

令和 2 年 6 月 8 日現在

機関番号：82110

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K05031

研究課題名(和文)量子ビームの相補利用でみる多様な秩序変数による量子臨界現象

研究課題名(英文) Probing quantum critical phenomena driven by diverse order parameter via complementary use of quantum beams

研究代表者

金子 耕士 (Kaneko, Koji)

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門 原子力科学研究所 物質科学研究センター・研究主幹

研究者番号：30370381

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本課題では、磁性・格子やその結合などさまざまな秩序変数に着目し、それらが臨界点近傍で引き起こす新奇現象について、量子ビームを相補的に利用し、調べた。磁気揺らぎの代表物質 $\text{YbRh}_2\text{Si}_2$ では、これまで未知の領域であった臨界点ごく近傍での新たな磁気秩序を、格子揺らぎの $(\text{Sr}, \text{Ca})_3\text{T}_4\text{Sn}_{13}$  ( $T = \text{Rh}, \text{Ir}$ )については、格子揺らぎ起源の直接的な証拠を、さらにEu化合物では、 $\text{EuPtSi}$ の相転移近傍の領域で、f電子系で初めてとなる磁気スキルミオン格子の実現を微視的に明らかにした。X線、中性子各々の特徴を活かし、臨界的近傍の新たな静的・動的構造を明らかに出来た点で、有意義な成果が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本課題では、中性子と放射光X線、各々の特徴を活かし、磁性や格子により引き起こされる臨界点近傍の特徴的な振る舞いを微視的に明らかにした。これらの情報は、量子ビームプローブでのみ得られるもので、他の実験結果や理論的な研究の進展に有益な成果が得られた。また実験は、J-PARCやSPRING-8などの大型施設を相補的に駆使して実施したもので、先端施設の有用性を示す意味でも有意義な成果であったと言える。

研究成果の概要(英文)：Various order parameters, such as magnetism and lattice, and their coupling can give rise to novel quantum phenomena in the vicinity of a critical point. In this study, neutron and synchrotron x-ray were complementary used to get microscopic insights into these novel phenomena. In  $\text{YbRh}_2\text{Si}_2$ , prototypical compound showing a magnetic driven quantum critical point (QCP), new type of magnetic order parameter was revealed in the slightly Co doped sample near QCP. In  $(\text{Ca}, \text{Sr})_3\text{T}_4\text{Sn}_{13}$ , non-magnetic lattice driven QCP was evidenced by phonon spectroscopies. And  $\text{EuPtSi}$ , a formation of magnetic skyrmion lattice in f-electron compound is identified near the critical region under magnetic fields, and its unique characteristics such as short periodicity and magnetic anisotropy were revealed. In overall, new type of static and dynamical responses were characterized near the critical point.

研究分野：中性子散乱, 放射光散乱, 固体物理

キーワード：中性子散乱 放射光 強相関物性 量子臨界現象 磁気スキルミオン

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

2次相転移が温度ゼロに抑制される領域である”量子臨界点”の近傍では、特異な揺らぎの発達と共に超伝導や非フェルミ液体的振舞いなど、通常とは異なる特異な物性が発現する。そのため固体物理における中心テーマの一つとして活発に研究されてきている。対応する2次相転移の秩序変数は磁気秩序が一般的だったが、最近では価数や、軌道に対応する四極子、非磁性の構造相転移起源のメカニズムなどの多様性が見出され、拡がりが出てきている。各々の秩序変数に対応する臨界点近傍で超伝導や重い電子状態などの物性が見出され、熱力学的な物理量などで共通点などの議論が進んでいる。一方、当該領域での秩序構造やダイナミクスなどの微視的な観点については、報告は限られていた。その要因としては、物質例が限られていることに加え、臨界点近傍に近づくにつれ転移温度が下がり、秩序変数が抑制されるなどの困難も伴うため、実験的な困難もあった。

### 2. 研究の目的

本課題では、多様な自由度により誘起される量子臨界現象に着目し、臨界点近傍における静的な秩序構造や臨界指数、ダイナミクスを系統的に明らかにすること、またその比較を通じて、量子臨界現象の包括的な理解を目指した。具体的には、磁気揺らぎ起源の代表物質である  $\text{YbRh}_2\text{Si}_2$ 、非磁性起源の構造揺らぎによる  $(\text{Sr,Ca})_3\text{Rh}_4\text{Sn}_{13}$  及び  $(\text{Sr,Ca})_3\text{Ir}_4\text{Sn}_{13}$  と  $\text{Lu}(\text{Pd,Pt})_2\text{In}$ 、価数を含めた新たな量子臨界現象が期待される Eu 化合物を主な対象とし、任意の波数-エネルギー空間を走査出来る中性子を主たるプローブとして、X線を相補的に利用し、秩序構造及びダイナミクスの系統的な解明を行った。

