

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 22 日現在

機関番号：14301
研究種目：若手研究(A)
研究期間：2017～2020
課題番号：17H04849
研究課題名(和文) スピンアイスに創出する磁気モノポールの協奏現象

研究課題名(英文) Cooperative monopole dynamics in spin ice

研究代表者

高津 浩 (Takatsu, Hiroshi)

京都大学・工学研究科・講師

研究者番号：60585602

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 19,300,000円

研究成果の概要(和文)：スピンアイス現象を示すパイロクロア磁性体に現れる素励起は、クーロン相互作用するディラックモノポールと極めて良く似た性質を持つ。しかし、それが単に固体中の磁気緩和現象として現れるだけなのか、それとも準粒子のように運動して協力的現象をも引き起こし得るのかは、実験的に未だ明らかではない。本研究ではスピンアイスの典型例であるDy₂Ti₂O₇や量子スピンアイスの候補物質であるTb₂Ti₂O₇を取り上げて2次元モノポールや量子モノポールと呼べる固体中の新奇な素励起の現象を研究することに取り組んだ。そして、固体凝縮相におけるモノポールの協奏現象とよべる新奇ダイナミクスを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の結果、モノポールの2次元ダイナミクスは2次元XYモデルの理想的な実験系であること、そしてモノポール対間の相関長が重要な物理量であることが明らかになった。これは、スピンアイスにおけるモノポールのダイナミクスに関する新しい実験事実であり、固体凝縮相における新奇な素励起の実態を明らかにした点で学術的に非常に重要な成果である。また、Tb₂Ti₂O₇でも量子スピンアイスの特徴づけるモノポールの振る舞いを熱励起の情報として明らかにでき、今後の研究につながる研究成果をあげることができた。

研究成果の概要(英文)：An elementary excitation in spin ice shows similar properties of the Dirac monopole that interacts with magnetic Coulomb forces. However, it has not been clarified whether the excitation manifests itself as a magnetic relaxation phenomenon or it can behave like a quasiparticle with a cooperative phenomenon. In this study, we have focused on Dy₂Ti₂O₇ and Tb₂Ti₂O₇, and studied novel elementary excitation phenomena in spin ice, such as two-dimensional (2D) monopoles and quantum monopoles. We have found that the ac frequency dependent magnetic susceptibility in the 2D spin ice of Dy₂Ti₂O₇ shows a single scaling form, which can be understood in terms of the dynamical scaling law for 2D Coulomb gas system (Phys. Rev. B 90, 144428 (2014)). We also realized for Tb₂Ti₂O₇ that the behavior of the monopole characterized by a quantum spin ice could be clarified as information on thermal excitation. These studies shed light on the novel dynamics of monopole phenomenon in condensed matter physics.

研究分野：低温物性実験、中性子散乱実験、結晶合成

キーワード：スピンアイス カゴメアイス 量子スピンアイス 磁気モノポール Dy₂Ti₂O₇ Tb₂Ti₂O₇

1. 研究開始当初の背景

(1) 氷の構造が有する残留エントロピーは1935年に米国の化学者 L. Pauling によって指摘されたが [1]、1990年代後半より、パイロクロア型磁性体が、氷の問題のスピンの版(スピンアイス)に対応することから注目を集めてきた[2]。スピンアイスでは残留エントロピーの問題に加え、スピン系に特有の「磁気モノポール」の存在が理論的に指摘され、実験を巻き込んだ論争が続いていた[3]。特に、それが単に固体中の磁気緩和現象として現れるだけなのか、それとも準粒子のように運動して協力的現象をも引き起こし得るのかは、実験的に未だ明らかではなかった。

