

令和 5 年 5 月 25 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K03825

研究課題名（和文）磁気圧電効果を用いた電気トロイダル四極子秩序の検証

研究課題名（英文）Verification of electric toroidal quadrupole order by magnetopiezoelectric effect

研究代表者

日高 宏之（Hidaka, Hiroyuki）

北海道大学・理学研究院・助教

研究者番号：90466459

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：結晶構造に空間反転対称性を持たない固体中においては、電子は「奇パリティ多極子」と呼ばれる特異な自由度を持ちうる。本研究では、この奇パリティ多極子の一種である「電気トロイダル四極子」の秩序に起因する「電流誘起格子歪み」を観測することを目的とし、空間反転対称性を持たない金属磁性体に対する実験的検証を行った。研究期間中に、独自に電流誘起格子歪み測定システムの構築を行い、対象物質の低温秩序状態において、電気トロイダル四極子秩序に関連すると考えられる電流・磁場誘起格子歪みが発現している可能性があることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で対象としたのは結晶構造に空間反転対称性を持たない金属磁性体である。そこで電子が持ちうる「奇パリティ多極子自由度」の研究は、固体物性分野において近年特に注目されている主題の一つである。また、それに起因する交差相関応答などの機能物性は応用分野への発展も期待されており、奇パリティ多極子の実験的検証は急務の課題である。本研究で得られた新たな実験手法の開発や交差相関応答に関する知見は、今後の固体物性研究のさらなる進展に繋がるものである。

研究成果の概要（英文）：In solids without space inversion symmetry, electrons can have degrees of freedom of odd-parity multipoles. In this study, thermal expansion measurements were carried out in some metallic magnets without the inversion symmetry to investigate a current-induced lattice distortion due to an ordering of electric toroidal quadrupole (ETQ), a type of the odd-parity multipole. The results of these measurements suggest a possibility of occurrence of the current- and magnetic field-induced lattice distortion.

研究分野：強相関電子系

キーワード：奇パリティ多極子 電気トロイダル四極子 交差相関応答 電流誘起格子歪み

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

## 1. 研究開始当初の背景

固体中における多彩な秩序状態は一般に、電荷・磁荷分布の異方性を特徴づける「多極子」で表現することが出来る。特に、結晶構造に空間反転対称性を持たない固体中では、空間反転操作に対して奇の対称性(パリティ)を持つ多極子(=奇パリティ多極子)が秩序し、通常の金属では発生しえない物理応答、例えば電流印加によって誘起される磁化(電流磁気効果)や結晶格子の歪み(磁気圧電効果)の発現が期待される。このような物性応答における入出力の時間・空間反転の偶奇性が異なる非対角応答は「交差相関応答」と呼ばれる。しかし、個々の物質、特に金属磁性体における奇パリティ多極子秩序の実験的検証は、交差相関応答の観測手法の開発を含め、まだまだ発展途上の段階にある。

## 2. 研究の目的

金属磁性体における奇パリティ多極子秩序の可能性を検証するために我々が着目した金属化合物が、注目する原子サイトに局所的に空間反転対称性を持たない5d電子系化合物 $\text{Cd}_2\text{Re}_2\text{O}_7$ および4f電子系化合物 $\text{CeCoSi}$ である。これらの物質における低温秩序状態は、奇パリティ多極子の一種である「電気トロイダル四極子(Electric Toroidal Quadrupole: ETQ)」の秩序状態とみなせることが理論的に指摘されている[1,2]。さらに、この奇パリティ秩序状態下では電流誘起の結晶格子の歪み(=磁気圧電効果)が発現する事も同時に予言されている。そこで、本研究ではこれらの物質における低温秩序下における磁気圧電効果を実験的に検証することを目的とした。

