

令和 2 年 5 月 25 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K14800

研究課題名(和文) 結晶磁気異方性とギルバート緩和現象に対する有限温度第一原理計算手法の新規開発

研究課題名(英文) Theoretical Study on Crystalline Magnetic Anisotropy and Gilbert Damping in Finite Temperature

研究代表者

三浦 大介 (MIURA, Daisuke)

東北大学・工学研究科・助教

研究者番号：90708455

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は強磁性体における結晶磁気異方性定数 $K_u(T)$ とギルバート緩和定数 $\alpha(T)$ に関する理論研究である( $T$ は温度)。これらを統一的立場から同時に記述し、温度特性の起源と相関を明らかにすることを目的とする。永久磁石材料を想定し、以下のような結論を得た。希土類磁石が呈する $K_u(T)$ の複雑な温度特性は、希土類イオンの持つ $f$ 電子雲の多極子描像から理解できることを示し、従来の Akulov-Zener-Callen-Callen 則を拡張する形に整理した。 $\alpha(T)$ について、希土類イオンが関与する部分を記述した結果、従来のバンド理論からの予測と大きく異なる複雑な温度特性を持つ可能性があることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

結晶磁気異方性は永久磁石の重要な性能指数である保磁力の支配因子であり、その温度特性を評価することは応用上極めて重要である。本研究では、 $K_u(T)$ を電子論に基づいて記述して実験結果を再現すると共に、その微視的起源を明らかにした。また、 $\alpha(T)$ も同時に記述し、希土類永久磁石が示す温度特性は通常の遍歴磁性体が示すそれとは全く異なることを示唆する結果を得た。 $K_u(T)$ と $\alpha(T)$ は磁気デバイスの消費エネルギーに深く関与しており、本研究で上記のような知見が得られたことは社会的意義が大きいと考える。

研究成果の概要(英文)：We have investigated the temperature dependencies of the crystalline anisotropy and the magnetic damping in ferromagnets, which are, respectively, characterized by a crystalline anisotropy constant,  $K_u(T)$ , and a Gilbert damping constant,  $\alpha(T)$ , at a finite temperature  $T$ . Our purpose is to reveal the origin of the temperature dependencies in the same footing and from microscopic viewpoints. In this work, we derived an extension for the conventional Akulov-Zener-Callen-Callen law, and demonstrated that it well reproduces experimental  $K_u(T)$  for rare-earth magnets having complex temperature dependence. In addition, considering  $\alpha(T)$  in the same rare-earth magnets, we suggested that rare-earth magnets have a considerable difference from understanding of the Kambersky theory.

研究分野：磁性物理

キーワード：結晶磁気異方性 ギルバート緩和 微視的理論

## 様式 C-19, F-19-1, Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

わが国で発見されたネオジウム磁石は最強の永久磁石として市販され、高音質なオーディオ機器や精密動作が要求されるサーボモータといった高級磁気デバイスに広く用いられてきている。近年は、このような室温環境だけの利用ではなく、希土類磁石が苦手とする高温環境での利用が拡大してきている。これは電気自動車産業からの需要が爆発的に増大したことが背景にあり、有限温度における希土類磁石の「静的」磁気特性(例えば結晶磁気異方性)について多くの関心を集めることになった。一方、希土類磁石の「動的」磁気特性(例えば磁気緩和)については非常に研究が少ない。特に、温度依存性については皆無である。これは、希土類磁石の持つ大きな異方性磁場が実験研究の障害になったものと考えている。本研究は、有限温度における永久磁石材料の磁気特性を微視的立場から記述し、その支配因子を明らかにすると共に、物質依存性を定量評価することを目指した理論研究である。本報告書では、有限温度における強磁性体の「結晶磁気異方性」と「磁気緩和」について得られた知見を報告する。

