

令和 3 年 5 月 24 日現在

機関番号：12101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K05529

研究課題名(和文) 微視測定で探るパウリ限界超伝導体の異常な超伝導臨界磁場特性と磁気相関の関係

研究課題名(英文) Interplay between unusual superconducting critical field and magnetic correlation in Pauli-limited superconductors

研究代表者

横山 淳 (Yokoyama, Makoto)

茨城大学・理工学研究科(理学野)・准教授

研究者番号：70361285

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：パウリ限界超伝導体CeCoIn5にZnを混入すると、超伝導転移温度は抑制されるものの、超伝導上部臨界磁場Hc2はほとんど変化しない異常を持つ。本研究では、巨視・微視実験を駆使することによって、このHc2異常をもたらすパウリ常磁性効果の背景には、強い反強磁性量子臨界揺らぎが存在することを解明した。特にこの過程において、CeCoIn5の磁場誘起量子臨界揺らぎの原因となる秩序変数を明らかにした。これは、このイオン混入系は量子臨界揺らぎをもたらす異常超伝導物性を包括的に理解するプラットフォームとなりうることを意味する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、CeCo(In<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>)<sub>5</sub>のHc2異常をもたらす背景には、パウリ常磁性効果を通じて強い反強磁性量子臨界揺らぎが重要な役割を果たしていることを解明した。この過程で、磁場誘起量子臨界揺らぎの原因となる秩序変数や、そのIsing的磁気異方性を明らかにした。エキゾチック超伝導体のプロトタイプであるCeCoIn5でのこれらの発見は、広く強相関電子系超伝導体において、異常な超伝導状態の発現には量子臨界揺らぎの寄与が不可欠であることを示唆するものである。本研究の成果によって、さらに今後の超伝導と量子臨界揺らぎに関する包括的な研究を推進していく契機となる。

研究成果の概要(英文)：It is known that in the Pauli-limited superconductor CeCoIn5, substituting In with Zn yields little change of superconducting upper critical field Hc2, although reduces superconducting transition temperature. The present research project revealed that this Hc2 feature is governed by antiferromagnetic quantum critical fluctuations (QCFs) via the Pauli-paramagnetic effect. In particular, we elucidated the antiferromagnetic order parameter responsible for the field-induced QCFs in CeCoIn5, which had been unidentified for a long time. This finding suggests that the Zn-doped CeCoIn5 provides a platform to investigate the interplay of the QCFs and unconventional superconductivity.

研究分野：物性物理

キーワード：超伝導 磁気秩序 量子臨界現象

### 1. 研究開始当初の背景

強相関電子系の物理の主要課題の1つと位置付けられる非従来型超伝導の多くは、磁気秩序やその揺らぎが超伝導秩序形成に密接に関係している。特に希土類からなる重い電子系化合物では、伝導電子が持つ非常に大きな有効質量によりパウリ常磁性磁化率が増強される。そこへ磁場が印加されると、大きな磁化率に起因するクーパー対の破壊が起こり(パウリ常磁性効果によるスピン対破壊)、これが超伝導の上部臨界磁場 $H_{c2}$ を決定づける。さらに、系に磁気相関が発達すると、磁化率の変化を通じて磁場中での超伝導物性に大きな影響を与える。これは、他の超伝導体でよく見られる磁束の侵入に起因する対破壊(軌道対破壊)とは状況が大きく異なる。よって重い電子系超伝導体では、磁場下で他の系では見られない新しい物性の発現が期待されているが、それらが明確に表れる物質例は少ない。

重い電子系超伝導体のうち、**CeCoIn<sub>5</sub> ( $T_c = 2.3$  K)** は**2001**年の発見以来、すでに**500**本超の論文がある研究競争が激しい物質である。我々は**Zn**を置換した系 **CeCo(In<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>)<sub>5</sub>**の単結晶育成にはじめて成功し、詳細な巨視量測定によって、**(a)** Zn置換によって超伝導転移点 $T_c$ は減少し、反強磁性秩序が誘起されること、**(b)**  $T_c$ は抑制されるにもかかわらず $H_{c2}$ はほとんど抑制されないこと、**(c)**  $H_{c2}$ での超伝導破壊の機構はスピン対破壊極限( $x=0$ )から軌道対破壊極限( $x=0.07$ )に移り変わること、**(d)** Zn置換や磁場印加で多彩な反強磁性磁気構造が期待されること、という特異性を見出した(図1)[1,2]。