また、その他の局所的に空間反転対称性を持たない金属化合物においても、奇パリティ多極子秩序に起因した特異な電子状態の可能性を調査することも合わせて目的とした。

## 3. 研究の方法

$\text{Cd}_2\text{Re}_2\text{O}_7$ および $\text{CeCoSi}$ におけるETQ秩序に起因する磁気圧電効果の観測を行うために、本給課題ではまず極低温・強磁場・電流環境下での高精度熱膨張測定を可能とする「多重環境下熱膨張測定システム」の構築を行った。熱膨張測定には市販の歪みゲージを用いた2ゲージアクティブダミー法を採用し、低温や強磁場の発生には主にカンタムデザイン社のPhysical Property Measurement System(PPMS)を用いた。測定に用いた単結晶試料については、 $\text{Cd}_2\text{Re}_2\text{O}_7$ は東大物性研・平井氏(現名古屋大学)、 $\text{CeCoSi}$ は富山県立大・谷田氏よりご提供いただいた。

## 4. 研究成果

### (1) $\text{Cd}_2\text{Re}_2\text{O}_7$ における磁気圧電効果の検証

パイロクロア構造を有する5d電子系金属化合物 $\text{Cd}_2\text{Re}_2\text{O}_7$ (立方晶)は $T_{s1}=202\text{ K}$ 、 $T_{s2}=120\text{ K}$ でそれぞれ異なる内部構造を持つ正方晶への逐次構造相転移を起こす[3]。これらの転移に伴うRe原子の変位は、Reサイト間ホッピングを多極子として取り扱くとそれぞれ $G_v$ 型と $G_u$ 型の強制的ETQ秩序とみなすことが出来る[1]。これらの低温秩序構造下では、以下の式で表すことが出来る電流・磁場誘起格子歪みの発現が期待される[1]。

$$\varepsilon_{ij} = d_{ijkl} J_k B_l$$

ここで $\varepsilon$ は格子歪み、 $d$ が応答テンソル、 $J$ が印加電流、 $B$ が印加磁場である。

本研究では、上述の独自に開発した多重環境下熱膨張測定システムを用い、電流・磁場を印加した状態での格子歪みの観測を試みた。その結果、ETQ秩序に関与すると考えられる電流・磁場誘起格子歪みが観測された。現在、その再現性を確認するための追試実験を行っているところである。

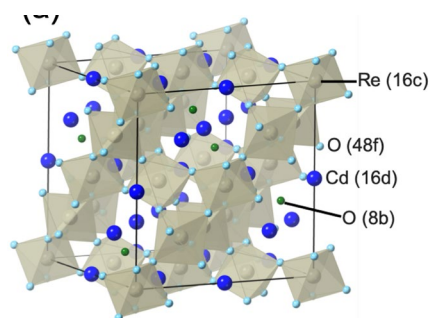


図1:  $\text{Cd}_2\text{Re}_2\text{O}_7$ の結晶構造

### (2) $\text{CeCoSi}$ における磁気圧電効果の検証と基本物性測定

$\text{CeCoSi}$ (正方晶)は、Ce-4f電子が $T_0 \sim 12\text{ K}$ で秩序変数が未決定の“隠れた秩序”を、 $T_N=9\text{ K}$ で反強磁性秩序を起こす[4]。もしこの隠れた秩序がCeサイトにおける反強電気四極子秩序であるならば、Ceサイトの局所空間反転対称性の破れのために系全体で見れば強制的なETQ秩序が起

きているとみなすことが出来る[2]。その場合にも、先述したものと類似の磁気圧電効果の発現が期待される。そこで本研究課題では、CeCoSi における磁気圧電効果の検証を行ったが、これまでのところ隠れた秩序、反強磁性秩序のどちらの状態においても電流誘起格子歪みの発現を示唆する結果は得られていない。研究期間中に他の研究グループから報告された隠れた秩序相における結晶構造は当初想定した正方晶ではなく、より低対称の三斜晶であることが明らかになっている[6]。今後は、この明らかになった結晶構造を基に本系の交差相関応答について再考する必要がある。

