

令和 4 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H01847

研究課題名（和文）反強磁性体における電気磁気光学特性の電場制御に関する研究

研究課題名（英文）Study on electric-field control of optical magnetoelectric properties in antiferromagnets

研究代表者

木村 健太 (Kimura, Kenta)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・助教

研究者番号：70586817

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、正味の磁化を持たないため機能性に乏しいと思われてきた反強磁性体における新奇な光学応答及びその電場制御の開拓を目指した。複数の反強磁性体において光の入射方向の反転によって光の吸収量が変化する「非相反吸収」を観測し、反強磁性スピン秩序の電場制御を介して非相反吸収を電場制御することに成功した。さらに、コリニア反強磁性体Bi₂CuO₄において、電場と磁場を組み合わせることで吸収量が三段階に変化する三段階調光を実現した。また、非相反吸収を用いることで、「反強磁性ドメインの空間分布および外場応答の可視化」や「パルス強磁場中での反強磁性秩序変数の観測」に成功するなど、当初予測を超える成果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、マクロな磁化をもたず一見すると機能性に乏しいと思われてきた反強磁性体が、外場制御可能な有用な光機能性材料になり得ることを実証したものである。今後、非相反吸収の巨大化や動作温度の向上が実現すれば、単一物質で動作し、なおかつ、電場というエネルギー損失の少ない外場によって制御可能な新たな磁気光学素子の創出につながる可能性がある。また、本研究は、非相反吸収が反強磁性体の有用なプローブとなり得ることを明確に実証した。電気パルスや光パルスといった瞬時的な外場に対する反強磁性秩序の空間的・時間的応答の追跡といった、従来の手法では困難であった研究への展開も期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, we explored novel optical responses and their electric-field controllability in antiferromagnets without macroscopic magnetization. In a few antiferromagnets we observed nonreciprocal dichroism, i.e., change in optical absorption between two counter-propagating light beams, and demonstrated that the nonreciprocal dichroism can be controlled with an electric field through the switching of antiferromagnetic states. Moreover, in a collinear antiferromagnet Bi₂CuO₄, we achieved three-level tuning of light absorption by a combination of an electric field and a magnetic field. Also, using the nonreciprocal absorption, we achieved results exceeding our original expectations, such as visualization of spatially resolved antiferromagnetic domains and observation of antiferromagnetic order parameters in a pulsed high magnetic field.

研究分野：物質科学

キーワード：電気磁気効果 電気磁気光学効果 方向二色性 非相反吸収 反強磁性体 マルチフェロイクス ドメインイメージング 分光

1. 研究開始当初の背景

空間反転対称性と時間反転対称性が同時に破れた磁性体では、磁場による電気分極の誘起あるいは電場による磁化の誘起を指す電気磁気効果が生じ得る。このことは、1960年代から知られていた。一方、21世紀に入り、従来の静的な電気・磁気結合の範疇を超えた現象の探究が急速に進み、電気磁気効果の研究は更なる発展を遂げてきた。その代表例が光の振動電場・磁場による電気磁気効果(電気磁気光学効果)である。電気磁気光学効果は、直線偏光の吸収係数が光の進行方向の正負で変化する非相反吸収といった非従来の光学応答(電気磁気光学特性と称する)を誘起し得る。電気磁気光学特性は、対称性の要件を満たすことによって正味の磁化を持たない反強磁性体でも発現する可能性があるため、これを利用して反強磁性体の磁区情報を光で読み取るといった応用、ならびに、電気磁気結合を介した反強磁性スピンの電場操作による新しい電場制御型の磁気光学素子の構築が期待できる。それゆえ、昨今世界的規模で研究されている反強磁性光スピントロニクス分野でも注目されつつある。しかしながら、研究開始当初までに報告されていた反強磁性体における電気磁気光学特性は一般に小さく、また、電場に対して反強磁性スピン状態が大きく変化するような電気磁気効果物質がそもそも少ないなどの理由により、電場制御や電場応答ダイナミクス(応答時間)に関する報告はほとんどなかった。したがって、電気磁気光学特性の巨大化や劇的な電場制御を実現するための物質開拓や、その電場応答ダイナミクスを解明することは、重要な課題と位置づけられる。

