

令和 3 年 6 月 11 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H02917

研究課題名(和文) 量子磁性体の電気磁気効果と非相反応

研究課題名(英文) Magnetolectric effect and nonreciprocal response of the quantum magnets

研究代表者

木村 尚次郎 (Kimura, Shojiro)

東北大学・金属材料研究所・准教授

研究者番号：20379316

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,100,000円

研究成果の概要(和文)：磁場誘起マグノンボース凝縮によって強誘電を発生する結合スピンドイマー系 TlCuCl_3 及び KCuCl_3 に関して、スピンの量子揺らぎが電気分極を増強し分極反転を容易にする事を明らかにした。このソフトな強誘電を利用してマイクロ波方向二色性の静電場によるスイッチングに成功した。また、スピンシングレット状態からトリプレット状態への光学遷移が電磁波の振動電場によって生じることを明らかにした。これらによって量子スピン系が示す電気磁気効果の新たな可能性を開いた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

螺旋磁気秩序誘起の強誘電発現の発見以来、大規模に研究が行われてきた電気磁気効果について、強い量子揺らぎを持つスピンドイマー系に特徴的な振る舞いを明らかにした。電気磁気効果と電子スピンの量子揺らぎの物理を結びつける新しい切り口のもと、量子揺らぎによる強誘電の増強と分極反転電場の低減、スピンシングレット-トリプレット状態間の振動電場による励起、方向二色性の電界スイッチングなどを観測しスピンの量子効果が交差相関を用いた物性制御に有効に働くことを示した。

研究成果の概要(英文)：The high-pressure electric polarization measurements of the spin dimer systems TlCuCl_3 have revealed that the quantum fluctuation inherent in the spin dimer enhances the electric polarization, induced by the antiferromagnetic order owing to the magnon Bose-Einstein condensation, and gives soft nature to the ferroelectricity. By utilizing the soft nature, we have succeeded in fast switching of the nonreciprocal directional response to the microwave by the reversal of the electric polarization. We also have found that the optical transition from the spin singlet to the triplet state in KCuCl_3 is induced by the oscillating electric fields of the terahertz electromagnetic wave.

研究分野：磁性物理学

キーワード：量子スピン系 マルチフェロイクス 電気磁気効果 非相反応

1. 研究開始当初の背景

スピン演算子の非可換性に由来した量子揺らぎが顕在化する量子スピン系は、量子多体効果に起因する興味深い振る舞いを示す事が知られていた。本研究は、このスピンの量子揺らぎの効果に注目して、電気磁気効果の物理を新展開させることを目指した。電気磁気効果は、2003年のマンガン酸化物における螺旋磁気秩序誘起の強誘電の発見を契機に大規模な研究が行われてきた。その研究は、磁気秩序誘起の強誘電や磁化/電気分極の電場/磁場による誘起など静的なものに止まらず、光学的電気磁気効果によって生じる電磁波に対する非相応答など動的な現象にも広がっている。しかし、これまでのその主な研究対象は古典的なフラストレート磁性体であり、電気磁気効果へのスピンの量子効果の寄与については、ほとんど議論されて来なかった。本研究で取り組んだ結合ダイマー系 TlCuCl_3 と KCuCl_3 は、強い量子揺らぎを示すスピン $S = 1/2$ のダイマー同士が比較的弱い交換相互作用で結びついて三次元的なネットワークを形成する結合ダイマー系である。この物質に磁場を印加して基底状態のスピンシングレットと励起状態のスピントリプレットとの間のエネルギーギャップを潰すと、基底状態にトリプレット励起子であるマグノンが誘起され、ボースアインシュタイン凝縮を起こし反強磁性秩序する。我々は、この磁場誘起マグノンボース凝縮が、磁気秩序と同時に強誘電を発生させることを過去に報告した。マグノンボース凝縮相で生じるスピンシングレットとトリプレットの量子力学的な重ね合わせが電気分極の発生を引き起こす。この強誘電はこれまで知られる磁気強誘電体の中でもっとも電気分極の反転電場が小さい極めてソフトな性質を持っている。電気分極発生の担い手となっているのが、ダイマー上の隣り合った2つのスピンの外積で表されるベクトルスピンカイラリティー $\mathbf{S}_i \times \mathbf{S}_r$ である。このベクトルスピンカイラリティーは、スピンシングレットとトリプレット状態の間に量子力学的な行列要素をもつため、スピンダイマーは電気分極に対して活性であり、それを介して電場と結合する様になる。本研究は、この結合スピンダイマー系が示す特徴的な電気磁気効果を明らかにした。

