

令和 4 年 6 月 17 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2021

課題番号：17K05516

研究課題名(和文) 対称性による磁性誘起電気双極子の分類と電気磁気効果への応用

研究課題名(英文) Symmetry analysis of spin-dependnet electric dipole and its application to magnetoelectric effects

研究代表者

松本 正茂 (Matsumoto, Masashige)

静岡大学・理学部・教授

研究者番号：20281058

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：電気磁気効果の有無は物質の対称性と深く関係しており、電気と磁気が複雑に絡み合う一般的な磁性体では、対称性に着目した見通しのよい理論が必要である。磁性には電子のスピンが関与しているが、電気磁気効果についてはスピンによる四極子が重要な役割を果たす。そこで、電気双極子がスピン四極子によってどのように記述できるか、対称性によって一般的に分類した。次に、その結果を具体的な磁性体に適用し、実験グループと協力して測定結果がどのように説明できるかを示した。一連の研究により、電気磁気効果(特に磁性誘起の電気分極・光の方向二色性)について、対称性の視点から理解し整理するための実用的な理論を提出できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

電気磁気効果を利用すれば、磁性体を電氣的に制御することも可能となり、電子デバイスへの応用も期待されている。一方、電気磁気効果を引き起こす起源は複数あり得るため、どのメカニズムが有効に働くかを調べる必要がある。本研究では、単一スピンによる四極子と2つのスピンによる四極子から誘起される電気双極子を、対称性に基づいて分類した。複雑な物質であっても対称性だけで電気双極子をスピン演算子を用いて簡単に定式化できるため、ミクロな理論で実験を解析する際に非常に有効である。それを具体的な物質に適用し、理論の有効性を確認している。本研究は、電気磁気効果を調べる基礎理論として、今後の発展が期待される。

研究成果の概要(英文)：The magnetoelectric effect is related to the symmetry of materials. It is needed to have a useful formulation to describe the effect in terms of the symmetry in complicated magnets. Electron spin is known as the origin of magnetism, while spin quadrupole can play an important role in electric effects. First, we classified how the electric dipole operator is described by the spin quadrupole operators based on the symmetry of materials. Next, we applied the formulation to specific magnets and showed how the observed effects are explained by the theory in cooperation with experimental groups. Through a series of our studies, we presented a practical theory for magnetoelectric effects such as magnetism-induced electric polarization and directional dichroism of light.

研究分野：物性理論

キーワード：電気磁気効果 量子スピン系 四極子 方向二色性 非相反現象

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

電気磁気効果は古くから知られていたが、日本のグループによる巨大電気磁気効果の発見により、近年大きな注目を集めている。そのような中、電気磁気効果は日本を中心に勢力的に研究が進められている。磁性体が電気的な性質を示すためには電子のスピンが電場と結合する必要があり、スピン演算子の積で定義されるスピン四極子が電気双極子を誘起することが知られていた。スピン四極子には、単一のスピンによるものと、2つのスピンによるものがある。そのため、実際の物質中で、どちらの効果で電気磁気効果が起きているか調べる必要がある。これに関して、ミクロな模型から出発して、電気双極子をスピン四極子で記述する理論が提案されていた。一方、ミクロな模型に基づいた理論では、一般的に複雑な物質の場合には、理論解析でその複雑性を十分に反映しづらい点があった。そこで、物質のもつ対称性に着目し、電気双極子として出現可能なスピン四極子を分類する着想に至った。

2. 研究の目的

上記の研究背景で述べたように、複雑な物質についても実験結果を容易に解析できる汎用性の高い理論を提出することは重要である。具体的には、結晶中で磁性イオンが置かれた位置における点群の対称性の情報があれば、電気双極子を誘起するスピン四極子が得られる。また、2つのスピンによる電気双極子の場合、2つのスピンの結晶内で持っている対称性の情報から電気双極子を誘起する2つのスピンによるスピン四極子がわかる仕組みになっている。このように、結晶の中で磁性イオンが置かれた場所の対称性だけに基づいて、電気双極子をスピン演算子で記述できる枠組みが与えられる。実験を解析する際には、測定結果を再現するように結合定数の大きさを抽出すればよい。電気磁気効果の理解を深めるため、このような実用的な理論を提出する。また、具体的な物質に理論を適用して有効性を検証し、この研究分野の今後の発展に貢献することが本研究の目的である。