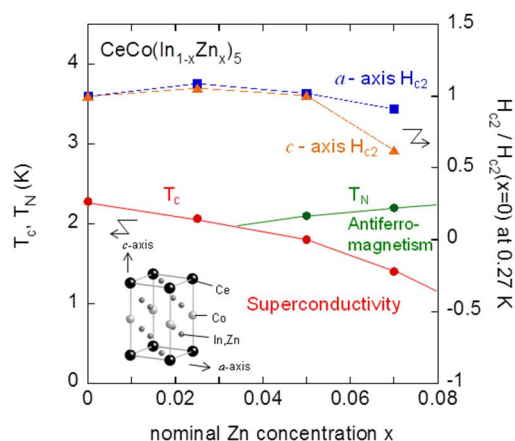


図1. **CeCo(In<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>)<sub>5</sub>** の  $T_c$  および  $H_{c2}$  の Zn 濃度変化。

### 2. 研究の目的

我々のこれらの発見は、パウリ常磁性効果に由来する超伝導物性を系統的に調べるのに適した貴重な系を見出したことを意味する。特に上記の物性のうち、**(b)**および**(c)**といった $H_{c2}$ 異常は、反強磁性相関の発達によって磁化率が減少し、超伝導のスピン対破壊効果が緩和された結果生じた物性であると期待される。一方、**(a)**および**(d)**より、反強磁性相関がパウリ常磁性磁化率を通じてどのようなスピン対破壊効果の緩和を引き起こすのかという問題が生じる。これらは我々の発見した系によって初めて露わになったパウリ限界超伝導の特異な物性であり、対破壊機構に関する重大な知見を得るためには、超伝導と反強磁性の巨視的・微視的性質の理解が不可欠であると考えた。

そこで、**CeCo(In<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>)<sub>5</sub>** の  $H_{c2}$  異常をもたらすパウリ常磁性効果の役割や、それを支配する反強磁性相関を調べるために、巨視測定および微視測定を行った。

### 3. 研究の方法

本研究では、以下の**3**つのアプローチを計画して研究を開始した。

#### (1) 巨視測定によって磁気秩序の有無やその量子スピン揺らぎの挙動を解明する

本研究の目的を達成するうえで、まず極低温下における超伝導・反強磁性秩序相の熱力学的性質を知ることが不可欠であると考えた。そこで、反強磁性と超伝導の両相が発現する

$x=0.07$  の低温相の詳細を、精密磁化・比熱測定で調べた。

- (2) ミュオンスピン緩和( $\mu$ SR) 法およびNMR・NQR法により、超伝導・反強磁性相の微視的共存の有無を検証する

$\mu$ SRは超伝導や磁性の実空間情報を微視的に得られる優れたプローブである。 $\mu$ SR測定によって両相の体積分率をZn置換に対し系統的に調べることができ、その情報から両相の微視的共存の有無を決定できる。さらに磁場を印加すれば、 $\mu$ SRで見積られる超伝導相の磁場侵入長やミュオンナイトシフトを通じて、局所スピン帯磁率の変化を議論することが可能である。そこで、これらの測定を行い、Zn混入での $T_c$ の減少に反して $H_{c2}$ が堅牢な理由を微視的に検証した。また、これらの性質をNMR・NQR測定を用いて多角的に検証した。

- (3) 中性子散乱法により反強磁性磁気構造を決定し、どのような反強磁性相関が超伝導特性に寄与しているかを解明する

波数空間走査に優れた中性子散乱実験により、Zn濃度変化によって引き起こされる磁気秩序の構造を明らかにした。この結果と $\mu$ SR・NMRによる局所磁化率を比較することにより、この系のスピン構造や揺らぎがパウリ常磁性効果を通じて引き起こす、異常な $H_{c2}$ 特性の機構を議論した。