2. 研究の目的

上述の背景を踏まえ、本研究は、スピンの向きが弱摂動でも変化しやすい「弱磁気異方性」の反強磁性体に着目した物質開拓を行い、電気磁気結合を介した反強磁性スピンの電場操作を可能とする舞台を創成することによって、反強磁性体の電気磁気光学特性の劇的な電場制御を実現・解明することを目的とした。

3. 研究の方法

反強磁性体における新奇な電気磁気光学特性の電場制御の実現・解明という本研究の目的の達成のため、以下の流れで研究を進めた。

スピンの向きが弱い摂動でも変化しやすい「弱磁気異方性」の反強磁性体を探索し、その単結晶を合成した。対称性の破れに敏感な電気磁気効果を測定することによって、電気磁気光学特性の発現に不可欠な時間反転と空間反転対称性の破れの有無を検証した。

電気磁気効果を確認した物質の吸収スペクトルを測定し、近赤外から可視光の領域における電気磁気光学特性の有無を検証した。本研究では、代表的な電気磁気光学特性の一つである非相反吸収に狙いを絞った。

外場下での吸収スペクトル測定、ならびに光学顕微鏡を用いた空間分解測定を実施し、吸収非相反吸収の電場制御性を探った。

4. 研究成果

主要な成果を以下に記す。

銅酸化物磁性体 $\text{Pb}(\text{TiO})\text{Cu}_4(\text{PO}_4)_4$ は、7ケルビン以下で電気磁気活性な磁気四極子型の反強磁性秩序を示す。この反強磁性秩序によって互いに直交する直線偏光の吸収係数に差(線二色性)が誘起され、さらには、入射光の方向を反転すると線二色性のスペクトルが完全に反転することを明らかにした(図1)。これは非相反線二色性と呼ぶべき新奇な電気磁気光学特性である。非相反成分の相対的な大きさは最大で約4%(於700 nm)に達しており、反強磁性体の非相反吸収としては比較的大きい。さらに、電場の印加によって反強磁性ドメインをスイッチすることで、線二色性の符号が反転することを明らかにした。これは、電気磁気光学特性の電場制御に他ならない。また、当初計画には無かった成果として、非相反吸収を用いることで、反強磁性ドメインの空間分布および電場応答を光学顕微鏡で可視化することにも成功した(図2)。【*K. Kimura et al., Commun. Mater.* 1, 39 (2020)】

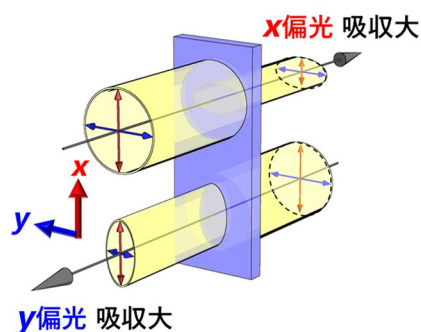


図1. 非相反線二色性の模式図。円筒の大きさは光の強度を表す。x方向とy方向に偏光した光の透過光強度(すなわち吸収係数)の違い(線二色性)が、光の入射方向を反転させると反転する。