■結晶磁気異方性 ネオジウム磁石の保磁力は温度上昇と共に急落することが知られており、先述のように、この温度特性を改善することが急務となっている。一般に、永久磁石の保磁力の上限は磁気異方性定数を磁化で割った量に支配されていることから、磁気異方性定数の温度特性を知ることが重要になる。ここで、 $n$  次の磁気異方性定数  $K_n(T)$  は次式によって定義される：

$$F(\theta, T) = \sum_{n=0}^{\infty} K_n(T) \sin^{2n} \theta. \quad (1)$$

$F(\theta, T)$  は強磁性体の自由エネルギー密度、 $\theta$  は磁化方向を  $c$  軸から測った角度である。実験や数値計算から  $K_n(T)$  を評価するには、上式を  $n=3$  程度で打ち切った表式を用いて最小二乗法を適用する。ただし、 $\{\sin^{2n} \theta\}$  は直交関数系ではないため、 $K_n(T)$  の値は打ち切る次数に依存する。このため、希土類磁石のように複雑な  $\theta$  依存性を有する物質では、同じ物質でも値がかなり異なる  $K_n(T)$  が報告されることがあるので注意が必要である。我々は  $n=3$  まで、すなわち、 $K_1(T), K_2(T)$  および  $K_3(T)$  を扱うことにした。また、磁気異方性発現の起源を結晶場に求める。すなわち、結晶磁気異方性定数だけを対象とした。

結晶磁気異方性の温度特性に関する理論研究は、古くは Akulov (1936)[1] に始まり、Zener (1964)[2] によって現象論が完成された。その後、Callen 等 (1966)[3] によって微視的根拠が与えられた。今日、この現象論による法則は Callen-Callen 則と呼ばれている。ちなみに、Akulov と Zener の名が外れてしまったのは Callen 等による総説が有名であったことが原因と考えられ、本来は Akulov-Zener-Callen-Callen (AZCC) 則と呼ぶべきものである。正方晶を想定して具体形を書き下すと、 $K_n(T) = K_n(0)m(T)^{n(2n+1)}$ 、すなわち

$$K_1(T) = K_1(0)m(T)^3, \quad (2a)$$

$$K_2(T) = K_2(0)m(T)^{10}, \quad (2b)$$

$$K_3(T) = K_3(0)m(T)^{21}, \quad (2c)$$

となる。ここで  $m(T)$  は  $m(0) = 1$  に規格化された磁化の大きさである。この表式によれば、 $K_n(T)$  はその絶対零度の値と M-T カーブだけによって決定されることになる。また、高次の  $K_n(T)$  ほど温度上昇に対して減衰が早いこともわかる。この簡単さから実験研究に重用されたが、この法則に従わないような物質も多く発見された。むしろ、従う物質は「単純な」ものに限られると見なされるようになってきている。例えば、FePt は  $K_1(T) \propto m(T)^{2.1}$  と報告されており、電子の遍歴性が強く

顕在化した結果であると考えられている [4]. また, ネオジム磁石に至っては (後に示すように) 低温で  $K_1(T) < 0$ , 高温で  $K_1(T) > 0$  に転ずる挙動を示し, 全く AZCC 則に従わない.

■磁気緩和 強磁性体の時刻  $t$  の磁化  $\mathbf{M}(t)$  の動力学は, 古くから Landau-Lifshitz-Gilbert (LLG) 方程式:

$$\frac{d\mathbf{M}(t)}{dt} = -\gamma \mathbf{M}(t) \times \mathbf{H}_{\text{eff}}(t) + \frac{\alpha}{|\mathbf{M}(t)|} \mathbf{M}(t) \times \frac{d\mathbf{M}(t)}{dt}, \quad (3)$$

によって記述されてきた. ここで  $\gamma$  は磁気回転比,  $\mathbf{H}_{\text{eff}}(t)$  は有効磁場,  $\alpha$  はギルバート緩和定数である. 上式第 2 項の存在によって, 磁化が有効磁場に向かって運動していく (緩和していく) ことがわかる.  $\alpha$  はこの緩和の強さを表す現象論的パラメータである.  $\alpha$  は主に強磁性共鳴実験によって評価されるため, 軟磁性材料に関する報告が多い. また,  $\alpha$  を与えるための基礎理論はいくつかあり, Kambersky (2007)[5], Gilmore 等 (2007)[6], Brataas 等 (2008)[7] によるものが有名である. 古来より研究された結晶磁気異方性とは異なり,  $\alpha$  の理論研究の歴史は浅く, 研究が活発化したのは近年のことである. これは,  $\alpha$  の大小が問題になるような高速磁気デバイスが出現したのが最近であることも関係しているが, とりわけスピン RAM の書き込み電流の大きさが  $\alpha$  に比例することから [8], 低  $\alpha$  材料が求められるようになったことが大きいと考えている. そのため, 物質探索の指針を与えるような基礎理論の構築が求められたという経緯がある.