#### 4. 研究成果

本研究を進める上でまず、Znを7%混入した系に対する磁場下での巨視量測定を行った。その結果、超伝導秩序のほかに、この系において零磁場でみられる反強磁性相 (low-field AFM相) のみならず、それに隣接した磁気構造が異なる磁場誘起反強磁性相 (high-field AFM相) が発現することや、後者の臨界磁場(10 T)近傍で量子臨界揺らぎに伴う明瞭な非フェルミ液体異常が各物理量に現れることを発見した(図2) [3]。さらに、比熱にみられる量子臨界揺らぎに対して行ったスケールング解析から、Znを混入した系と混入していない系でみられる量子臨界揺らぎはほぼ同一の起源によるものであることを提案した [3]。これは、20年来にわたって未解明であった、CeCoIn<sub>5</sub>とそのドーパ系において量子臨界揺らぎと反強磁性秩序の直接的な結びつきを初めてとらえた結果である。

さらに、この系の量子臨界揺らぎの起源を解明し、 $H_{c2}$ 異常をはじめとした異常な超伝導物性を包括的に理解するうえでの新たな突破口を見出すために、当初の研究計画を変更し、新たにニッケル(Ni)イオン置換系における非フェルミ液体異常の研究を開始した。CeCoIn<sub>5</sub>においては、量子臨界揺らぎは $H_{c2}$ 以下の磁場では超伝導相によって抑制されている(あるいはマスクされている)ために観測が困難であるが、Niを混入した系では超伝導が消失するために、非フェルミ液体異常を零磁場近傍においても観測できるメリットがあることを我々は提案している [4]。そこで我々はNiを25%置換した系において、非フェルミ液体異常をもたらす量子臨界揺らぎは正方晶のc軸に偏極した量子スピン揺らぎに起因することを、磁化や比熱の測定より明らかにした [5]。この磁気異方性は、CeCoIn<sub>5</sub>の超伝導相内でみられる磁気異方性(超伝導上部臨界磁場

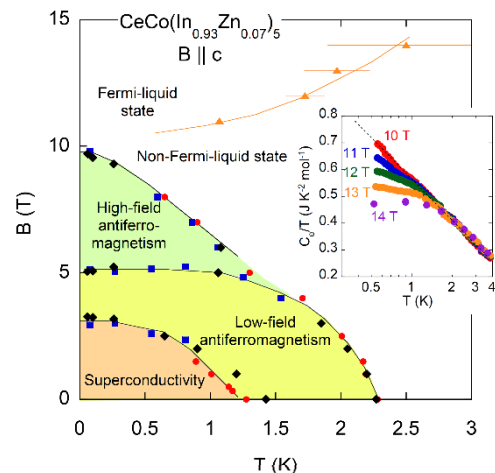


図2. CeCo(In<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>)<sub>5</sub> ( $x=0.07$ )のc軸磁場に対する磁場-温度相図。

の異方性やレゾナンスピークのスピンの偏極方向)と類似しており、量子臨界揺らぎと超伝導発現に強い相関があることを示唆するものである。

上記の巨視量測定における重要な成果をもとにして、反強磁性相関に対する微視的知見を得るために、ミュオンスピン緩和測定および核磁気共鳴測定を進めた。前者では磁気秩序やその揺らぎと超伝導上部臨界磁場  $H_{c2}$  との関係に対する重要な成果を得た [6]。この成果は本課題の対象物質のみならず、他の強相関電子系超伝導体の理解にとって示唆に富むものである。また、核磁気共鳴測定では、反強磁性秩序のナノスケールでの局所構造やドーパントの役割に関する、重要な知見を得ることができた [7]。こちらも他の強相関電子系超伝導体の理解にとって示唆に富むものである。

