた金属の波数空間におけるスピン構造の模式図。

ー形状に加工し、 ^{55}Mn の NMR 周波数帯の高周波電流を印加し、電気計測を行う。

【素子作製とセットアップ】

まず試料の電子スピン波及び核スピン励起の全貌を明らかにするために、マイクロ波反射による分光測定を行った。そのため低温・強磁場広帯域マイクロ波反射分光計を立ち上げ、コプレーナーウェーブガイドを用いて核・電子スピンドYNAMICSを調べた。特に核スピンの分極率が高まる低温域において NMR の測定を重点的に行った。

電気計測実験では電流密度を上げるため、試料をフォトリソグラフィ法によりマイクロサイズのバー形状に加工した。強磁性共鳴 (FMR) 周波数帯及び ^{55}Mn の NMR 周波数帯の高周波電流を印加し、電圧測定を行った。本測定も、核スピンの分極率が增大する低温域で重点的に実施し、実験は ^4He 冷凍機を利用した低温セットアップで行った。信号の磁場・温度依存性の系統測定及び理論モデルとの比較を行い発現機構を明らかにした。試料薄膜については東北大学の関 剛斎教授、窪田 崇秀特任准教授に提供頂いた。

4. 研究成果

(1) マイクロ波反射分光による核スピン 電子スピン波分散の測定

本研究課題の目標達成のためには、大きな核スピンを有する Mn 系の核スピン物質の素励起特性を理解する必要がある。スピントロニクス分野と NMR 分野との融合を意識し、スピントロニクス分野で幅広く用いられている広帯域マイクロ波反射分光法により、試料の ^{55}Mn NMR の検出に成功した。様々な温度でマイクロ波分光の測定を行った所、温度 5 K 以下の低温において、 ^{55}Mn 核の NMR 周波数帯に明瞭なマイクロ波吸収を見出した。また系統測定により、Mn 系ホイスラー合金中の ^{55}Mn 核及び電子スピン共鳴スペクトルの磁場分散の全貌を明らかにした。本手法に基づけば、共鳴周波数や磁場分散に関する情報を従来よりも詳しく且つ容易に得ることができ、今後、従来のパルスエコー-NMR 法との相補利用等の展開も期待できる。

(2) 電子系におけるスピントルク実験

電子系の低対称スピン軌道相互作用がもたらす現象の評価のため、スピントルク実験を行った。反転対称性を破った伝導体では、波数に対して奇関数的に振る舞うスピン軌道相互作用が発現し、図 2 に示したようなスピン構造が波数空間に生じている。この系でスピントルクを引き起こせば、スピン構造が作り出す有効磁場がスピン歳差の駆動源となるため、磁気共鳴信号には、電流誘起の非平衡スピン構造の向きや大きさが反映される。従って、試料の結晶方位に対して様々な方向に形成したミクロンサイズの素子に対して実験を行うことにより、有効磁場を結晶方向ごとに分解して得ることができ、この系の電流誘起有効磁場を定量できる。実際に測定を行ったところ、FMR 周波数付近で磁気共鳴による信号を観測することに成功した。さまざまな磁場値で実験を行い、FMR 周波数の磁場依存性が異方性を取り入れた磁気共鳴の式でよく再現できることを見出した。上記(1)の研究で得られた磁場分散から期待される FMR 条件とも良く整合することも明らかとなった。更に磁場角度依存性を測定し、実験結果を理論式と組み合わせることで、この系の電流誘起有効磁場の定量にも成功した。これにより、この系の電流誘起有効磁場が同定された。