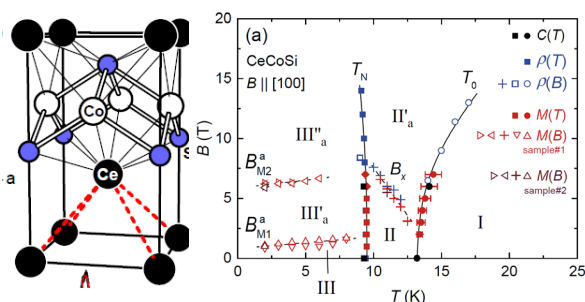


図 2: CeCoSi の(左)結晶構造 [4]と(右)磁場[100]に対する磁場-温度相図[5]

本研究では CeCoSi の交差相関応答の検証と合わせて、本系の隠れた秩序解明のための単結晶を用いた磁場中基本バルク物性測定（電気抵抗、磁化、比熱、熱膨張）も行った。これにより、本系の特異な低温秩序状態の電気的・磁気的特徴が明らかになってきた。また、これらの測定から各結晶主軸方向に対する詳細な磁場-温度相図を作成し、[100]方向に磁場を印加した場合にのみ隠れた秩序相に磁場誘起相が存在することを明らかにした[5]。我々の作成した磁気相図は本系の隠れた秩序解明の、ひいては奇パリティ多極子秩序とそれに起因した交差相関応答の可能性を議論するための、今後の研究における土台となるものである。

### (3) RBe<sub>13</sub> 系化合物におけるヘリカル磁気秩序

近年、ヘリカル秩序はスキルミオンやカイラルソリトンなど特異な物性現象が起きる舞台として注目が集まっている。異方的超伝導体 UBe<sub>13</sub> に代表される RBe<sub>13</sub> 系化合物 (R: 希土類) は立方晶の結晶構造を持ち、R イオンサイトに局所的に空間反転対称性を持たない金属化合物である。過去の研究より重希土類系 RBe<sub>13</sub> では共通して、低温でプロパーなヘリカル秩序 (秩序波数方向とモーメントの向きが垂直) を示すことが知られている[7]。

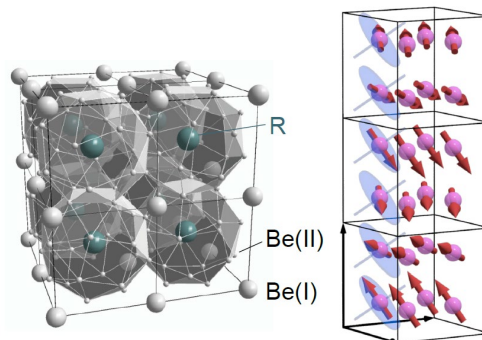


図 3: (左)RBe<sub>13</sub> の結晶構造と(右)SmBe<sub>13</sub> で予想される傾角ヘリカル秩序[10]

本研究では、局所的に空間反転対称性を持たないヘリカル磁性体としての興味から、これまであまり研究が進んでいなかった軽希土類系 RBe<sub>13</sub> の磁性について調査を行った。まず GdBe<sub>13</sub> の単結晶試料を用いた研究から、本系のプロパーヘリカル秩序が RKKY 相互作用と磁気双極子-双極子間相互作用により説明できることを明らかにした[8]。さらに、SmBe<sub>13</sub> の低温磁気秩序構造は重希土類系のようなプロパーヘリカル秩序ではなく、ヘリカル面が傾いた秩序構造であること、またそれが結晶場磁気異方性に起因している可能性を指摘した[9,10]。

### <引用文献>

- [1] S. Hayami *et al.*, Phys. Rev. Lett. **122**, 147602 (2019).
- [2] M. Yatsushiro *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **89**, 013703 (2020).
- [3] 例えば”Z. Hiroi *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **87**, 024702 (2018).”などを参照のこと
- [4] H. Tanida *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **87**, 023705 (2018).
- [5] H. Hidaka *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **91**, 094701 (2022).
- [6] T. Matsumura *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **91**, 064704 (2022).
- [7] 例えば”E. Bucher *et al.*, Phys. Rev. B **11**, 440 (1975).”などを参照のこと
- [8] H. Hidaka *et al.*, Phys. Rev. B **102**, 174408 (2020).
- [9] H. Hidaka *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **86**, 074703 (2017).
- [10] H. Hidaka *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **90**, 093701 (2021).

