

令和 6 年 6 月 15 日現在

機関番号：13901  
研究種目：基盤研究(A)（一般）  
研究期間：2021～2023  
課題番号：21H04562  
研究課題名（和文）反強磁性体テラヘルツスピントロニクス創成

研究課題名（英文）Antiferromagnetic terahertz spintronics

## 研究代表者

森山 貴広（Moriyama, Takahiro）

名古屋大学・工学研究科・教授

研究者番号：50643326

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 33,200,000円

研究成果の概要（和文）：テラヘルツ周波数帯の超高速領域における、反強磁性体に適した測定技術確立することで、バルク反強磁性体のテラヘルツ物性を実験・理論の両面から明らかにし、外場や材料変調等による反強磁性体ダイナミクスの制御を実証した。また、伝導スピンと反強磁性スピンダイナミクスの相互作用を調査し、スピン散逸やスピン伝搬特性を定量的に求めた。思いがけない成果としては、超高強度連続テラヘルツ波を利用した独自の測定手法を構築し、これまで不可能であった反強磁性薄膜のテラヘルツ特性の評価手法を世界に先駆けて確立したことが挙げられる。

## 研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究において、反強磁性スピンダイナミクスと伝導スピンの相互作用を実験的に示すことができた。本成果は、THz帯域で動作可能な反強磁性体に、スピントルクなどのスピントロニクスの基本動作原理が応用可能であることを示唆している。ポスト5Gにおける通信周波数はテラヘルツ帯域が想定されているが、反強磁性体とこれまでのスピントロニクス技術を用いることで、これらの周波数帯に対応するデバイスの創成・開発が可能である。

研究成果の概要（英文）：We have established measurement techniques suitable for antiferromagnetic materials in the terahertz frequencies. This effort has revealed the terahertz properties of bulk antiferromagnetic materials from both experimental and theoretical perspectives, demonstrating control of antiferromagnetic dynamics through external fields and material modulation. Furthermore, we investigated the interaction between conduction spins and antiferromagnetic spin dynamics, quantitatively determining spin dissipation and propagation properties. An unexpected achievement includes the development of a unique measurement method using ultra-high-intensity continuous terahertz waves, pioneering the evaluation of terahertz properties of antiferromagnetic thin films, previously considered impossible.

研究分野：スピントロニクス

キーワード：スピントロニクス 反強磁性体 テラヘルツ

## 1. 研究開始当初の背景

スピントロニクスの基本動作原理は、局在スピンと伝導電子スピンの相互作用を利用した磁性の制御にあり、さらに磁性を介した電気伝導変化の検出にある。磁性体の磁化・磁区構造を制御することによって、磁気センサーやメモリ素子など数多の応用を生み出してきている。これらのスピントロニクス応用は、今後の超情報化社会において、より一層期待されている。スピントロニクスが得意とする情報ストレージ技術や情報通信技術は、これらの持続的な発展において中核をなす要素であり、さらなる高速化が必要である。特に、ポスト5Gにおける通信周波数はテラヘルツ帯域が想定されており、これらの周波数帯に対応するデバイスの開発・創製が早急に望まれている。本研究提案では、超高周波数 (THz 帯域) の磁気共鳴を有する反強磁性体に、上述のスピントロニクスの基本動作原理を応用することで、超情報化社会の持続的な発展を牽引する基盤技術を創成することを目指す。

本研究課題において研究対象とする反強磁性体は、隣り合う局在スピンの互いに打ち消しあう方向を向いており、全体として磁化がゼロとなっている物質である。従来、反強磁性体は、その性質から局在スピンを制御・検出することが一般的に困難であると考えられてきた。しかしながら、研究代表者らは世界に先駆けて、反強磁性体中の遍歴スピンの散逸 [Phys. Rev. Lett. 119, 267204 (2017) 他]、スピン流による反強磁性体の局在スピン操作 [Phys. Rev. Lett. 121, 167202 (2018) 他] や、反強磁性体における磁気抵抗効果 [Appl. Phys. Lett. 114, 022402 (2019) 他] の実証、さらに THz 帯における反強磁性共鳴評価手法の確立 [Phys. Rev. Mater. 3, 051402 (2019) 他] などの研究成果を次々と挙げている。これらはどれも、スピントロニクスにおいて反強磁性体が有効な材料であることを示した重要な成果である。これらの成果を発端に、最近「反強磁性体スピントロニクス」の研究 [Rev. of Mod. Phys. 90, 015005 (2018).] が国内外において活発になされてきているが、反強磁性体の真の魅力に踏み込んだ研究はまだ十分になされていない。

