

令和 5 年 6 月 8 日現在

機関番号：82110

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H01863

研究課題名（和文）スピン流駆動型アインシュタイン・ドハース効果の理論構築と実証実験研究

研究課題名（英文）Research on Theoretical Formulation and Experimental Confirmation of the Spin Current Driven Einstein-de Haas Effect

研究代表者

松尾 衛（Matsuo, Mamoru）

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・客員研究員

研究者番号：80581090

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）：本研究ではスピンドYNAMICSによる物体の巨視的運動の間の学理構築を理論と実験の両面から行う。電子が持つ電氣的自由度とスピン自由度の双方を同時に利用することで従来にない機能発現を目指す学問領域がスピントロニクスであり、その中核を担うのがスピン角運動量の流れ「スピン流」である。スピン流の生成・制御は「角運動量変換」によって行われる。我々はこのスピン流の生成に、物体の巨視的回転運動という従来取り入れられてこなかった角運動量を導入する理論提案、実証実験を行ってきた。これを発展させるとともに、理論的にも完全に理解できているとはいいがたい逆過程であるスピン流注入による巨視的運動の研究を行う。

研究成果の学術的意義や社会的意義  
スピン角運動量と物体の巨視的運動が関わるメカニズムは、理論面においてさえ十分に理解されているとはいえず、理論、実験両面からその解明に迫ることは大きな学術的意義を有する。一方、その社会的意義として、スピン角運動量を通じた物体運動は既存の動力とは全く異なる動力原理であることから、スピン自由度を直接利用するナノモーターやナノスケールの機械運動をスピンによって検出するモーションセンサー等の応用が見込まれる。

研究成果の概要（英文）：In this research, we are investigating the theory and experimental aspects of constructing a scientific principle for macroscopic motion of objects through spin dynamics. Spintronics is a field of study aiming to realize unprecedented functionalities by utilizing both electrical and magnetic degrees of freedom that electrons possess, with the flow of spin angular momentum, known as "spin current," serving as the core. The generation and control of this spin current occur through "angular momentum conversion." We have proposed theories and conducted proof-of-concept experiments that introduce macroscopic rotational motion, an angular momentum aspect that has not been previously incorporated, into the generation of this spin current. We aim to further this development while studying the reverse process, the macroscopic motion induced by spin current injection, which is difficult to say we fully understand theoretically.

研究分野：理論物理学

キーワード：スピンメカトロニクス アインシュタインドハース効果 パーネット効果

### 1. 研究開始当初の背景

電子が持つ電氣的自由度と磁氣的自由度の双方を同時に利用することで従来にない機能発現を目指す学問領域がスピントロニクスであり、その中核を担うのが磁氣的自由度の担い手であるスピン角運動量の流れ「スピン流」である。スピン流の生成・制御は「角運動量変換」によって行われる。我々はこのスピン流の生成に、物体の巨視的回転運動という従来取り入れられてこなかった角運動量を導入する理論提案、実証実験を行ってきた。これを発展させるとともに、逆過程であるスピン流注入による巨視的運動の研究を行う。本研究が目標とするスピンドイナミクスからの巨視的運動制御は、従来利用されていなかった全く新しい動力原理であり、基礎物理のみならず、スピン自由度を直接利用するナノ動力源などの応用研究やそのための材料開発など幅広い分野への波及効果が期待できる。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、理論と実験の両面からのアプローチによるスピンドイナミクスによる物体の巨視的運動に関する学理構築である。スピン角運動量と物体の巨視的運動が関わるメカニズムは、理論面においてさえ十分に理解されているとは言い難い一方、既存の動力とは全く異なる動力原理であることから、基礎物理研究の進展のみならず、スピン自由度を直接利用するナノモーターやナノスケールの機械運動をスピンによって検出するモーションセンサー等の応用が見込まれる。そこで、特にスピン角運動量と巨視的運動の間のダイナミクスを活用したナノモーターやナノ発電に関する実験と理論の研究を集中的に研究しつつ、様々なスピン源を使ってスピンと巨視的運動の相互作用の観測を目指す。