一方, 我々の知る限り, 希土類磁石に対する  $\alpha$  の実験報告はなく, 理論報告も我々によるものだけである. 例えば,  $R_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  磁石 ( $R$ : 希土類元素) の  $\alpha$  を取り上げる.  $R_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  の磁化のほとんどは鉄副格子によるものであるから, 鉄磁化の緩和現象を記述すれば良いと考える. 更なる機構を考えると, 鉄副格子内部での緩和と,  $R$  イオンが直接関与する緩和が考えられる. このように分けると, 前者についてはバンド理論が有効であると考えられるため, Kambersky と Gilmore 等による理論 (KG 理論) によって記述できるはずである. ただし, 後者については基礎理論すらないため, 本研究で構築することにした.

## 2. 研究の目的

本研究は磁性材料の結晶磁気異方性と磁気緩和に関する理論研究であり, それぞれを特徴付ける結晶磁気異方性定数  $K_n(T)$  とギルバート緩和定数  $\alpha(T)$  を微視的立場から両方同時に記述することによって, (1) 両者の温度特性の起源と相関を明らかにすること, (2) 物質依存性の定量評価のための基礎理論を構築すること, を目的とした.

## 3. 研究の方法

次に強磁性体を遍歴磁性体と局在磁性体のどちらかに分類する必要がある. これは, 結晶中の電子の状態空間がまるで違うためである. このことは, 遍歴・局在どちらとも言えない物質の扱いが非常に難しくなることを示唆しているが, 幸い, 実用材料の多くはどちらかに分類できる.  $R_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  の  $K_n(T)$  や ( $R$  イオンが直接関与する)  $\alpha(T)$  を評価する場合は局在磁性体として扱い, 結晶場理論を中心に据えてこれらを記述していく.

## 4. 研究成果

はじめに, 結晶磁気異方性の温度特性について述べる. 我々は結晶場の最低次だけを考慮することで,  $K_n(T)$  の表式を導いた [9]:

$$K_1(T) = K_1(0)m(T)^3 + \frac{8}{7}K_2(T)[m(T)^3 - m(T)^{10}] + \frac{8}{7}K_3(0)\left[m(T)^3 - \frac{18}{11}m(T)^{10} + \frac{7}{11}m(T)^{21}\right], \quad (4a)$$

$$K_2(T) = K_2(0)m(T)^{10} + \frac{18}{11}K_3(0)[m(T)^{10} - m(T)^{21}], \quad (4b)$$

$$K_3(T) = K_3(0)m(T)^{21}. \quad (4c)$$

それぞれの式の第1項目がAZCC則(4)になっていることがわかる。この意味で、上式を拡張AZCC則と呼ぶことにする。上式の第2項目以降は補正項であるが、これは必ずしも第1項目に対して寄与が小さいわけではなく、希土類磁石ではむしろ主要な効果を与える。実際に、Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>Bの実験結果と拡張AZCC則を比較したものを2例挙げる。図1にCadogan等[10]が得た実験結果との比較を、図2にDurst等[11]とのそれを示した。前者は3次まで、後者は2次までのK<sub>n</sub>(T)を報告したものである。前述したように、K<sub>n</sub>(T)の値は採用する次数に依存しているが、図に示されるようにどちらの実験結果もうまく再現することに成功している。更に拡張AZCC則の高温部を調べてみよう。主要な寄与はm(T)<sup>3</sup>の項を与える：

$$K_1(T) \simeq \left( K_1(0) + \frac{8}{7}K_2(0) + \frac{8}{7}K_3(0) \right) m(T)^3. \quad (5)$$

興味深いことに、高温部ではK<sub>1</sub>(0)よりもむしろ高次のK<sub>2</sub>(0), K<sub>3</sub>(0)が同等以上の寄与をもたらしている。実験結果からもわかるように、K<sub>1</sub>(0)とK<sub>3</sub>(0)は負であり、K<sub>2</sub>(0)が大きな正の値を持っている。すなわち、高温部でのNd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>Bの永久磁石としての生命線はK<sub>2</sub>(0)によって支えられていることが明らかとなった。