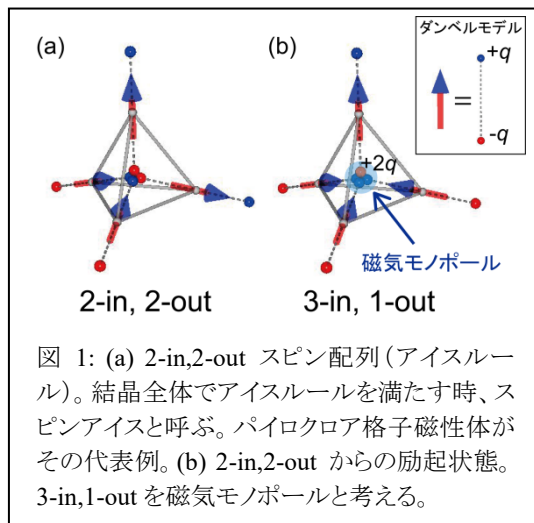


図 1: (a) 2-in,2-out スピン配列 (アイスルール)。結晶全体でアイスルールを満たす時、スピンアイスと呼ぶ。パイロクロア格子磁性体はその代表例。(b) 2-in,2-out から励起状態。3-in,1-out を磁気モノポールと考える。

(2) 応募者はスピンアイスの典型例である $Dy_2Ti_2O_7$ や量子スピンアイスの候補である $Tb_2Ti_2O_7$ を取り上げて、「次元性」や「スピンの量子性」を観点に研究してきた。その中で、量子渦対のような「モノポールの協力的対励起」が起きえる興味深い現象を見出してきた[4]。本研究では、その成果をさらに発展させることで、2次元モノポールや量子モノポールと呼べる固体中の新奇な素励起の現象の解明することに着目し、スピンアイスにおけるモノポールの協奏的ダイナミクスの実験研究に取り組んだ。

2. 研究の目的

本研究の目的は、スピンアイスにあらわれる磁気モノポールの協奏的ダイナミクスを実験的に明らかにし、その準粒子としての性質を理解することである。具体的には、スピンアイスの典型例である $Dy_2Ti_2O_7$ のカゴメアイス状態(111 磁場下であらわれる2次元のスピンアイス状態)における交流磁化率の周波数依存性を調べることでモノポールの2次元ダイナミクスの実態を明らかにすること、また、量子スピンアイスの候補物質である $Tb_2Ti_2O_7$ を取り上げてスピンの量子性がモノポールのダイナミクスに与える影響を明らかにすることである。

3. 研究の方法

スピンアイスにおける磁気モノポールの協奏現象の解明を目指し、本研究の遂行には以下の方法で臨んだ。

(1) $Dy_2Ti_2O_7$ のカゴメアイス状態における磁気モノポールの協奏現象

$Dy_2Ti_2O_7$ の単結晶に直流磁場をかけてカゴメアイス状態にし、交流磁化の周波数依存性を測定した。特に、モノポールが運動するカゴメ平面内方向に交流磁場を印加するという特別な実験配置で実験することに着目し、カゴメ面内の磁気応答を調べ、モノポールの2次元ダイナミクスを特徴づける周波数を明らかにすることを目指した。また、中性子散乱実験からスピン相関長を定量的に吟味した。

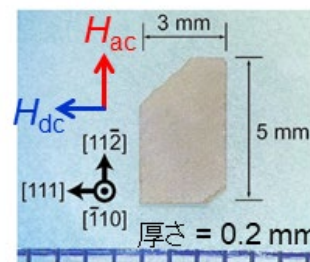


図 2: 浮遊帯域法で合成した $Dy_2Ti_2O_7$ の単結晶。

(2) モンテカルロ計算

モンテカルロ計算から交流磁化率や中性子散乱などの実験結果を検証した。そして、カゴメアイスにおける 2 次元モノポールのダイナミクスの実態を明確にすることに取り組んだ。

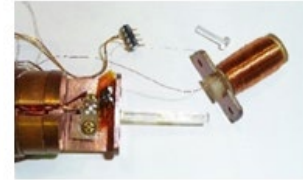


図 3: H_{dc} と H_{ac} を直交させるために作成した交流磁化率測定用のコイル。

(3) $Tb_2Ti_2O_7$ における磁気モノポール

$Tb_{2+x}Ti_{2-x}O_{7+y}$ ($x < x_c$) の単結晶を用いて交流磁化率や比熱測定によって量子効果がモノポールのダイナミクスに与える影響を明確にすることに取り組んだ。また、これまでの浮遊帯域法での単結晶合成に加え、新しくフラックス法での単結晶合成にも取り組んだ。