その魅力的な特性とは、THz 帯域に達する高い磁気共鳴周波数である。これは反強磁性共鳴周波数が分子磁場に比例するため、通常の強磁性体における強磁性共鳴 (GHz 帯域) に比べて圧倒的に高い。すなわち、反強磁性体はその磁気特性がテラヘルツの超高周波においても応答可能であることを示している。一般に、テラヘルツ領域において機能する材料系・デバイスは多くない。現在のテラヘルツ技術においては、フェムト秒レーザーにより半導体中に励起したキャリアダイナミクスを利用したものが主流である。これらは専らテラヘルツ電磁波の電場成分を利用している。これに対して、本研究では電磁波の磁場成分に着目し、反強磁性スピンドダイナミクスの交番磁場応答性を利用する。さらに、THz 帯域でのスピンドダイナミクスと伝導電子スピンとの相互作用は反強磁性体でしか成し得ない独特の現象であり、スピントロニクスで培われた動作原理により電場、磁場、スピン流等の外場で操作可能である。このようにテラヘルツスピントロニクスデバイスは従来のテラヘルツデバイスと比較して新たな操作自由度を持たせることが可能である。このような大きな可能性を秘めているにも関わらず、反強磁性体の超高速領域の磁気物性は実験的に未解明の領域となっており、学理の構築が望まれる。これらの背景を踏まえて、スピントロニクス分野からテラヘルツ分野へと研究を大きく展開すべく、「反強磁性体テラヘルツスピントロニクス」の創成を強く推し進めていきたいと考えるに至った。

## 2. 研究の目的

本研究では、反強磁性体を持つ超高周波 (THz 帯域) の磁気共鳴周波数を積極的に利用した「反強磁性体テラヘルツスピントロニクス」の学理を構築し、スピントロニクスの動作原理を利用した次世代テラヘルツ基盤技術を創成することを目的とする。

## 3. 研究の方法

本研究目的を達成するために主に以下の項目について研究を遂行した。

### (1) 反強磁性秩序におけるスピンドダイナミクスの理解・制御

一般に、強磁性体におけるスピンドダイナミクスはランダウ・リフシッツ・ギルバート式 (LLG 式) で現象論的かつ統一的に理解されている。LLG 式により、どのような強磁性物質においても、磁気異方性や、磁気回転比、ダンピング定数が分かれば、その物質の強磁性共鳴が表現できる。しかしながら、複数の磁気副格子で構成される反強磁性体においては、磁気副格子の数に対応した複数の共鳴モードを持つ為、LLG 式を単純に適用することはできない。さらに、反強磁性秩序には様々な種類があり、種々の反強磁性物質における実験データも乏しく、反強磁性スピンドダイナミクスの統一的な理解を困難にしている。本研究項目では様々な反強磁性秩序を持つ反強磁性物質について、THz 透過吸収分光により反強磁性共鳴特性を調査する。さらに、第一原理計算と現象論的アプローチとの両面から実験結果を分析する。本項目の成果により、強磁性体の場合の LLG 式のような現象論の確立ができれば、特定の磁性パラメータ (磁気異方性や副格子の数など) から反強磁性共鳴周波数等が予言できる。これは、特定の反強磁性共鳴周波数を利用するテラヘルツ応用において重要な基盤となる。