(3) マイクロ波電流誘起 NMR 励起・検出法の開拓

上記の測定で利用した試料は反転対称性の破れた金属であり、電流を流すことにより非平衡スピン蓄積が生じる系である。ここで入力電流の周波数を核磁気共鳴周波数 (NMR) に合わせると有効磁場が NMR 周波数で振動し、最終的には電子-核スピン間の超微細相互作用を介して、核スピンへも影響を及ぼすと期待される。このアイデアをもとに、大きな核スピン角運動量を示す原子核を含む反転対称性の破れた金属薄膜マイクロバーに NMR を満たす周波数の高周波電流を印加した所、NMR 周波数を満たす条件において有意な電気信号が見出された。また、その信号強度は、おおよそ温度の逆数に比例して低温で発達することが確認され、これは核スピン分極率の温度依存性と良く整合している。共同研究を通じて、この信号の起源を説明するモデル構築にも着手し、その発現機構を明らかにした。今後は、この現象の逆過程等への展開も期待でき、新たな研究指針を生み出すことにも繋がった。

本研究により、スピントロニクス分野で利用される汎用性の高い手法を用いて、核スピンの状態を制御し、測定する新しい分光学が開拓された。核スピンに作用する有効磁場 (超微細磁場) を制御し、核スピンと電子スピンの制御を実現できた点は、基礎的な側面だけでなく、応用面でも重要な意義を持つと考えられる。今後、本研究で開発された手法を活用することで、核スピントロニクス分野の発展と新たな理論の構築が期待できる。また本研究により、金属系における核スピントロニクス現象が見出された。これは、これまで MnCO_3 という絶縁体に限られていた核スピン流科学・核スピントロニクス現象を金属系へと拡張する上で重要な一歩である。本成果は、従来のスピントロニクスや磁気メモリ技術で最も開拓・応用が進む金属系において核スピン科学とスピントロニクスを融合する上で新たな指針を与えるものと期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計19件（うち査読付論文 19件／うち国際共著 7件／うちオープンアクセス 7件）