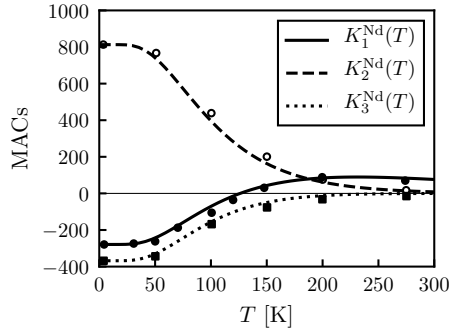


図1 Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>Bの結晶磁気異方性定数(MAC) K<sub>1</sub><sup>Nd</sup>(T), K<sub>2</sub><sup>Nd</sup>(T), K<sub>3</sub><sup>Nd</sup>(T)のCadogan等による実験結果(それぞれ黒丸, 白丸, 四角)と本研究で得られた拡張AZCC則との比較(実線, 破線, 点線).

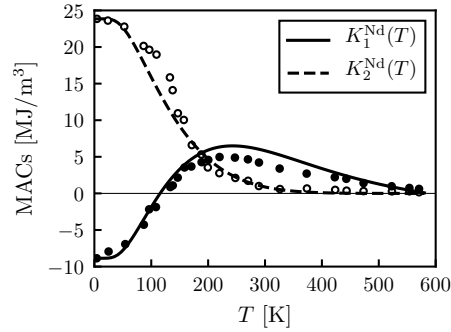


図2 Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>Bの結晶磁気異方性定数 K<sub>1</sub><sup>Nd</sup>(T), K<sub>2</sub><sup>Nd</sup>(T)のDurst等[11]による実験結果(それぞれ黒丸, 白丸)と本研究で得られた拡張AZCC則との比較(実線, 破線).

次に、磁気緩和の温度特性について述べる。我々は先述のR<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>Bと全く同じハミルトニアンに対してフォノンとの相互作用を加え、磁気緩和機構として鉄副格子からRイオン副格子を経由してフォノン系にスピンの散逸するという過程を検討した。その結果、次のような表式を得た[12]：

$$\alpha(T) = Am(T) \sum_{ij} B_{ij} \int d\epsilon \frac{e^{-\epsilon/T}}{Z(T)} \rho_i(\epsilon, T) \rho_j(\epsilon, T), \quad (6)$$

ここでAとB<sub>ij</sub>はある係数、Z(T)はRイオンの4f電子系の分配関数、ρ<sub>i</sub>(ε, T)は4f電子系のi番目の状態のスペクトル関数である。上式によって計算されたR=NdとDyのαの温度特性を図3に示す。低温部ではほぼα=0であることから、この領域では本機構による磁気緩和への寄与は少なく、従来のKG理論で記述されるような鉄副格子内での緩和が主要な緩和機構を担うことを示唆している。一方、キュリー温度に近いところで急峻な立ち上がりが見られるが、これは4f電子系の固有エネルギーが交差することが原因である。図4に示されるように、温度上昇と共に固有エネルギーの

順序が入れ替わる温度があり、その付近で大きな値をとっている。(6)によれば、 $\rho_i(\epsilon, T)\rho_j(\epsilon, T)$ の値が大きくなる温度に対応している。このように、 $R$ の原子構造との関係が明らかとなった。

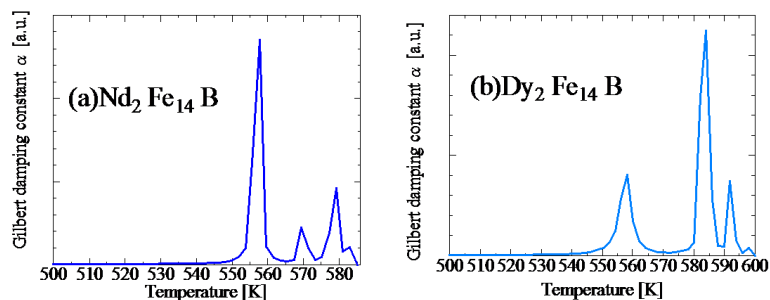


図3  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  と  $\text{Dy}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  に対して計算されたギルバート緩和定数  $\alpha$  の温度依存性。