### (2) 伝導スピンと反強磁性スピンドダイナミクスの多様な相互作用を解明

伝導電子スピンと局在スピンの代表的な相互作用としてスピントルク効果がある。これは伝導電子スピンが持つスピン角運動量が局在スピンの方向に転移される現象で、局在スピンのトルク（回転力）を作用する。申請者は既に、反強磁性体においてスピントルク効果が有効であることを示しており、同効果により反強磁性体の局在スピンの方向制御を実証している[Phys. Rev. Lett. **121**, 167202 (2018)他]。さらにスピントルク効果とは逆の現象として、局在スピンから伝導電子スピンへのスピン角運動量の移行も可能である。これはスピンポンピング効果と呼ばれる。すなわち、反強磁性体の THz ダイナミクスからスピン流生成（伝導電子スピンの流れ）が期待できる。本研究項目では、これらの伝導電子スピンと反強磁性スピンドイナミクスの相互作用が関わる物理現象について調査する。これらの現象は、スピン流を利用した THz エミッタやデテクタ応用の動作原理として期待できる。

#### 4. 研究成果

本研究課題に関して、これまでに得られた成果を以下に具体的に記述する。

##### (1) 反強磁性秩序におけるスピンドイナミクスの理解・制御に関する研究

①カチオンドーピングによる  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の反強磁性共鳴周波数の制御 (Appl. Phys. Lett. 119, 032408 (2021).)

$\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の Fe<sup>3+</sup>カチオンを Al, Ru, Rh, In などによって置換することで反強磁性共鳴周波数を 0.2~1THz の範囲で制御することに成功した。また、モーリン温度 ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の磁気異方性がゼロになる温度) と共鳴周波数の相関から、 $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の磁気異方性の増減や共鳴周波数の変化についてミクロスコピックなメカニズムを考察した。これらの結果は、 $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> がポスト 5G などの通信周波数>30GHz において、フィルターや吸収材として利用可能な材料であることを示した重要な成果である。

②第一原理計算によるカチオンドーピング共鳴周波数制御の予測 (Phys. Rev. Appl. 21, 034040 (2024).)

第一原理計算を用いて、カチオンドーピングによる反強磁性共鳴周波数の変化を予測した。典型的な反強磁性体である NiO について、その反強磁性共鳴周波数 (=1.1 THz) が、様々なカチオン (Li, Na, Be, Mg, Mn, Fe, Zn) をドーピングすることで、最小で 0.77 THz、最大で 1.69 THz に制御可能であることが分かった。これまでの実験報告では、カチオンドーピングにより共鳴周波数が減少することが知られていたが、本計算では Fe ドーピングにより共鳴周波数が増大することを発見した。この周波数増大は、Fe ドーピングによる交換エネルギーの増大と関係していることが分かった。本成果を受けて、実験による再現を進めている。

③反強磁性体の磁気ドメインダイナミクスの解明 (Phys. Rev. Mater. 7, 054401 (2023).)

これまで未解明であった反強磁性磁気ドメインのダイナミクスを実験および独自に開発した磁気シミュレーションの両面から調査した。外部磁場によって変化する反強磁性磁気ドメインのダイナミクスを XLMD-PEEM (直線偏光高電子顕微鏡) により捉えた。強磁性体の場合とは異なり、磁気ドメインのダイナミクスが磁場強度や磁場方向に大きく依存することが分かった。これらの実験結果は、磁気弾性エネルギーや結晶ひずみを取り入れた磁気シミュレーション結果と一致することが分かった。本成果は、強磁性体の場合と異なり、反強磁性磁気ドメインのダイナミクスは磁気弾性エネルギーおよび結晶ひずみに大きく依存することが分かった。本研究により開発したシミュレーション手法により、これまでほとんど知られていない反強磁性磁気ドメインダイナミクスの理解や予言が可能になった。

##### (2) 伝導スピンと反強磁性スピンドイナミクスの多様な相互作用の調査

①反強磁性スピンドイナミクスによる長距離スピン輸送の発見 (Appl. Phys. Exp. 14, 123001 (2021).)