### 3. 研究の方法

上記目的達成に向けて、波数-エネルギー空間を自在に走査可能な微視的プローブである中性子及び放射光 X線を用了。静的な構造については、単結晶を用いた中性子回折及び放射光回折実験により調べた。ダイナミクスの内、非磁性起源の量子臨界点については、フォノンを解明するため単結晶試料中性子及び放射光非弾性散乱実験を実施した。Euの電子構造については、J多重項励起を調べるため、中性子非弾性散乱実験を用いた。量子臨界点近傍については、極低温・強磁場などの極端条件が必要となることに加え、磁気モーメントも小さくなるなど、多くの実験的な困難がある。この点を克服するため、中性子については世界最高性能を誇るパルス中性子源 J-PARC MLFを中心に海外施設も含めた実験を、また放射光についても装置グループとの協力のもと、SPring-8やPF等の大型施設を活用し、国際共同研究を積極的に進め成果創出を目指した。

### 4. 研究成果

#### (1) $\text{YbRh}_2\text{Si}_2$ における磁気秩序の解明

量子臨界点ごく近傍に位置する  $\text{YbRh}_2\text{Si}_2$  は、 $T_N=70$  mKの反強磁性基底状態を持つ。その転移温度の低さを反映し、秩序モーメントも  $10^{-3} \mu_B$ 程度と極めて小さいことから、その秩序構造は未解明のまま残されてきた。磁気構造の解明を目指し、磁気秩序が安定化する Co 置換系を対象としてこれまで研究を進め、まず  $\text{YbCo}_2\text{Si}_2$ 、 $\text{Yb}(\text{Co}_{0.8}\text{Rh}_{0.2})_2\text{Si}_2$ の磁気構造を決定した。最近、新たな反強磁性秩序相が  $\text{Yb}(\text{Co}_x\text{Rh}_{1-x})_2\text{Si}_2$ の Co 低濃度領域で報告された(図1)。この内、高温側の AFM1相は  $\text{YbRh}_2\text{Si}_2$ の基底に繋がるように見えることから、その構造に着目されていた。この磁気構造を明らかにするため、 $x=0.18$ の単結晶試料について、J-PARC MLFの BL18に設置された中性子回折計 SENJUにおいて、実験を行った。

実験では、 $x=0.18$ の基底状態である AFM2相において、新たな磁気反射の観測に成功した、これは  $\text{YbCo}_2\text{Si}_2$ で現れる  $q=(3/4, 1/4, 0)$ や  $q=(1/4, \delta, 0)$ とも異なる非整合磁気波数を持っていることから、Co 高濃度と低濃度で磁気相関が大きく変化していることを明らかにした。一方で、 $\text{YbRh}_2\text{Si}_2$ の基底状態に繋がる AFM1相については、磁気反射の発見には至らなかった。AFM2相の磁気ピークは AFM1相で完全に消失し、近くに信号が見られないことから、 $T_L$ の転移で大きく構造が変わっていると考えられる。 $\text{YbRh}_2\text{Si}_2$ のごく近傍まで磁気秩序波数が明らかに出来た点で、基底状態解明に向けた大きな進展が得られた。

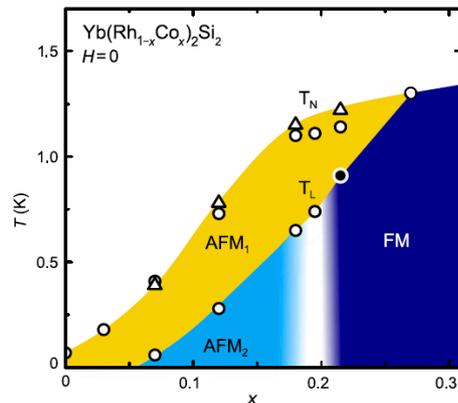


図1  $\text{YbRh}_2\text{Si}_2$ の Co 置換による磁気相図。(S. Hamann *et al.*, PRL 122, 077202 (2019).)