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3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 Hidaka Hiroyuki, Yanagiya Shun, Hayasaka Eikai, Kaneko Yuma, Yanagisawa Tatsuya, Tanida Hiroshi, Amitsuka Hiroshi	4. 巻 91
2. 論文標題 Magnetic Field-Temperature Phase Diagram of CeCoSi Constructed on the Basis of Specific Heat, Magnetoresistivity, and Magnetization Measurements: Single Crystal Study	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 094701-1-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7566/JPSJ.91.094701	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 Hidaka Hiroyuki, Ihara Yoshihiko, Yanagisawa Tatsuya, Amitsuka Hiroshi	4. 巻 90
2. 論文標題 Possible Magnetic Structure with a Tilted Helical Plane in SmBe13 Probed by 9Be-NMR Study	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 093701 ~ 093701
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7566/JPSJ.90.093701	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 Hidaka Hiroyuki, Mizuuchi Kota, Hayasaka Eikai, Yanagisawa Tatsuya, Ohara Jun, Amitsuka Hiroshi	4. 巻 102
2. 論文標題 Helical magnetic ordering studied in single-crystalline GdBe13	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 174408-1-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevB.102.174408	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51件（うち招待講演 1件/うち国際学会 14件）

1. 発表者名 T. Yanagisawa, H. Matsumori, H. Saito, H. Hidaka, H. Amitsuka, S. Nakamura, S. Awaji, D. I. Gorbunov, S. Zherlitsyn, J. Wosnitza, K. Uhlirova, M. Valiska, and V. Sechovsky
2. 発表標題 Electric Quadrupolar Response in the Magnetic Phases of UNi4B
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2022 (SCES2022) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shun Yanagiya, Hiroyuki Hidaka, Eikai Hayasaka, Tatsuya Yanagisawa, Hiroshi Tanida, and Hiroshi Amitsuka
2. 発表標題 Detailed magnetic phase diagram for hidden order in CeCoSi without local space inversion symmetry
3. 学会等名 29th International Conference on Low Temperature Physics (LT29) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Fusako Kon, Chihiro Tabata, Kodai Miura, Ruo Hibino, Hiroyuki Hidaka, Tatsuya Yanagisawa, Hironori Nakao, and Hiroshi Amitsuka
2. 発表標題 Microscopic study of AFM and CDW order in UPt <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> using resonant X-ray diffraction
3. 学会等名 International Workshop on Microscopic Properties of Quantum Materials (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroshi Amitsuka, Fusako Kon, Kodai Miura, Hiroyuki Hidaka, and Tatsuya Yanagisawa
2. 発表標題 Experimental tests for electromagnetic cross-correlation responses in the metallic antiferromagnet UPt <sub>2</sub> Si <sub>2</sub>
3. 学会等名 International Workshop on Microscopic Properties of Quantum Materials (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroyuki Hidaka, Eikai Hayasaka, Shun Yanagiya, Tatsuya Yanagisawa, Hiroshi Tanida, and Hiroshi Amitsuka
2. 発表標題 Investigation of Anisotropy of Lattice Distortion in CeCoSi
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2022 (SCES2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shun Yanagiya, Hiroyuki Hidaka, Eikai Hayasaka, Tatsuya Yanagisawa, Hiroshi Tanida, and Hiroshi Amitsuka
2. 発表標題 Magnetic phase diagram in magnetic field for single crystalline CeCoSi
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2022 (SCES2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Fusako Kon, Kodai Miura, Ruo Hibino, Hiroyuki Hidaka, Tatsuya Yanagisawa, Chihiro Tabata, Hironori Nakao, and Hiroshi Amitsuka
2. 発表標題 Correlation between Antiferromagnetic and Charge-Density-Wave Order in UPt <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> Studied by Resonant X-Ray Scattering
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2022 (SCES2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroshi Amitsuka, Fusako Kon, Kodai Miura, Hiroyuki Hidaka, and Tatsuya Yanagisawa
2. 発表標題 Observation of current-induced magnetization in the antiferromagnetic state of UPt <sub>2</sub> Si <sub>2</sub>
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2022 (SCES2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroyuki Hidaka, Yoshihiko Ihara, Chihiro Tabata, Yusei Shimizu, Tatsuya Yanagisawa, and Hiroshi Amitsuka
2. 発表標題 Magnetism and 4f Electronic State in Rare-Earth-Based Beryllides RBe <sub>13</sub>
3. 学会等名 29th International Conference on Low Temperature Physics (LT29) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名	Fusako Kon, Kodai Miura, Ruo Hibino, Hiroyuki Hidaka, Tatsuya Yanagisawa, Chihiro Tabata, Hironori Nakao, and Hiroshi Amitsuka
2. 発表標題	Resonant X-Ray Scattering Study of the 5f-electron System UPt <sub>2</sub> Si <sub>2</sub>
3. 学会等名	29th International Conference on Low Temperature Physics (LT29) (国際学会)
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	今布咲子, 三浦紘大, 日比野瑠央, 日高宏之, 柳澤達也, 田端千紘, 中尾裕則, 楠瀬博明, 網塚浩
2. 発表標題	共鳴X線散乱を用いたCaBe <sub>2</sub> Ge <sub>2</sub> 型構造を持つウラン系化合物における電荷密度波および磁気秩序状態の研究
3. 学会等名	構造物性インフォーマルミーティング
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	柳谷駿
2. 発表標題	CeCoSiの磁場110方向の磁気相図(磁化・電気抵抗)
3. 学会等名	第4回CCSオンラインミニ研究会～モノクリ歪と最近の進展～
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	日高宏之
2. 発表標題	熱膨張から観るCeCoSiの隠れた秩序相における格子歪みの異方性
3. 学会等名	第4回CCSオンラインミニ研究会～モノクリ歪と最近の進展～
4. 発表年	2022年