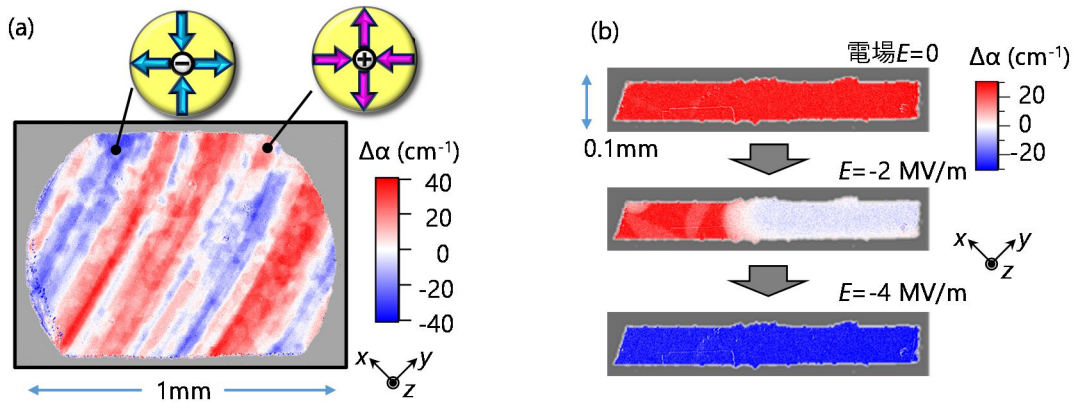


図2 . (a) 単結晶試料中の非相反吸収 ($\Delta\alpha$) の空間分布。赤と青のコントラストはスピンの向きが 180 度異なる反強磁性ドメインの空間分布に対応している。(b) 反強磁性ドメインの電場応答。弱いバイアス磁場を印加した状態で電場を印加すると、コントラストが赤から青に変化し、反強磁性ドメインが電場で反転していることが分かる。

より巨大な非相反吸収およびその電場制御を実現すべく、銅酸化物磁性体 Bi_2CuO_4 の研究を行った。44 ケルビンで生じるコリニアな反強磁性秩序に起因して、最大約 40 % (於 750 nm) にも達する巨大な非相反吸収が生じることを明らかにした。この非相反吸収は、先述の非相反線二色性とは異なり無偏光の光を入射した際にも観測されることから、方向二色性と分類されるものである。吸収スペクトルの偏光依存性の測定および解析により、銅イオンと酸素イオンから成るクラスターにおける配位子場遷移が巨大な方向二色性の主要起源であることを明らかにした。さらに、電場印加によって 180 度反強磁性ドメインのスイッチングが生じることを明らかにし、これを介した非相反吸収の電場制御に成功した。また、同物質においては 90 度反強磁性ドメインも存在し、これを磁場によって制御できる。これを利用して、電場と磁場の併用による吸収係数の三段階チューニングを実現した (図 3)。これは、反強磁性に起因した三段階調光機能とよぶべき新規な磁気光学機能といえる。【K. Kimura *et al.*, Nat. Commun. 13, 697 (2022)】

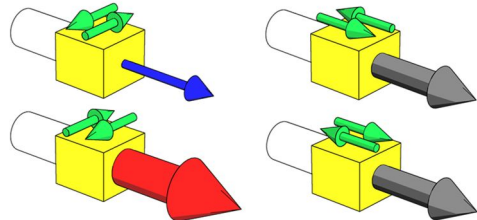


図3 . Bi_2CuO_4 における三段階調光。緑色の矢印はスピン配列を表す。そのほかの矢印の大きさは単結晶試料 (黄色) からの透過光強度を表す。

上述の反強磁性ドメイン観測の例からも分かるように、本研究によって、非相反吸収が反強磁性体の有用なプローブになり得ることが明確になった。この方向での研究をさらに進めるべく、パルス強磁場下における反強磁性体 $\text{Pb}(\text{TiO})\text{Cu}_4(\text{PO}_4)_4$ の分光測定を行った。測定は、東京大学物性研究所の小濱准教授のグループと共同で行った。測定の結果、同物質の磁場誘起強誘電相 (16 ~ 45 テスラ) において 10% を超える大きな非相反吸収を観測し、さらには、この非相反吸収の磁場依存性が理論計算による反強磁性秩序変数の磁場依存性と良く一致することを明らかにした (図 4)。数十テスラという定常磁場では到達の難しい強磁場領域において、反強磁性体の秩序変数を検出できる手法は数少ない。本成果は、パルス磁場下での非相反吸収測定が、強磁場領域における反強磁性秩序変数の検出を可能とする有用な手法になり得ることを提示している。【T. Katsuyoshi, K. Kimura *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. 90, 123701 (2022), Editors' Choice】