#### (2) 非磁性量子臨界点を示す $(\text{Sr,Ca})_3\text{Rh}_4\text{Sn}_{13}$ 及び $(\text{Ca,Sr})_3\text{Ir}_4\text{Sn}_{13}$

非磁性の  $(\text{Sr,Ca})_3\text{Rh}_4\text{Sn}_{13}$ 、 $(\text{Sr,Ca})_3\text{Ir}_4\text{Sn}_{13}$ において、外場による構造相転移と思われる  $T^*$ の抑制に伴い、臨界点に向けて非フェルミ液体的振る舞いに加え、超伝導転移温度の増加が観測され、格子揺らぎを起源とした量子臨界点の存在が示唆された。この点を微視的に明らかに

するため、中性子及び放射光散乱実験を行った。

まず今回の臨界点に対応する  $T^*$  の転移について、母物質である  $\text{Sr}_3\text{Ir}_4\text{Sn}_{13}$  を対象として、単結晶中性子回折実験を行い、転移の詳細を調べた。実験の結果、秩序波数  $q=(1/2, 1/2, 0)$  で現される格子由来の超格子反射を観測した。超格子反射の連続的な成長及び温度履歴がないこと、また冷却に伴い、転移点に向けて臨界散乱が連続的に増加し、転移点で発散することから、 $T^*$  の転移が2次の構造相転移であることを明らかにした(図2)。非弾性X線散乱により、 $T^*$  に向けてフォノンのソフト化が起きていることも、2次の構造相転移の存在を裏付けている。低温での強度の波数依存性や、転移により低対称化が見られないことから、この構造相転移が、triple- $q$  による立方晶  $I-43d$  への相転移と一致していることを見出した。

続いて、この  $T^*$  の2次相転移と量子臨界点の関係を微視的に明らかにするため、 $(\text{Ca,Sr})_3\text{Rh}_4\text{Sn}_{13}$  を対象として、フォノン分散のCa濃度依存性をX線非弾性散乱により系統的に調べた。まず相転移の秩序波数である  $M$  点  $(1/2, 1/2, 0)$  でソフト化するフォノンモードの存在を明らかにした。またこのモードが、Ca濃度の増加に伴う  $T^*$  の低下に対応し、量子臨界点に向け、 $E=0$  へと外挿されることを見出した(図3)。この結果は、 $(\text{Ca,Sr})_3\text{Rh}_4\text{Sn}_{13}$  で観測される量子臨界現象が、非磁性の格子揺らぎによることを直接的に示している。これと合わせて、転移点に向けた臨界指数の系統的な変化も明らかにした。磁気的や他の秩序変数による臨界現象と比較する上で、有益なデータが取得に成功した。

また格子揺らぎの量子臨界現象のより普遍的な理解を目指し、 $(\text{Ca,Sr})_3\text{Rh}_4\text{Sn}_{13}$  に加え、新たに  $\text{Lu}(\text{Pd,Pt})_2\text{In}$  について取り組んだ。X線非弾性散乱により、ソフトフォノンの濃度依存性から、量子臨界点に向けて  $E=0$  に向かう同様の変化を見出した。より系統的な理解に向けて、重要な結果が得られた。

### (3) 臨界点近傍で現れる $\text{EuPtSi}$ の新奇怪磁気誘起秩序相の解明

$\text{Eu}$  は価数により大きく異なる磁気基底状態をとる。 $\text{Eu}^{3+}$  は非磁性である一方、 $\text{Eu}^{2+}$  はスピン磁性である  $S=7/2$  の基底状態となり、 $f$  電子系でありながら軌道磁気モーメントを持たないユニークな状態をとる。この内、立方晶  $\text{EuPtSi}$  はスキルミオンの典型物質  $\text{MnSi}$  と同じ空間群  $P2_13$  に属するカイラル構造をとる。 $\text{EuPtSi}$  の磁場下では、有限温度・磁場のみで安定化する磁場誘起秩序相(A相)が発見され、秩序相内でホール抵抗の顕著な増大が観測された。これは  $\text{MnSi}$  の転移温度ごく近傍の臨界領域のみで安定化する磁気スキルミオン相と共通した特徴であることから、 $\text{EuPtSi}$  でもスキルミオン格子の形成が示唆された。この点を微視的に明らかにするため、単結晶を用いた磁場中での中性子及び共鳴X線散乱実験を実施した。