3. 研究の方法

前述のように、電気双極子を誘起するスピン四極子には、単一のスピンによるものと、2つのスピンによるものの2種類がある。単一スピンの場合、磁性イオンがもつ点群の対称性によって対称操作が決まる。その対称操作によって、スピン四極子がどのように変換を受けるかを調べる。その変換性が電気双極子の変換性と同じになる場合、スピン四極子と電気双極子は同じ既約表現に属し、両者を見分けることはできない。これは、両者が混ざることの意味し、電気双極子は同じ既約表現に属するスピン四極子で記述できる。電気双極子は空間反転操作に対して偶、一方、スピン四極子は奇の性質を持つ。そのため、対称操作に空間反転が含まれる点群では、スピン四極子と電子双極子は異なる既約表現に属するため、電気磁気効果が出現しない。そこで、空間反転を持たない全ての結晶点群について上記の分類を行った。この分類は、基本的には物性テンソルと呼ばれる3階テンソルの群論的分類と数学的には等価であるため、その分類を利用できる。その結果より、電気双極子演算子とスピン四極子演算子を結びつけることが可能となる。両者の間の結合定数は未知のものであるが、測定結果を再現するように決定することができる。

2つのスピンによる電気双極子については、2つのスピンの結晶中でもつ対称性に着目する。具体的には、空間反転対称性・回転対称性・鏡映の対称性に基づいて分類する。回転と鏡映については、どのような軸と面の方向で対称性をもつかを調べる。空間反転対称性が無い場合の分類は、既に研究がなされていた。そこで、本研究では、空間反転対称性の無い場合について分類を行った。その結果、2つのスピンによる電気双極子についても、全ての対称性について分類が完了した。

上記のように導出したスピン四極子による電気双極子演算子を具体的な物質へ適用し、実験グループと協力して研究を進めた。その結果、理論の有効性を確かめ、物質が示す電気磁気効果の理解を深めるための理論を提出することができた。

4. 研究成果

スピン四極子を対称性に基づいて分類して電気双極子を導出する研究は、本研究の申請段階から開始していた。その学術論文は本研究が開始される直前に、以下のように出版された。また、この論文は、2017年に出版された日本物理学会の国際誌(JPSJ)において、2018年に最も引用された Top 10 の論文に選出された[Most Cited Articles in 2018 from Vol. 86 (2017)].
(1) "Symmetry Analysis of Spin-Dependent Electric Dipole and Its Application to

Magnetoelectric Effects”, M. Matsumoto, K. Chimata, and M. Koga, J. Phys. Soc. Jpn. 86, 034704 (2017) (25 pages).

次に、この結果を具体的な物質に適用して調べる研究を実施した。主な研究成果を説明する。まずは、単一のスピンによる電気双極子については、蜂の巣構造の上に磁性イオンがある $\text{Co}_4\text{Nb}_2\text{O}_9$ という磁性体に着目した。この磁性体では磁場で誘起される電気分極が観測されており、蜂の巣格子上で磁場を回転させると電気分極も回転し、磁場を180度回転すると電気分極は360度回転することが観測されていた。この点はスピン軌道相互作用を取り入れた遍歴電子の立場からミクロな理論で調べられ説明されていた。一方、この物質は量子スピン系物質であるため、スピンの言葉で説明すると理解が進むと考え、群論的な考察から電気磁気効果を調べた。磁性を持つ Co イオンの配位子は構造が複雑で、配位子を取り込んだ電気磁気効果の研究はなされていなかった。しかし、本研究で分類した結果を利用すると、Co イオンの場所は C_3 という3回回転の対称性を持つ点群で表されるため、複雑な配位子であっても点群だけを考慮すれば、スピン四極子から誘起される電気双極子が容易に判明する。この理論に基づいて調べた結果、1つのスピンによるスピン四極子が電気双極子を誘起しており、実験結果を矛盾なく説明できることが明らかになった。この成果は以下の学術論文として出版されている。