2. 研究の目的

本研究は下記を目的として行われた

- スピンの量子揺らぎの効果が強誘電に与える影響を TlCuCl_3 に高圧力を加えて誘電率と電気分極を測定する事により調べる。圧力の印加によって、 TlCuCl_3 のスピンダイマー内の交換相互作用は弱められると同時に、ダイマー間相互作用は増強されるため、高圧下で TlCuCl_3 は通常の古典的な三次元反強磁性体に近づき量子揺らぎが抑制される。この高圧下での振る舞いから量子効果の強誘電への影響を明らかにする。
- 上述のスピンシングレット・トリプレット間のベクトルスピンカイラリティーに関する有限の行列要素のため、この二つの状態間の光学遷移が電磁波の振動電場によって生じる事が期待される。これを強磁場電子スピン共鳴 (ESR) 測定によって検証する。
- マグノンボース凝縮相の最も低エネルギーの磁気励起は、スピンの秩序成分の位相振動に相当する南部ゴールドストーンモードである。このモードの励起は静磁化の振動とともに、ベクトルスピンカイラリティーの振動を引き起こすため、電磁波の磁場と電場両方と結合すると予想される。このときゴールドストーンモードの共鳴励起によるマイクロ波の吸収強度がその照射方向の反転によって変化する方向二色性が起こると期待される。このような電磁波吸収強度の変化は電気分極もしくは磁化の反転によっても起こる。 TlCuCl_3 は強誘電のソフトな性質のため、電気分極反転を低い電界で起こす事ができる。従って、この物質は電場で整流方向を切り替え可能な電磁波のダイオードとして振る舞う事が期待される。これをマイクロ波 ESR 測定によって検証する。

3. 研究の方法

以上の課題を実施するため次の様な方法で研究を行った。

- ピストンシリンダー型の圧力セルを用いて、 TlCuCl_3 単結晶試料に ~ 17 kbar の圧力を印加し高圧下誘電率・電気分極測定を行った。
- KCuCl_3 のシングレット・トリプレット間遷移が振動電場によって起こる事を検証するため、ワイヤグリッド偏光子を用いた偏光実験によって、その ESR 信号の光学選択則を明らかにした。
- 方向二色性の電界スイッチングを行うため、分極ドメインの整列・反転を行うための電極を取る付けた TlCuCl_3 単結晶試料に関して、マイクロ波を用いた ESR 測定を行った。更にボンドオペレーター理論に基づいて電気及び磁気双極子遷移強度を計算して、方向二色性強度を説明した。

4. 研究成果

1) 図 1 に高圧下誘電率測定から得られた TlCuCl_3 の磁場温度相図の圧力依存性を示す。加圧すると、交換相互作用の圧力変化のため、シングレット-トリプレット状態間のエネルギーギャップが臨界圧力 0.4 kbar 以上で閉じ、零磁場でも磁気秩序が生じることが知られていた。さらに加圧すると反強磁性秩序を示す磁場温度領域が広がって行く振る舞いがみられた。図中の実線の様子に得られた相境界の圧力変化は、磁場、圧力による反強磁性秩序の安定化を考慮したランダウ理論に基づく現象論的な自由エネルギーから得られる理論曲線によってほぼ説明できた。これらの結果は、加圧によって TlCuCl_3 が古典的な三次元反強磁性体に近づいていくため、反強磁性秩序相が広がることを示唆している。このように反強磁性秩序が

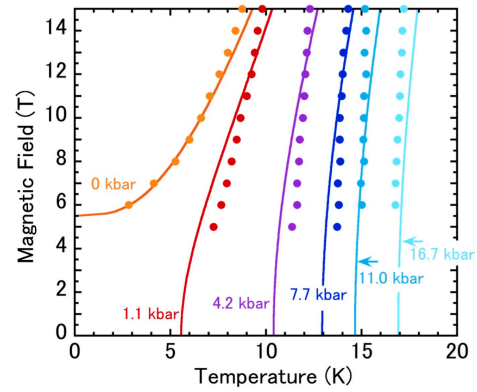


図 1 TlCuCl_3 の圧力下磁場温度相図[1]