まず単結晶中性子回折実験により基底状態の磁気構造を調べ、 $q=(0.2, 0.3, 0)$  のヘリカル磁性体であることを見出した。続いてA相についても磁場中中性子回折実験を実施し、A相に入ると周期長は保持したまま、散乱パターンが大きく変化することを見出した。磁気散乱パターンは、印加磁場に垂直な面で六角形を形成し、 $q_A=(\pm 0.09, \pm 0.20, \mp 0.28)$  で現される低対称な秩序波数をもつことを明らかにした(図4)。この散乱パターンは、磁場に垂直な面内で互いに  $120^\circ$  をなす triple- $q$  構造で現される磁気スキルミオン格子の特徴と一致している。観測された磁気ピークが磁気スキルミオン格子を反映しているかより確実に確認するため、放射光を用いた共鳴X線散乱を実施した。その結果、

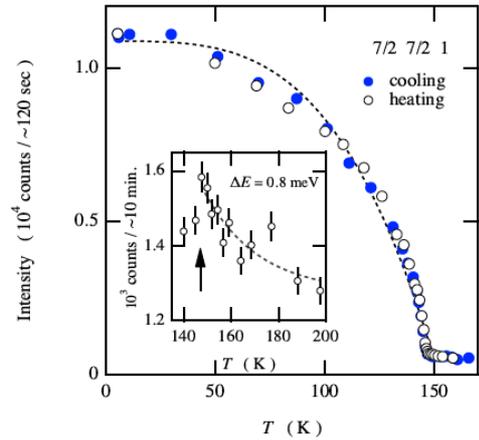


図2 中性子散乱により明らかにした  $\text{Sr}_3\text{Ir}_4\text{Sn}_{13}$  の超格子反射の温度依存性。内挿図は臨界散乱の温度変化。

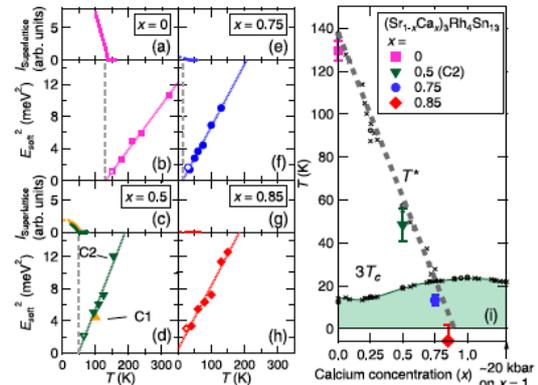


図3 X線非弾性散乱により明らかにした  $(\text{Ca,Sr})_3\text{Rh}_4\text{Sn}_{13}$  のソフトフォノンの温度及び濃度依存性。(Y. W. Cheung *et al.*, PRB 98, 161103(R) (2018).)

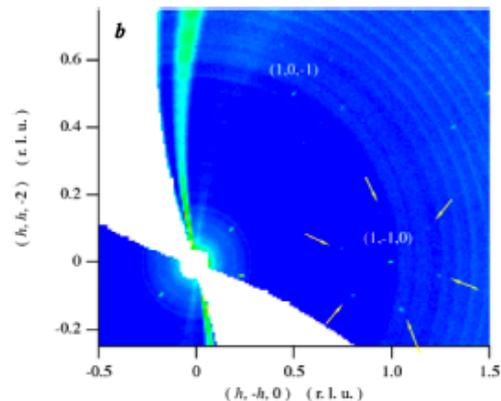


図4 磁場中中性子散乱による、磁気スキルミオン格子形成を反映した  $\text{EuPtSi}$  のA相の磁気散乱パターン。

$q_A^{1+} + q_A^2$  の位置に弱い散乱の存在を見出した (図 5). この高次反射の存在は, A 相で発見された秩序波数  $q_A$  で現される秩序が, **single- $q$**  のマルチドメインではなく, **triple- $q$**  構造であることを示している. これより, 中性子及び共鳴 X 線散乱の相補的に利用することで, **EuPtSi** において  $f$  電子系で初となる磁気スキルミオン格子の形成を微視的に確認した.