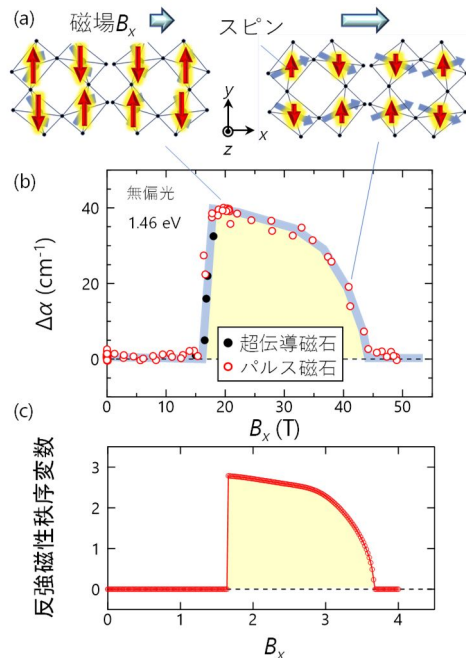


図4 $\text{Pb}(\text{TiO})\text{Cu}_4(\text{PO}_4)_4$ の強磁場下における非相反吸収。(a) スピン配列 (赤矢印)。(b) 非相反吸収 ($\Delta\alpha$)。(c) 反強磁性秩序変数。

既に述べてきた通り、本研究で観測に成功した非相反吸収の電場制御は、反強磁性ドメインのスイッチングを介している。通常、反強磁性ドメインのスイッチング過程は空間不均一に進行するため、その電場応答ダイナミクスを知るには空間分解測定が不可欠である。そこで、非相反吸収を利用して上記2つの物質の反強磁性ドメインを光学顕微鏡により可視化し、それらの電場応答ダイナミクスを調べた。Pb(TiO)Cu₄(PO₄)₄においては、外部電場による反強磁性ドメイン壁の移動が極めて遅く、例えば4 MV/mの電場を印加したとき、観測している全観測に渡ってドメインの反転が完了するには数秒の時間を要することが分かった。一方、Bi₂CuO₄の反強磁性ドメイン壁の移動は速く、同じ大きさの電場を印加したとき、Pb(TiO)Cu₄(PO₄)₄に比べて少なくとも3桁短い時間でドメイン反転が完了することが分かった。現在、この起源を考察しているところであり、まとめ次第、論文公表する予定である。

上で述べた物質のほかにも種々の反強磁性体を対象として研究を進め、いくつか顕著な成果を得た。以下、例を2つ挙げる。擬一次元反強磁性体のモデル物質として約20年間研究がなされてきた銅酸化物磁性体 BaCu₂Si₂O₇ が、実は、電気磁気活性な物質であることを初めて示した。さらには、同物質において反強磁性体としては大きな約8%の非相反吸収を示すことを発見した。この成果を国内学会にて発表した(日本物理学会第77回年次大会, 17aT31-5)。非相反吸収の電場制御性ならびに反強磁性ドメインの電場応答に関する実験結果がまとめ次第、論文公表する予定である。また、蛍石関連結晶構造を有する反強磁性体 Mn₃Ta₂O₈ が電気磁気活性であることを初めて示した。電気磁気光学特性の観測には現在のところ至っていないが、同物質において磁性イオンの off-center 変位に起因した大変珍しい反強誘電的相転移を発見し、この成果を論文公表した。【*K. Kimura et al.*, *Inorg. Chem.* **60**, 15078-15084 (2021), Featured Article】