1. 発表者名 今布咲子
2. 発表標題 放射光X線回折実験によるUPt <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> のCDW秩序および磁気秩序構造の解析
3. 学会等名 多極子に起因する異常量子物性に関するミニワークショップ
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 柳谷駿
2. 発表標題 単結晶CeCoSiにおける磁場110方向の詳細な磁気相図
3. 学会等名 多極子に起因する異常量子物性に関するミニワークショップ
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 日高宏之
2. 発表標題 熱膨張から観るCeCoSiの隠れた秩序相におけるc面内異方性
3. 学会等名 多極子に起因する異常量子物性に関するミニワークショップ
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 今布咲子, 三浦紘大, 日比野瑠央, 日高宏之, 柳澤達也, 田端千紘, 中尾裕則, 網塚浩
2. 発表標題 共鳴X線散乱によるUPt <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> の電荷密度波および反強磁性秩序状態の観測II
3. 学会等名 日本物理学会2022年秋季大会
4. 発表年 2022年



1. 発表者名 柳谷駿, 日高宏之, 柳澤達也, 網塚浩, 谷田博司
2. 発表標題 強磁場下基礎物性測定によるCeCoSiの詳細な磁場-温度相図の作成II
3. 学会等名 日本物理学会2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 日高宏之, 早坂英海, 柳谷駿, 柳澤達也, 網塚浩, 谷田博司
2. 発表標題 CeCoSiの磁場下線熱膨張測定による格子歪み異方性の研究
3. 学会等名 日本物理学会2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小野寺進太郎, 日高宏之, 早坂英海, 松本雄大, 柳谷駿, 柳澤達也, 網塚浩, 谷田博司
2. 発表標題 CeCoSiの磁場下線熱膨張測定による格子歪み異方性の研究
3. 学会等名 日本物理学会2023年春季大会(オンライン開催)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 今布咲子, 三浦紘大, 日比野瑠央, 日高宏之, 柳澤達也, 田端千紘A, 中尾裕則B, 網塚浩
2. 発表標題 共鳴X線散乱によるUPt <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> の電荷密度波および反強磁性秩序状態の観測
3. 学会等名 日本物理学会2023年春季大会(オンライン開催)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 今布咲子, 三浦紘大, 日比野瑠央, 日高宏之, 柳澤達也, 田端千紘, 中尾裕則, 網塚浩
2. 発表標題 UPt2Si2における電荷密度波と反強磁性秩序の相関
3. 学会等名 第1回 アシンメトリ量子研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 浜原健太, 井角元, 田村浩太郎, 柴垣善則, 川端拓, 河村直己, 佐藤仁, 上田茂典, 水牧仁一朗, 日高宏之, 網塚浩, 魚住孝幸, 三村功次郎
2. 発表標題 X線分光法によるEuBe13中のEu3+ 4f電子の熱励起に関する研究
3. 学会等名 日本物理学会2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 今布咲子, 三浦紘大, 日比野瑠央, 日高宏之, 柳澤達也, 田端千紘, 中尾裕則, 網塚浩
2. 発表標題 CaBe2Ge2型結晶構造を持つウラン系化合物の電子物性
3. 学会等名 東北大学金属材料研究所 大洗・アルファ合同研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroyuki Hidaka, S. Yanagiya, E. Hayasaka, Y. Kaneko, T. Yanagisawa, Hiroshi Amitsuka, and H. Tanida
2. 発表標題 Magnetic field-temperature phase diagram of CeCoSi constructed by magnetoresistance and magnetization measurements
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2020/21 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 E. Hayasaka, H. Hidaka, Y. Kaneko, S. Yanagiya, T. Yanagisawa, H. Tanida, and H. Amitsuka
2. 発表標題 Observation of lattice distortion in CeCoSi by linear thermal expansion measurements under magnetic field