| | |
|--|-----------------------------|
| 1. 著者名 Arisawa Hiroki, Daimon Shunsuke, Oikawa Yasuyuki, Kikkawa Takashi, Saitoh Eiji | 4. 巻 107 |
| 2. 論文標題 Spin-wave cochlea and nonlocal magnetic resonance in a magnet | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review B | 6. 最初と最後の頁 134408 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevB.107.134408 | 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 Park Chanho, Choi Jae Won, Park No-Won, Kim Gil-Sung, Kikkawa Takashi, Saitoh Eiji, Lee Sang-Kwon | 4. 巻 11 |
| 2. 論文標題 Role of two-dimensional monolayer MoS2 interlayer in the temperature-dependent longitudinal spin Seebeck effect in Pt/YIG bilayer structures | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry A | 6. 最初と最後の頁 11831 ~ 11839 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1039/D3TA01702H | 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 Meng K. K., Chen J. K., Wu Y., Xu X. G., Kikkawa T., Sun L. P., Hou D. Z., Li Q., Zhang N. N., Fu Z. G., Zhu T., Jiang Y., Saitoh E. | 4. 巻 107 |
| 2. 論文標題 Quantum correction to the anomalous Hall effect in PtMnGe thin films | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review B | 6. 最初と最後の頁 224409 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevB.107.224409 | 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 Kosugi M., Obata R., Suzuki K., Kuroyama K., Du S., Skinner B., Kikkawa T., Yokouchi T., Shiomi Y., Maruyama S., Hirakawa K., Saitoh E., Haruyama J. | 4. 巻 11 |
| 2. 論文標題 Gate-tunable resistance drops related to local superconducting gaps in thin TaS2 layers on SrTiO3 substrates | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 APL Materials | 6. 最初と最後の頁 81106 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/5.0147818 | 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 Kikkawa Takashi, Kiguchi Haruka, Kaverzin Alexey A., Takahashi Ryo, Saitoh Eiji | 4. 巻 20 |
| 2. 論文標題 Cryogenic spin Peltier effect detected by a RuO ₂ -AlO _x on-chip microthermometer | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review Applied | 6. 最初と最後の頁 54006 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevApplied.20.054006 | 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 Obata Reiji, Kosugi Mioko, Kikkawa Takashi, Kuroyama Kazuyuki, Yokouchi Tomoyuki, Shiomi Yuki, Maruyama Shigeo, Hirakawa Kazuhiko, Saitoh Eiji, Haruyama Junji | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Coexistence of Quantum Spin Hall and Quantum Hall Topological Insulating States in Graphene/hBN on SrTiO ₃ Substrate | 5. 発行年 2024年 |
| 3. 雑誌名 Advanced Materials | 6. 最初と最後の頁 - |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adma.202311339 | 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 Huang Yi-Te, Suzuki Kenta, Arisawa Hiroki, Kikkawa Takashi, Saitoh Eiji, Ono Takahito | 4. 巻 3 |
| 2. 論文標題 Actuation of microstructures with spin-current volume effect | 5. 発行年 2024年 |
| 3. 雑誌名 Communications Engineering | 6. 最初と最後の頁 42 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s44172-024-00187-3 | 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 Kawamoto Y., Kikkawa T., Kawamata M., Umemoto Y., Manning A. G., Rule K. C., Ikeuchi K., Kamazawa K., Fujita M., Saitoh E., Kakurai K., Nambu Y. | 4. 巻 124 |
| 2. 論文標題 Understanding spin currents from magnon dispersion and polarization: Spin-Seebeck effect and neutron scattering study on Tb ₃ Fe ₅ O ₁₂ | 5. 発行年 2024年 |
| 3. 雑誌名 Applied Physics Letters | 6. 最初と最後の頁 132406 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0197831 | 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 Chumak A. V., Kabos P., Wu M., Abert C., Adelman C., Adeyeye A. O., Akerman J., Aliev F. G., Anane A., Awad A., Back C. H., Barman A., Bauer G. E. W., Becherer M., Beginin E. N., Bittencourt V. A. S. V., Blanter Y. M., Bortolotti P., Boventer I., Bozhko D. A., Kikkawa T. et al | 4. 巻 58 |
| 2. 論文標題 Advances in Magnetism Roadmap on Spin-Wave Computing | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 IEEE Transactions on Magnetism | 6. 最初と最後の頁 800172 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMAG.2022.3149664 | 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 Arisawa Hiroki, Shim Hang, Daimon Shunsuke, Kikkawa Takashi, Oikawa Yasuyuki, Takahashi Saburo, Ono Takahito, Saitoh Eiji | 4. 巻 13 |