さらに、フランスのグループとの共同研究として、 $\text{CeCo}(\text{In}_{1-x}\text{Zn}_x)_5$  ( $x=0.07$ ) の中性子弾性散乱実験を行った。その結果、反強磁性相 (low-field AFM 相) の磁気構造は比較的単純な整合反強磁性構造であることが分かった [6]。これは上記の他の微視測定から得られた結果と一致する。

本研究では、上記の巨視・微視実験から、 $\text{CeCo}(\text{In}_{1-x}\text{Zn}_x)_5$  の  $H_{c2}$  異常をもたらすパウリ常磁性効果の背景には、強い反強磁性量子臨界揺らぎが存在することを解明した。この過程で、 $\text{CeCoIn}_5$  で 20 年来未解明であった、磁場誘起量子臨界揺らぎの原因となる秩序変数や、その Ising 的磁気異方性を明らかにした。エキゾチック超伝導体のプロトタイプである  $\text{CeCoIn}_5$  でのこれらの発見は、広く強相関電子系超伝導体において、異常な超伝導状態の発現には量子臨界揺らぎの寄与が不可欠であることを示唆するものである。本研究の遂行によって、上記の成果を有力な国際誌でアピールし [3,5-7]、さらに今後の超伝導と量子臨界揺らぎに関する包括的な研究を推進していく契機となった [8]。

- [1] **M. Yokoyama et al., Possible Evolution of Antiferromagnetism in Zn-Doped Heavy-Fermion Superconductor  $\text{CeCoIn}_5$ , J. Phys. Soc. Jpn. **83**, 033706 (2014).**
- [2] **M. Yokoyama et al., Pauli-limited superconductivity and antiferromagnetism in the heavy-fermion compound  $\text{CeCo}(\text{In}_{1-x}\text{Zn}_x)_5$ , Phys. Rev. B **92**, 184509 (2015).**
- [3] **M. Yokoyama et al., Observation of a new field-induced phase transition and its concomitant quantum critical fluctuations in  $\text{CeCo}(\text{In}_{1-x}\text{Zn}_x)_5$ , Phys. Rev. B **95**, 224425 (2017).**
- [4] **R. Otaka, M. Yokoyama et al., Superconductivity and Non-Fermi-Liquid Behavior in the Heavy-Fermion Compound  $\text{CeCo}_{1-x}\text{Ni}_x\text{In}_5$ , J. Phys. Soc. Jpn. **85**, 094713 (2016).**
- [5] **M. Yokoyama et al., Anisotropic magnetic-field response of quantum critical fluctuations in Ni-doped  $\text{CeCoIn}_5$ , Phys. Rev. B **99**, 054506 (2019).**
- [6] **W. Higemoto, S. Raymond, M. Yokoyama et al., 論文投稿準備中.**
- [7] **H. Sakai, M. Yokoyama et al., 論文投稿中.**
- [8] **横山淳, 日本学術振興会科学研究費助成事業 (基盤研究 (C)) (代表) (20K03852), 量子臨界揺らぎがもたらすエキゾチック超伝導現象の機構解明, 令和2-4年度.**