### 3. 研究の方法

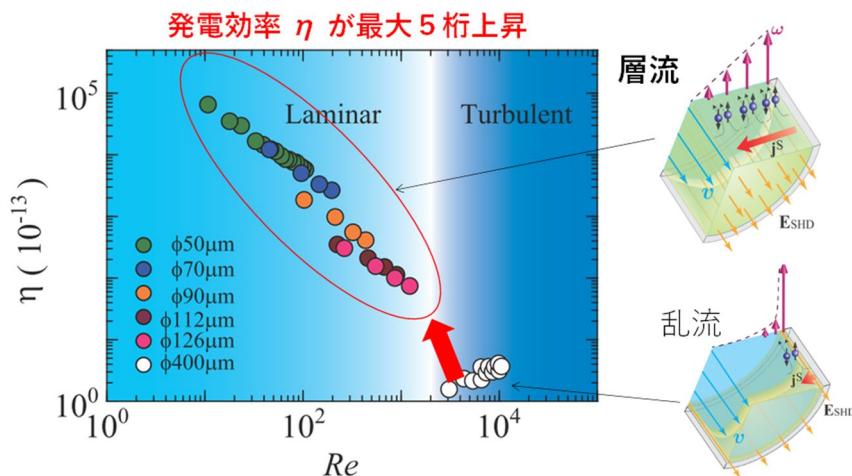
本研究の目的を達成するために、理論研究においては、マイクロポーラー連続体力学に基づく現象論と非平衡グリーン関数法を用いた微視的理論の双方を駆使することでスピンドイナミクスによる物体の巨視的運動生成の理論構築を進める。それと並行して実験研究では、スピン流の角運動量を高感度検出可能なスピントロニクス技術、スピンと巨視的回転の相互作用を調べる理想的プローブの一つである NMR 技術を用いることで、巨視的運動とスピンドイナミクスの相互作用の理解を深化させる。実験的に得られた結果に対する理論的考察や新奇な理論提案を実現する実験系の考案など、理論と実験の間で緊密な連携を保って研究することで成果の最大化を図る。

### 4. 研究成果

本研究で得られたスピンと巨視的運動に関する主な成果として、流体を使ったナノ発電実験、スピン回転相互作用の系統的实验、磁気回転効果によるナノモーターの理論提案、表面波による回転から生じるナノ発電効果の四報の論文を概説する。

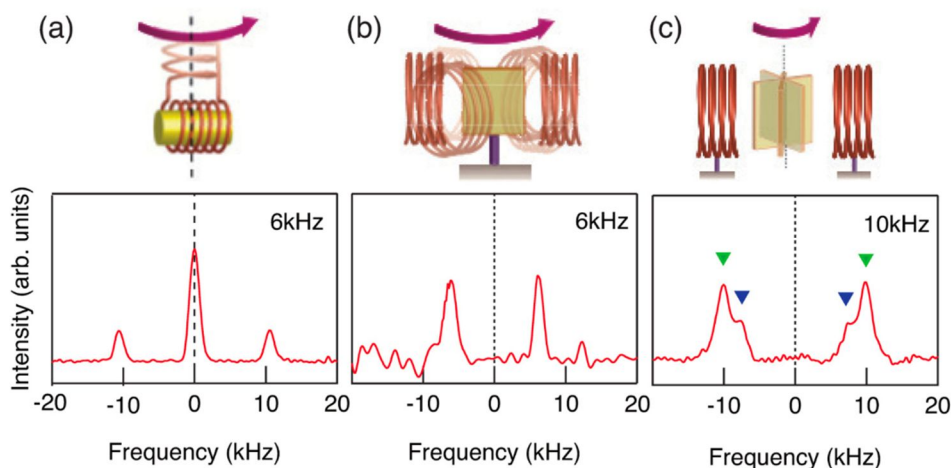
#### (1) 論文“Giant spin hydrodynamic generation in laminar flow (Nature Communications)”

流体力学的運動によって生じる流体中の渦回転と電子スピンの結合し、電子スピンの角運動量流を生むことができる。この現象はスピン流体力学的生成 (SHDG) と呼ばれ、スピントロニクスを含む様々な分野で注目されている。本研究では、スピントロニクスの舞台であるスピン拡散長 (マイクロやナノ) スケールでも、SHDG の物理現象が生じることを実験的に示した。さらに、図に示すように層流 SHDG は特有のスケール則を示し、そのエネルギー変換効率 $\eta$ は乱流の場合よりも約 5 桁大きいことがわかった。この結果、層流 SHDG が流体スピントロニクスの小型化や応用範囲の拡大に適していることが明らかになった。