(2) “Symmetry Analysis of Magnetoelectric Effects in Honeycomb Antiferromagnet $\text{Co}_4\text{Nb}_2\text{O}_9$ ”, M. Matsumoto and M. Koga, J. Phys. Soc. Jpn. 88, 094704 (2019) (15 pages).

(3) “Theoretical Study of Magnetoelectric Effects in Honeycomb Antiferromagnet $\text{Co}_4\text{Nb}_2\text{O}_9$ ”, M. Matsumoto and M. Koga, JPS Conf. Proc. 30, 011188 (2020) (6 pages).

さらに、2つのスピンによる電気磁気効果を調べた。具体的には TlCuCl_3 という2つのスピンが強く結合しているスピンドイマー系と呼ばれる物質で、マグノンのポーズ・アインシュタイン凝縮によって磁気秩序が形成されることが知られている。東北大学金属材料研究所の実験グループからの着想を受けて共同研究を開始し、2つのスピンが持つ対称性に基づき、2スピンによる四極子を用いて電気双極子を記述した。その結果、マグノンのポーズ・アインシュタイン凝縮によって、磁気モーメントだけでなく、電気分極も誘起されることを示した。通常の場合、磁気励起は光の磁場成分によって励起されるが、スピン四極子による電気双極子を通じて光の電場成分でも励起が可能である。この性質を考慮すると、光の進行方向を反転させると光の透過率が変化する方向二色性が現れる。 TlCuCl_3 における方向二色性を実験と理論の両面から調べた結果、2スピンによる四極子が原因で二色性が現れていることを確認した。さらに、弱い電圧を加えることで、秩序化している磁気モーメントの方向を容易に反転させることに成功し、それを方向二色性の測定で検証した。これは、十分弱い電場で磁性が制御できることを示しており、アメリカ物理学会の国際誌 *Physical Review Letters* の Editors' Suggestion に選出された。また、同じ結晶構造を持つ KCuCl_3 については、圧力下で電子スピン共鳴 (ESR) の実験が行われ、それを解析した結果、スピン四極子を通じて、主に光の電場成分によって励起が起きていることを突き止め、振幅モード (ヒッグスモード) が ESR によって初めて観測されていることを確認した。以上の実験グループとの一連の共同研究の成果は、以下の学術論文として報告されている。

(4) “Magnetoelectric effect in the quantum spin gap system TlCuCl_3 ”, S. Kimura, K. Kakihata, Y. Sawada, K. Watanabe, M. Matsumoto, M. Hagiwara, and H. Tanaka, Phys. Rev. B 95, 184420 (2017) (7 pages).

(5) “Electric dipole spin resonance in a quantum spin dimer system driven by magnetoelectric coupling”, S. Kimura, M. Matsumoto, M. Akaki, M. Hagiwara, K. Kindo, and H. Tanaka, Phys. Rev. B 97, 140406(R) (2018) (5 pages).

(6) “Electrical Switching of the Nonreciprocal Directional Microwave Response in a Triplon Bose-Einstein Condensate”, S. Kimura, M. Matsumoto, and H. Tanaka, Phys. Rev. Lett. 124, 217401 (2020) (5 pages). (Editors' Suggestion)

(7) “Spin-driven ferroelectricity in the quantum magnet TlCuCl_3 under high pressure”, K. Sakurai, S. Kimura, S. Awaji, M. Matsumoto, and H. Tanaka, Phys. Rev. B 102, 064104 (2020) (6 pages).

(8) “Electric Dipole Active Magnetic Resonance and Nonreciprocal Directional Dichroism in Magnetoelectric Multiferroic Materials in Terahertz and Millimeter Wave Regions”, S. Kimura, N. Terada, M. Hagiwara, M. Matsumoto, and H. Tanaka, Appl. Magn. Reson. 52, 363 (2021) (16 pages).