4. 研究成果

本研究課題では以下に述べる成果を得た。また得られた結果は論文や学会発表にまとめて公表した。

(1) 交流磁化率のスケーリング則とモノポールの協奏現象

まず、浮遊帯域法にて $Dy_2Ti_2O_7$ の単結晶を合成した。得られた $Dy_2Ti_2O_7$ 単結晶から反磁場の影響を少なくするように板状試料を切り出し、成形し、111 方向の磁場 ($H_{dc} // 111$) に直交するカゴメ面内に交流磁場ををかけて ($H_{ac} \perp H_{dc}$)、交流磁化率の周波数依存性を調べた。その結果、カゴメアイス相 ($T < 1$ K, $0.3 < \mu_0 H < 0.9$ T) の領域で交流磁化率の周波数依存性が単一の関数形にスケーリングすることを見出した。また、このスケーリングの振る舞いは、2 次元クーロンガスモデルの理論計算[5]と非常に良い一致を示すことが分かった。ダイポールスピナイスモデルによるモンテカルロ計算から交流磁化率の周波数依存性を再現することにも成功した。モンテカルロ計算ではモノポールの分布も可視化できるため、これを評価するとある領域にモノポールが分布していること、すなわち、カゴメアイス相のモノポールのダイナミクスには特徴的な長さが関係していることが分かった。中性子散乱実験を行うと、散漫散乱のぼやけとしてモノポールの相関長を評価でき、モンテカルロ計算と符合する結果となった。

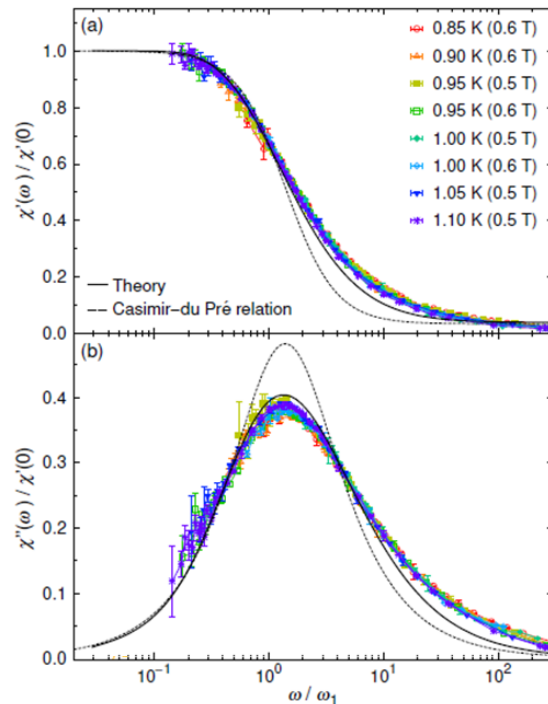


図 4: $Dy_2Ti_2O_7$ のカゴメアイス相における交流磁化率の(a)実部と(b)虚部のスケーリング。2次元のスピナイスが成り立つカゴメアイスで成り立つ特徴的なダイナミクスを示唆。

以上の結果、2次元モノポールのダイナミクスは2次元空間を自由に動くモノポール対間の相関長と関係する現象であることが明白になった。つまり、モノポールの2次元ダイナミクスは2次元XYモデルの理想的な実験系であること、そしてモノポール対間の相関長が重要な物理量であることが分かった。カゴメアイス相の磁気モノポールのダイナミクスを2次元クーロンガスに見られる普遍的な外部応答として交流磁化率のスケーリングにより評価できることを初めて実験的に示すことに成

功した。交流磁場と直流磁場を直交するという特殊な実験配置による詳細な実験の結果、2次元のモノポールの協奏的なダイナミクスを特徴づける振る舞いを明らかにすることができた[6]。