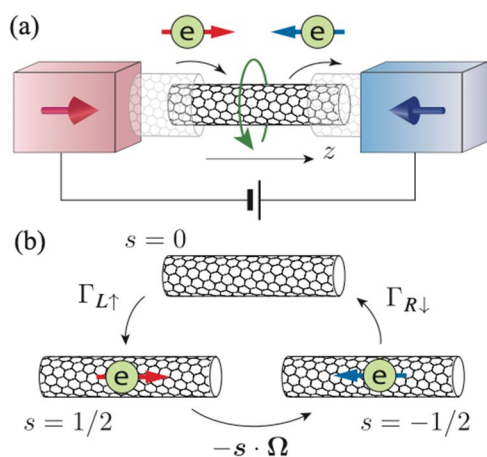
(2) 論文“Barnett field, rotational Doppler effect, and Berry phase studied by nuclear quadrupole resonance with rotation (Physical Review B)”

本論文は回転座標系に置かれたスピンの感じるスピン回転相互作用(バーネット磁場)と回転ドップラー効果の関係を系統的に調べた実験を報告したもので、次図は  $\text{NaClO}_3$  の単結晶における  $^{35}\text{Cl}$  NQR スペクトルを示す。図中のスペクトラムは(a) サンプルとサンプルコイルの同時回転、(b) サンプルコイルのみの回転、および(c) サンプルのみの回転の3つのセットアップによってそれぞれ得られたものである。回転軸は単結晶試料の $\langle 100 \rangle$ 方向に平行である。(a)のサンプルとサンプルコイルの同時回転の場合、NQR スペクトルはシフトが無い共鳴線と NQR シフトが  $\pm \sqrt{3} \Omega / \pi$  の合計3つの共鳴線に分裂する。このスペクトル構造は、バーネット磁場を四重極ハミルトニアンへの摂動として取り扱うことで再現することができる。この結果は、回転座標系においてバーネット磁場が生じていることを示している。一方、(b)のサンプルコイルのみの回転の場合、NQR スペクトルは NQR シフトが  $\pm \Omega / 2\pi$  の2つの共鳴線に分裂する。この NQR 共鳴線の分裂は、サンプルとサンプルコイルの相対的な回転運動、つまり回転ドップラー効果によるものである。これらの2つの NQR スペクトルと比較すると、サンプルとサンプルコイルの同時回転は、バーネット磁場によるものであり、回転ドップラー効果とは明確に異なる事を示している。図(c)に示されているサンプルのみの回転の場合、(a)および(b)と比較して異なる構造の NQR スペクトルが得られた。つまり、バーネット磁場に起因する NQR シフトと回転ドップラー効果が相殺しないことを意味する。



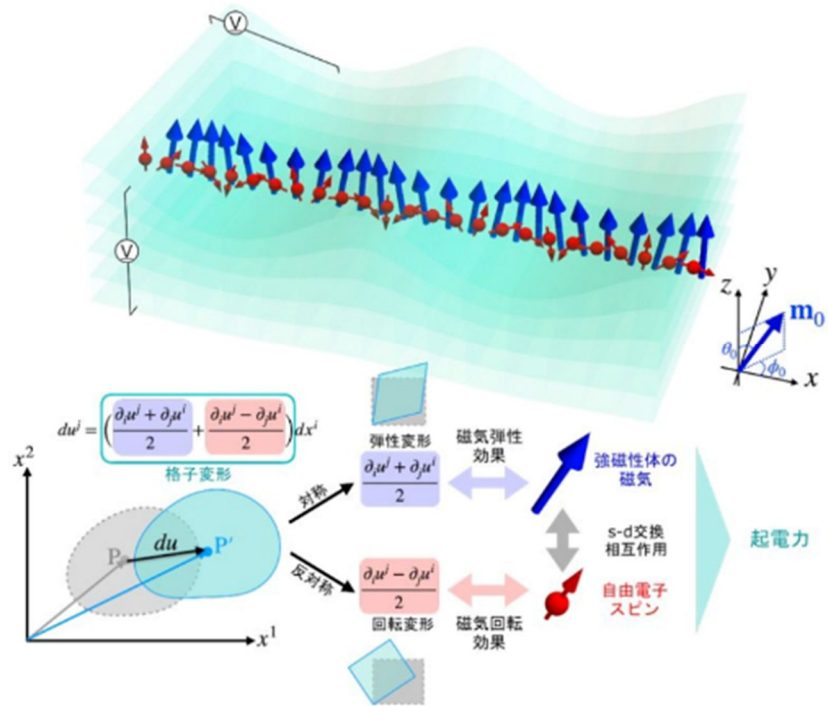
(3) 論文“Einstein-de Haas Nanorotor (Physical Review Letters)”