加圧によって安定化されるのに対し、電気分極の値自体は、4 kbar 以上の高圧下でむしろ減少する。 TlCuCl_3 の磁性誘起の電気分極はベクトルスピカイラリティ $\mathbf{S}_i \times \mathbf{S}_r$ の基底状態における期待値に比例するが、この $\mathbf{S}_i \times \mathbf{S}_r$ は個々のスピンの期待値の外積と、スピンの揺らぎの外積相関の和で書き表される。ボンドオペレーター理論による計算は、常圧下では TlCuCl_3 の強い量子ゆらぎを反映して後者の揺らぎの項の寄与が前者を大きく上回っている事を示唆した。すなわち、量子揺らぎが TlCuCl_3 の電気分極を増強している。高圧下での電気分極の減少は、加圧による量子揺らぎの抑制によって生じたと理解される。また、この物質の強誘電は、0.4 MV/m 程度の極めて低い電場で電気分極の反転が可能なソフトな性質を持つが、加圧に伴い強誘電はハードになることがわかった。分極反転は、ベクトルスピカイラリティの反転を要するため、反強磁性ドメインを磁場の周りで 180° 回転させる必要がある。このとき、スピンは磁気異方性エネルギーの高い方向を経由して回転する。従って、分極反転を起こすにはこの異方性エネルギーに由来するポテンシャルエネルギーの障壁を越す必要があり、これが有限な分極反転電場の原因となる。磁気異方性を取り入れたランダウ理論は、加圧による量子揺らぎの抑制によってこのエネルギー障壁が増強されることを示す。このことから、 TlCuCl_3 の強誘電が常圧下で持つソフトな性質は、量子揺らぎによって生じている事が示唆された。

[1] K. Sakurai, S. Kimura, S. Awaji, M. Matsumoto and H. Tanaka, Phys. Rev. B **102** (2020) 064104

2) TlCuCl_3 と KCuCl_3 では、過去のスピンシングレット相の強磁場 ESR 測定によってシングレットからトリプレット状態への光学遷移が観測されていた。このシングレット-トリプレット遷移は、遷移の前後でスピン角運動量が保存する磁気双極子遷移では通常起こりえないため、その観測の起源は不明だった。この 2 つの状態間には上述の様にベクトルスピカイラリティの有限な行列要素がある。従って、ベクトルスピカイラリティによる電気分極発生機構が有効に働けば、シングレット-トリプレット間の光学遷移が電気双極子遷移によって起こり得ると考えられる。これを検証するため、 KCuCl_3 について直線偏光を用いた ESR 測定を行い、シングレット-トリプレット間遷移の選択則を明らかにした。 KCuCl_3 では、単位胞に結晶学的に異なる 2 種類のダイマーが存在する事を反映して、2 組のシングレット-トリプレット間遷移 A , B が観測される。この 2 つの遷移が両方観測される周波数 730.5 GHz で測定を行った。静磁場は結晶の b 軸に加えこれに垂直に電磁波を照射する Voigt 配置において、試料の手前にワイヤグリッド偏光子を置き、電磁波を直線偏光にする。その振動電場成分が b 軸に垂直または平行な測定及び、無偏光の電磁波を静磁場と平行に照射する Faraday 配置での測定を行い選択則を調べたところ、遷移は A , B ともに振動電場によって生じている事が明らかになった。遷移 A は b 軸に垂直、遷移 B は平行な電場によって生じる。この選択則は、ベクトルスピカイラリティによる電気双極子遷移機構と、単位胞内の 2 種類のダイマー間に存在する二回らせん対称性を考慮する事で説明された。また、この結果からトリプレット励起が電気双極子に関して活性である事が示され、結合ダイマー系の磁場誘起強誘電はこの電気双極子活性なトリプレット励起子の凝縮によって生じるとみなせる事がわかった。

3) シングレット-トリプレット励起のうち最も低エネルギーのモードは、転移磁場以上の磁気秩序相において、磁気秩序モーメントの位相振動に相当する南部ゴールドストーンモードに変化する。このゴールドストーンモードが励起されると、反強磁性二副格子が互いに位相を π だけずらした歳差運動が生じる。このとき二副格子の運動の足し合わせは、全磁化の縦振動になる。これと同時に磁場に垂直な面内でのベクトルスピカイラリティの振動が生じる。このベクトルスピカイラリティの振動が、磁化に垂直な電気分極の振動を引き起こすと方向二色性が発生する。方向二色性と同じ強さの電磁波吸収の変化は、磁化または電気分極の反転によっても生じる。磁気異方性の全くない系では、磁気 Bragg 点でゴールドストーンモードは