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 6件）

1. 著者名 Kimura Kenta, Katsuyoshi Tsukasa, Miyake Atsushi, Tokunaga Masashi, Kimura Shojiro, Kimura Tsuyoshi	4. 巻 2200167
2. 論文標題 Chirality Dependent Magnetoelectric Responses in a Magnetic Field Induced Ferroelectric Phase of Pb(TiO)Cu ₄ (PO ₄) ₄	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advanced Electronic 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/aelm.202200167	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 Hayashida Takeshi, Kimura Kenta, Kimura Tsuyoshi	4. 巻 13
2. 論文標題 Switching Crystallographic Chirality in Ba(TiO)Cu ₄ (PO ₄) ₄ by Laser Irradiation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 3857 ~ 3862
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcclett.2c00606	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 Kenta, Otake Yutaro, Kimura Tsuyoshi	4. 巻 13
2. 論文標題 Visualizing rotation and reversal of the Neel vector through antiferromagnetic trichroism	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 697-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-022-28215-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 Akaki Mitsuru, Kimura Kenta, Kato Yasuyuki, Sawada Yuya, Narumi Yasuo, Ohta Hitoshi, Kimura Tsuyoshi, Motome Yukitoshi, Hagiwara Masayuki	4. 巻 3
2. 論文標題 Nonreciprocal linear dichroism observed in electron spin resonance spectra of the magnetoelectric multiferroic Pb(TiO)Cu ₄ (PO ₄) ₄	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 L042043-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.3.L042043	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 Hayashida T., Uemura Y., Kimura K., Matsuoka S., Hagihala M., Hirose S., Morioka H., Hasegawa T., Kimura T.	4. 巻 5
2. 論文標題 Phase transition and domain formation in ferroaxial crystals	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 124409-1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.5.124409	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 Katsuyoshi Tsukasa, Kimura Kenta, Yang Zhuo, Kato Yasuyuki, Kimura Shojiro, Motome Yukitoshi, Kohama Yoshimitsu, Kimura Tsuyoshi	4. 巻 90
2. 論文標題 Nonreciprocal Directional Dichroism in a Magnetic-Field-Induced Ferroelectric Phase of Pb(TiO)Cu ₄ (PO ₄) ₄	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 123701-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.90.123701	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 Kenta, Yagi Naoki, Hasegawa Shunsuke, Hagihala Masato, Miyake Atsushi, Tokunaga Masashi, Cao Huibo, Masuda Takatsugu, Kimura Tsuyoshi	4. 巻 60
2. 論文標題 Coexistence of Magnetoelectric and Antiferroelectric-like Orders in Mn ₃ Ta ₂ O ₈	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 15078 ~ 15084
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.1c02461	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 Kenta, Kato Yasuyuki, Kimura Shojiro, Motome Yukitoshi, Kimura Tsuyoshi	4. 巻 6
2. 論文標題 Crystal-chirality-dependent control of magnetic domains in a time-reversal-broken antiferromagnet	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 npj Quantum Materials	6. 最初と最後の頁 54-1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41535-021-00355-0	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 -

1. 著者名 Misawa R., Ueda H., Kimura K., Tanaka Y., Kimura T.	4. 巻 103
2. 論文標題 Chirality and magnetic quadrupole order in Pb(TiO)Cu ₄ (PO ₄) ₄ probed by interference scattering in resonant x-ray diffraction	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 174409-1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.103.174409	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 Hayashida Takeshi, Kimura Kenta, Urushihara Daisuke, Asaka Toru, Kimura Tsuyoshi	4. 巻 143
2. 論文標題 Observation of Ferrochiral Transition Induced by an Antiferroaxial Ordering of Antipolar Structural Units in Ba(TiO)Cu ₄ (PO ₄) ₄	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 3638-3646
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.1c00391	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 Miyake Atsushi, Mitamura Hiroyuki, Kawachi Shiro, Kimura Kenta, Kimura Tsuyoshi, Kihara Takumi, Tachibana Makoto, Tokunaga Masashi	4. 巻 91
2. 論文標題 Capacitive detection of magnetostriction, dielectric constant, and magneto-caloric effects in pulsed magnetic fields	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 105103-1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0010753	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 Hayashida T., Uemura Y., Kimura K., Matsuoka S., Morikawa D., Hirose S., Tsuda K., Hasegawa T., Kimura T.	4. 巻 11
2. 論文標題 Visualization of ferroaxial domains in an order-disorder type ferroaxial crystal	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 4582-1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-020-18408-6	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 -