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2020/21 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Kaneko, H. Hidaka, R. Murata, E. Hayasaka, T. Yanagisawa, H. Amitsuka, S. Tajima, D. Hirai, and Z. Hiroi
2. 発表標題 Observation of lattice distortion in Cd <sub>2</sub> Re <sub>2</sub> O <sub>7</sub> by thermal expansion measurements under magnetic field
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2020/21 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 F. Kon, A. Koriki, Y. Kaneko, H. Hidaka, T. Yanagisawa, C. Tabata, H. Nakao, Y. Shimizu, D. Aoki, and H. Amitsuka
2. 発表標題 Resonant X-Ray Scattering Study of Magnetic Structure in UIr <sub>2</sub> Ge <sub>2</sub>
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2020/21 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 日高宏之
2. 発表標題 CeCoSiの熱膨張・磁歪・磁気抵抗・比熱
3. 学会等名 オンラインミニ研究会~CeCoSiの構造と対称性~
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高力暁成
2. 発表標題 CeCoSiの電流誘起磁化測定
3. 学会等名 オンラインミニ研究会-CeCoSiの構造と対称性-
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金子佑真, 日高宏之, 村田怜也, 早坂英海, 柳澤達也, 網塚浩, 田島聖士, 平井大悟郎, 廣井善二
2. 発表標題 Cd <sub>2</sub> Re <sub>2</sub> O <sub>7</sub> の磁場・電流下熱膨張測定による電気トロイダル四極子秩序の検証
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 柳谷駿, 日高宏之, 早坂英海, 金子佑真, 柳澤達也, 網塚浩, 谷田博司
2. 発表標題 強磁場下基礎物性測定によるCeCoSiの詳細な磁場-温度相図の作成
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 早坂英海, 日高宏之, 金子佑真, 柳谷駿, 柳澤達也, 網塚浩, 谷田博司
2. 発表標題 CeCoSiの電流・磁場下線熱膨張測定による低温秩序状態の研究
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 今布咲子, 村田怜也, 日高宏之, 柳澤達也, 田端千紘, 清水悠晴, 青木大, 網塚浩
2. 発表標題 重い電子系U1r2Si2の磁場中低温物性
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三浦紘大, 今布咲子, 高力暁成, 田端千紘A, 日高宏之, 柳澤達也, 中尾裕則, 網塚浩
2. 発表標題 奇バリティ拡張多極子系UPt2Si2における電流誘起磁化の観測
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 日高宏之, 井原慶彦, 山崎聖悟, 三浦植幸, 柳澤達也, 網塚浩
2. 発表標題 SmBe13における傾角ヘリカル秩序と磁気異方性
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 網塚浩
2. 発表標題 奇バリティ拡張多極子秩序が期待されるウラン系化合物の基礎物性と交差相関応答
3. 学会等名 大洗・アルファ合同研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 今布咲子
2. 発表標題 重い電子系U1r2Si2の磁場中低温物性
3. 学会等名 大洗・アルファ合同研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 日高宏之
2. 発表標題 Verification of magnetopiezoelectric effect due to a possible odd-parity multipole ordering in Cd <sub>2</sub> Re <sub>2</sub> O <sub>7</sub> and CeCoSi
3. 学会等名 J-Physics+ イン越後湯沢
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 今布咲子
2. 発表標題 Low-temperature magnetic properties of uranium compounds with CaBe <sub>2</sub> Ge <sub>2</sub> -type crystal structure