ャップレスになるため電磁波による励起はできないが、 TlCuCl_3 では磁気異方性のため有限のエネルギーギャップが生じマイクロ波による励起が可能になる。そこで 50 GHz のマイクロ波 ESR 測定によって、電気分極の反転に伴う二色性の観測を行った。静磁場は $[201]$ 方向に印可し、振動磁場が $[201]$ に平行、電場が $(10\bar{2})$ 面に垂直な直線偏光を $[010]$ 方向から照射した。ゴールドストーンモードの共鳴励起による ESR 信号の強度は、分極反転に伴って約 40%変化した。方向二色性は、電気双極子遷移と磁気双極子遷移の干渉の結果生じるが、ボンドオペレーター理論から求めた TlCuCl_3 の波動関数から磁気双極子遷移行列を計算し、さらに過去の電気分極測定から得られたベクトルスピカイラリティーと電気分極の間の結合定数を用いて電気双極子遷移行列を計算して得られた方向二色性強度は、実験と良く一致した。また TlCuCl_3 の強誘電がソフトである事を利用して、方向二色性の電界スイッチングを観測した。図 2 は電界反転による分極反転に伴って生じたマイクロ波の吸収ピーク強度の変化である。電界反転に追従して吸収ピーク強度の変化が生じているが、これは電磁波吸収が強く起こる電磁波の伝搬方向が分極反転に伴って反転するために生じている。

[2] S. Kimura, M. Matsumoto and H. Tanaka, Phys. Rev. Lett. **124** (2020) 217401.

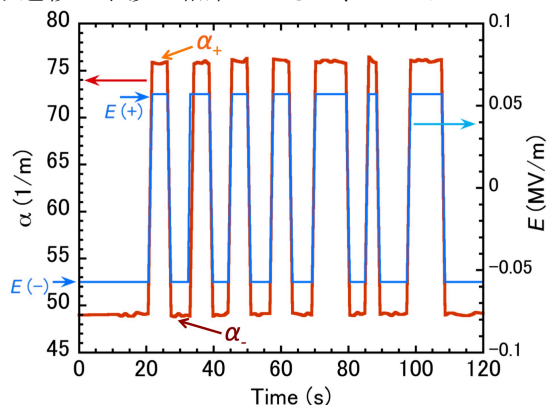


図 2 吸収ピーク強度の分極反転による変化[2]