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 0件）

|   |                           |
|---|---------------------------|
| 1. 著者名<br>Yokoyama Makoto, Suzuki Kohei, Tenya Kenichi, Nakamura Shota, Kono Yohei, Kittaka Shunichiro, Sakakibara Toshiro  | 4. 巻<br>99                |
| 2. 論文標題<br>Anisotropic magnetic-field response of quantum critical fluctuations in Ni-doped CeCoIn5   | 5. 発行年<br>2019年           |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review B   | 6. 最初と最後の頁<br>054506-1-6  |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1103/PhysRevB.99.054506   | 査読の有無<br>有                |
| オープンアクセス<br>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<br>-                 |
| 1. 著者名<br>Yokoyama Makoto, Mashiko Hiroaki, Otaka Ryo, Oshima Yoshiki, Suzuki Kohei, Tenya Kenichi, Shimizu Yusei, Nakamura Ai, Aoki Dai, Kondo Akihiro, Kindo Koichi, Nakamura Shota, Sakakibara Toshiro | 4. 巻<br>95                |
| 2. 論文標題<br>Observation of a new field-induced phase transition and its concomitant quantum critical fluctuations in CeCo(In <sub>1-x</sub> Zn <sub>x</sub> ) <sub>5</sub>                                 | 5. 発行年<br>2017年           |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review B   | 6. 最初と最後の頁<br>224425-1-5  |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1103/PhysRevB.95.224425   | 査読の有無<br>有                |
| オープンアクセス<br>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<br>-                 |
| 1. 著者名<br>Iwahara Ryoya, Sugawara Ryoma, Rahmanto, Honma Yutoku, Matsuoka Kensuke, Matsuo Akira, Kindo Koichi, Tenya Kenichi, Yokoyama Makoto   | 4. 巻<br>4                 |
| 2. 論文標題<br>Avoided quantum criticality and cluster-glass formation in itinerant ferromagnet Sr <sub>1-x</sub> (La <sub>0.5</sub> K <sub>0.5</sub> )xRuO <sub>3</sub>                                      | 5. 発行年<br>2020年           |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review Materials   | 6. 最初と最後の頁<br>074404-1-8  |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1103/PhysRevMaterials.4.074404  | 査読の有無<br>有                |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する              |
| 1. 著者名<br>Shimizu Yusei, Miyake Atsushi, Maurya Arvind, Honda Fuminori, Nakamura Ai, Sato Yoshiki J., Li Dexin, Homma Yoshiya, Yokoyama Makoto, Tokunaga Yo, Tokunaga Masashi, Aoki Dai                   | 4. 巻<br>102               |
| 2. 論文標題<br>Strong magnetic anisotropy and unusual magnetic field reinforced phase in URhSn with a quasi-kagome structure  | 5. 発行年<br>2020年           |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review B   | 6. 最初と最後の頁<br>134411-1-11 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1103/PhysRevB.102.134411  | 査読の有無<br>有                |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する              |

[学会発表] 計36件(うち招待講演 4件/うち国際学会 9件)