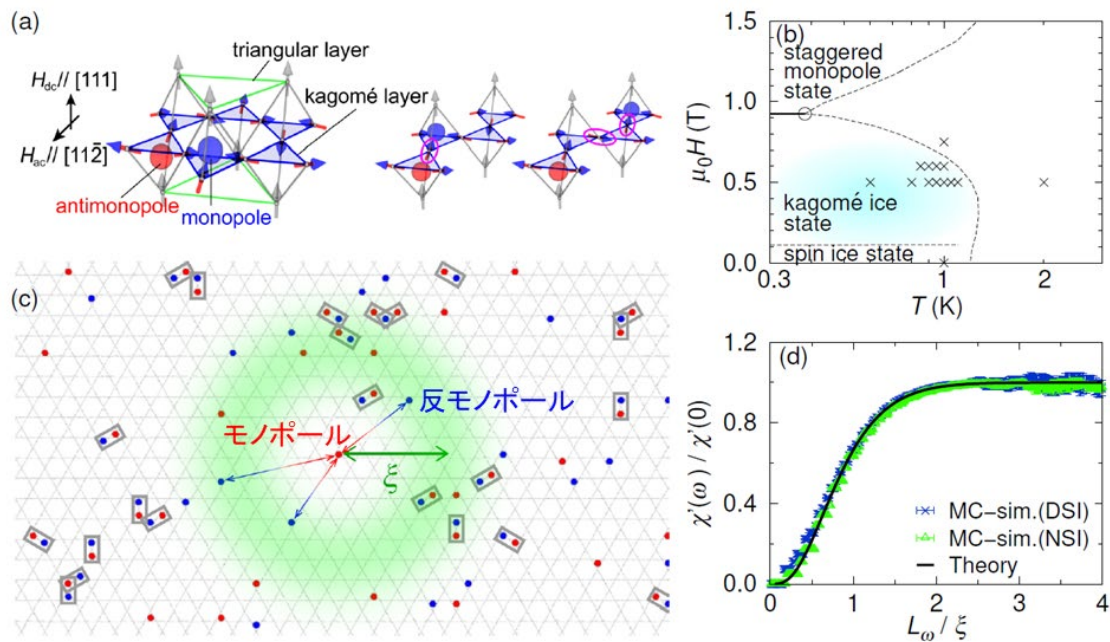


図 5: 本研究成果の概要。(a) 111 磁場下のカゴメアイス状態とモノポールの伝播の様子。(b) $Dy_2Ti_2O_7$ の温度磁場相図[7]。(c) $(T, H) = (1 \text{ K}, 0.5 \text{ T})$ におけるモンテカルロ計算のスナップショット。モノポール(赤丸)と反モノポール(青丸)が相関長 ξ をもって運動している様子が見取れる。(d) 交流磁化率のモンテカルロ計算。実線は、2次元クーロンガス模型の理論曲線[5]。

(2) 量子スピナイスにおけるモノポール現象

量子スピナイスの候補物質である $Tb_{2+x}Ti_{2-x}O_{7+y}$ では、 $x = -0.003$ を境にしてモノポール凝縮相である四極子秩序 ($x > x_c$) と量子スピナイス ($x < x_c$) の二つの基底状態が実現することを明らかにしてきた。本研究では、 $x < x_c$ の量子スピナイスに着目し、この系に存在が指摘されている3つの準粒子励起(①磁気モノポール励起、②電気的モノポール励起(Vison 励起)、③ギャップレスの擬似フォトン励起)の現象の解明を目指して極低温比熱測定から集中的に研究した。その結果、 $Tb_{2+x}Ti_{2-x}O_{7+y}$ ($x \sim -0.005$)の純良結晶におけるゼロ磁場中の比熱は、0.1 K まで相転移を示さず、0.2 K 以下で大きく上昇する結果を得た。この上昇は核比熱の成分と考えられ、その核比熱の成分を差し引きいた振る舞いには、本系の準粒子励起現象の情報を含んでいると考えられる。そこで Arrhenius 型の温度依存性を考えてその比熱の解析を行い、ギャップエネルギーが約 0.5 K の振る舞いと同等であることが分かった。 $Tb_{2+x}Ti_{2-x}O_{7+y}$ の場合、上記③の擬似フォトン励起は、エネルギースケールで 0.01 meV 程度に対応し、①、②の励起は 0.1- 1 K の間の温度領域に対応する。よって、今回観測した振る舞いは、温度領域から考えて電気的モノポールの励起に関係した振る舞いと考えられる。今後、理論計算と合わせてさらに吟味する必要があるが、熱励起の情報としてモノポールの協奏的な現象を明らかにできた点は今後の研究につながる重要である。本研究については、いくつかの解説記事でその成果を発信する機会も得た[8]。また、研究論文のひとつは日本中性子学会から、論文賞として評価を受けた。