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 17件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 K. Taniguchi, M. Nishio, S. Kishiue, P. - J. Huang, S. Kimura and H. Miyasaka	4. 巻 9
2. 論文標題 Strong magnetochiral dichroism for visible light emission in a rationally designed paramagnetic enantiopure molecule	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Phys. Rev. Mater.	6. 最初と最後の頁 045202 (1-8)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.3.045202	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 Y. Otsuki, S. Kimura, S. Awaji and M. Nakano	4. 巻 9
2. 論文標題 Magnetocapacitance effect and magnetostriction by the field-induced spin -crossover in [MnIII(taa)]	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 AIP advances	6. 最初と最後の頁 085219 (1-4)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5097891	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 K. Kimura, S. Kimura and T. Kimura	4. 巻 88
2. 論文標題 Magnetoelectric behaviors in magnetic-field-induced phases of Pb(TiO)Cu ₄ (PO ₄) ₄	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Phys. Soc. Jpn.	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 -
1. 著者名 K. Taniguchi, S. Kishiue, S. Kimura and H. Miyasaka	4. 巻 88
2. 論文標題 Local-Site Dependency of Magneto-Chiral Dichroism in Enantiopure One-Dimensional Copper(II)-Chromium(III) Coordination Polymers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Phys. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 93708
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.88.093708	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 S. Imura, S. Kimura, S. Awaji, M. Hagiwara and I. Terasaki	4. 巻 88
2. 論文標題 Magnetoelastic coupling in the perovskite-type Co oxides Sr _{1-x} Y _x CoO ₁₋	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Phys. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 124706 (1-5)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.88.124706	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 T. Sato, Y. Araki, A. Miyake, A. Nakao, N. Abe, M. Tokunaga, S. Kimura, Y. Tokunaga and T. Arima	4. 巻 101
2. 論文標題 Magnetic phase diagram enriched by chemical substitution in a noncentrosymmetric helimagnet	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 054414R (1-6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.101.054414	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 S. Kimura, M. Matsumoto, M. Akaki, M. Hagiwara, K. Kindo and H. Tanaka	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 Phys, Rev. B	6. 最初と最後の頁 140406R
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 K. Kimura, Y. Kato, K. Yamauchi, A. Miyake, M. Tokunaga, A. Mathuo, K. Kindo, M. Akaki, M. Hagiwara, S. Kimura, Y. Motome and T. Kimura	4. 巻 2
2. 論文標題 Magnetic structural unit with convex geometry: A building block hosting an exchange-striction-driven magnetoelectric coupling	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Phys. Rev. Mater.	6. 最初と最後の頁 104415
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.2.104415	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 Y. Kato, K. Kimura, A. Miyake, M. Tokunaga, A. Matsuo, K. Kindo, M. Akaki, M. Hagiwara, S. Kimura, T. Kimura and Y. Motome	4. 巻 99
2. 論文標題 Magnetoelectric behavior from cluster multipoles in square cupolas: Study of Sr(TiO)Cu ₄ (PO ₄) ₄ in comparison with Ba and Pb isostructurals	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 24415
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.99.024415	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 S. Kimura, K. Kakihata, Y. Sawada, K. Watanabe, M. Matsumoto, M. Hagiwara and H. Tanaka	4. 巻 95
2. 論文標題 Magnetoelectric effect in the quantum spin gap system TiCuCl ₃	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 184420/1-7
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 S. Kimura, M. Matsumoto and H. Tanaka	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 2021年
3. 雑誌名 Phys. Rev. Lett.	6. 最初と最後の頁 217401-1-5
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 T. Sato, N. Abe, S. Kimura, Y. Tokunaga and T. Arima	4. 巻 124
2. 論文標題 Magnetochiral Dichroism in a Collinear Antiferromagnet with No Magnetization	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Phys. Rev. Lett.	6. 最初と最後の頁 217402-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.124.217402	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 K. Kimura, T. Katsuyoshi, Y. Sawada, S. Kimura and T. Kimura	4. 巻 1
2. 論文標題 Imaging switchable magnetoelectric quadrupole domains via nonreciprocal linear dichroism	5. 発行年 2021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 K. Sakura, S. Kimura, S. Awaji, M. Matsumoto and H. Tanaka	4. 巻 102
2. 論文標題 Spin-driven ferroelectricity in the quantum magnet TlCuCl ₃ under high pressure	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 064104-1-6
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 S. Kimura, N. Terada, M. Hagiwara, M. Matsumoto and H. Tanaka	4. 巻 52
2. 論文標題 Electric Dipole Active Magnetic Resonance and Nonreciprocal Directional Dichroism in Magnetoelectric Multiferroic Materials in Terahertz and Millimeter Wave Regions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Appl. Magn. Reson.	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 K. Taniguchi, M. Nishio, N. Abe, P.-J. Huang, S. Kimura, T. Arima and H. Miyasaka	4. 巻 60
2. 論文標題 Magneto-electric directional anisotropy in polar soft ferromagnets of two-dimensional organic - inorganic hybrid perovskites	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Angew. Chem. Int. Ed.	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) 10.1002/anie.202103121	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 K. Kimura, Y. Kato, S. Kimura, Y. Motome and T. Kimura	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11件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 S. Kimura
2. 発表標題 Multiferroic behaviors in the quantum spin dimer system
3. 学会等名 14Th Asia-Pacific Physics Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木村尚次郎、赤木暢、奥谷顕、鳴海康雄、萩原政幸、奥西巧一、何長振、谷山智康、伊藤満
2. 発表標題 擬一次元Ising型反強磁性体BaCo ₂ V ₂ O ₈ における磁気励起の光学選択則
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 S. Kimura
2. 発表標題 Magnetoelectric effects in the Quantum Spin Dimer System
3. 学会等名 RHMF2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木村尚次郎
2. 発表標題 結合ダイマー系のマグノンボース凝縮相における方向二色性
3. 学会等名 強磁場コラボラトリにおける物性研究の現状と展望
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Kimura
2. 発表標題 Electromagnon in the Quantum Spin Dimer System
3. 学会等名 The 7th International Workshop on Far-Infrared Technologies (招待講演) (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相におけるPE履歴に対する圧力効果
3. 学会等名 日本物理学会第 74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Kimura, M. Akaki, M. Hagiwara, M. Matsumoto, K. Kindo, H. Tanaka
2. 発表標題 Electric dipole spin resonance in the spin gap system KCuCl ₃
3. 学会等名 28th International Conference on Low Temperature Physics (国際学会)
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 木村尚次郎
2. 発表標題 量子スピンダイマー系の電気磁気効果
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Kimura
2. 発表標題 Multiferroic behaviors in the quantum spin dimer system
3. 学会等名 International workshop on quantum magnets in extreme condition（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木村尚次郎
2. 発表標題 結合スピンダイマー系 TlCuCl_3 のマグノンBEC相における方向二色性
3. 学会等名 電子スピンサイエンス学会2020（招待講演）
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
研究 分担者	川股 隆行 (kawamata Takayuki) (00431601)	東北大学・工学研究科・助教 (11301)	
研究 分担者	田中 秀数 (Tanaka Hidekazu) (80188325)	東京工業大学・理学院・教授 (12608)	

	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
連携 研究者	松本 正茂 (Matsumoto Masashige) (20281058)	静岡大学・理学部・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
---------	---------