| 2. 論文標題 Observation of spin-current striction in a magnet | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Nature Communications | 6. 最初と最後の頁 2440 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-022-30115-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 Daimon Shunsuke, Tsunekawa Kakeru, Kawakami Shinji, Kikkawa Takashi, Ramos Rafael, Oyanagi Koichi, Ohtsuki Tomi, Saitoh Eiji | 4. 巻 13 |
| 2. 論文標題 Deciphering quantum fingerprints in electric conductance | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Nature Communications | 6. 最初と最後の頁 3160 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-022-30767-w | 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 Kikkawa Takashi, Oyanagi Koichi, Hioki Tomosato, Ishida Masahiko, Qiu Zhiyong, Ramos Rafael, Hashimoto Yusuke, Saitoh Eiji | 4. 巻 6 |
| 2. 論文標題 Composition-tunable magnon-polaron anomalies in spin Seebeck effects in epitaxial BixY3-xFe5O12 films | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review Materials | 6. 最初と最後の頁 104402 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.6.104402 | 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 Maekawa Sadamichi, Kikkawa Takashi, Chudo Hiroyuki, Ieda Jun'ichi, Saitoh Eiji | 4. 巻 133 |
| 2. 論文標題 Spin and spin current-From fundamentals to recent progress | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Applied Physics | 6. 最初と最後の頁 020902 - 020902 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0133335 | 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 Kikkawa Takashi, Saitoh Eiji | 4. 巻 2023 |
| 2. 論文標題 Experimental observation of nuclear-spin Seebeck effect | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 JSAP Review | 6. 最初と最後の頁 230403 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11470/jsaprev.230403 | 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 Kikkawa Takashi | 4. 巻 20 |
| 2. 論文標題 Room-Temperature Ferromagnetism Manifests Itself in Ultrathin Pt Films | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 JPSJ News and Comments | 6. 最初と最後の頁 2 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJNC.20.02 | 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 Lee Oscar, Yamamoto Kei, Umeda Maki, Zollitsch Christoph W., Elyasi Mehrdad, Kikkawa Takashi, Saitoh Eiji, Bauer Gerrit E. W., Kurebayashi Hidekazu | 4. 巻 130 |
| 2. 論文標題 Nonlinear Magnon Polaritons | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review Letters | 6. 最初と最後の頁 46703 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.130.046703 | 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 Oyanagi Koichi, Takahashi Saburo, Kikkawa Takashi, Saitoh Eiji | 4. 巻 107 |
| 2. 論文標題 Mechanism of paramagnetic spin Seebeck effect | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review B | 6. 最初と最後の頁 14423 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.107.014423 | 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 Kikkawa Takashi, Saitoh Eiji | 4. 巻 14 |
| 2. 論文標題 Spin Seebeck Effect: Sensitive Probe for Elementary Excitation, Spin Correlation, Transport, Magnetic Order, and Domains in Solids | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Annual Review of Condensed Matter Physics | 6. 最初と最後の頁 129 ~ 151 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1146/annurev-conmatphys-040721-014957 | 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 Rongione E., Gueckstock O., Mattern M., Gomonay O., Meer H., Schmitt C., Ramos R., Kikkawa T., Micica M., Saitoh E., Sinova J., Jaffres H., Mangeney J., Goennenwein S. T. B., Geprags S., Kampfrath T., Klaui M., Bargheer M., Seifert T. S., Dhillon S., Lebrun R. | 4. 巻 14 |
| 2. 論文標題 Emission of coherent THz magnons in an antiferromagnetic insulator triggered by ultrafast spin-phonon interactions | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Nature Communications | 6. 最初と最後の頁 1818 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-023-37509-6 | 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 |