強磁性共鳴法を用いて、NiO/FeNi 多層膜の磁気ダンピング定数を測定することで、NiO 中のスピン流散逸を定量化することができる。先行研究において、多結晶 NiO 中のスピン流の減衰長が 30nm 程度であることが分かっている [Appl. Phys. Exp. 11, 073003 (2018).]。本研究では、同様の測定手法を用いて単結晶 NiO 中のスピン流減衰長を測定した。スピン流の分極方向 s と NiO の結晶方位が s//NiO(111) の時、スピン流減衰長が 50nm なのに対して、s//NiO(001) の時、減衰長は 1000nm を超えるという結果が得られた。これは NiO 中でこれまで観測されたスピン流減衰長で最も長いものである。本成果は、スピンドイナミクスの伝搬による超低散逸のスピン輸送 (スピン超流動) を示唆するものであり、引き続き実験的調査を進めている。

②反強磁性スピンとスピン流の相互作用による磁気抵抗効果 (Appl. Phys. Lett. 120, 112403 (2022), Phys. Rev. B 108, 064434 (2023).)

反強磁性体/Pt 二層膜において生じるスピンホール磁気抵抗効果を実験的に調査した。本効果は反強磁性体磁気モーメントによるスピン流の散逸を起源としており、本効果の発現は反強磁性体磁気モーメントとスピン流に相互作用が可能であることを示す。本研究では、二次元層状 (ファンデルワールス) 反強磁性体である NiPS<sub>3</sub>/Pt についても調査しており、スピンホール磁気抵抗効果が発現することが分かった。本成果は、ファンデルワールス界面を介して反強磁性体磁気モーメントとスピン流に相互作用が可能であることを示した重要な結果である。

③共振構造を用いた反強磁性スピンドイナミクスの強励起 (Nat. Commun. 14, 1795 (2023).)

螺旋状のメタマテリアル金属マイクロ共振器により生成した最大 2.1 テスラの高強度テラヘルツ磁場パルスを用いて反強磁性体へ印加し、反強磁性スピンドイナミクスを調査した。この、強励起手

法によりスピンドダイナミクスの第三次高調波を観測することに成功した。同時に観測された第二高調波は、磁気光学応答に由来するものであり、第三高調波の観測こそが、磁気ポテンシャル非調和性の決定的な証拠であることを明確にした。

④薄膜磁性体における反強磁性スピンドダイナミクス評価手法の確立 (Phys. Rev. Appl. 19, L031003 (2023).)

反強磁性体のテラヘルツ応答性の評価は古くから行われているが、そのほとんどがバルク結晶を対象としたもので、薄膜を対象とした評価はほとんど行われていなかった。テラヘルツで動作する反強磁性体を用いたスピンドデバイスは、近年発展が目覚ましい情報通信処理分野や超高速エレクトロニクスにおける次世代デバイスとして期待されており、デバイス応用に資する薄膜材料のテラヘルツ特性評価が急務である。本研究により、高出力テラヘルツ光源であるジャイロトロンを利用してサブテラヘルツ帯における磁性薄膜の磁化ダイナミクスの測定手法を世界で初めて実証した。本成果は、これまで困難とされていた磁性薄膜のテラヘルツ評価技術の先駆けとなるものである。