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>徳永淳志, 佐藤晴耕, 赤津光洋, 根本祐一, 横山淳      |
| 2. 発表標題<br>重い電子超伝導体CeCoIn5における縦波弾性定数の静水圧依存性 |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会第76 回年次大会                  |
| 4. 発表年<br>2021年                             |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>酒井宏典, 徳永陽, 芳賀芳範, 神戸振作, J.-X. Zhu, F. Ronning, 小手川恒, 藤秀樹, 鈴木康平, 大島佳樹, 横山淳 |
| 2. 発表標題<br>重い電子系超伝導体CeCoIn5におけるNi置換効果のNMR   |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会第76 回年次大会  |
| 4. 発表年<br>2021年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>酒井宏典, 徳永陽, 芳賀芳範, 神戸振作, J.-X. Zhu, F. Ronning, S. K. Ramakrishna, A. P. Reyes, 鈴木康平, 大島佳樹, 横山淳 |
| 2. 発表標題<br>重い電子系超伝導体CeCoIn5においてZn置換による不均一電子状態  |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会2020 年秋季大会  |
| 4. 発表年<br>2020年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>徳永淳志, 佐藤晴耕, 赤津光洋, 根本祐一, 横山淳   |
| 2. 発表標題<br>重い電子超伝導体CeCoIn5の弾性的性質に対する圧力効果 |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会2020 年秋季大会              |
| 4. 発表年<br>2020年                          |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>長谷川奈那, 田山孝, 横山淳   |
| 2. 発表標題<br>CeCo(In <sub>1-x</sub> Zn <sub>x</sub> ) <sub>5</sub> のZn濃度-温度-磁場相図 |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会 2020 年秋季大会   |
| 4. 発表年<br>2020年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>M. Yokoyama   |
| 2. 発表標題<br>Relationship between quantum critical fluctuations and anomalous superconductivity in CeCoIn <sub>5</sub> and its ionic substitutions |
| 3. 学会等名<br>GIMRT Joint International Symposium on Radiation Effects in Materials and Actinide Science (GIMRT-REMAS2020) (招待講演) (国際学会)            |
| 4. 発表年<br>2020年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>髭本亘, 宮崎一輝, 網田裕斗, 伊藤孝, 鈴木康平, 大島佳樹, 横山淳                               |
| 2. 発表標題<br>CeCo(In <sub>1-x</sub> Zn <sub>x</sub> ) <sub>5</sub> のμSR法による研究III |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会第75回年次大会  |
| 4. 発表年<br>2020年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>酒井宏典, 徳永陽, 芳賀芳範, 神戸振作, J.-X. Zhu, F. Ronning, S. K. Ramakrishna, A. P. Reyes, 小手川恒, 藤秀樹, 鈴木康平, 大島佳樹, 横山淳 |
| 2. 発表標題<br>重い電子系超伝導体CeCoIn <sub>5</sub> におけるZnおよびNi置換効果のNMR   |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会第75回年次大会   |
| 4. 発表年<br>2020年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>菅原良馬, 横山淳, 植田大地, 益田隆嗣, 近藤晃弘, 金道浩一 |
| 2. 発表標題<br>CeRhIn5のヘリカル反強磁性秩序に対するNi置換効果      |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会第75回年次大会                    |
| 4. 発表年<br>2020年                              |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>長谷川奈那, 田山孝, 横山淳   |
| 2. 発表標題<br>CeCo(In <sub>1-x</sub> Zn <sub>x</sub> ) <sub>5</sub> の精密磁化・熱膨張・磁歪測定による熱力学的考察 |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会第75回年次大会  |
| 4. 発表年<br>2020年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>R. Iwahara and M. Yokoyama   |
| 2. 発表標題<br>Emergence of cluster-glass state in itinerant ferromagnetic compound Sr <sub>1-x</sub> (La <sub>0.5</sub> K <sub>0.5</sub> ) <sub>x</sub> RuO <sub>3</sub> |
| 3. 学会等名<br>International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES2019) (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>M. Yokoyama, K. Suzuki, K. Tenya, S. Nakamura, Y. Kono, S. Kittaka, and T. Sakakibara           |
| 2. 発表標題<br>Anisotropic Quantum Critical Fluctuations and Superconductivity in Ni-doped CeCoIn <sub>5</sub> |
| 3. 学会等名<br>International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES2019) (国際学会)              |
| 4. 発表年<br>2019年  |