本研究では、磁気回転効果によって駆動されるナノモーターを理論的に提案した。現実的なセットアップとして、反平行に磁化した一対の強磁性体電極と結合した二層カーボンナノチューブを考え、スピン・回転結合によるスピン伝導を量子マスター方程式を用いて数値的に解析した。その結果、ねむりコマのような安定した回転状態を実現するためには、摩擦に対応する緩和過程が不可欠であることがわかった。



(4) 論文“Spin Elastodynamic Motive Force (Physical Review Letters)”

本論文では、強磁性金属の単膜という単純なデバイス構造における磁気回転効果から起こる起電力の発生を理論的に提唱した。表面弾性波が強磁性金属に注入されると、格子の回転変形に伴って強磁性体内の自由電子スピンに磁気回転効果が作用する。一方で、弾性変形によって強磁性体の磁気の向きが変化する効果(磁気弾性効果)も発生し、スピン波が励起される。こ



のスピン波が伝導電子スピンの作用し、起電力が生じる。特に、伝導電子スピンの作用する磁気回転効果と磁気弾性効果という2つの効果が合わさることで、貴金属や複雑なデバイス構造を必要とせず、磁気回転効果に起因する起電力が発生することを発見した。また本研究では、レイリー波という表面弾性波の一種によって発生する起電力を解析し、弾性波の進行方向と磁性体の膜厚方向に起電力が出現すること、レイリー波の進行方向と磁性体の磁気の向きについての非相反性が現れることを見出した。さらに、強磁性金属としてニッケルを使用した場合、実験で観測可能なオーダーの起電力が得られることを示した。

## 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 20件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Funato Takumi, Matsuo Mamoru	4. 巻 572
2. 論文標題 Spin hydrodynamic generation in unsteady flows	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Magnetism and Magnetic Materials	6. 最初と最後の頁 170574 ~ 170574
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmmm.2023.170574	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 Tajima Hiroyuki, Oue Daigo, Matsuo Mamoru, Kato Takeo	4. 巻 2
2. 論文標題 Nonequilibrium noise as a probe of pair-tunneling transport in the BCS-BEC crossover	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 PNAS Nexus	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pnasnexus/pgad045	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 Ishikawa T., Matsuo M., Kato T.	4. 巻 107
2. 論文標題 Spin Hall magnetoresistance in quasi-two-dimensional antiferromagnetic-insulator/metal bilayer systems	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 54426
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.107.054426	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 Funato Takumi, Yamakage Ai, Matsuo Mamoru	4. 巻 106
2. 論文標題 Acoustic spin transport by superconducting quasiparticles	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 214420
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.106.214420	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 Oue Daigo, Matsuo Mamoru	4. 巻 106
2. 論文標題 Twisting an optomechanical cavity	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 L041501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.106.L041501	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 Ominato Yuya, Yamakage Ai, Matsuo Mamoru	4. 巻 106
2. 論文標題 Anisotropic superconducting spin transport at magnetic interfaces	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 L161406
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.106.L161406	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 Funato Takumi, Kato Takeo, Matsuo Mamoru	4. 巻 106
2. 論文標題 Spin pumping into anisotropic Dirac electrons	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 144418
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.106.144418	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 Tajima Hiroyuki, Oue Daigo, Matsuo Mamoru	4. 巻 106
2. 論文標題 Multiparticle tunneling transport at strongly correlated interfaces	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 33310
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.106.033310	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 Ominato Yuya, Oue Daigo, Matsuo Mamoru	4. 巻 105
2. 論文標題 Valley transport driven by dynamic lattice distortion	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 195409
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.105.195409	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 Ominato Yuya, Yamakage Ai, Kato Takeo, Matsuo Mamoru	4. 巻 105
2. 論文標題 Ferromagnetic resonance modulation in d-wave superconductor/ferromagnetic insulator bilayer systems	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 205406
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.105.205406	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 該当する