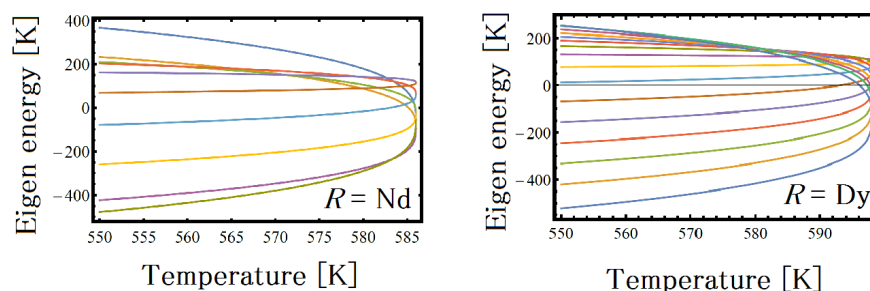


図4  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  と  $\text{Dy}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  の4f電子系の各固有エネルギーの温度依存性。

以上、本研究では強磁性体の静的磁気特性と動的磁気特性を両方同時に単一模型から記述した。本報告書では特に希土類磁石の例を挙げ、実験結果との比較検討を行った。

本研究はバルク特性を対象としたものであるが、近年はより現実に近い模型を用いた理論研究の報告も国内外で増えてきており、界面効果に関する知見も蓄積されつつある。ネオジム磁石の発見から30年以上経過した現在、再び注目されるようになったのは世界的に省エネ志向が強まっていることが背景にある。結晶磁気異方性や磁気緩和は磁気デバイスの消費エネルギーに深く関与しており、本研究でこれらの温度特性に関する知見が得られたことは社会的意義が大きいと考えている。