(9) “First ESR Detection of Higgs Amplitude Mode and Analysis with Extended Spin-Wave Theory in Dimer System KCuCl_3 ”, M. Matsumoto, T. Sakurai, Y. Hirao, H. Ohta, Y. Uwatoko, and H. Tanaka, Appl. Magn. Reson. 52, 523 (2021) (42 pages).

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 4件／うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 Matsumoto Masashige, Sakurai Takahiro, Hirao Yuki, Ohta Hitoshi, Uwatoko Yoshiya, Tanaka Hidekazu	4. 巻 52
2. 論文標題 First ESR Detection of Higgs Amplitude Mode and Analysis with Extended Spin-Wave Theory in Dimer System KCuCl ₃	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Magnetic Resonance	6. 最初と最後の頁 523 ~ 564
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00723-020-01302-1	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 Kimura Shojiro, Terada Noriki, Hagiwara Masayuki, Matsumoto Masashige, Tanaka Hidekazu	4. 巻 52
2. 論文標題 Electric Dipole Active Magnetic Resonance and Nonreciprocal Directional Dichroism in Magnetolectric Multiferroic Materials in Terahertz and Millimeter Wave Regions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Magnetic Resonance	6. 最初と最後の頁 363 ~ 378
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00723-020-01307-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 Matsumoto Masashige	4. 巻 90
2. 論文標題 Total Moment Sum Rule for Magnets in the Vicinity of Quantum Critical Point	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan (Editors' Choice)	6. 最初と最後の頁 14701
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.90.014701	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 Koga Mikito, Matsumoto Masashige	4. 巻 89
2. 論文標題 Magnetoacoustic Resonance to Probe Quadrupole-Strain Coupling in a Diamond Nitrogen-Vacancy Center as a Spin-Triplet System	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 113701
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.89.113701	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 Sakurai Kyosuke, Kimura Shojiro, Awaji Staoshi, Matsumoto Masashige, Tanaka Hidekazu	4. 巻 102
2. 論文標題 Spin-driven ferroelectricity in the quantum magnet TlCuCl_3 under high pressure	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 64104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.102.064104	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 Matsumoto Masashige, Koga Mikito	4. 巻 89
2. 論文標題 Analysis of Magnetoacoustic Quadrupole Resonance and Application to Probe Quadrupole Degrees of Freedom in Quantum Magnets	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 84702
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.89.084702	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 Kimura Shojiro, Matsumoto Masashige, Tanaka Hidekazu	4. 巻 124
2. 論文標題 Electrical Switching of the Nonreciprocal Directional Microwave Response in a Triplon Bose-Einstein Condensate	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Letters (Editors' Suggestion)	6. 最初と最後の頁 217401
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.124.217401	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 Matsumoto Masashige, Koga Mikito	4. 巻 30
2. 論文標題 Theoretical Study of Magnetoelectric Effects in Honeycomb Antiferromagnet $\text{Co}_4\text{Nb}_2\text{O}_9$	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JPS Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 11188
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.30.011188	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 Matsumoto Masashige, Hayashida Shohei, Masuda Takatsugu	4. 巻 89
2. 論文標題 Analysis of Field-Induced Nonreciprocal Magnon in Noncollinear Magnet and Application to S = 1 Triangular Antiferromagnet CsFeCl3	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 34710