1. 著者名 Kimura Kenta, Urushihara Daisuke, Asaka Toru, Toyoda Masayuki, Miyake Atsushi, Tokunaga Masashi, Matsuo Akira, Kindo Koichi, Yamauchi Kunihiro, Kimura Tsuyoshi	4. 巻 59
2. 論文標題 Synthesis, Structure, and Anomalous Magnetic Ordering of the Spin-1/2 Coupled Square Tetramer System $K(\text{NbO})\text{Cu}_4(\text{PO}_4)_4$	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 10986-10995
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.0c01463	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 Kenta, Katsuyoshi Tsukasa, Sawada Yuya, Kimura Shojiro, Kimura Tsuyoshi	4. 巻 1
2. 論文標題 Imaging switchable magnetoelectric quadrupole domains via nonreciprocal linear dichroism	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Communications Materials	6. 最初と最後の頁 39-1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s43246-020-0040-3	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 Rasta Riho, Heinmaa Ivo, Kimura Kenta, Kimura Tsuyoshi, Stern Raivo	4. 巻 101
2. 論文標題 Magnetic structure of the square cupola compound $\text{Ba}(\text{TiO})\text{Cu}_4(\text{PO}_4)_4$	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 054417-1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.101.054417	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 Kimura Kenta, Kimura Shojiro, Kimura Tsuyoshi	4. 巻 88
2. 論文標題 Magnetoelectric Behaviors in Magnetic-Field-Induced Phases of $\text{Pb}(\text{TiO})\text{Cu}_4(\text{PO}_4)_4$	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 093707-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.88.093707	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24件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Kenta Kimura, Yasuyuki Kato, Shojiro Kimura, Yukitoshi Motome, and Tsuyoshi Kimura
2. 発表標題 Anomalous magnetic and magnetoelectric behaviors of square cupola antiferromagnets in high magnetic fields
3. 学会等名 International Conference on Quantum Liquid Crystals 2021 (online) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木村健太, 大竹雄太郎, 木村剛
2. 発表標題 Bi ₂ CuO ₄ における反強磁性ドメインの外場応答
3. 学会等名 日本物理学会2021秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木村健太, 諸見里真人, 益田隆嗣, 木村剛
2. 発表標題 擬一次元反強磁性体BaCu ₂ Si ₂ O ₇ における電気磁気光学効果
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 木村健太
2. 発表標題 フェロイック関連物質の結晶構造精密解析
3. 学会等名 JPARC S課題(2019S05)研究会(オンライン)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Kimura, Y. Kato, K. Yamauchi, A. Miyake, M. Tokunaga, A. Matsuo, K. Kindo, M. Akaki, M. Hagiwara, S. Kimura, Y. Motome, T. Kimura,
2. 発表標題 Anomalous magnetic and magnetoelectric behaviors of square cupola antiferromagnets in high magnetic fields
3. 学会等名 ARHMF2020 & KINKEN Materials Science School 2020 for Young Scientists (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木村健太、加藤康之、木村尚次郎、求幸年、木村剛
2. 発表標題 Pb(TiO)Cu ₄ (PO ₄) ₄ の反強磁性相における結晶キラリティ依存電気磁気応答
3. 学会等名 日本物理学会2020秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 八木直輝, 三宅厚志, 徳永将史, 萩原雅人, 木村健太, 木村剛