(3) フラックス法による大型単結晶の合成

$Tb_{2+x}Ti_{2-x}O_{7+y}$ の浮遊帯域溶融法による結晶合成の問題点は、高温にして溶かしている時に x が増加すること、つまり Ti が蒸発することが原因であると考えられる。これを解決するためにフラックス

法による低温合成を使って単結晶の合成を試みた。その結果、フラックスにKFを用いることで $Tb_{2+x}Ti_{2-x}O_{7+y}$ の単結晶を育成することに成功した。結晶の形状は八面体型で、一辺の長さは10 mmにもなる大型の結晶を得た。格子定数から育成した結晶の組成比を見積もると、原料の多結晶と育成した結晶との x のずれが0.003程度と非常に小さいことが分かった。一方、 y で表せる酸素欠損も若干存在すると考えられ、モノポール凝集相である四極子秩序が期待される $x = +0.005$ のフラックス合成試料では0.1 Kまで相転移は観測できなかった。いくつかの試料を測定したがフラックス合成の単結晶はどれも同じふるまいを示し、相転移を示さなかった。今後は、適切なアニール条件を見出してこの現象を明らかにすることが重要であるが、パイロクロア酸化物では酸素の出入りが起きやすいことを示唆しており、中低温領域にて酸素イオンが移動するため、パイロクロア酸化物は酸素イオン吸蔵やイオン伝導の面で利用できる可能性があることが分かった。

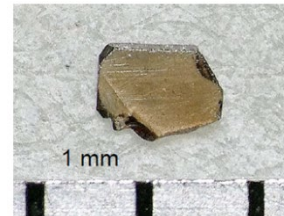


図6: フラックス合成した $Tb_{2+x}Ti_{2-x}O_{7+y}$ の単結晶。

本研究遂行のために0.1 Kまで測定可能な断熱消磁冷却装置を開発し、比熱、交流磁化率、電気抵抗などを迅速に測定できるようになったことは、他の物性研究でも大きな成果となった[9]。すなわち、0.1 Kまで迅速に測定できることで、研究過程の中で開発した様々な物質の極低温物性を調べることができた。そして、モノポールのダイナミクスだけでなく新奇相転移現象や超伝導の探索などの新しい研究へとつながった。