今回の結果, **EuPtSi** が磁気スキルミオン格子を有するという点で **MnSi** と共通の特徴を持つ一方, 固有の特徴をもつことも明らかにした. 代表的なものとしては, 第 1 に **MnSi** に対し周期長が 1/10 と極端に短い点で, **EuPtSi** で観測されるトポロジカルホール効果が顕著となっていることが理解出来る. もう一つは, 低対称の秩序波数が格子とより強い結合を有する点で, 印加磁場方向に対し強い異方性を有する点である. これらの特徴は, 磁気スキルミオン形成を担う相互作用の違いを反映していると考えられ, トポロジカル秩序形成メカニズムの理解に向けて重要な結果が得られた.

以上, 本課題により磁気揺らぎによる量子臨界点である **YbRh<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>** における磁気秩序の検出において前進したことに加え, 格子揺らぎにより誘起される量子臨界現象の存在を微視的に明らかに出来た点など, 大きな進展があった. さらに臨界点近傍の新奇現象として,  $f$  電子系初となる磁気スキルミオン格子形成を明らかにした点など, 新たな展開が得られた点でも重要な成果があった. 今後はさらに研究例を増やし, 臨界現象や新たな秩序状態について, より普遍的な理解を目指していく.

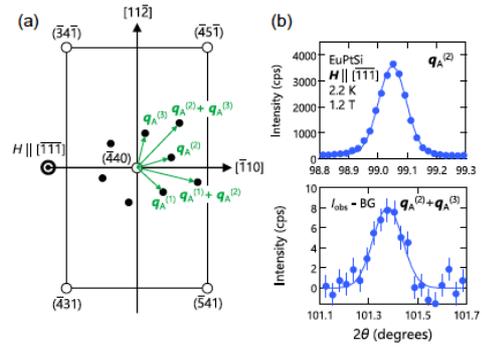


図 5 共鳴 X 線散乱により明らかにした **EuPtSi** の A 相における  $q_A$  に対応する高次反射の存在. (C. Tabata *et al.*, JPSJ 88, 093704 (2019).)