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.89.034710	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 Koga Mikito, Matsumoto Masashige	4. 巻 89
2. 論文標題 Theory of Photon-Assisted Magnetoacoustic Resonance as a New Probe of Quadrupole Dynamics	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 24701
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.89.024701	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 Zhu M., Matsumoto M., Stone M. B., Dun Z. L., Zhou H. D., Hong T., Zou T., Mahanti S. D., Ke X.	4. 巻 1
2. 論文標題 Amplitude modes in three-dimensional spin dimers away from quantum critical point	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 33111
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.1.033111	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 Hayashida Shohei, Matsumoto Masashige, Hagihara Masato, Kurita Nobuyuki, Tanaka Hidekazu, Itoh Shinichi, Hong Tao, Soda Minoru, Uwatoko Yoshiya, Masuda Takatsugu	4. 巻 5
2. 論文標題 Novel excitations near quantum criticality in geometrically frustrated antiferromagnet CsFeCl3	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eaaw5639
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.aaw5639	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 Matsumoto Masashige, Koga Mikito	4. 巻 88
2. 論文標題 Symmetry Analysis of Magnetoelectric Effects in Honeycomb Antiferromagnet Co ₄ Nb ₂ O ₉	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 94704
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.88.094704	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 Koga M., Matsumoto M., Kusunose H.	4. 巻 536
2. 論文標題 Spin and charge controlled by antisymmetric spin-orbit coupling in a triangular-triple-quantum-dot Kondo system	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physica B: Condensed Matter	6. 最初と最後の頁 226 ~ 229
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physb.2017.08.033	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 Kimura Shojiro, Matsumoto Masashige, Akaki Mitsuru, Hagiwara Masayuki, Kindo Koichi, Tanaka Hidekazu	4. 巻 97
2. 論文標題 Electric dipole spin resonance in a quantum spin dimer system driven by magnetoelectric coupling	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 140406
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.97.140406	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 Soda Minoru, Chang Lieh-Jeng, Matsumoto Masashige, Garlea V. Ovidiu, Roessli Bertrand, White Jonathan S., Kawano-Furukawa Hazuki, Masuda Takatsugu	4. 巻 97
2. 論文標題 Polarization analysis of magnetic excitation in multiferroic Ba ₂ CoGe ₂ O ₇	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 214437
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.97.214437	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 Koga Mikito, Matsumoto Masashige	4. 巻 88
2. 論文標題 Roles of Quadrupoles in Non-Fermi Liquid Physics for Crystal Field Triplets	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 34713
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.88.034713	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 Kimura Shojiro, Kakihata Kento, Sawada Yuya, Watanabe Kazuo, Matsumoto Masashige, Hagiwara Masayuki, Tanaka Hidekazu	4. 巻 95
2. 論文標題 Magnetoelectric effect in the quantum spin gap system TlCuCl_3	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 184420
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.95.184420	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 Hase Masashi, Matsuo Akira, Kindo Koichi, Matsumoto Masashige	4. 巻 96
2. 論文標題 Magnetism of the spin-1 tetramer compound $\text{A}_2\text{Ni}_2\text{Mo}_3\text{O}_{12}$ (A=Rb or K)	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 214424