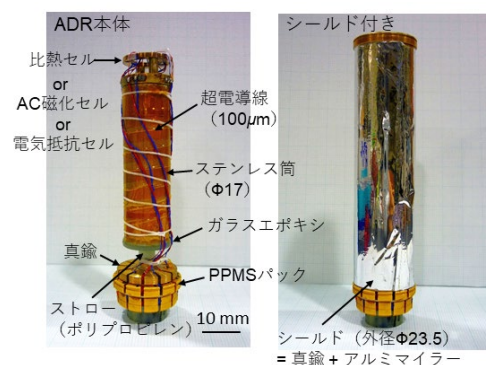


図7: 本研究で作成したPPMSに取り付け可能な断熱消磁装置。0.1 Kまで最速5時間に到達可能。

<引用文献>

- [1] L. Pauling, *J. Am. Chem. Soc.* **57**, 2680 (1935).
- [2] A. P. Ramirez *et al.*, *Nature* **399**, 333 (1999)., S. T. Bramwell and M. J. P. Gingras, *Science* **294** 1495 (2001).
- [3] C. Castelnovo *et al.*, *Nature* **451**, 42 (2008). C. Castelnovo, R. Moessner, and S. L. Sondhi, *Ann. Rev. Cond. Matter Phys.* **3**, 35 (2012)., L. Bovo *et al.*, *Nat. Commun.* **4**, 1535 (2013)., C. Paulsen *et al.*, *Nat. Phys.* **10**, 135 (2014)., E. R. Kassner *et al.*, *PNAS* **112**, 8549 (2015)., S. Kittaka *et al.*, *J. Phys. Soc. Jpn.* **87**, 073601 (2018)., and references therein.
- [4] H. Takatsu *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **116**, 217201 (2016)., *J. Phys. Soc. Jpn.* **82**, 104710 (2013)., *ibid* **82**, 073707 (2013).
- [5] H. Otsuka *et al.*, *Phys. Rev. B* **90**, 144428 (2014).
- [6] H. Takatsu *et al.*, arXiv:2103.12101 (submitted to *Phys. Rev. Lett.*)
- [7] Z. Hiroi *et al.*, *J. Phys. Soc. Jpn.* **72**, 411 (2003)., R. Higashinaka *et al.*, *J. Phys. Soc. Jpn.* **73**, 2845 (2004).
- [8] 高津 浩, 波紋 **27**, 140-143 (2017)., 物性研だより **56**, 1-3 (2017)., 米国標準技術研究所中性子研究センター紀要 2016, 28-29, (2017).
- [9] H. Takatsu *et al.*, *J. Phys. Soc. Jpn.* **89**, 074801 (2020)., *J. Cryst. Growth* **543**, 125685/1-5 (2020)., *Inorg. Chem.* **59**, 10042-10047 (2020)., *Inorg. Chem.* **58**, 6790-6795 (2019).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 12件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 H. Takatsu, N. Yamashina, D. Shiga, R. Yukawa, K. Horiba, H. Kumigashira, T. Terashima, H. Kageyama	4. 巻 in press
2. 論文標題 Molecular beam epitaxy growth of the highly conductive oxide SrMoO ₃	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Cryst. Growth	6. 最初と最後の頁 125685/1-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jcrysgro.2020.125685	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 M. Namba, H. Takatsu, W. Yoshimune, A. Daniel, S. Itoh, T. Terashima, and H. Kageyama	4. 巻 8
2. 論文標題 A Partial Anion Disorder in SrVO ₂ H Induced by Biaxial Tensile Strain	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Inorganics	6. 最初と最後の頁 26/1-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/inorganics8040026	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. Ishida, Y. Ikeuchi, C. Tassel, H. Takatsu, C. M. Brown, and H. Kageyama	4. 巻 7
2. 論文標題 High-Pressure Synthesis of Non-Stoichiometric Li _x WO ₃ (0.5 < x < 1.0) with LiNbO ₃ Structure	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Inorganics	6. 最初と最後の頁 63/1-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/inorganics7050063	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. Ikeuchi, H. Takatsu, C. Tassel, C. M. Brown, T. Murakami, Y. Matsumoto, Y. Okamoto, and H. Kageyama	4. 巻 58
2. 論文標題 Rattling Behavior in a Simple Perovskite NaWO ₃	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Inorg. Chem.	6. 最初と最後の頁 6790-6795
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.inorgchem.9b00248	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. Matsumoto, T. Yamamoto, K. Nakano, H. Takatsu, T. Murakami, K. Hongo, R. Maezono, H. Ogino, D. Song, C. M. Brown, T. Cedric, and H. Kageyama	4. 巻 57