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 9件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kaneko Koji, Cheung Yiu Wing, Hu Yajian, Imai Masaki, Tanioku Yasuaki, Kanagawa Hibiki, Murakawa Joichi, Moriyama Kodai, Zhang Wei, Lai Kwing To, Matsuda Masaaki, Yoshimura Kazuyoshi, Tsutsui Satoshi, Goh Swee Kuan	4. 巻 30
2. 論文標題 Nature of Structural Instabilities in Superconducting Sr3Ir4Sn13	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JPS Conf. Proc.	6. 最初と最後の頁 011032-1~6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.30.011032	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 Ikeda Shugo, Kaneko Koji, Tanaka Yuki, Kawasaki Takuro, Hanashima Takayasu, Munakata Koji, Nakao Akiko, Kiyonagi Ryoji, Ohhara Takashi, Mochizuki Kenji, Kondo Akihiro, Kindo Koichi, Homma Yoshiya, Frontzek Matthias D., Kobayashi Hisao	4. 巻 89
2. 論文標題 Multi-Step Magnetic Transitions in EuNiIn4	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 014707~014707
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.89.014707	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 Tabata Chihiro, Matsumura Takeshi, Nakao Hironori, Michimura Shinji, Kakahana Masashi, Inami Toshiya, Kaneko Koji, Hedo Masato, Nakama Takao, Onuki Yoshichika	4. 巻 88
2. 論文標題 Magnetic Field Induced Triple-q Magnetic Order in Trillium Lattice Antiferromagnet EuPtSi Studied by Resonant X-ray Scattering	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 093704~093704
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.88.093704	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 Kaneko Koji, Frontzek Matthias D., Matsuda Masaaki, Nakao Akiko, Munakata Koji, Ohhara Takashi, Kakahana Masashi, Haga Yoshinori, Hedo Masato, Nakama Takao, Onuki Yoshichika	4. 巻 88
2. 論文標題 Unique Helical Magnetic Order and Field-Induced Phase in Trillium Lattice Antiferromagnet EuPtSi	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 013702~013702
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.88.013702	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 Cheung Y. W., Hu Y. J., Imai M., Tanioku Y., Kanagawa H., Murakawa J., Moriyama K., Zhang W., Lai K. T., Yoshimura K., Grosche F. M., Kaneko K., Tsutsui S., Goh Swee K.	4. 巻 98
2. 論文標題 Evidence of a structural quantum critical point in $(\text{Ca}_x\text{Sr}_{1-x})\text{3Rh}_4\text{Sn}_{13}$ from a lattice dynamics study	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 161103-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.98.161103	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 K. Suekuni, C.-H. Lee, H. I. Tanaka, E. Nishibori, A. Nakamura, H. Kasai, H. Mori, H. Usui, M. Ochi, T. Hasegawa, M. Nakamura, S. Ohira-Kawamura, T. Kikuchi, K. Kaneko, H. Nishiate, K. Hashikuni, Y. Kosaka, K. Kuroki, T. Takabatake	4. 巻 30
2. 論文標題 Retreat from Stress: Rattling in a Planar Coordination	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Advanced Materials	6. 最初と最後の頁 1706230 ~ 1706230
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adma.201706230	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 Kajimoto Ryoichi, Ishikado Motoyuki, Kira Hiroshi, Kaneko Koji, Nakamura Mitsutaka, Kamazawa Kazuya, Inamura Yasuhiro, Ikeuchi Kazuhiko, Iida Kazuki, Murai Naoki, Ohira-Kawamura Seiko, Takahashi Ryuta, Aoyama Kazuhiro, Kambara Wataru	4. 巻 556
2. 論文標題 Study on use of superconducting magnet and first inelastic neutron scattering experiment under magnetic field at 4SEASONS spectrometer	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physica B: Condensed Matter	6. 最初と最後の頁 26 ~ 30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/J.PHYSB.2018.11.065	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 Cheung Y W, Hu Y J, Goh S K, Kaneko K, Tsutsui S, Logg P W, Grosche F M, Kanagawa H, Tanioku Y, Imai M, Matsumoto T, Yoshimura K	4. 巻 807
2. 論文標題 Second-order Structural Transition in $(\text{Ca}_{0.5}\text{Sr}_{0.5})\text{3Rh}_4\text{Sn}_{13}$	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 032002 ~ 032002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/807/3/032002	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 Tsutsui Satoshi, Kaneko Koji, Pospisil Jiri, Haga Yoshinori	4. 巻 536
2. 論文標題 Inelastic X-ray scattering of RT Al <sub>3</sub> (R = La, Ce, T = Cu, Au)	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physica B: Condensed Matter	6. 最初と最後の頁 24 ~ 27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physb.2017.09.087	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 Y. W. Cheung, J. Z. Zhang, J. Y. Zhu, W. C. Yu, Y. J. Hu, D. G. Wang, Y. Otomo, K. Iwasa, K. Kaneko, M. Imai, H. Kanagawa, K. Yoshimura, S. K. Goh	4. 巻 93
2. 論文標題 Second-order structural transition in the superconductor La <sub>3</sub> Co <sub>4</sub> Sn <sub>13</sub>	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 241112(R) 1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.93.241112	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 N. Mufti, K. Kaneko, A. Hoser, M. Gutmann, C. Geibel, C. Krellner, O. Stockert	4. 巻 94
2. 論文標題 Unique magnetic structure of YbCo <sub>2</sub> Si <sub>2</sub>	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 045116 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.94.045116	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 T. Kawasaki, K. Kaneko, A. Nakamura, N. Aso, M. Hedo, T. Nakama, T. Ohhara, R. Kiyonagi, K. Oikawa, I. Tamura, A. Nakao, K. Munakata, T. Hanashima, Y. Onuki	4. 巻 85
2. 論文標題 Magnetic Structure of Divalent Europium Compound EuGa <sub>4</sub> Studied by Single-Crystal Time-of-Flight Neutron Diffraction	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 J. Phys. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 114711 1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.85.114711	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. W. Cheung, Y. J. Hu, S. K. Goh, K. Kaneko, S. Tsutsui, P. W. Logg, F. M. Grosche, H. Kanagawa, Y. Tanioku, M. Imai, T. Matsumoto, K. Yoshimura	4. 巻 807
2. 論文標題 Second-order Structural Transition in (Ca 0.5 Sr 0.5 ) 3 Rh 4 Sn 13	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Phys.: Conf. Ser.	6. 最初と最後の頁 032002 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/807/3/032002	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