3. 学会等名 J-Physics+ イン越後湯沢
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 網塚浩
2. 発表標題 Magnetic toroidal order of UNi <sub>4</sub> B studied by resonant X-ray scattering
3. 学会等名 J-Physics+ イン越後湯沢
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金子佑真
2. 発表標題 Cd <sub>2</sub> Re <sub>2</sub> O <sub>7</sub> の電流誘起歪み効果の検証
3. 学会等名 電流駆動現象が拓く新しい物質科学
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 早坂英海
2. 発表標題 CeCoSiの電流誘起歪み効果の検証
3. 学会等名 電流駆動現象が拓く新しい物質科学
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 今布咲子
2. 発表標題 CaBe <sub>2</sub> Ge <sub>2</sub> 型構造を持つU化合物の低温磁性
3. 学会等名 電流駆動現象が拓く新しい物質科学
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 今布咲子
2. 発表標題 UPt <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> における共鳴X線散乱実験と電流誘起磁化測定
3. 学会等名 拡張多極子が拓く新奇量子物性に関するミニワークショップ
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 今布咲子, 三浦紘大, 日比野瑠央, 日高宏之, 柳澤達也, 田端千紘, 中尾裕則, 網塚浩
2. 発表標題 共鳴X線散乱によるUPt <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> の電荷密度波および反強磁性秩序状態の観測
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 網塚浩
2. 発表標題 CaBe <sub>2</sub> Ge <sub>2</sub> 型結晶構造を持つウラン化合物の磁性と電流磁気効果
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 今布咲子
2. 発表標題 電荷密度波秩序を示すUPt <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> の低温磁気秩序状態の観測
3. 学会等名 磁気および価数状態の不安定性に起因する異常量子物性に関するミニワークショップ
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 早坂英海, 日高宏之, 金子佑真, 柳谷駿, 柳澤達也, 網塚浩, 谷田博司
2. 発表標題 CeCoSiの磁場下熱膨張測定による格子歪みの観測
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会(2021年)
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 日高宏之
2. 発表標題 単結晶GdBe13のヘリカル秩序
3. 学会等名 J-Physics+ イン淡路
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 金子佑真、日高宏之、村田怜也、柳澤達也、網塚浩、田島聖士、平井大悟郎、廣井善二
2. 発表標題 Cd <sub>2</sub> Re <sub>2</sub> O <sub>7</sub> の磁場下熱膨張測定による格子歪みの観測
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

J-Material Lab. Home page <a href="http://phys.sci.hokudai.ac.jp/LABS/kyokutei/vlt/">http://phys.sci.hokudai.ac.jp/LABS/kyokutei/vlt/</a>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

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
研究協力者	平井 大悟郎  (Hirai Daigoro)	名古屋大学・工学研究科・准教授  (13901)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	谷田 博司  (Tanida Hiroshi)	富山県立大学・工学部・准教授  (23201)	
研究協力者	網塚 浩  (Amitsuka Hiroshi)	北海道大学・理学研究院・教授  (10101)	
研究協力者	柳澤 達也  (Yanagisawa Tatsuya)	北海道大学・理学研究院・教授  (10101)	

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