2. 発表標題 線形電気磁気効果を示す反強磁性体Mn ₃ Ta ₂ O ₈ における低温構造相転移
3. 学会等名 日本物理学会2020秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三澤龍介, 上田大貴, 田中良和, 木村健太, 木村剛
2. 発表標題 正四角台塔型反強磁性体Pb(TiO)Cu ₄ (PO ₄) ₄ における円偏光軟X線共鳴回折
3. 学会等名 日本物理学会2020秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木村健太、佐藤雅恭、木村剛
2. 発表標題 Bi ₂ CuO ₄ における電気磁気光学効果
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三澤龍介, 上田大貴, 田中良和, 木村健太, 木村剛
2. 発表標題 磁気四極子型反強磁性体Pb(TiO)Cu ₄ (PO ₄) ₄ における円偏光軟X線共鳴回折の外場効果
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 林馨, 下橋正和, 井原慶彦, 神田朋希, 松井一樹, 小濱芳允, 木村健太, 木村剛
2. 発表標題 パルス磁場中NMR測定によるPb(TiO)Cu ₄ (PO ₄) ₄ の磁場誘起磁気秩序状態の研究
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木村健太
2. 発表標題 磁気四極子型反強磁性体の開発と非相反光学応答の発見
3. 学会等名 新学術領域研究「量子液晶の物性科学」量子物質開発フォーラム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木村健太
2. 発表標題 銅酸化物反強磁性体における非相反電気磁気光学応答
3. 学会等名 ISSPワークショップ「量子物質研究の最近の進展と今後の展望」
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Kimura
2. 発表標題 Nonreciprocal linear dichroism in a magnetoelectric antiferromagnet
3. 学会等名 The 3rd Asia-Oceania Conference on Neutron Scattering 2019 (AOCNS 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木村健太, 木村 剛
2. 発表標題 電気磁気光学効果を用いた反強磁性ドメインの観察
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 木村健太
2. 発表標題 電気磁気効果を介した反強磁性ドメインのイメージングと制御
3. 学会等名 CSRN-Tokyo Workshop 2019 「スピントロニクス新機能物質と巨大物性応答」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木村健太, 木村 剛
2. 発表標題 電気磁気光学イメージングによる反強磁性ドメインの電場反転の可視化
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 水戸陵人, 赤木暢, 澤田祐也, 木村健太, 鳴海康雄, 木村剛, 萩原政幸
2. 発表標題 正四角台塔系 $Pb(TiO)Cu_4(P04)_4$ の強磁場ESRの偏光依存性
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 勝吉司, 木村健太, 浜根大輔, 木村剛
2. 発表標題 正四角台塔型反強磁性体 $Sr_xPb_{1-x}(TiO)Cu_4(P04)_4$ の単結晶育成と電気磁気特性
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 井原慶彦, 荒島洸樹, 勝吉司, 木村健太, 木村剛
2. 発表標題 定常磁場NMR測定による正四角台塔型反強磁性体 $Pb(TiO)Cu_4(P04)_4$ の低磁場相の磁気構造観測
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 八木直輝, 木村健太, 木村剛
2. 発表標題 反強磁性体Mn ₃ Ta ₂ O ₈ における電気磁気効果の観測
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 勝吉司, 木村健太, Z. Yang, 小濱芳允, 木村剛
2. 発表標題 パルス強磁場下における正四角台塔型反強磁性体Pb(TiO)Cu ₄ (PO ₄) ₄ の電気磁気光学効果
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 N. Yagi, K. Kimura, and T. Kimura
2. 発表標題 Magnetoelectric effect in the antiferromagnet Mn ₃ Ta ₂ O ₈
3. 学会等名 The 20th Korea-Taiwan-Japan Symposium on Strongly Correlated Electron Systems (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Katsuyoshi, K. Kimura, Y. Sawada, S. Kimura and T. Kimura
2. 発表標題 Optical magnetoelectric effect in antiferromagnetic Pb(TiO)Cu ₄ (PO ₄) ₄ with square cupola clusters
3. 学会等名 SNU-PKU-U-Tokyo Joint Workshop on strongly correlated Materials (国際学会)
4. 発表年 2020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
--	---------------------------	-----------------------	----

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			
エストニア	Natl. Inst. Chem. Phys. Biophys.			