2. 論文標題 High Pressure Synthesis of $A_2NiO_2Ag_2Se_2$ ($A = Sr, Ba$) with a High Spin Ni^{2+} in Square Planar Coordination	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Angew. Chem. Int. Ed.	6. 最初と最後の頁 756-759
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201810161	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. Kittaka, S. Nakamura, H. Kadowaki, H. Takatsu, and Toshiro Sakakibara	4. 巻 87
2. 論文標題 Field-rotational Magnetocaloric Effect: A New Experimental Technique for Accurate Measurement of the Anisotropic Magnetic Entropy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Phys. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 073601 1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.87.073601	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 H. Kadowaki, M. Wakita, B. Fak, J. Ollivier, S. Ohira-Kawamura, K. Nakajima, H. Takatsu, and M. Tamai	4. 巻 87
2. 論文標題 Continuum Excitation and Pseudospin Wave in Quantum Spin-Liquid and Quadrupole Ordered States of $Tb_{2+x}Ti_{2-x}O_{7+y}$	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Phys. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 064704 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.87.064704	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 高津 浩	4. 巻 27
2. 論文標題 パイロクロア磁性体 $Tb_2Ti_2O_7$ における隠れた秩序と量子スピン液体状態	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 波紋	6. 最初と最後の頁 140-143
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Yuya Ikeuchi, Hiroshi Takatsu, Cedric Tassel, Yoshihiro Goto, Taito Murakami, and Hiroshi Kageyama	4. 巻 56
2. 論文標題 High Pressure Synthesis of Fully Occupied Tetragonal and Cubic Tungsten Bronze Oxides	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Angew. Chem. Int. Ed.	6. 最初と最後の頁 5770-5773
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201701732	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 H. Takatsu, M. Ochi, N. Yamashina, M. Namba, K. Kuroki, T. Terashima, H. Kageyama	4. 巻 59
2. 論文標題 Epitaxial Stabilization of SrCu3O4 with Infinite Cu3/2O2 Layers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Inorg. Chem.	6. 最初と最後の頁 10042-10047
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.0c01213	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 H. Takatsu, N. Yamashina, M. Ochi, H.-H. Huang, S. Kobayashi, A. Kuwabara, T. Terashima, K. Kuroki, H. Kageyama	4. 巻 89
2. 論文標題 Hidden Ladder in SrMoO3/SrTiO3 Superlattices: Experiments and Theoretical Calculations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Phys. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 074801/1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.89.074801	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 H. Kadowaki, H. Takatsu, and M. Wakita	4. 巻 98
2. 論文標題 Dimensional change of the quadrupole order in pseudospin-1/2 pyrochlore magnets under magnetic field in the [111] direction	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 144410/1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.98.144410	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 H. Takatsu, T. Taniguchi, S. Kittaka, T. Sakakibara, and H. Kadowaki	4. 巻 828
2. 論文標題 Thermodynamic properties of quadrupolar states in the frustrated pyrochlore magnet Tb ₂ Ti ₂ O ₇	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Phys. Conf. Ser.	6. 最初と最後の頁 012007/1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/828/1/012007	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19件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 高津 浩