1. 著者名 Tateno Shoma, Kurimune Yuki, Matsuo Mamoru, Yamanoi Kazuto, Nozaki Yukio	4. 巻 104
2. 論文標題 Einstein-de Haas phase shifts in surface acoustic waves	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 L020404
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.104.L020404	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 Funato Takumi、Matsuo Mamoru	4. 巻 104
2. 論文標題 Helicity current generation by distorted Rashba coupling	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 L060412
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.104.L060412	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 Yamamoto T.、Kato T.、Matsuo M.	4. 巻 104
2. 論文標題 Spin current at a magnetic junction as a probe of the Kondo state	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 L121401
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.104.L121401	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 Funato Takumi、Matsuo Mamoru	4. 巻 540
2. 論文標題 Acoustic Rashba-Edelstein effect	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Magnetism and Magnetic Materials	6. 最初と最後の頁 168436 ~ 168436
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmmm.2021.168436	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 Izumida W.、Okuyama R.、Sato K.、Kato T.、Matsuo M.	4. 巻 128
2. 論文標題 Einstein-de Haas Nanorotor	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 17701
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.128.017701	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 Oue Daigo, Matsuo Mamoru	4. 巻 105
2. 論文標題 Motion-induced spin transfer	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 L020302
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.105.L020302	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 Funato Takumi, Matsuo Mamoru	4. 巻 128
2. 論文標題 Spin Elastodynamic Motive Force	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 77201
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.128.077201	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 Chudo H., Matsuo M., Maekawa S., Saitoh E.	4. 巻 103
2. 論文標題 Barnett field, rotational Doppler effect, and Berry phase studied by nuclear quadrupole resonance with rotation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 174308
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.103.174308	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 Chudo Hiroyuki, Imai Masaki, Matsuo Mamoru, Maekawa Sadamichi, Saitoh Eiji	4. 巻 90
2. 論文標題 Observation of the Angular Momentum Compensation by Barnett Effect and NMR	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 81003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.90.081003	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 Takahashi R., Chudo H., Matsuo M., Harii K., Ohnuma Y., Maekawa S., Saitoh E.	4. 巻 11
2. 論文標題 Giant spin hydrodynamic generation in laminar flow	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 3009
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-020-16753-0	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 Kato T., Ohnuma Y., Matsuo M.	4. 巻 102
2. 論文標題 Microscopic theory of spin Hall magnetoresistance	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 94437
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.102.094437	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10件 (うち招待講演 9件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 M. Matsuo
2. 発表標題 スピンメカトロニクス - 磁気回転効果を用いたスピントロニクス
3. 学会等名 ATI スピントロニクス研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 M. Matsuo
2. 発表標題 Spin current generation due to Stern-Gerlach like effects
3. 学会等名 META 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 M. Matsuo
2. 発表標題 Spin transport driven by emergent magnetic fields
3. 学会等名 INTERMAG2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中堂博之
2. 発表標題 Observation of the angular momentum compensation by Barnett effect and NMR
3. 学会等名 The 5th Symposium for the Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics, and the 4th Symposium on International Joint Graduate Program in Materials Science (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中堂博之
2. 発表標題 Nuclear Barnett effect and nuclear Einstein-de Haas effect
3. 学会等名 SPIN2021 The 24th International Spin Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中堂博之
2. 発表標題 バーネット効果とNMRで見る角運動量補償
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会シンポジウム フェリ磁性スピントロニクスの新展開 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 M. Matsuo
2. 発表標題 Spin current generation by fluid and elastic motions
3. 学会等名 CEMS Topical Meeting Online "Magnon-Phonon Coupling" (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 M. Matsuo
2. 発表標題 Spin transport via spin-vorticity coupling in condensed matter physics
3. 学会等名 ECT* Online Workshop on "Spin and Hydrodynamics in Relativistic Nuclear Collisions" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 成島哲也、岡本裕巳
2. 発表標題 高速離散円偏光変調法による円二色性顕微鏡の高感度化
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会 オンライン開催
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 針井 一哉
2. 発表標題 スピンメカトロニクスの進展
3. 学会等名 CROSSroads Workshop (招待講演)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 中嶋慧・松尾衛	4. 発行年 2020年
2. 出版社 現代数学社	5. 総ページ数 374
3. 書名 一般ゲージ理論と共変解析力学	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 円偏光照射器、分析装置及び顕微鏡	発明者 成島哲也，岡本裕巳	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2021-029181	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

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	針井 一哉  (Harii Kazuya)  (00633900)	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・高崎量子応用研究所 量子機能創製研究センター・主任研究員   (82502)	
研究分担者	中堂 博之  (Chudo Hiroyuki)  (30455282)	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・研究副主幹   (82110)	
研究分担者	成島 哲也  (Narushima Tetsuya)  (50447314)	分子科学研究所・メゾスコピック計測研究センター・助教   (63903)	

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	中国科学院大学カブリ理論科学 研究所			