〔学会発表〕 計15件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 K. Kaneko
2. 発表標題 Skyrmion lattice in f-electron magnet EuPtSi
3. 学会等名 “Topological Phases and Functionality of Correlated Electron Systems” (TPFC2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Kaneko
2. 発表標題 Systematic neutron scattering study on Eu intermetallics
3. 学会等名 Present and Future of Neutron Scattering Research on Condensed Matter Physics -Future Perspective of US-Japan Cooperative Program on Neutron Scattering~ (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Kaneko
2. 発表標題 Status and news from JRR-3
3. 学会等名 10th International Workshop on Sample Environment at Scattering Facilities (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 金子耕士, 池田修悟, Matthias D. Frontzek, Huibo Cao, 花島隆泰, 中尾朗子, 鬼柳亮嗣, 大原高志, 小林寿夫, 山上浩志
2. 発表標題 中性子散乱で見るEuPtSiの磁気構造と磁場応答
3. 学会等名 J-Physics : 多極子伝導系の物理」 Tropical Topical Meeting “カイラル磁性体EuPtSiの電子物性 研究の現状と今後の展開 ” (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 金子耕士
2. 発表標題 中性子散乱でみるEuPtSi のキラル反強磁性と磁場誘起秩序
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 金子耕士, Matthias D. Frontzek, 松田雅昌, 大石一城, 中尾朗子, 宗像孝司, 大原高志, 垣花将司, 芳賀芳範, 辺土正人, 仲間隆男, 大貫惇睦
2. 発表標題 キラル反強磁性体EuPtSi の中性子散乱
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 金子耕士
2. 発表標題 MLFにおける強磁場・低温環境への期待
3. 学会等名 Direction2018: the user group meeting on MLF spectrometers (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 金子耕士, Matthias D. Frontzek, 松田雅昌, 中尾朗子, 宗像孝司, 大原高志, 垣花将司, 芳賀芳範, 辺土正人, 仲間隆男, 大貫惇睦
2. 発表標題 立方晶キラル反強磁性体EuPtSi の磁気秩序
3. 学会等名 日本中性子科学会 第18回年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 金子耕士, G. Pokharel, A. D. Christianson, 竹内徹也, 仲村愛, 辺土正人, 仲間隆男, 大貫惇睦
2. 発表標題 Eu3価金属化合物EuPd3 におけるJ 多重項励起
3. 学会等名 日本物理学会第72回年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Kaneko, S. Ikeda, M. D. Fronzek, H. Cao, T. Hanashima, A. Nakao, R. Kiyonagi, T. Ohhara, Y. Homma, H. Kobayashi, H. Yamagami
2. 発表標題 Magnetic anisotropy in isovalent spin S=7/2 family EuTIn4 (T=Ni, Pd, Pt)
3. 学会等名 International Conference on Neutron Scattering (ICNS2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 金子耕士, 池田修悟, Matthias D. Frontzek, Huibo Cao, 花島隆泰, 中尾朗子, 鬼柳亮嗣, 大原高志, 小林寿夫, 山上浩志
2. 発表標題 Eu2価金属化合物EuTIn4における多彩な磁気異方性
3. 学会等名 日本中性子科学会 第17回年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 金子耕士
2. 発表標題 異なる“眼”で見る物質像：X線と中性子の違いを活用した構造解析
3. 学会等名 第二回大型実験施設とスーパーコンピュータとの連携利用勉強会「放射光・中性子線と理論計算との融合による精密構造解析の新展開（招待講演）」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 金子耕士, 川崎卓郎, 仲村愛, 茂吉武人, 宗像孝司, 中尾朗子, 花島隆泰, 鬼柳亮嗣, 大原高志, 及川健一, 田村格良, 辺土正人, 仲間隆男, 大貫惇睦
2. 発表標題 中性子・放射光の相補利用でみる格子が絡む新規現象の解明
3. 学会等名 JAEA-QST 放射光科学シンポジウム2018（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Kaneko, M. Matsuda, S. Tsutsui, Y. W. Cheung, Y. Hu, S. K. Goh, T. Matsumoto, M. Imai, Y. Tanioku, H. Kanagawa, K. Yoshimura
2. 発表標題 Complementary use of neutron and x-ray scattering to explore structural quantum criticality in superconducting stannide
3. 学会等名 The international Symposium of Quantum Beam Science at Ibaraki University (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 金子耕士, G. Pokharel, A. D. Christianson, 竹内徹也, 仲村愛, 辺土正人, 仲間隆男, 大貫惇睦
2. 発表標題 Eu 3価金属化合物EuPd3 におけるJ 多重項励起
3. 学会等名 日本物理学会第72回年次大会
4. 発表年 2017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
連携研究者	筒井 智嗣  (Tsutsui Satoshi)  (70360823)	公益財団法人高輝度光科学研究センター・利用研究促進部門・主幹研究員    (84502)	