|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Rahmanto, M. Yokoyama, K. Suzuki, K. Tenya, Y. Shimizu, A. Nakamura, F. Honda, and D. Aoki       |
| 2. 発表標題<br>Transport properties in quantum critical CeCo <sub>0.75</sub> Ni <sub>0.25</sub> In <sub>5</sub> |
| 3. 学会等名<br>International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES2019) (国際学会)               |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>横山淳   |
| 2. 発表標題<br>CeCoIn <sub>5</sub> のNi置換系における異方的量子臨界揺らぎ          |
| 3. 学会等名<br>東北大学金属材料研究所附属量子エネルギー材料科学国際研究センター2019年度大洗アルファ合同研究会 |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>横山淳, 大島佳樹, 鈴木康平, 天谷健一, 中村翔太, 橋高俊一郎, 榊原俊郎    |
| 2. 発表標題<br>CeCoIn <sub>5</sub> のZnイオン置換系における磁場誘起量子臨界現象 |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会2019年秋季大会                             |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>髭本亘, 網田裕斗, 宮崎一輝, 伊藤孝, 鈴木康平, 大島佳樹, 横山淳                              |
| 2. 発表標題<br>CeCo(In <sub>1-x</sub> Zn <sub>x</sub> ) <sub>5</sub> のμSR法による研究II |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会2019年秋季大会  |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>岩原諒也, 横山淳, 菅原良馬                                      |
| 2. 発表標題<br>遍歴強磁性化合物 $Sr_{1-x}(La,K)_xRuO_3$ におけるクラスター形成に伴う比熱の変化 |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会2019年秋季大会                                      |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>横山淳, 鈴木康平, 天谷健一, 中村翔太, 河野洋平, 橘高俊一郎, 榊原俊郎  |
| 2. 発表標題<br>CeCoIn <sub>5</sub> のNi 置換系における異方的量子臨界揺らぎ |
| 3. 学会等名<br>日本中性子科学会第18 回年会                           |
| 4. 発表年<br>2019年                                      |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>横山淳  |
| 2. 発表標題<br>CeCoIn <sub>5</sub> のイオン置換系における磁場誘起反強性と量子臨界揺らぎ |
| 3. 学会等名<br>第三回強相関電子系研究会 (招待講演)                            |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>K. Suzuki, M. Yokoyama, Y. Oshima, T. Hasegawa, K. Tenya, S. Nakamura, S. Kittaka, T. Sakakibara, I. Kawasaki, W. Higemoto, and I. Watanabe |
| 2. 発表標題<br>Non-Fermi-liquid behavior in heavy-fermion compound CeCo <sub>1-x</sub> Ni <sub>x</sub> In <sub>5</sub>                                     |
| 3. 学会等名<br>International Conference on Magnetism ICM2018 (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>A. Osawa, Y. Oshima, K. Suzuki, K. Tenya, and M. Yokoyama  |
| 2. 発表標題<br>Thermal Conductivity of Heavy-Fermion Superconductor CeCo(In <sub>1-x</sub> Zn <sub>x</sub> ) <sub>5</sub> |
| 3. 学会等名<br>International Conference on Magnetism ICM2018 (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>M. Yokoyama, Y. Oshima, K. Suzuki, H. Mashiko, K. Tenya, Y. Shimizu, A. Nakamura, D. Aoki, A. Kondo, K. Kindo, S. Nakamura and T. Sakakibara |
| 2. 発表標題<br>Field-induced antiferromagnetic order and its quantum critical fluctuations in CeCo(In <sub>1-x</sub> Zn <sub>x</sub> ) <sub>5</sub>         |
| 3. 学会等名<br>International Conference on Magnetism ICM2018 (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>H. Sakai, T. Hattori, Y. Tokunaga, S. Kambe, F. Ronning, J.-X. Zhu, K. Suzuki, Y. Oshima, and M. Yokoyama |
| 2. 発表標題<br>NQR/NMR study on Zn-doped CeCoIn <sub>5</sub>   |
| 3. 学会等名<br>12th Prague Colloquium on f-Electron Systems (招待講演) (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>横山淳, Stephane Raymond                         |
| 2. 発表標題<br>CeCoIn <sub>5</sub> のZnイオン置換により誘起される反強磁性の磁気構造 |
| 3. 学会等名<br>日本中性子科学会第18 回年会                               |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>髭本亘, 網田裕斗, 岡澤昶, 大嶋浩平, 伊藤孝, 鈴木康平, 大島佳樹, 横山淳                 |
| 2. 発表標題<br>CeCo(In <sub>1-x</sub> Zn <sub>x</sub> ) <sub>5</sub> のμSR |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会2018年秋季大会  |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>横山淳, Stephane Raymond                  |
| 2. 発表標題<br>CeCoIn <sub>5</sub> のZnイオン置換系における中性子散乱 |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会2018年秋季大会                        |
| 4. 発表年<br>2018年                                   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>鈴木康平, 横山淳, 大島佳樹, 天谷健一, 中村翔太, 河野洋平, 橘高俊一郎, 榊原俊郎 |
| 2. 発表標題<br>CeCoIn <sub>5</sub> のNi置換系における量子臨界揺らぎの磁気異方性    |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会2018年秋季大会                                |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>大澤篤史, 横山淳, 大島佳樹, 鈴木康平, 天谷健一   |
| 2. 発表標題<br>重い電子系超伝導体CeCo(In <sub>1-x</sub> Zn <sub>x</sub> ) <sub>5</sub> における熱伝導率 |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会2018年秋季大会   |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>鈴木康平, 横山淳, 大島佳樹, 天谷健一, 近藤晃弘, 金道浩一, 中村翔太, 橘高俊一郎, 榎原俊 郎             |
| 2. 発表標題<br>Ce(Co <sub>1-x</sub> Ni <sub>x</sub> )In <sub>5</sub> における量子臨界揺らぎ |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会第73回年次大会  |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>酒井宏典, 服部泰佑, 徳永陽, 神戸振作, 鈴木康平, 大島佳樹, 横山淳 |
| 2. 発表標題<br>Zn置換CeCoIn <sub>5</sub> におけるNQR/NMR研究  |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会第73回年次大会                         |
| 4. 発表年<br>2018年                                   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Makoto Yokoyama   |
| 2. 発表標題<br>Field-induced antiferromagnetism and its concomitant quantum critical fluctuation in Zn-doped CeCoIn <sub>5</sub> |
| 3. 学会等名<br>2nd International Symposium of Quantum Beam Science at Ibaraki University (招待講演) (国際学会)                           |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>横山淳   |
| 2. 発表標題<br>重い電子系超伝導体CeCoIn <sub>5</sub> のZn置換系における磁場誘起量子臨界現象 |
| 3. 学会等名<br>東北大学金属材料研究所附属量子エネルギー材料科学国際研究センター平成29年度大洗研究会       |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>横山淳, 益子寛明, 大島佳樹, 鈴木康平, 天谷健一, 清水悠晴, 近藤晃弘, 金道浩一, 中村翔太, 榊原俊郎 |
| 2. 発表標題<br>CeCo(In,Zn)5における磁場誘起量子臨界揺らぎ                               |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会2017年秋季大会   |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>田山孝, 湯谷大志郎, 杉本成駿, 横山淳   |
| 2. 発表標題<br>CeCo(In <sub>1-x</sub> Zn <sub>x</sub> ) <sub>5</sub> の精密熱膨張測定による量子臨界点の研究 |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会2017年秋季大会   |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>鈴木康平, 横山淳, 大島佳樹, 大高凌, 天谷健一, 近藤晃弘, 金道浩一, 中村翔太, 榊原俊郎                        |
| 2. 発表標題<br>Ce(Co <sub>1-x</sub> Ni <sub>x</sub> )In <sub>5</sub> の量子臨界揺らぎに対する極低温磁化測定 |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会2017年秋季大会   |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>大島佳樹, 横山淳, 鈴木康平, 益子寛明, 天谷健一, 中村翔太, 橘高俊一郎, 榊原俊郎                        |
| 2. 発表標題<br>CeCo(In <sub>1-x</sub> Zn <sub>x</sub> ) <sub>5</sub> の低温高磁場相における磁化測定 |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会2017年秋季大会   |
| 4. 発表年<br>2017年  |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