〔学会発表〕 計15件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 2件)

| |
|--|
| 1. 発表者名 吉川貴史, 沼田淳希, 窪田崇秀, 巻内崇彦, 関剛斎, 中堂博之, 埋田真樹, 高梨弘毅, 高橋三郎, 齊藤英治 |
| 2. 発表標題 スピン軌道トルクによる核磁気共鳴の観測 |
| 3. 学会等名 日本物理学会第78回年次大会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|----------------------------------|
| 1. 発表者名 平田裕也, 吉川貴史, 齊藤英治 |
| 2. 発表標題 室温における非線形Seebeck効果の観測 |
| 3. 学会等名 日本物理学会第78回年次大会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---------------------------------|
| 1. 発表者名 吉川貴史, 齊藤英治 |
| 2. 発表標題 電子強誘電体における非線形電気輸送 |
| 3. 学会等名 第33回日本MRS年次大会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 吉川貴史 |
| 2. 発表標題 電子強誘電体における擬スピン・エレクトロニクス |
| 3. 学会等名 エキゾチック磁性を活用したスピントロニクス研究の最前線 (招待講演) |
| 4. 発表年 2024年 |

| |
|----------------------------------|
| 1. 発表者名 平田裕也, 吉川貴史, 齊藤英治 |
| 2. 発表標題 非線形Seebeck効果の理論モデルの構築 |
| 3. 学会等名 日本物理学会2024年春季大会 |
| 4. 発表年 2024年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 吉川貴史 |
| 2. 発表標題 マグノン・フォノン・核スピンに基づくスピントロニクスの研究 |
| 3. 学会等名 日本物理学会2024年春季大会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2024年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 T. Makiuchi, T. Kikkawa, T. Sicanugrist, J. Numata, S. Takahashi, and E. Saitoh |
| 2. 発表標題 Microwave spectroscopy of canted antiferromagnet MnCO ₃ |
| 3. 学会等名 29th International Conference on Low Temperature Physics (LT23) (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 T. Kikkawa, D. Reitz, H. Ito, T. Makiuchi, T. Sugimoto, K. Tsunekawa, S. Daimon, K. Oyanagi, R. Ramos, S. Takahashi, Y. Shiomi, Y. Tserkovnyak, and E. Saitoh |
| 2. 発表標題 Observation of nuclear-spin Seebeck effect in Pt/MnCO ₃ |
| 3. 学会等名 SPIE Nanoscience + Engineering, Spintronics XV (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 吉川貴史, 齊藤英治 |
| 2. 発表標題 核スピンを利用した低温熱電変換 (Nuclear-spin driven low-temperature thermoelectric effect) |
| 3. 学会等名 第14回 低温科学研究センター研究交流会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 巻内崇彦, 吉川貴史, シッチャヌギリッツ タナポーン, 沼田淳希, 高橋三郎, 齊藤英治 |
| 2. 発表標題 キャント反強磁性体MnCO ₃ のマイクロ波分光 |
| 3. 学会等名 第14回 低温科学研究センター研究交流会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 吉川貴史 |
| 2. 発表標題 原子核を利用したスピントロニクスの開拓 |
| 3. 学会等名 第4回若手放談会: エキゾチック核物理の将来 (招待講演) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 巻内崇彦, 吉川貴史, シッチャヌギリッツ タナポーン, 沼田淳希, 高橋三郎, 齊藤英治 |
| 2. 発表標題 Microwave spectroscopy for field dispersions in MnCO ₃ (MnCO ₃ 磁場分散のマイクロ波分光) |
| 3. 学会等名 第70回 応用物理学会 春季学術講演会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|-----------------------------------|
| 1. 発表者名 有沢洋希, 藤本雄人, 吉川貴史, 齊藤英治 |
| 2. 発表標題 超伝導体MoGeにおける非線形熱電効果 |
| 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 藤本雄人, 有沢洋希, 吉川貴史, 齊藤英治 |
| 2. 発表標題 超伝導体MoGeにおける非線形熱電効果の観測に向けた測定手法の開発と理論モデル |
| 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 吉川貴史, 沼田淳希, 窪田崇秀, 関剛斎, 中堂博之, 巻内崇彦, 埋田真樹, 高梨弘毅, 齊藤英治 |
| 2. 発表標題 NiMnSbにおける核-電子スピン共鳴スペクトロスコピー |
| 3. 学会等名 日本物理学会 2023年春季大会 |
| 4. 発表年 2023年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

| |
|--|
| 第11回エヌエフ基金研究開発奨励賞 https://nf-foundation.or.jp/award/list/2022/winner.html 第14回低温科学研究センター研究交流会ベスト・プレゼンテーション・アワード http://www.crc.u-tokyo.ac.jp/kenyukoryu/index.html 令和5年度科学技術分野の文部科学大臣表彰 若手科学者賞 https://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/mext_01224.html 第36回安藤博記念学術奨励賞 http://www.ando-lab.or.jp/hyo-syo-.html 第18回日本物理学会若手奨励賞(領域3) https://www.jps.or.jp/activities/awards/jusyosya/wakate2024.php |
|--|

| 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 |
| 研究協力者 | 巻内 崇彦 (Makiuchi Takahiko) | 東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・特任助教 (12601) | |

6. 研究組織（つづき）

| | 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 |
|-------|---------------------------------|--|----|
| 研究協力者 | 高橋 三郎 (Takahashi Saburo) | 東北大学・材料科学高等研究所・学術研究員 (11301) | |
| 研究協力者 | 関 剛斎 (Sekii Takeshi) | 東北大学・金属材料研究所・教授 (11301) | |
| 研究協力者 | 窪田 崇秀 (Kubota Takahide) | 東北大学・工学研究科・特任准教授 (11301) | |
| 研究協力者 | 中堂 博之 (Chudo Hiroyuki) | 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門 原子力科学研究所 先端基礎研究センター・研究主幹 (82110) | |
| 研究協力者 | 埋田 真樹 (Umeda Maki) | 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門 原子力科学研究所 先端基礎研究センター・博士研究員 (82110) | |

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 |
|---------|---------|
| | |