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.96.214424	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20件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 大久保晋、鈴木哲平、齋藤佑、原茂生、櫻井敬博、太田仁、松本正茂、栗田伸之、田中秀数
2. 発表標題 CsFeCl ₃ の圧力誘起磁気相のESRによる研究III
3. 学会等名 日本物理学会 秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡邊尚登、木村尚次郎、淡路智、松本正茂、田中秀数
2. 発表標題 結合ダイマー系のマグノンBEC相におけるミリ波帯の方向二色性
3. 学会等名 日本物理学会 秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大久保晋, 鈴木哲平, 齋藤佑, 原茂生, 櫻井敬博, 太田仁, 松本正茂, 栗田伸之, 田中秀数
2. 発表標題 CsFeCl ₃ の圧力誘起磁気相のESRによる研究II
3. 学会等名 日本物理学会 2020年 年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 長谷川舜介, 浅井晋一郎, 松本正茂, Tao Hong, Barry Winn, 益田隆嗣
2. 発表標題 三角格子反強磁性体RbFeCl ₃ の磁場下混成マグノンの観測
3. 学会等名 日本物理学会 2020年 年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古賀幹人, 松本正茂
2. 発表標題 四極子ダイナミクス観測のための超音波と電磁波による磁気音響共鳴の理論
3. 学会等名 日本物理学会 2020年 年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木哲平, 奥藤涼介, 齋藤佑, 原茂生, 櫻井敬博, 高橋英幸, 大久保晋, 太田仁, 松本正茂, 栗田伸之, 田中秀数
2. 発表標題 CsFeCl ₃ の圧力誘起磁気相のESRによる研究
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 長谷川舜介, 浅井晋一郎, 松本正茂, 伊藤晋一, 益田隆嗣
2. 発表標題 量子臨界点近傍の三角格子反強磁性体RbFeCl ₃ における準粒子励起
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 松本正茂, 古賀幹人
2. 発表標題 対称性によるCo ₄ Nb ₂ O ₉ の電気磁気効果の理論
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 M. Matsumoto, M. Koga
2. 発表標題 Theoretical Study of Magnetoelectric Effects in Co ₄ Nb ₂ O ₉
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electrons (SCES-2019), Okayama, Japan (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Koga, M. Matsumoto
2. 発表標題 Theory of Magnetic-Field-Angle-Dependent Quadrupole Coupling for Electron Paramagnetic Resonance Measurement
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electrons (SCES-2019), Okayama, Japan (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 櫻井響介, 木村尚次郎, 淡路智, 松本正茂, 田中秀数
2. 発表標題 結合ダイマー系の磁気強誘電に対する圧力効果の磁場方向依存性
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 櫻井響介, 木村尚次郎, 淡路智, 松本正茂, 田中秀数
2. 発表標題 結合ダイマー系の磁気強誘電相におけるPE履歴曲線に対する圧力効果
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会(2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松本正茂, 街健祐, 古賀幹人
2. 発表標題 対称性による磁性誘起電気双極子の分類と電気磁気効果への応用II
3. 学会等名 日本物理学会 2017 年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 木村尚次郎, 松本正茂, 田中秀数
2. 発表標題 結合ダイマー系TlCuCl ₃ のマグノンBEC相における方向二色性
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 左右田稔, Lieh-Jeng Chang, 松本正茂, V. Ovidiu Garlea, Barry Winn, Bertrand Roessli, Jonathan S. White, 古川はづき, 益田隆嗣
2. 発表標題 マルチフェロイック物質Ba ₂ CoGe ₂ O ₇ における磁気励起モード
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 櫻井響介, 木村尚次郎, 淡路智, 松本正茂, 田中秀数
2. 発表標題 結合ダイマー系の磁気強誘電に対する圧力・磁場効果
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 古賀幹人, 松本正茂, 楠瀬博明
2. 発表標題 三角形三重量子ドット近藤系における反対称スピン軌道相互作用とスピン電荷制御
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M. Koga, M. Matsumoto, H. Kusunose
2. 発表標題 Spin and charge controlled by antisymmetric spin-orbit coupling in a triangular-triple-quantum-dot Kondo system
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 櫻井響介, 木村尚次郎, 淡路智, 松本正茂, 田中秀数
2. 発表標題 結合ダイマー系の磁気強誘電に対する圧力・磁場効果 II
3. 学会等名 日本物理学会 2018 年年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 林田翔平, 萩原雅人, 松本正茂, 栗田伸之, 田中秀数, 上床美也, 伊藤晋一, 左右田稔, Tao Hong, Oksana Zaharko, 益田隆嗣
2. 発表標題 基底一重項磁性体CsFeCl3の圧力誘起量子相転移の中性子散乱研究
3. 学会等名 日本物理学会 2018 年年次大会
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
研究 分担者	古賀 幹人 (Koga Mikito) (40324321)	静岡大学・教育学部・教授 (13801)	

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			
米国	Neutron Scattering Division	Oak Ridge National Laboratory	Oak Ridge, Tennessee	他2機関
スイス	Laboratory for Solid State Physics	ETH Zurich	Zurich, Switzerland	
中国	Department of Physics	National Cheng Kung University	Tainan	
スイス	Laboratory for Neutron Scattering	Paul Scherrer Institut	Villigen PSI	