2. 発表標題 高圧・薄膜合成で開拓する定比組成タングステンブロンズおよび複合アニオン化合物
3. 学会等名 第16回 新機能無機物質探索研究センターシンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高津 浩, 山科 直也, 越智 正之, 黒木 和彦, 寺嶋 孝仁, 陰山 洋
2. 発表標題 Incipient narrow bandをもった '隠れた梯子格子' の酸化物人工超格子薄膜
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 Hiroshi Takatsu
2. 発表標題 Rattling Behavior in a Simple Perovskite NaWO ₃
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems, SCES 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高津 浩, 難波 杜人, 陰山 洋, 片山 真祥
2. 発表標題 XANESで明らかにする新規ユウロピウム酸水素化物の価数状態
3. 学会等名 立命館SRセンター成果報告会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 北川俊作, 金城克樹, 石田憲二, 難波杜人, 高津浩, 陰山洋
2. 発表標題 複合アニオン磁性体AVO ₂ H (A = Sr, Eu)のV-NMR
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 元木 大介, 河野 洋平, 橘高 俊一郎, 榊原 俊郎, 高津 浩, 門脇 広明
2. 発表標題 スピニアイスDy ₂ Ti ₂ O ₇ の気相液相転移の本質的転移幅について
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 成塚 政裕, 高津 浩, 笠原 成, 笠原 裕一, 寺嶋 孝仁, 陰山 洋, 松田 祐司
2. 発表標題 キタエフスピン液体候補物質alpha-RuCl ₃ の単層薄膜作製II
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 難波 杜人, 高津 浩, 三木田 梨歩, 姚 思伽, 片山 真祥, 伊奈 稔哲, 加藤 和男, 寺嶋 孝仁, 陰山 洋
2. 発表標題 巨大磁気異方性を有する酸水素化物EuVO ₂ Hの単結晶薄膜
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 H. Takatsu, H. Kageyama
2. 発表標題 High Pressure Synthesis of Oxides and Mixed-anion Oxides with Novel Magnetic and Transport Properties
3. 学会等名 14th International Ceramics Congress, CIMTEC 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroshi Takatsu
2. 発表標題 新しい層状銅酸化物の薄膜合成と低温物性
3. 学会等名 日本物理学会 第74年回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 成塚 政裕, 高津 浩, 笠原 成, 笠原 裕一, 寺嶋 孝仁, 陰山 洋, 松田 祐司
2. 発表標題 キタエフスピン液体候補物質 -RuCl ₃ の単層薄膜作製
3. 学会等名 日本物理学会 第74年回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山科 直也, 高津 浩, 黒木 和彦, 越智 正之, 陰山 洋
2. 発表標題 モリブデン系酸化物人工超格子による超伝導の理論的検討
3. 学会等名 応用物理学会 春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高津 浩, 池内 勇哉, Cedric Tassel, Craig Brown, 村上 泰斗, 松本 勇輝, 岡本 佳比古, 陰山 洋
2. 発表標題 単純なペロブスカイト構造をもつNaWO ₃ に見られるラットリング現象
3. 学会等名 日本物理学会 2018年秋大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高津 浩, Daniel Aurelien, 三木田 梨歩, 吉宗 航, 寺嶋 孝仁, 陰山 洋
2. 発表標題 LaドーピングしたSrVO ₂ H薄膜の合成と低温物性
3. 学会等名 日本物理学会 2018年秋大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 元木 大介, 河野 洋平, 橘高 俊一郎, 榊原 俊郎, 高津 浩, 門脇 広明
2. 発表標題 スピニアイスDy ₂ Ti ₂ O ₇ の気相液相転移再考
3. 学会等名 日本物理学会 2018年秋大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroshi Takatsu
2. 発表標題 Quadrupole order and quantum spin liquid states in $Tb_{2+x}Ti_{2-x}O_7$
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems, SCES 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hiroshi Takatsu
2. 発表標題 Two dimensional monopole dynamics in spin ice
3. 学会等名 JSPS Core-to-Core Workshop (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 池内勇哉, 高津浩, Cedric Tassel, 村上泰斗, 陰山洋
2. 発表標題 $K_{0.6-x}W_3$ ($0.0 < x < 0.22$) の異常金属相における電子状態
3. 学会等名 日本物理学会 2017年秋大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 難波 杜人, 高津 浩, 北川 俊作, 三木田 梨歩, 姚 思伽, 石田 憲二, 寺嶋 孝仁, 陰山 洋, 木本 浩司, 片山 真祥, 伊奈 稔哲, 加藤 和男, 丸山 敬裕, 近松 彰, 長谷川 哲也
2. 発表標題 新規酸水素化物EuVO ₂ Hの合成と基板応力による物性制御
3. 学会等名 日本セラミックス協会 第33回秋季シンポジウム
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 陰山 洋(編集), 荻野 拓(編集), 長谷川 哲也(編集); 高津 浩 3.3節・分光法、3.4節・組成分析、付録A, B 担当	4. 発行年 2021年
2. 出版社 丸善出版	5. 総ページ数 264
3. 書名 複合アニオン化合物の科学	

〔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
---------	---------