## 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 2件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Ujimoto Kakeru, Sameshima Hiroki, Toyoki Kentaro, Moriyama Takahiro, Nakamura Kohji, Kotani Yoshinori, Suzuki Motohiro, Iino Ion, Kawamura Naomi, Nakatani Ryoichi, Shiratsuchi Yu	4. 巻 16
2. 論文標題 Giant gate modulation of antiferromagnetic spin reversal by the magnetoelectric effect	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 NPG Asia Materials	6. 最初と最後の頁 20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41427-024-00541-z	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 Nawa Kenji, Gumarilang Andi, Moriyama Takahiro, Nakamura Kohji	4. 巻 21
2. 論文標題 Tuning of exchange constants and magnetic anisotropy for terahertz antiferromagnetic resonance frequencies in cation-doped NiO	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Physical Review Applied	6. 最初と最後の頁 34040
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevApplied.21.034040	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 Mao Huiling, Sasaki Yuta, Kobayashi Yuta, Isogami Shinji, Ono Teruo, Moriyama Takahiro, Takahashi Yukiko K., Yamada Kihiro T.	4. 巻 123
2. 論文標題 Ultrafast spin-to-charge conversion in antiferromagnetic (111)-oriented L12-Mn3Ir	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 212401
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0168138	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 Sugi Kohki, Ishikawa Takuto, Kimata Motoi, Shiota Yoichi, Ono Teruo, Kato Takeo, Moriyama Takahiro	4. 巻 108
2. 論文標題 Spin Hall magnetoresistive detection of easy-plane magnetic order in the van der Waals antiferromagnet NiPS3/Pt	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 64434
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.108.064434	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 Moriyama Takahiro, Sanchez-Tejerina Luis, Oda Kent, Ohkochi Takuo, Kimata Motoi, Shiota Yoichi, Nojiri Hiroyuki, Finocchio Giovanni, Ono Teruo	4. 巻 7
2. 論文標題 Micromagnetic understanding of evolutions of antiferromagnetic domains in NiO	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 54401
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.7.054401	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 Hayashi Daiju, Shiota Yoichi, Ishibashi Mio, Hisatomi Ryusuke, Moriyama Takahiro, Ono Teruo	4. 巻 16
2. 論文標題 Observation of mode splitting by magnon-magnon coupling in synthetic antiferromagnets	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 053004 ~ 053004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/acd5a6	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 Ujimoto Kakeru, Sameshima Hiroki, Toyoki Kentaro, Kotani Yoshinori, Moriyama Takahiro, Nakamura Kohji, Nakatani Ryoichi, Shiratsuchi Yu	4. 巻 123
2. 論文標題 Direct observation of antiferromagnetic domains and field-induced reversal in Pt/Cr203/Pt epitaxial trilayers	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 22407
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0156254	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 Kobayashi Yuta, Kimata Motoi, Kan Daisuke, Ikebuchi Tetsuya, Shiota Yoichi, Kohno Hiroshi, Shimakawa Yuichi, Ono Teruo, Moriyama Takahiro	4. 巻 61
2. 論文標題 Extrinsic contribution to anomalous Hall effect in chiral antiferromagnetic (111)-oriented L1 <sub>2</sub> -Mn <sub>3</sub> Ir films	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 070912-1 ~ 4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac7625	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 Funada S., Ishikawa Y., Kimata M., Hayashi K., Sano T., Sugi K., Fujii Y., Mitsudo S., Shiota Y., Ono T., Moriyama T.	4. 巻 19
2. 論文標題 Electrical Detection of Antiferromagnetic Dynamics in GdCo Thin Films Using 154-GHz Gyrotron Irradiation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review Applied	6. 最初と最後の頁 L031003-1~6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevApplied.19.L031003	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 Kobayashi Yuta, Shiota Yoichi, Narita Hideki, Ono Teruo, Moriyama Takahiro	4. 巻 122
2. 論文標題 Pulse-width dependence of spin-orbit torque switching in Mn3Sn/Pt thin films	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 122405-1~5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0144602	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 Zhang Zhenya, Sekiguchi Fumiya, Moriyama Takahiro, Furuya Shunsuke C., Sato Masahiro, Satoh Takuya, Mukai Yu, Tanaka Koichiro, Yamamoto Takafumi, Kageyama Hiroshi, Kanemitsu Yoshihiko, Hirori Hideki	4. 巻 14
2. 論文標題 Generation of third-harmonic spin oscillation from strong spin precession induced by terahertz magnetic near fields	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 1795-1~7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-023-37473-1	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 Takahiro Moriyama, Shigemi Mizukami, et al.	4. 巻 33