磁場誘起反強磁性秩序と量子臨界揺らぎの密接な関係  
<http://lphys.sci.ibaraki.ac.jp/activity-CeCoIn5-Zn-NFL.htm>  
異方的な量子臨界揺らぎと超伝導秩序の密接なつながり  
<http://lphys.sci.ibaraki.ac.jp/activity-CeCoIn5-Ni-NFL.htm>  
遍歴強磁性の量子臨界性を回避して現れる磁気ナノクラスターガラス状態  
<http://lphys.sci.ibaraki.ac.jp/activity-SLKR0.htm>

6. 研究組織

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                       | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)   | 備考 |
|-------|---|---|----|
| 連携研究者 | 酒井 宏典<br><br>(Sakai Hironori)<br><br>(80370401) | 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先端基礎研究センター・研究主幹<br><br><br>(82110) |    |
| 連携研究者 | 髭本 亘<br><br>(Higemoto Wataru)<br><br>(90291103) | 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先端基礎研究センター・研究主幹<br><br><br>(82110) |    |

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          |          |  |  |
|---------|------------------|----------|--|--|
| スイス     | ポールシェラー研究所       |          |  |  |
| 米国      | ロスアラモス国立研究所      | 国立強磁場研究所 |  |  |
| フランス    | フランス原子力庁         |          |  |  |
| 英国      | ラザフォード・アップルトン研究所 |          |  |  |