## 参考文献

- [1] N. Akulov, Z. Phys. **100**, 197 (1936).
- [2] C. Zener, Phys. Rev. **96**, 1335 (1954).
- [3] H. B. Callen and E. Callen, J. Phys. Chem. Solids **27**, 1271 (1966).
- [4] N. Kobayashi, K. Hyodo, and A. Sakuma, Jpn. J. Appl. Phys. **55**, 100306 (2016).
- [5] V. Kamberský, Phys. Rev. B - Condens. Matter Mater. Phys. **76**, 134416 (2007).
- [6] K. Gilmore, Y. U. Idzerda, and M. D. Stiles, Phys. Rev. Lett. **99**, 027204 (2007).
- [7] A. Brataas, Y. Tserkovnyak, and G. E. W. Bauer, Phys. Rev. Lett. **101**, 037207 (2008).
- [8] J. C. Slonczewski, J. Magn. Magn. Mater. **159**, L1 (1996).
- [9] D. Miura and A. Sakuma, AIP Adv. **8**, 075114 (2018).
- [10] J. M. Cadogan, J. P. Gavigan, D. Givord, and H. S. Li, J. Phys. F Met. Phys. **18**, 779 (1988).
- [11] K. D. Durst and H. Kronmüller, J. Magn. Magn. Mater. **59**, 86 (1986).
- [12] F. Saito, D. Miura, and A. Sakuma, IEEE Trans. Magn. **55**, 2101604 (2019).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 10件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Miura Daisuke, Sakuma Akimasa	4. 巻 58
2. 論文標題 Analytic expression for magnetic activation energy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 058002 ~ 058002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/aaffed	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 Miura Daisuke, Sakuma Akimasa	4. 巻 88
2. 論文標題 Non-collinearity Effects on Magnetocrystalline Anisotropy for R2Fe14B Magnets	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 044804 ~ 044804
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.88.044804	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 Miura Daisuke, Sakuma Akimasa	4. 巻 87
2. 論文標題 Tunable Spin Seebeck Diode with Magnonic Spin Tunneling Junction	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 125001 ~ 125001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.87.125001	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 Miura Daisuke, Sakuma Akimasa	4. 巻 8
2. 論文標題 Power law analysis for temperature dependence of magnetocrystalline anisotropy constants of Nd2Fe14B magnets	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 075114 ~ 075114
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5021969	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 Ozaki Dai, Miura Daisuke, Sakuma Akimasa	4. 巻 -
2. 論文標題 Theoretical Study of Gilbert Damping Constants in Magnetic Multilayer Films	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Magnetism	6. 最初と最後の頁 1~5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMAG.2019.2893370	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 Saito Fumiya, Miura Daisuke, Sakuma Akimasa	4. 巻 -
2. 論文標題 Theoretical Study of Gilbert Damping in Rare-Earth Permanent Magnets	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Magnetism	6. 最初と最後の頁 1~4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMAG.2019.2892493	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 R. Hiramatsu, D. Miura, and A. Sakuma	4. 巻 8
2. 論文標題 First principles calculation for Gilbert damping constants in ferromagnetic/non-magnetic junctions	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 056016-056016
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5007255	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. Yahagi, D. Miura, and A. Sakuma	4. 巻 8
2. 論文標題 Theoretical study on the perpendicular anisotropic magnetoresistance using Rashba-type ferromagnetic model	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 055822-055822
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5007179	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 Ohgane Kohei, Yahagi Yuta, Miura Daisuke, Sakuma Akimasa	4. 巻 89
2. 論文標題 Voltage-Controlled Magnonic Spin Tunneling Junction	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 013601 ~ 013601
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.89.013601	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 Yahagi Yuta, Miura Daisuke, Sakuma Akimasa	4. 巻 89
2. 論文標題 Theoretical Study on Four-fold Symmetric Anisotropic Magnetoresistance Effect in Cubic Single-crystal Ferromagnetic Model	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 044714 ~ 044714
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.89.044714	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18件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 尾崎太飛, 三浦大介, 佐久間昭正
2. 発表標題 磁性多層膜のギルバート緩和定数に関する理論研究
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 平松諒也, 三浦大介, 佐久間昭正
2. 発表標題 界面ラフネスを考慮した強磁性/非磁性接合系におけるギルバート緩和定数の第一原理計算
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 齋藤史弥, 三浦大介, 佐久間昭正
2. 発表標題 希土類磁石におけるGilbert緩和に関する理論研究
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 矢作裕太, 三浦大介, 佐久間昭正
2. 発表標題 ラシユバ系における異方性磁気抵抗効果の微視的理論
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 金世勲, 矢作裕太, 三浦大介, 佐久間昭正
2. 発表標題 磁性多層膜におけるスピン軌道トルクに関する理論研究
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 D. Ozaki, D. Miura, and A. Sakuma
2. 発表標題 Theoretical Study of Gilbert Damping in Magnetic Multilayer Film
3. 学会等名 2019 Joint MMM-Intermag Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 F. Saito, D. Miura, and A. Sakuma
2. 発表標題 Theoretical Study of Gilbert Damping in Rare-Earth Permanent
3. 学会等名 2019 Joint MMM-Intermag Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平松諒也, 三浦大介, 佐久間昭正
2. 発表標題 接合系におけるギルバート緩和定数の第一原理計算
3. 学会等名 日本物理学会74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 白木原覚, 三浦大介, 佐久間昭正
2. 発表標題 ハーフメタルにおけるギルバート緩和定数の第一原理計算
3. 学会等名 日本物理学会74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 尾崎太飛, 三浦大介, 佐久間昭正
2. 発表標題 強磁性金属における光誘起スピン蓄積に関する理論研究
3. 学会等名 日本物理学会74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 矢作裕太, 三浦大介, 佐久間昭正
2. 発表標題 異方性磁気抵抗効果の対称性に関する理論研究
3. 学会等名 日本物理学会74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大金幸平, 矢作裕太, 三浦大介, 佐久間昭正
2. 発表標題 外部電場存在下のRashba系を媒体とする有効相互作用に関する理論研究
3. 学会等名 日本物理学会74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Yahagi, D. Miura, and A. Sakuma
2. 発表標題 Theoretical study on the perpendicular anisotropic magnetoresistance using Rashba-type ferromagnetic model
3. 学会等名 The 2017 MMM Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 R. Hiramatsu, D. Miura, and A. Sakuma
2. 発表標題 First principle calculation for Gilbert damping constants in ferromagnetic/non-magnetic junctions
3. 学会等名 The 2017 MMM Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 尾崎太飛, 三浦大介, 佐久間昭正
2. 発表標題 磁性多層膜におけるGilbert緩和定数
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 矢作裕太, 三浦大介, 佐久間昭正
2. 発表標題 ラッシュバ型強磁性体における非従来型異方性磁気抵抗効果の理論計算
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 平松諒也, 三浦大介, 佐久間昭正
2. 発表標題 磁性体接合系におけるギルバート緩和定数の第一原理計算
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三浦大介, 齋藤史弥, 佐久間昭正
2. 発表標題 有限温度における局在磁性体の磁気特性に関する理論研究
3. 学会等名 第188回スピニクス研究会(招待講演)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----