2. 論文標題 The 2021 Magnonics Roadmap	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Condensed Matter	6. 最初と最後の頁 413001~413001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-648X/abec1a	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 Hayashi Kensuke, Yamada Keisuke, Shima Mitsuhiro, Ohya Yutaka, Ono Teruo, Moriyama Takahiro	4. 巻 119
2. 論文標題 Control of antiferromagnetic resonance and the Morin temperature in cation doped $\text{M}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_3$ ( $\text{M} = \text{Al}, \text{Ru}, \text{Rh}, \text{and In}$ )	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 032408 ~ 032408
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0053586	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 Ikebuchi Tetsuya, Kobayashi Yuta, Sugiura Itaru, Shiota Yoichi, Ono Teruo, Moriyama Takahiro	4. 巻 14
2. 論文標題 Long-distance spin current transmission in single-crystalline NiO thin films	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 123001 ~ 123001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/ac3575	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 Ikebuchi Tetsuya, Shiota Yoichi, Ono Teruo, Nakamura Kohji, Moriyama Takahiro	4. 巻 120
2. 論文標題 Crystal orientation dependence of spin Hall angle in epitaxial Pt/FeNi systems	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 072406 ~ 072406
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0078688	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 Kan Daisuke, Moriyama Takahiro, Aso Ryotaro, Horai Shinji, Shimakawa Yuichi	4. 巻 120
2. 論文標題 Triaxial magnetic anisotropy and Morin transition in $\text{Fe}_2\text{O}_3$ epitaxial films characterized by spin Hall magnetoresistance	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 112403 ~ 112403
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0087643	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13件（うち招待講演 11件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 森山貴広
2. 発表標題 反強磁性体を用いたテラヘルツスピントロニクス
3. 学会等名 日本物理学会2022年秋季大会シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takahiro Moriyama
2. 発表標題 Spin dynamics and transport in antiferromagnets
3. 学会等名 Trends in MAGnetism 2022（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森山貴広
2. 発表標題 反強磁性体を用いたテラヘルツスピントロニクス
3. 学会等名 電気学会専門調査委員会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takahiro Moriyama
2. 発表標題 Electrical detection of antiferromagnetic resonance modes by using 154 GHz gyrotron irradiation
3. 学会等名 the 24th International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takahiro Moriyama
2. 発表標題 Controlling antiferromagnetic resonance
3. 学会等名 Intermag 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takahiro Moriyama
2. 発表標題 Controlling antiferromagnetic resonance
3. 学会等名 Online spintronics seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森山貴広
2. 発表標題 テラヘルツ帯の反強磁性共鳴によるスピンプンピング効果
3. 学会等名 応用電子物性分科会 11月研究例会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森山貴広
2. 発表標題 強磁場を用いた反強磁性磁化ダイナミクスの測定
3. 学会等名 強磁場オンライン研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takahiro Moriyama
2. 発表標題 Spin dynamics and transport in antiferromagnets
3. 学会等名 IJW-IPS 2022 Indo-Japan workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森山貴広
2. 発表標題 スピントロニクスの最前線
3. 学会等名 電子情報通信学会 2022年総合大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森山貴広
2. 発表標題 反強磁性薄膜のテラヘルツ分光
3. 学会等名 応用物理学会・日本磁気学会共同主催研究会 (招待講演)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 T. Moriyama, S. Funada, Y. Ishikawa, M. Kimata, Y. Yamaguchi, K. Hayashi, T. Sano, K. Sugi, Y. Fuji, S. Mitsudo, Y. Shiota, T. Ono
2. 発表標題 Electrical detection of antiferromagnetic dynamics in thin films by using gyrotron
3. 学会等名 第47回 日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森山貴広
2. 発表標題 Electrical detection of antiferromagnetic dynamics in thin films by using gyrotron
3. 学会等名 テラヘルツ科学の最先端X(招待講演)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 森山貴広 他	4. 発行年 2023年
2. 出版社 エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 760
3. 書名 スピントロニクスハンドブック: 基礎から応用まで	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>京大・福井大・東北大、ジャイロトロンを用いた金属磁性薄膜のサブ THz 磁化ダイナミクス評価に成功  <a href="https://www.nikkei.com/article/DGXZRSP651380_X10C23A3000000/">https://www.nikkei.com/article/DGXZRSP651380_X10C23A3000000/</a>          テラヘルツ波とスピン振動の高効率な結合による巨大スピン応答の観測～超高速スピントロニクス応用へ  <a href="https://tiisys.com/blog/2023/04/03/post-119611/">https://tiisys.com/blog/2023/04/03/post-119611/</a></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
研究分担者	中村 浩次  (Nakamura Kohji)  (70281847)	三重大学・工学研究科・教授    (14101)	

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			
イタリア	University of Messina			